

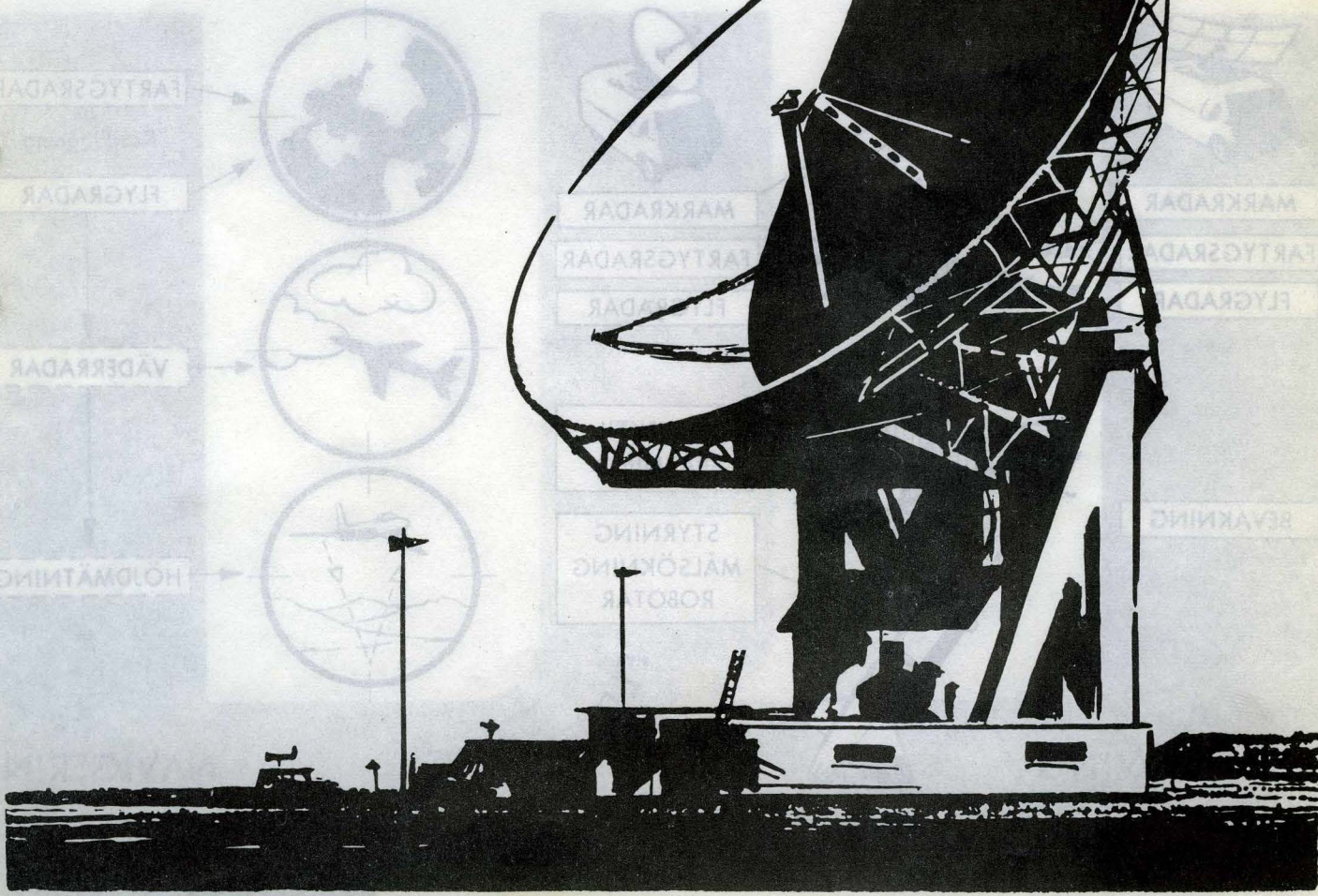
# RADAR

Vad Ni bör veta om radar  
Av civilingenjör RICHARD PEDERSEN

En sammanfattning av de tekniska förhållanden som gäller för radar, och som är av betydelse för den allmänna förståelsen av denna teknik, ges i denna artikel. Radar är en teknik som har utvecklats till en av de viktigaste tekniska utvecklingarna under andra världskriget. Den används för att bestämma positionen, höjden och hastigheten på flygplan, skepp och andra objekt i luften. Radar är också användbar för att bestämma vädret och för att navigera i havet. I denna artikel kommer vi att se på de olika typer av radar och hur de fungerar. Vi kommer också att se på de olika typer av radarstationer och hur de används. Detta är en viktig del av tekniken som har utvecklat sig under andra världskriget. Vi kommer att se på de olika typer av radar och hur de fungerar. Vi kommer också att se på de olika typer av radarstationer och hur de används. Detta är en viktig del av tekniken som har utvecklat sig under andra världskriget.

Radar är i likhet med många andra tekniska förteckningar inte någon egentlig uppfinning som plöjt tillkommit utan är resultatet av en utveckling av radarsystemets användning för upptäckt och lokalisering av flygförande luftfartyg. Den tekniska utvecklingen som påbörjades före andra världskriget, i samband med luftkrigets utveckling, har under andra världskriget fått en särskilt snabb utveckling. Detta beror på att radar är en teknik som har utvecklats till en av de viktigaste tekniska utvecklingarna under andra världskriget. Den används för att bestämma positionen, höjden och hastigheten på flygplan, skepp och andra objekt i luften. Radar är också användbar för att bestämma vädret och för att navigera i havet. I denna artikel kommer vi att se på de olika typer av radar och hur de fungerar. Vi kommer också att se på de olika typer av radarstationer och hur de används. Detta är en viktig del av tekniken som har utvecklat sig under andra världskriget.

Radar är i likhet med många andra tekniska förteckningar inte någon egentlig uppfinning som plöjt tillkommit utan är resultatet av en utveckling av radarsystemets användning för upptäckt och lokalisering av flygförande luftfartyg. Den tekniska utvecklingen som påbörjades före andra världskriget, i samband med luftkrigets utveckling, har under andra världskriget fått en särskilt snabb utveckling. Detta beror på att radar är en teknik som har utvecklats till en av de viktigaste tekniska utvecklingarna under andra världskriget. Den används för att bestämma positionen, höjden och hastigheten på flygplan, skepp och andra objekt i luften. Radar är också användbar för att bestämma vädret och för att navigera i havet. I denna artikel kommer vi att se på de olika typer av radar och hur de fungerar. Vi kommer också att se på de olika typer av radarstationer och hur de används. Detta är en viktig del av tekniken som har utvecklat sig under andra världskriget.





# Vad Ni bör veta om radar

Av civilingenjör GERHARD EMBRING



Radar är i likhet med många andra tekniska företeelser inte någon egentlig uppfinning som plötsligt tillkommit utan är resultatet av en utveckling av radiovågors användning för upptäckt och lokalisering av reflekterande föremål. Denna utveckling, som påbörjades före andra världskriget, intensifierades oerhört under detta och pågår alltjämt. I denna artikel ges en orientering om olika typer av radaranläggningar och radarns användningsområde.

**F**rån början var radar en rent militär angelägenhet som gick ut på att snabbt upptäcka och säkert lokalisera fiendliga flygplan och fartyg. Efter andra världs-

kriget kom radar alltmer i bruk även i civila sammanhang, särskilt som hjälpmedel för navigering på handelsflottans fartyg. I takt med flygtrafikens snabba utbyggnad har på senaste tid radar kommit att bidra allt mer till flygsäkerhetens främjande, och den civila luftfarten utnyttjar numera radar på många olika sätt.<sup>1</sup> Även väderlekstjänsten har funnit användning för radar, med vars hjälp man kan lokalisera nederbördsområden och undersöka vindförhållanden.

I fig. 1 visas en översikt över de olika användningsområdena för radar. Fortfarande har den militära tillämpningen det största omfånget och primäruppgiften, dvs. spaningen, har utvecklats till fulländning genom större sändareffekt, känsligare mottagare m.m. Vissa bevakningsuppgifter kan exempelvis numera lösas med en enkel Doppler-radar, som automatiskt — oberoende av optisk sikt — ger larm när ett

visst terrängavschnitt passeras av fordon eller soldater.

Ett i spaningsradar upptäckt mål skall ofta övertagas av en *eldledningsradar* som tillsammans med räkneinstrument ger lämpliga informationer om målet (läge, kurs, fart m.m.) till artilleri eller robotvapen. Tekniken att med en eldledningsradar snabbt kunna »haka på» ett visst mål har automatiserats och noggrannheten i avstånds- och riktningssangivelsen har undan för undan ökats.

Arméförband använder numera radar för att lokalisera fiendliga artilleri- och granatkastarpjäser genom att projektilerna kan »spåras» i luften.

Radar är vidare en viktig kugge i styrsystem för robotar, vilket belysts i en tidigare artikel i RT.<sup>1</sup>

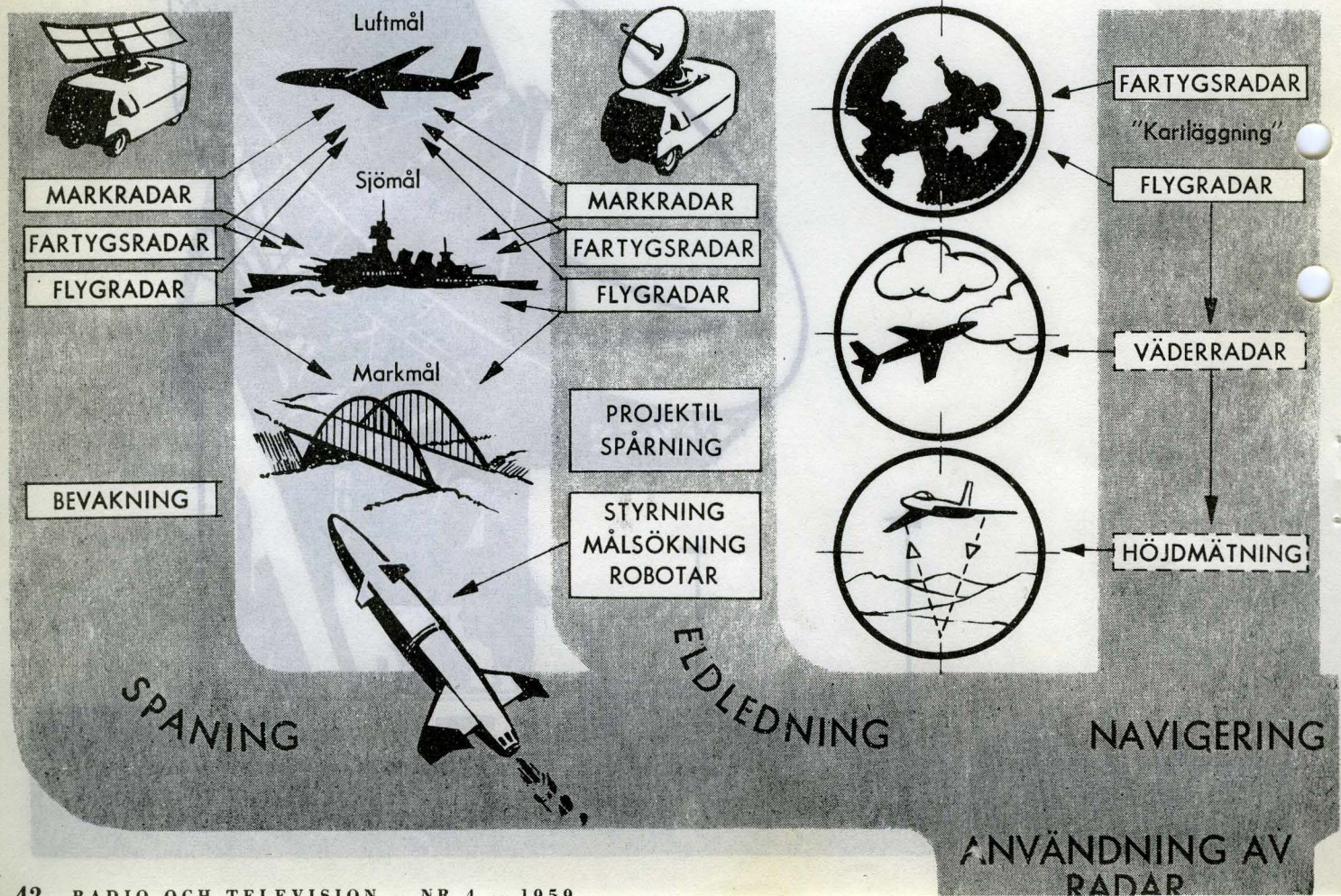
Att radar spelar stor roll som *navigeringshjälpmedel* för sjöfarten är allmänt bekant. Visserligen har svåra fartygsoly-

<sup>1</sup> Se artikel PEDERSEN E S: *Navigering med väderadar över Arktis* på annan plats i detta nummer.

<sup>1</sup> Se *Luftvärnskanonen gammalmodig — elektronikstyrda robotar övertar luftförsvaret*. RADIO och TELEVISION 1959, nr 1, s. 32

Fig 1

Radartechnikens användning inom olika militära och civila verksamhetsfält.





kor inträffat, som tidvis minskat tilltron till radar men faktum kvarstår att rätt utnyttjat är detta hjälpmedel ett nödvändigt komplement till övrig navigeringsutrustning. Radarskärmens »kartbild» ger god översikt och vid gång i is kan radar visa lämpliga omvägar kring svårforcerade packisbälten. Givetvis fordras det träning för att rätt tyda radarbilden.

I allt fler passagerarflygplan installeras numera s.k. »väddradar», med vars hjälp piloten kan undvika för passagerarna obehagligt »gropiga» molnområden med stark turbulens. I sådana områden förekommer nämligen nederbörd som ger kraftiga radarekon. En annan användning av radar i flygplan är radarhöjdmätaren, som kontinuerligt mäter höjden till marken.

För trafikövervakning kan radar användas på olika sätt. I hamnar med trånga inlopp kan fartygstrafiken centralt övervakas och dirigeras och på flygplatsen är radar oundgänglig för kontroll av startande och landande plan. De piloter som under dålig sikt blivit »nedpratade» till landningsbanan av en lugn radioröst önskar sig säkert en landningsradar på varje flygplats. En landningsradar kallas ofta för GCA-anläggning efter uttrycket »Ground Control Approach» eller PAR efter »Precision Approach Radar». Med hjälp av en

liten bärvågsradar kan fortkörande bilar avslöjas och automatiskt fotograferas.<sup>1</sup>

Slutligen har radar funnit ökad användning inom meteorologin. Regnskurar ger mycket kraftiga radarreflexer och därför kan exempelvis en kallfront, som ju medför nederbörd, iakttagas på långt håll. På många platser i olika världsdelar har särskilda radarstationer s.k. »ovädersvarnare» uppsatts för att i god tid varsko om annalkande oväderscentra. Genom att släppa upp ballongburna radarreflektorer, som följes med radar, kan vindens rörelser på skilda höjdnivåer studeras.

### Olika radartyper

Beroende på modulationssättet kan man skilja mellan bärvågsradar, FM-radar och pulsradar. I den förstnämnda utsändes en kontinuerlig signal (CW) och vid jämförelse med den mottagna signalen kan rörliga mål upptäckas med hjälp av Dopplereffekten.

Om den utsända bärvågen frekvensmoduleras så att frekvensen linjärt ändras mellan två frekvensgränser (fig. 2) kan man bestämma avståndet till målet. När den reflekterade signalen återkommer till mottagaren har nämligen sändarens frekvens hunnit ändras något. Skillnaden i

<sup>1</sup> Se Radar sätter fast fartdärar. RADIO och TELEVISION, 1958, nr 9, s. 31.



Civilingenjör Gerhard Embring är sedan 1958 verksam som lektor i el-lära och teleteknik vid Högre tekniska läroverket i Stockholm.

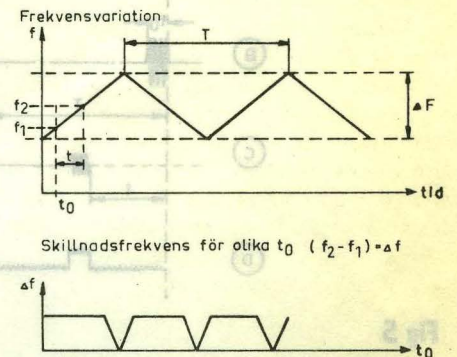


Fig 2

Frekvensvariation i en FM-radar. Skillnadsfrekvensen  $\Delta f$  ger information om målavståndet  $A_l$ .  $A_l = cT\Delta f / 4\Delta F$ .

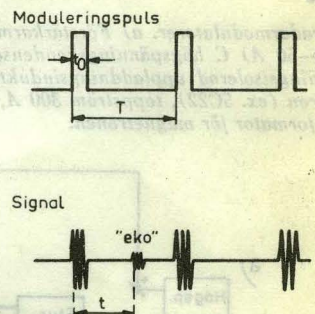
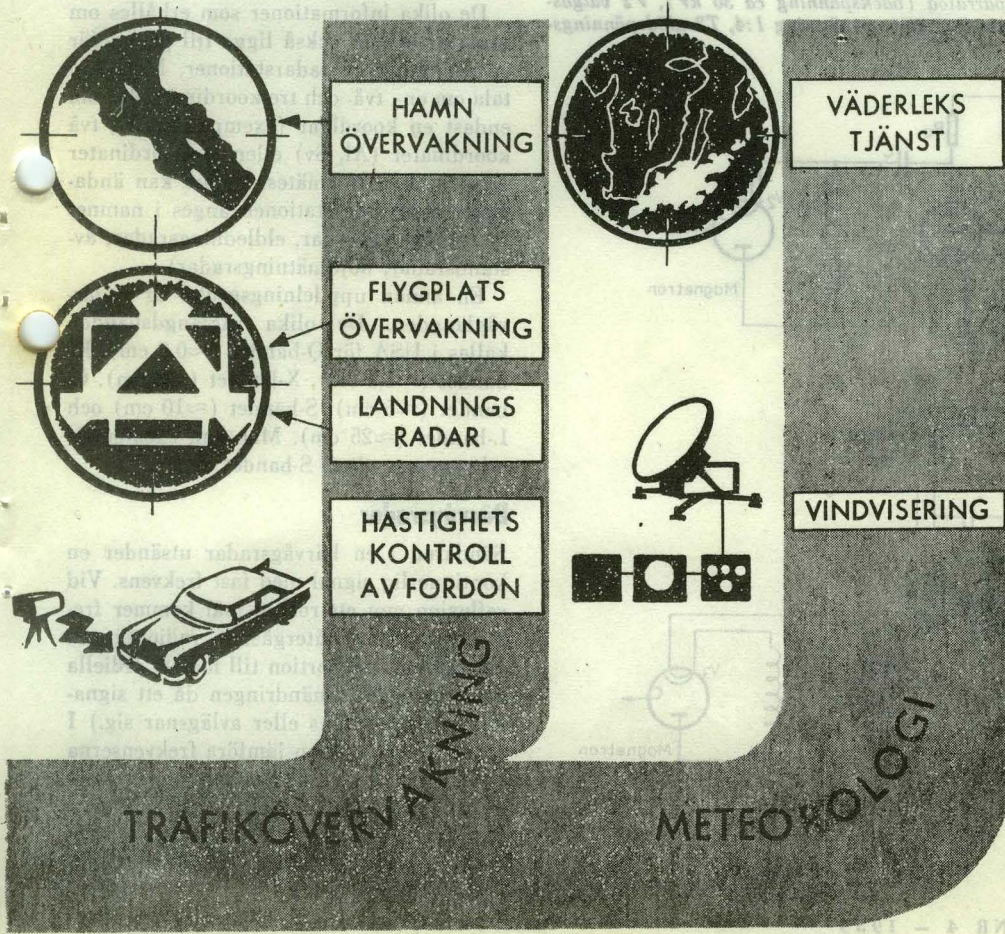


Fig 3

Principen för pulsradar. En signal som reflekterats från ett mål på avståndet  $A_l$  återkommer till antennen efter tiden  $t$  sek.  $A_l = ct/2$ , där  $c =$  utbredningshastigheten  $= 3 \cdot 10^8$  m/s.

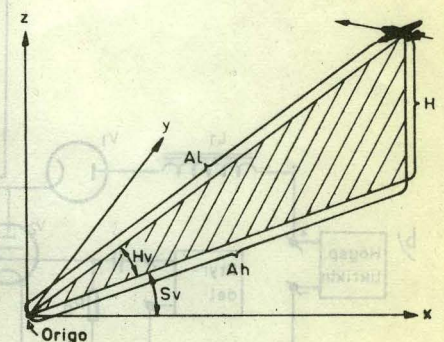
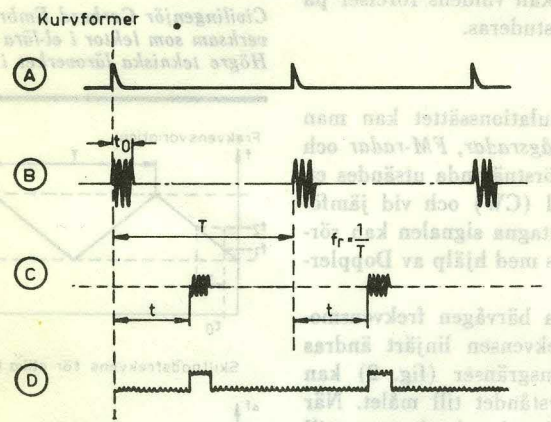
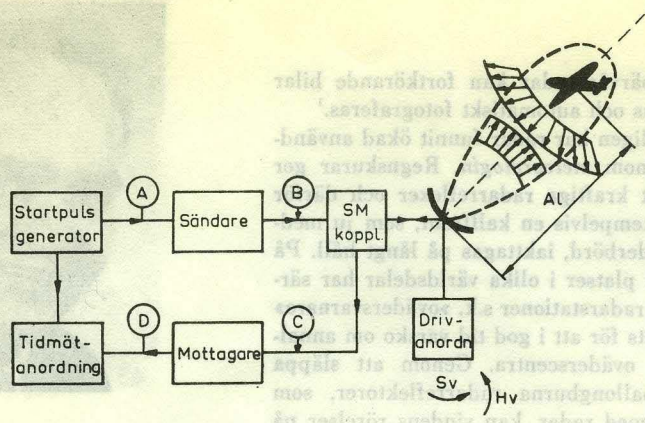


Fig 4

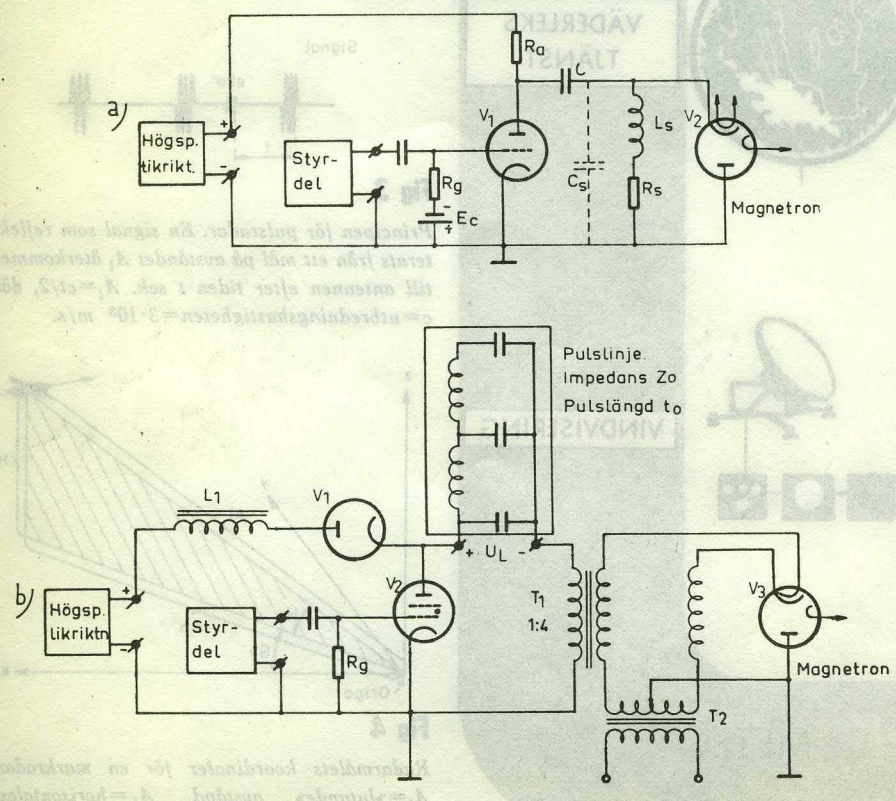
Radarmålets koordinater för en markradar.  $A_l =$  »lutande» avstånd,  $A_h =$  horisontalavstånd,  $H =$  målets höjd,  $S_v =$  sidvinkel,  $H_v =$  höjdvinkel.





**Fig 5**  
 Blockschema för pulsradar. Pulsernas upprepningsfrekvens  $f_r = 1/T$ . Tiden  $t$  för en ekosignal uppmättes. Avståndet till målet  $A_1$  är prop. mot  $t$ .  $A_1 = ct/2$ ;  $A_1$  (meter) =  $150 \cdot t(\mu s)$ .

**Fig 6**  
 Pulsradarmodulatorer. a) Förstärkarmodulator.  $V_1$  kan vara ett kraftigt sändarrör (toppstöm  $\approx 40-50$  A) C högspänningskondensator (vanligen oljefylld). L1 högspänningsisolerad uppladdningsinduktans,  $V_1$  spärrdiod (backspänning ca 30 kV),  $V_2$  vätgastyratron (ex. 5C22), toppström 300 A, T1 pulstransformator, omsättning 1:4, T2 glödspänningstransformator för magnetronen.



frekvens mellan utsänd och mottagen signal blir tydlig proportionell mot dubbla gångtiden till målet, dvs. mot målavståndet. Med en frekvensmodulerad radar (FM-radar) uppstår svårigheter då flera mål på olika avstånd förekommer.

I den vanligaste radartypen, *pulsradar* »nycklas» sändaren i mycket korta bärvågspulser med varaktigheten  $t_0$  (storleksordningen  $\mu s$ ) och upprepningsperioden  $T$  (några tusen  $\mu s$ ) se fig. 3. Genom att uppmäta tiden  $t$  innan ett »eko» återkommer kan avståndet till ifrågakvarande föremål bestämmas. En pulsradar ger i första hand information om målavståndet men kan givetvis kompletteras så att målhastigheten erhålles enligt Doppler-principen.

Ett radarmål karakteriseras i första hand av sitt läge, som för en markradar vanligen anges i polära koordinater, nämligen sidvinkel (Sv), höjdvinkel (Hv) och lutande avstånd (Al) (fig. 4). Ur dessa kan sekundära storheter som horisontalavstånd

**Vad betyder "radar"?**

Förkortningen RADAR, som kommer av det engelska uttrycket *R*ADIo *D*etectio*n* *A*nd *R*ang*ing*, har numera vunnit sådant burskap även i svenska språket, att man inte utan vidare kan slopa uttrycket. På svenska kan radar betraktas som förkortning av *R*ADio — *A*vstånd — *R*iktning eller *R*ADio — *D*etektering — *A*vstånd — *R*iktning.

(Ah) och höjd (H) bestämmas. För rörliga mål tillkommer dessutom de sekundära storheterna kurs och fart, som kan beräknas ur upprepade lägesbestämningar.

De olika informationer som erhålles om radarmålet kan också ligga till grund för en indelning av radarstationer. Man kan tala om en-, två- och tre-koordinatradar om endast en koordinat (exempelvis Al), två koordinater (Al, Sv) eller tre koordinater (Al, Sv, Hv) uppmättes. Vidare kan ändamålet med radarstationen anges i namnet (t.ex. spaningsradar, eldledningsradar, avståndsradar, höjdmättningsradar).

En annan uppdelningsgrund är radarvåglängden. De olika våglängdsbanden kallas i USA för Q-bandet ( $\approx 0,8$  cm), K-bandet ( $\approx 1,3$  cm), X-bandet ( $\approx 3$  cm), C-bandet ( $\approx 6$  cm), S-bandet ( $\approx 10$  cm) och L-bandet ( $\approx 25$  cm). Man kan exempelvis tala om en radar i S-bandet osv.

**Bärvågslinjer**

Sändaren i en bärvågslinje utsänder en kontinuerlig signal med fast frekvens. Vid reflexion mot ett rörligt mål kommer frekvensen hos de återgående radiovågorna att ändras i proportion till målets radiella hastighet. (Jfr tonändringen då ett signalerande tåg nalkas eller avlägsnar sig.) I mottagaren kan man jämföra frekvenserna hos den utsända och den mottagna signalen (frekvensblandning). Den skillnadsfrekvens som erhålles kallas Doppler-frekvensen och är ett mått på målets radial-



hastighet. Om denna radialhastighet betecknas med  $v$ , sändarfrekvensen med  $f_s$  och den mottagna frekvensen med  $f_m$  erhålles

$$f_m - f_s = 2v f_s / (c - v)$$

där  $c$  är radiovågornas utbredningshastighet ( $\approx 3 \cdot 10^8$  m/sek.). Eftersom  $v \ll c$  kan sambandet skrivas

$$f_m - f_s = \Delta f \approx 2v f_s / c$$

Dopplerfrekvensen  $\Delta f$  kan exempelvis göras hörbar eller indikeras på annat sätt. Uppenbarligen erhålles här ingen information om målets avstånd.

Denna princip kommer till användning i polisens radar för hastighetskontroll, där man endast intresserar sig för målets hastighet och där räckvidden begränsas så att endast reflexer från närbelägna föremål kommer med.

### Vad är X-bandsradar?

I USA har man infört olika beteckningar för våglängdsbanden för radar. Följande beteckningar — som i viss utsträckning även tagits upp här i landet — användes:

Q-bandet,	våglängd ca	0,8 cm
K-bandet,	»	» 1,3 »
X-bandet,	»	» 3 »
C-bandet,	»	» 6 »
S-bandet,	»	» 10 »
L-bandet,	»	» 25 »

En X-bandsradar är alltså en radaranläggning som är avsedd att arbeta vid våglängder omkring 3 cm.

### FM-radar

Frekvensen i FM-radarnas sändare antas variera enligt kurvan i fig. 2. En signal utsänd vid tiden  $t_0$  har frekvensen  $f_1$  och den reflekterade signalen, som ju har samma frekvens om målet är stillastående, återkommer efter tiden  $t$  sek. Då har sändarfrekvensen hunnit ändra sig till  $f_2$  och skillnaden i frekvens mellan utsänd och mottagen signal är  $\Delta f = f_2 - f_1$ . Betecknas periodtiden med  $T$  och totala frekvenssvinget är  $\Delta F$  erhålles frekvensändringen per tidsenhet

$$d_f/d_t = 2 \cdot \Delta F / T$$

Den nyss erhållna skillnadsfrekvensen  $\Delta f$  svarar mot tiden  $t = T \cdot \Delta f / 2 \cdot \Delta F$ .

Eftersom  $t$  är dubbla gångtiden till målet är avståndet  $A_t = c \cdot t / 2$  ( $c =$  utbredningshastigheten). Detta ger

$$A_t = c T \Delta f / 4 \Delta F$$

Målets avstånd är således proportionellt mot skillnadsfrekvensen  $\Delta f$ .

Som framgår av fig. 2 blir skillnadsfrekvensen noll för signal som utsändes vissa tidsögonblick men ju mindre mätiden  $t$  är i förhållande till perioden  $T$  desto mindre blir dessa »hack» i frekvensskillnadskurvan. Den erhållna frekvensskillnaden kan indikeras på ett visarinstrument, som kan vara kalibrerat så att skalan direkt visar avståndet.

På grund av svårigheter att sortera ut skillnadsfrekvenserna då flera mål på olika avstånd förekommer och genom att mät-

noggrannheten är störst på relativt korta avstånd användes metoden mest till höjdmätare i flygplan, där den underliggande marken är det enda (och stora) målet. Frekvenser på 300—600 MHz förekommer i radarhöjdmätare (altimeter).

### Pulsradar

Eftersom den vanligaste radartypen är pulsradar skall denna typ ägnas det största utrymmet i fortsättningen. Ett enkelt blockschema för en pulsradar visas i fig. 5. Startpulsgeneratorn styr hela förloppet och bestämmer pulsrepetitionsfrekvensen  $f_r = 1/T$  (kurvform A). Ett normalt värde på  $f_r$  är 1000 Hz ( $T = 1000 \mu s$ ). I sändarens modulator alstras en nycklingspuls som startar sändarröret.

Röret avger högfrekvenssvängningar med pulslängden  $t_0$  (normalt värde  $t_0 = 1 \mu s$ , kurvform B). Högfrekvenssvängningarna, som normalt har en topp effekt av flera 100 kW, ledes via en transmissionsledning (vågledare, koaxialledare) till antennen. En SM-kopplare (sändar-mottagarkopplare) ser till att den effekt som läcker in i den känsliga mottagaren begränsas till för mottagaren oskadlig nivå.

Antennen fungerar som en strålkastare och formar radarstrålningen till en koncentrerad strålningslob. Finnes ett reflekterande föremål i strålningsloben återkastas en del av den infallande strålningen. En bråkdel av den reflekterade effekten når antennen och SM-omkopplaren fungerar nu så att största möjliga del av den svaga ekosignalen når mottagaren (kurvform C). Eko-signalen förstärks och likriktas (detekteras) så att en videopuls (kurvform D) erhålles.

Video-signalen matas in i en tidmätanordning där tiden  $t$  uppmätes och presenteras som målavståndet  $A_t$ . Tidmätanordningen synkroniseras av startpulsgeneratorn. Ofta utgöres tidmätanordningen av ett katodstrålerör, som samtidigt fungerar som radarindikator. Eftersom antennen är rörlig i sid- och höjddel kan en grov uppskattning av målets sidvinkel (Sv) och

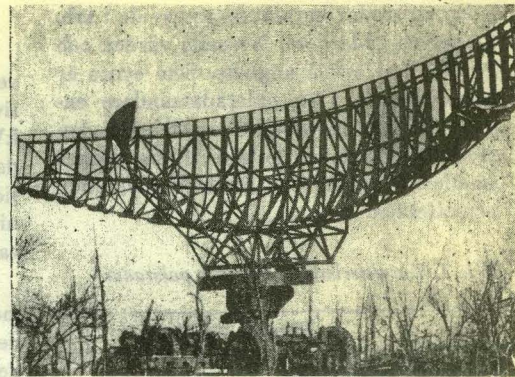


Fig 7

Spanningsantenn för luftmål. Primärstrålaren är ett vågledarhorn. Reflektorn är en del av en paraboloid och den utsända strålningsloben är skivformad (en skivlob) dvs. är smal i sidvinkelled men täcker ett stort höjdvinkelområde.

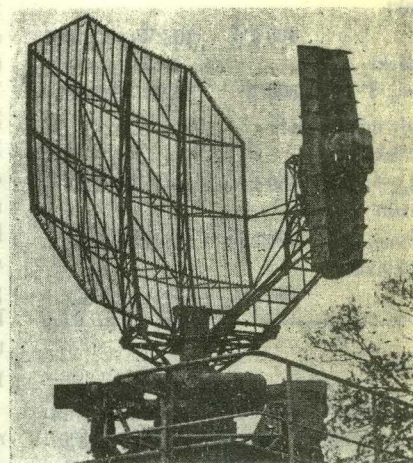


Fig 8

Antenn för höjdvinkelbestämning. Antennen ger smal stråle i höjdvinkelled och relativt bred stråle i sidvinkelled. Reflektorn pendlar i höjdvinkelled och anordningen kallas »hickande antenn».

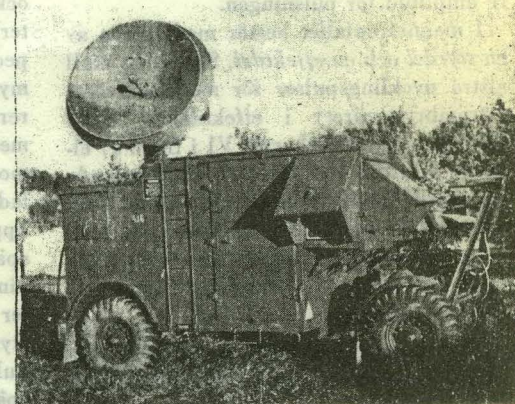
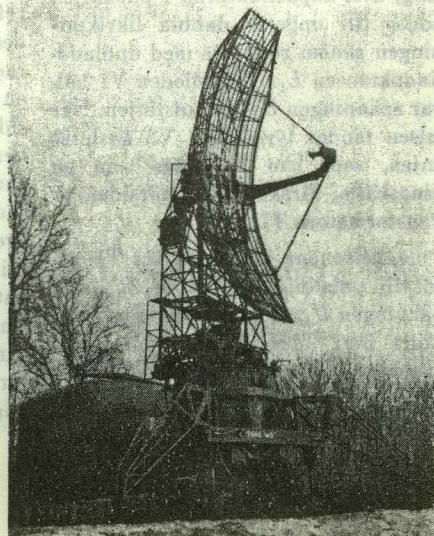


Fig 9

Eldledningsradar. Antennen är här »strålkastarformad» med parabolisk reflektor och ger en »cigarroll» med några graders lobvinkel.

Fig 10

Antenn för snabb  $H_v$ -avsökning under  $S_v$ -rotation. (Trekoordinatspanning.) En smal cigarroll pendlar snabbt i höjdvinkelled under antennens sidvinkelrotation. Man erhåller samtidigt och från en enda antenn information om alla tre målkoordinaterna ( $A_t, S_v, H_v$ ).





höjdvinkel (Hv) erhållas genom pejling på maximal ekoamplitud.

En pulsradar karakteriseras av de i tab. 1 angivna radardata. Normala värden och gränser har också angivits. Som synes är medeleffekten i en pulsradersändare endast omkring en tusendel av effekten i den mycket korta sändarpulsen. Oftast uppges emellertid enbart den mera imponerande pulseffekten.

Tab. 1. Karakteristiska data för pulsradar.

	Normalt	Gränser
Pulsrepetitionsfrekvens		
$f_r = 1/T$	1000 Hz	100 Hz—10 kHz
Periodtid		
$T$	1000 $\mu$ s	10 ms—100 $\mu$ s
Puls längd		
$t_0$	1 $\mu$ s	0,1—10 $\mu$ s
Pulsförhållande		
$t_0/T$	0,001	
Pulseffekt		
$P$	500 kW	10 kW—10 MW
Medeleffekt		
$P_m = t_0/T \cdot P$	500 W	10 W—10 kW
Maximalt mätavstånd:		
Teoretiskt		
$A_{1, max} = c \cdot T/2$	150 km	15—1500 km
Praktiskt		
$\approx 0,8 A_{1, max}$	120 km	12—1200 km
Radarvåglängd		
$\lambda$	10 cm	$\approx 1$ cm—1 m

## Sändaren

Som sändarrör i pulsradar användes vanligen magnetroner. Man kan också använda effektriöder, effektklystroner eller vandringsvågrrör. För att »nyckla» en magnetron eller en effektriöd krävs spänningpulser med en amplitud av ibland flera tiotal kV. En klystron eller ett vandringsvågrrör som efterföljs av högfrekvensförstärkning kräver däremot betydligt lägre amplitud för pulsen.

I magnetronfallet består modulatorens av en styrdel och en effektdel. Styrdelen skall alstra nycklingspulser för modulorröret (strömbrytarröret) i effektdelen. Detta kan vara ett förstärkarrör V1 i fig. 6 a) eller en tyratron V2 i fig. 6 b) och beroende på effektdelens utformning kallas hela modulatorens förstärkarmodulator (fig. 6 a) eller pulslinjemodulator (fig. 6 b). Följande principer för styrdelens uppbyggnad må nämnas:

- 1) Styrdelen kan bestå av en sinusoscillator med efterföljande förstärkning till överstyrning, differentiering och klippning.
- 2) Pulsrepetitionsfrekvensen kan alstras i en multivibrator vars pulser differentieras och tillföres en styrepulsstrande monostabil vippa.
- 3) En själv-stryppande oscillator (blockeringsoscillator) kan åstadkomma puls-

repetitionsfrekvenser, varefter styrepulsarna kan formas i en annan självstryppande oscillator.

I förstärkarmodulatorens (fig. 6 a) kräves även på modulorrörets galler en relativt stor pulsamplitud (storleksordning kV) och pulslängden  $t_0$  bestäms här redan i styrdelen. Pulsformningen (periodtiden  $T$  och pulslängden  $t_0$ ) sker på låg nivå, varefter förstärkning sker i flera, vanligen pulstransformatorkopplade, steg.

Tyratronen kräver endast en startpuls med tämligen liten amplitud och pulslängden bestäms helt av pulslinjen i effektdelen (fig. 6 b). Styrdelen blir här mycket enklare.

Beträffande effektdelen kan den i förstärkarmodulatorens betraktas som ett kondensatorkopplat förstärkarsteg (fig. 6 a). I tidsmellanrummet mellan pulserna är modulorröret V1 strypt och kondensatorn C uppladdas från högspänningslikriktaren via  $L_s$  och  $R_s$ . När styrepulsen driver galleret i V1 positivt kortslutes praktiskt taget V1 och spänningssänkningen på V1:s anod kopplas via C till magnetronens katod. Katoden blir kraftigt negativ i förhållande till den jordade anoden och C driver en kraftig ström genom magnetronen som då svänger. Eftersom  $t_0$  är liten hinner ej C urladdas nämnvärt under pulsen. Vid pulsens slut stryps ånyo V1 och potentialen på V1:s anod och magnetronkatoden återgår till viloläget. Kondensatorns laddningsförlust ersättes och förloppet upprepas.

I pulslinjemodulatorens (fig. 6 b) alstras modulorpulsen i en s.k. pulslinje. En pulslinje är ett fördröjningsnät av spolar och kondensatorer som efterliknar en transmissionsledning. Den kallas ibland för konstledning eller fördröjningsledning och motsvarar en verklig ledning av 10—1000 meters längd vad beträffar gångtiden för en spänningssändning. Pulslinjen får också en impedans som motsvarar den efterliknade ledningens karakteristiska impedans. Spänningen på pulslinjen är ofta mycket hög och spolarna och kondensatorerna inneslutes i ett oljefyllt plåthölje med högspänningsgenomföringar. I denna modulortyp utnyttjas man resonansuppladdning, dvs. kapacitanserna i pulslinjen uppladdas till ungefär dubbla likriktarspänningen genom resonans med uppladdningsinduktansen  $L_1$ . Spärrdioden V1 håller kvar spänningen  $U_L$  på pulslinjen. När styrepulsen tänder tyratronen V2 anslutes pulslinjen, som kan betraktas som en spänningsskälla, direkt till primärsidan av pulstransformatoren T1.

Är magnetronens impedans via T1 anpassad till pulslinjeimpedansen  $Z_0$  delar sig spänningen  $U_L$  så att spänningen  $U_L/2$  uppträder över T1:s primärlindning. Är omsättningen i T1 exempelvis 1:4 erhålles på magnetronkatoden den negativa spänningen  $4 \cdot U_L/2$ , dvs.  $2 U_L$ .

Exempel: Likriktarspänning 8 kV,  
 $U_L = 15$  kV, magnetronpuls=30 kV.

Spänningssänkningen på pulslinjens ingång fortplantas i LC-nätet, reflekteras och återkommer efter dubbla gångtiden ( $=t_0$ ) till ingången. Pulslinjen är då helt urladdad och tyratronen slocknar. Samtidigt återgår spänningen över T1:s primärsida till noll. Under ideala förhållanden har en perfekt rektangulär puls med varaktigheten  $t_0$  åstadkommits över magnetronen. Eftersom magnetronimpedansen ej är konstant erhålles ofta positiva översvängningar på magnetronkatoden. Dessa kan bortdämpas med en s.k. »backdiod» som lägges tvärs över magnetronen.

Beträffande sändarröret förekommer effektriöder för våglängder större än 10 cm och med pulseffekter upp till ca 100 kW. Magnetroner är den dominerande typen av sändarrör och förekommer för våglängder från 1 cm till 50 cm med effekter upp mot 5 à 10 MW ( $\lambda > 3$  cm). På grund av övriga mikrovågskomponenter är magnetronfrekvenserna koncentrerade till vissa band (våglängder omkring 1 cm, 3 cm, 6 cm, 10 cm, 25 cm och 50 cm).

I SM-omkopplaren utnyttjas transmissionsledningens egenskaper att en kortslutning uppträder som en oändlig impedans ett udda antal kvartsvåglängder från kortslutningsstället och som en kortslutning på jämna kvartsvåglängder. Genom gasfyllda kaviteter eller urladdningssträckor som joniseras och kortslutes av den höga sändareffekten ordnas passage till antennen respektive spärr till mottagaren för sändareffekten. Då kaviteterna eller urladdningssträckorna ej är joniserade (i pulsmellanrummet) ändras impedansförhållandena så att den svaga ekosignalen passerar till mottagaren men spärras till sändaren.

## Antenner

Radarantennen skall rikta strålningen på ett sätt som är lämpligt med hänsyn till användningen. Vanligen består antennen av en eller flera primärstrålare (dipoler, vågledarhorn eller slitsade vågledare) och en reflektor som är utförd som nät eller galler för att minska vindfånget. Ju större reflektorn är i förhållande till våglängden desto smalare blir strålknippen. En markradar för spaning mot luftmål t.ex. bör ha en strålningslob med liten utsträckning i sidvinkelled (god Sv-upplösning), som täcker ett stort höjdvinkelsområde (hela luftområdet avspanas vid rundsökning). En sådan antenreflektor blir således låg och bred. (Fig. 7.) För en höjdmätningradar blir förhållandena omvända, varför dess antenreflektor kommer att bli hög och smal. (Fig. 8.) En eldledningsradar har vanligen en antenn med parabolisk reflektor. I fig. 9 och 10 visas utseendet på några radarantenner av detta senare slag.



## Räckvidden

Om en radarantenn har den verkliga arean  $A$  är dess effektiva antennarea  $A_e = fA$  där  $f$  är ett tal mindre än 1 som beror av reflektorns och primärstrålarens utformning. Vanligen är  $f=0,6-0,8$ . Antennens maximala effektförstärkning  $G$  kan då skrivas som  $G=4\pi A_e/\lambda^2$  där  $\lambda$  är våglängden. Om sändareffekten är  $P$  blir effekten i strålningslobens maximiriktning  $P \cdot G$ . Effekttätheten vid ett mål på avståndet  $r$  blir då  $S_i = P \cdot G / 4\pi r^2$  (se fig. 11). Betecknas målets effektiva reflexionsarea med  $A_m$  träffas målet av effekten  $A_m S_i$ . Denna effekt antas spridas likformigt (isotropiskt) vid reflexion varför effekttätheten i mottagen strålning blir  $S_r = S_i A_m / 4\pi r^2$ . Den mottagna effekten blir följaktligen  $p = S_r \cdot A_e$  och genom insättning erhålles

$$p = P \cdot A_e^2 \cdot A_m / 4\pi r^4 \cdot \lambda^2$$

Om nu mottagarens känslighet är sådan att den minsta effekt som kan upptäckas

(indikeras) är  $p_{min}$  erhålles räckviddsgränsen  $r_{max}$  rör målarea  $A_m$  enligt:

$$r_{max} = \sqrt[4]{P \cdot A_e^2 \cdot A_m / p_{min} \cdot 4\pi \cdot \lambda^2}$$

Denna ekvation kallas radarekvationen och anger teoretiska räckviddsgränsen vid utbredning i fria rymden. Man ser att ur räckviddssynpunkt lönar det sig bättre att öka antennarean än sändareffekten. Eftersom en ökning av sändareffekten ganska kraftigt ökar radarstationens dimensioner bör man sträva efter största möjliga mottagarkänslighet. Målarea är ofta svår att uppskatta och varierar mellan ca 1 m<sup>2</sup> för ett litet jaktplan till ca 2000 m<sup>2</sup> för ett stort lastfartyg. Dessutom varierar styrkan hos den reflekterade signalen starkt med strålningens infallsriktning. I praktiken får man ofta experimentellt bestämma radarstationens räckviddsdiagram för en viss typ av mål.

## Mottagaren

Ur sambanden i föregående avsnitt beräknar vi den mottagna effekten i följande fall  $P=500 \text{ kW}=5 \cdot 10^5 \text{ W}$ ,  $G=10^3$ ,  $A_m=10 \text{ m}^2$ ,  $A_e=3,3 \text{ m}^2$ ,  $r=120 \text{ km}$ . Detta ger  $p=5 \cdot 10^{-13} \text{ W}$ . Förhållandet mellan utsänd och mottagen effekt blir tydligen  $P/p=5 \cdot 10^5 / 5 \cdot 10^{-13}=10^{18}$ , vilket är ett mycket stort tal. För att få en föreställning om hur stort detta tal är uttrycker vi avståndet mellan jorden och solen, som är ca  $150 \cdot 10^6 \text{ km}$  i tusendels mm ( $\mu$ ). Vi får då  $1,5 \cdot 10^{17} \mu$ , dvs. antalet  $\mu$  på den enorma sträckan mellan jorden och solen blir ett tal ungefär 7 ggr mindre än  $10^{18}$ . Av exemplet framgår att man inte får tillbaka särskilt stor del av den utsända effekten och att radarmottagaren tydligen måste vara mycket känslig!

Mottagaren i en radaranläggning är en superheterodyn med tämligen hög mellanfrekvens (30 eller 60 MHz är vanliga värden). Se fig. 12. För att kunna upptäcka

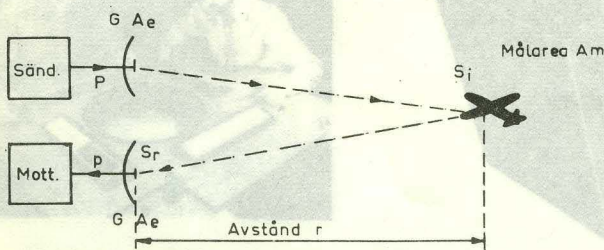
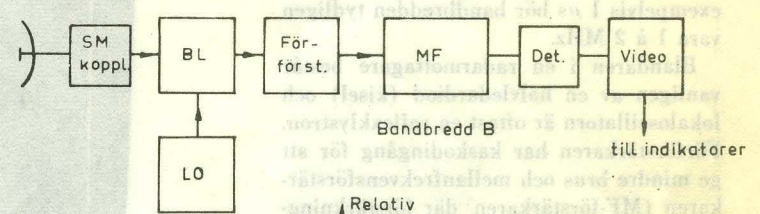


Fig 11

Utstrålad och mottagen effekt.

Fig 12

Radarmottagare. Lokaloscillatorn (Lo) är en reflexklystron och blandning sker över en halvledardiod. Mellanfrekvensen kan ligga mellan 10 och 100 MHz.



Bruseffekt  $\cdot k T_0 B = \text{konst.} \cdot B$

Signaleffekt  $\cdot f(B)$  för en given pulsbredd  $t_0$

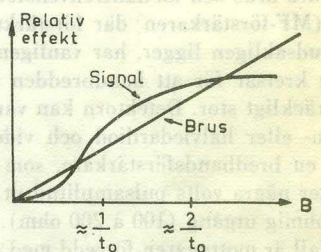
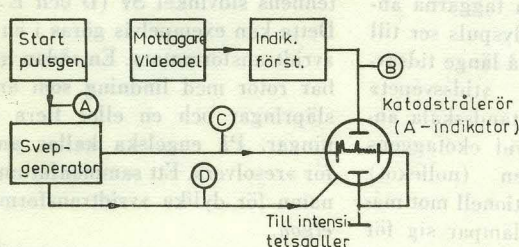
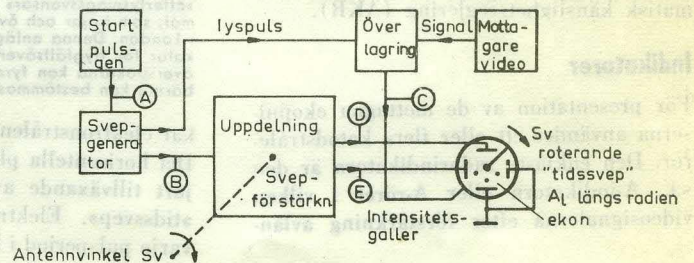


Fig 13

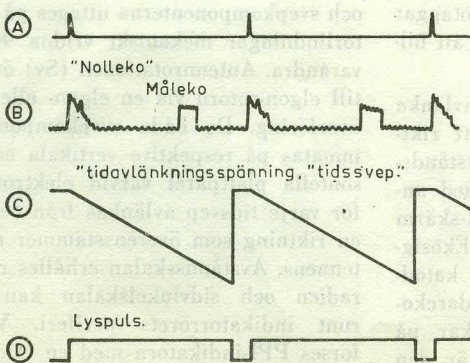
A-indikator. Tidavläknings-spänningen C ger en tids- eller avståndsskala i horisontell led. Målekon framträder som vertikala taggar över bruset (»gräset»).

Fig 14

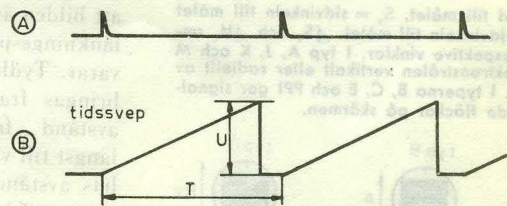
PPI-indikator. De båda tidavläknings-spänningarna D och E ger en avståndsskala längs radien. Målekon framträder som lysande fläckar eller prickar på bildskärmen.



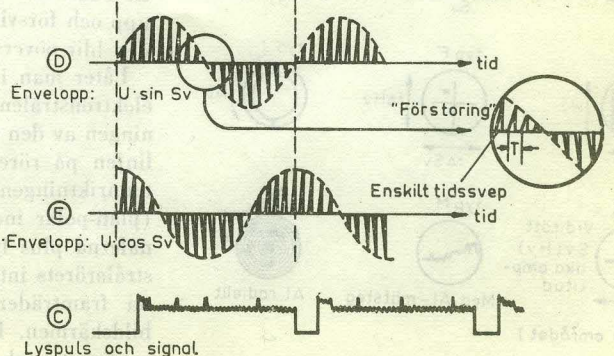
Kurvformer



Kurvformer



Obs! annan tidsskala Amplituden av tidssvepen beror av Sv





svaga ekon är förstärkningen så hög att det oöndvikliga bruset kommer med på utgången. Se fig. 5, kurvform D.

Mottagarens kvalitet anges med brusfaktorn  $F_b$ , som anger den verkliga brusnivån på ingången uttryckt i dB över den termiska anpassningsbruseffekten  $kT_0B$  där  $k$  är Boltzmanns konstant,  $T_0$  är absoluta temperaturen och  $B$  är mottagarens effektiva bandbredd. Egenbruset ökar således linjärt med mottagarens bandbredd  $B$  (råta linjen i diagrammet i fig. 12). För en mottagen följd av högfrequenspulser med konstant amplitud och med pulslängden  $t_0$  blir däremot signaleffekten i mottagaren inte någon linjär funktion av bandbredden  $B$  utan får ett krökt förlopp som antyts i fig. 12. Detta hänger samman med utseendet av frekvensspektrum för en följd av pulser (pulståg) med pulslängden  $t_0$ . Här räcker det att konstatera att optimal bandbredd för radarmottagaren ligger mellan  $1/t_0$  och  $2/t_0$ . Är pulslängden  $t_0$  exempelvis  $1 \mu s$  hör bandbredden tydligen vara 1 à 2 MHz.

Blandaren i en radarmottagare består vanligen av en halvledardiod (kisel) och lokaloscillatorn är oftast en reflexklystron. Förförstärkaren har kaskodingång för att ge mindre brus och mellanfrekvensförstärkaren (MF-förstärkaren) där förstärkningen huvudsakligen ligger, har vanligen sidstämsta kretsar för att bandbredden skall bli tillräckligt stor. Detektorn kan vara en vakuum- eller halvledardiod och videodelen är en bredbandsförstärkare, som vanligen ger några volts pulsamplitud ut över en lågohmig utgång (100 à 200 ohm). I de flesta fall är mottagaren försedd med automatisk frekvensreglering (AFR) och automatisk känslighetsreglering (AKR).

### Indikatorer

För presentation av de mottagna ekopulsarna användes ett eller flera katodstrålerör. Den enklaste radarindikatorn är den s.k. A-indikatorn eller A-röret i vilken videosignalerna efter förstärkning avlän-

Fig 16

$A_l$  = Avstånd till målet,  $S_v$  = sidvinkeln till målet och  $H_v$  = höjdvinkeln till målet.  $\Delta S_v$  och  $\Delta H_v$  anger  $f_e$  i respektive vinklar. I typ A, J, K och M avlänkas elektronstrålen vertikalt eller radiellt av signalekono. I typerna B, C, E och PPI ger signalekono lysande fläckar på skärmen.

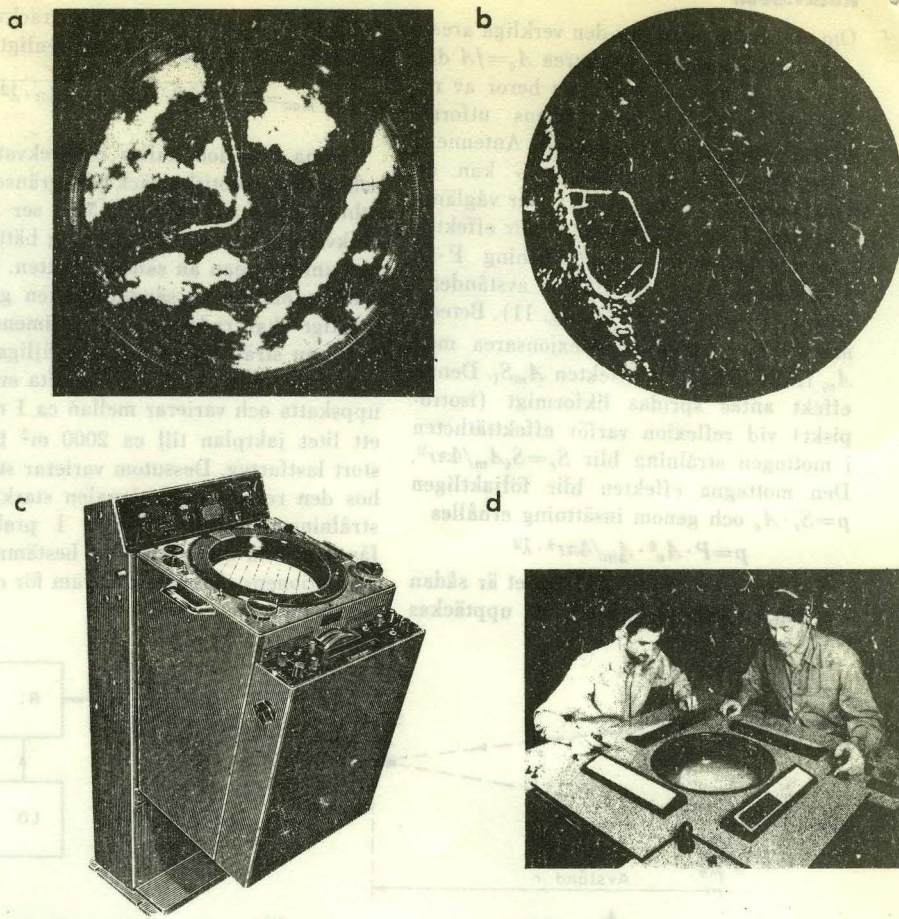
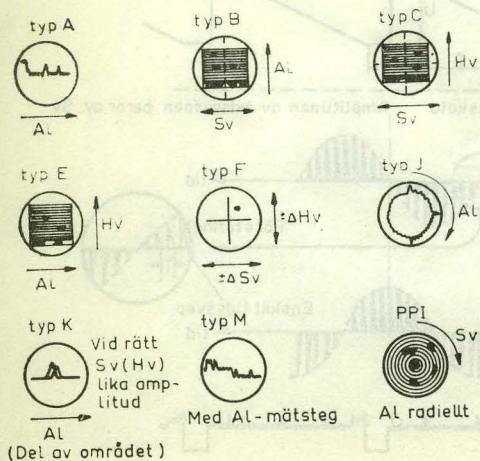


Fig 15

PPI-bilder. a) Inloppet till Härnösand vintertid i normal PPI-presentation. Den vita krokiga linjen är en uppbruten isränna där den skrovliga isen ger goda reflexer. Den fasta kärnsen återkastar däremot radarvågorna dåligt och ger mörka ytor på PPI-skärmen. Det egna fartygets position anges av fläcken i bildens centrum. Kustkonturer och omgivande fartyg rör sig över skärmen med »relativ» kurs och fart, vilket innebär att »efterlysningsvansarna» från andra fartyg ej anger karttrogen rörelseriktning. b) Rörelseriktig PPI-bild. Bilden är orienterad med norr uppåt. Kustremsan till vänster ligger still och det egna fartyget representeras av fläcken i nedre högra kanten. Denna rör sig över skärmen med riktig och karttrogen kurs och fart. Kursen markeras av den lysande linjen. Omgivande fartygs ekon ger »efterlysningsvansarna» som anger karttrogen rörelseriktning. Ekon som ej ger »vansar» är fasta föremål, som bojar och övervattenskår. c) Indikatorrenheten i radaranläggning TM909 från Decca Radar Ltd i London. Denna anläggning kan bl.a. ställas in som rörelseriktig PPI-bild enl. fig. 15 b. d) 15" PPI-indikator för flygfältsövervakning tillverkad av Marconi Wireless Telegraph Co Ltd i England. Med manöverkoparna kan fyra observatörer lägga in elektroniska mätmärken på skärmen, så att avstånd och bering kan bestämmas till flygplan i luften.

kar elektronstrålen i vertikal led (fig. 13). Det horisontella plattparet tillföres en linjärt tillväxande avlänkningsspänning, ett »tidssvep». Elektronstrålen »målar» för varje pulsperiod i horisontell led en taggig linje där de större vertikala taggarna anger närvaro av måleko. En lyspuls ser till att bilden är synlig endast så länge tidsavlänkningsspänningen eller »tidssvepet» varar. Tydligen kan en avståndsskala anbringas framför röret varvid ekotaggens avstånd från startpunkten (nollekot) längst till vänster är proportionell mot målets avstånd. A-indikatorn lämpar sig för ekoupptäckt och avståndsmätning men vid en rundsökande antenn dyker ekotaggarna upp och försvinner i så snabb takt att bilden blir oöverskådlig.

Låter man istället »tidssvepet» avlänka elektronstrålen i radiell led så att riktningen av den radiella tids- eller avståndslinjen på röret överensstämmer med antenntriktningen erhålles en PPI-skärm (plan-polar indikator) se fig. 14. Ekosignalerna plus lyspulsens inmatas på katodstrålerörets intensitetsgaller och radarekono framträder som lysande fläckar på bildskärmen. Denna indikator typ är den vanligaste och ger en kartbild av omgivningen.

I fig. 14 visas principen för en PPI med elektrostatisk avlänkning. Tidssvepen (B) med amplituden  $U$  volt uppdelas i två komponenter, vars amplituder göres proportionella mot sinus- resp. cosinus för antennens sidvinkel  $S_v$  (D och E i fig. 14). Detta kan exempelvis göras i en roterande »vridtransformator». En sådan har en vridbar rotor med lindning som anslutes via släpningar och en eller flera statorlindningar. På engelska kallas anordningen för »resolver». Ett sammanfattande svenskt namn för dylika »vridtransformatorer» är *elgon*.

Tidssvepet inmatas på rotorlindningen och svepkomponenterna uttages på två statorlindningar mekaniskt vridna  $90^\circ$  från varandra. Antennrotationen ( $S_v$ ) överföres till elgon-rotorn via en elgon- eller servoöverföring. De båda svepkomponenterna inmatas på respektive vertikala och horisontella plattparet varvid elektronstrålen för varje tidsvep avlänkas från centrum i en riktning som överensstämmer med antennens. Avståndsskalan erhålles nu längs radien och sidvinkelskalan kan läggas runt indikatorrörets periferi. Vanligen förses PPI-indikatorn med en vridbar genomskinlig skiva framför bildskärmen med en eller flera inritade radier med av-



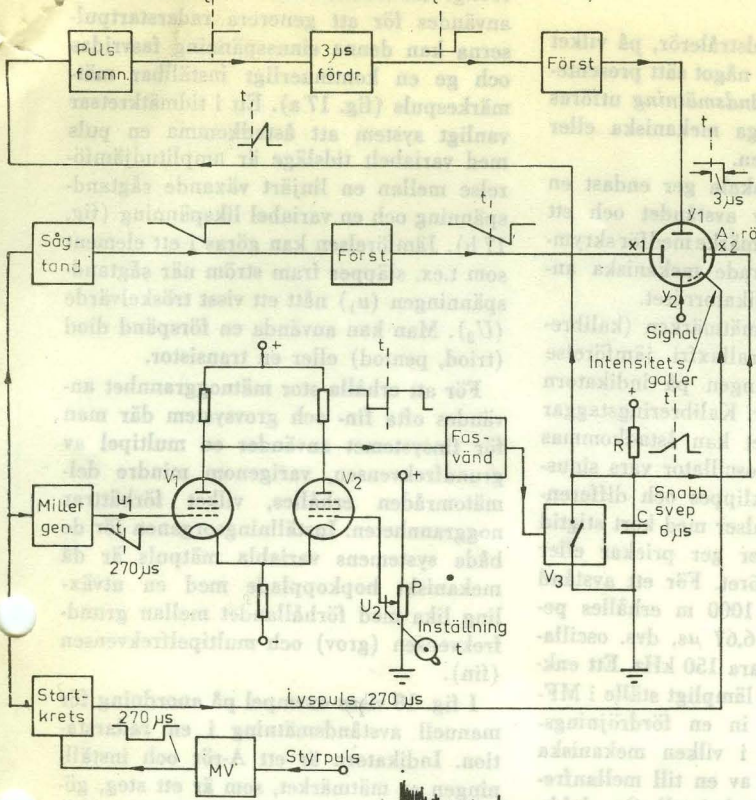


Fig 18

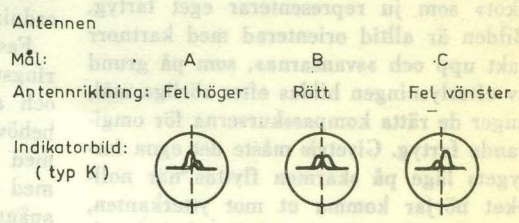
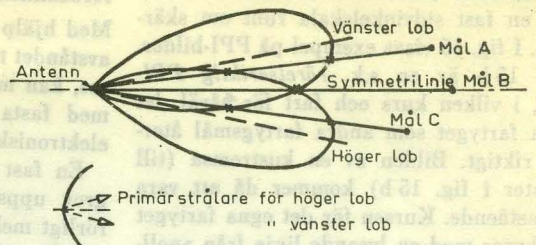


Fig 21

Fig 18 Exempel på avståndsmätanordning i radarstation. Längst ned visas utseendet av »tidssvepet» på A-röret. Mätmärket i form av ett »steg» är rätt inställt på ett måleko. Stegets läge inställs med avståndspotentiometern P (likspänningen  $U_2$  jämföres med såg-tandspänningen  $u_1$ ). Med ett särskilt »snabbsväp» expanderas området omkring mätmärket, vilket underlättar inställningen.

Fig 19 Automatisk avståndsföljning, elektronisk servoslinga. Det rörliga mätmärket omformas till en tidig och en sen grindpuls, som i tur och ordning »öppnar» var sitt »grindrör». Ekosignalen kopplas till båda grindrörrens bromsgaller och om signalen ligger fel i förhållande till grindpulserna erhålles en fespänning, som flyttar mätmärket rätt.

Fig 20 Automatisk avståndsföljning, elektromekanisk servoslinga. Här tillämpas samma princip som i fig. 19, men fespänningen driver ett servosystem, som ändrar avståndspotentiometerns läge. (Jfr fig. 18).

Fig 21 Sidvinkelpejling med lobväxling. Radarlobens riktning växlas mellan två lägen och signalstyrkorna i de båda lägena jämföres på en K-indikator. Vid lika amplitud ligger målet rätt i sida.

Fig 22 Automatisk vinkelföljning med lobrotation. En snedställd radarlob roterar och bildar en kon i rymden. Om ett mål ligger utanför konens symmetrilinje blir ekopulserna modulerade (A). Modulationsenvelopen (B) fasjämföres med två referensväxelspänningar (C och D) som har 90° fasskillnad. Därvid erhålles två fespänningar, som anger antennens vinkelfel i höjd och sida. Servosystemen vrider antennen rätt. Radarantennen följer automatiskt målet.

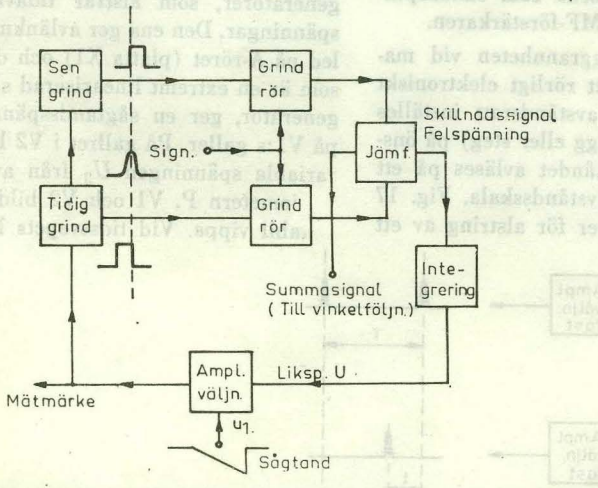
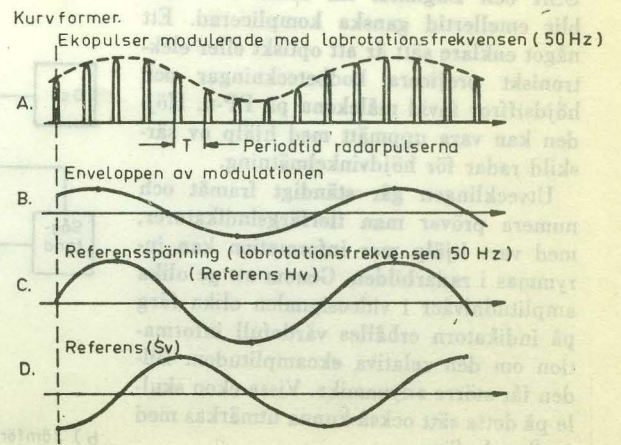
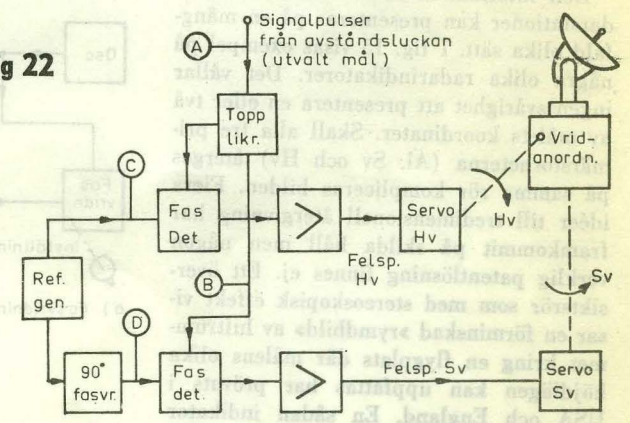


Fig 19

Fig 22



Kurv former.

Ekopulser modulerade med lobrotationsfrekvensen (50 Hz)

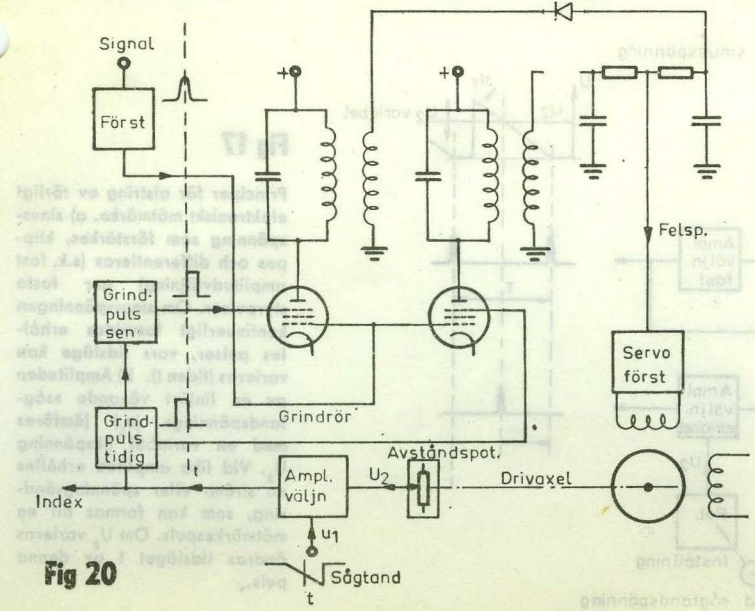
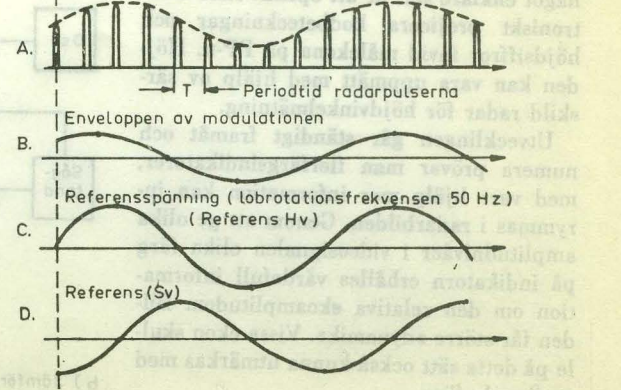


Fig 20



ståndsskalor (olika för olika mätområden) och en fast sidvinkelskala runt om skärmen. I fig. 15 visas exempel på PPI-bilder. Fig. 15 b är en s.k. rörelseriktig PPI-bild, i vilken kurs och fart för såväl det egna fartyget som andra fartygsmål återges riktigt. Bilden av en kustremsa (till vänster i fig. 15 b) kommer då att vara stillastående. Kursen för det egna fartyget markeras med en lysande linje från »noll-ekot» som ju representerar eget fartyg. Bilden är alltid orienterad med kartnorr rakt upp och »svansarna», som på grund av efterlysningen bildas efter rörliga mål, anger de rätta kompasskurserna för omgivande fartyg. Givetvis måste det egna fartygets läge på skärmen flyttas när nollekot börjar komma ut mot ytterkanten, men detta kan göras med ett enkelt handgrepp och nollekot kan läggas var som helst på skärmen.

Den rörelseriktiga PPI-bilden åstadkommes genom att fartygets kompasskurs och fart manuellt eller automatiskt inmatas i indikatorn, på sådant sätt att tidssvepets startpunkt på skärmen rör sig skaltröget, oberoende av inställt mätområde.

Det säger sig självt att radarnavigeringen till sjöss underlättas högst avsevärt med en sådan indikator, och framför allt befrämjas säkerheten vid navigering i dålig sikt genom att omgivande fartygs manövrar omedelbart uppfattas utan tidsöndande »plotting».

Decca Radar Ltd., England, som ursprungligen introducerade den rörelseriktiga PPI-bilden (true motion presentation) har i sin senaste fartygsradarmodell TM 909, en 12" PPI-indikator, som kan användas dels på vanligt sätt och dels med rörelseriktig bild. (Fig. 15 b är hämtad ur en beskrivning av Decca TM 909).

Den information som erhålles från radarstationer kan presenteras på en mångfald olika sätt. I fig. 15 visas exempel på några olika radarindikatorer. Det vållar ingen svårighet att presentera en eller två av målets koordinater. Skall alla tre primärstorheterna (Al, Sv och Hv) återges på samma rör kompliceras bilden. Flera idéer till tredimensionell återgivning har framkommit på skilda håll men någon verklig patentrösning finnes ej. Ett översiktör som med stereoskopisk effekt visar en förminskad »rymdebild» av luftrummet kring en flygplats där målens olika höjdlägen kan uppfattas har prövats i USA och England. En sådan indikator blir emellertid ganska komplicerad. Ett något enklare sätt är att optiskt eller elektroniskt projicera kodbeteckningar och höjdsiffror invid målekona på PP-n. Höjden kan vara uppmätt med hjälp av särskild radar för höjdvinkelmätning.

Utvecklingen går ständigt framåt och numera prövar man flerfärgsindikatorer, med vars hjälp mer information kan inrymmas i radarbilden. Genom att ge olika amplitudnivåer i videosignalen olika färg på indikatorn erhålles värdefull information om den relativa ekoamplituden. Bilden får större »dynamik». Vissa ekon skulle på detta sätt också kunna utmärkas med avvikande färg.

## Avståndsmätning

Med hjälp av ett katodstrålerör, på vilket avståndet till ekona på något sätt presenteras, kan manuell avståndsmätning utföras med fasta eller rörliga mekaniska eller elektroniska mätmärken.

En fast mekanisk skala ger endast en grov uppskattning av avståndet och ett rörligt mekaniskt mätmarke medför skrymmande och komplicerade mekaniska anordningar framför indikatorröret.

Fasta elektroniska mätmärken (kalibreringstaggar) ger parallaxfri jämförelse och avståndsåtergivningen på indikatorn behöver ej vara linjär. Kalibreringstaggar med stor noggrannhet kan åstadkommas med en kristallstyrd oscillator vars sinus-spänning förstärks, klippes och differentieras så att smala pulser med kort stigtid erhålles. Dessa pulser ger prickar eller taggar på indikatorröret. För ett avstånd mellan taggarna av 1000 m erhålles periodtiden  $1000/150=6,67 \mu\text{s}$ , dvs. oscillatorfrekvensen skall vara 150 kHz. Ett enklare sätt är att på ett lämpligt ställe i MF-förstärkaren koppla in en fördröjningsstav av t.ex. kvarts i vilken mekaniska svängningar exiteras av en till mellanfrekvensen avstämd kvartskristall. Om dubbla gångtiden för de mekaniska svängningarna i kvartsstaven väljes lika med  $6,67 \mu\text{s}$  erhålles en följd av »kilometertaggarna» orsakade av upprepade reflexioner av den oundvikliga »nollpulsen» som sändarpulsen åstadkommer i MF-förstärkaren.

Den bästa mätoggrannheten vid manuell mätning ger ett rörligt elektroniskt mätmarke. Med en avståndsrratt inställes mätmärket (prick, tagg eller steg) på önskat måleko och avståndet avläses på ett räkneverk eller en avståndsskala. Fig. 17 visar ett par principer för alstring av ett

rörligt mätmarke. Om en sinusoscillator användes för att generera radarstartpulserna kan denna sinus-spänning fasvridas och ge en kontinuerligt inställbar mätmarkepuls (fig. 17 a). Ett i tidmätkretsar vanligt system att åstadkomma en puls med variabelt tidsläge är amplitudjämförelse mellan en linjärt växande sågtandspänning och en variabel likspänning (fig. 17 b). Jämförelsen kan göras i ett element som t.ex. släpper fram störm när sågtandspänningen ( $u_1$ ) nått ett visst tröskelvärde ( $U_2$ ). Man kan använda en förspänd diod (triöd, pentod) eller en transistor.

För att erhålla stor mätoggrannhet användes ofta fin- och grovsystem där man för finsystemet använder en multipel av grundfrekvensen, varigenom mindre delmätområden erhålles, vilket förbättrar noggrannheten. Inställningsorganen för de båda systemens variabla mätpulser är då mekaniskt hopkopplade med en utväxling lika med förhållandet mellan grundfrekvensen (grov) och multipelfrekvensen (fin).

I fig. 18 visas exempel på anordning för manuell avståndsmätning i en radarstation. Indikatorn är ett A-rör och inställningen av mätmärket, som är ett steg, göres med en precisionspotentiometer (P). Modulatorns styripulser startar en multivibrator (MV) som åstadkommer en 270  $\mu\text{s}$  ( $\approx 40 \text{ km}$ ) lång lyspuls på A-rörets intensitetsgaller. Samtidigt startar två sågtandgeneratorer, som alstrar tidavläknings-spänningar. Den ena ger avläkningsgen i X-led på A-röret (platta X1) och den andra, som är en extremt lineariserad s.k. Miller-generator, ger en sågtandspänning ( $u_1$ ) på V1:s galler. På gallret i V2 lägges den variabla spänningen  $U_2$  från avståndspotentiometern P. V1 och V2 bildar en s.k. stabil vippa. Vid tidssvepets början för

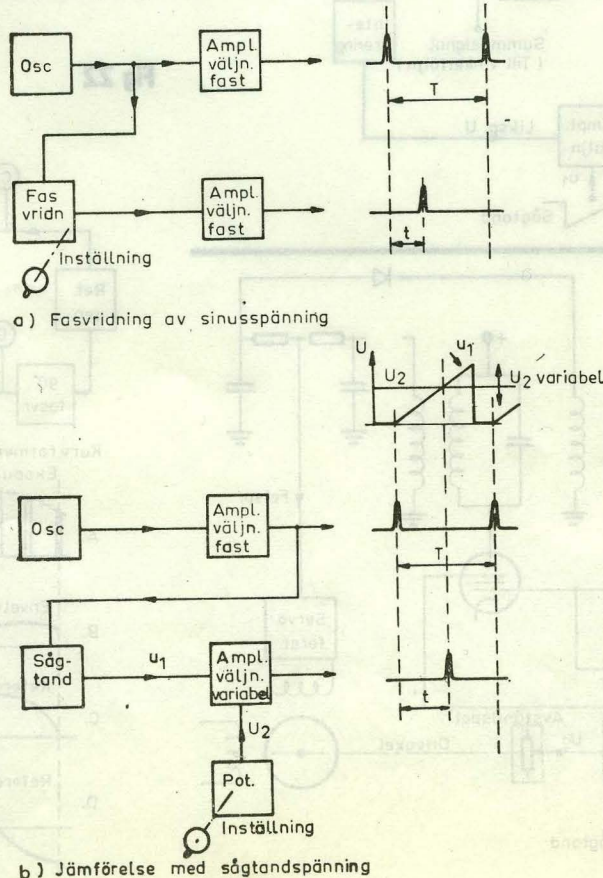


Fig 17

Principer för alstring av rörligt elektroniskt mätmarke. a) sinus-spänning som förstärkes, klippes och differentieras (s.k. fast amplitudväljning) ger fasta styripulser. Om sinus-spänningen kontinuerligt fasvridas erhålles pulser, vars tidsläge kan varieras (tiden t). b) Amplituden av en linjärt växande »sågtandspänning» ( $u_1$ ) jämföres med en variabel likspänning  $U_2$ . Vid lika amplitud erhålles en ström- eller spänningsändring, som kan formas till en mätmarkepuls. Om  $U_2$  varieras ändras tidsläget t av denna puls.



V1 ström medan V2 är strypt. Strömmen genom V1 minskar under tidssvepet och vid tidpunkten  $t$  övertar V2 strömmen och V1 stryps. Det positiva spänningssprånget på V1:s anod fasvändes och öppnar kortslutningsröret V3, varvid kondensatorn C börjar uppladdas och ett snabbt sågtandsvep med  $6 \mu\text{s}$  varaktighet erhålles. Detta tillföres avlänkningsplattan X2 på A-röret och en expanderad del svarande mot ca 1 km erhålles på A-rörets avståndssvep. Genom pulsformning och fördröjning  $3 \mu\text{s}$  erhålles ett negativt spänningssprånge som inmatas på platta Y1. Detta visar sig som ett stegformat mätvärde mitt i den expanderade delen av avståndssvepet. Ekosignalerna inmatas på platta Y2 och uppträder som uppåtgående »taggar». I figuren visas mätmärket korrekt placerat på en ekosignal. Den uppförstoring av bilden som erhålles omkring mätmärket underlättar inställningen. Den totala mätnoggrannheten är bättre än  $\pm 1 \%$ .

Vid följning av snabba mål blir den manuelle följningen alltför ojämn. I elddledningsradarstationer användes numera nästan uteslutande *automatisk avståndsföljning* som ger bättre resultat. Operatören utväljer och »fångar» målet och behöver sedan endast övervaka den automatiska följningen. Automatföljningen kan göras med en rent elektronisk servoslinga men ofta användes en elektromekanisk slinga eller båda typerna parallellt.

I fig. 19 visas ett blockschema för en elektronisk servoslinga. En variabel likspänning  $U_2$  jämföres med en sågtandspänning  $u_1$  (tidssvep) och ger ett mätvärde samt en tidig och sen grindpuls. Grindpulserna är rektangulära och har en pulslängd som vanligen är något större än halva radarpulslängden  $t_0$ . Den tidiga grindpulsens slutar samtidigt som den sena börjar. Ekosignalen matas in på bromsgallret i båda grindrören och grindpulserna på styrgallret. Om nu ekot ligger mitt i den avståndslucka som grindpulserna bildar erhålles lika stora pulser ut från grindrören. Därvid blir felsepänningen från jämföraren efter grindrören noll och mätmärket, som av operatören placerats på ekot, ligger still. Ändras målekots tidsläge blir pulserna från grindrören olika stora och en positiv eller negativ felsepänning erhålles. Likspänningen  $U_2$  ökar eller minskar och mätmärket och avståndsluckan förskjutes så att ekopulsen ånyo »halveras». Mätmärket följer på detta sätt automatiskt målekot och likspänningen  $U_2$  kan tas ut som avståndsinformation. Den elektromekaniska slingan i fig. 20 inkluderar ett tvåfasset som styres av felsepänningen från grindrörens jämförare. Servot ändrar läget på avståndspotentiometern så att mätmärkets och ekopulsens lägen sammanfaller. Vid automatisk avståndsföljning kan noggrannheter på  $\pm 0,5 \%$  erhållas.

### Rikttningsbestämning

Som tidigare nämnts ger en manuell pejling på maximal ekoamplitud endast en grov uppfattning om riktningen till målet.

Vid ytspaning mot exempelvis fartygsmål erhålles ett noggrannare sidvinkelvärde om strålningslobens sidvinkelriktning växlas mellan två lägen och signalstyrkorna för de båda loblägena jämföres på en indikator typ K. (Se fig. 21.) I K-indikatorn sidoförskjutes tidssvepet av en positiv eller negativ fast avlänkningspänning som inmatas på horisontella plattorna i takt med lobväxlingen. En operatör kan på detta sätt följa målet *manuellt* i sidvinkelled. Endast ett i avståndsled utvalt och av en annan operatör följt mål presenteras lämpligen i K-indikatorn.

Vid vinkelföljning i såväl Sv som Hv läter man en snedställd strålningslob rotera så att en strålningskon bildas i rymden. Om den ena av de i fig. 21 utritade loberna bringas att rotera kring symmetrilinjen (antenn-mål B) erhålles en sådan strålningskon. Signalstyrkorna i de fyra lobe-positionerna upp — ner — vänster — höger kan då parvis jämföras så att felet i Hv resp. Sv indikeras på exempelvis två K-indikatorer. Manuell följning i Hv och Sv med hjälp av lobrotation har tidigare använts i elddledningsradarstationer, men vid följning av snabba flygplan och robotar blir metoden oanvändbar.

I moderna elddledningsradarstationer användes uteslutande *automatisk vinkelföljning* vanligen med hjälp av lobrotation. Ekopulserna från ett i avståndsled utvalt och automatiskt följt mål kan uttagas från grindrörens jämförare (se fig. 19) och användas till vinkelföljningen. Om nämligen målet ligger vid sidan om lobrotationskonens symmetrilinje varierar tydligen signalstyrkan och ekopulserna blir modulerade med lobrotationsfrekvensen. (Kurvform A fig. 22.) Denna frekvens kan ligga mellan 20 och 200 Hz och blir  $\approx 50$  Hz om motorn, som driver den excentriskt placerade primärstrålaren runt, är nätan-sluten (50 Hz). Modulationsdjupet anger storleken av vinkelfelet och modulationsenveloppens fasläge ger information om målets läge om fasläget av lobrotationsmotorns drivspänning väljes som referens. I fig. 22 antas lobrotationsmotorn vara nätan-sluten (50 Hz) och nätspänningen är alltså referensspänning. Om ekopulsernas modulationsenvelopp (kurvform B) fasjämföres dels med referensspänningen (C) och dels med samma spänning fasvriden  $90^\circ$  (D) erhålles två felsepänningar, som till storlek och tecken anger felet i Hv resp. Sv. Felsepänningarna påverkar servosystem som vrider antennen rätt. På detta sätt kan ett i avståndsled »påhakat» mål automatiskt följas i vinkelled förutsatt att signalstyrkan är tillräcklig.

Vid fädning eller annan signalstyrkevariation kan ekot försvinna så att radarstationen »tappar» målet. Detta kan förhindras med minneskretsar som upprätthålla hastigheten i servosystemen (A1, Sv och Hv) några sekunder. Följningen fortsätter då automatiskt när ekot dyker upp igen.

Ett modernare system för automatföljning är den s.k. monopolstekniken, där information om fel i avstånd, sidvinkel och höjdvinkel erhålles för varje utsänd pulsa-

(Jfr fig. 7, sid. 35 RT nr 1/59.) En monopulsradar har fyra primärstrålare i en parabolisk reflektor. Vid sändning samverkar alla primärstrålarna så att en enda sändningslob erhålles. Den reflekterade signalen från ett mål mottages i de fyra primärstrålarna (vanligen fyra horn) varvid fyra separata mikrovågssignaler (A, B, C och D) erhålles. Dessa kan kombineras i delningsknutar så att skillnadssignalerna  $(A+C)-(B+D)$  som ger sidvinkelfel och  $(A+B)-(C+D)$  som ger höjdvinkelfel erhålles i två vägledare. I en tredje vägledare kan signalernas summa  $(A+B+C+D)$  uttagas. Efter blandning i tre blandare erhålles tre MF-signaler, av vilka summasignalen användes till avståndsföljning. De båda skillnadssignalerna fasdetekteras och ger felsepänningar i sida och höjd. Dessa felsepänningar styr sedan i vanlig ordning antennens servosystem.

Vid automatisk vinkelföljning erhålles en noggrannhet av  $\pm 1$  à 2 streck.

### Radar har sin begränsning!

Av tidigare avsnitt framgår att radar med framgång kan användas på mångahanda sätt. Man får dock inte blunda för de ofullkomligheter som alltid finnes i komplicerade tekniska system. Här skall blott beröras några begränsningar i användningsmöjligheterna.

Vid luftspaning erhålles »kryphål» i låga elevationsvinklar på grund av jordytans krökning eller genom att närliggande höjdparter skymmer (maskerar) bakomliggande föremål. Vidare erhålles, särskilt vid längre våglängder på grund av interferens genom mark- eller sjöreflexion, en uppsplittring av strålningsdiagrammet så att blinda höjdvinkelsektorer erhålles. Å andra sidan ger just markreflexion vid långvågsradar *större* räckvidd ( $\approx 2$  ggr) mellan de blinda sektorerna än fria rymdräckvidden. Vid mikrovågsradar blir »uppspansningen» av mindre betydelse och berör endast nederkanten av loben.

I en elddledningsradar kan inte lobbred- den minskas hur mycket som helst. Detta innebär att upplösningsförmågan blir begränsad. Två närbelägna mål flyter lätt ihop, en tät flygformation uppfattas lätt som ett enda flygplan. Genom målets rörelser, variationer i reflexionsarean, fädning och genom att ekosignalen är överlagrad med brus kan följningen i avstånd och vinklar bli »ryckig» om man på grund av snabbhetskrav ej kan ha utjämnande filter i felsepänningskanalerna. Problemet kräver samordning mellan byggbitarna i hela vapensystemet (radar — räkneinstrument — vapen). En annan begränsning vid elddledningsradar är svårigheten att följa mål på små avstånd och låga elevationsvinklar på grund av markreflexion.

I samband med navigering och trafikövervakning har man ibland obehag av sjöreflexer, dvs. relativt kraftiga ekon från sjöhävningen. Dessa sammanhängande ekoparter kan skymma ekon från närbelägna föremål (bojar, båtar). Med hjälp av differentiering och s.k. närekodämpare (tidsstyrd automatisk förstärkningsreglering) kan förhållandena förbättras. I en



fartygsradar kan master och skorstenar ge blinda sektorer och ibland genom reflexion »falska» ekon. Allmänt gäller att bilober till radarstrålen vilka reflekteras mot stora mål kan ge falska ekon. I en väderadar väljer man våglängder på 3 eller 6 cm, så att nederbörd ger goda reflexer. I radarstationer för andra ändamål vill man helst slippa den störning som ett kraftigt regn eller snöfall utgör i bilden. Tyvärr har man vid våglängder under ca 20 cm svårt att komma ifrån dämpning och reflexer av nederbörd. En viss förbättring erhålles dock om cirkulär polariserade vågor användes.

Eftersom radarmottagaren är och måste vara mycket känslig är den också utsatt för störningar av olika slag. Närbelägna radarstationer kan åstadkomma störande mönster på radarindikatorerna, och i militära sammanhang är det ett stort problem att komma tillrätta med den lede fiendens alla försök att störa ut den egna radarverksamheten.

Som synes finns svagheter och begränsningar, men ständigt framkommer nyheter och förbättringar, som undan för undan bemästrar ofullkomligheterna.

Vid jämförelse med exempelvis luftfartygsradar innehåller ett radarsystem automatiska anordningar för automatisk styrning av antennen och för automatisk styrning av radarstrålen. Detta innebär att radarstrålen alltid är riktad mot det största målet i den aktuella sektorn. Detta innebär att radarstrålen alltid är riktad mot det största målet i den aktuella sektorn. Detta innebär att radarstrålen alltid är riktad mot det största målet i den aktuella sektorn.

Vid utvärdering i såväl SV som HV är det viktigt att man är medveten om att radarstrålen alltid är riktad mot det största målet i den aktuella sektorn. Detta innebär att radarstrålen alltid är riktad mot det största målet i den aktuella sektorn. Detta innebär att radarstrålen alltid är riktad mot det största målet i den aktuella sektorn.

I moderna radarstationer används automatiska anordningar för automatisk styrning av antennen och för automatisk styrning av radarstrålen. Detta innebär att radarstrålen alltid är riktad mot det största målet i den aktuella sektorn. Detta innebär att radarstrålen alltid är riktad mot det största målet i den aktuella sektorn. Detta innebär att radarstrålen alltid är riktad mot det största målet i den aktuella sektorn.

Vid utvärdering av radarstationer är det viktigt att man är medveten om att radarstrålen alltid är riktad mot det största målet i den aktuella sektorn. Detta innebär att radarstrålen alltid är riktad mot det största målet i den aktuella sektorn. Detta innebär att radarstrålen alltid är riktad mot det största målet i den aktuella sektorn.

Vid utvärdering av radarstationer är det viktigt att man är medveten om att radarstrålen alltid är riktad mot det största målet i den aktuella sektorn. Detta innebär att radarstrålen alltid är riktad mot det största målet i den aktuella sektorn. Detta innebär att radarstrålen alltid är riktad mot det största målet i den aktuella sektorn.

Vid utvärdering av radarstationer är det viktigt att man är medveten om att radarstrålen alltid är riktad mot det största målet i den aktuella sektorn. Detta innebär att radarstrålen alltid är riktad mot det största målet i den aktuella sektorn. Detta innebär att radarstrålen alltid är riktad mot det största målet i den aktuella sektorn.

I fig. 19 visas ett blockdiagram för en elektronisk servomotor. En variabel spänning  $U_s$  jämföras med en referensspänning  $U_r$  (till exempel 0 V) och ett jämföringsresultat  $U_d$  skickas till en integreringsenhet som ger en integrerad spänning  $U_i$ . Detta resultat används för att styra en motor. Detta innebär att radarstrålen alltid är riktad mot det största målet i den aktuella sektorn.

### Riktningbestämning

Som tidigare nämnts för en mekanisk radar är riktningbestämning en viktig del av radarsystemet. Detta innebär att radarstrålen alltid är riktad mot det största målet i den aktuella sektorn.