



NDB (Non-Directional Beacon) allriktad radiofyr

- av Hans Nilsson -

Historia

NDB är det äldsta navigeringsmedel och som fortfarande är i drift inom luftfarten. Navigering med hjälp av NDB-stationer har använts inom både sjö- och luftfarten i snart 90 år. På flygplan och även båtar från 30 talet kan man ibland se en utvändig pejlantenn. Navigatören riktade antennen mot kända radiostationer på LV- och MV-banden. Genom en krysspejling av dessa stationer kunde han då bestämma sin position i luften eller på havet.

På moderna flygplan sker pejling med hjälp av en s.k. ADF (*Automatic Direction Finder*).

NDB har framtiden bakom sig, och har ersatts med DME (Distance Measuring Equipment) som är ett markbaserat precisionssystem för navigering. En viktig orsak till att NDB fortfarande är i drift är låga underhålls- och driftkostnader. I många länder runt om i världen med stora avstånd och där flyg är det enda alternativet utgör NDB ett bra komplement till andra markbaserade navigationssystem inom flyget. Ännu har inte några av de markbaserade navigationssystemen ersatts av satellitbaserade system.

Företagen som byggde de svenska NDB sändarna hade startat i slutet av 30-talet och fick många uppdrag inför den upprustning som påbörjades före andra världskriget. Efter kriget behövdes mycket utrustning för att nyttja de tekniska landvindningar som kriget hade skapat.

Systemkrav för luftfartsradiostationer

Frekvensområde	284 – 436 kHz
Uteffekt	50 – 100 W
Modulation	AM
Modulationsgrad	95%
Modulationsfrekvens	400 Hz
Morsekod	2 – 3 tecken
Antennhöjd	15 – 36 m
Räckvidd	15 – 40 NM
Noggrannhet	5 – 10°

Två typer av modulering förekommer, A0/A1 nycklad bärvåg som kräver BFO eller A0/A2 bärvåg modulerad

med en 400 Hz ton. På andra kontinenter förekommer även 1020 Hz ton.

ICAO (*International Civil Aviation Organisation*) är ett FN - organ som reglerar allt inom luftfarten. Alla navigationssystem följer samma regler över hela världen och i deras Annex 10 finns de tekniska kraven för NDB att läsa. ICAO bildades för den civila luftfarten efter andra världskriget för att samordna regelverket internationellt mellan alla medlemsstater.

IATA (*International Air Transport Association*) är flygbolagens och flygindustrins egen intresseorganisation.

Funktion

NDB-stationerna på en flygplats brukar placeras 7,5 km från bantröskeln i var sin ända på banan. När piloten har pejlat in NDB:erna och har dem på en rak linje framför sig är han i linje med landningsbanan. Han gör då en visuell inflygning där han tar då hjälp av landningsljusen för en säker landning. Som landningshjälpmedel vid dåligt väder med låg molnbas är det inte tillräckligt med upp till 10° felvisning för en säker landning. Dag och natteffekten samt vågutbredningen över vatten har också stor påverkan på pejlutslaget. Atmosfäriska störningar är också ett problem för mottagaren. Därför tillhör NDB inte precisionssystemen inom flygnavigeringen som t.ex. ILS som är ett instrumentlandningssystem med mycket hög precision. Här har vi meterprecision.

Bland många DX-are är NDB-stationerna populära att lyssna på. Vissa av dem når långt ut i Europa medan andra stationer aldrig får några lyssnarrapporter. Under den mörka årstiden kommer det in flest långväga lyssnarrapporter.

Antenn

Inom luftfarten används normalt en 15 meter vertikal mast av aluminium placerad på taket till apparathuset. Masten är monterad på tre isolatorer som är infästa i taket. Vid högre masthöjder placeras de på ett fundament med en isolator och är alltid stagade.

Verkningsgraden i antennen är låg p.g.a. den korta mastlängden. I toppen av antennen sitter en s.k. toppkapacitans om tre spröt som är 3 m långa för att öka verkningsgraden.

Med en inmatad effekt på 100 W brukar antennenströmmen uppgå till 3–3,5 A. På våra bredgrader ger detta en

fältstyrka kring $70 \mu\text{V/m}$ och därmed ett bra signal/brusförhållande till mottagaren.

Mellan sändaren och antennen, som är kapacitiv, sitter en variometer. Kapacitansen brukar ligga på $300 - 400 \text{ pF}$ för en 15 meters antenn. Variometern är en spole med stort avstämningssområde. Många yttre faktorer som regn och markfuktighet påverkar antennavstämningen.

I de halvledarebestyckade sändarna finns en krets som mäter ström och fas i antennen. Vid snedavstämning av antennen får man från kretsen en spänning till en motor som i sin tur påverkar en av spolarna i variometern. Därmed får man en optimal avstämning av antennen.

På toppen av spolen som ansluter mot antennen uppgår spänningen till ett par kV, därför går kabeln i ett plaströr genom taket till en genomföringsisolator.



En takmonterad 15 meters antenn



En "Outer Locator" med en 36 m hög antenn med en s k toppkapacitans.

Antennen är en LP (log periodisk antenn) som tillhör OM (outer markern) och sänder en signal till ett flygplan som passerar över. OM är en del av instrumentlandningssystemet ILS och sänder på frekvensen 75 MHz. För att få en bredare lob använder man två antenner den ena skymtar bakom trädet.



En antenn som har vissnat efter decemberstormen 1999

Jordplan

Jordplanet består av 20–36 trådar och ligger i ett stjärn nät ut från stationshuset. Längden kan variera från 20–100 m. Korta jordplan kan sommartid med sandjord göra att strömmen sjunker och som konsekvens får man en lägre fältstyrka.

Lövträd som står för nära har en enastående förmåga att "suga" i sig den utsända signalen. Det brukar vara tillräckligt med en radie på 25–30 meter runt stationen som är fritt från buskar och sly. Tyvärr är det oftast svårt att hitta öppna platser runt en flygplats som är lämpliga för en NDB.

För markägaren som brukar marken är det ett problem att plöja med alla dessa trådar i marken. Så sammantaget bör den totala resistansen hållas så låg som möjligt. I annat fall blir förlusteffekten stor med dålig räckvidd som följd.

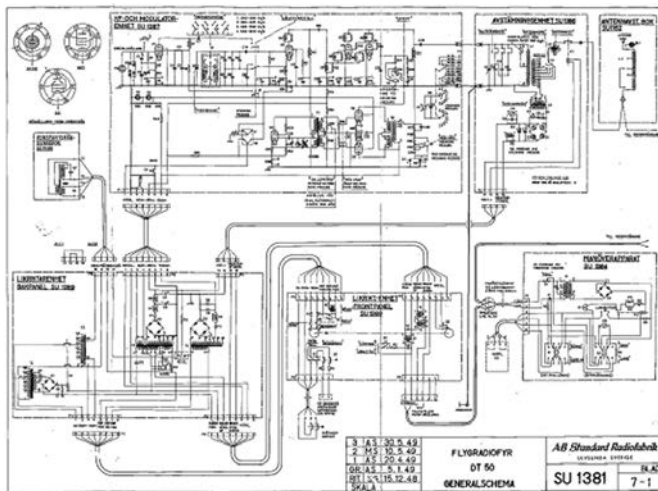
Sändare

Eftersom sändarna funnits länge har de också gått från rör till halvledare som all annan elektronik. De gamla rörsändarna med sina höga anodspänningar krävde stora nätaggregat. Man hade gott om luft i sändardelen. Krävdes reservkraft så hade man en dieselgenerator i anslutning till stationshuset. Idag löser man reservkraften med stora batterier på 100 Ah. Dessa räcker för många timmars drift.

Här följer en överblick av de mest använda sändarna inom luftfarten genom åren.

DT 50

DT 50 byggdes av AB Standard Radiofabrik i slutet av 40 talet. För ett par år sedan stängdes den sista av dessa sändare av efter 55 års drift som Outer Locator. Visst hade det varit mycket handpåläggning i form av rörbyte men ytterst få komponentfel. Motstånden var väldimensionerade och klarade en kortslutning i rören. Slutstegen i modulorn och sändaren byggdes runt den svenska pentoden 5S1, en kopia av den amerikanska 807 / QE 06/50. Bärvägseffekten uppgick till 50 W med två parallellkopplade rör. Anodspänningen var på 500V och kom från en selenlikriktare. Doften av en sådan som bränt var omisskännlig.



Kopplingschema över flygradiofyrt DT 50

Vid service och felavhjälpning kunde man med hjälp av en omkopplare på ett inbyggt instrument mäta alla viktiga spänningar och strömmar. ID-koden från sändarna skapades av en microswitch och ett kamhjul av bakelit som drevs av en liten elmotor genom en växellåda. Kamhjulet hade färdigskurna hack som motsvarade ett kort tecken. Behövde man ett långt tecken lät man tre korta tecken sitta kvar och bröt bort det man inte behövde. På någon modell var microswitchen en brytarspets till en bil.

Det fanns också en övervakningsenhet som kopplades till en telefonlinje för "fjärrövervakning" av sändaren. 5S1 tillverkades av AB Standard Radiofabrik som

producerade elektronrör under och efter andra världskriget. Sverige var i stort sett avskuret från att kunna köpa elektronikprodukter under de här åren. Ericsson-företagen som SER, Svenska Elektron Rör tillverkade rör medan RIFA, Radioindustrins Försörjnings AB tillverkade motstånd och kondensatorer m m.

Det fanns in på 80 talet stora förråd av komponenter för att kunna täcka Sveriges behov vid en eventuell avspärning.



Frontsidan av DT 50



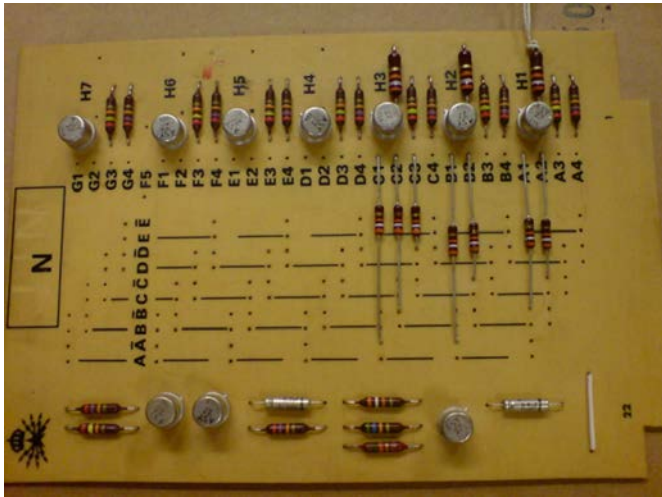
Komponentsidan av en DT 50

Nycklingsenhet Sigurd

Iden med att ersätta motorn och kamhjulet med en transistorbestyckad enhet kom redan 1961. Den fick namnet *Sigurd*, som var en akronym av SignalGivare Utan Rörliga Delar. Den bestod av ett antal bistabila vippor och grindar på några kretskort.

Genom att koppla samman pulserna från de bistabila vipporna med hjälp av motstånd till grindarna fick man ut de tecken som då var stationens ID. Enheterna var uppbyggda med germaniumtransistorer och fungerade kländerfritt i över 30 år.

I samband med omläggningen av flyglederna i Sverige 1998 gjordes en omprogrammering av en Sigurd. Det tog en stund att fundera ut hur man skulle koppla motstånd. Signalgivaren fortsatte att gå några år till in 2000-talet utan problem.



Gindkort för kodning av ID tecken

CT 100

CT 100 var en sändare på drygt 100 W. I bärvågssändare hade man kopplat 4 st. 807 parallellt. 6AC7 var ett annat populärt drivrör. I övrigt var den mycket lik en DT 50. Stabilisatorrören OD3 med sitt rosa sken blinkade i takt med ID-koden. Det såg nästan lite spöklikt ut. De var kopplade till skärmgallerspänningen på slutrören och till drivrören. Sändarna var väldigt tåliga, man justerade till maximum antennström och kontrollerade katodströmmen i slutrören och att den dippade samtidigt. Någon automatisk avstämning av antennen fanns inte på dessa gamla rörsändare. Som man skämtsamt sa ibland - "tune for maximum smoke" - och räknade med att detta räckte till nästa månadstillsyn.

I annat fall stängde övervakningsutrustningen av sändaren och det gick ett larm in till flygledaren i tornet på flygplatsen. De NDB-sändare som stod i flyglederna kunde fjärrövervakas med en LV-mottagare eller så rapporterade piloten till flygledningen att sändaren var ur drift.

SATT RFS 4

SATT RFS 4 var en betydligt kraftigare sändare på 400 W. Den hade olika effektlägen som man kunde välja med en omkopplare. Sändareslutsteget var byggt med 2 st 813 rör. Anodspänningen uppgick till 2 kV. Som likriktare användes rören 872 som innehöll kvicksilver. Man såg små kvicksilverpärlor inne i röret: Det var inget kul om dessa gick sönder. I en senare version ersattes dessa rör med flera seriekopplade kiseldioder. I alla sändare fanns en tidsfördröjning som bestod av ett s.k. Birka termorelä som slog till anodspänningen i sändaren. Reläet hade en något längre uppvärmningstid än glödspänningen till rören. Det hade ett mycket karakteristiskt sprakande ljud när det slog till.

Ibland tog sig mössen i på stationerna och ibland dessa höga spänningar gick de sitt öde till mötes. Det luktade inte särskilt gott när dörren till stationshuset öppnades. Men man visste var man skulle leta efter dem.

LB 100

I slutet av 60-talet byggde Standard Radio en riktig trotjänare LB 100. Den var heltransistoriserad och med en batterispänning på 36 V. Den gav minimum 100 W bärvåg i 4 Ω / 300 pF. Dessa sändare var betydligt trevligare att jobba med man hade ändå stor respekt för de höga anodspänningarna som förekom i de gamla rörsändarna.

Allt var byggt i ett stativ som var 1800 mm högt, med dubbla kraftaggregat och sändardel samt en manöverenhet och variometer.

Idag finns något fåtal LB 100 kvar i drift där originalkomponenter finns kvar i både sändare, modulator och nycklingsenheter. Det var ett annat kvalitetstänk på den tiden.

Bärvågsfrekvensen genererades från en kristall som låg 4 gånger högre i frekvens. Efter att passerat en delat med fyra krets, drivsteg och slutsteget filterades denna fyrkantvåg till en sinusvåg innan den anslöts till variometern och antennen. HF-slutsteget som bestod av 12 st. transistorer TI1151 var en klass D förstärkare med mycket hög verkningsgrad, på 85-90%.

Med A0/A1 och 100 W uteffekt drog sändaren 250 W och med A0/A2 580 W.

Variometern var beräknad för ett frekvensområde 250-450 kHz och en lastkapacitans på 300-600 pF. Induktansen gick från 150 μ H till 1400 μ H. Små avvikelser på avstämningen hade stor inverkan på uteffekten. Därför avstämde variometer av en motor. En fasdetektor mäter kontinuerligt fasen mellan ström och spänning till antennen. Felspänningen går till en differentialförstärkare som antingen får motorn att gå i höger- eller vänstervarv. Hjulet på motorn var elliptiskt för att kunna påverka spolen i variometern via en hävarm. Reglerområdet uppgick till $\pm 2,5$ %.

ID-koden skapades med hjälp av IC-kapslar från Texas Instruments SN74-serie och germaniumdioder som man lödde in på ett kretskort. Ett gott betyg för dåtidens krav på kvalitet.

Kraftaggregatet var switchat med frekvensen 5 kHz som fick drosseln i filtret att komma självsvängning. Denna frekvens hördes ibland långt utanför stationshuset och då även blandad med ID-nycklingen.

Vid en kortslutning i switchtransistorerna 2N3055 sköt man ibland ett stort hål i plåtkapslarna. Snacka om hål i transistorer. Det var riktiga hål. Kraftaggregatet kunde leverera en toppström på 40 Ampere och vägde många kilo! Vid tillslag när filterkondensatorerna skulle laddas upp blinkade belysningen i stationen till. I dag klämmer man lätt ut 1 kW ur ett DC/DC aggregat stort som en pocketbok och med en verkningsgrad runt 98 % och dessutom ljudlöst.



LB 100 stativ

Bild 11

I botten på stativet satt två kraftaggregat och ovanför, de båda sändarna. Manöverenheten med sina tidmätare och sändarstyrningar.

Bakom den stora grå plåten sitter variometeren. Man ser också luckan för justering av antennström. På väggen till vänster i bild sitter en *Markus*, *MANöver* och *KontrollutrUSning*. Den var kopplad till flygledaretorner via telenätet för driftövervakning. Den kontrollerade att det fanns modulering och att uteffekten inte sjönk mer än 3 dB, för då växlade den över till reservsändaren.

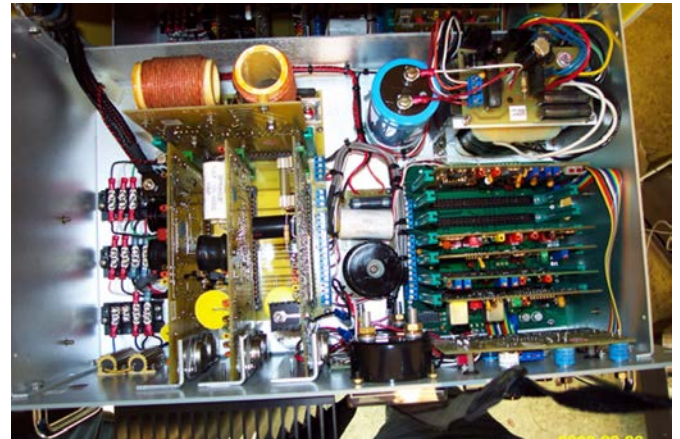
SA 100 (Southern Avionics)

Denna moderna utrustning är tillverkad i USA och är en heltransistoriserad sändare och med inbyggd övervakningsutrustning. Modulering av 400 Hz tonen sker genom pulsbreddsmodulering och modulationstransformatorn är därmed ett minne blott.

En kristallstyrd VCO genererar bärvågsfrekvensen som man ställer in med hjälp av ett par DIP-switchar. Alla kretskorten ryms i en 3 moduler hög 19" rack.

Drivspänningar kommer från en inbyggd nättransformator och omkopplingen till 24 V batteridrift sker utan avbrott från en DC/DC-omvandlare vid ett nätbortfall.

De kräver tillsyn två gånger per år. Om jag kommer ihåg rätt så är den senaste modellen PC-styrd!

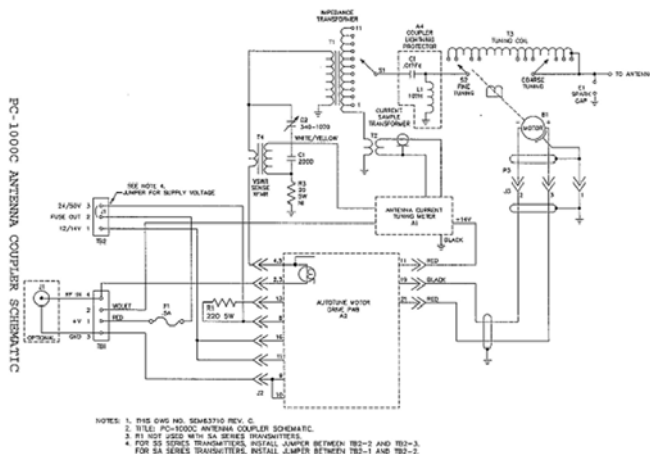


Toppvy av en SA 100



Variometerspole till SA 100

På spolen ser man de olika inkopplingsuttagen för att kunna få anpassning mot antennen. Med hjälp av omkopplaren kan man välja lastimpedans mot sändaren. Vernier indicator visar läget för den automatiska avstämningen.



Schema över anpassningsenheten till antenn för en SA 100.

ADF (Automatic Direction Finder)

I flygplanet kallas utrustningen ADF (Automatic Direction Finder) och består av en mottagare, en indikator kallad RBI (Relative Bearing Indicator) och en riktantenn. ADF är mottagaren som används tillsammans med NDB. Genom att koppla in antennerna växelvis, kommer den detekterade spänningen från respektive antenn att variera i amplitud i förhållande till riktningen mot sändaren. Spänningarna är kopplade till en förstärkare och vidare till en motor som vrider antennerna. I den riktning där antennerna känner ett minimum befinner sig sändaren.

Tack till Thomas SM7DLF för tips och synpunkter på artikelmanus.

Om författaren...

Hans Nilsson. Kom till Bulltofta flygplats 1971 och Televerket Radio. Började där med luftfartsradio och då med navigationshjälpmedel som NDB, ILS, VOR och DME. Även VDF-pejlar har han jobbat med under åren. Har varit med och driftsatt alla typer av nav-utrustningar under dessa år. Utbildning av kollegor i hela Sverige har också ingått i arbetsuppgifterna. Hans sitter idag på Sturup utanför Malmö varifrån han och hans kollegor sköter ett antal flygplatser i Sydsverige.

Hans har alltid haft radio som hobby och gillar att läsa kopplingsschema och studera kretslösningar för olika typer av utrustningar. Under några år reste Hans runt tillsammans med Thomas SM7DLF och underhöll alla typer av sändare, mottagare och nav-hjälpmedel för den civila luftfarten.

@