

Lärobok i telekrigföring för luftvärnet

Radar och radartaktik



2004

Lärobok i telekrigföring för luftvärnet

Radar och radartaktik

Lärobok i telekrigföring för luftvärnet – Radar och radartaktik

Lärobok i telekrigföring för luftvärnet – Radar och radartaktik 2004 års utgåva (**M7741-850101 Telekri Rr Tak Lv**) fastställs för tillämpning fr o m 2004-09-01.

Beslut i ärendet har fattats av generalmajor Alf Sandqvist. Deltagit i den slutliga handläggningen har varit överste Kent Samuelsson, överstelöjtnant Björn Jacobson samt fördragande major Per Gerdle.

Alf Sandqvist

Per Gerdle

© 2004 Försvarsmakten

Boken är publicerad i samarbete med
Mediablocket AB

Tryck: Elanders Berlings, Malmö

M7741-850101 Telekri Rr Tak Lv

Central lagerhållning: Försvarets bok- och blankettförråd

Förord

Boken behandlar telekrigföring mot främst luftvärnets spaningsradarstationer. Avsikten är att visa hur tekniken påverkar radartaktiken och ibland gränser för vad som kan vara taktiskt lämpligt.

Boken är avsedd för främst luftvärnets taktiska program, TAP, samt MHS termin 3–4, delar kan användas vid utbildning av befälselever. Boken ställer inga förkunskaper förutom gymnasieutbildning. Avsiktligt har förekomsten av matematiska uttrycks minimerats.

Per Gerdle

Innehåll

Förord 3

1. Inledning 11

Informationsoperationer (IO)	11
Ledningskrigföring	13
Telekrigföring	15

2. Historik 17

Inledning	17
Rikttningsbestämning	18
Passiv spaning	18
Övrigt	18
Telemotmedel i insektsvärlden	19
Tekniska motåtgärder	19
Taktiska motåtgärder	20
Första världskriget	20
Andra världskriget	20
Invasionen i Normandie	22
Teknik för störsändning under 1950-talet	25
Koreakriget	26
Vietnamkriget	27
Yom Kippurkriget 1973	29
Bekaadalen 1982 och invasionen av Libanon	32
Gulfkriget	34
Luftförsvarssystemet Kari	34
Underrättelser	35
Planen	36
Desert Storm	39
Elektronisk krigföring under Gulfkriget	43

3. Radarlära 45

Faktorer som påverkar radarns räckvidd	47
Antenn- och målhöjd	49
Konstruktionsprincip	50

Radarns arbetsprincip	51
<i>Avståndsmätning</i>	51
<i>Upptäcktssannolikhet</i>	52
.....	62
<i>Radarantenn</i>	62
<i>Helikopterkanal</i>	73
Faktorer som påverkar radarns prestanda	77
<i>Störningar och falska radarekon</i>	77
<i>Blinda sektorer och falskekon beroende på reflektion i närliggande objekt</i>	77
<i>Sidolobsekon</i>	77
<i>Andragångenrunt ekon (andrasvepsekon)</i>	77
<i>Interferens</i>	78
Radarns funktion – PS-70	79
<i>Sändning</i>	79
<i>Mottagning</i>	80
<i>Måldatasändaren – MDS</i>	80
<i>Funktion</i>	82
<i>Eldledningsradar</i>	94
Fördjupning	96
<i>Elektromagnetiska vågor</i>	96
<i>Egenskaper hos elektromagnetiska vågor</i>	98
Signalanalys	105
<i>Modulation och bandbredd</i>	105
<i>Amplitudmodulering (AM)</i>	106
<i>Frekvensmodulering (FM)</i>	113

4. Telekrigföring 121

Signalspaning	121
<i>Information från signalspaning</i>	124
<i>Riktningsbestämning och triangulering</i>	128
<i>DDOA-mätning av dopplerskillnad</i>	135
<i>Att kombinera flera lägesbestämningsmetoder</i>	136
<i>Prestanda</i>	136
<i>Slutsatser för luftvärnet</i>	139
Signalsökande robotar	140
<i>Målsökaren</i>	141
<i>Banfas</i>	142
<i>Slutfas/dykning</i>	143
<i>Stridsdel</i>	144
<i>Användningsprinciper</i>	144

<i>Exempel på signalsökande robotar</i>	145
<i>Exempel på SSARB-taktik</i>	146
<i>Robottyper</i>	149
Varnar- och motverkanssystem	156
<i>Allmänt</i>	156
<i>Robotskottvarnare</i>	158
<i>Laservarnare</i>	160
<i>Radarvarnare</i>	160
<i>Signalspaning</i>	161
<i>Åtgärdsval</i>	167
<i>Motverkansutrustning</i>	167
<i>Antenner</i>	169
Olika störmetoder	172
<i>Passiva störmetoder</i>	172
<i>Vad händer då en elektromagnetisk våg träffar ett föremål?</i>	191
<i>Metoder att minska målaren</i>	198
<i>Aktiv radarabsorption- plasma stealth</i>	205
Aktiva störmetoder	209
<i>Maskerande störning</i>	214
<i>Vilseledande störsändning</i>	230
<i>Störformer mot eldledningsradar</i>	242
Högeffekt pulsad mikrovågsstrålning (HPM)	263

5. Ledningsystem **277**

Nätverksbaserat försvar	277
<i>Kampen om snabbaste beslutscykeln</i>	277
<i>RMA (Revolution in military affairs)</i>	278
<i>Syftet med NBF</i>	280
<i>Nätverk för vapenstyrning</i>	281
<i>Organisation</i>	283
<i>Motmedel</i>	291
<i>Civil teknik</i>	293
<i>Utvecklingen av NBF</i>	293
Ledningssystemutveckling inom luftvärnet	295
<i>Utformningen av taktiska ledningsverktyg</i>	295
<i>Utveckling av luftvärnets ledningsplatser</i>	296
<i>Hotbildsstudie 1990-talet</i>	299
Ledning av luftvärnsförband	300
<i>Samordning</i>	301
<i>2003-års syn på Luftvärnsledning</i>	302
<i>Luftvärnsunderrättelseområdeschef</i>	302

<i>Begrepp vid sensorledning</i>	<i>305</i>
<i>Uppgifter att reglera vid sensorledning</i>	<i>306</i>
<i>Ledningsverktyg 2003</i>	<i>307</i>
<i>UndE 23 (PS-23) och LvUndC</i>	<i>313</i>
<i>Konceptet LvPlus</i>	<i>320</i>
<i>Om ledning</i>	<i>321</i>

6. Taktik 325

Faktorer som styr radartaktiken	325
<i>Spaningsshotet</i>	<i>325</i>
<i>Telestörning</i>	<i>326</i>
<i>Sammanfattning</i>	<i>327</i>
Att störa ett luftförsvar	327
<i>Sensorkedjan</i>	<i>328</i>
<i>"Home on jam" (HOJ)</i>	<i>329</i>
Att hitta den svaga punkten – förhindra systemkollaps	330
<i>Orsaker till systemkollaps</i>	<i>331</i>
<i>Sammanfattning</i>	<i>335</i>
Några störtaktiska begrepp	336
<i>Bakgrundsstörning</i>	<i>336</i>
<i>Sammanfattning</i>	<i>342</i>
<i>Medstörning (eskortstörning)</i>	<i>342</i>
<i>Egenstörning</i>	<i>350</i>
<i>Förgrundsstörning</i>	<i>353</i>
Luftvärnsjägare	356
<i>Allmänt</i>	<i>356</i>
<i>SEAD-utveckling i USA</i>	<i>357</i>
<i>SEAD i Europa</i>	<i>366</i>
<i>SEAD-utveckling i Ryssland*</i>	<i>367</i>
Passiva spaningsmetoder	370
<i>Signalspaning för luftväret</i>	<i>370</i>
<i>IR-spanare</i>	<i>371</i>
<i>Akustisk helikopterdetektering</i>	<i>372</i>
Skyddsåtgärder mot signalsökande robotar	372
Använda terrängen för att förbättra räckvidden	377
<i>Minska sidoloberna</i>	<i>377</i>
<i>God geometrisk sikt kan ge sämre räckvidd</i>	<i>378</i>
Krysspejling	379
<i>Störbäringar</i>	<i>380</i>
<i>För- och nackdelar med passiv spaning</i>	<i>381</i>
<i>Att krysspejla rätt mål</i>	<i>383</i>

<i>Att pejla starkaste störsändaren.....</i>	<i>384</i>
<i>När blir egenstöraren starkare än medstöraren?</i>	<i>386</i>
<i>Störsändare med variabel uteffekt.....</i>	<i>387</i>
<i>Pejling av repeterstörare</i>	<i>387</i>
<i>Antal störbärningar vid ett flyganfall</i>	<i>389</i>
<i>Det är inte säkert att en motståndare behöver störsända</i>	<i>391</i>
<i>Sammanfattning.....</i>	<i>392</i>
<i>Grupperingsgeometri och sändningstaktik</i>	<i>392</i>
<i>Radarsändning</i>	<i>392</i>
<i>LuLIS som förvarning</i>	<i>398</i>
<i>Alla former av förvarning ökar verkan</i>	<i>399</i>
<i>Påverkbara störskyddsfunktioner i våra radarstationer</i>	<i>401</i>
<i>Frekvensväxling.....</i>	<i>402</i>
<i>Brusvärde och minst störd frekvens.....</i>	<i>404</i>
<i>PRF-moder</i>	<i>406</i>
<i>Passiv spaning</i>	<i>408</i>
<i>Pulslängd.....</i>	<i>410</i>
<i>Stegdämpning</i>	<i>411</i>
<i>Intermittent sändning</i>	<i>412</i>
<i>Sektorsändning.</i>	<i>412</i>
<i>Konstant falskalarmeringsnivå – KFA*</i>	<i>414</i>
<i>Detekteringskanaler</i>	<i>417</i>
<i>Målfångning</i>	<i>422</i>
<i>Sammanfattning.....</i>	<i>425</i>

Bilaga 1. _____ 427

Bilaga 2. Engelskspråkiga begrepp och förkortningar _____ 429

Källor _____ 436

Bildförteckning _____ 438

Inledning



Informationsoperationer (IO)

Under århundradernas lopp har krigföringen i allt mindre grad kommit att avgöras av enbart muskelstyrka, istället har förmågan att fatta snabba beslut och förmedla order blivit allt viktigare för krigets utgång. Den som snabbast kan skaffa sig information om motståndaren och omsätta detta till beslut kommer alltid att befinna sig steget före angriparen. Han kan då lyckas med det han annars behövt mångdubbelt större styrkor för.

Det blir därför nödvändigt att ha en planläggning för hur man själv ska kunna skaffa sig underrättelser och ge order, samt hindra motståndarens motsvarande beslutsprocess.

Informationsoperationer är samordnad verksamhet som genomförs i syfte att påverka motståndarens eller andra aktörers beslut. Detta uppnås genom att påverka beslutsfattare, information och informationsbaserade processer och system. Samtidigt ska man skydda egna beslutsfattare, information och informationsbaserade processer och system. Informationsoperationer stödjer aktivt egna defensiva eller offensiva syften.

I sin vidaste betydelse omfattar informationsoperationer användning av diplomatisk, ekonomiska och militära maktmedel med det yttersta syftet att påverka andra aktörers beslut. Försvarmaktens verksamhet kan utgöra en del i en större nationell informationsoperation. Övriga delar kan t ex vara insatser avseende utrikes- och säkerhetspolitik, diplomati, samordnad informationsberedskap vid kriser och informationssäkerhetsarbete.

Inom Försvarmakten utgör informationsoperationer ett stöd för att uppnå uppsatta militära mål på militärstrategisk, operativ eller taktisk nivå. Informationsoperationer leds på samma sätt som övriga operationer i Försvarmakten.

En viktig del i strävandet efter ledningsöverläge och initiativ är således åtgärder som riktar sig mot motståndarens förmåga att upptäcka, bedöma och fatta beslut. Här har informationsoperationer en nyckelroll. Genom att ge motståndaren vilseledande information eller förvägra honom tillgång till viss information kan vi påverka såväl förmågan till upptäckt som bedömning. Genom att bekämpa informationssystem och kommunikationer kan motståndarens förmåga att fatta beslut och sprida dem begränsas. Offensiva informationsoperationer är tydligt riktade mot motståndarens organisation, sammanhållning och moral. Defensiva informationsoperationer ger

oss bättre skydd mot motståndarens försök att bryta vår vilja att föra kampen vidare. Att behärska informationsoperationer är en viktig del av manövertänkandet, både för att nedsätta motståndarens ledningsförmåga och för att skydda den egna ledningsförmågan, inklusive tilltron till det egna ledningssystemet.

Då man avser att påverka motståndarens eller andra aktörers beslutsfattande med informationsoperationer, är det viktigt att förtydliga ansvar och roller från den politisk-strategisk nivå ned till den taktiska nivån. På de olika nivåerna finns olika sätt att verka inom IO-området enligt bild 1:1.

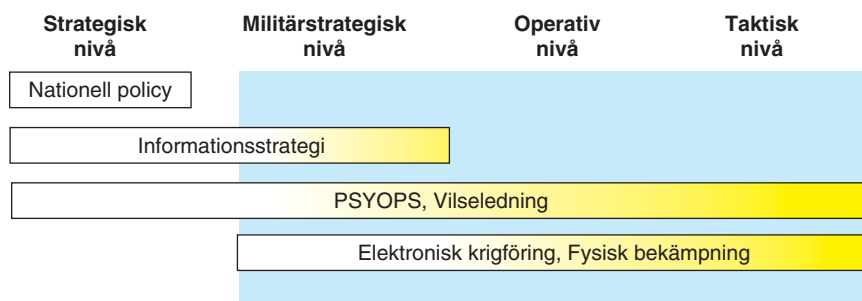


Bild 1:1. Verkansmöjligheter för olika ledningsnivåer.

Informationsoperationer sker t ex genom

- underrättelseskylld som hemligstämpling av viktig information, signaldisciplin m m
- politiska åtgärder för att t ex påverka potentiella allierade
- psykologisk krigföring för att påverka känslor, åsikter och opinioner hos motståndaren
- telekrigföring för att störa ut motståndarens kommunikationer och underrättelsesystem
- fysisk bekämpning av infrastrukturen t ex tv- och radiostationer, telenät m m.

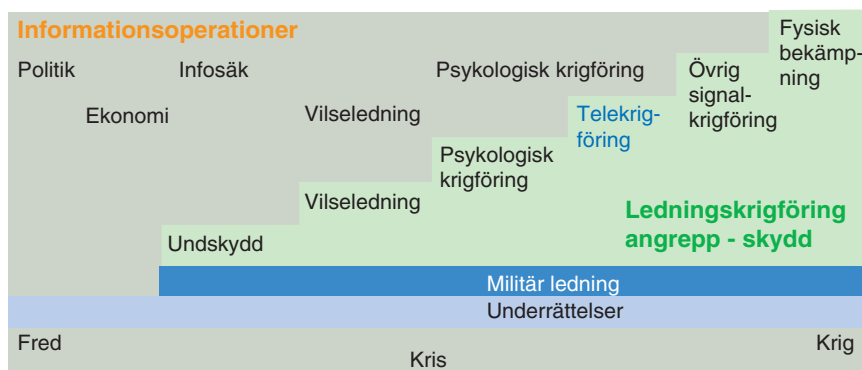


Bild 1:1. Exempel på informationsoperationer under eskalering från fred till krig.

Samhället blir mer och mer känsligt för påverkan på dess kommunikationssystem. Man kan leka med tanken vad en kvalificerad motståndare skulle kunna uträtta om han t ex med hjälp av aggressiva datavirus från internet påverkar

- ett lands kommunikationssystem,
- systemen för datorstyrning av elförsörjningen,
- bankväsendet,
- blockering av datorsystem med e-post.

Troligtvis skulle ett litet land kunna orsaka en stormakt mer skada på detta vis än vad som vore möjligt på konventionell väg. Det är därför troligt att s k hackers redan ingår eller kommer att ingå i framtidens arméer.

Stormakterna har dessutom tagit fram s k EMP-vapen vilka alstrar en elektromagnetisk puls tillräckligt stark för att förstöra alla elektroniska kretsar inom ett område.

Ledningskrigföring

Ledningskrigföring (Command and Control Warfare – C²W) ingår som en del i informationskrigföringen och omfattar olika typer av åtgärder för att minska motståndarens möjligheter till effektiv ledning av sina stridskrafter samt säkerställa den egna ledningsförmågan. Syftet kan ofta vara att vilseleda motståndaren om den egna operativa avsikten.

Ledningskrigföring kan ske med ett antal olika metoder t ex vilseledning, psykologisk krigföring, telekrigföring eller fysisk bekämpning.

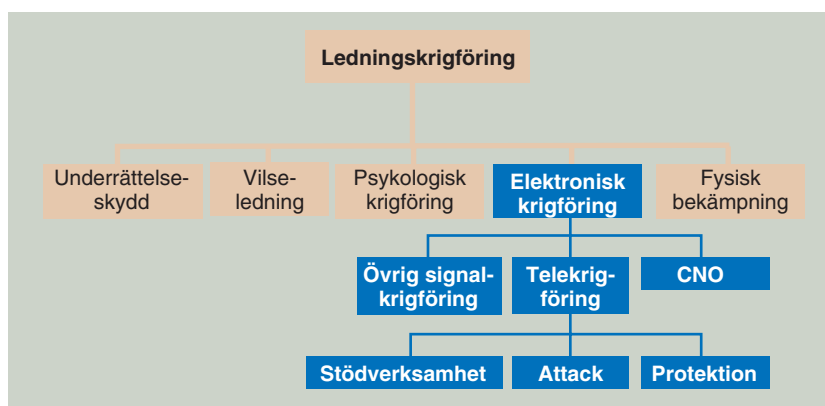


Bild 1:2. Omfattning av ledningskrigföring.

Underrättelseskydd är åtgärder för att hindra eller försvåra för motståndaren att inhämta underrättelser om våra stridskrafter och avsikter. Det omfattar också åtgärder för att minska vår sårbarhet om motståndaren lyckats inhämta underrättelseuppgifter från oss.

Vilseledning är verksamhet och åtgärder med avsikt att ge motståndaren en sådan bild av vår förmåga och/eller våra avsikter så att motståndaren agerar på ett för oss gynnsamt sätt.

Psykologisk krigföring är verksamhet som syftar till att påverka opinioner, känslor, åsikter och uppträdande på ett för oss gynnsamt sätt.

Fysisk bekämpning används för att sätta ledningssystemen d v s personal, organisation och teknik (sambands- och informationssystemen) ur spel.

Elektronisk krigföring omfattar

- bekämpning, förvanskning eller exploatering av motparters inhämtning, bearbetning eller delgivning av information,
- förhindrande av motståndares bekämpning, förvanskning eller exploatering av vår inhämtning, bearbetning eller delgivning av information.

Syftet är att skydda och försvara egna insatser, samtidigt som motståndarnas försvåras eller förhindras.

Elektronisk krigföring omfattar telekrigföring, CNO och övrig signalkrigföring.

Övrig signalkrigföring nyttjar detekterbara fysiska och kemiska egenskaper utom elektromagnetiska som ger upphov till tecken på eller signaler om militär verksamhet. Övrig signalkrigföring omfattar områdena akustik, hydroakustik, magnetik, seismik samt emission av främmande ämnen.

Dator och nätverksoperationer (Computer Network Operations – CNO) är en verksamhet som utnyttjar datorer och nätverk samt dess delsystem för offensiva och defensiva aktiviteter. Syftet är att skydda och försvara egen verksamhet på informationsarenan samtidigt som en motståndares verksamhet försvåras eller förhindras.

Telekrigföring

Syfte och mål med telekrigföring

Telekrigföring definieras enligt Överbefälhavaren som:

”Militär verksamhet som nyttjar det elektromagnetiska spektrumet för att bekämpa, förvanska eller exploatera motpartens inhämtning, bearbetning eller delgivning av information samt skydd mot för oss ogynnsamt nyttjande av det elektromagnetiska spektrumet.”

Telekrigföring avser kampen om det elektromagnetiska spektrat och syftar till att

- säkerställa effekten hos våra egna lednings-, underrättelse- och vapensystem
- hindra motståndaren att få full effekt hos sina motsvarande system.

Telekrigföring ska t ex förhindra motståndaren att få underrättelser, fatta beslut och förmedla beslut eller hindra funktionen hos något vapensystem. Med telekrig menas inte bara störning på radio- och radarbanden utan alla delar av det elektromagnetiska spektrat, t ex störning mot IR och förmågan att se vanligt ljus.

Telekrigföring (Electronic Warfare, EW) indelas i

- elektronisk stödverksamhet (ES)
- elektronisk attack (EA)
- elektronisk protektion (EP)

Elektronisk stödverksamhet – Electronic support (ES)

Elektronisk stödverksamhet utgörs av åtgärder för att stödja pågående verksamhet genom att upptäcka, klassificera, identifiera och lokalisera elektromagnetiska källor.

Det omfattar bl a

- signalspaning mot kommunikationsnät inklusive att fysiskt ansluta i dessa
- signalspaning mot övriga typer av elektromagnetiska emitterar.

Elektronisk attack – Electronic attack (EA)

Elektronisk attack nyttjar den elektromagnetiska energin i syfte att ned-sätta eller förstöra motpartens systemfunktioner eller stridsförmåga.

Det omfattar bl a

- störning och vilseledning inklusive nyttjande av elektromagnetiska skenmål
- nyttjande av icke nukleära elektromagnetiska pulsvapen (NNEMP) och mikrovågsvapen (HPM)

- nyttjande av laservapen
- logiska attacker mot informationssystem t ex virus, dataintrång, och mailbomber.

Elektronisk protektion – Electronic protection (EP)

Elektronisk protektion syftar till att minska effekten av motståndarens telekrigföring samt åtgärder för att undvika elektromagnetiska konflikter.

Det omfattar bl a

- åtgärder för att behålla egna systemprestanda
- åtgärder för att minska risken för upptäckt, identifiering, lokalisering och avlyssning
- åtgärder för att undvika konflikter i det elektromagnetiska spektrumet
- taktisk ledning och kontroll av egna emissioner i det elektromagnetiska spektrumet.

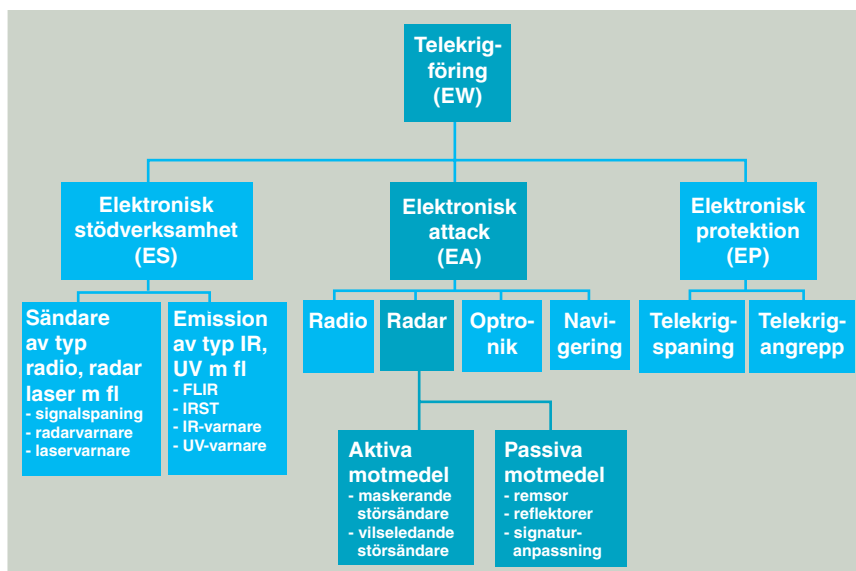


Bild 1:3. Indelningen av telekrigföring.

Äldre begrepp

Andra begrepp som ofta används är

- varnare och system för lokalisering– Electronic Support Measures, ESM
- motmedel (ofta i betydelsen störutrustning) – Electronic Counter Measures, ECM
- störskydd – Electronic Counter Counter Measures, ECCM
- signalspaning – Signal Intelligence, SIGINT.

Historik

2

Inledning

Principerna för telekrigföring är betydligt äldre än vad man kan tro. I naturen finns ett antal olika djurarter som använder sig av akustiska eller hydroakustiska metoder för att hitta sitt byte. Dessa metoder har påfallande likhet med moderna radar- och hydrofonsystem. Bytesdjuren har å sin sida utvecklat olika former av såväl ”tekniska som taktiska” motåtgärder.

Fladdermusens radar arbetar på ca 20 kHz – 200 kHz och nyttjar utbredningen av ljudvågor. Eftersom dess radar arbetar med ljudvågor är det egentligen felaktigt att benämna den radar, utan borde benämnas sonar. Fladdermusens sonar är att betraktas som en multimodsradar, där den kan använda olika moder beroende på om den t ex spanar efter byten eller endast vill undvika att krocka med något hinder.

Vid spanings- och navigeringsmod används variabel pulsrepetitionsfrekvens (PRF), varvid hög PRF används i trånga utrymmen. Avståndsupplösning 16–33 cm.

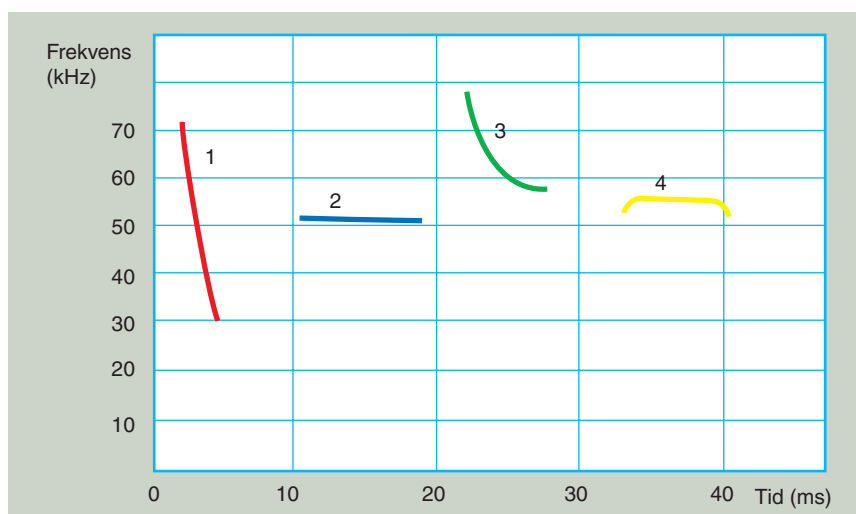


Bild 2:1. Några typiska vågformer för sonarlåten (spanings- och följemoder) för några europeiska fladdermusarter. Hastiga FM-svep (1) och konstant frekvenspulser (2) samt olika kombinationer (3, 4) av dessa grundmönster förekommer.

Vid jaktmod används pulskompression genom linjär frekvensmodulation (dvs frekvensen varierar under pulsen). Fladdermusens pulskompression medger avståndsupplösning ner till 4 mm. Mot större insekter där det inte behövs lika bra avståndsupplösning nyttjas ett mindre pulskompressionsförhållande vilket ger en avståndsupplösning av ca 8 mm.

PRF är variabel och högst i själva angreppsfasen då det behövs flest uppdateringar av målläget.

Fladdermusen kan även analysera dopplerfrekvensen från svärmande insekter mot en stillastående bakgrund.

Riktningsbestämning

Ljudpulsen från fladdermusen sänds ut med en lobbredd av ca 60° .

Lobbredden på den mottagna pulsen bestäms av avståndet mellan djurets öron, vilket uppgår till ca 2 våglängder (d v s ca 1 cm). Det medför att lobbredden blir ca 30° . Denna lobbredd skulle ge en alltför dålig riktningsnoggrannhet mot snabbt manövrerande insekter. Fladdermusen måste alltså ha ett bättre system för att kunna riktningsbestämma bytesdjuren. Troligtvis nyttjar fladdermusen s k fasinterferometri. Detta innebär att den nyttjar den fasskillnad som uppstår genom att ljudvågorna har olika lång väg att gå för att nå fladdermusens båda öron. Om fladdermusen kan bestämma fasskillnaden mellan två ljudvågor med som bäst 36° precision d v s 1/10 varv, så motsvarar detta en riktningsnoggrannhet av 3° , vilket borde vara användbart för att kunna ta ett byte.

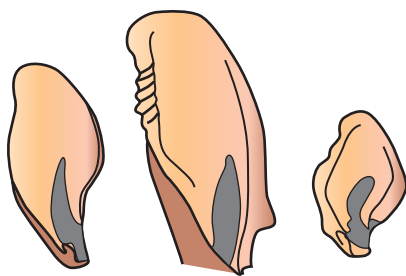


Bild 2:2. Antennkonfiguration (d v s öron) på några olika arter av fladdermöss.

Passiv spaning

För att inte i onödan röja sig för bytet kan fladdermusen även använda sina sensorer (öron) passivt och detektera den luftturbulens som insekternas vingrörelser ger upphov till.

Övrigt

Hundratals fladdermöss kan samtidigt flyga ut ur en trång grotta utan att krocka, detta tyder på att fladdermössen även har ett system att känna igen just sina egna pulser i en svår signalmiljö.

Telemotmedel i insektsvärlden

Även i naturen pågår en kamp mellan medel och motmedel. Fladdermusens primära bytesdjur, nattfjärilarna, har utvecklat såväl tekniska som taktiska motåtgärder mot fladdermusens sensorer.

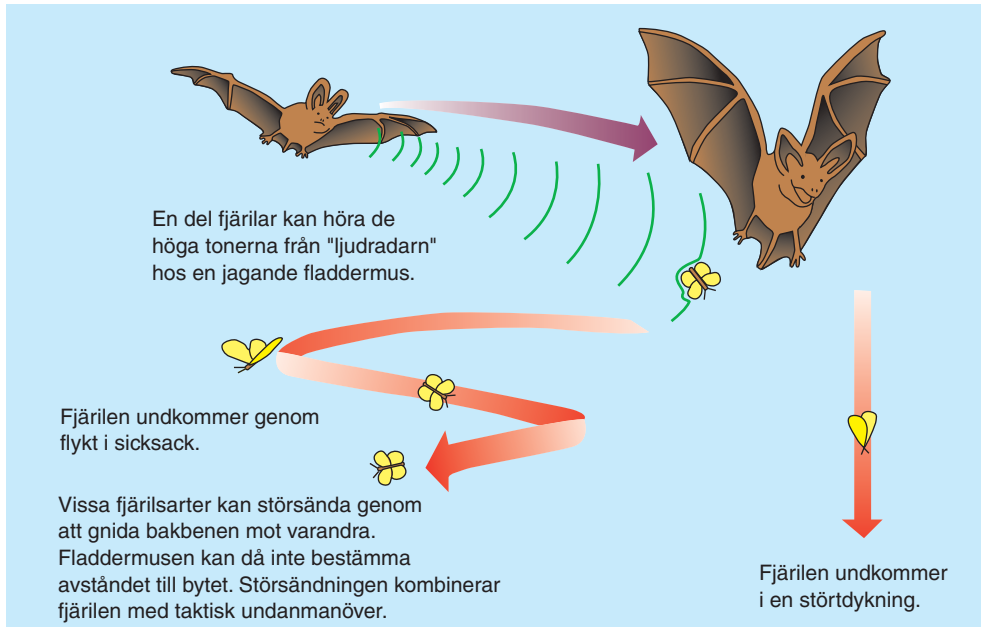


Bild 2:3. En nattfjärils motåtgärder.

Tekniska motåtgärder

Passiva motåtgärder

Nattfjärilarna är täckta med fina "hår" på kropp och vingar. Håren medför dels att luftturbulensen kraftigt minskar, dels att reflexioner från fladdermusens ljudpulser dämpas.

Fladdermusens motåtgärd mot den "radardämpande" hårbeklädnaden är att den använder sig av en våglängd på ca 5,5 mm (60 kHz). Genom att våglängden är av samma storleksordning som bytesdjuren så erhålls en resonanseffekt i bytesdjurets kropp, vilket ger en ytterligare förstärkning av ekot.

Aktiva motåtgärder

Vissa fjärilsarter kan utföra aktiv störsändning. Då fjärilen hör att den är belyst av en fladdermus alstrar den störpulser genom att gnida bakbenen mot varandra. Störpulsernas frekvensspektrum efterliknar fladdermusens pulser. Fjärilarnas störpulser skickas ut med mycket hög PRF, störningen

verkar därför troligen som en brusmatta, vilket försvårar för fladdermusen att göra en korrekt avståndsbedömning.

Taktiska motåtgärder

Nattfjärilens störsändning kombineras med undanmanöver för att ytterligare försvåra för jägaren i angreppsfasen. Vissa fjärilsarter faller in vingarna och dyker till marken när de märker att de är belysta av fladdermusens radar. Denna manöver leder till att luftturbulensen kring vingarna försvinner och att dopplerfrekvensen minskar.

En jämförelse mellan fladdermusens värld och moderna system.

- Spaningsmod och jaktmod med olika PRF (används i jaktradar i flygplan).
- Pulskompression för bättre avståndupplösning (används i bl a PS-90 och PS-91).
- Rikttningsbestämning genom fasinterferometri (används i signalspaningsutrustning för att från en plattform kunna bestämma riktningen till en signalkälla).
- Våglängd av samma storleksordning som målet (en metod som används för att kunna hitta stealthflygplan, eftersom skrovet vid långa våglängder, ger upphov till ett resonans fenomen som förstärker ekot).
- Passiv spaning (bl a i PS-90).
- Fjärilen har integrerad varnarutrustning och störsändare, så att störningen kan ske vid rätt tillfälle (motmedelsutrustningen i flygplan).
- Radarabsorberande material (stealthflygplan t ex F-117).

Första världskriget

Telemotmedlens historia är nästa lika lång som de teletekniska hjälpmedlens och har vad gäller kommunikationsstörning anor redan från tiden före första världskriget.

Under första världskriget utvecklades framförallt signalspaning i form av informationsinhämtning och pejling av motståndarens radiosändare.

Andra världskriget

Inom telekrigområdet började andra världskriget med erfarenheter från det första med signalspaning mot kommunikationssystem. Under kriget skedde sedan den explosionsartade utvecklingen av radartechniken, vilken tvingade alla parter till en omfattande utbyggnad av motmedelsorganisationerna.

På allierad sida tjänstgjorde vid krigsslutet 10 000 personer, varav 4 000 tekniker enbart inom den brittiska motmedelstjänsten. Flygeskadern för telekrig omfattade 14 divisioner, varav flera hade fyrmotoriga bombplan eller långdistansplan av typen Mosquito. Den växande allierade teletekniska överlägsenheten tvingade tyskarna till omfattande ansträngningar för att få fram motmedel. Redan 1941 tvingades man hemkalla 15 000 tekniker från fronten.

Remsor användes för första gången 1943 av engelsmännen. Remsor bestod ursprungligen av metallbelagda pappersremсор och gick under kodordet *Windows*. De spreds från flygplan och orsakade genom sina reflexer mängder av falska ekon på radarskärmarna. Idén hade fötts redan före kriget men användningen hölls tillbaka, delvis av tveksamhet beträffande dess verkan men också av farhågor för att motståndaren skulle använda metoden.

För att få kunskap om störskyddet hos de tyska radarstationerna genomförde engelsmännen en kommandoraid mot en radarstation i Brunevald på den franska kanalkusten. Medan kommandosoldaterna höll det lokala försvaret i schack kunde en grupp tekniker demontera viktiga delar av radarn. En analys av de beslagtagna delarna visade att radarn inte innehöll några speciella störskyddskretsar.

Sommaren 1943 beslöt Churchill att använda remсор vid storanfallet mot Hamburg. Två skäl gjorde att Churchill nu beslöt sig för att börja använda remсор, dels att engelsmännen hade tagit fram en ny typ av radar som kunde se genom remsmolnen (troligen MTI-radar med vindkompensering) och dels på det tyska luftförsvarets ökande effektivitet. De använde nu både flygburen och markbaserad radar. Varje motåtgärd var därför värd att prova.

Anfallet mot Hamburg inleddes natten till den 24 juli 1943. Vid midnatt började bombplanen ur RAF välla in över fiendekusten och släppte buntar av aluminiumfolie, sammanlagt 92 miljoner stycken. Flygstyrkan bestod av 720 bombplan men på de tyska radarskärmarna verkade styrkan vara mångdubbelt större. Resultatet av remсорna överträffade alla förväntningar. Engelsmännen släppte 3 000 ton bomber och förlorade tolv flygplan. En för denna tid mycket låg siffra.

Det hör till historiens ironi, att remсор också upptäckts av tyska forskare. Den tyska benämningen var ”Düppel”. Den tyske flygvapenchefen Hermann Göring hade informerats om detta 1942. Hans främsta tanke gällde följderna för det tyska luftförsvaret om de allierade skulle få kännedom om metoden. Göring förbjöd därför all fortsatt forskning och lät beslagta all dokumentation. Detta fick till följd att radarpersonalen i Tyskland var helt oförberedd på de störformer som kom att uppträda.

Mot slutet av kriget beräknas över 7 000 tekniker ha arbetat enbart med motmedel mot remsstörning. De allierade uppger att det tyska luftväret

före insats av motmedel behövde skjuta 400 skott per nedskjutet plan, efter insatsen av telemotmedel åtgick cirka 3 000 skott.

I Ploetski i Rumänien, som var det näst starkast luftvärnsskyddade målet i Europa, var motsvarande siffra 25 000, vilket tillskrivs de allierades stora insats av radarmotmedel vid dessa flyganfall.

Enligt engelska beräkningar nedgick det tyska luftvärnets effektivitet under sista halvåret av andra världskriget med 75%. Då det tyska jaktförsvaret samtidigt utsattes för bl a svår kommunikationsstörning blev resultatet flera svåra kriser för det tyska luftförsvaret.

Invasionen i Normandie

Vid de allierades invasion av Normandie (Operation Overlord) 6 juni 1944 (D-dagen) ingick för första gången i historien ledningskrig med telekrigföring som en del i de strategiska planerna. Syftet var att binda 90 tyska divisioner på tryggt avstånd från Normandie. Vileledningsplanen benämndes operation Fortitude.

En del av planen avsåg att hålla kvar 27 divisioner i Skandinavien genom att få det tyska högkvarteret att tro att de allierade tänkte göra en avledande landstigning i Norge. En skenorganisation bestående av ett fåtal män och kvinnor fick till uppgift att skapa en fiktiv brittisk fjärde armé på över en kvarts miljon man. I april 1944 dränkte denna spökarmé de tyska avlyssningsstationerna med en ändlös ström av falska meddelanden från falska divisioner och kårer, som t ex ”80. kåren behöver 1 800 par skidbindningar” eller ”7. kåren anhåller om utlovade instruktörer i bergsklättring”. Resultatet blev att de 27 tyska divisionerna i Norge hölls kvar istället för att transporteras söderut.

Nyckelplanen i operation Fortitude var dock att få tyskarna att först tro att invasionen skulle ske i Pas-de-Calaisområdet i stället för i Normandie. Därefter skulle tyskarna tro att invasionen i Normandie bara var en skenmanöver inför en ännu större landstigning i Calaisområdet.

För att åstadkomma denna skenverksamhet skapades bl a stommen till en hel armé (FUSAG – First US Army Group) med 50 divisioner norr om Dover. Som chef för denna skenarmé tillsattes general Patton. Vid den verkliga invasionsstyrkan rådde radiotystnad, medan det hos general Patton genomfördes en signaltrafik som efterliknade en riktig armés. Denna armé bestod i själva verket mest av signalister, radioapparater och fordon. Armén innehöll även vissa verkliga divisioner och ett stort antal skenanställningar. Storbritanniens främste arkitekt Basil Spence konstruerade en enorm konstgjord oljehamn som upptog åtta kvadratkilometer av hamnen i Dover.

FUSAG godtogs som en verklig armé av det tyska högkvarteret och fanns noterat på de tyska lägeskartorna. I maj 1944 trodde tyskarna att det fanns 92–97 divisioner i Storbritannien istället för de verkliga 35.

Signalspaning och kartläggning av de tyska radarstationerna hade genomförts under en längre tid av allierat flyg. De allierade slog systematiskt ut tyska radarstationer som hade räckvidd till Engelska kanalen. Bekämpningen blev så effektiv att endast ett fåtal av dessa stationer (18 av 92 stycken) var i funktion under själva invasionen. Mot de kvarvarande stationerna utfördes telestörning med två syften. Den ena var vilseledande störning med bl a skenmål för att simulera ett stort sjöinvasionsföretag på väg mot Calais. Det andra omfattade maskerade störning mot Normandieområdet i syfte att fördröja upptäckten av det verkliga invasionsföretaget så länge som möjligt.

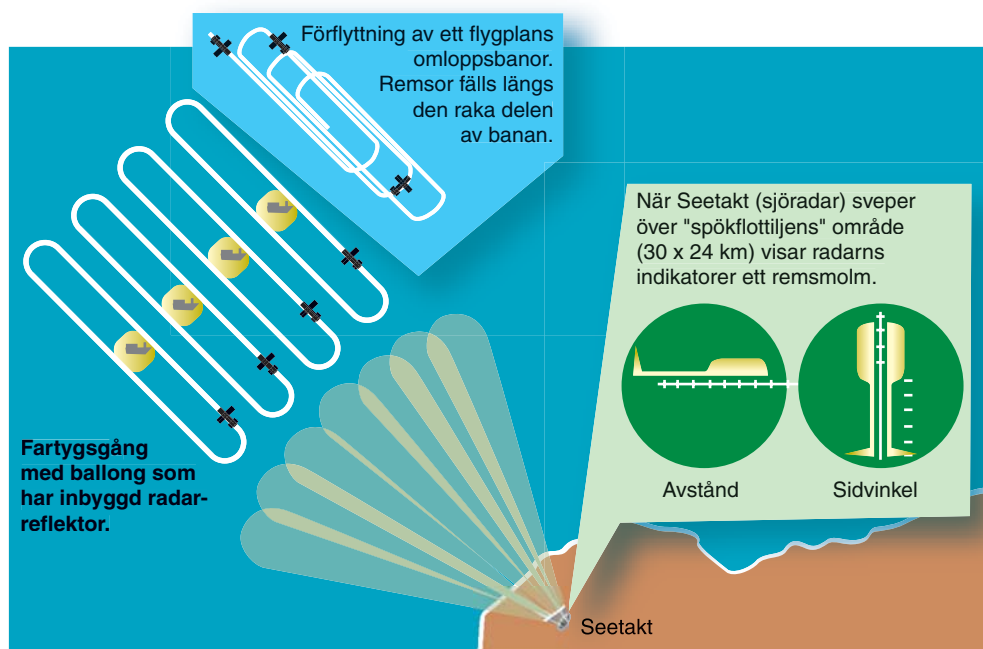


Bild 2:4. Skenflotta.

Planen hade utformats av den brittiske radarexperten Robert Cockburn och gick ut på att översvämma de tyska radarskärmarna med falska ekon som tydde på att två väldiga armador nalkades, en i luften och en till sjöss. För att genomföra detta gjorde Cockburns lag av matematiker/fysiker en serie beräkningar som utmynnade i att två RAF-divisioner skulle flyga i rektangulära banor om ca tolv gånger tre kilometer. För varje vända skulle flygplanen förflytta sig 1500 meter närmare den franska kusten för att simulera att flottan närmade sig kusten. Under tiden fällde de remсор av

2. Historik

metallfolie (Windows), 12 buntar per minut. Flottan bestod av 18 mindre fartyg, som stävade mot franska kusten och delades sedan upp i två delar. Den ena gick mot Pas-de-Calais. Detta skenföretag benämndes Glimmer. Den andra delen, Taxable, gick mot ett område norr Le Havre. Varje båt hade minst en nio meter lång ballong med inbyggd radarreflektor. Reflektorn förstärkte radarekot så att det motsvarade ett fartyg på 10 000 ton. Cockburns plan hade provats framgångsrikt mot en beslagtagen tysk radar och visade sig fungera lika bra i engelska kanalen. Tyskarna blev så övertygade om vad radarskärmarna visade att deras kustbatterier började vräka 30 cm projektiler i havet.

Störning av radiosambandet genomfördes förutom av markbaserade och sjöburna störänläggningar även av 20 flygplan med störutrustningar ”Mandrel”. Resultatet blev att alla radiokommunikationer mellan tyska enheter på längre avstånd än någon kilometer omintetgjordes.

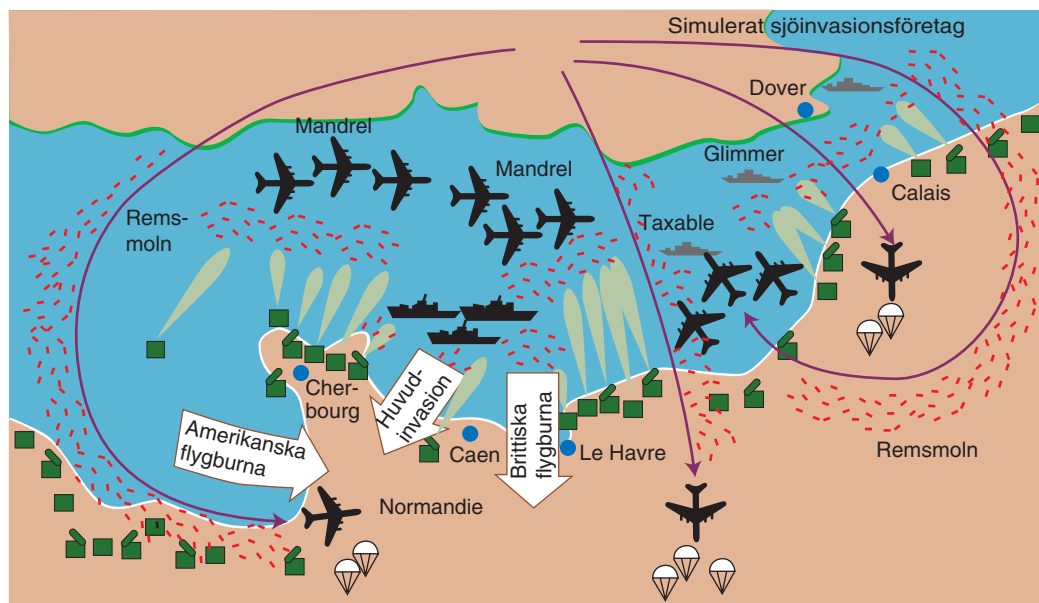


Bild 2:5. Invasionen i Normandie 6 juni 1944.

Resultatet av alla dessa motmedelsinsatser var att tyskarna blev vilseledda beträffande platsen för invasionen. En enda autentisk observation av den verkliga invasionstyrkan rapporterades till högkvarteret från en radarstation i närheten av Caen, men den försvann i mängden av falska, motsäggande eller ovidkommande rapporter.

Telekrigföringen gjorde att hela den vilseledande och fördröjande aktionen blev en stor framgång för de allierade och det strategiska syftet uppnåddes i sin helhet.

Teknik för störsändning under 1950-talet

Det första vandringsvågöröret, Travellin Wave Tube (TWT), uppfanns i England under 2:a världskriget av en österrikisk emigrant. Det visade sig snart att den var lämplig som en bredbandig förstärkare både för radarstationer och som slutförstärkare i störsystem.

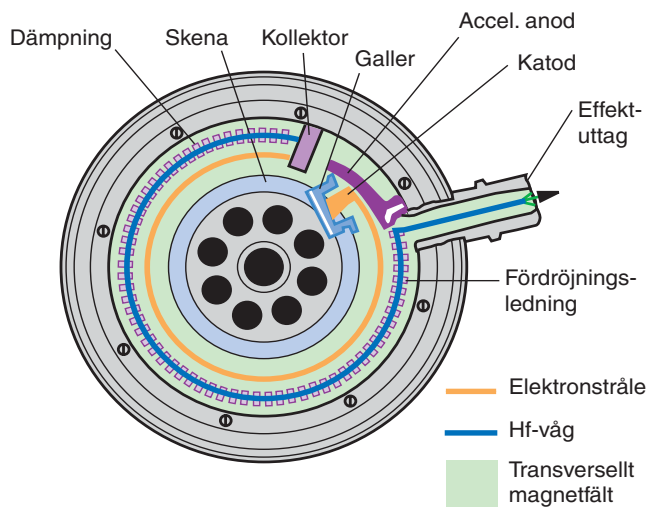


Bild 2:6. Carcinotron.

I ett franskt forskningsprojekt lyckades man under slutet av 1940-talet att ta fram Carcinotronen. Carcinotronen är en s k backvågsoscillator, släkt med magnetronen. Fördelen med Carcinotronen är att den mycket lätt kan fås att variera sin frekvens. Genom att variera spänningen till en av Carcinotronens elektroder så sveps Carcinotronens utfrekvens. Frekvensen kan på det här viset varieras med en bandbredd på upptill 100 MHz. Tack vare Carcinotronen kunde man skapa effektiv bredbandig störning. Så småningom lyckades radarkonstruktörerna dock införa vissa skydd mot svepstörning t ex den s k Dicke-Fix mottagaren.



Bild 2:7. Konisk spiralantenn.

För att kunna använda bredbandig störning krävs att störsystemet har tillräckligt bredbandiga antenner både för sin mottagare och för sin störsändare. Under 1950-talet lyckades man i USA konstruera s k spiralantennar,

som kan hantera frekvensskillnader på mer än en oktav. (En oktav är ett frekvensförhållande på 1:2 t ex 1–2 GHz eller 4–8 GHz.)

Spiralantennen har en impedans som är oberoende av frekvensen. Tidigare hade man manuellt behövt impedansanpassa antennerna när man ville störsända på en ny frekvens.

Koreakriget

Den 25 juni 1950 utbröt Koreakriget. I en FN-resolution beslöts att FN skulle sätta upp en styrka under General Douglas MacArthurs ledning, för att hjälpa sydkoreanerna att slå tillbaka angriparen.

USA satte inledningsvis in ca hundra bombplan av typ B-29. Nordkorea kunde först inte påverka B-29:orna, men situationen ändrade sig när Kina anslöt sig till den nordkoreanska sidan.

Kineserna använde överljudsplanet MiG-15 och installerade ett strilssystem med spaningsradarstationer i Manchuriet, för att kunna leda sina MiG-15. Vidare använde kineserna radarriktade luftvärnskanoner.

Mål för de amerikanska bombanfallen var vägar, järnvägar, broar över Yalu-floden samt inte minst flygbaserna för de kinesiska jaktflygplanen. Under anfall mot dessa mål kom B-29 i daglig kontakt med luftvärnet samt de snabba MiG-15.

Trots erfarenheterna från 2:a världskriget tilläts inte B-29 att använda remsor mot radarstationerna, eftersom US Air Force ville visa så lite som möjligt av sin telekrigskapacitet för det kommunistiska blocket. Inte heller fick de störa talsambandet (jaktlänken) mellan de kinesiska stridsledningsanläggningarna och jaktflyget. Den enda tillåtna störformen var smalbandig störning mot luftvärnets eldledningsradar.

I april 1951 hade ett 25-tal av de ursprungliga B-29 skjutits ned av nordsidans luftvärn eller jaktflyg. Förlusterna blev slutligen oacceptabelt höga i oktober då amerikanerna genomförde ett anfall mot flygfältet i Namsi i Nordkorea. Samtliga tio B-29 som deltog i anfallet antingen sköts ned eller blev så svårt skadade att de aldrig mer kunde användas. Från och med nu förbjöds anfall under dagsljus.

Även om störningen mot kinesernas eldledningsradar gav effekt fortsatte luftvärnet att skada och bomba flyget under dess nattliga anfall. Nordsidan använde sig av en taktik de hämtat från tyska Luftwaffe under 2:a världskriget. De nyttjade radarstyrda luftvärnsstrålkastare samt MiG-15. Taktiken gick ut på att MiG-15 (som egentligen bara har dagsljuskapacitet) anföll på hög höjd mot siluetten av de belysta B-29. Detta ledde till att amerikanerna fick övergå till att anfalla under molniga nätter, börja använda nattjakt och inte minst tillåta användning av remsor, samt störa av talkommunikationen mellan stridsledningscentralerna och jaktflyget.

De vidtagna åtgärderna minskade dramatiskt förlusterna så att amerikanerna under de sista sju månaderna av kriget endast förlorade tre B-29 under 4 000 uppdrag.

Vietnamkriget

I februari 1965 började US Air Force anfalla mål i Nordvietnam. Till en början var motståndet svagt och bestod av ett litet antal luftvärnskanoner och några omoderna flygplan. De amerikanska attackflygplanen kunde flyga mot målen på 3 000 meters höjd ovanför luftvärnets räckvidd. Vid anfallen litade de på höjden, farten och manöverförmågan för att minimera förlusterna. I april 1965 upptäcktes att vietnameserna börjat installera avfyringsramper för luftvärnsroboten SA-2 Guideline med lång räckvidd. Det första flygplanet som sköts ner med en SA-2 var en F-4 Phantom vilket skedde den 24 juli 1965.

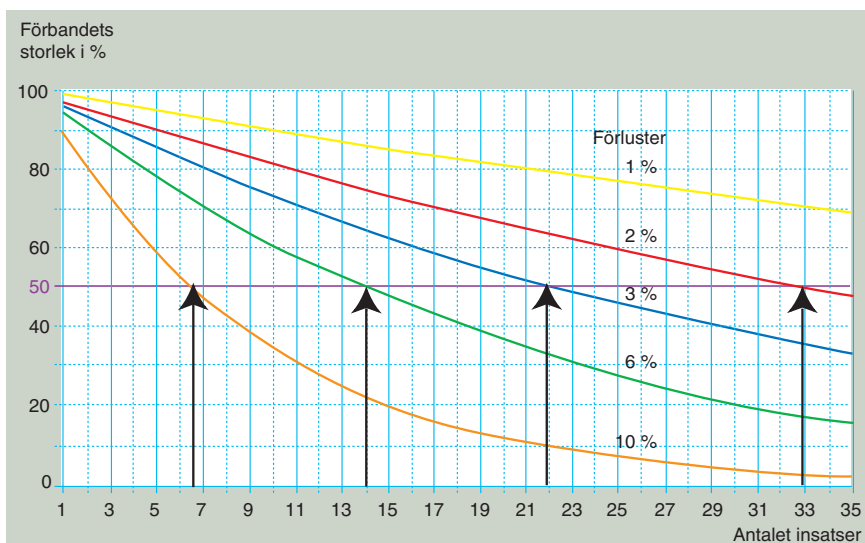


Bild 2:8. Diagram över reducering av flygförband vid olika förluster.

Efter införandet av SA-2 förlorade amerikanerna uppemot 14% av sina flygplan under ett enda uppdrag. Det innebär att efter fem uppdrag skulle bara hälften av flygplanen återstå. Förluster av denna storleksordning var helt oacceptabla. Man brukar anse att förlusterna måste vara mindre än 2-4 %.

Det gick inte att undvika att flyga nära luftvärnsbatterierna eftersom allt fler viktiga mål försvarades av dem. Lågflygning gjorde att man visserligen undvek SA-2 men medförde att man utsattes för den allt effektivare elden från luftvärnskanoner och kulsprutor. Flyganfall mot robotbatterier-

na slog ut en del av dem men nordvietnameserna blev allt skickligare på att gruppera om robotarna och kamouflera dem.

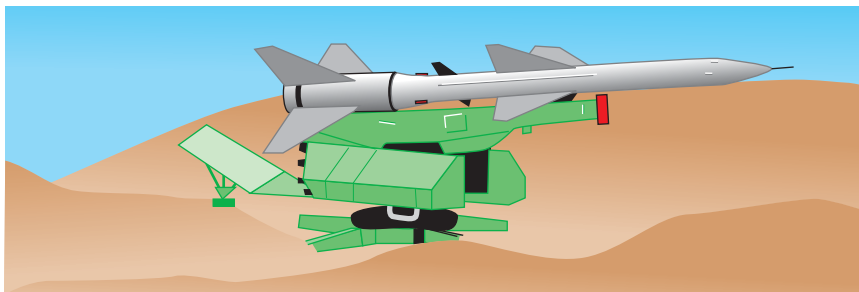


Bild 2:9. SA-2.

Ett katastrofprogram startades för att utrusta attackflygplanen med radarvarnare, APR-25. Den gav varning om flygplanet var utsatt för radarföljning och gav en riktning till hotet. Piloten kunde höra rasslet av radarsignalen från "Fan-Song"-radarn i hörlurarna och ändringen i tonhöjd när den övergick från spanings- till målföljningsmod.

Allt eftersom luftförsvaret i Nordvietnam förstärktes och allt fler batterier blev aktiva, blev det uppenbart att enbart undanmanövrer var otillräckligt som skydd. En manöver för att undvika ett slags hot kunde medföra att flygplanet blev ett perfekt mål för ett annat vapensystem. Lösningen blev att attackflygplanen försågs med störutrustning för självskydd.

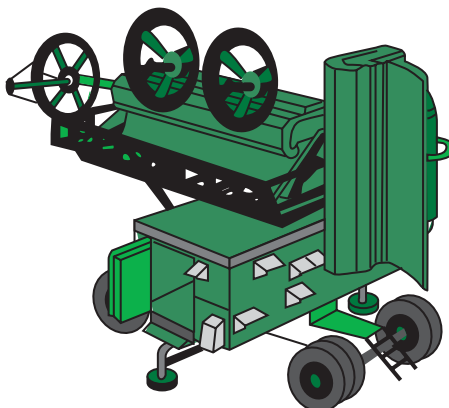


Bild 2:10. Eldledningsradar "Fan-Song" till SA-2.

Åren 1967-68 konstruerades och byggdes flera olika typer av störkapslar för prov i Sydostasien. En av de första som gick i produktion var Hughes ALQ-11, vilken byggdes i över 700 exemplar. Den hade sex separata stör-sändare, två för vardera av de tre frekvensband, som används av SA-2. Grunderna för de moderna flygburna repeterstörsändarna lades här.

Bakgrundsstörning från EB-66 och EA-6 hade god verkan genom att störa spanings- och höjdmättningsradarn för SA-2 batterierna.

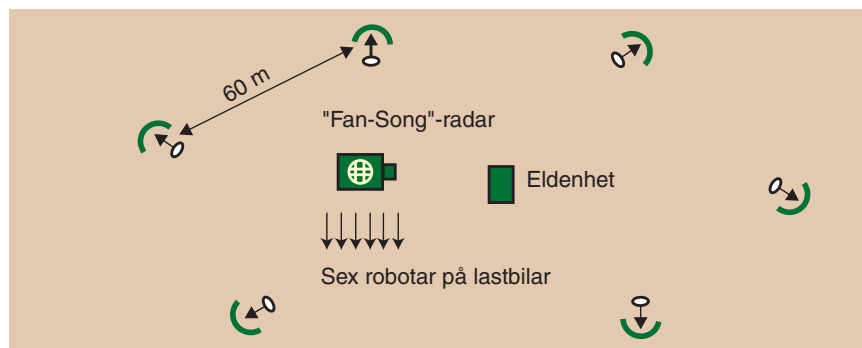


Bild 2:11. Gruppering av SA-2 batteri.

RAF hade under 2:a världskriget försökt slå ut tyska radarstationer med hjälp av Hawker Typhon försedda med radarvarnare och attackraketer. Britterna hade dock ingen större framgång. På grund av hotet från SA-2 beslöt USA 1965 att de skulle prova en motsvarande taktik som britterna.

Fyra tvåsitsiga F-100 FS utrustades med radarvarnare, signalspaningsutrustning och en form av robotskottvarnare. Flygplanen kallades "Wild Weasel". De flög framför sina egna attack- eller bombflygplan och försökte få SA-2 batterierna att starta sina radarstationer. När amerikanerna hittat ett batteri anföll de med raketer eller napalm.

Från och med mars 1966 utrustades luftvärnsjägarna med F-105 och den första operativa signalsökande roboten AGM-45 Shrike som var specialiserad för att slå ut "Fan-Song" radarn. Luftvärnsjägarna hade normalt till uppgift att eskortera och skydda attackplanen när de anföll sina mål.

Båda sidor började använda IR-robotar som jaktbevapning på flygplanen. Som motmedel installerades IR-facklor för att avleda robotarna. Tack vare varnare, motmedel och taktikändringar minskade förlusterna hos amerikanerna till 2% per uppdrag.

Effektiviteten hos SA-2 minskade allteftersom kriget fortskred. Under 1965 behövdes det 15 Guideline för att skjuta ner ett attackflygplan. Mot slutet av 1968 krävdes 50.

Yom Kippurkriget 1973

Den 6 oktober 1973 anföll Egypten och Syrien Israel på två fronter. Syftet var att återta de landområden som Israel erövrat sex år tidigare i det s k sexdagarskriget. Anfallsdag och tid på dagen hade valts med stor omsorg.



Bild 2:12. Lavettfordon till SA-6. Räckvidd 30 km, höjdtäckning 18 km, minsta skjutavstånd 4 km.

Anfallet inleddes under en stor judisk helgdag, Yom Kippur, och en stor mängd militär personal hade permission. Anfällsförberedelserna hade gjorts under stor sekretess och överraskningen var fullständig.

En av anledningarna till att israelerna kunde överraskas var att egyptierna övat anfall mot och övergång över Suezkanalen så många gånger att israelernas vaksamhet trubbats av. Vissa av enheterna lär ha övat sina uppgifter 300 gånger. Vid minst ett av dessa tillfällen hade israelerna dessutom

genomfört partiell mobilisering.

Kl 14.00 började egyptiska MiG-23 och Su-7 anfalla israeliska baser i Sinai. I norr förstörde syriska flygvapnet israeliska radarinstallationer på Golanhöjderna. Strax därefter började araberna störa de israeliska radiokommunikationerna.

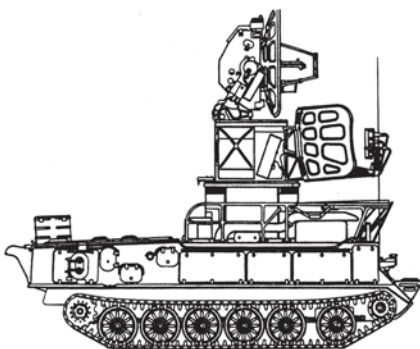


Bild 2:13. Spanings- och eldledningsradar till SA-6.

Israel var dåligt förberett och underrättelsetjänsten hade missat stora delar av den fientliga uppladdningen och arabländernas användning av luftvärnsrobotar. "Essen" i det arabiska luftvärnet var de mobila luftvärnsrobotsystemen SA-6 och kanonluftvärnssystemen ZSU-23. SA-6:ans bättre prestanda (i förhållande till de kända SA-2 och SA-3) och dess eldledningssystem, som till stor del var okänt för västmakterna, gjorde det israeliska flygvapnet nästan försvarslöst. Det resulterade i stora förluster, i storleksordning 50 till 80 flygplan under de första tre stridsdagarna. De varnare och den störutrustning, som varit så effektiv mot SA-2 och SA-3 var ineffektiv mot SA-6 målföljnings- och belysningsradar.

Det visade sig att den nya eldledningsradarn arbetade med två olika höga frekvenser och använde CW-mod (continuous wave – kontinuerlig bärvåg) för målbelysning. Radarvarnarna i de israeliska flygplanen tog enbart emot pulsade signaler. Israelerna saknade metod att störa SA-6 roboten på tele-teknisk väg.

Även "Gun Dish"-radarn för de mobila ZSU-23-4 var en överraskning, eftersom den använde en högre frekvens än tidigare system. Israelernas radarvarnare var byggda för att emot frekvenser upp till 12 GHz, medan "Gun Dish"-radarn arbetade vid 16 GHz. För första gången konfronterades också israelerna med den handburna IR-roboten SA-7 "Strela".

Som en första hjälp fick israelerna remsfällare och fackelfällare från USA där de redan var färdigutvecklade. När dessa installerats på israeliska flygplanen A-4 och F-4 gällde det att utveckla en taktik för överlevnad. Taktiken gick till stor del ut på att bekämpa luftvärnssystemen direkt.

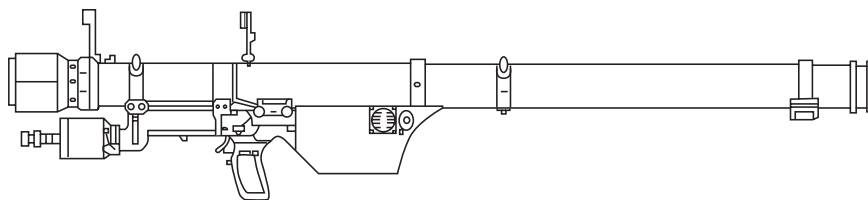


Bild 2:14. IR-robot SA-7 "Strela".

Anfallen byggde på mycket avancerad flygning med användning av remsor och facklor och nyttjande av vissa konstaterade brister hos luftvärnssystemen. Modifierade radarvarnare och störutrustningar som kunde komma tillrätta med de nya frekvenserna installerades efterhand. Med det återvunna absoluta luftherraväldet kunde Israel snart bromsa upp invasionen och återta initiativet. När vapenvilan trädde i kraft hade israelerna förlorat sammanlagt 110 flygplan och ett stort antal piloter. Arabländerna hade förlorat många flygplan men få piloter. Det ska dock tilläggas att egyptiska och sovjetiska tekniker arbetade intensivt under krigets slutskede för att förbättra SA-6 störskydd och på slutet lyckades man även skjuta ner flygplan som var utrustade med störkapslar.

Kriget mellan flottstyrkorna artade sig ur israelisk synpunkt betydligt lyckosammare. Tack vare bättre användning av motmedel, främst remsor och radarstörning, kunde israelerna sänka ett tiotal egyptiska och syriska krigsfartyg utan egna förluster. Den israeliska marinen hade erfarenhet från sexdagars kriget 1967 då man inte nyttjat telekrigföring i tillräcklig omfattning och därför fått en jagare sänkt av en sjömålsrobot avlossad från en liten egyptisk torpedbåt.

Bekaadalen 1982 och invasionen av Libanon

Södra delen av Libanon med den s k Bekaadalen var ockuperad av Syrien. För att hindra israelerna att få luftherravälde hade syrierna installerat 19 luftvärnsrobotbatterier i dalen.

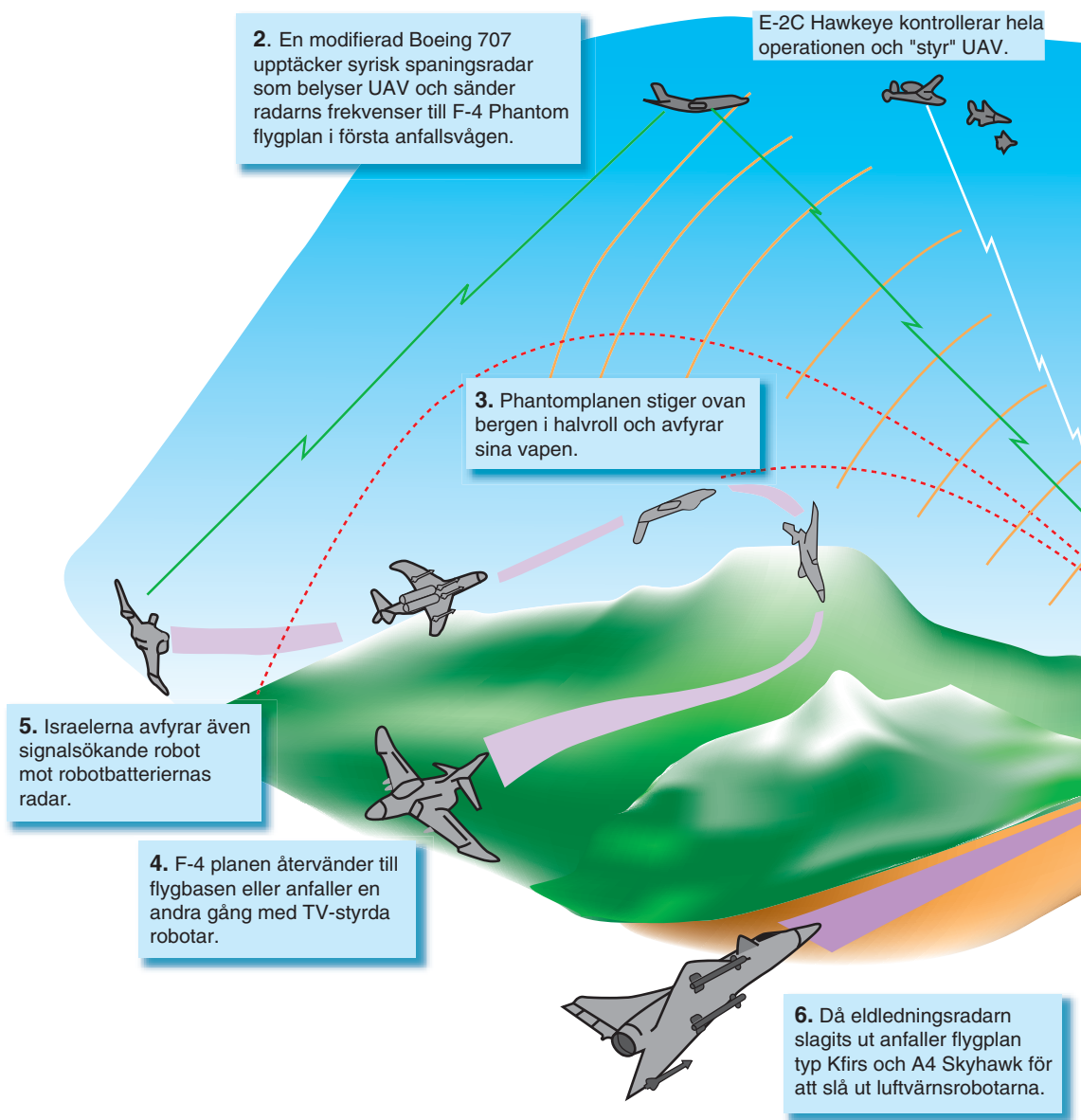


Bild 2:15. Bekaadalen 1982 och invasionen av Libanon.

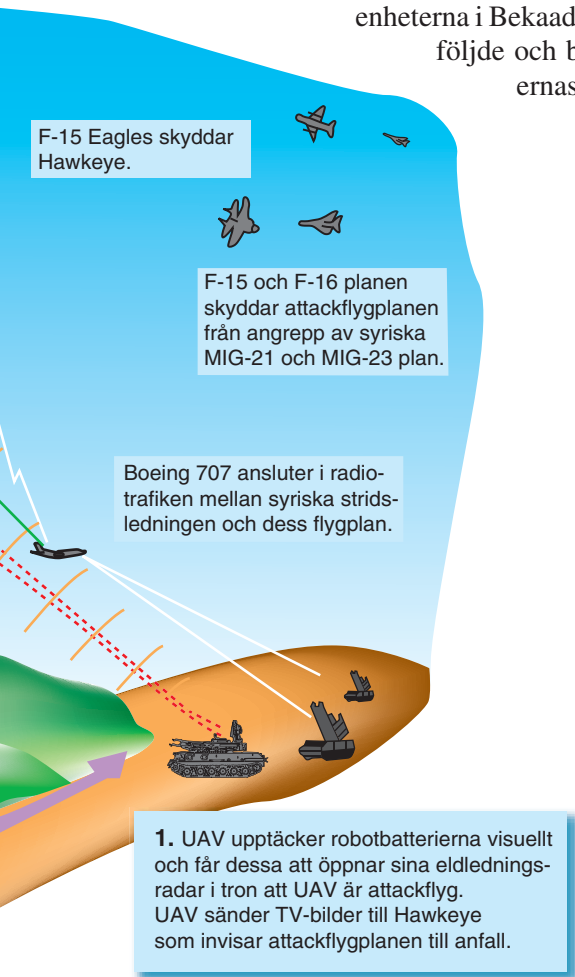
Erfarenheterna från Yom-Kippurkriget gjorde att israelerna inför sin invasion av Libanon satte in stora resurser för att slå ut det syriska luftförsvaret.

Genom ett briljant koordinerat anfall lyckades israelerna slå ut 17 av 19 robotbatterier. De luftvärnssystem som israelerna i första hand inriktade sig mot var SA-6 och ZSU-23 vilka orsakat stora förluster i Yom-Kippurkriget. SA-2 och SA-3 hade man redan utvecklat motmedel emot.

Första steget var att genom signalspaning och optisk spaning från bl a UAV Scout lokalisera och identifiera de syriska luftvärnsenheter i Bekaadalen. Genom att radarstationerna mål-följde och belyste UAV:erna kunde radarstationernas data fastställas.

Nästa steg var att sätta in bakgrundstörning från en Boeing 707 vilken även hade till uppgift att förmedla radardata från signalspaningen till luftvärnsjägarna (Wild Weasel). Därefter angrep luftvärnsjägare, beväpnade med signalsökande robotar typ Shrike och Wolf samt attackroboten Maverick, de syriska eldledningsstationerna. När eldledningsradarstationerna var utslagna anföll attackflygplan typ Kfir och Skyhawk robotenheterna och förstörde dem.

Attackföretagen skyddades av F-15 och F-16-flygplan vilka hindrade de syriska MiG-23 jaktplanen från att ingripa. Vid de efterföljande luftstriderna lyckades israelerna skjuta ner 82 syriska flygplan mot en förlust av endast två egna flygplan.



Gulfkriget

Den 2 augusti 1990 invaderades Kuwait överraskande av Irak. Den irakiska militärledningen hade lagt stor vikt vid att dölja sina trupprörelser från att upptäckas via satellit eller signalspaning. Senare samma dag antogs en FN resolution som krävde att Irak omedelbart skulle dra tillbaka sina trupper. Den irakiske presidenten Saddam Hussein hörsammade inte FN:s resolutionen.

Den 6 augusti deklarerade president George Bush d ä att USA skulle starta operation Desert Shield för att skydda SaudiArabien från att invaderas. Bland de första amerikanska flygplan som nådde området var RC-135 Rivet Joint, vilket hade till uppgift att kommunikationssignalspana mot området. Under de följande dagarna anlände enheter för att bekämpa irakiskt luftförsvaret såsom EF-111 Raven, Wild Weasel F-4G och EC 130 Compass Call (kommunikationsstörning).



Bild 2:16. RC-135 Rivet Joint.

Efter en tid började planeringen för ett offensivt angrepp mot Irak för att tvinga irakierna att lämna Kuwait. Brigadgeneral Larry Henry fick uppgiften att planera hur det irakiska luftförsvaret skulle slås ut.

Luftförvarssystemet Kari

Planeringen började med att försöka analysera uppbyggnaden av det irakiska luftförvarssystemet, benämnt Kari (Irak skrivet baklänges). Systemet hade byggts med hjälp av franska ingenjörer under 1980-talet. Eftersom Frankrike nu var en av USA allierade, så fanns goda möjligheter att analysera systemets prestanda. Kari's centrala nav, var det nationella luftförvarscentret utanför Bagdad. Härifrån leddes luftförsvaret av hela landet. Under detta centrum fanns fem luftförvarskommandon, vilka tillsammans svarade för luftförsvaret av hela Irak och Kuwait. Från kommandona styrdes såväl jaktflyg som luftvärnskanoner och luftvärnsrobotsystem. I Kari

ingick en stor mängd olika typer av radarstationer, vilket gjorde att systemet var väl spritt över frekvensbandet och man hade en god redundans. Kommunikationssystemet som band samman de olika kommandona sinsemellan samt den centrala luftförsvarsledningen, använde sig av flera parallella kommunikationsmedel. Härvid nyttjades UHF-, VHF-, HF-radio, radiolänk samt fasta förbindelser. Kari kontrollerade en betydande vapenarsenal. USA:s underrättelsetjänst bedömde att Irak disponerade 160 jaktflygplan av typ MiG-23, MiG-25, MiG-29 och Mirage F1. Runt Bagdad, det mest luftförsvarade området, fanns 550 luftvärnsrobotenheter av typ SA-2, SA-3, SA-6, SA-8 och Roland. Vidare fanns 1 200 luftvärnskanoner med kalibrar från 23 mm till 85 mm.



Bild 2:17. MiG-29.

Underrättelser

För att kunna hitta svagheterna i Iraks luftförsvarssystem så började de allierade att göra skenanfall med jakt och attackflygplan i närheten av den irakiska gränsen. Vid dessa tillfällen fanns längre bak RC-135 Rivet Joint beredda att signalspana på hur det irakiska försvaret reagerade på ”anfällen”. En ytterligare fördel var att de upprepade skenanfallen med tiden trubbad av vaksamhet hos det irakiska luftförsvaret.

Brigadgeneral Larry Henry var under skenanfallen särskilt intresserad av hur flygkommandona och jaktledningen skulle agera. Skulle de agera självständigt eller skulle de bara skicka sina underrättelser vidare uppåt i kommandokedjan? Man upptäckte att den mesta informationen vidareförmedlades såväl mellan sektorerna som uppåt i kommandokedjan. De olika delarna i försvaret larmade följaktligen varandra.

Man upptäckte även en jaktledningscentral där informationen bara sändes uppåt i kedjan aldrig i sidled. Det tycktes som om personalen i den här kommandocentralen i Nukhayb aldrig pratade med någon annan. Det här

var den svaga punkt som brigadgeneral Larry Henry hade letat efter. Vad som var förvånande var att det var samma luftförsvarssektor som israelerna hade flugit igenom då de 1981 bombade den irakiska kärnreaktorn i Osirak. Uppfattningen blev att detta skulle vara ett lämpligt ställe att flyga igenom vid den inledande attacken mot Bagdad. Om den här luftförsvarssektorn slogs ut under inledningen skulle inte grannsektorerna bli alarmerade genom att kommunikationen försvann.

Planen

När amerikanerna hade kartlagt Kari-systemet kunde de börja planera hur de skulle slå ut systemet.

Planen gick ut på att inledningsvis genom precisionsanfall slå ut det nationella luftförsvarscentret samt ett antal av jaktledningscentralerna. Samtidigt skulle det genomföras ett samordnat angrepp för att neutralisera luftvärnsrobotsystemen som försvarade området kring Bagdad.

Amerikanerna hade noggrant studerat det israeliska anfallet mot de syriskas luftväret i Bekaadalen. Detta anfall skulle användas som modell för alliansens betydligt mer storskaliga SEAD-plan för att trycka ner och oskadliggöra det irakiska luftväret.

Den allierade planen drog följande nytta av de israeliska erfarenheterna genom

- att underrättelser skaffa sig detaljerad bild av irakiernas luftförsvar.
- att genomföra ett skenanfall med hjälp av skenmål, omedelbart före den verkliga attacken. Man hade noggrant analyserat hur lång tid det skulle ta att ladda om de större luftvärnsrobotsystemen. Syftet med skenanfallet var dels att få irakierna att skjuta iväg de robotar som fanns på lavetterna så att de inte hann ladda om före det verkliga anfallet, dels att få mer underrättelser.
- att med störning från flygplanen EA-6B och EF-111 störa ut robotsystemens spaningsradarstationer så att robotsystemen skulle bli tvungna att använda sina smallobiga eldledningsradarstationer för att söka efter målen. Detta skulle göra eldenheterna mer sårbara för anfall med hjälp av signalsökande robotar.
- att med luftvärnsjägare F-4G och marinens EA-6B och F/A-18 genomföra ett samordnat anfall mot robotsystemens eldledningsradar, med hjälp av signalsökande robotar.



Bild 2:18. F/A-18 Hornet.

Kari kontrollerade luftförsvaret i Irak medan i det ockuperade Kuwait användes mobila luftvärnsenheter som t ex SA-6, SA-8 och Roland. Brigadgeneral Larry Henry ansåg att dessa system var ett stort problem eftersom de var mobila och kunde uppträda autonom. Men lyckligtvis, för alliansen, använde irakierna sina SA-6 mer som syrierna hade gjort än som Sovjetunionen hade för avsikt att använda dem. De flyttade inte runt dem med sina arméförband, utan uppträdde mer statiskt för att skydda det republikanska gardet.

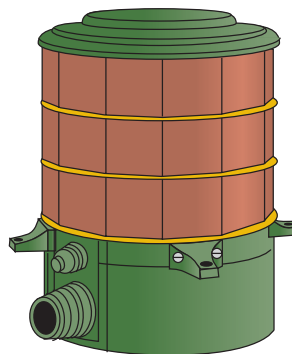


Bild 2:19. ALQ-144.

En analys visade att Irak hade en stor mängd IR-styrda robotsystem med kort räckvidd. Dessa utgjordes till stor del av den sovjetiska nya generationens SA-14 Gremlin och SA-16 Grimlet. Mot dessa system hade det befintliga IR-störaren ALQ-144 bara marginell effekt. En modifierad IR-störare ALQ-144 A fanns som prototyp men var ännu inte testad. Man visste inte hur mycket bättre den var än den gamla typen. Genom en snabb insats så införde man trots detta modifieringen på en stor del av sina helikoptrar. När Desert Storm började fanns ALQ-144 A på två tredjedelar av Apache-helikoptrarna.



Bild 2:20. Luftvärnsrobotsystemet SA-8.

Ett exempel, som visar hur viktigt alliansen ansåg det vara att ha full kontroll över motståndarens alla telesystem, är uppgiften om ett blandat amerikanskt/brittiskt SOF-team (Special Operation Force). Understödda av heli-

2. Historik

koptrar, några dagar före flygoffensiven flögs de in på djupet av det ockuperade Kuwait och hemförde ett komplett SA-8 luftvärnssystem inkluderande manualer och teknisk personal. Anledningen till detta drastiska grepp var troligtvis att signalspaningen misslyckats med att helt fastställa detta systems prestanda.

Den erövrade SA-8 gjorde sedan det möjligt att ge radarvarnarna och motmedelsystemen i alla allierade flygplan optimal inställning mot detta system.

Under månaderna före Desert Storm skedde en kontinuerlig signalspaning 24 timmar om dygnet för att bestämma position och identitet hos Iraks samtliga stridskrafter. Under den här tiden programmerades USA:s telekrigssimulatorer REDCAP och AFEWS med en detaljerad bild av det irakiska luftförsvarssystemet. Varje del av USA:s telekrigsutrustning och taktik testades för att bestämma dess effektivitet. Personal som arbetade med REDCAP ansåg att Irak hade ett mycket hierarkiskt ledningssystem, innebärande att beslut var tvungna att fattas på mycket hög nivå och det delegerades sällan. De lägre delarna i organisationen hade liten autonomitet. För att slå ut denna typ av ledningssystem avsåg man att förstöra radarstationerna så att ledningen får en ofullständig information samt störa ut sambandet för att ytterligare förvirra.

Tabell 2:1. USA:s telekrigsresurser inför Gulfkriget 20 januari 1991

Placering	Typ	Antal
At Taif, Saudi Arabien	EF-111 A	18
Incirlik, Turkiet	EF-111 A	6
Hangarfartyg	EA-6B	27
Shaik Isa, Bahrain	EA-6B	12
Saudi Arabien, diverse baser	EC-130H	15
Incirlik, Turkiet	EC-130H	3
Shaik Isa, Bahrain	F4-G Wild Weasel	48
Incirlik, Turkiet	F4-G Wild Weasel	12
Incirlik, Turkiet	F-16C (HARM-bärare)	13
Jeddah, Saudi Arabien	EA-3B	2
Bahrain	EA-3B, P3-B	3
Masirah, Oman	EP-3E	1
TOTALT		160

Desert Storm

De allierade hade fastställt tidpunkten då flygangreppet skulle inledas till den 17 januari 1991 kl 0300. De första flygplanen som skulle ingå i anfallet lyfte från Louisiana USA klockan K- 11 timmar 35 minuter. Det var sju B-52:or som var och en var utrustade med sju kryssningsrobotar typ AGM-86.

Nästa flygföretag att lämna sina baser (K-2 timmar), var åtta attackhelikoptrar AH-64 Apache. Målet för helikoptrarna var två lågfrekventa spaningsradarstationer med lång räckvidd belägna ca 80 km in i Irak. De här radarstationerna var underställda det flygkommando som brigadgeneral Larry Henry hade kommit fram till att det var den svaga länken hos irakierna. Genom att slå ut dessa radarstationer skulle helikoptrarna öppna en korridor genom vilken sedan resten av alliansens flyg oupptäckta skulle kunna nå Bagdadområdet. Orsaken till att man hade valt helikoptrar att utföra detta viktiga anfall var flera:

1. Lågfrekventradar är svåra att slå ut med SSRB,
2. Lågfrekvensradar har bra möjligheter att upptäcka stealthflygplan,
3. Deras förmåga att stanna kvar i området och göra upprepade attacker, för att få en högre sannolikhet att målet skulle slås ut.

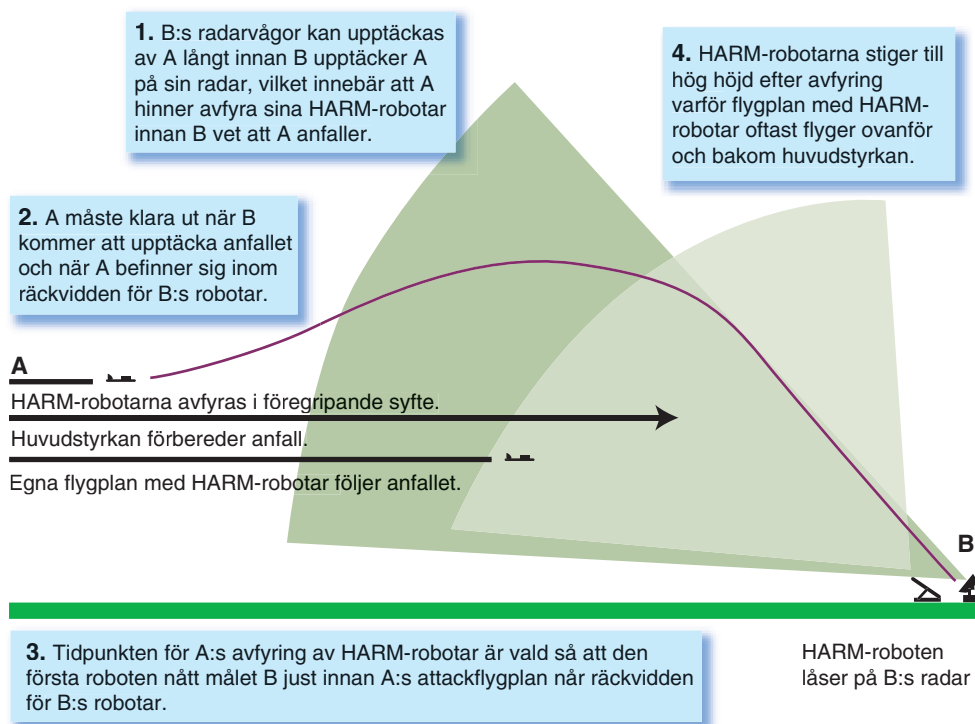


Bild 2:21.HARM-robot.



Bild 2:22. Apache

Klockan 0131 (K- 1 timme och 29 minuter) avfyrares den första kryssningsroboten från fartyget USS San Jacinto i Röda Havet. Totalt avfyrades 52 kryssningsrobotar från fartyg under det inledande anfallet. K- 45 minuter formerade sig de olika flygföretagen med attackflygplan F-117, F-111, F-15E, A-6 och Tornado och började röra sig mot den irakiska gränsen.



Bild 2:23. Tornado.

Som eskortskydd flög F-14, F-15 och F-18. Varje flygplan var utrustat med störustrustning för egenskydd, radarvarnare samt rems- och fackelfällare. För att ytterligare förvilla radarstationerna understöddes de olika anfallsföretagen med bakgrunds- och medstörning från EF-111 och EA-6B. Tillsammans eller före attackplanen flög även EA-6B, F4-G, F/A- 18 och A-7 med signalsökande robotar beredda att bekämpa fiendliga eldenheter som startade sin radar.

En stund före de första attackflygplanen nådde det luftvärnsförsvarede området så inleddes en vilseledningsmanöver benämnd "Pubas party". 38 BQM-74 Chukar skenmål (UAV) sändes iväg från baser i Saudiarabien. De flög i formationer på medelhög höjd mot Bagdad för att efterlikna attack-

företag. Vid samma tidpunkt släpptes även de glidflygande skenmålen TALD (Tactical Air Lunched Decoys) i riktning mot Bagdad. De irakiska spaningsradarstationerna upptäckte skenmålen och när de kom inom luftvärnets porté gavs order om att öppna eld. Eldledningsradarstationerna började följa målen och salva efter salva med robotar och granater avfyrades mot skenmålen. Vid de irakiska batterierna rådde stor upphetsning, målen var som att skjuta på "sittande fågel". Oturligt nog för irakierna hade dock inte dessa "fåglar" kommit ensamma. En bit bakom och under skenmålen flög även tolv F-4G Wild Weasel, två EA-6B, tio F/A-18 Hornet och åtta A-7, alla fulladdade med roboten AGM-88 HARM. Två EF-111 och två EA-6B skyddade dem genom bakgrundsstörning.



Bild 2:24. F/A-18 Hornet.

Precis enligt plan svalde irakierna betet och luftvärnsjägarna kunde i lugn och ro rikta in sina signalsökande robotar mot radarstationerna. Enligt vissa rapporter avlossades minst 200 HARM under denna del av natten.

Nästa del i operationen inleddes klockan 0238 (K- 22 minuter). Då började attackhelikoptrarnas angrepp mot de två irakiska förvarningsstationerna. Helikoptrarna var utrustade med laserstyrda Hellfirerrobotar, 70 mm raketer samt sin ordinarie 30 mm kanon. Besättningen hade fått i uppgift att slå ut radarsystemen i en bestämd prioritetsordning. Först elgeneratorerna, sedan sambandsutrustningen, därefter själva radarn och slutligen övriga mål. Resultatet blev att båda radarstationerna slogs ut.

Analyser hade visat att de irakiska luftförsvarscentralerna normalt sett strömförsörjdes från det vanliga nationella elnätet. Vid strömbortfall kunde de få ström från reservkraftaggregat. Ett antal Tomahawkrobotar hade programmerats att anfalla kraftförsörjningen som t ex elcentraler, transformatorstationer m m. Robotarna var lastade med trådrullar med kolfibertrådar. Rullarna sköts ur roboten när den passerade över sitt mål. När rullarna föll mot marken nystades kolfibertrådarna ut som serpentiner. Då de hamnade över kraftledningar eller i transformatorer uppstod kortslutningar varvid elnätet slogs ut. När strömmen försvann slutade datorer m m i luftförsvarscentralerna att fungera under ett antal viktiga minuter innan reservkraften hunnit startas.

2. Historik

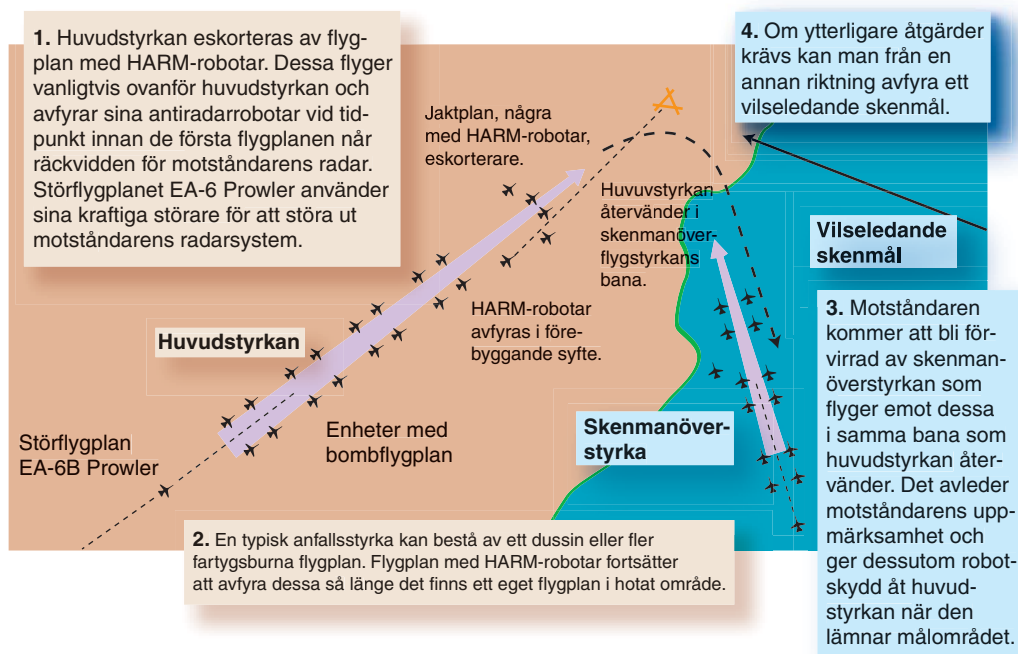


Bild 2:25. Exempel på amerikanskt flygangrepp under Gulfkriget.

Nästa steg för att skapa en säker väg för den efterföljande flygplanen bestod i att ett antal F-117 slog till mot ett antal välförsvarade nyckelmål som bl a luftförsvarscentralen i Nukhayb, vilken brigadgeneral Larry Henry hade ansett vara den svaga länken. Klockan 0251 (K- 9 minuter) träffade en styrd bomb luftförsvarscentralen och slog ut den. Vidare slog F-117 flygplan ut den centrala telefonväxeln i Bagdad och flygstaben. Klockan 0302 träffade kryssningsrobotar presidentpalatset, Báath-partiets högkvarter och robotlager. Vid samma tidpunkt började kryssningsrobotar som släppts från B-52 orna att slå ut kommunikationer, luftförsvar och flygfält runt Mosul i norra Irak. Med luftförsvarscentralen i Nukhayb och två av dess underställda radarstationer utslagna så hade en säker korridor skapats genom iraks luftförvar. Av de luftvärnsrobotsystem som skulle kunnat öppna eld mot angriparna så var många tysta eftersom deras eldledningsradar redan slagits ut av signalsökande robotar under det inledande skenanfallet. Andra eldenheter hade slut på robotar efter det att robotarna skjutits iväg mot skenmålen. Genom den säkrade korridoren strömmade sedan mängder av attackflygplan på väg mot mål i bl a Bagdadområdet. Under den första natten flög koalitionen 671 bemannade flygföretag mot Irak och Kuwait. Förlusterna uppgick till endast ett flygplan, en F/A-18.

Elektronisk krigföring under Gulfkriget

Även F-117 fick understöd av störning från EF-111 och EA-6B vid sina angrepp. Under de två första veckorna utgjorde 70 % avstörningen "områdesstörning" dvs alla inom ett område fick nytta av störningen. 30% av störningen utgjorde störning till ett speciellt företag (s k man-man) Den senare metoden användes mot tungt luftförsvarade områden som Bagdad och Basra. Under senare delen av kriget då de allierade fick bättre kontroll på fienden så ökade andelen områdesstörning.

"Wild Weasel" flygplanen (luftvärnsjägare) utrustades med olika typer av materiel och vapen beroende på typ av uppdrag. En del letade efter SA-6 andra efter SA-3. Efter den fjärde dagen hade radarsändningen nedgått så kraftigt på den irakiska sidan, att det skapade problem hos de allierade. Berodde det på att radarstationerna hade slagits ut eller var de avsiktligt tysta beredda att slå till vid senare tillfälle? Eftersom förluster aldrig uppstod så drog man efter ett antal dagar slutsatsen att man faktiskt lyckats slå ut huvuddelen av det irakiska luftvärnet.

I marinflyget kunde dels EA-6B men även attackflygplanen F/A-18 och A-7 skjuta signalsökande HARM-robotar. Uppfattningen var att man fick ut avsevärt större effekt av de robotar som avfyrares från EA-6B då den hade bättre signalspaningsutrustning samt flera störoperatörer ombord på varje flygplan. Förmågan att välja ut ett speciellt mål blev på detta vis avsevärt större. Besättningen på de andra flygplanen hade ingen förmåga att skilja olika typer av radarstationer från varandra. Detta ledde till att de sköt så många robotar att de fick börja ransoneras. Under kriget låste signalsökande robotar vid några tillfällen på egna radarstationer. Vid två tillfällen låste de på egna artillerilokaliseringsradar. Vid det ena tillfället döddes en marinkårssoldat.

Vid kommunikationsstörning var frågan om man skulle störa ut en radioförbindelse eller om det var lämpligare att lyssna och dra nytta av informationen. I Vietnam hade man mycket sällan fått tillåtelse att störsända. Till skillnad mot i Vietnamkriget fanns en plan för hur man skulle agera vilket gjorde att det var möjligt att vid olika tillfällen använda valfri metod.

Några amerikanska slutsatser av kriget

Ungefär 7% av vapnen som användes under flygkriget var s k precisionsvapen. Alliansens förluster var ungefär 0,04% per flygföretag.

2. Historik

Tabell 2:2. Amerikanska flygförluster genom fientlig eldgivning fördelat på olika eldenheter.

Eldenheter	Förluster
Jakt	1
Kanonluftvärn	7
Lvrobot (radarstyrd)	5
Lvrobot (IR-styrd)	12
Annat	1
Okänt	1
Totalt	27

Under Vietnamkriget hade de amerikanska piloterna oftast bara haft ett luftvärnsrobotsystem att bekymra sig för och aldrig mer än två. I Irak fanns minst tio olika luftvärnsrobotsystem. Orsaken att de inte gav upphov till fler förluster kan till stor del tillskrivas den elektroniska krigföringen. Detta var det första kriget där en fungerande störutrustning var ett villkor för om ett flygplan skulle delta i ett anfall eller inte. Under Vietnamkriget hade huvuddelen av förlusterna orsakats av kanonluftvärn. I Gulfkriget orsakades 70 % av förlusterna av luftvärnsrobotar (se tabellen ovan). Huvuddelen av dessa förluster orsakades av IR-styrda robotar som t ex SA-9 Gaskin, SA-13 Gopher och de portabla SA-14 Gremlin och SA-16 Grimlet. De IR-styrda robotarna har fördelen att de i princip inte gav piloten någon förvarning före de avlossades. De var därför också svåra att bekämpa med luftvärnsjägare. Genom den kraftfulla luftvärnsbekämpningen vid de inledande anfällen utsattes de radarriktade systemen för förluster vilket ledde till att de överlevande systemen sände mycket sparsamt. Detta var troligen orsaken till att de radarstyrda luftvärnssystemen endast orsakade 18 % av förlusterna. Man bör här notera att Iraks SA-2, SA-3 och SA-6 var minst 20 år gamla. De radarstyrda systemen gav piloten förvarning då de började belysa flygplanet varvid piloten fick tid att sätta igång motåtgärder som elektronisk störning eller remsfällning. De med kort räckvidd som SA-8 Gecko och Roland var mer effektiva. Dessa fanns emellertid bara i ett mindre antal. Två flygplan, en F-14 och en F-15E, sköts ner av SA-2E. Detta robotsystem hade dock genomgått ett antal olika modifieringar vilket visar att även ett i grunden gammalt system kan utgöra ett hot om det modifieras undan för undan.

Kanonluftvärn svarade för 26 % av förlusterna. Orsaken till att det inte blev mer var troligen att alliansen aldrig flög under 3 000 m höjd om det inte behövdes för att styra in något vapensystem.

Det är viktigt att inse att de allierades framgång inte bara berodde på tekniken utan lika mycket på träning och taktik.

Radarlära

3

Ordet radar är en förkortning av det engelska uttrycket "Radio detection and ranging", vilket fritt översatt innebär att med hjälp av radiovågor upptäcka ett föremål och bestämma avståndet till det. Radarprincipen innebär att en elektromagnetisk våg sänds ut och studsar på målet. Genom att mäta tidsdifferensen till ekot kommer tillbaka kan avståndet bestämmas. Hastighet på föremålet kan bestämmas genom att mäta frekvensskillnaden mellan utsänd och mottagen signal (den så kallade dopplerfrekvensen). Detta var känt redan i slutet av 1800-talet men av praktiskt användbara radaranläggningar blev inte möjligt att konstruera förrän strax före andra världskriget.

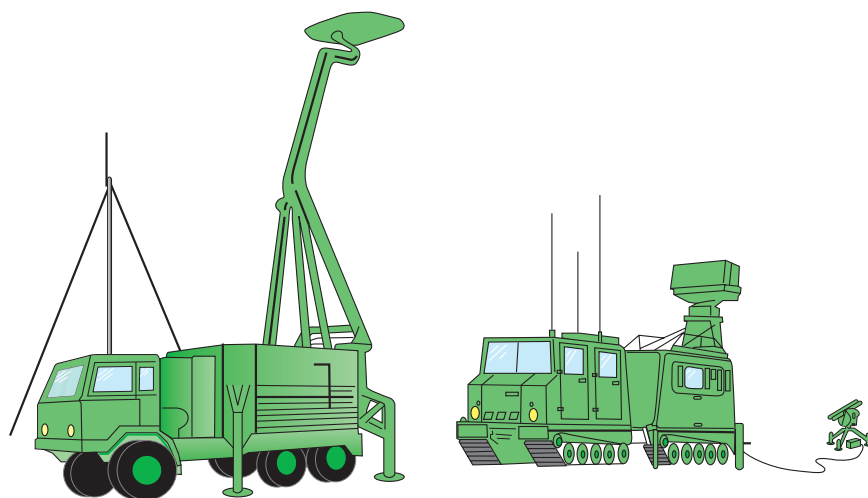


Bild 3:1. PS-70 och PS-91.

De elektromagnetiska vågor som används i radarsammanhang ligger betydligt högre i frekvens än de man oftast använder i radioutrustningar. Frekvensen brukar ligga någonstans i området 1-30 GHz, vilket ger våglängder mellan 30 och 1 cm. Dessa högfrekventa signaler brukar vanligtvis kallas mikrovågor.

3. Radarlära

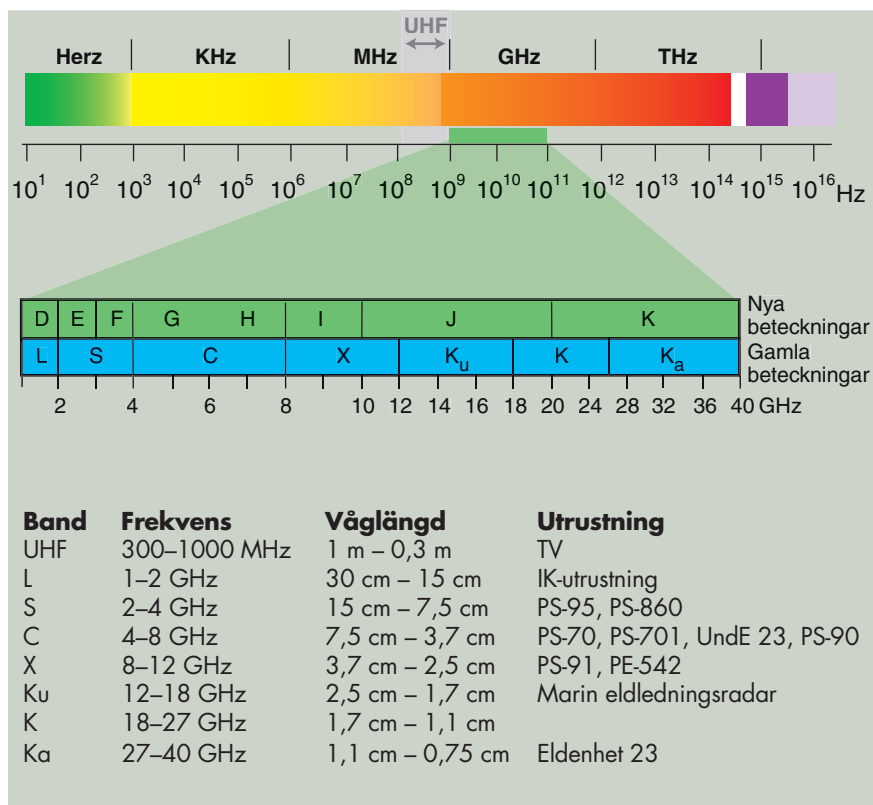


Bild 3:2. Radarns frekvensband.

Militära radarsystem används för många olika ändamål för att mäta avstånd, närmandehastighet och riktning till ett målobjekt t ex vid

- spaning
- inmätning- och eldledning
- belysningssändare för t ex semiaktiva robotar
- artillerilokalisering
- väderobservation
- navigering
- målsökning
- zonrör.

Det finns två olika huvudtyper av radar

- pulsradar
- CW-radar (continuous wave).



Bild 3:3. CW-radar och pulsradar.

Pulsradarn mäter vinkel och avstånd till målet. CW-radarn sänder en kontinuerlig signal och kan i sitt grundutförande mäta vinkel och hastighet på målet men inte bestämma avståndet. Det finns varianter såsom FM CW-radar som använder en frekvensmodulerad CW-signal vilket ger den viss förmåga att även mäta avstånd.

Faktorer som påverkar radarns räckvidd

Mikrovågor utbreder sig i atmosfären ungefär på samma sätt som ljus. Signaldämpningen är väderberoende och en radars räckvidd kan därför variera kraftigt mellan olika tidpunkter. Generellt påverkas mikrovågor betydligt mindre av vädret än vad ljus gör.

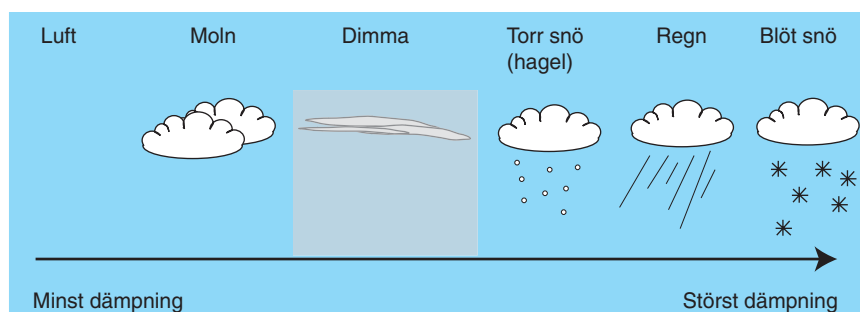


Bild 3:4. En radarsignal dämpas i atmosfären av vatten, vattenånga och gaser i luften.

Hög luftfuktighet ger högre dämpning än torr luft. Dämpningen är även våglängdsberoende, ju större våglängd, ju mindre är dämpningen. Ser man bara till räckvidden är en radar på S-bandet (10 cm) att föredra framför en på X-bandet (3 cm).

Vid vågutbredning i fri rymd kan radarräckvidden beräknas med hjälp av den så kallade radarekvationen. Den uttrycker hur mycket olika parametrar

som t ex effekt, antennvinst och våglängd inverkar på utbredningen. Att utföra en absolut räckviddsberäkning med hjälp av ekvationen är inte meningsfullt då alltför många ingående faktorer är svåra att uppskatta och den gäller i princip endast under ideala förhållanden. Vad den bör användas till är att se vilken inverkan exempelvis byte av pulslängd får på räckvidden under vissa givna förhållanden.

Radarekvation

$$R_{max} = \sqrt[4]{\frac{P_s \cdot G^2 \cdot \lambda^2 \cdot \sigma}{(4 \cdot \pi)^3 \cdot SNR_{min} \cdot k \cdot T_{ekv} \cdot B_{br} \cdot L}} \Rightarrow$$

För en matchad mottagare gäller att $B_{br} = \frac{1}{t_p} \Rightarrow$

$$R_{max} = \sqrt[4]{\frac{P_s \cdot t_p \cdot G^2 \cdot \lambda^2 \cdot \sigma}{(4 \cdot \pi)^3 \cdot SNR_{min} \cdot k \cdot T_{ekv} \cdot L}}$$

R_{max} = radarns maximala räckvidd (m)

P_s = radarns uteffekt (W)

t_p = pulstid (s)

G = antennförstärkning (ggr)

λ = våglängd (m)

σ = radarmålarea (m²)

SNR_{min} = minsta signalbrusförhållande för att signalen ska detekteras (ggr)

k = Boltzmannskonstant $1.38 \cdot 10^{-23}$ (J/K)

T_{ekv} = ekvivalenta brustemperaturen (K)

B_{br} = Mottagrens bandbredd (Hz)

L = förluster (ggr)

Några slutsatser av ekvationen:

- För att fördubbla radarns räckvidd så måste uteffekten ökas 16 gånger.
- Radarns räckvidd kan ökas genom att öka sändpulsens längd men även här krävs 16 gånger så lång sändpuls för att fördubbla räckvidden.
- Att halvera minsta erforderliga signalbrusförhållande har samma inverkan som att fördubbla uteffekten.
- För att fördubbla räckvidden behöver antennförstärkningen öka 4 gånger.

Notera att

- ekvationen gäller för en puls i vakuum.
- med bibehållen antennstorlek så påverkar en ändring av våglängden direkt radarns antennförstärkning.
- atmosfärsförluster är starkt beroende av våglängden.

Antenn- och målhöjd

Mot föremål på låg höjd bestäms räckvidden till största delen av det som kallas radarhorisonten. På grund av jordytans krökning finns det en horisont som man inte kan se bortom. Hur långt bort den ligger beror dels på hur högt upp man befinner sig, dels hur högt det föremål man vill se befinner sig. Man brukar i dessa sammanhang tala om tre olika horisonter, den geometriska, den optiska och slutligen radarhorisonten.

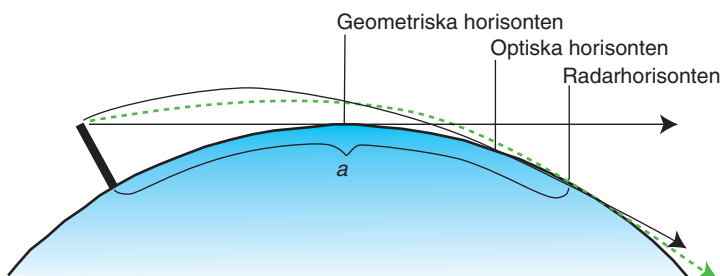


Bild. 3:5. Radarhorisonten jämförd med övriga horisonter.

Den geometriska horisonten kan beräknas rent matematiskt beroende på jordens omkrets. Både ljus- och mikrovågor bryts i atmosfären. Atmosfären har ett med höjden avtagande brytningsindex. Ett lägre brytningsindex medför högre hastighet för den elektromagnetiska vågen. Brytningen får till följd att de övre delarna av en vågfront som utbreder sig längs jordytan färdas fortare än de lägre delarna. Vågfronten ”tippar” framåt, utbredningsriktningen tycks följa jordytans krökning. Brytningsindex är frekvensberoende, därför kommer inte radarhorisonten och den optiska horisonten att hamna på samma ställe. Radarhorisonten ligger ca 15% längre bort än den geometriska horisonten, den optiska ligger ungefär mitt emellan de båda andra.

Avståndet (a) till radarhorisonten kan beräknas med formeln

$$a = k \left(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2} \right) \text{ [km]} \text{ där}$$

k = konstant (Om konstanten sätts till 4,12 fås avståndet i kilometer.)

h_1 = radarantennhöjden i meter

h_2 = flygplanets höjd i meter

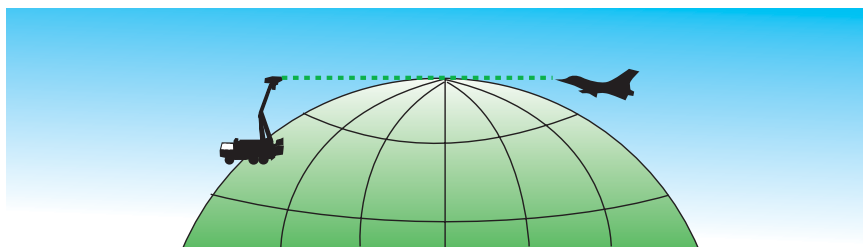


Bild 3:6. Radarhorisont.

Dessa beräkningar gäller vid ett tänkt normalförhållande som kallas standard-atmosfär. I verkligheten är förhållandena annorlunda beroende på årstiden. Radarvågorna bryts oftast mer än i det teoretiska fallet och ger därmed helt andra räckvidder än i teorin. Hur lång räckvidden blir bestäms av luftens brytningsindex som bestäms av luftfuktighet, lufttryck och temperatur.

Konstruktionsprincip

En pulsradar kan konstrueras på olika sätt beroende på en mängd olika faktorer men den består i grunden av följande beståndsdelar: antenn, sändare, mottagare, sändning/mottagningsväxel (S/M-växel) och en eller flera indikatorer.

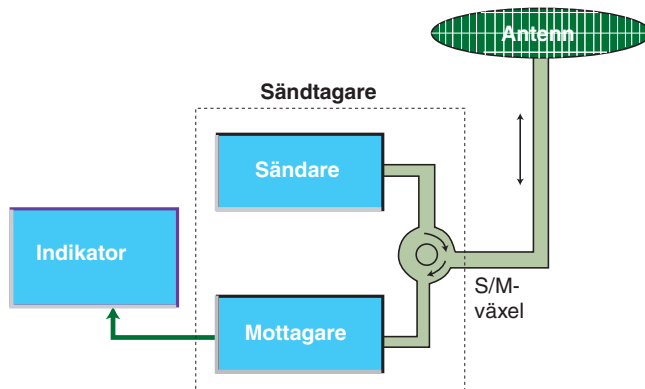


Bild 3:7. Pulsradarns principiella uppbyggnad.

S/M-växeln ser till att den utsända signalen går till antennen och att den mottagna signalen går från antennen till mottagaren. Sändare, mottagare och S/M-växel sitter oftast monterade tillsammans i en enhet som kallas sändtagare. Mellan antennen och sändtagaren leds mikrovågorna i en s k vågledare, oftast i form av rektangulära rör. Vågledare används eftersom de dämpar signalerna mindre än kablar.

CW-radar och bistatisk radar har ingen S/M-växlare utan använder separata sändar- och mottagarantenner.

Radarns arbetsprincip

Avståndsmätning

Den vanligaste radartypen är pulsradarn. Som namnet antyder skickar den ut mikrovågor i form av pulser i luften. Vågorna reflekteras mot föremål och studsar tillbaka som ett eko. Hastigheten hos elektromagnetiska vågor är samma som ljusets (c). Genom att mäta tiden (t) från det en utsänd puls lämnar radarn tills den kommer tillbaka, kan man avgöra avståndet (a) till det föremål den reflekterats mot med hjälp av formeln:

$$a = \frac{c \cdot t}{2} \quad [\text{m}]$$

där c = ljusets hastighet ($3 \cdot 10^8$ m/s).

För att med säkerhet kunna upptäcka ett föremål krävs att det träffas av flera pulser. Radarn sänder därför kontinuerligt ut pulser med ett visst tidsintervall, som benämns radarns pulsrepetitionsintervall (PRI) och mäts i sekunder. Ofta används benämningen pulsrepetitionsfrekvens (PRF) där man istället anger antal pulser per sekund. Det är bara ett annat sätt att uttrycka samma sak. De olika tidsbegreppens inbördes förhållanden visas i bild 3:8.

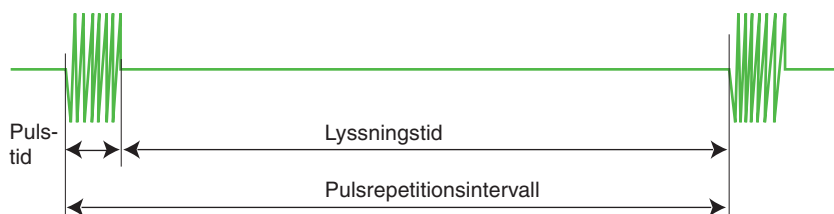
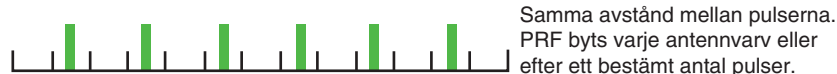


Bild 3:8. Definition av olika pulsparametrar.

Pulstiden är den tid själva sändpulsen varar. Pulsrepetitionsintervallet definieras som tiden från en pulsstart tills nästa puls börjar, dvs en arbetscykel hos radarn. Förhållandet mellan dessa båda tider är inte skalenligt ritat i bild 3:8. I verkligheten är pulstiden ungefär en tusendel av pulsrepetitionsintervallet. Begreppet lyssningstid är den tid under vilken mottagaren kan samla in information.

Två sätt att variera tiden mellan sändpulserna benämns PRF-växling och staggered PRF.

PRF växling



Staggered PRF



Bild 3:9. PRF-moder.

Upptäcktssannolikhet

När ett eko kommer tillbaka till radarns mottagare sker signalbehandling och förstärkning. Om signalnivån når över en detekteringströskel så kommer det att presenteras på radarns indikator som ett eko. Ju närmare mottagarbruset som tröskeln kan placeras desto känsligare blir radarn.

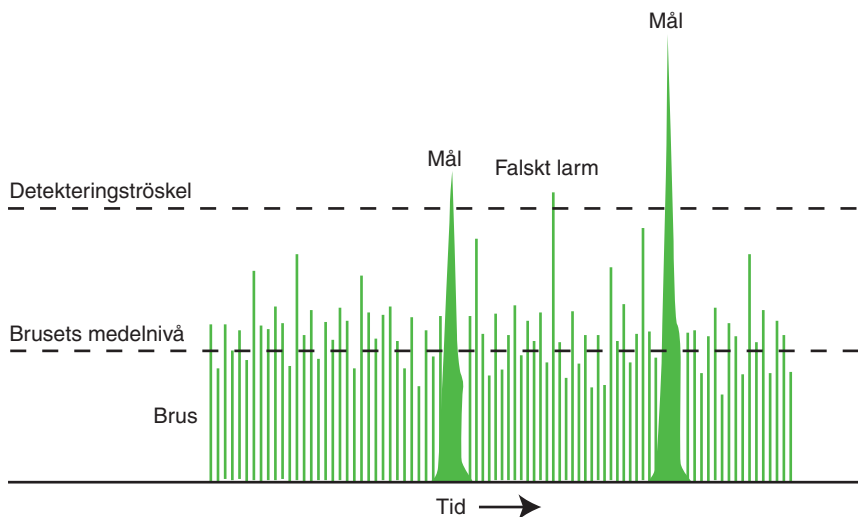


Bild 3:10. För att en signal ska presenteras måste den komma över radarns detekteringströskel.

Nackdelen med att sätta tröskeln alltför nära brusets medelnivå är att brus-toppar kommer att ge upphov till falska ekon.

Var tröskeln ska placeras beror dels på vilken upptäcktssannolikhet (P_d) och vilken falsklarmssannolikhet (P_{fa}) som kan accepteras. Vad som är acceptabla nivåer beror på vilken typ av radar det är och till vad den används. I luftvärnets radarstationer kan detekteringströskelns höjd påverkas genom funktionen KFA. Denna funktion styr avståndet mellan brusets medelnivå och tröskeln.

Upptäcktssannolikhet anger sannolikheten i procent för att ett mål inom radarns räckvidd ska upptäckas av operatören. Upptäcktssannolikheten påverkas av flera parametrar bl a utsänd energi, hur radarekona presenteras, målets storlek, utrustningens skick och inte minst operatörsfaktorn, vanligen definierad som skillnaden mellan en ideal och en verklig operatör. En dåligt inställd mottagare eller indikator ger dåliga prestanda och därmed både låg upptäcktssannolikhet och kort räckvidd.

Automatisk måluppfångning och följning används i modern utrustning. Hög upptäcktssannolikhet ger tyvärr också hög risk för falsk målfångning av störekon och överbelastning av datorer eller operatör.

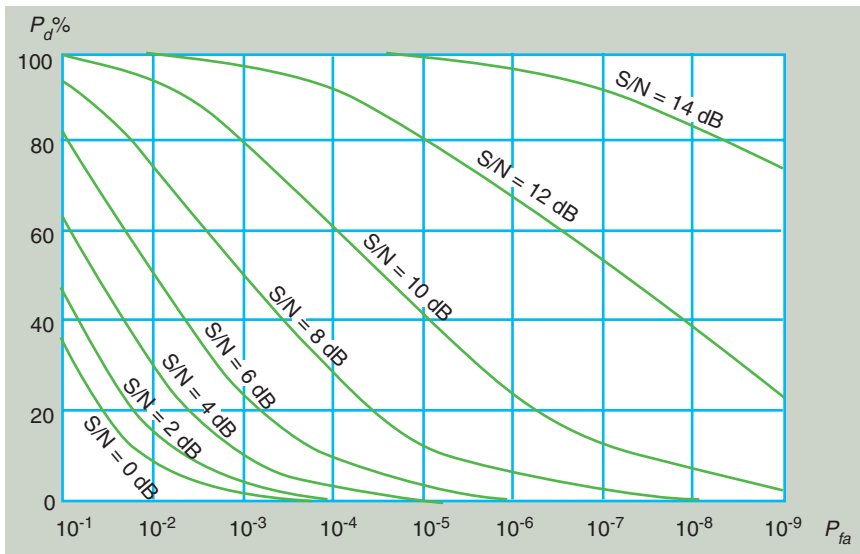


Bild 3:11. Upptäcktssannolikheten (P_d) och falsklarmssannolikheten (P_{fa}) påverkas av radarns minsta signalbrusförhållande (S/N).

Radarmålarea

Radarmålarean (σ) anger i genomsnitt hur stor skenbar yta som återutsänder radarsignalen i riktning mot radarantennen. Radarmålarena beror på målets storlek, form, reflektivitet och i vilken riktning signalen reflekteras (direktivitet). Ett mål, t ex ett flygplan, består av en stor mängd delreflektorer. Vågor som reflekteras mot olika delar kommer interferera konstruktivt i vissa riktningar och destruktivt i andra, radarmålarean varierar därför kraftigt i olika riktningar. Radarmålarean påverkas även av radarns våglängd.

Man kan aldrig ange en radars räckvidd eller upptäcktssannolikhet utan att ange mot vilken radarmålarea som avses.

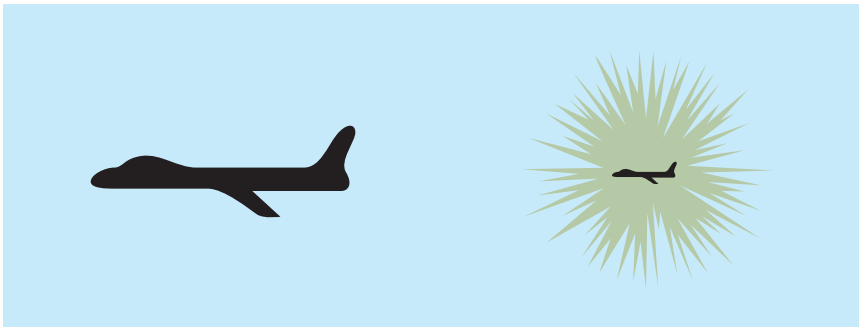


Bild 3:12. Ett mål består av en stor mängd delreflektorer. Radarmålarean i olika riktningar beror på hur signalerna interfererar med varandra.

Att skilja mellan rörliga och stillastående mål

Ett flygplan som rör sig mot radarn kommer vid varje puls att möta radarvågen på ett nytt ställe. Ibland möter den vågen där den går uppåt, i andra fall när vågen sjunker. Man säger att signalen får olika faslägen (bild 3:13.)

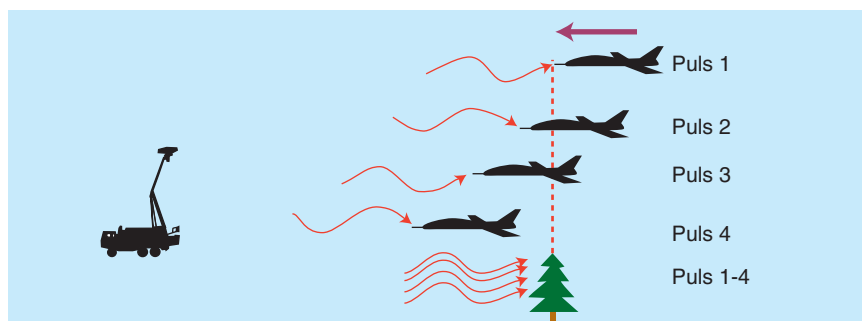


Bild 3:13. Ett rörligt mål träffas hela tiden av olika faslägen hos signalen. Ett stillastående mål träffas alltid av samma fasläge.

Avståndet mellan ett stillastående föremål och en radar är ett visst antal våglängder. Det får då vid varje mätning (på samma frekvens) alltid bara plats ett visst antal våglängder mellan radarn och föremålet. Föremålet kommer vid varje puls att träffas av samma del av vågen, t ex vågtoppen och får därmed samma fasläge vid varje puls.

I MTI-filtrets skillnadskrets (bild 3:14) subtraherar man fasläget för puls 1 med fasläget för puls 2. Fasläget för puls 2 subtraheras med puls 3 osv. Ett markeko har alltid samma fasläge. Man upptäcker då att signalen från skillnadskretsen blir noll eftersom fasläget från puls 1 minus puls 2 blir noll, $2-3=0$ osv.

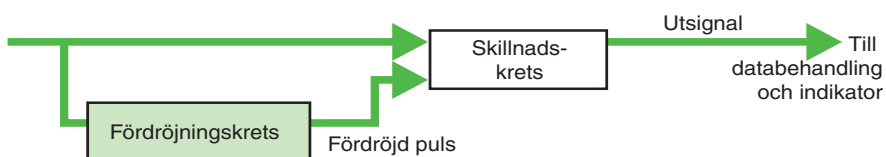


Bild 3:14 MTI-filter.

Från skillnadskretsen kommer det rörliga ekots signaler att vara skilda från noll, eftersom fasläget hela tiden varierar. På detta vis kan radarn ta bort markekona och bara presentera rörliga ekon.

Det beskrivna filtret kan endast sälla bort ekon med nollhastighet. Så snart ett träd vajar i vinden skulle det presenteras. Genom att kaskadkoppla (seriekoppla) flera filter och återkoppla utsignalen kan man få en bättre filterkaraktistik (bild 3:15). Detta gör det möjligt att undertrycka alla ekon som färdas under en viss skänshastighet, exempelvis 10 m/s.

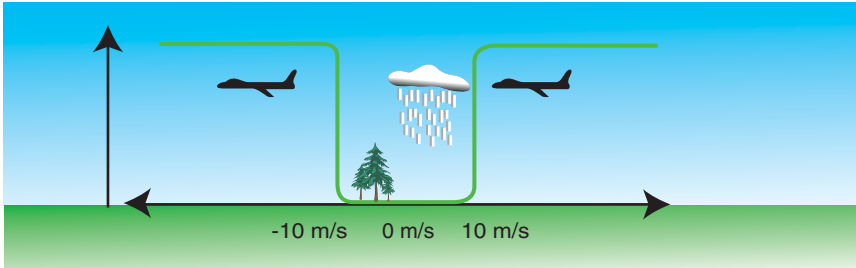
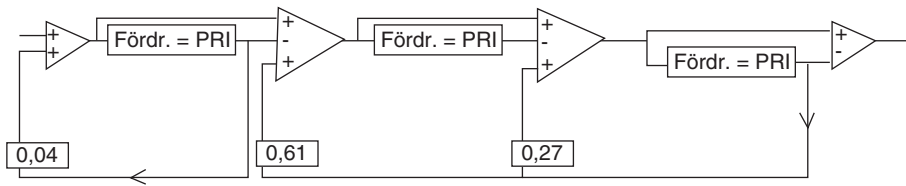


Bild 3:15. Verkligt MTI-filter kan undertrycka ekon som färdas med en fart under filtrets gränshastighet.

Hastighetsmätning

Ett måls hastighet mot eller från radarn kan mätas genom att man bestämmer den frekvensskillnad som uppstått hos ekot från ett rörligt eko p g a den s k dopplereffekten med hjälp av formeln

$$f_d = \frac{2 \cdot V_r}{\lambda}$$

f_d = frekvensskillnaden mellan utsänd och mottagen signal [Hz]

V_r = radiell hastighet [m/s]

λ = våglängden [m]

Den minsta hastighetsförändringen som kan detekteras beror på hur länge målet belyses, den s k integrationstiden. Ju längre integrationstid (t_{int}) desto mindre dopplerrörelser (Δf_{dmin}) kan detekteras.

$$\frac{1}{t_{int}} = \Delta f_{dmin}$$

Detta kan jämföras med när man fotograferar, ju längre slutartid desto tydligare syns det om ett föremål rör sig men i gengäld svårare att bestämma dess exakta position.

Entydig avståndsmätning

Pulsreplikationsintervall (PRI) väljs beroende på hur lång räckvidd man vill att radarn ska ha. Från det att en puls sänts ut tills nästa sänds iväg, hinner signalen färdas en viss sträcka. Med hjälp av ljusets hastighet och PRI kan den totala gångsträckan mellan två pulser beräknas. Genom att halvera

värdet får man fram det maximala avståndet som sändpulsens hinner nå ut till och tillbaka före nästa puls sänds ut. Det avståndet kallas radarns entydighetsavstånd (R_{entyd}) eller instrumenterad räckvidd.

$$R_{entyd} = \frac{c \cdot PRI}{2} \quad [\text{m}]$$

Begreppet entydighetsavstånd kan kräva en närmare förklaring. Då flera pulser sänds ut efter varann kan det vara svårt att avgöra från vilken sändpuls ett eko härrör. Det förutsätts att en ekopuls är resultatet av den senast utsända pulsen och radarn kan alltså inte skilja mellan ekon från olika sändpulser. Ett eko från en tidigare puls kommer därför att registreras på ett kortare avstånd än det verkliga och sådana falska ekon kallas andragångskon. Radarn kan bara presentera sann information inom sitt entydighetsavstånd men signalerna kan ofta nå betydligt längre. Det kan därför uppstå avståndstvydigheter.

Entydighetsavståndet kan ses som radarns maximala avståndsgräns men det finns även ett minsta mätavstånd (R_{min}). Detta är beroende av sändpulsens längd. Så länge en puls är på väg ut från sändaren kan inga ekopulser nå mottagaren p g a S/M-växeln. Vilket avstånd detta motsvarar kan beräknas med hjälp av pulslängden eller pulstiden (t_p).

$$R_{min} = \frac{c \cdot t_p}{2} \quad [\text{m}]$$

En kort puls ger följaktligen ett kort minsta mätområde. En vanlig pulslängd hos en luftvärnsradar är tre mikrosekunder vilket ger ett minsta mätavstånd på 450 meter.

Radarns instrumenterade räckvidd bestäms av pulsrepetitionsintervallet. När det gäller radarns verkliga räckvidd är den bl a beroende av sändarens uteffekt. Man talar här om två olika effektbegrepp, pulseffekt (toppeffekt) och medeleffekt. Deras inbördes förhållanden visas i bild 3:16.

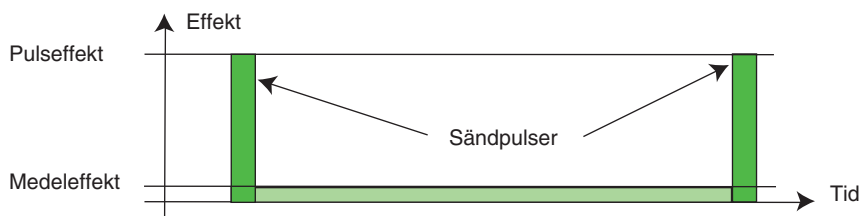


Bild 3:16. Begreppen pulseffekt och medeleffekt.

Varje puls har ett visst energiinnehåll som representeras av den ritade pulsens yta. Den beräknas som pulseffekten (P_{puls}) multiplicerat med pulslängden (t_p). Det är den utsända energin som bestämmer radarns maximala

räckvidd. Den utsända energin kan också uttryckas som medeleffekt vilket är pulsens energi utslagen över hela pulsrepetitionsintervallet. Medeleffekten (P_{medel}) kan beräknas med följande formel:

$$P_{medel} = \frac{t_p \cdot P_{puls}}{PRI} \quad [W]$$

Medeleffekten brukar vara ungefär en tusendel av pulseffekten. Det är inte i första hand toppeffekten som bestämmer radarns räckvidd utan medeleffekten. Vill man ha stora räckvidder väljs långa pulser och låg PRF för att inte överstiga sändarens maximala medeleffekt.

Avståndsupplösning

En radarpuls kan ses som ett energipaket med en viss längd som färdas genom luften. Pulsen har en fram- och en bakkant och varje del av pulsen reflekteras successivt mot målet. Ekopulser kan därför aldrig bli kortare än sändpulsens (bild 3:17). Ligger två mål nära varann i avstånd kan framkanten av ekopulsen från bortre målet hinna före bakkanten på ekopulsen från det mål som ligger närmare. Ekopulserna flyter då samman i luften och när de kommer tillbaka till radarn kan mottagaren inte skilja dem åt, utan de uppfattas som ett enda långt eko.

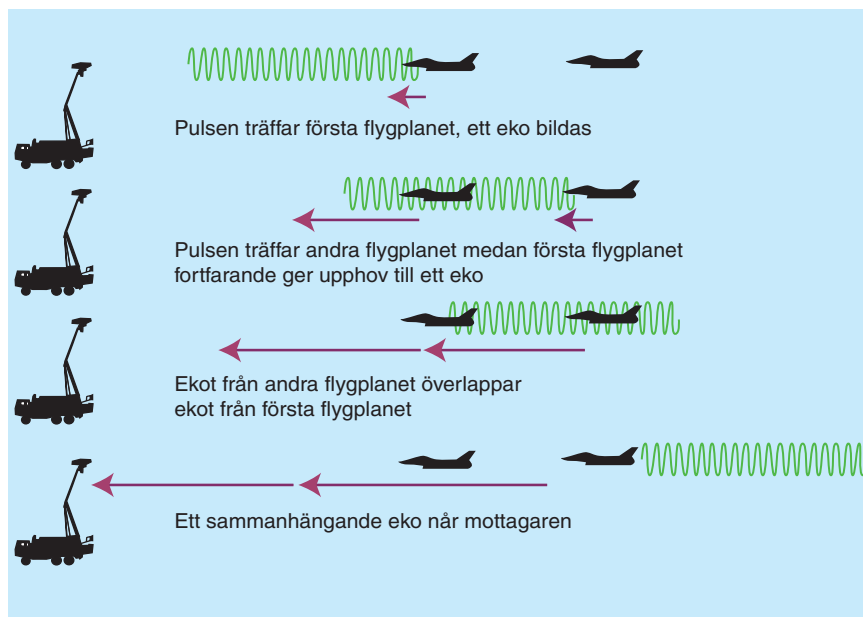


Bild 3:17. Avståndet mindre än halva pulslängden. Ekona kan inte särskiljas i radarn.

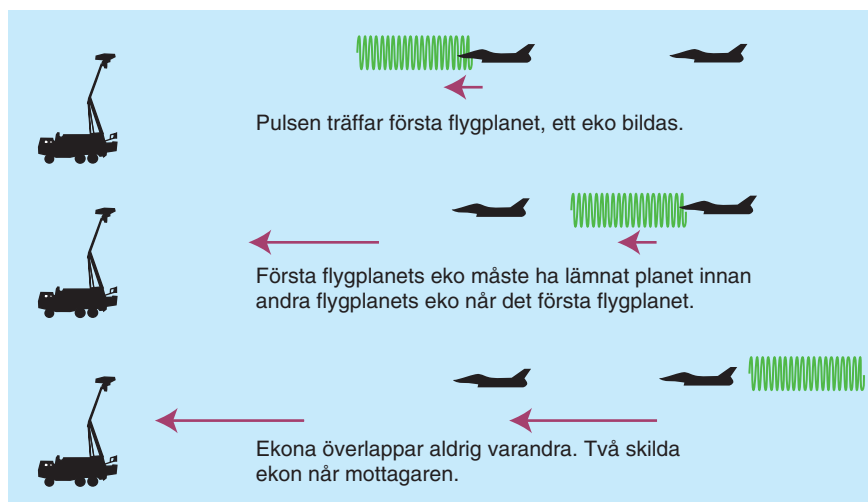


Bild 3:18. Avståndet större än halva pulslängden.

Den minsta avståndsskillnad mellan två mål som radarn kan uppfatta kallas radarns avståndsupplösning (jämför bild 3:17 med bild 3:18). Två föremål kan särskiljas om ekot från det främre flygplanet har slutat att bildas då ekot från det bakre flygplanet når det främre planet. Ekona överlappar således inte varandra. Föremålen kan särskiljas då avståndsskillnaden är större än halva pulslängden.

Exempel 3:1 Minsta mätavstånd PS-70 mod 40 km

Pulsens längd i meter fås som ljushastigheten (m/s) multiplicerat med pulstiden (s).

Med en pulstid på tre mikrosekunder fås en pulslängd på 900 m. Radarns avståndsupplösning blir då 450 m.

Kort puls används främst på små avstånd där upplösningen är viktig och man vill ha ett litet minsta mätavstånd. Om man minskar pulslängden minskar pulsens energiinnehåll. För att få starkare och tydligare ekon brukar därför PRF ökas för att bibehålla samma medeleffekt. Vill man ge radarn bättre räckvidd genom ökning av pulslängden måste också pulsintervallet göras längre. Dels för att inte få avståndstvetydigheter och dels för att inte sändarens maximala medeleffekt ska överskridas.

Långa pulser ger större ekon vid presentation på råvideo och på äldre typer av indikatorer och gör det därmed lättare för operatören att upptäcka mål men i gengäld blir det svårare att särskilja närliggande radarekon. Det är därför mycket viktigt att radarns inställningar väljs beroende på vilken information man önskar.

Pulskompression

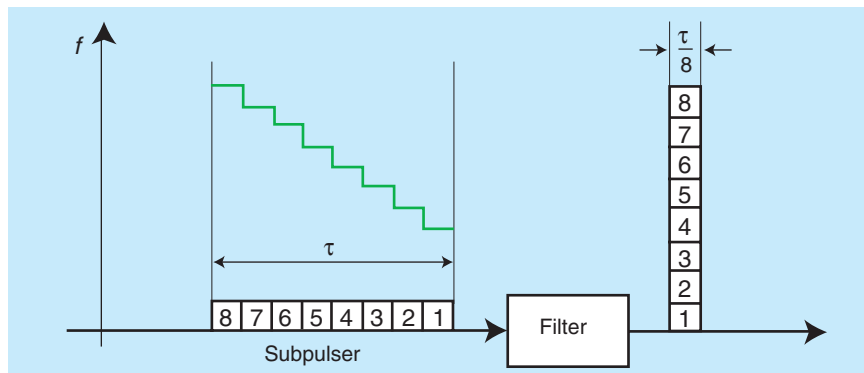


Bild 3:19. Princip pulskompression. Frekvensen ökas stegvis när pulsen sänds ut. Ekot kommer tillbaka till mottagaren. I filtret fördröjs subpulsen med frekvens 1 mest, subpulsen med frekvens 2 hinner då ifatt 1, 3 hinner ifatt 2 osv. Efter filtret fås en utsignal med längden av en subpuls. Amplituden hos utsignalen kommer att bestå av summan av de åtta subpulsernas amplitud.

Pulskompression är en metod för att få god avståndsupplösning trots att radarstationen använder långa pulser för att få stor räckvidd. Principen är att en lång modulerad puls sänds ut. När ekot kommer tillbaka så fördröjs framkanten av pulsen mer än bakkanten. Detta leder till att pulsen komprimeras. Avståndsupplösningen kommer på detta vis att bli att uppgå till halva pulslängden hos *den komprimerade pulsen*.

En fördel med pulskompression är att radarstationerna inte behöver använda så höga toppeffekter vilket gör att den blir svårare att upptäcka för motståndarens radarvarnare och signalspaningsmottagare.

Två huvudsakliga metoder används för pulskompression

- linjär frekvensmodulation (FM)
- binär fasmodulering.

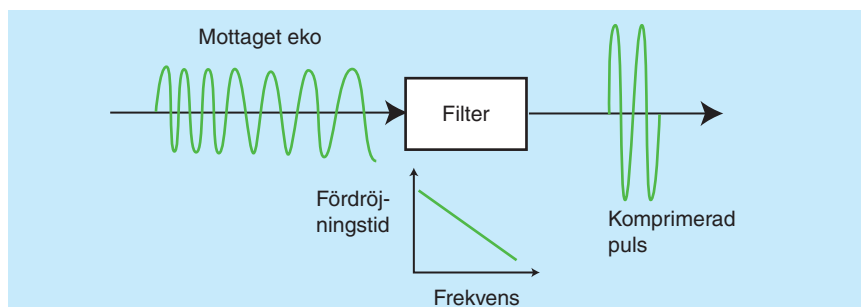


Bild 3:20. Pulskompression med linjär frekvensmodulation (chirp). Filtret fördröjer den först anlända lågfrekventa delen av pulsen mest. Pulsens högfrekventa bakre del hinner nästan ifatt den främre delen – pulsen komprimeras.

Linjär frekvensmodulation

Linjär frekvensmodulering eller varianter därav (chirp) används i LvKv samt i JA 37 Viggen och många andra typer av jaktflygplan. Principen är att när den långa pulsen sänds ut ökas frekvensen successivt (bild 3:20). Den först utsända delen av pulsen har följaktligen lägst frekvens. Eftersom signalen färdas lika fort oberoende av frekvens så kommer den först mottagna delen av pulsen fortfarande att ha lägst frekvens.

I mottagaren får ekopulsen passera det sk pulskompressionsfiltret. Detta har den egenskapen att det fördröjer låga frekvenser mycket medan höga frekvenser fördröjs lite. Detta innebär att bakkanten på pulsen nästan hinner i fatt framkanten då pulsen passerar igenom filtret, pulsen komprimeras (bild 3:21). Den komprimerade pulsens amplitud ökar när pulsen komprimeras så att energin före och efter filtret är konstant. Den komprimerade pulsens högre amplitud kommer sedan att vara lättare att detektera i signalbehandlingen.

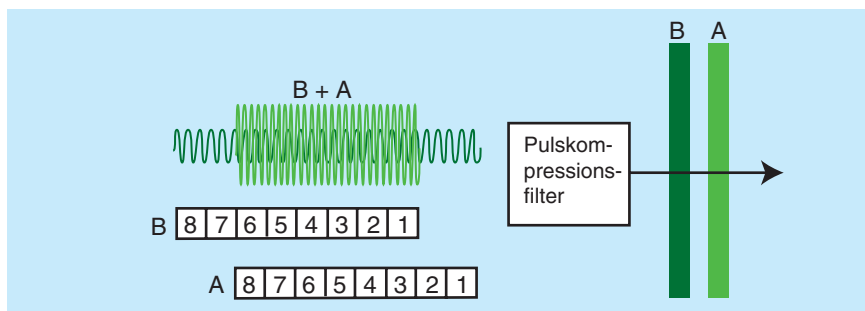


Bild 3:21. Pulskompression och avståndsupplösning. Två mål med ett inbördes avstånd av en subpuls blir belyst av en lång frekvensmodulerad puls. Efter filtret kan de åtskiljas.

Avståndsupplösningen kommer att vara halva den komprimerade pulsens längd. Därför kommer två mål att kunna särskiljas även om de samtidigt har belysts av den långa sändpuls.

Binär fasmodulering

Binär fasmodulering är en annan vanlig metod för pulskomprimering. Metoden används av PS-90, PS-91 och UndE 23. Principen för en sändpuls indelad i tre subpulser visas i bild 3:22. I verkligheten kan sändpulsen bestå av hundratals subpulser. Vid sändning fasvänder den långa sändpuls 180° på vissa ställen som bestäms av en kod. Man säger att den långa pulsen delas in i subpulser. När ekot kommer tillbaka till mottagaren så får det gå in i ett pulskompressionsfilter. Filtret består av ett skiftregister, seriellt in och parallellt ut. På vissa av utgångarna sitter en fasvridning (betecknas med R) som fasvänder signalen 180°. Signalerna från de olika "facken" i filtret summeras

slutligen och bildar en summasignal. Steg för steg skiftas pulsen in i filtret. Efter varje steg läses summasignalen av på utgången.

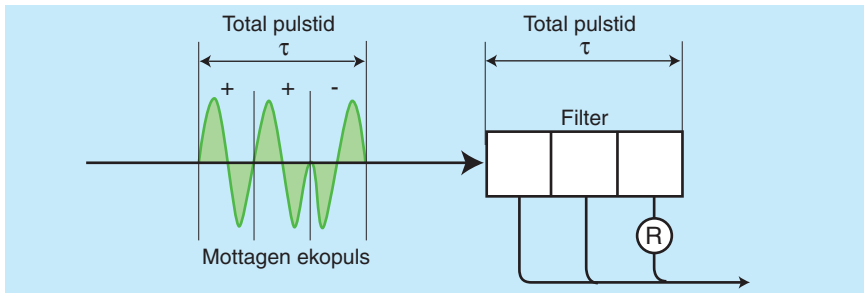


Bild 3:22. Pulskompression med binär fasmodulering. Pulsen består av tre stycken subpulser. Minustecknet anger att signalen i denna subpuls är fasvriden. Bokstaven R anger att utsignalen från denna del av filtret kommer att fasvridas 180° före den summeras.

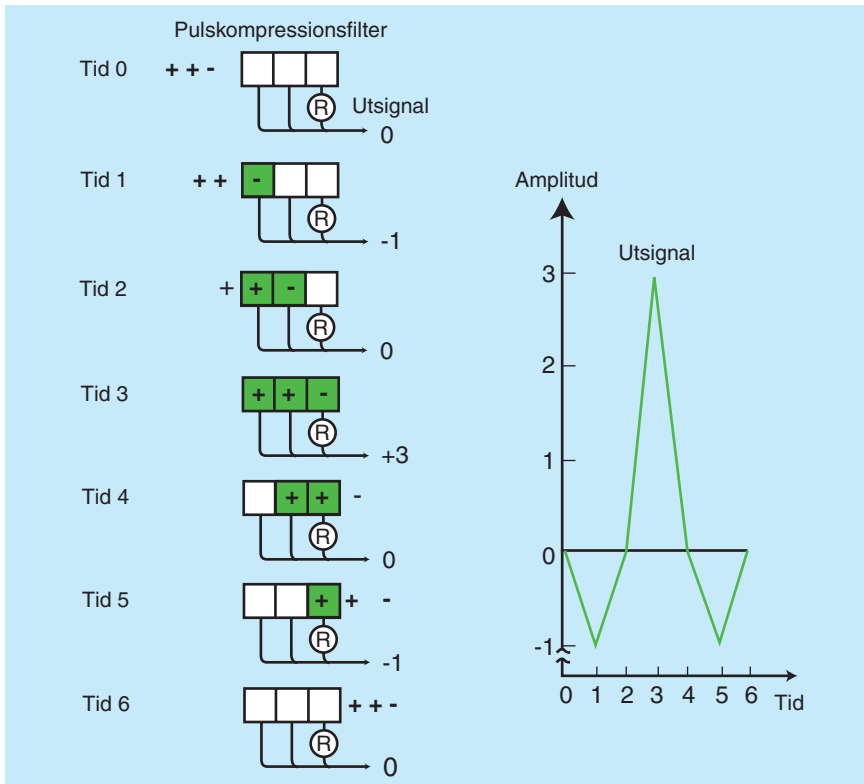


Bild 3:23. Binär fasmodulering. Förloppet visar då en mottagen puls steg för steg skiftas in i pulskompressionsfiltret. Endast vid ett tillfälle kommer pulsens kod samverka med filtrets fasvridare (R) så att en kraftig puls erhålls som utsignal. Denna komprimerade puls kommer förhoppningsvis att vara betydligt kraftigare än bruset varvid målet kan detekteras.

När den långa pulsen steg för steg skiftas in respektive ut ur registret fås olika utsignaler ur filtret. Utsignalen är låg utom vid ett kort tillfälle då hela pulsen befinner sig i filtret då en kort kraftig puls erhålls under en tid som motsvarar längden av en subpuls. Vid de andra tillfällena kommer de olika fasvridningarna hos subpulserna att motverka varandra.

När pulsen komprimeras kommer dess amplitud att öka i motsvarande grad som pulsen förkortas så att energin i pulsen är konstant. Ekot kommer på detta vis att höja sig över bruset.

Längden på subpulserna är konstant. I radarstationerna varierar där-
emot antalet subpulser beroende på vilken mod radarn använder. Många
subpulser behövs då man vill ha lång räckvidd. Då radarn använder ett kort
mätområde så används ett mindre antal subpulser för att inte få ett alltför
långt minsta mätområde eftersom mottagaren måste vara avstängd då pulsen
sänds iväg. I PS-90 varierar antalet subpulser mellan 13 och 35 beroende
på radarmod.

Radaranterner

För att kunna avgöra ett radarekos position måste man förutom avståndet
känna till i vilken riktning sändpulsens skickats iväg. Radaranterner har till
skillnad från t ex radioanterner en större riktverkan, dvs strålningen kon-
centreras i främst en riktning. Det kan jämföras med en strålkastares för-
måga att koncentrera ljuset åt ett visst håll. På samma sätt som strålkastar-
ens reflektor ger en ljuskägla samlas mikrovågorna från radaranternen i
något som kallas lob. Lobens form har stor betydelse för radarns prestanda.
En viktig egenskap hos antennen är dess riktverkan (direktivitet). Som ett
mått på riktverkan används begreppen antennvinst eller antennförstärkning.
Med detta avses hur mycket antennen koncentrerar signalen jämfört med
en rundstrålande antenn s k isotropantenn. Antennvinsten är proportionell
mot förhållandet mellan dess storlek och våglängden

$$G = 4\pi \frac{A_e}{\lambda^2}$$

G = antennförstärkning

A_e = effektiv antennarea (m²)

λ = våglängd (m)

Ju större antennen är i förhållande till våglängden desto högre antenn-
förstärkning har den. Ett typiskt värde för en spaningsradar är 30 dB (1000
gångar).

Det går inte att skapa en antenn som koncentrerar all effekt i en riktning
eftersom vågor alltid ger upphov till diffraktionsfenomen bl a vid kanten
av reflektorn. Det finns inte heller några absoluta avgränsningar för radar-
loben.

För att kunna ange lobvinklarna mäts den maximala effekten ut från antennen på ett visst avstånd. Antennen vrids därefter och lobvinkeln anges som vinkeln mellan de antenntvåningar där maxvärdet sjunkit till hälften (-3 dB).

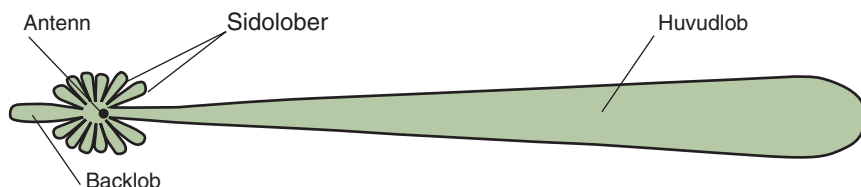


Bild 3:24. Exempel på ett lobdiagram sett i horisontalplanet.

Antennen är riktad åt höger i bild 3:24. Den riktning dit större delen av effekten koncentreras kallas huvudloben. Effekten sprids även i andra riktningar, s k sekundära lober. Den kraftigaste uppträder normalt i motsatt riktning mot huvudloben och kallas backlob. De övriga är av varierande storlek och brukar kallas sidolober. Radarn har ingen möjlighet att avgöra från vilken av loberna en ekopuls härstammar, utan förutsätter alltid att det är från huvudloben. Om en stark signal kommer in från en annan riktning än huvudloben kan det ge upphov till falska ekon.

Ju mindre lobvinkel desto bättre riktverkan har antennen och ger därmed ofta längre räckvidd.

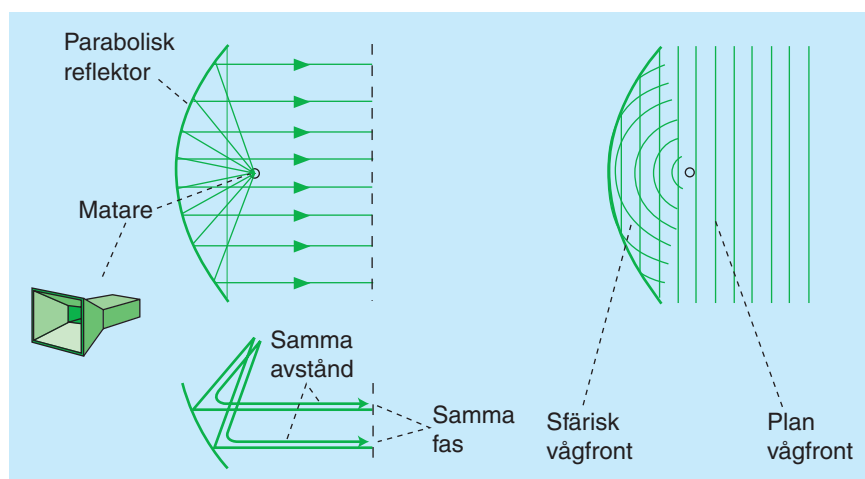


Bild 3:25. Mataren är placerad i parabolens fokus. Utanför det s k närfältet finns en plan vågfront där alla vågor är i fas.

En typisk antenn består av ett vågledarhorn en s k matare placerad i reflektorns fokus och belyser reflektorn med en sfärisk vågfront (bild 3:25). Matarens strålningsvinkel är avpassad så att den täcker hela reflektorytan. Parabolens geometriska egenskaper är sådana att avståndet från fokus (mataren) via en reflektion mot reflektorn och till ett tänkt tvärställt plan framför reflektorn är det samma oavsett vilken punkt på reflektorn som används. Det innebär att delreflektionerna från reflektorns alla punkter ligger i fas i detta plan. Vidare sker reflektionen så att ett parallellt ”strålnippe” bildas på samma sätt som vid en optisk strålkastare.

Omvänt förlopp sker vid mottagning varvid ekoeffekten koncentreras mot reflektorn till mataren där den kommer att fasriktigt summeras. Det är värt att notera att en antens egenskaper uppstår genom interferens mellan vågorna. Samma princip gäller oavsett vilken typ av elektromagnetiska vågor det är. Liknelsen med en ljusstrålkastare är därför helt korrekt. Vad som är avgörande för antennens egenskaper är förhållandet mellan våglängd och aperturens storlek.

$$\Theta \sim \frac{\lambda}{L} \quad \text{där}$$

Θ = lobvinkeln [rad]

λ = våglängd [m]

L = aperturens längd [m]

Radarns förmåga att särskilja två föremål i vinkelled bestäms av antennens lobvinkel. För att radarn ska kunna särskilja två föremål som befinner sig på samma avstånd, måste de vara separerade minst en lobbredd i sidled.

När loben träffar ett föremål kommer en ekopuls att skickas tillbaka till radarn. Förloppet upprepas för varje sändpuls så länge föremålet befinner sig inom loben. Radarn kan inte avgöra var i loben ekot befinner sig utan förutsätter att det är i huvudlobens centrum. Därför kommer ett ekos utbredning i sida alltid att vara minst lika brett som loben vid presentation på råvideon. Antennens horisontella lobvinkel tillsammans med rotationshastigheten och PRF bestämmer hur många sändpulser som träffar ett radareko. Ju fler träffar, ju kraftigare blir ekot och därmed lättare att upptäcka. Typiska värden är att målet träffas av 15–30 pulser varje gång en spaningsradars lob sveper över det. Dessutom gäller att ju längre tid målet belyses desto bättre kan målets dopplerhastighet bestämmas. Detta är särskilt viktigt då man vill kunna detektera en hovrande helikopter.

Detta medför också att det inbördes avståndet mellan två ekon på samma avstånd från radarn måste vara större än lobvinkeln. Är det mindre än så kommer ekona att flyta samman till ett enda eko vid presentationen.

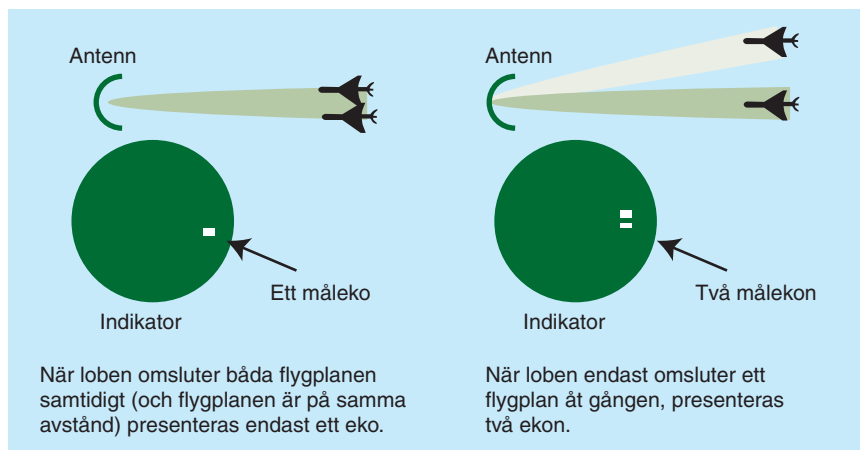


Bild 3:26. Vinkelupplösning.

Lobvinkeln är en konstant vilket i sin tur innebär att lobens bredd uttryckt i meter blir större ju längre bort från antennen man kommer. Två radar-ekon som sammanfaller på ett visst avstånd från radarn, kommer därför att kunna särskiljas då de kommer närmare radarn, även om deras inbördes avstånd inte förändrats. Vad som ofta bestämmer valet av våglängd är dess påverkan på antennstorleken. I ett jaktflygplan eller en robot måste våglängden vara kort annars blir vinkelupplösningen allt för dålig.

Exempel 3:2

Kan PS-90 med $1,9^\circ$ lobvinkel särskilja två flygplan som flyger på samma avstånd (40 km) separerade 1 km i sida?

Lösning

Antennloben är $1,9^\circ$ vilket motsvarar $17,5 \cdot 1,9 = 33,25$ streck. $33,25 \text{ streck} \cdot 40 \text{ km} = 1330 \text{ m}$

Svar

Nej, det hade krävts att flygplanen befunnit sig minst 1 330 meter separerade i sida. Observera att om två flygplan flyger på skilda avstånd ($>100 \text{ m}$) i PS-90 så kan radarn skilja dem åt även om de samtidigt finns inom radarloben. Se avsnittet om avståndsupplösning.

Störskyddsegenskaper

Antennens förmåga att förstärka ekosignalen och undertrycka oönskade signaler är det kanske viktigaste störskyddet i en radar.

En spaningsradarantenn konstrueras så att den utsända/mottagna loben blir en smal skiva med så tydligt markerade gränser som möjligt.

Trots detta läcker antennen en viss mängd energi även i andra riktningar. Dessa riktningar benämns sido- och backlober.

Bild 3:27 visar, sett uppifrån, exempel på ett typiskt antenndiagram för en spaningsradar och visar hur mycket sido- och backloberna dämpas i förhållande till huvudloben.

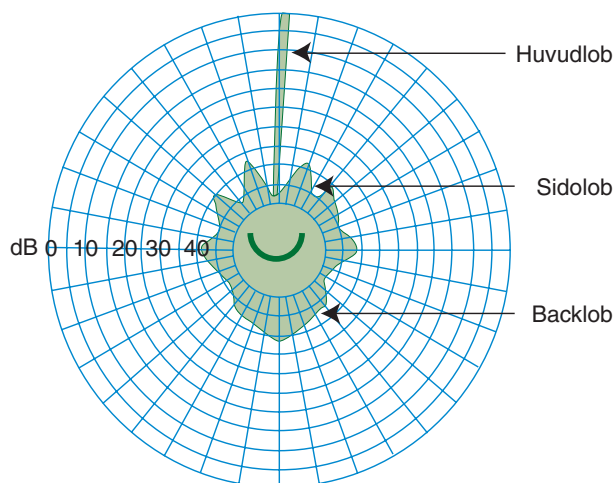


Bild 3:27. Exempel på antenndiagram sett uppifrån.

Ur antenndiagrammet (bild 3:70) fås följande slutsatser:

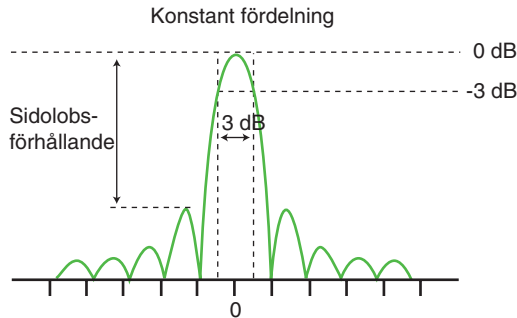
- Radarns vinkelupplösning är 2° . Den bestäms av huvudlobens bredd. Huvudloben får inte omsluta båda planen samtidigt.
- Hur mycket energi som läcker i sido- och backlob i förhållande till huvudlobens styrka $-10 \text{ dB} = 1/10$, $-20 \text{ dB} = 1/100$, $30 \text{ dB} = 1/1000$ osv.
- Signaler som kommer in via sido- och backloberna förstärks 10 000 till 100 000 gånger mindre än en signal i huvudloben. En störsändare som stör från dessa riktningar måste vara tiotusen till ett hundratusen gånger så stark för att uppnå samma verkan som en störsändare som befinner sig inom huvudloben.

För att kunna inse hur telestörning påverkar en radarstation är det viktigt att förstå vilka egenskaper en radarantenn har.

En antenn som vid sändning läcker mycket energi åt sekundära riktningar är också mottaglig för störning från dessa bäringar.

Om en viss del av effekten läcker åt sidorna blir det möjligt att med signalspaning fastställa radarns läge med hjälp av energin från sido- och backloberna oberoende av i vilken riktning huvudloben pekar. Sido- och backloberna används även av anfallande SSARB för att styra mot radarn. En optimal radarantenn bör följaktligen sända all sin energi i en smal lob, så att ingen energi går förlorad i någon annan riktning. Elektroniskt styrda

antennor (t ex PS-91) består egentligen av en stor mängd mindre antenner vilka tillsammans bildar en resulterande lob. I dessa antenner har konstruktören stor möjlighet att bestämma hur antenndiagrammet ska se ut beroende på hur antennelementen placeras. Elektroniskt styrda antenner uppvisar därför ofta mindre sidolober än reflektorantennor (t ex PS-70).



Strålningsfördelning	Konstant		Parabolisk		Taylor	
	Rekt	Cirk	Rekt	Cirk	Rekt	Cirk
Ant. format	Rekt	Cirk	Rekt	Cirk	Rekt	Cirk
Sidolobs-förhåll (dB)	13,2	17,6	20,6	24,6	30	30
Lobvinkel 3 dB (grader)	$51\lambda/L$	$58\lambda/L$	$66\lambda/L$	$104\lambda/L$	$64\lambda/L$	$67\lambda/L$
Lobvinkel vid 60 cm apertur och 3 cm våglängd	$2,55^\circ$	$2,90^\circ$	$3,30^\circ$	$5,02^\circ$	$3,20^\circ$	$3,35^\circ$

Bild 3:28. Hur jämnt antennens apertur utstrålar/mottar signalen påverkar sidolobsförhållandet och lobvinkeln. (Rekt = rektangulär antenn. Cirk = cirkulär antenn.)

Antennens sidolober kan minskas kraftigt om strålningseffekten minskas gradvis mot aperturens kanter, s k tapering. I mottagningsfallet svarar det mot att känsligheten hos de yttre elementen är reducerad. För en reflektorantenn innebär detta att mataren belyser mitten av reflektorn mer än dess kanter. Nackdelen är att hela aperturens yta inte används lika effektivt, en minskning av sidoloberna får därför belastas med en något bredare huvudlob.

Några olika antenntyper

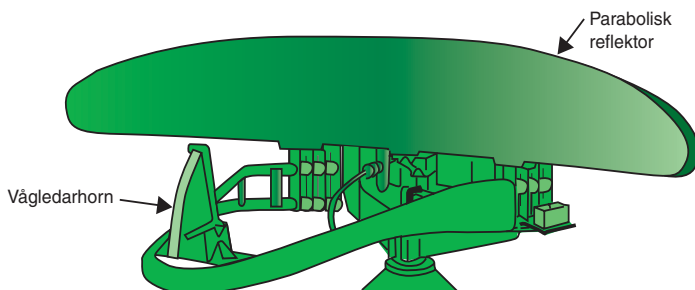
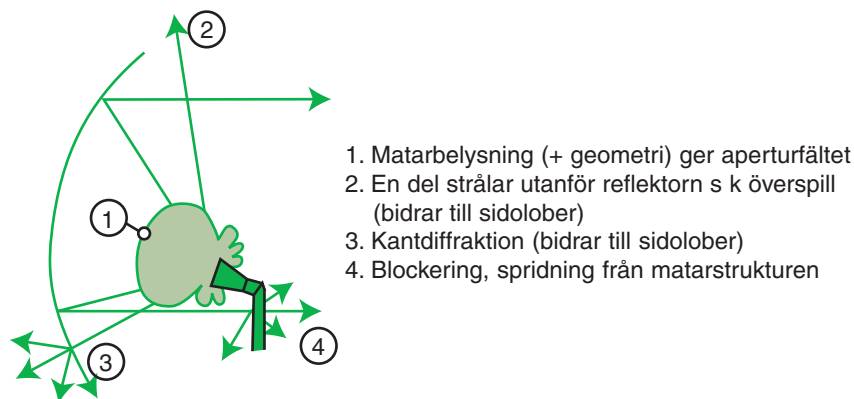


Bild 3:29. Reflektorantenn till en militär spaningsradar.

Det finns flera olika typer av radarantennerna t ex reflektorantennerna, slitsantennerna och elektroniskt styrda antenner. Reflektorantennen består av ett vågledarhorn, en skåpmat, som med hjälp av en reflektor koncentrerar loben i önskad riktning. Funktionen kan närmast jämföras med de parabolantennerna som används för satellitmottagning av TV-kanaler även om reflektorn har en annan form.



1. Matarbelysning (+ geometri) ger aperturfältet
2. En del strålar utanför reflektorns skå överspill (bidrar till sidolober)
3. Kantdiffraktion (bidrar till sidolober)
4. Blockering, spridning från matarstrukturen

Bild 3:30. Matarens placering har stor påverkan på reflektorantennens egenskaper.

För reflektorantennen är det av stor betydelse hur mataren är konstruerad och placerad. Om små sidolober önskas ska så lite energi som möjligt hamna utanför reflektorns skå eller vid dess kanter. Alla matar har nackdelen att de i någon mån också skymmer (blockerar) reflektorn. Detta minskar antennens effektiva area något.

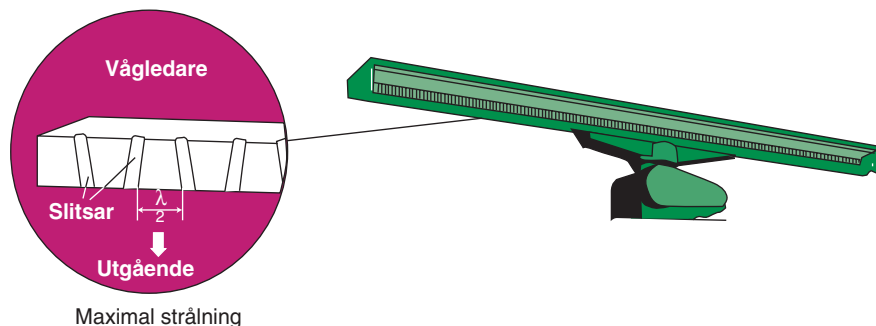


Bild 3:31. Slitsantenn med detalj av den slitsade vågledaren.

Slitsantennen består av en horisontell vågledare som man skurit upp en serie slitsar i där mikrovågorna kan passera. Varje slits utgör en egen liten antenn och när de utsända vågorna interfererar erhålls en koncentration av strålningen i en bestämd riktning.

Höjdmätning

Eldledningsradar, t ex PE 542 och eldenhet 23, använder en smal pennlob. Antennen kan vinklas i höjddled. Genom att bestämma höjdvinkeln då loben pekar mitt på målet och bestämma avståndet så kan höjden beräknas.

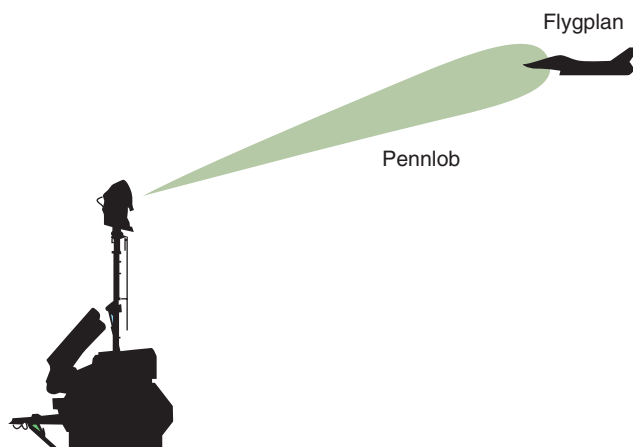


Bild 3:32. Eldledningsradarans antenn sänder ut energi i en sk pennlob.

Spaningsradarans antennlob sedd från sidan

Spaningsradarstationer använder en sk skivlob. En spaningsradar som t ex PS-70 vet normalt sett inte på vilken höjd som målet befinner sig. Den kan endast avgöra att målet finns i loben och på vilket avstånd. Man brukar säga att det är en 2D- radar (två dimensioner-sidvinkel och avstånd).

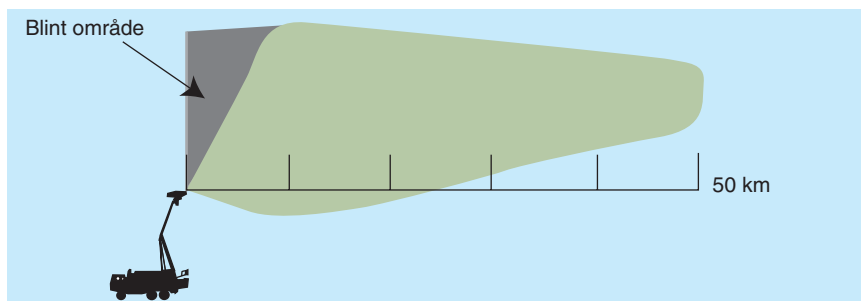


Bild 3:33. Skivlob hos en spaningsradar.

Den typ av antenn som t ex PS-70 och de flesta spaningsradar använder kallas cosec²-antenn ("cosekant kvadratantenn") efter det matematiska uttrycket $\text{cosec} = 1/\sin$, som antenndiagrammet beskriver i bild 3:33. Med en cosec²-antenn fås samma ekostyrka för ett mål, på en viss höjd, oberoende av avståndet mellan mål och antenn, radarn får med andra ord konstant höjdtäckning oberoende av avstånd. Antennen bör konstrueras så stationen både har god låg- och höghöjdstäckning. Antennloben bör därför gå nära marken samt ha en stor s k öppningsvinkel så att loben snabbt når höjd.

I antenndiagrammet i bild 3:33 ser man att loben delvis går under horisontlinjen. Antennen konstrueras på detta vis för att man vill kunna gruppera stationen högt utan att flyget ska kunna smyga sig under antennloben. Nackdelen med att loben riktas nedåt är att det kan uppstå fler markekon.

Höglob/Låglob

Det är svårt att konstruera en antenn som samtidigt kan belysa mål både på låg och på hög höjd (bild 3:34). I PS-90 är detta löst genom att använda två olika antennlobar, höglob och låglob. Detta ger också möjligheter att få viss höjdinformation ifall målet syns i låglob och/eller höglob.

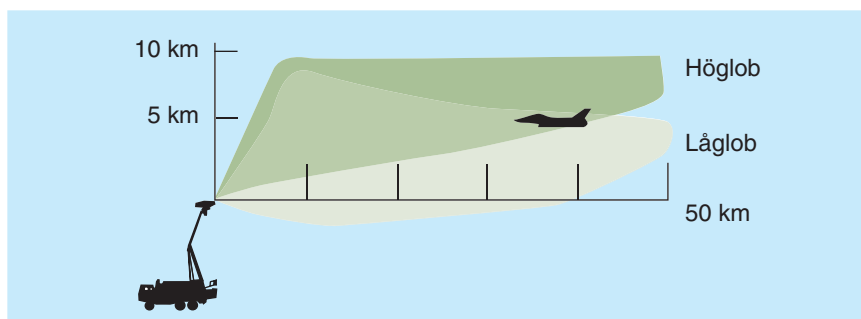


Bild 3:34. PS-90 höjdmätning.

Radarn sänder vartannat varv i låglob, vartannat i höglob. Om målet endast syns de varv då radarn sänder i låglob flyger målet lågt, om det både syns

då radarn sänder i låg- och- höglob så befinner det sig på medelhöjd o s v. I bild 3:34 finns flygplanet i båda loberna. Man brukar säga att PS-90 är en 2,5D radar, dvs den har en viss uppfattning om målets höjd.

De två antennloberna skapas genom att stationen matar ut effekten till antennen från två olika s k matare, vartannat antennvarv. Omkopplingen mellan de två loberna sker med hjälp av en lobomkopplare som finns placerad på baksidan av antennen.

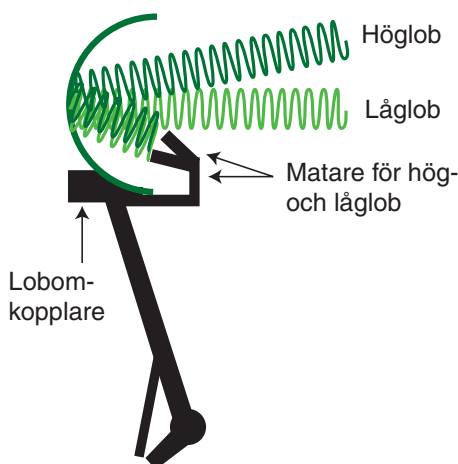


Bild 3:35. PS-90 lobstyrning

Elektroniskt styrda antenner

För att radarstationerna ska kunna ange målets position i tre dimensioner måste loben kunna styras i höjddled. Detta har sedan länge gjorts i eldledningsradarstationer genom att antennen kunnat vridas så väl i sidvinkel som i höjdvinkel. Genom att peka på målet med en smal lob och mäta avstånd samt antennens sidvinkel och höjdvinkel har målet positionsbestämts i x-, y- och z-led.

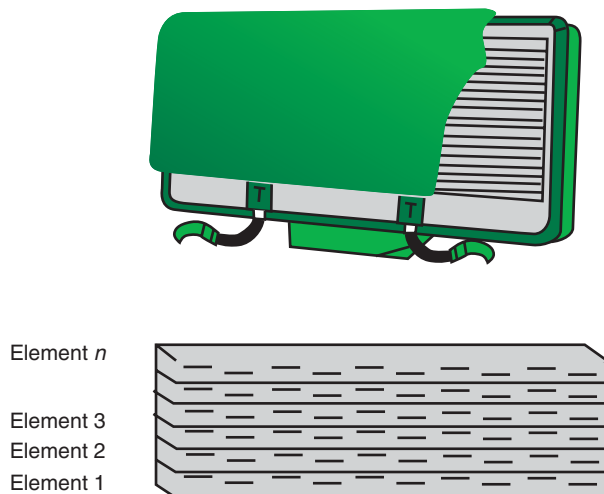


Bild 3:36. PS-91 antennen består av ett antal antennelement staplade ovanpå varandra (vågledarkombinat).

En modernare metod än att vrida hela antennen är att elektroniskt styra antennlobens riktning. Detta används i PS-91 och UndE 23. Dessa radarstationer har en antenn som roterar i sida på traditionellt vis. Men antennloben styrs elektriskt i höjddled. Principen är att antennen består av en mängd mindre antennelement.

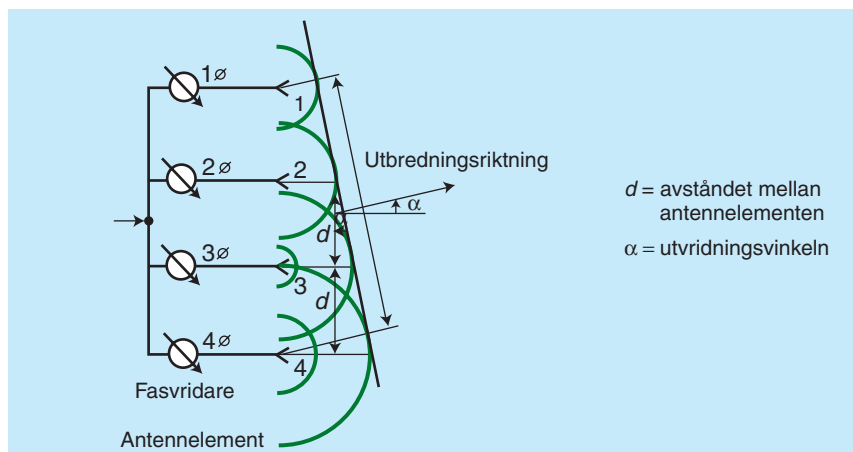


Bild 3:37. Princip elektroniskt styrd antenn.

I höjddled kan man individuellt påverka utsignalerna från de olika antennelementen så att det uppstår en fasskillnad mellan de olika signalerna. Genom interferens mellan de olika signalerna kommer de att förstärka varandra i en riktning och det blir i denna riktning loben pekar.

Loberna behöver inte tvunget skapas vid sändning. Man kan också skapa loberna vid mottagning genom att bilda en summasignal från de olika antennelementen. Före summeringen fasvrider man signalerna olika mycket från de olika mottagarna. I PS-91 skapas en lob i en viss höjdvinkel redan vid sändning (nio lobber).

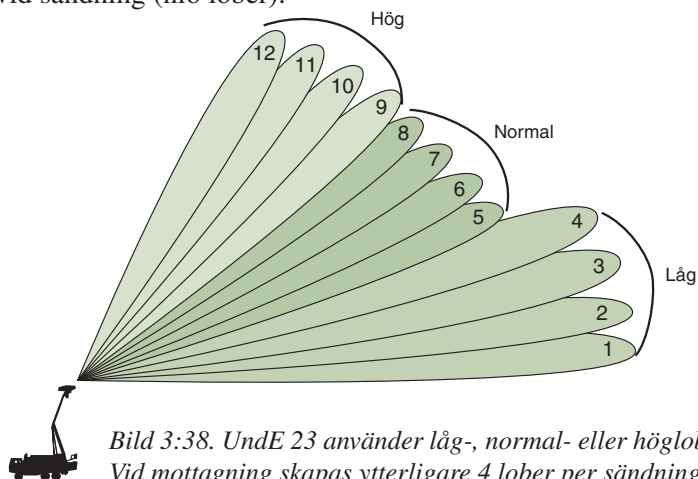


Bild 3:38. UndE 23 använder låg-, normal- eller höglob vid sändning. Vid mottagning skapas ytterligare 4 lobber per sändningslob.

I UndE 23 däremot bildar man vid sändning en lob som kan ha någon av tre lägen, låg-, normal- eller höglob. Vid mottagning delas denna lob sedan i flera mindre lober för att få en avsevärt exaktare höjdmätning.

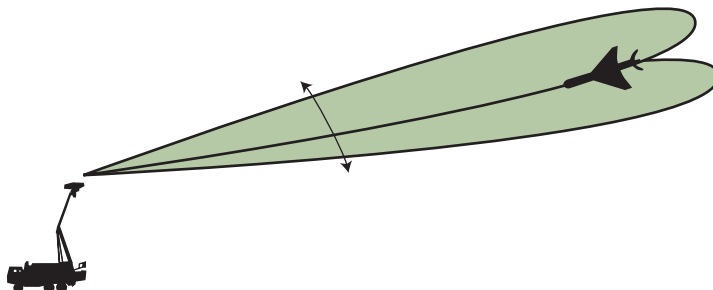


Bild 3:39. Finföljning. Loberna justeras så att målet placeras i skärningen mellan två lober.

För att ytterligare förbättra höjdmätningen så kan ett antal av målen finföljjas. Detta görs genom att radarn styr två lober så att målet finns i skärningen mellan dem. Målet ger då upphov till lika stark signal i båda mottagarloberna. På det här viset kan målet följas mycket exakt i höjddled.

Fördelen med att ha bred lobvid sändning och dela upp loben vid mottagning är att målet kommer att belysas under längre tid vilket ökar radarns känslighet. Särskilt ökar förmågan att upptäcka små dopplerförändringar vilket är ett krav för att detektera helikoptrar.

Det finns även radarstationer som elektriskt kan styra antennloben i både höjd och sida. Ett exempel på detta är artillerilokaliseringsradarn ARTHUR.

Helikopterkanal

Helikopterkanalens uppgift är att detektera hovrande helikoptrar. Problemet med helikoptrar som står still och hoverar är att dopplerfiltren riskerar att sorterar bort dem som markekon.

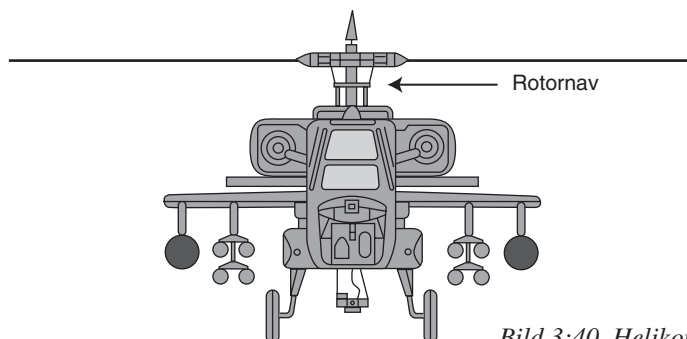


Bild 3:40. Helikopterdetektering

Helikopterkanalen har förmågan att känna igen de visserligen små men karakteristiska dopplerförändringar hos ekot som de roterande delarna i rotorn ger upphov till.

Det är inte själva rotorbladen som är enklast att detektera, utan de vertikala stängerna i rotornavet. PS-701, PS-90, PS-91 och UndE 23 har helikopterkanaler som ska hitta de roterande delarna i rotornavet. Spaningsradarn PS-95 i luftvärnskanonvagnen (LvKv) har både förmågan att hitta rotornavet och de svagare signalerna från rotorbladen. För att hinna belysa rotorbladen tillräckligt länge så använder denna radar en betydligt bredare lob än vad de andra stationerna gör.

Helikopterdetektering

Rotornavets radarmålarea är storleksordningen $0,3 \text{ m}^2$ d v s tio gånger mindre än det "normalmål" mot vilket radarns räckvidd är specificerat (3 m^2). Denna minskning av radarmålarean avspeglar sig i räckvidden hos hkp-kanalen (minskning med tio gånger ger 56% av ordinarie räckvidd).

Ett praktiskt exempel på detta är PS-90 där helikopterkanalen är verksam ut till 25 av maximalt 50 km.

På helikoptrar som utvecklats på senare tid och "stealth-anpassats" ses också tydligt hur rotornavet i möjligaste mån byggts in eller täckts med olika kåpor för att undgå de radarstationer vilka är utrustade med rotornavsdetektion.

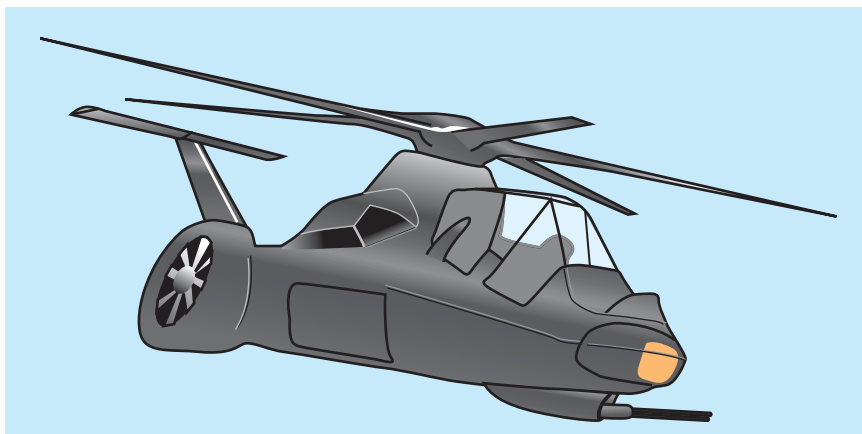


Bild 3:41. AH-66 Commanche.

Detektion av hovrande helikoptrar är även möjlig genom att nyttja de korta och kraftiga ekon som rotorbladen ger upphov till typisk radarmålarea för rotorblad 10 m^2 . Dessa ekon uppträder dock enbart i det ögonblick då något eller några av rotorbladen står exakt vinkelrätt mot den belysande radarn.

Periodiciteten hos dessa ekon kommer alltså att direkt bero på antalet rotorblad samt den hastighet med vilken rotorn roterar.

Två exempel på tidsperiod mellan de ögonblick då rotorbladen står i ”rätt” läge är 35 ms (hkp 9) och 26 ms (Mi-24), vilka kan ses som normalfall.

Dock förekommer extremer som hkp 3 och MD-500 med 99 respektive 12 ms mellan bladekona. Detta motsvarar alltså 10 resp 83 ekon per sekund.

Varaktigheten för rotorekon är ca 0,2 ms. Tiden ökar med ökande våglängd hos den belysande radarn varför en lägre sändfrekvens är att föredra hos den radar vilken avses att utrustas med bladekodetektion. S-band är lämpligt med hänsyn till våglängd och att även antennens storlek ökar med ökande våglängd.

Detektionen av rotorbladsekon kräver således att rotorbladet står vinkelrätt mot den mätande radarn en eller flera gånger under den tidsperiod då helikoptern befinner sig inom radarns antennlob samt att en eller flera utsända pulser hinner träffa rotorbladet innan det hinner rotera vidare. Detta kräver en radar med *lång övermålningstid* och en *hög PRF*.

Den långa övermålningstiden löses genom antingen en långsam antenntrotation hos den aktuella radarn (ger lång uppdateringstid) eller en, i sidled, bred antennlob. Det senare försämrar vinkelnoggrannheten/vinkelupplösningen.

Den höga PRF:en som krävs kan i sin tur ge begränsningar för det maximala entydighetsavståndet (jmf avsnittet Andragängenrunkon).

Ett exempel på tillämpning av rotorbladsdetektion återfinns hos PS-95, vilken förutom den vanligt förekommande rotornavsdetektionen (PS-701, 90, 91 och UndE-23), även har en speciell signalbehandlingskanal för detektion av rotorbladsekon.

PS-95 har en övermålningstid på 60 ms och PS-90 har 5,3 ms. PS-95 längre tid åstadkoms genom att en bred antennlob nyttjas.

För att åtgärda nackdelen med den sämre vinkelupplösningen delas den mottagna signalen upp i två mottagarlobar vilkas huvudriktningar är skilda några grader i sida. De mottagna signalerna kan sedan, med monopulsprincipen (jämförelse av amplituden i de olika loberna), ge en exaktare riktning till den hoverande helikoptern.

PS-95 har en PRF på ca 9 kHz vilket teoretiskt begränsar det maximala entydighetsavståndet till drygt 16 km. Instrumenterad räckvidd för PS-95 är 14,1 km.

3. Radarlära

I bild 3:42 ses tydligt vilken av radartyperna som har möjlighet/är lämplig att detektera ekon från rotorblad. Dessutom framgår att helikoptrar med enbart två rotorblad och en långsam rotorhastighet, i ogynnsamma fall, kan undgå att detekteras av bladkanalen hos PS-95.

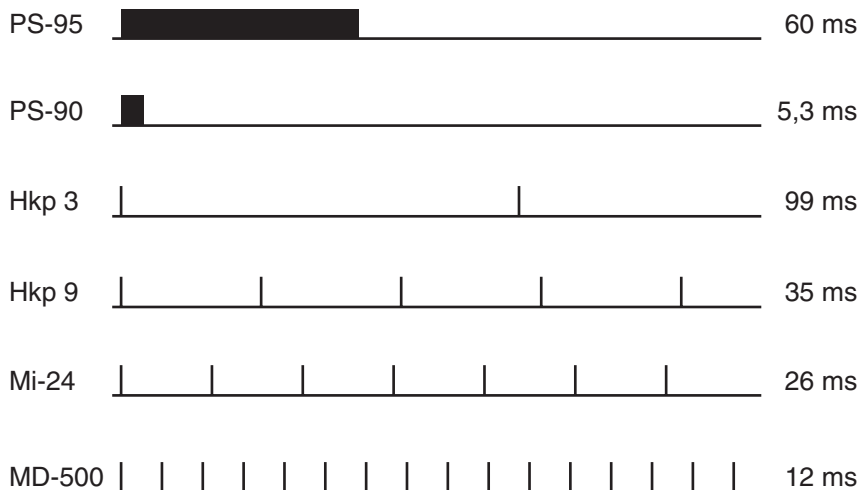


Bild 3:42. Övermålningstider för PS-95 och PS-90 samt periodiciteten för bladekon hos några utvalda helikoptertyper.

Faktorer som påverkar radarns prestanda

Störningar och falska radarekon

På grund av yttre omständigheter kan radarbilden ibland störas av falska ekon som försvårar tolkningen av informationen. Det finns olika typer av störningar men har man väl lärt sig känna igen dem är de ofta relativt enkla att skilja från verkliga ekon. Flera av störningarna beror på olämplig placering av radarantennen, varför det är viktigt att ta hänsyn till bl a träd, master och skorstenar.

Blinda sektorer och falskekon beroende på reflektion i närliggande objekt

Blinda sektorer uppstår då en radarantenn sitter placerad lägre än t ex en höjd. Allt bakom höjden kommer då att ligga i radarskugga och inga ekon presenteras. Genom att hålla reda på var de blinda sektorerna finns kan man få en god bild av radarns verkliga täckningsområde.

Vissa falska ekon dyker ibland ändå upp i de blinda sektorerna. Detta beror på att en kraftig signal kommit in via en av antennens sidolober.

Sidolobsekon

Radarantennerna är inte ideala utan sprider effekten även utanför huvudloben. Kraftiga ekon i närområdet kan därför detekteras i de svagare sidoloberna. Indikatoren förutsätter att alla ekon härrör från huvudloben och de presenteras därför i den riktningen. Av sidoloberna är den sk backloben ofta kraftigast. Det är vanligt att falska ekon uppträder just där.

Mycket kraftiga ekon kan också detekteras i de något svagare sidoloberna och presenteras som en serie ekon runt den egna positionen på samma avstånd. Bästa sättet att ta bort dem är med hjälp av funktionen närekodämpning.

Andragångenrunt ekon (andrasvepsekon)

Ett eko som egentligen härrör från en sändpuls kan tas emot under nästa lyssningstid. Följden blir att ekot presenteras under ”fel” radarsvep och på fel avstånd, betydligt närmare än det verkliga ekoavståndet. Sådana andragångenrunt ekon kan vara svåra att skilja från verkliga ekon i närområdet.

Bästa sättet att avgöra om ett eko är äkta eller härrör från tidigare sändpulser är att byta PRF. Verkliga ekon ligger då kvar på samma avstånd medan andragångenrunt ekon flyttas. Luftvärnets radarstationer har en PRF som ständigt varierar, vilket medför att andrasvepsekon alltid presenteras på varierande avstånd från svep till svep vilket gör att de oftast sällas bort i radarns signalbehandling.

Interferens

När flera radaranläggningar som arbetar på samma frekvensband befinner sig nära varandra kan de utsända pulserna från en radar gå in i en annan radars mottagare och presenteras som ekon. Anläggningarnas PRF är sällan lika så dessa falska ekon kommer hela tiden att visas på varierande avstånd i takt med antennrotationen. Resultatet blir en störning i form av ett antal streckade linjer i ett spiralformat mönster från centrum till bildrörskanten. Även egen radioutrustning kan ibland orsaka samma typ av störningar.

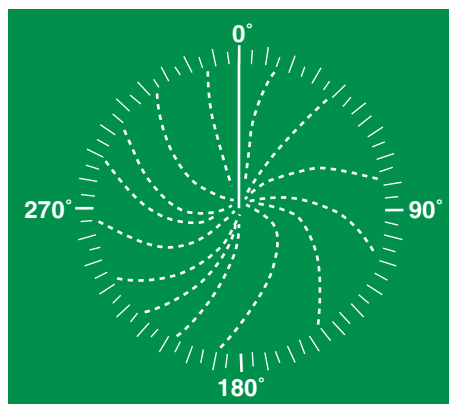


Bild 3:43. Interferens.

Att helt ta bort interferensstörningar är svårt på äldre anläggningar men genom att ändra PRF kan man få störningsmönstret att byta utseende och kanske minska problemen. En modern indikator med raster scanteknik har ofta en svepkorreleringsfunktion. Eftersom störekona hela tiden varierar i avstånd kan den funktionen ta bort dem nästan fullständigt.

Radarns funktion – PS-70

PS-70 används här som exempel på olika funktioner hos en radar. PS-70 är visserligen en äldre radar utan pulskompression och elektroniskt styrd antenn. Men trots detta har den många principer gemensamt med de moderna radarstationerna.

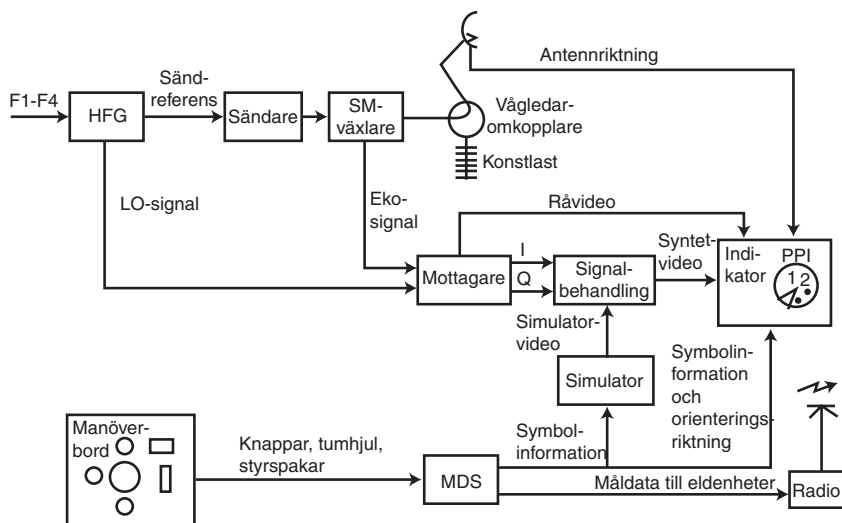


Bild 3:44. Blockschemat över PS-70 funktion i stort.

Sändning

På manöverbordet väljs en av de fyra sändfrekvenserna F1-F4 (bild 3:44).

I högfrekvensgeneratoren (HFG) börjar då en av fyra oscillatorer att svänga och alstrar en högfrekvent signal. Signalen har en frekvens i området 5,4-5,9 GHz men den har låg effekt. Signalen leds därför vidare till SÄNDAREN* där den förstärks mycket kraftigt. I sändaren bildas en puls med ca 12000 W toppeffekt och med den frekvens som signalen från HFG har.

Sändaren kan kopplas från med knappen RRTY på manöverbordet.

På väg mot antennen passerar pulsen först S/M-VÄXLAREN vars uppgift är att skydda mottagaren från att skadas av den mycket kraftiga sändpuls. Om VÅGLEDAROMKOPPLAREN står i läge ANTENN kommer pulsen att ledas upp till antennen och sändas ut i luften. Om vågledaromkopplaren står i läge KONSTLAST skickas pulsen inte ut i luften utan blir i stället till värme i den s k konstlasten.

* Ord skrivna med versaler syftar på beteckningar i schemabilderna eller fysiska knappar/vred i radarstationen.

Mottagning

En ekopuls når radarns MOTTAGARE via antennen, vågledaromkopplaren och S/M-VÄXLAREN. I mottagaren sker en första förstärkning av ekot. Eftersom det innebär vissa nackdelar att signalbehandla mycket högfrekventa signaler omformas ekosignalen först till en lägre frekvens med hjälp av en LO- signal (lokaloscillator) från HFG:en. Signalerna till RÅ-VIDEON leds sedan direkt till INDIKATORN.

För att sälla bort markekon och minska påverkan av störning leds ekosignalen till SIGNALBEHANDLINGEN. I signalbehandlingen finns bl a MTI kretsarna som tar bort stillastående ekon, KFA-kretsarna med vars hjälp man kan minska mängden falsk ekon samt kretsar för att presentera störbäring. Från signalbehandlingen leds den s k SYNTETVIDEON till INDIKATORN. På indikatorns syntetvideo presenteras rörliga målekon och störbäringar.

Måldatasändaren – MDS

MDS har till uppgift att känna av läget hos bl a styrspakar och knappar för att via radio eller tråd sända ut korrekta målkoordinater till eldenheterna. Det ska observeras att MDS inte vet var det finns ekon utan kan bara känna av läget på de symboler som operatörerna lägger ut. MDS ska alltså betraktas som ett system skilt från den egentliga radarn.

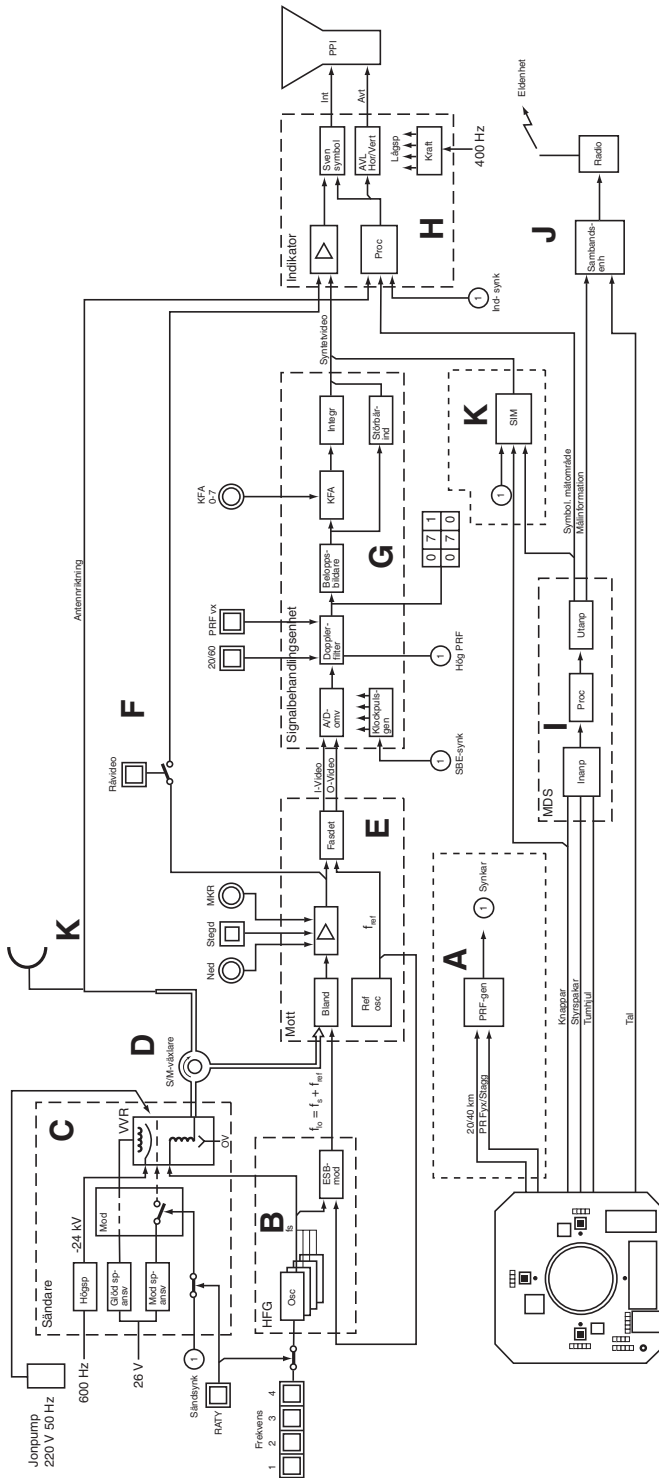
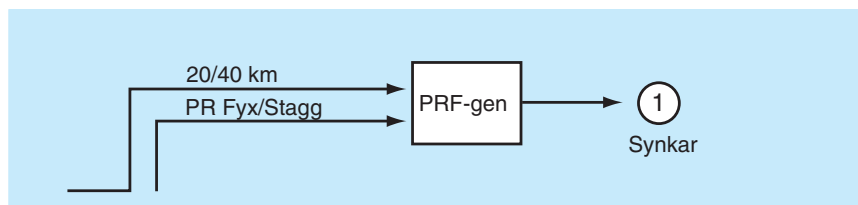


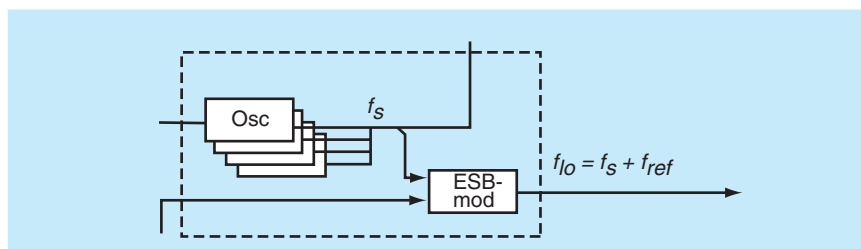
Bild 3:45. Schema över PS-70 funktion.

Funktion

PRF-generator – A



När radarn sänder skapas i PRF-generatorn (A) synkroniseringssignaler ("synkar") vilka styr radarns verksamhet t ex när sändpulsen ska skickas iväg. PRF-generatorn påverkas dels av avståndsområdet och dels av om PRF-vx eller STAGG är valt. Vid 20 km mod används en dubbelt så hög PRF som vid 40 km mod. När STAGG används ändrar PRF-generatorn tiden mellan varje sändpuls. PRF-generatorn kan vid STAGG välja mellan 16 olika tider. Då PRF-vx är valt ändras PRF en gång per antennvarv mellan två olika tider vid 20 km mod och mellan tre tider vid 40 km området.

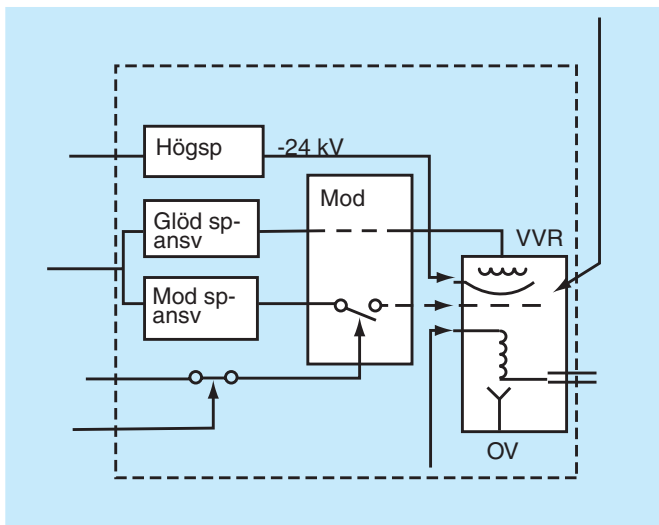


Hörfrekvensgenerator HFG – B

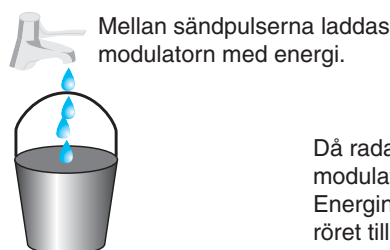
I HFG finns fyra oscillatorer som kan väljas med frekvensknapparna F1-F4. Den typ av oscillator som används i PS-70 skapar en hörfrekvent signal på en enda frekvens. Eftersom det i PS-70 bara finns fyra oscillatorer kan stationen följaktligen bara använda fyra olika frekvenser. Frekvenserna från oscillatorerna ligger någonstans i området 5,4-5,9 GHz dvs på det s k C-bandet. Det finns ett antal olika oscillatorer monterade i PS-70. Risken är därmed liten att två stationer använder exakt samma frekvenser. Detta är gynnsamt ur störskyddssynpunkt.

Signalen från oscillatorerna är svag och måste förstärkas före den sänds ut. I HFG skapas även en s k LO-signal (lokal oscillatorsignal) genom att signalen från oscillatoren adderas till en annan signal. LO-signalen kommer sedan att användas i radarns mottagare.

Sändaren – C



Sändaren har till uppgift att förstärka signalen från oscillatorerna i HFG. Sändaren består av ett s k vandringsvågrör VVR (eng. Travelling Wave Tube, TWT). Energin till sändaren levereras från en s k modulator (Mod). I modulatern lagras energi mellan det att radarn sänder och det den ”lyssnar”. Eftersom tiden mellan pulserna är mycket större än pulstiden hinner betydande energimängder lagras i modulatern.



Då radarpulsen skapas töms modulatern hastigt på energi. Energin används i vandringsvågröret till att kraftigt förstärka signalen.



Bild 3:46. Modulaterns princip för energilagring.

När en puls ska sändas iväg skickar PRF-generatorn en sändsynk till modulatern. Modulatern skickar då sin upplagrade energi till VVR som då kan förstärka oscillatorsignalen. Utsignalen från sändaren kommer nu ha en effekt av ca 12000 W. Pulstiden bestäms av signaler från PRF-generatorn till modulatern och är vid 20 km mod ca 3,2 μ s och vid 40 km avståndsområde 6,4 μ s detta innebär att pulsen har en längd av 980 resp 1960 m.

S//M-växlaren och antenn – D

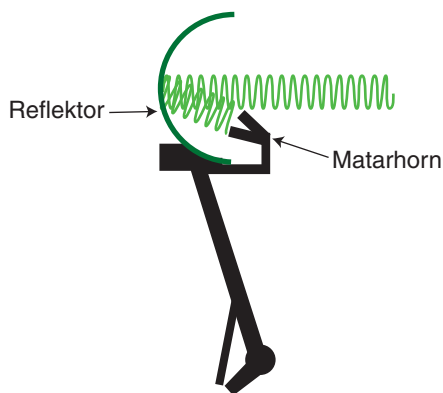
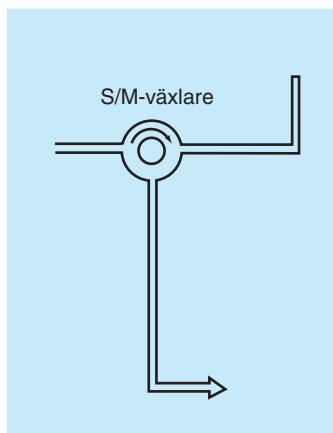


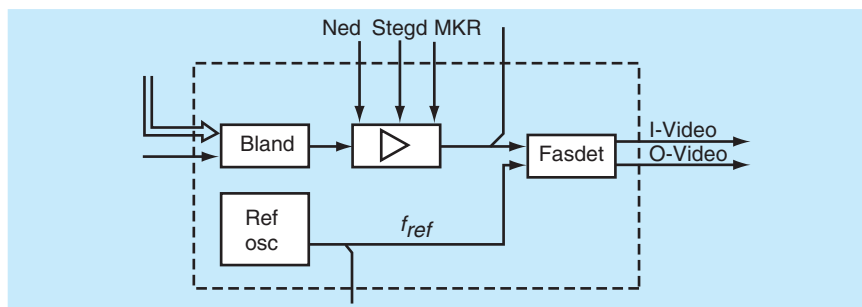
Bild 3:47. Antenn.

Efter sändaren kommer pulsen till S/M-växlaren. Den har till uppgift att skydda radarmottagaren från de mycket kraftiga sändpulsens. Mottagaren är konstruerad för att förstärka mycket svaga signaler (miljarddels watt) och skulle förstöras om sändpulsens direkt fick påverka den.

Sändpulsens når slutligen via vågledaren matarhornet vid antennen, studsar mot antennens reflektor och sänds ut i luften.

En ekopuls som når radarn koncentreras av antennens reflektor till matarhornet passerar därefter genom vågledaren via S/M-växlaren till mottagaren.

Mottagaren – E



Mottagaren och den efterföljande signalbehandlingen har bl a till uppgift att förstärka signalen men det finns vissa nackdelar att signalbehandla signaler med så hög frekvens som en radarstation sänder med. Bland annat måste man ha mycket höga samplingsfrekvenser i A/D-omvandlarna, dessutom får man problem att göra filter med tillräckligt branta flanker. Därför vill man skapa en signal med betydligt lägre frekvens, detta görs i mottagarens BLANDARE.

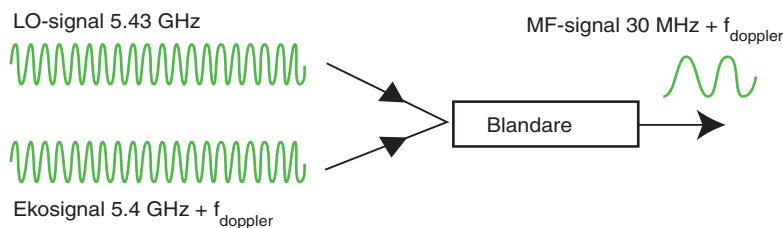


Bild 3:48. Blandare.

I blandaren blandas ekopulsen med LO-signalen. LO-signalen har skapats i HFG samtidigt som sändsignalen. LO-signalen har en frekvens som är något lite högre än sändfrekvensen. När ekosignalen och LO-signalen blandas samman fås en signal som består av skillnaden mellan de båda signalerna.

Exempel 3:3

En radarstation har sändfrekvens 5,4 GHz och LO-signal 5,43 GHz. Ekot har 5,4 GHz plus målets dopplerfrekvens, f_{doppler} . Signalen efter blandningen får då frekvensen $5,43 - (5,4 \text{ GHz} + f_{\text{doppler}}) = 0,03 \text{ GHz} + f_{\text{doppler}} \approx 30 \text{ MHz}$. 30 MHz -signalen benämns mellanfrekvens (MF).

En mottagare som arbetar med ett system med en mellanfrekvens benämns Superheterodyn-mottagare. Huvuddelen av alla radarstationer och radioapparater arbetar enligt denna princip. Då man på en transistorradio vrider frekvensratten påverkar man i själva verket bl a en lokaloscillator för att få rätt mellanfrekvens för den station man vill lyssna på.

Efter blandaren förstärks signalen i en förstärkare. Hur mycket signalen ska förstärkas bestäms bl a av NED (närekodämpning), STEGD (stegdämpning) och MKR (manuell känslighetsreglering). Närekodämpningen kommer att minska förstärkningen av signalen i området närmast radarn för att slippa starka markekon. Stegdämpning minskar förstärkningen ca 1000 ggr i hela avståndsområdet för att man ska kunna få entydig störbäring.

Resterande del av signalen måste signalbehandlas ytterligare för att bl a få bort markekona. Första steget i denna process sker i mottagarens FAS-DETEKTOR.

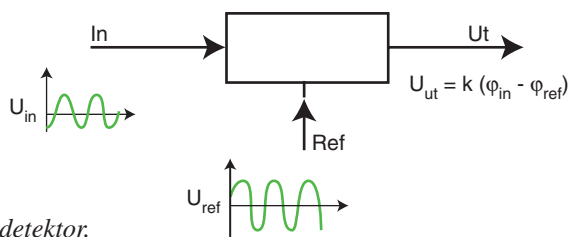


Bild 3:49. Fasdetektor.

Fasdetektorn lämnar en utspänning som är beroende av fasskillnaden mellan insignalen och referensen. Ju större fasskillnaden är desto större blir utsignalen.

Vid vissa faslägen blir utsignalen noll, det leder då tyvärr till att man inte skulle ha någon signal till den efterföljande signalbehandlingen. För att gardera sig mot detta problem finns två fasdetektorer där den ena använder en referenssignal som är fasförskjuten 90° . Vitsen med detta är att signalerna från de båda fasdetektorerna inte samtidigt bli noll. Signalerna från fasdetektorerna kallas I-video och Q-video och ger både signalens fas och amplitud.

$$A = \sqrt{I^2 + Q^2}$$

$$\varphi = (\arctan \frac{Q}{I}).$$

Råvideo – F

Efter förstärkaren leds den del av signalen som ska bilda RÅVIDEON till indikatorn.

Råvidosignalen kommer att innehålla obehandlad information dvs både riktiga ekon och markekon.

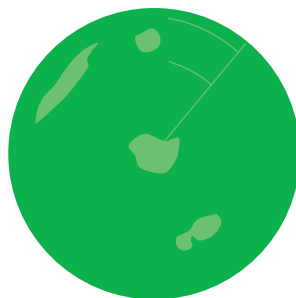
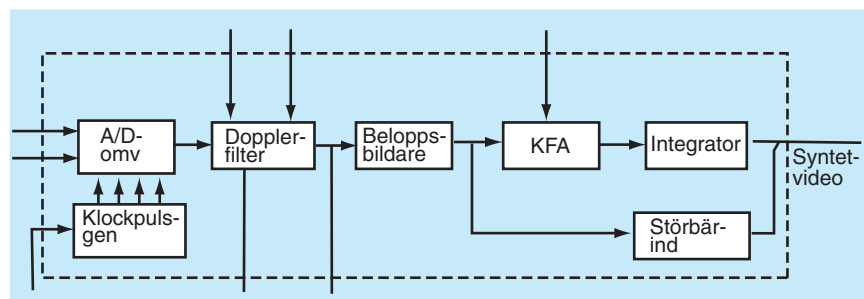


Bild 3:50. Råvideo.

Signalbehandlingsenhet (SBE) – G

Signalerna från mottagaren vilka består av ekots fasinformation leds därefter till SBE, Första steget i SBE består i att omvandla de analoga signalerna till digital information. Anledningen till A/D-omvandlingen är att de digitala signalerna är lättare att spara i minnen vilket bl a behövs då markeko-signalerna ska filtreras bort. A/D-omvandlarens samplingsfrekvens bestäms av antalet avståndsfällor.



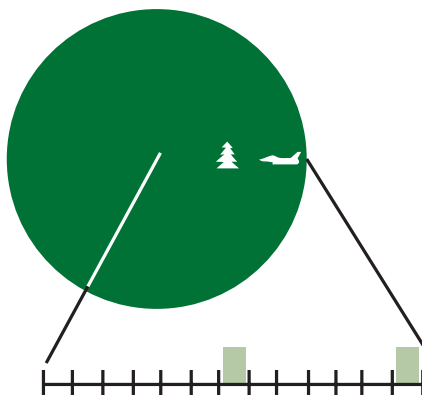


Bild 3:51. Princip avståndsfällor. Fasinformationen från de mottagna ekona sparas i ett minne med 64 olika fack eller fällor. Varje eko hamnar i den fällan som motsvarar det avstånd det befinner sig på.

I SBE läggs sedan den digitaliserade fasinformationen in i ett stort minne. Man delar härvid upp avståndsområdet i 64 s k fällor. Om man har ett eko längst ut på indikatorn kommer fasinformationen om detta eko läggas i fälla 64, ett annat eko i samma bäring men på halva avståndet hamnar i fälla 32.

DOPPLERFILTRET, även benämnt MTI-filter (Moving Target Indication), har till uppgift att sälla bort stillastående markekon så att endast de rörliga ekona presenteras.

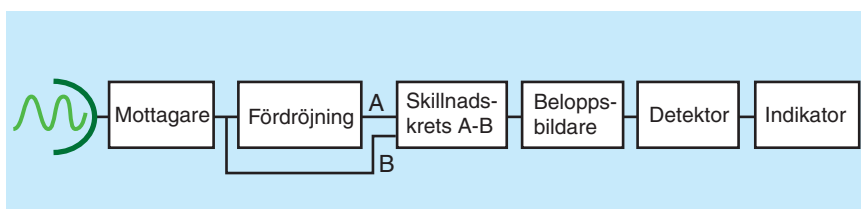


Bild 3:52. Doppler- eller MTI-filter

Det fungerar på så vis att man för en viss fälla tar fasläget från förra pulsen minus den nya pulsens fasläge. Om faslägena är lika blir svaret noll vilket betyder att det är ett stillastående eko. Om de inte är lika, vilket är fallet då det är ett rörligt eko, fås ett svar som är skilt från noll. Man får då en signal som senare kan presenteras på indikatorn.

Det stillastående ekot får alltid samma fasläge medan det rörliga föremålet ger olika faslägen vid varje ny puls.

I MTI-kretsarna subtraheras fasläget i varje avståndsfälla med fasläget från den senaste mätningens fällor. Ett stillastående eko (Eko 1) har alltid samma fasläge, skillnaden blir därför noll. För ett rörligt mål (Eko 2) varierar fasskillnaden.

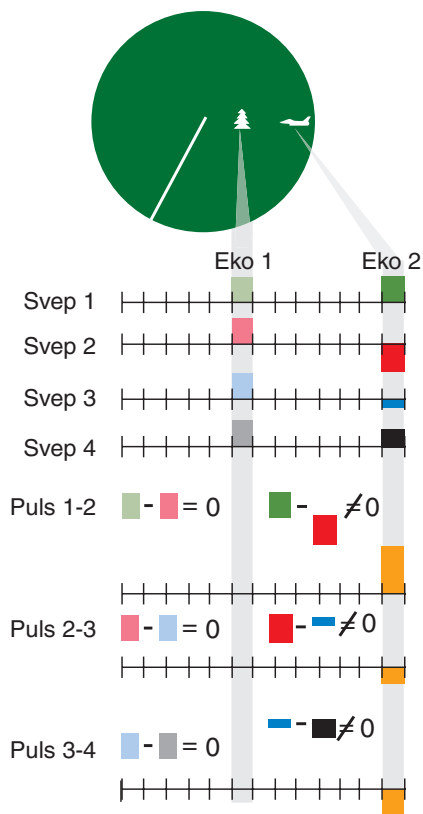


Bild 3:53. Princip MTI-filtrering.

Det rörliga ekot kommer efter MTI-filtret att ge upphov till en signal med varierande fasläge (bild 3:54). Fasläget förändrar sig med målets dopplerfrekvens.

Bild 3:54. Det rörliga ekot. Signalen ut från MTI-filtret före beloppsbildaren.

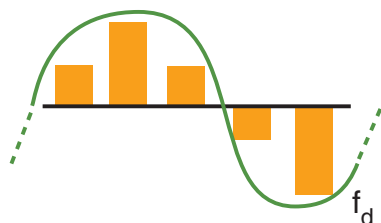
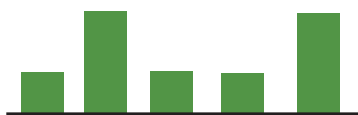


Bild 3:55. Beloppsbildaren likriktar signalerna som kommer ut från MTI-filtret.



Nästa enhet i kedjan är BELOPPSBILDAREN där likriktas ("vänds") de signaler ut från dopplerfiltren som fått "negativt" fasläge till "positiva".

KFA-KRETSARNA har till uppgift att minska mängden falska ekon som bruset kan ge upphov till. Bruset varierar slumpvis och kommer inte att tas bort av dopplerfiltren.

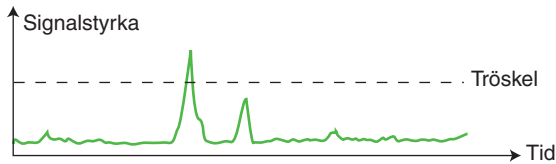


Bild 3:56. Detekteringströskel. Endast signaler som når över detekteringsströskeln kommer att presenteras.

I alla typer av radarstationer finns en s k detekteringströskel, ett eko måste ha en amplitud som är högre än detekteringströskeln för att presenteras. Om brusnivån ökar i styrka kan även bruset komma att passera detekteringströskeln, bruset presenteras då som en stor mängd målekon på indikatorn.

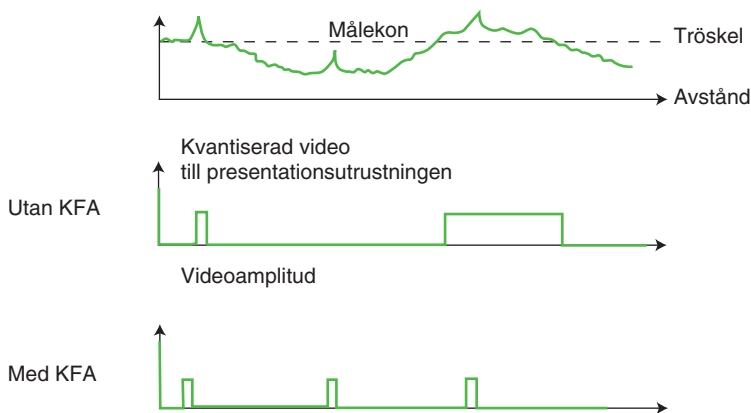


Bild 3:57. KFA-konstant falsklarms generering.

KFA-kretsarna har till uppgift att anpassa detekteringströskeln så att den alltid befinner sig över brusets medelvärde, så att inte en mängd falska mål uppstår när brusnivån höjs.

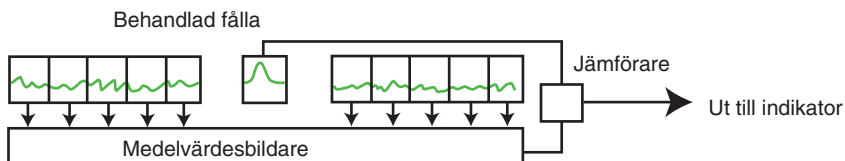


Bild 3:58. Funktionsprincip KFA. I KFA-kretsarna jämförs signalnivån i en behandlad fälla med signalnivån i de omgivande fällorna. Signalen i "mitten"-fällan måste vara högre än medelvärdet för att ett eko ska presenteras.

I KFA-kretsarna jämförs signalnivån i den just då behandlade fällan med medelvärdet hos fem fällor på ömse sidor. Om signalnivån är högre i mittfällan än medelvärdet av de omgivande fällorna, presenteras ett eko. Därefter stegas fällorna fram ett steg och en ny avståndsfälla blir mittfälla.

Med knappen KFA kan man variera hur mycket högre än medelvärdet ekot ska vara för att presenteras. Ju högre KFA-nivån väljs desto lägre blir radarns känslighet. Andelen falska mål minskar eftersom det blir mindre risk att någon enstaka brustopp kan passera detekteringströskeln. Strävan ska vara att ha en så låg KFA-nivå som möjligt, annars kan man missa verkliga mål med låg signalstyrka.

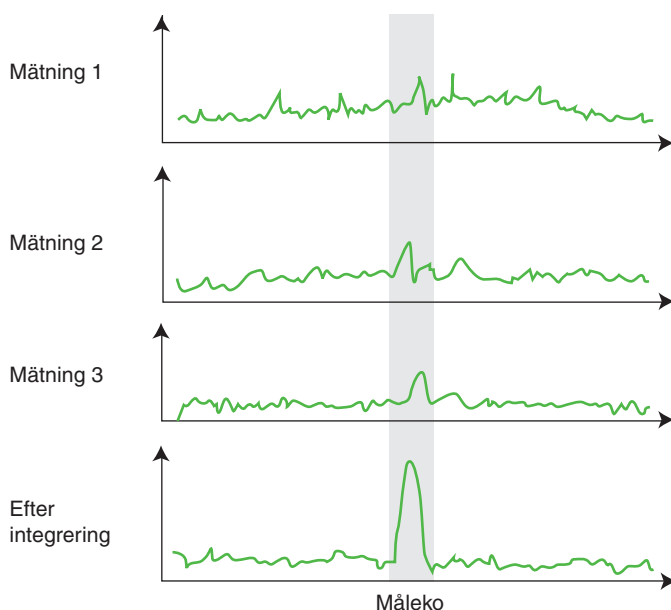


Bild 3:59. Integratorn. I integratorn summeras ett antal mätningar fälla för fälla. Bruset varierar slumpvis medan ekot befinner sig hela tiden i samma fälla. Ekots amplitud kommer därför att öka mer efter summeringen än vad bruset gör.

Även integratorn har till uppgift att minska mängden falska ekon och öka stationens känslighet. Integratorn fungerar genom att signalerna mellan olika mätningar summeras fälla för fälla.

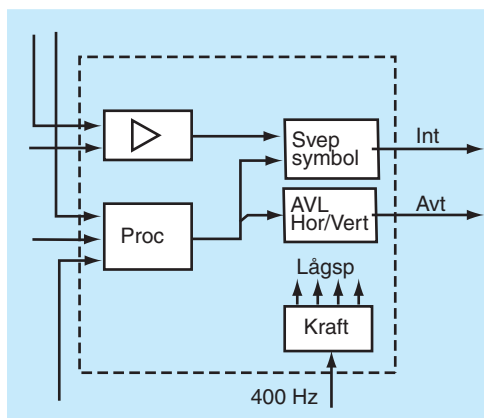
Ett eko uppträder i samma fälla hela tiden och signalnivån kommer att öka kraftigt om flera signaler summeras. Bruset varierar slumpmässigt, om flera mätningar summeras kommer summan av bruset öka mindre än summan av ekosignalerna. Tack vare integratorn kommer ekosignalerna att höja sig mer över bruset än vad som vore fallet utan integrator, vilket ökar radarns förmåga att hitta svaga ekon dvs radarn blir känsligare.

Beroende på typ av radarstation finns två typer av integration, integrering före detektorn och integrering efter detektorn. Ovanstående förklaring gäller, efter integratorn. Om integrering sker före detektorn så ökar signal/brusförhållandet proportionellt med antalet integrerade pulser. Flertalet av luftvärnets radarstationer integrerar efter detektorn. Signal/brusförhållandet är då endast proportionellt mot roten av antalet integrerade pulser. Efter ytterligare förstärkning når signalen radarns PPI.

Störbäringsindikering

Signalen från beloppsbildaren går även till kretsar för störbäringsindikering. Här görs en kontroll av brusnivån i ett antal fällor. Om signalen är mer än ett femtiotal gånger starkare än den normala brusnivån så presenteras en störbärning. Störbärning presenteras framför allt då antennen pekar rakt mot störsändaren men om störningen är mycket kraftig kan störsignaler tränga in via antennens sidolobber så att störbärningar presenteras i flera riktningar.

Indikator – H



Indikatorns uppgift är att presentera informationen för radaroperatören. I PS-70 används en plan polär indikator (PPI). Det innebär att den kan presentera både riktning och avstånd till målet. Indikator av PPI-typ är den vanligaste typen i spaningsradarstationer.

Det kan nämnas att det finns andra typer av indikatorer som används i eldledningsradarstationer t ex A-indikatorn vilken presenterar avstånd och signalstyrka.

Indikatorn i PS-70 är ett katodstrålerör som består av tre delar

- elektronkanon
- avlänkingsplattor eller spolar
- bildskärm.

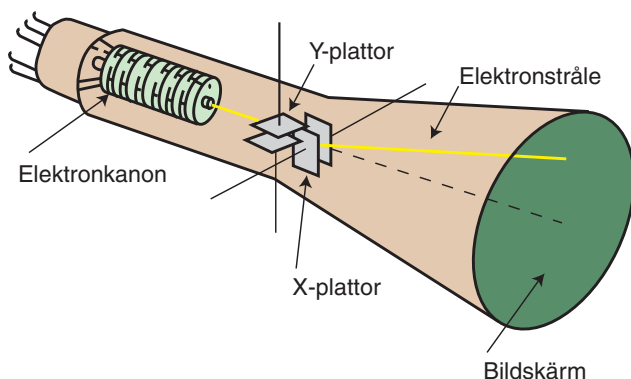


Bild 3:60. Katodstrålerör.

Elektronkanonen avger en stråle av elektroner. När elektronstrålen träffar skärmen lyser denna upp. Genom att variera spänningarna på avlänkningsplattorna kan den lysande punktens läge på skärmen förflyttas. Med X-plattorna förflyttar man strålen i horisontalled och med Y-plattorna sker motsvarande förflyttning i vertikalalled. Om man samtidigt ändrar spänningarna på de olika plattorna kan man få en godtycklig förflyttning av punkten. I PS-70 använder indikatorns processor vinkelinformationen från antennen till att styra elektronstrålen att rita ett svep i den riktning som stationen sänder.

Indikatorns skärm innehåller ett fluoriserande skikt som lyser upp då det träffas av elektronstrålen, skärmen har en viss efterlysningstid vilket gör att punkten långsamt mörknar då elektronstrålen försvinner. Efterlysningstiden gör att det mänskliga ögat hinner uppfatta de mycket korta ekopulserna.

I elektronkanonen finns ett sk galler. Med gallret kan man reglera punktens intensitet. En negativ spänning på gallret minskar antalet elektroner som lämnar elektronkanonen och därmed minskar också punktens intensitet.

I PS-70 kan punktens intensitet varieras i fyra steg beroende på hur kraftigt målekt är

- släckt
- svagt
- medel
- starkt.

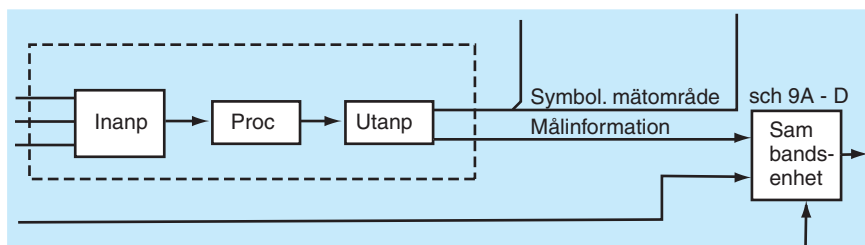
Indikatorns processor känner av antennens bäring och vet på så vis i vilken riktning den ska styra elektronstrålen. Processorn styr även elektronkanonens galler så att inga elektroner når skärmen (dvs bilden släckt).

När sändpulsen lämnar sändaren skapas en INDIKATOR SYNK vilken anger för processorn att det är dags att börja röra elektronstrålen ut från indikatorns centrum i den riktning antennen anger.

När ett eko når radarn påverkar processorn gallret så att elektronstrålen når skärmen och det uppstår en lysande punkt.

Moderna radarstationer använder bildskärmar istället för katodstrålerör för att presentera radarns information.

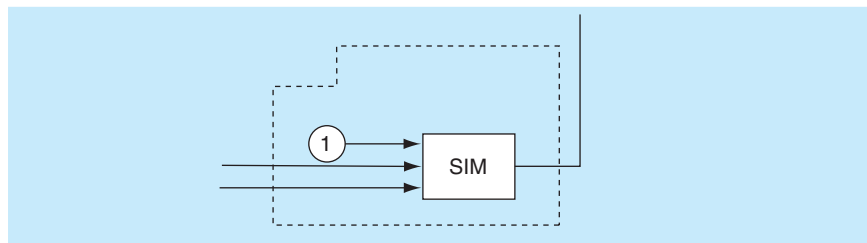
Invisning, måldatasändaren – I och sambandsenheten – J



I PS-70 följs målen manuellt av operatörerna. Med sin styrspak placerar de en symbol runt de ekon som ska följas. Måldatasändaren (MDS) läser av styrspakarnas position. Positionerna sänds därefter ut som måldata via sambandsenheten till eldenheterna. I modernare radarstationer t ex PS-90 och PS-91 kan målen antingen följas manuellt eller automatiskt. Vid automatisk fölning följer radarn själv målen enligt vissa kriterier.

Simulator – K

I radarn ingår även en simulator för att träna operatören i underrättelse-tjänst och telekrigföring.



Eldledningsradar

En eldledningsradar ska till skillnad mot en spaningsradar låsa på ett mål och automatiskt följa det i vinkelled och i avstånd eller hastighet. En indelningsgrund för eldledningsradar är att utgå ifrån radarns följeprincip. Det finns då två huvudtyper av eldledningsradar: avstånds- respektive hastighetsföljande. Hur en eldledningsradar följer ett mål i vinkelled är beskrivet i kap 4 (avsnitt Vinkelavhakning).



Bild 3:61. Eldledningsradar eldenhet 23.

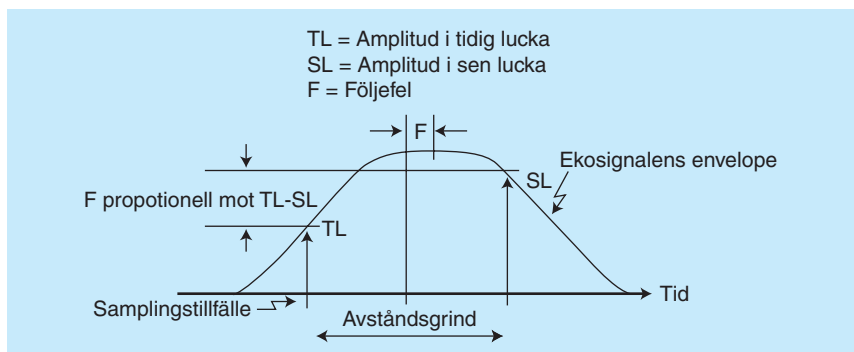


Bild 3:62. Radarns avståndsservo strävar efter att hålla avståndsgvind i en sådan position att signalerna från den tidiga och den sena luckan blir lika stora.

Avståndsföljning

I en avståndsföljande eldledningsradar samplas det mottagna ekot vid två tillfällen, en strax före och en strax efter det inställda avståndet. Om avståndet inte är korrekt erhålls en felsignal eftersom målekostyrkan är starkare vid ett av samplingstillfällena. Det instrumenterade avståndet justeras då så att det överensstämmer med avståndet till målet. Samplingstillfällena benämns av historiska skäl för luckor, tidig lucka respektive sen lucka.

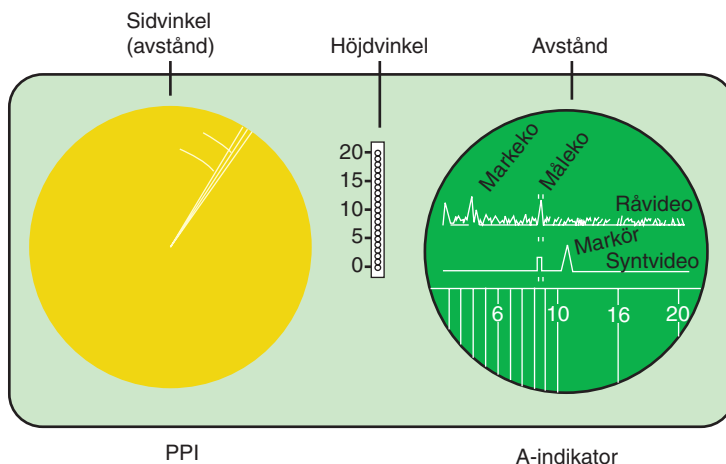


Bild 3:63. Exempel på presentation i en avståndsmätande eldledningsradar Cig 790.

Ekosignalen presenteras ofta både på ett PPI och en avståndsindikator (A-indikator).

Hastighetsföljning

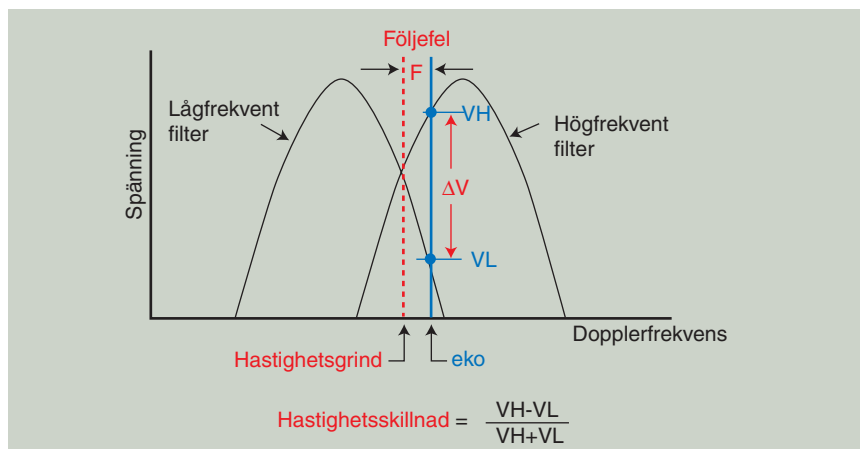


Bild 3:64. Hastighetsservot utnyttjar två stycken filter. Signalen från filtren blir lika stark då ekots dopplerfrekvens befinner sig i skärningspunkten mellan filtren.

Hos en hastighetsmätande eldledningsradar, t ex PE 542, sker förloppet inte i avstånd utan i frekvens (hastighet). Ett enkelt hastighetsservo kan bestå av två stycken delvis överlappande filter. När ekot ger lika stark signal i båda filtren följer servot på rätt dopplerfrekvens (=hastighet). För att förflytta eko-signalen till skärningspunkten mellan de båda filtren utnyttjas en styrbar oscillator vars signal blandas med ekosignalen. När hastighetsservot ligger mitt på ekot kommer oscillatorsignalen vara ett mått på målets hastighet.

Fördjupning

Elektromagnetiska vågor

För att en elektrisk ström ska flyta måste det finnas ett elektriskt fält. När en elektrisk ström flyter (bild 3:65) så skapas ett magnetfält, elektromagneten är ett exempel på detta.

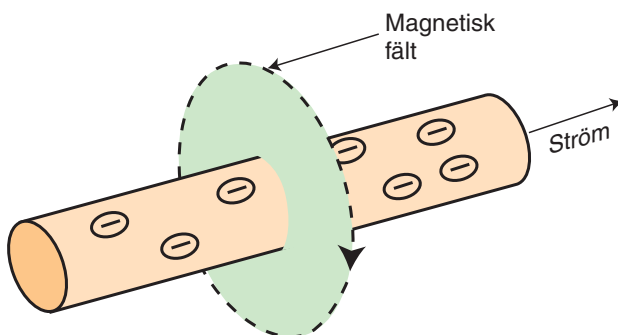


Bild 3:65. Ett magnetfält uppstår kring en elektrisk ledare.

Alla hastiga förändringar i ett magnetiskt fält, ökning eller minskning av amplituden eller en rörelseändring genererar ett elektriskt fält. Man ser detta i generatorer och transformatorer. På samma sätt, skapar en förändring i ett elektriskt fält ett magnetfält.

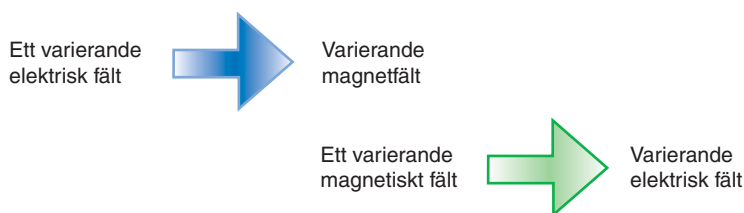


Bild 3:66. En elektromagnetisk våg fortplantar sig eftersom de elektriska och magnetiska fälten är kopplade till varandra. Om det elektriska fältet varierar sinusformat så kommer det att ge upphov till ett sinusformat magnetiskt fält. Det magnetiska fältet kommer i sin tur att skapa ett varierande elektriskt fält. Vågen utbreder sig.

Elektromagnetisk energi avges varje gång en laddning (t ex en elektron) förändrar sin riktning eller hastighet. Man bör dock notera att en likström visserligen ger upphov till ett magnetfält men att detta inte innebär att man får en elektromagnetisk våg, för att detta ska ske krävs att laddningarna accelereras eller retarderas dvs förändrar sin hastighet.

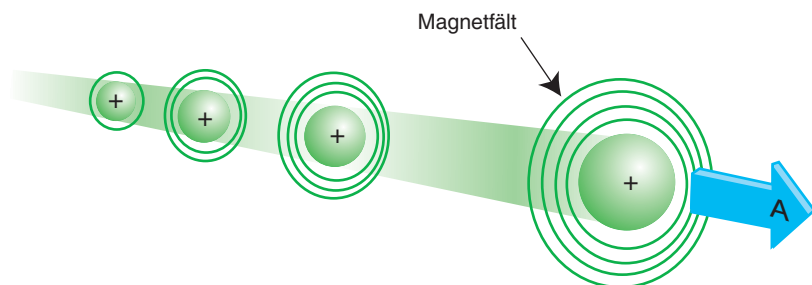


Bild 3:67. Då en elektrisk laddning accelererar, skapas ett magnetiskt fält och elektromagnetisk energi utstrålas. Rörelseförändringen hos laddningen skapar en förändring i det omgivande magnetiska fältet. Denna förändring skapar i sin tur en förändring i det elektriska fältet litet längre ut, vilket i sin tur skapar ett förändrat magnetiskt fält ytterligare en bit ut och så vidare.

Som en följd av termisk rörelse är elektroner i alla material i konstant slumpvis rörelse. Följaktligen utstrålar allt runt om kring oss elektromagnetisk energi (bild 3:68).

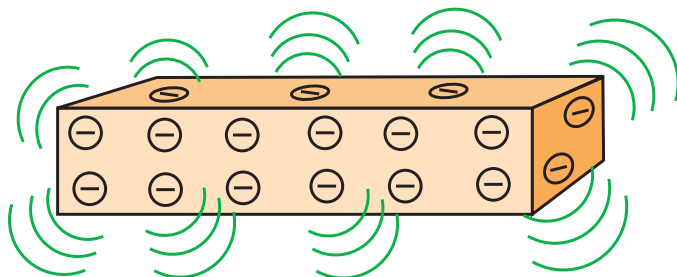


Bild 3:68. På grund av termisk rörelse utstrålar allt runt om oss elektromagnetisk energi, varav en liten del är på mikrovågsfrekvenser.

Den mesta energin utgörs av termisk strålning (långvågig infraröd strålning). Men en liten del av strålningen är mikrovågor. Utstrålad värme, ljus och mikrovågor är olika former av samma fenomen nämligen *elektromagnetisk strålning*. De skiljer sig endast åt i våglängd och frekvens.

I motsats till naturlig strålning, skapas vågorna i en radar genom att påverka en avstämd krets med en stark elektrisk ström. Vid radarns sändfrekvens innehåller därför radarsignalerna mycket mer energi än den naturliga strålningen.

Egenskaper hos elektromagnetiska vågor

En elektromagnetisk signal har ett antal olika egenskaper som hastighet, riktning, polarisation, styrka, våglängd, frekvens och fas.

Riktning

Vågen utbreder sig i fria rymden vinkelrätt mot både de magnetiska (H) och de elektriska (E) fältens riktningar (bild 3:69). Denna riktning är alltid riktad ut från det strålände elementet (antennen). Effekten utbreder sig enligt "högerhandsregeln" ($P = \vec{E} \times \vec{H}$). När en våg träffar ett reflekterande objekt ändras riktningen på något av fälten och därmed ändras också riktningen på svängningen.

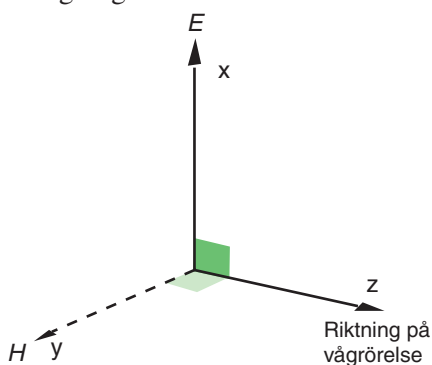


Bild 3:69. Vågens utbredningsriktning är vinkelrät mot både det elektriska (E) och det magnetiska (H) fältens riktningar.

Polarisation

Polarisation används för att beskriva fältens orientering. Genom en överenskommelse har man bestämt att med polarisation avses det elektriska fältets riktning. I fri rymd, utanför den absoluta närheten av antennen, är magnetfältet vinkelrätt mot det elektriska fältet (bild 3:70) och vågrörelsen vinkelrät mot dessa båda fält.

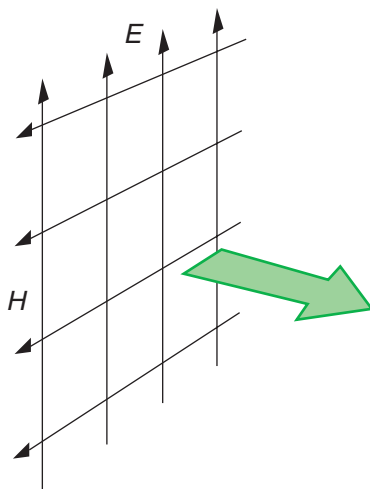


Bild 3:70. I fria rymden är en vågens magnetiska fält (H) alltid vinkelrätt mot det elektriska fältet (E). Rörelseriktningen är vinkelrät mot båda.

När det elektriska fältet är vertikalt (dvs svänger i vertikalled) sägs vågen vara vertikalt polariserad. När det elektriska fältet är horisontellt är vågen horisontellt polariserad.

Om antennen är en tunn ledare kommer det elektriska fältet att vara parallellt med ledaren. Om ledaren är vertikal blir det elektriska fältet vertikalt polariserat (bild 3:71), är det horisontellt blir signalen horisontellt polariserad. Det som sker i t ex en radioantennen är att en växelström accelererar elektroner i antennen. Det elektriska fältet får därför samma riktning som antennen. Polarisationen kan därför ofta observeras redan genom att se på antennens utseende. Radioantennerna för UK-radio är vertikala dvs signalerna är vertikalt polariserade, medan spröten i en TV-antenn pekar längs horisonten vilket betyder att TV-signalerna är horisontellt polariserade.

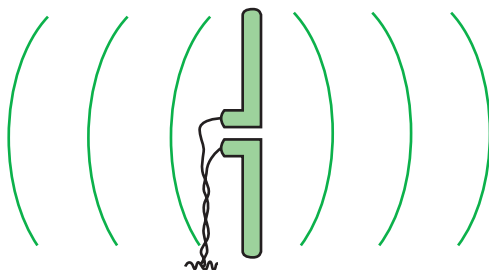


Bild 3:71. Om det strålande elementet är vertikalt, kallas elementet för vertikalt polariserat.

I en mottagarantenn ska E-fältet sätta fart på laddningar i antennen. En mottagarantenn som placeras i vågens väg kan ta emot maximal mängd energi om polarisationen (orienteringen) hos antennen är densamma som vågens polarisering. Om polarisationen inte är densamma så reduceras den mottagna energi proportionellt med $\cos^2$ för vinkeln mellan antennens och signalens polarisationer.

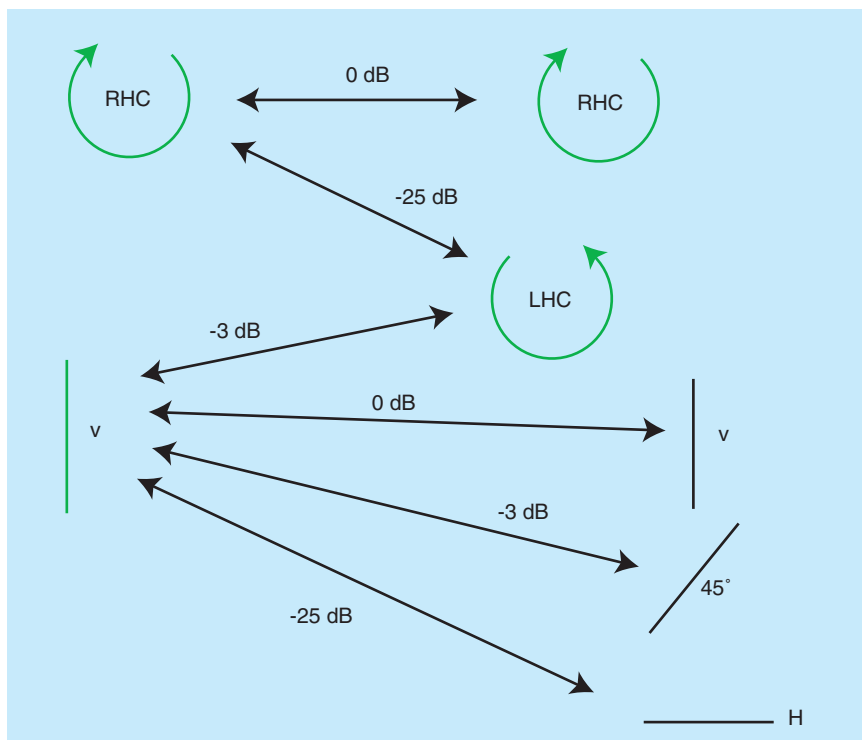


Bild 3:72. En signal dämpas om polarisationen på den sändande och mottagande antennen inte stämmer överens. $-3\text{dB} = 1/2$ signalstyrkan, $-25\text{ dB} = \text{ca } 1/320\text{-del}$ (Adamy).

Om man försöker att ta emot en vertikalt polariserad signal med en horisontellt polariserad mottagarantenn så kommer inte någon signal alls in i mottagaren. Om man i stället vrider antennen 45° så kommer hälften av den verkliga signalen att nå mottagaren.

När en våg reflekteras beror polarisationen hos den reflekterade signalen inte bara på polarisationen hos den inkommande vågen utan också på konstruktionen av objektet och vilket material det är tillverkat av. Polarisationen på radareko kan faktiskt användas som ett sätt att diskriminera vissa typer av föremål.

Linjärt polariserade vågor är vågor som hela tiden har samma polarisation under hela deras längd. I vissa tillämpningar är det önskvärt att sända vågor vars polarisation roterar 360° under varje våglängd (bild 3:73).

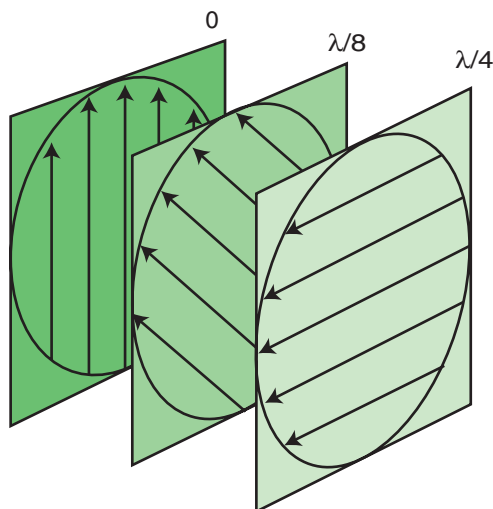


Bild 3:73. Cirkulär polarisation. Polarisationens vridning vid förflyttning från noll till en fjärdedels våglängd.

Detta kallas cirkulär polarisation. Det kan åstadkommas genom att samtidigt sända horisontella och vertikala vågor som är 90° ur fas. Vågen sägs vara cirkulärt högerpolariserad om E-fältet roterar medurs när man ser på det i utbredningsriktningen och cirkulärt vänsterpolariserad om fältet roterar moturs (eng. RHC - right hand circular, LHC - left hand circular).

Våglängd, frekvens och hastighet

Fältstyrkan varierar sinusformat i bild 3:74. Avståndet mellan två punkter med lika fas i två på varandra följande vågor definieras som våglängden (λ) och mäts i meter. Antalet utsända vågor per sekund är frekvensen (f).

Sambandet mellan våglängd, frekvens och utbredningshastighet (v) är

$$v = \lambda \cdot f \quad [\text{m/s}]$$

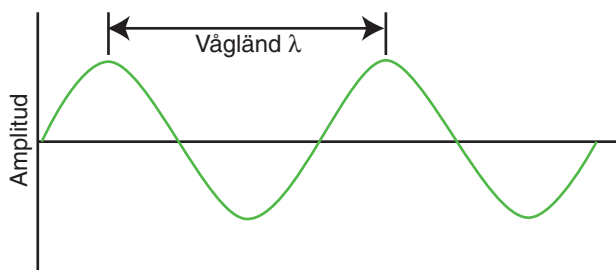


Bild 3:74. En våglängd.

All elektromagnetisk strålning fortplantar sig med en hastighet av ca 300 000 km/s i vakuum. Ljushastigheten i vakuum betecknas c . I alla andra material är hastigheten lägre, i luft är hastigheten bara något mindre än i vakuum, oftast brukar denna hastighetsskillnad försummas.

Frekvensband

Frekvenser indelas i s k frekvensband t ex High Frequency (HF), Very High Frequency (VHF), Ultra High Frequency (UHF) och så vidare. De frekvenser som vanligen används av radar är inom UHF mikrovågs- och millimetervågsbanden (bild 3:75).

Under andra världskriget delades mikrovågsområdet upp i relativt smala band som av militära sekretessskäl gavs bokstavsbezeichnungar: L-bandet, S-bandet, C-bandet, X-bandet och K-bandet. För att öka sekretessen ytterligare var beteckningarna inte i alfabetisk ordning. Även om frekvensbanden sedan länge är öppen information har beteckningarna blivit kvar sedan dess.

K-bandet visade sig vara nästan rakt centrerat över resonansfrekvensen för vattenånga, där den atmosfäriska dämpningen är hög. Bandet delades därför upp i tre delar. Mittendelen behöll den ursprungliga beteckningen K. Den nedre delen fick beteckningen Ku-bandet och den översta delen fick beteckningen Ka-bandet. En minnesregel är att u=under K-bandet och

a=above (över) K-bandet.

Under 1970-talet skapades en ny serie beteckningar för elektroniska motmedelsutrustningar. Dessa är i alfabetisk ordning från A till M. Man vill gärna tillämpa dessa beteckningar även på radar. Men, eftersom de nya gränserna mellan frekvensbanden ligger mitt i de gamla banden har detta gått trögt. I Sverige används fortfarande framför allt de gamla beteckningarna. I USA används ofta de "nya" banden, endast för elektroniska motmedel. Mycket talar för att alla på sikt kommer att gå över till de nya beteckningarna.

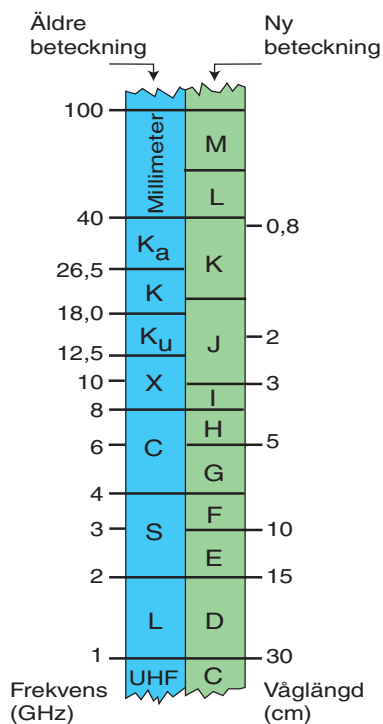


Bild 3:75. Äldre och nyare beteckningar för frekvensbanden.

Tabell 3:1. Centerfrekvenserna och våglängderna för de fem vanligaste radarband.

Band	GHz	cm	Ny beteckning
Ka	38	0,8	K
Ku	15	2	J
X	10	3	I
C	6	5	G-H (PS-70, PS-90, Und 23 tillhör G)
S	3	10	E-F

Vad som är den optimala frekvensen för en radar är en avvägning mellan flera faktorer. Generellt, ju lägre frekvens desto större fysisk storlek på t ex sändare och antenn och desto högre maximal effekt. Ju högre frekvens desto smalare lob kan åstadkommas med en antenn med given storlek.

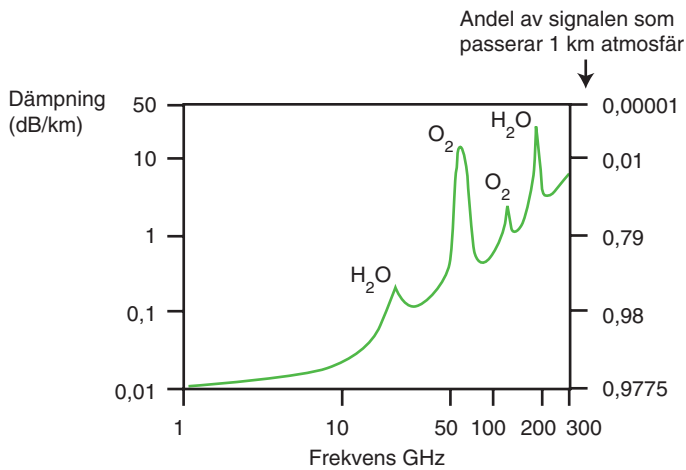


Bild 3:76. Atmosfärdämpningen ökar med frekvensen. Dämpningen beror till stor del på vattenånga (H₂O) och syremolekyler (O₂).

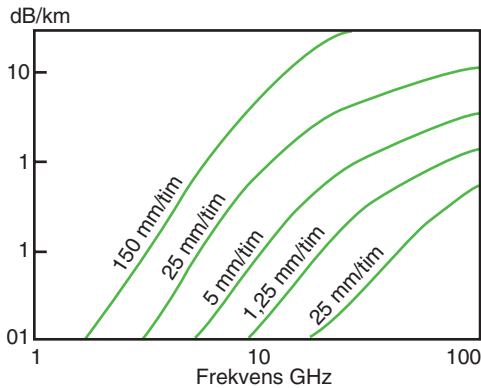


Bild 3:77. Dämpning ökar med frekvensen och regnmängden.

3. Radarlära

Vid frekvenser på 3 GHz och högre börjar signalen dämpas märkbart av atmosfären. Dessutom fås reflektioner från bl a regn och dis vilket ger upphov till väderklotter. Klottret kan komma att ge upphov till ekon som döljer målen. Över ca 10 GHz blir dämpningen och spridningen p g a atmosfären betydande.

Det naturliga bruset är minst i området 0,3 till 10 GHz men ökar markant vid 20 GHz och högre frekvenser.

Dopplerskiftet (frekvensändringen) mot ett rörligt mål ökar med frekvensen enligt formeln:

$$f_d = \frac{2 \cdot V_r}{\lambda}$$

där

f_d = dopplerfrekvensen [Hz = 1/s]

V_r = målets radiella hastighet i förhållande till radarn [m/s]

λ = våglängden [m]

Om små hastighetsskillnader ska kunna detekteras bör radarn arbeta med med hög frekvens.

		EGENSKAPER			
Våglängd λ (cm)	Frekvens f (Hz)	Antenn- dimension	Reflexions- förmåga	dämpning i luften	Doppler- upplösning
1 ↓ 30	$30 \cdot 10^9$ ↓ $1 \cdot 10^9$	Mindre  Större	Större  Mindre	Större  Mindre	Större  Mindre

Bild 3:78. Frekvensens påverkan på några olika parametrar.

Slutsatsen är att om man vill ha en radar som ser långt bör en låg frekvens väljas. Nackdelen är att radarn blir stor. Med höga frekvenser kan man skapa små radarstationer med smal antennlob vilket ger hög vinkelnoggrannhet. Den höga frekvensen gör det möjligt att noggrannt mäta hastighetsskillnader mellan t ex mål och klotter. Nackdelen med höga frekvenser är stor atmosfärsdämpning vilket ger kort räckvidd.

Signalanalys

Modulation och bandbredd

Detta avsnitt visar hur de signaler ser ut som sänds från en radar och därmed också vad en störsändare bör skicka ut för att störa en radarstation.

Då man säger att en radar sänder en puls med t ex 5,5 GHz är det lätt att tro att den skickar ut och tar emot en enda sinusformad signal med denna frekvens. Men signaler består i praktiken aldrig av bara en sinusformad signal. En enda kontinuerlig sinussignal innehåller ingen information. Den utsända vågen måste moduleras på något sätt för att ge någon användbar information. I praktiken används tre huvudsakliga sätt att modulera en signal, amplitudmodulering (AM), frekvensmodulering (FM) och fasmodulering (PM-Phase Modulation). De två sistnämnda är egentligen varianter av varandra eftersom en förändring av frekvensen också är en förändring av fasen. Här behandlas främst amplitud- och frekvensmodulering.

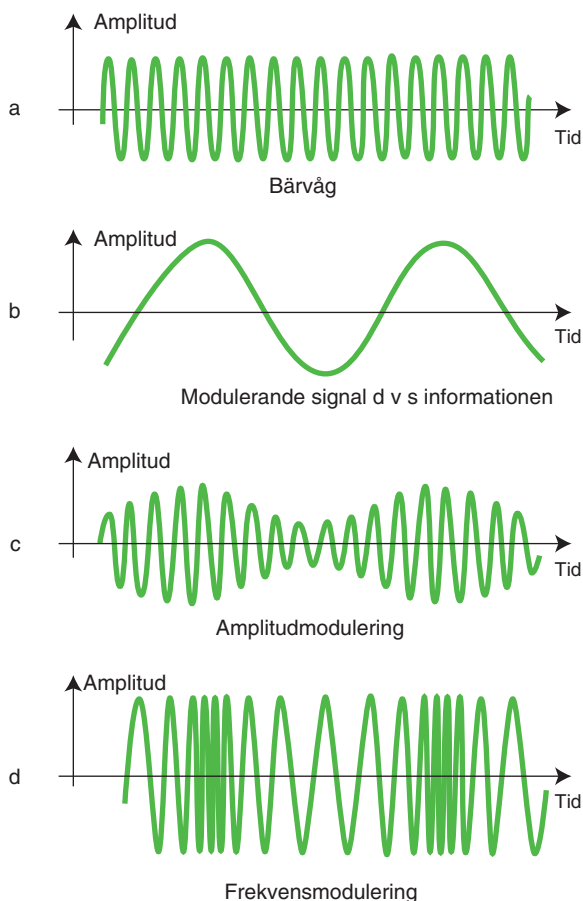


Bild 3:79 a-d. Amplitud- och frekvensmodulering.

En sändare skickar ut en bärvåg med fast frekvens (bild 3:79a). Den informationsbärande sinusformade vågen (bild 3:79b) modulerar bärvågen på två olika vis

- amplituden förändras för att ge en amplitudmodulerad (AM) signal (bild 3:79c)
- frekvensen förändras för att ge en frekvensmodulerad (FM) signal (bild 3:79d).

Amplitudmodulering (AM)

En vanlig radarstation som sänder ut pulser är amplitudmodulerad. AM signalen i bild 3:79c är en kombination av två frekvenser. En bärvåg som kan tecknas

$E_b \cdot \sin \omega_b t$ där $\omega_m = 2\pi f_m$ och den modulerande (informationen ska överföras) vågen som

$E_m \cdot \sin \omega_m t$ där

Amplituden (e) för den modulerade signalen kan då tecknas

$$e = E_b \sin \omega_b t + E_m \sin \omega_m t \cdot \sin \omega_b t$$

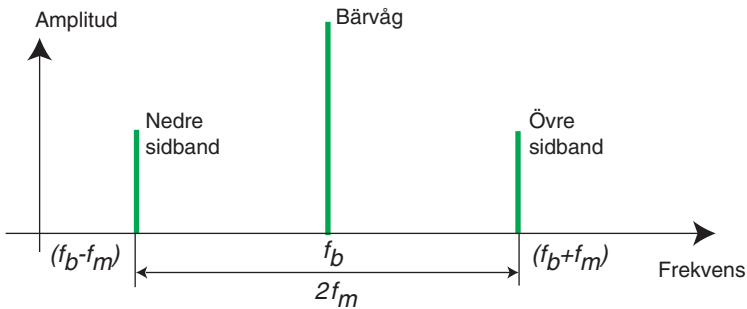
Denna formel kan utvecklas till

$$e = E_b \cdot \sin \omega_b t + \frac{E_m}{2} \cdot \cos(\omega_b - \omega_m) t - \frac{E_m}{2} \cos(\omega_b + \omega_m) t$$

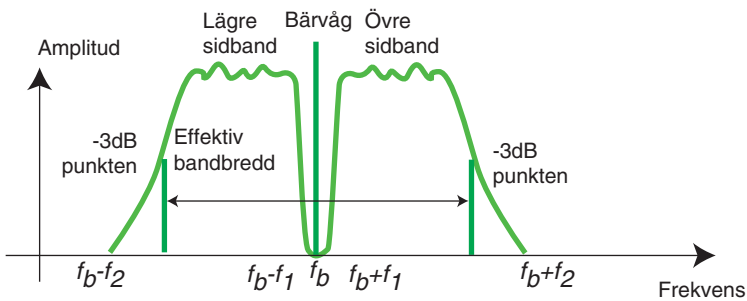
Bild 3:80 illustrerar detta schematiskt och visar att en amplitudmodulering av en bärvåg med en annan sinussignal ger två sidofrekvenser ($f_b - f_m$) och ($f_b + f_m$) och därför ger en bandbredd av $2f_m$. Om man modulerar bärvågen med en mer komplicerad signal än en sinussignal t ex röster som innehåller frekvenser inom ett område f_1 till f_2 så uppstår två hela sidoband av olika frekvensen. De två sidobanden är varandras spegelbilder och de upptar en bandbredd av $2f_2$ och vardera sidobandet innehåller all information. Den effektiva bandbredden räknas mellan de frekvenser där signalstyrkans effekt fallit till hälften (-3 dB) av toppvärdet på det sätt som visas i nedre bilden (bild 3:80).

Då en signal pulsas förändras det spektrum som en mottagare uppfattar, på ett högst märkbart vis. För att kunna förklara detta utgår man först från en symmetrisk fyrkantpuls. En fyrkantspuls kan sägas vara uppbyggd av en mängd olika sinusvågor med olika amplitud och frekvens (bild 3:81). Då dessa olika signaler summeras fås en fyrkantspuls. En stor mängd signaler med rätt frekvens och amplitud ger en perfekt fyrkantig våg (bild 3:82).

Betrakta en radarsignal bestående av en bärvåg med en viss frekvens f_0 vilken t ex är 5 GHz som slås på och av med en viss frekvens, den s k pulsrepetitionsfrekvensen (PRF). Pulserna som skickas ut är 1/1000 dels sekund långa.



Frekvensspektrum hos en sinusformad bärvåg med frekvensen f_b som är amplitudsmodulerad av en sinusvåg med frekvensen f_m .



Frekvensspektrum hos en bärvåg med frekvensen f_b som är amplitudsmodulerad med signaler inom frekvenser från området f_1 till f_2 .

Bild 3:80. Frekvensspektrum och effektiv bandbredd hos en amplitudmodulerad bärvåg.

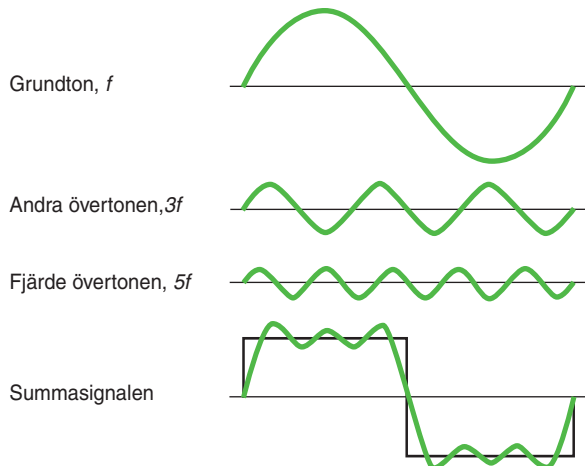


Bild 3:81. Fyrkantspuls består av summan av en mängd olika frekvenser med

olika amplitud enligt uttrycket $\sum \frac{I}{n} \sin(n \omega_0 t)$ där $n = 1, 3, 5$

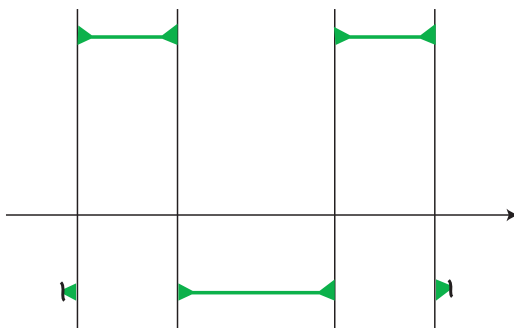


Bild 3:82. Summan av 100 sinussignaler med olika frekvens och amplitud.

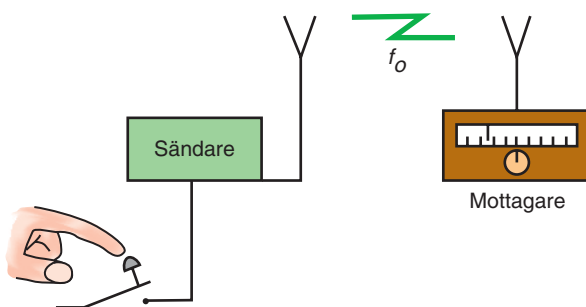


Bild 3:83. Sändare och mottagare.

Hur ser den utsända pulsade signalen ut? Följande experiment åskådliggör detta, se bild 3:83. Utrustningen består av en sändare och en justerbar mottagare till vilken en effektmeter är kopplad. Man börjar med att slå på sändaren och sända en kontinuerlig signal, en s k CW-signal (continuous wave). Med mottagaren letar man igenom frekvensbandet. Man hittar då energi på en enda frekvens vilken sammanfaller med sändarens frekvens f_0 . Det är antagligen precis vad man har förväntat sig.

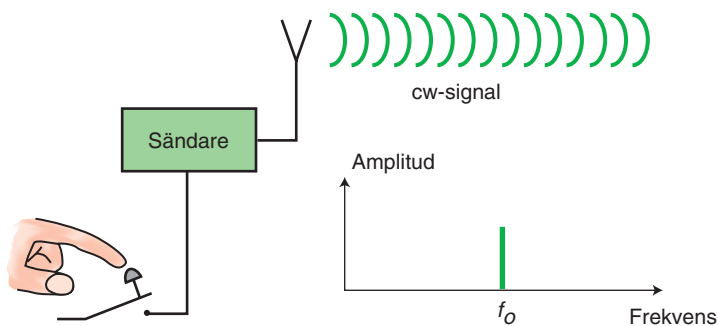


Bild 3:84. Kontinuerlig sändning.

Om man i stället börjar koppla på och av sändare med jämna mellanrum. Vad händer nu med den mottagna signalen?

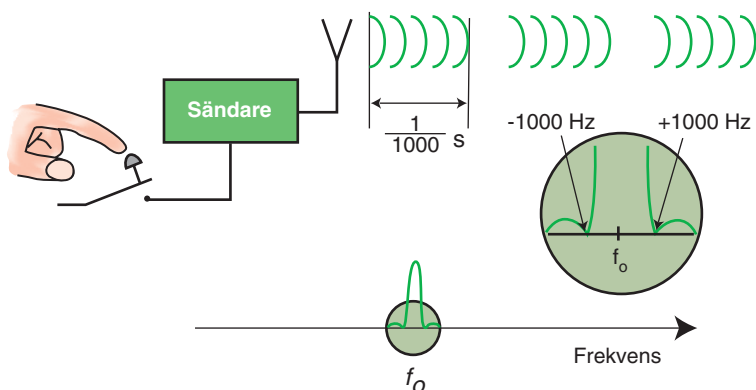


Bild 3:85. Sändning med jämna mellanrum.

Då man vrider på mottagaren så upptäcker man att signaler tas emot på i stort sett alla frekvenser. Mest signalstyrka kring bärvågens frekvens men det finns en viss signalstyrka på alla frekvenser även om de minskar ju längre ifrån bärvågen man förflyttar sig.

Vad har hänt? Jo, när man kopplar till och från sändningen så kan man se detta som om en fyrkantvåg har amplitudmodulerat bärvågen.

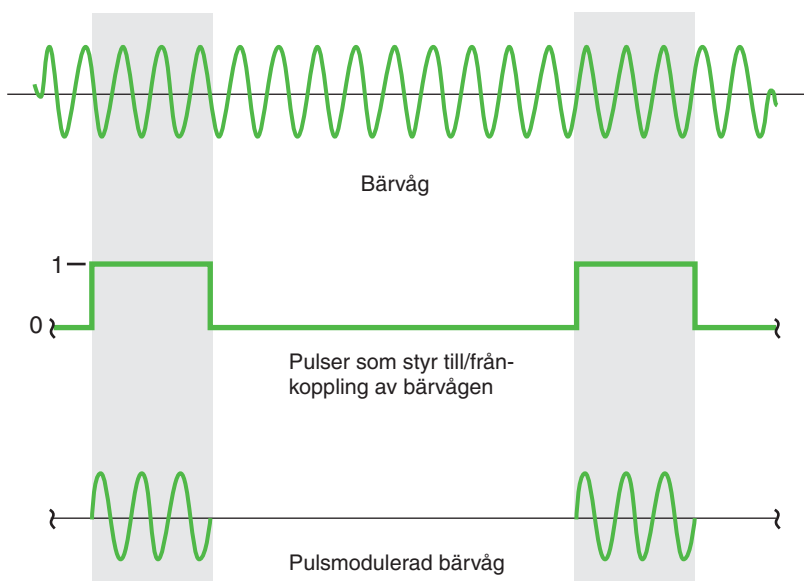


Bild 3:86. Fyrkantpuls som styr till/från kopplingen av bärvågen amplitudmodulerar bärvågen.

Fyrkantvågen består ju av en stor mängd sinusvågor. Var och en av dessa har gett upphov till en amplitudmodulering av bärvågen då ger de också var och en upphov till ett övre och ett nedre sidband. På detta vis så har man fått en viss signalstyrka över en stor mängd frekvenser. Man har fått ett spektrum. Om man ritat upp hur signalstyrkan varierar med frekvensen så ser man att signalstyrkan sjunker med ökande avstånd från bärvågsfrekvensen men den sjunker inte linjärt utan det finns några små ”pucklar” vilka benämns sidolober.

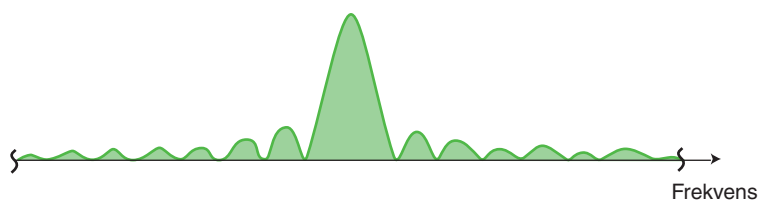


Bild 3:87. Effektspektrum följer en sinckurva för en enstaka puls eller ett icke koherent pulståg.

Det visar sig att kurvans envelop följer ett matematiskt förhållande som benämns sinc, vilket är en beteckning för $\sin(x)/x$. Kurvan får värdet noll på vissa ställen. Dessa nollställen bestäms av pulstiden (t_p) dvs hur länge sändningen pågick. Man kan visa att de första nollställena hamnar på

frekvenserna $f_o \pm \frac{1}{t_p}$, nästa på frekvenserna $f_o \pm 2 \cdot \frac{1}{t_p}$ osv. Huvudloben

(dvs mittpuckeln) har bandbredden $2 \cdot \frac{1}{t_p}$. Huvuddelen av radarns energi hamnar inom detta område.

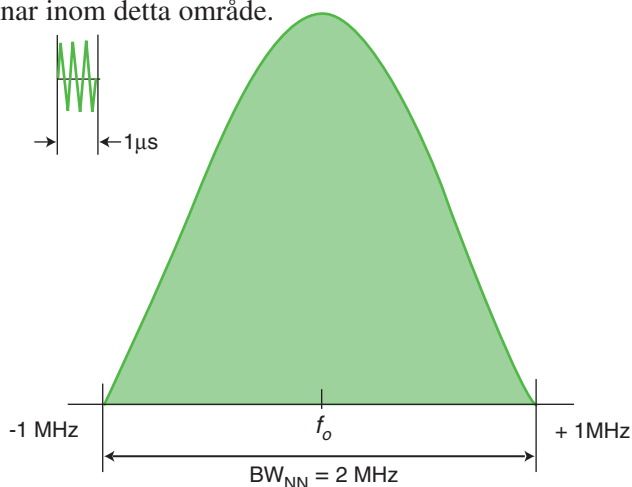


Bild 3:88. Huvudlobens noll-noll bandbredd (BW) då pulstiden är $1 \mu s$.

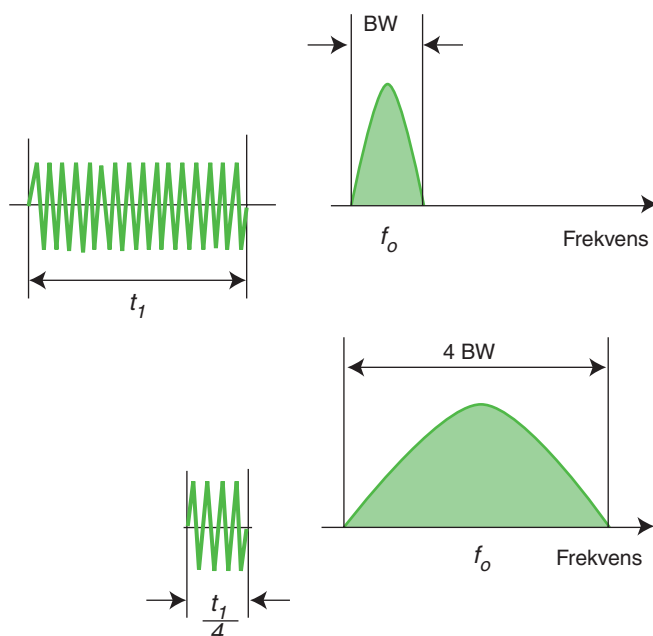


Bild 3:89. Ju kortare puls desto större bandbredd (BW).

Man kan helt enkelt dra slutsatsen att ju kortare puls desto bredare frekvensspektrum dvs bredden hos huvudloben är omvänt proportionellt mot pulslängden. Om pulslängden är kort, vilket den är hos många typer av radarstationer, så kan centrumloben ha en bandbredd på flera MHz.

Hitintills har resonemanget hur frekvensspektrumet ser ut gällt om man skickar en enda puls eller om man skickar en följd av icke koherenta pulser dvs att fasläget hos de olika pulserna varierar slumpmässigt.

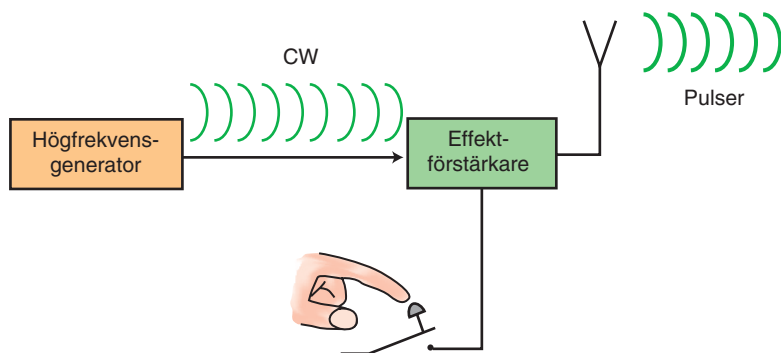


Bild 3:90. Sändning med hörfrekvensgenerator.

Man kan förändra experimentet något (bild 3:90) och använda en oscillator, en högfrequensgenerator (HFG) som får sända kontinuerligt.

Med hjälp av strömställaren kopplar man till och från en effektförstärkare. När man sluter strömställaren förstärks den mycket svaga bärvågen i en effektförstärkare t ex i radarns TWT och skickas ut som en puls genom antennen. Strömställaren kopplas in i en jämn takt den s k pulsrepetitions-frekvensen (PRF). Det man har åstadkommit med hjälp av HFG:en är att skapa en koherent signal. Det innebär att det alltid finns ett helt antal våglängder mellan varje utsänd puls. Varje utsänd puls har alltså samma fasläge. Man brukar säga att man uppnår koherens genom att skära ut pulser ur en kontinuerlig signal. Om vi nu återgår till experimentet och skickar ut en stor mängd koherenta pulser och kontrollerar med mottagaren vilka frekvenser som mottar signalenergi.

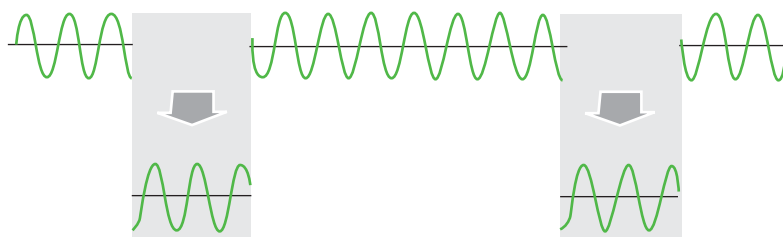


Bild 3:91. Skapande av en koherent signal.

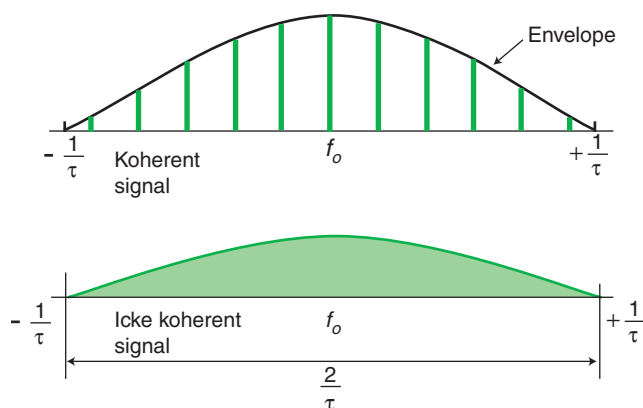


Bild 3:92. Överst, spektrum från en koherent signal och nederst från en icke koherent signal.

Man ser då att mottagaren får in signaler enbart på vissa bestämda frekvenser. Ett sådant spektrum kallas ett diskret spektrum. En närmare analys visar att envelopen (dvs "konturen") på kurvan är den samma som tidigare, dvs en sincfunktion. Amplituden är dock högre genom att energin bara är

fördelad på vissa frekvenser. Det visar sig att avståndet mellan dessa "frekvenspinnar" bestäms av pulsrepetitionsfrekvensen. Ju högre PRF desto längre mellan frekvenskomponenterna. Huvudlobens bredd avgörs precis som tidigare av pulstiden.

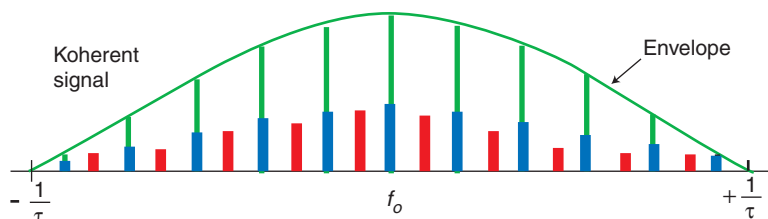


Bild 3:93. Sändspektrum från en koherent radar (grönt). Ekots spektrum från ett stillastående föremål eller från ett rörligt föremål som färdas med en blind hastighet (blått). Spektrum från ett rörligt eko (rött).

En koherent radar kan särskilja ett rörligt mål från ett stillastående mål genom att det rörliga målet ger upphov till en dopplerfrekvens. Om den reflekterade energin hamnar vid sidan av "frekvenspinnarna" i sändspektrumet så kan radarn skilja det från stillastående ekon. Det beror på att ett markekos reflektrade energi alltid hamnar på samma frekvenser som sändpulsens spektrum. Ett rörligt eko hamnar oftast på andra frekvenser än sändspektrumet. Om ett rörligt mål färdas med en sådan hastighet att dess dopplerfrekvens gör att det förflyttat sig "ett helt antal frekvens pinnar" så kan det inte skiljas från ett markeko. Dessa hastigheter benämns blinda hastigheter. Genom att ändra PRF:en ändras avståndet mellan frekvenspinnarna, det rörliga ekot hamnar då inte på samma plats som sändspektrumet och kan då detekteras. Denna metod används i en radar för att motverka blinda hastigheter och är orsaken till att blinda hastigheter undviks med en staggered PRF.

Frekvensmodulering (FM)

Ett annat sätt att modulera en signal med information är frekvensmodulering. I belyningsradarn PE-541/542 till Hawk-system låter man radarn skicka ut en FM-modulerad signal för att man ska kunna ge radarn en förmåga att mäta avstånd trots att det är en CW-radar. I avsnittet om brusstörning visas att FM-modulering är den kanske vanligaste metoden för att skapa brus.

Vid frekvensmodulering låter man den signal (t ex en talsignal) som man vill överföra påverka frekvensen hos en bärvåg. I bild 3:79d syns detta som om bärvågen ömsom trycks ihop (frekvensen ökar) och dras isär

(frekvensen minskar) då bärvågen har hög respektive låg amplitud, några begrepp.

- Centerfrekvens, f_c eller f_o , oscillatorns frekvens utan modulerings.
- Deviation, Δf , maximala frekvensavvikelsen uppåt eller nedåt räknat från centerfrekvensen.
- Svinget, totala frekvensavvikelsen från högsta ($+\Delta f$) till lägsta ($-\Delta f$) frekvensen. Frekvenssvinget är således dubbelt så stort som frekvensdeviationen.

På bilden ser man att den frekvensmodulerade signalen hela tiden har en konstant amplitud. Detta innebär att man alltid kan använda sändarens hela effekt.

Som tidigare nämnts så innebär varje form av modulerings att det uppstår en mängd nya frekvenser. Detta gäller inte minst vid FM-modulerings. Hur FM signalens spektrum uppstår, är avsevärt mer komplicerat än vid amplitudmodulerings. Nedan följer lite av matematiken rörande frekvensmodulation. Hur själva spektrumet uppstår är dock alltför komplicerat för att ta upp här.

Frekvensmodulerade signaler kan beskrivas med formeln

$$e = E \sin \left[\omega_c t + \frac{2\pi \Delta f}{\omega_m} \sin \omega_m t \right] \quad \text{där}$$

e = momentana spänningen hos utsignalen

E = bärvågens toppvärde

ω_c = bärvågens vinkelhastighet = $2\pi f_c$

Δf = maximal frekvensavvikelse, (som är proportionell mot modulations-signalens amplitud, inte dess frekvens)

f_m = den modulerande signalens frekvens

ω_m = den modulerande signalens vinkelhastighet = $2\pi \cdot f_m$

Vid frekvensmodulerings kan konstateras att

- amplituden hos den modulerande signalen (informationen) bestämmer storleken på bärvågens frekvensdeviation.
- den modulerande signalens frekvens (f_m) bestämmer hastigheten på bärvågens frekvensdeviation.

Ekvationen kan förenklas genom att man inför ett modulationsindex.

$$M_f = \Delta f / f_m \quad \text{vilket ger}$$

$$e = E \sin(\omega_c t + M_f \sin \omega_m t)$$

Uttrycket för FM signalen är mer komplext än vad det först ser ut att vara eftersom det innehåller "sinus av en sinus".

Frekvenskomponenterna i FM-signalens spektrum är åtskilda med avstånd som är lika med modulationsfrekvensen f_m på det sätt som visas i bild 3:99.

I teorin har dessa sidoband en oändlig bandbredd redan då bärvågen bara är modulerad av sinusvåg. Men amplituden hos frekvenskomponenterna blir successivt allt lägre ju längre avståndet är från bärvågen. I praktiken säger man därför att bandbredden är:

Bandbredden $\approx 2 \cdot (\Delta f + f_m)$ Hz.

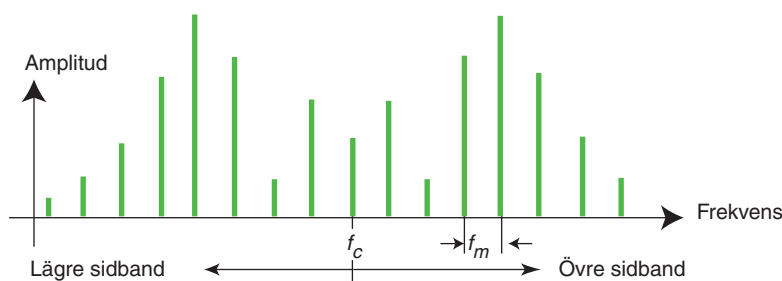


Bild 3:94. Frekvensspektrum hos en sinusvåg med frekvensen f_c frekvensmodulerad med en sinusvåg med frekvensen f_m .

Bild 3:94 visar ett exempel på ett spektrum då en kontinuerlig (oändlig) sinusformad signal har frekvensmodulerat en bärvåg. Även i detta fall uppstår ett helt spektrum av frekvenser. Man kan ju tro att om man påverkar en signal att förändra sin frekvens mellan ett högre och ett lägre värde så borde alla frekvenser mellan dessa två gränser finnas i spektrumet. Men så är det inte. Orsaken är att eftersom man har en kontinuerlig (oändlig) signal som modulerar bärvågen så kommer det repetitiva förloppet att göra att på vissa frekvenser så kommer signalerna från de olika svepen i motfas (destruktiv interferens). Detta resulterar i att, sett över tiden, så finns det ingen energi på dessa frekvenser. På andra frekvenser sker konstruktiv interferens, här uppstår "frekvenspinnar" i spektrumet. Vi nöjer oss med att konstatera att avståndet mellan frekvenskomponenterna bestäms av modulationsfrekvensen, ju snabbare man påverkar bärvågens frekvens desto glesare mellan "pinnarna". Amplituden hos de enskilda pinnarna bestäms av modulationsindex M_f . Hur amplituden varierar med modulationsindex kan räknas ut med hjälp av s k Bessel-funktioner, vilket är komplicerat. I stället används ofta tabeller för Bessel-funktionerna. För ett visst modulationsindex kan man då avläsa den relativa amplituden hos de olika frekvenskomponenterna.

Några slutsatser av ett spektrums utseende

Det enda sätt som man kan göra för att verkligen bara sända ut en frekvens är att sända en kontinuerlig, oändligt lång, signal. Varje försök att på något vis påverka en sinussignal, t ex genom pulsning, fas- eller frekvensmodulering kommer att ge upphov till ett spektrum av olika frekvenser.

Om signalen görs kort ökar bandbredden dvs signalen sprids ut över fler frekvenser. En kort signal är bra om man vill ha god avståndsupplösning men detta innebär då att signalen får stor bandbredd. Kan man tvinga en signal att ha stor bandbredd så kommer den också att ha bra avståndsupplösning. På motsvarande vis gäller ju smalare bandbredd desto mindre informationsinnehåll. En ren kontinuerlig sinussignal har ingen information alls. Se mer om detta i avsnittet om störning av pulskompressionsradar.

Huvuddelen av radarns utsända energi finns i området kring bärvågsfrekvensen, den s k huvudloben.

Det koherenta pulståget ger upphov till ett diskret frekvensspektrum, dvs det finns bara signal på vissa bestämda frekvenser. Detta faktum gör det möjligt att särskilja den frekvensändring som ett rörligt eko ger upphov till från ett stilla stående markeko.

Ett ickekoherent pulståg eller en singelpuls kommer att ge upphov till ett kontinuerligt spektrum. Det finns alltså signalenergi på alla frekvenser. En ickekoherent radar kan därför inte upptäcka dopplerfrekvensen som ett rörligt mål ger upphov till. Orsaken är att om sändspektrumet innehåller alla frekvenser så kommer alla ekon, oavsett om de kommer från rörliga eller stillastående föremål också att innehålla alla frekvenser. De kan därför inte särskiljas.

Om man sveper en signal fram och tillbaka, dvs repetitivt, över ett område (FM-modulerar) så finns det signalenergi bara på vissa bestämda frekvenser och inte alla frekvenser.

Genom att frekvensmodulera en CW-signal så kan man ge en CW-radar förmåga att mäta avstånd.

Filter

Alla komponenter och kretsar dämpar – eller förstärker – vissa frekvenser mer än andra. Filter kan utformas för att dämpa vissa frekvensband i sådan omfattning att bandet i stort sett helt elimineras. Filter kan utformas som lågpasfilter, högpasfilter, bandpass- eller bandspärrfilter.

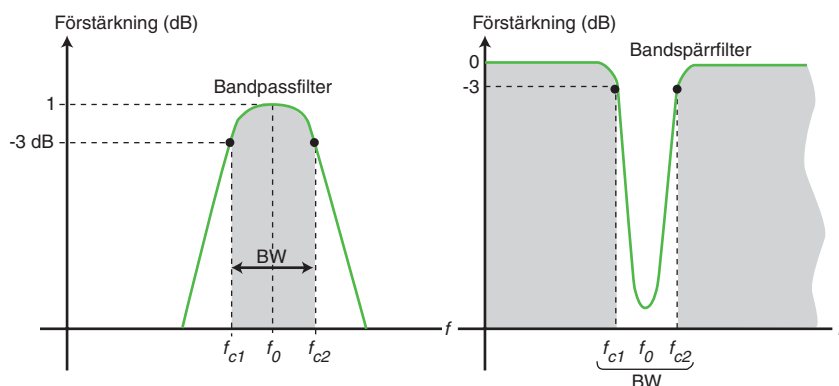


Bild 3:95. Bandpassfiltret spärrar frekvenser utanför sin bandbredd (BW).
Bandpassfiltret spärrar frekvenser inom sin bandbredd.

Ett lågpassfilter låter endast frekvenser från noll upp till en bestämd gränshänsfrekvens passera medan ett högpassfilter bara låter frekvenser över ett visst värde passera.

Ett bandpassfilter låter endast frekvenser mellan två bestämda värden passera medan ett bandspärrfilter endast låter frekvenser över och under dem som valts i bandet passera. Radarns MTI-filter är egentligen ett bandspärrfilter som spärrar dopplerfrekvenser kring 0 m/s dvs markekon. I praktiken kan man inte göra filter med hur branta flanker som helst, de kommer alltid att släppa igenom en liten del oönskade signaler.

Brus

Oönskade signaler i ett system kallas brus. Brus i elektriska komponenter härrör sig från elektronernas rörelse, som oavsiktligt påverkar elektroniken. Det finns flera olika sorters brus. Den viktigaste är ofta det termiska bruset.

Termiskt brus härrör sig från den slumpartade rörelsen hos elektroner över absoluta nollpunkten vilket innebär allting varmare än -273°C eller 0°K . Energin fördelar sig likformigt över frekvensspektrumet och effekt-tätheten fås genom uttrycket

$$P_{\text{brus}} = k \cdot T \cdot B \quad [\text{W/Hz}]$$

Där k är Boltzmann's konstant ($1,3803 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$) och T temperaturen i grader Kelvin. B är bandbredden i Hz. P_{brus} är således direkt proportionell mot både den absoluta temperaturen och bandbredden.

Brus kan även komma från andra kretsar genom magnetisk induktion, kapacitans eller beroende på att båda kretsarna delar en gemensam impedans som i en återledare till jord. Förhållandet mellan den önskade signal-

ens nivå och nivån hos systemets brus kallas signal/brusförhållandet (SNR signal to noise ratio).

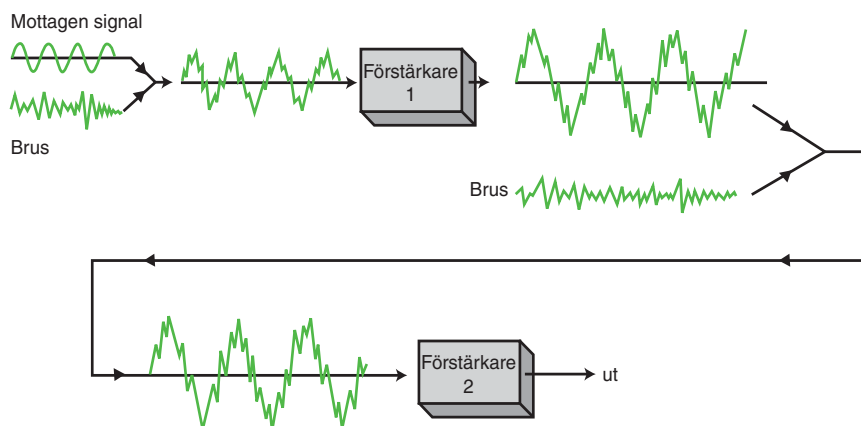


Bild 3:96. Brus på ingången av en mottagare kommer att förstärkas i alla efterföljande förstärkarsteg.

Brus som genereras redan före eller i den första förstärkaren i en mottagare riskerar att förstärkas tillsammans med signalen i alla efterföljande steg. Det är därför viktigt att försöka hålla bruset i början av mottagaren så lågt som möjligt genom bl a en bra antenn och ett lågbrusigt första förstärkarsteg.

Signalbrusförhållande och information

Brus kan fördärva data som sänds genom kommunikationssystemen eller en radars information. Hur bruset påverkar informationsöverföringen visades vid olika studier av kommunikation och informationsteori vilket bl a utvecklades av Hartley under 1920-talet, N Wiener under andra världskriget och C E Shannon under slutet av 1940-talet.

Shannon-Hartley's lag

$$C = W \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \text{ bitar/s} \quad \text{där}$$

C = informationshastighet [bps = bitar/s]

W = överföringskanalens bandbredd [Hz]

S = nyttosignalens medeleffekt [W]

N = brusets effekt [W]

Exempel 3:4

Antag att en förbindelse har en bandbredd på 3000 Hz och ett typiskt signal/brus förhållande på 20 dB. Bestäm den teoretiskt högsta informations- (data) hastighet som kan uppnås.

Lösning

SNR = 20 dB

$$\text{SNR} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{S}{N} \right)$$

$$20 = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{S}{N} \right) \quad \frac{S}{N} = 100. \text{ Här är SNR} = 20 \text{ dB omvandlat till "gångar".}$$

$$C = W \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

$$C = 3000 \cdot \log_2 (1 + 100) = 19\,963 \text{ bps}$$

För att beräkna $\log_2$ på en miniräknare som bara har 10-logaritmer kan följande utnyttjas:

$$C = 3000 \cdot \frac{\log_{10}(1 + 100)}{\log_{10}(2)}$$

Svar

Högsta teoretiska datahastighet är 19 963 bps.

C E Shannon visade hur bandbredden förhåller sig till mängden överförd information vid olika signalbrusförhållande. Ju sämre signalbrusförhållande desto mindre mängd information kan överföras under en viss tid. Om brusnivån i en radar ökar så kommer bli noggrannheten i avståndsbestämningen att minska, detta kan ses som att radarsignalens informationsinnehåll minskar. Detta kan också uttryckas som att, om bandbredden ökas hos en signal så förbättras signalbrusförhållandet. Detta är en av orsakerna till att en FM-radio, som ofta har stor bandbredd också har bättre ljudkvalitet än en AM-radio.

Alla system kommer förlora prestandan om signal/brusförhållande minskar och de kommer alla att ha ett minsta signal/brusförhållande under vilket dess prestanda blir oacceptabelt låg.

Telekrigföring

4

Signalspaning

Utrustning för att detektera radarsignaler är en nödvändighet inom elektronisk krigföring. Sådan utrustning ingår t ex i radarvarnare i ett flygplans motverkanssystem, målsökaren i signalsökande robotar, störkapslar samt hos olika typer av flyg-, sjö- och markbaserade signalspaningsförband. Signalspaningsutrustningens känslighet, storlek och komplexitet kan variera men principerna är de samma.

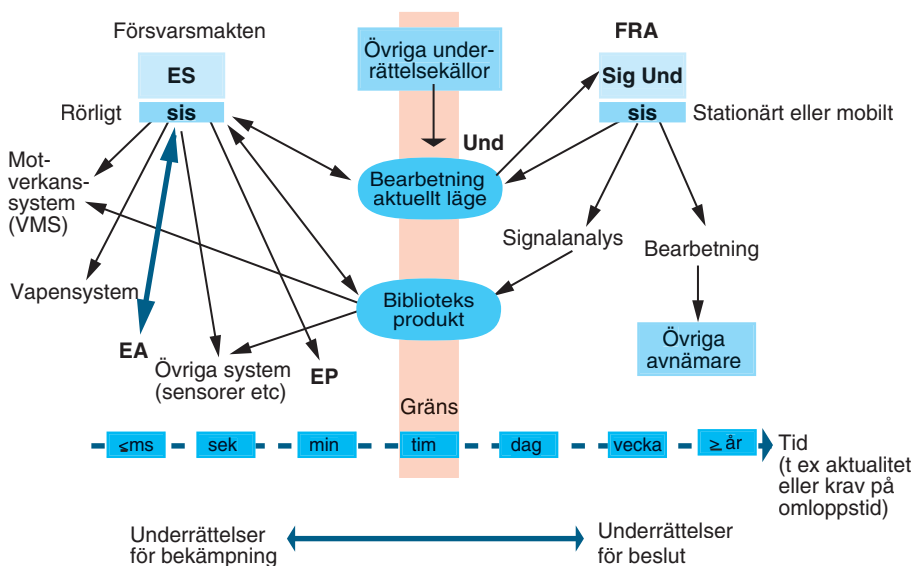


Bild 4:1. Skillnad mellan elektronisk stödverksamhet (ES) och signalunderrättelsetjänst (SigUnd).

Man skiljer mellan elektronisk stödverksamhet (ES) och signalunderrättelsetjänst (SigUnd). ES bedrivs av försvarsmakten och kan framförallt sägas vara inriktat mot åtgärder för bekämpning och skydd mot bekämpning. Signalunderrättelsetjänst bedrivs av Försvarets RadioAnstalt (FRA) och består i att skaffa underrättelser för beslut samt inhämta tekniska underrättelser angående emittörars tekniska prestanda. ES och SigUnd skiljer sig åt vad avser syften och tidsförhållanden.

Elektronisk stödverksamhet

Elektronisk stödverksamhet är åtgärder för att stödja pågående verksamhet genom att upptäcka, identifiera och lokalisera elektromagnetiska källor för att ge underlag för elektronisk attack och elektronisk protektion. Verksamheten ger också omvärldsuppfattning i realtid inklusive identifiering och lägespresentation samt understöd av underrättelsetjänsten men omfattar inte SigUnd. Elektronisk stödverksamhet omfattar bl a

- signalspaning mot kommunikationsnät (KOMmunikationsSignalspaning, KOS) inklusive att fysiskt ansluta i dessa nät.
- signalspaning mot övriga typer av elektromagnetiska emitterar (TEknisk Signalspaning, TES).

Detta kapitel kommer i huvudsak vara inriktat mot TES mot radarstationer.

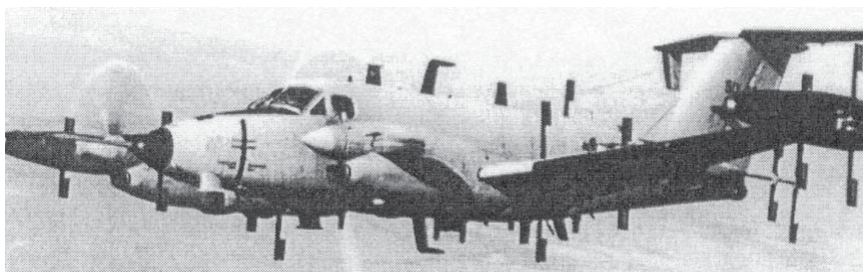


Bild 4:2. RC-12 Guardrail, USA. System för taktisk kommunikations- och radarsignalspaning,

Signalunderrättelsetjänst (SigUnd)

Signalunderrättelsetjänst är strategisk och operativ underättelseverksamhet som genom inhämtning via signalspaning syftar till att fastställa motståndarens verksamhet och tekniska prestanda. Signalunderrättelsetjänst tillhör funktionen underrättelsetjänst.

SigUnd ger information som har giltighet under längre tid än vad ES normalt ger.

En viktig uppgift för signalunderrättelsetjänsten är att stödja uppbyggnaden av de signalbibliotek (emitterbibliotek) som ingår i t ex ett flygplans radarvarnare eller störkapslar.

Det svenska begreppet SigUnd är jämförbart med det engelska begreppet SIGINT (Signal Intelligence).

Radarsignalspaning

Resterande del av kapitlet kommer att visa på vilken typ av information som signalspaning kan ge om ett förbands radarstationer.

Signalspaning med operativ/taktisk inriktning syftar bl a till att följa motståndarens rörelser och därmed stödja t ex den egna luftlägesbilden. Grunden är att olika signaler är kopplade till sina sändande plattformar. Har en viss signal uppfattats kan man ofta lägesbestämma målet och vet därmed vilken typ av flygplan eller fartyg man har att göra med. I sin enklaste form kan signalspaningen bestå av en radarvarnare. Denna mäter in de strålade delarna av motståndarens vapensystem och kan därmed lämna underlag för att bedöma dess prestanda samt kunna anpassa egna vapen, motmedel eller taktik för att vinna duellen.

Som utrustning för signalspaning brukar räknas dels egentliga spanande radio- och radarsignalspaningsmottagare vilka transporteras av särskilda signalspaningsflygplan, fartyg m m (Sig Und) dels system med uppgift att ge varning för ett aktuellt hot (t ex radarvarnare och laservarnare) (TES). De egentliga signalspaningssystemen har högre känslighet och kan fastställa fler parametrar än vad en radarvarnarutrustning klarar av. Ju mer avancerad signalspaningsutrustningen är desto fler parametrar kan den bestämma och desto högre blir noggrannheten.



Bild 4:3. Signalspaningsfartyget Orion.

Metodiken som signalspaningsutrustningarna använder, för att skapa ordning i detta skenbara kaos, är att sortera signalerna efter särskiljande parametrar. Pulserna beskrivs normalt med de så kallade primära pulsparametrarna (det krävs endast en puls för att bestämma dessa parametrar)

- ankomsttid
- pulslängd
- bärfrekvens

4. Telekrigföring

- amplitud
- infallsriktning.

Användbara för pulssortering är framförallt bärfrekvens, infallsriktning och pulslängd.

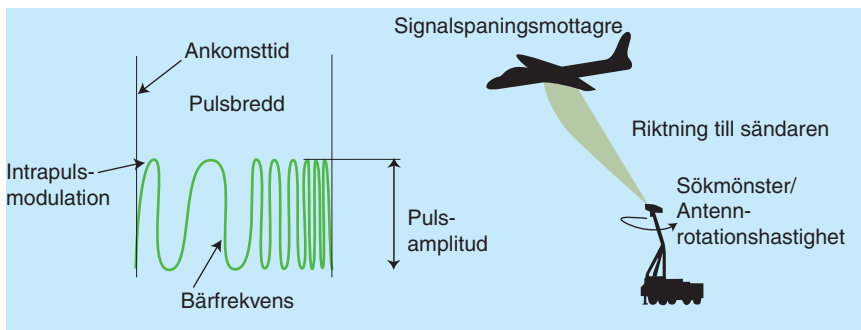


Bild 4:4. Exempel på parametrar som en signalutrustning kan bestämma.

Andra egenskaper hos en radarstation som signalspaning kan bestämma (kräver två eller betydligt fler pulser) är

- pulsrepetitionsfrekvens
- sökmod (t ex rundsökning, sektorsökning)
- vinkelföljningsmetod hos eldledningsradar (t ex monopuls, lobnutation)
- antenndiagram.

Den uppmätta signaldatan kan ge värdefull information om radarstationerna. Både hur de tekniskt fungerar men också hur de utnyttjas taktiskt. Exempel på slutsatser:

- typ av radar
- radarmod
- position
- störskyddsegenskaper
- avståndsupplösning
- vinkelupplösning.

Information från signalspaning

Här redovisas några exempel på vilken information som signalspaning kan ge om en radarstation.

Frekvens och frekvensväxlingsmöjligheter

Om signaldisciplinen hos personalen vid radarn är dålig kan signalspaningsutrustningen snabbt fastställa hur ofta radarn kan byta frekvens och mellan

vilka frekvenser den kan hoppa. Denna information kan utnyttjas för att styra en störsändare så att optimal störverkan uppnås.

Intrapulsmodulation (Pulskod)

Signalspaningen kan genom analys ta fram vilken pulskod som en pulskompressionsradar använder. Om störutrustningen kan störsända med signaler med rätt pulskod krävs det avsevärt mindre störeffekt.

Vinkelupplösning

Om signalspaningsutrustningen mäter hur signalstyrkan från en vanlig spaningsradar varierar med tiden så kan radarns antenndiagram och antenndiagram rotationshastighet fastställas. Antenndiagrammet visar hur bred huvudlob radarn har. Huvudlobens bredd begränsar radarns vinkelupplösning, dvs hur nära varandra två mål måste flyga för att radarn ska uppfatta dem som ett enda mål.

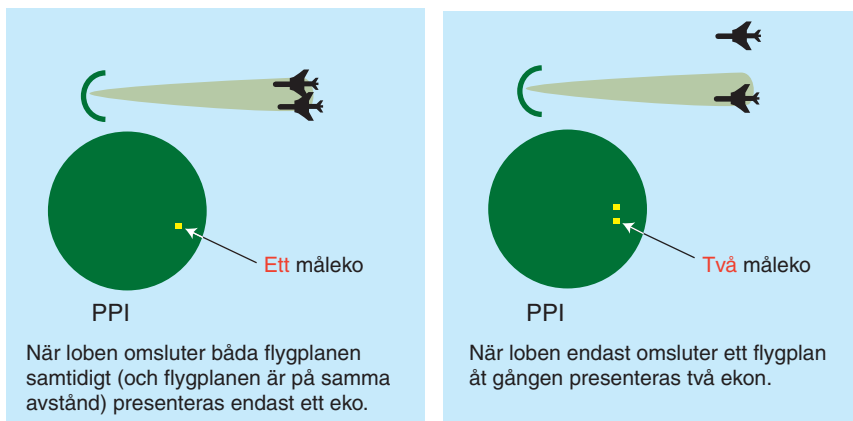


Bild 4:5. Genom att mäta huvudlobens bredd kan radarns vinkelupplösning bestämmas.

Störkänslighet i olika riktningar

Antenner är reciproka dvs de uppför sig likadant vid sändning som vid mottagning. Om radarn använder samma antenn vid sändning som vid mottagning ger antenndiagrammet viss kunskap om hur känslig radarn är för störning från olika riktningar. (Se kap 3.)

Avståndsområde

En signalspaningsutrustning kan relativt enkelt fastställa radarns PRF. Spaningsradar är oftast s k LPD-radar (Low PRF PulsDoppler) dessa radar utmärks av att de har entydig avståndsmätning. Det innebär att de inte sänder ut nästa puls förrän den förra hunnit färdas till mätområdets yttersta

gräns och tillbaka. Genom att mäta hur långt det är mellan LPD-radarns pulser kan man beräkna vilket avståndsområde radarn är inställd på. Många radarstationer har olika pulslängd beroende på vilket avståndsområde som används. I dessa fall räcker det med att bestämma pulslängden för att veta avståndsställningen. En motståndare vet då hur nära han kan flyga en viss radar före han måste starta sina störsändare (förutsatt att radarn inte byter mätområde).

Radarstationen som använder MPD (Medium PRF PulsDoppler) eller HPD (High PRF pulsDoppler) har så hög PRF att radarstationerna inte är entydiga i avstånd.

Mot dessa typer av radar kommer inte en enkel mätning av PRF:en att tala om vilket avståndsområde som radarn för tillfället utnyttjar. Exempel på radar som använder MPD eller HPD är moderna jakt- och attackflygplan samt UndE 23 (MPD i 100 km mod).

Avståndsupplösning

Med en radars avståndsupplösning menas hur nära varandra, i avståndsled, som två mål måste flyga för att radarn ska uppfatta dem som ett mål. För en vanlig pulsradar är avståndsupplösningen lika med halva pulslängden. Pulslängden är ibland enkel att bestämma för en signalspaningsutrustning. Hos en pulskompressionsradar bestäms inte avståndsupplösningen av pulsens längd. Man kan matematiskt visa att en radars avståndsupplösning bestäms av bandbredden på den utsända pulsen. Genom att mäta signalens bandbredd kan signalspaningsutrustningen fastställa radarns avståndsupplösning. Även hos en FMCW-radar (t ex PE 542) bestäms avståndsupplösningen av signalens bandbredd, man kan därför bestämma även dessa stationers avståndsupplösning genom signalens bandbredd.

Typ av radar och radarmod

Varje typ av radar har olika karakteristiska parametrar. Ju fler parametrar en signalspaningsutrustning kan mäta desto större möjligheter har den att bestämma vilken typ av radar det är. Enklare utrustningar nyttjar främst radarns frekvens och PRF för att fastställa vilken typ av radar det är som sänder.

Det är viktigt att bestämma vilken mod en radar för tillfället använder sig av. En eldledningsradar i spaningsmod utgör ett mindre hot än då den låst på flygplanet. Mängden mod är ofta stort hos en radar. Alla olika kombinationer av t ex pulslängd, PRF och pulskod bör egentligen finnas lagrade i hotbiblioteken för att avgöra om stationen för tillfället bör störas eller inte.

Man ska notera de svårigheter som uppstår eftersom en radarvarnare behöver en viss tid för att söka i signalbiblioteket och därefter koppla till åtgärdsbiblioteket. Detta innebär att antalet variabler i biblioteken måste begränsas till de mest troliga.

Lägesbestämning

Signalspaning kan möjliggöra för en motståndare att lägesbestämma luftvärnets radarstationer.

Lägesbestämning av radarstationer ger exempelvis möjligheter till

- omvärldsuppfattning
- invisning eller förvarning av luftvärnssystem
- underlag för när och i vilken riktning ett flygplan ska göra undanmanöver
- rikta in störsändare för att kunna minska störsändarens effektbehov s k power management
- invisning av signalsökande robotar
- möjligheter till insats med precisionsstyrda vapen eller indirekt eld.

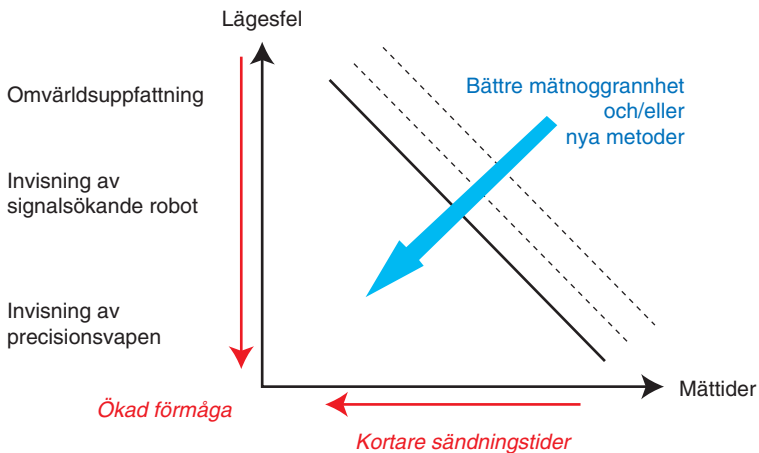


Bild 4.6. Då radarstationernas sändningstider minskas ställs krav på att lägesbestämningen sker snabbt och med hög precision för att precisionsvapen ska kunna utnyttjas för att slå ut sändarna. (FOI)

Under kriget i det forna Jugoslavien blev det uppenbart för de allierade att det var mycket svårt att med signalsökande robotar slå ut ett mobilt luftvärn som använde korta sändningstider med radarstationerna. I detta krig var de serbiska luftvärnsenheterna ett potentiellt hot under hela konflikten. Förbrukningen av signalsökande robotar var hög och alltför stor del av flygresurserna bands för SEAD-uppgifter. En slutsats av kriget var att flygstyrkorna i framtiden strävar efter att snabbt kunna lägesbestämma det fientliga luftförsvarets sändare med så hög precision att det kan slås ut med andra typer av precisionsvapen än signalsökande robotar. Om detta är möjligt utökas tidsintervallet där en attackinsats kan slå ut en radarstation från att vara begränsad av radarns sändningstid till att begränsas av radarns omgrupperingstid, vilken ofta är många storleksordningar längre.

Riktningbestämning och triangulering

En radar har inte möjlighet att manipulera infallsriktningen på sina signaler till skillnad mot andra parametrar t ex frekvens som kan variera från puls till puls.

Triangulering innebär att genom riktningmätningar från minst två platser bestämma en sändares position. Inom luftvärnet benämns metoden oftast krysspejling. Triangulering kan ske genom samverkan av två eller flera inmätare eller genom att signalspaningsplattformen själv flyger längs en pejlbas. Den senare metoden benämns egentriangulering.

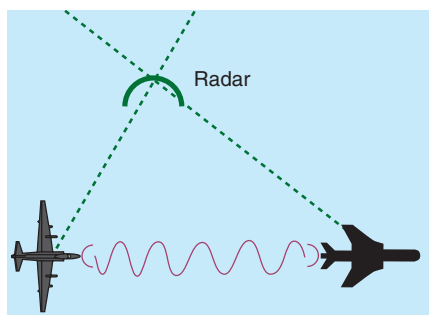


Bild 4:7. Triangulering från två olika flygplan. Data utbyts via en kommunikationslänk mellan flygplanen

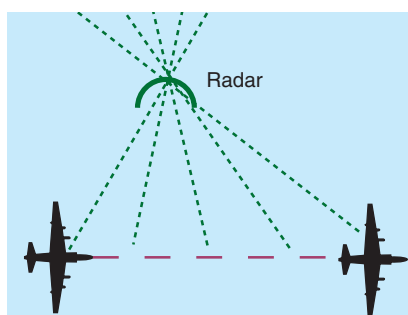


Bild 4:8. Egentriangulering. Genom att flygplanet vid upprepade tillfällen bestämmer egen position och riktningen till sändaren kan dess position bestämmas.

Noggrannheten vid krysspejling bestäms av

- riktningmätningarnas antal och positioner, relativt varandra och emittern
- noggrannheten i riktningmätningarna
- förmågan att bestämma egen position (dvs signalspaningsutrustningens).

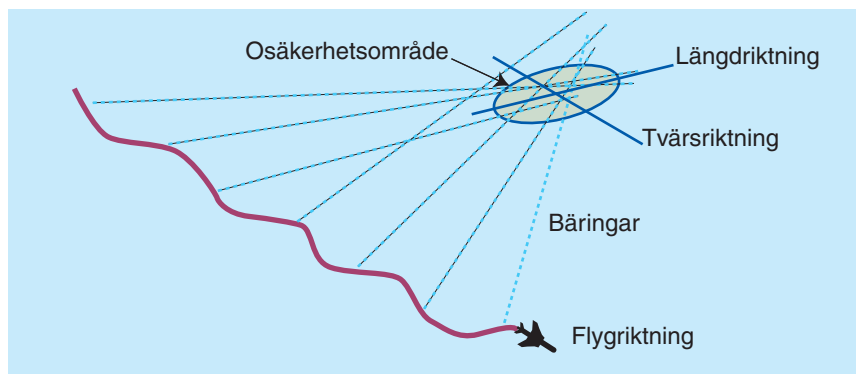


Bild 4:9. Vid all krysspejling fås ett osäkerhetsområde.

Den ideala kryssvinkeln ur noggrannhetssynpunkt är 90° . När vinkeln till emittern blir liten minskar lägesbestämningens noggrannhet i avståndsled. Detta är ett särskilt stort problem vid egentriangulering där det tar tid att flyga en sträcka som ger en bra pejlbas. Noggrannheten i riktningsmätningarna påverkas av signal/brusförhållandet och möjligheterna att medelvärdesbilda flera mätningar. Vilket i princip motsvarar en höjning av signal/brusförhållandet. Svårigheterna att korrekt bestämma positionen hos sändaren ökar normalt ju kortare sändningstid radarstationen utnyttjar.

Metoder att riktningsbestämna en sensor

För att bestämma riktingen till en sändare kan följande principer användas

- lobmaxpejling
- amplitudmonopuls
- interferometri.

Lobmaxpejling

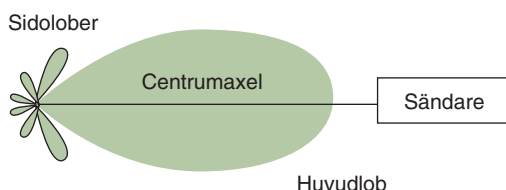


Bild 4:10. Lobmaxpejling. Riktingen till sändaren är den riktning där antennen mottar starkast signal.

Lobmaxpejling innebär att riktingen till sändaren fås genom att bestämma i vilken rikting signalspaningsmottagaren mottar högst effekt. Sändaren befinner sig då mitt i signalspaningsantennens huvudlob. Metoden kräver tillgång till en antenn med en rörlig lob med riktverkan. För att få godriktverkan hos en antenn krävs att antennen är stor i förhållande till våglängden (se kap 3). Lobmaxpejling är den metod som används av luftvärnets spaningsradar då de bestämmer riktingen till en störsändare. Inom radar-signalspaning förekommer lobmaxpejling på större flygplan med SigUnd-uppgifter och på fartyg medan metoden är ovanlig på små taktiska flygplan. Utvecklingen av elektroniskt styrda antenner kan dock i framtiden göra att metoden börjar användas även på mindre flygplan.

En nackdel med lobmaxpejling är att det krävs en avsökning av rummet och att detta innebär att det tar tid att förflytta antennloben. Systemet blir därför inte momentant varför det finns risk att signaler ej hinner upptäckas.

En fördel med riktantennen är att den ofta höga antennförstärkningen förbättrar systemets känslighet.

Amplitudmonopuls

Amplitudmonopuls är den vanligaste principen för riktningsbestämning i flygburna radarvarnare. Normalt används fyra antenner med de ca 90° breda huvudloberna centrerade i riktningarna $\pm 45^\circ$ och $\pm 135^\circ$ i vingplanet.

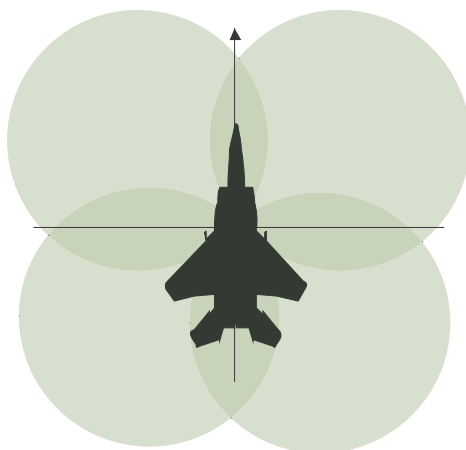


Bild 4:11. Amplitudmonopuls. Riktningen fås genom att jämföra signalstyrkan från de fyra antennerna.

Infallsriktningen fås vid amplitudmonopuls genom att inbördes jämföra de signaleffekter som mottagits i de fyra antennerna.

Med exponentiellt formade lober gäller ett linjärt förhållande mellan ankomstsvinkel i t ex grader och effektkvot i dB.

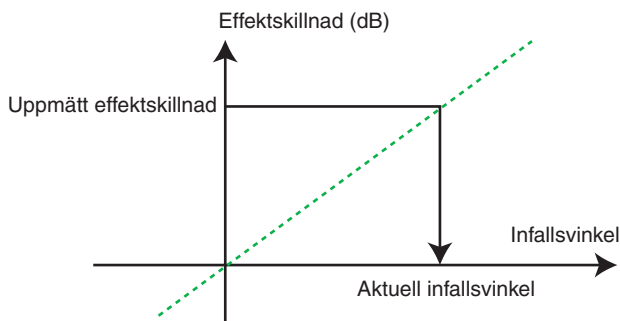


Bild 4:12. Vid amplitudmonopuls med "vanliga" (gauss) lobformer blir det ett linjärt samband mellan infallsvinkel och uppmätt effektskillnad (dB) eller effektkvot (ggr).

Den mottagna signaleffekten kan användas för att få en grov uppfattning av avståndet till sändaren, förutsatt att sändarens uteffekt är känd.

Riktningsnoggrannheten hos en radarvarnare med fyra antenner är ofta i storleksordningen 7° - 10° . Riktningsfelet orsakas bl a av

- bristande amplitudmatchning mellan antenner och mottagarkanaler
- avvikelser i lobform eller lobinriktning
- lågt signal/brusförhållande.

Interferometri

Vid interferometri bestäms riktningen till emittern genom att mäta den fasskillnad som uppstår mellan två antenner eftersom vägen har olika lång väg till antennerna.

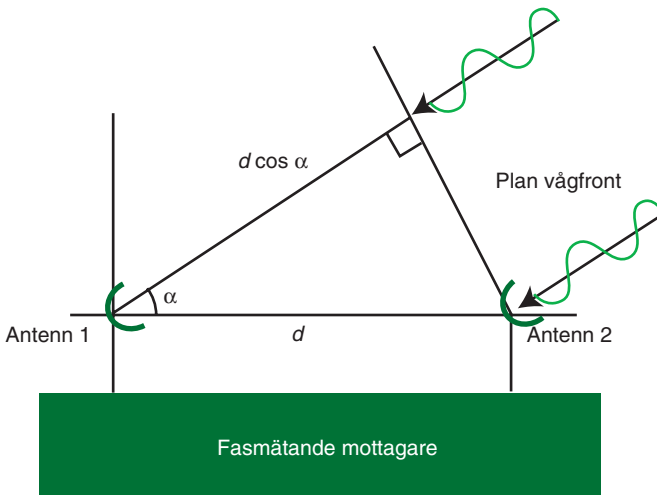


Bild 4:13. En interferometer kan bestämma infallsvinkeln till en emitter genom att utnyttja den resulterande fasskillnaden mellan två antenner är beroende av infallsriktningen. Fasskillnaden beror även av avståndet mellan antennerna och emitterns våglängd (frekvens). (FOI)

En infallande plan vågfront ger vid de två antennerna upphov till en fasskillnad ψ som beror av antennavståndet d , våglängden λ och infallsriktningen α .

$$\psi = 2\pi \cdot \frac{d}{\lambda} \cdot \cos \alpha \text{ [radianer]}$$

Med känt antennavstånd kan därför infallsriktningen lösas ut ur ekvationen om våglängden (eller frekvensen) och fasskillnaden kan bestämmas.

$$\alpha = \arccos \left(\frac{\psi \cdot \lambda}{2\pi \cdot d} \right)$$

Ett problem med interferometri är att om fasskillnaden är större än $-\pi$ (-180°) till $+\pi$ ($+180^\circ$) och alla multiplar av 2π så uppstår mångtydigheter.

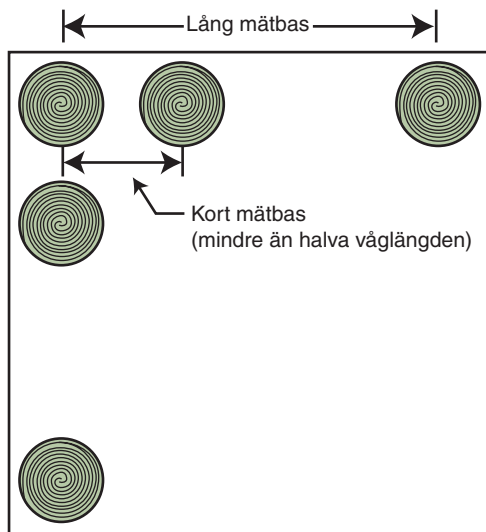


Bild 4:14. Fem stycken spiralantennor som utgör ett bredbandig interferometersystem för pejling i azimuth och elevation.

En lösning på problematiken med mångtydighet är att välja en mätbas som är kortare än en halv våglängd för den högsta aktuella frekvensen. Noggrannheten i riktningsbestämningen ökar dock ju längre mätbasen är. Lösningen på dessa båda problem är att utnyttja flera antenner som en linjär array med lämpliga avstånd mellan antennerna. Med en 100 våglängder lång mätbas kan man uppnå mätnoggrannheter på $1/100^\circ$ vid ett signal-brusförhållande på 20 dB.

Tvådimensionell riktningsmätning

- tvådimensionell riktningsmätning av marksensor
- TDOA- mätning av tidsskillnader
- DDOA- mätning av frekvensskillnader.

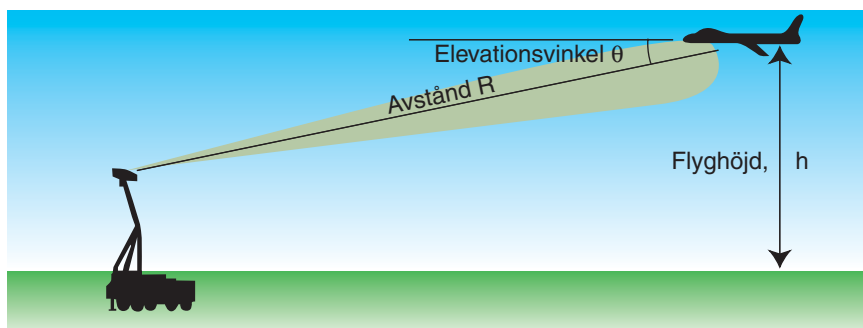


Bild 4:15. Genom att bestämma höjd- och sidvinkel till radarn och kännedom om flyghöjden kan radarns position bestämmas.

Om man kan bestämma både sidvinkeln och elevationsvinkeln till en markbaserad sensor och flyghöjden är känd så kan man momentant bestämma sensorns position. Radarstationens position är den punkt där den inmätta riktningen skär markplanet. Metoden benämns tvådimensionell riktningsmätning eller vertikal triangulering.

Om markytan inte är plan uppstår fellägen, men dess fel kan minskas genom att signalspaningssystemet utnyttjar en terrängdatabas.

Vid all triangulering ökar felet om mätbasen är kort. Vid vertikaltriangulering innebär det att osäkerheten i beräkningen av avståndet, R , till emittern ökar om flyghöjden, h , minskar. Med andra ord, ju högre flyghöjd desto bättre positionsbestämning.

Vertikal triangulering är en välbeprövad metod för att positionsbestämma markbaserade sändare. Det amerikanska Wild Weasel flygplanet F-4G var utrustat med signalspaningssystemet APR-47, som hade förmågan att i alla riktningar utföra en tvådimensionell riktningsmätning med i storleksordningen 1° noggrannhet. Systemet på F-4G var inte tillräckligt för att flygplanet skulle kunna utnyttja precisionsvapen, men tillräckligt bra för att kunna leverera signalsökande robotar i den mest effektiva moden (dvs då sensorns position är känd). Signalsökande robotar är i sig själv ett annat exempel på ett system som utnyttjar tvådimensionell riktningsmätning. I detta fall minskar vinkelfelet betydelse allt eftersom roboten närmar sig radarn.

TDOA- mätning av skillnad i ankomsttid

En signalspaningsutrustning kan till skillnad mot en radar inte mäta avståndet till en emitter med hjälp av signalens gångtid eftersom det är okänt när signalen lämnade sändaren. Med tillgång till två eller flera mottagare kan dock tidsskillnaden mellan det att signalen når de olika mottagarna bestämmas. Skillnaden i signalernas gångtid är lika med skillnaden i ankomsttid (TOA-Time Of Arrival). Metoden benämns TDOA-Time Difference Of Arrival.

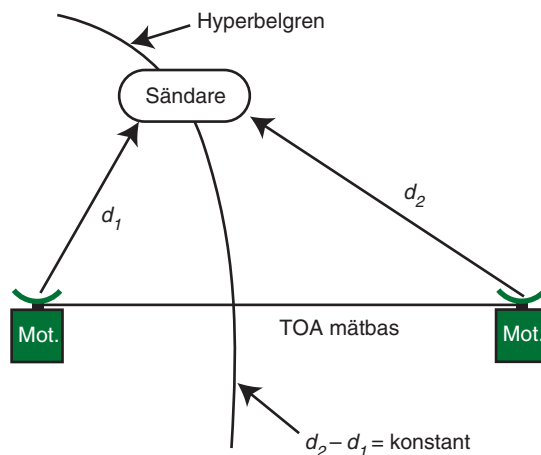


Bild 4:16. Hyperbelgrenen motsvarar ett avstånd där tidsskillnaden är konstant mellan det signalen når de båda mottagarna.

Tidsskillnaden mellan de två mottagarna motsvarar en skillnad i gångväg för signalen. Om man i en tvådimensionell värld ritat ut alla tänkbara sändarplatser (oändligt många) som motsvarar denna skillnad i gångtid så bildas en sk hyperbelgren. För att bestämma sändarens position momentant måste minst tre mottagare användas. Sändarens position befinner sig där hyperbelgrenarna skär varandra.

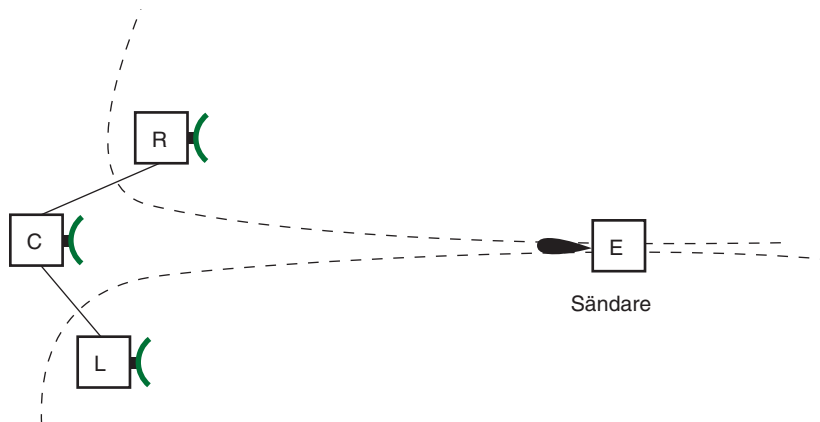


Bild 4:17. Tidsskillnaden mellan signalens ankomsttid till de tre mottagarna (R, C och L) ger upphov till hyperbelgrenar som skär varandra i sändarens position.

TDOA kräver som metod att tre inmätande mottagare "samtidigt" blir belysta av sändaren. Eftersom TDOA-mottagarna oftast inte blir belysta samtidigt av radarns huvudlob måste de ha tillräcklig känslighet för att kunna mäta i radarns sidolober.



Bild 4:18. Inhämtningsenheten C tar emot bredbandig information från sidoenheterna L och R samt bildar de två aktuella tidsdiffrenserna. Typiska avstånd mellan central och sidoenheter i ett markbaserat luftbevakningssystem är 15 km.

TDOA-system kan inte bestämma position hos en omodulerad CW-signal eftersom den inte kan tidsmärka någon speciell ankomsttid hos signalen.

Idag finns såväl luftburna som markbaserade operativa signalspanings-system som utnyttjar TDOA. Riktningmätning baserad på TDOA mellan signaler mottagna av separerade antenner på ett flygplan ingår i systemkonceptet i det amerikanska PLAID (Precision Location And IDentification) numera benämnt ALR-69 Update (även DDOA och långbas interferometri utnyttjas i systemet). Ett exempel på ett markbaserat system för luftrumsövervakning är det tjeckiska signalspaningssystemet VERA-E (se kap 6, Passiva spaningsmetoder).

DDOA-mätning av dopplerskillnad

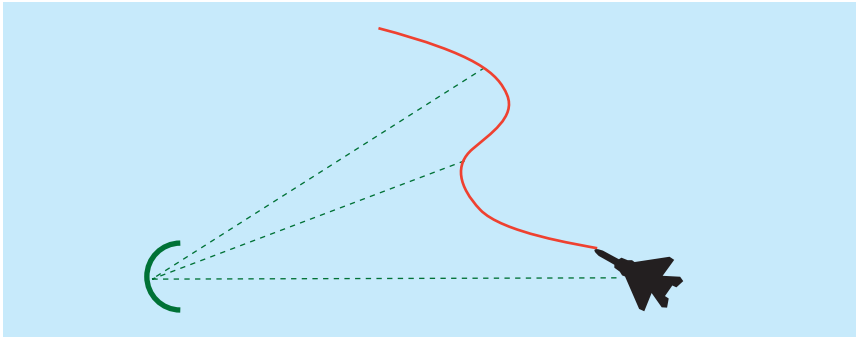


Bild 4:19. Doppler difference of arrival, DDOA

En modern metod med möjligheter till hög noggrannhet är DDOA-Doppler Difference of Arrival. Metoden kan användas av ett enskilt flygplan som gör frekvensmätningar längs sin flygbana eller flera flygplan som samverkar. Den senare varianten benämns FDOA-Frequency Difference of Arrival.

En förutsättning för att DDOA ska kunna användas är att emittern sänder med en stabil bärvågsfrekvens eller att den vid frekvenshopp återkommer till samma frekvens ett antal gånger så att frekvensändringar som beror på sis-antennens rörelser kan analyseras.

Principen för DDOA är att den frekvens som kan mottas av sis-systemet i en flygmaskin är summan av sändarens frekvens och den dopplerfrekvens som uppstår på grund av flygmaskinens rörelse.

$$f = f_{\text{sänd}} + f_{\text{doppler}}$$

Dopplerfrekvensen beror i sin tur på sändarens frekvens och sis-utrustningens radiella hastighet mot sändaren.

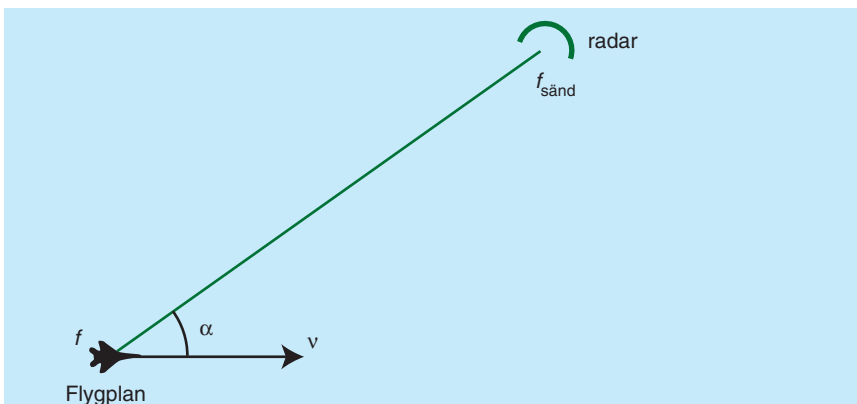


Bild 4:20. Den frekvens som sis-systemet mäter ges av radarns frekvens och mottagarantennens radiella hastighet mot emittern.

$f = f_{sänd} + f_{sänd} \cdot \frac{v}{c} \cdot \cos \alpha$ där c är ljushastigheten, v flygplanets hastighet och α vinkeln mellan flygplanets färdriktning och riktning till sändaren. Störst positiv respektive negativ dopplerfrekvens fås när rörelsen sker rakt mot respektive bort från sändaren. När emittenten finns tvärs rörelseriktningen är dopplerfrekvensen noll.

DDOA har i goda fall möjlighet att bestämma riktningen till en sändare med en noggrannhet på några streck.

Att kombinera flera lägesbestämningsmetoder

Lägesbestämningen kan förbättras avsevärt om flera olika metoder kombineras. Exempelvis kan en viss lägesnoggrannhet nås på kortare tid eller en högre slutlig lägesnoggrannhet uppnås jämfört med de enskilda metoderna. För att möta ett luftvärn som utnyttjar korta sändningstider så går utvecklingen mot att utnyttja flera inmätande flygplan eller UAV som utbyter signalspaningsdata med varandra i ett nätverk. En förbättrad noggrannhet beror dels på att antalet mätvärden ökar, dels på att en metod kan kompensera för en annans svaghet. Att metoderna kompletterar varandras svagheter är normalt sett det som ger den stora prestanda förbättringen.

TDOA och DDOA från flygplan kan kombineras med tids- och frekvensmätningar från markbaserade system. Noggrannheten och säkerheten i lägesbestämningarna ökar då eftersom sannolikheten ökar för att fler plattformar ser emittenten samtidigt.

För att ett system uppbyggt med många olika plattformar ska fungera krävs att de kan skicka mätdata mellan varandra och att de har en gemensam uppfattning om tiden (och därmed om frekvens).

Prestanda

Även vid lägesbestämning påverkas noggrannheten av signal/brusförhållandet. Ju högre signalbrusförhållande desto bättre noggrannhet kan uppnås. Signalspaning mot en emitter med hög utsänd effekt kan därför ofta ske med större precision än mot en radar med svag signal. Vidare gäller att en emitters sändningstid är avgörande för vilken noggrannhet som kan nås då endast en inmätande plattform utnyttjas.

Radarns vågform avgör vilka prestanda radarsignalspaningssystemets lägesbestämning kan uppnå. Vågformen bestämmer dessutom vilken lägesbestämningsmetod som är bäst lämpad för tillfället. En CW-signal kan t ex inte alls hanteras av TDOA men är idealisk för DDOA.

En besvärlig signalmiljö kan försvåra lägesbestämningen, dels genom att upptäckten försenas, dels genom att inmätningen av de parametrar som lägesbestämningen utnyttjar blir sämre på grund av bristande separation eller dynamik. Detta leder till att emittterna blandas ihop. I täta signal-

miljöer med många emitterar som ska lägesbestämmas kan beräkningskapaciteten vara otillräcklig för att hantera samtliga parallellt. Systemet bör därför ha en prioriteringsförmåga som gör att systemet inriktas mot de viktigaste signalerna.

Alla lägesbestämningsmetoder påverkas av vågutbredningen mellan emittern och sis-systemets antenner. Dels sker inverkan genom att utbredningsdämpningen är en av de faktorer som avgör vilket signal/brusförhållande som blir aktuellt vid sis-systemets inmätningar. Inverkan sker även genom att bl a reflektioner distorerar de inparametrar som de olika lägesbestämningsmetoderna använder, exempelvis infallsriktning och ankomst tid.

Den inmätande plattformen måste kunna lägesbestämma sin egen position med hög noggrannhet. Exempelvis är kraven i det amerikanska flygburna signalspaningssystemet AT3 (Advanced Tachtical Targeting Technology) att flygplanen kan bestämma sin egen position med 3 m noggrannhet och 0,03 m/s i hastighet. Noggrannheten påverkas även av flygplanets strukturstabilitet, skuggeffekter från plattformen och av andra system ombord på flygplanet. Slutligen måste alla plattformar ha en gemensam noggrann tidsreferens.

Kapaciteten i de kommunikationslänkar som utnyttjas mellan de inmätande flygplanen kan i många fall vara en begränsande faktor.

Med interferometri kan riktningsnoggrannheter i storleksordningen 1°, eller bättre, realiseras.

Ett enskilt flygplan som utnyttjar lämpliga kombinationer av DDOA, långbasinterferometri och riktningsmätning kan på i storleksordningen 10-20 sekunder lägesbestämma en radar med en noggrannhet som medger precisionsinsats. Om flera flygplan nätverkar sin data kan tiden minskas ytterligare. Ett exempel på ett system som utnyttjar samverkan mellan flera olika flygplan är det amerikanska försökssystemet AT3 som enligt uppgift strävar mot att inom 10 sekunder kunna lägesbestämma emitterar med en osäkerhet av 15-50 meter på ett avstånd upp till 150 nautiska mil.

Spaningsutrustningens räckvidd

En signalspaningsutrustning kan ofta upptäcka en radar långt utanför radarstationens maximala räckvidd. Orsaken till detta är att radarpulsen måste gå både fram och tillbaka till målet medan signalerna som når mottagaren i signalspaningsutrustningen bara har gått ”enkel väg”. Generellt kan man inte säga att signalspaningsutrustningen har den dubbla räckvidden jämfört med en radar. Det beror på att radarmottagaren är optimerad för just sina signaler, medan spaningsutrustningens mottagare tillverkas som en kompromiss mellan olika typer av radarsignaler och har därför en lägre känslighet. Radarns räckvidd är å andra sidan starkt beroende av målets radarmålarea.

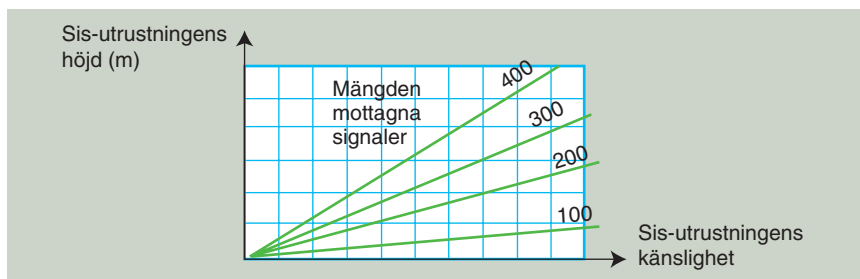


Bild 4:21. Sis-utrustningen känslighet. Mängden mottagna signaler beror bl a på flyghöjd och mottagarens känslighet.

En kvalificerad signalspaningsutrustning kan upptäcka en radarstations huvudlob på åtskilliga hundra kilometers avstånd. Radarvarnarna har däremot betydligt lägre känslighet. De klarar ofta av att upptäcka radarstationer minst 1-1,5 gånger på så långt avstånd som vad radarn själv når mot ett normalstort mål.

Pulssortering

Om stationerna är av olika typ t ex PS-70 och PS-90 kommer de flesta av parametrarna att skilja sig åt. Dock kan de komma att använda samma bärfrekvens.

Om det finns två stationer av samma typ, t ex två PS-90, kommer de kunna ha alla parametrar utom position gemensamt (vid en viss tidpunkt kan de ha samma riktning). I detta fall blir det därför något svårare för signalspaningsutrustningen att para ihop rätt puls med rätt radar så att en korrekt lägesbestämning kan göras, vilket är ett villkor för att fastställa vem som utgör störst hot.

Om man antar att signalspaningsutrustningen utgörs av målsökaren i en signalsökande attackrobot (SSARB) så kommer den på motsvarande vis få svårare att styra mot en viss radar ju fler signaler som samtidigt uppträder i etern. Detta gäller särskilt om det finns många stationer som uppvisar samma sändparametrar. För att minska detta problem är vissa signalsökande robotar utrustade med en mod där roboten vid avfyring fått inprogrammerat ungefärliga koordinater på målet. På så vis får den lättare att diskriminera ovidkommande signaler.

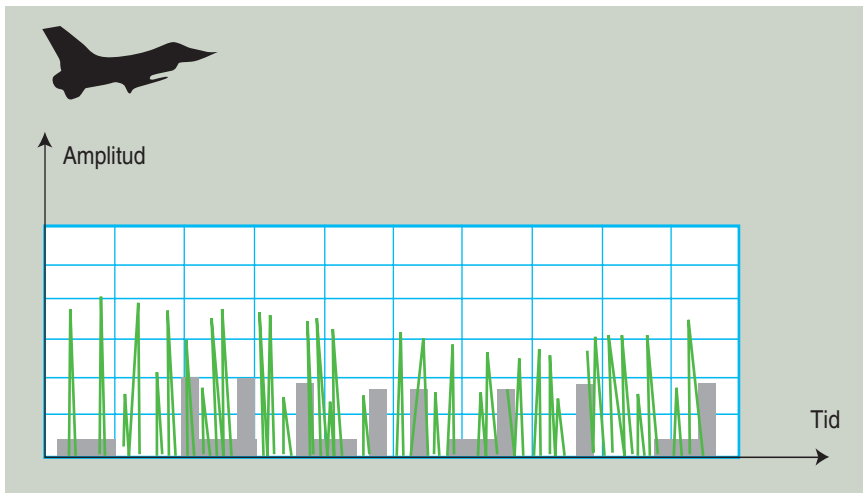


Bild 4:22. Signalmiljö. Signalspaningsutrustningen måste varje sekund bland hundratusentals pulser kunna sortera fram vilka signaler som kan härröra från ett hotande vapensystem. Uppgiften kompliceras av att radarstationerna ofta byter frekvens och använder sig av staggered PRF.

Slutsatser för luftvärnet

Luftvärnet bör i det längsta försvara för en motståndares signalspaning t ex genom att använda radarstationerna restriktivt samt omgruppera ofta. När beslutet att sända väl är fattat, försvaras motståndarens möjligheter till signalspaning och efterföljande insats av SSARB eller telestörning om många stationer med likartade parametrar sänder samtidigt och under kort tid. Nackdelen med många stationer som sänder är att man riskerar att avslöja hela förbandets gruppering. Signalspaning kan medge att ett förband lägesbestäms med sådan noggrannhet att det kan angripas med olika former av precisionsvapen t ex GPS-styrda splitterbomber eller kryssningsrobotar.

Hur svårt en signalspaningsutrustning eller SSARB har att skilja ut en viss radarstations parametrar i en svår signalmiljö är något som tillverkaren håller strängt hemligt. Moderna signalspaningssystem har dock hög förmåga att samtidigt kunna klassificera och positionsbestämma ett stort antal radarstationer.

Signalsökande robotar

Signalsökande robot (SSRB) är ett samlingsnamn för alla typer av robotar försedda med en passiv radarmålsökare avsedd att bekämpa i huvudsak radarstationer. Beroende på var målet uppträder indelas robotarna i

- signalsökande attackrobotar (SSARB) mot mål på marken eller vattnet.
- signalsökande jaktrobotar (SSJRB) mot flygburna radarstationer.

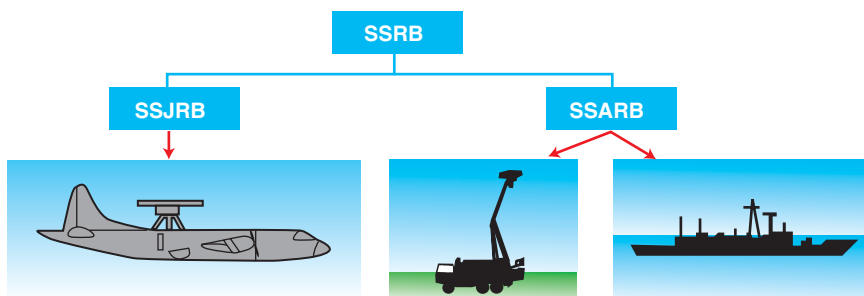


Bild 4:23. Signalsökande robotar.

De första försöken med signalsökande robotar gjordes redan under andra världskriget. Den stora satsningen på luftbevaknings- och luftvärnssystem som Sovjetunionen genomförde på 1950- och 1960-talen blev påtaglig för USA under kriget i Sydostasien. Under Vietnamkriget disponerade nordvietnameserna en stor mängd sovjetiska luftvärnssystem vilka inledningsvis orsakade amerikanerna oacceptabelt höga förluster. För att möta detta hot startades en satsning på signalsökande attackrobotar i USA och senare också i andra länder. Den första operativa amerikanska SSARB, Shrike, avfyrares i Vietnam 1966. Shrike bestod av radarjaktroboten AIM-7 Sparrow utrustad med en passiv målsökare mot de aktuella radarfrekvenserna.

Historiskt har signalsökande robotar varit inriktad mot bekämpning av radarstationer i STRIL och olika luftvärnssystem. Under de senaste 10-15 åren har flygburna spaningsradarstationer tagits fram i både forna Sovjetunionen och i USA. Dessa plattformar har mycket stor betydelse för moderna luftförsvarssystem. Ett ökat intresse har därför riktats mot metoder för bekämpning av dessa plattformar. Man arbetar därför med att ta fram signalsökande robotar för bekämpning av flygande radarstationer. En variant av AS 17 Krypton sägs kunna användas mot flygplan typ AWACS. Dessa robotar benämns signalsökande jaktrobotar, SSJRB. Lovande försök har även gjorts att bekämpa t ex jaktflygplan med SSJRB. Det finns även exempel på fartygsbaserat luftvärnssystem (RAM) med signalsökande luftvärnsrobotar avsedd att främst bekämpa sjömålsrobot.

SSARB används numera tillsammans med störsändare av olika typer för att trycka ner luftförsvaret (Suppression of Enemy Air Defense, SEAD). Som exempel kan nämnas Gulfkriget och Kosovokonflikten där attack-

anfallen skyddades av flygplan utrustade med störsändare och signalsökande attackrobotar.

Målsökaren

Den viktigaste komponenten i en signalsökande robot är målsökaren. Målsökarens uppgift är att klassificera och lägesbestämma radarstationen, eventuellt i samverkan med flygplanets signalspaningsutrustning. Målsökaren arbetar i stort sett på samma sätt som signalspaningsutrustningar dvs jämför de mottagna signalerna med ett hotbibliotek. Lägesbestämning sker m h a elevation- och sidvinkelinformation från målsökaren. För att klassificera en radar används PRF, pulslängd, antennrotationshastighet och bärfrekvens.

Man har tidigare haft problem med att göra målsökaren tillräckligt bredbandig för att täcka flera olika radarband. Äldre SSARB har därför haft flera utbytbara målsökarhuvuden beroende på vilket radarband som ska bevakas. Moderna robotar har tillräckligt bredbandiga målsökare för att täcka ett stort antal radarband med ett enda målsökarhuvud. Nackdelen med en bredbandig målsökare är att känsligheten blir lägre.

När en radar sänder uppstår reflexer i marken, från hustak m m. För att roboten inte ska styra mot reflexerna nyttjar målsökaren s k pulsfrenstdiskriminering. Det innebär att den följer den puls som först når målsökaren, vilket är den puls som gått raka vägen från radarn till roboten utan att ha reflekterats.

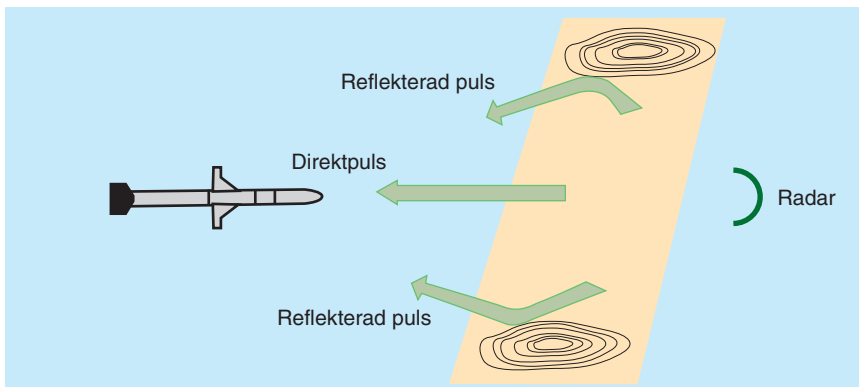


Bild 4:24. Pulsfrontdiskriminering.

För att kunna bestämma radarns position bl a för att avgöra om en radar befinner sig inom bekämpningsbart område, mäter målsökaren eller flygplanets signalspaningsutrustning den vinkelförändring som uppstår i förhållande till roboten/flygplanets färdriktning. Metoden kan liknas vid krysspejling. Ju bättre en radars läge kunnat fastställas före roboten avfyras desto större blir normalt sett träffsannolikheten.

Målföljning och mållåsning kan ske på radarns huvudlobssignal. Under denna fas stötts styrningen av ett tröghetsnavigeringssystem (TN-system). Tröghetsnavigeringen kompenserar den glesa uppdateringen mellan de tillfällena då radarns huvudlob belyser roboten. Detta ger även ett visst skydd mot skensändare och tillfällig avstängning av målradar.

Det finns dock olika uppfattningar huruvida roboten inledningsvis kan låsa på radarns huvudlobssignal eller om den måste använda de svagare sidoloberna som finns kontinuerligt. Man tycks dock vara överens om att roboten i slutfasen av banan måste ha en kontinuerlig signal att styra mot och att sidoloberna därför måste användas. Detta beror på att roboten annars skulle få alltför få tillfällen att uppdatera målets läge.

Om radarn växlar frekvens slumpmässigt, inom ett stort frekvensområde, så kommer målsökarens räckvidd att minska. När mottagaren ska spana över ett bredare frekvensområde kommer känsligheten per frekvens att minska.

Robotens förmåga att med precision styra mot radarn beror bl a på målsökarens antenn. Ju större antenn, vid en viss given våglängd, desto bättre riktningsnoggrannhet. Detta medför att ju längre våglängd radarn arbetar med desto större antenn måste en SSARB ha för att få samma riktningsnoggrannhet. Av naturliga skäl kan roboten inte innehålla en alltför stor antenn. Det är därför svårt att konstruera en SSARB mot radarstationer som arbetar på mycket långa våglängder (>30 cm). Radarstationer på VHF/UHF-banden är svåra att styra mot då målsökantennens storlek blir mindre än våglängden varvid antennens riktverkan blir dålig. Dessutom utnyttjar ofta dessa radarstationer markreflektion för att få bättre egna antennegenskaper vilket ytterligare försvårar för målsökaren.

Banfas

Efter avfyring inträder robotens banfas. Roboten flyger högt, ofta över radarns huvudlob, för att få bästa signal från radarn sett över tiden. Att den flyger ovanför radarns huvudlob innebär att radarn kommer att få svårt att upptäcka roboten. Hög höjd innebär dock att roboten kan få problem med signalanalysen genom att den möts av signaler från ett stort antal olika radarstationer.

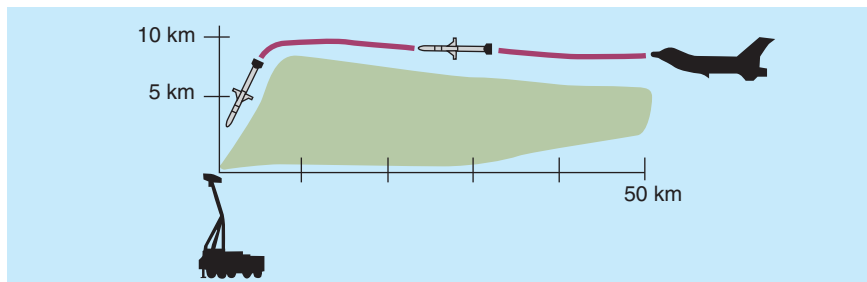


Bild 4:25. Anfällsprofil för SSARB. En SSARB anfyller ovanför radarns höjdtäckning och nyttjar energin som läcker utanför antennindigrammet.

Sluffas/dykning

När roboten kommer närmare radarn ska den från hög höjd, i brant vinkel, 40° – 60° , dyka mot radarn i den ”döda kon” där många spaningsradarstationer är blinda.

Att man vill att roboten ska dyka brant mot målet beror på att

- möjligheterna att upptäcka roboten är små om den anfaller ovanför huvudloben från hög höjd
- man får mindre problem med markekon
- en felvinkel hos roboten vid stor dykvinkel bara ger upphov till ett litet bomavstånd.

Under slutfasen måste precisionen i styrningen ökas. Det krävs därför en allt tätare uppdatering av målläget. Av denna anledning kan bara radarns sidolober användas för målstyrning. En kritisk tidpunkt inträffar då roboten ska växla mellan anflygning och dykning. Roboten ”vet” när det är dags att övergå från planflykt till dykfas genom att mäta hur snabbt elevationsvinkeln till radarstationen förändras. Försvinner målsignalen i detta läge riskerar roboten att passera den sista möjliga punkten för dykning och kommer då troligen att missa grovt.

Vissa moderna målsökare kan i banfasen följa flera mål vilka prioriteras i en bestämd ordning. Tappas signalen från den mest prioriterade radarn väljer roboten nästa radar på prioriteringslistan.

Om den engelska roboten ALARM tappas radarsignalen stiger den till ca 15 km höjd varvid en fallskärm utlöses. Om en radar börjar sända släpper den fallskärmen och dyker mot målet som en styrd glidbomb. Eftersom raketmotorn inte används i detta läge finns en begränsning i hur långt roboten kan styra i sidled. Ju längre roboten hunnit sjunka när den låser på en radar desto mindre sträcka kan den förflytta sig i sidled.

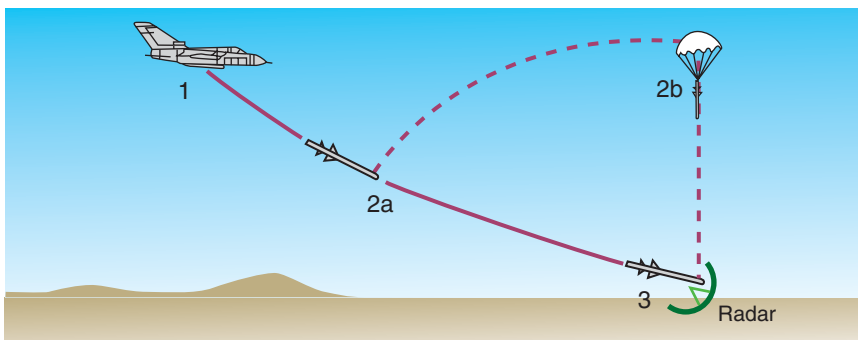


Bild 4:26. Attackroboten ALARM. Roboten avfyras (1). Om radarn sänder kontinuerligt anfaller roboten direkt mot radarn (2a–3). Om radarn stängs av då roboten befinner sig vid 2a stiger den och en fallskärm fälls ut (2b). Om radarn startar att sända släpper roboten fallskärmen och faller mot radarn som en styrd bomb (3).

Stridsdel

Stridsdelen i en SSARB väger ca 50–200 kg och utgörs av sprängämne samt en mängd tungmetallkulor för att förbättra splitterverkan. Stridsdelen utlöses av ett zonrör vilket får roboten att explodera 10–15 meter över marken. Avståndet kan dock varieras om så bedöms lämpligt.

Användningsprinciper

SSARB används enligt fyra olika taktiska principer.

1. Planerat anfall (*prebriefed mode, stand-off*) mot radarstationer med känt läge och kända data. Roboten prepareras vanligtvis på marken före uppdraget. Vissa robotar kan programmeras i luften med data som överförs från attackflygplanet eller signalspaningsutrustning på ett annat flygplan (bl a F-4G hade denna möjlighet). När flygplanet anländer till målområdet jämförs inprogrammerade data med de radarsignaler som når robotens målsökare. Då signalerna överensstämmer, avfyras roboten. Vissa typer av moderna robotar behöver inte ha låst på målet vid avfyring utan kan låsa på målet efter avfyring.
2. Röjning av korridor (*target of opportunity*). Genom att bekämpa luftvärnet längs en korridor ska efterföljande flygplan ohotat kunna genomföra ett attackuppdrag eller en luftlandsättning. Vid denna mod ska de signalsökande robotarna anfälla främst mobila spanings- och eldledningsradarstationer ur luftvärnet. Målens lägen är oftast inte kända före uppdraget startar. För att röja en korridor nyttjar NATO flygplan med speciell signalspaningsutrustning s k luftvärnsjägare ("Wild Weasels").
3. Egenskydd mot luftvärn (*self protection mode*). Den signalsökande roboten används för egenskydd när en eldledningsradar låst på flygplanet. Robotens målsökare och hotbibliotek klassificerar hotet och rekommenderar piloten lämplig tidpunkt för avfyring. Alternativt kan avfyring ske automatiskt.

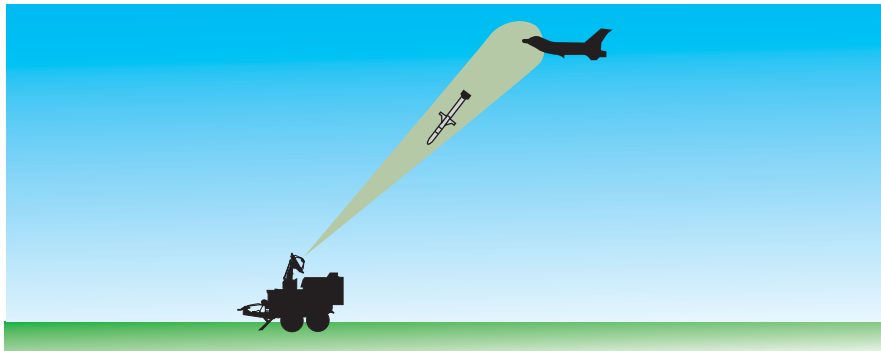


Bild 4:27. Egenskydd mot luftvärn. SSARB avfyras då eldledningsradar låst på flygplanet.

4. Nedhållning av luftvärnet (*loiter mode*). Denna användningsprincip syftar till att under en längre tid tysta radarstationerna inom ett område för att ge understöd till ett attackanfall eller en luftlandsättning. Den första roboten som kunde användas i denna mod var den engelska ALARM vilken med hjälp av en fallskärm under 5–10 minuter kan befinna sig över målområdet. Under de senaste åren har det utvecklats obemannade farkoster s k UAV som är utrustade med signalspaningsutrustning och stridsdel. Dessa UAV kan under flera timmar cirkla över ett målområde. Om en radar börjar sända anfaller UAV och om stationen slutar sända återgår farkosten till sin patrullbana.

Exempel på signalsökande robotar

HARM (High-speed Anti-Radiation Missile)

AGM-88 HARM tillverkas av Raytheon Missile Systems och är operativ sedan 1983. HARM är den signalsökande robot som har använts mest i modern tid. 1000-tals HARM har avfyrats av USAF och 100-tals av allierade flygvapen bl a Tyskland och Italien vid olika konflikter.

AGM-88 kan skjutas i ett antal moder bl a

- planerat anfall (*prebrief mode*). Kännedom om målläget före start. HARM skjuts för att nå målet då man beräknar att attackstyrkan upptäcks av målet. Status på målet kan vara okänt vid skott (låsning efter fällning), vilket dock ökar risken för att roboten missar målet.
- target of opportunity. Målsökaren på HARM-roboten är primär sensor. Målets status är känt vid skott (låsning före fällning). Riktning till målet är känt men avstånd till målet är okänt, vilket ger en risk att målet ligger utanför HARM porté.
- målläge via annan källa. Målet inmätt och identifierat av samverkande enhet utrustad med målinmätningssystem (HTS-kapsel eller ELS). Målinformation överförs via Link 16 eller IDM (Improved Data Modem). Målstatus kan vara okänt vid skott, vilket ger en risk för att målet är släckt när vapeninstas görs varvid roboten missar.
- målläge via egna sensorer. Målläge och identitet via HTS eller ELS. Målets status fullt känt vid vapeninstas. Bästa mod för högsta sannolikhet för träff i målet.
- självförsvarsmod. HARM skjuts på information från motmedelssystemet som uppfattat direkta hot mot förtaget.

HARM kan skjutas helt utan målinformation mot ett område och där spana med egen sensor efter hotsignaler. Roboten låser på första bästa hotsignal. Denna mod kallas inofficiellt för Mad Dog.

HARM modifieras nu med GPS och TN-system för att ge högre precision.

Tabell 4:1. Data för AGM-88 HARM.

Längd	4,17 m	
Diameter	25,4 cm	
Spännvidd	1,13 m	
Stridsdelsvikt	66 kg	21 kg sprängmedel
Verkansdel	45 kg	Förfragmenterade volframkuber
Vikt	361 kg	
Målsökare	Passiv radar	Bredbandsmålsökare
Motor	Raketmotor	Fast bränsle
Fart	M 2,9	
Räckvidd	25-80 km	Beroende på fällhöjd

ALARM (Air-Launched Anti-Radar Missile)

ALARM är en brittisk passiv radarmålsökande attackrobot som tillverkas av Matra BAE Dynamics. Roboten programmeras före start med kända hotsignaler hos radarstationerna i målområdet men kan även före skott uppdateras med senaste information. Roboten kan skjutas på olika sätt beroende på situationen, direkt eller indirekt anfall. Om målets radar är tänd anfaller roboten direkt. Om radarn stängs av flyger roboten fram till målområdet på hög höjd och fäller ut en fallskärm, för att sedan sakta dala nedåt. Börjar radarn sända lösgörs fallskärmen och roboten dyker (med hjälp av gravitationen) ned mot antennen. Om radaroperatören återigen stänger av radarn går ALARM mot det senaste läget den har i sökarminnet. ALARM kom i operativ tjänst 1991 under Gulfkriget.

Tabell 4:2. Data för ALARM.

Längd	4,3 m
Diameter	0,22 m
Spännvidd	0,72 m
Vikt	265 kg
Verkansdel	Förfragmenterad
Målsökare	Passiv radar och TN
Motor	Raketmotor
Räckvidd	45 km

Exempel på SSARB-taktik

Signalsökande robotar har främst nyttjats av USA, Storbritannien samt Israel. De exempel på nyttjande av SSARB som finns i den öppna litteraturen härstammar från dessa länder.

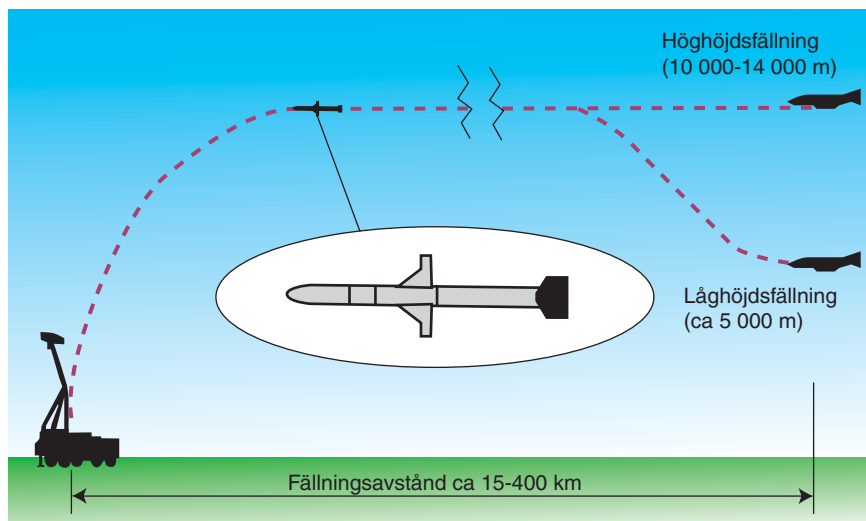


Bild 4:28. Typiska anfallsprofiler för SSARB.

Det hitintills största nyttjandet av signalsökande robotar skedde under Gulfkriget, varvid minst 2000 robotar avfyrades.

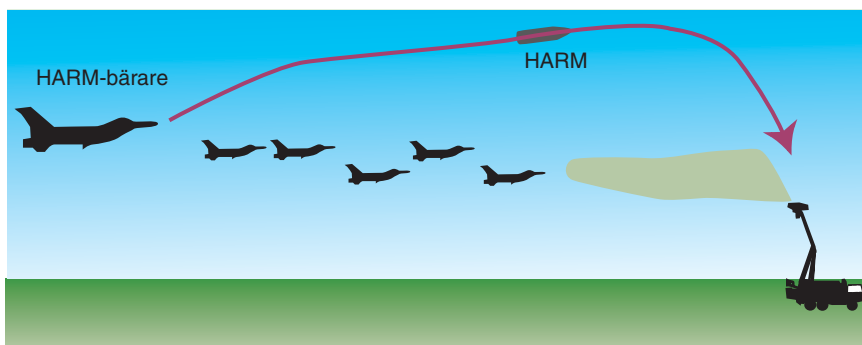
Exempel 4:1



Skenmål används dels för att rikta luftvärnets uppmärksamhet åt fel håll och dels för att få luftvärnet att starta sina radarstationer.

Luftvärnsjägarna röjer en korridor för den efterföljande attackstyrkan och mäter med sina signalspaningsutrustningar var radarstationerna befinner sig och anfaller dessa med SSARB eller något annat lämpligt vapen.

Attackflygplan med HARM-robotar flyger bakom huvudstyrkan och har till syfte att slå ut radarstationer som kan ha överlevt luftvärnsjägarna. De avfyrrar sina signalsökande robotar så att dessa når målområdet strax



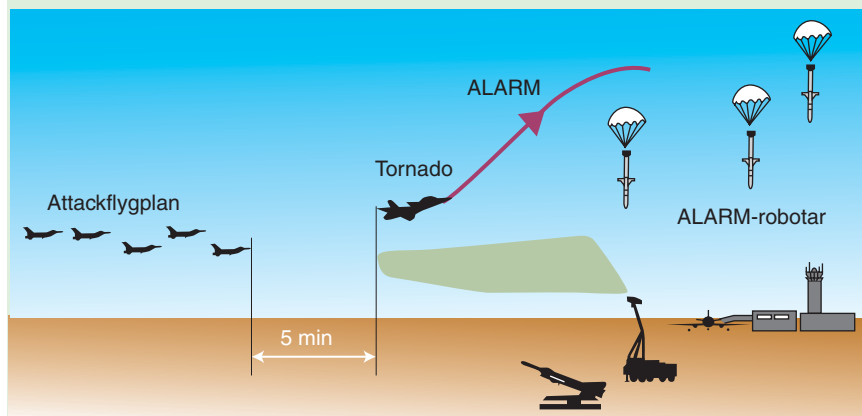
före attackflygplanen. Ju kortare tiden kan göras mellan det att roboten anfaller till dess attacken anländer desto svårare blir det för luftvärnet att kunna verka.

Exempel 4:2

Förlopp

Tornadoflygplan skjuter ALARM mot målområdet ca fem minuter före attackflygplanen når målet.

Om någon radar sänder anfaller ALARM direkt. Om radarstationerna är avstängda, stiger roboten till ca 15 km höjd varefter en fallskärm utvecklas, roboten dalar därefter sakta mot marken under ca fem minuters tid. Om en radar börjar sända släpper ALARM sin fallskärm och faller mot radarn som en styrd bomb.



När attackflygplanen efter några minuter anländer till målområdet, skyddas de av de robotar som fortfarande befinner sig i sina fallskärmar.

Med ALARM uppstår inget tidsmässigt "glapp" mellan det att de signalsökande robotarna anfaller radarstationerna och det att attackanfallet anländer. Ett sådant glapp skulle luftvärnet kunna använda för att starta radarstationerna. ALARM kan utgöra ett hot mot radarstationerna under betydligt längre tid än övriga typer av signalsökande robotar.

De som nyttjar signalsökande robotar strävar efter att minimera tiden mellan det att roboten når målområdet och att attackflygplanen anländer. Man kan jämföra detta med infanteriets strävan att minimera tiden mellan stormeldens upphörande och stormningen.

Det är svårt att fastställa när hotet från SSARB är över och när anfallsfasen inleds vilket ökar risken att komma i efterhand. Situationen kan ytterligare kompliceras om skenmål används.

Robottyper

För de olika användningsprinciperna har det utvecklats särskilda typer av robotar. De tidigaste robotarna var bara konstruerade för direktanfall och/eller röjning av korridor. De modernare robotarna klarar flera olika moder.

Ryska system

Inom det forna Sovjetunionen utvecklades inledningsvis främst tunga robotar med räckvidd upptill 300 km, vilka var avsedda för direktanfall mot främst fasta STRIL-radaranläggningar. Exempel på dessa robotar är AS-4B Kitchen, AS-5B Kelt och AS-6B Kingfish.

Senare utvecklades den medeltunga AS-11 Kilter med medellång till lång räckvidd. Den lättare AS-12 Kegler ska främst bekämpa eldlednings- och belyningsradar av CW-typ t ex belyningsradarn i Hawk-systemet. Rysslands senaste SSARB är AS-17 Krypton vilken är avsedd för användning mot spanings- och eldledningsradar av puls- och CW-typ, både till lands och på fartyg.

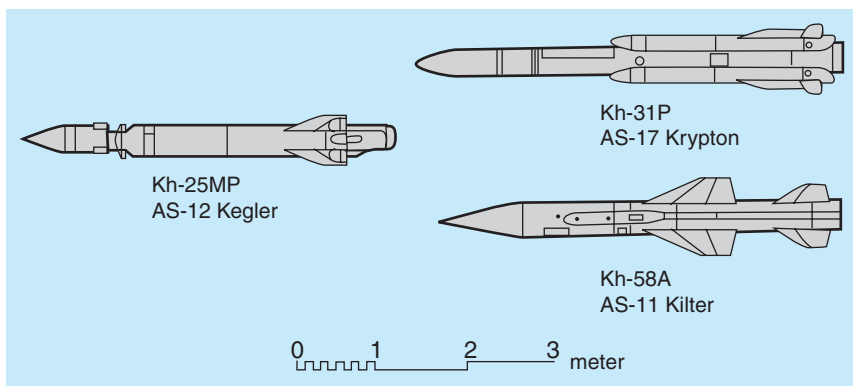


Bild 4:32. Olika robotar för bekämpning av radar.

AS-11 Kilter

Roboten Kilter bygger på idéer från den brittisk/franska signalsökande roboten Martel, även om Kilter blev både större och tyngre. Roboten är särskilt avsedd att användas mot Patriot och Hawk.

4. Telekrigföring

Roboten kan bäras av SU-24M Fencer-D och användes tillsammans med målutpekings/signalspaningsutrustningen "Fantasmagoria" vilken monterades i en pod (typ av kapsel) under flygplanet. SU-24 kan bära fyra robotar. Kilter togs i operativt bruk 1982 och kan bäras av alla standard SU-24 Fencer D. Robotens räckvidd är 26 km från låghöjd och 120 km från 10 000 m höjd samt 160 km om den avfyras från 15 000 m höjd. Genom sin långa räckvidd kan den användas mot Improved Hawk och Patriot utanför dessa systems räckvidd. Roboten gör efter avfyring en upptagning så att den kan anfälla målet i brant vinkel uppifrån, för att använda Patriotsystemets eldledningsradarns "döda kon". En modifierad variant, Kh-58U, har en utökad räckvidd (max 250 km).

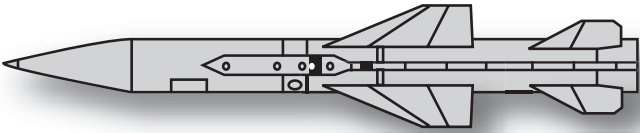
NATO benämning	Tillverkare	Operativ från	Huvudsakliga mål	Plattformer	Längd (m)
AS-11 Kilter	MKB Raduga	1982	Nike Hercules HAWK mod. HAWK Patriot	Su-24M MiG-25BM SU-17M4	4.80
Kh-58A 					
Spännvidd (cm)	Vikt (kg)/ Stridsdel	Räckvidd (km)	Fart (m/s)	Avfyrningshöjd (m)	
117	650/150	160	900	100-25,000	

Bild 4:33. Kilter, rysk signalsökande robot.

Denna robot har även en förbättrad målsökare som tillåter att roboten låser på radarsignalen efter det att den avfyrats. Inledningsvis nyttjades MiG-25BM Foxbat F som vapenplattform. Roboten kan även bäras av SU-24 och SU-22 Fitter.

AS-17 Krypton

Under 1980-talets början införde USA den signalsökande roboten HARM. I Sovjetunionen insåg man då att hög hastighet var en viktig parameter för att roboten skulle vara verksam mot radarstationerna. Genom att minska tiden från avfyring till träff så ges luftvärnet mindre tid till att hinna reagera. En snabb robot är också svårare att skjuta ner, vilket Patriot kunde göra med äldre generationers signalsökande robotar. Därför påbörjades utveckling av två varianter av en långräckviddig robot med hög hastighet, Kh-

31A (sjömålsrobot) och Kh-31 P, signalsökande robot. Roboten fick NATO-beteckningen AS-17 Krypton.

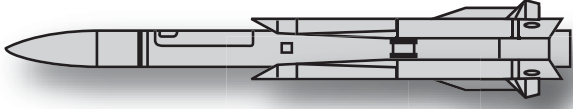
NATO benämning	Tillverkare	Operativ från	Huvudsakliga mål	Plattformer	Längd (m)
AS-17 Krypton	OKB Zvezda	1991	mod. HAWK Patriot	Su-24M	4.70
Kh-31P 					
Spännvidd (cm)	Vikt (kg)/ Stridsdel	Räckvidd (km)	Fart (m/s)	Avfyrningshöjd (m)	
112,5	600/90	110	1050	100-15,000	

Bild 4:34. Krypton, rysk signalsökande robot.

Krypton har en startmotor och fyra ramjetmotorer, vilka ger roboten en hastighet på max 3,6 Mach (ca 1000 m/s). Roboten väger ca 600 kg. Den har samma målsökare och stridsdel som AS-11 Kilter, men ett bättre navigeringssystem vilket enligt vissa öppna källor, gör att medelfelläget är 5–7 m mot en sändande radar. Dess maximala räckvidd är 110 km, något kortare än Kilter, men avsevärt längre än HARM. Krypton var operativ 1991 och användes då med SU-24M. Den använder samma målutpekningssystem "Fantasmagoria" som Kilter. En SU-24 kan bära upp till fyra robotar. I mitten av 1990-talet utvecklades och testades en förbättrad version Kh-31PD. Dess räckvidd hade ökats till 150 km medan övriga prestanda var oförändrade.

Övriga system och utveckling av SSARB

I väst har det inte utvecklats några tunga signalsökande robotar utan använder i huvudsak mindre robotar med räckvidder under 60 km.

En kontinuerlig uppdatering sker av de befintliga signalsökande robotarna. Som exempel kan nämnas att Luftwaffes befintliga HARM-robotar uppgraderades med ny mjukvara under 2000–2002. Ett samarbetsprojekt mellan USA, Tyskland och Italien avser att utrusta robotarna med nytt precisionsnavigeringssystem under år 2003. Systemet kommer att bestå av tröghetsnavigering (Inertial Measurement Unit, IMU) och en GPS-mottagare för att öka träffsannolikheten samt minska risken för skador vid

4. Telekrigföring

sidan av målet och på egna styrkor. Man kommer även kunna ange för roboten inom vilka geografiska zoner den får eller inte får angripa ett mål för att minska risken att roboten angriper egna radarstationer. Dessa zoner kan göras så små som noggrannheten i GPS-systemet medger (dvs ett fåtal meter).



Bild 4:35. HARM

USA har utvecklat en SSARB, Sidearm, med kort räckvidd till egenskydd av attackflygplan och attackhelikoptrar. Roboten är en utveckling av jaktroboten Sidewinder. I en framtid kan man anta att flertalet attackflygplan kommer att kunna bära med sig någon form av SSARB mot eldledningsradar.

Sidewinder används även i det fartygsbaserade luftvärnsrobotsystemet RAM (Rolling Air Frame) i USA och Tyskland. Systemet är främst avsett för att bekämpa sjömålsrobotar. Roboten är i detta system utrustad med både en passiv radarmålsökare och en IR-målsökare och nyttjar inledningsvis den passiva radarmålsökaren och i slutfasen IR-målsökaren.

Obemannad beväpnad farkost – UCAV (Unmanned Combat Aerial Vehicle)

För att under en längre tid förhindra motståndaren att använda sina radarstationer och helt eliminera glappet mellan SSARB insats och attackanfall så utvecklas nu signalsökande robotar som kan befinna sig lång tid över målområdet. I bl a Sydafrika, Israel och USA utvecklar man därför UCAV. Detta är en UAV som i sig själv utgör en SSARB. Den allmänna uppfattningen är att UCAV har kommit för att stanna och kommer att spela en betydande roll i framtidens SEAD inte minst genom sin förmåga att eliminera risken för egna förluster.

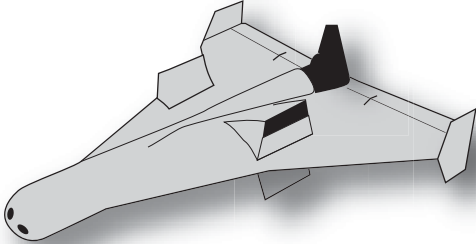
NATO benämning	Tillverkare	Operativ från	Huvudsakliga mål	Plattformer	Längd (m)
LARK	Sydafrika				
					
Aktionstid (h)	Vikt (kg)/ Stridsdel	Räckvidd (km)	Fart (km/h)	Målsökare (GHz)	
2	22/splitter	400	120 - 200	2 - 18	

Bild 4:36. Signalsökande UAV, LARK, Sydafrika.

En av de första UACV var den sydafrikanska LARK. En motsvarighet till LARK är den israeliska HARPY. HARPY startar från en ramp på en lastbil och flyger under flera timmar i patrullbana över mätområdet. HARPY kan sättas in enskilt eller gruppvis. Roboten drivs av en kolvmotor med propeller och har en räckvidd på 400 km. Målsökaren är en passiv radarmålsökare. Efter målfångning dyker HARPY mot målet i en vertikal bana. Om radarn sluta sända före HARPY nått en förutbestämd beslutshöjd, avbryts patrulleringen tills radarn börjar sända igen.

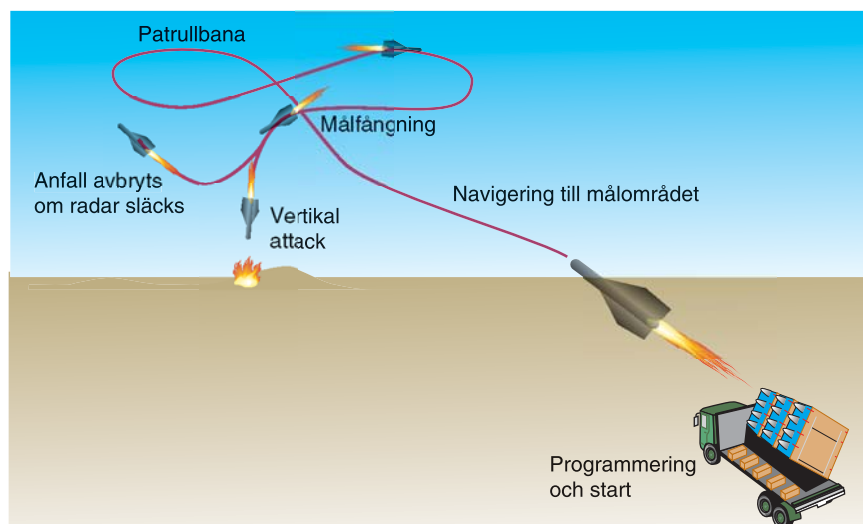


Bild 4:37. HARPY – taktiskt utnyttjande.

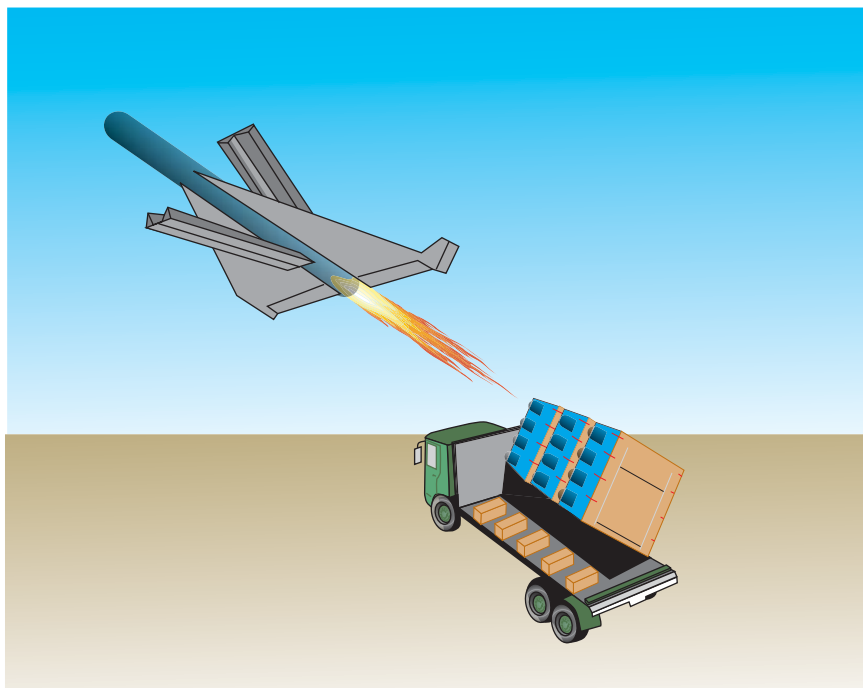


Bild 4:38. HARPY avfyras från containerfordon.

HARPY förvaras och transporteras i ett containerfordon som även används som avskjutningsramp. Ett batteri består av en markkontroll och tre skjutenheter med vardera 18 HARPY.

Tabell: 4:3. Data för HARPY.

Längd	2,3 m
Spännvidd	2,0 m
Stridsdelsvikt	32 kg
Startvikt	135 kg
Målsökare	Passiv radar
Motor	2-cyl, 2-takt, propeller
Motorstyrka	28 hk
Maxfart	250 km/h
Flyghöjd	3000 m
Räckvidd	> 500 km
Patrulltid	2 h, 400 km från start

Multipla målsökare

För att öka träffsannolikheten och minska påverkan av intermittent sändning kommer robotarna i framtiden att utrustas med ytterligare en målsökare, t ex en passiv IR-målsökare, vilken under slutfasen kan styra roboten mot målet.

Ett exempel på ett sådant system är det tyska utvecklingsprojektet Armiger. Armiger är en tysk signalsökande robot avsedd att ersätta AGM-88 HARM. Armiger ska även kunna användas mot flygplan typ AWACS samt mot avskjutningsramper för taktiska ballistiska robotar. Den är försedd med en bildalstrande IR-målsökare som ett komplement till den bredbandiga passiva radarmålsökaren (0,1–18 GHz). IR-målsökaren arbetar inom våglängdsområdet 8–12 mm. Två fördelar med IR-målsökaren är att vinkelnoggrannheten är betydligt bättre än för ett radarsystem. Det planeras även för en aktiv millimetervågmålsökare (94 GHz). Träffnoggrannheten bedöms vara 1–2 m jämfört med 10 m för HARM. Armiger ska utrustas med en datalänk som medger uppdatering i banan och gör att roboten kan sända en målbild (IR) strax före träff för att underlätta resultatvärderingen.

Roboten är försedd med en ramjetmotor som ger den hög fart (mach 2-3) och lång räckvidd (upp till 200 km).

Produktionen inleds tidigast 2010.

Tabell 4:4. Data för Armiger.

Längd	4,0 m
Diameter	0,20 m
Stridsdel	20 kg
Vikt	220 kg
Motor	Raketbooster/ramjet
Fart	M 2-3
Navigering	GPS/TN
Räckvidd	100-200 km
Målsökare	Passiv radar/IR

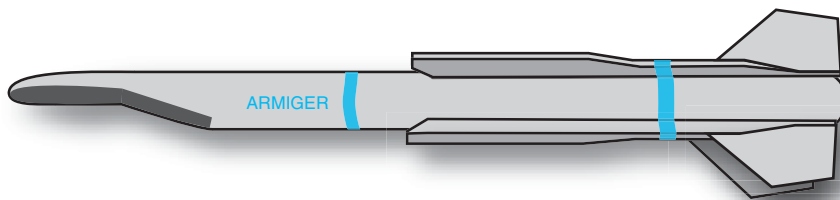


Bild 4:39 . Armiger

Varnar- och motverkanssystem

Allmänt

Tidigare var flygplanen utrustade med flera olika motverkanssystem som arbetade oberoende av varandra, t ex ett som skötte elektronisk störning, ett annat hade hand om rems- och fackelfällning. De olika systemen utbytte lite eller ingen information emellan. Detta innebär att flygplanet t ex kunde ha flera likartade signalspaningsutrustningar. Man försöker numera att koppla samman flygplanets alla motmedelsutrustningar, radarvarnare, robotskottvarnare m m till ett kombinerat system, ett varnar- och motverkanssystem (VMS). VMS utvärderar de olika varnarsignalerna, presenterar hoten för piloten och sätter eventuellt automatiskt in motåtgärder. Syftet med att integrera de olika utrustningarna till ett system är att öka den totala motverkans effekten.

En störutrustning måste innehålla någon mottagarfunktion, annars sker störningen med stor sannolikhet mot fel frekvens och vid fel tillfälle. Ett okontrollerat nyttjande av telestörning kan motverka sitt syfte. Istället för att dölja flygföretaget kan det komma att avslöja det samt störa egen utrustning.

Mottagarfunktionen detekterar, mäter in och analyserar radarsignaler och utgörs i vissa fall av flygplanets radarvarnare, i andra fall är den inbyggd i störutrustningen. Utrustningen fastställer olika data för radarsignalen. Ju mer avancerad spaningsutrustning desto fler parametrar kan fastställas. Ju bättre radarsignalerna kan analyseras desto större blir möjligheterna för störsändaren att kunna alstra en effektiv störform.

Varnarutrustningens prestanda är ofta den begränsande faktorn i ett motverkanssystem. Om en radarvarnare t ex inte klarar av att detektera och mäta in signalerna från t ex en PS-91 så kommer inte heller störningen att kopplas på vid rätt tillfälle. Störverkan kan då bli låg eller utebli helt.

Spanings- och attackflygplan tvingas ofta av utrymmesskäl att använda störutrustningar som monteras utanpå flygplansskrovet i form av störkapslar.

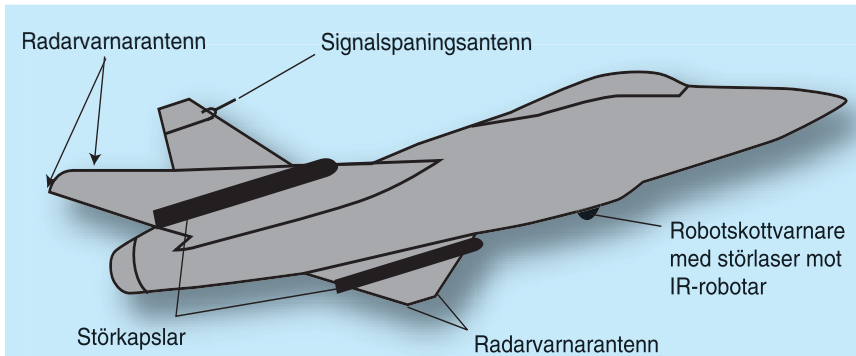


Bild 4:40. Exempel på placering av utrustningen i ett varnar- och motverkanssystem.

Under senare år har det dock blivit vanligt att avancerade motverkanssystem integreras i flygplanskroppen redan vid konstruktionen av flygplanet. Vissa uppgifter gör gällande att kostnaderna för telekrigsutrustningen på ett modernt flygplan kan uppgå till 20–30 % av flygplanets totala kostnad i s k stealth flygplan ändå mer.

I jakt- och attackflygplan är störutrustningarna främst avsedda för egen-skydd mot motståndarens jaktradar eller mot eldledningsradar i lvakan- och lvrobotsystem. Dessa störutrustningar är ofta helt automatiserade, varvid systemen själva svarar för signaldetektering, identifiering, störprioritering, val av störformer och tidpunkt för störinsats. Piloten har vanligen möjligheter att överrida automatiken när han bedömer att detta ger bättre resultat.

Specialbyggda flygplan för störning t ex medstörare eller bakgrundsstörare har ofta en eller flera operatörer med uppgift att övervaka automa-tiken och vara beredda att själva manuellt välja den mest optimala stör-formen.

Systemuppbyggnad

Vid konstruktion av ett motverkanssystem försöker konstruktörerna upp-fylla flera ibland motsägelsefulla krav som

- stor bandbredd
- hög uteffekt
- hög verkningsgrad
- stor fas-, frekvens- och amplitudstabilitet
- låg vikt och volym.

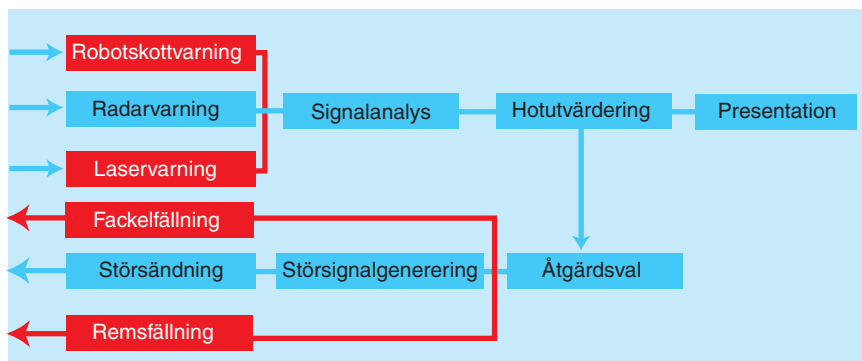


Bild 4:41. Funktioner inom ett modernt varnare- och motverkanssystem.
Blått – grundkomponenter, rött – tilläggskomponenter.

Varnare och motverkanssystemet består vanligtvis av fyra huvuddelar.

1. Radarvarning inklusive signalanalys.
2. Hotutvärdering och åtgärdsval.
3. Störsändning inklusive störsignalgenerering.
4. Presentation.

I moderna system ingår vanligen även

- robotskottvarnare
- laservarnare
- remsfällare
- fackelfällare
- släpat aktivt skenmål.

Robotskottvarnare

Under de senaste decenniernas krig har passiva IR-robotar orsakat stor del av förluster av såväl flygplan som helikoptrar eftersom dessa inte lika tydligt ger en förvarning såsom aktiva radarsystem gör. Andra hot är de laserledstråle styrda robotsystemen. Det har därför blivit viktigt att utveckla utrustning som varnar piloten och eventuellt automatiskt utlöser olika former av motåtgärder som t ex fackel- och remsfällning då en robot närmar sig. Tre funktionsprinciper är vanliga för robotskottsvarnare.

- radar
- IR-sensor
- UV-sensor.

Ibland utnyttjas flera funktionsprinciper samtidigt. Varningen kan baseras på indirekta eller direkta observationer.

Exempel på *indirekta observationer* kan vara att radarvarnaren rapporterar att motståndarens radar har gått över i den speciella mod som används för eldledning av en robot eller att planets laservarnare anger att planet är belyst av en laserledstråle.

Man eftersträvar att använda *direkt observation* eftersom det anger att en faktisk robot, är på väg mot flygplanet. Robotskottvarnarna fungerar antingen med hjälp av en pulsdopplerradar eller genom någon form av IR- eller UV-system, vilka känner den upphettning som luften ger upphov till på robotens nos eller strålningen från robotmotorn.

Vissa robotskottvarnare nyttjar en dopplerradar för att upptäcka den annalkande roboten. Fördelarna är allväderskapacitet, lång räckvidd och möjlighet att mäta avståndet till roboten. Nackdelen är att radarn kan pejlas och riskerar därmed att avslöja flygföretaget.

UV- och IR-systemen har fördelen av att vara passiva och avslöjar därmed inte flygplanet genom några röjande signaler. Ytterligare fördel är att de har god vinkelnoggrannhet och används därför i vissa VMS-system för att rikta in en störlaser mot IR-roboten som vilseleder eller förstör dess IR-målsökare. Nackdelen med IR-systemen är att det kan uppstå en hel del falsklarm. För UV-systemen krävs att raketmotorn fortfarande brinner för att målen ska kunna detekteras. Ofta kombineras UV- och IR-varnare för att dra nytta av de båda sensortypernas fördelar.

Ett generellt problem med robotvarnarna är att de måste täcka ett stort vinkelområde, ofta hela sfären runt flygplanet, och att roboten har liten signatur. För att minska falsklarmen och höja systemets känslighet kan radarvarnaren användas för att rikta in IR-detektorerna i den riktning som bedöms hotfullast. En generell nackdel med både UV- och IR-system är att de inte ger avståndsinformation. För att ändå få en grov uppfattning om avståndet används signalstyrkan. Utvecklingen tycks gå mot fler passiva robotskottvarnare.

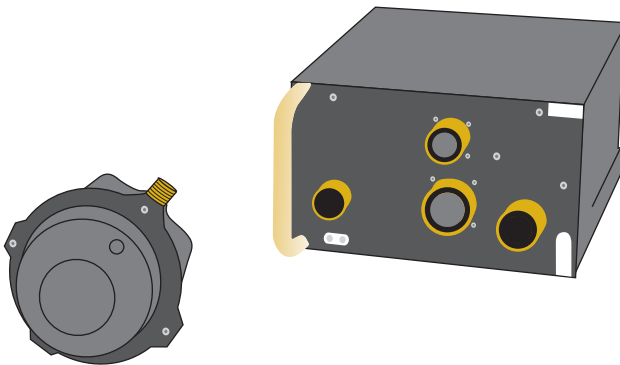


Bild 4:42. Robotskottvarnare.

Robotskottvarnare AN/AAR-54 är ett modernt exempel på en robotskottvarnare. Systemet kan själv initiera fackelfällning eller låta en dator ombord på flygplanet starta motåtgärder.

Systemets UV-sensor uppfattar explosionen som uppstår när en robotmotor tänds och avvaktar för att se om en avlång raketflamma träder fram ur krutmolnet. Detta diskriminerar mynningsflammar vid kanoneld. Systemet har, enligt tillverkaren, väldigt kort reaktionstid, ca 0,1 sekunder.

De modernaste VMS-systemen har idag både robotskottvarnare och laservarnare.

Laservarnare

Under senare tid har det blivit allt vanligare att flygplan, helikopter och stridsfordon utrustas med laservarnare för att ge varning mot laseravståndsmätare och vapensystem som styrs av laser. Piloten får en varning om att denne är belyst med laser och ger en vinkelinvisning på 2° – 90° beroende på utförande av laservarnare. Laseravståndsmätare t ex till LvKv upptäcks med stor sannolikhet. Mera avancerade laservarnare krävs för att ge varning mot robotsystem som styrs med laserledstråle, t ex RBS 70 och 90. Orsaken är att dessa system har låg lasereffekt.

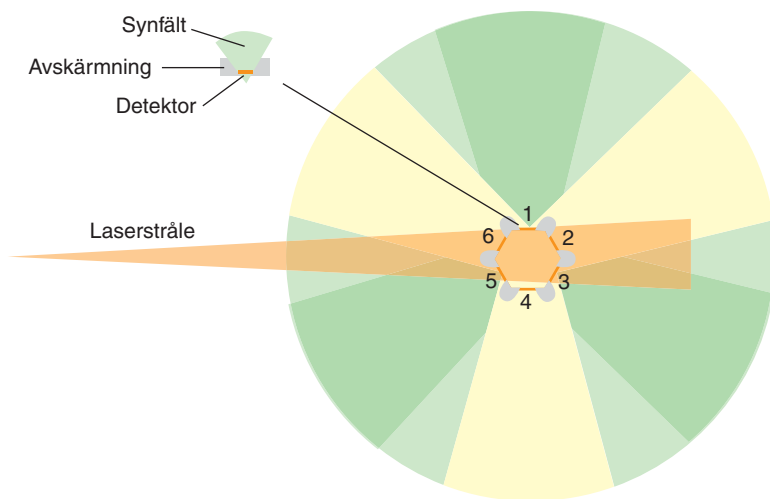


Bild 4:43. Princip för enkel laservarnare för 90° sektorinvisning (uppe till vänster). Genom att som här kombinera sex laservarnare kan hela varvet täckas in med vinkelinvisning på 30° . Laservarnarna monteras ofta åtskilda för att få bättre vinkeltäckning.

Radarvarnare

Radarvarnare nyttjades redan under andra världskriget. Bl a använde tyskarna en radarvarnare, Metox, på sina ubåtar. Denna var konstruerad

för att detektera radarstationer som använde 1,5 meters våglängd. När engelsmännen senare konstruerade magnetronen, vilken möjliggjorde våglängder på ca 10 cm, drabbades tyskarna av stora ubåtsförluster, eftersom de inte längre fick någon varning för ett annalkande flygplan. Från och med 1960-talet utrustades de flesta jakt- och attackflygplan med olika former av radarvarnare.

Radarvarnaren är numera endast en del av flygplanets totala varnarutrustning. Radarvarnaren kan sägas arbeta i stegen

- signalspaning
- hotutvärdering och signalanalys
- hotpresentation.

Signalspaning

Radarvarnarens känslighet – en kompromiss

Begreppet signalmiljö brukar användas för att illustrera mängden signaler i etern. Utvecklingen går mot att signalmiljön blir allt tätare. Denna utveckling gäller såväl militära som civila signaler. Mängden signaler en radarvarnare tar emot beror bl a på mottagarens känslighet och flygplanets höjd.

Exempel 4:3

Antag att ett flygplan befinner sig på 500 meters höjd. Avståndet (d km)

till radarhorisonten blir enligt formeln $d = 4,1\sqrt{h}$ (där h = antennhöjden i m) ca 90 km. Antag vidare att det inom denna radie finns 10 radarstationer vars signaler når flygplanets varnarutrustning. Om respektive radarstation sänder 5000 pulser per sekund kommer flygplanet att nås av $10 \cdot 5000 = 50000$ pulser under varje sekund.

I en tät signalmiljö kan det idag röra sig om 1-10 miljoner pulser per sekund.

Signalspaningsutrustningen måste på mycket kort tid hinna analysera vilka signaler som kommer från olika typer av radarstationer.

Flertalet av de signaler som når ett flygplans radarvarnare kommer från radarstationer som befinner sig så långt bort att de inte har någon möjlighet att upptäcka flygplanet. Radarvarnaren måste därför kunna skilja på signaler som befinner sig tillräckligt nära för att utgöra ett hot och sådana signaler från stationer som befinner sig för långt bort. Annars kommer hela tiden larm från radarvarnaren, vilket kan leda till att piloten inte kommer att ta de verkliga hoten på allvar.

När det gäller en eldledningsradar t ex PE-23 eller PE-542 är det relativt enkelt att fastställa om de låst på flygplanet eller befinner sig under

spaningsfas eftersom en eldledningsradar vid låsning kontinuerligt belyser målet. Men hur ska radarvarnaren kunna avgöra om en spaningsradar t ex PS-70 eller PS-91 upptäckt flygplanet och därmed utgör ett hot?

En äldre, enkel men mindre lämplig metod att få en uppfattning om avståndet till radarn och därmed om den kan utgöra ett hot, är att sänka radarvarnarens känslighet så att bara mycket kraftiga signaler detekteras och kan ge larm. Detta innebär också att mängden signaler som kan analyseras sjunker vilket minskar kraven på systemets datakapacitet. Problemet med denna metod är att det inte är säkert att en svag signal kommer från en radar som befinner sig långt borta. Exempelvis har PS-91 betydligt mindre uteffekt än PS-90. Man kan jämföra med hur svårt det är att på natten avgöra om det är ett svagt ljus nära eller ett starkt ljus långt borta. Moderna system försöker istället genom olika former av riktningsbestämning avgöra radarstationernas position. Denna metod är mer resurskrävande men leder till en avsevärt förbättrad hotanalys och omvärldsuppfattning.

Hotutvärdering och signalanalys

För att kontinuerligt veta vilka hot, som är viktigast att kunna påverka, genomförs signalanalys och hotutvärdering. Hotutvärderingen sker på likartat vis oavsett om det gäller flygplanets radarvarnare, en störkapsel eller ett VMS-system. I signalbiblioteket finns data lagrat för olika typer av radarstationer. Bearbetning och analys av nya typer av signaler sker delvis manuellt före de lagras i systemets signalbibliotek. I Sverige sker detta genom FMTKSE (FörsvarsMaktens TeleKrigsStöd Enhet).

Styrdatoren nyttjar signalbiblioteket för att kontrollera vilka radarstationer som stämmer med insamlade data. Datoren fastställer därefter vilken radar-typ det är som sänder.

För att bestämma typ av radar och vilken mod radarn befinner sig i mäter radarvarnaren varje inkommande puls (bl a ankomstriktnings, bär-frekvens, pulslängd, pulsamplitud och ankomsttid) och skapar en digital beskrivning en s k pulskdeskriptor (Pulse Description Word – PDW). Radarvarnarens pulssortering ordnar sedan dessa PDW i grupper där varje grupp idealt består av PDW från en och samma radar. Varje sådan emitter får en beskrivning och med denna går man sedan in i ett signalbibliotek (emitterbibliotek) och identifierar radarn.

För att få en uppfattning om en radar befinner sig tillräckligt nära för att utgöra ett hot görs upprepade riktningsbestämningar för att fastställa radarstationernas lägen, därefter jämförs signalernas parametrar med signalbiblioteket. På så vis kan man hotklassificera radarn, genom att man vet var stationen befinner sig, vilken typ av system det är och vilken mod den befinner sig i. Radarvarnaren har nu underlag för en hotbedömning som t ex kan vara avgörande för en störinsats.

Principen för att identifiera en radar

Generellt måste man i förväg veta vilka hot som kan förekomma och vilka moder radarstationerna kan använda. Denna information ska finnas lagrad i radarvarnaren. Identifieringen sker efter följande principer:

- De enklaste analyserna sker först. Det är vanligtvis de som endast kräver en bredbandig mottagare och går att utföra på någon enstaka puls.
- Mer tids- och resurskrävande analyser sker efter hand.
- Analysen avbryts så snart tillräckligt med data samlats in för att bestämma typ av station.

Som exempel på hur en radarvarnare arbetar ska vi se hur den arbetar för att särskilja några olika typer av pulsradar.

De parametrar som i detta exempel krävs för att särskilja stationerna är

- frekvens
- pulslängd
- PRF
- antennens avsökningsmönster.

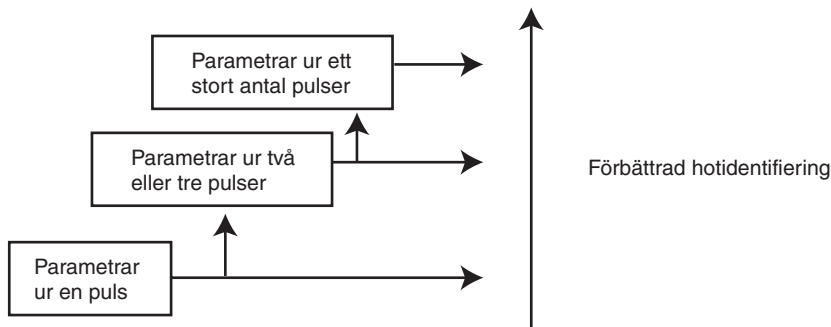


Bild 4:44. Hotutvärderingen börjar med de parametrar som går snabbast att utvärdera.

Radarvarnare kommer att börja med att försöka bestämma hotet genom de parametrar den kan läsa ut ur en enskild puls (frekvens och pulslängd). Om hotet kan identifieras av bara dessa två parametrar så kommer utrustningens dator avbryta sitt arbete och rapportera hotets identitet (bild 4:44).

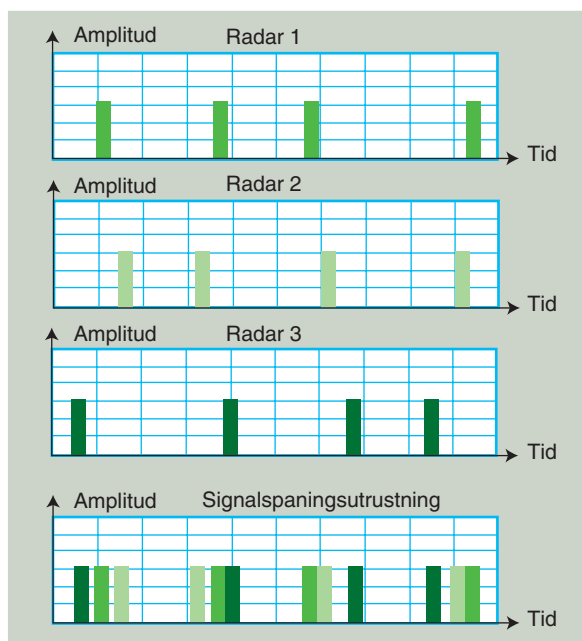


Bild 4:45. Svårigheterna att analysera signalerna ökar då radarstationerna använder staggered PRF eftersom ordningen mellan signalerna kommer att variera.

I nästa steg analyserar radarvarnaren pulsrepetitionsfrekvensen, detta kräver i teorin bara två pulser och är den näst enklaste analysen. Det kan dock bli komplikationer om det finns flera samtidiga radarsignaler eller om radarn använder staggered PRF. Detta kan leda till att det tar längre tid att analysera PRF än vad som teoretiskt vore möjligt.

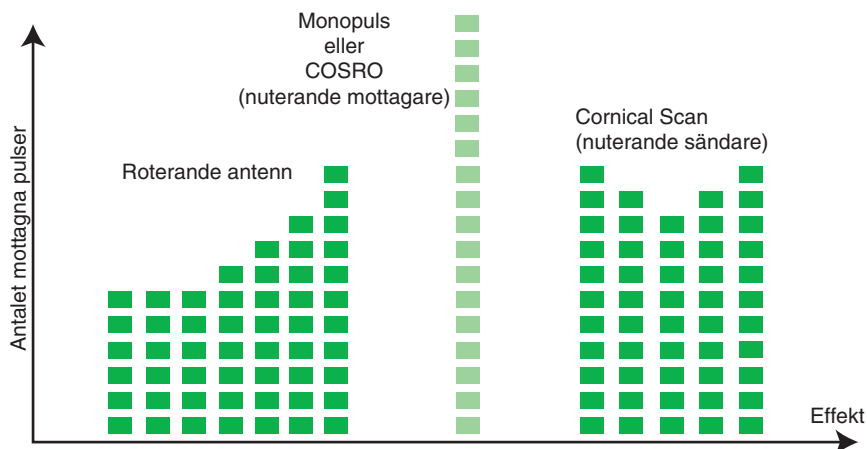


Bild 4:46. Den i radarvarnaren mottagna signaleffekten varierar beroende på radarns sökmod och vinkelföljningssystem. (Adamy)

Om analysen av PRF ger tillräcklig information för att identifiera radarn avbryts analysen här.

I det sista steget analyseras antennens sökmönster och antenndiagrammet. Detta innebär en analys av hur signalens amplitud varierar under ett stort antal pulser. Under analysens gång kommer man dessutom att motta signaler från många radarstationer, detta innebär att varnaren inte får blanda samman de olika signalerna. Denna analys är svårast och tar längst tid. Tiden det tar att avgöra antennens sökmönster är ofta av samma storleksordning som vad som överhuvudtaget kan anses vara acceptabel tid för radarvarnaren att bestämma hotets identitet innan det kan vara försent att vidta motåtgärder.

Hotpresentation

Om hotvärderingen ingår i flygplanets radarvarningssystem ges piloten information från datorn om vilken typ av radar som belyser flygplanet. Varningen till piloten kan ske genom lampor, olika former av ljudsignaler eller syntetiskt tal, som anger t ex typ av radar, radarmod och riktning.

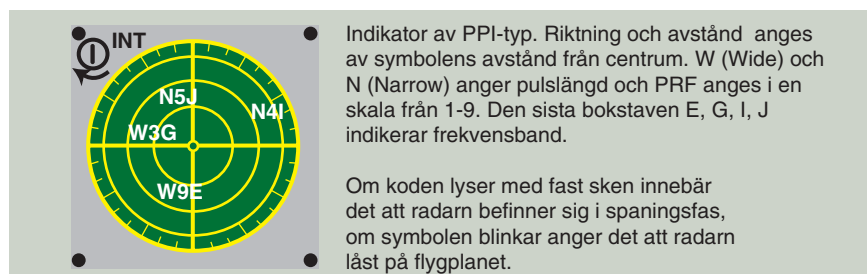


Bild 4:47. Hotpresentation hos radarvarnare AN/ALR-606(VE).

Exempel på presentationsutrustning

Äldre varnarutrustningar använde ofta ett antal lampor som angav riktningen till hotet, andra lampor visade typ av hotradar. Utrustningen hade ofta en form av akustiskt larm som angav att en eldledningsradar var låst på eget flygplan. I vissa utrustningar presenterades hotet i pilotens hörlurar genom att radarns PRF gjorts hörbar. När t ex eldledningsradarn till SA-2 låst på flygplanet hördes då en rasslande signal med ca 2 – 5 kHz frekvens (radarns PRF). Systemets spaningsradar hördes som ett ”knäpp” varje gång antennloben svepte förbi flygplanet.

Modernare varnarutrustningar kan använda syntetiskt tal som t ex anger ”SA-6, spaning riktning 11”. Ett annat modernare sätt att ange riktningen till hotet snabbt är att systemet nyttjar 3D-ljud (”surround” - ljud) i pilotens hörlurar. Piloten kommer då att instinktivt att titta i riktning mot hotet.

AN/ALR-606 (bild 4:47) är ett exempel på ett vanligt sätt att grafiskt visa riktning, avstånd och typ av hot.

4. Telekrigföring

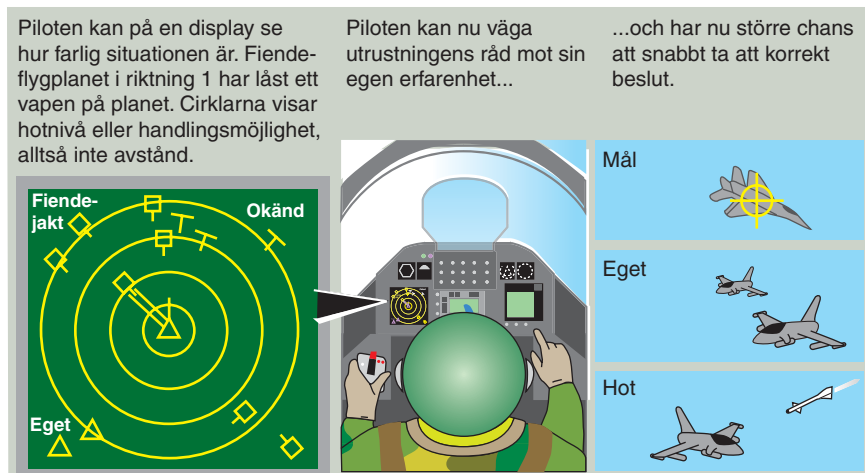


Bild 4:48. Modern hotpresentation.

Att ett system befinner sig nära ett flygplan behöver inte innebära att det utgör det största hotet. I bild 4:48 visas ett exempel på en modern utrustning som presenterar riktning, typ och hotnivå. Ju närmare centrum en symbol befinner sig desto större hot utgör det aktuella systemet (oavsett det geografiska avståndet). Fördelen är att piloten alltid vet att koncentrera sig på rätt hot.

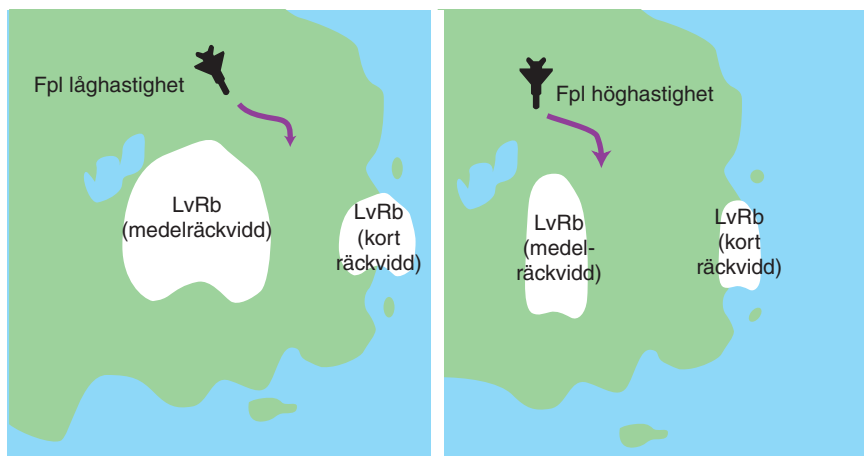


Bild 4:49. Varnar- och motmedelssystemet ritar på pilotens kartpresentation ut hotområden. Områdenas storlek avgörs av t ex typ av lvsystem samt flygplanets höjd och hastighet. Piloten kan sedan undvika dessa områden.

I nyare system används också flygplanets kartpresentation för att visa var hoten finns geografiskt. På kartan presenteras de luftvärnshot som är kända redan från företagsplaneringen. Under färden ritas sedan de hot ut som

mäts in av VMS-systemet. I vissa system kan även hotinformation överföras på länk från annat flygplan eller från stridsledning på marken. Då hotområdena ritas ut, tar utrustningen hänsyn till kända prestanda hos luftvärnssystemet, t ex räckvidd och höjdtäckning. Beroende på flygplanets hastighet och kurs förändras hotområdenas utseende. Ju fortare flygplanet flyger desto mindre blir de farliga områdena. Systemet rekommenderar i vissa fall en flygväg som gör att flygplanet befinner sig i mask i förhållande till luftvärnssystemet. För att åskådliggöra hur piloten ska styra finns 3D-modeller där optimal färdväg ritas på headup-displayen som en tredimensionell ”tub”. Piloten ska försöka hålla flygplanet inom ”tuben”, flygplanet är då utom räckhåll för luftvärnssystemet. Luftvärnets verkansområde ritas på motsvarande vis som halvsfärer ”ostkuper”.

För att systemet ska fungera är det av yttersta vikt att hotbiblioteken är precisa och aktuella.

Åtgärdsval

Efter hotutvärderingen vet styrdatoren vilken eller vilka av radarstationerna som utgör det största hotet. Utrustningen ska efter hotutvärdering ange en lämplig motåtgärd exempelvis

- maskerande störsändning (brus osv)
- vilseledande störning (avhakning osv)
- remsor
- facklor
- störlaser mot IR-robotar och optiska sikten
- undanmanöver.

Datoren styr slutligen motverkansutrustningen till att alstra den mest optimala störformen mot den aktuella radarstationen eller hjälper flygföraren att göra undanmanöver t ex genom att ge styrrekommendationer hur flygplanet ska läggas i nolldopplerväng.

Motverkansutrustning

När hotet väl har identifierats och en åtgärd är vald ska störutrustningen vidta motåtgärder. Flygplanen är numera oftast utrustade med rems- och fackelfällare samt elektronisk störutrustning. Tidigare var störutrustning en form av ”extra skydd” som togs med vid särskilda typer av uppdrag. Numera är det snarast regel att ta med störutrustning.

Motverkansutrustningen har traditionellt varit monterat i kapslar (s k podar) som hängts på flygplanets vapenbalkar. Exempel på svenska motmedelskapslar är

- Adrian S - övningsstörkapsel S-band

4. Telekrigföring

- U 95 – störkapsel X-band
- Kapsel KB – rems- och fackelfällningskapsel.

En kapsel kan ofta bara störa ett radarband åt gången. Fördelen med störkapselmonterade system är att man har viss möjlighet att variera utrustningen med hänsyn till uppdrag (och eventuellt lämna den hemma). Nackdelarna med kapslar är att de stjälar plats för vapenlasten. En kapsel upptar en vapenbalk. Företaget SAAB har fått stora framgångar med sin remsfällare BOL som är inbyggd inuti vapenbalkarna och därmed inte stjälar någon plats för vapenlasten. BOL är såld till både Nato och Sverige (för JAS 39).

Flygplanen får numera ofta en viss grundstörutrustning inbyggd i flygplanskroppen. För mer avancerade uppdrag kan kvalificerade kapslar medföras.

Eldledningsradar och radarmålsökare av monopolstyp är svåra att störa. Flygplanen utrustas därför med släpande störsändare. Störsändaren släpas i en vajer 100-200 m bakom flygplanet.

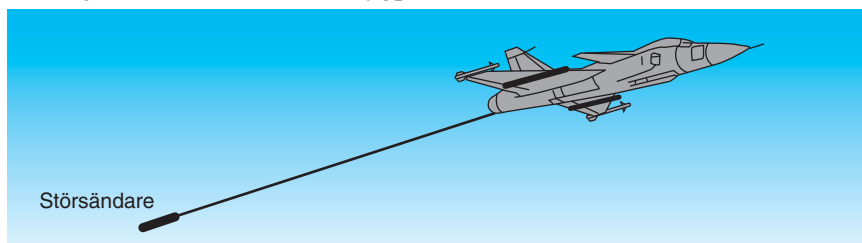


Bild 4:50. Släpad störsändare.

Den släpande störsändaren kommer att alstra en kraftigare signal än flygplanets eko. En eldledningsradar eller en målsökare kommer därför att välja störsändaren istället för flygplanet. En robot i home on jam-mod styr mot den kraftigaste störsignalen, att då ha störsändaren 100 m bakom flygplanet istället för under vingarna ökar möjligheterna för piloten att överleva. Notera att robotens zoner troligen inte kommer att utlösas eftersom skenmålet har alltför liten fysisk area! Ett flygplan har ofta med sig två till tre släpande skenmål i reserv, dessa förvaras oftast i behållare på en störkapsel. Efter uppdraget släpps det släpande skenmålet eftersom flygplanet normalt saknar vinschanordning för att kunna bärga det.

Ett annat revolutionerande motmedel är laserstörsändare mot IR-robotar, s k DIRCM (Directed InfraRed Counter Measures). En robotskottvarnare riktar in systemets störlaser mot IR-roboten. Lasern förblindar eller vilseleder robotens målsökare så att roboten missar målet. Hitintills har denna utrustning främst varit placerad på helikopter och transportflyg.

Framtidens radarantennor kommer att vara uppbyggda av hundratals sändar- och mottagarelement. Utvecklingen pågår för att omväxlande och

mer eller mindre samtidigt kunna utnyttja nosantennen som radar, signal-spaningsutrustning och störsändare. Genom nosantennens stora antennförstärkning kommer detta innebära att störverkan kan öka betydligt.

Den stora revolutionen på radarmotmedelsområdet är att störutrustningen utrustas med så kallade digitala radiofrekventa minnen (DRFM). DRFM gör det möjligt att skapa exakta kopior av radarsignalen. Det gör det enklare än förut att genomföra olika typer av vilseledande störning samt skapa effektivt smabandigt brus även mot pulskompressionsradar.

Antenner

Ett VMS-system är utrustat med en stor mängd antenner för att ha god omvärldsuppfattning i så många riktningar som möjligt och för att kunna störa i olika riktningar. Normalt sett används inte samma antenner för mottagning som sändning. En viktig egenskap är att försöka få antennerna så bredbandiga som möjligt.

Till mottagarantenn används ofta planspiralantennerna på grund av deras förmåga att arbeta över stora frekvensområden samt begränsade storlek och låga vikt. Typiskt täcker planspiralantennen 2-18 GHz. Om två planspiralantennerna används tillsammans för att riktningsbestämma med interferometri blir riktningsbestämningen entydig inom maximalt 1 oktav (oktav = dubbla frekvensen t.ex. 1-2 eller 4-8 osv). Genom att utnyttja antenner på olika avstånd kan entydig riktningsbestämning ske inom hela det önskade området.

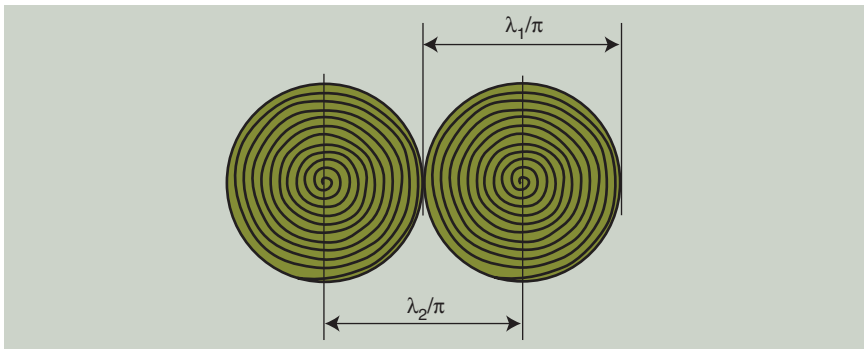


Bild 4:51. Planspiralantennerna. Den lägsta användbara frekvensen bestäms av ytterdiametern. Den högsta frekvensen för entydig riktningsbestämning med interferometri bestäms av avståndet mellan antennernas centrum. λ_1 = våglängden vid den lägsta frekvensen. λ_2 = våglängden vid den högsta frekvensen.

Som störsändarantennerna används t.ex. hornantennerna eller koniska spiralantennerna. Mycket arbete har lagts ner på att skapa elektroniskt styrda antenner som snabbt riktar störningen i önskad riktning. Dessa system har hitintills oftast visat sig komplexa och dyra. Den tekniska utvecklingen kommer dock att göra elektroniskt styrda störantennerna mer vanliga.

4. Telekrigföring

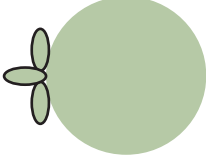
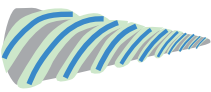
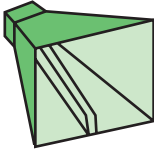
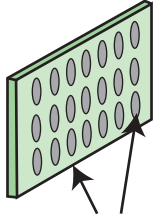
Antenntyp	Antenndiagram Az = Azimut El = Elevation	Tekniska data
Planspiral 	Az och El 	Polarisation: Cirkulär Lobbredd: $15^\circ \times 15^\circ$ Förstärkning: 0 dB Bandbredd: > 10 till 1 Frekvensområde: VHF till mmvåg
Konisk spiral 	Az och El 	Polarisation: Cirkulär Lobbredd: $60^\circ \times 60^\circ$ Förstärkning: 5 till 8 dB Bandbredd: 4 till 1 Frekvensområde: UHF till mikrovågor
Horn 	El  Az 	Polarisation: Linjär Lobbredd: $40^\circ \times 40^\circ$ Förstärkning: 5-10 dB Bandbredd: 4 till 1 Frekvensområde: VHF till millimetervågor
Fasstyrd antennarray 	El  Az 	Polarisation: Beror på antenn-elementen Lobbredd: Beror på mängden antennelement Förstärkning: 10-40 dB Bandbredd: 3 till 1 Frekvensområde: VHF till millimetervågor

Bild 4:52. Exempel på antenner i ett VMS-system.

Elektroniskt styrda antenner används tillsammans med mini TWT eller transistoriserade sändare vilket innebär att flygplanet mycket effektivare kan använda sin tillgängliga störeffekt, eftersom bara en liten del av effekten kommer att odslas bort i felaktiga riktningar. På ännu längre sikt är förhoppningen att kunna tillverka så små och billiga sändar- och mottagar-enheter så att stora delar av flygplansskrovet kan utgöra en stor antenn (en

s k digital gruppantenn). Sändning och mottagning ska kunna riktas i vilken riktning som helst med hög antennförstärkning.

Exempel på modernt motmedelssystem

Bild 4:54 visar den amerikanska egenstörsändaren ALQ -126B installerad i flygplanet F-18 Hornet.

Tabell 4:5. Data för AN/ALQ-126B.

Volym	68 liter
Vikt	86 kg
Effektbehov	3 kVA, max
Frekvensbeteckning	2-18 GHz
Uteffekt	pulseffekt 2,8 kW medeleffekt 150 W
Bärare	F-4, A-6, A-7, F-16, F/A-18, F-14, CF-18 (CAF), F/A-18 (RAAF), EF-18 (spanska FV)

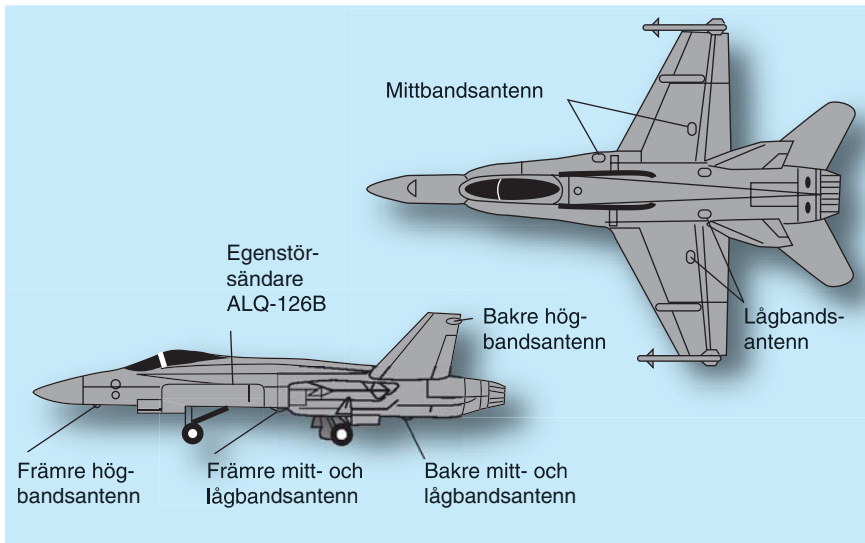


Bild 4:53. ALQ -126B installerad i F-18 Hornet.

Sändarantennerna är nedåt riktade 15° och har en lobbredd av $\pm 60^\circ$. Antennerna är placerade i stjärt- och nosparti. Systemet är utrustat med signalbibliotek och kan därigenom identifiera och prioritera hot. Störutrustningen samarbetar med varnarsystemet AN/ALR-45/APR-43 eller AN/ALR-67. I grundversionen är ALQ 126-B en störsändare mot pulssade radarsystem. Men systemet kan kompletteras med AN/ALQ-162, en CW störare vilket gör att systemet kan utföra hastighetsavhakning.

Olika störmetoder

Telekrigföringen kan, beroende på om någon energi sänds ut eller inte, indelas i

- aktiv störning, vilket innebär att elektromagnetisk energi genereras av störsändare för att påverka radarn
- passiv störning såsom remsor, reflektorer (skenmål) och radarabsorberande materiel s k signaturanpassningsteknik (SAT).

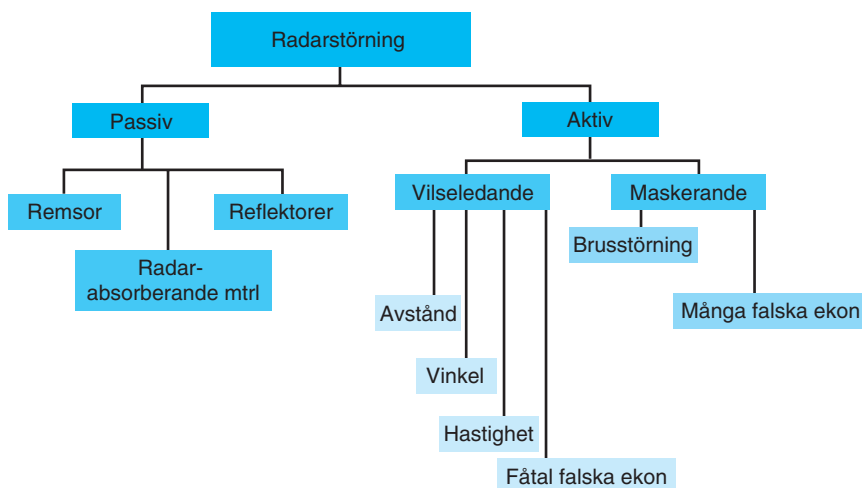


Bild 4:54. Olika störformer och störmoder.

Passiva störmetoder

Passiv störning innebär att motmedelssidan inte nyttjar någon egen energitillförsel. Exempel på passiva störmetoder är

- remsor och radarreflektorer för att skapa falska ekon som vilseleder eller döljer riktiga mål
- radarkamouflage, s k stealthteknik, för att minimera den radarreflekterande ytan och därmed minska risken för upptäckt.

Remсор

En av de första metoderna att störa radarstationerna och fortfarande en av de vanligaste är att använda metallbelagda remsor (eng. chaff), vilka reflekterar radarstrålning och därmed skapar ett intryck av att det finns ett stort mål i radarns antennlob.

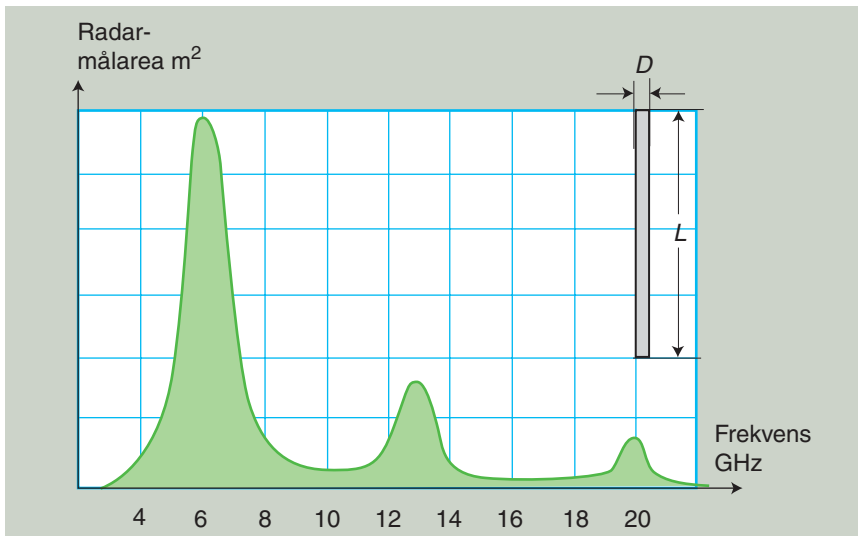


Bild 4:55. Målytan hos en tre cm lång remsa. Bandbredden på resonanstopparna beror på förhållandet mellan remsans diameter, D och längd, L , det s k slankhetstalet (D/L).

Observera att verkan beror på det stora falska målet som remsorna ger upphov till ”dränker” det riktiga målektot. Remsorna hindrar inte radarn att se föremål som befinner sig bortom remsmolnet.

Numera används, istället för metallremсор, tunna metallbelagda nylon- eller glasfibertrådar. Dessa har fördelen att de dels tar betydligt mindre plats samt att de kan hålla sig svävande i luften under betydligt längre tid. Direkt efter att remсор fällts får de en slumpartad orientering men börjar ganska snart finna en horisontell orientering. Genom att utforma remsorna annorlunda, t ex genom att förskjuta tyngdpunkten, kan de fås att falla mer eller mindre vertikalt och då med en högre fallhastighet, vilket ibland är önskvärt. Moderna remсор har en fallhastighet av en halv till en meter per sekund.

Exempel 4:4

Om en remsa släpps på 7 200 meters höjd så tar det två timmar före den når marken.

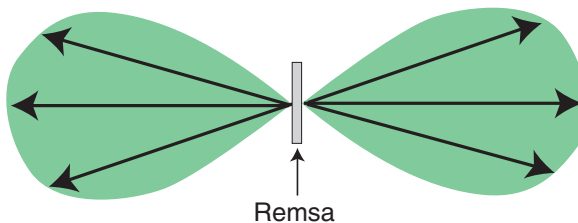


Bild 4:56. Reflektionsdiagram för remsa.

4. Telekrigföring

Remsan fungerar genom att den utgör en sk dipolantenn då den utsätts för radarstrålning. Vanligen används sk halvvågsresonanta remсор. Halvvågsresonanta remсор har en längd som motsvarar halva den belysande radarns våglängd (halvvågs resonanta remсор mot t ex en 10 GHz radar, 3 cm våglängd har en längd på 1,5 cm). Remsans reflektion är störst då remslängden är halva våglängden men är också bra då längden är lika med ett antal halva udda våglängder t ex

$$\frac{\lambda}{2}, \frac{3\lambda}{2}, \frac{5\lambda}{2} \text{ osv}$$

En viss remslängd ger dock tillräckligt bredbandiga reflektioner för att täcka ett helt radarband t ex C-bandet, det hjälper därför inte att byta frekvens i en radarstation.

Radarmålarean från en remsa varierar med hur remsan är orienterad i luften. Den genomsnittliga radarmålarean (σ) från ett remsmoln med väl separerade och slumpmässigt orienterade halvvågsresonanta remсор kan beräknas som

$$\sigma = 0,15 N \cdot \lambda^2 \text{ [m}^2\text{]}$$

där N = antalet remсор
 λ = våglängden [m]

Det är svårt att tillverka dipolremсор med liten vikt och låg fallhastighet mot frekvenser under 1 GHz. Här kan istället mycket långa metallbelagda rep (engelska rope) användas .

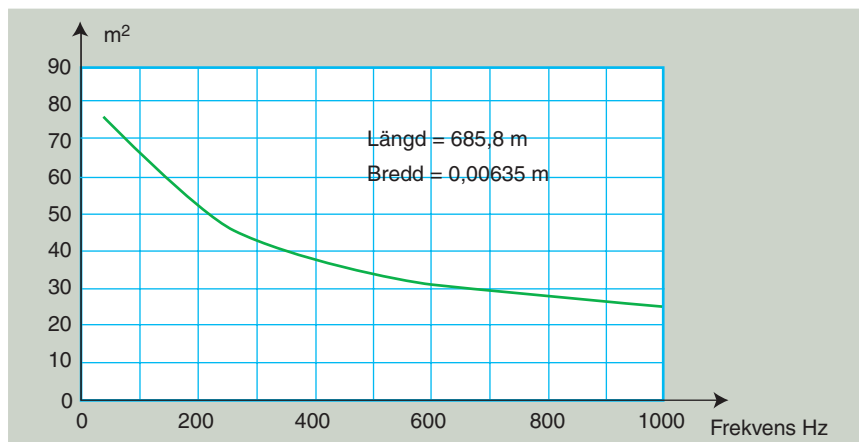


Bild 4:57. Radarmålarea (RCS) för lång remsa.

Remsornas spridningsmekanism är viktig för att uppnå god remsverkan. Remsmoln där remсорna ligger tätt (< 2 våglängder) skuggar varandra och

bidrar ej till den totala målarean. För att anpassa remsornas längd till aktuellt radarband finns automatiska ”hackningsmaskiner” som när flygplanet blir belyst av en radar, klipper av remsorna i rätt längd före de släpps iväg. Numera är det vanligt att man bestämmer sig före flyguppslaget för vilket/vilka radarband man vill kunna störa och medför färdigklippta remsor. Oftast är det mest önskvärt för attackflygplan att störa radarstationer på X-bandet (tre cm) eftersom flertalet eldlednings- och jaktradar finns i detta våglängdsområde.

Den vanligaste metoden, om man vill vara säker på att störa ett brett frekvensområde är att använda remsbuntar med remsor av olika längd s k bredbandstäckande remsor eller bredbandiga remsor.

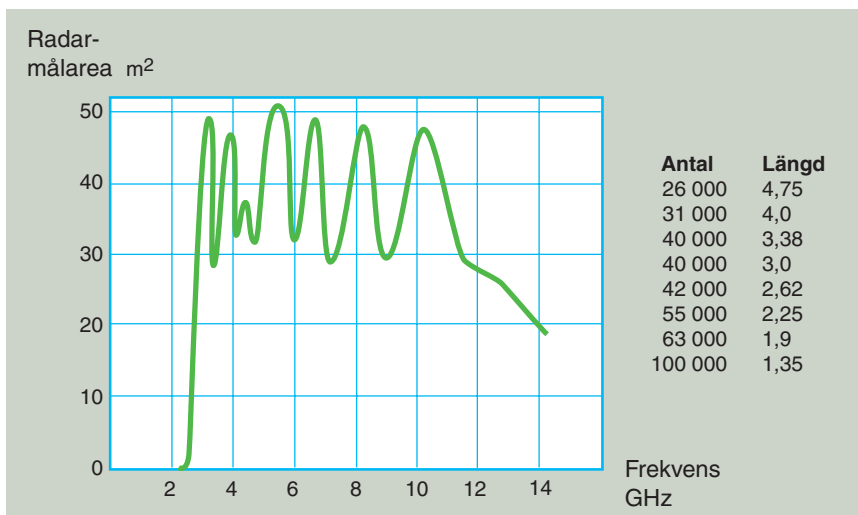


Bild 4:58. Innehållet i en bunt bredbandiga remsor.

Då remsorna började användas under andra världskriget hade inte radarstationerna några metoder att sälla bort markekon eller ekon från t ex regn- moln. När de så småningom utrustades med MTI-behandling (Moving Target Indication) kunde radarstationerna sortera bort markekon och föremål som färdas med låga hastigheter. MTI-funktionen tar bort mål under en viss hastighet, den s k gränshastigheten, oberoende av föremålens riktning. Gränshastigheten påverkas av valt avståndsområde och om PRF-växling eller Staggered PRF används.

Då MTI-funktionen kompletteras med s k vindkompenseringen (i t ex PS-90 och PS-701) så kan radarn även ta bort föremål med låga hastigheter i vissa speciella riktningar t ex regn- eller remsmoln. Hastighet och riktning hos klottret bestämdes manuellt av operatören i äldre stationer som t ex Cig-790 men bestäms automatiskt i PS-90 och UndE 23 genom att stationen mäter upp klottrets medelhastighet och riktning i olika sektorer.

4. Telekrigföring

Även om ett flygplan färdas med hög hastighet då det släpper sina remsor så kommer remsorna snabbt att bromsas upp och färdas med vindens hastighet. Radarns MTI-kretsar och eventuella vindkompensering kommer då att sortera bort remsorna som falska ekon. Men just det att remsorna tvingar radaroperatören att utnyttja radarns MTI gör i gengäld att noll-dopplersvängar kan bli ett sätt för en pilot att under korta ögonblick dölja flygplanet.

Ett annat motdrag mot radarn kan vara att belysa remsorna med en bredbandig brusstörare. Detta kan få till följd att MTI-behandlingen i radarn inte längre kan sälla bort remsorna, de kommer därför att synas på indikatorn.

Taktiskt nyttjande

Remсор används antingen för att dölja insyn i ett område eller för att skapa falska ekon. De kan även användas för att vilseleda en eldledningsradar eller en målsökande robot.

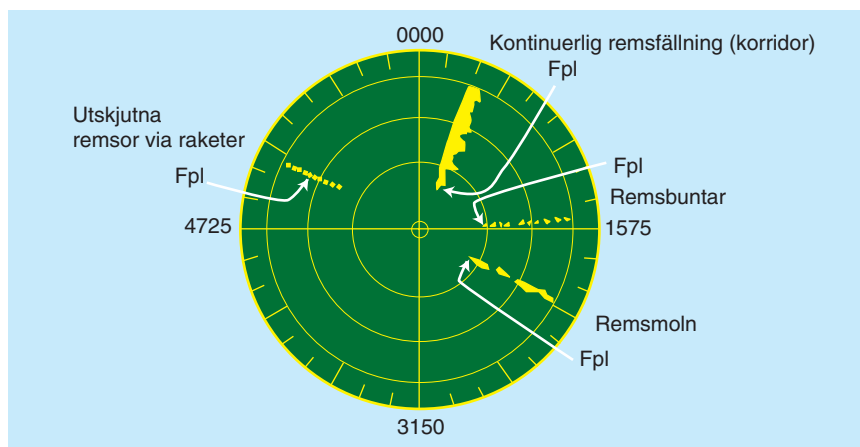


Bild 4:59. Exempel på remsors inverkan på en äldre typ av spaningsradar.

Då remsor används för att dölja flygplan inom ett område från upptäckt av spaningsradarstationer ska radarmålarean från remsorna vara större än flygplanets radarmålarea i var och en av radarns upplösningceller. Upplösningcellens volym fås som:

$$\text{Volym} = \text{avståndsupplösning} \cdot \text{lobbredd i sida} \cdot \text{lobbredd i höjd} \quad [\text{m}^3].$$

Ju större celler desto mindre remsor krävs för att skapa mål i alla celler i ett område.

I bl a Sovjetunionen använde man remsor för att förhindra insyn i ett större område eller att dölja ett flyganfall. Man nyttjade härvid stora transportflygplan som släppte ut remskorridorer som kunde ha en längd av flera tiotals mil. Remsorna hindrade sedan motståndaren att se vad som fanns inne i remskorridoren. Metoden nyttjades för att dolt förflytta förband, göra ett överraskande flyganfall eller för att vilseleda. Sovjetunionen använde sig av remskorridorer under invasionen i Tjeckoslovakien 1968 för att förflytta flygburna trupper utan att NATO kunde upptäcka dem.

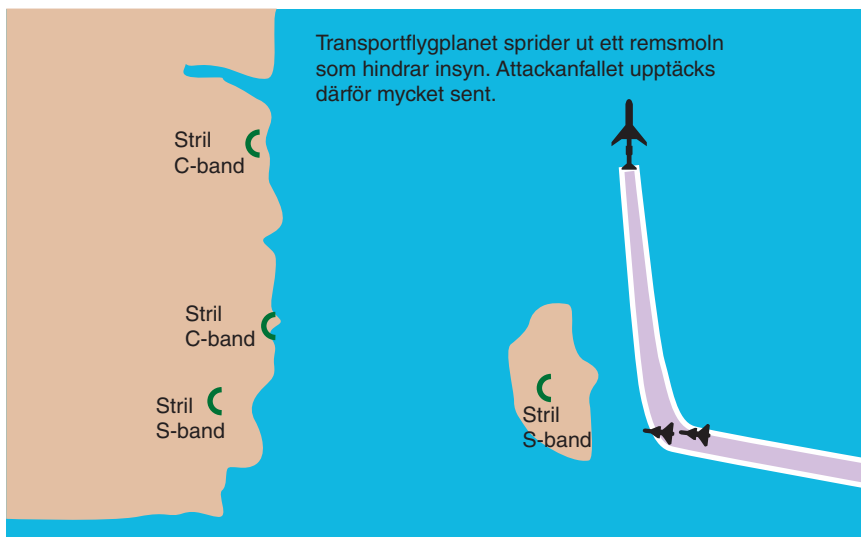


Bild 4:60. Exempel på taktiskt nyttjande av remsor (maskerande remsfällning).

Ett flygplan som upptäcker att det är belyst av en eldledningsradar släpper eller skjuter ut en remsbunt. När remsorna sprids i luften bildas ett remsmoln vilket får en betydligt större målarea än flygplanet. Detta kan få den målsökande radarn att släppa flygplanet och i stället haka på remsmolnet.

Normalt släpps remsorna ut från en behållare i flygplanet. Stor möda läggs ner på att på ett optimalt vis använda turbulensen kring flygmaskineri så att remsmolnet snabbt når önskad storlek.

4. Telekrigföring

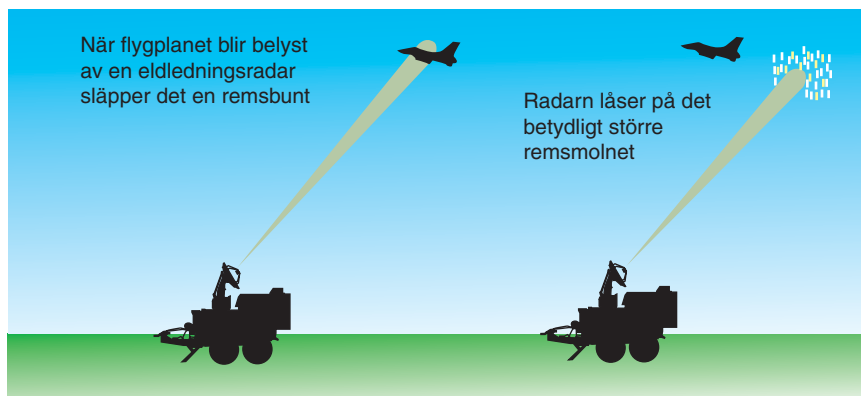


Bild 4:61. Vilseledande remsor.



Bild 4:62. Remskapsel BOL 1. Tidigare var det vanligt med särskilda remspodar. Dessa tog då en vapenbalk på flygplanet. Remskapseln utgör här även själva vapenbalken och ett vapen kan hängas under remskapseln.

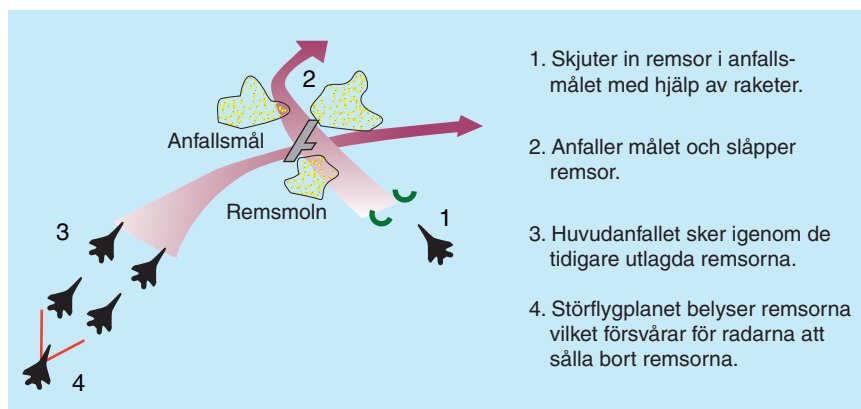


Bild 4:63. Exempel på flyganfall där flygplanen skyddas med hjälp av remsor.

För att ytterligare försvåra för radarn finns det därför även utrustning för att skjuta ut remsorna framåt med raketer eller automatkanon.

För att öka verkan från remsorna är vissa flygplan utrustade med bakåtriktade störsändare som belyser remsmolnet så att MTI-behandlingen ska få svårare att sortera bort molnet. Principen är den att om t ex en belysningsradar sänder med 10 GHz (3 cm våglängd) och flygplanet släpper ut ett remsmoln som det belyser med en signal med frekvensen 10,0001 GHz. Då kommer radarn att uppleva de reflekterade signalerna från remsmolnet som om molnet färdas med en dopplerhastighet på 100 kHz vilket motsvarar 1500 m/s.

$$v = \frac{\lambda \cdot f}{2} = \frac{0,03 \cdot 100 \cdot 10^3}{2} = 1500 \quad [\text{m/s}]$$

Störmetoden är dock vanskelig då belysningssändaren kan fungera som en fyr. Därför sker om möjligt belysningen från en annan ohotad plattform.

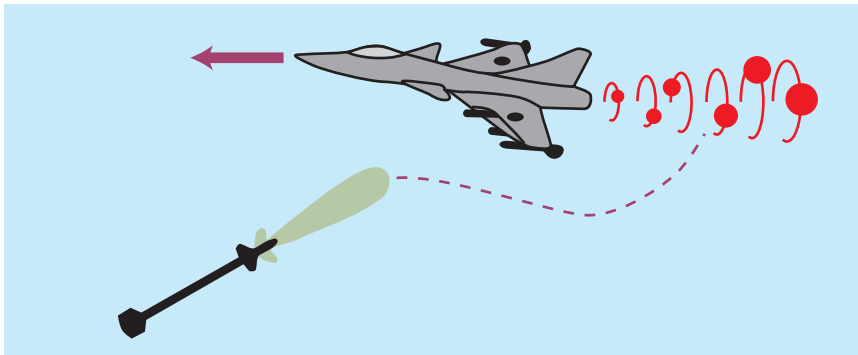


Bild 4:64. Aktiv störning (dumping på belysta remsor). Flygplanet släpper remsor och belyser remsorna med en frekvens som motsvarar den egna dopplerhastigheten, planet svänger sedan mot noll doppler varvid roboten förhoppningsvis låser på remsorna som då tycks ha den hastighet som bestäms av störsändarens frekvens.

Eftersom fartyg färdas med förhållandevis låga hastigheter, blir det små hastighetsskillnader mellan remsmoln och fartyg. En sjömålsrobot kommer av denna anledning att ha svårt att skilja ett remsmoln från ett fartyg.

I marinen finns därför automatiska system som skjuter ut remsraketer när radarvarnaren anger att fartyget är belyst av en sjömålsrobot. Remsorna skjuts iväg i den riktning som är mest optimal i förhållande till fartygets kurs, vindriktningen och robotens anflygningsriktning. Systemen rekommenderar även hur fartyget bör manövreras för att få optimal geometri och minimal fartygsmålyta och därmed skapa störst chans att roboten släpper låsningen på fartyget. För att ytterligare försvåra för robotmålsökaren kombineras remsorna ofta med någon form av aktiv telestörning.

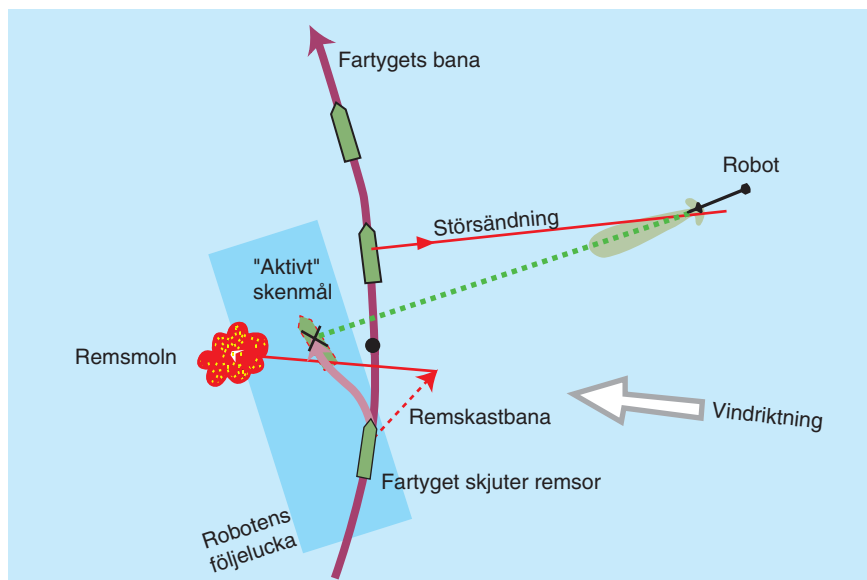


Bild 4:65. Fartyg utsatt för sjörobotanfall. Fartyget kombinerar aktiv telestörning från skenmål med remсор. Remсорna skjuts iväg beroende på fartygets kurs samt vindriktning.

Radarreflektorer

För att skapa skenmål med stor radarmålyta kan reflektorer användas. De vanligaste reflektortyperna är hörnkantprismat och Luneberglinsen. Prismorna utformas så att huvuddelen av den mot reflektorn infallande energin reflekteras tillbaka mot radarn.

Hörnkantreflektorn består av ett ”invändigt hörn” med tre mot varandra vinkelräta plana ytor. Den maximala reflekterade ytan σ (sigma) [m²] från en ensam hörnreflektor med kantlängden a [m] blir

$$\sigma = \frac{4\pi \cdot a^4}{3 \cdot \lambda^2} \quad [\text{m}^2]$$

En radarreflektor med en kantlinje på 1 meter ger således upphov till en målyta på 4 700 m² för en X-bandsradar (tre cm våglängd, λ).

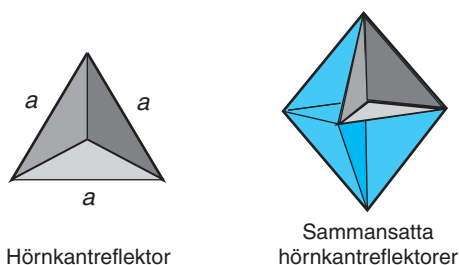


Bild 4:66. Hörnkantreflektorer.

Hörnkantreflektor

Sammansatta hörnkantreflektorer

En ensam hörnreflektor har ett reflektionsdiagram som gör att den är effektiv inom en rymdvinkel av 20° från symmetriaxeln. Flera prismor kan sättas samman till en enhet som kan täcka hela varvet.

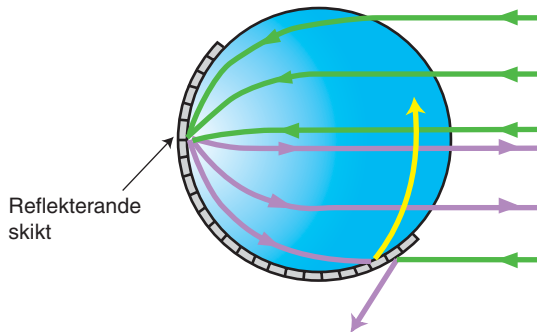


Bild 4:67. Luneberglins.

Luneberglinsen består av ett dielektriskt ledande klot med ett reflekterande skikt som omfattar något mindre än en halv sfär. Den maximala reflektionsarean

$$\sigma = \frac{124 \cdot a^4}{\lambda^2} \text{ [m}^2 \text{]}$$

där a = radien [m].

Detta ger med en meter radie (a) och en radar med tre cm våglängd (λ) att radarmålären blir 137 000 m².

Av formlerna ovan framgår att om våglängden är lång kommer även reflektorerna att behöva öka i storlek.

Små reflektorer kan efterlikna mycket stora föremål om radarns våglängd inte är alltför lång. Reflektorerna kan därför simulera olika typer av mål och används i mål bogserade efter flygplan och fartyg för att vilseleda eldledningsradar och robotmålsökare.

Det finns i teorin några olika metoder att skilja ekot från en radarreflektor från ett verkligt mål. Ekots amplitud hos ett verkligt mål varierar betydligt mer än från en radarreflektor. Orsaken är att det verkliga målet består av en stor mängd delreflektorer. Då radarpulsen träffar målet kommer reflexerna från de olika ytorna att beroende på aspektvinkeln till målet att interferera konstruktivt eller destruktivt. Detta innebär att signalens amplitud fluktuerar. Från skenmålet kommer i huvudsak all energi från en enda reflektor och signalen kommer därför att vara i stort sett konstant. Den här fluktuations-effekten kan även fås genom att byta frekvens (våglängd) mellan pulserna. Interferensavståndet mellan det verkliga målets delreflektorer ändras då. Skenmålets punktreflektor är relativt okänsligt för både förändringar i

4. Telekrigföring

aspektvinkel och frekvensändringar vilket medför att dess eko därför blir oförändrat.

Flygande skenmål

Flygburna skenmål är inte något nytt. Det finns beskrivet åtminstone sedan 1960-talet då de användes för skydd av bombflygplan. Vid det israeliska anfallet mot syrisk luftvärn i Bekandalen nyttjades UAV som skenmål. Under Gulfkriget 1991 nyttjade de allierade olika typer av flygande skenmål.

Syftet med skenmålen var t ex att

- få radarsystemen att sända för att möjliggöra signalspaning
- luftvärnet skulle rikta sitt intresse i fel riktning
- mätta luftvärnet
- få radarstationerna att sända så de kunde bekämpas med SSARB
- locka jaktflyg i strid.

De allierade använde åtskilliga hundra skenmål redan under de första dagarna av kriget.

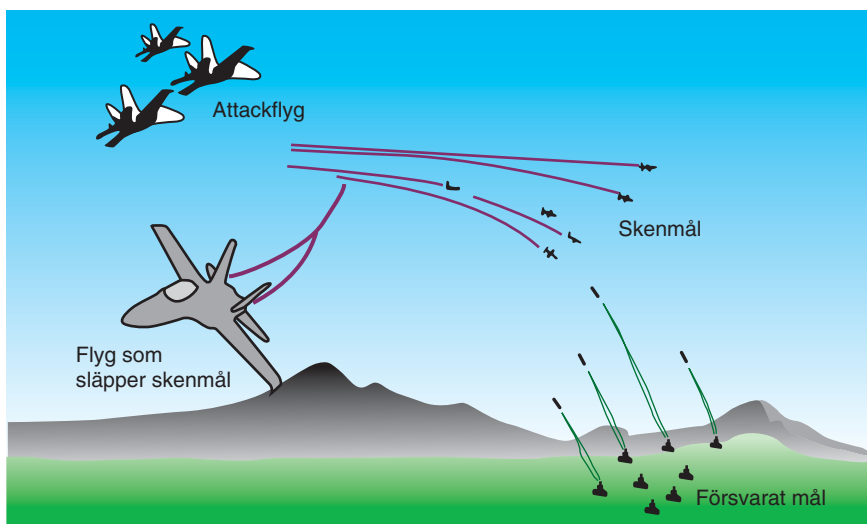


Bild 4:68. Amerikanskt nyttjande av skenmål för att binda luftvärnet mot fel typ av mål.

Det kanske mest använda skenmålet under Gulfkriget var US Navys Tactical Air Launched Decoy (TALD). Under Gulfkrigets första 72 timmar släpptes 138 TALD. Den hängs på vapenbalkarna på ett flygplan och saknar egen framdrivning. När den släpps glidflyger den mot målet, dess maximala räckvidd bedöms vara 100 km. Skenmålet har en radarreflektor i nospartiet

för att ytterligare öka radarmålarean. Varianter av TALD kan även innehålla aktiv repeterstörsändare eller remslast. Om repeterstörsändare används bildar troligen vingarna sändar- och mottagarantennerna. Remslasten kan uppgå till 36 kg vilket räcker för att skapa en 50 km lång remskorridor. Priset (2002) för en TALD antas vara 20 000 dollar.

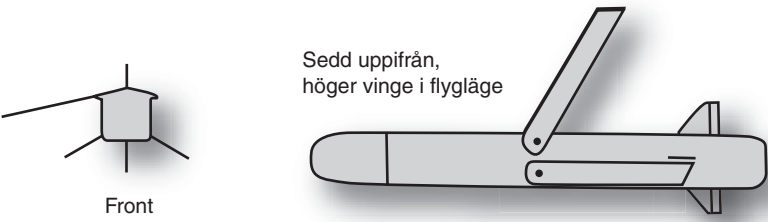
NATO benämning	Tillverkare	Operativ från	Huvudsakliga mål	Plattformer	Längd (m)
TALD	USA				2,34
					
Spännvidd (cm)	Vikt (kg)	Räckvidd	Fart (m/s)	Avfyrningshöjd (m)	
155	180	100 km			

Bild 4:69. TALD.

Amerikanska flygvapnet nyttjade under Gulfkriget även ett fyra meter långt obemannat jetflygplan benämnt BQM Chukars. Chukars programmeras att följa en viss bana. Trots detta krävs radiostyrning från mark- eller flygburna operatörer. Chukars kan flyga i banor med varierande höjder upp till 10 000 meters höjd med en hastighet av max 0,8 Mach. Under krigets inledande timmar fälldes minst 38 Chukars.

Utvecklingen tycks gå mot en ökad användning av motordrivna skenmål som i vissa fall efter slutfört uppdrag kan flyga tillbaka och landa.

Exempel på skenmål är amerikanska BQM Chukars, Improved TALD och israeliska Delilah.

Om skenmålen utrustas med repeterstörsändare och flyger nära radarstationen så är det möjligt att skapa en stor mängd falska ekon även framför ett anfallsföretag. Möjligheterna till vilseledning ökar betydligt.

USA avser att anskaffa ett nytt flygande skenmål, vilket kommer att få namnet MALD (Miniture Air Launched Decoy). Nedan presenteras företaget Nortrop Grummans förslag på utformning.

MALD ska bäras till fällningsläge av ett flygplan. Efter fällning drivs farkosten av en liten turbojetmotor och simulerar ett flygplan med en radar-

4. Telekrigföring

signatur inom VHF-, UHF- eller mikrovågsbanden. Nyttolasten på 4,5 kg består av elektronisk repeterutrustning för att repetera mottagna radarpulser så att radarn tar emot ett radareko med en radarmålarea och ett utseende som motsvarar det flygplan som ska simuleras. Sändarantennerna för mikrovåg sitter i farkostens nos och längs kroppens sidor. VHF- och UHF-antennerna är inbyggda i vingarna, i den ena för mottagning och i den andra för sändning. Skenmålets navigeringsutrustning består av ett TN-system och en GPS-mottagare. Före fällning från bärarflygplanet programmeras navigeringsdatan i MALD med de brytpunkter (max åtta) samt de farter och höjder som farkosten ska ha under uppdraget. Två eller flera skenmål kan flygas i förband.

Möjliga framtida användningsområden för MALD

- skenmål
- störfarkost för förgrundsstörning
- billig målrobot för engångsbruk
- bärare och utläggare av olika typer av sensorer i område som inte kan nå outhärrat med andra medel
- farkost för underrättelseuppdrag, exempelvis signalspaning.

Det kommer att vara svårt att skilja fysiska skenmål från verkliga mål.

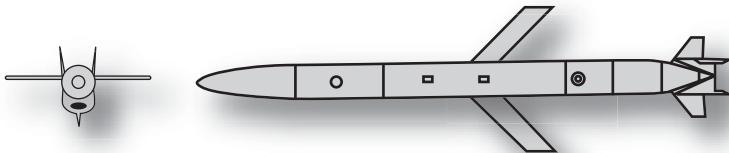
NATO benämning	Tillverkare	Bärare	Huvudsakliga mål	Flygtid	Längd (m)
MALD	USA/Nortrop Grumman	F-16, F-15, B1-B, F/A-18, F-22, F-35	Utgöra skenmål och stör-sändare	> 20 min	2,3
					
Spännvidd (cm)	Vikt (kg)	Räckvidd	Fart (m/s)	Flyghöjd (m)	
65	45	460 km	Hög underljudshastighet	10 000	

Bild 4:70. MALD.

Som möjliga metoder att särskilja skenmål från verkliga mål kan nämnas

- genomföra en noggrann doppleranalys av ekot för att känna igen karaktäristiska frekvenskomponenter från t ex motorer

- högupplösande radar som i princip ger en bild av målet
- datafusion mellan radar och SIS för att avgöra om det sänder ut några för ett flygplan karaktäristiska elektromagnetiska signaler
- bildalstrande IR-spanare.

Man bör notera att det troligen är mycket svårt att skilja ett flygande skenmål från en kryssningsrobot trots att man nyttjar TV- eller IR-kamera.

Signaturanpassning

Tekniken för att förhindra eller försvåra upptäckt benämns signaturanpassning eller stealthteknik (eng. stealth= smygande, förstulet, oförmärkt) och syftar till att göra det svårare att upptäcka, klassificera, identifiera, målnmäta och bekämpa objekten. För att signaturanpassning ska vara verkligt måste det ofta inrikta sig mot flera olika våglängdsområden. Man brukar säga att de ”dödliga signaturerna” är sju stycken. I prioriteringsordning för att upptäcka ett flygplan är de: radar, IR, elektromagnetisk strålning (dvs sändning från planet), optisk upptäckt, kondensstrimma, rök (avgaser) från motorn och slutligen ljud. Här kommer endast signaturanpassning inom radarbandet att behandlas.

Tabell 4:6. Signaturanpassning enligt Electronic Warfare in the information age.

Teknik	Kritiska parametrar
IR	IR signatur i området 0,7-20 μm
Synligt	Minskning av solreflexer
Laser	Reflektionsminskning för 0,3-10,6 μm
Akustiskt	$f = 10 \text{ Hz} - 100 \text{ KHz}$

Forskning och utveckling av radarabsorbenter har pågått under mer än ett halvt sekel. De första radarabsorberande skikten togs fram under mitten av 1930-talet. Under andra världskriget fick forskning och utveckling rörande absorberande material ett stort uppsving, tyskarna placerade till exempel radarabsorberande material på ubåtsperiskopen för att minska risken att ubåtarna upptäcktes av flygburen radar.

USA som är ledande inom tekniken att minska radarmålarean började sin utveckling under 1950-talet. 1958 utrustades ett Lockheed T-33 övningsplan med radarabsorberande material (RAM). Försöket visade att detta var en möjlig väg att uppnå en betydande minskning av radarmålarean. Efter att det amerikanska spaningsplanet U-2 skjutits ner över Sovjetunionen 1960 så beslöt USA att försöka reducera radarmålarean på flygplanet A-12 (en föregångare till SR-71 Blackbird) så att den helst inte alls skulle kunna upptäckas av radar. Man konstaterade att radarmålarean borde minskas

med minst 98 procent jämfört med ett konventionellt flygplan. Man bör här komma ihåg att radarekvationen visar att det krävs en 95% minskning av radarmålärean för att reducera radarns upptäcktsavstånd till hälften. Minskning med 99 % av radarmålärean reducerar upptäcktsavståndet till en tredjedel. Det amerikanska flygplanet F-111 var det första stridsflygplanet där man lyckades reducera radarmålärean. Det gjordes dock inte i så stor omfattning att det ens var i närheten för att kunna kallas stealth-flygplan. År 1974 inledde USA framtagningen av ett experimentflygplan XST som skulle användas som fullskaligt försöksplan för att skapa ett stealthflygplan. Försöken ledde så småningom till attackflygplanet F-117.

Man hade ditintills inte haft någon metod att beräkna radarmålärean hos ett så komplext föremål som ett flygplan före det var färdigbyggt. För att lösa problemet fick man hjälp från ett oväntat håll. Man upptäckte att en sovjetisk matematiker och fysiker Piotr Ufimtsev hade publicerat en avhandling om hur man beräknar radarmålytan från 2-dimensionella (plana) ytor. Ufimtsevs rapport hade väckt litet intresse i Sovjetunionen, vilket gjorde att den fick publiceras i öppna källor. Ufimtsev's avhandling gjorde att man kunde konstruera dataalgoritmer för att beräkna radarmålytan för vilket objekt som helst, så länge det bara bestod av "plana ytor". Detta gjorde att man kunde dela upp ett flygplan i tusentals platta trianglar, beräkna radarmålärean för var och en av dem, summera bidragen och få ett totalt mått på flygplanets radarmålärea. Man hade nu en effektiv metod att redan vid konstruktionsarbetet beräkna radarmålärean. Dåtidens datorer var dock inte tillräckligt kraftfulla för att göra beräkningarna på 3-dimensionella ytor (krökta ytor). Det gjorde att F-117 fick byggas upp av trekantiga plana plattor och fick därmed sitt karaktäristiska facettliknande utseende.



Bild 4:71. Amerikanska bombflygplanet B2.

Utvecklingen av F-117 startade i början av 1970-talet. Lockheed fick 1981 en första beställning på 20 flygplan. Totalt har 59 plan tillverkats. Kostnaden per flygplan har varit över 100 miljoner dollar. Flygplanet kom ut på förband 1983 och användes första gången i Panama 1989. Sitt verkliga

genombrott fick flygplanet under Gulfkriget 1991. Flygplanet är främst signaturanpassat inom radar- och IR-områdena. För att skydda sig mot optisk upptäckt nyttjades flygplanet oftast nattetid. Den låga upptäckts-sannolikheten gjorde att F-117A kunde uppträda utan eskort- och störflygplan under Gulfkriget. Åtta F-117A assisterade av tankningsflygplan klarade uppgifter som normalt skulle kräva 75 flygplan inklusive eskort.

Efter att ett F-117 skjutits ner under Kosovokriget så blev man tvungen att inse att stealth inte är den enda och slutliga lösningen utan en av flera metoder att dölja ett flygplan. Även stealth kräver elektronisk störning. År 1980 inleddes försöken med vad som benämndes Advanced Technology Bomber (ATB) vilket kom sedan att utvecklas till att bli flygplanet B-2. Datorerna hade nu förbättrats så att man även kunde beräkna radarmålaren för böjda ytor, något som tydligt syns då man jämför F-117 och B-2.

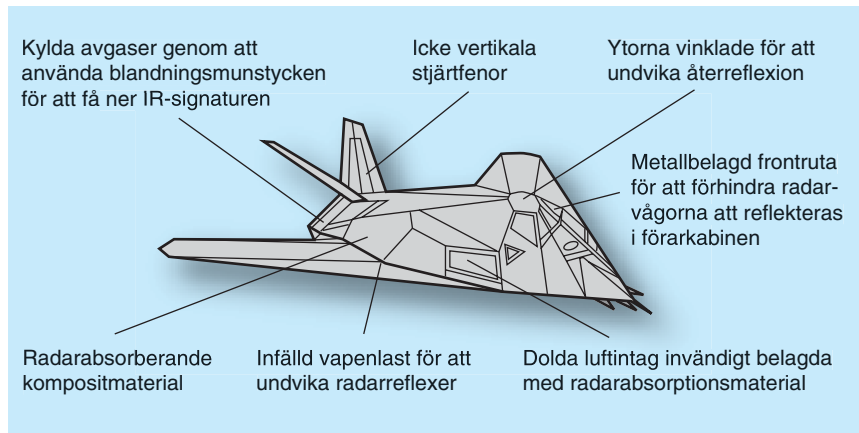


Bild 4:72. Stealthplanet F-117.

Ett flygplan som inte vill bli upptäckt bör helst inte använda egen radar eller radio. Om detta måste ske bör de användas restriktivt. Signalerna kan göras svårare att detektera genom t ex antenn med låga sidolober och puls-kompressionsteknik som sprider ut sändpulsen i frekvensspektrat. En radar-antenn på ett flygplan ger upphov till en mycket stor radarmålarea. Antennen måste, då den inte används, vridas så att den inte reflekterar motståndarens radarsignaler.

Med fäststörd antenn riktas loben elektriskt. Dessa antenner ger starka reflexer tillbaka mot en annan radar endast då den själv är styrd att se i denna riktning. En annan metod att hindra antennen att ge upphov till oönskade reflektioner är att använda en radom tillverkat i ett frekvens-selektivt material. Ett sådant material ska släppa igenom flygplanets egna radarpulser men spärra andra frekvenser. Helst ska det även vara möjligt att elektriskt styra när radomen är genomsläpplig och inte.



Bild 4:73. Jaktflygplanet F-22 Raptor.

Operativa stealthflygplan finns idag endast i USA. De har attackplanet F-117 och det strategiska bombplanet B-2. Under utveckling är jaktplanet F-22 vilket kommer att få betydligt bättre flygegenskaper än F-117. Bombplanet B-1B har viss stealthanpassning.

USA har lagt en beställning (2002) av attackflygplanet JSF (Joint Strike Fighter), vilket precis som F-22 ska ha såväl goda flygegenskaper och liten radarmålarea. Beställningen omfattar över 3000 flygplan. På flygplan som F-16, JAS 39 och Eurofighter har vissa åtgärder gjorts för att minska radarmålarean. Uppgifter gör gällande att radarmålarean på detta vis eventuellt minskas med en faktor 10.

Sverige har genomfört försök med försöksfartyget Smyge vilket är signaturanpassat inom främst radar- och IR-områden. Resultaten från Smyge har nyttjats vid konstruktion av de nya fartygen av Visby-klass. Enligt öppna källor sägs korvetten Visby endast kunna upptäckas på halva avståndet jämfört med en ordinär korvett.

Även vapen har börjat signaturanpassas. Den amerikanska kryssningsroboten AGM-129A är signaturanpassad inom mikrovågsområdet. Detta har främst skett genom formgivning av roboten.

Radarmålarea

Radarmålarean anger hur stort målet tycks vara sett från radarn. Radarmålarean, σ , definieras som tvärsnittsarean (m^2) hos en sfär som reflekterar lika mycket effekt tillbaka mot radarn som vad målet gör.

När radarmåltytan minskas blir också upptäcktsavståndet mindre. Radarekvationen ($r = \sqrt[4]{k \cdot \sigma}$) visar att upptäcktsavståndet (r) är proportionellt mot fjärde roten av radarmålarean (σ). Om t ex upptäcktsavståndet ska halveras så måste måltytan minskas hela 16 ggr.

Radarmålarean beskriver ett objekts radarreflekterande egenskaper och är en funktion av

- radarns frekvens
- polarisation
- aspektvinkel (dvs från vilken riktning objektet observeras)
- materialegenskaper.

Förutom att upptäcktsavståndet minskar så finns flera andra fördelar att minska radarmålarean

- mängden remsor som krävs för att skapa ett lika stort skenmål som flygplanet minskar och är direkt proportionellt mot radarmålarean
- störsändare behöver inte ha lika stor effekt för att dölja flygplanet (stör-effekten är proportionell mot radarmålarean). Störsändaren blir därmed svårare att signalspana mot.
- markklotter, fåglar och insekter ger upphov till falska ekon i radarn.

En minskad radarmålarean ställer högre krav på klotterundertryckningen i en radar. Risken att låsa på markklotter ökar. Om ekot minskas tillräckligt mycket blir det inte längre möjligt för en eldledningsradar att kontinuerligt följa målet.

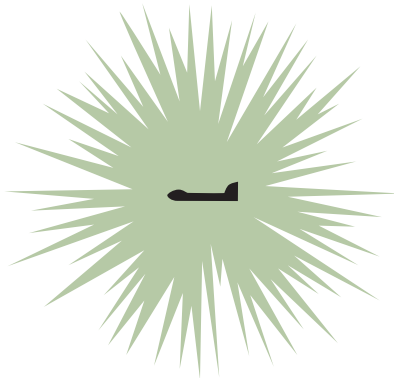


Bild 4:74. Radarmålarean varierar kraftigt med målets aspektvinkel.

Bilden ovan visar att radarmålarean varierar kraftigt med aspektvinkeln. Orsaken är att flygplanet består av en stor mängd delreflektorer, som var och en ger upphov till en reflekterande våg då flygplanet träffas av en radarpuls. I vissa riktningar kommer gångvägsskillnaden för de reflekterande vågorna vara sådan att de kommer i motfas till varandra och summa signalen blir noll. I andra riktningar förstärker de varandra.

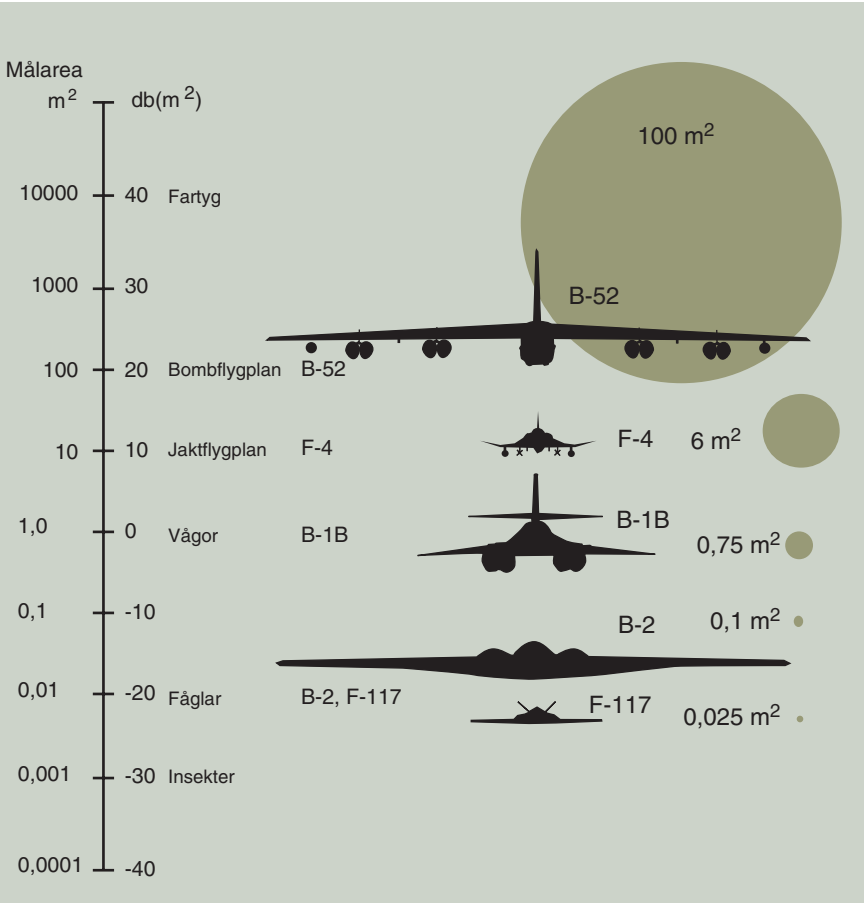


Bild 4:75. Exempel på radarmålareans storlek.

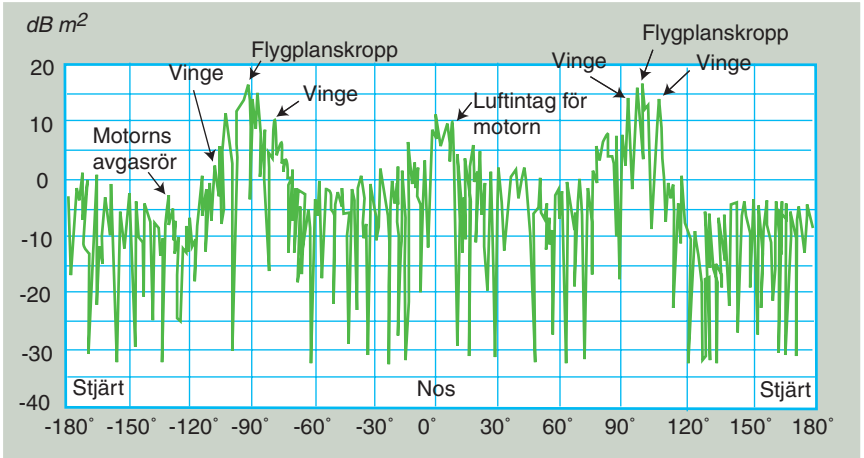


Bild 4:76. Radarmålarea av en Boeing 737.

Ett praktiskt exempel på hur radarmålarean varierar syns i bild 4:75. Bild 4:76 visar radarmålarean hos en modell av en Boeing 737 i skala 1:15, som belyses av en radar med frekvensen 10 GHz.

Vad händer då en elektromagnetisk våg träffar ett föremål?

Några exempel från optiken

För att få förståelse vad som händer då en radarsignal träffar ett flygplan kan man ta några exempel från optiken eftersom man oftast har både en praktisk och intuitiv känsla för olika ljusfenomen. Från skolans fysik känner vi några grundläggande regler som gäller ljus. Ljus är en form av elektromagnetisk strålning. Radarvågor skiljer sig från ljus genom att de har en annan våglängd och frekvens.

Samma fysiska lagar gäller alltså för ljus som för mikrovågor.

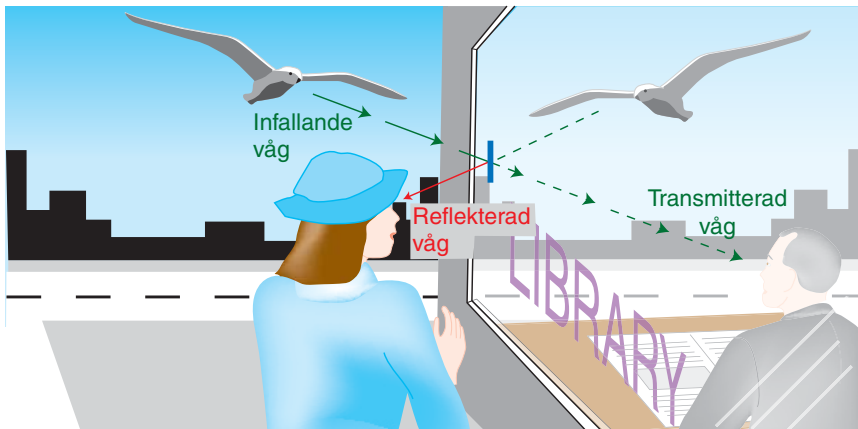


Bild 4:77. Några ljusfenomen.

Tre olika saker kan inträffa med den elektromagnetiska våg som träffar ett objekt

- den reflekteras
- den transmitteras dvs passerar igenom materialet härvid kommer vågen även att brytas.
- den absorberas, dämpas.

Då man ser in en i ett fönster ser man dels igenom glasrutan, men samtidigt så ses även reflexer i glaset. Intensiteten hos det reflekterade och transmittade ljuset beror på infallsvinkeln, brytningsindex hos de två ämnena (här luften och glaset) och polarisationen. Den i glaset reflekterade andelen ljus är minst vid vinkelrätt infall, störst då strålningen faller in längs glasytan.

4. Telekrigföring

Från optiken känner vi till att *infallsvinkeln* = *reflektionsvinkeln* (mätt från normalen till ytan). Det är detta förhållande som gör att en lutande yta inte reflekterar signalen tillbaka mot radarn. Se bild 4:78. Detta är den enskilt viktigaste metoden för att minska radarmålearen.

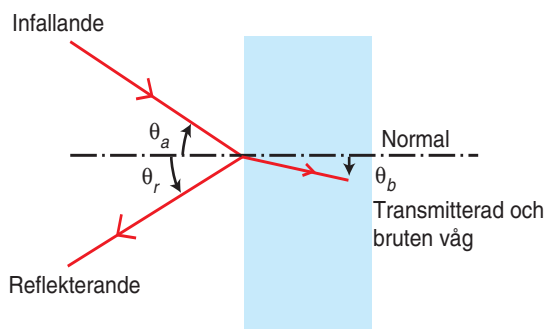


Bild 4:78. Ljusets reflektion och brytning.

Ljusets hastighet i vakuum, c , är som bekant 300 000 km/s. I andra medier är hastigheten långsammare.

Kvoten mellan hastigheten i vakuum, c , och hastigheten, v , i det aktuella materialet, benämns brytningsindex, n :

$$n = \frac{c}{v} \quad (1)$$

Vakuum har följaktligen brytningsindex 1, alla andra ämnen har ett högre brytningsindex. Luftens brytningsindex avrundas oftast till 1.

Förhållandet mellan hastighet, frekvens och våglängd i vakuum är (se kaptitlet Radarlära):

$$c = \lambda \cdot f \quad (2)$$

Om en elektromagnetisk våg tränger in i ett material med ett annat brytningsindex så förändras hastigheten, men vad händer med vågens frekvens och våglängd? Det som händer är att frekvensen kommer att vara oförändrad medan hastigheten och våglängden ändras så att ekvationen i formel 2 förblir sann. Om t ex brytningsindex i det nya materialet är 2, kommer både hastigheten och våglängden att halveras.

Vid vinkelrätt infall kan reflektionskoefficienten, r , beräknas som:

$$r = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \quad (3)$$

Den reflekterade *effekten* fås som $R = r^2$ och den transmitterade andelen av effekten fås som

$$T = 1 - R. \quad (4)$$

där n_1 är brytningsindex framför materialet (här luften) och n_2 brytningsindex i materialet (här glaset). Reflektionen blir noll om $n_1 = n_2$. Om vi vill att reflektionen i gränsytan mellan två material ska vara noll ska alltså den elektromagnetsiska vågens hastighet vara lika hög i båda ämnena dvs de ska ha samma brytningsindex. Om två ämnen inte har samma brytningsindex sker en reflektion i gränsytan. Detta gäller oavsett om vågen går från ett tunnare till ett tjockare medium eller tvärtom.

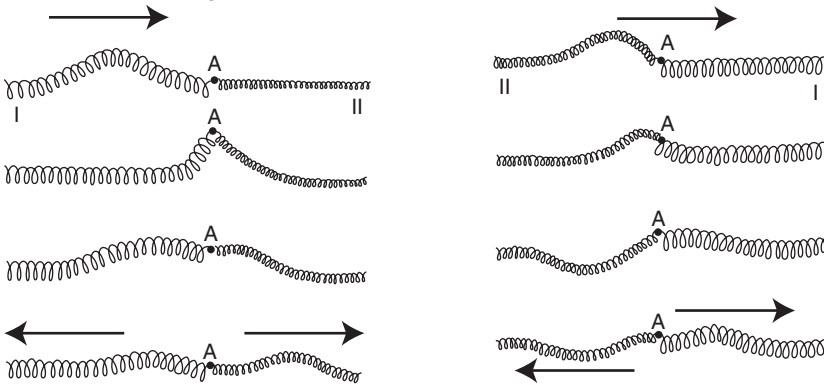


Bild 4:79. En vågs reflektion vid övergång mellan två olika material.

Detta kan illustreras med hjälp av två stålfjädrar med olika massa per längdenhet. En puls som fortplantar sig som en vågrörelse i den svagare fjädern kommer att ha högre hastighet än i den starkare fjädern. I sammanbindningspunkten kommer en del av pulsen att reflekteras en del att fortsätta in i den andra fjädern.

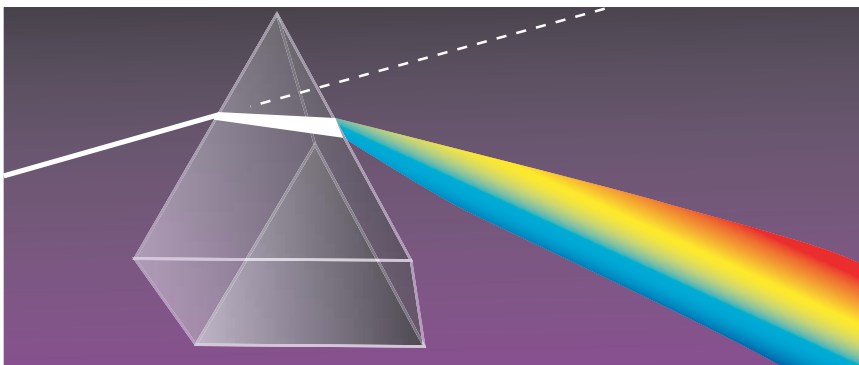


Bild 4:80. Ett material kan ha olika brytningsindex för olika frekvenser.

Elektromagnetiska vågor med olika frekvenser har ofta olika hastigheter i ett material, detta innebär därmed att de också har olika brytningsindex. Vitt ljus består som bekant av vågor med många frekvenser. När detta passerar ett material t ex ett prisma med varierande brytningsindex för de olika frekvenserna så kommer ljuset delas upp i sina olika färger. Fenomenet kallas dispersion.

Generella elektromagnetiska vågor

Vad som sagts om optik gäller alla elektromagnetiska vågor. Men vi ska nu gå över och beskriva samma förlopp i mer generella termer och se kopplingen till optiken.

Alla material kan karakteriseras av två materialkonstanter, ϵ (permittivitet även benämnt dielektricitetskonstanten) och (permeabiliteten) vilka beskriver materialets elektriska och magnetiska egenskaper. Kvoten

$$Z = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \quad (5)$$

brukar kallas den karakteristiska impedansen. För vakuum gäller t ex

$$[\text{H/m}], \quad \epsilon_0 = 8,84 \cdot 10^{-12} \quad [\text{F/m}] \quad (\text{indexet } 0 \text{ betecknar}$$

vakuum). Impedansen för vakuum blir då $377 \, \Omega$.

I gränsytan mellan två material med samma impedans kommer det inte uppstå någon reflektion, vågen passerar opåverkad mellan materialen.

Olika materials permittivitet och permeabilitet uttrycks ofta i förhållande till de värden som gäller för vakuum. Dessa relativa värden betecknas då μ_r och ϵ_r . Om t ex ett material har $\epsilon_r = 1$ så har det samma μ som vakuum, om $\epsilon_r = 2$ så är den dubbelt så stor som i vakuum o s v.

De båda materialkonstanterna, ϵ och μ bestämmer den elektromagnetiska vågens hastighet i materialet. Hastigheten fås som:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu \cdot \epsilon}} \quad [\text{m/s}].$$

Vi kan därmed bestämma hastigheten i vakuum till:

$$v = \frac{1}{\sqrt{1,26 \cdot 10^{-6} \cdot 8,84 \cdot 10^{-12}}} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} = 300\,000 \text{ km/s}$$

I exemplet från optiken såg vi att brytningsindex var förhållandet mellan ljusets hastighet i vakuum och det aktuella materialets samt att brytningsindex bestämde hur mycket av vågen som reflekterades och transmittas av materialet. Detta visar att den elektromagnetiska vågens hastighet i sin tur bestäms av materialets dielektricitetskonstant, ϵ_r , och dess permeabilitet, μ_r .

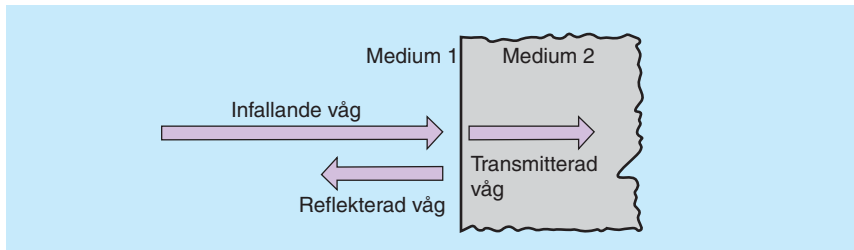


Bild 4:81. Reflektion i icke perfekt ledande material.

Formlerna för reflektion och transmission inom optiken kan vi därför istället uttrycka med hjälp av förhållandet mellan impedanserna i de båda ämnena. Låt en våg färdas i ett medium 1 och träffa ett annat medium 2 (t ex ett flygplan) vinkelrätt mot ytan då gäller att reflektionskoefficienten (r) dvs. förhållandet mellan infallande och reflekterad våg fås som:

$$r = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \quad (6)$$

Den reflekterade andelen av den infallande *effekten* fås som:

$$R = r^2 = \left(\frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \right)^2 \quad (7)$$

Den transmitterade effekten (T) anger hur stor del av effekten som tränger in i materialet

$$T = 1 - R \quad (4)$$

Exempel 4:5

Ett föremål omgivet av luft har ett ϵ som är 3,4 ggr större än vakuum ($\epsilon_r = 3,4$), dess permeabilitet, μ , är den samma som för vakuum. Bestäm reflektionskoefficienten vid vinkelrätt infall samt hur många procent av den infallande effekten som reflekteras.

Lösning

Beteckna luften med index 1 och föremålet med index 2.

För luften gäller att i stort sett att $\mu_1 = \epsilon_0$ och $\epsilon_1 = \epsilon_0$. För föremålet gäller att $\epsilon_2 = 3,4 \epsilon_0$ och $\epsilon_1 = \epsilon_0$

Impedansen för föremålet kan då beräknas som:

$$Z_2 = Z_0 \cdot \frac{1}{\sqrt{3,4 \cdot 1}} = 0,54$$

Reflektionskoefficienten blir då

$$r = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} = \frac{0,54 - 1}{0,54 + 1} = -0,30$$

$$R = r^2 = (-0,30)^2 = 0,09$$

Svar

Reflektionskoefficienten blir -0,3 och 9% av den infallande effekten reflekteras.

Av formlerna ovan framgår att om impedanserna är lika stora blir reflektionskoefficienten noll dvs inget reflekteras och hela vågen tränger opåverkad in i medium 2.

Om materialet 2 är en god ledare kommer impedansen Z_2 att vara noll vilket innebär att $r = -1$ dvs hela vågen reflekteras varvid $T=0$ dvs. ingen effekt tränger in i materialet.

Den karakteristiska impedansen bestämmer andelen energi mellan vågens elektriska och magnetiska fält. I vakuum delas energin jämnt mellan de båda fälten. För att justera balansen till det nya materialets karakteristiska impedans så måste en del av energin reflekteras. Den energin kommer att reflekteras som en elektromagnetisk våg.

Reflektion i perfekt ledande material

Vad händer då en radarsignal träffar ett material som är en god ledare? Den elektromagnetiska vågen består av ett elektriskt och ett magnetiskt fält. Se bild 4:82, tidpunkt 1. När den infallande vågen träffar ett elektriskt ledande material kommer det elektriska fältet att kortslutas. Detta gör att elektroner i materialet kommer att accelereras, tidpunkt 2. Då elektroner ändrar sin hastighet uppstår ett magnetiskt fält utanför materialet. Tidpunkt 3, magnetfältet ger i sin tur upphov till ett elektriskt fält osv. En ny elektromagnetisk våg har bildats utanför materialet, dvs radarsignalen har reflekterats.

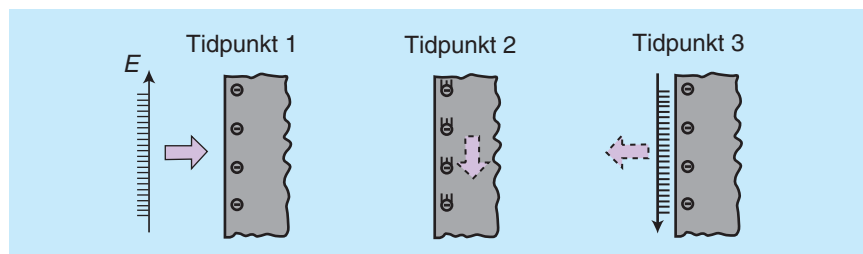


Bild 4:82. Reflektion i ledande material.

Stämmer detta med vad som sagts tidigare?

En god ledare har en låg impedans följaktligen innebär det att $r = -1$ och hela vågen reflekteras.

I en god ledare är hastigheten hos den elektromagnetiska vågen mycket låg. För t ex koppar är hastigheten vid 3 MHz endast 720 m/s vilket ger ett brytningsindex på $n_{3\text{MHz}} = 4 \cdot 10^5$, vilket också med en "optisk beräkning" av reflektionen innebär att i stort sett hela den infallande vågen reflekteras.

Det kan vara värt att notera att en spegel har ett försilvrat skikt på baksidan av en glasskiva just på grund av skiktets goda ledningsförmåga.

Absorption, dämpning, frekvensberoende m m

En elektromagnetisk våg som tränger in i vissa typer av material kan komma att helt eller delvis dämpas/absorberas av detta. Vad som sker är att vågens varierande elektriska fält kommer att polarisera materialet. Då materialet polariseras i olika riktningar i takt med fältets förändringar så uppstår friktion och därmed värmeförluster. Den elektromagnetiska energin omvandlas till värme.

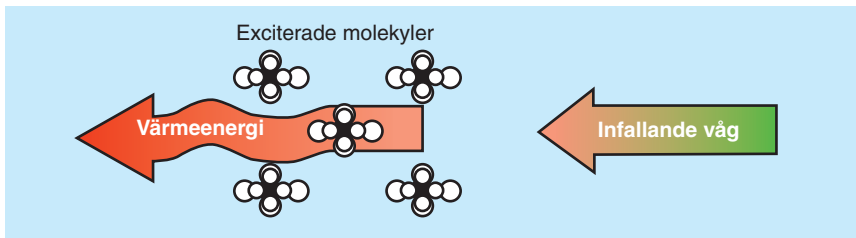


Bild 4:83. När molekyler exciteras omvandlas den elektromagnetiska energin i radarvågen till värmeenergi.

Absorptionen i ett visst material är frekvensberoende. Absorptionen kan bli mycket stor vid olika molekylers resonansfrekvenser (se kapitel Radarlära). Ofta gäller att ju högre frekvensen är desto mer inverkar partiklarnas tröghet och vågens dämpning ökar därför med frekvensen. Ett praktiskt exempel på omvandling av elektromagnetisk energi till värme sker i en mikrovågsugn.

Metoder att minska målarean

De delar av ett flygplan som ger störst radarmålarea visas i bild 4:84.

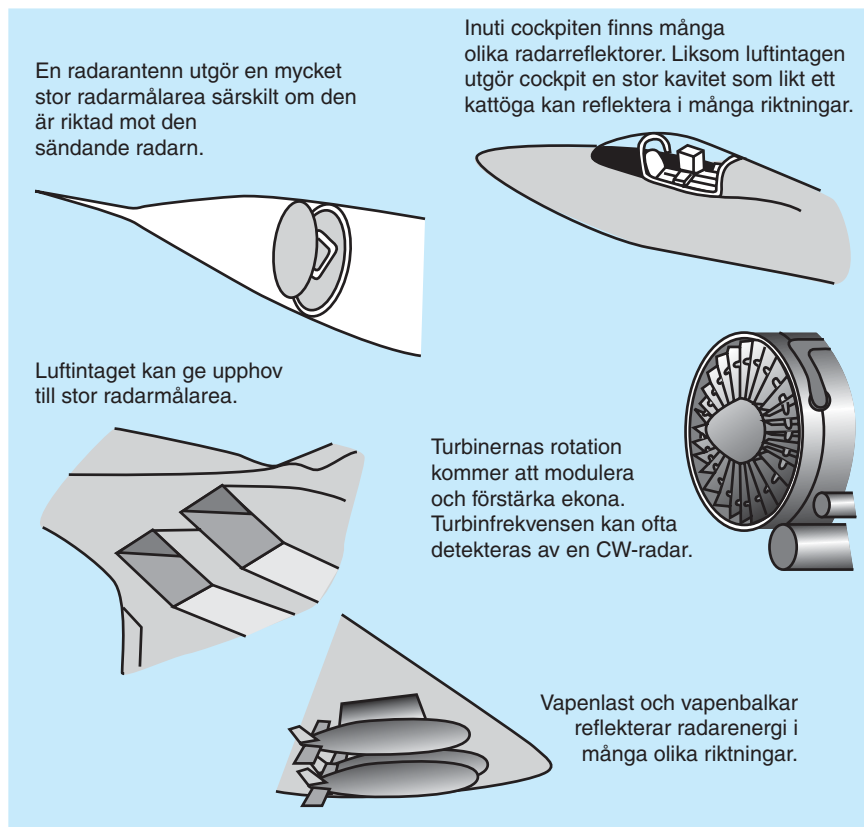


Bild 4:84. Några viktiga radarreflekterande ytor i ett flygplan.

För att konstruera ett objekt med liten radarmålarea så finns det fyra metoder

- formgivning. Den viktigaste metoden.

Formgivning innebär att plattformen utformas så att så lite radarenergi som möjligt reflekteras tillbaka i riktning mot den sändande radarn. Formgivning är den enskilt viktigaste metoden att minska radarmålarean.

- radarabsorberande material (RAM).

Metoden *radarabsorberande material (RAM)* nyttjar icke-reflekterande eller dämpande material.

- aktiv interferens (aktiv utsläckning).

Aktiv interferens innebär att flygplanet har en egen signalkälla som sänder ut en signal som ska ha samma amplitud men vara i motfas mot ekosignalen. Den transmitterade signalens amplitud, fas, frekvens och polarisation måste kunna justeras för att kompensera hotsignalens parametrar.

- passiv interferens (passiv utsläckning).

Metoden med *passiv interferens* innebär att man applicerar spridare (reflektorer) med uppgiften att kompensera (i motfas) objektets "normala" spridnings egenskaper. Metoden kräver att målet bara består av ett mindre antal reflekterande ytor och frekvenskaraktäristiken är väl känd. Passiv interferens är i praktiken ingen effektiv metod.

Operativt idag används endast metoderna med formgivning och radarabsorberande material för att minska radarmålären.

Formgivning

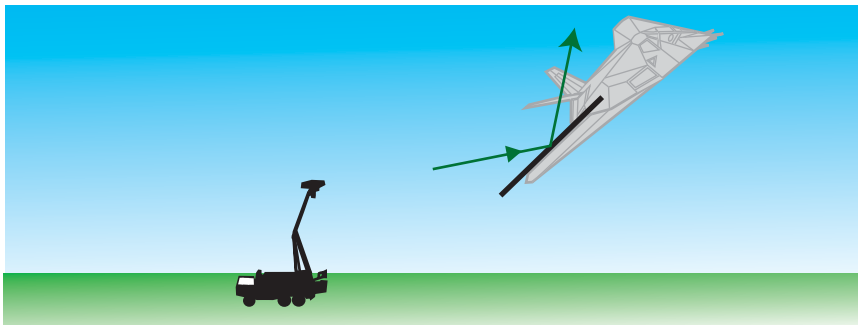


Bild 4:85. Formgivning. För att ge minsta möjliga radarmålären ska radarvågorna studsas bort från radarn.

För att få ner radarmålären genom formgivning måste man anta att hotet främst finns i några speciella riktningar. Man försöker utforma objektet så att det blir en bortreflektion istället för en återreflektion av en belysande radarsignal. Man måste härvid särskilt undvika plana ytor vinkelräta mot radarn och se hörnreflektorer. Hörnreflektorer bildas genom att flera plana ytor möts i räta vinklar (vilket är fallet i ett vanligt hörn).

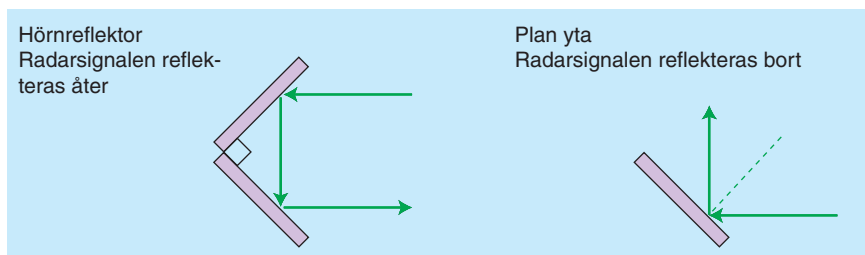


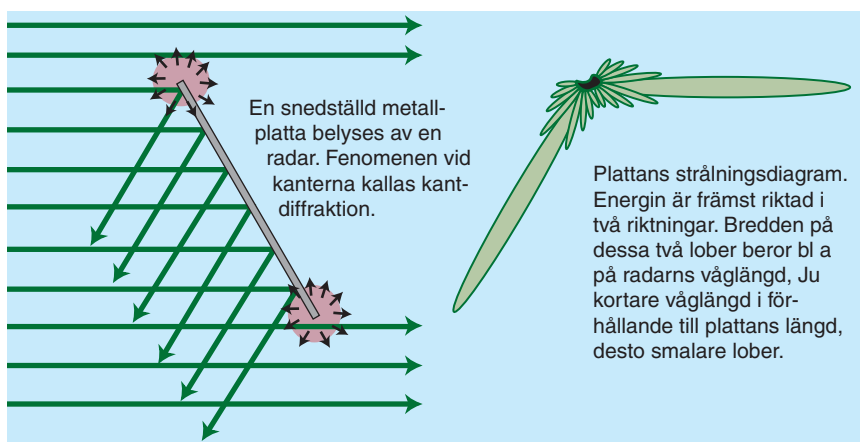
Bild 4:86. Princip för formgivning.

4. Telekrigföring

Om man kan ha hörn med andra vinklar minskar den återreflekterade signalen högst avsevärt.

Formgivningen kommer inte att påverka den totala reflekterade energin från objektet. En reducering av energin i en riktning kan bara ske om energin ökar i motsvarande grad i någon annan riktning. De lobar i de riktningar dit energin reflekteras försöker man göra så smala som möjligt. Syftet är att en bistatisk radar som befinner sig i denna riktning endast ska motta en stark signal under ett kort ögonblick. Den kommer att uppfatta målet som ett kortvarigt falskt larm och att få svårt att låsa eller följa på målet. Lobvidden på den reflekterande signalen beror på förhållandet mellan våglängden (λ) och längden (L) på den yta som reflekterar vågen. Lobvidden kan beräknas som:

$$\theta = \frac{\lambda}{L} \text{ [radianer]} \text{ (OBS! 1 streck = 1 milliradian} \approx 1/17 \text{ grad)}$$



*Bild 4:87. En metallplatta belyst av en radar.
Plattan kan t ex vara en del av ett flygplan.*

Notera att formeln ovan är samma formel som gäller för beräkning av antennloben från vilken antenn som helst. Av formeln framgår att ju lägre frekvensen blir (dvs längre våglängd) desto bredare blir loben. Detta är en av orsakerna till att lång våglängd är en motåtgärd mot stealth.

Exempel 4:6

Hur stor blir lobvidden från en 10 GHz radarsignal som reflekteras mot vingen på ett B2-bombflygplan? Vingen antas vara 30 meter lång.

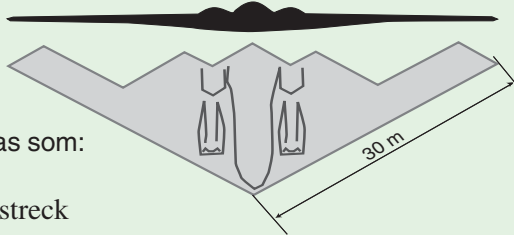
Lösning

Våglängden fås som:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{10 \cdot 10^9} = 0,03 \text{ m}$$

Lobbredden kan nu beräknas som:

$$\theta = \frac{\lambda}{L} = \frac{0,03}{30} = 0,001 \text{ radian} = 1 \text{ streck}$$

**Svar**

Lobvidden blir 1 streck dvs ca 1/17 grad.

Radarabsorberande material (RAM)

Den andra metoden för att minska radarmålarean är att använda radarabsorberande material.

Med radarabsorbent avses här en radarabsorberande struktur bestående av ett eller flera homogena material och/eller skikt.

Man skiljer på två huvudtyper av radarabsorbenter

- resonanta absorbenter
- icke resonanta absorbenter.

Resonanta absorbenter

Resonanta radarabsorbenter karakteriseras av att deras dimensioner är av avgörande betydelse för deras reflekterande förmåga.

Principen bygger på att låta två reflekterade signaler interferera destruktivt så att summasignalen blir noll. Det är samma metod som används vid antireflexbehandling av linser.

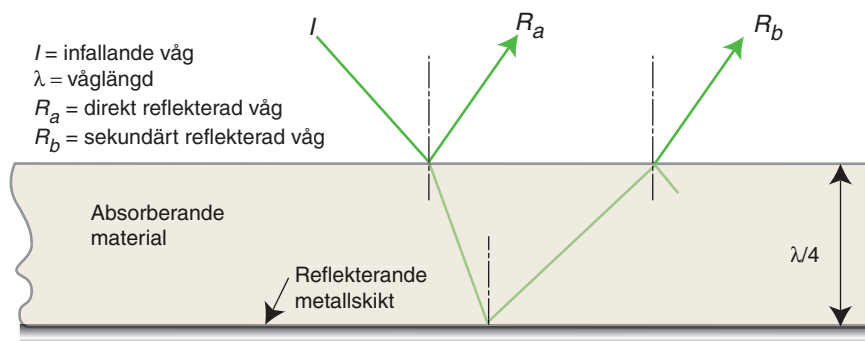


Bild 4:89. Interferande absorptionsmateriel.

En infallande våg delas upp i två delar då den träffar materialets ytskikt. En del av vågen (R_a) reflekteras direkt. Den andra delen (R_b) tränger in i materialet och reflekteras mot den underliggande metallytan. Om gångvägen för R_b är en halv våglängd längre än R_a kommer de båda vågorna att vara i motfas, summasignalen blir då noll. Detta innebär att materialet måste ha en tjocklek på en fjärdedels våglängd. För att de båda signalerna ska ta ut varandra gäller vidare att de måste ha samma amplitud. Dämpningen i materialet måste alltså vara sådan att det balanserar reflektionskoefficienten i materialets ytskikt.

De resonanta materielen är normalt mindre bredbandiga än de icke resonanta absorbenterna. De påverkas också av infallsvinkeln eftersom denna påverkar gångvägen för vågen R_b . Vid små infallsvinklar kommer inte R_b att vara i motfas mot R_a .

Salisbury screen – ett exempel på resonant absorbent

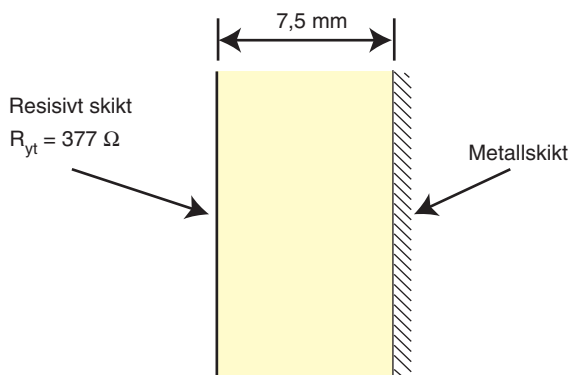


Bild 4:90. Schematisk skiss över en Salisbury screen optimerad för frekvensen 10 GHz.

En konventionell Salisbury screen består av ett tunt resistivt skikt, exempelvis en kolfiberduk eller en plastfilm med ett tunt förlustskikt, med en ytresistans, R_{yt} , lika med vågimpedansen för vakuum:

$$R_{yt} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 377 \quad [\Omega]$$

Det resistiva skiktet backas upp av ett metallskikt med oändlig ledningsförmåga, på ett avstånd av en kvarts våglängd ($\lambda/4$) vid mittfrekvensen. Det mellanliggande skiktet utgörs av ett material med en relativ dielektricitetskonstant ϵ_r nära 1.

Ett exempel på en Salisbury screen, optimerad för frekvensen 10 GHz visas i bild 4:90.

I diagrammet (bild 4:91) visas reflektionsegenskaperna som funktion av frekvensen för ovanstående absorbent. Vid mittfrekvensen (10 GHz) fås i princip oändligt liten reflektion.

Som ett mått på en radarabsorbents effektivitet används ofta absorbentens bandbredd, dvs det frekvensområde där reflektionsegenskaperna är de önskade. För en Salisbury screen är bandbredden relativt begränsad. I detta exempel fås en reflektion mindre än -13 dB (5%) inom frekvensintervallet 7,3- 12,8 GHz.

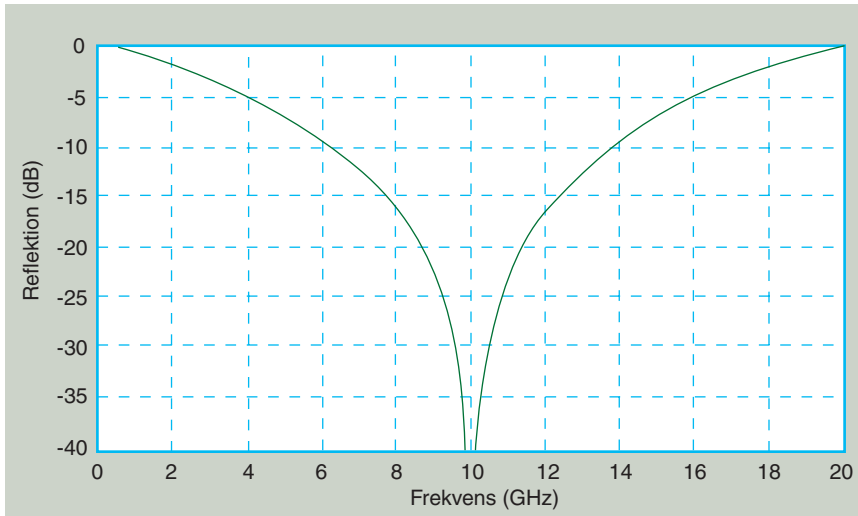


Bild 4:91. Reflektion som funktion av frekvens för en Salisbury screen enligt tidigare bild Vinkelrätt infall.

På grund av absorbentens resonanta natur får även reflektionsegenskaperna ett infallsvinkelberoende.

Nackdelen med en ren Salisbury screen är dess begränsade bandbredd. En förbättring av bandbredden kan uppnås genom att utnyttja två eller flera resistiva skikt med lämpligt valda ytresistanser och på lämpligt avstånd från varandra. Denna typ av absorbent benämns Jaumanabsorbenter och klassas efter antalet resistiva skikt. Nackdelen med denna typ av absorbent är att tjockleken snabbt ökar med ökad bandbredd (antalet resistiva skikt bestämmer bandbredden).

Icke resonanta absorbenter

Tillskillnad från resonanta radarabsorbenter har de icke resonanta radarabsorbenternas dimensioner ingen avgörande betydelse för absorptionsförmågan.

Gradientabsorbenter är en typ av radarabsorbent där man utnyttjar en inhomogen struktur med successivt ökande förluster (stigande gradient).

4. Telekrigföring

Vid absorbentens framsida ska ytresistansen vara lika med vågimpedansen för vakuum = 377 Ohm dvs ϵ_r och ϵ_r ska vara så nära 1 som möjligt. Gradient-absorbenter har oftast mycket god radarabsorption över breda frekvensområden, typiska värden är 15–30 dB absorption inom frekvensområdet 2–40 GHz. För lägre frekvenser tenderar även denna typ av radarabsorbent att öka i tjocklek. Som en tumregel kan man säga att vid undre gränzfrequensen har absorbenten en tjocklek på ca $\lambda/4$.

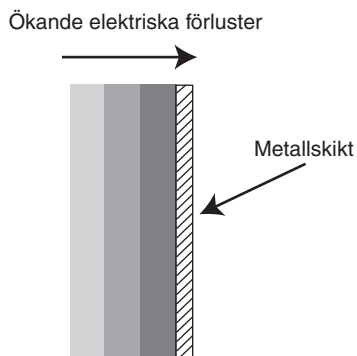


Bild 4:92. Skiss över en absorbent bestående av tre homogena skikt med successivt ökande förluster.

Ett vanligt sätt att uppnå ökande grad av elektriska förluster i en radarabsorbent är att foga ihop homogena material med successivt ökande förluster.

En annan typ av gradientabsorbent är eliminmaterial och bygger på att förlustmaterialet appliceras på väggarna hos en dielektrisk bikakestruktur.

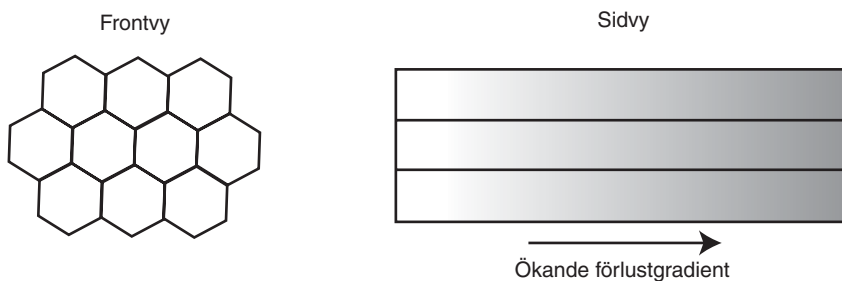


Bild 4:93. Skiss över gradientabsorbent baserat på bikakekärna.

Bikakestrukturen kan förses med täckskikt av kompositmaterial för att uppnå väderbeständighet och goda hållfasthetsegenskaper. Typiska reflektionsegenskaper för denna radarabsorbent är -13dB (5%) inom frekvensområdet 4-18 GHz.

Även gradient absorbenterna har vinkelberoende reflektions egenskaper. Hos dessa blir reflektionen minst vid ca 45° infallsvinkel.

Förlustmaterial

En absorbent innehåller oftast ett förlustmaterial. Absorptionen i en radarabsorbent kan vara

- dielektrisk
- resistiv
- magnetisk.

Dielektriska förluster uppstår i isolatorer genom att den inträngande radarvågen polariserar atomer, joner, molekyler och gränssytor. Radarabsorberande material baseras sällan enbart på denna typ av förluster.

Resistiva förluster uppstår om materialet har en ledningsförmåga. Vanliga material med resistiva förluster utgörs av kol, metaller samt halvledande keramer och polymerer. Materialen utnyttjas i form av tunna partiklar, flak, fibrer men också tunna skikt.

Magnetiska förluster uppträder som hysteres hos magnetiska material men också som virvelströmsförluster i ledande material. Ferriter och ferroelektrika är exempel på material med magnetiska förluster.

Aktiv radarabsorption- plasma stealth

En helt annorlunda metod att minska den radarmålarean är att utnyttja joniserad gas s k plasma. Fördelen med denna metod är att flygplanet inte måste byggas med samma extrema formgivning som skett med t ex F 117 och B2 utan kan designas främst efter aerodynamiska krav.

Med plasma avses joniserade gaser med lika mängd elektroner och positiva joner. Detta finns t ex i jonosfären och uppstår där genom solljuset påverkan, plasma uppstår även i t ex ett lysrör genom elektriska urladdningar i gas.

Beroende på koncentrationen av elektroner kommer en elektromagnetisk våg antingen att dämpas, reflekteras eller att passera utan förluster. Gränshänsynen f_p mellan dessa tillstånd kan approximeras som:

$$f_p \approx 9\sqrt{N} \quad [Hz]$$

Där N är koncentrationen av fria elektroner [st/m^3]

Exempel 4:7

I jonosfären finns mellan 10^{10} - 10^{12} elektroner $/m^3$ Vilken frekvens ska väljas för att man från jorden ska kunna kommunicera med en satellit?

Svar

Gränshänsynen f_p i detta exempel kommer att variera mellan 0,9 till 9 MHz. Frekvensen ska därför väljas betydligt högre än 9 MHz för att odämpat passera jonosfären. Signaler med frekvens betydligt under 0,9 MHz kommer att studsas mot jonosfären, något som förövrigt utnyttjas vid kortvågssändning. Frekvenser mellan dessa värden kommer att delvis tränga in i plasman och absorberas.

4. Telekrigföring

Om joniserad luft kan skapas runt ett flygplan kan en elektromagnetisk våg inom ett visst frekvensområde dämpas. Fenomenet har tidigare observerats då ett en rymdfarkost återinträder i atmosfären och friktionen mot luften bildar plasma. När detta inträffar bryts tillfälligt radiokommunikationen genom att plasman avskärmar farkosten.

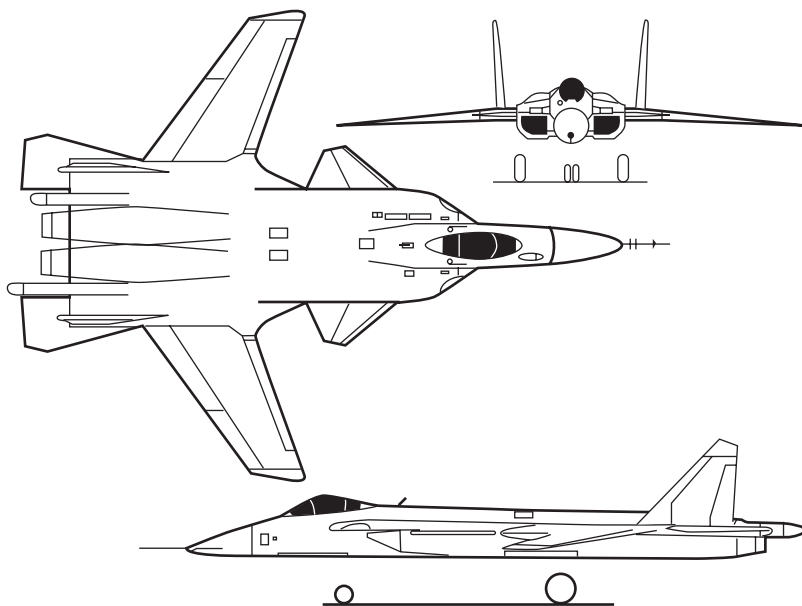


Bild 4:94. Företaget Sukhoi's förslag till ryskt stridsflygplan S-37.

Uppgifter i internationell press gör gällande att forskare i Ryssland konstruerat en plasmagenerator, s k plasmatron, som kan jonisera luften. Generatoren sprutar troligen ut gasen i framkanten av flygplanet varefter den spolas längs flygplanet av fartvinden. Man tror att radarekott dämpas med en faktor 10-100 med den här metoden. Till metodens kritiska punkter hör att plasmageneratoren kan bli stor och förbrukar mycket energi. Man tror därför att plasmageneratoren startas först då radarvarnaren indikerar att en radar låst på flygplanet. Då generatoren är påslagen kan troligen inte flygplanets egenradar (eller radarvarnare) användas. I Ryssland ska man ha lyckats få ner vikten på plasmageneratoren under 100 kg, vilket gör det fullt möjligt att placera den på ett konventionellt stridsflygplan. Enligt samma uppgifter har metoden prövats på de senaste versioner av Su 27 och kommer att placeras på flygplan S-37.

En bieffekt är att den joniserade luften kommer att göra att flygplanet troligen kommer att lysa i mörker.

Flera andra länder bl a USA och Frankrike lär också bedriva forskning med plasma stealth.

Att upptäcka radarkamouflerade mål

Som alla nya medel kan också stealthtekniken mötas av motåtgärder. Detta blev inte minst uppenbart då ett amerikanskt F-117 flygplan sköts ner i Kosovo.

Några metoder för att upptäcka stealthflygplan är att

- öka radarns uteffekt eller mottagarens känslighet
- använda akustiska system
- använda bi- och multistatiska system
- använda IR
- att detektera magnetiska förändringar.

Teoretiskt finns det flera metoder som utnyttjar mikrovågor

- lågfrekventa system (OTH-radar)
- signalspaning
- högfrekvent radar (mm-radar).

Att öka radarns uteffekt är, kanske skenbart, den enklaste metoden att förbättra räckvidden mot små mål. Metoden har dock följande tre nackdelar.

1. För att fördubbla räckvidden krävs 16 ggr så stor uteffekt.
2. Hög uteffekt kan leda till problem med överslag, komponenter kan behöva kylas och det är svårare att bygga sändare med halvledarteknik.
3. En ökad uteffekt gör också att fåglar ($0,01 \text{ m}^2$) och till och med insekter ($0,001 \text{ m}^2$) kan detekteras. Den höga effekten gör att de ställs mycket höga krav på radarns markekundertryckning eftersom annars kommer radarn få en stor mängd markklotter.

Lågfrekvensradar (lång våglängd) kan motverka stealthformgivning och RAM. Om en signal har en våglängd av samma storleksordning som målet eller någon del av detta så uppstår ett resonansfenomen som ger en bättre reflektion. När vågländen är stor kommer vågen att böjas runt hindret (diffraktion). Betydelsen av formgivning minskar därför. En UHF-radar t ex amerikanska E2-C AEW (400 MHz) har vågländen 75 cm. Denna våglängd kommer att framförallt ge resonansfenomen i fenor och vingklaffar. För att kunna få mycket lång räckvidd hos ett radarsystem används s k OTH-radar (Over The Horizon). Det finns flera rapporter att OTH-radar har upptäckt stealthflygplan. Dessa radarstationer arbetar typiskt med våglängder mellan en och 100 m (3MHz-300 MHz). Problemet med långa våglängder hos en radar är att radarantennen kommer bli mycket stor och riktningsnoggrannheten dålig vilket kan göra det svårt att invisa ett vapensystem mot målet.

4. Telekrigföring

Ett annat alternativ är att använda bistatisk eller multistatisk radar, dvs att fler sändare och en eller fler mottagare finns på olika platser. Att den reflekterande pulsen inte studsar tillbaka mot sändaren gör då inget eftersom mottagaren inte finns på samma plats som sändaren.

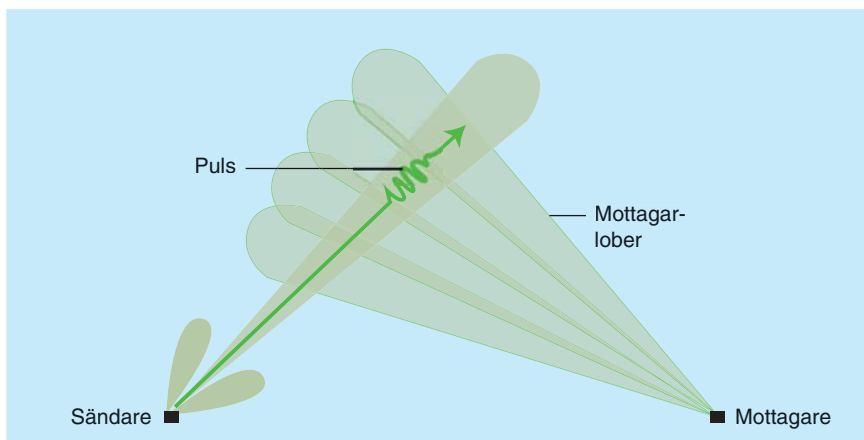


Bild 4:95. Bistatisk radar. Mottagaren använder flera antennlobor för att fastställa målets position.

Fördelar med bistatisk radar är att

- vinsten med formgivning hos ett stealthflygplan minskar, då man inte vet var mottagaren befinner sig
- många mottagare ökar upptäcktssannolikheten eftersom det blir svårt att ha liten radarmålarea i alla riktningar
- mottagarens position inte kan fastställas genom signalspaning vilket försvårar att rikta telestörning rakt mot mottagaren
- hög PRF kan användas eftersom mottagaren inte får samma problem med "blinda område (minsta mätavstånd)" som hos en konventionell radar.

Nackdelar med bistatisk radar är att

- både mottagare och sändare måste samtidigt se målet
- det är svårare med geometriskt bestämning av målets position
- det är svårt att synkronisera sändare och mottagare
- mottagaren bör ha många antennlobor vilket har hitintills varit kostsamt.

Med lång våglängd och bistatisk radar kan man säga att man är tillbaka till radarns barndom under 1930-talet då radarn arbetade på meterbandet och sändare och mottagare var separerade.

En ytterligare metod skulle vara att använda radarstationer med mycket kort våglängd (mm). För dessa våglängder så kan flygplansskrovet utgöra en ”skrovlig” yta som gör att energin reflekteras tillbaka mot radarn. Metoden kan endast användas av sensorer med kort räckvidd eftersom atmosfären dämpar millimetervågor kraftigt.

Aktiva störmetoder

Syftet med den aktiva störningen kan vara att försvåra

- upptäckt (t ex minska radarns räckvidd)
- klassificering (t ex om det är transportflygplan eller attackflygplan)
- identifiering (t ex störa igenkänningsutrustningen)
- målinmätning (t ex ge felaktigt avstånd eller hastighet till radarn)
- bekämpning (t ex få en robot att tappa mållåsningen).

Följande begrepp förekommer.

- *Störformer* avser kategori eller art av störning t ex maskerande eller vilseledande störning.
- *Störmoder* avser varje störform som kan delas upp i ett antal störmoder t ex avståndsavhakning inåt/utåt.
- *Störparametrar* karaktiserar en störmod t ex avhakningslängd, brusbandbredd, varaktighet m m.
- *Störprogram* avser ett antal störmoder som programmerats till en sekvens och bildar på så sätt ett program.

Den aktiva störningen kan indelas i två huvuddelar

- maskerande störning
- vilseledande störning.

Ibland nämns ”mättande störning” vilket kan utgöras av en stor mängd falska ekon. Någon klar gräns mellan dessa typer av störning finns inte.

Ju mer lik en störsignal är den verkliga radarsignalen desto enklare kan den passera in i radarns signalbehandling utan att undertryckas.

I litteraturen finns beskrivet hundratals olika former av aktiv radarstörning. I de följande avsnitten behandlas några av de principiellt viktigaste.

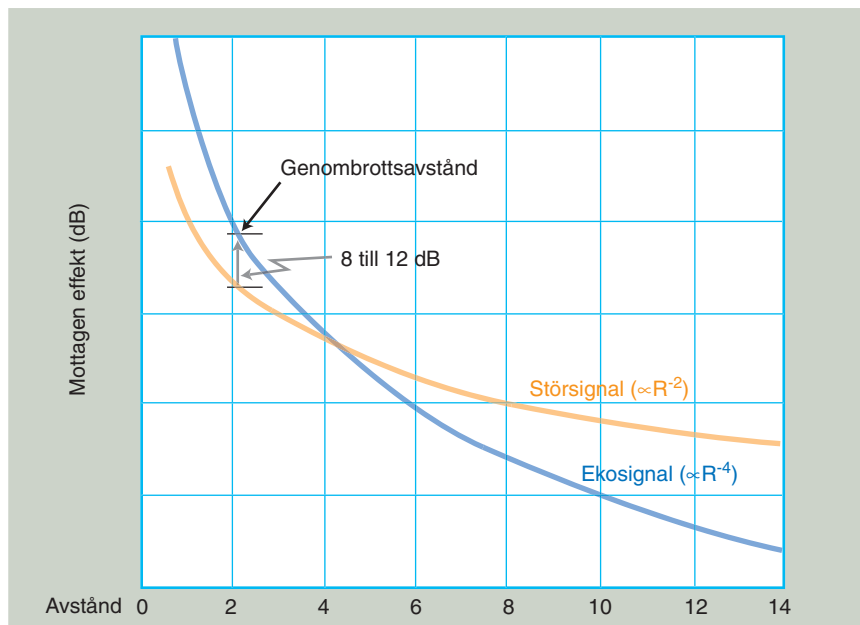


Bild 4:96. Vid genombrottsavståndet är ekosignalen tillräckligt mycket starkare än störsignalen för att målet ska kunna detekteras.

Genombrottsavstånd

Enligt radarekvationen (kap 3) är den mottagna ekosignalen proportionell mot $1/R^4$. För störfallet gäller envågsutbredning och störsignalstyrkan är därför proportionell mot $1/R^2$. Om ett flygplan närmar sig radar kommer ekosignalen att öka i styrka snabbare än störsignalen. Förr eller senare blir ekosignalen starkare än störsignalen. När detta sker har radarn en teoretisk möjlighet att detektera målet. Enligt radarekvationen så kräver radarn en "extra säkerhetssignal" innan målet detekteras. Denna marginal bestäms av radarns minsta signal/brusförhållande ($SNR_{\min}$). För en spaningsradar är $SNR_{\min}$ i storleksordningen 8–12 dB. $SNR_{\min}$ kan påverkas av operatören genom vald KFA-nivå.

Det avstånd där ekosignalen blir tillräckligt mycket starkare än störsignalen för att målet ska kunna detekteras kallas genombrottsavstånd. Ekot bryter här igenom störsignalen.

Maskerande störning

Denna form av störsändning (noise jamming) ska dölja det verkliga ekot och innebär att man försöker "blända" radarn med elektronisk störning så att den inte ser normala mål. En radar kan upptäcka ett mål först då ekosignalen är något starkare än den totala brusnivån dvs mottaget brus plus bruset från den egna mottagaren. Vid maskerande störning försöker man

förhindra eller fördröja målupptäckt genom att sända ut någon form av elektroniskt brus som minskar signal/brusförhållandet så att målet döljs.

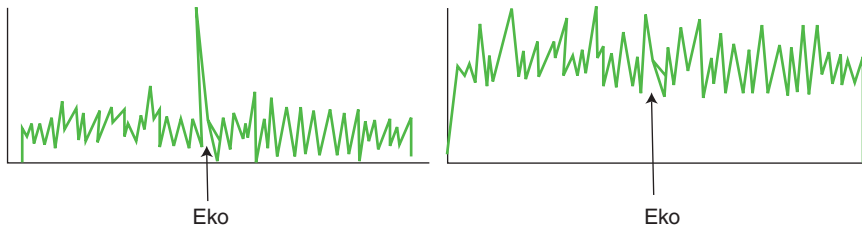


Bild 4:97. När bruset ökar så minskar signalbrusförhållandet, vilket medför att det blir svårt för radarn att urskilja ekot.

Maskerande störning kan även ske med en stor mängd falska ekon eller med hjälp av remsor. Det senare räknas dock som en passiv störform.

Vilseledande störning

Vilseledande störning har till syfte att ge operatören eller radarn en felaktig bild av var målen är eller hur många de är.

Ett gränsfall mellan vilseledande- och maskerande störning är när stör-sändaren skapar en stor mängd skenmål s k multipla skenmål. En stor mängd skenmål döljer genom sin mängd det riktiga ekot för operatören, men kan också överbelasta radarns signalbehandling eller få radarn att höja sina KFA-trösklar så mycket att de verkliga målen inte kommer över detekteringströsklarna, vilket leder till att de inte presenteras.

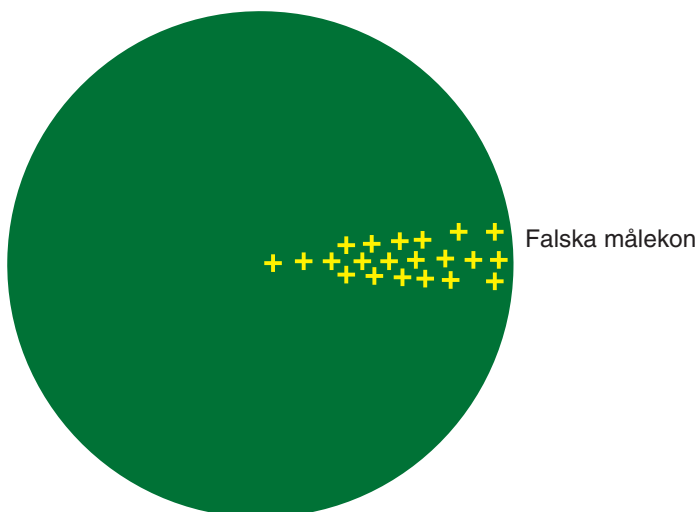


Bild 4:98. PPI med falska ekon.

Exempel på olika former av vilseledande störning är

- falska ekon
- falska signaler för avstånds-, hastighets- och vinkelavhakning mot eldledningsradar
- om remsor släpps ut i små puffar kan en radar fås att tro de är verkliga ekon (detta är dock ej en aktiv störform).

Mot en spaningsradar är det främst aktuellt med olika mängder falska ekon.

Då en eldledningsradar befinner sig i spaningsfas är den känslig för i stort sett samma typer av störning som spaningsradarn. Eldledningsradarn, till skillnad mot spaningsradarn, har inte bara till uppgift att upptäcka målet utan ska också följa målets rörelser för att t ex styra en robot mot målet. Radarn måste därför kunna följa flygplanets rörelser i vinkelled samt i avstånd och hastighet. När en eldledningsradar låst på planet kan den därför påverkas av de avhakande störformerna, hastighets-, avstånds- och vinkelavhakning. Dessa störformer har till uppgift att få eldledningsradarn att låsa över på ett skenmål och prediktera felaktiga koordinater för vapensystemet.

De vilseledande störformerna skapas oftast av sk repeterstörsändare. Denna typ av störsändare har möjligheten att lagra (spela in) radarpulsen i ett minne för att sedan förvanska pulsen och sända ut den en eller flera gånger vid ett senare tillfälle.

Man bör observera att en konventionell spaningsradar inte är känslig för avhakande störning eftersom den inte låser på målet. Moderna radarstationer med elektroniskt styrda antenner t ex artillerilokaliseringsradarn Arthur kan sägas både vara spanings- och eldledningsradarstationer, eftersom de både kan spana efter mål och målfölja. Dessa radarstationer skulle därför i princip kunna utsättas för avhakande störformer.

Att hushålla med energin – power management

Energin i en störsändare är en begränsad resurs. För att energin ska användas optimalt ska den sändas ut

- vid rätt tidpunkt
- på rätt frekvens
- i rätt riktning.

För att kunna sända vid rätt tidpunkt och på rätt frekvens innehåller flertalet moderna störsändare någon form av mottagare för lagring och/eller analys av radarns signaler.

De flesta störsändare har även någon form av riktantenn för att rikta störenergien i den troligaste hotriktningen. Ofta är störningen riktad framåt och/eller bakåt. Man försöker i moderna system använda sig av elektroniskt styrda antenner som kan koncentrera störenergien i en eller flera smala lober i vilken/vilka riktningar som helst.

Repeterstörsändare nyttjar generellt sett energin betydligt bättre än en konventionell brusstörsändare. Om en repeterstörsändare modulerar på brus ovanpå den repeterade pulsen kommer detta automatiskt få rätt frekvens. Den blir då en smalbandig brusstörsändare. Repeterstörsändare drar därför mindre energi och används därför ofta i egenstörsändare i flygplan och UAV.

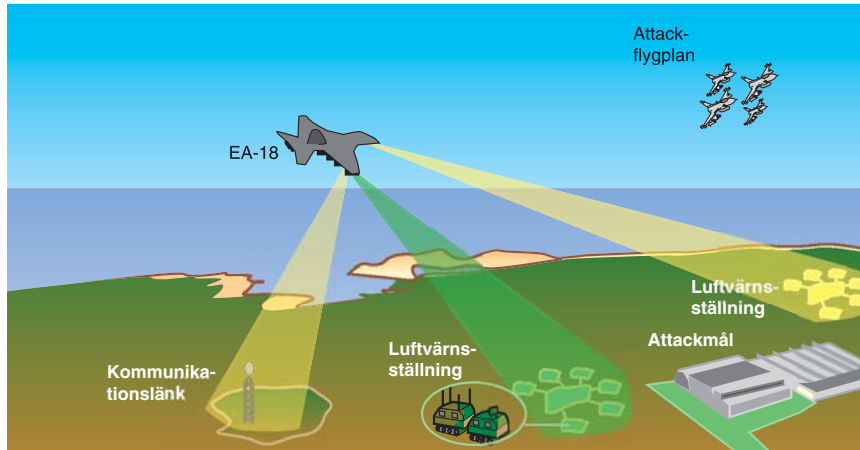


Bild. 4:99. EA-18 föreslagen ersättare till EA 6-Prowler med elektroniskt styrd antenn.

Effektsteg

Vandringsvågrör (Travelling Wave Tube, TWT) är beteckningen på en form av elektronrör som används till slutförstärkare i störsändare och i radarstationer. Till dess fördelar hör att de är koherenta och har större bandbredd än t ex magnetronen och carcinotronen som var vanliga tidigare.

När ett TWT används kan störsignalen alstras på låg effektnivå. Detta gör det enklare att styra fasläget för att t ex skapa olika pulskoder vilket i stort sett är omöjligt med en magnetron. Koherenta störformer mot pulskompressionsradar kan därmed skapas.

Begränsande faktorer hos störsändarna är kraven på låg vikt och volym samtidigt som hög effekt är önskvärt. Kraftaggregaten till sändarna kan ta en betydande plats och den höga effekten kan ge upphov till kylproblem av störkapseln.

På senare år har s k mini-TWT börjat användas. Ett mini-TWT med relativt låg uteffekt kan ha en storlek ungefär som en större tuschpenna. Dessa TWT kan då bl a användas i släpade skenmål och i små UAV. På motsvarande vis som inom radartekniken så utvecklas små transistoriserande sändarelement. Varje sändarelement har bara en effekt på ett fåtal watt, men genom att kombinera många till en antennarray kan man skapa en fasstyrd antenn med förmåga att snabbt rikta effekter från många sändare i en viss riktning.

Motmedelssystemets styrdator styr sändarens högfrekvensgenerator HFG så att den lämnar en signal med det önskade utseendet t ex vad avser frekvens, pulslängd, amplitud m m till vandringsvåggröret. I TWT förstärks sedan signalen före den sänds ut.

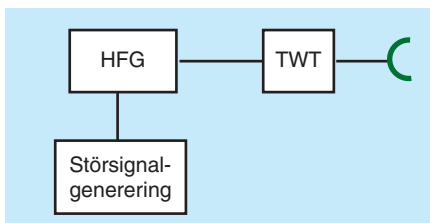


Bild 4:100. Principen för effektförstärkning.

Maskerande störning

Detta avsnitt vill skapa en allmän förståelse för maskerande störning. Maskerande störning benämns oftast brusstörning.

Smalbandig och bredbandig störning

En störform kan vara smalbandig eller bredbandig. Smalbandig störning är betydligt mer effektivt eftersom störsändarens energi kan koncentreras inom ett litet frekvensområde. Radarmottagaren har en viss bandbredd vilken är anpassad till bandbredden hos den utsända pulsen. Det är bara störenergien inom mottagarbandbredden som kan passera in i radar-mottagaren och påverka radarn.

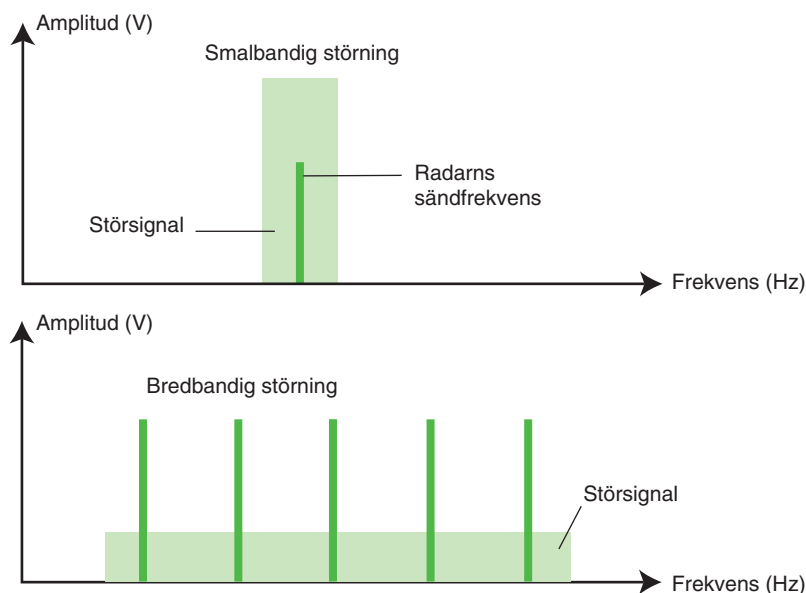


Bild 4:101. Smal- och bredbandig störning. Om radarn sänder på en frekvens kan störsändaren fördela all energi på denna frekvens. Om radarn växlar frekvens kan störsändaren behöva fördela sin energi över hela frekvensbandet och effekten av störningen blir då liten.

Exempel 4:8

En radar sänder med frekvensen på 5,6 GHz och har en mottagarbandbredd på 400 kHz. Radarn kommer bara vara mottaglig för störning som sker på frekvenser mellan $5,6 \text{ GHz} \pm 200 \text{ kHz}$.

Om en störsändare kan störa smalbandigt inom ett 800 kHz brett område kring sändfrekvensen så kommer $400/800=50\%$ av störningen att kunna påverka stationen.

Om i stället en motståndare tvingas störa bredbandigt inom ett 500 MHz område kommer endast $400/500\,000=0,08\%$ av störningen att kunna påverka radarn.

Följaktligen eftersträvar den som störsänder att sända smalbandigt. För att lyckas med smalbandig störning bör antalet sändande radarstationer vara litet och frekvensändringsmöjligheterna små hos radarstationerna.

Om en motståndare vill störa många radarstationer samtidigt eller radarstationen byter frekvens fortare än vad störutrustningen kan, tvingas han att övergå till bredbandig störning.

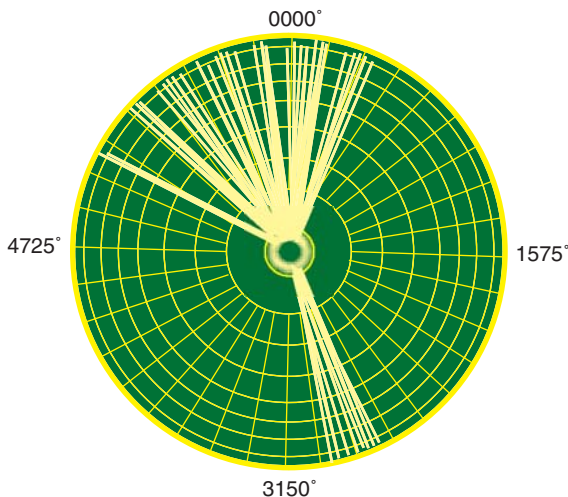


Bild 4:102. Brusstört PPI i huvud- och backlober.

Bredbandig brusstörning är en enkel metod som inte kräver någon avancerad signalspaningsutrustning. Bredbandig störning kräver emellertid en stor mängd energi, annars så nedgår störverkan.

Om störsändaren lyckas täcka hela radarbandet med tillräckligt med brusenergi så finns det inga motåtgärder radarn snabbt kan göra för att komma utanför störningen. Men för att störsändaren ska lyckas med detta krävs att den har hög uteffekt alternativt befinner sig nära radarn.

De moderna störsändarna kan i vissa fall hinna följa med då radarstationen byter frekvens. Om störsändaren hinner följa med i frekvens-

ändringarna, kan den störa smalbandigt fast radarn byter frekvens hela tiden. En smalbandig störare måste innehålla en signalspaningsutrustning för att alltid kunna rikta sin störning mot rätt frekvens.

Störutrustningen kan ha möjlighet att samtidigt störa smalbandigt mot flera olika radarstationer, om inte frekvensändrings möjligheterna i radarn är alltför stora.

I t ex övningsstörsändaren Astor kan man ställa in maximalt åtta 40 MHz breda frekvensområden som mottagaren i Astor övervakar. Om en radar börjar sända inom ett övervakat område börjar Astor störsända smalbandigt mot detta frekvensområde.

I en pulskompressionsradar kommer framförallt signaler som överensstämmer med pulskompressionskoden att förstärkas medan övriga signaler kommer att undertryckas. Grovt sett kan man säga att verkan av brusstörningen reduceras ju fler subpulser som sändpulsen innehåller. I vissa radarstationer används flest subpulser vid de långa avståndsområdena.

Om störsändaren kan använda samma pulskod som radarstationen använder så krävs mycket lite störeffekt.

Täckpulsstörning är en störform som är ytterst effektiv mot pulskompressionsradar om denna saknar råvideo. Då flygplanet träffas av en radarpuls skickar störutrustningen genast tillbaka en kraftig bruspuls, vilket sker så snabbt att den hinner täcka större delen av flygplanets ekopuls. En repesterstörsändare med mycket kort intern fördröjning är lämplig att använda i detta fall.

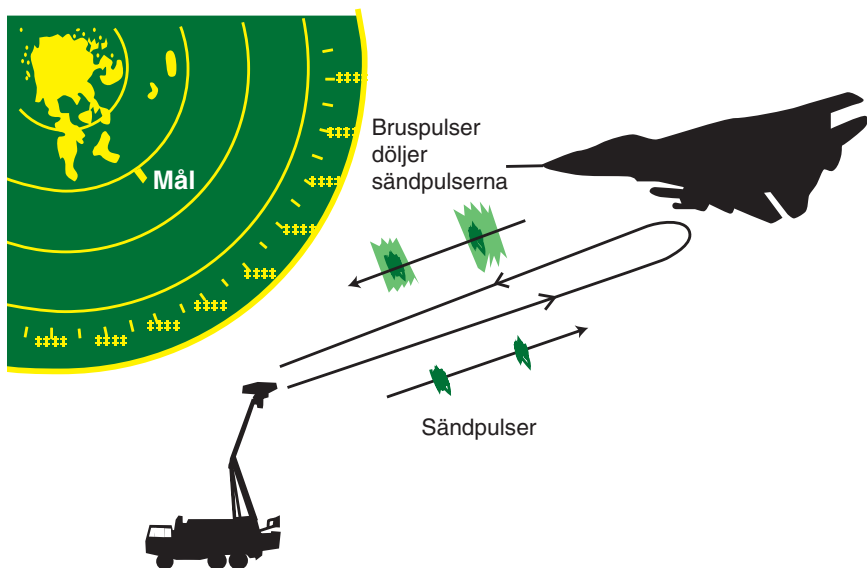


Bild 4:103. Täckpulsstörning.

När radarstationen samtidigt får tillbaka både ekot och bruspulsen kan bruspulsen maskera ekopulsen så mycket att huvuddelen av pulskompressionskoden går förlorad. Detta får till följd att radarn inte känner igen sin egen puls. Stationen kommer därför varken att presentera ekot i MTI eller Icke-MTI kanalerna. Något eko syns därför inte på indikatorn.

I en radar utan råvideo kommer inte operatören få någon som helst upplysning om att radarn är utsatt för störning. Anledningen till att det inte uppstår någon störbäring är att i förhållande till radarns hela mätområde så är bruspulsen trots allt kort och ger därför i medeltal inte upphov till tillräckligt stor höjning av brusnivån för att en störbäring ska indikeras. Dessutom sker mätningen för att fastställa brusnivån endast vid något enstaka tillfälle i slutet av varje mätperiod.

I PS-90 kommer täckpulsen resultera i ett stort eko på råvideon där störsändaren finns. I de kanaler som använder pulskomprimerad information, MTI-, Icke MTI- och helikopterkanalerna syns däremot ingenting.

I PS-70, PS-701 och andra konventionella pulsradar, vilka saknar pulskompression, kommer effekten att bli densamma som på PS-90 råvideo, dvs att ett mycket stort eko framträder.

Problemet för PS-70 och PS-90 blir att avgöra vad som finns inuti det stora ekot. Är det ett falskt eko, döljs ett flygplan eller finns där en hel division? Konsekvenserna av svaret kan vara av avgörande betydelse.

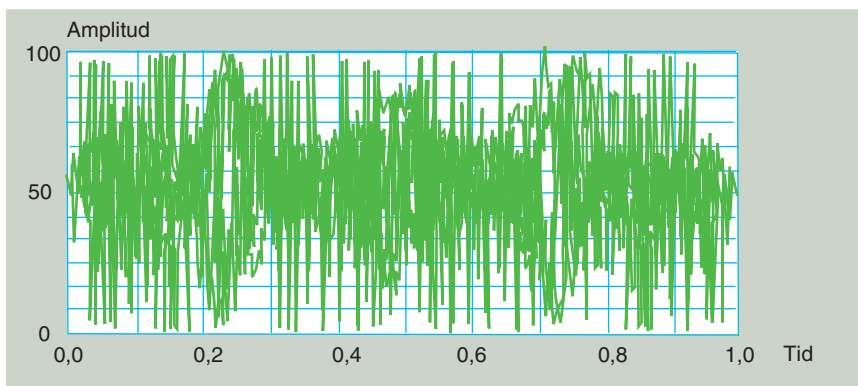


Bild 4:104. Amplitudmodulerat brus.

Brus

Den vanligaste formen av maskerande störning är att sända ut en elektromagnetisk signal som är slumpmässigt modulerad i amplitud och/eller frekvens, en s k brussignal. Störsändarens brussignal ska försämrade radarns signalbrusförhållande så att ekodetektion ej blir möjlig eller försvåras.

Brusstörning är, i varierande grad, effektivt mot alla radarstationer. Ingen radar kan upptäcka ett eko om bruset är tillräckligt mycket kraftigare än

4. Telekrigföring

målekot. Hur mycket starkare bruset måste vara än signalen beror på typ av radarstation. Generellt kan dock sägas pulskompressionsradar är den typ av radar som är svårast att störa med brus.

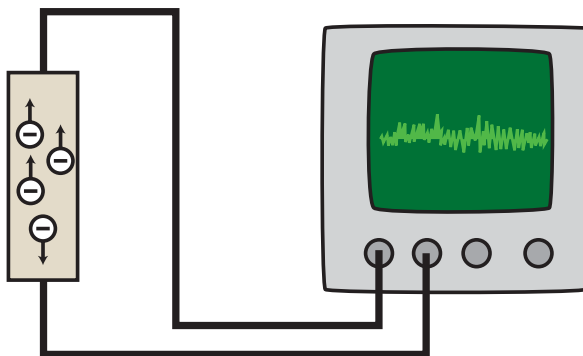


Bild 4:105. Brus. Vid små spänningar blir det uppenbart att genom elektronernas slumpmässiga rörelser uppstår över- respektive underskott av elektroner i en elektrisk komponents ändar. En elektrisk spänning uppstår över komponenten. På oscilloskopet syns en brusspänning.

I elektroniska komponenter alstras brus. Bruset beror på att vid små strömmar blir det märkbart att de enskilda elektronerna rör sig slumpvis. I närvaro av en elektrisk spänning får elektronerna visserligen i medeltal en viss hastighet men de enskilda elektronerna rör sig fortfarande slumpvis. Bruset ökar bl a med ökande temperatur.

$$P_{\text{brus}} = k \cdot T \cdot B$$

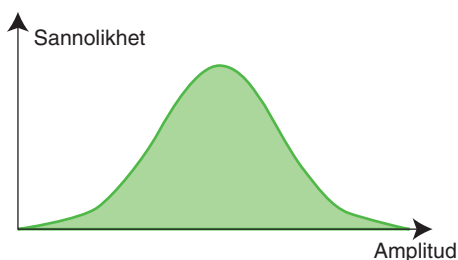
$$P_{\text{brus}} = \text{bruseffekt [W]}$$

$$k = \text{Boltzmanskostant [1,38} \cdot 10^{-23} \text{J/K]}$$

$$T = \text{temperaturen [K]}$$

$$B = \text{mottagarbandbredden [Hz]}$$

Det helt slumpvisa bruset kallas vitt Gaussiskt brus eller termiskt brus. Benämningen vitt brus, kommer egentligen från optiken. Vitt ljus innehåller alla frekvenser hos ljuset. Vitt brus har samma medeleffekt på alla frekvenser. Amplituden är dock normalfördelad dvs enligt den s k Gausskurvan.



*Bild 4:106. Gaussiskt brus.
Amplitudens sannolikhetsfördelning.*

Om en störutrustning kan skapa vitt Gaussiskt brus så är det omöjligt för radarstationen att skilja störsignalerna från det brus som skapas i radarstationens egna elektroniska komponenter.

Numera finns bra brusmodulatorer som kan generera brus med önskad bandbredd. Bruset kan sedan förstärkas med ett vandringsvågrör eller av transistorförstärkare (endast lågeffekt).

Metoder att skapa en maskerande störsignal

För att skapa en maskerande störsignal finns två huvudsakliga metoder

- använda vitt Gaussiskt brus
- använda linjär frekvensmodulering.

Vitt Gaussiskt brus (Amplitudmodulerat brus, AM)

Genom att förstärka egenbruset i någon elektronisk komponent t ex en diod och sedan skicka ut detta via en antenn så kan en amplitudmodulerad brusstörsignal skapas. Bruset kommer då att finnas på alla frekvenser men variera i amplitud, enligt Gaussfördelningen.

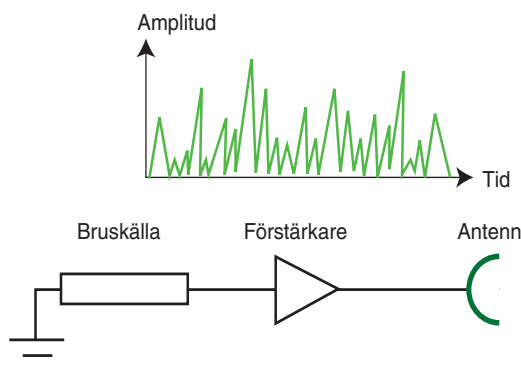


Bild 4:107. Princip för generering av amplitudmodulerat brus.

Denna metod använd sällan i praktiken, anledningen är att detta innebär ett dåligt nyttjande av störsändarens slutförstärkare. Antag att slutförstärkaren maximalt lämnar 100 W. Förstärkningen av bruset bör då läggas så att brusets högsta amplitud blir 100 W. Vid alla andra amplituder lämnar slutförstärkaren mindre än 100% av sin effekt och används då inte fullt. På grund av den låga nyttjandegraden i slutförstärkaren används därför inte amplitudmodulerat vitt Gaussiskt brus så ofta i brusstörsändare.

Vid vilseledande störning kan det däremot vara önskvärt att variera förstärkarens uteffekt. Dett är då per definition en form av amplitudmodulering. I övningsstörsändaren Astor kan man använda viss amplitud-

4. Telekrigföring

modulering uppe på den frekvensmodulerade brussignalen. Syftet kan vara att försvåra krysspejling eller att amplitudtoppen kan ge upphov till slumpvisa falska ekon i radarn.

Linjär frekvensmodulering (linjär FM)

Den vanligaste metoden att skapa en maskerande störsignal är att använda en stark signal som sveps i frekvens över den sändande radarns aktuella frekvens.

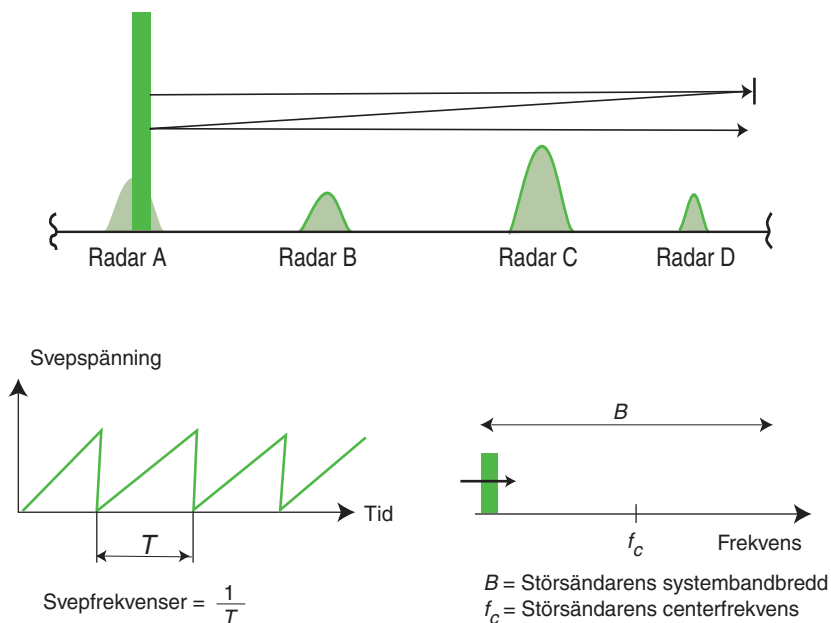


Bild 4:108. Svepstörning. En sågtandspänning påverkar störgeneratoren, när spänningen ökar så ökar den utsända signalens frekvens. På så vis fås störsignalen att svepa över frekvensbandet. Ju mindre bandbredd det störda området har desto bättre verkan får störningen.

Metoden kallas störning med frekvenssvept signal. Metoden fungerar i princip så att en spänningsstyrd oscillator (VCO) påverkas av en styrsignal vilken får oscillatorns utsignal att variera i frekvens. Signalen förstärks och sänds ut i luften via en antenn. Anm. VCO är en delvis föråldrad metod. Numera används DDS (Direct Digital Synthesis) för att generera ett frekvenssvep.

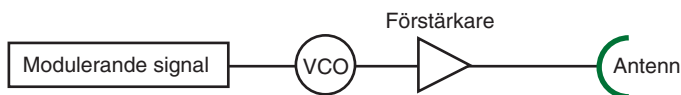


Bild 4:109. FM-sändare.

Den stora fördelen jämfört med amplitudmodulering är att den frekvensmodulerade signalen har konstant uteffekt. Störsändarens slutförstärkare kan därför alltid användas till 100%.

Beroende på vilken typ av signal som används för att påverka oscillatorns utsignal benämns det

- sågtandsmodulering
- brusmodulering.

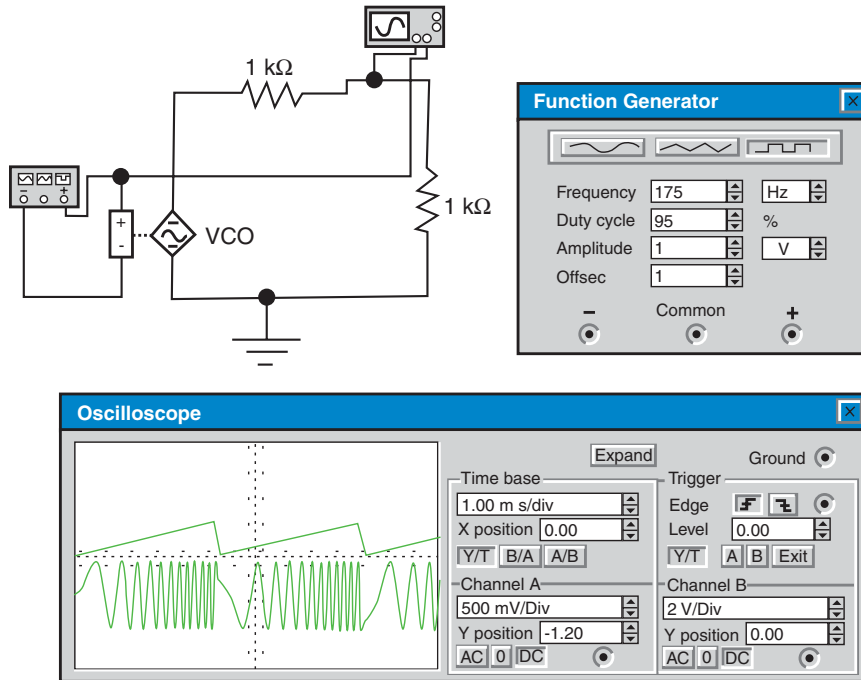


Bild 4:110. Laborationsuppkoppling av en frekvensmodulerad signal med hjälp av sågtandsmodulering. Notera att FM-signalen (den nedre signalen) har konstant amplitud.

Sågtandsmodulering innebär att frekvensen från VCO bestäms av en sågtandsignal (när spänningen ökar, ökas sändfrekvensen) vilken sveper störsignalen över ett visst frekvensområde. En svepstörning erhålls. Hur ofta störsändaren sveper förbi det aktuella området benämns svepfrekvens eller modulationsfrekvens. Svepfrekvensen kan uppgå till flera MHz (miljoner gånger/sekund).

4. Telekrigföring

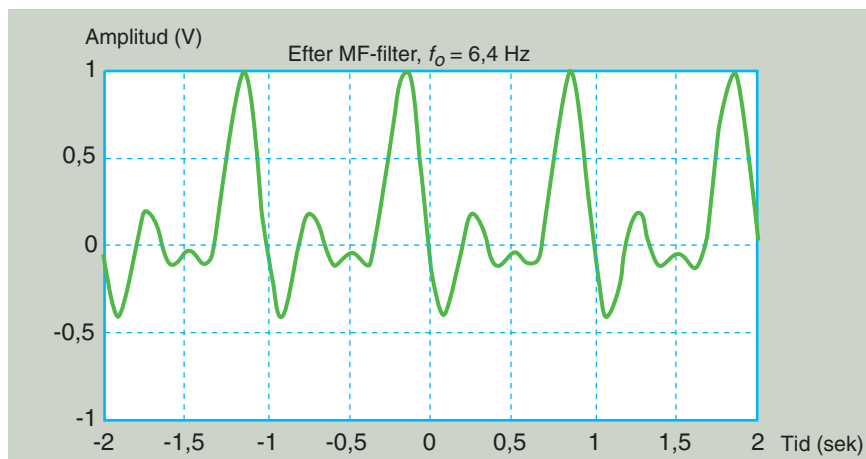


Bild 4:111. Ringningar i ett filter som utsätts för svepstörning. En ringning hinner nätt och jämnt klinga ut före nästa svep kommer. (Per Hyberg)

Svepstörning innebär att radarn får en kort störpuls varje gång störsignalen sveper förbi på rätt frekvens. Den korta men kraftiga störsignalen ger då upphov till "ringningar" i radarmottagaren. Före ringningarna klingar ut kommer nästa svep, med en ny störpuls.

Då en signal sveps i frekvens, periodiskt med konstant svepfrekvens (modulationsfrekvens), kommer utsignalen sett över tiden bara att innehålla vissa frekvenser. Avståndet mellan frekvenskomponenterna bestäms av svepfrekvensen ju snabbare svep desto glesare mellan frekvenskomponenterna.

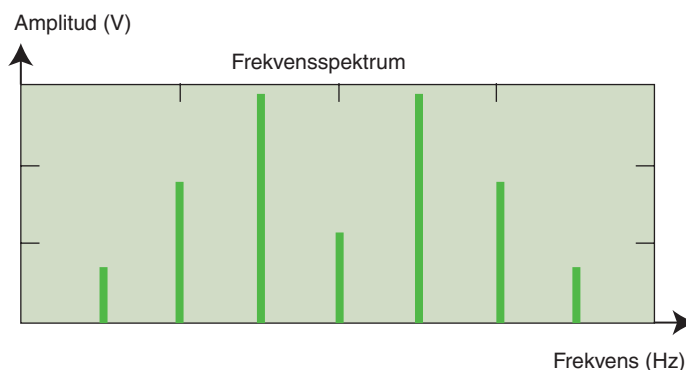


Bild 4:112. Frekvensmodulerad signal med modulationsindex $=2$. Notera att frekvenskomponenterna har olika amplituder, bärvågen, i mitten, behöver inte ha störst amplitud. Amplituden hos frekvenskomponenterna bestäms av modulationsindex.

Störpulsen "hoppar" således fram mellan olika frekvenser. Hur långt varje hopp blir bestäms av svepfrekvensen (PRF) hos svepsignalen. Ju högre frekvens hos den modulerande signalen desto glesare mellan frekvens-

komponenterna. Om frekvensen på den modulerande signalen är konstant hamnar frekvenskomponenterna alltid på samma ställe. Om svepfrekvensen ändras bildas frekvenskomponenterna i störspektret på nya frekvenser.

Det område som täcks av frekvenskomponenter (området mellan högsta och lägsta frekvenskomponent) kallas för signalens bandbredd och beror på det s k modulationsindexet (M_f).

$$M_f = \frac{\Delta f}{f_m}$$

Δf =frekvensdeviationen dvs över hur stort område signalen sveps,

f_m = frekvensmodulationen dvs med vilken frekvens signalen sveps.

Om modulationsindex ökas uppstår fler frekvenskomponenter. Summan av alla frekvenskomponentsers amplitud är alltid konstant, därför blir utsignalens effekt också konstant.

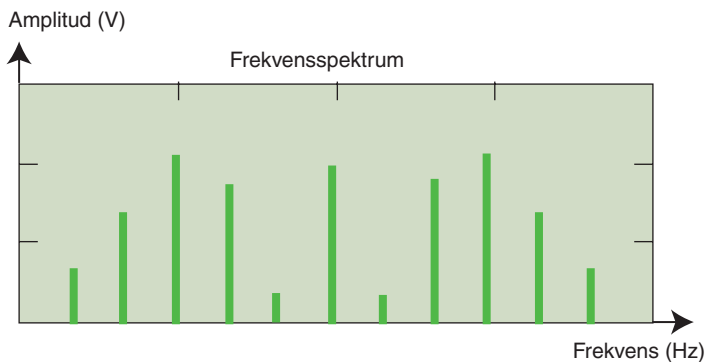


Bild 4:113. Frekvensmodulerad signal med modulationsindex = 4.

Om störsändaren hela tiden nyttjar samma svepfrekvens hos den modulerande sågtandsignalen visar det sig att frekvenskomponenterna alltid hamnar på samma ställe på frekvensaxeln, dvs energin hamnar bara på vissa speciella frekvenser. Det uppstår alltså ostörda områden mellan frekvenskomponenterna i störspektret. Om de enskilda frekvenskomponenterna i störspektret inte hamnar inom radarns mottagarbandbredd så är radarn ostörd.

Orsaken till de ostörda områdena i spektrumet kan förklaras som en typ av interferensfenomen. Om en signal sveps periodiskt ett stort antal gånger över ett område så kommer signalerna på vissa frekvenser i ofas. Resultatet blir att ingen signalenergi hamnar på dessa frekvenser.

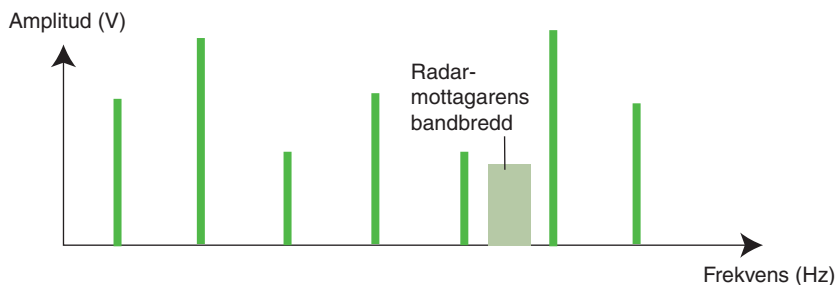


Bild 4:114. Svepstörning ger ostörda områden. Vid frekvensmodulering kan radarn vara opåverkad om dess mottagarbandbredd befinner sig mellan störsvepets frekvenskomponenter.

Det finns särskilda radarmottagare som kan släppa igenom radarsignalens spektrum men undertrycka störsignalens frekvensspektrum. Ett exempel på detta är Dicke-Fix mottagaren.

Att skapa ett effektivare störspektrum

Om man modulerar svepsignalen till VCO ännu en gång så kan man hindra att svepfrekvensen blir den samma mellan varje svep. Frekvenskomponenterna i störsignalen kommer då att hela tiden hamna på olika frekvenser. Detta leder till mellanrummet mellan frekvenskomponenterna i störsignalens spektrum fylls ut, vilket i sin tur gör att risken minskar att radarmottagaren hamnar mellan störsändarens frekvenskomponenter. Radarn förhindras därmed även att skilja ut störpulsen från målekona.

Följande två huvudsakliga metoder används

- sågtand/brus -modulering
- sågtand/sågtand-modulering.

En metod att förhindra att störsändarens sveptid är konstant är att tillsätta brus till svepspänningen (bild 4:115). Metoden brukar benämnas sågtand/brus-modulering.

Genom att modulera svepspänningen med brus kommer spektrats frekvenskomponenter att svänga fram och tillbaka vilket får till följd att utrymmet mellan "fingrarna" fylls ut.

Resultatet av sågtandsbrus blir att störsignalen sveps över frekvensbandet och är lika effektiv mot alla frekvenser. Sågtand/brus-modulering brukar betecknas BS-modulering.

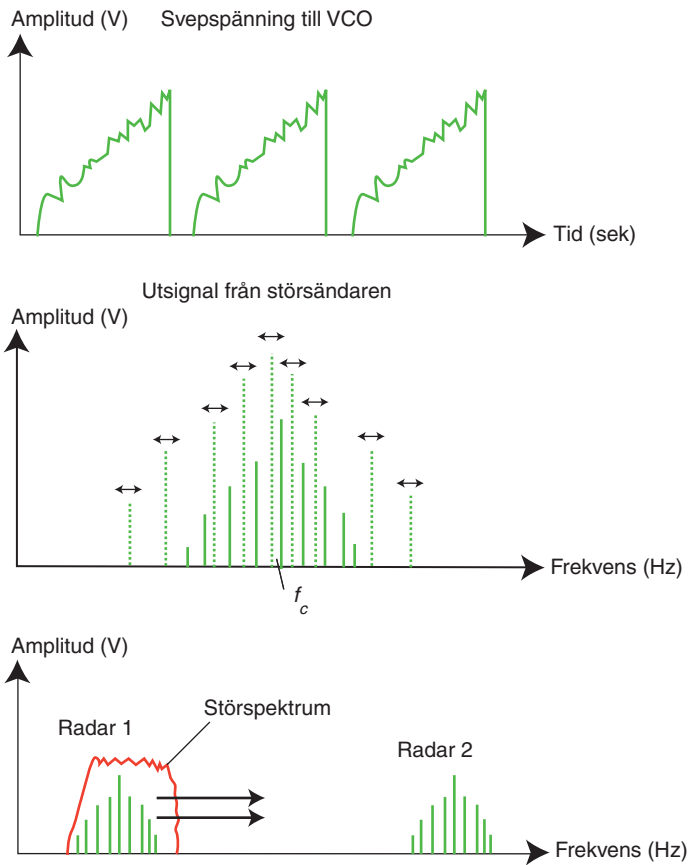


Bild 4:115. Sågtand/brus-modulering.

Vid sågtand/sågtand-modulering används istället två sågtandspänningar med olika frekvenser.

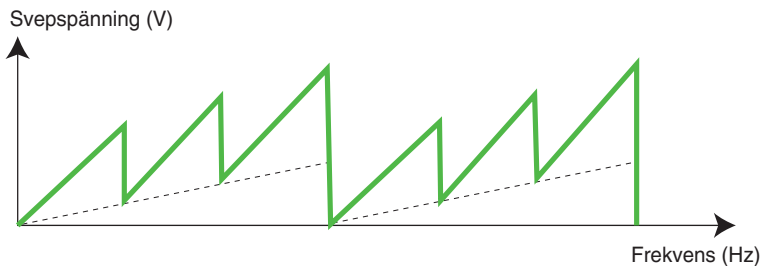


Bild 4:116. Sågtand/sågtand-modulering. Ett effektivare störspektrum erhålls om svepspänningen skapas av två sågtandspänningar med olika frekvenser.

Genom att addera två sågtandspänningar till varandra kommer störsändarens sveptid att variera mellan varje svep. Detta innebär också att mellan-

4. Telekrigföring

rummet mellan störspektrats ”fingrar” kommer att fylls med nya frekvenskomponenter. Störformen betecknas som SS-modulering.

Att samtidigt störa flera radarstationer smalbandigt

Som nämnts är det betydligt effektivare att störa en radarstation smalbandigt än bredbandigt.

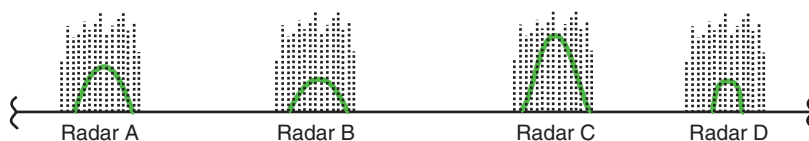


Bild 4:117. Smalbandig störning av flera frekvenser samtidigt.

Hur ska en störsändare konstrueras för att kunna störa flera radarstationer smalbandigt på samma gång?

Antag att ett störsystem vill kunna störa fyra radarstationer som sänder på fyra olika frekvenser.

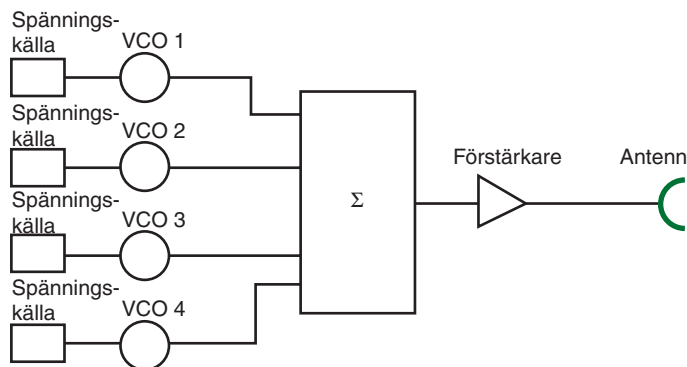
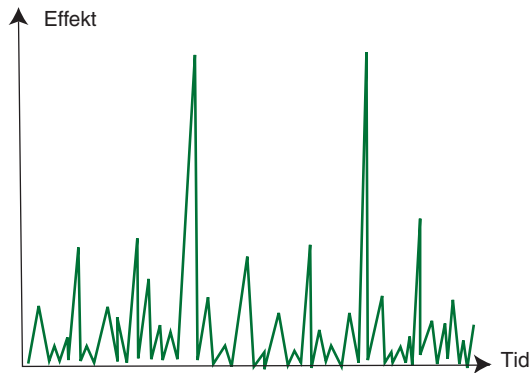


Bild 4:118. Flera störsignaler.

Störsändaren (bild 4:118) består av en mottagare och fyra störgeneratorer (VCO).

Mottagaren analyserar vilka frekvenser radarstationerna nyttjar. Störgeneratorerna får av systemets styrdator, order att skapa varsin smalbandig frekvensmodulerad signal. Störgeneratorernas signaler leds sedan in i den gemensamma slutförstärkaren. Ut från slutförstärkaren fås nu en signal som innehåller frekvenser från alla fyra frekvensgeneratorerna. Detta leder till att alla fyra radarstationerna blir störda. Det är dock nödvändigt att radarstationerna inte skiljer sig alltför mycket i frekvens eftersom varje motmedelssystem har en maximal bandbredd. Denna bestäms ofta främst av slutförstärkarens bandbredd.

Bild 4:119. Exempel på hur effekten varierar då flera olika frekvenser summeras i slutförstärkaren.



Nackdelen med metoden är att när de fyra FM-modulerade signalerna adderas samman i slutförstärkaren så kommer de ibland att samverka, varvid en kraftig signal uppstår. Ibland motverkar de varandra varvid slutförstärkaren lämnar en mindre signal. Resultatet blir att slutförstärkaren lämnar en frekvens- och amplitudmodulerad utsignal. Som tidigare konstaterats innebär en amplitudmodulation ett dåligt nyttjande av slutförstärkarens tillgängliga effekt.

Tidsmultiplexa störsignalerna

Ett bättre nyttjande av den tillgängliga effekten fås om störgeneratorerna en i taget får tillgång till slutförstärkaren. Att tidsmässigt dela på en resurs kallas tidsmultiplex.

Först får VCO 1 tillgång till slutförstärkaren och frekvenssveper signalen t ex mellan 5,4 och 5,45 GHz under några mikrosekunder. Därefter stör VCO 2 mellan t ex 5,6 och 5,67 GHz under ytterligare några mikrosekunder osv. Genom det här förfarandet kan slutförstärkaren lämna nästan 100% av sin effekt mot de önskade frekvenserna. Det uppstår dock viss störning mot oönskade frekvenser i samband med omkopplingen mellan två störgeneratorer. Dessa oönskade frekvenser kallas *spuriöser*.

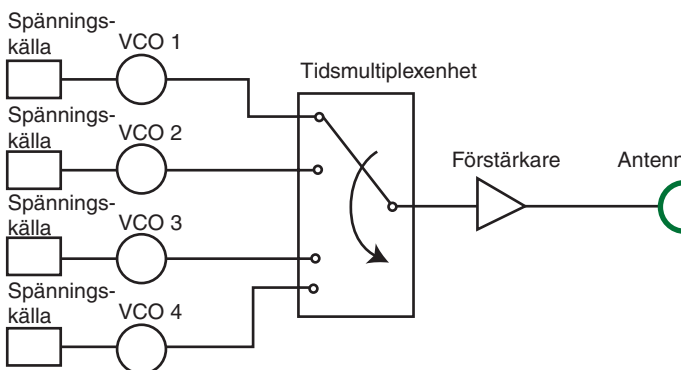


Bild 4:120. Flera störsignaler – tidsmultiplex.

Långsamt amplitudmodulerat brus kan försvåra kryssspejling

I vissa fall kan det vara önskvärt att variera uteffekten från en frekvens-svept störsändare. Amplitudmodulering gör det nämligen svårare för radarn att bestämma riktningen (störbäringen) till störsändaren. Modulationsmetoden kan i detta fall kallas AM+FM-modulering. Dessa störformer befinner sig i gränsområdet mellan maskerande- och vilseledande störning.

Ett exempel på en kombination av AM+FM-modulerad brussignal kallas invers lobmodulation (eng. invers gain). Syftet med invers lobmodulation är att alstra en maskerande störform som inte kommer ge någon entydig störbäring på indikatorn. Personalen i radarstationen kan därför inte avgöra från vilken riktning störningen kommer.

Störsändarens mottagare mäter kontinuerligt exakt med hur stor effekt som radarn belyser flygplanet med.

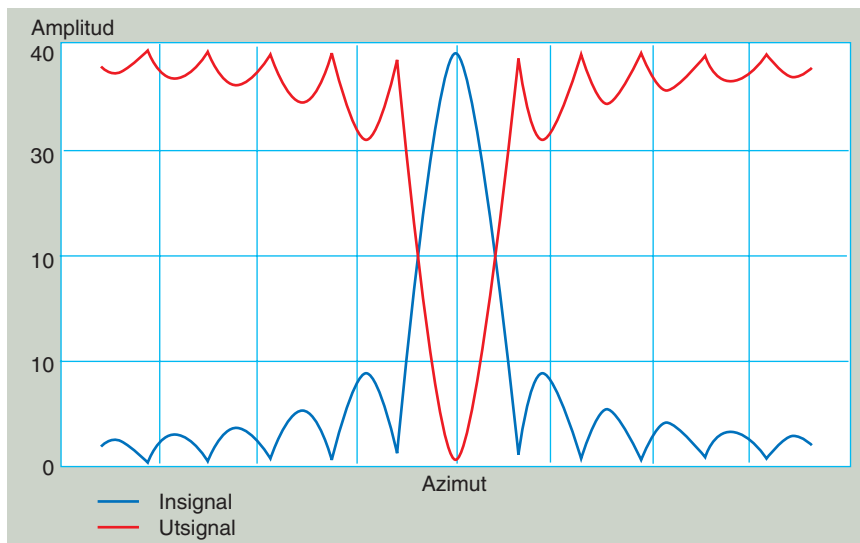


Bild 4:121. Invers lobmodulation. Den blå signalen är den mottagna signalen som moduleras av antenndiagrammet. Den röda är störsignalen vilken kommer att vara insignalens invers.

När störaren belyses av de svagare sidoloberna ökar den störeffekten något 1000-tals gånger, när huvudloben belyser störsändaren minskar den störeffekten. Dvs då radarns antennförstärkning är stor behövs bara en liten störsignal och vice versa. Radarstationen kommer därför alltid erhålla en lika stark störsignal, oberoende i vilket riktning antennen pekar. Detta resulterar i att stationen inte kommer att kunna presentera någon störbäring, eftersom signalen är lika stark i alla riktningar. Den här metod fungerar inte mot monopulsradar.

Om stegdämpning används kommer detta inte att hjälpa eftersom alla stör-signaler är lika starka oberoende vilken riktning antennen har. En stör-sändare som arbetar med invers lobmodulation klarar oftast bara av att störa en radarstation åt gången. En sidogrupeerad radarstation kommer troligtvis kunna ange störbäringen till målet eller t o m kunna se målet.

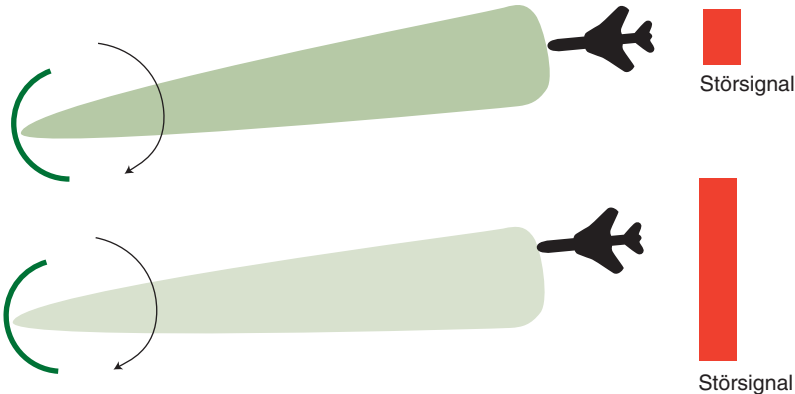


Bild 4:122. Störbäringsfel. Genom att ge en kraftigare störsignal då "kanten" på loben når flygplanet, kan radarn fås att ge fel störbäringsriktning,

Ett enklare sätt att försvåra krysspejling än invers lobmodulation är att variera brussignalens uteffekt i form av "amplitudhopp". Frekvensen på amplitudhoppet bör anpassas till radarns lobvinkel och antenntrotationstid.

Radarmottagaren får normalt den starkaste störsignalen då antennlobens mittpunkt pekar rakt mot bruskällan. Orsaken är att antennens sk antennförstärkning (G) förstärker störsignalen mest i denna riktning.

Om störsändaren tillfälligtvis ökar signalens amplitud kraftigt, kan den starkaste signalen komma in via någon av antennens sidolober eller från ytterkanten av huvudloben. Resultatet blir att radarn kommer att placera störbäringen i en felaktig riktning.

Exempel 4:9

Antag att en radarantenns antennförstärkning är 1000 ggr mitt i antennloben. 2° från mittlinjen är antennförstärkningen 20 ggr. Då "kanten på antennloben" når störsändaren så störsänder den med en uteffekt på 400 W. När mitten på loben når antennen sänder den med 4 W. Vilken av riktningarna kommer radarstationen anse att störsändaren befinner sig i?

Lösning

Alt 1. Mitt i loben $P = 4\text{W}$, $G = 1000$

$$P \cdot G = 4 \cdot 1000 = 4000\text{W}$$

Alt 2. Vid "kanten" på loben $P = 400W$, $G = 20$
 $P \cdot G = 400 \cdot 20 = 800W$

Alt 2 > Alt 1

Svar

Radarn kommer att anse att riktningen till störsändaren befinner sig 2° från den rätta riktningen eftersom den mottagna signalen kommer att vara starkast i denna riktning.

Genom att på detta sätt variera uteffekten kommer störbäringen att pendla fram och tillbaka. Metoden kan troligen fungera samtidigt mot flera likartade radarstationer. Ju bättre sidolobsundertryckning och smalare huvudlob radarstationerna har desto svårare blir det att lyckas med metoden.

Det bör noteras att denna form av amplitudmodulerad brussignal kommer få störbäringen att variera kring någon form av medelvärde (hur mycket kommer att vara ett statistiskt problem). Det kommer därför vara omöjligt att krysspejla helt "exakt".

Smart brus

Ibland nämns begreppet smart brus (ett exempel på power management). Med smart brus avses en störsignal som är signalanpassad till radarstationens stationens frekvens och/eller pulskod. Smart brus kräver endast låg uteffekt. Täckpulsstörning är ett exempel på smart brus. Andra exempel är då en repeterstörare sänder tillbaka kant till kant liggande ekokopior med omkastad pulskod. Detta kommer i radarn att uppfattas som ett smalbandigt brus.

Vilseledande störsändning

Repeaterstörsändare

Vilseledande störsändning utgörs ofta av repeterstörsändning. Ordet repeterstörning härstammar från repetera dvs upprepa.

En repetersändare i sin enklaste form består av en förförstärkare, minne, blandare, slutförstärkare samt någon form av styrdator. En ändå enklare typ av störsändare är den s k ekoförstoraren vilken endast består av mottagarantenn, förstärkare och sändarantenn. Skillnaden mellan repeterstöraren och ekoförstoraren är alltså att ekoförstoraren saknar minne och förmåga att tillföra pulsen någon falsk information. Ekoförstoraren skickar alltså bara ut *en* förstärkt kopia av varje mottagen puls. Med en mindre förändring kan signalen förlängas för att skapa täckpulsstörning (se föregående avsnitt).

Den enklaste störformen för en repeterstörsändare är att skapa falska ekon i avstånd. Repeterstörsändaren tar då emot radarstationens puls och lagrar den i ett minne. Därefter spelar störsändaren upp den inspelade pulsen upprepade gånger vilket får till följd att ett antal falska pulser skapas. Repeterstörsändaren kan eventuellt före den skickar tillbaka pulsen påföra

den en falsk information t ex en dopplerfrekvens vilket kan ge radarn en felaktig uppfattning om målets hastighet.

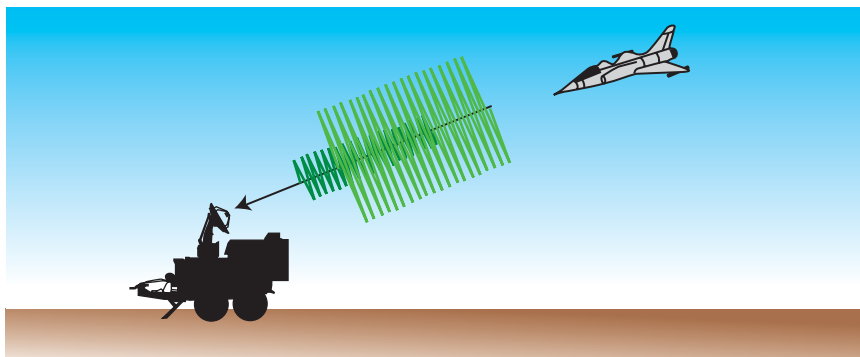


Bild 4:123. Repeterstörning. Skrovekot når alltid radarn först, men tidsskillnaden mellan skrovekot och det falska ekot kan göras mycket kort.

En puls som passerat en repeterstörare är alltid något fördröjd jämfört med radarekot (det s k skrovekot). Om så önskas kan, med dagens teknik, fördröjningen göras mycket kort (ca 10 meter).

Repeterstörning kräver lite uteffekt av en störsändare. Det beror främst på två orsaker.

- Störningen sker automatiskt på rätt frekvens, med rätt bandbredd och i förekommande fall med rätt pulskod eftersom störsändaren nyttjar radarstationens ”egna” utsändande pulser som kopieras.
- Genom att störningen är pulsad blir medeleffekten låg även om själva pulsen har hög effekt. Hur stor medeleffekten blir beror bl a på hur många pulser störaren vill skicka ut varje gång den belyses. Jämför t ex PS-90 som har 12 kW pulseffekt men bara ca 200 W i medeleffekt eftersom tiden mellan pulserna är lång.

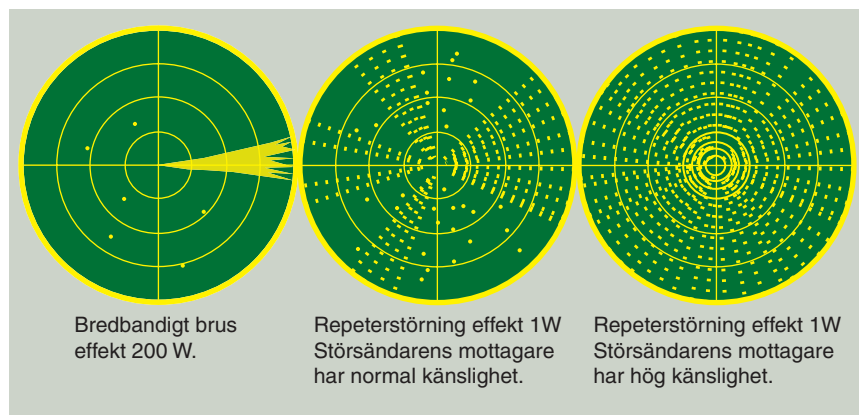


Bild 4:124. PPI-bilder vid olika typer av störning.

Exempel 4:10

En radarstation har mottagarbandbredden 1 MHz.

Antag att man med en brusstörare tvingas att störa bredbandigt, med bandbredden 500 MHz och det krävs 1000 W för att uppnå ett visst resultat dvs 2 W/MHz.

Med hjälp av en repeterstörare kopieras radarpulsens bärvågsfrekvens och bandbredd (1 MHz). Repeterstöraren kan nu uppnå samma resultat med endast 2 W uteffekt, genom att störningen sker mot precis rätt frekvens.

Den stora minskningen av energibehovet vid användning av repeterstörarsändare leder till mycket stora skillnader i kostnader för slutsteget i störsändaren. Om det är ett flygburet system minskas behovet av kraft och kylning radikalt. Om kylmaskinen kan tas bort klarar sig systemet med mindre effekt från flygplanet. Dessutom minskar vikten och volymen. Störsystemet kan då placeras ombord på flygplanet istället för i en kapsel, eller kan placeras i en UAV.

Analogt radiofrekvensminne – FML

De första minnena bestod av förstärkare med en återkopplad kabelslinga, genom vilken radarpulsen fick fortplanta sig. Ett sådant minne kallades för cirkulerande minne (Frequency Memory Loop – FML). Ju längre kabelslinga desto längre fördröjning. Efter varje cirkulation tas beslut om pulsen ska sändas ut eller fortsätta att cirkulera för att sändas ut vid ett senare tillfälle. Det går också att sända ut en puls efter varje cirkulation så att ett pulståg skapas.

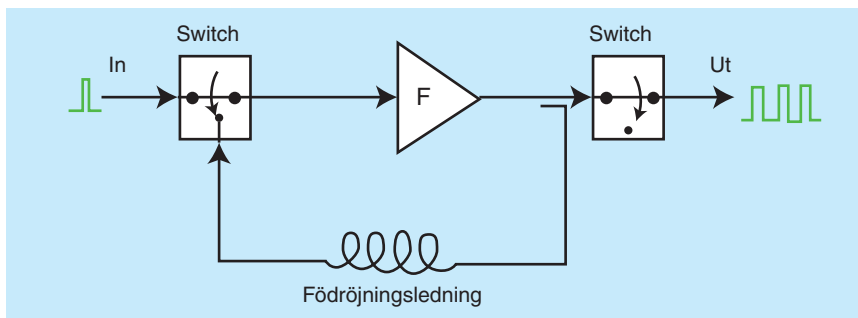


Bild 4:125. Cirkulerande minne (FML). Äldre typ av frekvensminne.

Nackdelen med dessa minnen är att de blir volymmässigt stora, då det för varje mikrosekunds fördröjning går åt 200-250 meter kabel. Dessutom fås en ökad brustillväxt och distorsion av pulsen för varje cirkulation. Detta är ett stort problem vid störning mot koherenta radarstationer som t ex UndE-23.

Digitalt radiofrekvent minne – DRFM

Moderna system innehåller digitala radiofrekventa minnen (DRFM) vilka i stort sett kan lagra en exakt kopia av en signal under obegränsad tid, utan att signalen förvanskas.

Utvecklingen går mot fler och fler koherenta radarstationer (t ex puls-kompressionsradar som UndE-23, PS-90 och PS-91). För att kunna generera falska ekon mot denna typ av radar krävs DRFM, eftersom dessa kan kopiera signalens fasläge och pulskod. Störsignalerna ser ut och behandlas i radarn som riktiga ekon.

I början av 1980-talet startade utvecklingen av DRFM. Ett DRFM nyttjar digital samplingsteknik (jämför sampling inom musiken) och kan under obegränsad tid lagra en mycket bra kopia av den verkliga pulsen. Kopian kan sedan användas för att skapa ett stort antal falska ekon. DRFM var inledningsvis mycket dyra, men genom teknikutvecklingen på det digitala området har priserna kunnat minskas. Det är ingen överdrift att påstå att det ökande nyttjandet av DRFM i störsändare och signalspaningsutrustningar är ett av de främsta hoten mot radarstationerna.

Ett DRFM kan spela in och lagra en radarpuls godtyckligt länge utan att pulsen förändras.



Bild 4:126. Ett DRFM lagrar radarpulsen digitalt före återutsändning.

Ett DRFM består av följande huvuddelar

- S/H-krets (sämpel- and holdkrets)
- A/D (analog/digital) omvandlare
- DRFM-minne (lagring)
- D/A (digital/analog) omvandling.

Dessutom brukar systemet innehålla två blandare och en oscillator samt några filter.

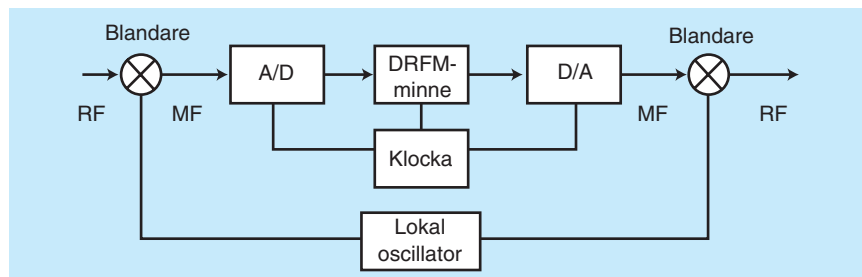


Bild 4:127. Princip för hur DRFM lagrar och återutsänder en frekvens.

Radarsignalens frekvens (RF) tas emot och blandas ner till en lägre mellanfrekvens (MF) med hjälp av en lokaloscillatorsignal. Signalen A/D omvandlas och lagras sedan i ett RAM-minne. Då signalen ska sändas ut omvandlas den till en analog signal via en D/A-omvandlare. Signalen (MF) får sedan passera en blandare där den transponeras till rätt frekvens (RF). Slutligen skickas signalen ut via någon form av förstärkare.

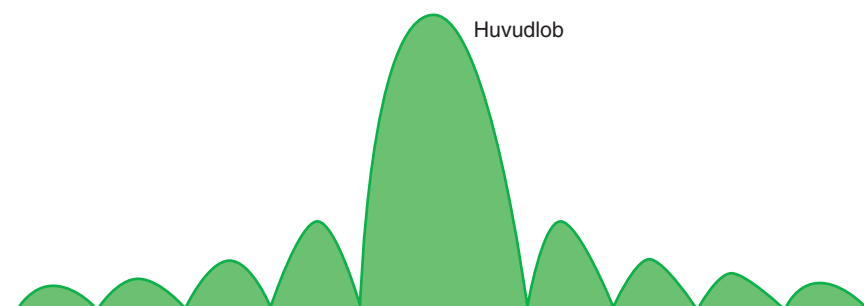


Bild 4:128. Störsändarmottagarens förmåga att detektera radarns huvud- och sidolober är avgörande för förmågan att generera störsignaler.

En intressant egenskap hos störsändare med DRFM är att det inte är störsändarens uteffekt utan dess mottagarkänslighet som avgör hur bra systemet är. Då störaren belyses av radarns starka huvudlob har den ofta inga problem att "spela" in den mottagna pulsen. Om repeterstöraren befinner sig långt borta och/eller radarn har små sidolober kan signaleffekten bli för låg för att störsändarens mottagare ska kunna uppfatta radarpulsen. Den utsända falska pulsens effekt räcker normalt sätt alltid till eftersom radarn letar just efter denna typ av signal.

Med tillräcklig känslighet hos mottagaren kan en radar detekteras hela varvet runt och en mängd falsk ekon skapas i alla riktningar. Mängden falska mål kan bli så stort att radarn inte hinner med att databehandla och plotta alla falska mål. Operatören får dessutom problem att hitta och följa nya mål i denna enorma mängd falska plottar.

Bandbredd

Med systembandbredd avses den bandbredd som det är möjligt för hela störsystemet att arbeta inom. T ex är det vanligt att störsystem för egen-skydd har en systembandbredd på 2-18 GHz. Arbetsbandbredden kan vara ett radarband t ex X-bandet, den bestäms om det är kvalificerat i vissa fall av operatören före uppdraget. Ett system kan ha flera parallella arbetsbandbredder .

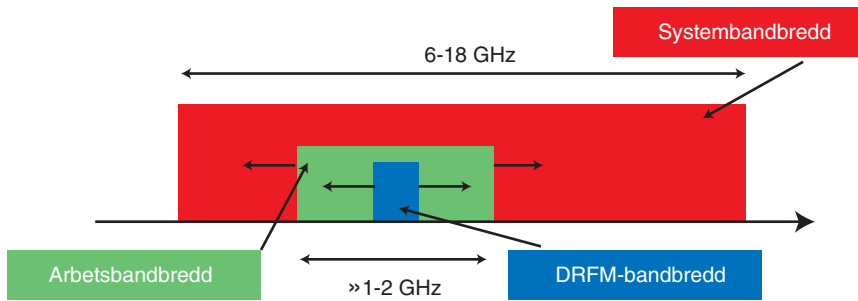


Bild 4:129. Bandbreddsbegrepp.

Den momentana bandbredden är den bandbredd som DRFM:et lyssnar/störsänder mot. Den momentana bandbredden brukar ligga mellan 50-500 MHz. En nackdel med en mycket stor momentan bandbredd är att DRFM lagrar och repeterar både starka och svaga signaler inom bandet utan urskiljning. Om ett mindre flyttbart bandbreddsfönster används finns möjligheten att flytta det aktuella bandbreddsfönstret. Detta kan vara ett sätt att undvika signaler som inte ska störas.

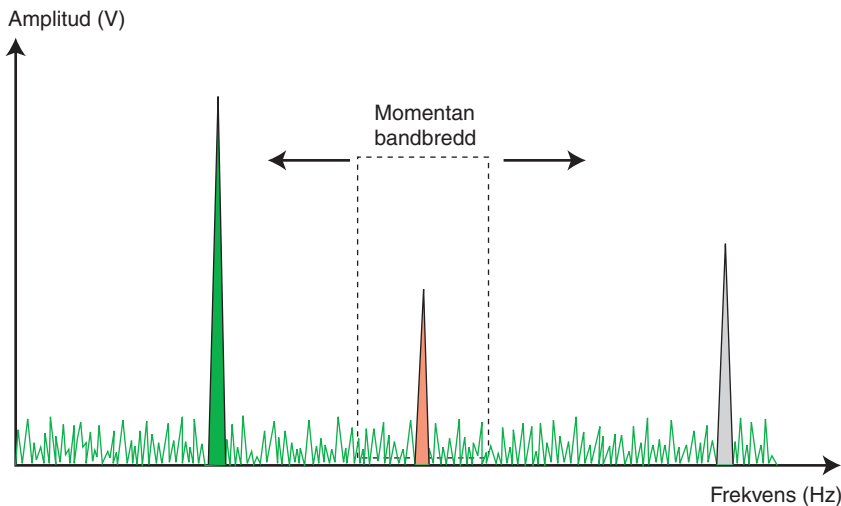


Bild 4:130. Ett mindre flyttbart bandbreddsfönster. Detta underlättar när det finns starka signaler som inte ska störas.

Utvecklingen av DRFM går mot att de får större och större momentan bandbredd. Troligtvis kommer utvecklingen att stagnera kring 200-500 MHz dvs DRFM kan lagra alla typer av signaler inom ett 200-500 MHz brett frekvensområde. Om det krävs en större momentan bandbredd, kan flera parallellkopplade DRFM användas.

Annat nyttjande av DRFM

Utveckling pågår av skyst radar, vilken ska vara mycket svår att upptäcka med hjälp av signalspaningsutrustning. Radarstationen sänder ut en lång radarpuls med lågeffekt.

Pulsen kodas med en slumpmässig faskod (Pseudorandom Code). Ett DRFM i radarn nyttjas för att exakt minnas hur den utsända pulsen såg ut. När ekot kommer tillbaka kan radarstationen med hjälp av innehållet i DRFM genomföra pulskompression och på så vis förstärka de mottagna ekon och förbättra avståndupplösningen.

Fördelen med skyst radar är att motståndarens signalspaningsutrustning kommer att få svårt att skilja radarpulsen från vanligt brus. Detta innebär att han inte märker att han är belyst av en radar och följaktligen inte vidtar några motåtgärder.

Allt bör inte repeteras

En störutrustning får inte repetera alla radarsignaler utan bara de som utgör ett hot. Varje typ av radar måste dessutom påverkas med olika former av falsk information för att få optimal störverkan. Mot en spaningsradar räcker det kanske med att skicka ut kopior av den mottagna pulsen medan mot en eldledningsradar så måste pulsen kanske påföras falsk information. Att korrekt analysera en stor mängd olika signaler ställer stora krav på mottagaren och hotbiblioteket.

Svårigheterna att störsända effektivt ökar därför i betydande grad om det finns flera radarstationer i samma område.

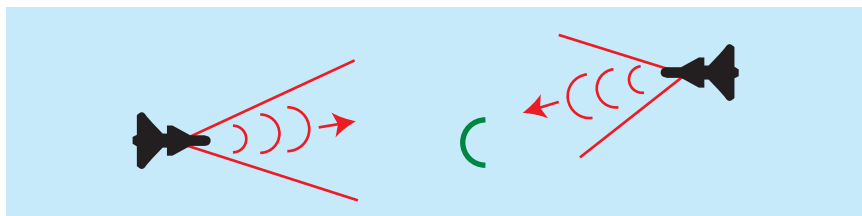


Bild 4:131. Störsändarna kan riskera att störa varandra.

Ett annat problem är om det finns flera störsändare i ett flygförband hur hindrar man då att repeterpulserna från en störsändare uppfattas som pulser från en radar (de är exakta kopior) av de andra störsändarna. Risk finns att störsändarna stör varandra. Ett sätt att undvika detta är att ha en form av tröskelnivå i störsändarens mottagare. En puls från en annan störsändare som inte är riktad rakt mot dess egen antenn (dvs antenn mot antenn) kommer att vara för svag för att störsändaren ska välja att förstärka den. Nackdelen med denna metod är att störsändarna då också får problem med att skapa falska ekon i radarns sidolöber.

Ovanstående exempel visar att det kan vara stor skillnad på vilken störverkan som kan uppnås vid övningar mellan en störsändare och en radar jämfört med verkliga taktiska scenarior med många radarstationer och flygplan.

Falska ekon

Om störsändaren spelar in den mottagna pulsen och spelar upp den ett antal gånger skapas falska ekon. Detta är den enklaste formen av repeterstörning eftersom ingen falsk information behöver tillföras signalen.

Falska ekon ger troligtvis inte någon störbäringsindikering i radarstationen. Radarn gör en mätning i varje riktning för att fastställa en störbärning. Denna mätning sker dock på ett bestämt avstånd i slutet på varje svep. Om det inte skulle finnas ett falskt eko just på denna position (under ett par antennvarv) så uppstår ingen störbärning. Operatören får istället uppskatta riktningen med hjälp av läget på de falska målen.

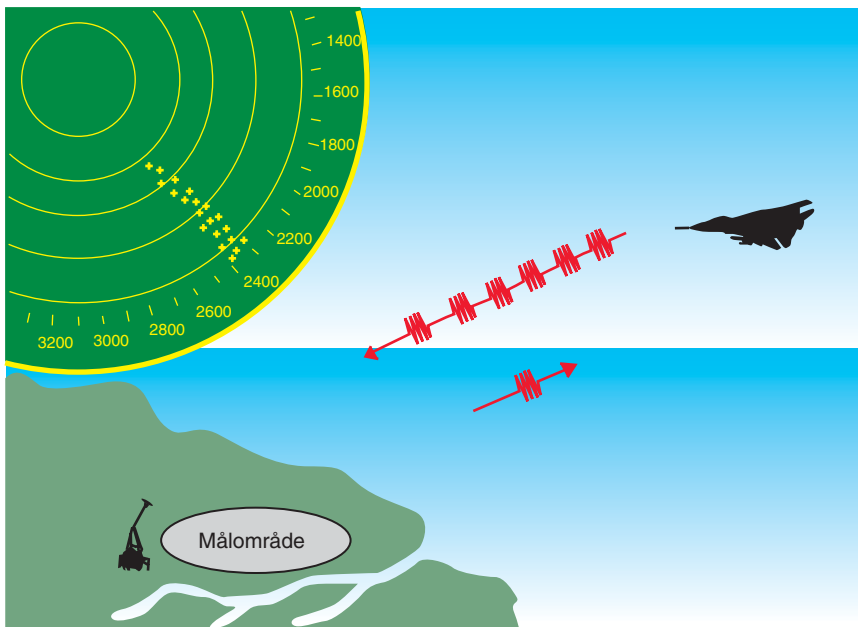


Bild 4:132. Falska ekon.

Mot en konventionell spaningsradar skulle en DRFM störsändare i princip kunna lägga ett falskt eko per avståndsfälla (halva radarns pulslängd). Men detta kräver högre medeleffekt och arbetsfaktor hos störsändaren. Av radarn skulle detta uppfattas som en kontinuerlig (smalbandig) brusignal (s k smart brus). Ur störsändarens synpunkt är det oftast bättre att ha ett tidsmellanrum mellan pulserna. Störsignalerna uppfattas då som verkliga

4. Telekrigföring

ekon varvid radarns databehandling snabbt kan bli överbelastad, dessutom sjunker kravet på störsändarens medeleffekt och arbetsfaktor.

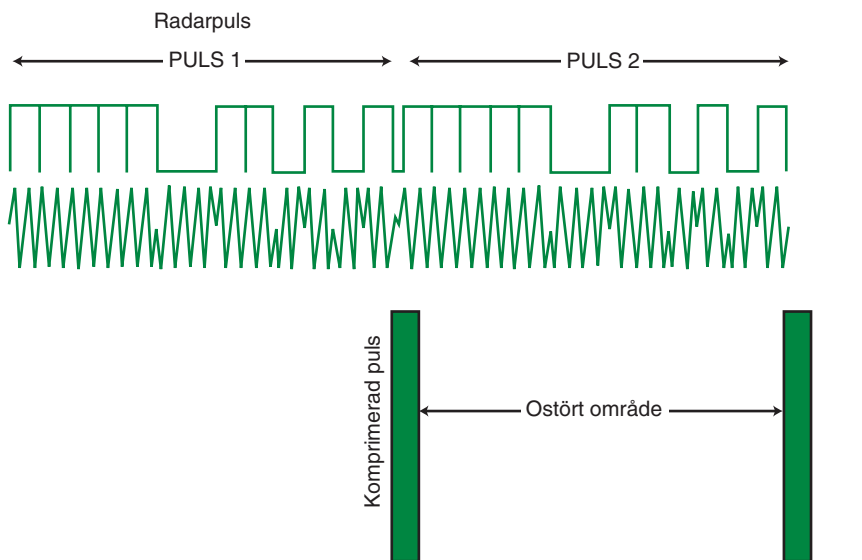


Bild 4:133. Störsändning mot pulskompressionsradar. (Anders Eneroth, FOI)

En radar som arbetar med pulskompression sänder ut långa kodade pulser. I radarmottagaren komprimeras sedan pulserna varvid amplituden ökar samtidigt som pulslängden minskar. Längden på avståndsfällorna kommer i en binärfaskodad radar att bestämmas av subpulslängden. För att störsändaren ska skapa en störsignal med maximal amplitud i radarn så ska den kopiera och sända ut radarns hela puls (bild 4:134). När den första kopia sänts klart kan den börja sända ut nästa kopia. I radarns pulskompressionsfilter trycks pulserna ihop till längden av en subpuls. Mellan de komprimerade pulserna kommer det då att uppstå ostörda områden. I de ostörda områdena kan radaroperatörerna följa verkliga mål.

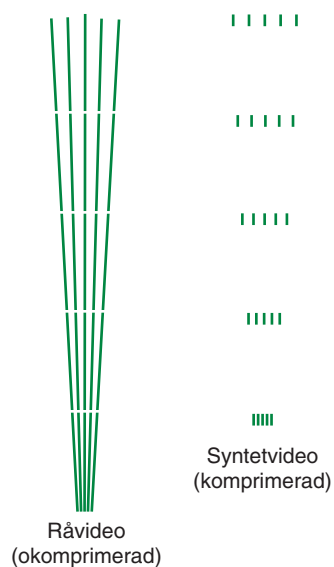


Bild 4: 134. Störpulser före och efter pulskomprimering. På syntetvideon uppstår ostörda områden mellan de komprimerande pulserna.

Genom bara kopiera halva radarns puls kan störsändaren placera ekona dubbelt så tätt. Nackdelen är att ekoamplituden halveras. I bäringsled bestäms hur tätt ekona placeras av hur många pulser radarn normalt sett behöver integrera för att säga att där finns ett mål. Ett grovt mått är ca 1/2-1 antennlobbredd mellan ekona. Genom att gradvis förskjuta ekona i avstånds- och bäringsled kan de ostörda områdena på PPI göras mindre och målföljningen försvåras.

Om det finns en stor mängd ekon kommer operatören att få problem att avgöra hur många verkliga flygplan det finns inne i störningen. Om operatören väljer STAGGERED PRF så kommer störsändaren få svårt att skapa falska ekon framför sin egen position. Operatören kan då målfölja på främsta flygplanet. Dock är det fortfarande svårt att veta hur många fler flygplan som döljs i störningen.

Om tillräckligt många falska ekon kan skapas, förutsatt att störsignalerna kringgår radarns störskyddskriterier, kommer radarns signal- och databehandling blockeras i den störda riktningen. Detta kan leda till att i den riktning som störaren befinner sig i så finns det inga ekon alls på indikatorn.

Repeterstörning syns inte i en passiv radar

Antag att en radar är utsatt för repeterstörning. En bit därifrån finns en passivt spanande radar. Den passiva radarn kommer inte att upptäcka repeterstörningen beroende på att störsignalerna är mycket smalbandiga med bara den sändande radarns frekvens. Om inte den passiva radarn har exakt samma frekvens kommer den inte att uppfatta några ekon.

Observera att även om två radarstationer väljer t ex frekvens F2 så behöver inte detta innebära att de sänder på samma frekvens eftersom frekvensoscillatorerna i radarna är individuella.

Skulle störningen mot all förmodan ske mot den radartysta stationens frekvens så skulle det teoretisk kunna uppstå ett helt slumpvis mönster av störpulser. Det beror på att störpulserna inte är synkroniserade med varandra när stationen ritar sina svep på indikatorn. I praktiken skulle dessa störpulser troligtvis inte presenteras eftersom de skulle undertryckas av signalbehandlings integrator.

Konstant PRF kan medge falska ekon framför störsändaren

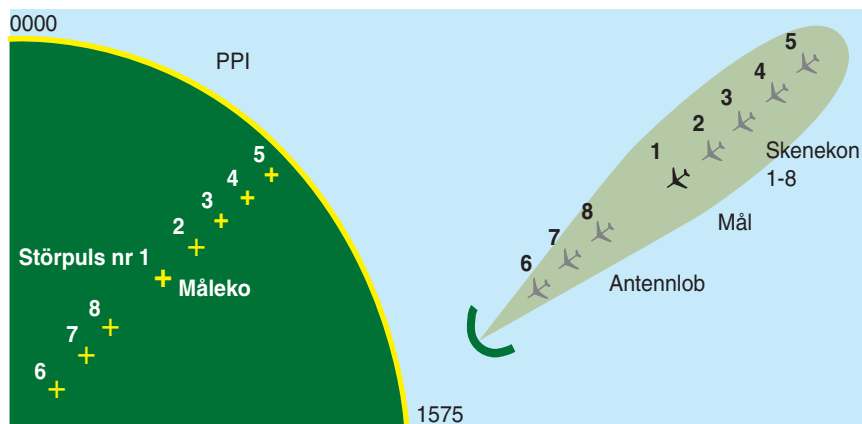


Bild 4:135. Falska ekon. Konstant PRF.

Antag att en radar använder konstant PRF samt använder fixfrekvens och inte ändrar sin pulskod.

Då ett flygplan utrustat med en repeterstörare nås av en radarpuls uppstår först ett skroveko (då radarpulsen studsar mot flygplanet). Därefter börjar störutrustningen att skicka ut en begränsad mängd falska ekon. Oavsett störpulserna, kommer det första ekot som når radarn att vara det riktiga ekot från flygplansskrovet. Störaren finns alltså längst fram bland de falska ekona.

Antag att repeterstöraren fortsätter att skicka ut falska ekon och radarn skickar en ny sändpuls på samma frekvens. Nu kommer en ”gammal” störpuls, som når radarn strax efter det att sändpulsen sänts iväg, att presenteras som ett mål på kort avstånd. Nästa störpuls blir ett mål på lite längre avstånd osv. Jämför med andragångsekon. När flygplanet nås av den nya pulsen, uppstår som tidigare ett skroveko, men nu finns det redan en mängd falska ekon innanför dess position. Störsändaren kan nu på nytt spela in den nya pulsen och förloppet kan upprepas.

Viktigt att notera är att störsändaren måste skapa de falska ekona på ungefär samma avstånd (i samma avståndsfälla) från gång till gång. Om ekona hamnar på olika avstånd efter varje svep kommer radarns signalbehandling att plocka bort dem. På samma sätt som radarn kan undertrycka andragångsekon.

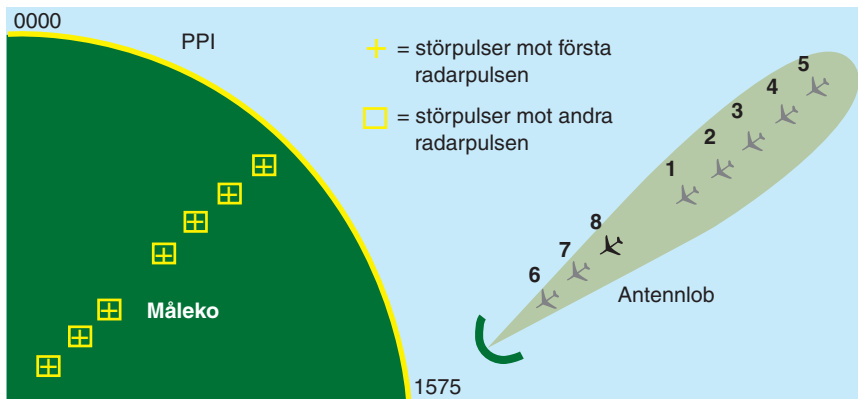


Bild 4:136. Konstant PRF.

Staggered PRF förhindrar falska mål framför störsändarens position

Radarn byter till staggered PRF, dvs ändrar tiden mellan varje sändpuls.

Precis som tidigare kan repeterstörsändaren skapa falska ekon bakom sig. När störsändaren når av en puls väntar den t ex 10 ms före den skickar ut första störsignalen. Därefter ytterligare 10 ms osv på så vis skapas falska ekon på samma avstånd mellan varje sändpuls. Men det här fungerar bara fram till "avståndsområdets slut". Anledningen är att då staggered PRF används så varierar tiden mellan varje sändpuls hos radarn.

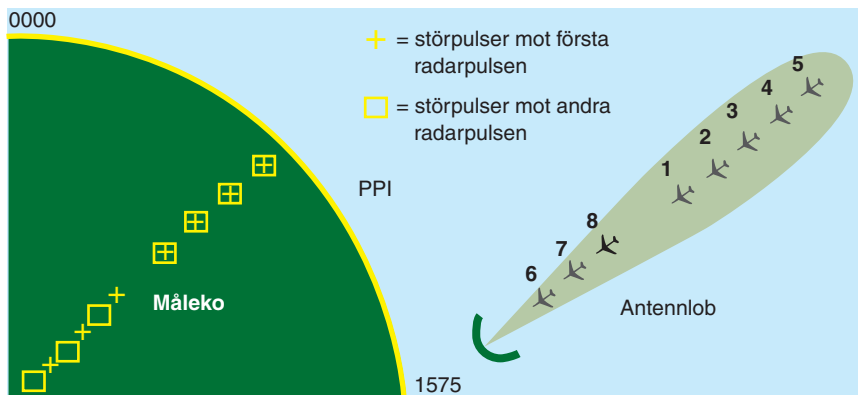


Bild 4:137. Staggered PRF. Tiden varierar mellan varje puls. Störsignalerna framför störsändaren hamnar inte på samma position mellan varje puls.

För att lyckas generera falska ekon som hela tiden hamnar på samma avstånd framför sin egen position, måste störsändaren veta när nästa radar-puls sänds, så att en störsignal t ex alltid når radarn 10 ms efter radarns sändpuls, nästa störsignal efter ytterligare en viss tid osv.

Det vore ett olösbart problem för störutrustningen att veta när radarn ska sända, om radarn slumpmässigt byter avståndet (dvs ändrar tiden) mellan sändpulserna. Men tyvärr har radarstationerna oftast ett begränsat antal staggersintervall att välja på. Äldre radarstationer kanske har fyra intervall att välja på, vilka upprepas i en bestämd ordning. Anledningen till att staggeringen inte är slumpvis är att detta skulle ge problem med dopplerfiltren som ska ta bort markekon. Om tiden mellan sändpulserna hos radarn var 80, 110, 90, 120, 80, 110, 90, 120, 80...ms, Så skulle det inte krävas stor intelligens hos en störsändare för att analysera mönstret för sändningstidpunkten. Om störutrustningen vet när stationen kommer att sända, kan den justera sina sändpulser så att de alltid hamnar på ungefär samma avstånd hos radarn.

Nyare stationer brukar ha betydligt komplexare staggeringsmönster än de äldre radarstationerna. De byter dessutom frekvens mer eller mindre slumpmässigt efter en viss tid.

Om det finns flera radarstationer som sänder torde det vara mycket svårt för en störsändare att hinna analysera staggringscyklerna och generera falska ekon framför sin egen position.

För att få skydd mot falska ekon innanför störarens position gäller det för radarn att så slumpvis som möjligt förändra olika parametrar mellan sändpulserna t ex

- slumpvisa eller åtminstone ett stort antal olika staggeringsintervall
- byta pulskod (UndE-23 har denna möjlighet)
- byta frekvens mellan varje puls (PS-91 och UndE-23).

Man bör här vara medveten om att ju fler parametrar som förändras i radarn desto sämre blir dess markekoundertryckning.

Störformer mot eldledningsradar

En eldledningsradar skiljer sig normalt sett från en spaningsradar genom att den hela tiden ska peka med antennloben på målet. Radarn ska dessutom kontinuerligt bestämma målets avstånd eller hastighet. Om radarn inte kan mäta avståndet eller hastigheten hos målet, t ex p g a stark brusstörning, så kan vapensystemet i vissa fall ändå komma till verkan om antennen fortfarande kan peka ut riktningen. Vid brusföljning följer antennen den starkaste signalkällan (störaren) systemet blir då en enkel SSARB. Det mest optimala ur skyddssynpunkt är därför att försöka få eldledningsradarn att mista förmågan att peka ut riktningen till målet.

Som vi snart ska se så kan man lite tillspetsat säga att även avstånds- och hastighetsavhakning har till uppgift att få radarn att tappa målet i vinkelled. Detta kan ske genom att få radarn att låsa över på t ex sken-, mark- eller remsekon så att den tappar sin förmåga till vinkelföljning.

Avståndsavhakning (Range gate walk off)

Avståndsavhakning används mot eldledningsradar till kanonluftvärnssystem t ex på fartyg, sjömålsrobotar m m för att få systemen att prediktera en felaktig framförhållning eller låsa över på något felaktigt eko (t ex ett remsmoln).

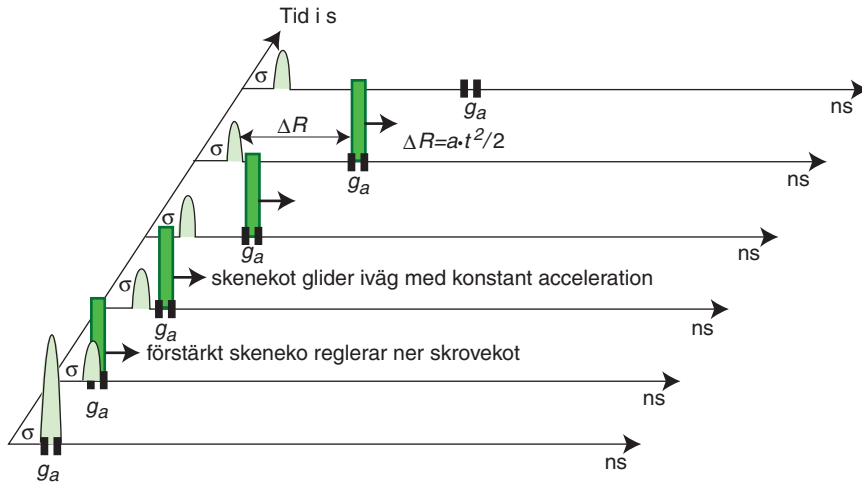


Bild 4:138. Princip avståndshakning (källa Per Hyberg).

g_a = avståndsskivning och σ = skroveko ΔR = avståndsskillnad.

Avståndsavhakning sker i tre steg.

1. Minska förstärkningen.

Störsändarens första uppgift blir att dölja det verkliga ekot för radarn. När radarns puls når flygplanet kommer störsändaren att skapa en stark puls som med så lite fördröjning som möjligt sänds tillbaka till radarn. Radarns AKR-kretsar kommer att uppleva det som den fick ett ovanligt bra ekosvar. AKR (Automatisk KänslighetsReglering) påverkar mottagarens förstärkning och kan jämföras med volymkontrollen på en hörapparat. AKR-kretsarna kommer då att minska förstärkningen vilket till slut får till följd att radarn inte längre kan uppfatta det svaga skrovekot. Eventuellt kan störsändaren lägga ut en bruspuls för att hjälpa till att dölja skrovekot.

När skrovekot inte längre syns är det dags för nästa steg.

2. Fördröj störpulsen.

Störsändaren skickar nu inte längre tillbaka sin störpuls samtidigt som radarpulsen anländer, utan den får istället gå in i störsändarens minne och fördröjas något före den sänds ut.

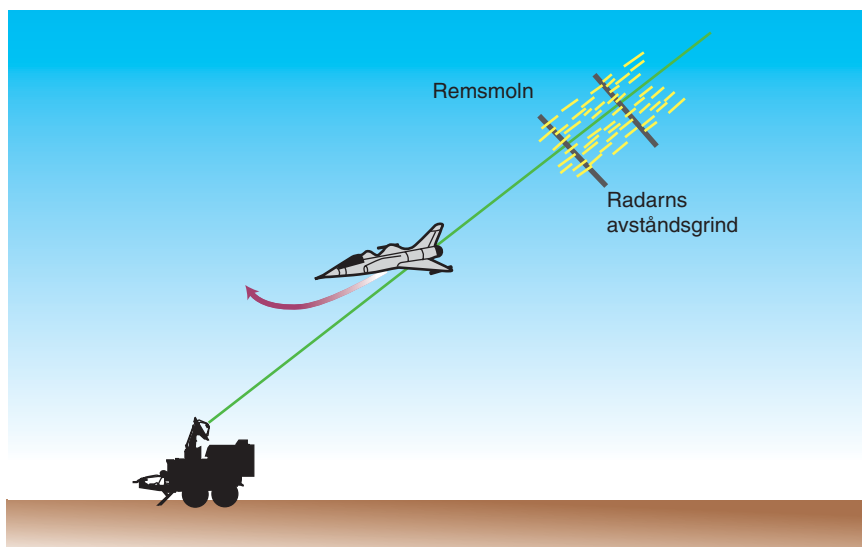


Bild 4:139. Avståndshakning och remsor. Flygplanet avståndshakar, släpper remsor samt gör undanmanövrer. Syftet är att radarn ska låsa över på remsmolnet så att radarn även tappar vinkelföljningen.

För varje ny puls ökar störsändaren fördröjningen mer och mer.

Radarn kommer tro att målet finns rakt bakom det verkliga målet på ett längre avstånd än vad det verkligen är.

3. Avbryt störsändningen.

Störsändaren avbryter slutligen störningen. Radarn kommer nu att tappa följningen helt eftersom den skruvat ner sin känslighet via AKR:en så mycket att den inte kan detektera skrovekot. Radarn kommer nu gå i minnesföljning och leta efter ekot på det senaste (och felaktiga) avståndet. Minnesföljning pågår i ca 5-10 sekunder. Därefter måste radarn börja ett spaningsförlopp i avstånds- och eventuellt även vinkelled för att hitta målet. Troligtvis kommer detta att ta ytterligare ett antal sekunder. Flygplanet bör kombinera avståndsavhakningen med undanmanövrer så att när radarn börjar leta efter målet så finns inte flygplanet längre i samma riktning.

För att ytterligare fördröja radarns återlåsning kan motståndaren lägga ut ett remsmoln på det avstånd där avståndsgrinden befinner sig då störsändaren stängs av. Radarn kommer då eventuellt att låsa över på remsmolnet.

Om radarn trots allt lyckas återfånga flygplanet kommer störsändaren att upprepa förloppet.

Skydd mot avståndsavhakning kan vara att

- signalbehandlingen inte accepterar att ett måleko accelererar onormalt fort

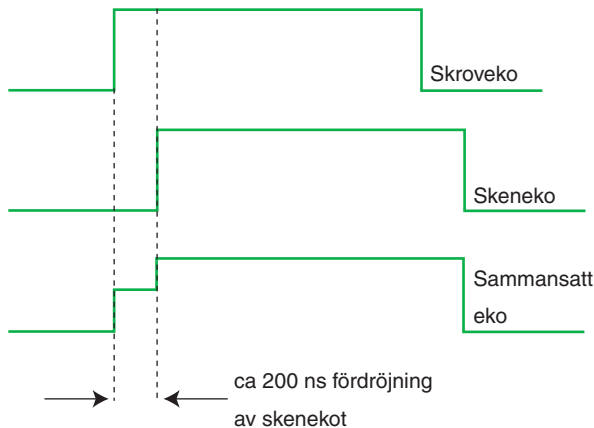


Bild 4:140. Framkanten av skrovekot kommer alltid fram först.

- radarn har hög upplösning och klarar av att upptäcka den mycket lilla tidsskillnaden mellan det verkliga målekoet och den alltid något fördröjda falska pulsen (bild 4:140)
- kretsar som larmar då ekostyrkan ökar onormalt fort (vilket sker i början av avhakningsförloppet)
- Staggered PRF, om Staggered PRF används blir det svårare att skapa avhakning inåt (dvs att det falska målet befinner sig på kortare avstånd än det verkliga)
- manuellt följa målekoet, det är svårare att lura en operatör än radarn
- dessutom bör systemet vara utrustat med möjligheter att använda annan avståndsinformation t ex från srr eller laser
- låta två radarstationer låsa på målet samtidigt.

Hastighetsavhakning (Velocity gate walk off)

Vissa typer av radarstationer t ex PE-542, och vissa jaktradar är dopplerföljande. De har alltså förmågan att följa på målets hastighet. Principen är att dessa stationer registrerar den frekvensändring (dopplerfrekvens) hos ekot relativt radarns sändfrekvens som ett rörligt mål ger upphov till. Ju större hastighet desto större förändring av ekosignalens frekvens. Fördelen med dessa typer av radarstationer är bl a att de har mycket bra förmåga att undertrycka markklotter.

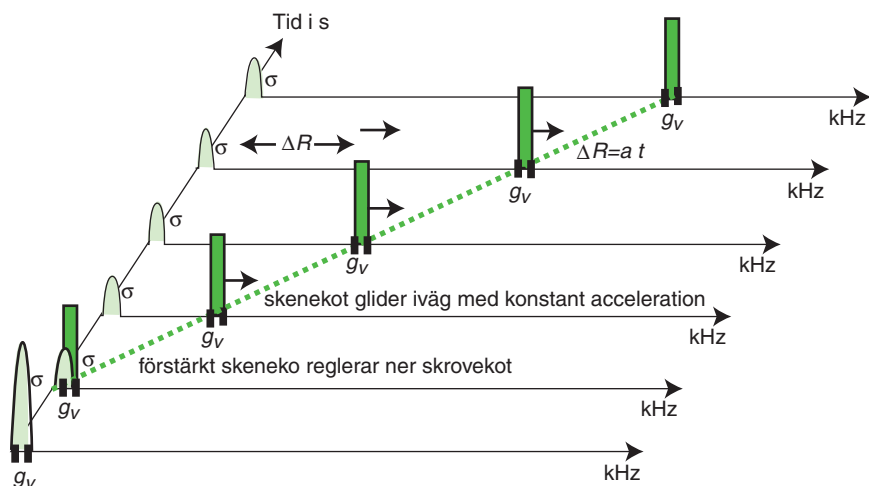


Bild 4:141. Hastighetsavhakning (källa Per Hyberg).
Där g_v = avståndsgrend ΔR = hastighetsskillnad och σ = skrovekot.

Principen för hastighetsavhakning är snarlik den vid avståndsavhakning med den skillnaden att här påverkar störsändaren signalens dopplerfrekvens dvs ekots hastighet. Detta kan ske i tre steg.

- *Minska förstärkningen.* Först ska störsändaren ekoförstora (dvs skicka tillbaka en signal starkare än skrovekot) för att radarns AKR-kretsar ska minska mottagarens förstärkning.

Det bör ske så försiktigt som möjligt, så att varken radaroperatören eller någon störskyddskrets i radarn märker det.

- *Falsk dopplerfrekvens.* Därefter ska störsändaren på ett naturligt sätt förändra frekvensen i den återutsända störsignalen. Radarn kommer uppfatta detta som att flygplanet ändrar sin hastighet.
- *Avbryt störningen.* Slutligen när radarn följer på helt fel hastighet stängs störsändaren av. Radarns följekretsar går då över i minnesföljning några sekunder för att sedan på nytt försöka fånga målet. Härvid får flygplanet tid att göra undanmanöver så att även vinkelföljningen tappas.

Det är lämpligt att störsändaren försöker hastighetsavhaka mot lägre hastigheter. När noll-doppler nås (dvs samma hastighet som markekona) stängs störsändningen av och risken ökar då att radarn låser över på markekona.

Radarkonstruktören kan å sin sida motverka detta genom att vid mål-ekoförlust låta hastighetsgrinden svepa från den sist uppmätta dopplerfrekvensen mot högre frekvenser. På detta sätt kommer grinden relativt snart återlåsa på skrovekot om inte flygplanet hunnit göra undanmanöver. För att ytterligare försvåra kombineras ofta hastighetsavhakning med såväl undanmanöver och remsfällning.

Skydd mot hastighetsavhakning kan ske genom

- manuell hastighetsföljning
- accelerationsbegränsning, radarn följer inte med mål som accelererar onormalt fort
- hastighetsinformation från spaningsradar (vilken beräknar hastigheten genom att mäta tiden och målets läge vid minst två tillfällen).

Som tidigare nämnts är det viktigt att radarn inte tappar målet i vinkelled detta kan förhindras t ex med hjälp av någon form av TV-kamera som automatiskt eller med hjälp av operatören följer på målet.

Vinkelavhakning (Angle walk off)

Principer för vinkeluppföljning

Syftet med vinkelavhakning är att antennen ska vridas bort från målet.

De flesta eldledningsradarstationer måste hela tiden peka med antennen mot målet (undantag t ex Arthur som har en elektroniskt styrd antenn). Vid avstånds- och hastighetsavhakning kan oftast en robot ändå bekämpa ett mål även om det får fel information om hastighet eller avstånd. Om däremot antennen inte pekar mot flygplanet så har radarn definitivt tappat målet. Systemet har då inte någon vinkelinformation och därmed inte någon möjlighet att bekämpa målet.

För att kunna styra antennen måste radarn kontinuerligt få information om var målet befinner sig. Så snart målet inte befinner sig rakt framför antennen ska det i radarn bildas felsignaler som via servomotorer vrider tillbaka antennen mot flygplanet.

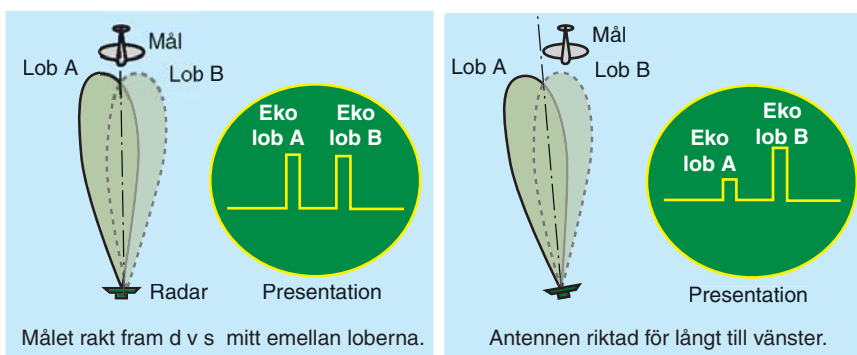


Bild 4:142. Vinkelavhakning.

För att skapa dessa felsignaler använder man sig normalt sett av någon form av amplitudjämförelse. Man riktar växelvis antennen lite över/under samt vänster/höger om målet (bild 4:142). Om alla dessa signaler är lika stora befinner sig målet rakt framför antennen. Om t ex "höger" är något

starkare än de övriga måste antennen vridas åt höger för att signalerna ska bli lika starka och målet hamna rätt. Felsignalerna påverkar ett servosystem som vrider antennen i önskad riktning.

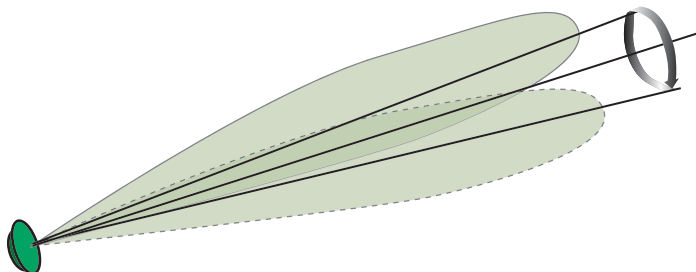


Bild 4:143. Loben nuterar runt antennens siktlinje.

De vanligaste typerna av vinkelföljningssystem är

- nuterande sändar- och mottagarlob t ex Cig 790
- nuterande mottagare t ex PE-542 (RBS 97)
- monopuls t ex RBS 23.

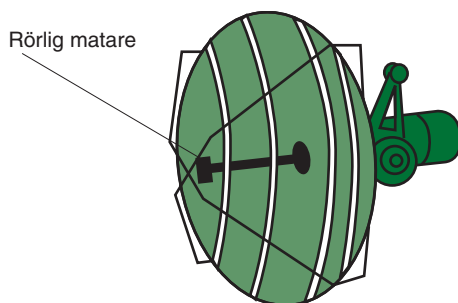


Bild 4:144. Antenn med nuterande sändar- och mottagarlob.

En antenmmatare sägs nutera om dess axel roterar med en liten vinkelavvikelse runt siktlinjen, med bibehållen polarisation.

Nuterande sändare- och mottagarlob är det äldsta systemet. Moderna system har numera ofta monopuls eftersom detta har visat sig vara relativt svårt att störa.

Nuterande sändare och mottagarlob (Conical scan)

Ett av de första metoderna för automatisk vinkelföljning var att använda en nuterande matarantenn (conical scan). I mitten av antenreflektorn sitter den s k mataren ur denna sänds radarpulsen ut och studsar därefter mot antenreflektorn. En motor nuterar mataren vilket får antenloben att svepa runt målet (bild 4:143). Under ett varvs vridning av mataren hinner radarn sända ut hundratals radarpulser.

Exempel 4:11

Mataren nuterar med 50 Hz. Pulsrepetitionsfrekvensen är 5000 Hz.

För att radarn ska få komplett vinkelinformation krävs att mataren nuterat ett varv.

Ett varv för mataren tar $1/50$ s under denna tid sänds $1/50 \cdot 5000 = 100$ pulser.

En vinkelgivare håller reda på vart mataren pekar och lämnar en referensspänning som mått på matarens aktuella vridning.

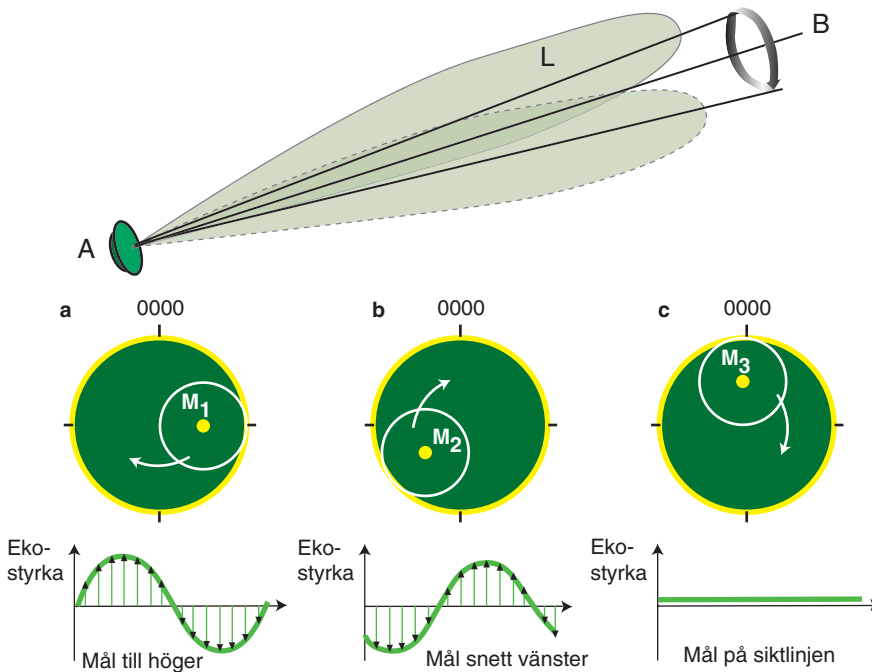


Bild 4:145. Beroende på målets läge kommer den amplitudmodulerade signalen att få olika utseende jämfört med en referensspänning.

Loben L roterar runt axeln AB så att en energikon erhålls. Bild 4:145 visar hur ekopulsstyrkan varierar beroende på var målet ligger i konen.

De större cirklarna motsvarar tvärsnitt av konen och de mindre cirklarna motsvarar tvärsnitt av loben. Målen indikeras med M_1 , M_2 och M_3 . Målet M_1 i bild a ligger 90° förskjutet från 0-läget. När loben roterar erhålls en större signal vid 90° vinkel och en mindre signal vid 270° (se kurvan). Målet M_2 (i bild b) ligger mellan 180° och 270°. Dess signalstyrka ändras som i kurvan. Målet M_3 i bild c ligger på antennens axel. Därigenom blir signalen lika stor för alla lobvinklar. Detta är det önskade tillståndet. Servosystemets uppgift är alltså att vrida antennen så att signalstyrkan är konstant oberoende av lobens vridningsvinkel.

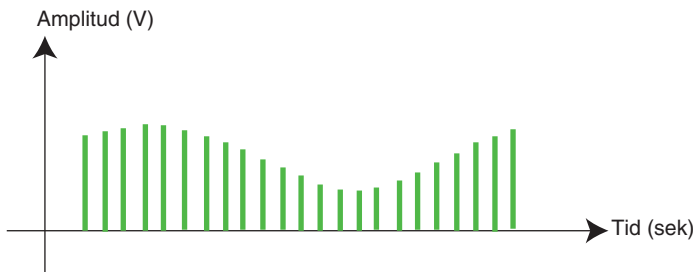


Bild 4:146. Om målet inte ligger på siktlinjen kommer ekoamplituden att variera då mataren vrids ett varv.

För att störsändaren ska kunna vinkelavhaka denna typ av system måste den först mäta upp med vilken hastighet antennens matare nuterar. Detta gör störsystemet genom att mäta frekvensen på de effektvariationer som uppstår i störsändarens mottagare, då antennloben sveper kring flygplanet. Typiska värden är att mataren nuterar med ca 50 varv per sekund.

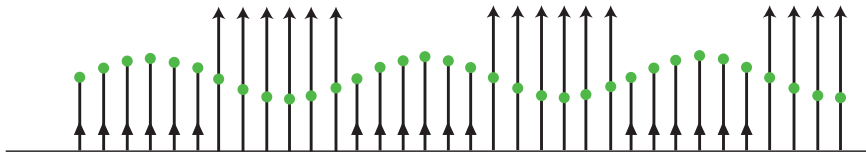


Bild 4:147. Störsändaren skickar tillbaka förstärkta ekopulser under en del av varje varv.

När störutrustningen fastställt varvtalet hos mataren, förstärker den de mottagna radarpulserna under en del av varvet. Radarn kommer då att motta en kraftigare signal varje gång mataren befinner sig i ett visst läge, exempelvis över målet. Radarn kommer då att anta att antennen ligger för lågt och kommer att börja höja antennen. Oavsett hur mycket radarn höjer antennen kommer störpulsens få radarn att tro att den ligger fel. Redan efter någon sekund kan detta leda till att radarn tappar målet.

Det bästa skydd mot vinkelavhakning är att stötta vinkelföljningen med någon form av manuell följlning t ex via periskop (Cig-790) eller IR-kamera på antennen (EldE 23).

Nuterande mottagare (Conical Scan on Reciev Only, COSRO)

För inte störsändaren ska få information om med vilken hastighet mataren nuterar så kan man istället låta endast mottagarantennen nutera. Funktionen är i övrigt i stort sett den samma som vid nuterande matare. Systemet kräver att det finns en stillastående sändarlob och en nuterande mottagarlob.

I mottagaren nuteras mottagarantennen runt målet, om ekosignalerna är lika starka under ett varvs vridning av mottagaren så pekar antennen rätt. Om ekot är starkare vid något visst läge hos mataren bildas en felsignal som får vrida antennen till rätt riktning.

En störsändare får med den här lösningen ingen information om med vilken hastighet nutationen sker. Om störsändaren lägger ut en störpuls med felaktig frekvens, som inte stämmer överens med mottagarens varvtal, så kommer radarn att bli i stort sett opåverkad. Anledningen till detta är att om störpulserna första gången kommer då mottagaren pekar t ex under målet, så kommer vid nästa varvs störpulserna att komma då mataren befinner sig i något helt annat läge. Radarn reagerar inte på signaler under något enstaka varv utan det krävs ett antal pulser under ett antal varv som alla säger att antennen befinner sig t ex för lågt, för att vinkelföljningskretsarna i radarn ska börja reagera. Men eftersom inte störsändaren vet var mottagarloben befinner sig, kan den inte få störpulserna att "hamna på rätt ställe" varje varv. Radarn kan då bibehålla vinkelföljningen.

En möjlig störmetod mot den här typen av radar är att störsändaren börjar med att "gissa" med vilken frekvens som radarns mottagare nuterar, t ex mellan 10-50 Hz. Störsändaren börjar sedan sända ut ett pulståg med en frekvens på 10 Hz ökar efter en stund till 11 Hz osv. När den finner rätt frekvens kommer det att börja rycka i antennen. När störsändaren märker att radarns sändarlob börjar flytta på sig så har den funnit rätt varvtal hos mottagarantennen. Störsändaren stör sedan med ett pulståg med denna frekvens till dess att radarn tappar målet.

För att förhindra vinkelstörning mot COSRO-system kan radarn variera nutationshastigheten hos mataren slumpvis eller enligt något komplicerat mönster. Dessa radarsystem blir då svåra att vinkelavhaka.

Naturliga ekovariationer påverkar roterande system

Nuterande system är inte de mest exakta.

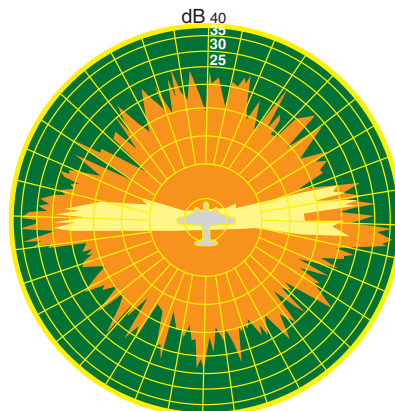


Bild 4:148. "Radarmålarean" från olika vinklar. Reflekterad effekt från ett bombplan, som belyses med en 10 cm radar.

Måleket fluktuerar kraftigt även naturligt. Detta medför att det uppstår amplitudskillnader mellan radarpulserna även om antennen egentligen pekar rätt. Detta leder till att antennen aldrig kommer att stå helt stilla. Fenomenet kallas *vinkelbrus*. För att antennen inte ska reagera på alla måleko-fluktuationer bildas ett medelvärde av ett stort antal mätningar i radarn innan antennen tillåts styra i någon riktning, trots detta finns alltid ett visst litet vinkelbrus kvar.

Vinkelavhakning av monopulsradar

Moderna radarstationer som t ex EldE23 och nosradarn i JAS 39 nyttjar fyra fasta lobers k monopulsteknik för att få vinkelinformation. Radar-energin sänds samtidigt ut genom fyra matare. Ett eko tas sedan emot i fyra mottagarkanalerna vilka är kopplade till matarantennerna. Man skiljer på två principer

- amplitudmonopuls
- fasmonopuls.

Vid en djupare analys av metoderna framgår att de egentligen mer eller mindre är samma sak.

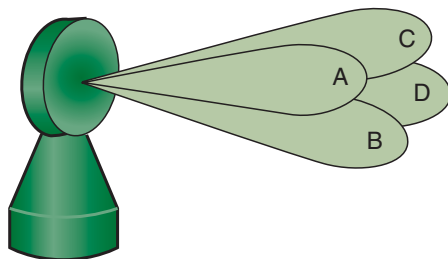
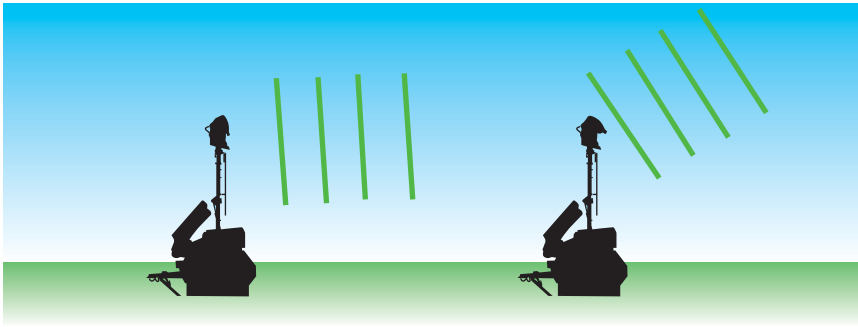


Bild 4:149. Monopulsradar princip.

Hos ett system med amplitudmonopuls är de fyra matarantennerna riktade i något olika riktningar. Antennen pekar rätt när signalen är lika stark i alla fyra mottagarkanalerna.

Vid fasmonopuls är alla fyra matarantennerna riktade i samma riktning. Om någon eller några av mottagarkanalerna nås av signaler där systemets fasläge ligger något före de andra kanalerna vrids antennen till dess att fasläget är samma i alla kanalerna.

Fördelen med monopulstekniken är att en enda radarpuls ger all vinkelinformation om målet. Som tidigare nämnts så kräver systemen med nuterande sändare eller mottagare ett stort antal ekopulser för att ge vinkelinformationen. Monopulssystemen är mer exakta eftersom de inte påverkas av målekovariationerna då all information finns i varje puls.



*Bild 4:150. Monopulsradarns princip.
Antenn vrider sig så att antennplanet är parallellt med vågfronten.*

Monopulsradarn är betydligt svårare att vinkelavhaka än övriga system även om det finns vissa metoder även för detta.

Den bästa metoden är troligen att använda någon form av offboard-störsändare t ex bogserad störsändare, vilken befinner sig i en annan vinkel i förhållande till målet.

Störning av vinkelföljning i monopulsradar, fasfrontstörning (Crosseye)

En av störmetoderna mot vinkelföljningen i ett monopulssystem kallas crosseye eller fasfrontstörning (fasfrontsdistorsion).

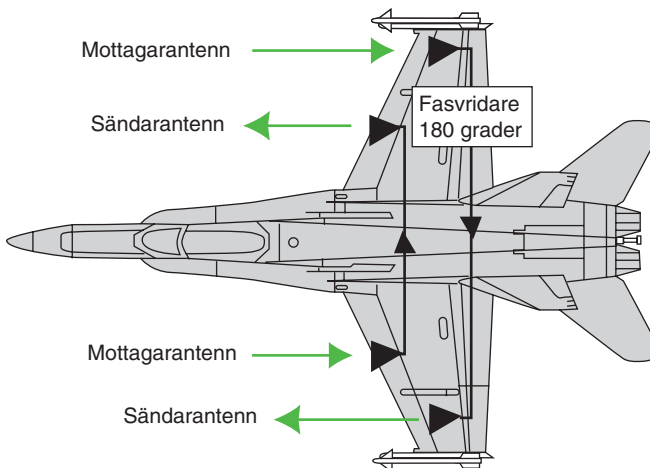


Bild 4:151. Fasfrontsvridning.

Utrustningen placeras i ett flygplan med de två paren sändar- och mottagarantenn placerade på så stort avstånd som möjligt från varandra, lämpligtvis i vingspetsarna.

4. Telekrigföring

Här är utrustningens antenner riktade åt samma håll och mottar därför samma radarsignaler. Signalerna förstärks och återutsänds via den motsatta antennen. I vissa riktningar kommer då signalerna från de båda antennerna att förstärka varandra och i vissa andra riktningar att försvaga varandra.

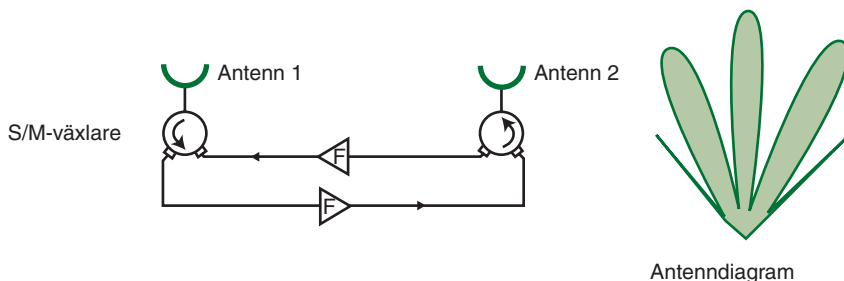


Bild 4:152. Utan fasvridare fås ett signalmaximum riktat mot radarn.

Det visar sig nu att ett maximum i störsändarens antennndiagram alltid kommer att vara riktat mot radarn. Om däremot den ena signalen fasvrides 180° före den återutsänds kommer alltid ett minimum uppstå i riktning mot radarn.

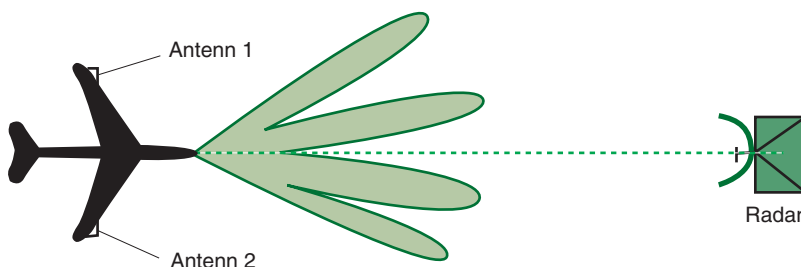


Bild 4:153. Signalminium i riktning mot radarn.

Den ena signalen dämpas något (i storleksordningen 10-20%), orsaken är att ett störsystem blir mindre känsligt mot inre störningar, detta kan stabilisera systemet om inte exakt 180° fasskillnad kan upprätthållas.

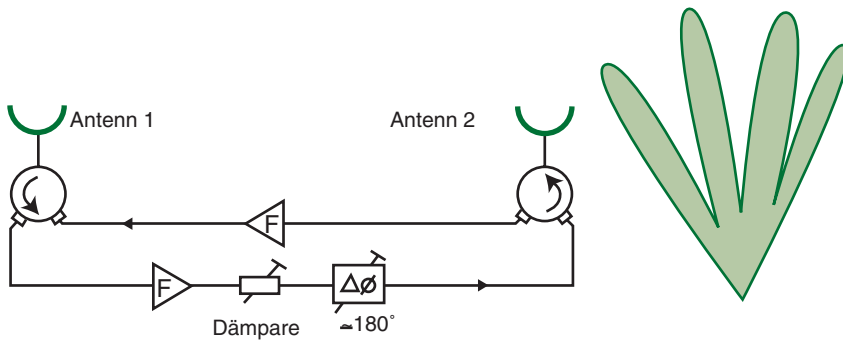


Bild 4:154. Fasfrontsvridare med dämpare. Ett signalminimum uppstår mot radarn.

Radarn strävar alltid att rikta in antennen parallellt med fasfronten. Radarns antenn kommer då att riktas vid sidan av målet. I praktiken kan felvinkeln bli högst 0.6 gånger radarantennens lobvinkel.

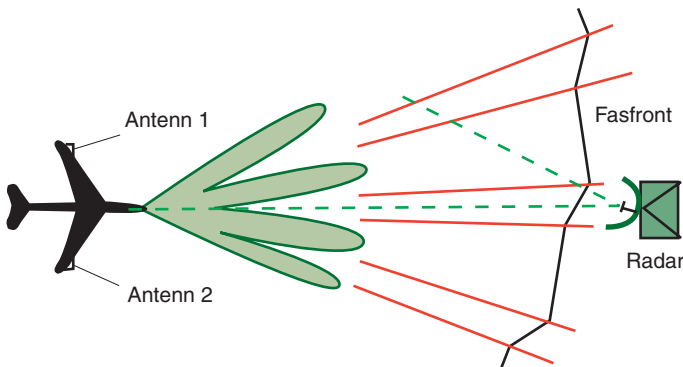


Bild 4:155. En sned fasfront uppstår. Antennen kommer att ställa in sig parallellt med fasfronten och vrids bort från målet.

Bild 4:155 visar fasfrontens utseende. En av nackdelarna vid fasfrontsdistorsion är att störsändarens effekt till största delen sprids i andra riktningar än mot störobjektet. Detta medför att den utsända effekten måste vara stor för att skrovet ska döljas. En annan nackdel är att störsändarens antenner sitter ganska nära varandra. På större avstånd, en mil eller mer, medför det att störsändaren uppfattas som punktformig och då kan inte någon distorsion av fasfronten åstadkommas.

Vinkelavhakning med fasfrontsdistorsion kan användas även mot en följeradar med lobnutation och andra vinkelföljande radarsystem. Metoden är inte effektiv mot robotar med semiaktiv målsökare.

Korspolarisationsstörning (Cross Polarization "Crosspol")

Cross Polarization "Crosspol" eller PECM (Polarization-Exchange Cross Modulation) har till syfte att få en eldledningsradar att tappa vinkelföljningen och kan vara effektiv mot radarstationer som använder paraboliska antenner. Korspolarisationsstörningens effektivitet är beroende på förhållandet mellan radarantennens fokallängd och dess diameter. Ju mindre detta förhållande är desto mer krökt är antennen. Korspolarisationsstörningens effektivitet ökar ju mer krökt antenntreflektorn är.

Störmetoden nyttjar den polarisationsdistorsion som sker hos en mottagen radarsignal. Alla antenner speciellt dubbelkrökta reflektorantenner har ett visst mått av polarisationsorenhet, vilket innebär att de sänder ut och även kan ta emot ett delfält med en E-vektor som är ortogonal (vinkelrät) mot den avsedda. Orsakerna till distorsionen är flera t ex krökningen hos en radom, difraktion vid kanterna av antennen, samt reflektorns krökning.

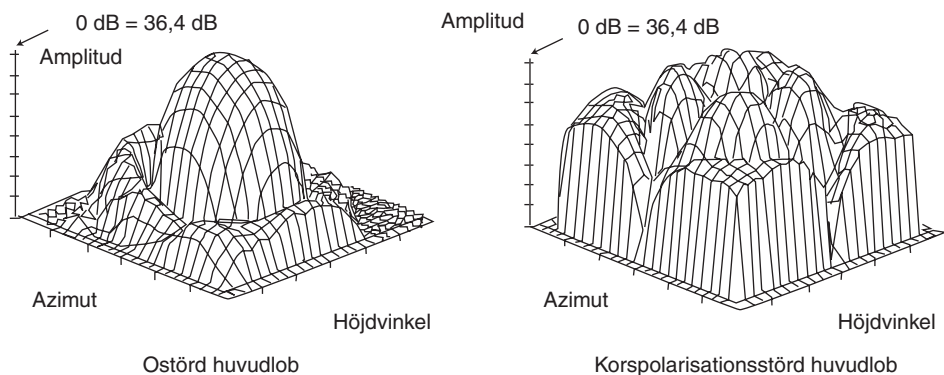


Bild 4:156. Följden av stark korspolarisationsstörning. Antenndiagrammets huvudlob, ersätts med fyra lobar vars styrka är undertryckt 25 dB jämfört med den östöra huvudloben. Detta leder till att stora följefel byggs upp. (Stimson)

När en antenn belyses med en mycket stark signal vars polarisation är vriden 90° relativt antennens normala polarisation, så kommer antennens mottagningsdiagram att bli förvrängd (bild 4:156). Det ortogonala fältet har maxima där ursprungsfältet har minima och vice versa, vilket leder till att stora och oregelbundna följefel byggs upp.

Låt oss betrakta ett monopolssystem för sidvinkelstyrning som försöker följa på ett mål som befinner sig längs antennens siktlinje (origo i bild 4:158). Målet rör sig åt höger. Signalbehandlingen som förutsätter den ordinarie polarisationen förväntar sig då enligt bilden att en positiv felsignal uppstår. En sådan felsignal vrider därför antennen åt höger.

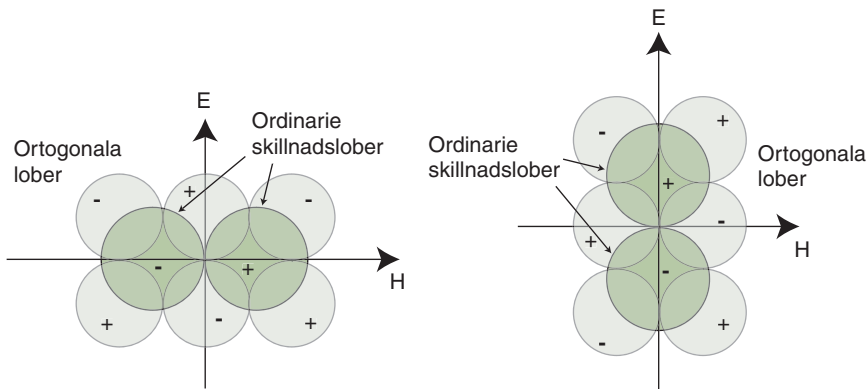


Bild 4:157. Skillnadsloberna i azimut (till vänster) och i elevation (till höger) med sina ortogonala motsvarigheter.

Om målet istället är starkare i den ortogonala polarisationen kommer, enligt bild 4:157, en ökande felsignal istället uppstå i elevationsservot, antennen vrids vinkelrät mot målets rörelse. Metoden fungerar mot radarstationer som nyttjar såväl fas- som amplitudmonopuls för sin vinkelföljning.

Ett "Crosspol"-system byggs upp med en repeterare innehållande ett TWT med hög förstärkning samt mottagar- och sändarantennor med motsatt polarisation.

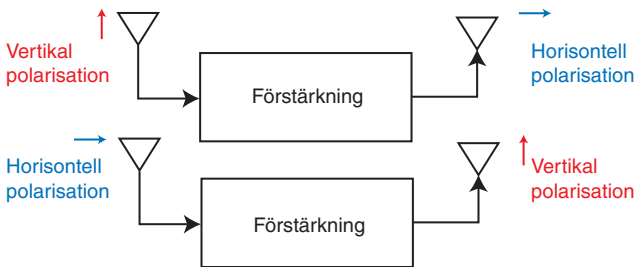


Bild 4:158. Princip korspolarisationsstörare. Genom att återutsända två ortogonalt polariserade signalkomponenter var och en med 90° polarisationsändring så skapar störsändaren en signal som är korspolariserad mot varje linjärt polariserad insignal.

Den största svårigheten med denna metod är att säkerställa att den ortogonala fältkomponenten verkligen dominerar. I mitten på huvudloben har de flesta parabolantennor 20–30 dB undertryckning av den ortogonala polarisationen. Gruppantennor och flate-plate antenner kan ha en undertryckning av 30–50 dB. Detta innebär att det krävs mycket kraftig störövertikt hos störsändaren för att lyckas. Om störsändaren själv har viss polarisationsorenhet så kommer detta istället att hjälpa radarn till vinkelföljning. Ett system för korspolarisationsstörning måste följaktligen ha mycket god egen polarisationsnoggrannhet.

Glimtstörsändning

De flesta eldledningsradarsystem kan när störsignalen blir alltför stark koppla över i en brusföljningsmod (Home On Jam, HOJ). Antennen riktas då mot den starkaste signalkällan, rakt mot störsändaren. Vapensystemet utgör därmed fortfarande ett hot mot störsändaren även om det inte direkt ser flygplansekot och kan bestämma avstånd och hastighet. En robot blir med detta system en enkel form av SSRB.

Om två flygplan utrustade med störsändare växelvis brusstör så kommer radarn omväxlande att riktas på de båda flygplanen. På så sätt uppstår ”pendlingar” i systemet så att målet tappas i vinkelled och t ex en robot går mellan flygplanen. Störsignalen från det flygplan som för tillfället störsänder bör vara så stark att den maskerar även det andra flygplanet annars finns risk att radarn/roboten endast låser över på det andra flygplanets skroveko.

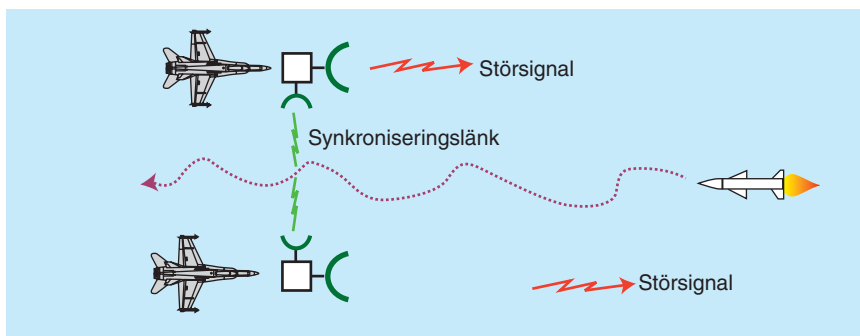


Bild 4:159. Brusglimt mellan två flygplan. Bruset måste vara så starkt att det tvingar in målsökaren i brusmod (HOJ). Synkroniseringen av störsändarna sker med en länk mellan flygplanen.

Sändväxlingarna måste ske med rätt periodicitet. Dock inte fortare än att målsökaren hinner reagera, men inte heller för långsamt. Ett riktvärde är ca 1 Hz. För att synkronisera störutrustningarnas sändning används någon form av radiolänk mellan störsystemen. Flygplanen måste dessutom flyga med vissa inbördes avstånd i förhållande till hotriktningen för att metoden ska fungera optimalt.

Markreflexstörning (terrain bounce, markstuds)

Vid vinkelavhakning med reflexstörning är flygplanet utrustat med en repeterstörsändare. Mottagarantennen är riktad i hotriktningen och sändarantenn är riktad snett nedåt. Den utsända (förstärkta) repeterpulsen studsar mot marken och får roboten att styra mot målets spegelbild.

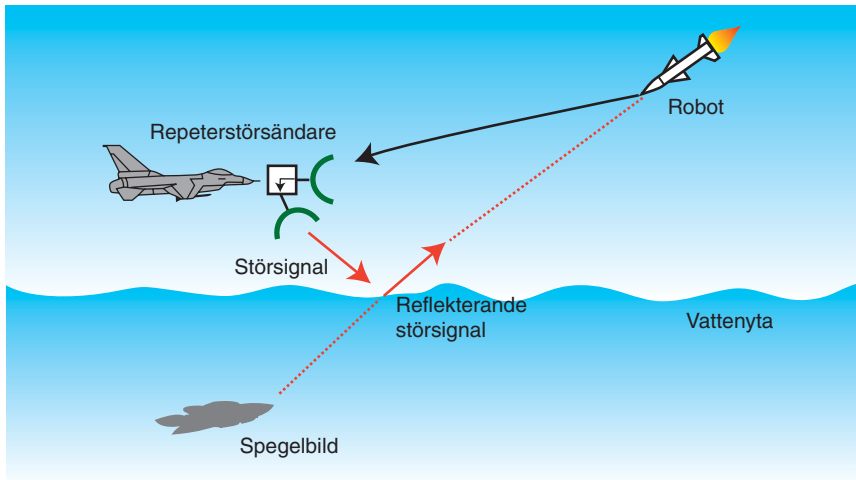


Bild 4:160. Markreflexstörning.

För att metoden ska fungera måste roboten ha höjdvärläge dvs anfalla uppifrån.

Reflexstörning fungerar i praktiken bäst över vatten, eftersom markens dämpning ofta är alltför stor.

Offboard jammers

För att förhindra att vapensystem med HOJ-funktion låser på störsändaren och därmed kan skjuta ner flygplanet samt för att haka av monopulsradar används s k offboard jammers. Exempel på sådana system är släpade störsändare samt fritt fallande störsändare. Försök har även gjorts med störsändare som skjuts ut framåt med hjälp av raketer.

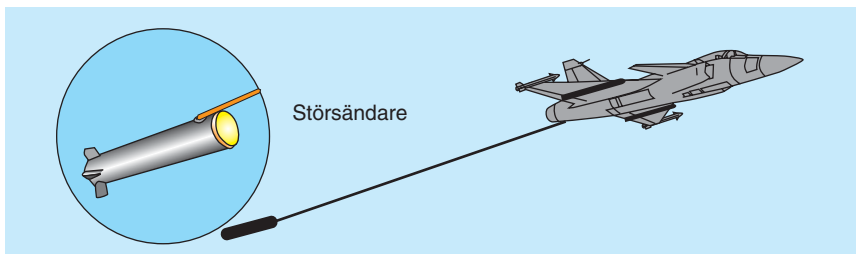


Bild 4:161. Släpad störsändare.

Släpad störsändare är en störmetod som ger ett bra skydd under lång tid. Störsändaren släpas något hundratal meter efter flygplanet. En robot som styr mot storkällan ska förhoppningsvis missa flygplanet och istället gå mot störsändaren.

4. Telekrigföring

Den skyddande verkan blir störst då flygplanet flyger på tvärskurs i förhållande till hotet. Skyddet blir dock bra redan vid 30 graders vinkelskillnad mellan störsändare och flygplan. När flygplanet flyger rakt mot hotet blir skyddet mindre, eftersom vinkelskillnaden mellan flygplanet och störsändaren då är försumbar. Flygplanet måste i detta fall gira för att öka vinkeln till störsändaren när varnarsystemet anger att en radar låst på planet.

De enklaste bogserade störsändare innehåller bara en ekoförstorare, vilken alstrar ett förstärkt eko med betydligt större ”målarea” än flygplanets. I mer avancerade system såsom brittiska Ariel, (6–20 GHz) och amerikanska ALE-50 kan störsändaren även lägga till viss modulering på störsignalen.

Som slutförstärkare används sk mini-TWT som vanligen strömförsörjs via en kabel i bogserlinan eller med batteri.



Bild 4:162. Släpad störsändare LENA.

Två skilda typer av system kan särskiljas

- endast slutförstärkaren bogseras. I detta system bogseras bara slutförstärkaren, resten av störsystemet är placerat ombord på flygplanet. Som mottagare kan flygplanets befintliga radarvarnare eller VMS-system användas. När styrdatorn skapat en lämplig störform så sänds denna över till slutförstärkaren via en optofiber som finns i bogservajern.

Den här lösningen kan innebära att störsystemet blir billigare, eftersom endast förstärkaren är placerad i den mest utsatta delen.

- hela störsystemet släpas. I den här lösningen placeras hela störsystemet dvs mottagare, hotbibliotek, styrdator och slutförstärkare, i den bogserade delen. Detta är en betydligt dyrare lösning.

Efter slutfört uppdrag är det vanligt att störsändaren släpps. Orsaken är att en vinschanordning ofta skulle ta alltför stor plats i flygplanet eller den pod som störsändaren är ansluten till.

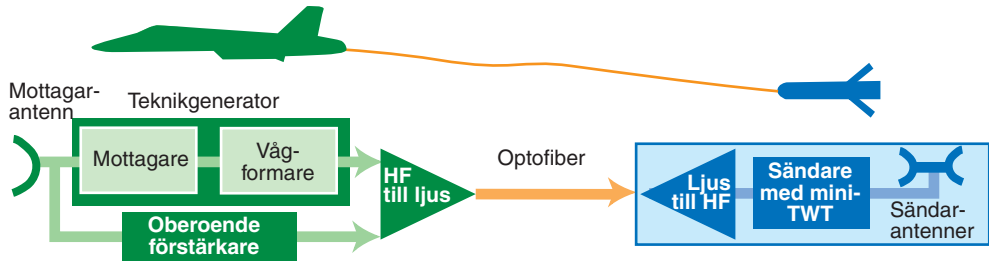


Bild 4:163. Blockschemata släpad störsändare, enl principen att endast slutförstärkaren bogseras.

Släpade störsändare torde vara ett allvarligt problem för system som nyttjar robotar med inbyggd målsökare, t ex Amraam, Hawk och Patriot. Även om man via optisk stöttning i ett semiaktivt system kan styra eldledningsradarn att följa på målet återstår frågan: vart styr robotens målsökare?

Till möjliga motåtgärder hör

- Robotar med kompletterande slutfasstyrning med hjälp av bildalstrande IR.
- Robot utrustad med en målsökarantenn med liten lobvinkel och god sidolobsundertryckning för att i slutskedet kunna separera skrovesignalen från störsignalen.

Optiska system som RBS 70 och RBS 90 påverkas ej av släpande störsändare. RBS 23 Bamse är kommandostyrd via radar. Roboten saknar målsökare varför roboten styrs av skytten. Eftersom skytten förutom eldledningsradarn även har hjälp av en IR/TV-kamera så kommer detta system ej heller att påverkas av en släpad störsändare (förutsatt att det finns optisk sikt). Vissa typer av släpande störsändare innehåller en värmekälla för att dra till sig IR-robotar. Dessa typer av störare kan utgöra ett problem för IR-robotar som t ex Sidewinder, Sa-14, Sa-16.

Fritt fallande störsändare

En annan metod för att öka vinkelskillnaden mellan flygplan och störsändare är att använda fritt fallande störsändare s k engångsstörsändare.

Exempel på sådana system är de amerikanska Poet och Gen-X (Generic expendable decoy).

Mottagarantennen hos Gen-X är en konisk spiralantenn och sitter inbyggd i nosen. Efter utskjutning söker mottagare igenom frekvensområdet

4. Telekrigföring

enligt ett sökmönster som programmerats in på marken eller i fällaren (ALE-47). När radarsignalen hittats genererar en signalgenerator signaler för att förmå målsökaren i hotradarn att följa Gen-X. Ett Lithiumbatteri svarar för strömförsörjningen.

Nackdelen med fritt fallande störsändare är att den snabbt försvinner från flygplanets närhet och nya måste släppas ut för att inte radarn ska återlåsa på flygplanet.

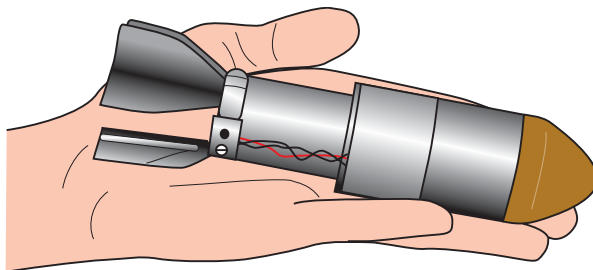


Bild 4:164. Gen-X engångsstörsändare.

En radarkonstruktör kan vidta liknande skyddsåtgärder som mot bogserade skenmål.

- Framkantsföljning, vilket innebär att radarn försöker följa på det främsta målet, inte det starkaste. Metoden är dock svår att lyckas med eftersom flygplansekot kanske inte alls syns på grund av störningen.
- Använda andra sensorer, exempelvis en TV-kamera på radarantennen så att operatören kan övervaka att rätt mål följs.
- Radarmålsökaren i roboten kompletteras med t ex en IR-målsökare som kan användas i robotens slutfas.

Högeffekt pulsad mikrovågsstrålning (HPM)

Detta avsnitt avseende text och bilder baseras främst på "FOI orienterar om elektromagnetiska vapen och skydd (2001)".

Elektromagnetiska fält kan orsaka störning av elektronik. Detta kan gälla allt från att tv-bilden störs av en bormaskin till att en radarstation störs av stationens egna radioapparater. Mycket kraftig elektromagnetisk strålning kan skada elektronik genom att t ex bränna sönder de mycket tunna ledningarna i en integrerad krets. (Jämför urladdning vid statisk elektricitet). Luftvärnet har mycket elektronisk materiel t ex datorer, radioapparater, datorer som skulle kunna vara mål för denna typ av störning. Den här störformen brukar kallas HPM.

Den första insikten att HPM har störande verkan på elektronik dateras till 1960-talet. Detta ledde till att HPM-källor började utvecklas.

USA och Ryssland dominerar idag forskning och utveckling av kraftfulla och stationära HPM-källor. Beträffande skydd mot HPM bedrivs omfattande verksamhet i många länder.

Huvudsyftet med HPM-vapen är att störa eller förstöra funktionen hos elektronikberoende system. Även en kortvarig störning kan innebära att ett kvardröjande fel uppstår, t ex att en bil eller dator måste startas om. För ett flygplan eller en robot kan ett sådant fel vara förödande. För oskyddad elektronik uppträder störning vid måttliga fältstyrkor, jämförbara med den som finns intill en sändande mobiltelefon. Permanent skada uppstår då den av elektroniken absorberade energin är så hög att den förmår smälta eller på annat sätt förstöra halvledarmaterial eller ledningsmönster. För detta fodras fältstyrkor, jämförbara med de i närheten av en kraftig radarsändare.

Enligt uppgift användes Tomahawkrrobotar med HPM-stridsdel i Gulfkriget och Kosovokriget. Det förekommer även uppgifter om att HPM-vapen och lågfrekventa pulsvapen har använts som sabotage och terroristvapen mot civila system.

Viktiga orsaker till att HPM utgör ett hot mot militära och civila system är

- den allt flitigare användningen av elektronik, också för säkerhetskritiska funktioner
- den ökade och allt mer miniatyriserade och därmed känsligare elektroniken
- minskad skärmverkan på grund av användning av oledande plaster i de höljen som omger elektroniken.

Konventionella mikrovågskällor, såsom radarkällor har pulseffekter på upptill ca 100 MW. Denna effekt brukar användas som en undre gräns för vad som betecknas som en HPM-källa. Någon allmänt erkänd gräns finns

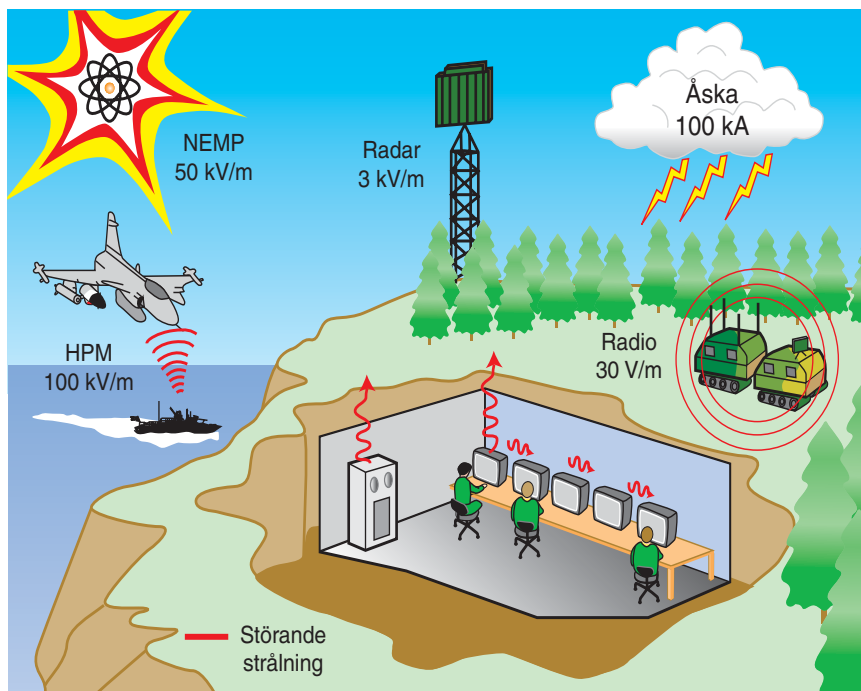


Bild 4:165. Högeffektpulsad mikrovågsstrålning (HPM) är en delmängd av den totala elektromagnetiska miljön som kan delas upp i naturligt betingad såsom statisk elektricitet (ESD) och åska samt mänsklig betingad såsom nukleär-EMP (NEMP), HPM, radio- och radarfrekventa fält. Den mänskligt betingade strålningen kan vidare delas upp i den som uppstått (helt eller delvis) avsiktligt t ex HPM och sådana vars eventuellt störande inverkan (EMI) är en oavsiktlig bieffekt av dess nyttofunktion (radio, radar, strålning från datorutrustning m m). Från ”FOI orienterar om elektromagnetiska vapen och skydd (2001)”.

dock inte. Men ett försök till karakteristik över HPM- vapen skulle kunna vara att HPM betecknar relativt smalbandig elektromagnetisk strålning med följande egenskaper

Frekvens: 0,3-300 GHz

Pulseffekt: 100 MW och större

Puls längd: 100-tals pikosekunder till 10-tals mikrosekunder

Ett HPM-vapen kan helt enkelt sägas fungera som en radar med hög utteffekt. Det finns även andra typer av elektromagnetisk strålning som används i samma syfte som HPM. Anordningar för att alstra dessa brukar ofta för enkelhetens skull räknas in bland HPM-vapnen. Dessa typer av strålning är

- Non-nuclear EMP (NNEMP). Det är en NEMP-liknande elektromagnetisk puls alstrad på annat sätt än genom en kärnvapenexplosion.

Denna är artificiellt alstrad, och ska ej förväxlas med den puls som blixten skapar – LEMP. Dess frekvensinnehåll är bredbandigt och kan innehålla frekvenser upp till tiotals GHz, det vill säga väl in i mikrovågsområdet.

- High-power Ultra Wide Band (UWB), Högeffekt ultrabredband. Härmed avses här momentant bredbandiga pulser vars huvudsakliga frekvensinnehåll ligger inom mikrovågsområdet. Man kan helt enkelt säga att detta är bredbandig HPM.

Här räknas hädanefter NNEMP och givetvis även högeffekt-UWB in bland HPM vapnen.

HPM-verkan

HPM-vapnen kan användas för att förstöra ett system eller för att störa driften eller produktionen vid en anläggning. Höga effekter kan till och med få stridsdelar i roboten och vissa typer av granater att explodera.

Verkan på en systemkomponent sker genom att denna antingen förstörs, degraderas eller störs. Förstörelse eller degradering orsakas oftast av



Bild 4:166. De ekonomiska och tekniska infrastrukturerna är i första hand målen för HPM. Dessa kan vara elproduktion och -distribution, tele- och datakommunikation, radio/TV-kommunikation etc. Havererade banksystem kan innebära kaos för samhällets ekonomiska funktioner. Från "FOI orienterar om elektromagnetiska vapen och skydd (2001)".

4. Telekrigföring

att höga temperaturer uppstår som en direkt eller indirekt följd av bestrålningen, vilket resulterar i att materialet smälter. På så sätt kan t ex en diod kortslutas. För en modern halvledarkrets kan det räcka med 1 ps för att värma upp ledningsbanorna.



Bild 4:167. En svepelektronikmikroskop bild av skadad integrerad krets. Leda-rens bredd är ca 10 μm . Från "FOI orienterar om elektromagnetiska vapen och skydd (2001)".

Störning beror på att falska signaler uppstår i elektronikkretsarna som resultat av bestrålningen ger ofta upphov till bestående fel. Detta kan exempelvis ske i form av att innehåll i minneskretsar ändras eller att en bilmotor stannar. Kvarstående fel kan ibland ta åtskillig tid att åtgärda även om den ingående elektronikens hårdvara inte fysiskt behöver bytas ut. HPM mot datorer och datormätverk kan vara ett effektivt sätt att passera de normala sk logiska skydden som brandväggar och färister.

Störningar av oskärmat system brukar regelmässigt uppträda vid en fältstyrka på någon eller några 100-tal V/m. För att åstadkomma förstörelse fordras fältstyrkor av storleksordningen 10 kV/m eller mer. Mycket kraftfulla HPM-vapen kan förstöra mål på kilometeravstånd vid fri sikt. En oskyddad radiolänkstation där parabeln fungerar som mottagarantenn för HPM-strålningen, kan troligen förstöras på tiotals kilometers avstånd. Verkan av HPM avtar med kvadraten på avståndet, utom i sändarantennens närområde.

HPM-vapen

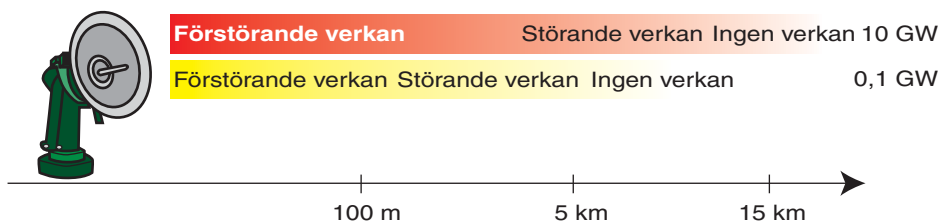


Bild 4:168. Verkansavståndet för ett större HPM-vapen mot skyddad elektronik. Mot oskyddad elektronik kan verkansavståndet öka minst 10 gånger. Från "FOI orienterar om elektromagnetiska vapen och skydd (2001)".

HPM-strålning kan typiskt bestå av en enkelpuls eller skurar av pulser, pulståg. Om avsikten är att orsaka permanent skada hos elektronik är det bättre att koncentrera energin till ett fåtal pulser.

HPM-vapen

HPM-vapen är inte dödliga och kan sättas in i inledningsfasen av en konflikt för att lamslå motståndaren, eventuellt som en del i en strategi för informationskrigföring.

Fördelar med HPM-vapen är

- angrepp kan ske i alla väder
- strålningen når målet med ljusets hastighet
- flera mål kan angripas utan detaljerad förhandsinformation om systemet som angrips
- motståndaren kan ha svårt att skydda sig mot denna vapentyp
- förenklad riktning och följdning
- hög tillgänglighet
- angripa sofistikerade (elektronikberoende) mål med enkla medel
- ”*Verka utan att märkas*”. Om man inte använder explosivämnesdrivna verkansdelar så kan man skada materiel utan att det initialt varken syns eller hörs.

Några nackdelar med HPM-vapen är

- svårt att utvärdera och konstatera skadeeffekten
- risken för att slå ut egna system
- skadeverkan är statistisk
- volym och vikt kan vara stora
- påverkar endast elektronikbaserade system
- begränsad räckvidd hos strålningen
- HPM-källan kan lokaliseras genom strålningsdetektion.

HPM-vapen kan vara stationära eller plattformsburna större system, kompakta system i form av granater eller stridsdelar för robotar eller lågfrekventa pulsvapen.

Ett HPM-vapen, som kan förstöra skyddad elektronik på åtminstone några hundra meters avstånd, behöver uppskattningsvis generera HPM-pulser med ca 10 GW pulseffekt under någon eller några tiondels mikrosekunder. Ett komplett sådant system kräver idag en totalvolym på åtminstone ett par kubikmeter, motsvarande en vikt på flera ton inklusive riktantenn. Systemet blir därför av praktiska skäl stationärt eller plattformsburet.



Bild 4:169. Exempel HPM-vapen.

HPM kan även genereras av kompakta HPM-vapen i form av stridsdelar i viktlassen från något kilo till några hundra kg. För att kunna göra stridsdelarna tillräckligt små används explosivämnesdrivna generatorer. Dessa används för att alstra den höga elektriska effekten som behövs för att driva strålkällan. Sådana generatorer kan fungera enligt olika principer. Den sprängämnesdrivna piezoelektriska generatoren samt den sprängämnesdrivna magnetflödeskomprimeraren (EMG) är två viktiga exempel. HPM-stridsdelen kan levereras till målets närhet med konventionella utskjutningsanordningar t ex robotar eller artilleri.

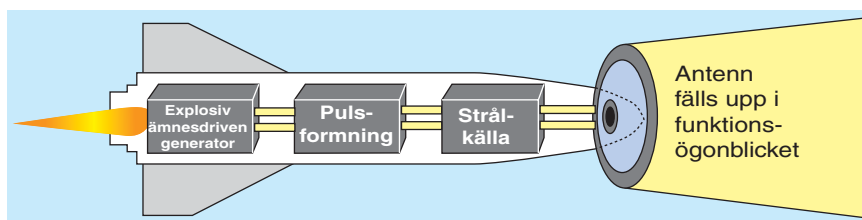


Bild 4:170. Robottransporterad HPM-stridsdel. God riktverkan på strålningen uppnås genom att en relativt stor antenn kan användas kombinerad med målsökare. Antennen kan vara en dynamisk typ som fälls upp under någon millisekund när mikrovågspulsen genereras och sedan blåser bort av fartvinden. Stridsdelen kan då få förstörande verkan med HPM på flera hundra meters avstånd även skyddad elektronik. Roboten i sig kan ha en räckvidd på flera 100-tal km. Från "FOI orienterar om elektromagnetiska vapen och skydd (2001)".

HPM-källor

En HPM-källa kan uppdelas i beståndsdelarna

- kraftaggregat
- pulsgenerator
- mikrovågsrör
- antenn.

Som exempel på pulsgeneratorer kan den pizelektriska generetorn och den elektromekaniska strömgeneratorn (Explosive Magnetic field Compression Generator – EMG) nämnas.

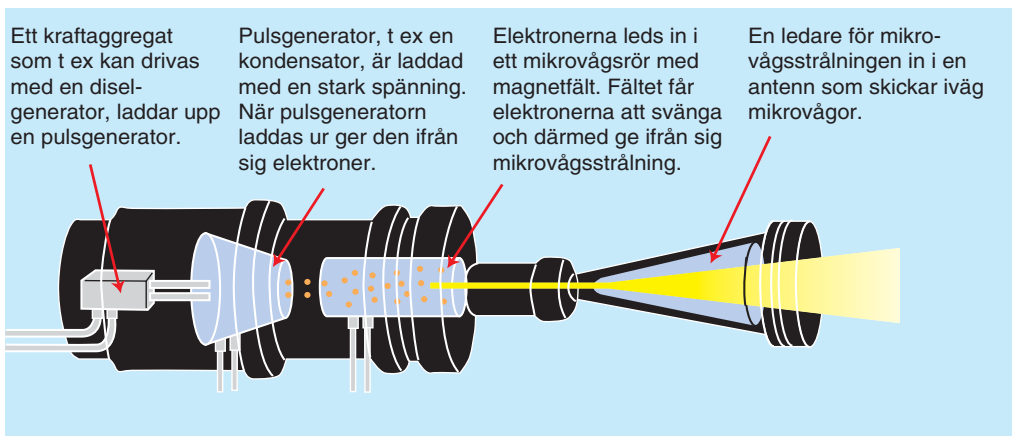


Bild 4:171. Principskiss över en HPM-källa. Källan kan delas in i pulsgenerator, mikrovågsrör och antenn. Exempel på mikrovågsrör är magnetron och virkator. Från "FOI orienterar om elektromagnetiska vapen och skydd (2001)".

Vissa fasta material har molekyler som är elektriska dipoler. Dessa ligger slumpmässigt orienterade så att det elektriska fältet över ett större område blir noll. Genom speciell behandling kan man få dipolerna att ställa in sig i önskade riktningar så att ett resulterande dipolmoment erhålls i materialet. Om materialet utsätts för tryckbelastning via t ex en stötvåg deformeras den mekaniskt vilket ger upphov till ett resulterande elektriskt fält i materialet. Vi har nu en form av kondensator som kan "laddas" på någon eller några mikrosekunder genom stöbelastning. En mycket kompakt HPM-stridsdel kan bygga på en sprängämnesdriven piezoelektrisk generator som alstrar korta spänningspulser då sprängämnet exploderar. Pulserna matas ut via antennen.

EMG har en rörlig del bestående av ett metallskal som accelereras av ett sprängämne och en fast del i form av en spole (induktor). När sprängämnet detonerar accelereras metallskalet till hög hastighet och rör

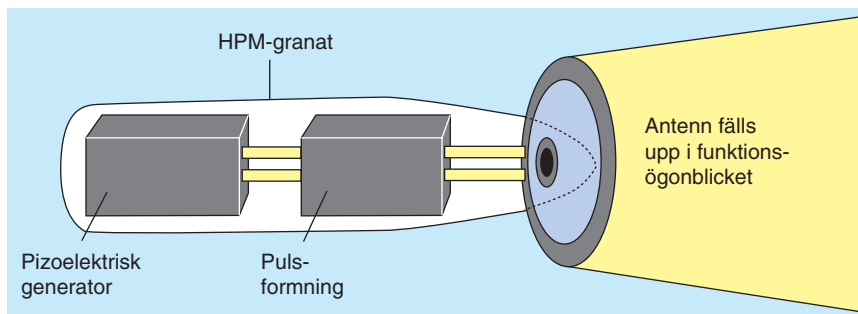


Bild 4:172. Principskiss på HPM stridsdel i granatform med explosiv ämnesdriven elektrisk pulsgenerator baserad på piezoeffekt. Från "FOI orienterar om elektromagnetiska vapen och skydd (2001)".

sig genom det magnetfält som tidigare alstrats inne i induktorn genom att leda en ström genom spolen, t ex från ett batteri. När metallskalet rör sig i magnetfältet omvandlas rörelseenergin till elektromagnetisk energi genom att en ström induceras i strömkretsen bestående av metallskalet i serie med induktorn. Den genererade energin lagras upp induktivt dvs i form av det ökade magnetfältet som genereras av strömmen genom induktorn. Några tiotal mikrosekunder efter att strömmen nått maximum i generatorn spränger den sig själv i småbitar.

En typisk EMG lämplig för användning som strömgenerator till HPM-vapen är spiralgeneratorn. Den har stor energiförstärkning, enkelt initieringssystem för sprängämnet och kan lätt inrymmas geometriskt i ett cylindriskt skal (robot eller granat). En spiralgenerator kan typiskt omvandla ca 5% av sprängämnets energi till elektrisk energi och kan förstärka den initiala energin som "injicerats" som magnetfält från t ex kondensatorbanken 50-100 gånger.

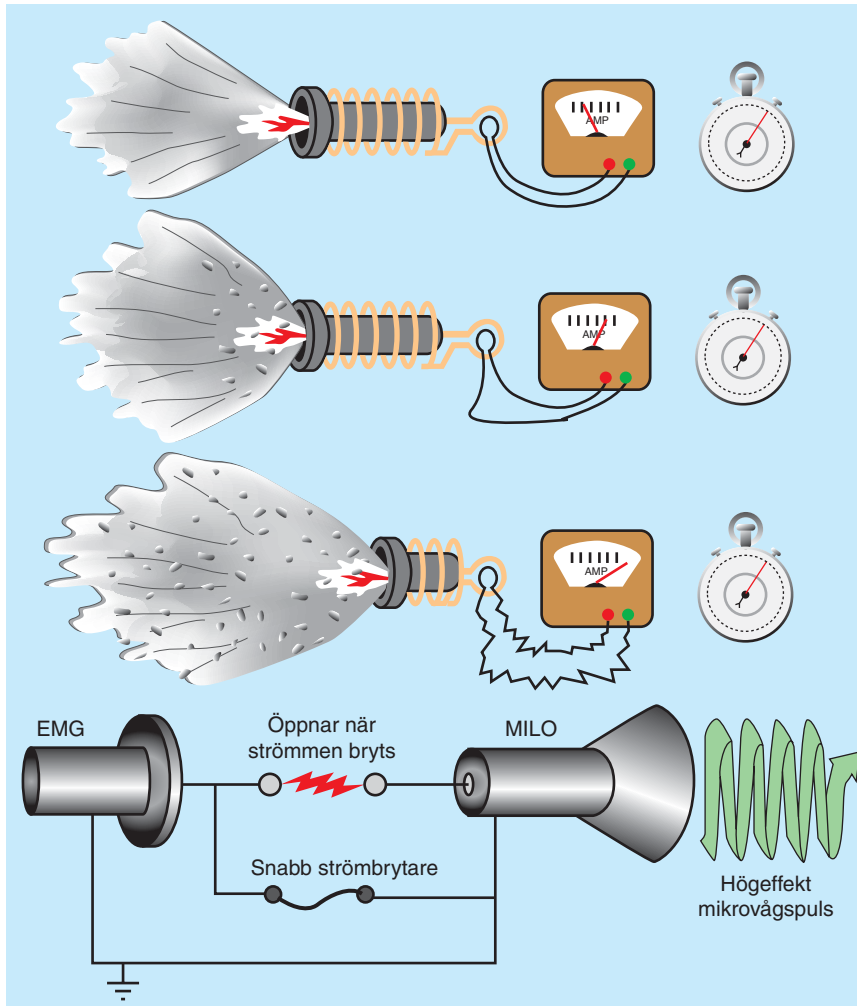


Bild 4:173. Överst: Principskiss på en elektromagnetisk strömgenerator (EMG). När sprängämnet detoneras acceleras metallskalet och rör sig i ett magnetfält, varvid rörelseenergin omvandlas till elektromagnetisk energi genom att en ström induceras i strömkretsen. Underst: Genom exempelvis en snabb strömbrytare kan en EMG verka som en högsäpningssgenerator för en virkator eller MILO. Från "FOI orienterar om elektromagnetiska vapen och skydd (2001)".

HPM-skydd

Inträngning i målet kan ske via

- framvägsskoppling eller
- bakvägsskoppling.

Benämningen framvägsskoppling används då strålningen tränger in genom öppningar avsedda att ta emot elektromagnetisk strålning, t ex antenner

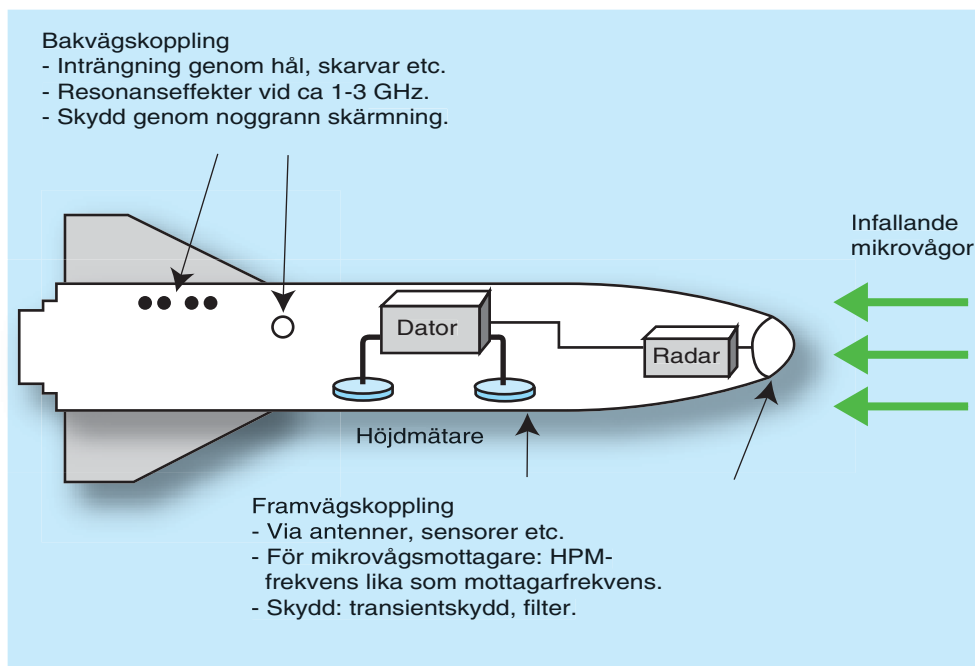


Bild 4:174. Bakvägs- och framvägskoppling. Från "FOI orienterar om elektromagnetiska vapen och skydd (2001)".

eller sensorer bild 4:174. I detta fall då arbetsfrekvensen för denna sensorn är samma som HPM-strålningens frekvens används benämningen framvägskoppling av första slaget, i annat fall används beteckningen av andra slaget. Ett exempel på framvägskoppling av första slaget är då man använder HPM för att slå ut en radiolänk (förutsatt att HPM-strålningen ligger inom radiolänkens frekvensband).

För framvägskoppling i militära sammanhang, t ex skydd av radar- eller optiska målsökare på robotar, måste för varje objekt specifika skyddsmetoder tas till. För radarmålsökare har de självskydd som finns mot den egna strålningen i form av radarns TR-rör visat sig ge ett visst skydd mot HPM. Snabba brytare kan användas för skydd av viss utrustning.

Benämningen bakvägskoppling används då strålningen efter att ha trängt in genom de ofullkomligheter som nästan alltid finns i en avskärmning, kopplar till ledningar och kablage och sedan går vidare till elektronikkomponenterna. För oskärmade föremål sker kopplingen direkt till kablage och ledningar. Exempel på ofullkomligheter i en skärmning är oledande packningar, skruv och nitförband, ventilations och dräneringshål, display-fönster etc.

För bakvägskoppling gäller att elektroniken för att skyddas, måste byggas in i väl skärmade utrymmen och att till elektroniken anslutna led-

ningar och kablage skärmas eller filtreras. Kraven på dessa åtgärder kan mildras beroende på elektronikutrustningens placering. Betong, jord berg etc ger ett visst skydd. Det är viktigt att påpeka att en skärm, oavsett om det är ett metalliskt apparthölje eller en tjock betongvägg inte får ha några större öppningar. Om en öppning i någon riktning har en dimension i samma storleksordning som strålningens våglängd ger öppningen inte någon dämpningseffekt alls. Istället kan t o m en förstärkning av det infallande fältet fås, vilket innebär att all den strålningensenergi som träffar öppningen också tar sig in genom öppningen. Detta är motivet till att använda mikrovågsvapen då våglängden för dessa är av decimeter- eller centimetervåglängd, vilket också är typiska storlekar på skruv- och nitavstånd, display-fönster m m. Vad gäller bakvägskoppling rent praktiskt har det visat sig att man för ett HPM-vapen inte bör gå högre än 1-3 GHz, max 6 GHz p g a att verkan drastiskt minskar för högre frekvenser p g a atmosfärens dämpning. Detta innebär då att mindre hål/öppningar inte är så farliga eftersom riktigt små våglängder ej används. Teoretisk skulle man annars kunna komma in var som helt om riktigt små våglängder användes.

Skärmverkan för ett skärmat utrymme är oftast starkt frekvensberoende. Detta är orsaken till att skydd mot NEMP (nukleär EMP) i allmänhet inte ger skydd mot HPM. När det gäller ledande material fås normalt en förhöjd skärmverkan då frekvensen ökar. För millimetertjock metall fås, på grund av dess höga elektriska ledningsförmåga, en god skärmverkan ända ner till kHz-området. Detta innebär återigen att skärmverkan för en metallisk skärm i praktiken inte begränsas av metallens egenskaper utan av ofullkomligheter i skärmen såsom kontaktdon, skruvskarvar etc. Olika delsystem bör förbindas med optofiber istället för metalledningar. För att ge en uppfattning om vilken skärmverkan som krävs för att skydda mot HPM-vapen kan konstateras att en skärmverkan på 60-70 dB torde vara tillräckligt även mot mycket kraftfulla militära HPM-vapen (klassen 10 GW). Med denna skärmverkan elimineras praktiskt taget risken för förstörande verkan och verkansavståndet för störning torde nedbringas till tiotalet meter.

Man kan förenklat säga att skärmskyddet i skalskyddet för militär materiel ligger mellan 0-25dB. Det kan dessutom finnas ett inre skärmskydd som förbättrar bilden betydligt. Civil materiel (datorer) har ofta dåligt eller inget skydd alls (0-10dB) och kan skadas vid mycket låga värden på den elektriska fältstyrkan. Militär materiel som har ett EMP-skydd och ett radarskydd (t ex flygplan och de robotar de bär) har ett skydd på i storleksordningen 20-40dB.

4. Telekrigföring

Tabell 4:7. Uppskattning av verkansavstånd för HPM. Från "FOI orienterar om elektromagnetiska vapen och skydd (2001)".

AVSTÅND EFFEKT	15 meter	500 meter	15 km
10 MW	Permanent skada	Störning	–
10 GW	Permanent skada	Permanent skada	Störning
10 GW, skärmverkan 30 dB	Permanent skada	Störning	–
10 GW skärmverkan 60 dB	Störning	–	–

Tabellen avser bakvägskoppling för föremål med olika grad av skärmverkan. Med en HPM-källa på 10 GW avses en stor militär källa som ett mark- eller fartygsbaserat HPM-vapen eller en stor HPM-bomb.

Tabell 4:8. Uppskattning av verkansavstånd för HPM-sabotage. Från "FOI orienterar om elektromagnetiska vapen och skydd (2001)".

HPM-källa	AVSTÅND			
	Omedelbar närhet	15 meter	50 meter	500 meter
Bilburen (medels. källa)	Ej relevant	Permanent skada	Störning	Störning
Handburen (liten källa)	Permanent skada	Störning	Störning	Ingen effekt

Med handburen HPM-källa avses t ex en resväska.

I USA pågår projekt som syftar till att ta fram självskyddssystem för flygplan baserade på HPM. Systemet ska störa inkommande luftvärnsrobot. Mot andra typer av störsystem skulle ett sådant system kunna påverka alla typer av robotar vilket t ex laserstörsystem som bara kan påverka optiska målsökare inte gör (om det inte är en strukturförstörande laser). Systemet bedöms kunna vara operativt 2015.

En intensiv sektretessomgärdad forskning kring HPM-vapen har pågått under lång tid och det kan sägas att HPM-vapen nu är på väg att ta steget till operativa vapen från att förut endast varit prototyper. Vad gäller

användning mot luftvärn kan HPM-vapen komma att användas för att skydda flygfarkoster från inkommande vapen samt för SEAD. För SEAD bedöms främst vapen försedda med HPM-stridsdel användas men på UCAV kan det även användas från själva flygfarkosten. Inom militär fackpress finns idag en stark koppling mellan HPM-vapen och UAV:er som bärare av dessa. HPM-vapen är inte enbart användbara inom telekrig utan USA har även färdigutvecklat vapen inom 94 GHz-området som ska användas mot människor. Denna vapentyp orsakar stark smärta och ska kunna användas vid exempelvis kravallsituationer.

En bedömning är att HPM-vapen är fullt operativa inom 3–5 år. Redan idag finns i Tyskland en operativ störare inom sambandsområdet. Denna är dock avsedd för polisiär användning.

Ledningsystem

5

Nätverksbaserat försvar

Sättet att föra krig har alltid varit en produkt av den tidsålder som råder. Den som bäst förstår att använda ny teknik och utveckla sin taktik utifrån nya förhållanden har bäst förutsättningar att vinna.

Informationsteknologin har tillfört krigföringen en ny dimension. Den skapar möjligheter att följa upp det egna läget, motståndarens läge samt ger möjligheter att utvärdera, analysera, leda och styra stridsförlopp på ett helt annat sätt än tidigare. Förmågan att i tid upptäcka, bedöma, fatta beslut, ge order och agera blir avgörande. För att stödja dessa förmågor håller försvarsmakten nu på att utveckla vad som kallas nätverksbaserat försvar (NBF). Detta kommer i stor utsträckning att påverka även luftvärnets strid i framtiden.

Behovet av informationsöverlägsenhet är inte något nytt. För luftstriden har de taktiska och stridstekniska fördelarna som en överlägsen omvärldsuppfattning ger varit uppenbara under en lång tid. Men som för all annan teknik så finns det möjligheter till olika former av motåtgärder.

Kampen om snabbaste beslutscykeln

Att nå ett högre tempo än motståndaren beskrivs ofta som att komma innanför motståndarens beslutscykel.

Det omfattar momenten

- upptäcka
- bedöma
- fatta beslut
- agera.

Förmågan att genomföra denna process i högt tempo och med god precision (rätt beslut) är ett avgörande element i manöverkrigföringen. Beslutscykeln kan ses som ett sätt att knyta ihop

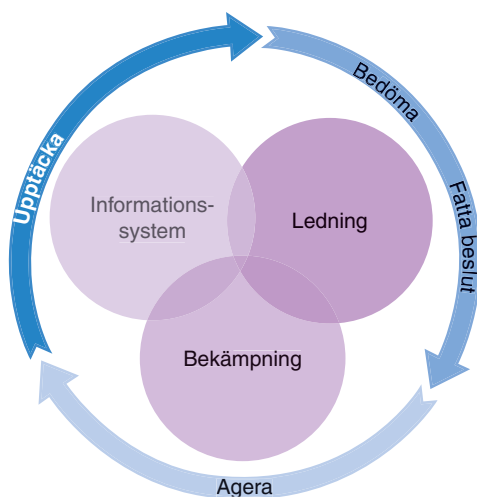


Bild 5:1. Beslutscykeln.

ledning, informationshantering och bekämpning. Utöver goda ledare utgör en fungerande informationsprocess den viktigaste förutsättningen för en snabb beslutscykel. Den informationsteknologiska utvecklingen med ökad förmåga att inhämta, bearbeta och sprida information, liksom lång-räckviddiga precisionsvapen, förbättrar möjligheterna att bedriva manöverkrig. Beroende på förmågan att påverka motståndarens ledningssystem respektive skydda sitt eget kan en avgörande informationsöverlägsenhet uppnås.

RMA (Revolution in military affairs)

Med RMA avses någon form av revolution i militär teknik och taktik som kraftigt förändrar möjligheterna att genomföra strid.

Historiskt finns ett flertal exempel t ex

- den engelska långbågen som gjorde det möjligt för infanteriet att bryta det pansrade kavalleriets dominans
- krutet
- pansarskeppen.

Då man idag använder begreppet RMA avser man oftast de nya möjligheterna att använda informationsteknik och sensorer. Tidigt på 1970-talet pekade sovjetiska militärer på två skeden under 1900-talet som radikalt ändrat krigföringen.

- Flyg, motorfordon och kemiska vapen under första världskriget.
- Kärnvapen, datorer och robotar under andra världskriget.

År 1984 larmade den sovjetiske generalstaben om att en tredje militärteknisk revolution var på väg. Marskalken Nikolaj Ogarov menade att den kombinerade styrkan av precisionsvapen, datorer och sensorer skulle nå en verkan av kärnvapenklass. Det var dåliga nyheter för en nation som kunde masstillverka stridsvagnar men inte skapa en enkel hemdator.

I slutet av 1980-talet tog USA upp de sovjetiska idéerna. Amerikanerna tyckte att ryssarna allt för mycket fixerat sig vid de tekniska frågorna. De lade därför även till mjuka frågor som doktrin och organisation samt bytte ut det sovjetiska uttrycket ”militärteknisk revolution” mot begreppet RMA. RMA kan sägas ha fått sitt genombrott i och med Gulfkriget. Den amerikanske fd vice ÖB William Owen talade om system av system där sensorer, vapen och ledningscentraler kopplas samman i nätverk. Kunskap är makt hävdade Owen. Den som leder informationsrevolutionen blir ledande i världen och det är denna revolution som driver RMA.

Målet med den amerikanska satsningen är att skapa nya strukturer som kan operera med ännu större snabbhet över större ytor. I USA strävar man

efter ett integrerat ledningssystem från plutons till armékårsnivå. Varje nivå ska ges en relevant uppfattning om stridsrummet. Samverkansförmåga mellan alla stridskrafter och vapenslag ska uppnås. Stödförbanden ska ges förmåga att agera mer dynamiskt och behovsstyrt med kort varsel. Små styrkor ska ges större slagkraft och överlevnadsförmåga.

I slutet av 1990-talet började man, efter amerikansk förebild även i Sverige tala om RMA. Som ett svenskt begrepp har man försökt lansera uttrycket ”Ny Krigföring”. På senare tid har man istället övergått till begreppet nätverksbaserat försvar.

RMA-konceptet bygger på tre grundelement:

- Informationsöverläge (Dominant Battlespace Awareness – DBA).
- Precisionsbekämpning (Precision Engagement – PE).
- Beslutsstöd (Decision Support – DS).

Bild 5:2 visar huvuddragen av NBF. En mängd sensorer sammanlänkade i ett nätverk ger både chefer och soldater en gemensam lägesuppfattning. Den beslutsfattande chefen fattar med hjälp av sensorinformationen och

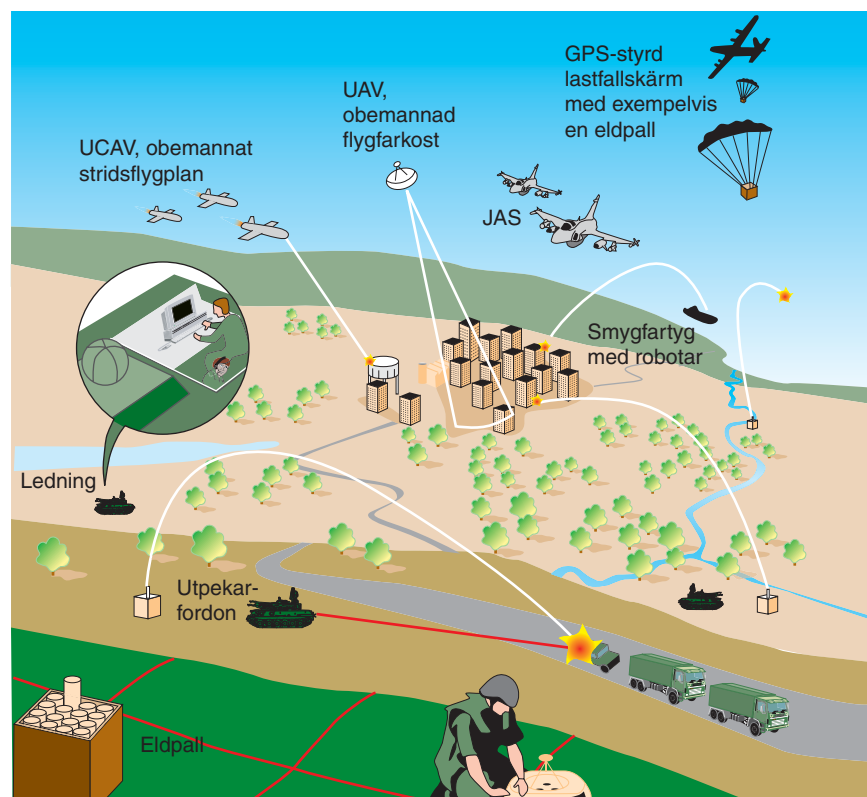


Bild 5:2. Princip nätverksbaserat försvar.

olika typer av beslutsstödssystem, beslut om att agera mot ett visst hot. Han bekämpar därefter målet med hjälp av det lämpligaste av de vapensystem som är kopplat till nätverket. Sedan vapnet avfyrats får det kontinuerligt måldata från sensornätverket. Vapnet kan därför styras med stor precision.

I fortsättningen av detta kapitel kommer främst DBA-delen av NBF att redovisas.

Syftet med NBF

Målsättningen med NBF är att försvaret ska kunna agera snabbare, med högre precision och mer kraftsamlat. Detta ska grovt sett uppnås genom ”att alla kan se allt” och alla kan kommunicera med varandra. Genom att upprätthålla och distribuera en ständigt aktuell gemensam lägesbild vill man uppnå situationsmedvetenhet, möjlighet att skilja vän från motståndare samt ökad åtkomst till underrättelsesdata. Fusion och distribution av underrättelser ska ske i nära realtid. En gemensam databas möjliggör snabb informationsöverföring. Frågorna ”Var är du? Var är motståndaren? Vad gör ni? Vad gör motståndaren?” ska alltid snabbt kunna besvaras.

Människorna kan i ett sådant system ges olika roller och får med ett ackrediteringssystem tillgång till information, funktioner och tjänster som krävs för den fördefinierade rollen.

Ett vapensystem ska inte behöva vara kopplat till en specifik sensor utan få information av nätverkets samlade sensorinformation, i syfte att få större redundans och högre precision.

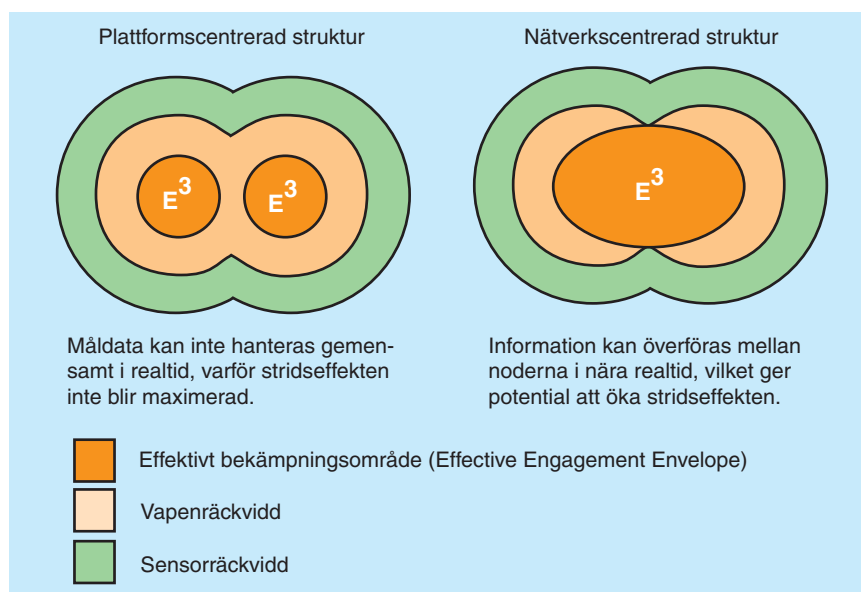
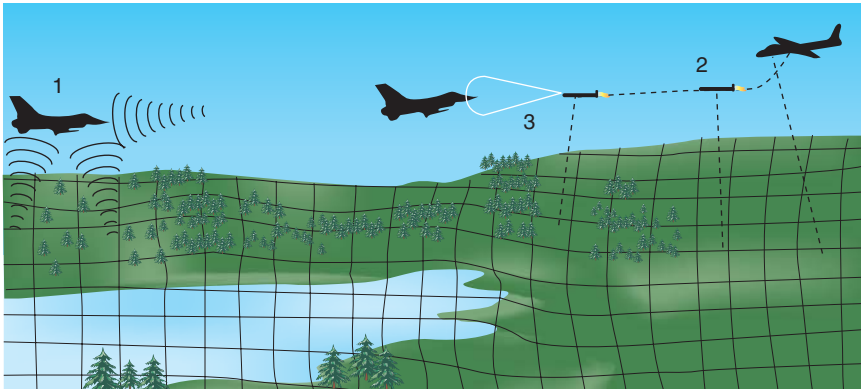


Bild 5:3. Nätverk ökar den totala effekten.

Nätverk för vapenstyrning

I bild 5:4 visas ett exempel på hur ett luftförsvarssystem skulle kunna använda NBF för vapeninsats. Hitintills har en radarstyrd robot ofta fått information från en specifik eldledningsradar (om den inte nyttjat egen målsökare). I det nätverksbaserade försvaret är det meningen att roboten matas med information från ”nätet”. Informationen finns i ett nätverk som i sin tur ger information för bekämpning. Informationen från radarsensorena kan kompletteras med ytterligare sensorer och bakgrundsinformation i nätverket. Sensorerna informerar medan nätverket analyserar måldata, detekterar, målidentifierar och ger underlag för beslut om insats. Nätverket kommunicerar och uppdaterar målposition till vapnet. Många sensorer har meterprecision i två eller tre dimensioner.



1. Nätverkets radar upptäcker och följer ett flygplan.
2. Ett obemannat stridsflygplan, UCAV, styrs av nätverket in mot målet och släpper en jaktrobot som styrs av nätverket mot flygplanet.
3. Kort före träff slår roboten på en enkel målsökare. Det är det bistatiska radarsystemet där sändare och mottagare står på skilda platser som gjort jobbet och nätverket som förmedlat informationen.

Bild 5:4 Robot styrd av nätverksinformation.

Den höga noggrannheten bidrar till att nätverket styr roboten nästan fram till målet. Det i sin tur kan betyda att roboten i många fall inte behöver någon egen aktiv sensor. Därmed blir roboten relativt billig eftersom kostnaden för målsökaren är en stor del av robotens totala kostnad. Roboten röjer sig heller inte med några signaler (förutom värmestrålning) varför målet får svårt att i tid vidta några motåtgärder.

Det bör påpekas att alla är inte lika övertygade om att nätet kommer att ha tillräcklig precision för att kunna garantera robotstyrning utan att det trots allt kommer krävas en enklare form av målsökare i roboten.

Uppbyggnad av NBF

Det nätverksbaserade försvaret ska uppnås genom:

- Ett gemensamt regelverk (arkitektur) skapas som möjliggör ett säkert informationsutbyte mellan valfria enheter/system.
- Att enheterna delar gemensam information av hög kvalitet vilken presenteras anpassat till aktuell roll (befattning).
- En systemutformning som medger successiv tillväxt och anpassning utan omfattande omkonstruktion (s k evolutionär utveckling).

Nätverksbaserad uppbyggnad bedöms ge möjlighet till ökad

- hastighet i beslutsprocesserna, eftersom alla åtgärder är kända av alla.
- tempo i genomförandet av operationerna
- förmåga till kraftsamling i tid och rum
- nätverk istället för singulära kommunikationslänkar
- självsynkronisering av aktiviteter, man ser hela tiden vilka åtgärder de andra förbanden vidtagit.

Systemet blir mindre sårbart om sambandssystemet är nätverksbaserat eftersom informationen kan ta många alternativa vägar om en viss väg slås ut.

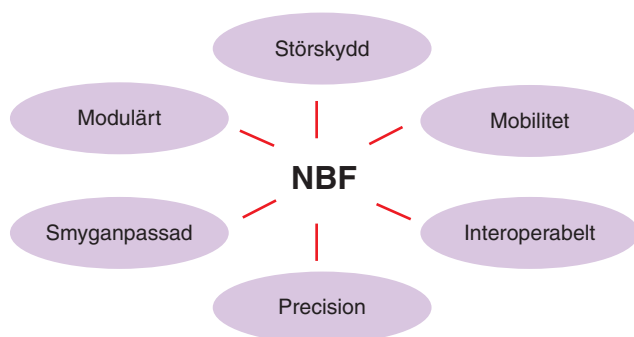


Bild 5: 5. Beståndsdelar av NBF.

De system som anskaffas i framtiden måste alla vara anpassade till det nätverksbaserade försvaret. För alla system och plattformar gäller fyra viktiga saker, de måste:

- kunna utbyta information med nätverket
- ha stealthegenskaper, dvs svåra att upptäcka
- ha hög precision
- vara lätttrörliga.

Organisation

Som så ofta är det inte teknologierna som är det mest viktiga. Även om dessa ger prestandafördelar för den som behärskar tekniken är det istället organisationen med personal och system som utgör de dimensionerande delarna i nätverksförsvaret. Nätet ska därför anpassas till det sätt på vilket ledningen har för avsikt att leda striden vid olika scenarier. Någon måste också ha överblick och ansvar att fördela nätresurserna. Ansvarsfördelningen och roller måste vara klara mellan beslutsfattarna. Tekniken kan, om man har råd, göras mer flexibel men alltför många möjligheter kan också leda till osäkerhet om vilken strategi som ska användas vilket innebär en risk att insatser får motsatt verkan.

NBF bör kunna leda till att antalet soldater som behövs för en given uppgift minskar liksom antalet hierarkiska nivåer i organisationen. Bättre ledningssystem kan ge en flexiblere organisation. Lägre nivåer kan få lika god uppfattning om det taktiska läget som högre och kan få stöd för att säkrare värdera såväl egna som motståndarens alternativ. Med det ökade tempot får även de lägsta nivåerna större befogenheter och ansvar. Man vet dock inte säkert om människor klarar av kraven på organisatorisk flexibilitet, och inte heller vad som krävs av utbildning och användargränssnitt för att göra det möjligt.

Information

Informationen är en stöttepelare i NBF och samtidigt en stor utmaning. Den amerikanske generalen John Shalikashvili hänvisade till Gulfkriget, som betraktas som sensorernas krig och sa att: "Aldrig har en amerikansk befälhavare i krig haft så mycket information. Den amerikanske befälhavaren Schwarzkopf sa dock efter kriget att han hade haft svårt att få en överblick. Att presentera informationen på ett bra sätt och få ut något vettigt av den är en stor utmaning.

En avgörande faktor för förmågan att tillgodogöra sig information är vilken presentationsteknik som nyttjas. En människa kan t ex normalt sett bara minnas 20-30 telefonnummer, men utan problem minnas tusentals ansikten trots att datamängden hos en bild är tusenfalt större än datamängden i ett telefonnummer.

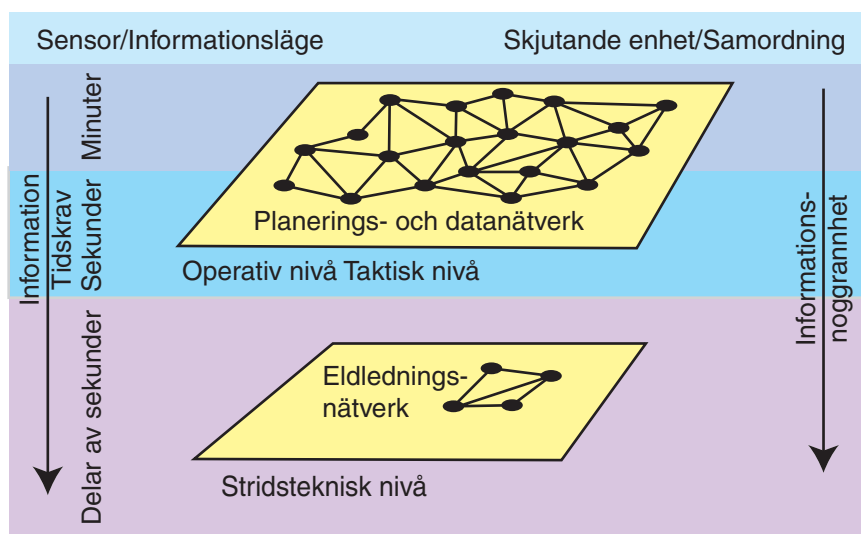


Bild 5-6. Behovet av informationskvalité beror på vilken roll användaren spelar. Tidskrav och krav på informationsnoggrannhet oftast störst på eldenhetsnivå.

Med rätt presentationsmetod och om de olika befattningshavarna tillåts zooma in kartan till det geografiska område som just de berörs av och den funktion de är intresserade av så finns möjligheter att göra informationsmängden överskådlig.

Datafusion

Om operatören eller förbandschefen överhoppas med information eller inte beror även på sensorernas möjlighet att minska data- och informationsmängden till hanterbar nivå. En mycket viktig funktion för att reducera datamängden är att systemet kan göra en korrekt form av datafusion. Med datafusion avses förmågan att ur flera olika sensorers data eller mänskligt genererade rapporter skapa en omvärldsuppfattning. Om t ex två radarstationer och en signalspaningssensor har observerat samma mål så ska detta presenteras som ett mål och inte som tre olika. Förmågan att fusionera stora datamängder i funktionskedjan, lägesbestämma, klassificera och identifiera kommer således att vara gränssättande inom NBF.

Teknikutvecklingen vad gäller sensordatafusion gör att stora mängder data från olika aktiva och passiva sensorer gemensamt kan bygga upp en samlad korrelerad bild i nära realtid.

Tekniken förutsätter emellertid bl a följande:

- En kommunikationsstruktur med hög kapacitet för överföring av stora mängder data, vilket i sin tur ställer krav på stor bandbredd.
- Sensorerna kan positionsbestämmas med hög noggrannhet.

- En igenkänningsfunktion (IK) samt förmåga att meddela egen position för att möjliggöra en säker lägesbild över egna enheter.
- Högkvalitativ automatiserad analys redan på låg nivå i nätverket.
- Tidsmärkning av rapporter.
- En väl fungerande datakorrelering som kopplar samman observationer från olika sensorer.

Metoder utvecklas för informationsfusion inte bara mellan rapporter från olika sensorer utan även med underrättelser rapporterade av människor, HUMINT (Human Intelligence) till den tekniskt genererade lägesbilden. De ökade möjligheterna för beslutsfattare att basera besluten på bättre underlag innebär även att beslutsstödet, dess metoder och teknik, måste utvecklas vidare.

Informationsdatabaser

Information och underlag i databaser kan med hjälp av kommersiell teknik distribueras förutsatt att inte sekretess och tillgänglighet blir lidande. Om identifikation sker i den framskjutna sensorn ställs lägre krav på kapaciteten vid informationsöverföringen. Ju mindre mängd data som ska överföras desto billigare blir nätet. För identifiering krävs ofta ett signaturbibliotek men eftersom det ofta är hemligt uppstår ett avvägningsproblem mellan risken att röja hemligheter och kapaciteten i nätverket. Problemet visar också att det behövs teknik för att hantera hemlig information i perifer enheter.

Ledningssystemet kommer att behöva snabb tillgång till data, information och kunskap med tillräckligt hög och dokumenterad kvalitet från många olika källor. När man vill tillgodose dessa krav erbjuder nätverksstrukturen stora fördelar. IT-utvecklingen medger successiv nätutbyggnad där nya och gamla delar kan samverka.

Information och kunskap kommer att vara distribuerade i nätverket, och lagras med användning av teknik för distribuerade databaser (flera spridda databaser). Denna teknik medger begränsad men korrekt data-åtkomst trots avbrott i sambandet.

Om sensorstyrning

Vilken uppgift det än rör sig om kommer någon typ av sensor eller underrättelseteknik att kopplas in i nätverket. Val av sensorer och beslut om fördelning av resurser sker på olika nivåer i beslutshierarkin. Informationsflödet blir beroende av organisation, struktur, arkitektur och fördelning av kapaciteten i nätverket.

Alla sensorer kräver någon form av styrning/resursallokering, vilket kan beskrivas som en aktivitet bland andra, men det är en aktivitet som inte har så lång tradition och därför inte är utredd tillräckligt väl. Sensorstyrningen blir än viktigare i framtiden då behovet av att kunna kraftsamla sensor och andra resurser ökar. Sensorerna i sig blir också mer av multifunktionstyp.

Generellt för all typ av styrning är att man hela tiden har klart för sig vad det övergripande målet med verksamheten är liksom önskemål och krav från användarna. Det är också viktigt att komma ihåg att det troligen inte är sensorernas medelegenskaper som vinner slaget utan de extraordinära egenskaperna, goda som dåliga, som man utnyttjar väl i förhållande till motsidan.

Styrning med kort tidshorisont innebär styrning av individuella sensorer och parametersättningar hos sensorerna eller olika mätmoder. Ett exempel som är taktiskt intressant är att utnyttja bi-eller multistatiska mätprinciper. Då måste sändaren styras till att belysa det intressanta området medan mottagaren styrs så att denna belysning på ett optimalt sätt utnyttjas till målinmätning. Styrning av t ex kommunikationsnätverket så att fördröjning av data kan minimeras under kritiska förlopp sker också med kort tidshorisont. All styrning bör ske i termer som passar användaren snarare än i sensortermer. Styrning från många samtidiga användare kommer att leda till konfliktsituationer vilka måste lösas upp på ett ordnat, och för användaren, förståeligt sätt. Att klara de konfliktsituationer som uppstår på ett ordnat sätt är troligen också nyckeln till ett väl fungerande system som känns förtroendefullt för användaren.

Styrning med medellång tidshorisont kallas här resursallokering. Resursallokeringsproblemet är generellt och gäller inte enbart sensorer.

Traditionellt har sensorer tillhört olika militära förband som var och en haft total kontroll över sina sensorer, eventuella samutnyttjanden har alltid skett på det "ägande" förbandets villkor. Detta kommer inte att fungera i en framtid där i princip alla sensorer ska kunna samutnyttjas. Detta leder till att nyttjandetillstånd hanteras för långsamt, i för stora tidsluckor och för slumpmässigt för att en befattningshavare ska se resursen som en viktig tillgång. Resursägaren håller också för hårt om "sin" resurs eftersom han inte törs låna ut den av rädsla att själv inte kunna utnyttja sin resurs när han behöver den. Hanteringen av sensorutnyttjande (resursallokering) måste därför systematiseras och formaliseras, samt få ett tekniskt stödsystem.

Sensorstyrning med lång tidshorisont handlar om att bestämma var sensorplattformar ska operera samt vart och när de ska förflyttas. Dessutom ska avgöras vilka sensorer/sensorplattformar som ska användas i ett givet läge. Valet beror på många faktorer såsom väder, miljö, motståndarens system samt de egna dispositionerna (logistik m m). Kostnader och risker för förluster är en annan faktor liksom osäkerheten i samtliga

bedömningar. Vid denna typ av styrning kommer att behövas verktyg för att bedömma prestanda, analysera risker, predikera händelseförlopp etc. Dessa verktyg behöver anpassas till de olika roller som befattningshavare har. När man strategiskt väljer sensorer så bör man sträva efter att ha många olika sensortyper som opererar i flera olika frekvensområden, detta för att minska sårbarheten samt att öka dess totala prestanda. Man bör också välja sensortyper med kompletterande egenskaper så att fler informationsbehov kan tillgodoses. Dessutom bör man sträva efter multipeltäckning i de viktigaste områdena så att lokal sensoröverlägsenhet uppnås. Att använda multifunktionssensorer medför att flera av de ovanstående önskemålen kan uppfyllas med samma sensor.

Några grundläggande problem är vem som sekundaktuellt ska styra sensorer, hur många sensorer ska styras från en viss nivå? Vilka typer av sensorer? Vad gäller för de sensorsystem som krävs för att ett vapensystem ska komma till verkan, ska inte chefen för t ex ett robotkompani själv kunna styra spaningssensorerna? Detta torde bli kunna bli ett rent ledarskapsproblem. Hur uppfattas det om en chef högt upp i hierarkin nyttjar en radarstation, vars personal därmed utsätts för risken att bekämpas med signalsökande robotar? Vad händer om ett vapensystem just vid ett visst

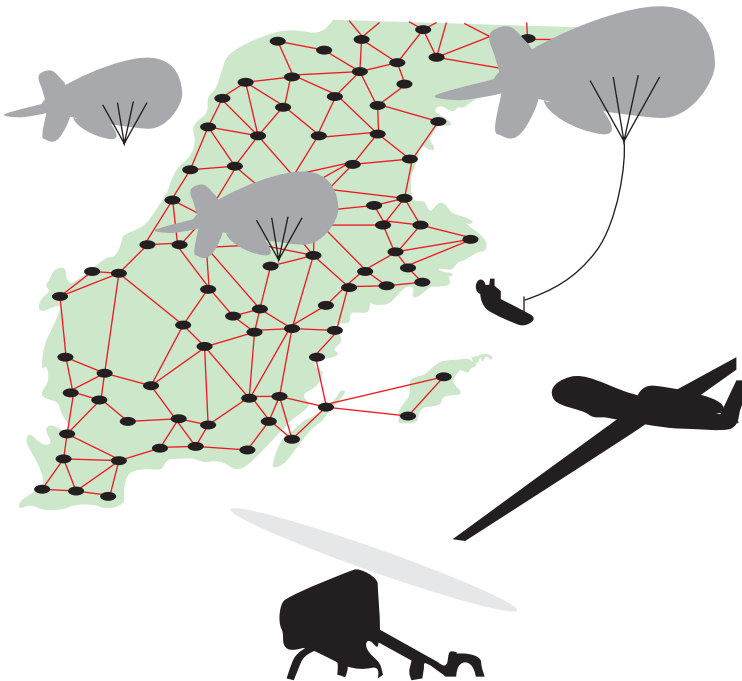


Bild 5:7. En vision av ett sensornätverk

tillfälle behöver invisning och den enda sensorn som just då ser målet, stängs av från en högre nivå?

Att känna sensorns position och spaningsriktningen är en förutsättning för att kunna lokalisera och följa ett mål. Positionering i sensorsystem där sensorerna flyttas omkring är en nyckelteknologi. Likaså utgör tiden en grundpelare för att sammanställa information från olika källor till en enhetlig lägesbeskrivning. Det är viktigt att veta när en observation gjorts, både för att associera denna med annan information och för att göra bra predikteringar. Det är exempelvis en viss tidsskillnad för att finna ett föremål med hjälp av radar jämfört med att hitta målet i en IR-bild. Luftvärnets radarstationer uppdaterar sin bild ofta, typiskt en gång per sekund, medan långräckviddiga spaningsradar kanske bara gör det en gång per tio sekunder. Därför måste målens positionsuppdateringar tidsmärkas. Slutligen utgör också kvalitén på informationen en viktig parameter. En sensor, t ex en 2D-radar, har en bra avstånds- och sidvinkelinformation men dålig höjdinformation om målet. En annan sensor, exempelvis en IR-spanare, har mycket bra riktningsinformation men ingen avståndsinformation alls. Läge, tid och informationskvalité utgör således grundpelarna för att sammanställa informationen till en lägesbild. Metoder för informationsbehandling samt kommunikation är andra centrala delar.

Om organisation

Inom informationsteknologin finns två strukturer för informationshantering.

- *Hierarki.*

Informationen går stegvis genom organisationen och tekniken ska främst påskynda bearbetningen och vidarebefordringen av information. Utgångspunkten är att människor bedömer informationen före den går vidare. Problemet är att filtreringen av informationen går långsamt.

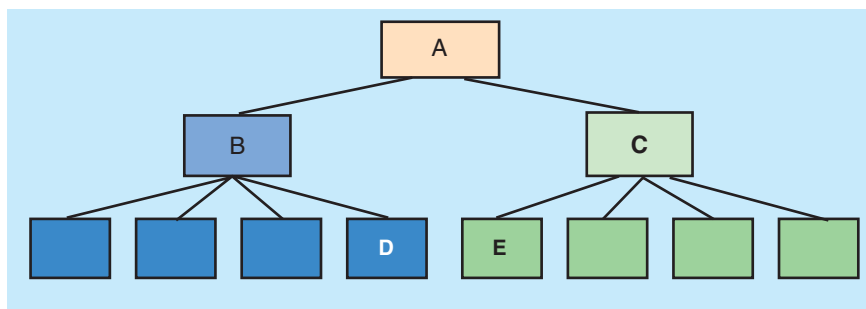


Bild 5:8. Hierarki.

- *Nätverk.*

Beslutsfattare hämtar information utifrån sina behov. Detta ska jämföras med den hierarkiska strukturen där individen serveras bearbetad och analyserad information. En förutsättning är att beslutsfattaren vet vad han vill. Andra problem är att informationsbehovet är svårt att bedöma och sökverktygen ofta är trubbiga och säkerheten låg.

Troligen kommer NBF att medföra att antalet ledningsnivåer kommer minska. Detta för med sig att mindre personal åtgår till stabsbefattningar m m. Den ökade informationsmängden kan dock motverka denna minskning av personal.

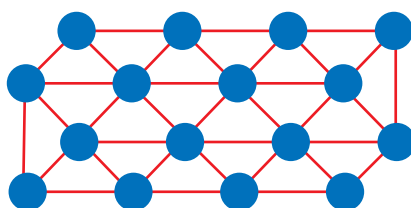


Bild 5:9. Nätverk.

En hierarkisk organisation har fördelen att det är väldigt tydligt hur det sociala mönstret ska vara. I en platt organisation är det svårare för chefen att hinna ta ansvar för de direkt underställda.

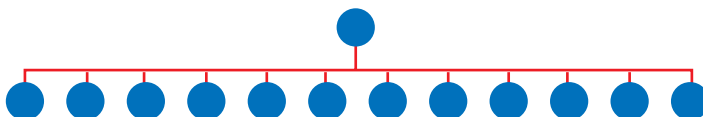


Bild 5:10. Platt hierarki.

Valet av organisationsform påverkar dels rent mänskliga aspekter såsom ledarskap och motivation, men också kommunikationstekniska aspekter. Mängden information som förflyttas påverkas av hur strukturen är uppbyggd.

Kommunikationssystemet inom NBF

Det är troligt att det moderna krigets akilleshäl kommer att vara kommunikationssystemet. Den kanske svåraste frågan att lösa för det digitala slagfältet är hur man ska hantera det stora flödet av information. De framtida sensorerna kommer att generera stora mängder data.

För att effektivt kunna använda sensorer, vapen- och ledningssystem krävs säker informationsöverföring med hög kapacitet mellan olika ledningscentraler och plattformar, vilket ställer stora krav på utvecklingen

av sambandssystemen. Behoven av telekommunikationskapacitet kommer att växa kraftigt, trots att olika former av datakomprimering tillämpas. Det stora problemet är hur man ska kunna erhålla kapacitet, rörlighet och störskydd samtidigt.

Rörligheten innebär att radiosamband måste användas. Radion kommer att ha en begränsad kapacitet, dels på grund av fysikaliska begränsningar, dels på grund av krav på störskydd. Kraven på sambandssystemen kommer att innebära att en viss utveckling av traditionella radiosystem mot högre kapacitet genom att högre frekvenser och frisiktslänkar nyttjas eventuellt med hjälp av obemannade flygburna plattformar som relästationer. Detta kommer dock inte att lösa det ökade behovet av informationsöverföring på det digitala stridsfältet. Det är ett stort forskningsproblem att skapa det sambandsnät som kan uppfylla de behov som förutses.

I situationer med rörliga enheter är radiosamband nödvändigt. Det är tveksamt om radiosambandet kan ges tillräcklig överföringskapacitet i kombination med erforderlig säkerhet. För att förbättra situationen behöver olika tekniska metoder studeras, som t ex ökning av bandbredden hos sambandssystemen, uppbyggnad av robust infrastruktur, okonventionella signaleringsmetoder eller reduktion av den informationsmängd som behöver överföras, t ex genom ändrade sambandsrutiner. Detta är ett fundamentalt problem för uppbyggnaden av det digitala stridsfältet.

Ett framtida militärt sambandssystem kommer att bygga på en kombination av civila och militära sambandslösningar. För det övergripande sambandet måste den civila teleinfrastrukturen användas. Det är också troligen nödvändigt att ett unikt militärt sambandssystem finns som reservsystem att använda under svåra förhållanden, t ex vid utslagning av det civila samhället.

Sambandssystemens kapacitet

Den viktigaste faktor som avgör ett näts kapacitet är dess konfiguration. En mängd detaljer påverkar kapaciteten, t ex hur många noder (stationer) som är anslutna till ett visst fysiskt nät, vilka maximala datahastigheter och sändareffekter de kan använda sig av samt vilken informationslagringskapacitet man tillfälligt kan använda vid en enskild nod. Dessutom påverkar geografisk placering också kapaciteten. Ett större avstånd mellan två närmaste grannar kan medföra en lägre datakapacitet på just den länken.

I ett nätverk gäller att kapacitet och fördröjning ofta kan bytas mot varandra. Detta gäller speciellt i nät med stor variation i last. Om tillämpningen tolererar stor fördröjning, t ex dygnsvis inrapportering av underhållsläget, kan man invänta en nedgång i belastningen på nätet och då överföra en ansevärd mängd information med all tillgänglig kapacitet.

Ytterligare två aspekter påverkar kapaciteten. Vilken grad av störskydd samt vilka smygegenskaper bedömer man som erforderliga? En högre grad

av störskydd drar ner kapaciteten signifikant. Man kan grovt säga att störskydd erhålles genom att sprida sin signal i ett större tid-frekvensutrymme än vad som är absolut nödvändigt. Ett mått som man använder sig av för störskydd, är spridningsvinsten (Processing Gain, PG). Den definieras som den tillgängliga spridningsbandbredden (W_{ss}) genom systemets dataakt (R_b)

$$PG = W_{ss} / R_b$$

Genom att öka länkens datahastighet R_b minskar spridningsvinsten och därmed störskyddet. Om man istället kan öka den tillgängliga spridningsbandbredden W_{ss} så ökar spridningsvinsten. Likaså minskar datakapaciteten R_b om man behöver lägre profil ur smygegenskapssynpunkt.

Om störskyddet ökar så kommer datahastigheten, R_b , att minska då

$$R_b = W_{ss} / PG.$$

Simuleringar

I de framtida ledningssystemen och vapensystemen kommer man att eftersträva att ha olika typer av inbyggda simulatorer. Med utvecklade simuleringstekniker ökar förmågan hos beslutsfattare och deras medarbetare att förstå och hantera dynamiska förlopp. Genom simulering av strids-situationer kan personalen ges ökad träning redan under fredsförhållanden. När ett kvalificerat och adekvat simuleringssystem finns att tillgå är det regel att detta både leder till höjd kompetens och minskade utbildningskostnader.

Motmedel

Motmedel och motåtgärder kan vara av såväl teknisk som taktisk natur. Här diskuteras främst det först nämnda. En grov indelning kan vara att

- förhindra,
- försvåra
- vilseleda.

En annan indelningsgrund avser syftet med och inriktningen av motmedlen (telekrigangrepp):

- Åtgärder mot ledningssystem, där syfte är att minska motståndarens förmåga att leda dvs att tillse att hans förmåga till samordnad insats reduceras eller upphör.
- Åtgärder mot vapensystem, där syftet är att omintetgöra verkan.

Olika former av elektroniska motmedel mot ledningssystemet riktar sig dels mot logiken (programvaran), dels mot informationen (innehållet).

Elektronisk störning

En ökad användning av s k direktspridning, inom radiokommunikation, kommer att kräva ett omfattande forskningsinsats för att kunna ge en effektiv störverkan hos framtida motmedel. Direktspridning kan sägas vara radiokommunikationens motsvarighet till radarns pulskompressionsteknik, d v s att signalen sprids ut över ett stort frekvensområde vilket gör signalen svårare att uppfatta och störa.

Förgrundsstörning med hjälp av UAV eller på annat sätt utplacerade enheter kommer att vara ett viktigt verktyg för att hindra kommunikation. Fjärrstörning ter sig allt svårare då motståndarsidan använder sig av olika former av avancerad bandspridningsteknik (t ex direktspridning).

Motmedel mot ledningssystem

De motmedel som är effektivast att sätta in mot ett distribuerat ledningssystem är avlyssning och störning av datakommunikation. Dock innebär det faktum att datakommunikation är helt digital, möjlighet till skydd mot avlyssning med hjälp av kodningsteknik, kryptoteknik m m. Fyllnadssignalering kan nyttjas för att maskera nätbildning och syfte. Motmedlen mot radiobaserad datakommunikation är av samma karaktär som motmedel mot samband.

Datakommunikation i ett ledningssystem är uppbyggt av en stor andel civila komponenter, låt vara modifierade. De är möjliga att störa via falsk signalering, både genom att påverka kommunikationsnätet med falsk nätstyrningssignalering och genom att plantera in falska meddelanden. Skyddet mot olika typer av falsk signalering bygger på autenticering baserad på kryptoteknik. I dagsläget är sådan stark autenticering ett försvarsspecifikt krav, som måste lösas via komplettering av civila komponenter.

Andra hot är olika typer av inplanterade ”trojanska hästar”, datavirus, logiska bomber m m. Utvecklingen går mot bättre typer av operativsystem och ökad användning av autenticering, vilket försvårar inplantering. Erfarenheter visar att många säkerhetsluckor beror på felprogrammering, oförutsedda data o dyl.

Genom att överlasta sambands- och beslutsstödsystemen med alltför mycket (falsk) information kan t ex felaktiga slutsatser dras eller besluts-cykeln dramatiskt förlängas. Skyddet kan bestå av speciella filter nära sensorerna, för att tidigt eliminera den falska informationen.

Skydd mot agenter och spioner bygger på uppdelning av ledningssystemet i mindre arbetsområden samt system med behörigheter och säkerhetsklasser. Genom användandet av s k ”smart cards” minskas risken för obehöriga intrång. Genom kryptering av informationen även i databaser försvåras åtkomsten. Utvecklingen går mot ökade fördelar för krypterarna. Observera att nyckelhanteringen kan ge säkerhetsluckor.

I framtiden kan det bli lönsamt att försöka störa eller vilseleda beslutsstödet, t ex genom skenmanövrar som leder till felaktiga beslut om insatser. Stela, fasta beslutsalgoritmer ökar sårbarheten. Genom vilseledning kan prioriteten på besluten ändras, vilket kan medföra att beslutsstödssystemet ”styrts” mot att bearbeta mindre viktiga uppgifter.

En del av dagens programsystem för situations- och hotanalys är störkänsliga. Detta är viktigt att beakta då man inom luftvärnet utvecklar olika typer av system för hotanalys och insatsoptimering. Risken kan vara att det skapas ett stereotypt beteende som en motståndare kan luras med hjälp av olika typer av skenmanövrar. Då schackvärldsmästaren Kasparov besegrade superdatorn Deep Blue, så lär det ha varit just genom att använda denna typ av svagheter hos datorn.

På längre sikt kommer datafusionsmetoder som kan resonera under osäkerhet och självlärande system. Dessa ska kunna hantera tidsvariabeln, osäker, ofullständig och motstridande information.

På högre nivåer (strategisk/operativ) kan informationskriget göra att en falsk normalbild får större genomslag vid användning av avancerat beslutsstöd. Beslutsfattarnas avstånd från verkligheten är en svaghet som underlättar vilseledning. Beslutsstödet riskerar att införa ett filter mellan operatör och verklighet.

Det är viktigt att beakta vilka skyddsåtgärder man kan vidta om sambandsmedel faller i motståndarens händer. Såväl taktik- som teknikanpassning bör således kunna ske omedelbart.

Civil teknik

Fram till 1980-talet var det oftast den militära sektorn som drev teknikutvecklingen framåt. Så är det inte längre. Vad gäller informationsteknik, IT, drivs utvecklingen främst av kommersiella organisationer.

Några utvecklingstendenser vid införandet av IT på slagfältet

- standardkomponenter (Commercial-off-the-shelf, COTS) nyttjas i hög grad
- krav på hög tillförlitlighet
- standardprogramvara (typ MS Office)
- höga krav på fysisk och elektromagnetisk tålighet hos hårdvaran
- krav på uppgraderingsbarhet av programvaran

Utvecklingen av NBF

Utvecklingen av nätverksbaserat försvar är förknippat med utvecklingen av Internet. Systemen för det nätverksbaserade försvaret ska precis som Internet utvecklas evolutionärt. Med detta menas att det successivt ska utvecklas genom diverse tester, demonstratorer och experiment. Med en

evolutionär utvecklingsmodell så kan de olika delar som ett program består av successivt ändras. Det räcker inte att skapa ett system som är en perfekt maskin vid starten utan systemets delar måste vara sammankopplade så att de kan bytas ut var för sig utan att resten drabbas. Komponenter från externa leverantörer måste kunna kombineras med egenutvecklade. Ett exempel på ett system med evolutionär utveckling är luftvärnets funktionsmodell för planering/ledning-FumLvPLUS.

Utvecklingen av NBF kommer att ske över ett antal experiment, funktionsmodeller och demonstratorer. De största demonstratorerna benämns Demo 05 och Demo 06.

Övergripande syfte med Demo 05/06

De förband och system som ingår i Demo 05/06 ska visa de delar i ett tänkbart ledningssystem 2010, som är tekniskt och ekonomiskt möjliga att pröva redan 2005-2006.

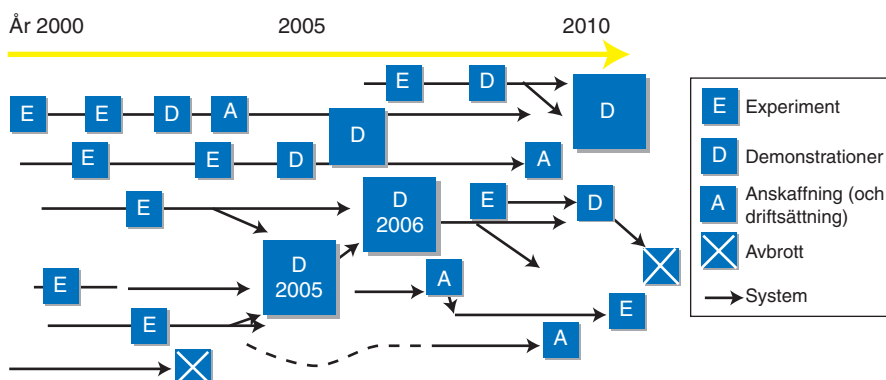


Bild 5:11 Planerad utveckling av det nätverksbaserade försvaret.

Några av de saker man vill demonstrera med Demo 05/06 är:

- Möjligheter att länka samman olika funktioner – främst för ledning, information och verkan – genom nätverkslösningar samt att validera systemeffekter av detta, särskilt vad gäller gemensam lägesuppfattning och ledningsstöd.
- Vara en del i verifikationen av det nätverksbaserade ledningssystemets informationssäkerhet.
- Stödja och pröva utveckling av ny ledningsmetodik för nätverksbaserat försvar, med betoning på att åstadkomma rätt avvägd verkan i rätt tid.
- Verifiera och validera en gemensam teknisk arkitektur och vissa andra tekniska lösningar för nätverksbaserat försvar. Härvid prioriteras förmågan att genomföra kontinuerlig och snabb utveckling.

Med demonstratorerna vill man få svar på ett antal viktiga frågor inför anskaffningen av ett verkligt system.

Några av dessa frågor är:

- *Ledningsmetodik.* Vilka krav och möjligheter för militär ledningsmetodik ger ett nätverksbaserat försvar?
- *Systemarkitektur.* Hur bör Försvarsmaktens övergripande systemutformning ske för att möjliggöra NBF?
- *Gemensam omvärldsuppfattning.* Hur skapas en i grunden gemensam lägesbild av tillräcklig kvalitet, som kan presenteras rollbaserat och som förstås på ett likartat sätt av alla aktörer?
- *Beslutsstöd.* Hur bör informationssystemet, särskilt i fråga om tekniskt beslutsstöd, utformas för att stödja ledningsmetodiken och därmed strävan efter ledningsöverläge?
- *Informationssäkerhet.* Hur kan erforderlig informationssäkerhet skapas i ett nätverksbaserat ledningssystem?
- *Personal, utbildning och övning.* Hur kan Försvarsmakten rekrytera, utbilda och behålla den kompetens som NBF kräver?
- *Utvecklingsmetoder.* Hur bör utvecklingsarbetet utformas för att erhålla en evolutionär utveckling med hög dynamik och flexibilitet?

Ledningssystemutveckling inom luftvärnet

Luftvärnet är, genom sina radarstationer, kanske den del av armén som haft längst erfarenhet av sensorsystem. Luftvärnet tillfördes i slutet av 1980-talet de första hotutvärderarna på eldenhets och underrättelseenhets nivå. Det har emellertid inte funnits någon form av ledningssystem till stöd för funktionerna, planering och uppföljning av striden.

Den här delen av kapitlet vill visa på utvecklingen av ledningssystem för luftvärnet.

Utformningen av taktiska ledningsverktyg

Då ett ledningsverktyg ska utvecklas måste detta naturligtvis svara mot motståndarens förmågor och det sätt man avser att föra striden.

Några av de frågor som bör besvaras före utvecklingen av ett ledningssystem startar är:

- Hotbilden, hur ser stridssituationen ut i framtiden?
- Vad ska ledas?

- Vad är övergripande ledning (ÖL) och vad är insatsledning (IL)
- Vilken ledning är möjlig i olika tidsperspektiv?
- Vem leder vad?
- Hur leder man?
- Hur ser det grundläggande regelverket ut?

Utveckling av luftvärnets ledningsplatser

Luftvärnet började tillföras radarstationer på allvar under slutet av 1940-talet och början av 1950-talet. Fram till slutet av 1980-talet utgjorde förbandets spaningsradarstation den s k stridsledningstroppen, StriTo. Härifrån leddes striden centraliserat, av kompanistridsledaren vilket normalt sätt var en löjtnant eller kapten. Vid eldenheten fanns den värnpliktige eldledaren vars uppgift var att avge eld mot invisade mål. Skillnaden mot dagens system var att kompanistridsledaren beordrade eld medan eldledaren endast verkställde. Orsaken till detta var att man på denna tid inte hade någon samlad luftlägesbild vid eldenheten. Det var bara vid spaningsradarstation hos StriTo, som det fanns möjlighet att få en sammanställd luftlägesbild.

Under slutet av 1980-talet övergick man till att låta radarstationen bli en ren underrättelseenhet vars uppgift var att förmedla luftläge till eldenheterna. Beslut om eldgivning fattades nu istället av den värnpliktige stridsledaren på eldenheten. I och med införandet av måldatamottagaren (MDM) till PS-70 hade stridsledaren fått en viss möjlighet att skapa sig en luftlägesbild. I och med införandet av PS-90 och modifieringen av Cig 790 fick luftvärnet de första hotutvärderarna för underrättelse- och eldenheter.

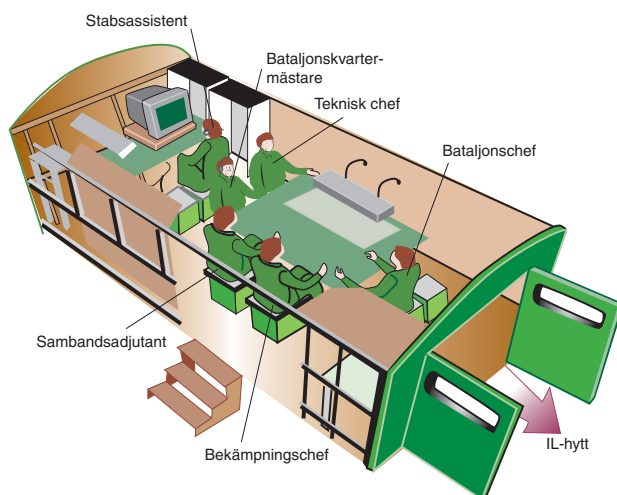


Bild 5:12. Exempel på ledningsplats.

Förbandschefens möjligheter att följa upp striden var under denna tid begränsad. Fram till början av 1990-talet bestod luftvärnförbandschefens möjligheter att leda luftvärnsstriden i att lyssna på luftförsvarsorientering (LuFOR) och luftförsvarsorder (LvORDER). LuFOR sändes på P2-nätet och bestod av muntliga orienteringar om fientligt och eget flyg. Dessa rapporter ritades kontinuerligt (manuellt) in på en karta. Chefen använde även möjligheten att lyssna av LvStri-nätet för att bilda sig en uppfattning om vad som i realtid hände vid eldenheterna och spaningsradarstationerna. Efter genomförd strid sände eldenheter och undstationer sina bekämpnings- och störrapporter till förbandschefen som med dessa som underlag skulle försöka utreda vad som hänt och taktikanpassa inför nästa flyganfall.

Efter Gulfkriget blev det uppenbart att radarstationernas sändning måste samordnas för att stationerna ska kunna överleva angrepp från signalsökande robotar och luftvärnsjägare. För att ge förbandschefen tillräckligt med information för att leda spaningsradarstationerna och bättre möjlighet att utvärdera striden försökte man inledningsvis placera förbandschefen inne i en radarstation. Detta innebar dock problem genom att han tog någon annan persons plats, vilket ledde till att underrättelsetjänsten sköttes sämre. Dessutom blev det konflikt mellan undledaren och förbandschefen om de sambandsmedel som finns inne i radarstationen. Ofta uppstod en splittring mellan förbandschefens behov att fatta mer långsiktiga beslut och Undledarens krav på sekundaktuella beslut.

Avfilmad radarbild

Man provade därför att ställa chefens ledningsfordon utanför radarstationen och med en videokamera filma stationens PPI och ta in bilden i ledningsfordonet.

Detta minskade problemen men hade fortfarande ett antal nackdelar

- mycket fordon och personal på ett ställe
- chefen blev tvungen att omgruppera då radarn omgrupperar.

Den största nackdelen var att förbandschefen bara såg vad en radar hade på sitt PPI. Han fick fortfarande ingen bra bild av det totala luftläget. Om den radar chefen var grupperad vid inte sände så var han utan underrättelser. Risker var därför stora att denna radar skulle beordras att sända alltför mycket för att kunna överleva.

För att minska dessa nackdelar försökte man förmedla videobilder från förbandets alla radarstationer till förbandets stabsp plats. Nackdelen med detta var svårigheterna att med tillräcklig kvalitet överföra videobilderna med tillgängliga sambandsmedlen. Metoden kräver bredbandsöverföring för att ge tillräcklig bildkvalité. Men även om detta lyckas så är det svårt

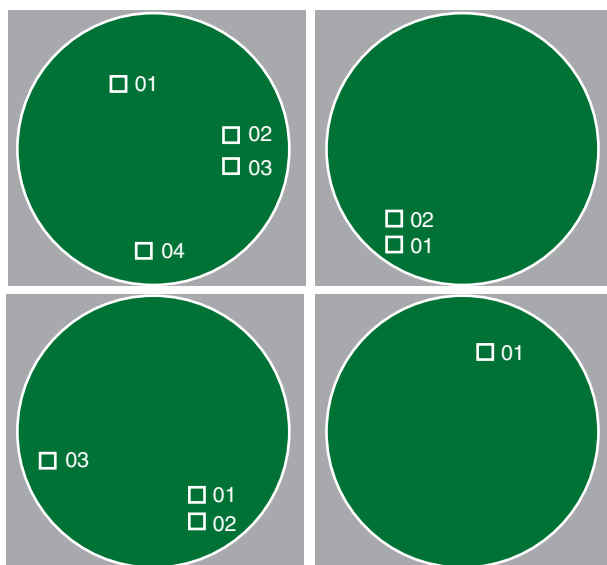


Bild 5:13. Hela eller delar av samma luftläge presenterar på fyra PPI. Varje radar har egen numrering på sina mål.

att (mentalt) sammanställa (fusionera) de olika radarstationernas video-bilder till ett gemensamt luftläge. Det blir också uppenbart att för att kunna eliminera de falska kryss som uppstår vid krysspejling av flera störsändare så behövs det datorstöd. Fördelen med en avfilmad radarbild är att man eventuellt direkt kan se hur en radar påverkas av en viss störform.

LuLIS

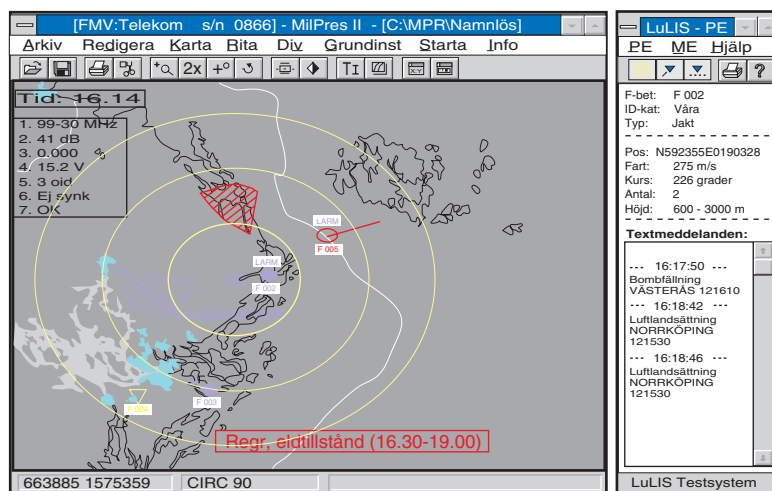


Bild 5:14.

I slutet av 1990-talet övergick flygvapnet från LuFOR till LuLIS, vilket innebar en stor förbättring av möjligheterna att skapa sig en bild av aktuellt luftläge.

LuLIS består av en delmängd av flygvapnets STRIL-information. Information från flygvapnets sensorer tas emot och sammanställs i stridsledningscentraler. Informationen sänds sedan ut i krypterad form via P2-nätet. LuLIS-informationen presenteras därefter grafiskt på en bärbar dator. LuLIS är ett utmärkt hjälpmedel för styrning av underrättelsetjänsten, man måste dock vara uppmärksam på dess nackdelar. Motståndarens resurser kommer till stordel att inriktas mot att slå ut flygvapnets radarstationer och därmed slå ut LuLIS. Luftvärnet har i dagsläget dåligt med information om hur flygvapnet minuttaktiskt nyttjar sina radarstationer. Om man vid ett visst tillfälle inte ser några mål på LuLIS kan det både bero på att flygvapnet just då inte har någon STRIL-täckning i vårt område eller att det inte finns några flygplan i området. Slutsatsen är att luftvärnet inte bör hänga upp hela sin strid på att LuLIS alltid fungerar.

I framtiden kommer även luftvärnets radarstationer få möjlighet att skicka in mål till StriC vilka sedan kommer att presenteras på LuLIS.

Hotbildsstudie 1990-talet

Vid studie av hotbilden under senare hälften av 1990-talet framgick bl a att för att luftvärnet ska klara framtidens komplexa lufthotbild krävs datoriserat beslutsstöd på stridsteknisk och taktisk nivå.

Några av de krav man såg på ett framtida lednings- och sensorsystem var att

- man borde ha tillgång till intern/extern luftlägesinformation med olika kvalitet
- agera mot luftmål med olika typer av verkanssystem (EldE) med olika förmågor samordnat och insatsoptimerat
- verka mot både vapenlast och vapenbärare
- verka mot bemannade och obemannade farkoster/mål
- verka mot mål med olika storlekar (från 0,01m²)
- verka mot allt från 1 upp till ett 100-tal mål samtidigt
- hantera/överleva motståndarens motmedel (störning/ssrb)
- hantera vilseledning (skenmål och falskekon)
- hantera olika identiteter (fientliga, egna m fl)
- hinna agera mot många mål under korta stridsförlopp (sek - min) vilket skulle göra det möjligt att upprätthålla beredskap under lång tid med bibehållet högt stridsvärde.

Ledning av luftvärnsförband

I mitten av 1990-talet började framtagningen av vad som skulle kunna sägas vara en del i en luftvärnsdoktrin. Syftet var att ange riktlinjer för hur spaningsradarstationerna bör ledas för att kunna möta den nya hotbilden. ”Doktrinen” kom att benämnas ”Ledning luftvärn”. Detta avsnitt redovisar några av huvudtankarna i ”Ledning luftvärn”. Dokumentet har haft påverkan på framtagningen av RBS 23/97.

Dokumentet ”Ledning luftvärn” anger att syftet med luftvärnsförbanden är att eldenheterna ska komma till verkan. Bäst verkan fås om eld avges från överraskande platser. I en viss situation ska man kunna använda olika typer av eldenheter för maximal verkan. Detta kräver att man fritt kan välja var och när radarsändning ska starta för att ge eldenheterna bästa möjliga underrättelseunderlag.

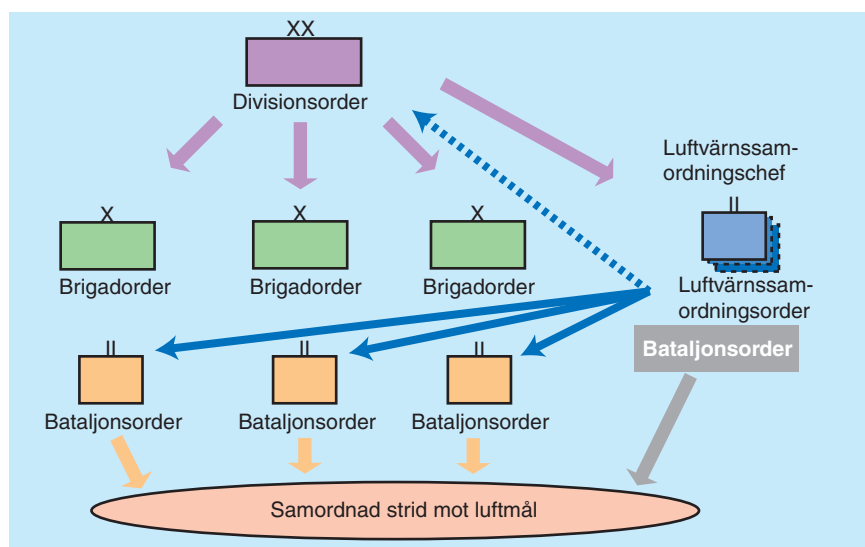


Bild 5:15. Ordervägar enligt ”Ledning luftvärn”.

Därför ska i svår telekrigsmiljö

- eldenheterna erhålla förvarning och (om möjligt) rättliggande invisning för att nå största möjliga verkan
- underrättelseenheter kunna bibehålla ett högt stridsvärde över tiden.

Chefen ska samordna olika resurser vid avgörande moment i striden (AR 2). Detta kräver, beroende på det höga tempot och de korta beslutstiderna att chefen har god överblick över luftläget.

Samordning

För att förbättra luftvärnsförbandens effekt vad avser strid mot luftmål ska enligt "Ledning luftvärn" luftvärnssamordning inriktas mot att främst samordna underrättelseinhämtningen och delgivning mellan olika förband inom ett samordningsområde.

Varje chef, oberoende av nivå, ska vid behov alltid samordna verksamheten. När luftvärnsförbanden kraftsamlas till ett område (t ex divisionsområde) och när olika förband "blandas" måste samordning systematiseras (styras av en chef inom området).

Ett exempel är när divisionschefen beordrar en luftvärnsbataljonschef att samordna striden mot luftmål inom hela eller del av divisionsområdet. Ett sådant område benämns luftvärnssamordningsområde. För att luftvärnsbataljonschefen i sin tur ska kunna samordna striden mot luftmål indelar han luftvärnsamordningsområdet i ett eller flera delområden. Dessa delområden benämns luftvärnsunderrättelseområden. Detta är ett geografiskt avgränsat område vilket luftvärnsunderrättelseområdeschefen leder striden mot luftmål. Luftvärnsunderrättelseområdet kan indelas i lokala luftvärnsunderrättelseområden.

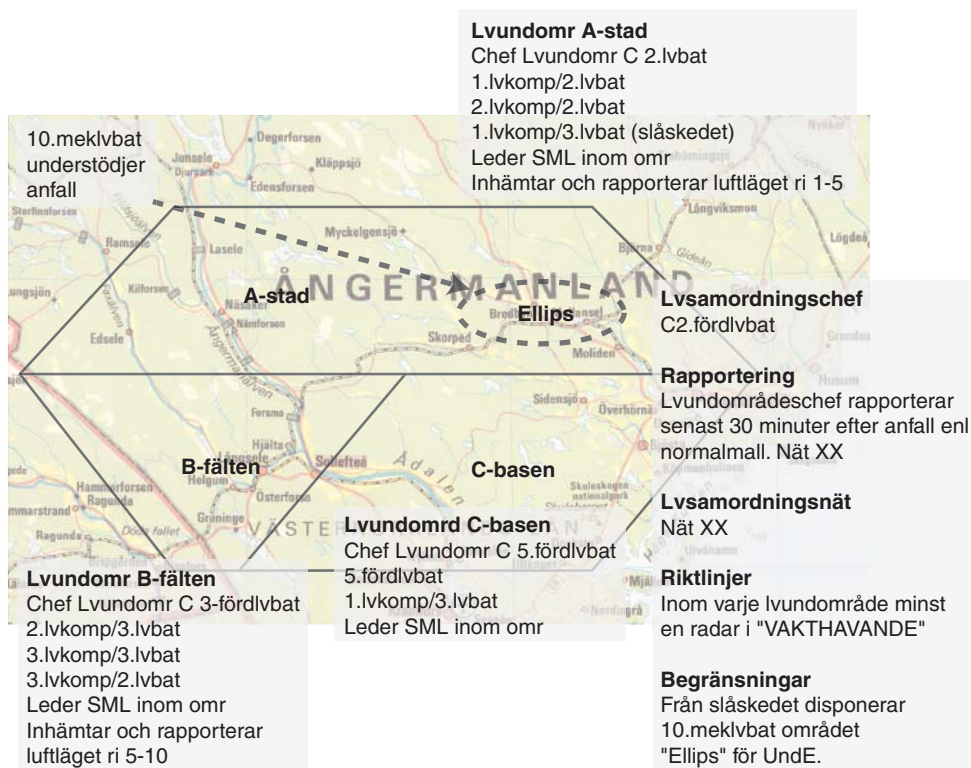


Bild 5:16. Luftvärnssamordning.

Samordningen har till syfte att ge största möjliga effekt av de luftvärnsförband som finns inom luftvärnsamordningsområdet. Den viktigaste uppgiften är att säkerställa måldata till skjutande enheter.

Kritik har i efterhand riktas mot "Ledning luftvärn". Kritikerna har menat att dokumentet i allt för stor grad fokuserat på sensorerna och glömt bort betydelsen av samordning av elden och eldenheterna. "Ledning luftvärn" kan ändå sägas utgöra grunden för luftvärnets sensorsamordning och taktik.

2003-års syn på Luftvärnsledning

Många av tankarna i "Ledning luftvärn" har inarbetats i dagens reglementen. Några av skillnaderna är dock att ett underrättelseområde normalt sett är ett bataljonsområde och verksamheten styrs av bataljonschefen. I nu gällande organisation har kompanichefen ofta 4-8 spaningssensorer. Detta gör att hans behov av underrättelseledning/samordning ökat.

Luftvärnsunderrättelseområdeschef

Luftvärnsunderrättelseområdeschef (normalt bataljonschef) främsta uppgifter är att

- säkerställa förvarning och invisning till samtliga eldenheter inom underrättelseområdet
- avväga hotet mot våra radarstationer
- klarlägga motståndarens uppträdande och taktikanpassa våra förbands strider.
- leda strid mot luftmål inom underrättelseområdet (normalt bataljonsområdet) genom att utarbeta luftvärnsunderrättelseområdesorder som inarbetas i förbandets ordinarie bataljonsorder såsom
 - beslut i stort och riktlinjer för stridens förande
 - indelning, gruppering och uppgifter
 - riktlinjer för taktiska funktioner bl a programmering av hotutvärderare, skyddsobjekt med prioriteringar och målval med prioriteringar

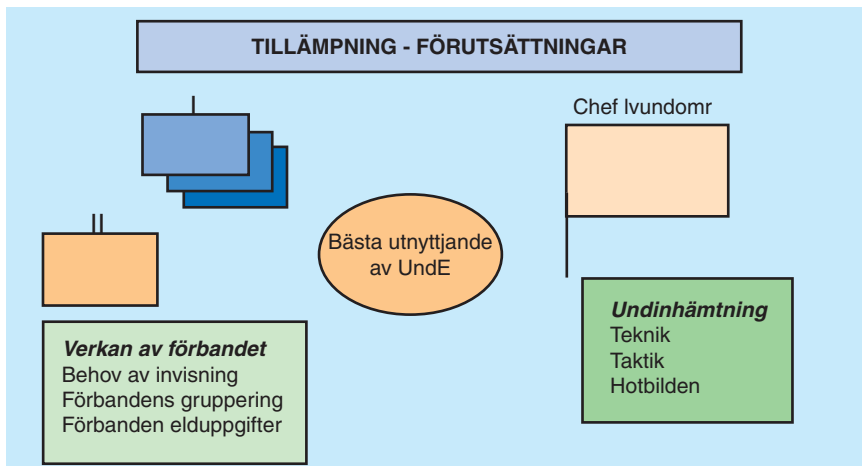


Bild 5:17. Utnyttjande av underrättelseenheter.

- ge riktlinjer för telekrigsåtgärder såsom
 - ledning av underrättelseenheter
 - Inriktning av radartaktiken, grupperingsgeometri och sändmönster
 - radarsamverkan och frekvensplan för ingående radarstationer
 - uppstart radarspaning
 - störskyddsåtgärder
 - skydd mot signalsökande robot
 - skyddsåtgärder mot sambandsstörning
- ge detaljbestämmelser i fråga om eldtekniskt underlag
 - adresser
 - kontrollpunkter och tider för kompanis kontroller
 - rasterpunkt
 - strilorigo och origo
 - LuLIS
- ge detaljbestämmelser för rapportering i fråga om
 - rapportmall
 - rapporteringsväg
 - tidskrav.

Under stridens genomförande analyserar bataljonschefen fortlöpande stridsförloppet och utarbetar därefter riktlinjer för taktikanpassning.

Som underlag för analysen används främst rapportering från i underrättelseområdet ingående förband omfattande

- angriparens uppträdande inom underrättelseområdet
- egna förbands verkan.

Förbandschef med underrättelseområdesansvar leder strid mot luftmål med en kombination av kommandotaktik och uppdragstaktik, bataljonsstridsledning, eller enbart med uppdragstaktik – kompanistridsledning.

Bataljonsstridsledning

Bataljonsstridsledning innebär att underrättelseenheterna leds direkt under bataljonschefen vad avser strid mot luftmål och gruppering. Kompanichef leder strid mot luftmål med eldenheter i enlighet med angiven elduppgift och med stöd av bataljonschefs beslut i stort och riktlinjer.

Vid bataljonsstridsledning nyttjar bataljonschefen striavdelningen för ledning av strid mot luftmål. Striavdelningen leds av bataljonsstridsledaren.

Kompanistridsledning

Kompanistridsledning innebär att kompanichef leder strid mot luftmål i enlighet med angiven elduppgift och med stöd av bataljonschefs beslut i stort och riktlinjer. Kompanistridsledning är normalförfarande.

Kompaniets strid leds från ledningsplats normalt sett ILLv, StriE eller UndE 23. På kompanichefens uppdrag leds striden av bekämpningschefen med stöd av bekämpningsbefäl (leder sensorer) och bekämpningsassistent (beredd stötta de automatiska hotutvärderings- och insatsplaneringsfunktionerna för underrättelseledning).

Bekämpningschefen (kompanistridsledarens) uppgifter

- reglera eldberedskap och insatsgrad över tiden
- övervaka målfördelning och målval
 - undvikande av dubbelbekämpning
 - val av stridsteknik för målbekämpning
 - målprioritering
- bearbeta och analysera luftvärnsrapporter
- utarbeta order och riktlinjer för taktikanpassning
- med underlag av StriC strilnivå fatta beslut om radarspaning i området
- leda underrättelseenheterna i fråga om
 - gruppering och uppgifter
 - underrättelseberedskap
 - sändmönster och frekvensanvändning
 - invisande stn
 - störskyddsnivåer

- samordna eget flyg uppträdande i området och förebygga vådabekämpning
 - grupperingsanmäla
 - direktsamverkan med jaktstridsledaren (JAL) (normalt sett endast inom RBS 97 och 23).
- styra funktionsalternativ
- med stöd av sambandschef funktionsleda sambandsnäten

Begrepp vid sensorledning

I dokumentet ledningluftvärn anges nedanstående orderuttryck för sekundtaktisk ledning av radarstationernas sändningsmönster.

VAKTHAVANDE

Underrättelseenhet med uppgiften VAKTHAVANDE använder något av sändmönstren "SÄND 30, 50, 70% alternativt "GLIMTA" eller är "PASSIV". Vakthavande kan ges uppgift att starta andra underrättelseenheter utifrån givna riktlinjer/kriterier t ex i fråga om störning.

PASSIV

Underrättelseenheten sänder ej, men ska observera störbärningar.

UNDERRÄTTELSERESERV

Innebär att ingen underrättelseinhämtning genomförs. Uppgiften ska kompletteras med beredduppgift t ex order för gruppering och underrättelseberedskap.

SÄND 30, 50, 70% ELLER 100%

Innebär att underrättelseenheten sänder anbefallt sändmönster.

GLIMTA

Växelvis sändning med olika underrättelseenheter inom ett område.

INVISAR

Innebär att angiven underrättelseenhet invisar eldenheter.

XX LÄS STÖRBÄRING

Innebär att underrättelseenhet XX ska påbörja orientering om störbärning. Detta används för att vid behov minska överbelastningen på radarsamverkansnätet.

RADARSTÖT

Innebär att alla eller de i ordern angivna stationerna samtidigt sänder en kort tid.

Exempel 5:1

"Alla SIGURD Radarstöt 10 sekunder!"

Radarstöt är ett begrepp som ursprungligen inte fanns i dokumentet ledning-luftvärn, men har kommit att nyttjas vid luftvärnsförbanden.

ORIENTERAR

Orienteringar om störbäringar läses enligt rastermetoden och på kortast möjliga sändningstid.

Exempel 5:2

"FEMMA GUSTAV - Störning 5600" alternativt vid PS-91 "FEMMA GUSTAV – Störning riktning 11".

Uppgifter att reglera vid sensorledning

Då många underrättelseenheter ska samordnas finns enligt ovan ett antal olika uppgifter att reglera vid sensorledning.

Radarfrekvenser

För att kunna samordna insats med flera radarstationer bör bataljonsstridsledare ha kännedom om vilka frekvenser de i underrättelseområdet ingående radarstationerna har möjlighet att sända på. Detta har betydelse för att kunna styra radarstationerna till

- samma frekvens så att störbäring läses mot samma störkälla.
- olika frekvenser för att tvinga motståndaren att störa bredbandigt och minska effekten av störningen.

Vid krysspejling ska man öka möjligheterna till krysspejling mot samma mål genom att stationerna använder samma frekvens.

Exempel 5:3

Tabulatur för PS-70.

"Jag krysspejlar frekvens F2! (övriga PS-70 byter nu till frekvens F 2) Bäring 2200! osv."

UndE 23 och PS-90 ska vid passiv spaning använda sig av SLUMPVIS, SNABB FREKVENSVÄXLING för att alla störbäringar ska presenteras. Vid passiv krysspejling får inte MINST STÖRD FREKVENNS användas.

Talkanal, rasterpunkt, origo och strilorigo

Underrättelseområdeschef avdelar normalt en talkanal, en rasterpunkt, ett origo och ett strilorigo inom underrättelseområdet. Detta innebär att en

eldenhet inte behöver ha en komplett luftvärnunderrättelseområdesorder utan att det räcker med att veta underrättelseområdets utsträckning, adressplan, datakanalplan, talkanal anropssignaler, rasterpunkt och origo.

Strilnivå

Underrättelseområdeschef klarlägger i samverkan med STRIC hur förändringar i strilnivån ska delges bataljonsstridsledaren under genomförandet av striden. Strilnivån anger Stril förmåga att upptäcka mål på olika höjder och varierar geografiskt med hänsyn till vilka radarstationer som för tillfället sänder och aktuell störsituation.

Strilnivån utgör underlag för bataljonsstridsledarens val av funktionsalternativ och beslut om radarspaning i olika sektorer av underrättelseområdet. Strilnivån kan överföras genom LuLIS eller genom Lvrbletare.

Ledningsverktyg 2003

Ledningsdemonstrator UNIS – FumLvPLUS

Ett steg i utvecklingen av ett luftvärnsledningssystem har varit UNIS (luftvärnets underrättelse och informationssystem). Det är en funktionsmodell för planering, ledning och uppföljning av luftvärnets strid. Den ursprungliga uppgiften för UNIS var att ta fram en modell för att förbandschefens ledning av förbandets sensorer. UNIS utökades sedan med funktioner för sekundaktuell ledning av striden genom att eldenheter kunde måldatainvisas. UNIS har använts för att ge exempel på vilka funktioner en luftvärnsapplikation i IS-Mark bör innehålla och ge erfarenheter inför framtagningen av bl a

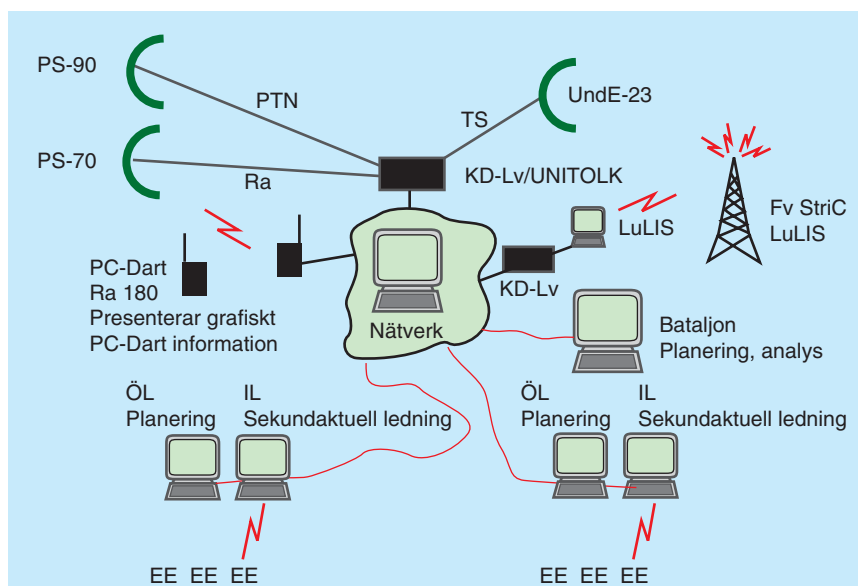


Bild 5:18. Några ingående delar och ett möjligt utnyttjande av UNIS.

LvPlus. 2002 döptes luftvärnsdelarna av UNIS om till FumLvPLUS. De delar av programmet som utnyttjas av andra truppslag, t ex artilleriet och mektruppslaget benämns alltjämnt UNIS.

UNIS utgörs av ett nätverksbaserat system för att primärt integrera ett stort antal sensorer från främst luftvärnet, amfibietrupporna och flygvapnet. UNIS tar emot och presenterar mål och störbärningar som invisats av luftvärnets radarstationer. Systemet kan även presentera mål från flygvapnets radarstationer via LuLIS. Systemet kan även automatiskt ta emot och grafiskt presentera rapporter och meddelanden som sänts via PC-Dart. UNIS stödjer olika ledningsstrukturer, såväl hierarkisk som decentraliserad ledning av striden.



Bild 5:19. UNIS – olika ledningsstrukturer.

Den mottagna informationen korreleras och presenteras i PC-miljö på en karta. All information kan spridas i ett nätverk via ett TCP/IP-protokoll.

Från valfri plats i nätverket är det möjligt att invisera mål till luftvärnets eldenheter. UNIS gör det möjligt att kontinuerligt leverera måldata trots att man ständigt skiftar sändande radarstation. Systemet använder standard PC med Windows NT. Behovet av yttre hårdvara är litet.

UNIS är uppbyggt av en mängd fristående programmoduler som kommunicerar med varandra över ett nätverk. Denna systemuppbyggnad gör det enkelt att lägga till ny funktioner allt eftersom behovet förändras. Denna systemuppbyggnad har gjort att UNIS har kunnat utvecklas evolutionärt, då nya behov uppstått har de snabbt kunnat implementeras.

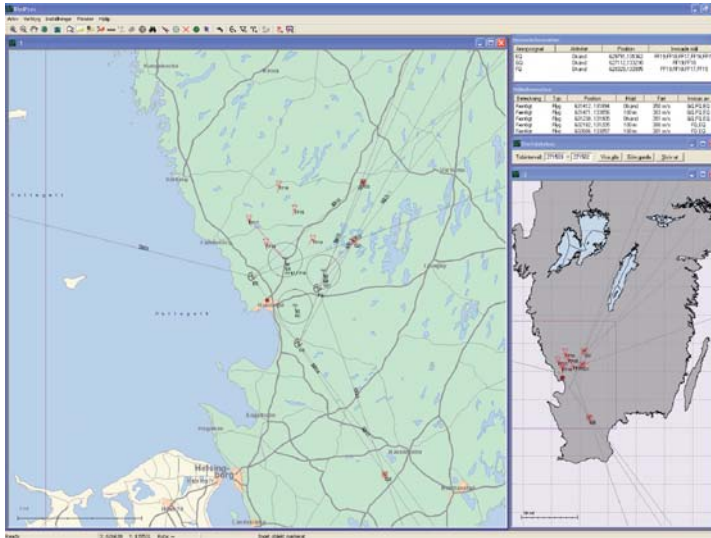


Bild 5:20. UNIS visande: Tre radarstationer, varav två aktiva(röda) och en passiv (blå) krysspejlar två störsändare (S24 och S40). Målet S24 in visas till en eldenhet 90 (rött streck mellan målet och eldenheten).

Huvudfunktioner

UNIS har följande huvudfunktioner:

- Tar emot invisade mål och störbärningar enligt LvMåds-protokoll på radio, FTN eller TS 9000.
- Tar emot mål från LuLIS via KDLv (kommunikationsdator luftvärn).
- Korrelerar mål från olika sensorer.
- Krysspejlar störbärningar.
- Presenterar informationen på en skalbar karta.
- Tar emot PC-Dart och automatiskt presenterar vissa av meddelandetyperna grafiskt.
- Förmedlar all information till ett nätverk (TCP/IP). Varje klient har möjlighet att invisa mål till en eller flera eldenheter.
- Sänder ut måldata enl LvMåds-protokollet via PTN, radio eller TS 9000.

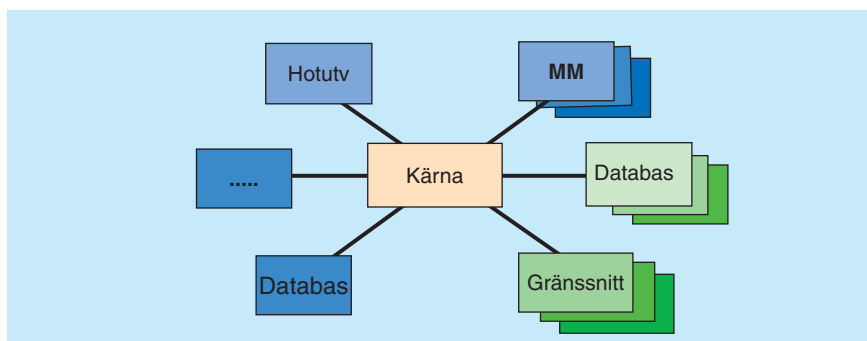


Bild 5:21. Modulär programuppgygnad.

- Loggar alla händelser i systemet för utvärdering av striden.
- 3D-karta för beräkning och presentation av radarstationers och eldenheters räckvidd med avseende på geometrisk sikt.
- Databas där mottagna PC-Dart rapporter lagras och sökning kan ske efter information för utvärdering av striden
- Spelgenerator till inbyggd simulator, för att kunna generera spel för att exempelvis prova en stridsplan

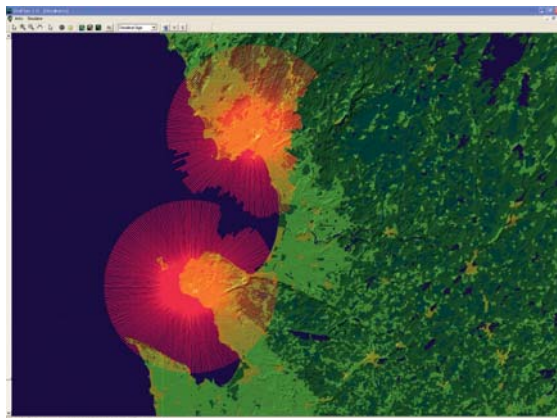


Bild 5:22. Presentation av två eldenheters geometriska räckvidd.

UNIS följer i allt väsentligt tankarna med DBA-konceptet eftersom det är

- nätverksbaserat
- tar emot data från olika typer av sensorer
- kan fusionera såväl sensordata som information från mänskligt skapade rapporter, HUMINT
- sprider insamlad information i ett nätverk där informationen kan selekteras beroende på vilken roll mottagaren har.

Ledningshierarkier

Nätverksprincipen har gjort att UNIS kan nyttjas på olika sätt beroende på vilken lednings hierarki som avses användas.

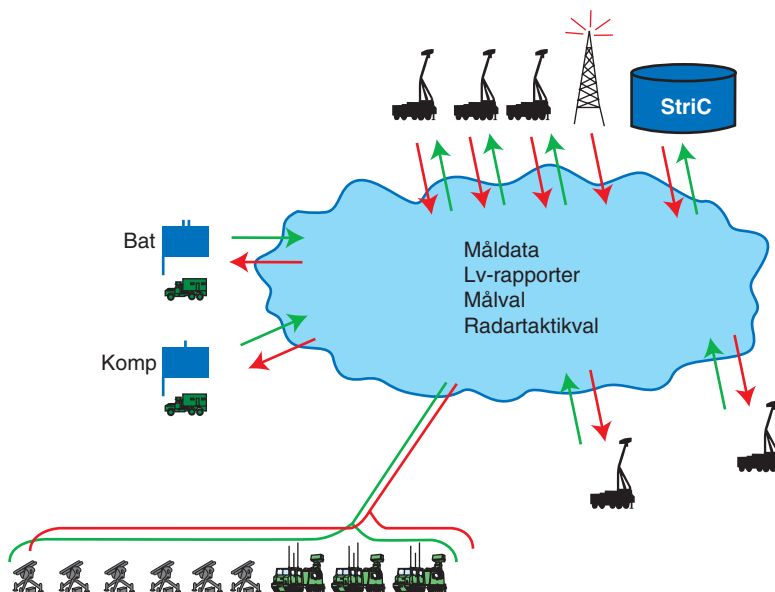


Bild 5:23. Exempel på en ledningsmetod. Sensorer levererar in måldata till nätverket. Såväl eldenheter, sensorer, staber mm kan sedan hämta information ur nätverket för lösande av sin uppgift, alla ser allt. Kompani eller bataljonschef styr sensorernas nyttjande.

Hierarkisk ledning

UNIS kan på bataljonsnivå utnyttjas för att sekundaktuellt beordra vilka radarstationer som sänder respektive är passiva så att bästa verkan och skydd uppnås för radarstationerna. På kompaninivå används målinformationen för att invisera eldenheterna. Med detta system behöver inte eldenheterna veta vilken radar som för tillfället sänder, då eldenheten alltid avlyssnar samma datafrekvens. Informationen som når eldenheten kan komma från vilken radar som helst inom förbandet. Alla händelser som inträffar i UNIS loggas för att ge möjlighet att i efterhand analysera striden.

Decentraliserad ledning

Ett annat sätt att använda UNIS är att använda sig av nätverkstanken. Någon nivå styr då vilken eller vilka av radarstationerna som sänder. Därefter distribueras hela luftläget till UNIS-mottagare vid samtliga eldenheter och radarstationer inom förbandet. Stridsledaren vid eldenheten som känner

de lokala förhållandena bäst får sedan invisera sin egen skytt. Genom att alla vidtagna åtgärder, som t ex invisning, sprids i nätverket så kommer alla att se vem som väljer att bekämpa ett mål. Risken för onödiga dubbelbekämpningar minimeras därmed.

UNIS inom andra truppslag

UNIS har anpassats så att det även kan utgöra en funktionsmodell för andra truppslag. UNIS kan ta emot och presentera information från artilleri-lokaliseringsradarn ARTHUR och från eldobservatör ge eldsignaleringsorder för NärBek och artilleriunderstöd från egna artilleripjäser m h a ”drag and drop” direkt på kartbilden. UNIS kan även skicka ut varningar till egna system i närheten av beräknad nedslagsplats.

UNIS har även används för att utgöra funktionsmodell till en luftmålsfunktion i mekförbandens funktionsmodell för ledningssystem bataljon (FuM SLB). Avsikten är att kunna förmedla luftläge och invisera stridsfordon 90 mot luftmål. Möjligheten att varna egna förband för av Arthur upptäckta artillerigranater har också utvecklats.

Genom att på detta vis länka samman olika truppslag luftvärn, artilleri och pansar samt armé och flyg kommer erfarenheter fås inför införandet av det nätverksbaserade försvaret.

FumLvPLUS

Det ursprungliga programmet UNIS kommer att utgöra en funktionsmodell för LvPLUS. Programvaran LvPLUS ska finnas i ILLv men även till delar hos eldenheter och undstationer. Det har därför döpts om till FumLvPLUS.

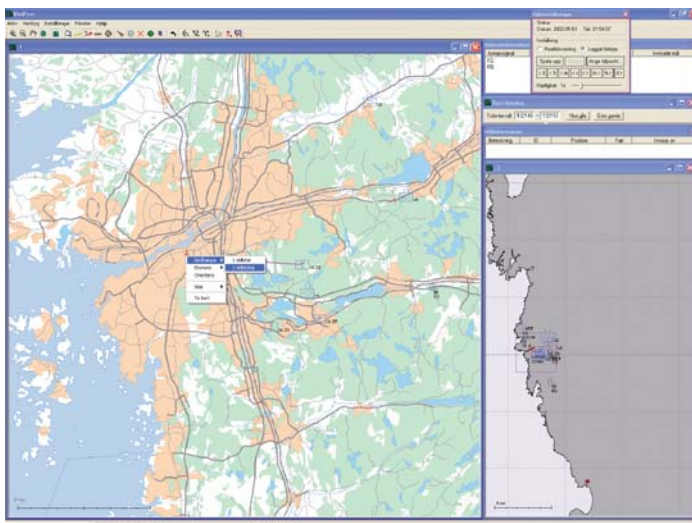


Bild 5:24. Invisning av egen artilleri pjäs mot en av ARTHUR upptäckt fientlig artilleripjäs.

Begränsningar hos UNIS

UNIS har den fundamentala nackdelen att den bara sänder upptäckta mål (i PS-70 kan dessutom bara tre mål per eldenhet sändas), Undområdeschefen får därför ingen information om telestörning (t ex falska mål), förutom störbärningar och har därför svårt att veta hur utstörd en radarstation är och därmed om den är lämplig att användas för underrättelseledning. För att underlätta hans beslutfattande så bör ledningsplatsen även kompletteras med antingen videoinformation från radarstationernas PPI eller genom att överföra radarns hela plottinformation samt eventuell råvideobild. Detta är eller kommer inom en snar framtid bli möjligt tack vare de betydligt större bandbredderna i framtidens telesystem.

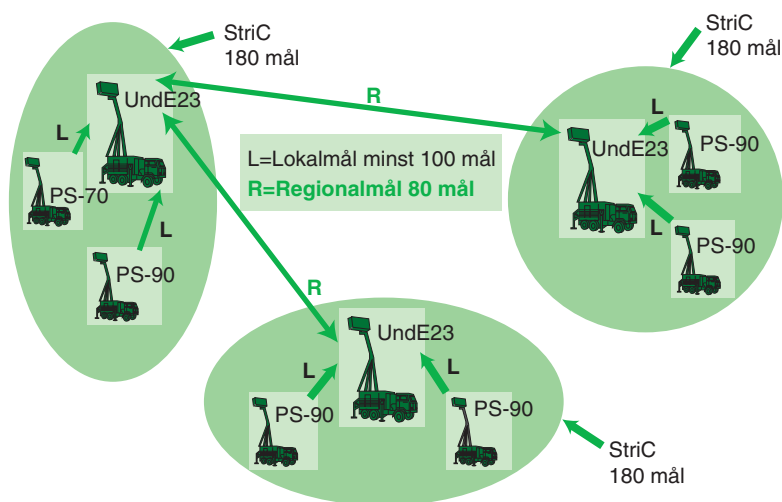


Bild 5:25. UndE 23

UndE 23 (PS-23) och LvUndC

UndE 23

Med UndE 23 har man gått från att utveckla "bara" en radarstation till skapa en underrättelsecentral. Stationen benämndes ursprungligen PS-23 men heter nu UndE 23. Radarns funktioner finns delvis beskrivna i kapitlen radarlära och taktik. Förutom att det är en 3D-radar så har den möjlighet att sammanställa luftlägesbild från ett antal radarstationer och förmedla denna information till andra UndE och ILLv samt givetvis även skicka måldata som invisning till eldenheter. UndE 23 har även möjligheter att utbyta information med marin ledningscentral t ex ArtE 740. På sikt är avsikten att den ska kunna sända måldata till StriC

UndE 23 kan själv följa 100 mål. Den kan även ta emot s k lokalmål (bild 5:25) från två radarstationer som bildar ett lokalt radarsamverkansområde. Lokalmål kan också tas emot i UndE från en Eldenhet 23 eller 97.

Max 20 lokalmål från vardera av dessa radarstationer sammanställs i UndE 23 till en lokal luftlägesbild. Stationen kan även samverka regionalt med andra UndE 23 eller Insatsledning luftvärn (ILLv) för att skapa en regional luftlägesbild. Varje UndE kan ta emot ca 30 målföljen från två andra UndE 23 eller LLv. Totalt kan en UndE 23 följaktligen sammanställa ett luftläge bestående av 200 mål ($100+2 \times 20+2 \times 30$) dessutom max 180 mål från StriC, totalt kan dock max 250 mål presenteras. UndE 23 hotutvärderar och insatsplanerar för att använda eldenheterna på optimalt vis. Måldata kan slutligen sändas ut till eldenheterna via TS 9000, radio, ATN, FTN eller via stelt uppkopplad trådförbindelse. Mellan UndE och Elde 23, Elde 97 kan data skickas i båda riktningarna m h a dataprotokollet LvMådsbis. Eldenheten kan t ex berätta för UndE när den låst på ett mål, avfyrat en robot m m. En stor del av de händelser som inträffar i UndE 23 loggas enligt det s k LvPlusrecording-formatet, vilket ska göra det möjligt att återuppta händelserna med hjälp av programmet LvPlus.

FumLvUndC

FumLvUndC har varit en funktionsmodell för en ledningsplats för sekund-aktuell ledning av striden. Denna ledningsplats var ursprungligen avsedd att benämnas luftvärnsunderrättelsecentral LvUndC men kommer nu att benämnas ILLv.

I dagsläget finns en funktionsmodell till LvUndC som bygger på samma programvara som finns i UndE 23 för ledning och insatsoptimering. I FumLvUndC sammanställs luftläget och invisning sänds ut till eldenheterna. Funktionaliteten LvUndC kommer att utgöra en del i ILLv. FumLvUndC kan just nu sägas vara en UndE 23 utan radar. Utrustningen i fordonet består av två PC samt sambandsutrustning för att kommunicera med radar-

stationer och eldenheter via protokollen LvMåds och LvMådsbis.

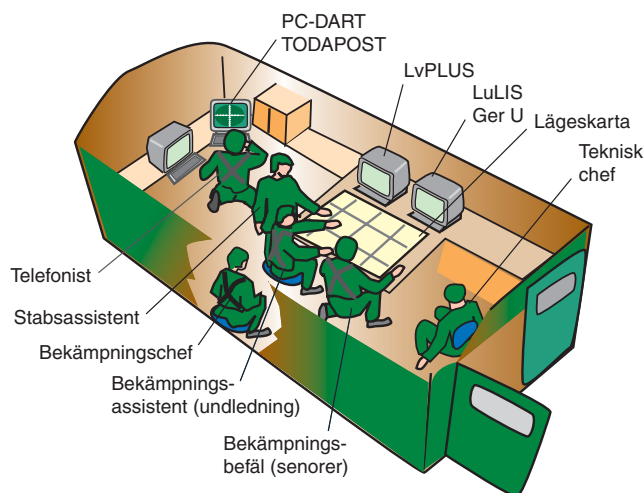


Bild 5:26. Exempel på ledningsfordon.

Syftet med FumLvUndC var att sekundaktuellt kunna leda striden mot luftmål. FumLvUndC kan härvid:

- Motta och korrelera luftlägesbild från StriC (LuLIS och Lvrobot-ledardata).
- Sammanställa lokal luftlägesbild från två externa radarstationer (PS-90, PS-70).
- Sammanställa regional luftlägesbild baserad på två lokala luftlägesbilder. Hotutvärdera och insatsplanera målinformation i lokal eller regional luftlägesbild.
- Underrättelseleda (invisa) mål till 10 eldenheter av varierande typ.
- Delge underrättelser till eldenheter via TS 9000, radio, ATN, FTN eller tråd.

En av de stora skillnaderna mellan FumLvUndC, UndE23 och tidigare system är funktionerna för insatsoptimering.

Insatsoptimering kan sägas bestå av följande steg:

- *Situationsanalys*, plottar grupperas till flygföretag eller förband.
- *Hotanalys*, här ska man i princip klara ut vad en motståndare ska göra innan han kommit på det själv.
- *Insatsoptimering*, det är det sista steget det består i att välja vilka eldenheter som ska bekämpa vilka mål för att den totala verkan ska bli maximal.

Hotutvärdering FumLvUndC och UndE 23

Bild 5:26 visar principen för hotutvärdering och insatsplaneringen i UndE 23, LvUndC och ILLv.

Chefen ska samordna och optimera förbandets resurser till avgörande moment i striden. Beroende på de korta beslutstiderna måste inställningar av de taktiska funktioner som styr automatiken i bekämpningskedjan spegla chefsens vilja vad gäller prioriteringar av skyddsobjekt och måltyper.

Insatsledning utövas av ledningspersonal i UndE 23 eller FumLvUndC som övervakar och manövrerar inom ramen för aktuell stridsplan

Man har vid framtagningen av FumLvUndC och UndE 23 sett ett scenario där motståndaren släpper stora mängder (hundratals) vapen mot ett område och det snarare gäller att bekämpa vapnen än vapenbärarna (flygplanen). Man anser härvid att den mänskliga hjärnan inte är tillräckligt snabb att på mest optimalt sett fördela dessa mål till eldenheterna i området, utan att det istället behövs hjälp från en dator som hotutvärderar och insatsoptimerar, dvs väljer vilken eldenhet som ska skjuta på vilket mål för att ge optimal verkan.

Inom luftvärnsförbanden nyttjas hotutvärderare såväl i Undenheterna (och LvUndC) som i eldenheterna. Funktionerna hotutvärdera, insatsopti-

merare och de justerbara parametrar vad avser skyddsföremål, eldenheter m m kallas taktiska funktioner (TaF).

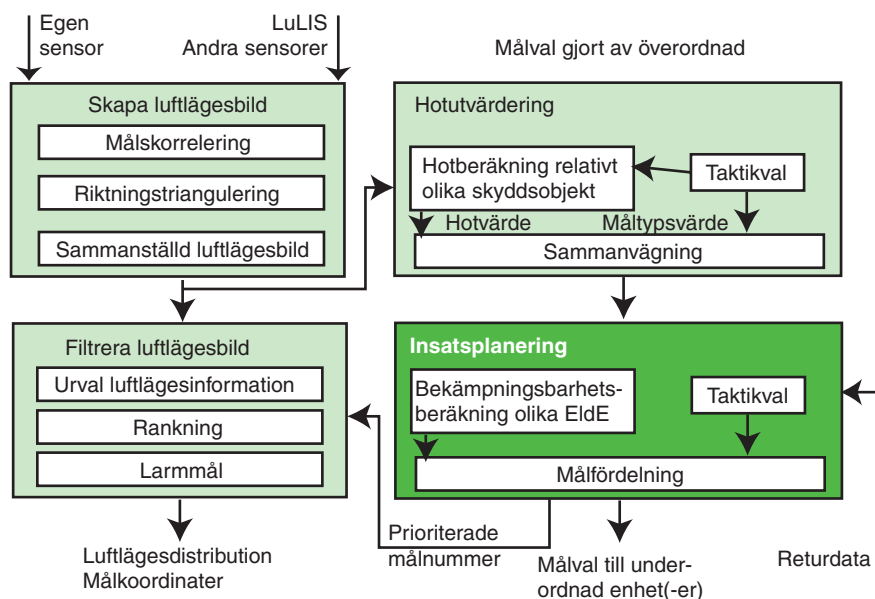


Bild 5:27. Princip för hotutvärdering och insatsplanering i UndE 23 och LvUndC.

Taktiska funktioner (TaF)

Inför utvecklingen av robotsystem 23 och 97 ställdes ett antal krav då de taktiska funktionerna skulle skapas:

- Syftet med TaF är att vara förbandschefens verktyg för att styra funktionen Eld.
- Förbandschefens vilja ska styra SML.
- Ge chefen möjlighet att påverka striden genom att styra parametrar för prioritering mellan olika taktiska uppgifter, skeden, skyddsföremål, måltyper m m.
- Avancerat beslutstöd för underrättelse och stridsledning.
- Ge beslutstöd för målval som är minst lika bra som en rutinerad Und-ledare/Stridsledare som har gott om tid till förfogande.
- UndE 23/UndC samordnar luftvärnstriden genom att anvisa och fördela mål så att en optimal insats sker. Målval och insats sker främst mot de farligaste målen som mest hotar de viktigaste skyddsobjekten.

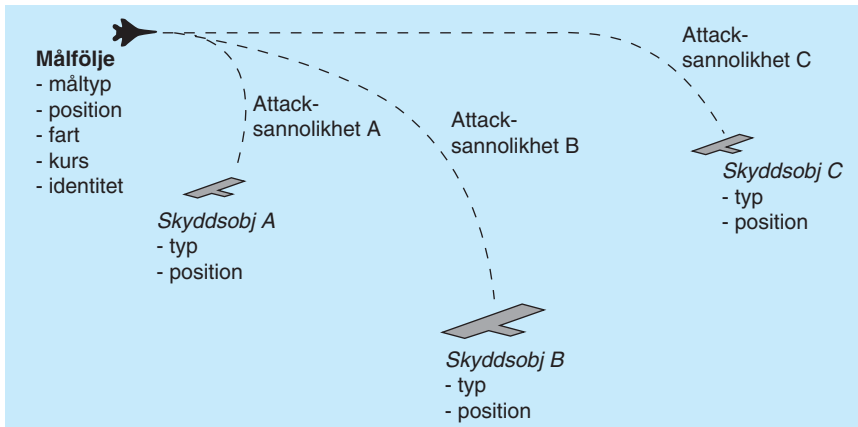


Bild 5:28. Principen för de taktiska funktionerna i UndE23 och LvUndC.

Inom hela förbandet används enhetliga algoritmer för hur målen ska värderas. Inparametrar är bl a

- måltyper
- målets position, kurs och hastighet
- skyddsvärde på skyddsobjekt
- bekämpningssannolikhet
- eldenhetstyp.

Med ovanstående parametrar som indata beräknas vilken eldenhet som ska bekämpa vilka mål. Hotutvärderaren arbetar likadant hos såväl under rättelse- som eldenheter. Detta innebär att om Und-ledningen slås ut finns en redundans i systemet. Människan har också hela tiden möjlighet att överrida systemet.

Automatisk målfördelning vid fler mål än eldenheter (EldE)

Som exempel på hur systemet arbetar så kan man betrakta fallet då det finns fler mål än tillgängliga EldE. Då gäller vid tillgång av:

- *En EldE* att välja det mål som har högsta engagemangsvärdet.
- *Flera EldE* att välja de mål som har högsta totala engagemangsvärdet för att lösa förbandets taktiska uppgift
- *Flera EldE och två taktiska uppgifter* att välja de mål som har det högsta sammanvägda totala engagemangsvärdet för att lösa bägge taktiska uppgifterna.

Man bör vara medveten om, vid framtagning av en insatsoptimerare, svårigheterna att ta hänsyn till alla de olika stridsförlopp som kan förekomma. Inställningar av TaF kvalitetssäkras genom verktyg för simulering. Frågor som måste lösas är t ex hur diskrimineras sensorsystemets

klotter och falska mål samt hur hanteras risken för avhakande störning vid utvärderingen? En insatsoptimerare blir aldrig bättre än den information som den bygger sina beslut på. Om man konstaterar att motståndaren alltid börjar med att avfira ett antal skenmål. Hur lär man (programmerar man) på ett enkelt sätt insatsoptimeraren att ta hänsyn till motståndarens nya taktik. Kan man använda så kallade självlärande system som själv lär sig att ta hänsyn till detta? Nackdelen med självlärande system är att ett sådant är alltid ett steg efter i taktikutvecklingen. Det bör återigen påpekas att operatören i UndE 23 och FumLvUndC alltid har möjlighet att överrida systemet och själv manuellt invisa mål till eldenheterna.

Övergripande ledning och insatsledning

Två relativt nya begrepp vad avser ledning är insatsledning (IL) och övergripande ledning (ÖL). IL ska främst syssla med sekundärr stridsledning och planering på kort sikt medan ÖL omfattar planering på längre sikt och frågor som ej rör stridsledning.

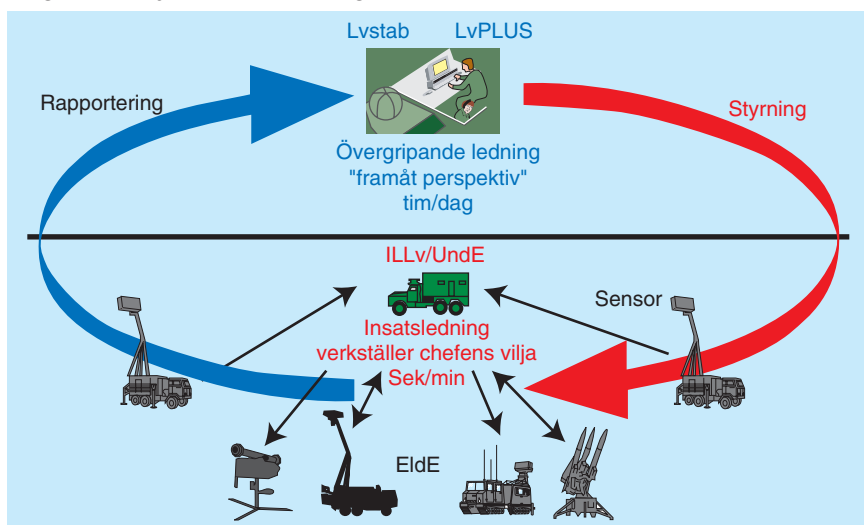


Bild 5:29. LvPlus luftvärnstab.

ÖL leds av förbandschefen och syftar till att skapa bästa möjliga förutsättningar för förbandet att lösa tilldelad uppgift, samtidigt som ett högt stridsvärde bibehålls vid förbandet.

ÖL omfattar styrningar till förbandet i form av: Order, riktlinjer, taktiska och tekniska styrningar kopplade till aktuell stridsuppgift.

Planeringsprocessen omfattar: samordning, samverkan, inhämtning av beslutsunderlag.

Simulering och modulering av stridsplan samt utvärdering och analys av genomförd strid. Exempel på ledningsvertyg som kan nyttjas för ÖL är

IS-Mark och det kommande systemet LvPlus. Hur IL och ÖL exakt bör ske, kommer provas ut bl a med hjälp av FumLvUndC och funktionsmodellen FumLvPlus/UNIS. Definition av ÖL och IL kan därför komma att förändras.

Insatsledning Luftvärn - ILLv

IL utövas av ledningspersonal som övervakar och manövrerar inom ramen för aktuell stridsplan. De leder striden i realtid för att snabbt möjliggöra förändringar inom ramen för stridsplanen så att eldenheter och sensorer över tiden agerar med rätt stridsteknik från optimala platser även här kommer en viss planering och uppföljning behöva ske. Chefen för insatsledningen (ILLv) kommer att placeras i ILLv eller UndE 23.

IL består av tre viktiga delar

1. *Underrättelseledning* av EldE sker i syfte att samordna elden vilket fås genom sammanställning av luftlägesbild och prioritering av mål. Utövas av Undledare i LvUndC/UndE med stöd av automatiska funktioner som hotutvärderare och insatsoptimerare.
2. *Sensorledning* utövas av Sensorledare i LvUndC/ UndE och syftar till att samordna och styra sensorer för att möjliggöra förvarning och invisning till EldE och samtidigt hantera telekrighotet mot sensorerna.
3. *Stridsledning* utövas av stridsledare vid eldenhet och syftar till att göra rätt målval och undvika våda bekämpningar vilket sker genom bearbetning av underrättelser, målval och beslut om eld.

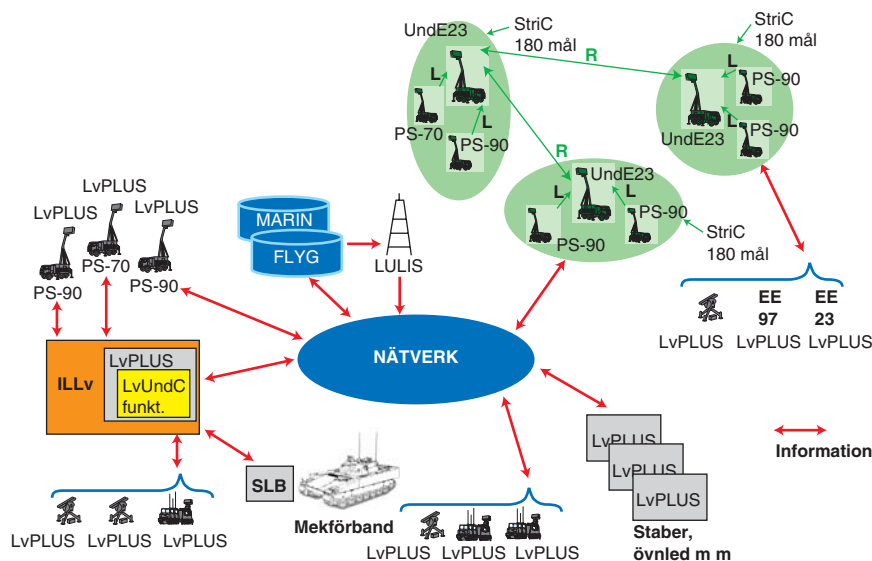


Bild 5:30. En målbild för luftvärnets informations- och ledningssystem.

Vid samverkan/understöd av andra förband är det viktigt att insatsledaren har en klar bild av var, såväl egna som fiendens förband, finns. Annars är det risk att eldenheter eller underrättelseenheten finns på fel plats. IL måste därför kunna kommunicera med övriga markstridskrafterns ledningssystem.

Avsikten är att varje luftvärnskompani ska tillföras ett ledningsfordon/hytt som ska utgöra ILLv. Fordonet kommer att vara utrustat med sb-system som möjliggör viss ledning under marsch. Sambandssystemen i ILLv ska möjliggöra inkoppling i såväl militära som civila kommunikationssystem. Datorsystemen i ILLv kommer att vara utrustade med programvaran LvPlus och därmed utnyttja samma typ av hotutvärderare, instasplanerare som UndE 23.

Konceptet LvPlus

Erfarenheterna från de båda programmen FumLvPlus/UNIS och FumLvUndC ska utnyttjas för att skapa ledningsverktyget LvPlus (Luftvärnets Planerings-, Lednings- och UtvärderingsSystem). Denna programvara ska helt eller till del utnyttjas i insatsledning luftvärn (ILLv) men också vid eldenheter och radarstationer. Mjukvaran i ILLv kommer att bestå av bl a programmet LvPlus.

Syftet med LvPlus är att skapa ett avancerat ledningsverktyg för luftvärnets chefer. LvPlus ska kunna användas för:

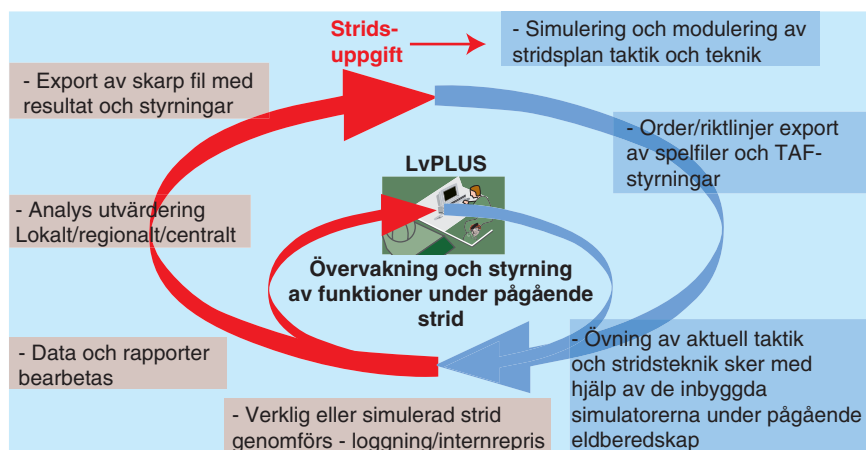


Bild 5:31. LvPLUS

- Planering av stridsuppgifter (analysinstrument med kartdatabas och möjlighet att simulera motståndaren, eget förbands gruppering och tekniska parametrar i egna system).
- Att få större möjlighet att påverka SML genom direkt styrning av taktiska och tekniska parametrar i UndE, ILLv, övriga sensorer och EldE.

- En del av programvaran LvPLUS kommer att bestå av samma hotvärderare insatsplanerare som utnyttjas i UndE 23. Denna del av programvaran benämns LvUndC-funktionalitet (bild 5:31).
- Att ge möjligheter till avancerad loggning och utvärdering av verkliga och simulerade stridsförlopp.
- Att ge större möjlighet att agera snabbare. Tiden från genomförd insats till styrning av nya parametrar som påverkar strid mot luftmål ska minskas så att luftvärnet blir snabbare än motståndarens tidscykel.
- Möjligheter att utbyta information med övriga ledningssystem i försvarsmakten t ex StriC och mekförbandens SLB.

Exempel på målsättningar för utvärderingsfunktionen:

- Varje enhet spelar in och sparar egna parametrar.
- Informationen överförs/lagras i formatet LvPlus recording.
- Inspelning ska vara händelsestyrd och tidstämplad.
- Möjlighet att överföra loggade parametrar via ATN, FTN, radio och TS 9000.
- Möjlighet att i realtid övervaka/utvärdera parametrar.
- Möjlighet att analysera verklig och simulerad strid.
- Möjlighet att fjärrstyra ex taktiska funktioner i ILLv / UndE / EldE och styra inställningar i sensorer.

Om ledning

Ledning, kommandostyrning eller uppdragstaktik

Enligt tysk förebild har man i Sverige åtminstone sedan andra världskriget tillämpat uppdragstaktik. Detta har skett genom att chefen ställer uppgift, ger riktlinjer och tilldelar resurser samt låter den som fått uppgiften i största möjliga utsträckning själv bestämma hur uppgiften ska lösas. Anledningen till att uppdragstaktik varit att föredra är att chefen inte kunnat se hela stridsfältet eller haft bristfälliga kommunikationsmedel. Därför har inte heller stridsplanerna kunnat anpassats till den faktiska utvecklingen av stridsförloppet.

Vad som nu händer är att tekniken håller på att göra det möjligt att tillämpa kommandostyrning eftersom chefen ges möjligheter att se hela stridsfältet (åtminstone i teorin) och kan kommunicera med alla underställda. När det nätverksbaserade försvaret införs, så kommer möjligheterna för varifrån, och av vem striden leds bli mindre bundet till en viss fysisk plats. Vissa menar därför att Försvarsmakten bör införa mer kommandostyrning och centralisera ledningen.

Det finns dock ett antal invändningar mot att övergå till kommandostyrning, t ex:

- Genom olika former av informations- och telekrigföring kommer motståndaren kraftigt begränsa våra möjligheter att övervaka stridsfältet och kommunicera med underställda.
- Decentraliserad ledning betraktas av många som en förutsättning för att kunna gripa tillfällen och agera.
- Kommandostyrning tar för lång tid. Det bildas ”flaskhalsar” i beslutsfattandet.
- Högre chefs omvärldsuppfattning bygger till del på olika former av rapporter, som kan tolkas olika, och dessutom tar det tid för dem att nå fram. Därför kan beslut fattas på felaktiga grunder och alltför sent.

I stället menar många att teknologiutvecklingen med nätverksteknologin förbättrar möjligheterna för uppdragstaktik genom att det gör det möjligt för alla underställda chefer att se hela stridsfältet och kan då snabbare och mer flexibelt agera mot de uppställda målen. En stor del av samverkan mellan förbanden kommer att skötas automatiskt genom att alla ser vad grannen gör och kan dessutom prata med honom vilket medför att verksamheten blir självkoordinerande.



Bild 5:32. Uppdragstaktik.

En ofta använd liknelse för att visa på uppdragstaktik och nätverksystem är att jämföra med en landslagsmatch i fotboll:

- Tränaren ska se matchen i realtid, kunna spela in den och analysera den i efterhand.
- Tränaren gör sin viktigaste uppgift vid uttagning av laget, valet av spelstil och analys efter matchen (inför nästa match).
- Spelarna (eldenheterna) ska ges möjlighet att ha full omvärldsuppfattning dvs se hela spelplanen.
- Spelarna fattar de snabbaste och bästa besluten själva.
- I undantagsfall behöver striden (målfördelningen) göras på en högre nivå. Tränaren skriker order till spelarna.

I försvarsmaktens doktrin (2002) anges att uppdragstaktik ska vara den ledningsmedtod som ska nyttjas även framgent.

Att leda underrättelseenheter

Vid all ledning bör man överväga om informationen först ska gå till chefen och därefter via order spridas till underställda enheter eller om all information direkt ska spridas till alla enheter.

I valet av ledningsprincip bör man överväga:

- Hur man snabbt sprider information.
- Risken att få för mycket information, vilket kan leda till att den viktigaste informationen ”drunknar i bruset”.
- Risken att informationen medvetet eller omedvetet förvanskas.
- Om informationen ska filtreras vem ska göra det och hur ska det ske utan att det tar alltför lång tid.

Ju mindre underrättelser den har som ska leda förbandet desto mindre möjligheter har han till sekundtaktisk ledning (kommandostyrning). När chefen själv har få underrättelsekällor blir det extra viktigt att personalen i radarstationerna har enkla och fungerande riktlinjer för stridens olika skeden så att de själva kan avgöra vem som bör sända.

Den som ska leda underrättelseenheter bör ha minst lika god information som vad enheterna själva har. Detta kan uppnås genom att t ex använda någon form av ledningsverktyg som UndE 23 eller LvPlus. Om sambandssystemet och nätverket så medger bör samma information även förmedlas ut till personalen i radarstationerna.

Att den totala luftlägesbilden även finns ute i radarstationerna medför en rad fördelar som

- Gemensam benämning av mål (målnummer).
- Radarsamverkan blir ”självsynkroniserande” och därmed mindre behov av prat på sambandsnäten.
- Personalen i en passiv radar vet vilka mål som kan förväntas dyka upp när den tar över sändningen från en annan radar vilket leder till snabba målfångning.
- Personalen i radarn ser när dess mål utnyttjas för invisning vilket kommer att göra att de koncentrerar manuell stöttning till rätt mål vilket i sin tur leder till bättre följning.
- Radarpersonalen kan snabbt ta över ledningen om den övriga ledningen faller bort.

Sist men inte minst ökar detta möjligheterna för personligt engagemang hos personalen i radarn.

”Människan utgör den viktigaste delen av ledningssystemet. Oavsett tekniknivå måste personalen ha den kompetens som krävs för att människor och system ska fungera.” MetodH Ledn Bat Grunder (2003)

Faktorer som styr radartaktiken

Vilken taktik ett förband kan eller bör använda bestäms bl a av uppgiften, terrängen och vad som utgör hotet. Hotet kan delas in i två huvuddelar.

- Spaningshotet dvs risken att röja sina förband och ett eventuellt senare angrepp med konventionella vapen eller SSARB.
- Telestörning.

Spaningshotet

Motståndarens taktik går från den tidigare taktiken att trycka ned luftvärnet (SEAD) till att en gång för alla förinta luftvärnet (DEAD) oavsett om det sänder eller inte.

Radarstationer kan mätas in och lägesbestämmas genom motståndarens signal, satellit- och fotospaning. Syntetisk apertur radar t ex det amerikanska Joint STARS (Joint Surveillance Target Attack Radar System) kan skapa fotolikande radarbilder av marken med upplösning på några få decimeter och kan i vissa fall detektera och identifiera fordon på mycket stora avstånd.



Bild 6:1. E-8C Joint STARS.

Man bör härvid inte glömma bort att även radiosignaler avslöjar en radars eller en eldenhets gruppering. Om motståndaren lyckas klarlägga våra förbands gruppering öppnar detta en rad möjligheter t ex

- bekämpning kan ske med vapen som förprogrammerats mot målets koordinater med hjälp av GPS-teknik

- anfall med laserstyrda vapen.

Datasimuleringsmodeller kan nyttjas för att föröva och pröva anfall mot grupperingen. I sådana simuleringsmodeller kan angriparen pröva olika metoder för att hitta luckor och svagheter i vår gruppering.

Genom att vidta olika former av motåtgärder t ex täta omgrupperingar, skenmål och maskering kan man helt vilseleda angriparen eller avsevärt försvåra hans möjligheter att låsa sina vapen på våra system.

Förband som inte kunnat upptäckas och lägesbestämmas i förväg måste bekämpas med vapen som i anfallsskedet låses mot målens signatur, t ex genom anfall med SSARB.

Signalspaning och begreppet signalmiljö

Signalmiljön utgörs av alla de signaler som når motståndarens signalspaningsutrustning. Signalspaningsutrustningen, t ex en del av en SSARB, kan vara kopplad till en störsändare eller ingå i någon positionsbestämningsutrustning.

Ju fler radarpulser som når signalspaningsutrustningen desto svårare blir det att kunna klassificera de olika radarstationerna. Om utrustningen inte gör en riktig klassificering kommer störningen inte att ske mot rätt frekvens eller mot den hotfullaste radarstationen. En SSARB kan komma att avfyras mot fel mål eller missa målet.

Att sända med alla radarstationer samtidigt komplicerar signalmiljön men riskerar också att avslöja hela grupperingen.

För att försvåra för signalspaning bör man givetvis helst inte sända alls med radar- eller radiostationer. Om en station har sänt bör den så snart som möjligt omgrupperas. Signalspaningen blir enklast att genomföra om radarstationerna sänder en i taget och under en längre tid.

Även IK-utrustningen kan pejlas varför den ska stängas av vid radio- och radartystnad. Radiolänkstationer kan pejlas vilket innebär att enheterna i TS 9000 går att lägesbestämmas.

Telestörning

Motståndaren eftersträvar att störa smalbandigt, eftersom smalbandig störning har avsevärt bättre verkan än bredbandig störning. Det beror på att ingen effekt ödslas bort på ovidkommande frekvenser. Ju fler radarstationer som sänder desto svårare blir det att störa smalbandigt. Om motståndaren samtidigt försöker störa smalbandigt mot flera olika radarstationer riskerar han att missa att störa någon av stationerna. Motståndaren kan därför tvingas till bredbandig störning.

Om hotet främst består av elektroniska motmedel bör följaktligen så många stationer som möjligt sända samtidigt.

Sammanfattning

Genom en kombination av maskering, rörligt uppträdande, signalskyddsåtgärder och vilseledande åtgärder hålls angriparen i ovisshet om våra förbands exakta gruppering.

Förändringar i grupperingsgeometrin måste göras snabbare än motståndarens förmåga att upptäcka, insatsplanera och anflyga, dvs man måste komma innanför angriparens beslutscykel.

Ett restriktivt och samordnat nyttjande av våra radarstationer försvårar angriparens möjlighet att under pågående anfall bekämpa våra förband med SSARB.

Att störa ett luftförsvar

Ett stort antal olika radarstationer och andra sensorer bildar tillsammans ett luftförsvarssystem. För att en motståndare ska få en godtagbar effekt med sina flyganfall måste hela systemet inom aktuellt område störas.

Det är lätt att fokusera på möjligheterna att störa enskilda radarstationer och glömma problemen med att störa hela luftförsvarssystemet.

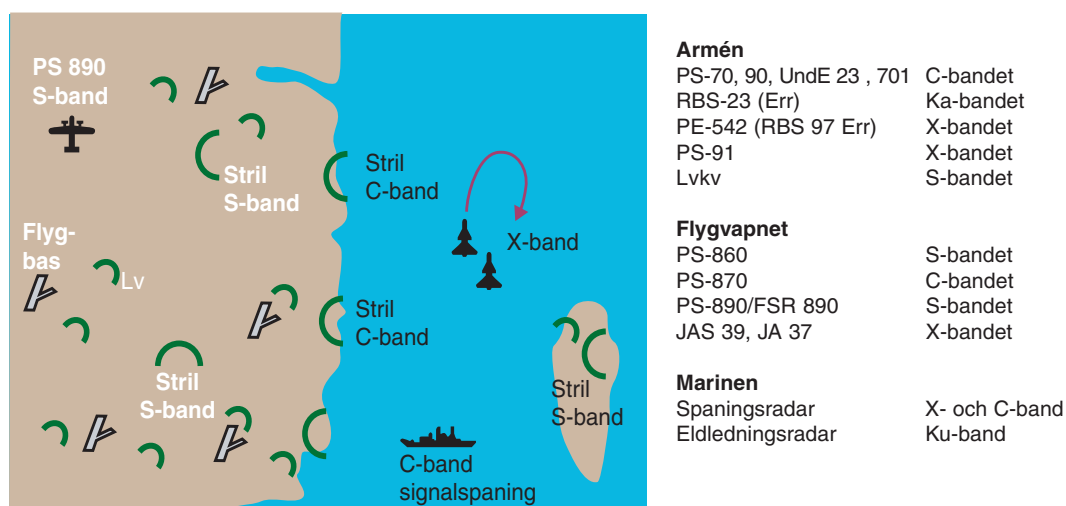


Bild 6:2. Exempel på svenska system- och radarband.

Den stora nackdelen med aktiv störning är att störsändaren ofta avslöjar sin existens. Problemet för den angripne är att veta exakt var störsändaren är belägen, samt hur många flygplan som döljer sig i störningen.

En störsändares läge kan i vissa fall pejljas. Ett pejlat målläge kan i många fall ge tillräckligt noggrann information för att eldenheterna ska kunna komma till verkan.

Marinens fartyg, FRA och SIS-bat har utmärkta möjligheter till signalspaning. Signalspaning kan användas både till krysspejling och till att klassificera den sändande stationen. Signalspaningen känner till olika specifika parametrar hos motståndarens radarstationer och kan därför klassificera ett flygplan t ex med hjälp av dess navigationsradar. SIS kan därför meddela till STRIL att flyganfallet sker med t ex SU-24.

Flygvapnets radarstationer kan genomföra krysspejling på samma sätt som luftvärnet. Ju fler stationer som används för krysspejling desto bättre kan störsändarens position fastställas. Allt fler radarstationer är 3D-radar dvs de kan bestämma ett målsläge i x-, y- och z-led. De har därför möjligheten vid störning att pejla även i höjdvinkelled, vilket kraftigt minskar antalet ”falska kryss” vid pejling.

Sensorkedjan

Luftvärnet använder sig av en kedja av sensorer för att upptäcka och bekämpa ett mål. Kedjan kan t ex bestå av

- STRIL-radar (för att sända bl a LuLIS).
- lokalspaningsradar
- eldledningsradar
- zonrör.

Det finns ofta metoder att störa/påverka de enskilda delarna i ett system. Svårigheten är att kunna påverka de olika delarna samtidigt. Risken är stor att en störform som är effektiv mot en sensor gör det lättare för en annan sensor att upptäcka störflygplanet.

Ju tidigare i kedjan en motståndare kan störa sensorerna desto mindre blir risken för bekämpning. Ett mål som inte upptäcks blir inte heller bekämpat. Ofta är det därför effektivaste att störa spaningssensorerna. För att t ex störa en eldledningsradar som låst på ett flygplan eller en zonrörsgranat på väg mot planet, krävs mycket snabba system. Någon tid för misslag finns inte. Men om flygplanet likväl har upptäckts av ett eldledningssystem måste detta kunna påverkas för att flygplanet ska kunna överleva.

Jaktflyget och tillhörande STRIL-system är ofta det stora hotet för motståndaren. Motståndaren måste därför i första hand rikta sin telekrigföring mot dessa, vilket kan leda till att luftvärnet blir mindre påverkat av telestörning än vad motståndaren egentligen har teknisk kapacitet till. Om flygvapnets radarstationer störs finns risk att LuLIS-täckningen kan bli dålig i vissa områden. Detta innebär är att luftvärnet inte ska planera hela sin strid utifrån att LuLIS fungerar.

”Home on jam” (HOJ)

Flera vapensystem har funktionen ”Home On Jam” (HOJ) dvs brusföljning, som innebär att systemet kopplar över och följer den starkaste bruskällan. En robot som har denna funktion blir en enkel form av SSARB. För att brusföljningen ska fungera krävs att störsändarna sänder kontinuerligt brus. Vid pulsad störning eller repeterstörning klarar inte HOJ-systemen av att styra mot störsändaren. Exempel på HOJ-system i svenska försvaret är

- RBS 97
- Rb 99 (AMRAAM)
- PS-91, kan få robotsiktet att svänga in mot störriktningen.

Vetskapen om att vi har system med HOJ-funktion kan begränsa motståndarens vilja att använda aktiv störning.



Bild 6:3. RBS 77/97 HAWK.

Vad är syftet?

En motståndare kommer inte att störa på måfå eftersom det krävs stora effekter hos störsändarna för att kunna störa ut alla radarstationer. Motståndaren kommer därför aldrig ha något överskott på störresurser, vilket innebär att han alltid måste prioritera sin störresurser till det han för tillfället finner är viktigast. En motståndare har därför alltid ett syfte med telekrigföringen. Problemet är att genomsåda varför han störsänder. Om en motståndare väljer att anfalla utan störning, gör han det för att han är övertygad om att överraskningseffekten blir högre än om han använder störning.

Telestörning syftar ytterst till att påverka människan bakom sensorn. Man bör därför inte betrakta störningen som ett tekniskt fenomen utan istället klarlägga vilket syfte störningen har. Även om inte tillräcklig information finns inne i radarn ska den tillgängliga informationen förmedlas till eldenheterna, det är där den kan komma till nytta.

Det är viktigt att underrättelseledarna såväl som officerarna övas att dra taktiska slutsatser av störningen eftersom de inställningar som kan göras i radarstationerna bara i begränsad omfattning kommer att påverka räckvidden. I flera fall kan genombrottsavståndet vara i det närmaste obefintligt.

Sensorer i nätverk

Krysspejling, störbäringsvisning eller någon form av sensorfusion kan göra det möjligt att få tillräckligt mycket information om motståndaren för att eldenheterna ska komma till verkan.

Idén med det nätverksbaserade försvaret är att alla sensorers information ska fusioneras för att skapa en lägesbild. Från denna lägesbild kan sedan eldenheterna in visas. Detta kommer inom luftvärnet att stödjas av ledningssystem som t ex UndE 23, ILLv och LvPLUS. Genom att många sensorers information sammanställs kommer det också krävas att motståndaren stör ut alla sensorer inom ett område för att eldenheterna inte ska komma till verkan. Genom att en viss eldenhet inte är direktkopplad till en viss spaningssensor kommer också möjligheterna öka att taktisera med radarstationerna (t ex tända/släcka) utan att det behöver direkt påverka eldenheterna.

Att hitta den svaga punkten – förhindra systemkollaps

En motståndare kommer alltid ha brist på störresurser och kan därför inte störa alla de system han önskar. Motståndaren kommer därför alltid att försöka hitta de komponenter i ett luftförsvar som orsakar mest skada om de slås ut. Det optimala är att störa eller förstöra någon komponent som leder till systemkollaps. Med systemkollaps avses att ett system får en verkan som nästan är noll.

För att förhindra att en motståndaren orsakar systemkollaps bör man klara ut egna luftförsvarets svagheter och söka olika taktiska och tekniska lösningar t ex mixning av olika luftvärnssystem. Strävan ska vara att skapa olika reservsystem exempelvis så att underrättelsedata kan skickas både via tråd, TS 9000 och mobiltelefon. Detta kallas att systemet har redundans.

Orsaker till systemkollaps

En motståndare försöker med största sannolikhet fastställa vad som är den svaga länken i ett visst system. Inför starten av Gulfkriget genomfördes omfattande planläggning och simulering av det irakiska luftförsvaret för att hitta dess svaga punkter.

Vad som är den kritiska punkten och hur lätt det är att skapa systemkollaps kan variera under dygnet.

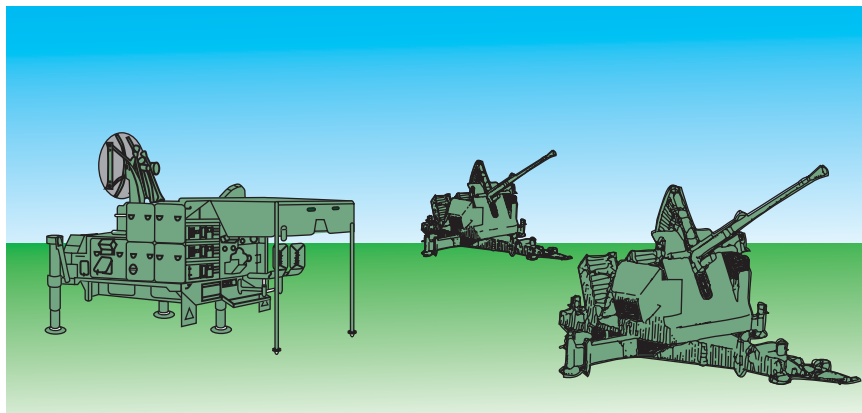


Bild 6:4. Eldledningsradar Cig 790 och Ivakan m/48.

I följande exempel visas på ett systems olika fördelar och nackdelar. Av sekretesskäl görs det på ett avvecklat system, luftvärnssystem 48. En motsvarande analys kan göras på vilket system som helst.

Beskrivning av luftvärnssystem 48

Systemet bestod av två 40 mm Ivakan m/48, vilka fjärrstyrdes från en eldledningsradar Cig 790. Eldledningsradarn invisades från spaningsradar PS-90.

Optisk sikt

Systemet hade vid optisk sikt flera olika redundansmöjligheter. Det blev därför svårt att orsaka systemkollaps.

Invisning kunde ske från

- spaningsradar
- målangivare
- spaning med eldledningsradarn (främst sektorsökning).

Invisningsdata från spaningsradarn kunde sändas via

- tråd
- radio.

Vinkelföljning skedde genom

- optisk riktning via Cig 790 periskop
- radarföljning med eldledningsradar.

För avståndsmätningen kunde Cig 790 använda

- egen eldledningsradar
- laser
- spaningsradar.

Som en sista nödåtgärd kunde pjäserna avfyras i närriktning.

Lvakan använde olika typer av ammunition t ex

- zonrörsammunion
- anslagsammunion.

Zonrörsammunionen nyttjade en ytterst liten CW-radar som fick granaten att explodera även om den passerar strax bredvid målet. Teoretiskt är det möjligt att störa en zonrörsgranat så att den exploderar i förtid.

Anslagsgranaterna är i praktiken omöjliga att påverka efter avskjutning.

Nedsatt optisk sikt

Då optisk sikt saknas blev det enklare att orsaka systemkollaps, eftersom Cig 790 i detta läge måste använda radarinvisning och radarföljning.

En eldledningsradar har till skillnad mot en spaningsradar en mycket smal antennlob. Det innebär att den har svårt att utan invisning själv hitta ett mål. En eldledningsradar klarar endast av att leta efter målet inom ett begränsat område (sektorsökning eller närsökning).

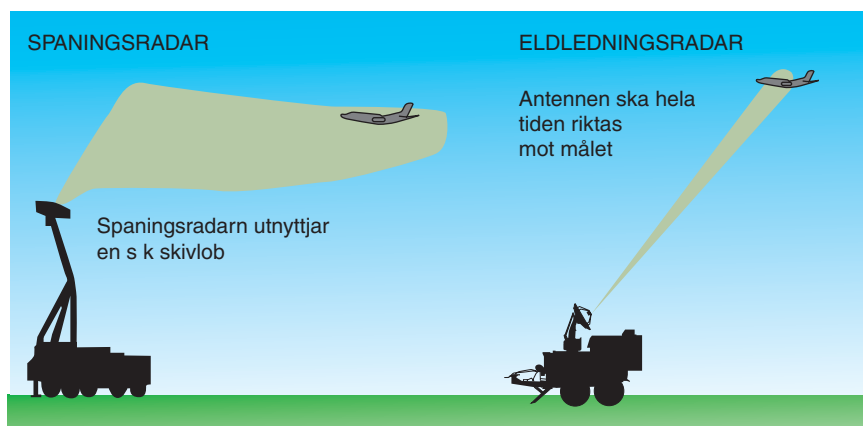


Bild 6:5. Invisning.

Då optisk sikt saknas kan inte heller målangivaren användas, Cig 790 var därför i praktiken hänvisad till invisning från en spaningsradar. Av denna

anledning kunde det vara mer kostnadseffektivt för motståndaren att välja att störa en spaningsradar istället för flera eldledningsradar.

I mörker var systemet känsligt för vinkelavhakning av radarn eftersom periskopet inte kunde användas när det saknas optisk sikt.

Beroende på eldtillståndsgrad krävdes att målet hade identifierats av STRIL, optiskt av eldledare/skytt eller med hjälp av IK-utrustning. Att störa ut STRIL (dvs LULIS) eller IK-utrustning innebar att optisk identifiering krävdes, vilket minskade systemets reaktionstid och därmed nedgick systemets prestanda.

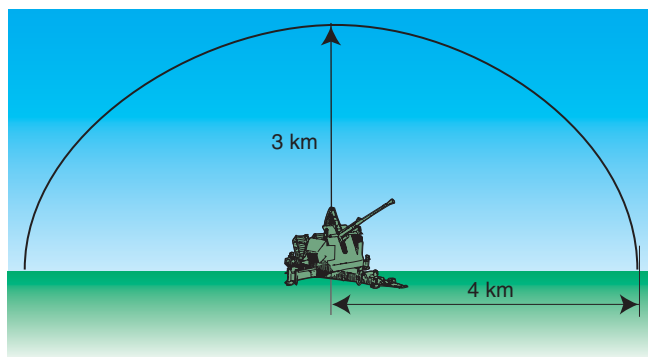


Bild 6:6. Verkansvolym för luftvärnssystem 48.

Övrigt

En stor begränsning var att systemet sköt högst tre km i vertikalled. Om motståndaren flög över tre km höjd kunde inte systemet komma till verkan. Låghöjdsluftvärn kräver ett jaktflyg eller höghöjdsluftvärn som kan pressa ner fiendens flyg till vapensystemets porté.

Slutsatser

Vid optisk sikt hade luftvärnssystemet 48 redundansmöjligheter till alla funktioner. Det var därför svårt för motståndaren att orsaka systemkollaps. Det var betydligt lättare att orsaka systemkollaps nattetid mot systemet eftersom det fanns färre redundansmöjligheter. Systemet var i praktiken tvunget att använda spaningsradarn för invisning och eldledningsradarn för att kunna vinkelfölja målen.

Oavsett siktförhållanden hade systemet en stor nackdel i det faktum att det endast hade en höjdtäckning på tre km. Om motståndaren flög över denna höjd slapp han odsla några telekrigsresurser mot luftvärnet. I gengäld måste han fråga sig vilka andra delar i luftförsvaret han då blottlade sig för. För vissa av motståndarens vapensystem minskar precisionen om flyghöjden ökar medan för andra vapensystem kan precisionen förbättras, eftersom piloten får mer tid på sig att styra vapnet mot målet.

Motståndaren väljer det mest rationella angreppet

En motståndare skulle troligen välja att antingen flyga över tre km höjd och satsa alla telekrigsresurser mot jaktflyg och höghöjdsluftvärn (typ RBS 97) eller att flyga lägre och använda en del av sina telekrigsresurser mot luftvärnet. Det val motståndaren gör kommer att vara det mest rationella utifrån hans perspektiv och med de ingångsvärden han just då har om den vårt luftförsvar.

Allt för ofta tycks man ha en benägenhet att planera utifrån att motståndaren gör det som är bäst för oss och inte vad som är bäst för honom. Dubbelsidiga övningar med luftvärns- och flygvapenförband är ett sätt att komma ifrån detta.

Bristande samband kan orsaka systemkollaps

Sambandets har stor betydelse för striden. För motståndaren är det kanske mer effektivt att störa ut sambandet än att störa ut en spaningsradarstation. Även om radarn ser målet kan den inte förmedla sina underrättelser till eldenheterna. Underrättelserna är då följaktligen värdelösa.

Sambandsproblematiken bör särskilt beaktas vid våra lätttrörliga system t ex RBS 70.

Tillkomsten av Ra 180 omöjliggör inte störning av radioförbindelserna. Det kommer dock att krävas betydligt mer störesurser än tidigare. Bredbandig störning mot hela UK-bandet stör även ut Ra 180-systemet. Detta kräver dock mycket hög uteffekt.

UK är det vanligaste radiobandet hos alla arméer. Om en motståndare störsänder över hela UK-bandet kommer han även att störa sina egna närliggande UK-stationer. Under ett inledande flygangrepp mot våra flygbaser torde detta inte vara något problem eftersom han knappast har några markförband i området.

T ex har USA goda möjligheter att störa radiosamband med flygplanet Compass Call (C130 Hercules) och eskortstöraren EA6-Prowler. De ledningssystem som ska införas i och med det nätverksbaserade försvaret (t ex UndE 23, ILLv, ISMark) är alla starkt beroende av sambandsmöjligheterna. Vikten av ett väl fungerande sambandsystem torde därför öka i framtiden.

Överraskning

Genom att använda ett rörligt uppträdande och ett oväntat beteende kan en motståndares planering visa sig mindre effektiv. En god signaldisiplin försvårar för motståndaren att genom signalspaning fastställa läget och vilka olika typer av system som finns i ett område.

Motståndaren kan då tvingas att ta till stora säkerhetsmarginaler för att lyckas med sina uppdrag, vilket i sin tur minskar möjligheterna att ha

resurser över till andra parallella uppdrag. Att mixa luftvärnssystemen är i många fall en effektiv metod att gardera sig mot ett systems svaga punkter.

Direkt- och indirektverkan

Under Gulfkriget kan man anse att det irakiska luftförsvaret råkade ut för systemkollaps, eftersom det sköt ner mycket få allierade flygplan.

Men även om det irakiska luftförsvaret inte hade någon direkt verkan så hade det en indirekt verkan på alliansens flyg. Hur lång tid hade det tagit för de allierade att genomföra samma flyginsats om man inte hade behövt ta hänsyn till det irakiska luftförsvaret? Alliansen hade då sluppit förbekämpningen av flyg och luftvärn. Man hade även sluppit avdela jakt-eskort, särskilda störflygplan och luftvärnsjägare m m.

Det är av förklarliga skäl svårt att bestämma hur stor den indirekta effekten är.

Sammanfattning

En motståndare kommer noga att analysera den andres luftvärnsförsvarssystem för att hitta de svaga punkterna så att han kan använda sina begränsade resurser på maximalt sätt. Även genom att bara använda öppen information kan man få en tämligen god uppfattning om ett luftvärnssystems starka och svaga sidor.

Det är svårt att orsaka systemkollaps om ett vapensystems olika funktioner är dubblerade. Genom att blanda olika luftvärnssystem kan man taktiskt kompensera för systemens tekniskt svaga sidor. Att angripa sådana förband blir därför avsevärt svårare.

Några störtaktiska begrepp

Beroende på hur störflyget uppträder indelas det i

- bakgrundsstörning (SOJ, stand off jamming)
- med- eller eskortstörning (EJ, escort jamming)
- egenstörning (SPJ, self protection jamming)
- förgrundsstörning (SIJ, stand in jamming).

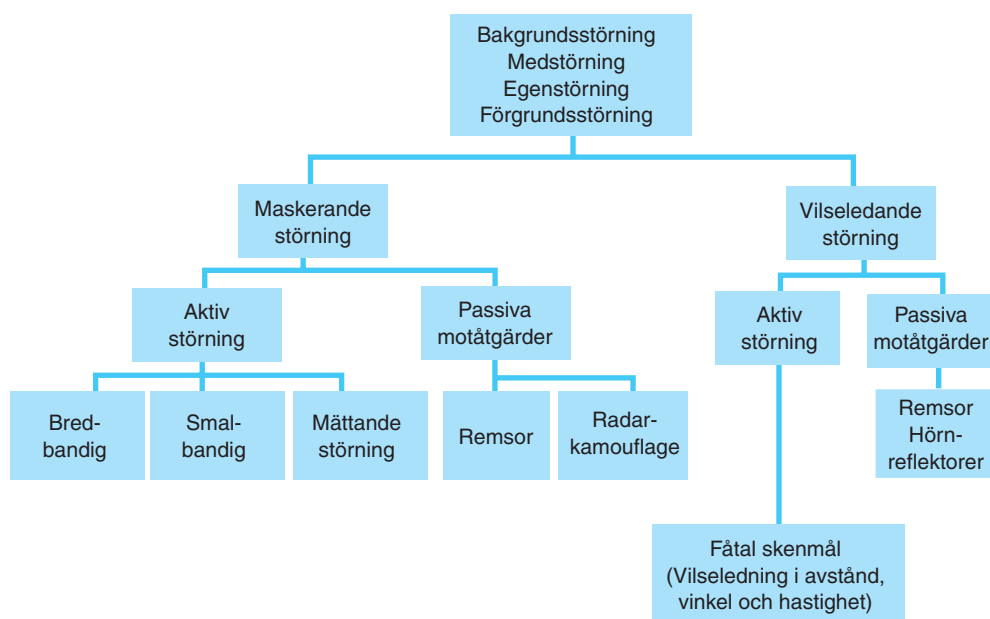


Bild 6:7. Översikt av störtaktiska begrepp.

Bakgrundsstörning

Det övergripande målet för bakgrundsstörning är att fördröja/försvåra insatsbeslut hos motståndaren. För att hålla motståndaren i osäkerhet om när och var anfallet ska ske sätts bakgrundsstörningen in flera timmar eller dagar före anfallet börjar.

Under ett skymningsläge, före ett krigsutbrott, kan det innebära svårigheter för den politiska ledningen i ett land att våga höja beredskapen med bara telestörning som motiv eftersom telestörning inte innebär någon konkret krigshandling. Det kommer alltid att finnas motstridiga politiska åsikter om behovet av beredskapshöjningar. Möjligheterna till överraskande anfall ökar därför.

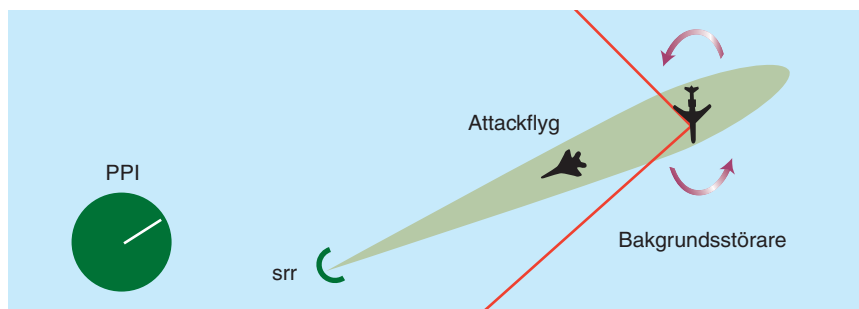


Bild 6:8. Bakgrundsstörning.

Bakgrundsstörare uppträder utanför luftförsvarets räckvidd (100-300 km avstånd), för att undgå bekämpning. Den flyger på hög höjd för att få fri sikt till radarn.

P g a det stora avståndet till bakgrundsstörelsen ger den upphov till en störlöring i radarstationen som ligger relativt stilla. Beroende på störavståndet och störeffekten samt radarns utformning kan störning i vissa fall även ske i radarns sidolöber.

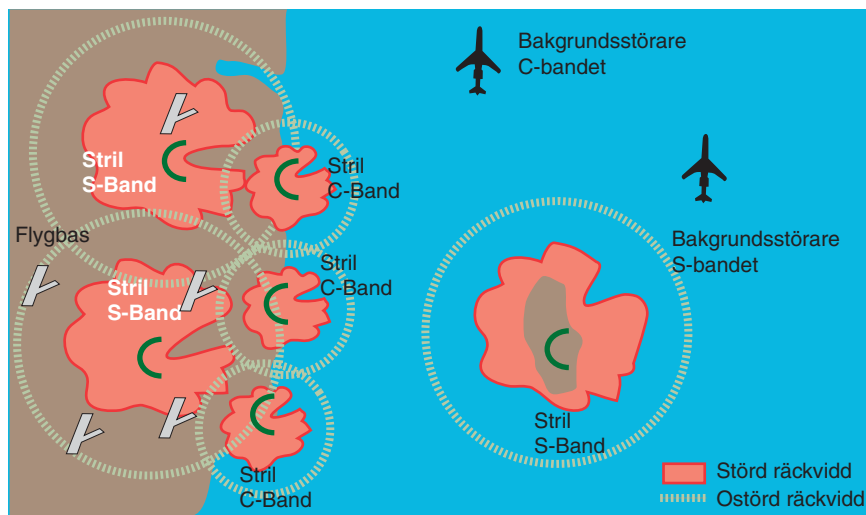


Bild 6:9. Bakgrundsstörning. Motståndares syfte med bakgrundsstörelsen är att reducera räckvidden för luftförsvarets radarstationer. De luckor som uppstår i radartäckningen ska nyttjas för överraskande angrepp.

En störsändare som flyger rakt mot radarn ger också upphov till en störlöring som ligger stilla, dock kommer störningen öka i styrka när den närmar sig (om inte motståndaren väljer att minska uteffekten).

Reglementet anger att om en störlöring legat still i minst 10 antennvarv (10 sek) kan den betraktas som en bakgrundsstörare. Störlöringen måste

ligga still betydligt längre tid före man kan utesluta att det är en egenstörare som flyger rakt mot stationen. Med kryssspejling kan man dock avgöra om störsändaren är nära eller långt borta och om den rör på sig eller inte.

En bakgrundsstörande befinner sig utanför radarns räckvidd och kommer därför alltid att störa mot frekvensen hos den föregående radarpulsen. Om en radarstation byter frekvens mellan varje puls och störsändaren försöker repeterstöra eller störa med smalbandigt brus så kommer störningen ske mot fel frekvens. Men i praktiken måste en radar använda flera pulser i rad med samma frekvens för att markekoundertryckningen ska fungera. PS-90 sänder t ex alltid minst 5 pulser med samma frekvens. Den första kan därför vara ostörd men detta hjälper dock föga eftersom de övriga störs.

Bakgrundsstörning sker vanligtvis inte mot en specifik radarstation utan mot alla radarstationer på ett eller flera frekvensband. Nyttan av att byta frekvens i radarn är då begränsad. Genom att använda Staggered PRF kan bakgrundsstöraren normalt förhindras att skapa falska ekon.

Bakgrundsstörning kan också ske mot flygvapnets tal- och datakanaler för stridsledning av jaktflyg så att inte hela STRIL-systemets kapacitet ska kunna nyttjas.

Dessutom kan bakgrundsstörning

- genom skenmålssändning försena eller omöjliggöra upptäckt av verkliga mål
- med brusstörsändning åstadkomma en räckviddsminskning, hos våra radarstationerna
- tvinga jakt- och luftvärnsförband att under lång tid ha allt för hög beredskapsgrad vilket sliter på material och personal.

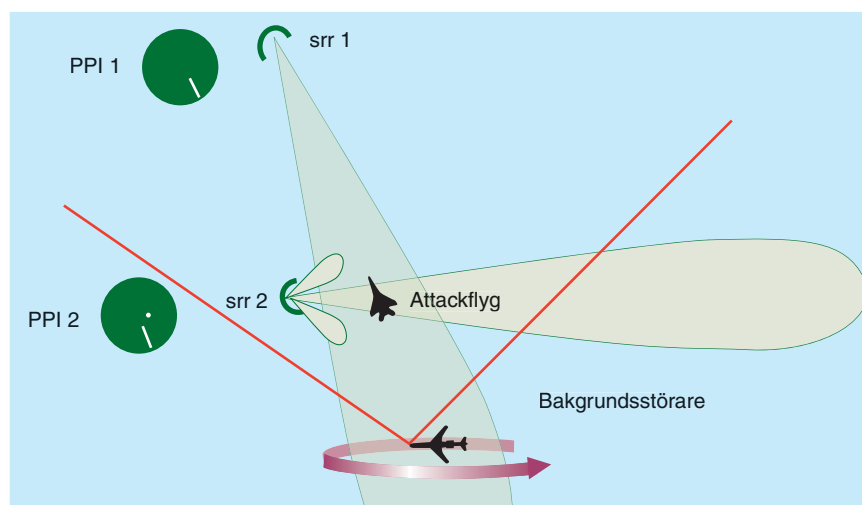


Bild 6:10. Bakgrundsstörning.

Störning av igenkänningsutrustning (IK) orsakar

- vådabekämpning
- försening av vapeninsats eftersom optisk identifiering kommer att krävas hos luftförsvaret.

Nackdelen för användaren av bakgrundstörning är att dessa flygplan kan bli lätta mål för jaktflyg, inte minst om jaktflyget använder SSRB (utveckling pågår med SSRB mot flygplan) eller robotar med HOJ-funktion. Bakgrundsstöraren måste skyddas av egna jaktflygplan.

Beroende på radarstationernas gruppering kommer bakgrundsstörningens inverkan att variera kraftigt. Srr 1 (se bild 6:10) störs i sin huvudlob och får därför ett mycket kort genombrottsavstånd.

Srr 2 störs i sina sidolobber och får en mindre räckviddsminskning, vilket kan medge att attackflyget ändå upptäcks. Inverkan av bakgrundsstörning kan minskas ytterligare genom att gruppera så att något terrängföremål hindrar störningen från att nå sidoloberna på radarn. (Se avsnittet "Använda terrängen för att förbättra räckvidden".)

En bakgrundsstörare har en antennlob som är 10-30 grader. På ett avstånd av 200 km, kommer störsändarens antennlob täcka ett mycket stort område. Det är därför inte troligt att radarstationerna skulle kunna gruppera så att de befinner sig utanför bakgrundsstörarens antennlob.

Bakgrundsstörningen ger upphov till en kil i upptäcktsdiagrammet. Om denna kil kan nyttjas blir genombrottsavståndet kort. Vid bakgrundsstörning är det därför lämpligast ur upptäcktssynpunkt för motståndaren om attackflyget flyger in i linje med bakgrundsstöraren. Verkan av bakgrundsstörningen kan då vara tillräckligt stor för att motståndaren inte ska anse sig ha behov av att starta sina övriga störsändare. I praktiken är det mycket svårt att lyckas flyga in i linje med bakgrundsstöraren.

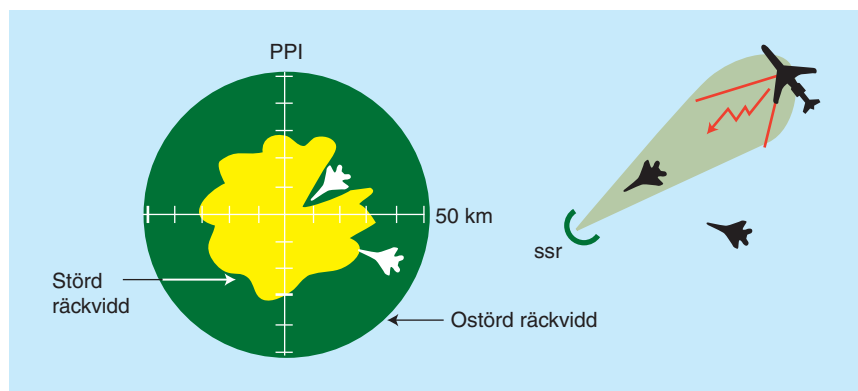


Bild 6:11. Bakgrundsstörning. Störningen ger upphov till en kil i radarns räckviddsdiagram mot störsändaren. Störning som tränger in via radarstationens sidolobber minskar genombrottsavståndet i alla riktningar.

Orsakerna är flera. Så länge attackflygplanen befinner sig långt från målområdet är det relativt enkelt att störa radarstationerna i huvudloben.

När flygplanen kommer närmare anfallsmålet kommer radarstationerna i närheten av skyddsföremålet att belysa attackföretaget från olika vinklar. I bild 6:10 är det därför bara srr 1 som störs i huvudloben.

Eftersom bakgrundsstörning alltid genomförs över av motståndaren kontrollerat område är det lätt att förutse från vilken riktning bakgrundsstörningen kommer att ske. Man kan därför genom rätt gruppering undvika, att under invisningsfasen behöva invisa i riktning mot bakgrundsstöraren (se bild 6:12). Srr 2 och 3 har under invisningsfasen, huvudloben riktad bort från bakgrundstöraren. Eftersom det är så svårt att flyga in i linje med bakgrundsstöraren räknar inte motståndaren med att lyckas med detta.

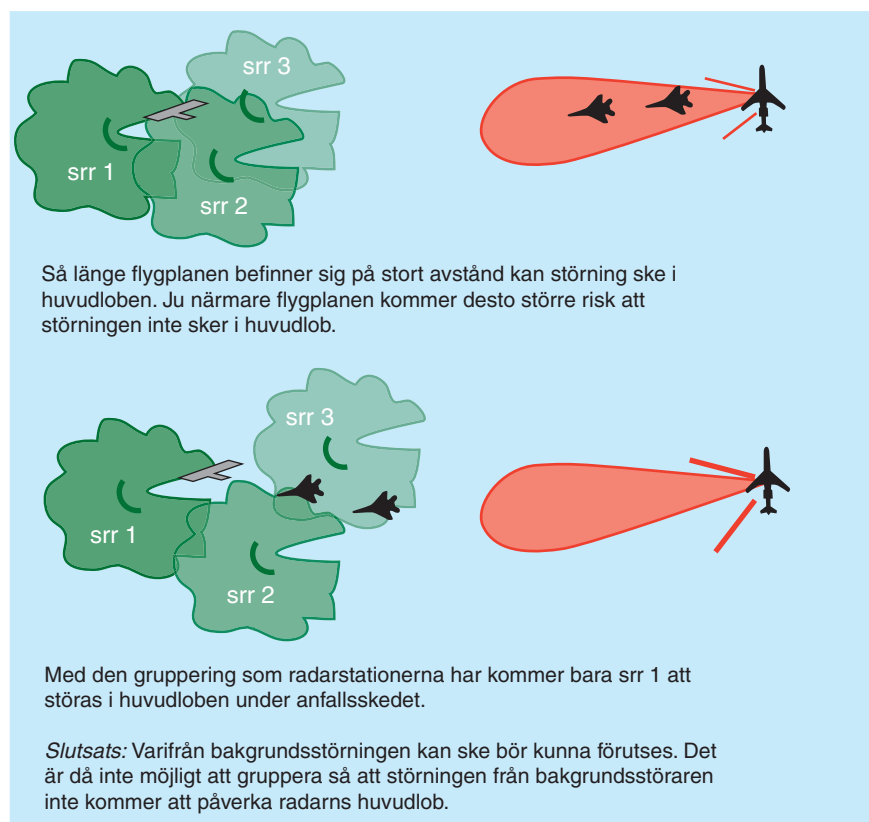


Bild 6:12. Bakgrundsstörning.

Den verkan motståndaren istället förväntar sig från bakgrundsstörning är en allmän räckviddsminskning hos radarstationerna. Det uppstår ”glipor” i radartäckningen (se bild 6:12), vilka kan användas för överraskande angrepp eller för att försvåra flygvapnets stridsledning av jaktflyget.

En höjdmätande 3D-spaningsradar t ex UndE 23 och PS-91 gör det ännu svårare för motståndaren att flyga in i linje med störsändaren. Här måste attackflygplanet både vara i samma bäring och höjdvinkel som störsändaren. Således måste störsändaren befinna sig i samma lob som det flygplan som ska skyddas. Ju närmare attackflygplanet kommer svårare får det att befinna sig i samma höjdlob som störsändaren.

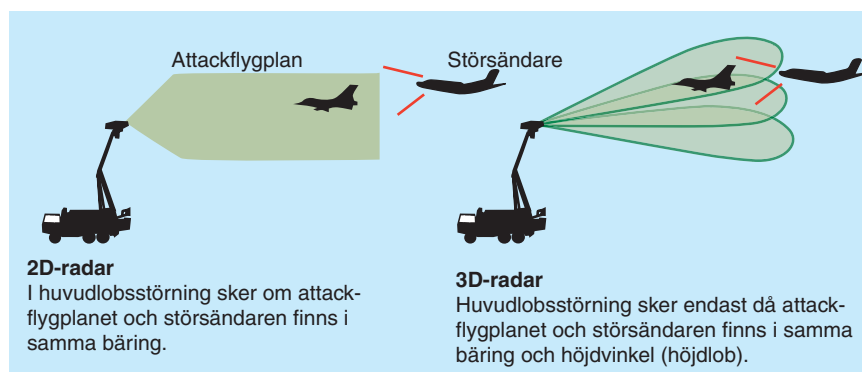


Bild 6:13. Exempel på

Ju bättre sidolobsundertryckning radarn har desto svårare för bakgrundsstöraren att få verkan.

Bakgrundsstörare – exempel på data

Tabell 6:1

Störformer	Bredbandigt brus, repeterstörning
Effekt P-G	200-500 kW
Antennlob	$\pm 5 \pm 15$ grader
Antennförstärkning	20 dB=100 ggr
Störplattform	Transportflygplan eventuellt helikopter
Övrigt	Kan störa både radar, radio och IK

Då man betraktar data för olika störsändare, uttrycks ibland uteffekten även som uteffekt gånger antennförstärkning, detta brukar benämnas ERP (Effective Radiated Power) eller som PG produkt (P beteckning för effekt, G för gain dvs antennförstärkning). Tyvärr anges det inte alltid vad det är som avses, det kan därför vara lätt att missuppfatta störsändarens prestanda.

Exempel 6:1

Om effekten är 20 W och antennförstärkningen 10 ggr blir ERP = 200W.

Sammanfattning

- Bakgrundsstörning är ett förfarande som man måste räkna med.
- Störningen får sin största effekt när den påverkar radarns huvudlob. Detta sker då attackflygplanen, bakgrundsstöraren och spaningsradarn befinner sig i linje med varandra.
- I riktning mot bakgrundsstöraren är genombrottsavståndet mycket kort.
- Bakgrundsstörningen verkar som en räckviddsminskning hos våra radarstationer när störningen påverkar sido- och backloberna.
- Bakgrundsstöraren uppträder alltid över, av motståndaren kontrollerat område. Det kan därför redan nu förutses varifrån bakgrundsstörningen kommer att ske i händelse av krig.
- Bakgrundsstörningen ger upphov till en störbärning som i stort sett ligger still.
- För att minimera inverkan av bakgrundsstörningen bör våra radarstationer grupperas så att de vid invisning "tittar" bort från bakgrundsstöraren.
- Störsändarna har ofta effekter på flera kW. De kan genomföra störning inom ett stort frekvensområde, både inom radar- och radiobanden. Störformerna mot radar är såväl maskerande brussändning som repeterstörning med falska ekon. Maskerande brussändning är troligtvis den vanligaste störformen. Kontinuerligt brus kräver hög medeleffekt hos störsändaren.
- Falska ekon kan undertryckas genom att använda staggered PRF.

Medstörning (eskortstörning)

Vid medstörning flyger störflygplanet tillsammans med attackflygplanen. Syftet är att långt fram kunna använda en kraftigare störsändare än vad attackplanen själva kan ta med sig. Amerikansk terminologi delar upp medstörning i två specialfall

- support jamming
- escort jamming.

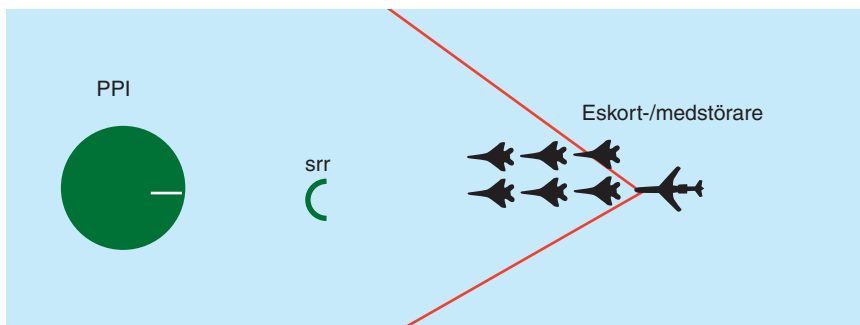


Bild 6:14. Eskortstörning.

Medstörning (support jamming) sker från ett specialbyggt störflygplan som följer attackflygplanen på ett sådant avstånd att deras anfall och inflygning skyddas. Medstöraren har i allmänhet inte samma flygprestanda som de flygplan som skyddas. En medstörare har ofta ingen vapenlast. Ett exempel är det amerikanska EA-6B Prowler.

Eskortstörning (escort jamming), en form av medstörning, sker från ett specialbyggt störflygplan som följer med och eskorterar attackflygplanen fram till anfallsmålet. Eskortstöraren har ungefär samma flygprestanda som de flygplan som eskorteras. Den har oftast ingen vapenlast. Su 24F är ett exempel på eskortstörare.

Medstöraren liksom egenstöraren, stör ofta radarstationen i dess huvudlob eftersom den försöker flyga i linje med attackflygplanen. Den huvudsakliga störformen är dock störning via radarns sidolober.

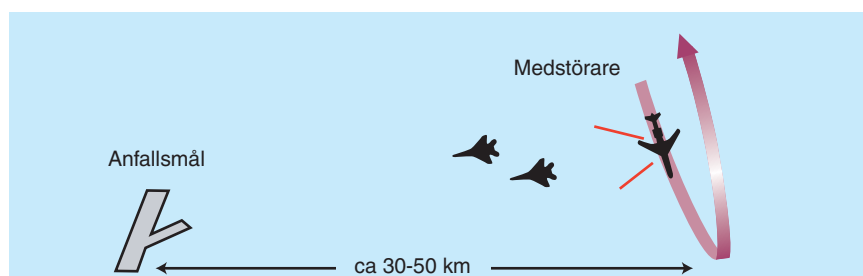


Bild 6:15. Lokal bakgrundsstörning sker utanför luftvärnets porté.

Medstörning kan innebära att attackflygplanen inte själva behöver starta sina egna störsändare. Attackflygplanen kan då givetvis inte heller krysspejlas. Exempel på flygplan som används för medstörning är

- EA-6B (USA)
- Su 24F (forna Sovjetunionen).

I USA nämns F-18 och F-35 som möjliga ersättare till EA-6B.



Bild 6:16. Den amerikanske medstöraren EA-6B Prowler.

Bild 6:16 visar den amerikanska medstöraren EA-6B vilken är utrustad med ett stort antal antenner för såväl signalspaning som störsändning över ett flertal radar- och radioband.

Eftersom medstöraren inte bär någon vapenlast kan den ta med sig mer och kraftigare störutrustning, än vad egenstöraren klarar av. Effekten hos denna typ av störare brukar vara 200-1000 W.

Medstörsändarna är ofta av en mer avancerad konstruktion än egenstörarna och kan alstra fler kvalificerade störformer.

Medstörarna är mycket kvalificerade störplattformar. Störsändare och störformer kan alstra brusstörning men kan även skapa ett stort antal olika repeterstörformer som t ex

- hastighetsavhakning
- vinkelavhakning
- täckpulsstörning
- invers lobmodulation
- falska ekon genom att bl a kopiera pulskompressionskoder.

Typiska genombrottsavstånd mot attackflygplan skyddade av en medstörare (i huvudlob), är 0-3 km. Medstöraren kan även ha möjligheter till störning av

- jakt- och datalänk för stridsledning av jaktflyg
- tal- och datasamband på radio mellan luftvärnets spaningsradarstationer och eldenheter.

Att störa sambandet är ofta minst lika effektivt som att störa ut en radarstation.

Medstörsändare – exempel på data:

Tabell 6:2

Störformer	Brus, repeter
Effekt P•G	50-15 kW
Antennlob	Framåtriktad $\pm 30^\circ$ – $\pm 60^\circ$
Antenn-förstärkning	10-20 dB dvs 10-100 ggr
Störplattform	Specialbyggd attackflygplan

Exempel på taktisk användning

Medstöraren, flyger med i attackanfallet och ökar därmed möjligheten att störningen sker i radarns huvudlob. Ju närmare störsändaren befinner sig desto större verkan har telestörningen.

En division bildar en kolonn med en utsträckning av typiskt en till två mil. Varje division har knappast fler än en medstörare eftersom detta är en mycket exklusiv resurs.

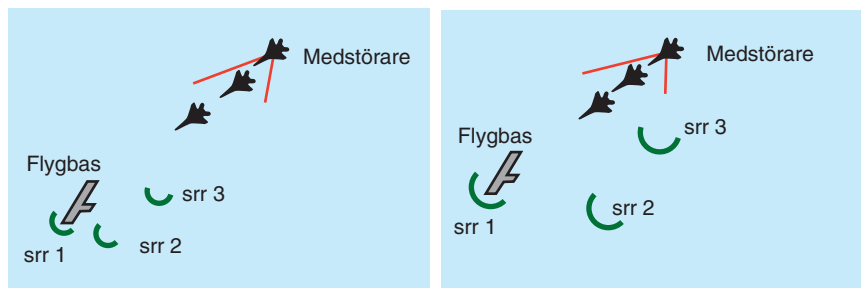


Bild 6:17. Huvudlobsstörning blir svårare ju närmare flygplanen kommer.

Betrakta scenariot vid flygbasen i bild 6:17. Så länge flygplanen är på långt avstånd störs alla radarstationer i huvudloben. Men när flygplanen kommer närmare basen kommer srr 2 och 3 att belysa kolonnen från sidan. Detta innebär att medstöraren inte längre stör dem i huvudloben när de belyser attackflygplanen, genombrottsavståndet ökar.

Att gruppera en spaningsradar centralt i skyddsområdet, srr 1 i bild 6:17, har den stora nackdelen att all störning kommer att vara riktad mot denna punkt. Radarn kommer största delen av tiden utsättas för störning rakt in i huvudloben.

Om flygplanen färdas rakt mot basen kommer störbärningarna hos denna radar att ligga stilla på PPI vilket gör det svårare att veta vad som är bakgrundsstörare och vad som är egenstörare.

Fördelen med en central gruppering är att sambandsavstånden till eldenheterna blir korta vilket kan vara betydelsefullt om motståndaren stör radiotrafiken.

En motståndare inser givetvis att han inte kommer kunna störa alla radarstationer i huvudloben med hjälp av endast en medstörare. Man måste därför kalkylera med att sidolobsstörning kommer att vara den huvudsakliga verkansformen.

Medstöraren kan därför ha uppgiften att som en långt framskjuten bakgrundsstörare reducera räckvidden för radarstationerna via sido- och backloberna. Det får till följd att räckvidden för radarstationerna minskar i alla riktningar. Man talar härvid om begreppet lokal bakgrundsstörare.

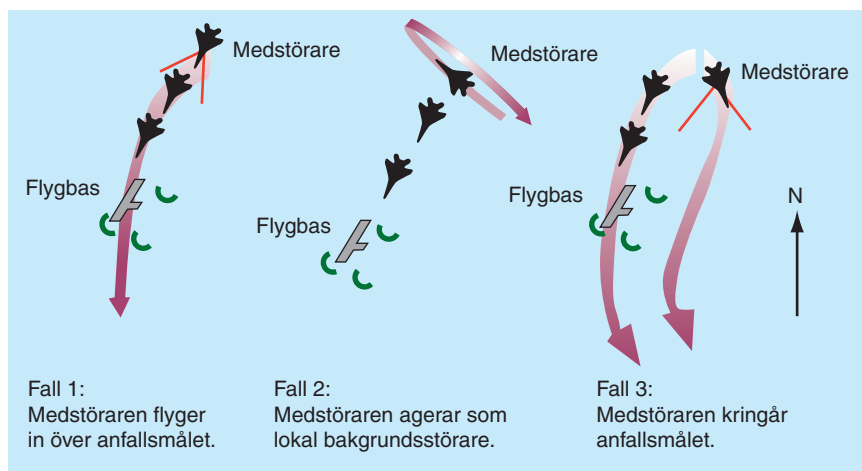


Bild 6:18. Nyttjande av medstörare.

Tre olika sätt att utnyttja medstöraren

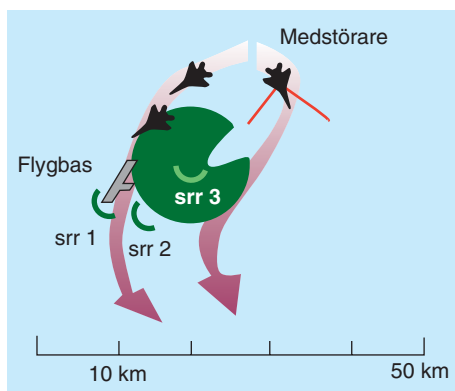
Fall 1, bild 6:18, kommer att ge det kortaste genombrottsavståndet. Nackdelen för motståndaren i Fall 1 är att han flyger in över anfallsmålet med medstöraren med risk att få sin mest exklusiva resurs bekämpad.

I *Fall 2* gör flyget tjänst som en lokal bakgrundsstörare. Störaren har även chans att störa radarstationerna i huvudloben. Med detta uppträdande riskerar inte medstöraren att bli nedskjuten av luftvärnet vid anfallsmålet. När medstöraren flyger med attackflygplanen pekar den tydligt ut riktningen till anfallsföretaget.

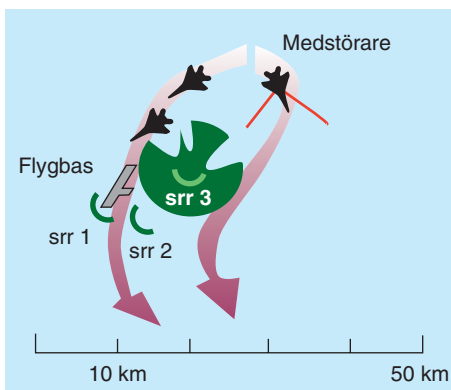
I *Fall 3* kommer inte medstöraren att peka ut riktningen till attackföretaget lika tydligt som i Fall 1 och 2.

I Fall 3 riskerar inte medstöraren att bli nedskjuten och kommer dessutom att orsaka viss vilseledning av luftvärnet genom att ge upphov till en stark störbäring i "felriktning".

Om man studerar Fall 3 lite närmare (se bild 6:19) framgår det att medstöraren inte kommer att störa någon av radarstationerna i huvudloben. Men tack vare att störningen är nära och har hög effekt, tränger den in i antennernas sidolober och kommer att begränsa räckvidden kraftigt för radarstationerna i alla riktningar. Detta gäller särskilt mot radar med dålig sidolobundertyckning. Störningen verkar alltså främst i radarns sido- och backloben. I radarstationerna kommer medstöraren i Fall 3 ge upphov till en störbäring som kan dra bort operatörens uppmärksamhet från de verkliga målen.

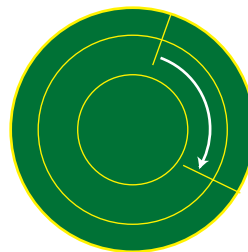


Även om bara medstöraren störsänder blir genombrottsavståndet mot attacken betydligt kortare än 10 km hos en radar med dålig sidosundertryckning.



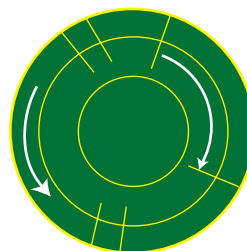
Om både medstöraren och attackflyget stör mot C-bandet blir genombrottsavståndet kort i alla riktningar. Mot störsändarna troligen inte längre än några få kilometer.

PPI i srr 3



När bara medstöraren störsänder syns en störbäring som rör sig från NNO till SO. Störningen kan ev vara så kraftig att flera störbäringar framträder.

PPI i srr 3



Om både medstöraren och attackflyget stör mot C-bandet fås störbäringar på båda sidor av PPI. Medstöraren ger troligen den starkaste störbäringen. Operatören måste vara medveten om i vilken riktning skyddsföremålet finns.

Bild 6:19. Fall 3.

För radaroperatören i srr 3 bör det vara uppenbart att ”störbäringen” åker på fel sida om stationen för att kunna vara ett hot mot basen.

Om medstöraren istället hade gjort svängen väster om basen, hade det varit betydligt svårare för personalen i srr 3 att veta vilken av störbäringarna som var attackföretaget och vad som var vilseledning.

Om inte attackflygplanen själva störsänder mot C-bandet får inte spaningsradarstationerna några störbäringar från dessa flygplan. Medstöraren gör att radarstationernas genombrottsavstånd mot attackflygplanen blir så kort att de kanske inte hinner ge någon förvarning till eldenheterna.

Även om attackflygplanen störsänder mot C-bandet, så kommer troligen medstöraren ge upphov till den starkaste störbäringen. Vid manuell krysspejling är risken stor att medstöraren tilldrar sig allt intresse.

Om det finns eldledningsradar i området börjar eventuellt attackflygplanen störa mot dessa före de kommer innanför eldenheternas porté. Eldenheterna hinner då förhoppningsvis själva upptäcka att något är på gång.

Man får inte glömma bort att även om det inte är möjligt för operatören att förstå exakt vad som händer så kommer alla former av underrättelser till eldenheterna öka deras förmåga att bekämpa målet.

Med ett ledningsstöd som det i UndE23 eller ILLv kommer förmodligen situationer som fall 3 kunna genomskådas.

Mot en 3D-radar bör störsändaren befinna sig i samma höjdlob som de flygplan den ska skydda annars kommer störsändaren endast att kunna genomföra sidolobsstörning.

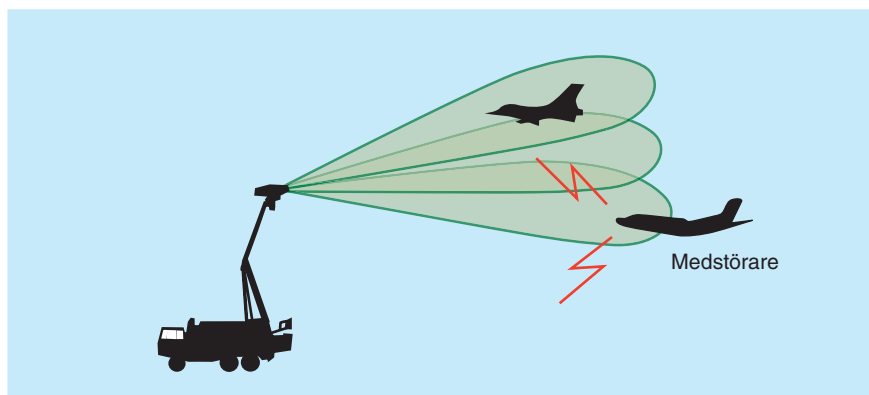


Bild 6:20. Om målstöraren inte är i samma lob som attackflygplanet kan endast sidolobsstörning genomföras.

Då en störsändare är hänvisat till sidolobsstörning är repeterstörning betydligt mycket mer effektivt än brusstörning. Detta faktum i kombination med att priset för s k DRFM-kretsar sjunkit gör att olika former av repeterstörning och s k "smart brus" förmodligen kommer vara medstörarnas huvudsakliga störformer.

Om medstöraren flyger före attackflygplanen kan den skapa en stor mängd falska ekon som omöjliggör för radarn att veta vad som döljs av störningen. Om detta paras med upprepade skenanfall med hjälp av andra flygplan med repeterstörare så kan mycket komplexa scenarier skapas vilka är svåra att genomskåda. Det kan vara värt att notera att falska ekon inte hamnar på samma position i två radarstationer. Datafusion mellan flera radarstationer och andra typer av sensorer skulle kunna vara en metod att bli av med huvuddelen av de falska ekona.

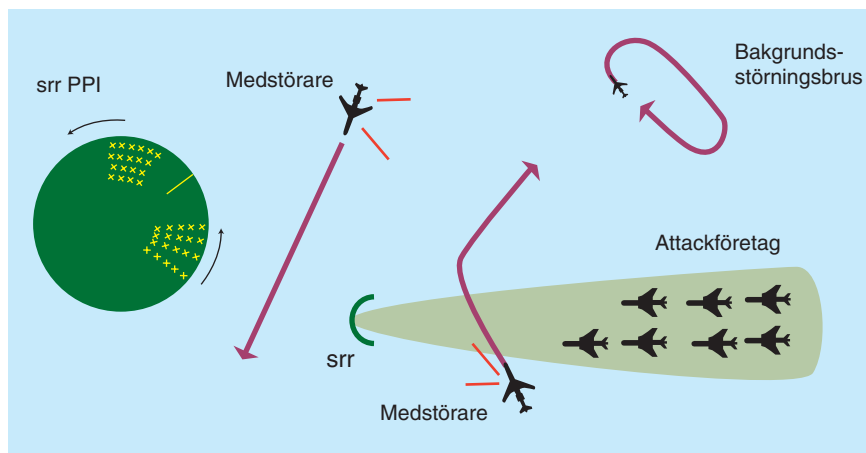


Bild 6:21. Två medstörare skapar falska ekon. Bakgrundsstöraren stör med brus. Det kommer vara svårt att i radarn se varifrån attackflygplanen kommer.

Sammanfattning

- Medstörning sker oftast med specialbyggda attackflygplan.
- Eftersom medstöraren inte bär någon vapenlast, kan den ta med sig mer och kraftigare störutrustning, än vad egenstöraren klarar av. Effekten hos denna typ av störare brukar vara 200-1000 W.
- Medstörsändarna är ofta av en mer avancerad konstruktion än egenstörarna och kan alstra mer avancerade störformer.
- Kan ofta genomföra olika former av sambandsstörning.
- Vid medstörning flyger störflygplanet tillsammans med attackflygplanen. Syftet är att långt fram kunna använda en kraftigare störsändare än vad attackplanen själva kan ta med sig.
- Medstöraren flyger med attackflyget
 - in över målet
 - kringgår målet
 - cirklar några tiotal km före anfallsmålet som lokal bakgrundsstörare.
- Om medstöraren flyger in över anfallsmålet kan det bli möjligt för luftvärnet att bekämpa medstöraren.
- Typiska genombrottsavstånd mot attackflygplan, skyddade av en medstörare, vid störning i huvudlob, är 0-3 km. Genombrottsavstånd mot själva medstöraren är troligtvis nästan noll.
- Repeterstörning med falska ekon och smart brus kommer troligen vara de vanligaste störformerna p g a att de kräver mindre effekt vid sidolobsstörning än brus.

Egenstörning

Egenstörning är ett skydd för det egna flygplanet. Vid egenstörning har det anfallande attackflygplanet själv med sig störutrustning. Tidigare var det främst attack- och spaningsflygplan som var utrustade med egenstörare. Störsändarna var normalt sett kapselmonterade. Det blir nu vanligare med fast monterad störutrustning i flygplan. Numera har även jaktflygplan egenstörare som skydd mot radarjaktrobotar.

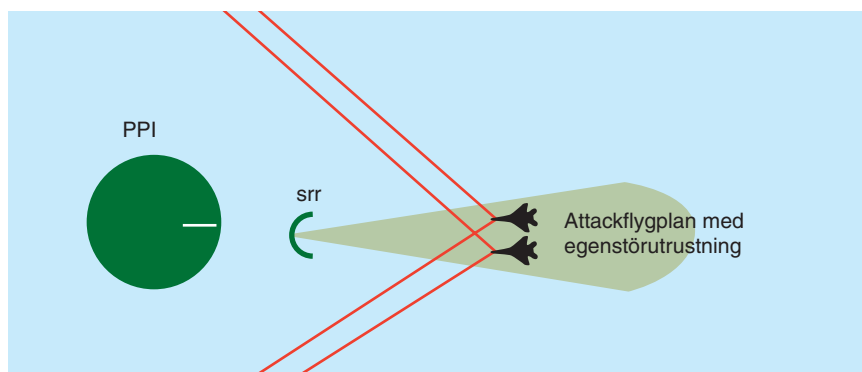


Bild 6:22. Egenstörare. Två flygplan med störsändare för egenkydd. De stör radarn i dess huvudlob.

Störutrustningen har relativt låg uteffekt. Störformerna är brus och/eller repeterstörning (falska ekon) och avhakande störning. Ju mindre radar-målarearea flygplanet har desto mindre uteffekt behövs i planets egenstörutrustning.

I äldre system kunde varje kapsel ofta bara störa ett radarband. Utvecklingen tycks gå mot betydligt mer bredbandiga system.

Störningen från egenstörsändare har god förmåga att dölja flygplans-ekot, eftersom störsändaren alltid befinner sig i spaningsradarns huvudlob samtidigt som flygplanet.

Störsändarens antenner är normalt sett riktade framåt. De har en lobvinkel av 60°-120°. Det förekommer även flygplan som har antenner både framåt- och bakåtriktade. Riktverkan hos störsändarens antenn innebär att störsignalen är något hundratal gånger starkare inom antennloben än utanför.

Tabell 6:3 Egenstörare – exempel på data

Störformer	Brus, vinkel-, avstånds- och hastighetsavhakning
Effekt P-G	0.5-10 kW
Genombrotts-avstånd	0,3-7 km
Antennlob	Framåtriktad $\pm 30^\circ$ – $\pm 60^\circ$. Kan även finnas bakåtriktad
Antenn-förstärkning	3-20 dB
Störplattform	Attackflygplan och eventuellt jaktflygplan

Typiska genombrottsavstånd är 0,3-7 km. En nackdel för motståndaren vid brusstörsändning är att flygplanets läge kan pejlas av två radarstationer eller att det kan bekämpas med vapen med HOJ-(Home On Jam) funktion. Om motståndaren repeterstör kan det bli betydligt svårare att krysspejla målet. Dessutom fungerar inte HOJ- funktionen i alla vapensystem.

För att undvika att motståndaren pejlar in attackflygplanen så försöker de normalt använda sin egenstörutrustning restriktivt. Genom att använda bakgrunds- och medstörare eller genom att flyga lågt så slipper attack- och spaningsflygplanen att starta störsändarna onödigt tidigt. Mot eldledningsradar så startar störsändningar ofta först då radarn låst på flygplanet. Mot ett luftvärn som framförallt nyttjar optiskt riktade vapensystem, så kommer det att vara önskvärt att störa spaningsfunktionen.

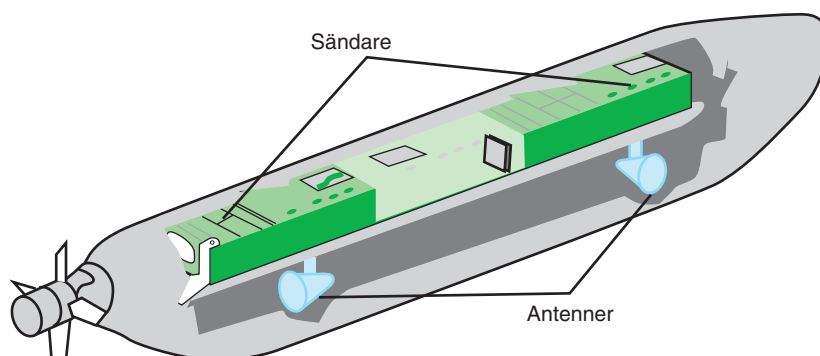


Bild 6:23. Egenstörare AN/ALQ-99 i en kapsel att hängas på flygplan..

Problemet med spaningsradar till skillnad mot eldledningsradar är att stör-sändaren inte märker någon skillnad om störningen har lyckats eller inte, eftersom radarns sändmönster kommer att vara oförändrat. Ett massivt nyttjande av repeterstörning med falska ekon är ett exempel på taktiskt nyttjande av egenstörsändare som kan vara effektivt mot denna typ av luftvärn främst på grund att radarstationerna får svårt att pejla störsändarna. Om luftvärnet i realtid kan få signalspaningsinformation så kan ändå störsändarnas position pejlas. Datafusion mellan flera spaningsradar kan vara en annan metod att undvika de falska ekona.

Exempel på taktiskt användning

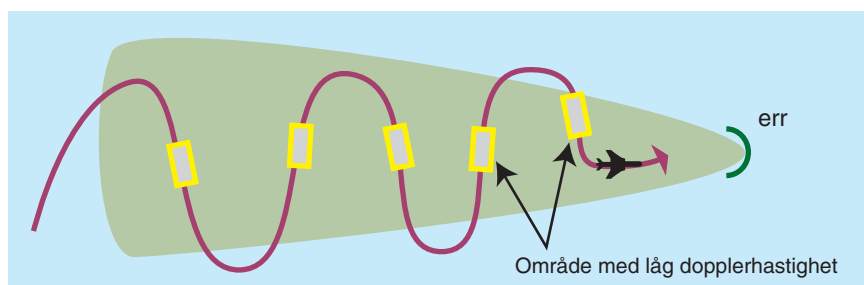


Bild 6:24. Nolldopplersväng för att avhaka hastighetsmätande eldledningsradar.

En pilot som blivit påläst av en hastighetsmätande eldledningsradar försöker ofta kombinera hastighetsavhakning med att manövrera flygplanet till så kallade nolldopplersvängar. Med nolldopplersväng avses att flygplanet inte har någon radiell hastighet i förhållande till radarn (t.ex. då det flyger längs en cirkelbåge). Syftet är att radarn ska låsa på störsignalen eller på marken då flygplanet inte har någon hastighet i förhållande till radarn. Metoden kombineras ofta med remsor eftersom det är lätt att radarn låser över på dessa då de kan ha högre relativ hastighet än både marken och flygplanet.

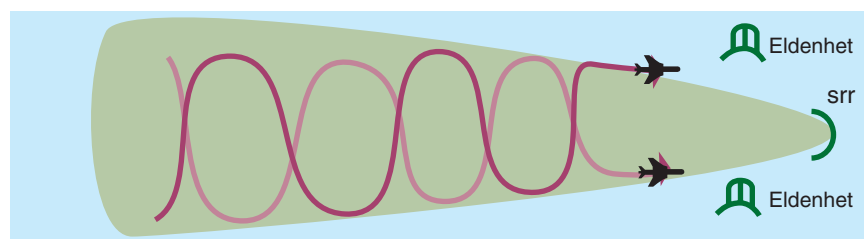


Bild 6:25. Att försvåra insatsplaneringen.

Många spaningsradarstationer och ledningssystem nyttjar olika metoder för att identitetsmärka olika flygföretag. Märkningen används bl.a. vid hot-

utvärdering och målfördelning till eldenheter. Genom att flyga i sicksack finns möjligheter att vissa system börjar märka om målen. Detta kan leda till en mindre optimal målfördelning. Samma sätt att manövrera i kombination med växelvis störsändning kan också användas för att haka av en radarriktad luftvärns- eller jaktrobot (se avsnitt Glimtstörsändning, sid 374).

Som exempel på egenstörare kan nämnas AN/ALQ-165. Dess frekvens-täckning uppges vara från 2-20 GHz. Systemet kan störa puls, pulsdoppler och CW-radar. Den är utrustad med DRFM (digitalt radiofrekvent minne), vilket bl a möjliggör effektiv störning mot pulskompressionsradar. AN/ALQ-165 kan störa flera olika hot samtidigt. Störsystemet används bl a på F-18 och F-14 i USA samt har exporterats till Finland och Schweiz.

Sammanfattning

- Mycket korta genombrottsavstånd för radarstationer mot egenstörare.
- För att öka genombrottsavståndet bör spaningsradarn stå grupperad så att den belyser egenstöraren från sidan eller bakifrån.
- Egenstörning innebär att motståndaren avslöjar sin närvaro.
- Motståndaren eftersträvar att starta sina egenstörsändare så sent som möjligt, för att inte avslöja sin närvaro.
- Responsiva störsändare börjar störa först när flygplanet blir belyst av en radar. De flesta responsiva egenstörsändare har ett antal responsiva moder.
- Egenstörsändning med kontinuerligt brus kan pejlas av två eller flera radarstationer. Detta ger möjligheter att flygplanet kan bekämpas.
- Egenstörsändare är lämpliga att bekämpa med vapen, som låser på det utsända bruset t ex RBS 97 HOJ-funktion.

Förgrundsstörning

Förgrundsstörningen sker mycket nära (någon kilometer) den radar som ska störas. Syftet med förgrundsstörning är att få ett maximalt stort skyddat område bakom störsändaren. Störsändaren befinner sig framför de flygplan som ska skyddas. Förgrundsstörning ger möjligheter att störa ut en radarstation så det inte är möjligt med några tekniska motåtgärder. Genom att störsändaren befinner sig nära radarn behövs endast låg uteffekt.

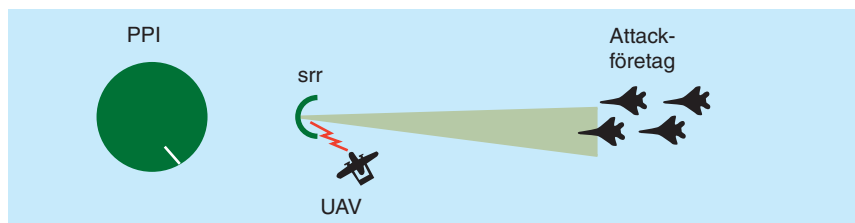


Bild 6:26. Förgrundsstörning.

Om störsändaren finns inom några kilometer från radarn, så räcker det med en effekt på några få watt hos störsändaren. Detta innebär att störsändaren kan göras helt transistoriserad, vilket medför att den blir både billig och liten.

Tabell 6:6 Förgrundsstörare – exempel på data

Störformer	Brus, repeterstörning, falska ekon
Effekt P-G	100 W
Antennlob	360°
Frekvensområde	0.5-18 GHz
Sändaruteffekt	>100 W
Vikt totalt	27 kg
Störplattform	UAV. Manuellt utlagda störsändare eller utskjutna via t ex artilleri.
Amerikanska T-Recs är ett exempel på modernt störsystem lämpat för placering på en UAV.	

Som plattform kan användas förarlösa flygplan s k UAV eller olika typer av skenmålrobotar t ex MALD och Excalibur. Störsändaren kan även vara av engångstyp och placeras på marken, manuellt eller via t ex artilleri.

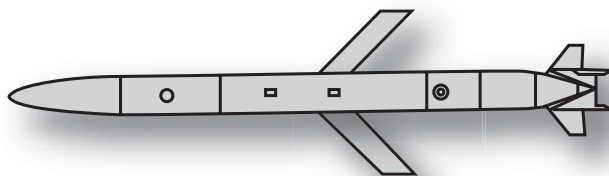


Bild 6:27. Skenmål MALD.

Exempel på taktisk användning

För att säkert maskera attackflyget bör störsändaren störa radarn i dess huvudlob. Den måste därför befinna sig mellan attackföretaget och spaningsradarn. Om radarn störs i huvudloben blir räckvidden mycket kort, stör störsändaren radarn i sido- och backlobber medför detta oftast bara en mindre räckviddsminskning hos radarstationen.

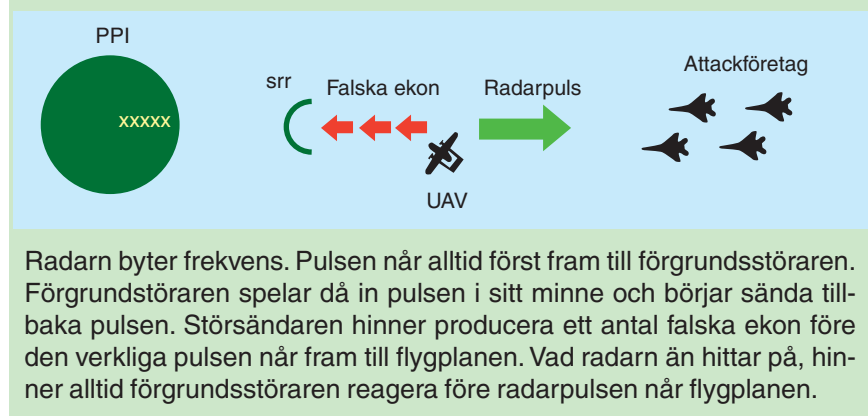
Om störsändaren kan föras nära radarstationen (några hundra meter) kan den komma innanför radarantennens närgränssfält. Här är antennloben inte fullt utvecklad och sidolobsundertryckningen därför dålig.

Repeterstörning är särskilt lämpligt att använda för en förgrundsstörare.

Detta beror på två orsaker

- repeterstörning kräver lite uteffekt, vilket innebär att signalenergin kan räcka för att störa radarn i sido- och backlobar
- spaningsradarn kan inte på något vis skydda sig mot en repeterstörare, som befinner sig långt framför attackföretaget, eftersom en störsändaren alltid hinner mäta in och störa radarn före dess puls har hunnit träffa målen. Även en brusstörsändare med snabb frekvensjustering kan maskera mål bakom sin egen position. Här krävs dock högre störeffekter.

Exempel 6:2



Genom att använda UAV eller engångsstörare slipper man riskera ett dyrt störflygplan och kan ändå få en stor störeffekt. Förgrundsstörning är enklast att genomföra mot fasta radarstationer. Ett bra underrättelseunderlag krävs mot rörliga radarstationer.

Systemet klarar brusstörning samt falska ekon mot både konventionell radar och pulskompressionsradar.

Sammanfattning

- Förgrundsstörning utförs med UAV, alternativt med engångsstörsändare som placeras i närheten av radarn.
- Förgrundsstörning kan inte radarn motverka med någon åtgärd t ex frekvensbyte eller pulskodsbyte.
- Repeterstörning är den störform som kräver minst effekt och därmed lämpligast för förgrundsstörning.
- Även en förgrundsstörare bör helst befinna sig längs linjen mellan attackföretaget och spaningsradarn och störa radarn i dess huvudlob för att säkert dölja attackföretaget. Repeterstörning kan dock ha tillräcklig effekt för att störa radarn även via sido- och backlobar.

Luftvärnsjägare

Allmänt

Suppression of Enemy Air Defence (SEAD) är ett NATO-begrepp med betydelsen att trycka ner en motståndares luftförsvar för att minska dess påverkan på eget flyg. SEAD tog sin början under andra världskriget med bl a det brittiska flygplanet Hawker Typhoon. Konceptet har använts i huvuddelen av de krig som västmakterna och Israel deltagit i sedan dess. Riktigt aktuellt blev det fr o m Vietnamkriget.

För att mäta in luftvärnets gruppering nyttjar flygplanen framförallt signalspaning eftersom

- målkontrasten är bättre än för varje annan inmätnings-/målsökarmetod
- den ger mer information än andra metoder
- den är snabbare och ger bättre yttäckning (om målet sänder).

Det är en fördel om det inmätande flygplanet utgör ett hot, helst mot både huvudmål och luftvärnsställning eftersom detta leder till att luftvärnets sändningsbenägenhet ökar. Det inmätande flygplanet bör också vara vapenbärare för att enkelt kunna överföra informationen till vapnet och med större sannolikhet kunna dra fördel av radarstationens sändning även för vapenstyrning.

Kraven på signalspaningsutrustningen i dessa flygplan är bl a att de ska ha stor momentan bandbredd dvs att de lyssnar över ett stort frekvensområde. Hög systemkänslighet är vanligtvis inte ett krav. Därför är det acceptabelt med antenner med liten förstärkning eftersom dessa ger en god vinkeltäckning. Trots detta åtgår det många antenner för att

- få en tillräcklig vinkel- och frekvenstäckning
- möjliggöra riktningsbestämning i två dimensioner (sida och höjd).

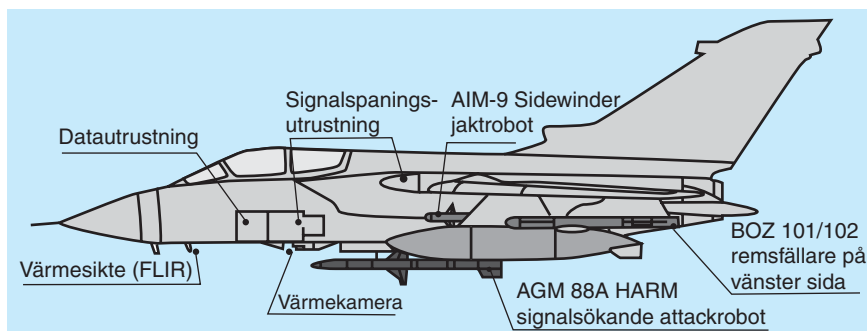


Bild 6:28. Tornado utrustad för luftvärnsjakt. Tornado ECR är normalt utrustat med två AGM-88 HARM, två AIM-9 sidewinder, två extra tankar, en TSP3-störkapsel (Tornado selfprotection jammer) och en BOZ 101/102 rems- och fackelfällare.

Det som utmärker de amerikanska luftvärnsjagarförbanden Wild Weasel är inte som många tror, förmågan att skjuta SSARB, utan att flygplanen är utrustade med ett mycket sofistikerat signalspaningssystem. Det amerikanska Wild Weasel flygplanet F-4G var t ex innan det ta togs i bruk utrustat med signalspaningssystemet APR-47.

För att på ett framgångsrikt vis kunna jaga luftvärn så räcker det inte med att ha signalsökande robotar. Det måste finnas ett system där det ingår kvalificerad signalspaning helst från flera olika sensortyper och plattformar vilka i realtid kan överföra information till vapenplattformen. Det ska också finnas möjligheter att kunna provocera luftvärnet att tända sina radarstationer antingen genom aggressiv flygning eller helst med hjälp av skenmål. Det bör dessutom finnas precisionsvapen som gör det möjligt att anfälla grupperingsplatserna även om radarstationerna är avstängda. Slutligen är det en fördel om flygplanet har kvalificerad egenstörustrustning.

SEAD-utveckling i USA

Under Vietnamkriget drabbades USA:s flygvapen av stora förluster p g a det vietnamesiska luftvärnet, vilket var utrustat med olika typer av ryska luftvärnssystem, bl a SA-2. USA skapade då särskilda förband, s k Wild Weasel, med uppgift att leta upp och slå ut fientliga luftvärnssystem. Denna typ av uppdrag benämns, SEAD (se kapitel Historik).

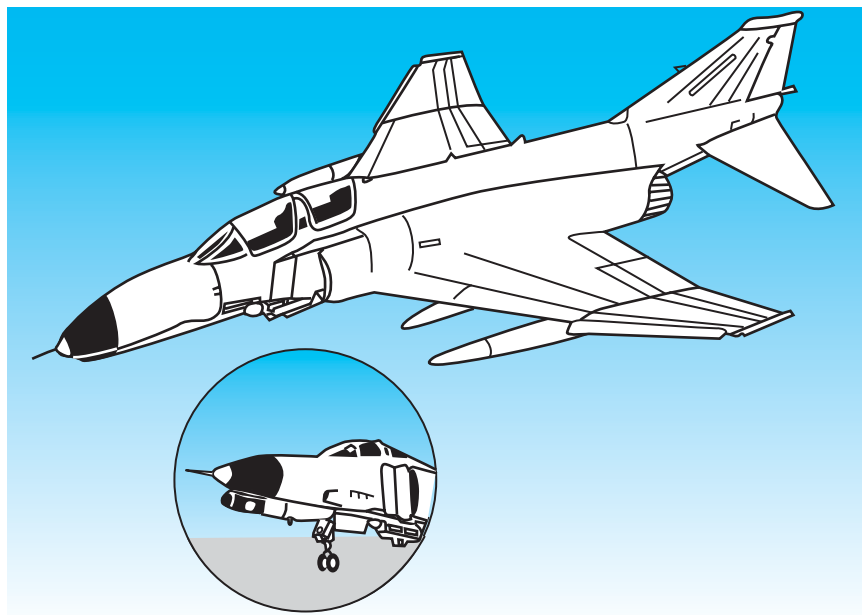


Bild 6:29. F-4G Phantom med signalspaningsutrustning AN/APR- 38 (föregångare till APR-47).

Med signalspaningsutrustningen APR-47 kunde Wild Weasel flygplanet F-4G upptäcka, analysera och lägesbestämma ett stort antal radarstationer inom ett område. Hur noggrant lägesbestämningen kunde ske berodde bl a på flyghöjd och hur lång tid flygplanet haft på sig att mäta in radarstationen. Beroende på dessa faktorer blev inmätningssnoggrannheten några hundra-tal meter.

Signalspaningsresultaten presenterades för "Electronic Warfare Officer – EWO" på en skärm inne i cockpiten. Han bestämde då vilka av radarstationerna som skulle anfallas. Beroende på hur bra radarstationen lägesbestämts samt hur den uppträdde, fastställde EWO hur målet skulle anfallas. Om stationens läge var väl känt och/eller stationen stod radartyst långa stunder valde man att anfalla med ostyrda bomber eller med t ex en styrd IR-robot typ Maverick.

I andra fall kanske valet blev att anfalla med en SSARB. Den signalsökande roboten kunde då avfyras antingen från luftvärnsjägaren eller från ett understödjande flygplan.

Ett understödjande flygplan som inte har den avancerade signalspaningsutrustningen men ändå kan skjuta SSARB, benämner amerikanerna för "HARM shooter". Dessa har oftast till uppgift att eskortera ett attackanfall. Luftvärnsjägarna kan antingen ha till uppgift att eskortera ett attackföretag eller att ägna sig åt "fri jakt på luftvärnsförband". I vissa situationer kan bedömningen vara att det räcker med att störa ut radarsystemet. Man kan anta att olika typer av antisensorlasrar eller HPM-vapen (högeffekt-pulsad mikrovågsstrålning) kommer att användas på sikt.

Till och med Gulfkriget 1991 var de amerikanska luftvärnsjagarförbanden utrustade med F-4G Phantom. Som ersättare till detta flygplan diskuteras bl a F-16 och F-15. Beslutet blev att F-16 skulle överta F-4 uppgifter, denna variant benämns F-16CJ.

Uppfattningen var att om man har ett nära nog totalt luftherravälde så är det inte tvunget att ha ett så specialiserat flygplan som F-4G. Man ville också utveckla SEAD från att vara reaktivt, d v s reagerade först då luftvärnet försökt agera till att bli "förebyggande".

Med ovanstående koncept som grund utvecklade det amerikanska flygvapnet, ett relativt enkelt och billigt signalspaningssystem, Harm Targeting System (HTS) till F-16 CJ. HTS är placerat i en pod under främre delen av flygplanskroppen. Flygplanet är utrustat med det huvudsakliga SEAD-vapnet den signalsökande roboten AGM-88 HARM. HTS kan ge roboten och piloten den nödvändigaste informationen för att kunna avfyras roboten med tillräcklig måldata. Stora specialiserade signalspaningsflygplan och underrättelsecentraler som RC-135 Rivet Joint och EP-3E ska förse dessa F-16 med en detaljerad information om fientliga radarstationer genom en datalänk och via radiokommunikation. Man kan säga att den electronic

warfare officer (EWO) som tidigare fanns i F-4G nu finns i signalspaningsflygplanet RC-135 Rivet Joint. Det är nu EWO som styr F-16 piloten mot vad han ska anfalla.



Bild 6:30. F-16 CJ utrustad med HARM och signalspaningsutrustningen HTS. HTS är kapseln under flygplanskroppens vänstra del. Normalt sett har flygplanet även störkapsel i den centrala kroppsbalken.

De F-16 som är öronmärkta för SEAD rollen benämns F-16 CJ Wild Weasel. I slutet av Kosovokriget hade de allierade tillgång till 56 F-16 CJ i Europa. Flygplanets viktigaste informationskälla är radarsignalspaningsutrustningen ASQ-213 HARM Targeting System. HTS sägs ha en antenn som täcker ett 180° område framåt. En hög grad av automatisering gör det möjligt för systemet att snabbt upptäcka, klassificera och avgöra avståndet till hotet. De viktigaste data presenteras sedan för piloten på en display. HTS talar dock inte om för piloten om ifall just hans eget flygplan är pålöst av en eldledningsradar. Därför har flygplanets ordinarie radarvarnare fortfarande en viktig uppgift.

HARM är idag NATO huvudsakliga vapen för SEAD-uppdrag. Roboten är 4,14 m lång och har en hastighet mellan Mach 2 och 3. Stridsdelen väger 66 kg och innehåller 12000 förfragmenterade splitter.

Piloten i F-16 CJ väljer vanligtvis bland två av robotens moder. I moden *pre-emptive stand-off* så kan roboten skjutas mot en radar som är tyst vid avfyringsögonblicket. Roboten har förprogrammerats antingen redan på

marken eller i luften med hjälp av HTS, med uppgifter om radarns position och karakteristika hos radiosignalen.

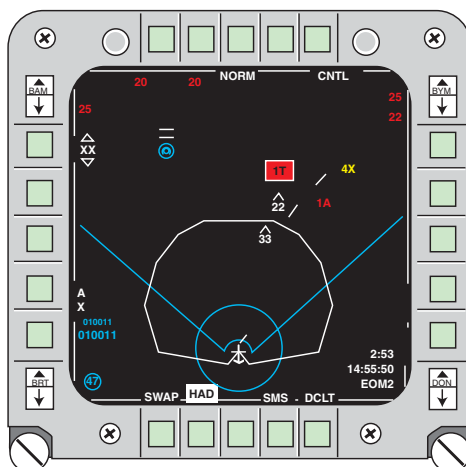


Bild 6:31. HTS-kapseln kan lokalisera och identifiera signalkällor. Underlaget bearbetas och jämförs mot ett signalbibliotek och en prioritetslista upprättas och presenteras för piloten på en monitor. Den visar sensorns täckningsområde, aktiva signalkällor, tidigare aktiva emitterar, datalänkade signalkällor m m.

Robotens interna navigeringssystem beräknar sedan den bästa flygprofilen mot målet. Maximalt avfyringsavstånd är 100 km. Enligt tillverkaren Raytheon öppnar sedan robotens målsökare på ett avstånd mellan 12-16 km från målet. Den fientliga radarn måste nu sända annars är roboten blind. Roboten kommer då att antingen gå mot de förprogrammerade koordinaterna eller låsa på en annan radar. Den här moden är lämplig då det är viktigt att trycka ner luftförsvaret under en kort tid t ex när en radar sänder då ett attackföretag når ett målområde. Denna mod har sina uppenbara problem. Den amerikanske generalen Michael Short, chef för flygoperationerna under Kosovokriget, säger att när HARM-roboten används i "pre-emptive mod" så uppför den sig som "en galen hund". När den öppnar sin målsökare och det ursprungliga målet inte sänder då anfaller den vad som helst. Under Kosovokriget var det minst sex HARM-robotar som landade i Bulgarien.

Den andra moden som general Short istället förordar kallas "Target of Opportunity (TOO)". Moden används då piloterna eskorterar ett attackföretag eller patrullerar i ett område. Radarstationerna måste sända då roboten avfyras. Som sensorer nyttjar F-16 CJ piloten både sin HTS men också robotens egen målsökare. Piloten får informationen på två olika displayer, en för HTS och en för HARM-roboten, vissa radarstationer upptäcks av den ena sensorn, vissa av den andra.

Amerikanerna säger att TOO-moden kan vara mycket effektiv men det blir problem då radarstationerna endast sänder under korta perioder. Under Kosovokriget fick amerikanerna erfara att serberna dragit lärdom från Gulfkriget och Bosnienkonflikten. När serberna visste att det fanns luftvärnsjägare i området försökte de använda mycket korta sändningstider, vilket innebar de ibland sköt sina luftvärnsrobotar ostyrda.

Om hotet finns framför flygplanet kan piloten avfyra roboten snabbt. Om hotet kommer bakifrån så blir det problem. Roboten kan avfyras i självförsvar om flygplanet blir belyst från sidan eller t o m bakifrån men precisionen nedgår då drastiskt. En amerikansk divisionschef säger att, i praktiken sköt de bara när de hade hunnit bestämma radarstationens position. För att inte slösa bort robotar, låste man på radarn några sekunder för att hinna bestämma om den utgjorde ett hot mot någon, före man avfytrade roboten.

Serberna var uppenbarligen medvetna om att det tar tid att vända flygplanet så att det kan skjuta med precision. Från allierat håll försökte man därför under SEAD-uppdragen använda flera flygplan, så att om ett blev belyst bakifrån så skulle ändå ett annat kunna avfyra en robot mot radarn. F-16 CJ nyttjades ofta i fyrgrupper för att på bästa sätt använda HTS antennens täckning. De hot som upptäcktes sändes via datalänk mellan flygplanen i gruppen men även till andra flygplan, så att hoten kunde presenteras hos alla piloter.

Då F-16 CJ eskorterade ett attackföretag så var det inte bara för att skydda attackflygplanen mot luftvärn utan även för att skydda dem mot hot från luften. Typisk beväpning dagtid var två HARM-robotar, två AIM-9 Sidewinder (IR-jaktrobot) och två AIM-120 AMRAAM (radarjaktrobot). Nattetid byttes IR-jaktrobotarna ut mot ytterligare två AMRAAM.

NATO ansåg efter Kosovokriget inte att man hade något bra svar på det serbiska luftvärnets "gerillataktik". När serberna kamouflerade sina eldenheter väl, omgrupperade dem ofta och nyttjade "bakhåll" från oväntade platser så fick man problem. Även Irak utnyttjade efter Gulfkriget 1991 en liknande taktik mot de allierade flygplan som patrullerade den s k flygförbudszonen. NATO har förvånats över den höga graden av mobilitet även hos äldre system som SA-6 och SA-3.

Förinta luftvärn – DEAD

Man är i USA bekymrad över att SEAD-uppgiften kräver mycket resurser under lång tid. Uppgifter gör även gällande att man inte är nöjd med verkan hos de signalsökande robotarna. I Kosovo lär mindre än fem radarstationer har bekämpats trots insats av mer än 400 robotar. Man vill därför skaffa sig förmågan att permanent slå ut luftvärnet även om de sänder restriktivt.

Det amerikanska flygvapnet har därför börjat ta fram en ny taktik benämnd Destruction of Enemy Air Defence (DEAD). Skillnaden mot SEAD är att man här avser att slå ut luftvärnet oavsett om det sänder eller inte. För att lyckas med detta så ska inte bara särskilda luftvärnsjägare som t ex F-16 CJ nyttjas utan även vanliga attackflygplan. Attackflygplanen ska normalt vara utrustade med någon form av precisionsvapen som t ex den GPS-styrda bomben Joint Direct Attack Munition (JDAM) eller Joint Standoff Weapon (JSOW).

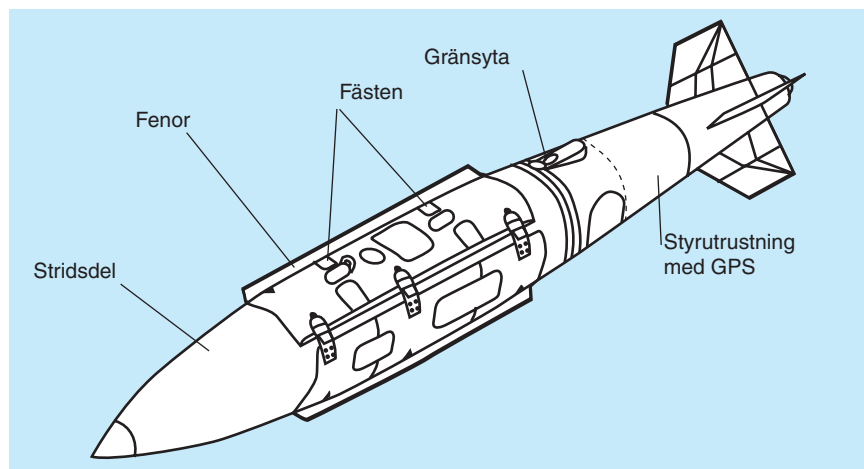


Bild 6:32. JDAM styrutrustning med GPS vilken spänns fast på en konventionell bomb.

Vid övervakningen av flygförbudszonen i Irak nyttjades attackföretag för DEAD uppdrag. Flygföretagen bestod av såväl eskortstörflygplan EA-6B, luftvärnsjägare F-16 CJ och attackflygplan t ex F-16 och F-15. De precisionstyrda vapnen gör till skillnad mot roboten HARM, det möjligt att slå ut en luftvärnsställning även om den inte sänder. Man har för avsikt att utrusta även F-16 CJ med egna precisionstyrda vapen t ex JDAM och JSOW.

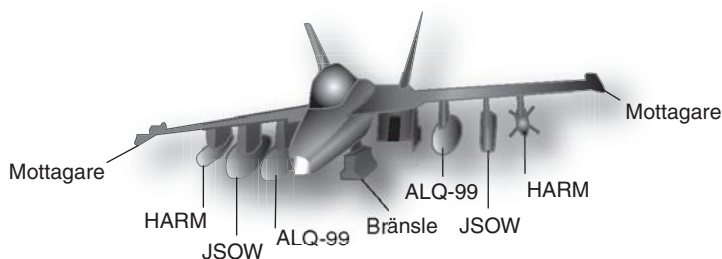


Bild 6:33. EA-18 utrustad för luftvärnsjakt SEAD/DEAD.

I USA diskuteras idag en efterträdare till EA-6B som eskort/medstörare, flygplanet ska också ska ha möjlighet till DEAD-uppdrag. Som möjliga ersättare nämns

- EA-6C - nyproduktion, nya motorer och vingar, AESA-radar m m.
- EA-18 - SEAD version av F/A-18F Super Hornet.
- EA-22 - SEAD version av F/A-22 Raptor.
- EA-35 - tvåsitsig SEAD version av Joint Strike Fighter.
- Global Hawk - utvecklad SEAD version av UAV:en Global Hawk.

Precisionen hos roboten HARM är inte tillräckligt stor för att kunna slå ut en radar om denna slutar sända. Varken precisionen i HTS eller robotens eget navigeringssystem är tillräckligt hög för att lyckas med detta. Därför utvecklar USA, Tyskland och Italien tillsammans en ny modell av roboten HARM benämnd AGM-88D vilken kommer att vara utrustad med en GPS-mottagare för att stötta robotens eget navigeringssystem.

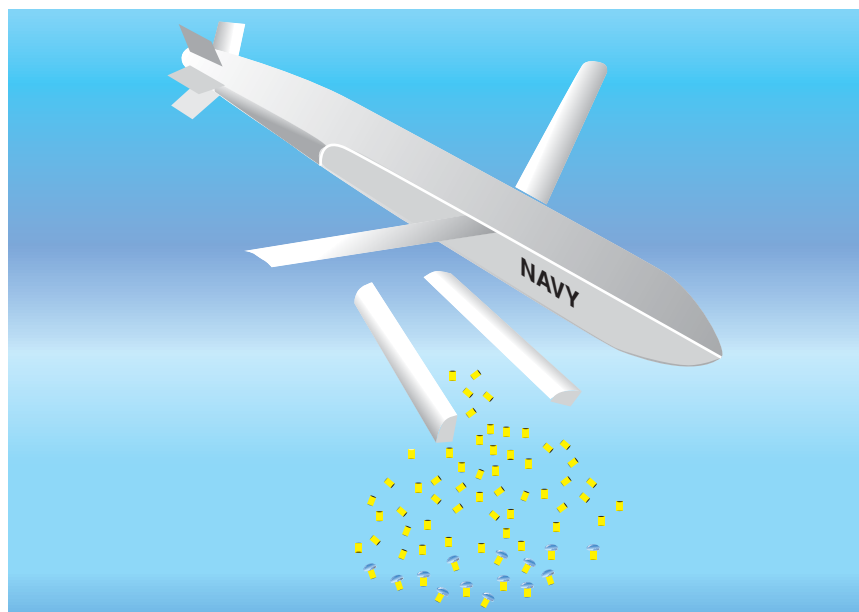


Bild 6:34. JSOW som släpper ut substridsdelar över målområde.

I USA finns det dock skeptiska röster mot detta projekt. Man menar att även om GPS stöttar robotens navigering så måste korrekta målkoordinater finnas i roboten då radarn stänger av. Eftersom roboten har en relativt liten stridsdel så kan även ett mindre bomavstånd göra att radarn klarar sig. Detta problem kan dock minska med nästa generation av HARM-roboten vilken förutom radarmålsökaren även kommer att innehålla en IR-målsökare eller en egen aktiv millimetervågsradar.

Förutom utvecklingen av roboten HARM, så håller USA på med ett antal olika projekt för att göra det möjligt för flygplanen att upptäcka olika emitterar. Två exempel på sådana system är Advanced Targeting System (AT3) och Precision Location and Identification (PLAID).

AT3 ska länka samman signalspaningsinformation från ett stort antal olika flygplan till ett nätverk. På detta vis ska man säkrare kunna identifiera en sändare och noggrannare bestämma dess position. Noggrannheten tror tillverkaren ska kunna bli mellan 15 och 50 meter.

Syftet med PLAID är att i någon mån göra varje jakt/attackflygplan till en enkel luftvärnsjägare. Den bygger på att ersätta eller komplettera flygplanens ordinarie analoga radarvarnare med en ny digital variant (Litton Applied Technology Advanced Digital Receiver). Den digitala mottagaren ska ge tillräckligt noggranna data för att flygplanet ska kunna skjuta en HARM-robot i den relativt träffsäkra mod där roboten ges avståndet till målet. Många hävdar att för att snabbt, < 2 sekunder, lokalisera med precision ett hotsystem så krävs att just flera plattformar samarbetar i ett nätverk.

Man överväger också hur man ska kunna använda den nya miniatyr kryssningsroboten LOCAAS (Low Cost Autonomous Attack System*), vilken ska vara operativ 2005. LOCAAS utgörs av en 50 kg tung turbojet-driven robot.

Roboten ska ligga över stridsfältet och leta efter fasta eller rörliga mål. Den identifierar målen med sin laserradar och anfaller dem därefter. En F-16 kommer att kunna bära 16 LOCAAS och ett B1-B bombflygplan kan bära 192. Ur DEAD-konceptets synpunkt är LOCAAS intressant eftersom då man angivet för roboten hur ett luftvärnssystem ser ut så kommer roboten att attackera systemet oavsett om radarn sänder eller inte.

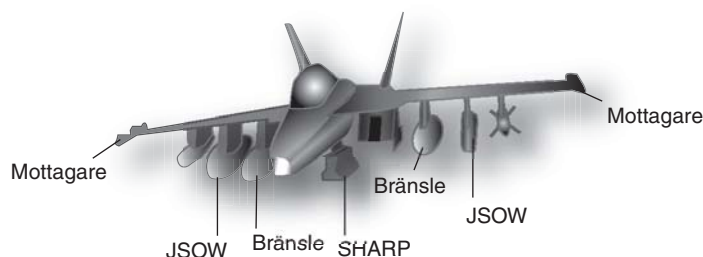


Bild 6:35. EA-18 utrustad för signalspaning. Flygplanet är bl a utrustat med den nya spaningskapseln SHARP (Shared Reconnaissance Pod).

* Eventuellt nytt namn på LOCAAS är WASAAMM, Wide Area Search Autonomous Attack Miniature Munition.

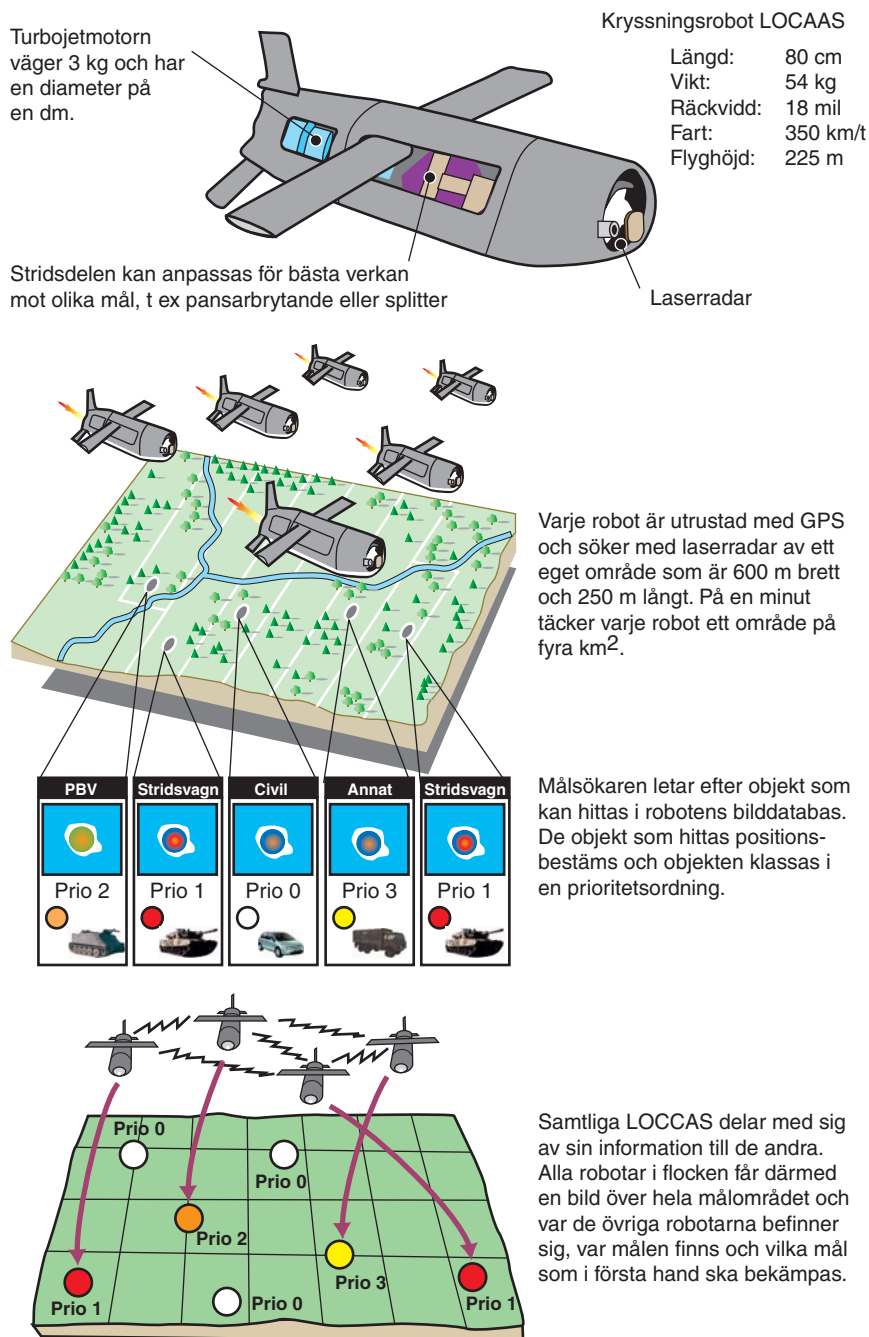


Bild 6:36. LOCAAS är ett sätt att lösa det svåra problemet med att hitta rörliga mål genom att roboten kan spana själv, dela med sig av informationen till andra robotar och inom robotflocken fördela målen. (FOI)

SEAD i Europa

Tornado ECR (Electronic Combat Reconnaissance) är en spanings- och motmedelsversion av Tornado IDS. Det är Europas enda system som har en viss SEAD-förmåga. Systemet består av ELS (Emitter Locator System) för att upptäcka, lokalisera och identifiera radarsignaler, ODIN datalänk för överföring av bl a målinformation mellan andra radarsignaler eller markstation.

Sensorerna i ELS-systemet är placerade i vardera vingroten. Antenn-placeringen medger endast täckning i framsektorn med ca 180°. Inmätt data presenteras för operatören i baksits som sätter upp prioriteringslistor, preparerar HARM-robotarna och motmedelssystemet.

Tornado ECRs operativa uppgifter består av SEAD-bekämpning av fientliga luftvärnsrobotställningar med hjälp av AGM-88 HARM eller stör-sändning. ECR-flygplan kan leda en attackstyrka genom en frontlinje och lokalisera samt bekämpa luftvärnsställningar. Taktiskt uppträder planen minst i rote, men gruppförband förekommer. Tornado ECR kan även bekämpas med vapen ur Tornado IDS-arsenalen.

Tyskland har byggt 35 Tornado ECR och Italien 16. Under den NATO-ledda Kosovo-kampanjen "Allied Force" sköt tyska Tornado ECR över 200 HARM.

I Kosovo var det inledningsvis alltför uppenbart för serberna när tyskarna sköt sina signalsökande robotar eftersom flygplanet efter avfyring svängde bort från luftvärnets porté. Serberna fick genom detta uppträdande en förvarning och kunde stänga av sina radarstationer.

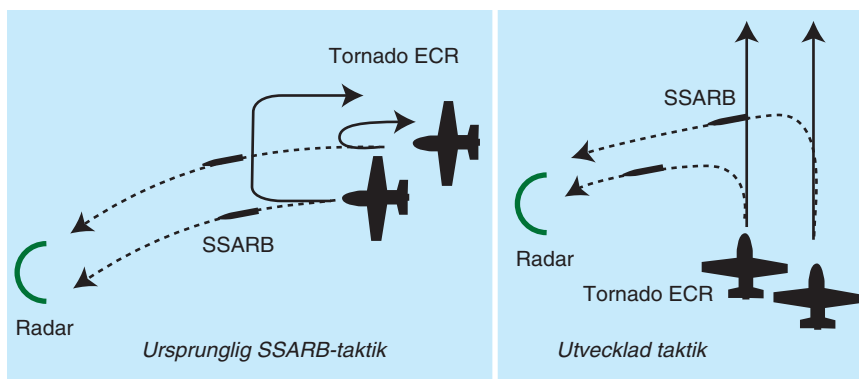


Bild 6:37. SSARB-taktik.

Tyskarna ändrade då sin taktik och lät robotens målsökare låsa på målet 90° mot flygplanets färdriktning. Det blev då avsevärt svårare för personalen vid radarn att inse att en robot hade avfyrats. Även Tyskland tycks efter Kosovo-konflikten eftersträva en övergång från SEAD till DEAD-taktik.

För närvarande pågår en modifiering av de tyska Tornado ECR bl a innehållande i

- robotskottvarnare
- nytt radarvarningssystem
- släpat skenmål.

Tornado Gr4

Tornado Gr4 är den brittiska attackversionen av Tornado. Den är inget dedicerat SEAD-flygplan men den kan beväpnas med upptill åtta signalsökande ALARM-robotar.

SEAD-utveckling i Ryssland*

Under 1950-talet och början av 1960-talet räknade både USA och Sovjetunionen att "nästa" krig skulle bli ett kärnvapenkrig. Sovjetunionen litade då på att kärnvapen skulle slå ut det fientliga luftförsvaret samt att den elektromagnetiska puls som uppstår i samband med en kärnexplosion skulle göra radarstationerna obrukbara.

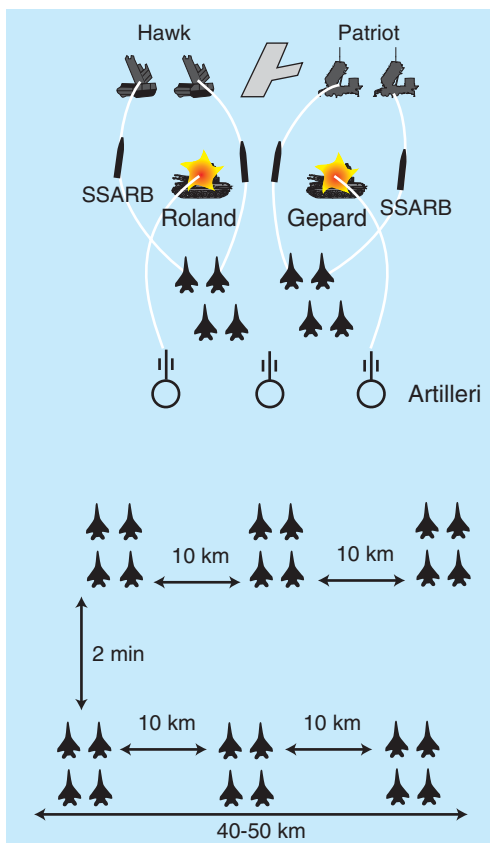
Under slutet av 1960-talet ändrades på båda sidorna kärnvapendoktrinerna så att ett eventuellt krig inte tvunget behövde innebära kärnvapenkrig. I Sovjetunionen uppstod då behov av att utveckla signalsökande robotar. Sovjetunionen och dess allierade i Warsawapakten utvecklade aldrig några speciella luftvärnsjägare på samma vis som USA. I stället för att som USA angripa "uppdykande" luftvärnssystem, nyttjade de signalspaning och andra spanings-sensorer för att innan ett flyganfall spana ut var det fientliga luftväret var grupperat. Den första sovjetiska roboten som började utvecklas var den robot som Nato kom att benämna AS-9 Kyle. Svårigheter att anpassa den mot luftvärnssystemet Nike-Hercules radar gjorde att roboten inte kunde tas i bruk förrän under 1970-talet. Det sovjetiska attackflygplanet SU 24 Fencer A kunde bära två AS-9. Flygplanet nyttjade härvid ett målutpekning- och signalspaningsmottagare benämnd Filin för att ge styrdata till roboten före avfiring. Filin-mottagaren erbjöd bättre frekvenstäckning än robotens mottagare och klarade även att detektera Hawk-systemet.

Vid ett angrepp mot NATO skulle Sovjetunionen försöka skapa ett antal 40-50 km breda flygkorridorer inom vilka inte NATO:s luftvärn kunde verka. Genom dessa korridorer skulle attackgrupper flyga in på relativt låg höjd separerade 10 km i sida och med två minuter mellan divisionerna. De första flygföretagen skulle angripa luftvärnsställningar som upptäckts av signalspaning. Syftet var att förstöra alla medel- och huvuddelen av de långräckviddiga luftvärnssystemen. NATOs långräckviddiga Nike Hercules ansågs ofarligt eftersom dess lägsta skjuthöjd var 1000-1500 m höjd. Men

* Avsnittet bygger främst på artiklar i Journal of Electronic Defence.

i närheten av anfallsmålet där flygplanen skulle ta upp skulle även dessa system förstöras. Det fanns inga speciella enheter som var avsedda att bedriva SEAD. Inom varje attackdivision utrustades helt enkelt 2-4 ”vanliga” flygplan med signalsökande robotar eller splitterbomber för att trycka ner luftvärnet längs flygkorridoren eller kring anfallsmålet. Ett attackregemente som skulle angripa ett mål kunde dessutom begära understöd från någon reservdivision för att utföra SEAD.

Just innan de första flygplanen skulle flyga igenom NATO luftförvarslinje skulle Warszawapaktens artilleri öppna eld för att tysta det korträckviddiga luftvärnssystemen som t ex Gepard, Roland och Rapier. Mot dessa



system hade Sovjetunionen inledningsvis inte några signalsökande robotar. Medan attackflygplanen anföll på låg höjd, under 100 m, skulle flygplanen som var avdelade att slå ut luftvärn stiga till högre höjd just före luftvärnssystemens porté. Hawk-systemet skulle angripas från 500-4000 m höjd på 40-50 km avstånd och Nike Hercules på 2000-6000 m höjd på ett avstånd av 120 km. Så snart luftvärnssystemens eldledningsradar belyste flygplanet skulle de skjuta sina signalsökande robotar.

Bild 6:38. Sovjetisk SEAD-taktik.

En viktig princip vid sovjetisk SEAD till skillnad mot den amerikanska, var att flygplanen skulle befinna sig utkanten eller utanför luftvärnssystemets räckvidd. Detta blir uppenbart då man ser på räckvidden hos de signalsökande robotarna. Den amerikanska roboten Shrike hade en räckvidd på 16 km medan den samtidiga ryska AS-9 hade 110 km räckvidd.

Det sovjetiska systemet för att trycka ner luftvärnet var en metodisk planeringsprocess där luftvärnets positioner bestämdes före flyganfallet.

Här användes främst signalspaning men även andra typer av sensorer. Anfallet mot en känd gruppering kunde sedan ske antingen med signal-sökande robotar eller någon annan typ av attackvapen. Det kan var värt att notera att det amerikanska uppträdandet i Jugoslavien och Kosovo liknar den sovjetiska metoden där man nyttjade olika typer av stand offvapen för att slå mot kända luftvärnsgrupperingar.

Om en luftvärnsradar träffades eller av andra anledningar var tyst skulle grupperingsplatsen anfallas från låg höjd med bomber för att bestående slå ut förbandet. Dessa typer av anfall understöddes med hjälp av bakgrundsstörning från Mi-8 helikoptrar. Typiskt störavstånd var > 100 km.

Under 1980-talet utgjordes de främsta hoten mot det sovjetiska flyget av Improved Hawk (motsvaras i Sverige av RBS 77) samt Patriot. Som skydd utrustades de sovjetiska flygplanen med varnar och motverkanssystem i dessa ingick t ex störcapslarna SPS 141-142 och SPS-161 och 162. Under slutet av 1980-talet utvecklades en ny taktisk ballistisk robot, 9M714U Totshka (SS-21 Scarab). En version av Totshka-U var utrustad med en signalsökande målsökare som hade en räckvidd på ca 70 km. Varje sovjetisk division hade en egen bataljon med Totshka och varje lavett kunde avfyra Totshka-U versionen.

Under 1980-talet kom flera olika nya signalsökande robotar. Den första var Kh-25 MP (AS-12 Kegler), den följdes snart av KH-58 (AS-11 Kilter). Mot slutet av decenniet kom även olika modifierade varianter av dessa robotar, t ex Kh-58U där räckvidden ökats till 250 km och målsökaren kunde fås att låsa på ett mål efter avfyringen.

NATO benämning	Tillverkare	Operativ från	Huvud-sakliga mål	Plattformer	Längd (cm)
AS-12 Kegler	OKB Zvezda	1981	Nike Hercules HAWK mod. HAWK	MiG-27 alla Su-17M3 och M4	429,4
					
Spännvidd (cm)	Vikt (kg)/ Stridsdel	Räckvidd	Fart (m/s)	Avfyrnings- höjd (m)	
82	320/90	60	850	100-15000	

Bild 6:39. KEGLER, rysk signalsökande robot.

Inledningsvis användes Mig-25BM Foxbat-F för att bära AS-11 Kilter. Detta flygplan var egentligen inte avsett som SEAD-flygplan men blev den huvudsakliga bäraren av SSARB eftersom den kunde operera på upp till 21000 meters höjd dvs ovanför Hawks höjdtäckning. Under slutet på Sovjeteran infördes Kh-31P (AS 17) Krypton, vilket idag är den modernaste ryska signalsökande roboten. Vissa exemplar av de äldre robotarna är modifierade för att klara de franska och tyska luftvärnssystemen Roland och Crotal.

Passiva spaningsmetoder

Luftvärnets har till stor del hitintills använt sig av radarsensorer. En annan väg har marinen tagit. Sedan mycket lång tid har fartygen både radar och utrustning för signalspaning. Luftvärnet har idag börjat bygga upp kompetens även inom andra sensorsystem än radar.

Signalspaning för luftvärnet

Signalspaning har minst lika lång räckvidd som en radar. Många av motståndarens flygplan kommer att behöva använda radar för att upptäcka hot från anfallande jaktflyg, undvika egna kollisioner eller som navigerings-/bombfällningshjälpmedel. Samtliga flygplan har radioutrustningar och ett antal av flygplanen använder störsändare. Möjligheterna är därför goda att med rätt utrustning genomföra signalspaning.

På marinens fartyg finns signalspaningsutrustning vilken ingår i fartygets VMS-system. Denna typ av signalspaningsutrustning ger en mängd möjligheter att

- krysspejla både repeterstörare och brusstörsändare
- krysspejla flygplanets nosradar och navigeringsradar
- klassificera eller identifiera flygplanstyp
- få längre räckvidd än radar.

En tillförsel av ett passivt signalspaningssystem är kanske den enskilda åtgärd som bäst skulle komplettera de sensorsystem som idag nyttjas av luftvärnet. Ett exempel på ett rörligt signalspaningssystem är det tjeckiska Tamara-systemet vilket funnits inom Warszawapakten sedan 1980-talet. En modern version benämns VERA-E.

VERA-E kan lokalisera, identifiera och följa luft-, mark- och sjömål. Systemet nyttjar TDOA-principen och kan lägesbestämma bl a radar-sensorer, störsändare, Ssr-transpondrar, datalänkar och andra pulsade sändare. Systemet innehåller fyra fordon med signalspaningsantennerna vilka grupperas med ett inbördes avstånd av 10 – 35 km, ett av dessa utgör även den centrala beräkningsstationen.

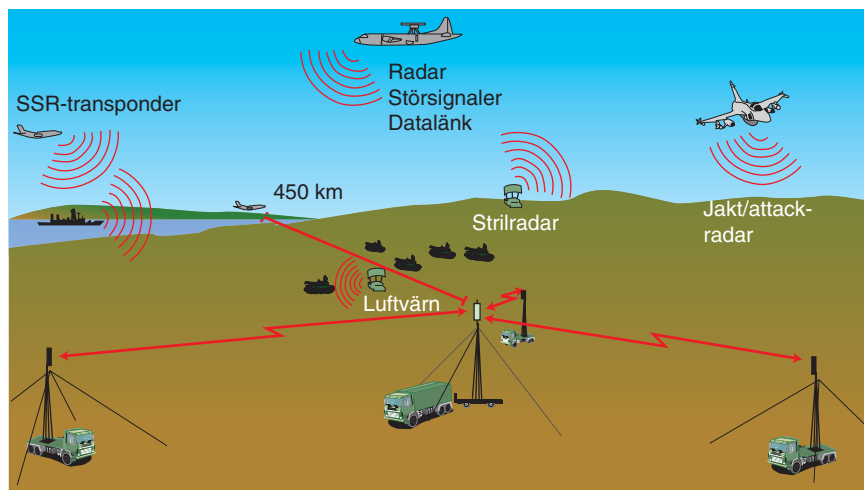


Bild 6:40. VERA-E.

VERA-E kan lokalisera sändare i tre dimensioner (x, y, z). Frekvenstäckning 1-18 GHz. Systemet har möjlighet att följa 200 mål samtidigt. Räckvidden uppges vara 450 km.

Precisionen i lägesbestämningen av ett mål är ungefär lika bra som hos ett radarsystem.

IR-spanare

Ett helt passivt förvarningssystem är t ex IR-spanare IRS 725.

Systemets fördelar jämfört med radar är att

- det ej kan upptäckas med signalspaning
- det är svårt att störa
- hög riktningsnoggrannhet i höjd och sida.

Nackdelar

- kort räckvidd
- räckvidden påverkas av väderförhållanden
- kan inte mäta avstånd.

Genom avancerad bildbehandling finns det vissa möjligheter att ge ett IR-system prestanda så att det ungefärligt kan uppskatta avståndet till ett flygplan.

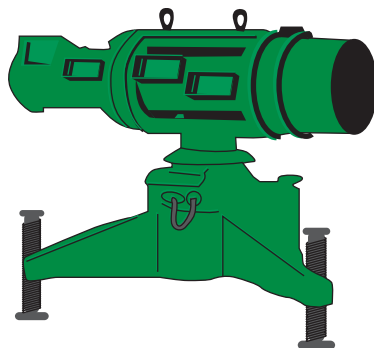


Bild 6:41. IR-spanare IRS 725.

Räckvidden hos IRS 725 uppges vara 10–15 km mot attackflyg och 6–9 km mot helikoptrar vid ”normalt väder”. En kombination av aktiva system som radar och passiva system med t ex IR-spanare och signalspaning ger ett svår stört system med många redundansmöjligheter.

Akustisk helikopterdetektering

Underljuds farkoster främst helikoptrar (men även eventuellt UAV) kan detekteras med hjälp av lågfrekvent ljud från rotorerna. Akustiska sensorer kan bestämma riktning till ljudet inom några grader samt klassificera en helikopter med hjälp av huvud- och stjärtrotorernas varvtal. Fördelen med utrustningen är bl a att den är billig, inte påverkas särskilt mycket av topografin. Nackdelen är att räckvidden är kraftigt väderberoende. Räckvidden är max något 10-tal km men vädret kan minska räckvidden till ett fåtal 100 m. Den israeliska Helispot är ett exempel på system.

Skyddsåtgärder mot signalsökande robotar

Hur en radar ska nyttjas i krig blir en avvägning mellan behovet av verkan och skydd. Behovet av radarinformation kommer att variera beroende på t ex uppgift, vapensystem och tid på dygnet. Det är därför viktigt att chefen med riktlinjer styr radarstationens sändningsmönster så att tillräckliga underrättelser kan inhämtas. Om en radar sänder för lite med hänsyn till behoven har motståndaren lyckats med sin insats av signalsökande robotar, SSARB.

En signalsökande robot är i princip en form av signalspaningsutrustning. Metoderna för att försvåra upptäck från signalspaning är därför även verk samma mot SSARB.

De taktiska metoderna för att skydda radarstationerna går ut på att

- minimera sändningstiden
- minska sidoloberna
- variera så många radarparametrar som möjligt
- försämra signalmiljön
- använda skenmålsändare
- förse radarn med splitterskydd
- utföra fältarbeten.

Det bästa skyddet fås genom att kombinera flera taktiska och tekniska åtgärder.

Minimera sändningstiden

Att minska sändningstiden är ett av de bästa sätten att försämra de signalsökande robotarnas träffsannolikhet. Om en SSARB har en hastighet av ca 1000 meter per sekund och en radar är avstängd i t ex tre sekunder måste roboten följaktligen färdas tre kilometer utan nya uppdateringar av målläget. Träffsannolikheten påverkas mycket om radarn kan stängas av när roboten byter från planflykt till dykanfall.

Att minska sändningstiden är dock ett tveeggat sätt att möta hotet från signalsökande vapen. Om stationerna inte sänder kan de självfallet inte bekämpas med signalsökande vapen. Å andra sidan kan radarn inte heller förmedla några underrättelser. Angriparen har i så fall lyckats få oss "blinda".

Det gäller istället att använda stationen så att man precis kan få de underrättelser man behöver utan att behöva sända onödigt mycket. Hur mycket underrättelser eldenheterna behöver varierar med gruppering, typ av mål och siktförhållanden.

Åtgärder för att minska sändningstiden kan vara

- intermittent sändning
- sektorsändning
- "blindföljning"
- glimtsändning.

Intermittent sändning

UndE 23, PS-90 och PS-91 är utrustade med funktionen intermittent sändning. PS-70 har efter modifiering utrustats med denna funktion.

Erfarenheter tyder på att det sällan blir någon påtaglig försämring av målfångningstiderna även om 50 procentig intermittent sändning används.

Sektorsändning

Sektorsändning kommer att minska den totala sändningstiden eftersom radarn är avstängd under en del av varvet. Problemet med sektorsändning är att på grund av antennens sidolober och backlober så kan stationen anfallas även från de "avstängda sektorerna". Simuleringar tyder på att vilken riktning som stationen sektorsänder inte har någon betydelse för robotens träffsannolikhet. Sektorsändning innebär att radarn kommer att vara blind i de avstängda sektorerna. Men om flera radarstationer datasamverkar via någon form av ledningssystem t ex UndE 23 eller LvPLUS och var och en sänder under en mindre del av varvet så kan god omvärldsuppfattning erhållas samtidigt som den enskilda radarn bara exponeras ett kort ögonblick. Störst nytta gör sektorsändning för radarstationer med låga sidlober.

Sektorsändning i PS-91 kan vara ett gott skydd mot SSARB eftersom PS-91 har en antenn med mycket god sidolobsundertryckning samt låg uteffekt.

”Blindföljning”

När ett mål har fångats kan radarstationen stängas av och målet blindföljas under ett antal sekunder av operatörerna. I PS-90 blindföljs målen automatiskt i ca sju sekunder varefter symbolerna börjar blinka några sekunder innan de försvinner. Här kan det vara lämpligt att starta radarn då mål-symbolerna börjar blinka. När mållägena uppdaterats stängs radarn av på nytt osv.

Om radarn bara ska ge förvarning räcker denna information långt. Om radarn ska målinvisa eldenheterna kan informationen räcka om flygplanen inte gör stora manövrer och eldenheterna har goda siktförhållanden. För eldenheter med stora krav på inivisningsnoggrannhet kan spaningsradarn behöva sända mer fram tills dess eldenheten målfångat.

Glimtsändning

Med glimtsändning avses att flera radarstationer nyttjar gemensamma UND TAL- och UNDDATA-nät eller utnyttjar ett ledningssystem som t ex UndE 23 eller LvPLUS som vidare förmedlar inivisningen till eldenheten. En radar sänder målinvisning till alla eldenheter under en kort tid (mindre än en minut), varefter nästa station börjar sända och den första station blir radartyst. Genom denna metod får eldenheterna kontinuerlig målinvisning och den enskilda spaningsradarstationen kan ha långa sändningsuppehåll. För att lyckas med glimtsändning behövs en hel del träning. Glimtsändning är ansträngande för personalen i radarstationen och bör därför bara nyttjas under max 5–10 minuter. Men å andra sidan tar inte ett flyganfall mycket lång tid.

Om radarn stängs av efter det att den signalsökande roboten inlett sin dykfase så kommer detta endast ge ett mindre bomläge för roboten.

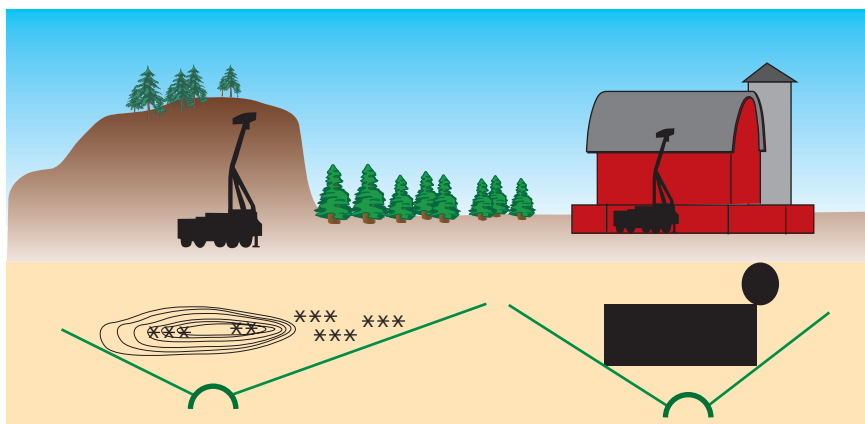


Bild 6:42. Minska sidoloberna. Genom att gruppera vid ett högt terrängföremål kan sidoloberna minska kraftigt i vissa riktningar. Givetvis bör radarn på bilden, sektorsända i sektor 2-10, eftersom det övriga området är skymt.

Minska sidoloberna

En SSARB nyttjar radarns sidolober då den anfaller. Genom att gruppera radarn vid något högt terrängföremål kan sidoloberna skärmav i den riktningen. Metoden innebär även ett visst skydd mot att telestörning påverkar radarn via sidoloberna. Om radarn grupperas enligt bild 5:42 bör sektorsändning användas eftersom terränghindret ändå inte ger någon sikt i vissa riktningar. Sektorsändning kommer att minska problemet med markklotter. Radarstationens närekodämpning kan behöva ökas för att hindra markklotter via radarns sidolober. Sektorsändning kommer dessutom att minska den totala sändningstiden och ytterligare försvåra för en SSARB.

Variera så många sändningsparametrar som möjligt

Genom att hela tiden variera radarns parametrar minskas robotens möjligheter att hitta radarstationen. Ju fler parametrar som kan förändras desto svårare för roboten att låsa på en viss radar.

De parametrar som kan varieras är

- frekvens
- pulsrepetitionsfrekvens (PRF-växling, Staggered PRF)
- pulslängd.

Pulslängden är i de flesta stationer på något vis beroende av PRF. När radarn byter från avståndsområde ändras PRF och pulslängd.

Nackdelen med att förändra radarns parametrar är att det kan uppstå problem med markklotter.

Försämra signalmiljön

En robots förmåga att särskilja en viss radar försämras om det samtidigt finns många signaler i etern. Att sända med många stationer samtidigt kan därför i vissa fall vara en bättre metod än att sända med stationerna en åt gången. Ett taktiskt förfarande som bör finnas inövat är ”radarstöt” – alla stationer sänder samtidigt en kort stund. Många sändande stationer som använder Staggered PRF, snabb frekvensväxling och flera reflekterade signaler innebär ökade svårigheter för roboten.

Robotarna nyttjar pulsfrontsdiskriminering för att inte styra mot en reflex. Teoretiskt bör signalmiljön för roboten försämrast, genom att radarreflektorer placeras ut (i väderballonger) runt radarstationerna eller att gruppera radarn en bit från ett hus med plåttak. Men då endast huvudlobsreflektioner påverkar inmätning så krävs ett stort antal reflektorer, den praktiska nyttan torde därför vara begränsad.

Skenmålsändare

Ett sätt att öka skyddet är att använda skenmålsändare. Skenmålsändaren ska vara betydligt billigare än radarstationen som ska skyddas. Skenmålen ska ha en sådan signatur att roboten inte kan särskilja skensignalerna från de riktiga signalerna.

Detta innebär att

- signalerna måste likna signalerna hos radarn som ska skyddas
- skensändaren måste ha signalövertakt över (dvs vara typiskt 10 gånger starkare) radarns sidolöber
- den utsända skensignalen ska ha sådan längd och sändas vid en sådan tidpunkt att oavsett var en SSARB befinner sig, ska skensignalen täcka hela radarpulsen (inte minst framkanten för att förhindra framkantsföljning). Skenmålsändaren måste börja sända sin puls något innan radarn och sluta sända något efter radarn.
- skenmålsändaren får inte störa radarns funktion.

Exempel på skenmål

Internationellt finns det ett antal olika skenmålsystem. Ett exempel är det ryska motmedelssystemet 34Ja6E Gazettjik-E.

Gazettjik är ett system för att skydda markradarinstallationer mot attackrobotar, systemet omfattar

- larmradar
- skenmålsändare
- motmedelskastare.

Larmradarn arbetar på ”metervåglängd”. Valet av våglängd gör att larmradarn blir svår att bekämpa med SSARB eftersom riktningsnoggrannheten blir dålig mot långa våglängder (på grund av robotens relativt lilla antenn). Antennsystemet består av dipolantennerna som täcker varvet runt och 0°-90° elevation.

Skenmålsändarna kan imitera den skyddade radarns signal för att få en SSARB att styra bort från radarn. Troligen skyddar Gazettjik radarstationer som sänder på L- och S-bandet.

Motmedelskastarna kan skjuta ut remsor mot aktiva radarmålsökare och aerosoler mot TV- och IR-målsökare.

Fältarbeten

Fältarbeten är en av de bästa metoderna att minska risken för att stationen blir utslagen av en SSARB. Väl utförda fältarbeten kräver i stort sett direktträff av en SSARB för att slå ut stationen. Ett betydligt större antal SSARB kommer behöva sättas in för att slå ut en radarstation.

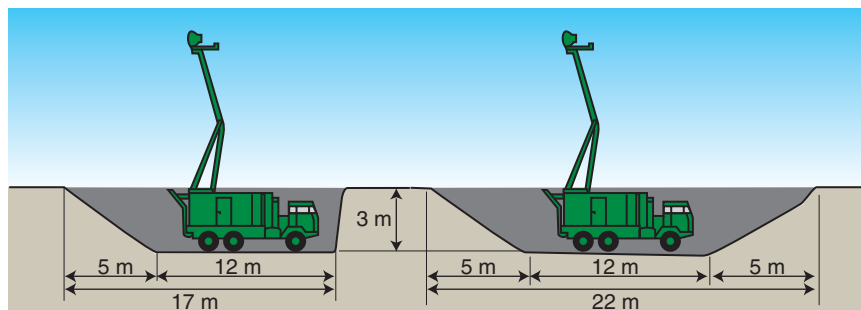


Bild 6:43. Exempel på fältarbeten för en radarstation.

Skador från splitter kan efter fältarbeten främst uppstå på mast och antenn, denna typ av skador är troligen reparerbara för PS-70 och PS-90. I PS-91 finns elektroniken placerad i antennen varför skador på antennen är svåra att reparera.

Fjärrstyrning

Tekniken att överföra stora delmängder via olika mobila kommunikationssystem kommer att göra det möjligt att fjärrstyra luftvärnets radarstationer. Detta innebär visserligen inget skydd för radarn men gör det åtminstone möjligt att skydda personalen.

Använda terrängen för att förbättra räckvidden

Minska sidoloberna

Av antenndiagrammet framgår att ju mer sidoloberna kan minskas desto bättre blir räckvidden i alla riktningar.

Antennens sidolobor är inte så lätta att påverka men om grupperingen väljs så att det finns ett terränghinder mellan radarstationen och störsändaren, så kommer störsignalerna som når antennen minska kraftigt.

Exempel på lämpliga terränghinder är berg och byggnader.

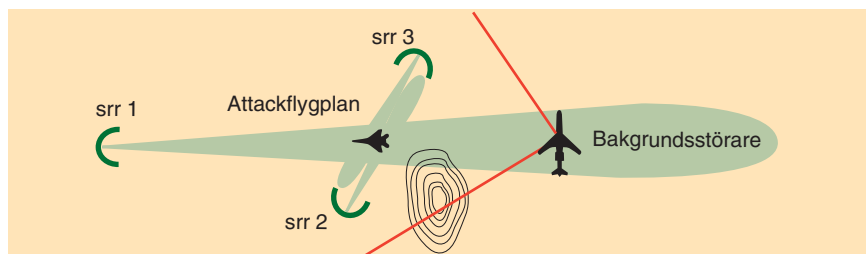


Bild 6:44. Exempel på nyttjande av terrängen.

Eftersom störsändaren normalt befinner sig på hög höjd bör terränghindret vara högt eller befinna sig nära radarn. Se bild 6:47.

Antag att berget reducerar störningen från en bakgrundsstörare till en tusendel för srr 2.

Det innebär i så fall att genombrottsavståndet för srr 2 ökar $\sqrt[4]{1000} = 5,6$ gånger jämfört med genombrottsavståndet för srr 3.

God geometrisk sikt kan ge sämre räckvidd

Inom luftvärnet brukar man något slentrianmässigt placera spaningsradarn på den högsta höjden, för att den ger bäst geometrisk sikt.

Se bild 6:48. Srr 2 påverkas av bakgrundsstöraren via sina sidolober. Om radarn har dålig sidolobsundertryckning kommer genombrottsavståndet att försämrats så mycket i alla riktningar, att räckvidden inte är tillräckligt för att kunna ge invisning vid skyddsföremålet.

Srr 1 står grupperad nedanför berget så att berget hindrar bakgrundsstöraren från att påverka radarns sidolober. Detta innebär att räckvidden norrut, förbättras avsevärt. Srr 1 får därför bättre möjligheter att invisa mål kring skyddsobjektet.

Givetvis kommer inte srr 1 att se något i sydlig riktning p g a berget men srr 2 ser också dåligt i denna riktning p g a bakgrundsstöraren.

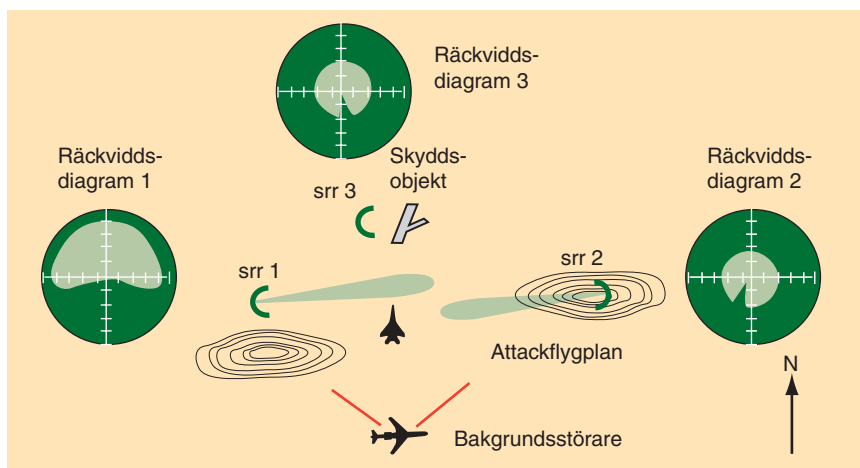


Bild 6:45. Räckvidd vid bakgrundsstörning med hög resp låg gruppering.

Srr 3 har attackflygplanet rakt i linje med bakgrundsstöraren. Den kommer därför bli störd i huvudloben. Dess räckvidd i sydlig riktning blir därför mycket kort. Om srr 3 har en antenn med dålig sidolobsundertryckning blir räckvidden begränsad även i övriga riktningar.

Vilken gruppering som ska väljas beror givetvis främst på det taktiska läget men också på hur bra sidolobsundertryckning stationen har. En radar med god sidolobsundertryckning kan stå högt grupperad men för en radar med dålig sidolobsundertryckning bör man åtminstone överväga att välja en lägre grupperingsplats.

Om attackflygplanet själv störsänder med en brusstörsändare så hindrar berget störsignalerna att nå srr 1. Radarn får då inte några störbärningar att krysspejla i denna riktning. Den får då ingen förvarning om attackflygplanet förrän det kommer fram bakom berget. srr 2 däremot kommer att ha två störbärningar varav den ena rör sig. Personalen i denna radar bör därför betydligt tidigare kunna dra slutsatser att minst ett flygplan anflyger söderifrån.

Mot srr 3 flyger attackflygplanet i linje med bakgrundsstöraren. Den störbärning som attackflygplanet ger upphov till döljs därför av bakgrundsstörarens störbärning. Eftersom flygplanet flyger rakt mot radarn så ligger bäringen stilla. Om inte störbärningen rör sig blir det svårt att i den enskilda radarn märka att flygplanet närmar sig. Eventuellt kan man märka detta genom att störsignalen ökar i styrka. Genom att krysspejla med hjälp av flera radarstationer har man oftast goda möjligheter att upptäcka var attackflygplanet befinner sig.

Krysspejling

Eftersom en störsändare avger energi så blir det möjligt att fastställa dess läge med hjälp av krysspejling vilket kräver minst två radarstationer.

Pejling blir enklare ju längre sändningstider störsändaren nyttjar. Enklast är det att pejla en kontinuerlig brussignal. Luftvärnets radarstationer kan idag endast presentera störbärning mot kontinuerliga brusstörsändare. En kort störpuls ger en genomsnittligt mycket liten höjning av brusnivån varför ingen störbärningsindikering fås. Om störsändaren nyttjar repeterstörsändning, dvs alstrar falska ekon, fås normalt sett ingen störbärning, då radarn uppfattar de falska målekona som riktiga ekon. Riktningen till störsändaren kan ibland fastställas med hjälp av riktningen till de falska målen.

Radarn presenterar bara störning som sker mot den valda frekvensen. Om en operatör har valt t ex frekvens 1 presenteras bara störbärning när störning sker på denna frekvens. Av denna orsak bör radarstationerna om möjligt, vid passiv spaning, använda snabb frekvensväxling för att inte missa några störsignaler.

PS-70 och PS-90 kan bara ge sidvinkeln till störsändaren. UndE 23 och PS-91 samt vissa av flygvapnets radarstationer kan ge både sidvinkel och höjdinkel till störsändaren.

Störbäringar

I spaningsradarstationer erhålls störbäringsindikering, vilket innebär att riktningen till starka störsändare visas på PPI. Om det finns många störsändare i luften samtidigt skulle det kunna uppstå ett mycket stort antal störbäringar. Radarstationerna är därför konstruerade så att de presenterar störbäringar om störsignalen är ett visst antal gånger starkare än den normala brusnivån. Om störsignalen är tillräckligt stark för att tränga in via sidoloberna uppstår i PS-70 störbäringar i flera riktningar. För att bestämma entydig störbäring, dvs riktningen till störsändaren, kan stegdämpningsknappen behöva tryckas in. Mottagarkänsligheten dämpas då ca 1000 gånger vilket kan vara tillräckligt för att ta bort de falska störbäringarna. I modernare stationer sker denna stegdämpning automatiskt under ett kort ögonblick i slutet av varje mätperiod.

Styrkan på störningen kan i PS-70 avläsas genom brusvärdet och störbäringsindikeringens bredd. Den genomsnittliga störnivån kan fås med hjälp av brusvärdet. I PS-90 anges styrkan genom indikeringar vid störbäringsymbolen. Det är viktigt att klara vilka begränsningar stationen har då störningen har en viss styrka.

Bild 6:46 anger den bästa räckvidden i PS-90 vid varje störbäringsindikering m a o när indikeringen t ex just ändrats från nivå två till nivå tre. Det bör uppmärksammas att höjdtäckningen reduceras i samma grad som räckvidden.

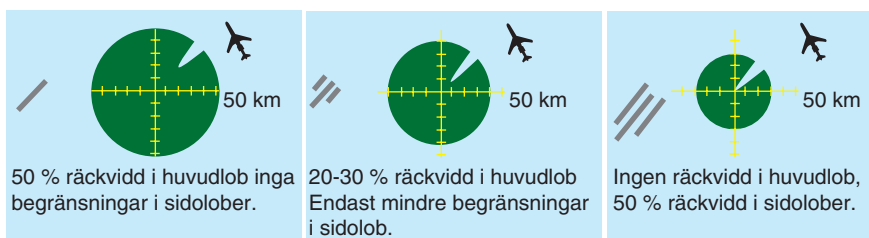


Bild 6:46. Störbäringsindikering PS-90.

En störbäring pekar normalt inte konstant mot störflygplanet utan pendlar kring den rätta riktningen. Detta sker i synnerhet om störsignalens uteffekt varierar t ex p g a amplitudmodulerat brus. Operatörerna i radarstationerna ska därför manuellt följa störbäringsens medelriktning. Detta är inte minst viktigt då störbäringen skickas in till ett ledningssystem för automatisk krysspejling. Om en störbäring pendlar uppstår falska kryss vilket får till följd att målföljen hoppar fram och tillbaka.

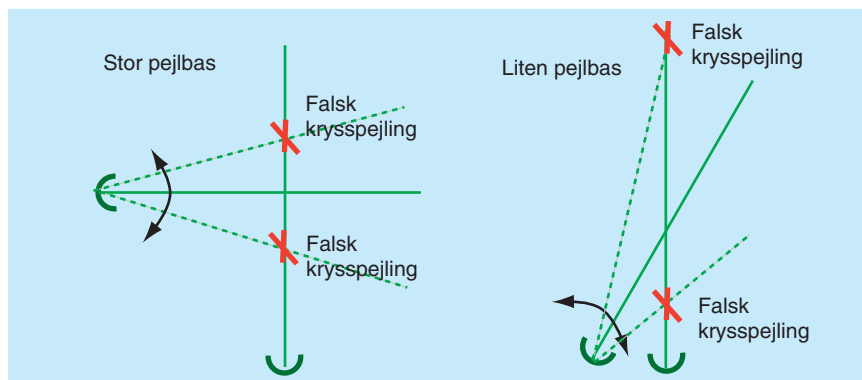


Bild 6:47. Om en störbäring pendlar uppstår falska kryss.
Problemet är störst då pejlbasen är liten.

Om inte ledningssystemet kompenserar för detta, så kommer eldenheterna att uppleva invisningen som synnerligen irriterande. Ju mindre pejlbasen är desto längre bit kommer de falska målen att hoppa.

För- och nackdelar med passiv spaning

Samtliga luftvärnets spaningsradarstationer kan stå radartysta och ändå indikera störbäringar. Vissa luftvärnsförband avser därför att lösa striden genom att radarstationerna står tysta, hela eller delar av striden och endast krysspejlar målen.

Responsiva störsändare

En responsiv störsändare störsänder bara då den blir belyst av en radar. En brusstörsändare kan vara responsiv medan en repeterstörsändare alltid är responsiv. Den sänder tillbaka en eller flera signaler på exakt samma frekvens som signalen från den sändande radarn. Om våra radarstationer är tysta kommer inte heller motståndarens störsändare att sända. Följaktligen finns inte heller någon signal som kan detekteras. Vi riskerar därför att helt missa flygföretaget.

Luftförsvaret har ett stort antal radarstationer inom samma frekvensband. Rimligtvis kommer alltid någon av dessa stationer att sända och belysa de responsiva motmedelsutrustningarna, så att dessa börjar störsända. Men skulle alla förband tillgripa taktiken att stå radartyst, kommer de responsiva störsändarna också att vara tysta och inga störbäringar finns att pejla i radarstationerna. För att försäkra sig om att någon station alltid sänder, bör detta regleras genom order. Sannolikheten att försvarsmaktens alla radarstationer, inom ett område, skulle vara tysta samtidigt, får betecknas som liten. Observera enligt nedan att repeterstörning troligen inte uppfattas i någon passiv radar.

Sök mest störd frekvens vid krysspejling

Störbärningar presenteras bara om det störs mot den valda frekvensen. Därför bör operatören vid passiv spaning söka efter mest störd frekvens, för att säkerställa att det finns något att pejla.

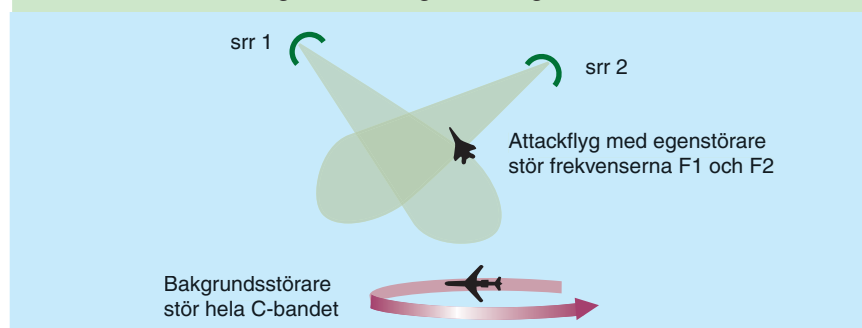
Av denna anledning är det i PS- 90, UndE 23 och PS-91 helt olämpligt att använda funktionen ”minst störd frekvens” om man önskar krysspejla. Istället ska ”slumpvis frekvensväxling” eller ”mest störd frekvens” användas. I t ex PS-90 bör störskyddsmod 5 väljas vid passiv spaning då det innebär snabb och, slumpvis frekvensväxling, vilket ger störst sannolikhet att alla störbärningar presenteras.

Exempel 6:5

Antag följande scenario:

Två radarstationer i ett gemensamt radarsamverkansnät. En bakgrundstörare stör på hela C-bandet och har reducerat räckvidden till max 15 km. Ett attackflygplan anflyger med en egenstörare vilken stör t ex nedre delen av C-bandet (frekvens F1 och F2 i PS-70). Attackflygplanets störbärning syns bara om radarstationerna väljer frekvens F1 eller F2.

Bakgrundstöraren ger upphov till en störbärning på samtliga frekvenser. Radaroperatörerna är lärda att söka minst ”störd frekvens” vilket i detta fall innebär frekvens 3 och 4. Problemet är att bakgrundstöraren har reducerat genombrottsavståndet till mindre än 15 km och på frekvens 3 och 4 finns inga störbärningar från egenstöraren.



Följden blir att eldenheterna kommer att få förvarning om attackflyget mycket sent. Om istället frekvens F1 eller F2 används hade radarstationerna kunnat ge eldenheterna en förvarning om att något var på gång, tack vare störbärningen till egenstöraren.

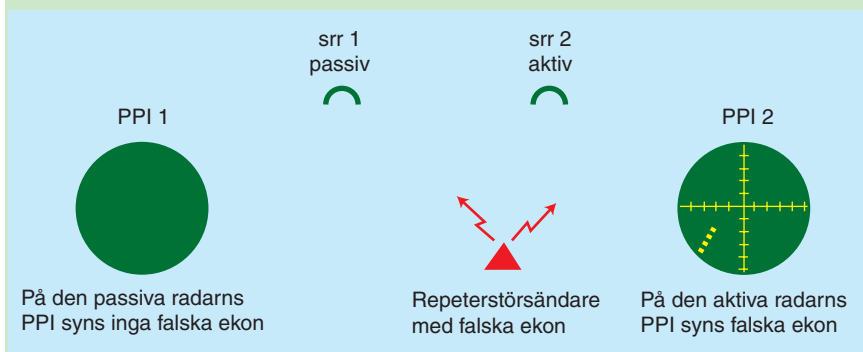
I detta scenario är det mest optimala att växla mellan de störda (F1, F2) och de mindre störda frekvenserna (F3, F4) för att dels kunna krysspejla och dels kunna upptäcka när genombrott sker på F1 och F2. För en radar typ PS-90 hade funktionen snabb frekvensväxling troligen varit ett bra val.

För en radar med bra sidolobsundertryckning blir inverkan av bakgrundstöraren betydligt mindre.

Repeterstörning och passiv spaning

Repeterstörning är mer eller mindre exakta kopior av den sändande radarns pulser. En passiv radar som lyssnar på en annan frekvens kommer därför inte heller att uppfatta störsignalerna.

Exempel 6:6



Repeterstörning syns inte i den passiva radarn, srr 1 är passiv och lyssnar på frekvens 1. Den andra stationen, srr 2, sänder på frekvens 2. Motståndaren repeterstör.

Den passiva stationen kommer inte få några falska mål eftersom störsändaren sänder tillbaka de falska ekona mot exakt frekvens 2. Troligtvis skulle det inte heller hjälpa om stationen bytte till frekvens 2 eftersom alla stationer har lite olika högfrequensgeneratorer. Om motståndaren brusstör så sker detta troligen mot ett bredare frekvensområde. Det är då en fördel om den passiva stationen och den aktiva stationen väljer samma frekvens eftersom möjligheterna att få störbärningar ökar i den passiva radarn.

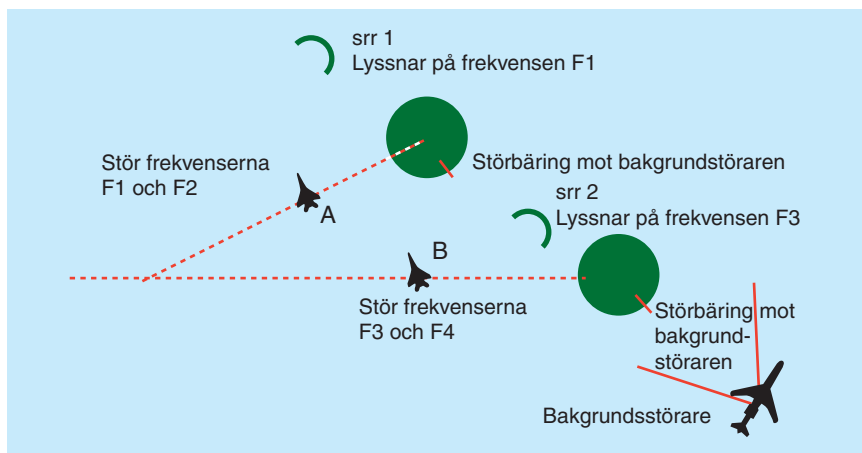
Att krysspejla rätt mål

För att spara störeffekt och försvåra krysspejling kan flygplanen i en rote eller grupp dela upp frekvensbandet mellan sig.

Om två stationer vill öka möjligheten att de krysspejlar samma mål måste de meddela varandra på vilken frekvens de pejlar. Annars skulle följande situation kunna uppkomma.

Exempel 6:7

Två stycken radarstationer PS-70, den ena lyssnar på frekvens F1 den andra på frekvens F3. En bakgrundsstörare stör bredbandigt över hela C-bandet vilket får till följd att båda radarstationerna får reducerad räckvidd i alla riktningar.



Båda radarstationerna får störbäring mot bakgrundsstöraren. Den ena radarstationen får (förutom bakgrundsstöraren) en störbäring mot det störsändande flygplanet som stör mot frekvens F1 och F2, den andra radarn får störbäring från flygplan som stör mot frekvens F3 och F4. Resultatet blir ett felaktigt kryssspejlat målläge. Om radarstationerna inte kryssspejlar på samma frekvens fås ett felaktigt målläge. Om flygplanen befinner sig nära varandra eller i kommande kurs är felet litet. Om planen befinner sig på stort inbördes avstånd eller färdas på tvärskurs blir felet stort.

För att förhindra att ovanstående scenario blir verklighet borde följande exempel på tabulatur kunna användas.

"Jag kryssspejlar frekvens F1! Bäring 4 200!" (OBS! Denna tabulatur används inte i reglementen).

Av flera synpunkter är det givetvis bra om stationerna inte sänder på samma frekvens, men när störbäringen avläses bör radarstationerna ha samma frekvens. I de radarstationer där snabb frekvensväxling kan användas så kommer ovanstående problem att kunna undvikas. Om funktionen snabb frekvensväxling används kommer dessa stationer byta frekvens flera tusen gånger per sekund då kommer störbäringar presenteras mot alla störsändarna i ovanstående exempel. Ett problem återstår dock, att para ihop rätt störbäring med varandra. Detta problem ska dock automatiken snabbt lösa i Und23 och LvPLUS.

Att pejla starkaste störsändaren

Ett sätt att minska risken för att radarstationerna ger störbäringar till två olika mål vid manuell pejling, är att båda stationerna kryssspejlar den starkaste störbäringen.

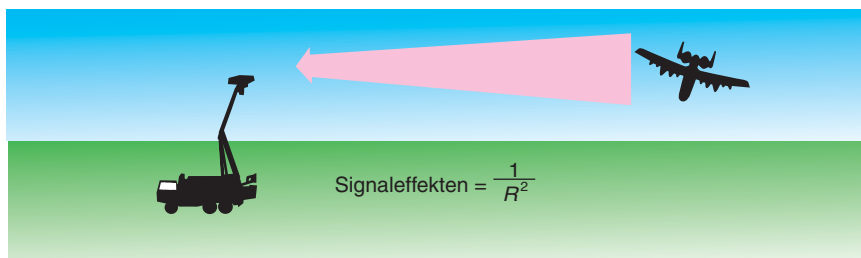


Bild 6:48. Envägsutbredning. Signaleffekten från en störsändare avtar med kvadraten på avståndet (R).

För att minska risken att två radarstationer kryssspejlar två olika mål, kan man använda metoden att bara pejla den starkaste störsändaren. Den starkaste störbärningen kommer ofta men långt ifrån alltid från den störsändare som befinner sig närmast eftersom störningen minskar med kvadraten på avståndet.

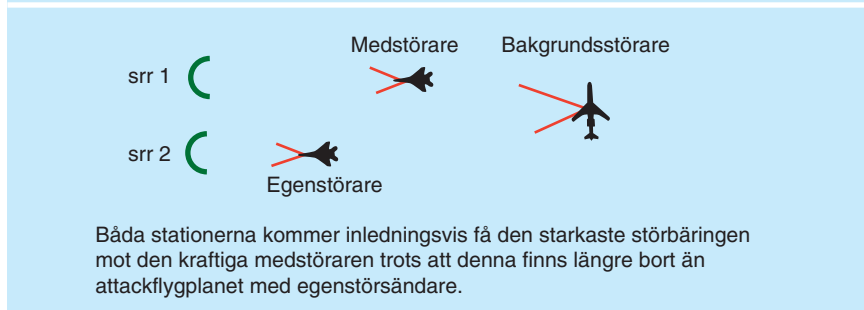
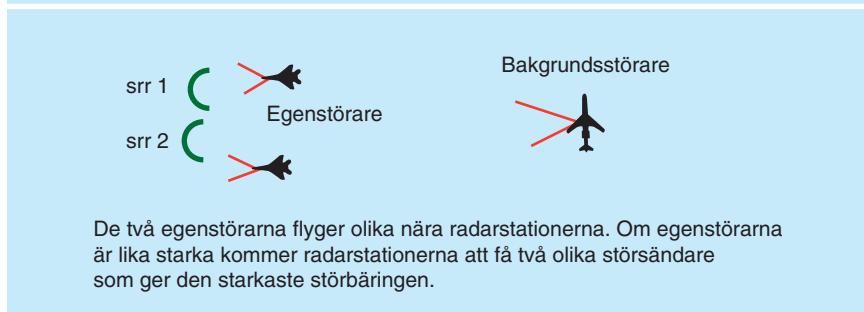
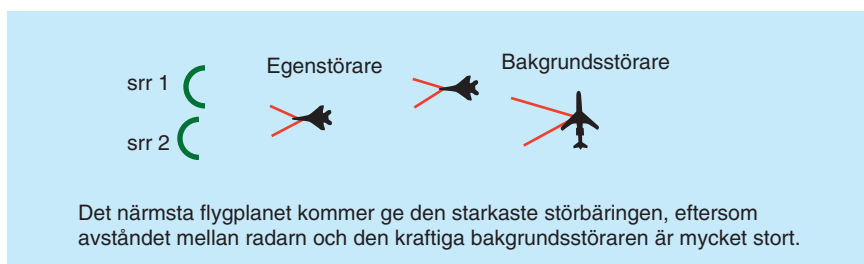


Bild 6:49. Starkaste störbärningen.

Att den starkaste störsignalen kommer från den närmaste störsändaren stämmer bra om man jämför två egenstörare eller en egenstörsändare och en bakgrundsstörare. Vid jämförelse mellan en egenstörare och en medstörare som bara finns någon mil längre bort är det troligt att medstöraren ger upphov till den starkaste störbäringsignalen p g a dess större uteffekt.

Se på bild 6:49 i nedre delen. Eftersom de båda spaningsradarstationerna har olika avstånd till egenstörsändaren kommer omslagspunkten, när egenstöraren blir starkare än medstöraren, ske vid olika ställen i de båda stationerna. Det blir därför problem då den starkaste störbärningen ska krysspejlas eftersom stationerna pejar två olika mål. Det är inte heller säkert för srr 1 att egenstörsändaren någonsin blir starkare än medstöraren. Det beror på att egenstöraren kanske passerar stationen på alltför långt avstånd.

När blir egenstöraren starkare än medstöraren?

Exempel 6:8

Antag att en egenstörare har en uteffekt av 50 W och att medstöraren har 400 W uteffekt. Vidare gäller att medstöraren befinner sig 15 km längre bort än egenstöraren.



På vilket avstånd blir egenstörsändaren lika stark som medstörsändaren?

Lösning

Effekten avtar med kvadraten på avståndet (signaleffekten proportionellt

mot $\frac{1}{R^2}$ enligt formel för envägsutbredning), vilket ger att:

$$\frac{50}{x^2} = \frac{400}{(15+x)^2} \Rightarrow 7x^2 - 30x - 225 = 0 \Rightarrow x = 8,2 \text{ km}$$

Svar

Egenstöraren blir lika stark som medstöraren då den befinner sig på 8,2 km avstånd.

I datorstödda system för krysspejling försöker man istället diskriminera de falska kryssen bl a med hjälp av följande frågor.

- Är det troligt att ett verkligt flygplan rör sig med denna hastighet?
- Är det ett två-kryss eller ett tre-kryss?

Störsändare med variabel uteffekt

Vissa störutrustningar kan variera uteffekten. Om störutrustningen minskar störeffekten kraftigt när flyget närmar sig, kommer störeffekten vid radarn vara konstant istället för att öka. Man skulle på detta vis kunna förhindra att störningens styrka ger information om att flygplanet närmar sig.

Det ska i detta fall noteras att om störeffekten minskas då planet närmar sig kommer radarstationens genombrottsavstånd att öka.

Självfallet kan man genom krysspejling ändå konstatera om flygplanet närmar sig.

Som tidigare påpekats är det lätt för en motståndare att vilseleda oss om han bara behöver ta hänsyn till en radarstation. Det blir betydligt svårare i en komplex miljö där ett stort antal olika radarstationer uppträder. Kan man dessutom hålla honom ovetande om radarstationernas gruppering kommer svårigheterna att öka ytterligare.

Pejling av repeterstörare

Vid repeterstörsändning spelar störutrustningen in den mottagna pulsen, förstärker den och spelar upp pulsen ett stort antal gånger.

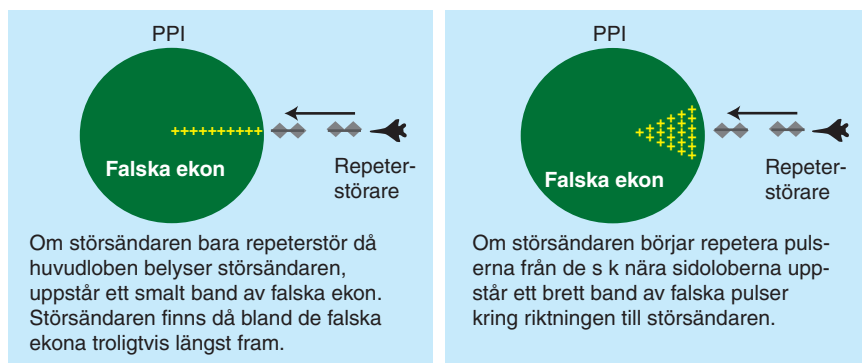


Bild 6:50. Repeterstörsändning.

Radarstationen kommer inte uppfatta repeterpulserna som störning utan som ekon. Därför presenteras det oftast ingen störbäring.

Om störsändaren bara skickar ut de falska pulserna då radarns huvudlob belyser planet, bildas ett smalt pärlband av falska ekon, vilka bildar bäringen till störsändaren. Med stor sannolikhet befinner sig störsändaren längst fram bland de falska ekona om radarn använder Staggered PRF. Men om störsändaren är tillräckligt "intelligent" och har kunskaper om vad nästa puls har för någon frekvens och när den sänds kan den även skapa mål framför sig. Detta är dock mindre troligt.

Om störutrustningen repeterar pulserna från sidoloberna i närheten av huvudloben och förstärker dem kraftigt kommer ett brett band av falska

ekon att skapas på indikatorn. Troligtvis finns flygplanet i vinkelled ungefär mitt i de falska ekona. Detta kan ge en grov information om riktningen till planet. För att överföra denna riktningsinformation till ledningssystem t ex UndE 23 så måste en manuell störbäring eller ett manuellt mål läggas ut. Detta bör kompletteras med muntlig information om typ av störning och att målläget är osäkert.

Stegdämpning kan ge riktning till repeterstörsändaren

Om motståndarens repeterstörrustning har hög känslighet kan den skapa falska ekon i radarns alla sido- och backlobber, falska ekon uppstår då över hela indikatorn.

För att kringgå detta problem och få fram en entydig riktning till störsändaren kan man, i vissa fall, använda funktionen stegdämpning, som innebär att mottagarens förstärkning sänks mycket kraftigt. Det leder till att bara de starkaste signalerna kommer att synas på indikatorn.

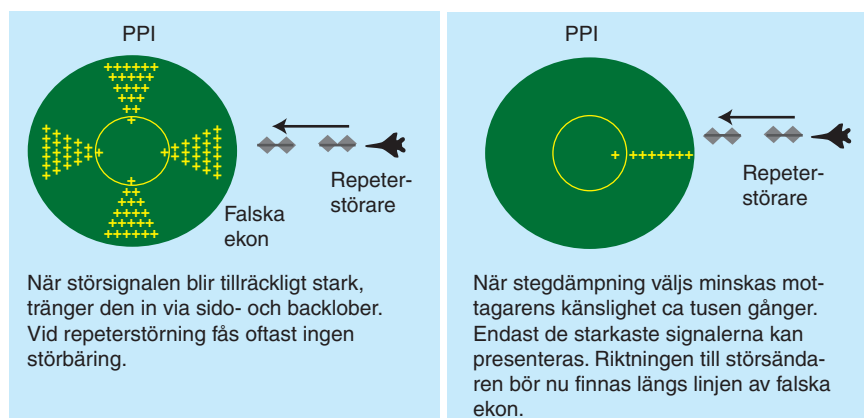


Bild 6:51. Stegdämpning.

De störssignaler som kommer in via sido- och backlobberna dämpas först storleksordningen 1000-10 000 ggr när de passerar antennen från fel ”håll”. När stegdämpning nyttjas dämpas alla signaler ytterligare ca 1000 ggr. Det innebär i bästa fall att signalerna från sidolobber och backlobber blir så svaga att de inte presenteras. När stegdämpning används bör därför störsändaren finnas längs riktningen till de (kvarvarande) falska målen.

Stegdämpning minskar radarns genombrottsavstånd och det är därför viktigt att stänga av stegdämpningen när den inte oundgängligen behövs.

En motståndare kan förhindra möjligheterna att pejla repeterstörsändaren genom att variera uteffekter omvänt proportionellt mot radarstationens antenndiagram. Då störsändaren nås av en puls från radarstationens huvudlob förstärker den de utsända pulserna lite. Då den nås av en svag puls från

någon av radarns sidolober så förstärks signalen mycket. Följden blir att radarn alltid nås av lika starka signaler. Om stegdämpning nyttjas så kommer antingen alla eller inga ekon att försvinna. Riktningen till störsändaren kan därför ej bestämmas. Precis som i många andra fall försvåras motståndarens möjligheter till denna typ av störsändning om man samtidigt sänder med flera radarstationer.

Antal störbäringar vid ett flyganfall

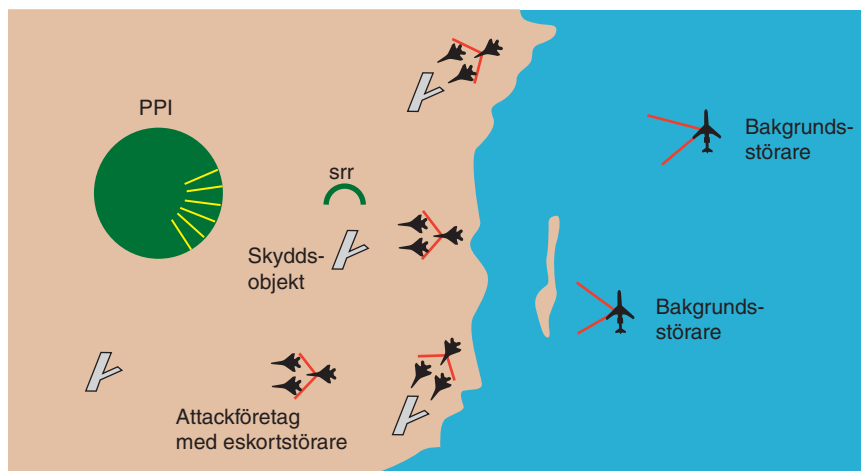


Bild 6:52. Varje tre grupp på bilden representerar tolv flygplan, där var och en minst har en egenstörsändare. Ett stort antal störbäringar kan uppträda på PPI.

Vid flyganfall kommer troligen många skyddsobjekt angripas samtidigt. Flygföretagen skyddas ofta av egen-, eskort- och bakgrundsstörare. Då kommer ett stort antal störbäringar uppträda i radarstationerna.

För att i någon mån reducera antalet störbäringar är stationerna utrustade med vissa trösklar för att inte alla störbäringar ska presenteras. För att en störsignal ska presenteras som en störbäring måste den ha tillräcklig styrka för att passera tröskelnivån. För PS-70 gäller att den måste vara minst 12 dB (16 ggr) över normal brusnivå. I PS-90 sker störbäringspresentationen på motsvarande vis. Trots denna tröskelfunktion kommer det vid ett massivt flyganfall att uppträda ett stort antal störbäringar.

Om två radarstationer pejar och det finns tre störbäringar i varje station uppstår nio stycken möjliga kryss. Av dessa är tre "sanna" och sex "falska" kryss. Vid fyra störbäringar finns fyra "sanna" och tolv "falska" kryss osv.

Av bild 6:53 förstås lätt att manuell krysspejling endast är möjligt när enstaka störbäringar uppträder eller störbäringarna finns i helt olika riktningar på indikatorn.

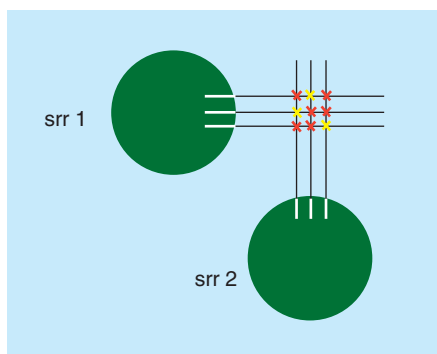


Bild 6:53. Störbäringar. Tre störbäringar innebär sex "falska" och tre "sanna" kryss.

Genom att använda tre spaningsradarstationer och bara presentera "tre-kryssen" just där alla tre bäringarna skär varandra kan man reducera mängden falska pejlingar. För att metoden ska vara praktiskt genomförbar krävs datorstöd. Denna typ av datorstöd finns t ex i UndE 23 och LvPLUS.

UndE 23 och vissa av flygvapnets radarstationer har möjligheten att krysspejla även i höjdvinkelled. Antalet falska kryss minskar då drastiskt. När två stycken 3D- radar krysspejlar ett mål fås en punkt i rummen. Punktens läge kan bestämmas i alla tre koordinaterna (x, y, z). Även då krysspejling sker mellan en 3D-radar och en 2D-radar fås en punkt med tre koordinater.

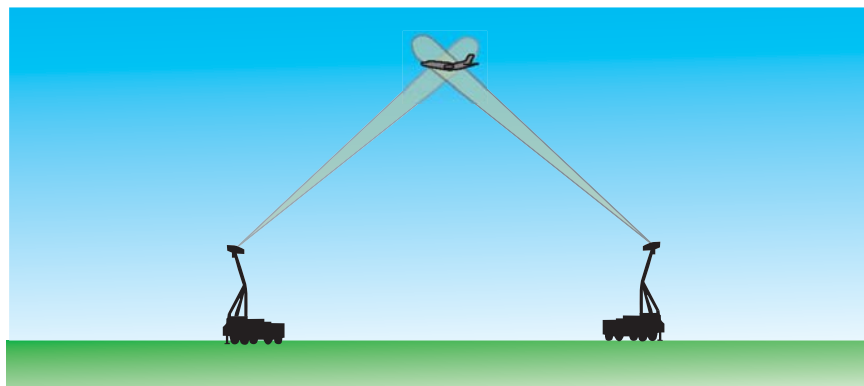


Bild 6:54. Krysspejling med två 3D-radar

Datorstöd krävs för att kunna dra nytta av möjligheterna till höjdinformation vid 3D pejling. Även datorstödd krysspejling har problem. Om man t ex valt att bara presentera kryss från tre radarstationer, vad händer då om flygplanet befinner sig bakom mask för en av radarstationerna? I detta fall uppfylls inte villkoret med "tre-kryss" och målet syns ej. Genom att utrusta systemet med en minnesföljningsfunktion så kommer målet fortsätta att presenteras även om någon station under ett antal sekunder inte presen-

terar några störbärningar. Andra funktioner som ett datorstött kryssspejlings-system kan/bör ha är

- möjligheter att välja vilka stationer (om man har många) som ska utnyttjas vid kryssbildningen
- välja om två- eller tre-kryss ska presenteras
- bara kryssbilden inom vissa områden
- bara presentera krysspejlade mål inom vissa hastighetsintervall.

Det är inte säkert att en motståndare behöver störsända

Bakgrundstörning kan innebära att stationer får ett mycket kort genombrottsavstånd.

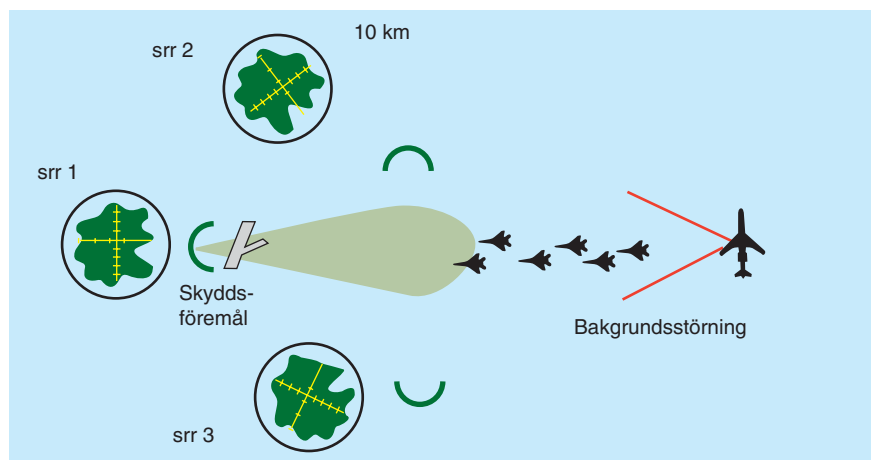


Bild 6:55. Överraskning. En stark bakgrundstörning kan minska räckvidden kraftigt. Om motståndaren vet var våra radar är grupperade, behöver han kanske inte starta sina egenstörsändare.

Antag att motståndaren anser att han gett våra radarstationer så kort genombrottsavstånd att han inte behöver starta egenstörsändarna, eller bara behöver slå på dessa under de sista kilometrarna innan målet.

I ett sådant scenario kommer inte radarstationerna ha några störbärningar att pejla förutom bakgrundstöraren.

Teoretiskt är detta lätt att för en motståndare att använda luckorna i radartäckningen om han vet var alla stationer är grupperade.

Genom att hålla motståndaren osäker om vår gruppering och har radarstationer med låga sidolobber kan han tvingas att störsända även med attackflygplanen, för att med säkerhet störa alla radarstationer.

Med rätt gruppering, kan störsändarens inverkan minskas t ex genom att gruppera med ett terrängföremål mellan radarn och bakgrundstöraren.

Sammanfattning

- Kryssspejning ger bäst noggrannhet mot kontinuerliga brusstörsändare.
- Svårigheten att kryssspejla ökar kvadratisk med antalet störbärningar. Sannolikt är det bara möjligt att manuellt kryssspejla om det finns mindre än fyra olika störbärningar.
- Vid ett anfall mot t ex en flygbas, kommer ett stort antal störbärningar uppträda på indikatorn.
- Inga störbärningar uppträder normalt sett när repeterstörsändare nyttjas.
- Om repeterstörning sker i radarns sidolober uppstår ett brett band av falska ekon. Om stegdämpning används kan riktningen till störsändaren framträda.
- Även om inte kryssspejling är möjligt kommer störningens styrka och hur störbärningarna rör sig kommer att vara en viktig information om när anfallet kan förväntas.
- Det finns möjligheter att skapa störformer där det inte är möjligt att i radarn ange riktningen till störsändaren.
- Om man spanar passivt och motståndaren använder responsiva störsändare riskerar man att inte upptäcka flygplanen varken som mål eller som störbärningar.

Grupperingsgeometri och sändningstaktik

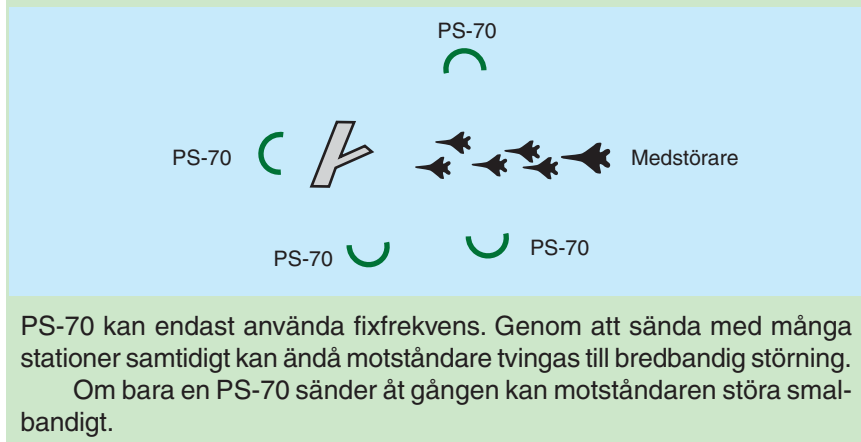
Kapitlet vill fortsättningsvis visa på fördelar och nackdelar med några olika grupperingsgeometrier och olika sändningsmönster då två eller flera spaningsradarstationer används. Syftet med exemplen är att de ska utgöra en idébank för att skapa egna taktiska lösningar, för enkelhets skull har bara ett par stationer ritats ut i de principiella exemplen.

Radarsändning

Att sända med flera stationer samtidigt försvårar signalmiljön för motståndaren. Störutrustning kan få problem att analysera vilket hot som för tillfället är störst. Möjligheterna ökar att någon station förblir ostörd.

Att sända med flera stationer samtidigt kan tvinga motståndaren att störa bredbandigt vilket reducerar verkan av telestörningen kraftigt. Detta är inte minst viktigt för de radarstationer som bara kan använda fixfrekvens.

Exempel 6:9



Om SSARB-hotet är stort bör varje radar sända så lite som möjligt. En radartyst station kan inte bekämpas med SSARB. Om flera stationer, sänder samtidigt ett kort ögonblick blir troligtvis skyddet som bäst för den station som ändå måste sända.

När radarstationerna har sänt, har man avslöjat grupperingen för motståndaren och stationerna kan då angripas med konventionella vapen.

I order bör det finnas reglerat ett antal väl inövade sänd- och invisningsförfaranden färdiga att tillgripa beroende på vilka åtgärder motståndaren vidtar. I vissa fall är det lämpligt att den enskilde undledaren nyttjar de parametrar som han anser ger honom bäst bild, men i andra fall fås det bästa genombrottsavståndet och det bästa skyddet genom en samordning av flera stationers sändningsparametrar.

Nedan ges exempel på ett antal olika förfarande samt eventuella fördelar och nackdelar.

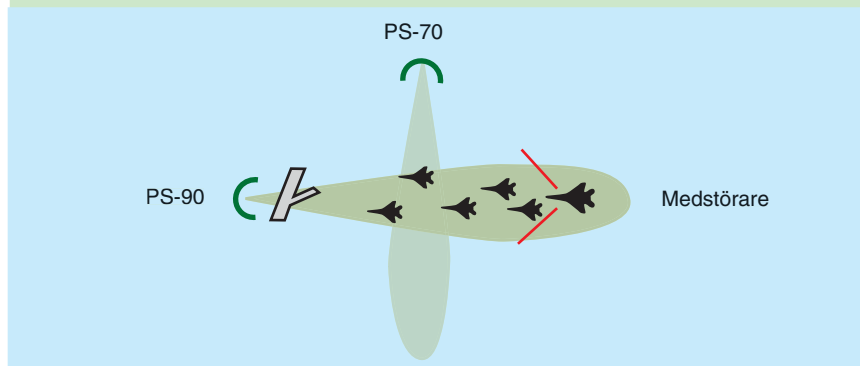
Tabell 6:7. Sänd- och invisningsmetoder

Metod	Innebörd	Fördelar och nackdelar
Vakthavande	En station sänder, övriga radartysta. Radartystnaden bryts på order från vakthavande station. Vakthavande tystnar därefter.	Hela förbandets gruppering avslöjas inte inledningsvis, möjligheter till överraskning. Motståndaren kan inledningsvis koncentrera all sin störeffekt mot en station, svårt för den vakthavande att veta när förbandet ska startas upp.

Metod	Innebörd	Fördelar och nackdelar
Den som ser bäst invisar	En station sänder åt gången och invisar hela förbandet, undledaren orienterar övriga om målets läge. När annan undledare eller bataljonsstridsledaren bedömer att målet kan invisas bättre från annan station startas sändning. När målet fångats anger den nye undledaren att han övertar invisningen, station nummer ett tystnar då.	Liten risk att alla stationer kan slås ut samtidigt. Svårt att veta vem som har bäst möjlighet att se målet utan någon form av ledningsstödsystem typ LvPLUS. Få signaler i etern samtidigt förenklar signalmiljön för signalspaning och SSARB. Störsändarna kan koncentrera störeffekten mot en enda station.
Glimtsändning "Glimtsänd 20, EA börjar"	En station sänder ca 15-30 sekunder, invisar alla EE, lämnar därefter över till en annan station. Sändande undledare väljer själv vilken station som ska överta sändningen. Mönster undviks.	Bra SSARB skydd för förbandet. Störeffekten kan koncentreras mot en radar åt gången. Hela förbandet kommer troligen efter en kort stund att ha avslöjat sin gruppering. Kan då bekämpas med konventionella vapen.
Samtidig glimtsändning ("Radarstöt") "Alla LUDVIG radarstöt 20s, börja NU"	Alla sänder samtidigt 10-30 sekunder, därefter passiva. Då stationerna är passiva blindföljs de upptäckta målen.	Komplex signalmiljö. Bra SSARB skydd. Störsändning försvåras eftersom störeffekten måste fördelas mot många SRR. EE får ej kontinuerlig invisning. Risk att hela förbandet avslöjar sin gruppering
Enskild undledning	Stationen sänder enligt undledarens eget bedömande. Parametrar ändras till dess optimal bild uppnås.	Snabbt, enkel ledning. Signalspaning underlättas om stationerna utnyttjar olika parametrar t ex med olika avståndsområden. Skyddet mot SSARB blir mindre än vid samordnad undledning.

*Exempel 6:10***Fall 1** Tvinga motståndaren till bredbandig störning

Genom att fortsätta sända med snabb frekvensväxling trots att PS-90 är utstörd hindras motståndaren från att störa PS-70 smalbandigt.



En PS-70 och en PS-90 i ett radarsamverkansnät. PS-90:an använder snabb frekvensväxling.

Motståndaren stör bredbandigt för att PS-90 snabba frekvensväxling inte ska få någon verkan. Störning påverkar PS-90 i huvudlob. Vilket får till följd att stationen får ett mycket kort genombrottsavstånd.

PS-70 står grupperad så den kan belysa flygföretaget från sidan och har därför ett bättre genombrottsavstånd. PS-70 kan endast växla frekvens mycket långsamt. Om PS-90 slutar sända då den är utstörd kan motståndaren övergå till att störa PS-70 smalbandigt. Störeffekten vid PS-70 antenn kommer då att öka ca 1000 gånger jämfört med när störningen var bredbandig. Det leder till att störeffekten mot PS-70 blir tillräckligt hög för att kraftigt begränsa dess räckvidd trots att störningen tränger in via sidoloberna.

Om PS-90 istället fortsätter att sända även om den är störd i huvudlob kommer motståndaren att tvingas fortsätta med bredbandig störning. PS-70 kommer då genom sin bättre gruppering att kunna invisa eldenheterna.

Fördel: PS-70 kommer vara mindre störd.

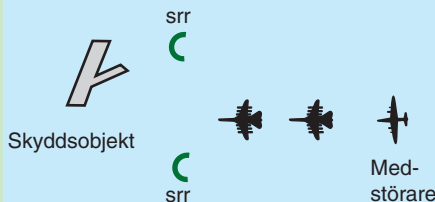
Nackdel: Risk att PS-90 bekämpas av SSARB.

Fall 2 Radartyst strid

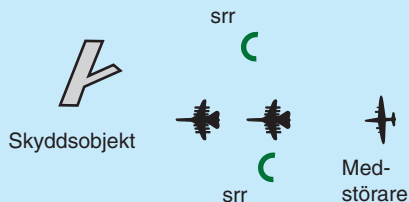
Beslut i stort: Hela striden ska föras radartyst genom kryssspejling av flygplanen.

Skede 1

Gruppering med bra peljbas.
Passivspaning

**Skede 2**

Båda radarstationerna genomför
passiv spaning under hela striden.
Invisar med kryssspejling.

**Fördelar:**

Svårt att lägesbestämma grupperingen. Det är kanske onödigt att sända överhuvudtaget eftersom genombrottsavståndet ändå blir kort. Ökad överlevnadschans eftersom SSARB ej kan användas mot stationerna.

Nackdelar:

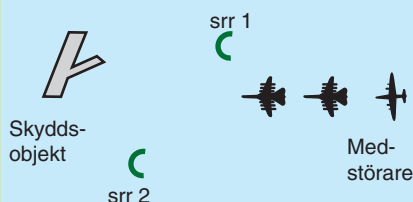
Om motståndaren använder responsiva störsändare kommer radarstationerna inte få några störbärningar att kryssspejla. Kryssspejlat målläge inte lika noggrant som vanlig invisning, problem för system som kräver noggrann invisning. Om det finns många störbärningar blir det omöjligt att kryssspejla. Risk för att invisningen sker mot den starka medstöraren.

Fall 3 Radartyst förvarningsstation

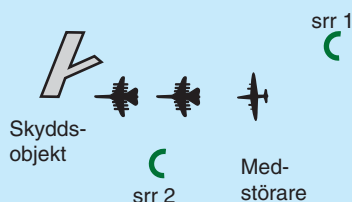
Beslut i stort: Båda stationerna inledningsvis i passiv spaning. När srr 1 konstaterat att planen passerat (genom förflyttning av störbärning), börjar srr 2 att sända och invisa.

Skede 1

Förvarningsstation.
Båda radarstationerna har
inledningsvis passivspaning.

**Skede 2**

srr 2 (närmast skyddsobjektet)
påbörjar radarspaning och invisning
när srr 1 konstaterat att planet
passerat, d v s genom förflyttning
av störbärning.



Fördelar:

Ökad överlevnadschans främst mot första vågens SSARB.

Den ena stationen avslöjar inte sitt läge. Även om båda stationerna är helt utstörda kan de genom förflyttning av störbäring ange när flygplanen passerar dem.

Nackdelar:

Risk att missa uppstarten om motståndaren stör på C bandet med bakgrund- och medstörare och med egenstörningen på annat band.

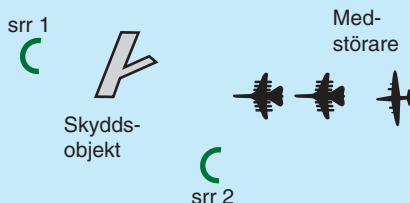
Responsiva störsändare startar ej störningen. Grupperingen optimerad i hot riktningen (fördel) men det blir problem om motståndaren kommer från annan riktning.

Fall 4 Sändning från oväntad riktning

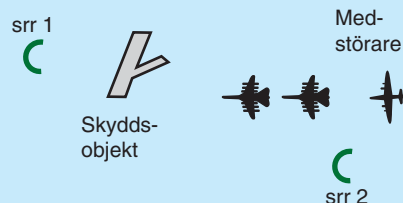
Beslut i stort: Srr 1 sänder för att antingen kunna ange när flygplanen når srr 2 eller för att tvinga motståndaren att starta den responsiva störsändningen så att störbäringar syns. När flygplanen passerar srr 2 startar den sändning och invisning.

Skede 1

srr 1 som är grupperad bortom skyddsobjektet sänder.
Srr 2 radartyst.

**Skede 2**

srr 1 blir radartyst när flygplanet passerat srr 2 som då istället påbörjar radarspaning och invisning.

**Fördelar:**

Ökad överlevnadschans.

Metoden tvingar motståndaren att starta störsändningen.

Invisning från "oväntad riktning"

Grupperingen garderar mot överraskning vid anfall från oväntad riktning.

Nackdelar:

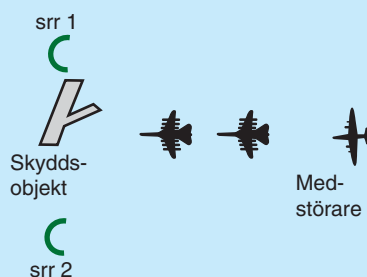
Srr 1 kommer troligen att bli helt utstörd eftersom all störning inriktas mot målområdet.

Om motståndaren nyttjar bredbandig brusstörning kommer motståndarens störsändning mot srr 1 ge störbäringar i srr 2 vilket är bra. Men om motståndaren använder repeterstörning eller smalbandig störning så uppstår det aldrig några störbäringar i srr 2. Genom att stå i närheten av målområdet utsätter sig srr 1 för stor risk att bekämpas.

Fall 5 Alla stationer radartysta, börjar sända då LuLIS anger mål inom x km. Beslut i stort. Stationerna radartysta, vakthavande station börjar sända när LuLIS anger mål inom x km.

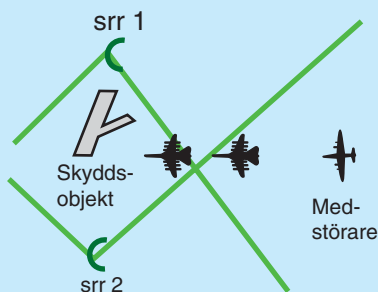
Skede 1

Förvarning via LuLIS.
Båda stationerna är passiva.



Skede 2

Då förvarning anger att mål är inom 30 km övergår båda stationerna till sektorsändning. Srr 1 in- visar mål från söder, srr 2 in- visar mål från norr.



Fördel:

Ingen station behöver sända om det inte finns något mål i närheten. Detta minskar risken för att signalspaning fastställer lvförbandets gruppering inför ett senare angrepp mot förbandets område.

Nackdelar:

Risk att förbandet överraskas om inte anfallsföretaget upptäckts via LuLIS. Man måste vara medveten om att det är svårt att veta hur mycket som LuLIS ser i vårt område.

LuLIS som förvarning

LuLIS är en utmärkt förvarningsmetod genom att det utnyttjar flygvapnets långsträcktspaningsradarstationer. En extra fördel är att vissa av dessa (PS-890, PS-860) dessutom använder S-bandet som luftvärnets spaningsradar inte använder (förutom LvKv) vilket tvingar fienden att störa fler frekvensband. Man måste dock vara medveten om vissa av begränsningarna hos LuLIS. Flygvapnets spaningsradarstationer (gäller inte PS-890) har ofta en sämre låghöjdtäckning än vad luftvärnet har behov av. Långsträcktspaningsradar har en låg antennrotationshastighet (vanligen 10 s/varv). Målen uppdateras därför sällan vilket leder till att in- visningsnoggrannheten blir lägre. StriC taktiserar sekundaktuellt med sina radarstationer, det är därför svårt för luftvärnet att veta från sekund till sekund vilken täckning de har i vårt område. Flygvapnet utgör troligen den komponent i försvaret som motståndaren initie- llt är mest intresserad av att slå ut, detta kan snabbt resultera i att striltäckning i vissa områden blir låg.

Inom de områden där flygvapnet väljer att koncentrera sina resurser, t ex PS-890 och JAS, kan omvärldsuppfattning förbli god. Det är därför viktigt att LuLIS ges möjlighet att sekundaktuellt presentera radartäckningen i olika områden.

På sikt är det avsikten att även luftvärnet ska kunna skicka in sin radarinformation till StriC. Detta kommer inte minst att förbättra LuLIS låghöjdstäckning, dessutom förbättras störskyddet genom att motståndaren får fler radarstationer att störa ut.

Alla former av förvarning ökar verkan

De tekniska åtgärder som personalen vid radarn kan vidta, kan bara i begränsad omfattning påverka radarns genombrottsavstånd. Den taktiske chefen och underrättelseledaren måste, när fullgod radarinformation saknas, ändå kunna dra taktiska slutsatser med hjälp av övrig tillgänglig information.

Som förvarning får då i stället nyttjas

- målobservatörer
- LuLIS
- att störningen ökar i styrka
- att störbäringen ändrar riktning snabbt
- mängden störbäringar
- att brusvärdet ökar.

Även om inte eldenheterna kan få någon datainvisning kommer alla former av förvarning öka eldenheternas möjligheter att bekämpa målet.

Att underrättelseenheterna inte har fullständig information får inte förhindra att de underrättelser de trots allt har, sänds ut till eldenheterna. Den enda plats där informationen kan göra någon reell nytta är vid eldenheterna. Bild 6:56 vill visa ett exempel på hur eldenheternas effekt ökar för varje form av information som de kan få.

Underrättelsetrappan är inte något statiskt, utan kommer att ändra sitt utseende beroende på om

- eldenheterna har optisk sikt eller inte,
- vilken typ av eldenhet det gäller,
- bra eller dålig geometrisk sikt m m.

För varje form av förvarning som eldenheterna kan få kommer systemeffekten öka något. Hur mycket, beror på de ovan nämnda faktorerna. Som ett exempel kan nämnas att RBS 70 har en hög systemeffekt även om spaningsradarn bara kan ange en ungefärlig målriktning. En eldledningsradar har under samma förhållande troligtvis en lägre relativ systemeffekt än eldenhet 70 p g a sin smala antennlob.

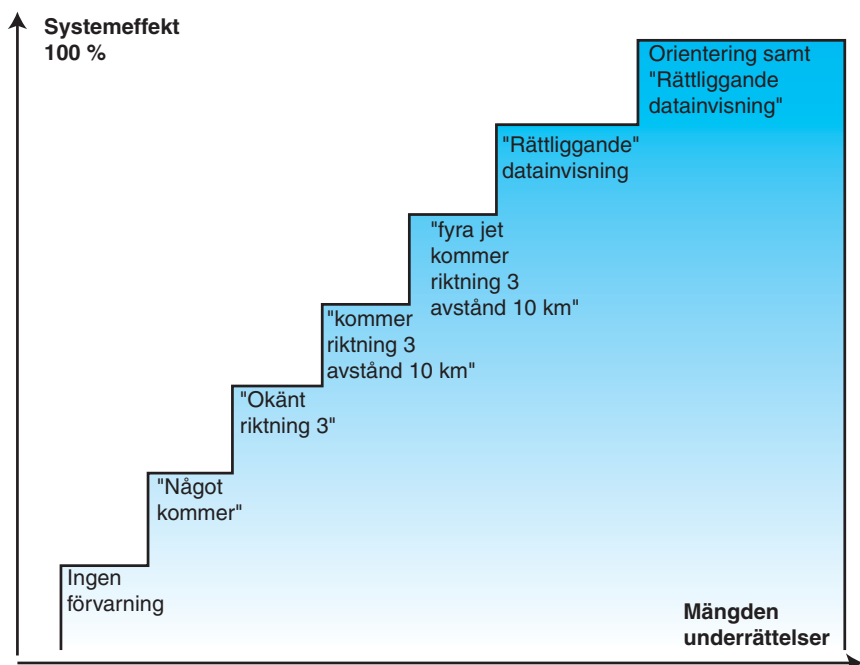


Bild 6:56. "Underrättelsetrappan".

Detta leder till frågan, om det bara finns ett fungerande sambandsnät ska alltid data prioriteras framför talinformation? Problemet när radarn störs är att datan inte kan förmedla de nyanser av information som underrättelseledaren kan göra med rösten.

Datan kan inte meddela eldenheterna information av typen: "Jag har många störbärningar som rör på sig i riktning tre, jag tror att något är på gång i riktning tre".

Datan kan bara skicka "kall" målinvisning eller störbäringsinvisning, ingen annan mer "känslomässig information". Om eldenheterna utgörs av eldledningsradar är det nog alltid rätt att prioritera datasambandet. Men om eldenheterna består av RBS 70 kan det ibland vara väl så bra med invisning via rösten. Om radarstationen ingår i ett sensornätverk måste dock datasambandet prioriteras.

När både talsamband och datasambandet fungerar så finns det en ibland överdriven tendens att använda reglementets tabulator. Denna tabulator är bra vid enkla väl inövade förhållanden genom att den bl a ser till att det går snabbt att överföra viss målinformation. Men i komplexa störsценарier kan det vara bättre att underrättelseledaren även får "prata om vad han ser" t ex "jag har en störbärning som hoppar kraftigt i riktning 3-4 sektorsök i riktning 2-5".

Sammanfattning

Även om informationen är bristfällig så kommer den att öka systemets effekt. Man ska inte hålla inne med underrättelser i väntan på att få fullständigt korrekt information. Helt korrekt information kommer aldrig att kunna ges. Att komplettera datainformationen med talad information om vad som syns på radarskärmen kan många gånger öka eldenhetens möjligheter att komma till verkan.

Påverkbara störskyddsfunktioner i våra radarstationer

Detta avsnitt vill visa på några av de åtgärder som påverkar en radarstations räckvidd och användbarhet under störda förhållanden.

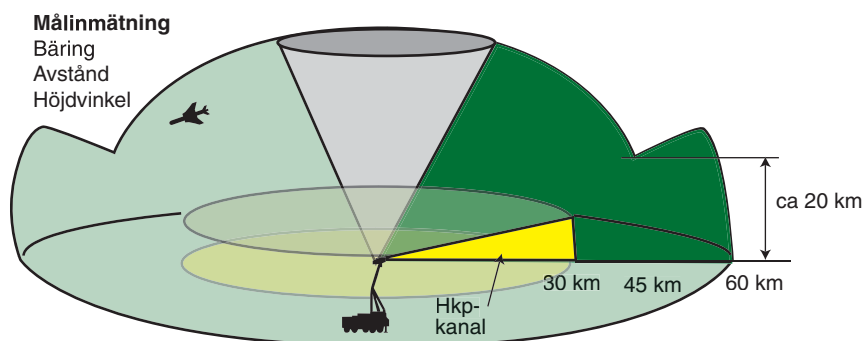


Bild 6:57. UndE 23 instrumenterad räckvidd i 60 km mod.

Flertalet av skydden mot telestörning är fast inbyggda i radarns konstruktion och kan inte påverkas av personalen i radarstationen. Det finns därför bara ett mindre antal funktioner att påverka som har någon reell verkan mot telestörning. De viktigaste är

- frekvensväxling
- brusvärde och minst störd frekvens
- Staggered PRF och PRF- växling
- passiv spaning
- avståndsområde, vilket bl a påverkar pulslängd och PRF
- stegdämpning
- intermittent sändning
- sektorsändning

- konstant falskalarmeringsnivå, KFA
- klotterkartor
- Icke MTI-kanal (UndE 23, PS-90)
- kriterier för automatisk målfångning.

Vissa av ovanstående funktioner är dock dolda bakom begrepp som VACK-ERT VÄDER och REGN i UndE 23 och RADARMOD 1, 2, 3 i PS-91.

Frekvensväxling

Genom att ofta skifta frekvens i radarn kan en motståndare tvingas att störa bredbandigt. Om motståndaren tvingas använda bredbandig störning nedgår verkan av störningen radikalt. Det är bara den del av störningen som hamnar inom radarmottagarens bandbredd som kommer att ha någon effekt på radarstationen. All övrig störning är värdelös.

Exempel 6:11

En PS-70 har vid 20 km-mod en bandbredd av ca 0,4 MHz. Om en störsändare stör smalbandigt med en bandbredd på 0,8 MHz kommer $0,4/0,8=50\%$ av störningen att kunna påverka stationen. Om motståndaren tvingas att fördela sin effekt mot C-bandet (600 MHz) kommer bara $0,4/600=0,06\%$ av störningen att ske mot rätt frekvens och de övriga 99,94% av energin är bortkastad.

Moderna störsändare hinner redan efter någon enstaka radarpuls ställa in rätt frekvens. Manuell frekvensväxling i t ex PS-70 eller långsam frekvensväxling i PS-90 kommer därför troligen inte att hindra motståndaren att störa smalbandigt mot en ensam radarstation. Men om flera radarstationer används inom samma område kan motståndaren ändå tvingas till bredbandig störning.

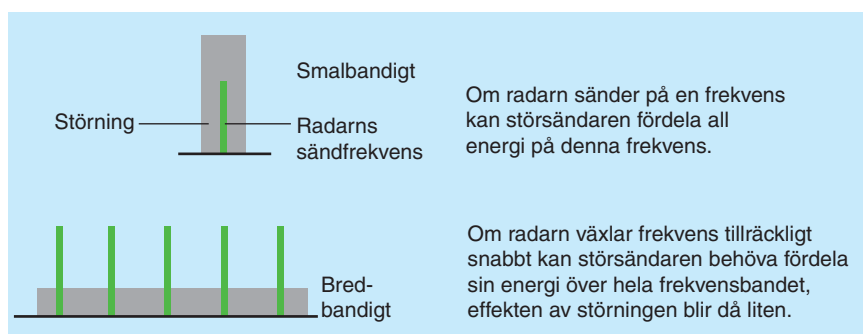


Bild 6:58. Smal- och bredbandig störning.

Att tvinga motståndaren till bredbandig störning är, tillsammans med en bra gruppering, troligen den åtgärd som bäst begränsar verkan av telestörning. Nackdelen med att ofta skifta frekvens är att det kan uppstå fler markekon.

Frekvensväxlingsmetoder

PS-90 och UndE 23 kan använda 24 resp 48 olika frekvenser mellan 5,4 och 5,9 GHz. Frekvensvalet kan i dessa stationer ske genom att välja

- slumpvis frekvens
- minst störd frekvens – den frekvens väljs som har lägst brusnivå.

Frekvensväxling sker i PS-90 och UndE antingen

- snabbt, vilket innebär att frekvensen växlas efter 1-6 pulser
- långsamt, frekvensen ändras en gång per antennvarv
- hur många pulser som sänds på samma frekvens bestäms i UndE 23 av vilken klottermod som väljs. Snabbast frekvensväxling erhålls vid moden vackert väder i UndE 23.

PS-701 är utvecklingsmässigt ett mellansteg mellan PS-70 och PS-90. Den har bara fyra frekvenser. Men den kan automatiskt ändra mellan dessa frekvenser på motsvarande vis som i PS-90. PS-91 har likartade funktioner som PS-90 och UndE 23. Frekvensväxlingstakten bestäms av stationens fyra radarmoder. Frekvensväxlingen sker efter en till fem pulser beroende på radarmod.

För att MTI-funktionen ska fungera, måste minst två pulser sändas på samma frekvens för att göra det möjligt att skilja rörliga ekon från mark-ekon.

När man säger att en radar byter frekvens efter varje puls är detta ofta en sanning med modifikation. Antag att en radar har tre stycken höjdlobar – låg, mellan och hög. När radarn sänder med frekvensväxling efter varje puls sker det exempelvis enligt följande mönster.

Puls 1–3 låg F1, mellan F2, hög F3

Puls 4–6 låg F1, mellan F2, hög F3

Puls 7–9 låg F9, mellan F10, hög F11

Puls 10–12 låg F9, mellan F10 osv.

När radarn går tillbaka till samma höjdlob utnyttjar den samma frekvens minst en gång till. MTI-filtret måste, för att fungera, jämföra minst två pulser på samma frekvens. I detta exempel kommer t ex den första pulsen (låglob) jämföras med den fjärde pulsen (dvs nästa gång radarn sänder i låglob). Den andra pulsen (mellersta loben) med den femte osv.

Ett likartat förfarande kan användas även då radarn bara sänder i en lob. Antag att sändningsföljden är F1, F5, F9, F1, F5, F9, F1, F5, F9, F13, F17, F19...osv.

Här jämförs i MTI-filtret första, fjärde och sjunde pulsen med varandra. Vidare jämförs andra, femte, åttonde pulserna osv.

Brusvärde och minst störd frekvens

Brusvärdet kan i PS-70 och PS-701 avläsas på radarstativet. I PS-90, PS-91 och UndE 23 kan det avläsas i en av menyerna på indikatorn.

Brusvärdet är ett medelvärde av bruset under någon eller några sekunder. Den frekvens som har minst brus har också det längsta genombrottsavståndet.

För att hitta den frekvens som har lägst brusvärde, får man i PS-70 manuellt välja en frekvens och därefter avläsa brusvärdet, välja en annan frekvens och jämföra om detta brusvärde är högre eller lägre osv. I PS-91 presenteras brusvärdet grafiskt i form av stapeldiagram för radarns alla frekvenser. Störda frekvenser kan sedan väljas bort.

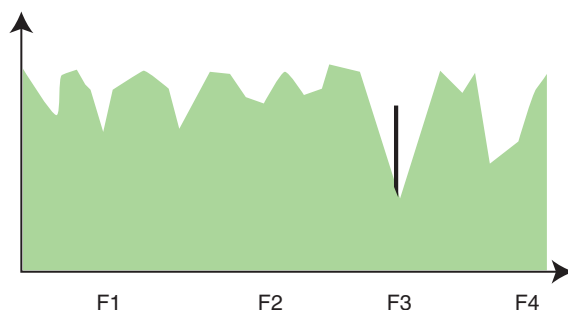


Bild 6:59. Minst störd frekvens. Funktionen nyttjar de minst störda frekvenserna och kommer att ge den för tillfället bästa möjliga räckvidden.

I PS-90 kan brusvärdet avläsas i en av menyerna. Här måste man tänka på att PS-90 till skillnad mot PS-70 nyttjar en automatisk känslighetsreglering, AKR. AKR-funktionen har till uppgift att hela tiden ge stationen den mest optimala inställningen av mottagarkänsligheten. Detta innebär att stationen själv reglerar sin mottagarkänslighet så att brusvärdet kontinuerligt ska ligga kring värdet 90. Först då mottagaren inte kan justeras mer, börjar brusvärdet att stiga. AKR-funktionens brusvärde i PS-90 är därför ett dåligt mått på om störsändningen ökar eller minskar i styrka. I PS-90 i kan man även välja funktionen MAN AKR (manuell automatisk känslighetsreglering) när denna funktion är vald kommer brusvärdet att fungera på motsvarande vis som i en PS-70. När mottagarkänsligheten justeras manuellt i

en radar så får inte störssignaler kunna påverka brusnivån. Detta undviks genom att ställa vågledaromkopplaren i läge KONSTLAST varvid antennen kopplas bort. När justeringen är klar återställs vågledaromkopplaren.

I PS-90 och UndE 23 finns funktionen *minst störd frekvens*. Radarn mäter brusvärdet i tiden mellan avståndsområdets slut och den tidpunkt då efterföljande puls sänds ut. Stationen indelar sina tillgängliga frekvenser i ett antal paket. Den väljer slumpvis ut en frekvens ur varje paket. Slutligen jämförs vilken av dessa frekvenser som har det lägsta brusvärdet. Stationen nyttjar sedan den frekvens som har lägst brusvärde. Den här frekvensen kommer ge stationen den för tillfället bästa möjliga räckvidden. Nästa gång det är dags att byta frekvens upprepas förloppet. Sändning sker dock inte på någon av de två senast valda frekvenserna.

Om radarn lyckas använda en *helt ostörd* frekvens kommer det inte vara några begränsningar i räckvidd. Detta gäller även om resten av radarbandet är stört.

Räckvidd

Det är inte fixfrekvens som ger den bästa räckvidden hos en radar. Orsaken är dels att det uppstår speglingsfenomen (interferens) i marken vilka kommer att motverka ekopulsen på vissa höjder. Räckvidden minskar på dessa höjder. Vilken höjd som skikten med begränsad räckvidd hamnar på, beror på den valda frekvensen.

Genom att variera frekvensen undviks att radarn hela tiden har begränsad räckvidd i ett visst höjdsikt.

Den andra orsaken är att radarmålarean varierar kraftigt med frekvensen på grund av konstruktiv och destruktiv interferens mellan ekosignaler som studsar på olika delreflektorer i flygplanet. Frekvensväxling under en övermålning minskar därför risken att målet uppvisar liten radarmålarea.



Bild 6:60. PS-90.

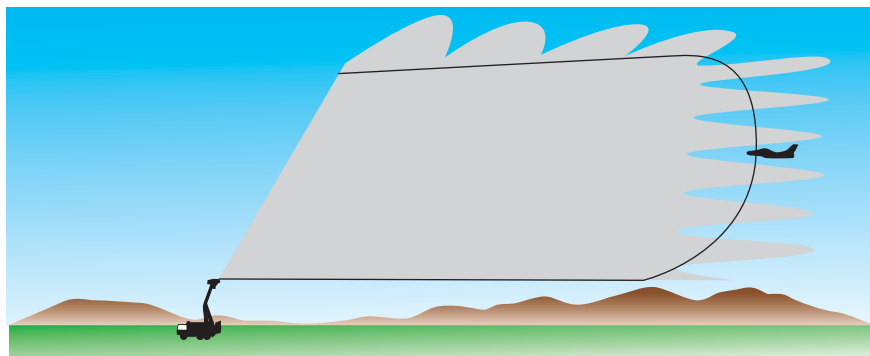


Bild 6:61. Antenndiagram. Antenndiagrammet får ett "flickigt" utseende p g a interferensen från marken. När frekvensen skiftas hamnar flikarna på en annan höjd. Långsam frekvensväxling ger därför en bättre räckvidd än fixfrekvens.

PRF-moder

Innebörd

Stationen varierar tiden mellan sändpulserna. I radarstationerna kan man välja mellan PRF-växling och staggered PRF.

Vid PRF-växling ändras pulsrepetitionsfrekvensen en gång per *antennvarv*. När staggered PRF används ändras avståndet/tiden mellan *varje* puls.

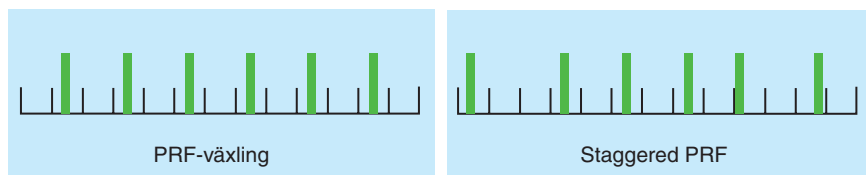


Bild 6:62. PRF moder.

PRF-växling

Det är vanligt att radarstationerna växlar mellan två PRF, i det korta avståndsområdet och tre PRF i det längre mätområdet. PRF-växling innebär att blinda hastigheter kan uppkomma under ett antennvarv, men till nästa varv då PRF har ändrats kommer målet framträda igen. Om ett mål färdas med en blind hastighet kan därför målfångningstiden bli något längre. PRF-växling har en god förmåga att undertrycka stillastående andragångenrunt markekon. Funktionen har ingen inverkan mot rörliga andragångenrunt ekon, dessa kommer fortfarande att presenteras på fel avstånd.

Exempel 6:12**Exempel rörligt andragångenrunteko**

PRF-växling mod



Rörligt föremål utanför radarns avståndsområde



Fasta föremål utanför radarns avståndsområde.

PRF-växling. God undertryckning av markekon. Ett rörligt mål utanför radarns mätområde kan synas som två eller tre mål på olika avstånd men med samma kurs. Ekot hoppar mellan positionerna när PRF ändras.

Antag att radarn utnyttjar 20 km mätområde. Radarn växlar mellan två PRF vid varje antennvarv. Ett rörligt mål befinner sig på 30 km. Målet kommer att presenteras på ca 10 km. Eftersom PRF byts en gång per antennvarv kommer målet att hoppa mellan två olika positioner med ett par km avstånd. Detta kommer generera två målföljen vilka förflyttar sig inbördes lika.

PRF-växling innebär ett sämre störskydd än staggered PRF eftersom sändmönstret är konstant under längre tid. Om radarn använder PRF-växling finns möjligheter för en repeterstörare att skapa falska ekon framför sin egen position.

Staggered PRF

Staggered PRF gör det svårare för en SSARB eller någon annan form av signalspaningsutrustning att hitta stationen eftersom den inte har någon cykliskt återkommande puls att leta efter. Hotbiblioteken i vissa äldre signalspaningsutrustningar och radarvarnare använder bara PRF för att klassificera radarstationen. Genom att använda staggering försvårades denna klassificering.

För att en repeterstörsändare ska kunna skapa falska ekon framför sin egen position måste den bl a kunna förutsäga när nästa radarpuls ska komma. Om radarn använder Staggered PRF blir detta mycket svårare än då stationen håller ett bestämt avstånd mellan varje puls. Den viktigaste störskyddsfunktionen med Staggered PRF är att den förhindrar falska mål hitom störsändaren.

Tiden mellan två pulser ändras inte slumpvis utan enligt en viss cykel. Efter en viss tid återupprepas sändmönstret. Orsaken till att radarn inte

slumpvis kan variera sändningstidpunkt är att radarns MTI-filter skulle försämrats. Hur lång cykel som används beror på vald frekvensväxlings-takt, ju oftare radarn byter frekvens desto kortare är staggeringscykeln. Svårigheterna för en repeterstörsändare att placera falska mål framför sin egen position ökar ju längre staggerings cykeln är. Om staggered PRF kombineras med frekvensväxling så blir det mycket svårt för en störsändare att placera mål framför sin egen position.

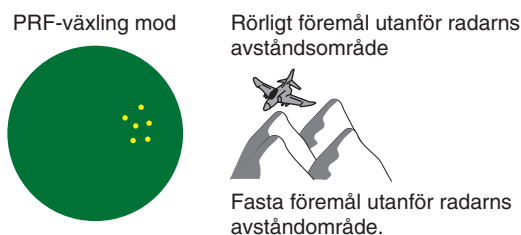


Bild 6:63. Markekostörning från andragången runt ekon kan uppstå. God undertryckning av rörliga mål utanför radarns mätområde.

Staggered PRF förhindrar blinda hastigheter och ”andragångs ekon” från rörliga mål utanför radarns avståndsområde.

Nackdelen med staggered PRF är att det i vissa situationer ger sämre undertryckning av klottersignaler, såsom markekon och stillastående andragången runt ekon. Orsaken till att stillastående andragångsekon kan komma att presenteras är att de vid varje puls hamnar på ett nytt avstånd, de kan därför passera MTI-filtret. Mot rörliga andra gången runt ekon är funktionen dock bättre än PRF-växling.

Slutsats

I de flesta situationer är staggered PRF att föredra framför PRF-växling dock kan antalet markekon ibland bli något större.

Passiv spaning

Passiv spaning innebär att radarn inte sänder, men har mottagaren ”öppen”. Detta gör att stationen inte kan upptäckas av signalspaning men själv upptäcka störsignaler.

En viktig begränsning hos passiv spaning är att det bara presenteras störsignaler mot den frekvens som stationen för tillfället är inställd på. Vid passiv spaning bör därför mest störd frekvens användas.

Exempel 6:13.

Passiv spaning(radartyst station)

1. PS-70 inställd på frekvens F1. Motståndaren störsänder mot hela C-bandet.

Resultat: Störbäring presenteras på indikatorn.

2. PS-70 inställd på frekvens F1. Motståndaren störsänder mot frekvenserna F2, F3 och F4 .

Resultat: Ingen störbäring presenteras på indikatorn.

3. PS-90 inställd på snabb, slumpvis frekvensväxling (störskydd 5), stationen radartyst. Motståndaren störsänder mot frekvens F4.

Resultat: Störbäring presenteras, eftersom den snabba frekvensväxlingen gör att alla frekvenser kommer att sökas igenom.

4. PS-90 inställd på *minst störd frekvens* (störskydd 4), stationen radartyst. Motståndaren störsänder mot frekvenserna F2 och F3

Resultat: Ingen störbäring presenteras. Detta beror på att vid val av minst störd frekvens kommer radarn undvika de störda frekvenserna, störbäringarna kommer då inte att presenteras.

5. Motståndaren repeterstörsänder mot PS-90 nr 1 (som sänder), PS-90 nr 2 står i passiv spaning inställd på snabb, slumpvis frekvensväxling (störskydd steg 5).

Resultat: PS-90 nr 2 kommer troligen inte kunna fastställa en störbäring. Det är inte säkert att radarn upptäcker att störning pågår. Orsaken är att en repeterstörsändare skickar till-baka en kopia av det mottagna ekot med precis samma frekvens som den sändande stationen, PS-90 nr 1. PS-90 nr 2 kommer bara se de falska ekona när den lyssnar på samma frekvens som PS-90 nr 1 sänder på. Sannolikheten att båda stationerna har samma frekvens är liten och dessa tillfällen inträffar därför sällan. Faktorer som ytterligare komplicerar det hela är att när dessa tillfällen inträffar så har kanske inte PS-90 nr 2 sin antenn inriktad åt det håll som störflygplanet befinner sig. Dessutom har inte stationerna sina PRF synkroniserade, vilket innebär att om PS-90 nr 2 får in några falska ekon så är de troligen helt osynkroniserade i tid, vilket kan innebära att signalbehandlingen sorterar bort dem.

Sammanfattning

Radarstationer som ska krysspejla bör försöka använda samma frekvenser, annars uppstår problem om inte motståndaren stör bredbandigt. Minst störd frekvens får *inte* användas vid passiv spaning. Vid passiv spaning bör **mest** störd frekvens väljas genom att observera radarns brusvärde alternativt välja funktionen slumpvis frekvensväxling.

Det är ytterst tveksamt om en repeterstörsändare kommer att upptäckas av en passivt spanande radarstation.

Pulslängd

En radarstation får bättre räckvidd ju mer energi som finns i den utsända pulsen. Ett sätt att öka energiinnehållet i pulsen är att öka pulslängden. Ju längre puls desto mer energi om pulseffekten antas vara densamma. Nackdelar med en lång puls är att minsta mätavstånd blir stort eftersom det uppgår till minst halva pulslängden. För en konventionell pulsradar som PS-70, så är avståndsupplösningen lika med halva pulslängden. En lång puls ger därför också dålig avståndsupplösning. I en pulskompressionsradar däremot påverkas normalt inte avståndsupplösningen av pulslängden.

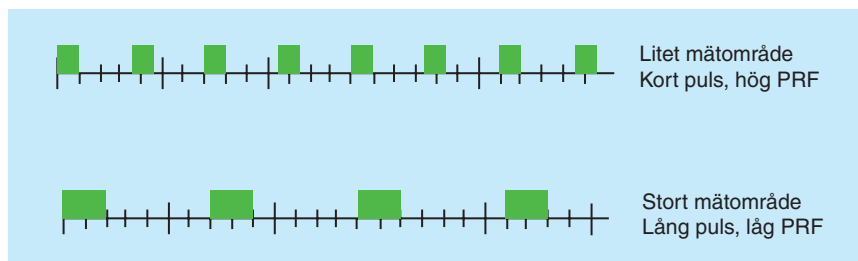


Bild 6:64. Pulslängder. En långpuls innehåller mer energi än en kort puls.

För att komma tillrätta med dessa nackdelar nyttjar radarstationerna olika långa pulser beroende på vilket mätområde som används (t ex 20 km eller 40 km mod). I det korta mätområdet använder man sig av en kort puls och får därför ett litet minsta mätavstånd och en bra avståndsupplösning. I det långa mätområdet nyttjas en längre puls och radarn får därför en ökad räckvidd/känslighet. I t ex PS-70 är pulsen i 40 km mod dubbelt så lång som vid 20 km mod. Avståndsupplösningen (gäller PS-70) blir visserligen sämre men det är ofta inte lika noga när målet befinner sig långt borta.

I de korta mätområdet behöver radarn inte "vänta" lika lång tid på att ekot ska komma tillbaka, då kan radarn ha en högre PRF. Ofta brukar radarstationerna ha dubbelt så hög PRF i den korta moden som i den långa. För PS-70 så är pulserna i 20 km mod hälften så långa som i 40 km mod. I gengäld är de dubbelt så många vilket gör att energin (medeleffekten) sedd över tiden blir lika stor i båda fallen.

Pulslängden påverkan på störverkan

Ju mer energi pulsen innehåller desto mer energi måste också en störsändare sända ut för att "överrösta" ekopulsen. Detta talar för att en lång sändpuls är bra ur störskyddssynpunkt. Har man istället ett kortare mätområde och sänder ut fler pulser per tidsenhet så kan det innebära att störsändaren får problem att hinna störa flera radarstationer samtidigt. Vid snabb frekvensväxling i PS-90 byter radarn frekvens var femte sändpuls. Om man fördubblar PRF (halvera avståndsområdet) kommer det följaktligen

bli dubbelt så många frekvensbyten per tidsenhet. I huvudsak så är det mätområdet som påverkar hur lång puls som sänds ut. Valet av frekvensväxlingshastighet påverkar också i viss mån pulslängden, snabb frekvensväxling innebär ofta en något kortare puls.

Slutsatser

Avståndsområdet påverkar störskyddet. Det beror på störsändarens konstruktion om det bästa störskyddet fås i det längre mätområdet då en lång pulslängd används, eller i det korta mätområdet då en högre PRF används. Operatören måste pröva sig fram till en optimal inställning.

För en pulskompressionsradar, där avståndsupplösningen inte påverkas av pulslängden och det finns automatisk målföljning, bör det långa mätområdet normalt sätt användas. Om man är utsatt för störning kan man pröva att byta avståndsområde för att se om en högre PRF har någon inverkan. Man ska inte heller glömma bort att det större mätområdet ger radarn möjligheter att se längre.

Stegdämpning

Syftet med stegdämpning är att ge entydig störbäring.

Stegdämpning innebär att känsligheten i mottagaren sänks något tusental gånger. När stegdämpningen används kommer detta få till följd att *endast de allra starkaste signalerna* framträder. Detta inträffar normalt då antennens huvudlob är riktad mot störsändaren.

Stegdämpning används automatiskt i moderna radarstationer under ett kort ögonblick efter varje puls, för att entydigt presentera störbäring.

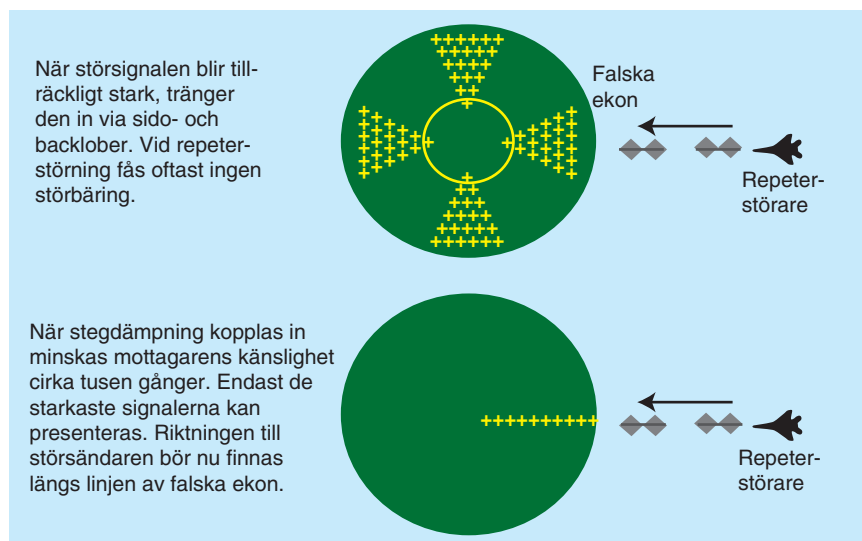


Bild 6:65. Vid repeterstörning måste oftast stegdämpning väljas manuellt.

Repeterstörning och i vissmån även pulsat brus uppfattas av radarstationen som "vanliga ekon". Då måste man i alla stationer manuellt välja stegdämpning för att kunna minska mängden falska ekon så att en störriktning kan urskiljas. I PS-70 måste knappen STEGDÄMPNING tryckas manuellt ned för att erhålla entydig störbäring även vid brusstörning.

När stegdämpning används, minskar radarmottagarens känslighet drastiskt och därmed även radarns genombrottsavstånd. Därför måste stegdämpningen stängas av så snart man bestämt en entydig störbäring.

Intermittent sändning

Principen för intermittent sändning är att radarn sänder några antennvarv och står därefter radartyst några varv för att därefter upprepa hela förloppet. Funktionen utgör ett skydd mot signalsökande robotar (och signalspaning) eftersom utrustningen kan få svårigheter att uppdatera radarns position. Funktionen har ingen effekt mot elektronisk störning.

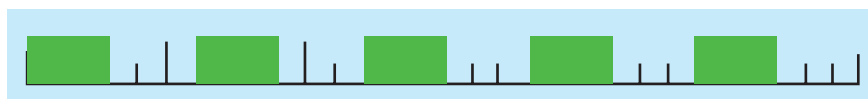


Bild 6:66. Exempel på intermittent sändning PS-90 (50% intermittent sändning). Radarn sänder tre varv, är därefter tyst i tre varv, osv.

Det är vanligt att kunna välja mellan 30 %, 50% och 70 % intermittent sändning. I PS-91 och UndE 23 utgör vald procentsats ett medelvärde över 128 antennvarv. Detta för att ytterligare försvåra genom att motståndaren inte kan förutse när radarn kommer att sända.

Om sändningstiden minskas alltför mycket kommer det ta lång tid att få automatisk målfångning. I t ex PS-90 är det därför inte praktiskt möjligt med mindre än 50 % sändning om den automatiska målfångningen ska kunna användas.

Sektorsändning.

Radarns sändare stängs av i någon eller några sektorer. Funktionen förhindrar att den starka huvudloben syns i en viss riktning.

På grund av antennens sido- och backlober kan stationen ändå eventuellt synas i de avstängda riktningarna. Möjligheterna för motståndaren att signalspana minskar i de avstängda sektorerna, eftersom det bara är den svagare sidoloben som hörs. Trots detta kan radarn i vissa fall ändå detekteras på många mils avstånd. En signalsökande robot kan anfälla en radarstation med hjälp av energin från sidoloberna på några mils avstånd (beror på typ av radar). Radarstationer som har låga sidolober är de som kan ha störst nytta av sektorsändning. PS-91 som både har en låg uteffekt och små sidolober är troligen den station som kan ha bäst nytta av sektorsändning.

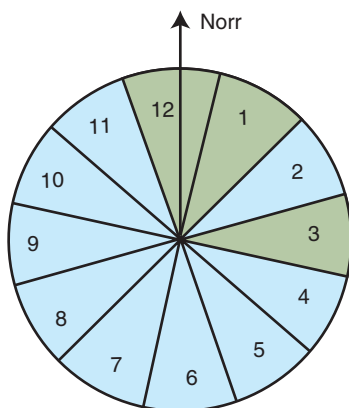


Bild 6:67. Sektorsändning. Sektor 1, 3 och 12 är tillåten för sändning.

Om halva antennvarvet är avstängt innebär det att en SSARB endast får hälften så många uppdateringar av radarns läge som när radarn sänder hela varvet.

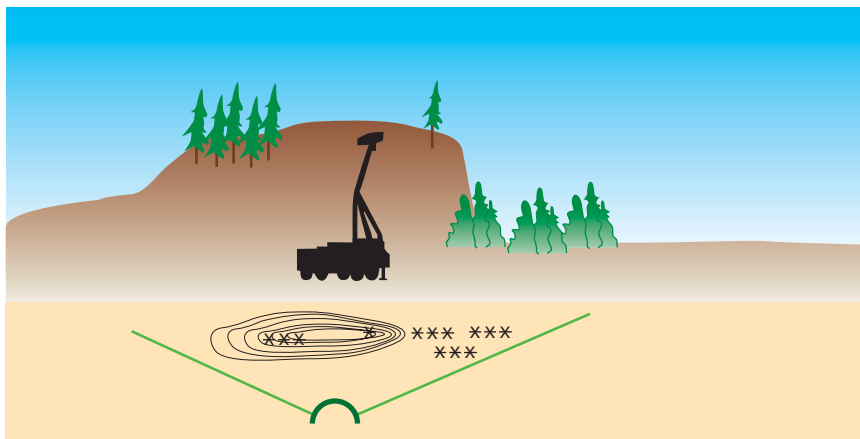


Bild 6:68. Sektorsändning i ryggställning. Radarn sektorsänder riktning 2-10 för att slippa markekon och för att minska sändningstiden.

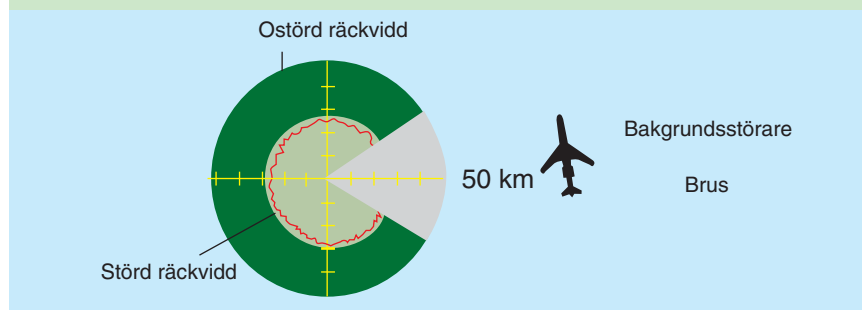
Sektorsändning bör definitivt användas om det finns terränghinder (mask) i en viss riktning. Om stationen har mask i ett område kan sektorsändning förhindra att markekon från denna riktning presenteras. Detta minskar också den totala sändningstiden, vilket försvårar för en SSARB.

Den begränsande faktorn i en repeterstörare är ofta dess mottagares känslighet. Om radarn sektorsänder så kan signalen från sidoloberna vara alltför liten för att repeterstörsändaren ska kunna använda den för att skapa falska ekon i radarns sidolober.

Mottagaren stängs inte av med sektorsändning. Även om sektorsändning är valt kommer det att presenteras störbärningar på PPI i de avstängda sektorerna. Sektorsändning förhindrar inte att en störsändares energi via sidoloberna påverkar radarn och begränsar räckvidden mer eller mindre *i alla* riktningar.

Exempel 6:14

En radar har stängt av sektor 2-4. En bakgrundstörare störsänder från riktning 3.



Radarn ser inget i sektor 2-4 då dessa är avstängda. Störsignalerna från störflygplanet tränger in i radarns sidolobor och begränsar räckvidden i alla riktningar.

Resultat: Radarn ser inget i riktning 2-4, dessutom påverkas radarn via sidoloberna och får en begränsad räckvidd i övriga riktningar.

Nackdelen med sektorsändning är att den mycket effektivt förhindrar att radarn kan se något i de avstängda sektorerna. Det är oftast svårt att fastställa från vilka riktningar motståndaren kommer att angripa ett mål.

Konstant falskalarmeringsnivå – KFA*

Syftet med KFA är att minska mängden falska ekon när brusnivån varierar och alltid har en optimal känslighet hos radarn.

I en radarstation presenteras de bara signaler som når över en viss nivå, den s k detekteringströskeln. Om detekteringströskeln ligger på rätt nivå presenteras målekon och någon enstaka brustopp. Skulle detekterings-tröskeln sättas för högt får det till följd att radarn får låg känslighet eftersom svaga målekon inte når över tröskeln. Om tröskelnivån sätts för lågt, kommer bruset att nå över tröskeln och ge upphov till många falska ekon.

* I vissa radarstationer benämns KFA för CFAR (Constant False Alarm Ratio).

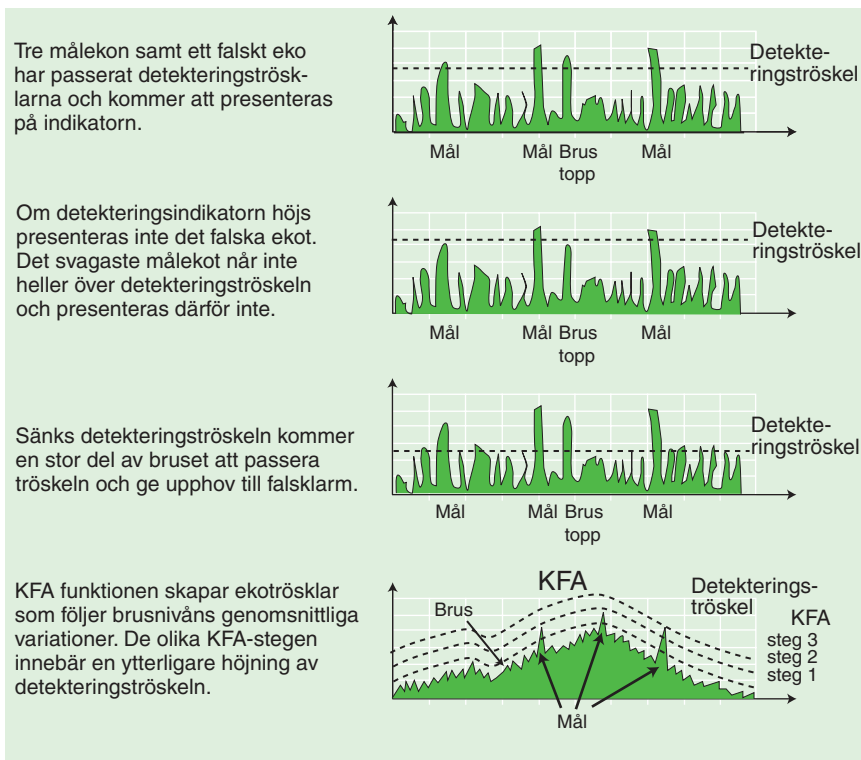


Bild 6:69. Detekteringströsklar.

Om brusnivån alltid var konstant hade det gått bra att ställa in brusnivån manuellt, men vid telestörning kommer brusnivån att variera kraftigt.

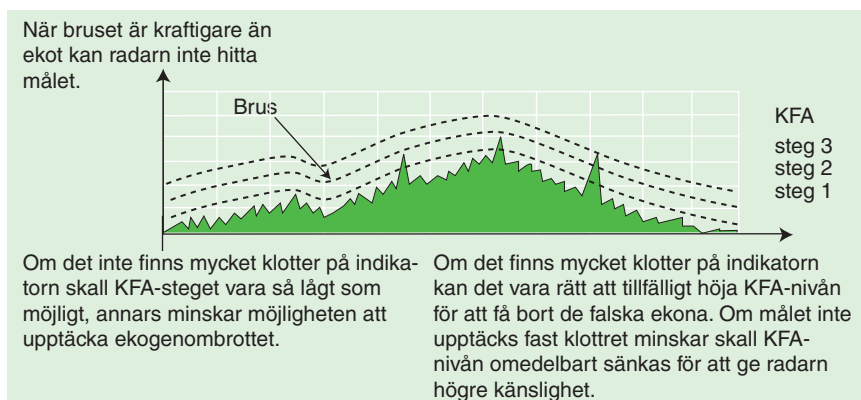


Bild 6:70. Ekosignalen måste vara starkare än bruset för att ekot ska upptäckas.

KFA-kretsarna har till uppgift att automatiskt ändra detekteringströskeln nivå beroende på brusets genomsnittliga nivå. Om man jämför brusets va-

riationer med vågor på vattnet så anpassar sig detekteringströskeln till bruset som en oljehinna på vattnet. Snabba ”stänk” dvs ekon ska dock kunna passera tröskeln (”oljehinnan”).

KFA-funktionen är inte helt ideal utan även snabba förändringar av brusnivån kan passera detekteringströskeln. De inställningar som manuellt kan göras av KFA nivå innebär att detekteringströskeln höjs ytterligare en bit över den genomsnittliga brusnivån. Det får till följd att mängden falska ekon minskar men innebär också att svaga målekon kanske inte når över tröskelnivån. En för hög KFA-nivå minskar radarns känslighet vilket medför att genombrottsavståndet blir kortare. Som exempel kan nämnas att en omodifierad PS-70, som nyttjade den högsta KFA-nivån (KFA steg 7) endast hade 60% räckvidd.

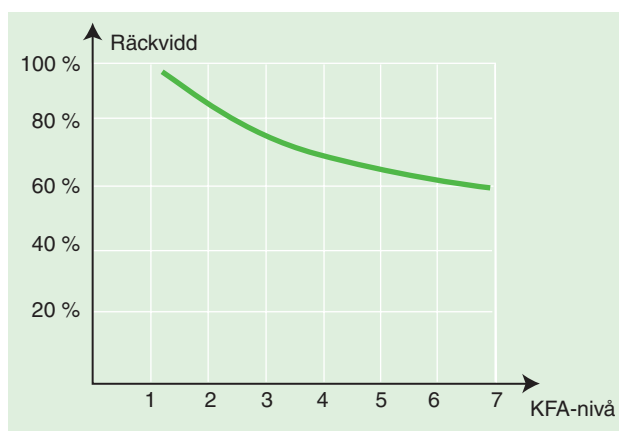


Bild 6:71. PS-70 relativ räckvidd som funktion av valt KFA-nivå.

Om bruset är starkare än ekot är det omöjligt att hitta målet oberoende av vilken KFA-nivå som är vald.

KFA-funktionen i UndE 23, PS-90 och 91 är inte konstruerad på samma vis som PS-70. I PS-90 och 91 är KFA-funktionen en följd av puls-kompressionen. I dessa stationer kan inte KFA-funktionen stängas av vilket den kan i t ex PS-70.

Detekteringskanaler

Moderna radarstationer nyttjar olika sk detekteringskanaler i signal-behandlingen för att optimera radarn mot olika uppgifter.

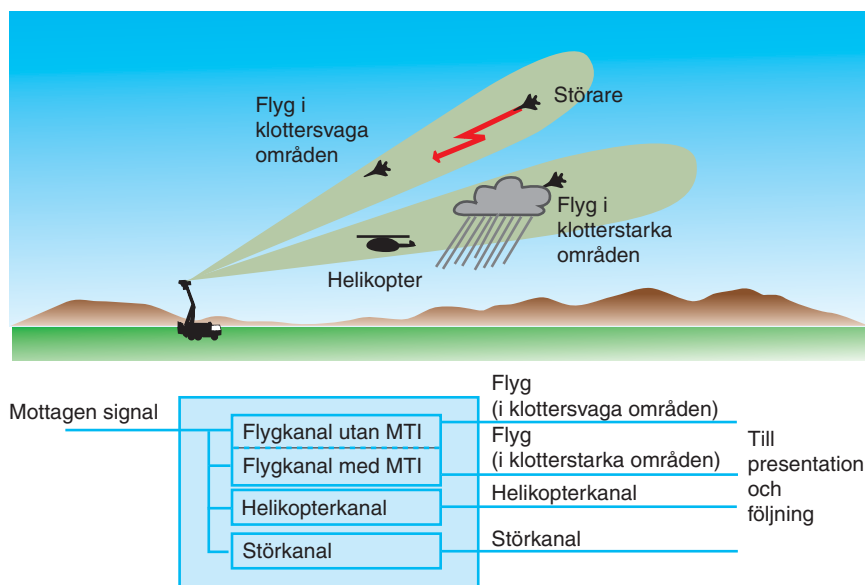


Bild 6:72. Dekteringskanaler UndE 23.

Här ges exempel från UndE 23

- Flygkanal utan MTI. Denna används för att hitta flyg i områden där det inte tidigare funnits något klotter. Detta är radarns känsligaste kanal.
- Flygkanal med MTI. Detta är den ”normala” detekteringskanalen. Den sällar bort stillastående ekon samt väderklotter genom MTI-filtrering. För att ta bort regnmoln/remsmoln används en automatisk vindkompensering. Vindkompenseringen mäter in hastighet och riktning på vinddrivet klotter och undertrycker dessa genom att förändra MTI-filtreringen.
- Helikopterkanal. Denna upptäcker dopplerförändringar som rotorn från en hovrande helikopter ger upphov till. Helikopterkanalen är verksam i området 2-30 km i de två lägsta mottagarloberna. Helikopterdetekteringen kräver att radarn inte ändrar frekvens alltför snabbt, funktionen kan därför bara användas vid långsam frekvensväxling. När helikopterdetektering är valt kommer radarn därför automatiskt att använda långsam frekvensväxling vid sändning i låglob.
- Störkanal. Den ska ge radarn möjlighet till att följa en störsändare i sidvinkel- och höjdvinkelled.

Klotterkartor och Icke MTI-kanalen

UndE 23 och PS-90 kan använda information som inte har MTI-filtrerats. Kanalen är känsligare än MTI-kanalen. För att inte indikatorn ska fyllas av markekon, regnmoln m m nyttjas i Icke MTI-kanalen s k klotterkartor.

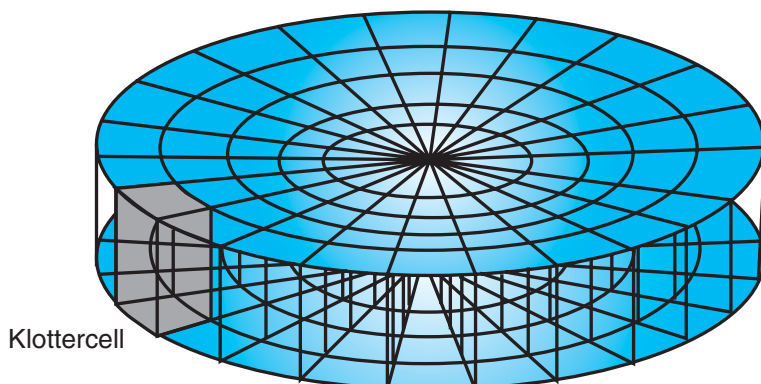


Bild 6:73. Exempel på en klotterkarta.

Den stora vinsten med MTI är att signal/klotterförhållandet förbättras, detta kan dock ske på bekostnad att signal/brusförhållandet försämras något. För att inte försämra signal/brusförhållandet i områden där radarn inte behöver förbättra signalklotterförhållandet (i klotterfria områden) finns Icke MTI-kanalen. Denna kommer bara att användas i områden utan klotter. Icke MTI-kanalen slås av och på med hjälp av klotterkartan.

Föremål som under flera antennvarv befunnit sig på samma plats klassificeras som klotter. Klotterkartan registrerar de celler som innehållit ekon under en längre tid och ser till att Icke MTI-kanalen inte presenterar något från dessa områden (cellen stängs av).

1. Målet upptäcks först i den högkänsliga Icke MTI-kanalen.
2. Målet syns i båda kanalerna.
3. Målet har noll Doppler och syns endast i Icke MTI-kanalen.
4. Cell med klotter. Målet syns endast i MTI-kanalen.
5. Målet syns i båda kanalerna.
6. Målet syns endast i den känsligaste kanalen, Icke MTI-kanalen.

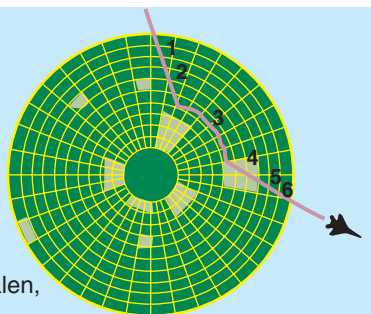


Bild 6:74. Exempel på hur ett mål detekteras. På indikatorn finns dock ingen information om i vilken kanal målet upptäcks.

Rörliga föremål som passerar en avstängd cell kommer inte att påverkas eftersom de istället presenteras av den vanliga MTI-kanalen. Både klotter-

kartorna och KFA-funktionerna har till uppgift att hålla mängden falska ekon på en konstant nivå. KFA-funktionen kan sägas arbeta i avståndsled medan klotterkartorna arbetar i tidsled.

I PS-90 finns tre klotterkartor, en för vardera låglob, höglob och helikopter. Även radarstationer som inte har Icke MTI-kanal kan använda klotterkartor för att minska mängden falska ekon. Exempelvis nyttjar PS-91 denna funktion för att få bort klotter som passerat MTI-filtren.

Det tar en viss tid att uppdatera klotterkartorna. Vid start av radar, byte av avståndsområde, klottermod eller höjdtäckning sker en snabb initiering/uppdatering av klotterkartorna. Detta sker genom att alla cellerna i klotterkartorna får ett fördefinierat värde. Med tiden förändras detta värde sedan till den korrekta tröskelnivån.

Vid blåst väder med mycket moln kan det uppstå problem med mycket klotter i Icke MTI-kanalen, eftersom klotterkartan inte hinner med att stänga av cellerna med rörliga ekon. Under dessa betingelser kan man bli tvungen att stänga av Icke MTI-kanalen.

Skydd mot klotter

Skydd mot klotter hör väl egentligen inte till ämnet telekrig, men det kommer att beröras eftersom det även kan innebära skydd mot remsstörning.

Spärrband och gränshastighet

Det är inte så enkelt att allt som har en hastighet skild från noll är önskvärda mål. Träd som vajar och vågor på havet är exempel på föremål som man inte vill ha presenterade i radarn.

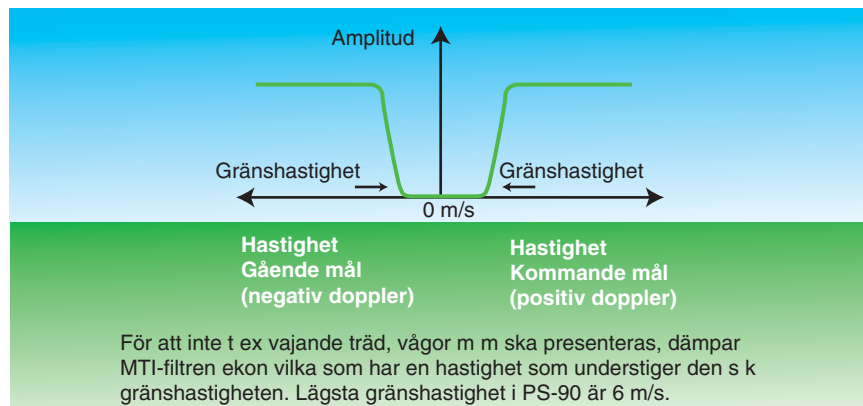


Bild 6:75. MTI-filtrens karakteristik.

Radarns MTI-filter filtrerar inte bara bort stillastående föremål utan även objekt som har en **radiell** hastighet under ett visst värde benämnt gränshastighet. Den blockerade hastighetsområdet kallas spärrband.

Gränshastigheten i radarstationerna beror på PRF-mod och avståndsområde. I t ex PS-90 gäller följande lägsta gränshastigheter:

25 km mod PRF-växling	16 m/s
25 km mod Staggered PRF	29 m/s
50 km mod PRF-växling	6 m/s
50 km mod Staggered PRF	18 m/s

För att slippa problem med t ex regnekon en blåsig dag bör man följaktligen välja en mod med en hög gränshastighet (t ex 25 km och staggered PRF). Risken är då att man missar verkliga mål med låg hastighet t ex helikopter.

Vindkompensering

Remсор färdas med vindens hastighet och kan i vissa fall hamna över gränshastigheten. För att slippa detta klotter används en funktion som kallas vindkompensering. I moderna radarstationer sker detta automatiskt i vissa äldre är det en manuellt justerbar funktion. PS-70 saknar vindkompensering.

Radarn mäter automatiskt upp medelhastigheten på klottret i radarns tolv sektorer. När den vet hastigheten på klottret kan den i varje enskild sektor förändra karakteristiken för MTI-filterkurvan så att t ex regnmolnen och remсор dämpas bort.

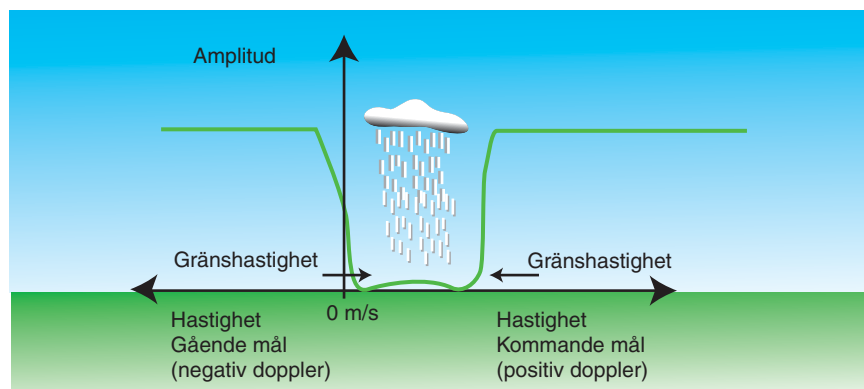


Bild 6:76. Vid vindkompensering breddas och förskjuts spärrbandet. Regnmolnen kommer då inte att passera MTI-filtren.

I t ex PS-91, PS-701 och PS-90 ändras filtret så att de breddas och får en högre gränshastighet. I PS-90 är högsta gränshastigheten 29 m/s. Stationen kan i vissa fall behöva förskjuta hela spärrbandet i sidled.

Nackdelen om spärrbandet förskjuts mycket är att de verkliga markkøna kan hamna utanför filtret de kommer i så fall att presenteras på indikatorn som ekon (bild 6:76).

Skillnaden mellan PS-70 som inte har vindkompensering och övriga stationer som har vindkompensering, är att PS-70 kommer att ha samma gränshastighet hela varvet medan de andra stationerna kan ha olika gränshastigheter i olika sektorer. Risken är därför mindre att de modernare stationerna har för stor gränshastighet och därmed missar verkliga mål.

Inget klotter/Vacker väder/Regn

Inget klotter innebär att ingen MTI-filtrering görs. Då operatören väljer Vackert väder kopplas MTI-filtreringen på i de fyra lägsta mottagarloberna, detta innebär även att radarn då sänder flera pulser på samma frekvens i den lägsta sändloben mellan frekvensen byts från puls till puls i de högre sändloberna. När moden Regn kopplas in sker MTI-filtrering i alla 12 mottagarlobber.

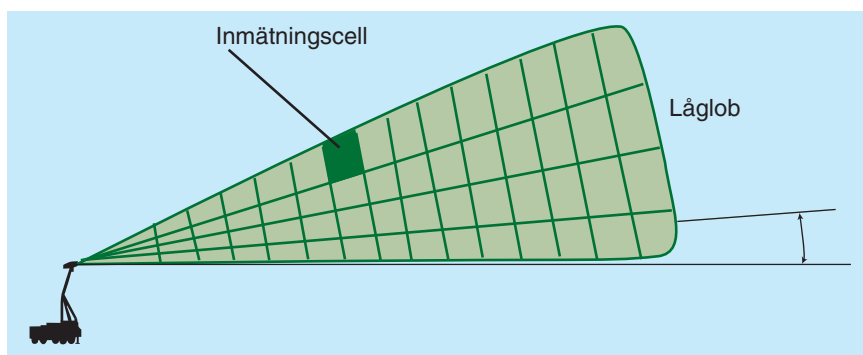


Bild 6:77. Utseendet hos klottercellerna i låglob.

Klottercellerna nyttjas för att rekommendera val av klottermo

Om moden Regn är valt kommer radarn att använda ännu fler pulser på samma frekvens för att få en bättre MTI-funktion.

Endast vid moderna Inget klotter och Vacker väder finns alltså möjlighet att radarn skiftar frekvens vid varje sändpuls.

Radarn kan använda MTI-filtrer med olika utseende beroende på i vilken mottagarlob radarn för tillfället nyttjar. Om motståndaren använder remsor bör moden Regn användas för att förbättra möjligheterna att genom MTI och med vindkompensering sälla bort remsorna.

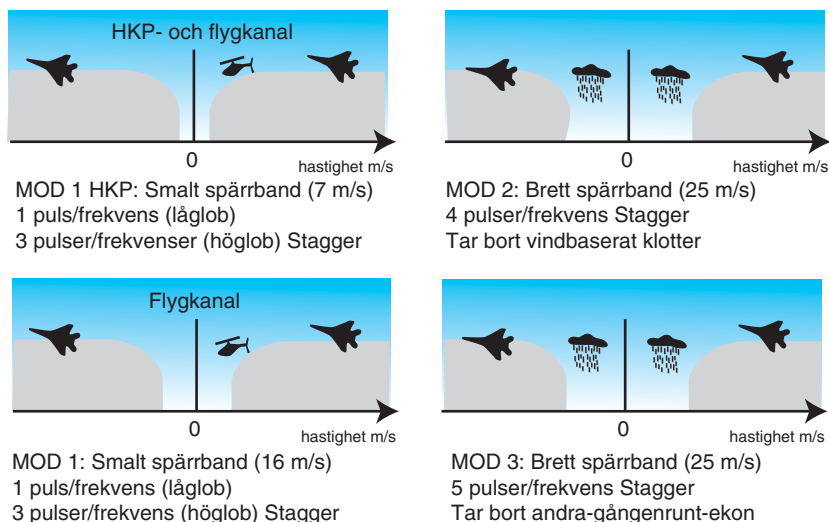


Bild 6:78. Radarmoder i PS-91.

I PS-91 fungerar klotterundertryckningen på ett likartat vis som i UndE 23 men benämns här radarmod 1 hkp, 1, 2 och 3.

Målfångning

I moderna radarstationer finns möjlighet till automatisk målfångning för att snabbare ge invisning till eldenheterna. Det finns normalt sett tre målfångningskriterier som reglerar hur säker radarn ska vara på att det verkligen är ett mål innan målfångningen startar. Ju högre kriterier ju längre tid tar det att fånga målet men samtidigt minskar risken att fånga falska ekon. Ett högt kriterium i kombination med intermittent sändning kan ge mycket långa målfångningstider och eventuellt helt omöjliggöra automatisk fångning. Vid repeterstörning kan man tvingas att stänga av den automatiska målfångningen för att inte invis falska mål.

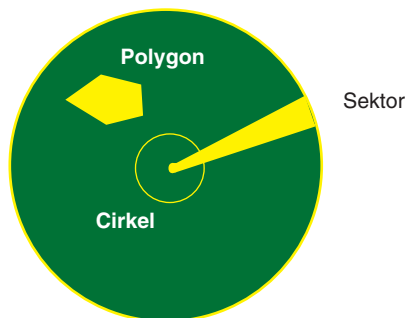


Bild 6:79. Blockeringsområden.

I UndE 23 finns en funktion benämnd larmmål. Detta är ett mål som anses utgöra ett stort hot mot en aktuell eldenhet och snabbt ska invisas till eldenheten för bekämpning. För larmmål sker ingen fångningssekvens utan följdning och invisning initieras vid första detektering. Denna funktion kräver

att klottersituationen är god och att klotterkartor är fullt uppdaterade. Vid telestörning, då det finns många falska skenmål måste funktionen troligen stängas av.

I stationerna finns möjligheter att blockera den automatiska målfångningen inom olika områden. I UndE 23 finns t ex möjlighet att lägga ut ett antal olika blockeringsområden (max 10) med olika former som polygon, sektor och cirkel på indikatorn.

Störriktningsfångning

Störbäring kan presenteras om signalnivån överstiger den genomsnittliga brusnivån ett visst antal gånger (typiskt 15-20 ggr). Brusmätningen sker i tidsmellanrummet mellan avståndsområdets slut och innan nästa sändpuls. Kortvariga bruspulser kommer därför ofta inte ge upphov till någon störbäring.

Störbäringar utgör viktig information för att kryssspejla eller för att svänga in ett vapensikte mot störsändaren. I äldre stationer t ex PS-70 skedde störbäringsfångning/följning helt manuellt. Hos PS-90 och PS-91 måste störbäringsarna fångas manuellt men kan sedan följas automatiskt. I de moderna 3D-radarstationer sker fångning och följning automatiskt.

När en motståndare amplitudmodulerar störsignalen kan det uppstå situationer då störriktningarna ”hoppa”. Om så är fallet behöver operatören manuellt följa störriktningens ”medelvärde”.

Störriktningsföljning för 3D-radar

Ur störskyddssynpunkt är en av de största fördelarna med 3D-radarstationer att de kan ge både höjdinkel och bäring till en brusstörsändare.

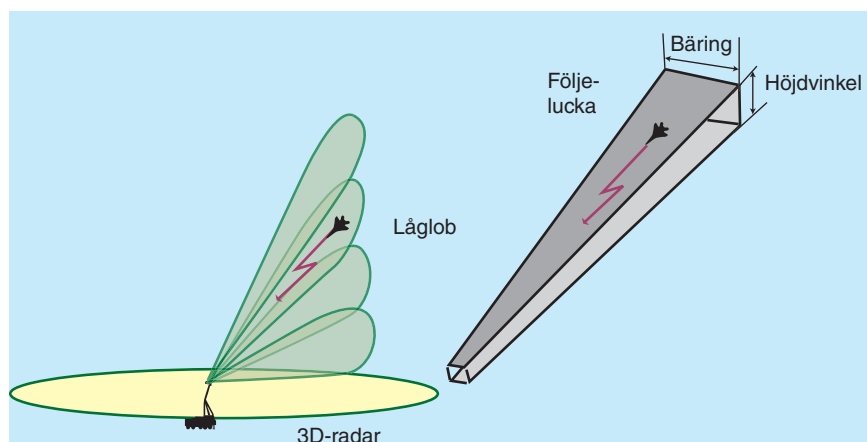


Bild 6:80. Störbäringsföljning.

Om en sådan station genomför krysspejling med en 2D-radar så kommer man att få en position i alla tre koordinaterna.

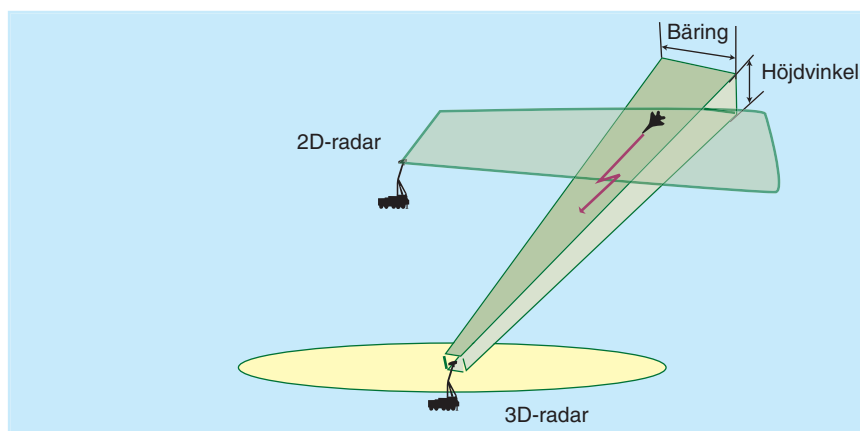


Bild 6:81. Kryss pejling med 3D- och 2D-radar.

Man ska dock vara medveten att om störsändaren amplitudmodulerar utsignalen så kommer en osäkerhet att uppstå i riktningbestämningen vilket försämrar positionsbestämningen. Genom UndE 23 förmåga att automatiskt ta emot och korrelera störbäringar från flera radarstationer så finns trots detta en god möjlighet att ha kontroll över var flygplanet befinner sig. Informationsutbyte med annat regionalt underrättelseområde och/eller LuLIS kommer ytterligare förbättra omvärldsuppfattningen.

Pulskodsbyte

UndE 23 har möjlighet att byta pulskompressionskod. Att UndE 23 förändrar pulskoden kan göra det svårare för en motståndare att generera falska ekon framför egen position då dessa även måste ha rätt kod.

Förmågan att skapa ekon bakom störsändaren påverkas ej, eftersom den signal störsändaren nyttjar är en exakt kopia av radarns senaste puls. Att förändra pulskod påverkar radarns MTI-funktion på samma vis som att byta frekvens. För att få en god klotterundertryckning så måste flera pulser i följd använda samma pulskod.

Täckpulsundertryckning

En täckpulsstörare skickar ut en bruspuls så snart den möts av en puls. Syftet är att bruspulsen ska göra det omöjligt för radarn att känna igen sin egen pulskod. Ekot kommer då inte att presenteras på syntetvideon. I UndE 23 finns en ”täckpulsfunktion”. Principen är att då radarn känner av en hastig förändring av signal/brusförhållandet så presenteras enligt vissa

kriterier ett mål på syntetvideon. Svårigheter kvarstår att veta om det finns ett eller flera mål inom det område som döljs av täckpulsen.

Undertryckning av repeterkon

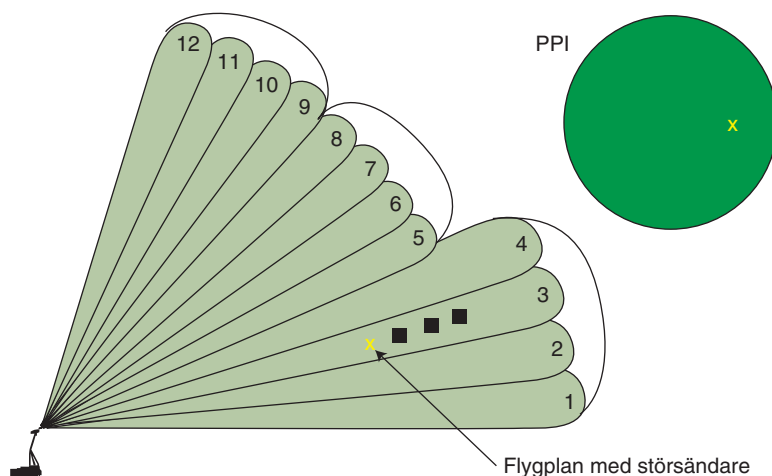


Bild 6:82. Falskekonundertryckning. I riktningar med många ekon i rad presenteras endast det främsta.

Genom att bara presentera det främsta ekot i riktningar (höjd- och sidvinkel) där det finns flera mål så kan man förhindra att PPI och databehandling överlastas med falska mål från en repeterstörsändare.

Funktionen är främst användbar i 3D-radar. I en 2D-radar skulle alla mål bortom störsändaren ha tagits bort oavsett höjd. Detta skulle innebära alltför stora risker att även verkliga mål försvinner. Hos 3D-radarn kommer inte de mål att diskrimineras som befinner sig i en annan höjdlob.

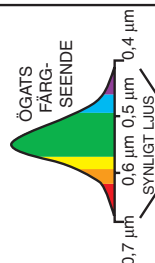
Sammanfattning

- Om radarn kan sända på en ostörd frekvens nedgår verkan av störningen till noll.
- Funktionen MINST STÖRD FREKVENSS ger radarn den för tillfället bästa räckvidden.
- Funktionen MINST STÖRD FREKVENSS får inte användas vid passiv spaning.
- Ett eko kan bara presenteras om det är starkare än bruset.
- KFA ska förhindra att falska ekon presenteras då brusnivån höjs. När ekosignalen blivit starkare än störningen kan man med lämplig KFA-

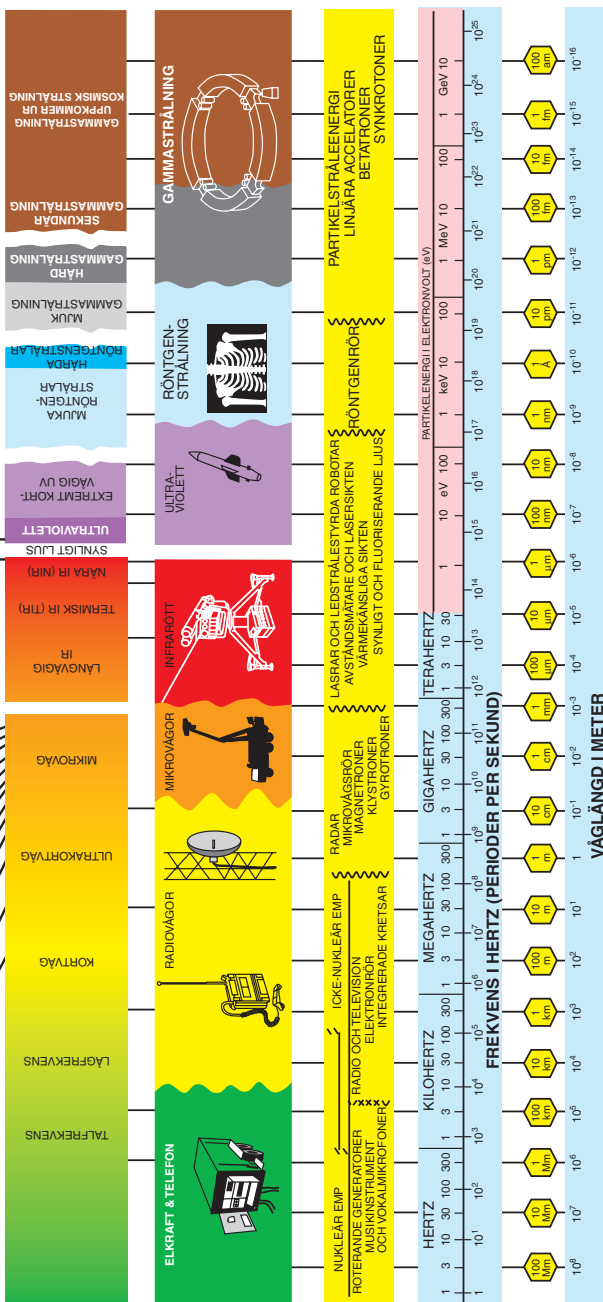
nivå få bort de falska ekona så att endast målen syns. En för hög KFA-nivå ger radarn låg känslighet.

- Stegdämpning gör att en entydig störbäring kan presenteras. Stegdämpning ska stängas av så snart entydig störbäring fastställts, annars begränsas radarns räckvidd drastiskt.
- Intermittent sändning gör det svårare för en SSARB att fastställa radarstationens läge.
- Sektorsändning minskar den totala sändningstiden vilket kommer försvåra för SSARB.
- Sektorsändning kan omöjliggöra repeterstörning från de avstängda sektorerna.
- Sektorsändning är ett tvivelaktigt skydd mot SSARB och signalspanning eftersom antennen läcker ut viss energi i sido- och backloberna.
- Sektorsändning gör definitivt att man inte kan se mål i de avstängda sektorerna, däremot kommer störbäringar kunna presenteras i dessa sektorer.
- Kryssspejling då minst en 3D-radar ingår ger störsändarens position (x, y, z).
- I en 3D-radar kan falska ekon i samma riktning (sv, hv) som störsändaren tas bort och endast det främsta ekot presenteras.

Omräkningstabell		Måttenheter	
BETECKNING	FOR-	10-	MULTIPLAR
Ljshastigheten			KORTN POTENS OCH DELAR
$C = 310^8$ meter/sekund			T 10 ¹² En biljon
Väglängd i meter			G 10 ⁹ En miljard
$\lambda m = \frac{1}{f}$ Hz			M 10 ⁶ En miljon
$f = \frac{1}{\lambda m}$ Hz			K 10 ³ En tusen
Frekvensen i Hertz			h 10 ² Ethundra
$f = \frac{1}{\lambda m}$			da 10 ¹ Ti
λm			10 ⁰
centi-			10 ⁻¹ En tiondel
milli-			c 10 ⁻²
micro-			m 10 ⁻³ En tusendel
nano-			µ 10 ⁻⁶ En miljard
piko-			p 10 ⁻¹² En biljard
femto-			f 10 ⁻¹⁵ En kvadriljard
atto-			a 10 ⁻¹⁸ En kvintiljard



RADARBAND												
NYA BETECKNINGAR												
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
HF	VHF	UHF	L	S	C	X	K _u	K	K _a	mm		
GAMLA BETECKNINGAR												



BILAGA 1

Engelskspråkiga begrepp och förkortningar

BILAGA 2

AAA	Anti-aircraft artillery	Lv-pjäser, Lv-kanoner
AA-()	Air to air missile number ()	Jaktrobot nummer ()
AAM	Air to air missile	Jaktrobot
AAW	Anti-air Warfare	
ABM	Anti ballistic missile	
A/C	Aircraft	Flygplan
AEW	Airborn early warning	Flygburen förvarning
AGC	Automatic gain control	Automatisk förstärknings- reglering
AGM	Air to ground missile	Attackrobot
AJ	Anti-jamming or anti-jam	Teleskyddsåtgärd
AM	Amplitude modulation	Amplitudmodulering
AMRAAM	Advance, medium-range air-to-air missile	RB99 AMRAAM
ARM	Anti radiation missile	Signalsökande robot
ASM	Air to surface missile	Attackrobot
ASPJ	Airborne self-protection jammer	(flygburen-) Egen- störsändare
ASRAAM	Advance, short-range air-to-air missile	
AWACS	Airborne warning and control system	Flygburet stridsledningssystem
Az	Azimuth	Bäring
	Barrage jamming	Bredbandig störning
BITE	Built in test equipment	Utrustning för självtest
BF		Brusfaktor
	Burn-through range	Genombrottsavstånd

BVR	Beyond visual range	Bortom "optisk" sikt
BW	Bandwidth	Bandbredd
C ³	Command control and communications	Ledningssystem
C ³ CM	C ³ , counter measures	Ledningssystem (telemot-medel)
C ³ I	C ³ and intelligence	Ledningssystem (under-rättelse)
C ² W	Command control warfare	Ledningskrigföring
CAS	Close air support	Flyg för direktunderstöd av markförband
CFAR	Constant false alarm rate	Konstant falsk larmnivå (KFA)
	Chaff	Remisor
	Chaff jamming	Remsstörning
CM	Clutter map	Klotterkarta
COHO	Coherent oscillator	Koherent oscillator
COMINT	Communication intelligence	Kommunikations-signalspaning
CONSCAN	Conical scanning radar	Eldledningsradar med nuterande system för vinkelföljning
COSRO	Conical scan on receive only	Vinkelföljning i Err där endast mottagarantennen nuterar, ex PE 541
	Cover-pulse jamming	Täckpulsstörning
CP	Circularly polarized	Cirkulär polarisation (hos en elektromagnetisk våg)
	Cross-eye jamming	Fasfrontsstörning (typ av vinkelavhakning)
CRT	Cathode ray tube	Katodstrålerör
CVR	Crystal Video Receiver	Krystall videomottagare
CW	Continuous wave	Omodulerad bärvåg eller i betydelsen en kontinuerlig signal i motsats till en pulsad signal
CWI	Continuous Wave Illuminator	Belysningsradar med CW-våg tex PE 541
	Deception jamming	Vilseledande störning
	Decoy	Skenmål

DEAD	Destruction of Enemy Air Defence	Nedkämpning av luftvärnet
DEW	Distant early warning	Förvarningsradar med lång räckvidd
DRFM	Digital radiofrequency memory	Digitalt radiofrekvent minne
DSP	Digital signal processing	Digital signalbehandling
EA	Electronic attack	Telemotmedel den äldre förkortningen är ECM
ECM	Electronic counter measures	Telemotmedel den nya förkortningen är EA
ECCM	Electronic counter counter measures	Signalskydd-störskydd den nya förkortningen är EP
EMI	Electro magnetic interference	Elektromagnetisk störning (påverkan)
EMP	Electro magnetic pulses	Elektromagnetisk puls (kärnvapeneffekt)
EP	Electronic protection	Signalskydd-störskydd den äldre termen är ECCM
ERP	Effective radiated power	Effektiv utstrålad effekt fås som: uteffekt gånger antennförstärkning, mäts i Watt.
ESM	Escort jamming	Medstörning
	Electronic support measures	Signalspaning
	Expandable jammer	Engångsstörsändare
EW	Electronic warfare	Telekrigföring
EWO	Electronic warfare officer	Telekrigsofficer, t ex telekrigsoperatören i F4G
FFT	Fast fourier transform	Metod för signalbehandling
FM	Frequency modulation	Frekvensmodulation
FUS		Följning under spaning
Gen-X	Generic exandable	Typ av engångsstörsändare
GPS	Ground positioning system	GPS-Satellit navigerings-system
HARM	High speed antiradiation missile	Signalsökande robot AGM-88
HPD		Hög prf pulsdoppler
HPM	High powered microwave	Hög effekt pulsad mikrovågsstrålning (för att förstöra elektronik)

HOJ	Home on jam	System som kan riktas mot störkällan. T ex RBS 77 HAWK.
IAGC	Instantaneous automatic gain control	Snabb känslighetsinställning i en mottagare
IF	Intermediate frequency	Mellanfrekvens
IFF	Identification of friend or foe	Igenkännings- och identifieringssystem -IK
IK		Igenkänning
IR	Infrared	Infraröd
IW	Information warfare	Informationskrig
J	Jamming	Störning
Jaff	Jammer (illuminating) chaff	Belysta remsor
JMR	Jammer	Störare
J/S	Jamming to signal ratio	Stör-/ekosignal kvot eller störövertakt, (inverterat signalbrusförhållande)
JSTARS	Joint surveillance target attack radar system	Flygplan med SAR-radar för att leda attackflygplan mot markmål.
LO	Local oscillator	Lokaloscillator
LANTIRN	Low altitude navigation & targeting infrared for night	IR-system till fpl för navigering och målupptäckt
LED	Light-emitting diode	Lysdiod
LPAR	Long distance phased array radar	Radar med elektriskt styrd antenn
LPD		Låg PRF pulsdoppler
LPI	Low probability of interception	"Viskande radar"
MF	Medium frequency	Mellanfrekvens (300 kHz-3 MHz)
MFR	Multi functional radar	Flerfunktionsradar (spaning/följning)
MMW	Millimeter Wave	Millimetervågor (>40 GHz)
MPD		Medel PRF puls dopplerradar
mrاد	Milliradian	Milliradian (ungefär lika med streck)
MTI	Moving target indication	Bortfiltrering av markkon
mw	Microwave	Mikrovågor (1 mm –1 m)
N	Noise	Brus

NF	Noise Figure (eller Factor)	Brusfaktor mäts i ggr eller dB
	Noise jamming	Brusstörning
OTH	Over the horizon radar	Långdistansradar (kortvåg)
PAR	Precision approach radar	Landningsradar
PD	Probability of detection	Upptäcktssannolikhet
PD	Pulse doppler	pulsdoppler
PFA	Probability of false alarm	Falsklarmssannolikhet
	Phase-front distortion	Fasfrontsstörning (typ av vinkelavhakning)
PGM	Precision guided munition	Precisionsstyrd ammunition
PM	Phase modulation	Fasmodulering
POST	Passive optical seeker technology	Passiv målsökare som används i senare modeller av Lv-rb STINGER
PPI	Plan position indicator	Plan polär indikator, vanligaste typen av radar-skärm i en spaningsradar
PPS	Pulses per second	Pulser per sekund=PRF
PRF	Pulse repetition frequency	Pulsrepetitionsfrekvens
PRI	Pulse repetition interval	Pulsrepetitionsfrekvens (PRF)
	Pull-off	Avhakning
PW	Pulsewidth	Pulslängd
Radar	Radio detection and ranging	
RAM	Radar absorbing material	Radarsabsorberande material
RGPO	Range-gate pull off	Avståndsavhakning
	Range-gate stealing	Avståndsavhakning
RGWO	Range-gate walk off	Avståndsavhakning
	Repeter jamming	Repeterstörning
RCS	Radar cross section	Radarmålyta
RCVR	Receiver	mottagare
RF	Radio frequency	Radiofrekvens
RPV	Remotely piloted vehicle	Fjärrstyrd farkost
RWR	Radar warning receiver	Radarvarnare
SA-()	Surface to air number ()	Lv system nummer()
SAM	Surface to air missile	Luftvärnsrobot
SAR	Synthetic aperture radar	Syntetisk apertur radar
	Saturation jamming	Mättnadstörning

SEAD	Supression of Enemy Air Defence	Trycka ner luftvärnet, utförs t ex med lv-jägare och signalsökande robotar
	Self-screening	egenstörning
SHF	Super high frequency	Radarfrekvensområdet 3-30 GHz
SJ	Support jamming	Medstörning
SLAR	Side-looking airborne radar	"sid"seende radarsystem
SL	Sidelobe	Sidolob
SLB	Side lobe blanking	Sidolobs blankning, dvs om en störsignal från sidolob är starkare än huvudlobs-signalen, blankas mål på detta avstånd bort.
SLC	Side lobe canceller	Sidolobs undertryckning
SLAR	Sidelooking airborne radar	Sidtittande flygburen radar
S/N	Signal to noise	Signal/brusförhållande (SNR)
SNR	Signal to noise radio	Signal/brusförhållande (S/N)
SOJ	Stand of jamming	Bakgrundsstörning
	Speed-gate stealing	hastighetsavhakning
	Spot jamming	Smalbandig störning
SSR	Secondary surveillance radar	Sekundär radar
SSRB		Signalsökande robot
STALO	Stable local oscillator	Stabil lokalosillator
	Stand-off jamming	Bakgrundsstörning
STC	Sensitivity time constant	Närekodämpare
STRIL		Stridsledningssystem
	Switched jamming	Glimtstörning
TALD	Tactical air launched decoy	Skenmål
TDM	Time division multiplex	Tidsmultiplex
TOA	Time of arrival	System för att bestämma riktningen till en signalkälla, genom att mäta tids-skillnaden mellan det att signalen når två olika antenner.
TR	Transmit-Receive	Sändning-Mottagning
TWS	Track while scanning	Följning under spaning

TWT	Travelling wave tube	Vandringsvågörör
Tx	Transmit	Sända
UCAV	Unmanned Combat Aerial Vehicle	Obemannad beväpnad farkost
UAV	Unmanned aerial vehicle	Obemannad luftfarkost
UHF	Ultra high frequency	300 kHz-3 GHz
ULF	Ultra low frequency	3-30 Hz
UV	Ultraviolet	Ultraviolet
VCO	Voltage controlled oscillator	Spänningsstyrd oscillator
VGPO	Velocity gate pull off	Hastighetsavhakning
VGWO	Velocity-gate walkoff	Hastighetsavhakning
VHF	Very high frequency	30 MHz-300 MHz
VLf	Very low frequency	3 kHz-30 kHz
WVR	Within visual range	Inom synhåll

Källor

- Adamy, David – EW101 (2001)
- Andersson, Börje – FOI Signalspaningsteknik del 1 och 2 (2002)
FOI Precisionslägesbestämning med flygburna radarSIS-sensorer (2002)
- Andersson, Torbjörn – Artilleritidskrift nr 3 (2000)
- Andersson, Torbjörn – Artilleritidskrift nr 3 (2002)
- Bergdal, Hans – FOI Signalspaningsteknik del 1 och 2 (2002)
FOI Precisionslägesbestämning med flygburna radarSIS-sensorer (2002)
- Brown, JPR – Electronic Warfare (1998)
- Chrzanowski, J Edward – Active Radar Electronic Countermeasures (1990)
- Dokument Ledning luftvärn (1998-11-23)
- Eneroth, Anders – FOA-tidningen nr 5 (1998)
- EXO "Flygburna störsändare och robotvarnare i väst"
- FMV AML Und nr 1 (1994)
- FMV Aund (1998-06-12)
- FMV kompendium i radarteknik (1979-09-03)
- FMV reserapport (1998-05-08)
- FMV reserapport: AOC international (1998)
- FMV reserapport: SEAD conference, London (2002)
- FOA-rapport "Kriget vid Persiska viken 1990–1991"
- FOA-rapport "Kriget vid Persiska viken 1991–1992"
- FOA-tidningen (1967)
- FOA-tidningen (1967) – Telekrig
- FOA-tidningen nr 3 (1987)
- FOI orienterar om Elektromagnetiska vapen och skydd (2001)
- Framsyn nr 2 (2002)
- Gulf Air War Debrief
- Henriksson, Daniel – FOI Precisionslägesbestämning med flygburna radarSIS-sensorer (2002)
- Hyberg, Per – Radarmotmedelsteknik, kompendium
- Jernemalm, Veine, FOA

Jernemalm, Veine – FOA-rapport C30506-3.6
 Johannesson, Torbjörn – HPM, Ett hot mot luftvärnet? (2000)
 Journal of Electronic Defence (oktober 2001)
 Kingsley, Quegan – Understanding Radar System (1992)
 Kriget vid Persiska viken 1991–1991 – FOA rapport
 Lagerlöf, Johan – FOA-tidningen nr 4 (1999)
 Larsson – Radarabsorberande material, en översikt. FOA (2000)
 Lindgren, Björn – FOI Signalspaningsteknik del 1 och 2 (2002)
 FOI Precisionslägesbestämning med flygburna radarSIS-
 sensorer (2002)
 Mårtensson, Evorn – Marinytt nr 4 (2000)
 Nordén, Mats – Marinytt nr 4 (2000)
 Ousbäck – Radarabsorberande material, en översikt. FOA (2000)
 Pallin, Krister – FOA-tidningen nr 4 (1999)
 Price, Alfred – The History of US electronic Warfare (2000)
 Radarmotmedel och radarskydd (1968)
 Roddy, Coolen – Electronic Communications (1995)
 Samuelsson, Bengt-Olof – Telekrig Historik
 Scheher, Curtis – Electronic Warfare in the information age (1999)
 Silverplats, Claes, Lv7
 Smedberg, Marco – Om stridens grunder
 Stimson, W. George – Introduction to airborne radar (1998)
 Söderkvist, Sune – Tidsdiskreta signaler och system
 The Ulitimate Weaponery
 Thurbon, MT – Electronic Warfare (1998)
 Time Life Förlag – De flygande fästningarna
 Time Life Förlag – Landstigningen
 TKU 20/3 SIS våren 93 (kompendium om signalspaning)
 van Bunt – Allied ECM sid 563 col 1
 Videofilm "Det elektroniska kriget"
 von Duin, Carl, Lv6
 Westerlund, Carl-Lennart – FOI Precisionslägesbestämning med flygburna
 radarSIS-sensorer (2002)

Bildförteckning

<i>Bild nr</i>	<i>Föreställande</i>	<i>Källa</i>
02:12	Lavettfordon till SA-6	Grzegorz Prasal, Polen
02:16	RC-135 Rivet Joint	Northrop Grumman Corporation, USA
02:17	Mig-29	FBB, Lennart Berns
02:18	F/A-18 Hornet	FBB, Peter Liander
02:20	Lvrbsystem SA-8	www.bharat-rakshak.com
02:22	Apache	Flygvapen-Nytt
02:23	Tornado	FBB, Lennart Berns
02:24	F/A-18 Hornet	FBB, Peter Liander
3:61	Eldledningsradar eldenhet 23	AIR SAAB DYNAMICS
04:02	RC-12 Guardrail	World Wide Wings
04:03	Orion	FBB, Håkan Nyström
04:35	Roboten HARM	Försvarsmakten
04:62	Remskapsel BOL 1	Försvarsmakten
04:71	B 2	Northrop Grumman Corporation, USA
04:73	F-22 Raptor	Puma's Log
04:162	Störsändare LENA	SAAB Avionics
04:167	Skadad integrerad krets	Afselius, FMV:PROV
06:01	E-8C Joint STAR	Northrop Grumman Corporation, USA
06:03	RBS 77/99 Hawk	FBB, Lasse Sjögren
06:16	EA-6B Prowler	Northrop Grumman Corporation, USA
06:30	F-16 CJ med HARM och HTS	Puma's Log
06:60	PS-90	FBB, Eilert Gezelius

Författare och

ämnesexpert: Per Gerdle, Lv 6

Projektledare: Christer Asklin, Mediablocket AB

Redaktör: Christer Asklin, Mediablocket AB
Gunnel Åkerblom, Mediablocket AB

Illustrationer: Charlotte Pettersson, Mediablocket AB
Gunnel Åkerblom, Mediablocket AB

Original: Charlotte Pettersson, Mediablocket AB

Omslag: Per Gerdle, Lv 6
Gunnel Åkerblom, Mediablocket AB

4725



FÖRSVARSMAKTEN

107 85 Stockholm Tel 08 788 75 00 Fax 08-788 77 78

M7741-850101 Telekri Rr Tak Lv

