

Ink. Telegrafverkets
Trafikdb, Norrköping
29 JUL. 1937

no. 601-
**TEKNISKA MEDDELANDEN
FRÅN KUNGL. TELEGRAFSTYRELSEN.**

1937
Nr 4—6.



Utkom från trycket
den 30 juni 1937.

W. STATLANDERS BOKTR. STOCKHOLM

INNEHÅLL: S.-R. Larsson: De statliga relästationerna. — Erik Esping: Den negativa återkopplingen. — Telegrafverkets museum. — Siemens motorväljare.

De statliga relästationerna.

Av Sven-Ragnar Larsson.

Inledning.

Under rundradions genombrottsår i Sverige anlades på många platser i landet på privat initiativ, vanligen av på resp. platser bildade radioklubbar, s. k. relästationer för återutsändning av det program, som sändes av de dåvarande statliga rundradiostationerna. Sålunda anlades 1924 två privata stationer, 1925 tretton, 1926 sju och 1927 två eller sammanlagt tjugofyra stationer. Då de först byggda, statliga rundradiostationerna på grund av sin enligt nuvarande uppfattning ringa effekt icke på nöjaktigt sätt kunde avlyssnas i stora delar av landet och med kristallmottagare egentligen endast i de städer, där de voro belägna, jämte kringliggande landsbygd, lämnade telegrafstyrelsen sitt stöd åt de privata stationerna genom att utan kostnad för dessa ställa program och erforderliga överföringsledningar till förfogande. Dessutom erhöles stationerna bidrag till driften med belopp, vilkas storlek reglerades i förhållandet till antalet licenser inom resp. stationers verksamhetsområden.

I skrivelse till Konungen av den 12 september 1930 hemställde telegrafstyrelsen om bemyndigande att träffa avtal rörande övertagande av tre privata stationer för att i deras ställe uppföra moderna anläggningar för synkron drift. Styrelsen framhöll samtidigt som sin åsikt, att samtliga privata stationer successivt borde förstatligas, då de med den hastiga utvecklingen på radioområdet blivit synnerligen omoderna och icke längre uppfyllde de kvalitetsfordringar, som

måste ställas på fullgoda rundradiosändare. Dessutom nödvändiggjorde bristen på våglängder övergång till synkron drift av ett flertal stationer på en och samma våglängd,¹⁾ därest de överhuvudtaget skulle kunna bibehållas, vilket tills vidare ansågs lämpligast, då de statliga stationerna trots utbyggnaden voro svåra att avlyssna störningsfritt i många städer och då i varje fall dyrbarare antennenläggningar och eventuellt anskaffande av rörmottagare skulle bli en nödvändig följd för ett stort antal lyssnare, därest stationerna nedlades. (Den privata stationen i Linköping hade vid denna tidpunkt nedlagts, då den blivit överflödigt efter Motala-stationens färdigställande.)

Sedan Kungl. Maj:t bifallit styrelsens hemställan, uppfördes 250 W stationerna i Norrköping, Karlstad och Trollhättan. År 1935 övertogs ytterligare tre stationer nämligen Umeå, Hudiksvall och Örnsköldsvik, varvid 1 kW stationer uppfördes i de två förstnämnda städerna och en 500 W station i den sistnämnda. För närvarande äro två 500 W stationer under uppförande, en i Hälsingborg och en i Karlskrona. Samtliga angivna effektsiffror avse omodulerad antenneffekt. Av ovannämnda stationer synkron drivas de i Norrland belägna på frekvensen 1402 ke/s, motsvarande 214 m våglängd, under det att de övriga drivas tillsammans med Malmö på frekvensen 1312 ke/s, vilket motsvarar 228,7 m våglängd. De under byggnad varande stationerna komma sannolikt att arbeta på Malmögruppens våglängd.

¹⁾ Jfr Tekn. Medd. 1929, sid. 103.

250 W stationerna.

De tre stationerna i Norrköping, Karlstad och Trollhättan äro försedda med, fränsett styr-oscillatorn, exakt lika sändare, levererade av Marconi's Wireless Telegraph Co., Ltd., London. Dessa sändare äro byggda för direkt anslutning till trefas växelströmsnät med 220 V spänning. Den från nätet upptagna effekten utgör c:a 4,7 kW. Inga roterande maskiner ingå i sändarutrustningarna, utan all omformning verkställs medelst transformatorer och likriktare. Glöd-spänningar, gallerförspanningar och lägre anod-spänningar erhållas från kopparoxidlikriktare, varjämte för glödspänningarna blybatterier användas som buffert. Metallikriktarna för lägre spänningar äro bryggkopplade; de som lämna högre spänningar äro däremot delonkopplade, varmed förstås, att den ena växelströmspolen anslutes mellan två seriekopplade grupper likrik-tarelement och den andra mellan två med likrik-taren seriekopplade kondensatorer, så att lik-spänningen blir högre än den inmatade växel-spänningen (se exempelvis 450 V likriktaren i fig. 2). Alla metallikriktarna äro tillverkade av Westinghouse. Den största glödspänningslikrik-taren lämnar ungefär 25 A vid 20 V spänning. Högspänningen (4000 V, 0,5 A) erhålles från en trefas rörlilikriktare av högvakuumtyp, utförd som helvågslilikriktare med 6 st. MR 4-rör. Trans-formatorer, likriktare, filter och manövrerings-apparater äro inrymda i underdelen av ett 3,7 m långt, 0,85 m djupt och 1,9 m högt stativ, vars övre del innehåller hög- och lågfrekvenskretsarna (se fig. 1). Utom vad som finnes i detta stativ hör till själva sändaren endast batterierna, vilka äro placerade i ett särskilt skåp. Principeschema för sändaren (med kristallstyrning, jämför nedan) återfinnes i fig. 2. Den av styrsändaren alstrade högfrequensen förstärkes i fyra steg, varav det första innehåller två st. LS 5-rör, det andra ett rör av samma typ, det tredje ett skärmgallerrör av typ DES I med 110 W tillförd anodeffekt samt det fjärde, modulerade förstär-karen, ett DET 3-rör med 450 W tillförd anodeffekt. Antennkretsen är kapacitivt kopplad till modulerade förstärkarens anodkrets. Modulering

sker enligt Heisingprincip. Lågfrekvensen för-stärkes likaledes i fyra steg, samtliga motståndskopplade; först i två steg, vardera innehållande ett LS 5 B-rör, därefter ett DET 2-rör med 130 W tillförd anodeffekt samt slutligen modulator-röret av typ MT 9 L med 700 W tillförd anodeffekt. Samtliga rör äro luftkylda. Den erforderliga lågfrekventa ingångseffekten till första förstärkarsteget är endast 0,15 mW för full modulering, varför sändaren kan matas från in-kommande programljud utan särskild förstär-kare. Moduleringsgraden regleras med en i sän-daren inbyggd potentiometer.

Styrsändare.

Då dessa stationer levererades, funnos flera principiellt olika styrsändare utexperimenterade, vilka emellertid icke slutligt utprovats i praktisk drift. Kristallstyrningen¹⁾ var den enklaste an-ordningen. På prov levererades emellertid två sändare med andra styrningsanordningar, dock med rätt för telegrafstyrelsen att sedermera få dessa utbytta mot kristallstyrsändare, därest styrelsen så önskade. De olika styrsändarna skola här något närmare beskrivas.

Norrköpings-sändaren är utrustad med kristall-oscillator. Kristallen är inkopplad mellan galler och anod på ett P 610-rör (se fig. 2). Oscillator-röret arbetar enligt känd metod på halva bär-vågfrekvensen. Frekvensen fördubblas i ett efterföljande skärmgallerrör (S 625), vars anod-krets är avstämmd för andra övertonen till den på röret inmatade frekvensen. Kristallen, som har relativt hög temperaturkoefficient, c:a $8 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, d. v. s. ungefär 10 p/s per grad Celsius vid bärvågfrekvensen 1312 ke/s, är in-monterad i en liten värmeisolerad metalllåda, som tillsammans med oscillatorröret placerats i en större, likaledes värmeisolerad låda, vars tempe-ratur medelst en bimetallisk termoregulator hål-les konstant vid c:a 50°C på i genomsnitt $\pm 0,4^{\circ}\text{C}$ när. Frekvensvariationerna hålla sig i allmänhet inom gränserna ± 5 p/s vid ovan-nämnda bärvågfrekvens, motsvarande en nog-grannhet av c:a ± 4 milliondelar. Frekvensen kan justeras endast genom ändring av tempera-turen, vilken kan ändras med en utifrån åtkom-

lig justeringsanordning på termoregulatorn. Då det tager flera timmar för temperaturen att sta-bilisera sig efter en ändring, kan en frekvens-justering icke utföras momentant. Reservkristall fluncs inbyggd i samma låda som den ordinarie kristallen och kan inkopplas med en utifrån manövrerbar omkastare. I den yttre lådan är också en stabil svängningskrets utan kristall in-monterad, så att sändaren med hjälp av denna

stämmande för de elektriska svängningarnas frekvens. Efter dessa rör följde ett LS 5-rör som förstärkare. Stämgaflern arbetade med en fre-kvens av ungefär 1270,5 p/s, vilken frekvens sedan fördubblades tio gånger (den då använda bärvågfrekvensen var 1301 ke/s), varje gång i ett steg innehållande två LS 5 B-rör. Anod-kretsen i varje steg var således avstämmd till dubbla frekvensen mot det föregående stegets

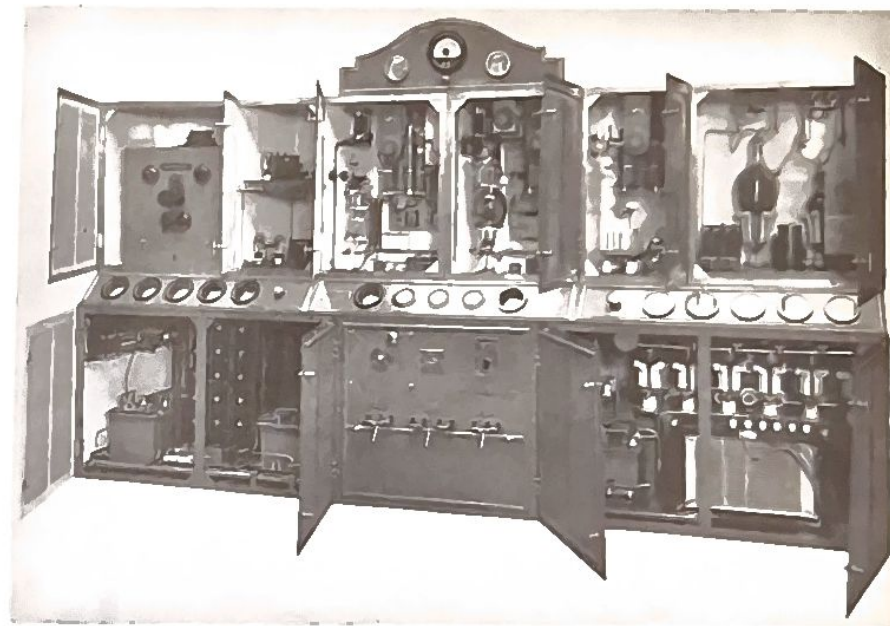


Fig. 1. Marconi's 250 W sändare. (Foto Marconi.)

De skärmade facken i stativets överdel innehålla från vänster räknat: Styrosillator och frekvensfördubblaren, 1:sta och 2:da hf-förstärkarna, 3:dje hf-förstärkaren, modulerade förstärkaren, antennkretsen och konstgjorda antennen, lågfrekvensförstärkarna 1—3 och modulatorröret. I nederdelen synas bl. a. till vänster 20 V likriktaren, i mitten manövreringsapparaterna och till höger 4000 V likriktaren. Högst upp antennampèremetern och två signallampor.

kan drivas på godtycklig våglängd med bibehållande av relativt god frekvensstabilitet.

Karlstads-sändaren var från början utrustad med stämgaflerstyrning.¹⁾ Stämgaflern, som på vanligt sätt var försedd med en magnetspole in-till varlerna skänkeln, var inkopplad dels till gallerkretsen på ett LS 5 B-rör och dels till anod-kretsen på ett därefter följande rör av samma typ, varigenom återkoppling erhöles via stäm-gaflern, vars egensvängningstal därför blev be-

anodkrets. Efter dessa tio fördubblingssteg följde ett förstärkarsteg (LS 5), varpå hög-frekvensen över en koaxiell kopparrörsledning inmatades på sändaren, i vilken i detta fall första högfrequenssteget var slopat. Samtliga stämgafler- och fördubblingsrör måste ur stabili-tets- och störningssynpunkt matas från särskilda blybatterier såväl vad beträffar anod- och galler-förspanningar som glödspänningar. Då dessa batterier ur nyssnämnda synpunkter icke heller

¹⁾ Jfr Tekn. Medd. 1936, sid. 84.¹⁾ Jfr Tekn. Medd. 1934, sid. 85 och 98.

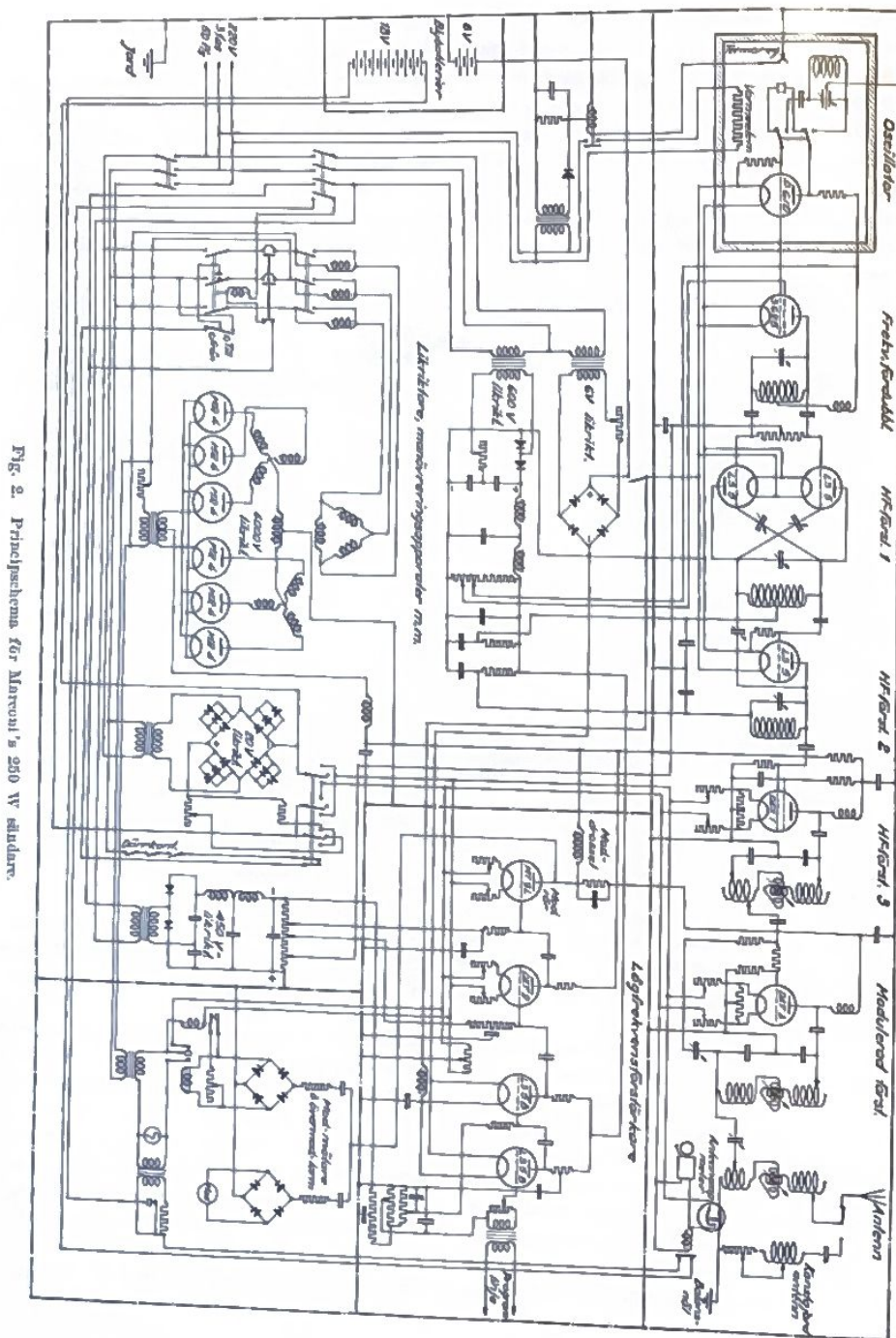


Fig. 2. Principschema för Marconi's 250 W sändare.

kunde laddas under drift, måste dubbel uppsättning finnas av samtliga. Stämgafl- och frekvensomformarestativ jämte stativ för kopparoxidullkriktare med manövreringsorgan för batteriladdning upptogo tillsammans med batterierna nästan lika stor plats som själva sändaren inklusive dess batterier.

Stämgafln, som hade en temperaturkoefficient lika med $-150 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, motsvarande -195 p/s per grad vid här använd frekvens, var inmonterad i en värmeisolerad låda, vars temperatur medelst en regulator, fylld med toluol och kvicksilver (kontakttermometertyp), hölls konstant vid $c:a 55^{\circ}\text{C}$ på ungefär $\pm 0,03^{\circ}$

sändarens och därvid befunnits icke vara bättre än den senares, beslöts, att stämgaflstyrningen skulle slopas och ersättas med kristallstyrning. Stämgaflstyrningen blev nämligen dyrare i drift än kristallstyrningen och erbjöd genom sin komplicerade karaktär och det stora antalet rör (totalt 41 rör i hela sändaren mot 17 i den kristallstyrda) betydligt större felomöjligheter. Numera är alltså Karlstadssändaren även beträffande styrningsanordningarna lika Norrköpings-sändaren.

Trollhättessändaren var tidigare utrustad med s. k. Mareoni-Franklin-oscillator. Kopplingschema till denna oscillator jämte multivibrator

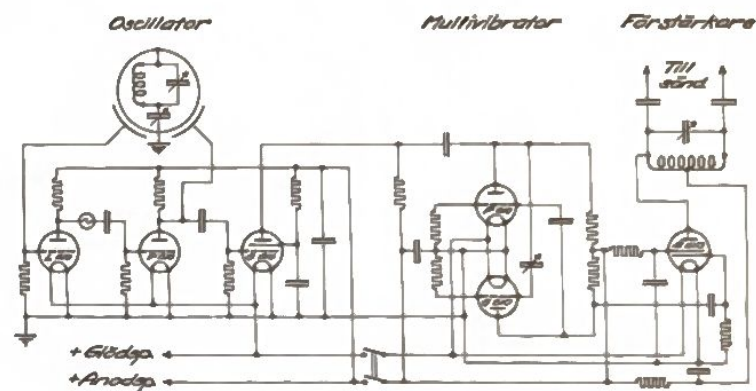


Fig. 3. Principschema för Franklinstyrsändaren.

C när. Regulatören kunde icke själv bryta värme-strömmen. Den var därför inkopplad i gallerkretsen på två parallellkopplade LS 5-rör, i vilkas anodkrets ett mellanrelä var inkopplat. Dessa rör med relä matades med anodspänning från två andra LS 5-rör, använda som likriktarrör. För att hela stämgafln skulle hållas vid jämnast möjliga temperatur, fanns inne i lådan en fläkt, som höll luften i jämn cirkulation.

Vid justering av frekvensen måste även här temperaturen ändras. Denna ändring åstadkoms genom upp- eller nedskruvning av kontaktnålen i toluolregulatorn. Första förstärkarsteget i sändaren kunde genom kortslutning av en neutraliseringskondensator användas som reservoscillator, varvid hela styrsändaren fränkopplades.

Sedan denna sändares frekvensstabilitet under en längre tids drift jämförts med Norrköpings-

och förstärkarsteg visas i fig. 3. Oscillatorn innehöll tre rör, av vilka två alstrade svängningarna och voro sammankopplade på sådant sätt, att ändringar i glöd- och anodspänningar hade minsta möjliga inverkan på svängningsfrekvensen. Det tredje röret tjänade huvudsakligen till att förhindra återverkan på oscillatorrören från följande steg. Dessa tre rör voro tända dygnet runt. Oscillatorkretsen bestod av en induktans, en fast kapacitet och en utifrån variabel kapacitet, avsedd för justering av frekvensen, samt dessutom en liten kapacitet, som automatiskt ändrades vid variationer i temperaturen och därigenom delvis kompenserade den ändring i frekvensen, som eljest uppstod på grund av temperaturens inverkan på oscillatorns övriga delar. Svängningskretsen var innesluten i den inre av två från varandra värmeisolerade metalleylind-

rar utan särskilda regleringsanordningar för konstanthållande av temperaturen. Oscillatorn arbetade på högre frekvens än sändaren och styrde en övertön (den 7:de) på en multivibrator innehållande två rör, från vilken sedan en annan övertön (den 3:dje) uttogs och via ett skärmgallerrör matades in på sändaren, som alltså arbetade på en frekvens lika med $\frac{1}{3}$ av oscillatorns frekvens. Samtliga rör voro av motlagartyp.

Fördelen med Franklinoscillatorn, jämförd med förut beskrivna styrningsanordningar, var, att frekvensen omedelbart kunde justeras till vilket önskat värde som helst medelst en kondensator (vid större ändringar valdes andra övertoner på multivibratormen), under det att vid de förut beskrivna anordningarna frekvensen endast kunde justeras genom ändring av temperaturen, varjämte vid övergång till annan våglängd kristall resp. slämgaffel måste bytas.

Efter en tids drift visade det sig vara nödvändigt att förbättra frekvensstabiliteten genom att förse även denna oscillator med temperaturkontroll (med bimetalrisk regulator). Frekvensvariationerna höll sig därefter i allmänhet inom ± 10 p/s, dock med emellanåt uppträdande större avvikelser. Oscillatorn användes till slutet av år 1936, då den utbyttes mot en vid radiobyran tillverkad kristallstyrsändare. Anledningen här till var, att Franklinoscillatorns stabilitet trots temperaturkontrollen var sämre än en modern kristalloscillator och att synkroniseringen av sändaren med en »undertön» på oscillatormen (medelst multivibratormen) erfordrade extra noggrann tillsyn av sändaren.

Den nu använda styrsändaren består av ett oscillatorrör följt av ett buffert- och ett frekvensfördubblingssteg (alla rör KF 3) samt en 50 W pentod PC 1/50, vilken direkt matar sändarens näst sista steg. Temperaturen hålles konstant med kontakttermometer och thyatronrör. (Betr. denna anordning se 1 kW stationerna nedan.) Kristallens temperaturkoefficient är $-0,7 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, motsvarande ungefär -1 p/s per grad vid 1312 ke/s. Frekvensvariationerna hålla sig normalt inom gränserna ± 2 p/s. Frekvensen kan medelst en över kristallen inkopplad kondensator justeras inom gränserna ± 20 p/s.

Manövrerings-, skydds- och alarmanordningar.

För manövrering av sändaren finnes på stativets nederdel ett flertal strömbrytare av olika slag (se fig. 1). Dessa äro inbördes delvis förreglade på elektrisk väg till förhindrande av felaktig manövrering. Samtliga dörrar utom styr-oscillatorns äro försedda med kontakter, vilka bryta alla farliga spänningar, så snart någon dörr öppnas. Högspänningskontakterna äro försedda med termiska överbelastningsreläer. Antennampèremetern är utförd som varmräkninstrument och är försedd med en extra varmråd, vilken manövrerar en kontaktfjäder. Sedan antennströmmen efter start erhållit sitt normala värde och kontaktfjäders därefter ratat ut sig, inställas med en visare på ampèremeterskalan ett kontakttift i sådant läge, att fjädern, om antennströmmen därefter sjunker, gör kontakt med tiftet och därvid sluter strömkretsen till ett mellanrelä, som i sin tur löser ut högspänningskontakterna. Samtidigt slutes strömkretsen till en larmklocka. Då de flesta fel, som uppstå i sändarens högfrekvensdel, förorsaka en minskning av antennströmmen, brytes således högspänningen omedelbart vid ett eventuellt fel, varjämte larmsignal erhålles.

Över modulatorröret äro två små metallikrictare inkopplade, av vilka den ena matar en voltmeter, på vilken lågfrekvensspänningen över modulatorröret och därmed moduleringsgraden kan avläsas. Den andra likriktaren matar ett relä, vilket vid övermodulering dels sluter strömkretsen till en glimlampa och ett termiskt relä och dels bryter strömkretsen till ett magnetiskt relä, vilket senare i sin tur shuntar likriktaren med ett motstånd, så att det förnämnda reläet brytes, varefter förloppet upprepas. Glimlampan kommer därför att oupphörligt blinka, så länge moduleringen överstiger ett visst inställbart värde (exempelvis 80 %), men genom shuntningens anordningen försvinner denna signal, så snart moduleringen sjunkit även obetydligt under det inställda värdet. Kvarstår däremot övermoduleringen alltför länge, kommer termorelät att lösa ut högspänningskontakterna, varvid avbrottslarm erhålles via antennampèremetern.

Anordning för telegrafering med kontinuerliga vågor.

Sändarna kunna användas för CW-telegrafi genom inläggning av en fast gallerförspanning på röret i modulerade förstärkaren, så att detta rör ej överbelastas, därest styrspanningen brytes. Telegrafering sker därefter genom att högfrekvensförbindelsen mellan modulerade förstärkaren och föregående steg brytes av ett relä, som manövreras med telegrafnyckeln.

36 m sackverkmast. Som högfrekvensjord nyttjas ett över gården uppsatt, isolerat balansnät.

Stationen i Karlstad är uppmonterad i botten-våningen av telegrafverkets fastighet vid Xlv-gatan. Sändaren matas över en transformator och en induktionsregulator från stadens 380 V trefasmät. Som reserv att användas vid kraftavbrott & växelströmsnötet finnes en omformare, över vilken sändaren kan matas från befintligt 440 V likströmsnät. Servisinstrumentering, trans-



Fig. 4. Interiör från Hudiksvallstationen (1 kW Standard-sändare). Längst till vänster styrsändaren, placerad ovanpå ett skåp innehållande reläer och larmklocka. Örnas för styrsändarens moduleringsmätaren och apparaten för övermoduleringslarm. Till höger om följande likriktarreläet, 250 W stativet och 1 kW stativet. På bordet kontrollmottagare och ledningsväxel samt manövrerings- och larmapparater.

Stationslokaler, antennenläggning m. m.

Norrköpings-sändaren är installerad i ett mindre rum två trappor upp i telegrafverkets fastighet i hörnet av Drottninggatan och Hospitalgatan. Då endast 440 V likström står till förfogande för stationens drift, måste sändaren matas från en omformare. Två dylika (en i reserv) ha inmonterats i fastighetens källarvåning. Båda omformarna fjärrmanövreras från sändar-rummet. En tretrådig planantenn är uppspänd mellan en & fastighetens tak uppsatt, stagad 14,4 m rörmast och en på gården placerad, fristående

formator, omformare och induktionsregulator ha placerats i ett mindre rum innanför sändarrummet, där även ett litet batterirum avdelats. Antennen är uppspänd mellan två fristående 30 m sackverksmaster. Som högfrekvensjord användes ett på gården nedgrävt nät.

Trollhättes-sändaren har inrymts två trappor upp i samma fastighet vid Drottningtorget som telefonstationen. Sändaren matas över en transformator från stadens 380 V trefasmät. Någon reservkraft finnes icke här. Antenn och balansnät äro anordnade på samma sätt som i Norrköping.

1 kW stationerna.

De båda 1 kW sändarna i Umeå och Hudiksvall ha tillverkats av Standard Telephones and Cables Ltd, London. Även dessa sändare saknar roterande maskiner. De äro byggda för direkt anslutning till trefasnät av 380, 220 eller 190 V spänning. Den från nätet upptagna effekten är c:a 9 kW. Sändarna, som båda äro av samma typ, bestå av två likriktarstativ, ett 250 W sändarstativ, ett 1 kW förstärkarstativ, separat kristallstyrsändare samt delvis separata manövrerings- och larmapparater. Sändarens utseende framgår av fig. 4, 5 och 6, och principschema för dess hög- och lågfrekvenskretsar visas i fig. 7.

Likriktare- och sändarstativ.

De båda likriktarstativen innehålla erforderliga transformatorer, likriktare, filter, kontakter samt manöver- och kontrollreläer för omformning av nätspänningen till för sändaren erforderliga lik- och växelspanningar, för manövrering samt för brytning och larm vid eventuellt uppträdande fel. Alla likriktare äro av kopparoxidtyp och av Westinghouse-fabrikat. De största äro 3000 V likriktaren, vilken lämnar 1 A, 1500 V likriktaren på 0,5 A, 1000 V likriktaren på 0,8 A, 300 V likriktaren på 0,5 A och 150 V likriktaren på 0,8 A. Av dessa lämna de tre förstnämnda anodspänningar och de två sistnämnda gallerförspanningar och manöverspanningar. Alla likriktarna äro utförda med trefas bryggekoppling.

Samtliga rörs glödlådor matas med växelström; 250 W stativet från en enfastransformator och 1 kW förstärkarens båda rör från var sin lindning på en Scottkopplad trefas/tvåfas transformator, så att glödströmmen på det ena röret blir 90° fasförskjuten i förhållande till det andra rörets glödström. Härigenom minskas den av växelströmsmatningen försakade »maskintonen» på bärvägen. Det ena likriktarstativet matar 250 W delen av sändaren och det andra 1 kW förstärkaren.

250 W stativet, i vilket finnes ett antal utdragbara aluminiumlådor (se fig. 5 och 7), innehåller nedifrån räknat först en låda med diverse förkopplingsmotstånd och potentiometrar för anod- och gallerförspanningar, telegraferingsrelä m. m.

Nästa låda innehåller lågfrekvenskretsarna. Efter ingångstransformatorn följer här ett 25 W rör (4033 A), därefter ett push-pull-steg med två st. 50 W rör 4211 E samt slutligen modulatorsteget med två st. 200 W rör 4212 D i push-pull-koppling. Samtliga lågfrekvenssteg äro transformatorkopplade. Erforderlig lågfrekvent ingångseffekt till sändaren för full modulering är mindre än 0,5 mW. Sändaren kan därför matas direkt från programlinjen utan linjeförstärkare. Moduleringsskeden regleras med en i kontrollbordet inbyggd potentiometer av H-typ. Den tredje lådan i 250 W stativet innehåller högfrekvenskretsar. Först komma två förstärkasteg, vardera med ett 4205 E-rör. Det första av dessa rör matas normalt av styrsändaren men kan även användas som oscillator genom anordnande av återkoppling. Dessa båda förstärkasteg (liksom styrsändaren) arbeta på halva bärvägsfrekvensen och följas av ett frekvensför dubbingssteg innehållande två 50 W 4012 A-rör, vilka i sin tur mata den i översta lådan i stativet placerade modulerade förstärkaren med två st. 200 W rör (4212 D) i push-pull. (Därest sändaren skall arbeta på avsevärt längre våglängd än vad nu är fallet, användes frekvensför dubbingssteget som vanlig förstärkare, varvid anodkretsens båda halvor seriekopplas och den gemensamma mittpunkten jordas över en kondensator. Dessutom brytes glödströmmen till det ena röret, och det andra röret neutraliseras med befintlig neutraliseringskondensator.) Vanlig anodmodulering användes, men på grund av push-pull-kopplingen användes en transformator i stället för den eljest vanliga modulatorrörelsen. Modulerade förstärkaren är medelst en matarledning av blanka kopparrör ovanför stativen förbunden med 1 kW förstärkaren, som innehåller två luftkylda 1 kW rör av typ 4279 A i push-pull-koppling (se fig. 6 och 7). Inmatade anodeffekten på dessa rör är 3 kW sammanlagt. Anodkretsen, som även innehåller avstämda kretsar för undertryckande av övertoner till bärvägen, är induktivt kopplad till antennkretsen.

Styrsändare

Styrsändaren, vilken som ovan nämnts arbetar på halva bärvägsfrekvensen, består av en kri-

stallstyrd pentod (kristallen mellan galler och katod), följt av ett buffertsteg, även pentod, samt en slutpentod. Rören, som äro av mottagartyp, äro indirekt uppvärmda med växelström; anodspänningen erhålles från ett likriktarrör. Styrsändaren anslutes direkt till enfas växelströmsnät och är i drift dygnet runt. Från styrsändaren matas högfrekvensen genom en kabel (i

temperaturen. Kristallkuben hålles vid ett något högre gradtal och blir på grund av den omgivande lådans så gott som konstanta temperatur helt oberoende av variationer i rumstemperaturen. Värmelementen äro inkopplade i anodkretsen på var sitt thyatronrör, under det att kontakttermometerna äro inkopplade i resp. thyatronrörs gallerkretsar. Så länge tempera-

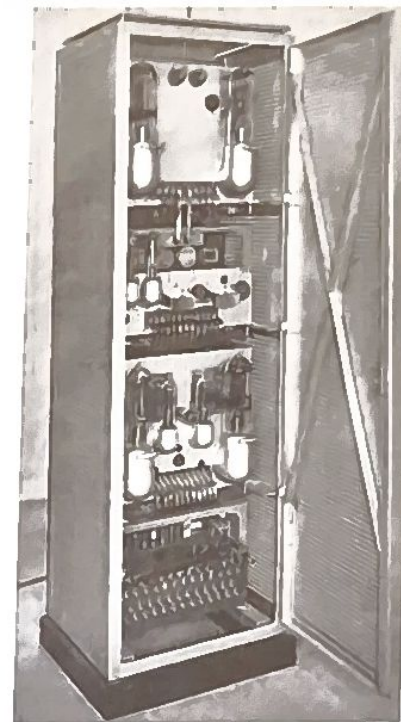


Fig. 5. Standard 1 kW sändare. 250 W stativet sett bakifrån. (Foto Standard.)

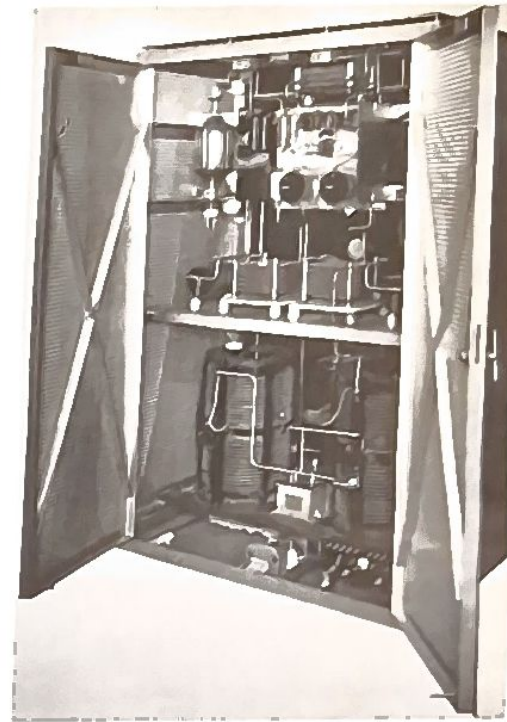


Fig. 6. Standard 1 kW sändare. 1 kW stativet sett bakifrån. (Foto Standard.)

detta fall enträdig, skärmad antennledning (kabel) in på 250 W stativet. I Hudiksvall, där denna kabel är 9 m lång, har densamma avstämts för att minska belastningen på styrsändaren. Kristallen är inbyggd i en liten värmeisolerad metallkub, vilken även innehåller värmelement och kontakttermometer. Hela denna anordning är insatt i en värmeisolerad låda, som också är försedd med värmelement och kontakttermometer. Denna lådas temperatur hålles vid c:a 50° C men blir i någon mån beroende av rum-

turen i en låda är för låg, råder avbrott i resp. kontakttermometer, och tillhörande thyatronrör har ungefär nollspänning på gallret, så att anodström kan passera genom röret och därmed genom värmelementet. Då temperaturen nått rätt värde, matas genom kontakttermometern en negativ gallerförspanning in på röret, så att anodströmmen brytes, tills temperaturen åter sjunkit o. s. v. Kristallens temperaturkoefficient är mycket stor, c:a 50 · 10⁻⁶/°C eller ungefär 70 p/s per grad vid frekvensen 1402 kc/s. Tem-

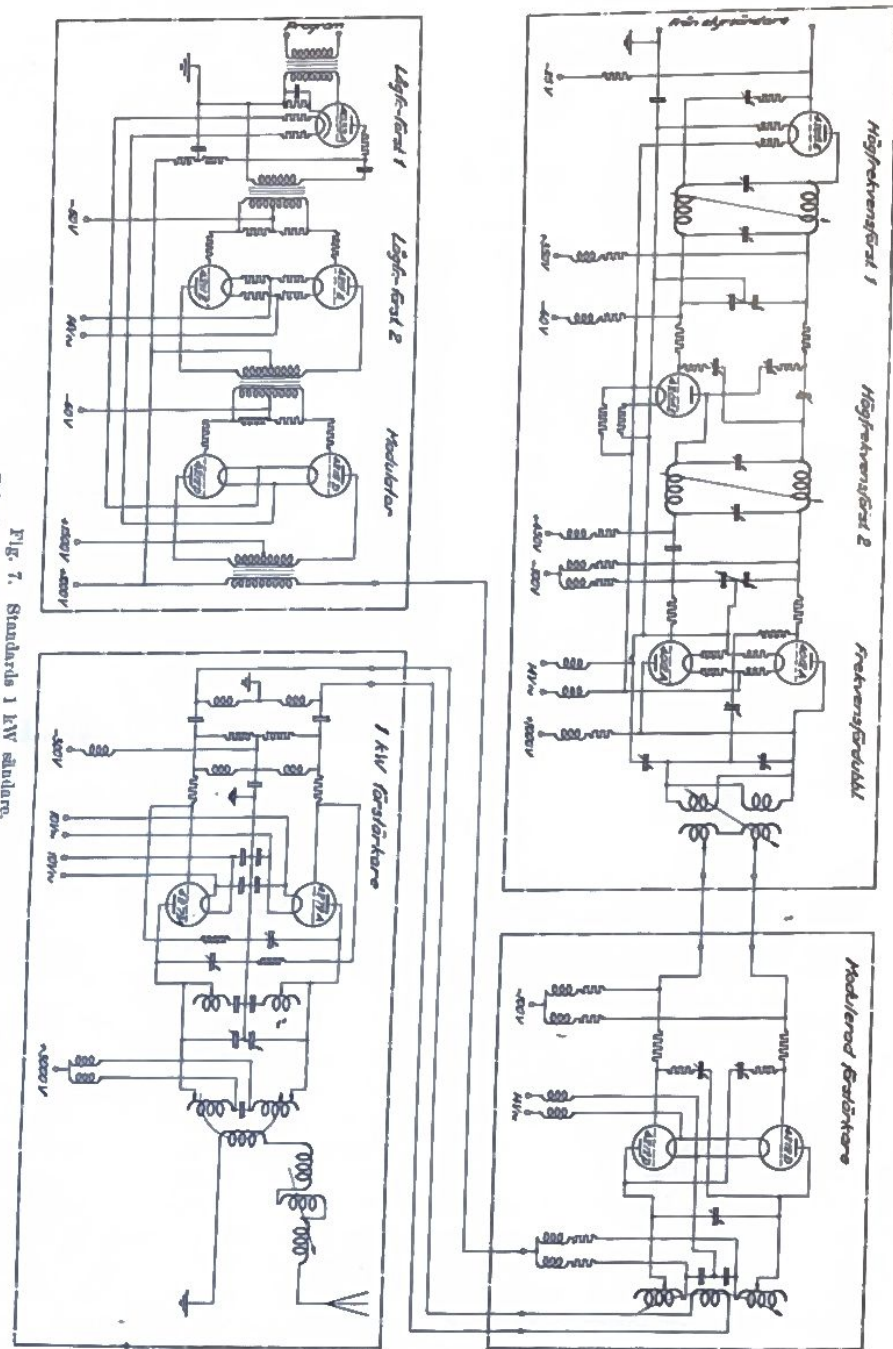


Fig. 7. Standard 1 kW sändare.
Principschema för låg- och högfrekvensretarna.

peraturerna kunna icke justeras, då båda kontakttermometrarna ha insmälta kontakter. Frekvensen kan emellertid justeras inom gränserna ± 40 p/s med en över kristallen inkopplad variabel kondensator.

Frekvensstabiliteten är trots den höga temperaturkoefficienten mycket god; variationerna hålla sig i allmänhet inom gränserna ± 2 p/s vid nyssnämnda bärvågsfrekvens. Fig. 14 visar frekvensvariationerna under en månad på Hudiksvallsstationen.

Reservkristall finnes icke inbyggd i styrsändaren men finnes i lager på vardera stationen.

spänningsknappen erhålles icke omedelbart full anodbelastning, utan även nu startas ett tidrelä, vilket efter viss tid höjer anodbelastningen till fulla värdet. Genom dessa anordningar förhindras en alltför hastig uppvärmning av rören.

Samtliga stativdörrar äro försedda med kontakter, som bryta hela sändaren, så snart en dörr öppnas. Dessutom finnas reläer och kontaktanordningar för urladdning av kondensatorbatterierna, då dörrarna öppnas.

För att skydda sändaren vid eventuellt uppkommande fel finnes ett flertal reläer. Sålunda är varje inkommande fas försedd med ett minimal-

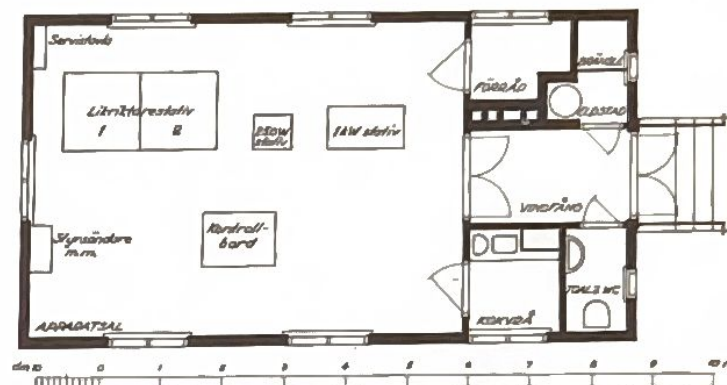


Fig. 8. Plan av stationshuset i Hudiksvall.

Dessa reservkristaller äro inmonterade i metallkuber med tillhörande kontakttermometrar och värmelement, vilket är nödvändigt, eftersom termometrarna äro försedda med fasta kontakter, så att en viss termometer är användbar endast tillsammans med en viss kristall. Som förut påpekats kan även första röret i 250 W stativet användas som oscillator, därest fel skulle uppstå å styrsändaren.

Manövrerings-, skydds- och alermanordningar.

Manövreringen av dessa sändare sker med ett fåtal tryckknappar antingen från likriktarstationen eller från kontrollbordet. Glödspänningar och gallerförspanningar manövreras med en tryckknapp, vilken samtidigt startar ett tidrelä, som omöjliggör tillslagning av anodspänningarna, innan en viss tid förflutit, sedan röret erhållit glödspänning. Vid intryckning av anod-

spänningsrelä, så att huvudkontaktorn brytes vid fel på en fas. Minimalspänningsreläer finnas även på båda gallerförspanningslikriktarna, så att anodspänningarna brytas, därest endera gallerförspanningen skulle sjunka. Samtliga anodspänningslikriktare äro utrustade med maximalströmreläer, vilka bryta anodspänningskontaktornas vid överbelastning. Transformatorerna äro primärt säkrade var för sig, liksom filterkondensatorerna efter likriktarna. Dessutom finnes ett antennströmrelä, vilket matas från en metalllikriktare, ansluten till en för bärvågen avstämd krets. Då antennströmmen sjunker, minskas den inmatade spänningen på detta relä, och över ett mellanrelä brytas då samtliga anodspänningar. (Antennströmreläet måste kortslutas vid start, tills antennströmmen erhållit normalt värde.) Mellanreläet sluter samtidigt en annan strömkrets, som åstadkommer såväl optisk som akustisk

larmsignal i kontrollbordet. De ovannämnda fasfelreläerna manövrera dessutom en annan larmkrets, så att särskild markering erhålles för fel på kraftnätet.

Slutligen finnes även en moduleringsanätare kombinerad med larmanordning för övermodulering. Moduleringsanätaren, vilken över en kopplingskondensator anslutes till anten eller balansnät, består av ett likriktarrör, vilket matar en statisk voltmeter, graderad i procent modulering. I stället för voltmeteren kan till likriktar-

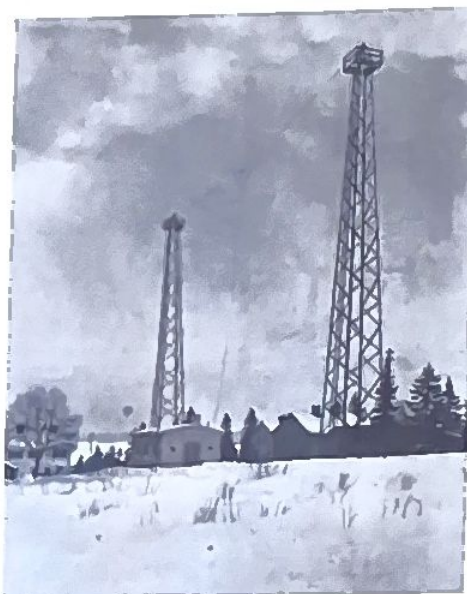


Fig. 9. Exteriör av Hudikvallstationen.

röret anslutas en larmanordning på så sätt, att den likriktade spänningen inmatas på gallret i ett thyatronrör. Detta rörs gallerförspänning injusteras till sådant värde, att röret tänder vid önskad moduleringsgrad, d. v. s. när den från likriktaren inmatade spänningen når ett visst värde. I thyatronrörets anodkrets finnes dels en ringklocka, dels ett termorelä. Vid tillfällig övermodulering ringer klockan, så länge övermoduleringen varar; uppstår långvarig övermodulering, så att även termoreläet hinner fungera, löser detta ut anodspänningskontaktorerna på sändaren, varefter avbrottslarm erhålles via

antennströmreläet. Alarmanordningarna matas från ett litet 50 V blybatteri för att kunna fungera även vid totalt kraftavbrott på nätet. För övrigt saknas batterier.

Anordning för telegrafering med kontinuerliga vågor.

Sändarna kunna användas för CW-telegafi genom att en i kontrollbordet befintlig, normalt sluten kontakt öppnas och en telegrafnyckel inkopplas i dess ställe. Så snart denna kontakt brytes, resp. när nyckeln släppes upp, inkopplas genom ett relä i 250 W stativet en hög gallerförspänning på andra förstärkarröret i detta stativ, så att högfrekvensen brytes. Då alla rör arbeta med fasta gallerförspänningar, åstadkommes ingen skada härigenom. För minskning av belastningsvariationerna på 3000 V likriktaren och därmed på kraftnätet vid telegrafering omlägges dessutom vid sändarens användning för telegrafi en omkastare i ena likriktarstativet, varigenom gallerförspänningen på 1 kW förstärkaren sänkes, så att största tillåtna belastning på rören erhålles även vid bruten bärväg. Med denna omkastare kortslutes samtidigt moduleringstransformatorn.

Stationslokaler, antennenläggning m. m.

Stationen i Umeå är installerad i ett rum i bottenvåningen av telegrafverkets fastighet i hörnet av Vasagatan och Storgatan. Sändaren är direkt ansluten till stadens 350 V trefasnät. Antennen är av i stort sett samma utförande som på 250 W stationerna. Den är uppspänd mellan en stagad 16 m rormast på fastighetens tak och en fristående 30 m fackverksmast på en angränsande tomt. Ett isolerat balansnät är uppsatt över telegrafverkets gård.

Stationen i Hudiksvall har däremot uppmonterats i en särskilt för detta ändamål uppförd byggnad vid Kapellgatan. Byggnaden, som är uppförd av trä i en våning, innehåller förutom apparatsalen förrådsrum, kokvrå, pannrum och w. c. Planritning visas i fig. 8 och exteriör i fig. 9. Sändaren matas direkt från stadens 190 V trefasnät. Antennen uppbäres av två stycken fristående 30 m fackverksmaster. Isolerat balansnät är uppsatt över hela tomten.

500 W stationen.

500 W sändaren i Örnsköldsvik är liksom 250 W sändarna tillverkad av Marconibolaget. Inga roterande maskiner ingår i sändarutrustningen, ej heller några batterier frånsett ett 1,5 V torrbatteri för signaländamål. Sändaren är byggd för anslutning till trefasnät av 380, 220 eller 190 V spänning och tager från nätet 6,9 kW. Den består av tre stativ (se fig. 10 och 11). Det största innehåller transformatorer, likriktare, filter och manövreringsapparater.

Det näst största stativet innehåller den egentliga sändaren, d. v. s. hög- och lågfrekvenskretsarna, vilka i tillämpliga delar äro kopplade på samma sätt som på 250 W sändarna (jfr fig. 2). Stativet består av fyra från varandra skärmade fack (se fig. 11), av vilka det nedre vänstra innehåller första högfrekvenssteget, som över en kabel (skärmad antennledningskabel) matas från styrsändaren. Röret i detta steg är ett luftkyll skärmgallerör av typ ACS 2 med en tillförd anodeffekt av 200 W. Anoden är utdragen

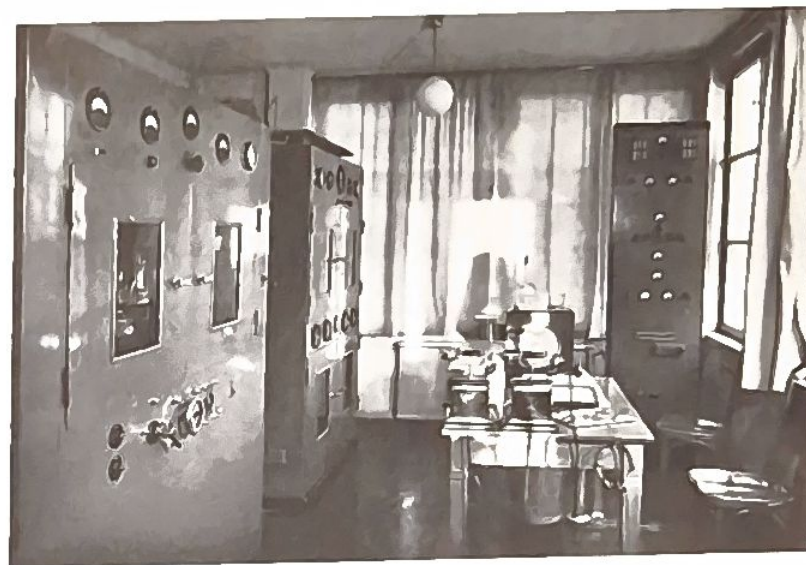


Fig. 10. Interiör från Örnsköldsvikstationen (500 W Marconisändare). Till vänster likriktar och sändarstativet, till höger styrsändaren. På bordet kontrollmottagare, ledningsväxel och manövreringsapparater.

Högspänningen (6000 V, 0,5 A) erhålles från en trefas rörlilikriktare av högvakuumtyp med 3 st. MR 6-rör i halvvägskoppling. Alla övriga likriktare äro av kopparoxidtyp och av Westinghouse-fabrikat. Glödspänningslikriktaren på 20 V och 30 A är kopplad i trefasbrygga och utförd av rektangulära plattor utan kylflänsar. Övriga metallilikriktare äro av vanlig typ med cirkulära plattor och kylflänsar samt kopplade i enfasan-sluten brygga. Från glödspänningslikriktaren matas samtliga rör i sändarstativet utom modulerade förstärkaren, vars rör på grund av seriemoduleringsystemet matas med växelström.

genom glaskolven och utanför denna utbildad till kylflänsar. Stativets övre bögra fack innehåller modulerade förstärkaren (slutsteget). Modulering sker enligt seriemoduleringsprincip, vilket innebär, att modulerade förstärkarens rör och modulatorrören äro seriekopplade, så att samma anodström först går genom de förra rören och därefter genom de senare. Anodspänningen på 6000 V över de seriekopplade rören fördelas så, att modulerade förstärkaren arbetar med 2400 V och modulatorrören med 3600 V. Modulerade förstärkarens glödtrådar få alltså 3600 V spänning till jord, vilket är orsaken till att dessa rör enligt

ovan enklast matas med växelström genom en särskild transformator. Seriemoduleringsystemet är närmare beskrivet i en tidigare uppsats i Tekn. Medd. avhandlande den nya Motalastationen (sid. 85—86, 1935). Modulerade förstärkaren innehåller två parallellkopplade, luftkylda DET 3-rör med 850 W sammanlagd, tillförd anodeffekt. Dess anodkrets är kapacitivt kopplad till antennekretsen i stativets övre vänstra fack. Detta fack innehåller även en konstgjord antenn

typ. Den erforderliga lågfrekventa lagångseffekten för full modulering är 0,04 mW. Någon linjeförstärkare behöves därför ej heller vid denna sändare.

Det minsta stativet är styrsändaren, vilken är av i stort sett samma utförande som den på nya Motalastationen använda (se Tekn. Medd. 1935, sid. 79 och 83). En del skiljaktigheter förefinnas dock, dels på grund av den höga bärvågsfrekvensen i Örnköldsvik (1402 kc/s mot 216 i Motala)

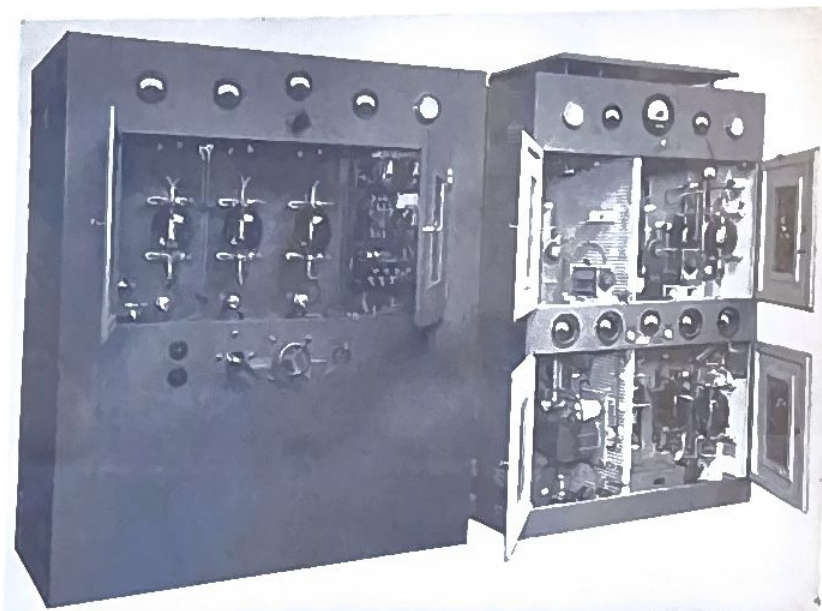


Fig. 11. Marconi's 500 W sändare.
Till vänster likriktarstativet, till höger sändarstativet. (Foto Marconi.)

bestående av ett motstånd, en kapacitet och en induktans, vilken antenn vid prov kan användas i stället för utomhusantennen. Det nedre högra facket slutligen innehåller lågfrekvenskretsarna. Lågfrekvensen förstärkes i fyra steg, samtliga motståndskopplade. I de två första stegen användas ML 4-rör, i det tredje ett DET 2-rör med 100 W tillförd anodeffekt samt som modulatorrör två parallellkopplade rör av typ MT 9 L med 1300 W total, tillförd anodeffekt. Samtliga rör äro luftkylda. Moduleringsgraden regleras med en i kontrollbordet inbyggd potentiometer av II-

och dels emedan frekvensstabiliteten procentuellt måste vara betydligt högre i Örnköldsvik till följe synkronkörningen vid nyssnämnda höga frekvens. Sålunda arbetar här kristallen på $\frac{1}{4}$ av stationens bärvågsfrekvens. Efter oscillatorröret, som är inkopplat dygnet runt, följa två frekvensför dubbelssteg och därefter två förstärkarsteg, av vilka det sista innehåller två parallellkopplade DET 5-rör, som ge en utgångseffekt av 8 W. För konstanthållande av anod- och gallerförspänningar användas stabilisatorrör (glimrör¹⁾) och järnnotstånd. Kristallen, som

¹⁾ Jfr Tekn. Medd. 1936, sid. 39.

är inkopplad mellan galler och anod på ett skärmgallerör, är innesluten i en delvis evakuerad glasbehållare, detta för att göra dess svängningsfrekvens oberoende av variationer i lufttrycket. Glasbehållaren är i sin tur insatt i en kopparcylinder, som omges av en värmeisolerad kopparlåda, vars temperatur regleras med kvicksilverregulator och thyatronrör på i princip samma sätt som på 1 kW stationerna. Denna temperaturkontrollerade låda jämte oscillatorröret är innesluten i en större, likaledes temperaturkontrollerad låda. Temperaturregleringen i denna yttre låda sker på samma sätt som i den inre, och dess temperatur hålles 5 å 10° lägre än den inres. Liksom på 1 kW sändarna blir så-

Reservkristall är inbyggd i styrsändaren, liksom ett extra oscillatorrör. Som reserv för hela styrsändaren tjänar första förstärkarsteget i sändarstativet. Detta kan nämligen omkopplas för självsvängning.

Manövrerings-, skydds- och alarmanordningar.

Skydds- och alarmanordningarna äro i stort sett desamma som på 250 W sändarna. Däremot är manövreringen betydligt förenklad. Sedan styrsändaren inkopplats, startas nämligen sändaren med en enda tryckknapp på likriktarstativet eller i kontrollbordet. Härvid startas en liten virvelströmsmotor, som driver en kamaxel. Denna kamaxel sluter sedan i tur och ordning och med lämp-

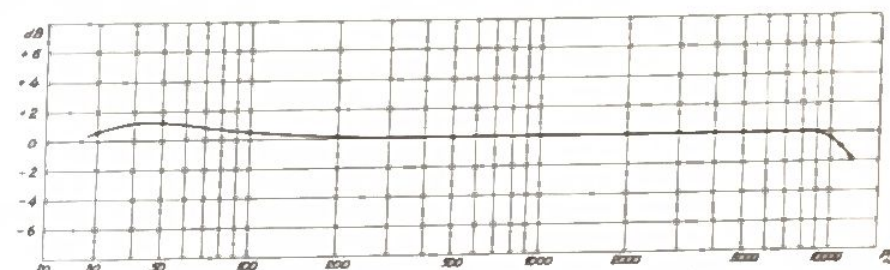


Fig. 12. Frekvenskaraktistik för Marconi's 500 W sändare.

ledes den inre lådans temperatur fullständigt oberoende av rumstemperaturen och kan hållas konstant på några hundra delar av en grad. Kristallens temperaturkoefficient är beroende på arbetstemperaturen men i genomsnitt mycket låg och vid viss temperatur praktiskt taget lika med noll. Hela styrsändarstativet är isolerat från golvet med ett filtlager, och fastsättningsbultarna äro isolerade från stativet med gummi-packningar. Härigenom förhindras, att vibrationer i golvet fortläfnas till kristallen.

Frekvensvariationerna hålla sig i allmänhet inom gränserna ± 2 p/s vid ovannämnda bärvågsfrekvens. Finjustering av frekvensen sker med en variabel kondensator, inkopplad mellan galler och katod på oscillatorröret. Frekvensen kan med denna regleras inom gränserna 1402000 ± 7 p/s. Ytterligare någon justering kan åstadkommas genom ändring av temperaturen. Kvicksilverregulatorerna äro nämligen försedda med skjutbara kontaktnålar.

liga tidsmellanrum ett antal kontakter, vilka slås till gallerförspänningar och glödspänningar (de sistnämnda stegvis) samt slutligen anodspänningen. Drytning av sändaren sker med en annan tryckknapp.

Anordning för telegrafering med kontinuerliga vågor.

Om sändaren skall användas för CW-telegrafi, kortslutas modulatorrören, och ett telegraferingsrelä inkopplas på näst sista högfrekvenssteget. Dessutom inlägges fast gallerförspänning på modulerade förstärkaren. Samtliga dessa omkopplingar utföras av reläer, som manövreras med en omkastare på likriktarstativet. Med en annan omkastare inkopplas en mellantransformator före högspänningstransformatorn, så att högspänningen reduceras till för modulerade förstärkaren vid kortslutna modulatorrör lämpligt värde av c:a 2500 V. De båda omkastarna äro elektriskt förreglade för att förhindra, att

endast en av dem av misstag omfälgas. Vid telegrafering kortslutes av telegraferingsreläet motståndet mellan skärmgaller och glödlampa på näst sista högfrekvenssteget, så snart telegrafnyckeln uppsläpps. Härigenom brytes styrspanningen på slutsteget.

Stationslokaler, antennenläggning m. m.

Sändaren är inmonterad i ett mindre rum i översta våningen i telegrafverkets nya fastighet

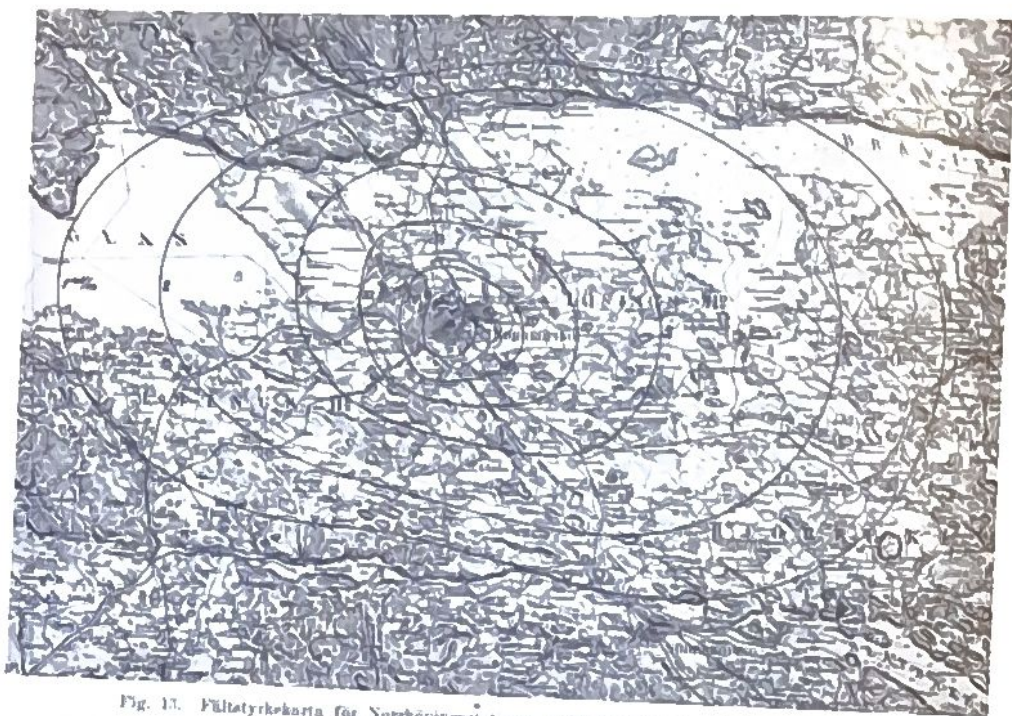


Fig. 13. Fältstyrkekarta för Norrköpingstationen (250 W sändare). Skala 1:2500000.

i hörnet av Lasarettsgatan och Järnvägsgratan. Den är ansluten till fastighetens 220 V trefasmät. Detta nät matas från en i källaren placerad transformatoranläggning, vilken är ansluten till stadens 3000 V nät.

Antennen är anbringad mellan en på fastighetens tak uppsatt 16,5 m hög, stagad rormast och en fristående sackverksmast av 24 m höjd, placerad på taket av garaget i motsatta hörnet av tomten. Ett isolerat balansnät är uppspant över gården.

Mät- och driftresultat.

Ur kvalitativ synpunkt äro samtliga ovan beskrivna sändare, främst frekvensstabiliteten, vilken behandlats i det föregående. Därför likvärdiga, och uppfylla alla krav på en förstklassig anläggning. Sändarna genomlöpa således med en tolerans av ± 2 dB, räknat från värdet vid 1000 p/s, alla frekvenser emellan 30 och 10000 p/s, mätt efter antennen (se fig. 12), och kunna moduleras till 100 %, varav till 80 a 90 % med

en klirrfaktor mindre än 4 %. »Maskintonen» ligger på 250 W sändarna 50 a 55 dB under nivån för 100 % modulerad, på 1 kW sändarna 45 a 50 dB (växelströmsmatning av glödlamporna) och på 500 W sändaren c:a 60 dB under samma nivå. Samtliga dessa värden äro uppmätta utan hörbarhetsfilter. Frekvensmoduleringen är på samtliga stationer så liten, att den icke är mätbar.

Varje stations bärvågsfrekvens mätes tre gånger i veckan av kontrollstationen i Enköping,

och vid frekvensen justeras, därest så erfordras. Vid behov företagas dessutom extra kontrollmätningar. Bland stationerna på Malmögruppens äro förekomma justeringar numera ganska sällsynta. Frekvensdifferensen mellan dessa stationer är under normala förhållanden maximalt c:a 10 p/s.

Störningsfri mottagning är under den ogynnsammaste delen av dygnet, d. v. s. vid mörker, möjlig ned till en fältstyrka av 4 a 5 mV/m (se fältstyrkekarta för Norrköping i fig. 13) och vid användning av mottagare med automatisk volymkontroll även vid betydligt lägre fältstyrkor. Då stationerna äro så belägna, att andra stationer med större fältstyrka, främst Motala, kunna avlyssnas, då man kommer på så långt avstånd från resp. stationer, att fältstyrkan nedgått under 5 mV/m, fylla stationerna väl sitt ändamål att försä resp. orter med radio-program.

Norrlandsgruppens stationer fingo även i början beträffande bärvågsfrekvensen sköta sig själva med justeringar endast vid större avvikelser från rätta värdet. På grund av de modernare styrsändarna på dessa stationer var frekvensskillnaden här betydligt mindre än på Malmövågen (2 a 3 p/s). Då Norrlandsstationernas bärvågsfrekvens kan justeras utan ändring av kristalltemperaturen, har emellertid på senare tiden för ytterligare minskning av frekvensdifferensen synkronisering av stationerna före kvällen programets början införts. Denna tillgång så, att en av stationerna under tio minuter sänder bärvåg med full effekt, under det att de båda andra stationerna endast starta sina styrsändare. De sistnämnda stationerna taga därjämte på en mottagare, kopplad till resp. stations stora antenn, in den förstnämnda stationens bärvåg och samtidigt genom lämplig koppling till den egna styrsändaren densamma frekvens (eventuellt dess andra övertton) med samma styrka, varvid svävningar motsvarande frekvensskillnaden mellan stationerna orsakas. Den egna stationens frekvens justeras därefter till nollsvävning. Efter synkroniseringen företagna mätningar visa en frekvensdifferens mellan stationerna på i allmänhet max. 1 p/s. Resultatet under mars månad 1937 framgår av fig. 14.

På Hudiksvallstationen, för vilken fältstyrkekarta visas i fig. 15, ha företagna mätningar och lyssningsförsök givit vid handen, att vid en frekvensskillnad på c:a 1 p/s störningsfri mottagning är möjlig under dygnets mörka del ned till en fältstyrka av 0,7 a 0,8 mV/m och vid användning av mottagare med automatisk volymkontroll ned till c:a 0,4 mV/m. Detta gäller under förutsättning, att de på samma våg drivna stationerna sända samma program. (Stationerna bär

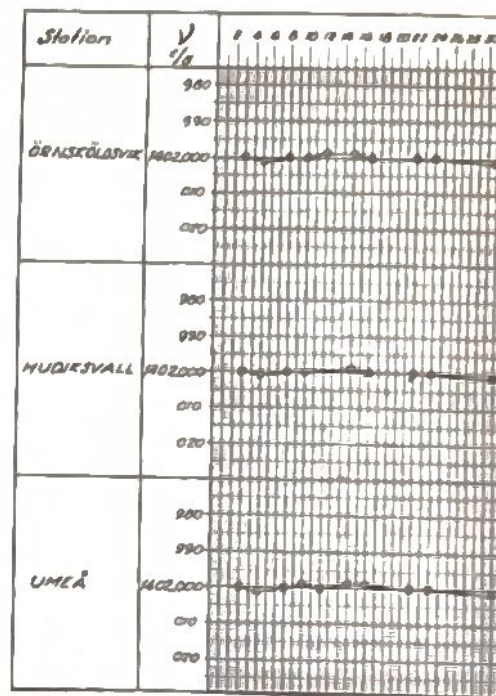


Fig. 14. Frekvensmätningar på Norrlandsstationerna under mars månad 1937. Hudiksvallstationen har ej justerats. Umeå och Örnsköldsvik ha synkroniserats med Hudiksvall.

icke sända olika program under den mörka delen av dygnet men kunna utan större olägenheter göra det under dygnets ljusa del, varvid för exempelvis Hudiksvallstationen de övriga stationerna börja verka störande på ett avstånd av 15 a 20 km, motsvarande en fältstyrka av c:a 1 mV/m.)

Övansående resultat innebär, att stationernas egen inre lyssningszon ej skulle vara nämnvärt större, även om sändarna icke vore

rören i förstärkaren, eftersom en sådan koppling endast motverkar uppkomsten av jämna övertoner i kretsarna.

Man har genom mätningar och lyssningsprov påvisat, att den modulationsgrad, varmed en ton moduleras av en annan ton med 10 gånger större amplitud, icke får överstiga 5 %, om ljudkvaliteten skall kunna anses vara förstklassig.¹⁾

För en högfrekvensförstärkare får korsmodulationen icke överstiga 0,1 %, om överhörningsdämpningen skall vara tillräckligt stor.

Om dessa villkor skola uppfyllas, bör förstärkarens klirrfaktor vara mindre än 0,1 %.

Då man numera kan erhålla högtalare med mycket liten klirrfaktor och med tämligen rak frekvenskaraktäristik upp till 12000—14000 Hz, måste man för att kunna använda sådana högtalare ställa mycket större krav på distorsionsfrihet hos förstärkarna än vad tidigare varit brukligt. Om högtalarna ej nämnvärt återger frekvenser över 5000 Hz, kan man utan större olägenhet använda förstärkare med klirrfaktorvärden upp till 2 %, men kopplas en sådan förstärkare till en högtalare, som återger frekvenser upp till 12000—14000 Hz, blir ljudåtergivningen onjubar.

För att ernå en så låg klirrfaktor, som fordras för att undvika hörbar korsmodulation, måste man arbeta med mycket små amplituder på förstärkarrörens galler, vilket har till följd att förstärkarens verkningsgrad blir synnerligen låg och rörkostnaderna höga.

Principen för negativ återkoppling.

Om en del av utgångsspänningen från en förstärkare återföres till förstärkarens ingångssida med sådan fasvinkel, att den motverkar den inkommande spänningen, kallas denna anordning negativ återkoppling. Den negativa återkopplingen har länge använts för stabilisering av högfrekvensförstärkarsteg i radiomottagare och -sändare (neutralisering). Man har emellertid i dessa fall med den negativa återkopplingen, eller som vi i fortsättningen skola kalla den, *motkopplingen*, endast avsett att förhindra förstärkarsteget att komma i självsvängning.

Motkopplingen erbjuder emellertid flera andra fördelar och har på senare tid kommit till allmän användning i bredbandsförstärkare²⁾ förstärkare med bandbredder på flera hundra kHz, för television, överföring av flera modulerade biltvågor på kablar samt även i vanliga lågfrekvensförstärkare.

För att klargöra motkopplingens verkningsätt skola vi inskränka oss till att behandla en låg-

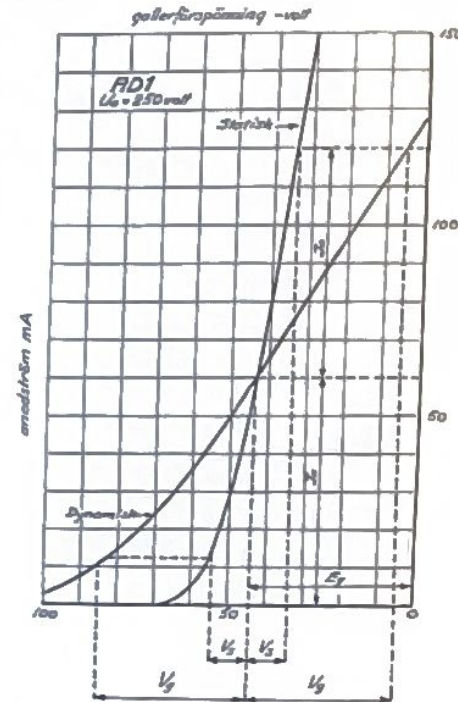


Fig. 1. Den statiska och den dynamiska karakteristiken för elotrioden AD1. För utstyning av anodvilstömmen J_a fordras gallerförsörjningen V_g (amplitudvärde) för den statiska karakteristiken och växelspänningen V_g för den dynamiska.

frekvensförstärkare innehållande ett enda förstärkningssteg.

I det följande kommer s att beteckna förstärkarrörets branthet, v_g gallerförsörjningen, v_a anodväxelspänningen, i_a anodväxelströmmen, μ rörets förstärkningsfaktor, $D = \frac{1}{\mu}$ anodgenomgreppet, R rörets inre motstånd och R_f belast-

ningsmotståndet i anodkretsen (R_f är ett oluskt motstånd, där ej annat angives).

En växelspänningen v_g inkopplas i rörets gallerkrets, uppstår, om $R_f = 0$, i anodkretsen växelströmmen

$$i_a = s \cdot v_g \quad (1)$$

Om $R_f \neq 0$, uppstår anodväxelspänningen v_a över R_f och följande samband erhålles:

$$\mu \cdot v_g - i_a \cdot R_f = v_a$$

$$\text{eller} \quad i_a = s(v_g - D \cdot v_a) \quad (2)$$

Anodkretsen återverkar på gallerkretsen på sådant sätt, att den söker minska den på gallret verkande spänningen. I varje rör uppkommer alltså negativ återkoppling på grund av anodgenomverkan.

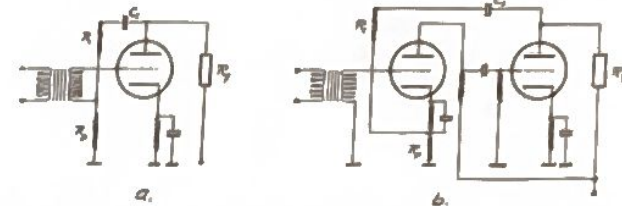


Fig. 2. Olika sätt att anordna motkoppling. Den motkopplade spänningen får olika fas i förhållande till första rörets galler, beroende på om förstärkaren innehåller udda eller jämnt antal förstärkarsteg, varför R_f måste placeras olika i gallerkretsen för de i figuren angivna förstärkarna.

Den i anodkretsen uppkommande växelspänningen är $v_a = i_a \cdot R_f$. Insättes detta uttryck för v_a i ekv. 2, erhålles:

$$i_a = \frac{s}{1 + s \cdot D \cdot R_f} \cdot v_g \quad (3)$$

Av en jämförelse mellan denna sista ekvation och ekvation 1 framgår, att motkopplingen i röret reducerar rörets branthet. Den dynamiska brantheten s' beräknas ur:

$$s' = \frac{s}{1 + s \cdot D \cdot R_f} \quad (4)$$

Den dynamiska brantheten är alltid mindre än den statiska vid samma gallerförsörjning och sjunker vid stigande värde på R_f . Rörets dynamiska karakteristik är alltid en kurva, som går genom den punkt på den statiska karakteristiken, vilken anger vilostömmen, men den stiger långsammare. (Se fig. 1.)

Ekv. 3 kan skrivas:

$$i_a = s \cdot \frac{v_g}{1 + s \cdot D \cdot R_f} = s' \cdot v_g \quad (5)$$

v_a , som vi kalla styvspänningen, är alltid densamma för konstant i_a och oberoende av R_f .

Änna i varje rör motkoppling sålunda uppkommer, är den oftast ej tillräcklig, utan motkopplingen måste ökas genom yttre anordningar. Fig. 2 anger kopplingsschemat för ett par förstärkare, som använts vid undersökning av motkopplingens egenskaper. Över det yttre motståndet i anodkretsen har kopplats en spänningsdelare $R_1 + R_p$. Spänningen över R_p tillföres galleret så, att den motverkar v_g . Spänningen över R_p är $\frac{R_p}{R_1 + R_p} \cdot v_a = p \cdot v_a$. Motsvarigheten till ekv. 2 blir:

$$i_a = s(v_g - D \cdot v_a - p \cdot v_a)$$

och motsvarigheten till ekv. 3:

$$i_a = \frac{s}{1 + s(D + p)R_f} \cdot v_g$$

Om $D + p = P$, fås

$$s' = \frac{s}{1 + s \cdot P \cdot R_f} \quad (6)$$

där P betecknar den totala motkopplingen. Styvspänningen beräknas ur:

$$v_a = \frac{v_g}{1 + s \cdot P \cdot R_f} \quad (7)$$

Förstärkningen utan motkoppling är:

$$f_a = s \cdot R_f \quad (8)$$

och med motkoppling blir den:

$$f_p = s' \cdot R_f = \frac{f_a}{1 + s \cdot P \cdot R_f} \quad (9)$$

Sambandet mellan s' och s anges grafiskt i fig. 3 för några olika värden på $P \cdot R_f$. Om $P \cdot R_f = 0$, blir sambandet givetvis representerat av en rät linje, och variationerna i s påverkas ej av det yttre motståndets storlek. Om R_f hålles konstant,

¹⁾ Jfr The Wireless Engineer, febr. 1937, J. H. Owen Harries: »Amplitude distortions».

²⁾ The Bell System Technical Journal, jan. 1934, H. S. Black: »Stabilized feedback amplifiers».

ango kurvorna variationen i s' för olika P -värden. Med ökad motkoppling P faller alltså den dynamiska brantheten samt blir mer oberoende av variationerna i den statiska brantheten.

Är den yttre återkopplingen $p=0$, så blir $P \cdot R_y = D \cdot R_y$. Om röret är en pentod, har D ett mycket litet värde. $D \cdot R_y$ är i storleksordningen 10–20 för pentoder. För trioder för mellanförstärkning antar $D \cdot R_y$ värden av storleksordningen 1000–10000, och för sluttrioder är $D \cdot R_y$ ungefär 500. R_y har därvid för rör, avsedda för mellanförstärkning, givits de värden, som ge maximal förstärkning, och för slutrör de värden, som ge maximal verkningsgrad.

Med hjälp av dessa siffrorvärden kan man ur kurvscharan bedöma, i vad mån det ena eller andra röret är lämpligt.

För mellanförstärkning spelar värdet på $D \cdot R_y$ i allmänhet icke så stor roll, då ingångs-amplituderna och därmed variationerna i brantheten s mestadels äro mycket små, men för slutsteget i en förstärkare ställer sig saken annorlunda.

Vi skola som exempel göra en jämförelse mellan två moderna slutrör, slutpentoden AL4 och sluttrioden AD1. För AL4 gälla följande värden för 4 W avgiven effekt och 250 V anodspänning: $V_s = 3,1$ V amplitudvärde, $R_y = 7000 \Omega$, $D \cdot R_y = 20$. Den statiska brantheten i arbetspunkten är $s = 9,5$ mA/V. För $V_s = 3,1$ V varierar s mellan 5,9 och 11,9 mA/V, vilket enligt kurvan i fig. 3 ger en variation i den dynamiska brantheten s' mellan 5,2 och 9,6 mA/V. För AD1 gälla följande värden för samma anodspänning och avgivna effekt: $V_s = 8$ V amplitud, $R_y = 2300 \Omega$, $D \cdot R_y = 575$. Den statiska brantheten i arbetspunkten är 6 mA/V. För $V_s = 8$ V varierar s mellan 2 och 8 mA/V, under det att s' varierar mellan ungefär 0,9 och 1,5 mA/V.

För AL4 blir variationen i den dynamiska brantheten $= \frac{11,9-5,9}{2 \cdot 3,1} = 0,97$ mA/V², och för

AD1 blir motsvarande variation $\frac{8-2}{2 \cdot 8} = 0,375$ mA/V². Pentoden ger alltså betydligt större klirrfaktor, och är därför underlägsen trioden beträffande ljudkvaliteten.

Jämföras förstärkningstalen för de båda rören, blir förhållandet omvänt. AL4 förstärker ungefär 56 gånger, under det att AD1 endast förstärker c:a 3,4 gånger.

För ses AL4 med motkoppling av storleken $P \cdot R_y = 575$, blir röret likvärdigt med AD1 med avseende på klirrfaktorns storlek. Förstärkningen blir emellertid på grund av det större värdet för R_y betydligt större:

$$f_p = s' \cdot R_y = 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 7,000 = 10,5.$$

Vid samma värde på $P \cdot R_y$ förhålla sig rörens förstärkningstal som de yttre motstånd. Då

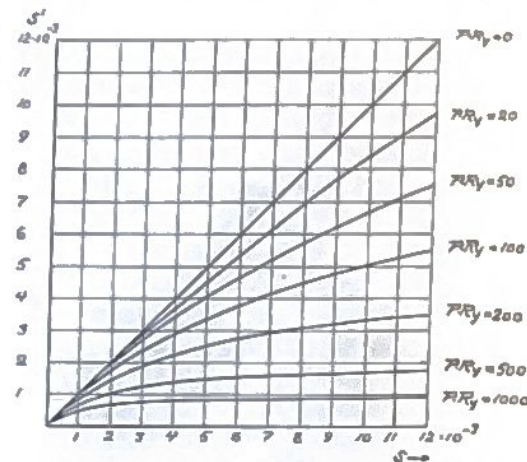


Fig. 3. Sambandet mellan brantheten för den statiska och den dynamiska rörkaraktärstiken vid olika värden på motkopplingen.

det yttre motstånd, som ger bästa verkningsgrad för röret, alltid är större för en pentod än för en triod, kommer pentoden med motkoppling att vara trioden överlägsen.

Förbättringen av förstärkarens ljudkvalitet medelst motkoppling medför enligt ekv. 9 en sänkning av förstärkningen (se fig. 4), vilket i allmänhet medför fler förstärkarsteg före slutröret. Dessa rör arbeta dock som spänningsförstärkare, varför deras effektförbrukning är ringa. Vinsten i verkningsgrad hos slutsteget uppväger ett sådant rörs effektförbrukning flera gånger.

Motkopplingen medför dock flera andra fördelar än de nu angivna, vilka icke omedelbart framgår av kurvorna i fig. 3. I det följande skall därför en utförligare utredning göras angående verkningsgarna av negativ återkoppling.

Motkopplingens inverkan på förstärkningens beroende av variationer i anod- och galler-spänningar.

För enkelhetens skull skola vi endast betrakta förhållandena för ett enda rör i förstärkaren. Vad som gäller för ett förstärkarsteg gäller ju för hela förstärkaren, varför en sådan förenkling är tillåten.

Ekvationen för rörets karakteristik kan med tillräcklig noggrannhet skrivas:

$$\text{Alltså: } df_p = \frac{df_0}{(1 + s \cdot P \cdot R_y)^2} \quad (10)$$

Den negativa återkopplingen stabiliserar förstärkarens förstärkningstal med avseende på variationer i anod- och galler-spänningar.

Exempel: För slutpentoden AL4 gälla följande värden: $k = 6 \cdot 10^{-4}$, $D_s = 5,6\%$ (D_s är skärmgallerrets genomgrip), $s = 9,5$ mA/V vid $E_g = -4,5$ V, $U_a = U_{as} = 250$ V (U_{as} = skärmgaller-spänningen).

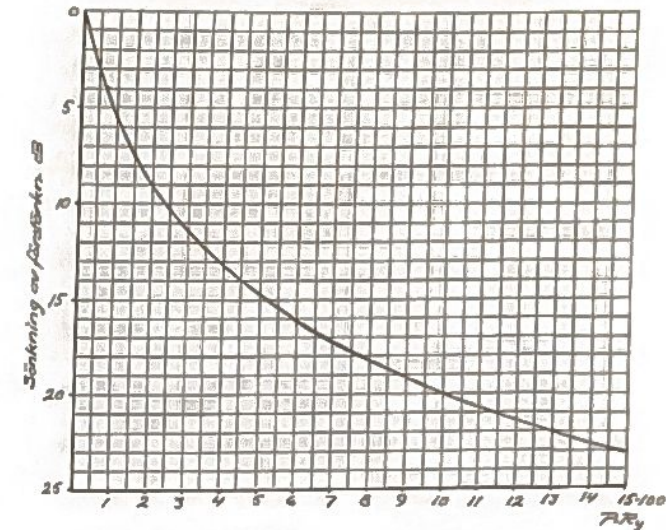


Fig. 4. Förstärkningens variation med motkopplingen.

$$I_{a0} = k (E_g + D \cdot U_a)^2$$

där I_{a0} är anodströmmen, E_g gallerförs-pänningen, U_a anodspänningen och k en konstant. Den statiska brantheten är $s = \frac{dI_a}{dE_g} = 2k(E_g + D \cdot U_a)$. Brantheten är alltså ungefärligen proportionell mot galler- och anodspänningarna. Enligt ekv. 4 blir

$$ds' = \frac{ds}{(1 + s \cdot P \cdot R_y)^2}$$

Vid motkopplingen $P=0$ är förstärkningen enl. ekv. 8 $f_0 = s \cdot R_y$, varav $df_0 = ds \cdot R_y$. För motkopplingen P är förstärkningen enl. ekv. 9 $f_p = s' \cdot R_y$, varav

$$df_p = ds' \cdot R_y = \frac{ds}{(1 + s \cdot P \cdot R_y)^2} \cdot R_y = \frac{df_0}{(1 + s \cdot P \cdot R_y)^2}$$

För $R_y = 10000 \Omega$ blir $f_0 = 9,5 \cdot 10^{-3} \cdot 10^4 = 95$. Om U_g hålles konstant, men $U_a = U_{as}$ sänkes med 50 V, erhålles $ds = 2 \cdot k \cdot D \cdot dU_a = -3,36 \cdot 10^{-3}$. Brantheten har ändrats till $9,5 - 3,36 = 6,14$ mA/V, och rörets förstärkningstal blir $f_0 = 61,4$, varav $df_0 = -33,6$. Denna senare ändring representerar en sänkning av förstärkningsnivån med 3,8 dB.

Vid en motkoppling motsvarande $P \cdot R_y = 500$ blir ändringen i förstärkningstalet

$$df_p = \frac{df_0}{(1 + 9,5 \cdot 500 \cdot 10^{-3})^2} = \frac{df_0}{33} \approx -1$$

Förstärkningen sjunker i detta fall med endast 0,2 dB.

Motkopplingen i röret kan försummas, ty skärmgallerkretsen är alltid så anordnad, att där

ej uppstår någon växelspanning, varför skärmgallret ej återverkar. Anodens genomgrepp är för AL4 blott $D=0,2\%$, vilket ger $D \cdot R_f = 0,002 \cdot 10^4 = 20$.

Mätningar på förstärkaren i fig. 2 b ha givit följande värden: $U_a = U_{an} = 250$ V gav för en viss ingångsspanning och $P \cdot R_f = 500$ en utgångsspanning på 980 mV. Om $U_{an} = U_a = 200$ V, sjunker utgångsspanningen till 950 mV. Sänkningen i förstärkningsnivå blir lika med $20 \log \frac{980}{950} = 0,25$ dB.

Om förstärkarna äro nätanslutna, inverka alltså rimliga spänningsvariationer ej nämnvärt på förstärkningen, om förstärkaren är försedd med motkoppling.

Motkopplingens inverkan på förstärkningens beroende av ingångsspanningens amplitud (proportionalitetskurvan).

Ekvationen för rörkaraktistiken kan skrivas:

$$I_{a0} = a \cdot E_g + b \cdot E_g^2 + c \cdot E_g^3 + d \cdot E_g^4 + \dots$$

där I_{a0} är anodlikströmmen, E_g gallerspänningen och a, b, c o. s. v. äro konstanter.

Om gallret tillföres en växelspanning, uppstår i anodkretsen en växelström av gallerspänningens frekvens svarande mot $a \cdot E_g$. De övriga termerna av udda potens giva även upphov till strömmar av gallerspänningens frekvens (se Appendix), varför grundvägens amplitud blir

$$I_{a1} = s \cdot V_a + \frac{3u}{24} \cdot V_a^3 + \frac{10u}{1920} \cdot V_a^5 + \dots \quad (11)$$

där V_a är styrspeänningens på gallret amplitud och s, u, w o. s. v. äro konstanter beräknade ur rörkurvas ekvation för gällande E_g -värde.

Styrspeänningen är som förut påpekats alltid densamma för en viss avgiven effekt eller utgångsspanning och oberoende av motkopplingens storlek men däremot direkt proportionell mot ingångsspanningen V_g .

Ekv. 11 kan skrivas

$$I_{a1} = (s + s_2 + s_3 + \dots) \cdot V_g$$

På grund av rörkurvas krökning erhåller brantheten tillskotten s_2, s_3 o. s. v., vilka alla variera med amplituden V_a eller V_g .

Förstärkningen är för motkopplingen noll: $f_a = (s + s_2 + s_3 + \dots) \cdot R_f$ och således beroende av ingångsspanningens amplitud.

Den i anodkretsen uppträddade växelspanningens amplitud blir

$$V_{a1} = (s + s_2 + s_3 + \dots) \cdot V_g \cdot R_f$$

Endast komponenten $s \cdot V_a \cdot R_f$ svarar direkt mot den på gallret inkommande spänningen, under det att termerna $s_2 \cdot V_a \cdot R_f, s_3 \cdot V_a \cdot R_f$ o. s. v. äro att betrakta som elektromotoriska krafter i anodkretsen.

Om motkopplingen är $P \cdot R_f$ och gallerväxelspanningen V_g ökas, så att V_a antager samma värde som förut, blir anodväxelspanningens amplitud:

$$V_{a1} = (s + s_2^1 + s_3^1 + \dots) \cdot V_g \cdot R_f$$

Den statiska brantheten s är givetvis oförändrad, eftersom inverkan av motkopplingen kompenseras av en ökning i V_g (se ekv. 7). Tillskotten s_2, s_3 o. s. v. ha emellertid ändrats på grund av motkopplingen, eftersom de ej kunnat kompenseras av V_g .

Med motkoppling komma tillskotten i anodkretsen att bli $s_2^1 \cdot V_a \cdot R_f, s_3^1 \cdot V_a \cdot R_f$ o. s. v. Av tillskottet $s_2^1 \cdot V_a \cdot R_f$ återföres $P \cdot s_2^1 \cdot V_a \cdot R_f$ till gallerkretsen och åstadkommer växelströmmen $-P \cdot s_2^1 \cdot V_a \cdot R_f$ i anodkretsen.

Summan av det ursprungliga tillskottet $s_2 \cdot V_a$ för $P=0$ och den genom motkopplingen återförda delen av tillskottet ger det resulterande tillskottet. Alltså:

$$s_2 \cdot V_a - P \cdot s_2^1 \cdot V_a \cdot R_f \cdot s = s_2^1 \cdot V_a$$

$$\text{varav} \quad s_2^1 = \frac{s_2}{1 + s \cdot P \cdot R_f}$$

På samma sätt erhålles:

$$s_3^1 = \frac{s_3}{1 + s \cdot P \cdot R_f} \quad \text{o. s. v.}$$

Förstärkningen blir:

$$f_p = \left(s + \frac{s_2}{1 + s \cdot P \cdot R_f} + \frac{s_3}{1 + s \cdot P \cdot R_f} + \dots \right) R_f \quad (12)$$

Motkopplingen minskar följaktligen proportionalitetskurvas avvikelser från den rätta linjen.

Tillskotten i grundvägens amplitud minska på grund av motkopplingen i samma proportion som förstärkningen minskar. I allmänhet är proportionalitetskurvas avvikelser från rätta linjen icke stor för trioder, där anodgenomgreppet automatiskt åstadkommer motkoppling. För slutpentoden däremot är anodgenomgreppet litet, och för större utstyrningar böjer anodströmskurvan av på grund av att skärmgallret övertager en del av anodströmmen. s_2, s_3 o. s. v. stiga därför snabbt med utstyrningen.

Exempel. För slutpentoden AL4 gälla följande värden: $s = 9,5$ mA/V, maximal växelströmsamplitud $= 36$ mA och $V_a = 3,6$ V för 4 W utgångseffekt. Vi taga endast hänsyn till tillskottet s_2 , då detta är det dominerande. Enligt ekv. 11 är $s_2 = \frac{u}{24} \cdot V_a^3$. En beräkning av $\frac{u}{24}$ ger värdet

$$-7,5 \cdot 10^{-3}, \text{ varav } s_2 = \frac{3u}{24} \cdot V_a^2 = -2,43$$

mA/V. Brantheten blir alltså $9,5 - 2,43 = 7,07$ mA/V, varför proportionalitetskurvan avviker från den rätta linjen med $-2,6$ dB vid 4 W utgångseffekt, om $P=0$. Är $P \cdot R_f = 500$, blir

$$s_2^1 = \frac{-2,43}{1 + 4,5} = -0,44 \text{ mA/V, och avvikelsern blir endast } -0,4 \text{ dB.}$$

Motkopplingens inverkan på klirrfaktorn.

I anodkretsen uppstår förutom grundfrekvensen ett antal övertoner, så att anodväxelströmmen blir:

$$I = I_{a1} \sin \omega t + I_{a2} \sin 2 \omega t + I_{a3} \sin 3 \omega t + \dots$$

På samma sätt som tillskotten i grundvägen ovan beräknats kan man beräkna motkopplingens inverkan på övertonernas amplituder.

Om dessa amplituder för $P=0$ äro I_{a2}, I_{a3} o. s. v., reduceras dessa genom motkopplingen till:

$$I_{a2}^1 = \frac{I_{a2}}{1 + s \cdot P \cdot R_f}; \quad I_{a3}^1 = \frac{I_{a3}}{1 + s \cdot P \cdot R_f} \quad \text{o. s. v.}$$

För $P=0$ är klirrfaktorn

$$k_0 = \frac{\sqrt{I_{a2}^2 + I_{a3}^2 + \dots}}{I_{a1}}$$

och med motkoppling blir den

$$k_p = \frac{\sqrt{I_{a2}^2 + I_{a3}^2 + \dots}}{(1 + s \cdot P \cdot R_f) \cdot I_{a1}} = \frac{k_0}{1 + s \cdot P \cdot R_f}$$

Motkopplingen reducerar klirrfaktorn i samma proportion som den reducerar förstärkningen, eller på annat sätt uttryckt:

Om klirrfaktorn ligger ett visst antal decibel under en angiven utgångenivå, så sänkes genom motkopplingen klirrfaktorns nivå lika många decibel som förstärkningen sjunker.

En mätning av klirrfaktorn hos förstärkaren enligt fig. 2 a vid varierande motkoppling ger de värden, som återgivnas i fig. 5. Dessa mätvärden uppvisa god överensstämmelse med räkningen.

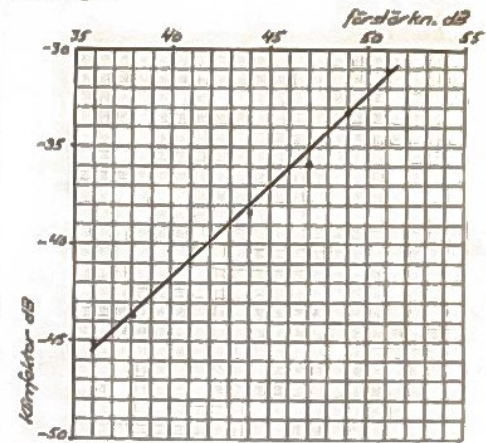


Fig. 6. Klirrfaktorns nivå vid konstant utgångsspanning hos förstärkaren i fig. 2a. Förstärkningen ändrad genom ändring av motkopplingen. Vid förstärkningen 61 dB var motkopplingen noll.

Tillföres gallret samtidigt två spänningar med olika frekvenser, uppkommer enligt ovan kombinationstoner på grund av korsmodulation (se Appendix). Motkopplingen reducerar korsmodulationen på samma sätt och i samma grad som övertonerna reduceras.

Är förstärkaren en bredbandsförstärkare, som samtidigt förstärker flera modulerade bärvågor, ökas överhörningsdämpningen med lika många decibel, som förstärkningen genom motkopplingen reducerats.

Motkopplingen sänker alltså klirrfaktorn vid en viss av förstärkarsteget avgiven effekt, eller omvänt: för en viss maximalt tillåten klirrfaktor och korsmodulationsgrad kan förstärkarsteget på

grund av motkopplingen avgiva större effekt, vilket medför ökning av verkningsgraden.

Fig. 6 visar överhöringsdämpningens variation med avgiven effekt för en bredbandsförstärker.

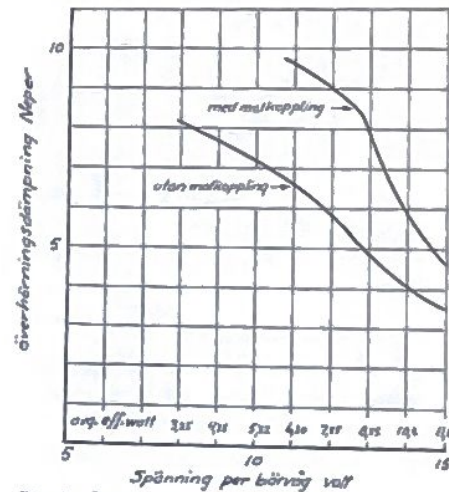


Fig. 6. Överhöringsdämpningens variation med avgiven effekt i en bredbandsförstärker med och utan motkoppling.

kare av Siemens fabrikat. Förstärkaren är avsedd för förstärkning av tre modulerade bärvågor med frekvenserna 130, 150 och 190 kHz. Vid en överhöringsdämpning om 8 neper (1 neper = 8,7 dB) kan förstärkaren avge 8 V per bärvåg utan motkoppling och 13 V per bärvåg med motkoppling. Den avgivna effekten blir i senare fallet 2,65 gånger större, vilket innebär en förbättring av verkningsgraden i samma proportion.

Motkopplingens inverkan på frekvenskaraktistiken.

Anpassningen av impedansen hos en förstärkars utgångsteg till belastningsimpedansen sker i allmänhet med en transformator, varför R_f blir den till anodkretsens transformerade belastningsimpedansen. En av de största svårigheterna vid byggandet av förstärkare för stor effekt eller för breda frekvensband är att erhålla en transformator med tillräcklig primärinduktans, för att transformationen av impedansen skall bli så litet frekvensavhängig som möjligt. Verkningsgraden för t. ex. en lågfrekvensförstärker sjun-

ker i allmänhet för låga frekvenser. Störrelsen av R_f blir således mer eller mindre beroende av frekvensen, varför man kan skriva $R_f = f(\omega)$, där ω är vinkelfrekvensen.

Om motkopplingen är noll, blir förstärkningen

$$f_0 = s \cdot v_g \cdot R_f = s \cdot v_g \cdot f(\omega)$$

Med motkoppling blir den:

$$f_p = \frac{s \cdot v_g \cdot R_f}{1 + s \cdot P \cdot R_f} = \frac{s \cdot v_g \cdot f(\omega)}{1 + s \cdot P \cdot f(\omega)}$$

Eftersom s , v_g och P är konstanta, kommer sambandet mellan f_p och R_f eller $f(\omega)$ att representeras av kurvor liknande dem i fig. 3. Man kan skriva:

$$R_f' = \frac{R_f}{1 + s \cdot P \cdot R_f}$$

Variationen i R_f minskar alltså genom motkopplingen.

Kurvorna i fig. 7 anger förstärkningens variation, uttryckt i decibel, med variationen i R_f vid olika motkopplingar. Vid $R_f = 10000 \Omega$ har utgångsnivån antagits vara 0 dB.

Motkopplingen minskar förstärkningens beroende av frekvensen.

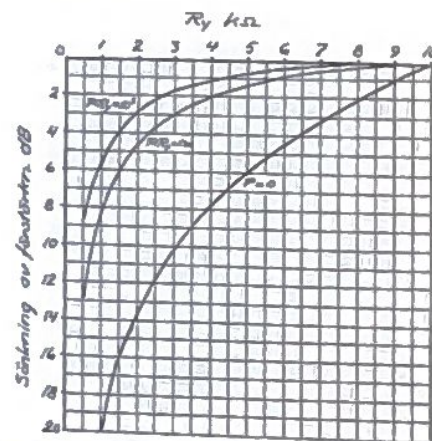


Fig. 7. Förstärkningens variation med belastningsmotståndet vid olika motkopplingar.

Ju större motkopplingen är, desto större blir kompensationen för variationer i R_f . Vill man emellertid av en eller annan anledning icke öka motkopplingen i den grad, som behövs för en viss

korrigering av frekvenskurvan, kan man ordna motkopplingen så, att P blir frekvensavhängig.

Om kondensatorn C_1 i fig. 2 minskas, kommer dess motstånd att för låga frekvenser bli av samma storleksordning som R_f och utgör således ett frekvensavhängigt seriemotstånd i spänningsdelaren. Motkopplingen $P = \frac{R_p}{R_1 + R_p + \frac{1}{j\omega C_1}}$

kommer att minska med minskad frekvens, vilket orsakar en lyftning av frekvenskurvan för låga

man måste kompromissa mellan fordringarna på förstärkning, frekvenskaraktistik och klirrfaktor för att få bästa resultat.

Kurvorna i fig. 7 ge också en uppfattning om förstärkningens variation med belastningen på utgångstransformatorns sekundärsida.

Motkopplingens inverkan på förstärkarens insvängningstid.

Om vid ett tidsmoment en spänning V_g inkopplas i gallerkretsen, så antager utgångsspän-

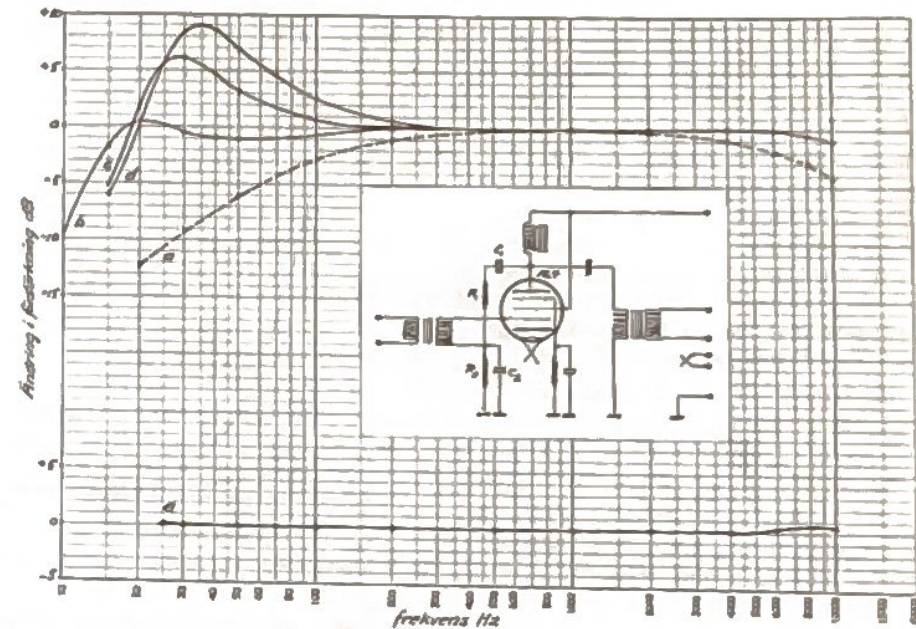


Fig. 8. Frekvenskurvor för provförstärkare.
a) $R_1 = 250 \text{ k}\Omega$, $R_p = 0$, $C_1 = 0,024 \mu\text{F}$, $C_2 = 0$
b) $R_1 = 250 \text{ k}\Omega$, $R_p = 0$, $C_1 = 0,024 \mu\text{F}$, $C_2 = 0$
c) $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$, $R_p = 10 \text{ k}\Omega$, $C_1 = 0,050 \mu\text{F}$, $C_2 = 1000 \text{ pF}$
d) $R_1 = 250 \text{ k}\Omega$, $R_p = 0 \text{ k}\Omega$, $C_1 = 0,010 \mu\text{F}$, $C_2 = 0$

frekvenser. Frekvenskurvorna a, b, c och d i fig. 8 visa frekvenskurvans utseende dels utan motkoppling och dels för olika värden på C_1 .

Parallellkopplas en kondensator C_2 över R_p , kommer P att minskas även för höga frekvenser, vilket medför en lyftning av frekvenskurvan. Kurvan c i figuren anger frekvenskurvan för förstärkaren, om $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$, $R_p = 10 \text{ k}\Omega$, $C_1 = 0,05 \mu\text{F}$ och $C_2 = 1000 \text{ pF}$.

Man måste emellertid hålla i minnet, att minskningen i P för höga och låga frekvenser ökar klirrfaktorn inom dessa frekvensområden, varför

ningen i allmänhet icke omedelbart ett mot förstärkningen svarande värde, utan någon tid, insvängningstiden, förflyter mellan inkopplingsögonblicket och tidpunkten för fulla utgångsspänningen, beroende på att bl. a. transformatorer och drosslar behöva tid för uppmagnetiseringen.

Motståndet R_f blir alltså en funktion av tiden och kan skrivas $R_f = f(t)$. Om motkopplingen är noll, blir förstärkningstalet $f_0 = s \cdot R_f = s \cdot f(t)$, och om motkopplingen är $P \cdot R_f$, blir förstärkningstalet:

$$f_p = \frac{s \cdot f(t)}{1 + s \cdot P \cdot f(t)}$$

Denna funktion är av samma form som den, som representeras av kurvorna i fig. 8. Av dessa kurvor framgår, att ju större motkopplingen är, desto fortare antager f_p sitt slutvärde, d. v. s. desto kortare blir insvängningstiden. Fig. 9 anger resultaten av en mätning av insvängningstiden för en omrörsförstärkare med och utan motkoppling.¹⁾

Motkopplingen förkortar alltså insvängningstiden.

Detta förhållande betyder förbättrad återgivning av stöt ljud, såsom slag, handklappning o. dyl. Om en högtalare anslutes till förstärkaren, ökar motkopplingen högtalardämpningen utan att insvängningstiden därmed ökas. Pentoder ha ju på grund av sitt höga inre motstånd ringa dämpande inverkan på insvängningsförloppet hos en högtalare, men genom motkoppling kan man således minska denna olägenhet.

Motkopplingens inverkan på fasvinkeländringar i förstärkaren.

I det föregående har R_f antagits vara ett ohmskt motstånd. I verkligheten torde R_f sällan vara rent ohmskt. Förstärkaren kopplas ju i allmänhet till en ledning eller en högtalare, vilkas impedanser icke äro fasrena och där fasvinkeln varierar med frekvensen. Även om förstärkaren vore belastad med ett ohmskt motstånd, införes genom utgångstransformatorn en fasvinkel för vissa frekvensområden. Vidare ändras fasvinkeln även i ingångstransformatorn, och vid höga frekvenser inverka även kapaciteterna i rören, varför fasvridningen från förstärkarens ingångsklämmor till dess utgångsklämmor kan bli betydlig.

Kopplas ett antal förstärkare efter varandra, kan därför självsvängning uppstå i hela systemet. Svängning kan t. o. m. uppstå i en förstärkare, om läck-kapaciteter m. m. antaga höga värden.

I stället för R_f i föregående formler måste alltså insättas $R_f \cdot \cos \varphi$ på grund av att R_f icke är ett ohmskt motstånd. Ekv. 9 kan då skrivas:

$$f_p = \frac{f_0}{1 + s \cdot P \cdot R_f \cdot \cos \varphi} = \frac{s \cdot \cos \varphi}{1 + s \cdot \cos \varphi \cdot P \cdot R_f} \cdot R_f \quad (13)$$

¹⁾ Blach: anförut arbete.

Om φ ligger mellan $+90^\circ$ och -90° , blir f_p alltid mindre än f_0 och förstärkaren självsvänger icke. Ligger φ däremot mellan 90° och 270° , blir $\cos \varphi$ negativ och f_p större än f_0 , varför förstärkaren blir instabil och lätt rutar i självsvängning.

Av ekv. 13 framgår, att motkopplingen minskar fasvridningen.

Man kan ordna så, att även P kommer att innehålla en fasvinkel, varför man kan skriva motkopplingen $= P \cdot R_f \cdot \cos \alpha$, där α blir motkopplingens fasvinkel, som kan bestämmas genom det sätt, varpå motkopplingen ordnas. Motkop-

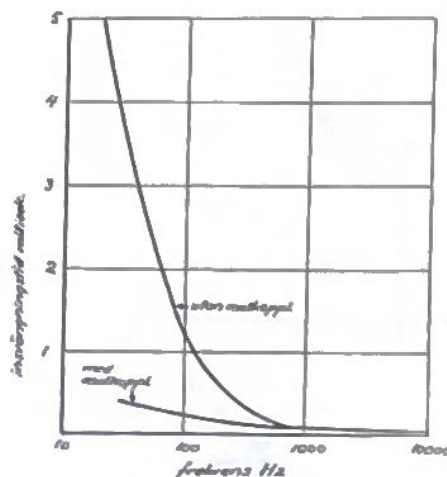


Fig. 9. Motkopplingens inverkan på en lågfrekvensförstärkares insvängningstid.

plingen kan t. ex. passera genom ett filter med omvända egenskaper mot belastningsimpedansen, varigenom variationer i impedansen helt kompenseras o. s. v.

I fig. 10 anges mätresultaten för en förstärkare. Mätningen är gjord från förstärkarens ingångsklämmor till dess utgångsklämmor.¹⁾

Motkopplingen minskar alltså fasvridningen i förstärkaren.

Motkopplingens inverkan på störningsnivån.

De i en förstärkare uppkommande störspänningarna på grund av rörbrus, störningar i glödströms- och anodströmsledningarna o. s. v. giva i anodkretsen upphov till störspänningar, vilka

tillsammans kunna betecknas med V_n , då motkopplingen är noll.

På samma sätt som vid beräkningen av motkopplingens inverkan på övertonernas amplituder kan man beräkna dess inverkan på störningsnivån. Om V_n är störspänningen vid motkopplingen $P \cdot R_f$, men med bibehållen utgångseffekt från förstärkaren, så erhålles

Enligt Taylors serieutveckling erhålles:

$$dI_n = s \cdot dE_n + \frac{k}{2} \cdot (dE_n)^2 + \frac{u}{3!} \cdot (dE_n)^3 + \frac{v}{4!} \cdot (dE_n)^4 + \frac{w}{5!} \cdot (dE_n)^5 + \dots$$

$$\text{där } s = \frac{dI_n}{dE_n}, k = \frac{d^2 I_n}{dE_n^2}, u = \frac{d^3 I_n}{dE_n^3} \text{ o. s. v.}$$

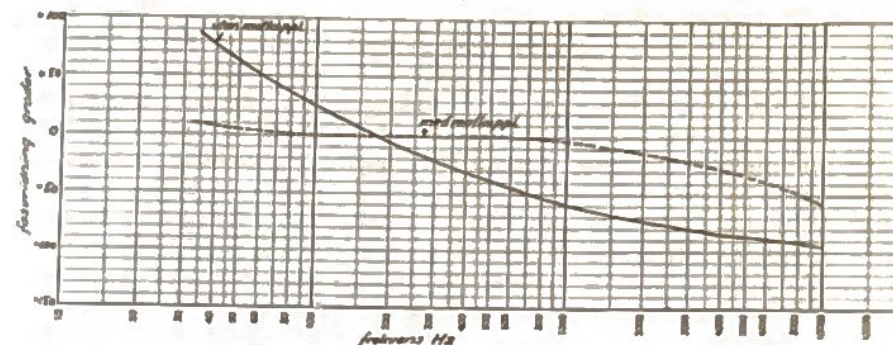


Fig. 10. Motkopplingens inverkan på fasvridningen hos en lågfrekvensförstärkare. Mätningen gjord från förstärkarens ingångsklämmor till dess utgångsklämmor. Motkopplingen mellan samma punkter.

$$V_n' = \frac{V_n}{1 + s \cdot P \cdot R_f}$$

Motkopplingen sänker alltså störningsnivån lika många decibel som den sänker förstärkningen.

Sammanfattning.

Motkopplingen förbättrar en förstärkares samtliga egenskaper, utom förstärkningen, i ungefär samma proportion som den sänker förstärkningen. Sänkningen i förstärkning kompenseras lätt genom ökad spänningförstärkning i förstärkaren. På grund av motkopplingens förbättring av frekvenskaraktistiken och klirrfaktorn kunna i allmänhet billigare transformatorer och mindre rörtyper användas än vad eljest skulle vara fallet.

Appendix.

Inverkan av den kubiska distorsionen.¹⁾

För en viss konstant anodspänning blir rörets anodström enbart beroende av gallerförspänningen E_g och kan skrivas: $I_a = f(E_g)$.

¹⁾ So Die Telefunken-Röhre, Heft 3, 1935, K. Wilhelm: »Über nichtlineare Verzerrungen bei Hochfrequenzverstärkerröhren».

Om dE_g är en växelspanning v_g , så blir alltså växelströmmen i anodkretsen:

$$i_a = s \cdot v_g + \frac{k}{2} \cdot v_g^2 + \frac{u}{3!} \cdot v_g^3 + \frac{v}{4!} \cdot v_g^4 + \dots$$

Om $v_g = A \cdot \sin \omega t$, så kommer i_a att innehålla komponenter med frekvenserna ω , 2ω , 3ω o. s. v.

Tillföres gallret samtidigt två växelspanningar $A \cdot \sin \omega_1 t$ och $B \cdot \sin \omega_2 t$, fås $v_g = A \cdot \sin \omega_1 t + B \cdot \sin \omega_2 t$. Anodströmmen kommer nu att innehålla komponenter med frekvenserna ω_1 och ω_2 samt övertoner till dessa båda frekvenser jämte ett antal komponenter, vilkas frekvenser äro kombinationer av de båda grundfrekvenserna, såsom $\omega_1 \pm \omega_2$, $2\omega_1 \pm \omega_2$ o. s. v. I tabell I finnes en sammanställning av en del av de uppkommande frekvenserna och deras amplituder. Kolumnerna I och II ange fasvinkeln, kolumn III komponentens frekvens och kolumn IV storleken av de olika termernas i serien bidrag till resulterande amplituden.

Av tabellen framgår, att såväl spänningen $B \cdot \sin \omega_2 t$ som spänningen $A \cdot \sin \omega_1 t$ lämna bidrag till amplituden för grundvägen ω_1 .

Det bidrag, spänningen $B \cdot \sin \omega_2 t$ lämnar, blir:

$$\Delta A' = \frac{u}{24} \cdot 6 \cdot A \cdot B^2 + \frac{u}{1920} (60 A^3 \cdot B^3 + 30 A B^4) + \dots$$

$\Delta A'$ uppkommer således endast på grund av närvaron av udda potenser i serien.

Bortser man från högre potenser än den tredje, kan man skriva:

$$\Delta A' = \frac{u}{24} \cdot 6 \cdot A \cdot B^2$$

Amplituden för grundvågen på grund av spänningen $A \cdot \sin \omega_1 t$ blir:

$$s \cdot A + \frac{u}{24} (3 A^3 + 6 A B^2) + \dots$$

Bortses från högre potenser än den första, kan man skriva amplituden $= s \cdot A$.

Det procentuella bidraget i amplitud till spänningen $A \cdot \sin \omega_1 t$ från spänningen $B \cdot \sin \omega_2 t$ blir således:

$$\frac{\Delta A'}{s \cdot A} = \frac{u}{24 \cdot s} \cdot 6 \cdot B^2 \cdot 100 \%$$

Om B är en modulerad bärvåg, kommer bärvågen A därför att moduleras av B . Vid 100 % modulering av B blir moduleringen av bärvågen A på grund av korsmodulation:

$$\frac{\Delta A'}{s \cdot A} = \frac{u}{24 \cdot s} \cdot 6 \cdot B^2 \cdot 100 \%$$

Exempel. Antag att klirrfaktorn för en förstärkare är 4 % vid en viss utgångsnivå, och att distorsionen orsakas av endast andra och tredje övertonen, vilka antagas vara lika stora. Den kubiska delen av distorsionen är alltså $k_3 = \frac{4}{\sqrt{2}} = 2,8 \%$.

Enligt tabellen är amplituden för tredje övertonen $= \frac{A^3 \cdot u}{24}$ och amplituden för grundvågen

$= s \cdot A$. Härav: $\frac{A^3 \cdot u}{24} \cdot \frac{1}{s \cdot A} = 0,028$, varav

$$\frac{u}{s \cdot 24} = \frac{0,028}{A^2}$$

Insättes detta värde i uttrycket för korsmodulationen fås:

$$\frac{\Delta A'}{s \cdot A} = 0,198 \cdot \frac{B^2}{A^2} \cdot 100 \%$$

Om $A = B$, blir korsmodulationen 16,8 %. För en överhörningsdämpning om minst 60 dB förd-

Tabell 1.

I	II	III	IV
$\frac{A}{B}$	$\frac{B}{A}$	$\frac{A^2}{B^2}$	$\frac{B^2}{A^2}$
0,1	10	0,01	100
0,2	5	0,04	25
0,3	3,33	0,09	11,11
0,4	2,5	0,16	6,25
0,5	2	0,25	4
0,6	1,67	0,36	2,78
0,7	1,43	0,49	2,04
0,8	1,25	0,64	1,56
0,9	1,11	0,81	1,23
1,0	1	1	1
1,1	0,91	1,21	0,83
1,2	0,83	1,44	0,69
1,3	0,77	1,69	0,59
1,4	0,71	1,96	0,51
1,5	0,67	2,25	0,44
1,6	0,63	2,56	0,39
1,7	0,59	2,89	0,34
1,8	0,56	3,24	0,31
1,9	0,53	3,61	0,28
2,0	0,5	4	0,25

ras, att korsmodulationen ej får överskrida 0,1 %, varav framgår, att den kubiska distorsionen ej får överskrida ungefär 0,1 %.

Kombinationsfrekvenserna $\omega_1 \pm \omega_2$, $2\omega_1 \pm 2\omega_2$ o. s. v., som uppkomma på grund av den kvadratiske distorsionen, kunna alltid filtreras bort, om förstärkaren är avsedd för högfrekvens, och i en lågfrekvensförstärkare balanseras ut genom push-pullkoppling av rören i förstärkaren, varför desamma icke behöva åstadkomma försämring av ljudkvaliteten.

På grund av den kubiska distorsionen uppkomma kombinationsfrekvenserna $2\omega_1 \pm \omega_2$, $\omega_1 \pm 2\omega_2$ o. s. v., vilka ej kunna balanseras ut. Kombinationsfrekvenserna $\omega_1 \pm 2\omega_2$ t. ex. kunna betraktas som sidoband till en bärvåg med frekvensen ω_1 . Om ω_1 och ω_2 äro två toner i en lågfrekvensförstärkare, kommer frekvensen $2\omega_2$ att giva upphov till en hörbar modulation av ω_1 .

Enligt tabellen är amplituden för grundfrekvensen $= s \cdot A$ och för sidbanden $= \frac{3u}{24} A \cdot B^2$.

Modulationsgraden blir: $2 \cdot \frac{3u}{24 \cdot s} \cdot \frac{B^2}{A^2} \cdot 100 \%$.

Exempel. Om klirrfaktorn antages vara densamma som i förra exemplet och den kubiska distorsionen även densamma, så är $k_3 = 0,028$.

Härav erhålles som förut: $\frac{u}{s \cdot 24} = \frac{0,028}{A^2}$, varav modulationsgraden såsom i förra exemplet blir

16,8 %, om $A = B$. Är den kubiska distorsionen $k_3 = 0,1$ %, blir modulationsgraden 0,6 %. Är $B = 5 \cdot A$, blir modulationsgraden däremot 15 %. Härav framgår, att en kubisk klirrfaktor om 0,1 % är i högsta laget, om ljudåtergivningen skall bli fullgod.

Telegrafverkets museum.

Telegrafverkets museum har i dagarna öppnats för allmänheten. Därmed har ett mångårigt arbete burit frukt, ett arbete, som utförts kan man säga utan att göra något större väsen av sig. Det har också visat sig, att en ej obetydlig del av telegrafverkets tjänstemän haft mycket ringa eller ingen kännedom om hur detta museum kommit till eller hur det planerats. En kort redogörelse för dessa saker torde därför här vara på sin plats. Med en sådan vinnes kanske också ett annat syfte, som museets ledning är varmt intresserad av, nämligen att mera än hittills erhålla tjänstemännens medverkan vid kompletterandet av museets samlingar. Dessa äro visserligen ganska fullständiga i vad det rör det rena apparatbeståndet, men det finns även andra föremål, som intressera. Vad museet sällunda saknar i viss utsträckning är fotografier av gamla stationer och stationsinredningar ävensom porträtt av tjänstemän.

Tanken på att åstadkomma ett speciellt telegrafverkets museum är tämligen ålderstigen, även om dess realiserande ej tagit fast form förrän nu. Redan från den elektriska telegrafens införande här i landet i mitten av förra seklet, från vilken tidpunkt telegrafverket som bekant räknar sin upprinnelse, samlades hos telegrafstyrelsen ett antal modeller av de för bygandet av elektriska telegraflinjer och stationer använda apparaterna att nyttjas för undersökningar o. dyl. På grund av telegrafteknikens relativt snabba framsteg kom denna samling snart nog att få endast historiskt intresse, och telegrafstyrelsen beslöt därför 1865, att de i dessa »modellskåp» förvarade effekterna skulle avföras ur inventarieförteckningen och ej längre redovisas. Dåvarande intendenten vid telegrafverket

A. L. Fahnehjelm, även känd som en av konstruktörerna till den första svenska elektriska telegrafapparaten, fick i uppdrag att ha överinsende över föremålen. Så småningom överfördes dessa till telegrafverkets undervisningsanstalt, en helt naturlig åtgärd för övrigt, och kommo alltså under tillsyn av föreståndaren för denna anstalt, en ordning, som ännu i dag består.

Samlingen flyttades samtidigt med undervisningsanstalten från telegrafstationsbyggnaden vid Skeppsbron 2, där den förvarats sedan 1854, till lokaler vid nuvarande Malmkillnadsgatan 23. Detta skedde 1908. Antalet föremål i samlingen utgjorde då c:a 200. Från denna tidpunkt ökades samlingen raskt. Tre år senare räknade man 400 nummer, och 1921 var man uppe i 1800 föremål. Ökade utrymmen hade samtidigt vunnits, och den »historiska modellsamlingen» var i början av 1923 i så pass färdigordnat skick, att en visning för pressen kunde äga rum. Strax därpå måste emellertid stora delar av densamma packas ned för att sändas till Göteborgsutställningen, i vilken telegrafverket deltog med en historisk exposition. Då de utlånade föremålen återkommo till undervisningsanstalten, åtföljdes de av en stor mängd apparater och modeller, som hopsamlats eller tillverkats för denna utställning. Det blev därför nödvändigt att göra en fullständig omgruppering av samlingarna, så mycket mer som året därpå dessa utökades med ej mindre än 400 nummer på en gång genom en gåva från Stockholms allmänna telefonaktiebolag. De disponerade utrymmena räckte ej till, men genom att förhyra lokaler i grannhuset kunde man reda sig hjälpligt. Den historiska modellsamlingen hade nu växt ut till ett verkligt museum, som det krävde mycken tid och arbete att ordna på ett

tillfredsställande sätt. Någon plats för de verkligt stora föremålen i samlingarna kunde dock ej beredas, utan dessa måste alltså ligga magasinerade på annat håll. Något öppnande för allmänheten hunnas ej heller med i dessa lokaler, men samlingarna voro dock i sådant skick, att de kunde visas för intresserade och särskilt för de kurser, som anordnades vid undervisningsanstalten.



Fig. 1. Telegrafverkets museum, Karlaplan 2, gårdshuset.

Ett viktigt steg till museets slutliga färdigställande togs 1932, då telegrafstyrelsen beslöt, att den byggnad vid Karlaplan 2, som inhyste Östermalms telefonstation och som skulle bli ledig året därpå vid denna stations automatisering, därefter skulle ställas till museets förfogande. Efter nödvändig renovering och mindre ombyggnad stod denna byggnad färdig för inflyttning vid årsskiftet 1934-35. Under de två och ett halft år, som sedan dess förflutit, har arbetet med samlingarnas ordnande fortgått och kan nu anses i stort avslutat i vad rör museets innehav av telegraf- och telefonföremål. Något

ordnande av i museets ägo befintliga radioföremål har däremot ännu ej kunnat ske, då lämplig lokal här för saknats, men gott hopp om att även denna fråga skall få en tillfredsställande lösning inom en ej alltför avlägsen framtid föreligger.

Museet förfogar i sin nya byggnad, vilken trots adressen ej ligger vid Karlaplan utan vid Styrmansgatan, över 4 stora salar i lika många våningar, var och en på ungefär 150 m² golv-yta. Härtill kommer källarvåning, som dock ännu endast delvis kan tagas i anspråk för utställningsändamål, då något utrymme också måste finnas för förvaring och hopsättning av nyländska museiföremål ävensom för knickarverkstad. En exteriör av museibyggnaden, tagen i vintras, visas i fig. 1.

Antalet föremål i samlingarna uppgår för närvarande till i runt tal 7500. Av dessa är det övervägande flertalet sådana, som använts eller tillverkats här i landet. Endast ett fåtal, av utländska telegrafförvaltningar skänkta föremål av speciellt intresse äro utställda. Beträffande föremålens hopbringande må i övrigt endast nämnas, att till museet undan för undan från aktiv tjänst överförts i telegrafverket använda apparattyper av olika slag. Vid detta arbete ha även enskilda tjänstemän på olika håll i verket visat stort intresse. Mycket har dock erhållits såsom gåvor från utom verket stående personer och sammanlutningar. Om jag i detta sammanhang endast nämner ett namn, L. M. Ericsson, begär jag säkert ingen orättvisa. Ej nog med att detta namn står på snart sagt varannan telefonapparat i museets ägo, utan bolaget har även visat stor oförfärlighet såväl i fråga om föremål av historiskt intresse som jämväl beträffande inom telefontekniken av i dag använd materiel, speciellt då på telefonautomatikens område. Ett tekniskt museums uppgift bör ju vara att belysa den historiska utvecklingen fram till nuvarande tids ståndpunkt, så att vederbörande besökare på ort och ställe kan göra sina jämförelser mellan gammalt och nytt. Å museet finnes därför även utställd fullt modern telegraf- och telefonapparat. Denna tjänar även ett annat syfte. Allmänheten har som regel liten kunskap om hur en telegraf- eller telefonstation är inrättad tekniskt sett

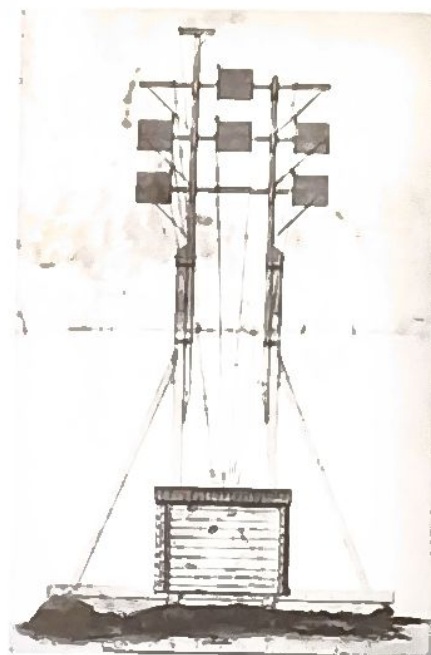


Fig. 2. Ritning till optisk telegraf enligt Edelerantz' system (1833).

och hur den arbetar. Det har därför ansetts väl falla inom ramen för museets verksamhet att genom därstädes uppställda anordningar av

detta slag, vilka äro i praktisk drift, sprida någon upplysning härutinnan. Även i fråga om de historiska föremålen har, där så varit möjligt, den principen följts, att de skola kunna demonstreras under gång. Museet blir ju härigenom mera levande.

I anslutning till de bilder, som illustrera denna artikel, skall här i korthet redogöras för hur museet är ordnat ävensom genom några exempel angivas arten av de föremål, som där utställas.

Bottenvåningen är uppdelad i tvenne avdelningar, den ena inrymmande optiska telegraf-föremål, den andra elektriska telegrafapparater. De optiska föremålen, vilka i stor utsträckning erhållits såsom deposition från Nordiska museet, avse samtliga det av kanslirådet A. N. Edelerantz 1794 konstruerade signalsystemet, vilket fick en förhållandevis stor utbredning i vårt land och på sina håll kvarlevde ända in på 1880-talet. Fig. 2 visar en i museets ägo befintlig ritning till en optisk telegrafstation, utförd 1833 av F. Akrell, som till telegrafverkets blivande förste generaldirektör C. Akrell. Systemets 10 luckor inställas medelst en sinnrik manövrerinrättning, den s. k. regeringen (synes i fig. 3, som visar en rekonstruerad interiör med autentiska inventarier av Örskärns optiska telegrafstation på linjen Stockholm—Gävle). Antalet luck-

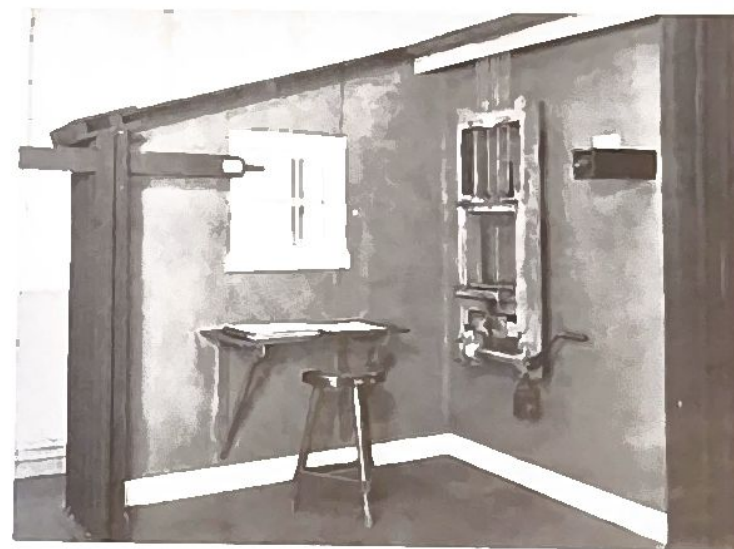


Fig. 3. Interiör av optisk telegrafstation (Kikaren s. b. ej autentiisk).

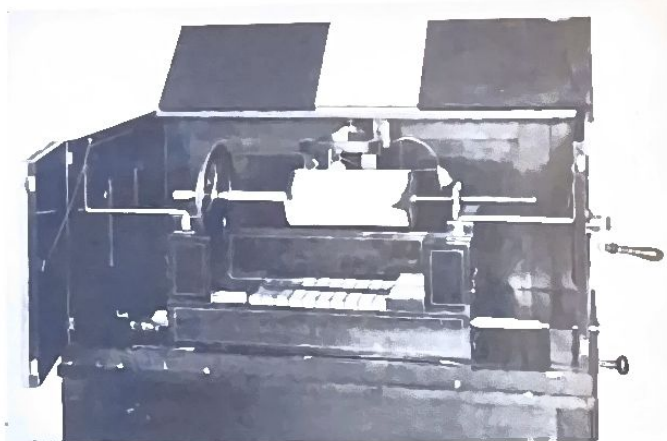


Fig. 4. Den första svenska elektriska telegrafapparaten, konstruerad av Fahnehjelm och v. Heland 1843—46.

kombinationer var 1024; den i fig. 2 angivna luckställningen har betydelsen 636 (»passa väl upp»). Avståndet mellan stationerna uppgick i medeltal till en mil, vilket framgår av en karta från 1808 över de från Stockholm utgående optiska linjerna. Undantagsvis kunde dock väsentligt större distanser förekomma, såsom t. ex. mellan Grisslehamn och Signåskär på Åland, en sträcka på nära 2,5 mil. Det optiska telegrafväsendet lydde före telegrafverkets tid under chefen för topografiska kåren. Kostnaderna för dess underhåll och drift bestredes av postmedel, vilken ordning kvarstod ända intill 1868. Detta är anledningen till att en modell av en optisk telegrafstation även påträffas i postmuseum.

De elektriska telegrafföremålen äro i motsats till de optiska av mera skiftande natur. Här märkes den första svenska elektriska telegrafapparaten, utarbetad åren 1843—46 av v. Heland och den tidigare nämnde Fahnehjelm. Apparaten baserade sig på användning av den optiska signalboken (därav de 10 sändartangenterna, se fig. 4). Dess utförande är helt avvikande från den något tidigare konstruerade morseapparaten; med sin mottagarvals påminner den mera om en bildtelegrafapparat än en vanlig telegrafapparat. Den fick ej heller någon praktisk betydelse. (Apropå morseapparaten så är det i år jämnt 100 år, sedan den första föreläsningen av den-

samma ägde rum.) Bland andra rariteter må nämnas en utskrift från sept. 1853 av ett telegram, sänt på den första elektriska telegrafledningen Stockholm—Uppsala, innan densamma öppnades för trafik, samt av ett bildtelegram från 1865, överfört med Casellis bildtelegraf

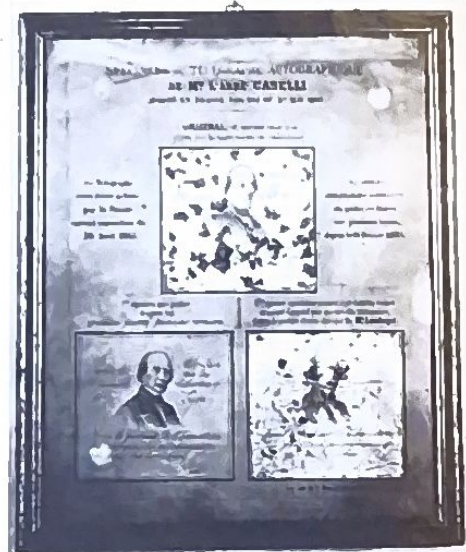


Fig. 5. Bildtelegram överfört med Casellis bildtelegraf 1865. Överst originalbilden, därunder t. v. den mottagna bilden, t. h. en med ledning av denna preparerad bild för vidare sändning på annan ledning. Fläckarna ha orsakats av tidens tand.

(se fig. 5). Bland de utställda telegrafapparaterna kan framhållas ett av telegrafverkets dåvarande fysiker prof. Edlund 1854 konstruerat dubbelskrivningsrelä, som löste problemet att telegrafera samtidigt i bägge riktningar på en och samma ledning. Det i fig. 6 avbildade telegrafbordet visar de på en telegrafstation på 1850-talet för telegrajtjänsten nödiga utensilierna. Morseapparaten trycker tecknen i relief på papperremsan. Ljusstake med ljussax, linjal, blåekhorn m. m. äro försedda med påskrift om godkännande av dåvarande generaldirektören.



Fig. 6. Rekonstruktion av telegrafbord från 1850-talet.

Även övriga i telegrafverket eller eljest i landet nyttjade telegrafsystem äro representerade i denna sal: nåltelegraf, visartelegraf, trycktelegraf enligt Hughes' princip, Wheatstones snabbskriftssystem med tillsatsapparater av Creed samt fjärrskriftstelegraf enligt teletype-systemet. De flesta av dessa telegrafsystem kunna visas i praktisk drift. Raden av telegrafapparater avslutas med en del för mätningar på telegrafledningar avsedda instrument.

Våningen 1 tr. upp är till större delen ägnad åt föremål tillhörande telegraf- och telefonledningar samt åt linjebyggnad. Här finnas prov på isolatorer och ledningstråd samt kablar; bl. a. märkes en provbit från den första längre

sjökabeln mellan Dover och Calais 1850 (oarmrad och oanvändbar) samt en bit av den första brukbara Atlantkabeln 1858, vilken endast fungerade i en månad. Båda dessa prov äro upptagna från havsbotten (1874). Även må påpekas, att bland kabelproven finnas modeller av svensk konstruktion från detta sekels början, vilka nyttja samma slags isolerings- och fasthållningsmetod för de enskilda ledningstrådarna som de på sistone på sina håll i kommersiellt bruk tagna bredbands- eller televisionskablarna. I en särskild monter visas exempel på

en långdistanskabel från senare tid, nämligen telefonkabeln Stockholm—Göteborg.

I nära anslutning till dessa ledningsprover finnes dels en utställning av inom förstärkertechniken använda elektronrör ävensom några olika telefonöverdrag och en utrustning för högfrekvenstelefonering, dels en utställning av inom telegraf- och telefontekniken använda galvaniska strömkällor alltifrån Voltas stapel fram till bly- och nifeackumulatorer. Denna senare samling kompletteras med på resp. telegraf- och telefonavdelning utställda strömkällor av galvaniskt slag. Särskilt må angivas raden av i telefonapparater nyttjade torrellement i telefonavdelningen 2 tr. upp.

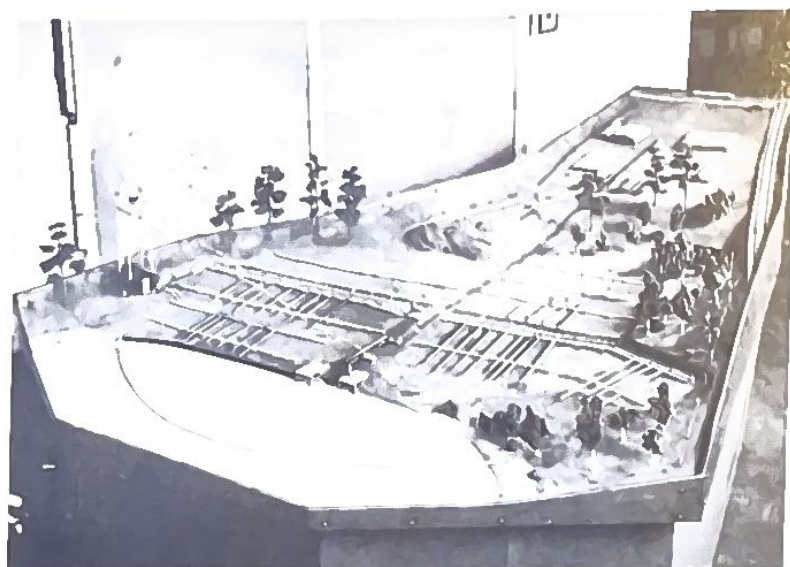


Fig. 7. Modell i skala 1:40 av stolpimpregneringsanstalten vid Björkhult i norra Småland, den sista i sitt slag.

Linjebyggandet illustreras dels med en mångfald linjeverktyg, dels av ett par modeller över stolpimpregneringsanstalter, av vilka den ca 4 m långa och 1—2 m breda modellen över telegrafverkets sista impregneringsanstalt vid Björkhult i norra Småland särskilt må nämnas (se fig. 7). I denna modell finnes t. o. m. personalen medtagen i form av konstnärligt snidade träfigurer av Döderhultstyp, utförda av en träsnidare på platsen. Avdelningen inrymmer även

kartor visande telegraf- och telefontätens utveckling i Sverige samt en del statistik och kuriosas. I ett särskilt rum är inrett ett bibliotek omfattande bl. a. en nära nog komplett samling telefonkataloger alltifrån det första telefonsätets tillkomst i Stockholm 1880, då Bellbolaget öppnade en telefonstation vid Västerlånggatan för 121 abonnenter. Slutligen finns även i denna våning uppsatt en automatisk taxavisare, som anger kostnaden för telefonsamtal

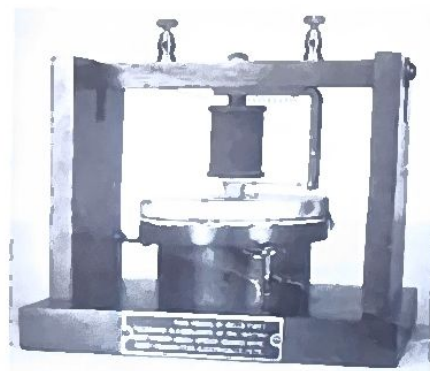


Fig. 8. Modell av Bells första telefon (1875). »Detta instrument är det första, varigenom mänskligt tal framförts på elektrisk väg.»



Fig. 9. Den första svenska mikrotelefonen, hopsatt 1894 av Lundqvist (Stockholms allmänna telefonaktiebolag).

från Stockholm till olika orter såväl inom som utom Sverige. Anordningen, vars mest framträdande parti utgöres av en stiliserad karta över Europa, anger kostnaden för en samtalsperiod under trafikstark resp. trafiksvag tid i ljusskrift och manipuleras genom en med finger-skiva försedd telefonapparat.

De två översta våningarna i museihyggnaden äro uteslutande avsedda för telefonföremål. I

apparater, telefonbatterier, bordapparater, väggapparater o. s. v. Särskilt torde här märkas de tvenne i fig. 10 synliga apparater, som användes vid den första här i landet byggda telefonledningen. Denna ledning, som anlades 1877, förband H. T. Cedergrens butik och bostad vid Drottninggatan i Stockholm. Det skulle föra för långt att här ingå på någon vidare detaljbeskrivning. Som ett kuriosum må emellertid de i fig.

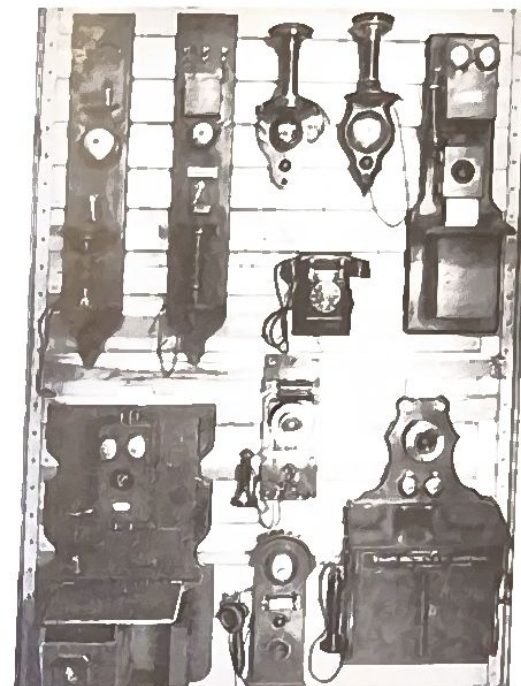


Fig. 10. Samling av äldre telefonapparater. De två apparaterna ovan till h. v. de äldsta för telefondrift här i landet använda (1877). Som jämförelse en modern bakelitapparat.

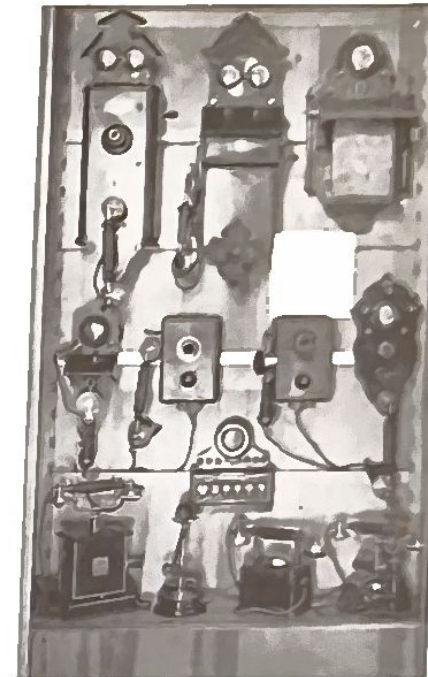


Fig. 11. Några i det enskilda telefonsätet i Östhammar använda apparattyper, trots sitt ålderdomliga utseende använda så sent som intill 1934.

våningen 2 tr. inrymmas telefonapparater och mindre telefonväxlar samt delar till dessa, medan översta våningen upptages av större växlar av manuell typ samt automatväxlar. Bland telefonapparaterna märkes främst en modell av Bells första telefon från 1875 (fig. 8). I en lång rad av skåp visas därefter så gott som varje etapp i telefonens utveckling: magnettelefoner, använda både som sändare och mottagare, hörtelefoner, mikrofoner, mikrotelefoner (en bild av den först hopkomna mikrotelefonen visas i fig. 9), signal-

11 visade apparaterna omnämnas. De ha trots sitt ålderdomliga yttre tjänstgjort så sent som 1934 i ett enskilt telefonsät i Östhammar. Detta nät, som mot slutet omfattade 120 abonnenter, drevs under synnerligen gemyttliga former. Abonnemangsvärderna uppgingo till 15 kr per år och inkasserades på mycket oregelbundna tider. Det kunde sålunda gå 6 å 7 år, innan avgiften utkrävdes. Den för telefoni synnerligen intresserade ägaren till nätet distribuerade även rundradio-programmet till vissa av sina abonnenter. På

grund av nätets enkeltrådiga karaktär hördes emellertid programmet bra även hos de abonnenter, som ej abonnerade på detsamma. Då ägaren 1934 dog, testamenteerade han sitt telefonnät till Östhammars stad, som dock snart nog fann det förmånligast att överlåta rörelsen till telegrafverket. Nätet hade då endast skrotvärde, och apparaterna liksom växlarna hamnade i lämpligt urval på museet.

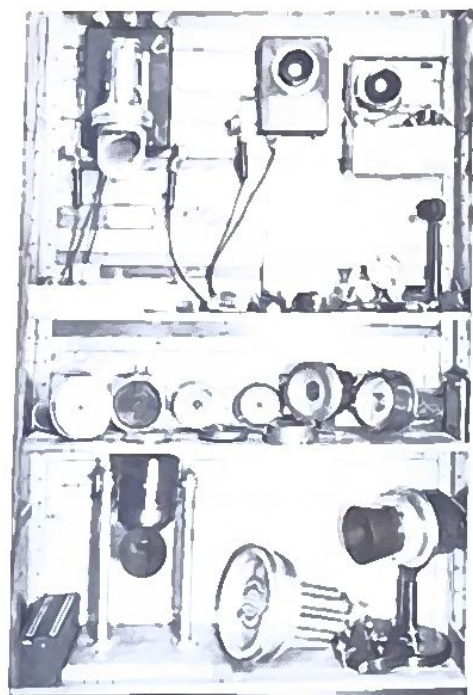


Fig. 12. Samling av apparater belysande utvecklingen av Holmström-Egnér's starkströmsmikrofon (1907—11).

En särskild grupp bland telefonapparaterna utgöra starkströmsmikrofonerna. J. G. Holmström och C. Egnér ha som bekant på detta område nedlagt ett vidlyftigt arbete, varom i någon mån den i fig. 12 visade samlingen av apparater här vittne. Med den upptill till vänster på bilden synliga apparaten ha på sin tid (1909) samtal förts från både London och Paris med Stockholm utan hjälp av några telefonöverdrag. Överhörningen var emellertid betydande och lade hinder i vägen för apparatens användning i internationell trafik.

Av i denna våning utställda växlar skall här endast visas en av de allra äldsta här i landet använda typerna (fig. 13). Den är av amerikansk tillverkning (Gilliland 1879) och har installerats i Bollnäs. Av allt att döma är den det enda exemplar, som finnes bevarat av denna typ. Samma växel har f. ö. använts i Bellbolagets första station på Norr i Stockholm, vilken öppnades 1881 (tavlan ovanför växeln visar en interiör från

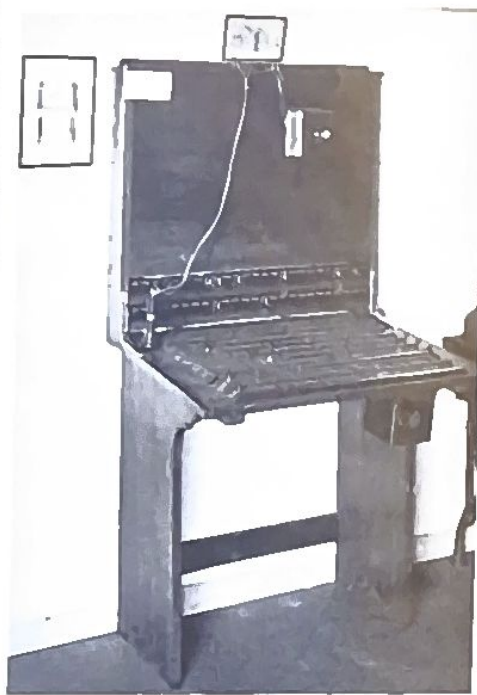


Fig. 13. Växelsbordstyp använd vid Bellbolagets första station på Norr i Stockholm (1881).

denna station). Principen för växling av telefonsamtal är här densamma som tidigare tillämpats vid sammankoppling av ledningar i telegrafväxlar, nämligen med tvär- och längsgående skenor samt proppar. I övrigt äro i denna avdelning utställda ett 50-tal växlar av olika typer och år. Även en del smärre automatiska abonnentväxlar från förra seklet finnas i samlingen. Ett antal fotografier över gångna tiders telefonstationer och växlar kompletteras med en serie bilder belysande olika områden av telegrafverkets telefonverksamhet.

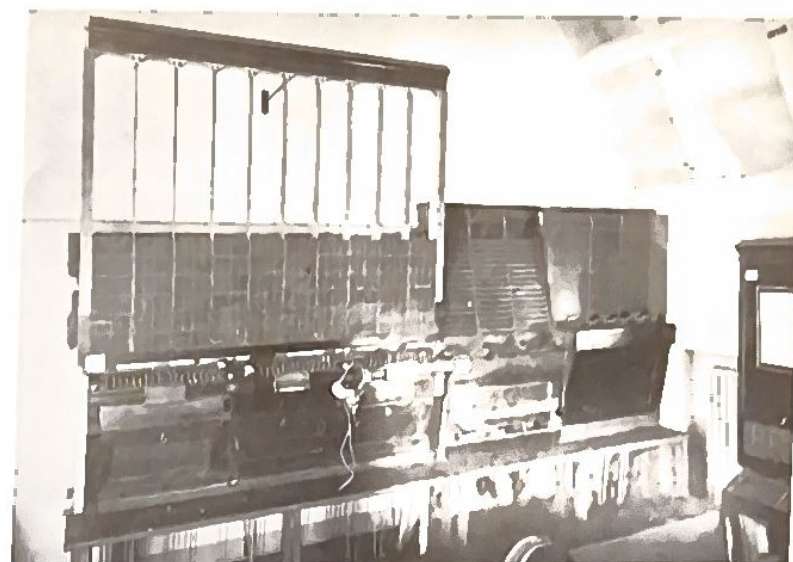


Fig. 14. Telefonväxel enligt Avéns fördelningsprincip. Använd på Centralen i Stockholm 1902—29.

Utöver de egentliga telefonföremålen finnes också i denna sal en monter, innehållande en del intressanta handlingar — bl. a. ett av Aug. Strindberg undertecknat telefonkontrakt — ävensom prover på en del ogräs på telefonins marker: förfälskade mynt, som uppsamlats i avgiftsbössor till allmänna samtalsapparater, inbrottsverktyg för uppbrytandet av dylika bössor samt en »helvetesmaskin» anbragt på sin tid på Sundsvalls telefonstation av en i eget tycke förfördelad tjänsteman. Anordningen var så utförd, att den skulle åstadkomma eldsvåda på stationen vid uppringning av visst abonnentnummer. Attentatet blev dock upptäckt i tid — dock ej förrän det började osa bränt — och gärningsmannen befördrad till luga näpst.

Våningen högst upp utgöres av den förutvarande telefonsalen, varför här är högt i tak och mycket ljus (takbelysning). Den inrymmer som nämnts större manuella växlar av både äldre och fortfarande använda typer samt automatväxlar, likaledes av såväl historiskt som mera modernt utförande. Bland de manuella växlarna må här nämnas en uppsättning, som visar de olika delarna i det av J. A. Avén konstruerade fördelningsystemet, sådant det använts vid Centralstationen, Slottbacken 8 i Stockholm, åren 1902—

1929. En bild av systemet visas i fig. 14. De två mindre borden till höger äro s. k. fördelningsborden, vilka distribuera inkommande anrop till för ögonblicket lediga telefonister i expeditjonsborden, som synes till vänster. Fördelningsborden

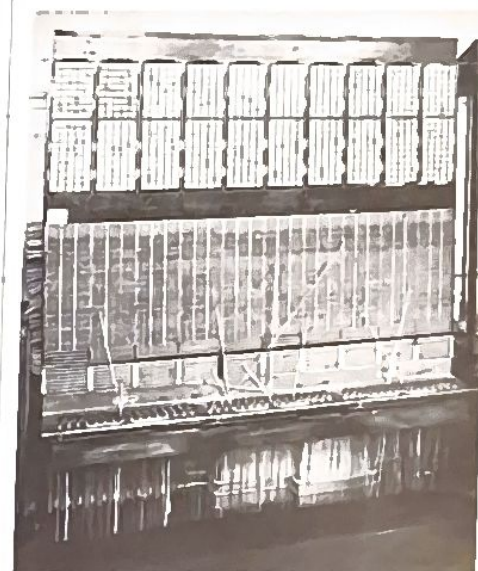


Fig. 15. Växelsbord från A. B. Stockholmstelefon AB Söderstation (25 000 abonnenter).

uppvisa i venne olika utföringsformer: en med klaffar och en med lampor, den senare representerande ett av de första försöken i Sverige att använda ett dylikt signalsystem för telefonstationer. Expeditionsbordet är i sitt nuvarande skick uppbyggt med multipel för 12000 nummer, motsvarande ungefär vad stationen hade vid sin rasering. Systemet är så anordnat, att det kan visas i drift.

Ett växellbord av snarlikt men dock helt avvikande typ är det i fig. 15 visade. Det

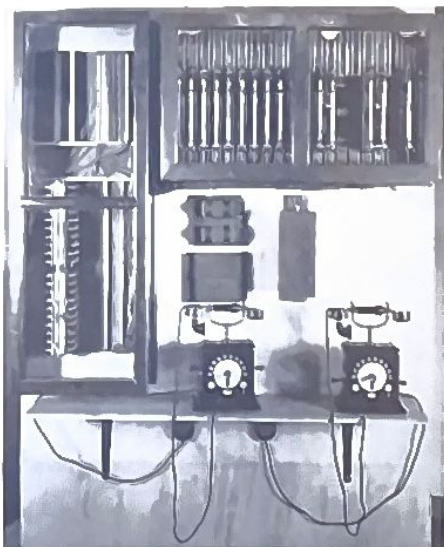


Fig. 14. Automatisk telefonväxel av Betulander, använd i Östansjö växelstation (Enköping) åren 1905—36.

är till skillnad från det förra ett centralbatteribord och har använts på Stockholmstelefon Söderstation, som vid sin rivning 1931 var den största manuella telefonstationen i Sverige med ca 25000 anslutna lokalledningar. För att få rum med alla dessa i multipeln ha jackarna i denna gjorts synnerligen små och tätliggande, såsom också framgår av bilden. Denna multipels storlek överträffas dock av den vid Stockholmstelefon Norrstation en gång inkopplade, vilken uppgått till maximalt 38000 nummer. Ett bord från denna station, som nu är under automatisering, kommer så småningom att uppställas på museet. Den i fig. 15 synliga samlingen av ur-

taflor i växellbordets övre del utgöres av samtalräknare.

Jag går här förbi raden av alljämt inom telegrafverket använda manuella växlar — av klaffjacktyp, lokalbatteriväxel med lampsignaler och centralbatteriväxel, den senare en kvarstående del av den tidigare i lokalen inrymda telefonstationen — och övergår till de automatiska växlar. Bland dessa märkes först ett aggregat, som sammanbyggs av delar från en provstation, utförd enligt ett av H. Olsson konstruerat halvautomatiskt system. Aggregatet gör ej anspråk på att till fullo motsvara nämnda provstations utförande; man har med detsamma snarare avsett att uppvisa skilda väljartyper från stationen samt åskådliggöra dessas funktion. Aggregatet kan visas i drift. Vidare må nämnas en av G. A. Betulanders automatiska växlar från detta sekels början. Den visas jämte ett par anslutna apparater och korskopplingskåp i fig. 16. Exemplaret i fråga har varit i drift i 31 års tid vid Östansjö växelstation i Enköpingstrakten och togs ned först i fjol sommar, då det ersattes med en modern automatväxel av telegrafverkets konstruktion (demonstreras även i museet). Att stationens 15 abonnenter, trots den relativt besvärliga upprätthållningsproceduren, under denna långa tid trivts med sin växel vittnar ju gott om densamma driftsegenskaper. Till deras belåtenhet har givetvis bidragit den omständigheten, att de genom tillgång till en automatväxel blivit oberoende av växelstationsföreståndare och fått oinskränkt öppenhållningstid.

Bland de övriga automatväxlarna av mer eller mindre modernt utförande vill jag här endast dröja vid den demonstrationsväxel av L. M. Ericssons maskindrivna system, som är monterad fristående under glashuv i automatavdelningens mitt (se fig. 17, som visar en totalvy över de i museet utställda, i gång varande automatväxlarna). Ericssons system, som kommit till användning vid automatiseringen av telefonnäten i Stockholm, Göteborg med flera orter, bör vara av särskilt intresse för den besökande allmänheten, ej minst därför att kopplingsförloppen här kunna studeras mera i detalj. Till växeln äro anslutna 4 abonnentapparater, och växeln startar, så snart mikrotelefonen på en av dessa avlyftes.

Förutom de rena telegraf- och telefonföremålen äger museet en ganska välsorterad samling fotografier och ritningar. En del av de förra har redan omnämnts. Bland fotografierna märkes även en representativ samling porträtt. I väntrummen i tr. har en hel vägg ägnats åt porträtt av kända fysiker och tekniker, verksamma på telegraf- och telefonteknik. Sålunda finnes exempelvis en fullständig samling porträtt av alla dem, som lånat sina namn åt elektriska eller därmed närbesläktade mättenheter.

serad som han var för den tekniska utvecklingen inom telegrafverket. Utan hans energiska ingripande hade det kanske i dag ej funnits något telegrafverkets museum. Det är därför bara naturligt, att också hans porträtt finnes bland de andra märkesmännens inom museets murar.

Museet öppnades med en enkel invigningshögtidlighet den 12 juni. Efter en kortfattad orientering av undertecknad anhöll telegrafverkets



Fig. 17. Vy över automatavdelningen i museet. I mitten (under glashuv) L. M. Ericssons demonstrationsväxel.

För fullständighetens skull må här även nämnas, att i museets källarvåning ett antal större modeller i gips av telegrafverket tillhöriga fastigheter (telegraf- och telefonstationer i olika städer) äro uppställda. Dylika modeller tillverkades, så länge telegrafverket var sin egen byggmästare. Numera har som bekant uppförandet av verkets byggnader övertagits av byggnadsstyrelsen.

Om såsom avslutning på denna orientering något namn skall nämnas i samband med tillkomsten av ett telegraf- och telefonmuseum här i landet, så bör det vara J. Gunnar Holmströms. Han offrade för detta museums planerande och ordnande mycken tid och arbete, varmt intres-

serad som han var för den tekniska utvecklingen inom telegrafverket. Utan hans energiska ingripande hade det kanske i dag ej funnits något telegrafverkets museum. Det är därför bara naturligt, att också hans porträtt finnes bland de andra märkesmännens inom museets murar.

Museet hålles öppet för allmänheten söndagar mellan kl. 13 och 15 samt onsdagskvällar mellan kl. 19 och 21. För skolor eller andra studiegrup-

per kunna även andra visningstider ordnas efter överenskommelse med museets ledning. Telegrafverkets tjänstemän äro givetvis alltid välkomna, oberoende av de angivna öppenhållningstiderna.

Arbetet å museet fortgår nämligen alltjämt, varför sakkunnig ledning därstädes ställt står till buds under tjänstgöringstid.

E. Melngren.

Siemens motorväljare.

Tanken att för de automatiska telefonanläggningarna konstruera väljare, som drivas med en för varje organ individuell motor, är av gammalt datum. Dåvarande överingenjören vid telegrafverket A. Hultman konstruerade på försök en väljare för 10000 ledningar enligt denna princip. Under senare år har man på nytt gjort försökskonstruktioner enligt principen i fråga dels i förhoppning att erhålla en väljare, som är billigare i framställning än de hittills använda, dels för att få fram en konstruktion, som lämpar sig för lösandet av vissa nya uppgifter, vilka uppstått inom den automatiska stationstekniken. Nedanstående exposé återges efter en artikel »Über die Entwicklung der Siemens & Halske AG» i Siemens Zeitschrift, Bd 17, 1937, nr 3, och redogör för den i flera avseenden anmärkningsvärda motorväljare, som införts av Siemens & Halske. Den intresserade hänvisas även till Broadhurst, S. W., and Evans, A. F. E.: »An outline of Siemens No. 17 system of automatic telephony», The Post Office Electrical Engineers' Journal, vol. XXVI, 1934, p. 248—254, och Giese, Werner: »Verwendung von Fernsprech-Drehwählern in der Gruppenwahltafel», Wolfshagen-Scharbeutz, 1936.

Den automatiska telefonstationstekniken är i grunden ingenting annat än ett genialt utnyttjande av egenskaperna hos ett fåtal konstruktions-element, huvudsakligen väljaren och telefonreleät. Då driftsäkerheten är den viktigaste egenskapen för varje automatanläggning, äro även de skickligast komponerade strömkretsanordningar och kopplingar utan värde, om de ingående elementen icke äro vuxna de stränga krav driften ställer. De svårigheter man haft att övervinna för att bringa anläggningarnas driftsäkerhet till nuvarande höga standard skulle kunna beskrivas för varje enskilt maskinelement. När här en redogörelse lämnas för Siemens motorväljare, sker detta emedan man genom denna konstruktion för första gången uppnått den mycket höga inställningshastigheten av 200 steg per sekund

vid en väljare, som i drift visat sig fallt tillförlitlig.

Grundproblemet att medelst de inställningsimpulser, som alstras genom att två siffror efter varandra tagas på en telefonapparats fingerskiva, välja ut en viss bestämd bland hundra ledningar, löses vid Siemens automatsystem i allmänhet med hjälp av strowgerväljaren. Denna väljare har hävdat sin ställning under mångårig drift i ett mycket stort antal anläggningar och är ännu i dag bl. a. den tyska automatteknikens viktigaste element. Efter impulser framkomna under strävandena att förverkliga en fjärrtrafik utan väntetider utvecklades för lösningen av nyssnämnda grundproblem en stor, mycket snabbgående motorväljare. Denna, vars praktiska användbarhet påvisats bland annat även genom långtidsförsök, kommer härnäst att användas för speciella uppgifter. Den är överlägsen strowgerväljaren i de fall, då ett stort antal kontaktarmar och fältkontakter måste anordnas i en och samma väljare.

Fig. 1 visar en schematisk bild, som åskådliggör väljarens verkningssätt vid koppling av en enda ledare. För att förstå den får man komma ihåg, att de tyska apparaternas fingerskivor till skillnad från våra svenska äro numrerade 1, 2, ... 9, 0. Om exempelvis en abonnent för att taga numret 46 vridar sin fingerskiva till siffran 4, utsändas fyra strömimpulser under skivans återgångsrörelse. Medan dessa impulser överföras, vrids kontaktarmen medelst väljarens motor med den utomordentligt höga hastigheten 200 inställningssteg i sekunden till kontakten 30. Sedan denna första impulserie mottagits, verkställs en omkoppling till långsammare inställning, och när siffran 6 tagas, inställs kontaktarmen steg för steg i takt med fingerskivimpulserna över kontakterna 41—45 till kontakten 46.

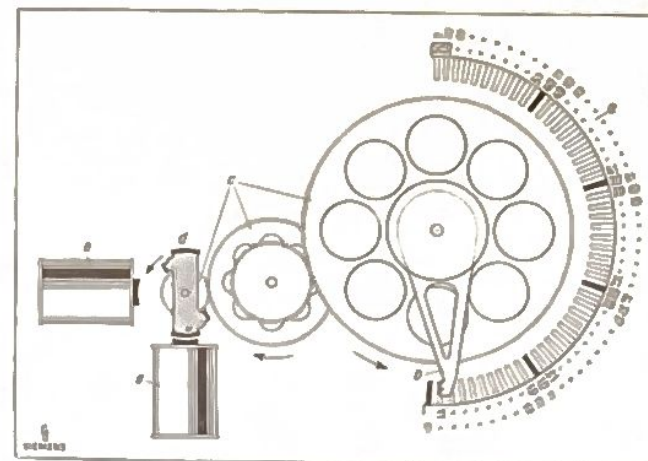


Fig. 1. Verkningsdiagram för Siemens motorväljare.
a = kontaktfält (11...50 första kranen, 61...0 andra kranen), b = kontaktarm, c = kugghjul, d = ankare, e = elektromagnet.

Som fig. 1 visar äro endast 50 kontakter monterade på ett kontaktfältsegment eller en kontaktkran. För andra hälften av de 100 kontakterna är en andra kran anordnad, vilken passerar av en väljararm, som med den första armen bildar en vinkel av 180° (se fig. 2). Väljararmarnas inbördes avstånd utefter väljaraxeln svarar givetvis mot avståndet i samma riktning mellan de motsvarande kontaktkransarna. Om man till exempel tar numret 86, kommer först den första kontaktarmen att passera över kontakterna 11—50, och därpå ingriper den andra armen genast i sin motsvarande kran samt vrids med oförändrad hastighet till kontakten 70. De återstående sex inställningsstegen fullgöras därpå som förut genom långsammare inställning.

Väljarens framdrivningsanordning förtjänar särskilt beaktande. Som framgår av fig. 1 och 2 består denna av två elektromagneter, som bilda 90° vinkel med varandra och äro anordnade att kringvrida ett kring en axel roterbart mjukjärnsankare genom att omväxlande draga detta till sig. Under den snabbgående inställningen kontrolleras dessa magneter medelst en på ankarens axel fäst strömfördelare, och vid den långsamma inställningen manövreras de med särskilda reläkontakter, som arbeta i takt med inställningsimpulserna. Två på ankaret anordnade hjälppoler sörja för riktig rotationsriktning och

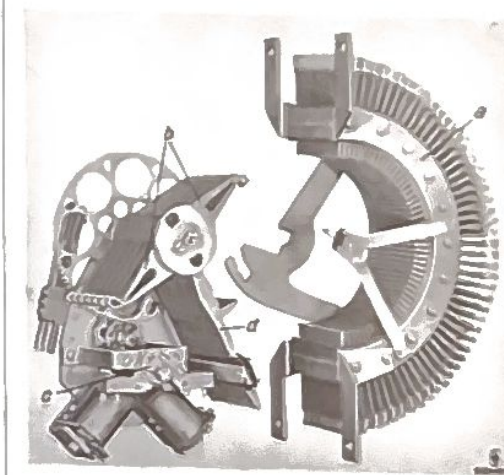


Fig. 2. Motorväljaren i praktiskt utförande med kontaktfältet skilt från övriga delar. a = kontaktfält, b = kontaktarmar, c = drivmotor, d = släppfjädr till kontaktarmarna.

ligen bringas att stanna, när armen uppnått önskad totalkontakt. Detta svåra problem har man lyckats lösa genom att låta motorns båda magneter genomgå av ström eller första impulsens ut. Härigenom erhålles en tillförlitlig och elastisk uppbromsning.

Av den i fig. 2 i bade bilden av väljarens praktiska utförande framgår, att de båda ovan nämnda samhörande väljararmarna och kontakt-slagarna till artet är flera, varför väljaren samtidigt kan verkställa koppling med ett flertal manövers och tillstånd.

För att inte komplicera framställningen ha här endast angivits några viktigare av de funktioner väljaren måste utföra. Det anförda är dock tillräckligt för att påvisa några av de svårigheter man haft att övervinna vid utvecklandet av denna konstruktion.

När man betraktar sinmekaniska element, är man ofta benägen att på grund av de enskilda delarnas litenhet underskatta de förekommande hållfasthetsproblemen. Ingenting kan emellertid vara oriktigare. De rörliga delarna och de tillryggalagda sträckorna äro visserligen små, men

man blir överraskad, när man bestämmer de uppträdande accelerationerna och fastställer, att vid de förefintliga sektionerna uppträda påkänningar, som på intet sätt stå tillbaka för dem, som uppträda vid normala maskinkonstruktioner. Endå man på grund av konstruktionens utformning vanligen icke har full frihet att bestämma dimensionerna, är det nödvändigt att omsorgsfullt studera de dynamiska förloppen med hjälp av tid-vägdigram och exakt bestämma de uppträdande accelerationerna och krafterna. Om man tar hänsyn till att motorväljarens kontakt-
armar måste flyttas fram 200 steg i sekunden och därefter plöteligt bromsas upp, inses det, att trots små massor om endast ett fåtal gram krafter uppträda, som nödvändiggöra omsorgsfulla hållfasthetsundersökningar. Även så måste kontakt-armarnas fjädrande förmåga bibehållas konstant, enär kontaktrycket icke får nämnvärt förändras ens efter årtals drift. De stränga mekaniska krav, som antytts med ovanstående exempel, förefinnas på motsvarande sätt praktiskt taget vid alla den automatiska telefonteknikens konstruktionselement.