

JON IDESTAM-ALMQUIST

Experiment med transformatorlös LF-förstärkare

Transformatorer med järnkärna uppvisar som bekant en ur hi-fi-teknikerns synpunkt mindre tilltalande egenskap, nämligen olinjärt samband mellan primärström och magnetiskt flöde i kärnan. Detta gör att man har svårt att komma från viss distorsion — framförallt vid låga frekvenser. Vidare medför den ofrånkomliga primär- och läckinduktansen i transformatorn att motkopplingsåtgärderna i förstärkaren kompliceras. De nya »järnlösa» kopplingar som framkommit har därför tilldragit sig stort teoretiskt intresse. Ännu så länge har dock endast ett försvinnande litet antal transformatorlösa hi-fi-förstärkare sett dagens ljus. En bidragande orsak till detta förhållande är säkert det faktum att urvalet av rör och högtalare som lämpar sig för direktkoppling hittills varit starkt begränsat.

I USA och England — föregångsländerna i fråga om high fidelity — där hi-fi-tekniken slagit igenom på bred front, tillverkas ännu så vitt känt inga förstärkare an utgångstransformatorer. Där tycks man helt vara inne på en annan linje; man förbättrar utgångstransformatorn genom att ta till större och bättre kärnor och genom att tillgripa speciella knep vid lindningen. Vidare har man arbetat med mer eller mindre snillrika kopplingar för att hålla nere distorsionen, exempelvis fördelat belastningen på slutrörens olika elektroder (1, 2)¹. Den anglo-amerikanska utvecklingen leder till att utgångstransformatorns del i den totala kostnaden för hi-fi-förstärkaren blir betydande.

Frågan om huruvida transformatoranpassning eller direktkoppling till högtalaren leder till det absolut bästa resultatet — med de komponenter som i dag står till

¹ Siffror inom parentes hänvisar till litteraturförteckningen i slutet av artikeln.

buds — torde närmast ha akademisk karaktär. Vad som är intressantare för den breda publiken är att få fastställt om transformatorlösa förstärkare överhuvudtaget förmår uppfylla de strängaste krav man kan ställa på en hi-fi-förstärkare. Förhåller det sig så, finns det ju all anledning att föredra den transformatorlösa kopplingen, som under alla omständigheter ger väsentligt billigare förstärkare.

Single-ended push-pull

Mest känd och längst utvecklad av de transformatorlösa kopplingarna är den som går under namnet »single-ended push-pull». En tidig variant med sex strömslukande och värmeutvecklande krafttriöder i slutsteget beskrevs redan 1955 i denna tidskrift (3). Sedan dess har detta förstärkarsteg många gånger behandlats i RT, speciellt i samband med byggbeskrivningar. Tyvärr har uppmärksamheten alltför ensidigt riktats på en av Philips i sina rörhandböcker anvisad grundkoppling, som visserligen är mycket tilltalande tack vare sin enkelhet och prisbillighet, men som endast uppfyller mycket måttliga krav, när det gäller distorsion och uteffekt. Denna grundkoppling var närmast avsedd att ersätta ett enkelt slutsteg med utgångstransformator i vanliga rundradiomottagare (4).

Philips har emellertid även anvisat och själva i sin produktion tillämpat alternativa kopplingar, som är bättre lämpade för hi-fi-förstärkare (4). De skiljer sig från grundkopplingen framför allt i att de har fasvändarsteg och mycket högre råförstärkning, så att kraftig motkoppling kan tillämpas med bibehållen god nettoförstärkning. Egendomligt nog har dessa kopplingar kommit ganska mycket i skymundan. Philips har, som nämnts, använt dem i någ-

ra typer av förstärkare, men bortsett från dessa känner jag endast till en tillämpning, nämligen slutförstärkarna i Stig Carlssons »kolbox» (5).

Av pur nyfikenhet på vad en enkel transformatorlös förstärkare kunde fås att prestera började jag för en tid sedan experimentera med en sådan uppkoppling. Den fick från början låna drag både från olika Philips-förstärkare och »kolboxförstärkarna», men den kom under arbetets gång alltmer att närma sig kolboxförstärkarna i fråga om dimensioneringen. Den skiljer sig dock på några avgörande punkter från dessa, bl.a. har experimentförstärkaren endast ett förstärkarsteg före fasvändaren.

Innan jag går närmare in på hur experimentförstärkaren arbetar, kan det vara intressant att ta del av vad man vunnit på att övergå från Philips grundkoppling, se fig. 1, till den i experimentförstärkaren använda kopplingen, se fig. 2. För att en jämförelse skulle bli möjlig har Philips-steget kompletterats med ett förstärkarsteg, vilket liksom i experimentförstärkaren fått utgöras av ett halvt ECC83. Vidare har så mycket motkoppling införts i »Philips-förstärkaren»² att nettoförstärkningen blir ungefär densamma som i experimentförstärkaren.

30 ggr lägre distorsion!

I tab. 1 har sammanställts data, dels på »Philips-förstärkaren» enligt schemat i fig. 1, dels på experimentförstärkaren enligt schemat i fig. 2. Av tab. 1 ser vi att den inmatade anod- plus skärmgallereffekten

² För enkelhetens skull kallas förstärkaren enligt fig. 1 i fortsättningen »Philips-förstärkaren». För undvikande av missförstånd bör dock påpekas att den ej är representativ för Philips' bättre förstärkare.

Är det transformatorlösa
slutsteget fullt tillfredsställande ur
hi-fi-synpunkt?
Det finns skäl att ställa frågan,
ty man ser det ofta
påpekas att det
transformatorlösa slutsteget
erbjuder en billig
lösning på förstärkareproblemet,
men det är sällsynt
att någon framhåller
att det också är en bra lösning.

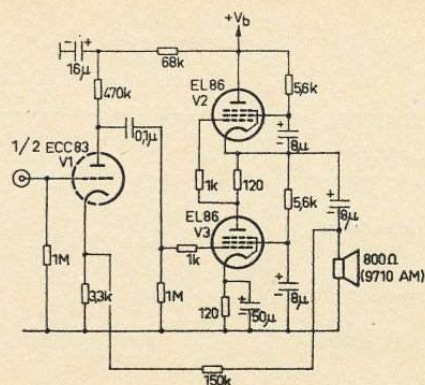


Fig 1

Philips grundkoppling för »singel-ended push-pull» kompletterad med ett försteg. I texten kallas denna förstärkare »Philips-förstärkaren». De data för denna förstärkare som anges i tab. 1 har hämtats dels från Philips rörhandboken, dels från Radiobyggboken, del 2.

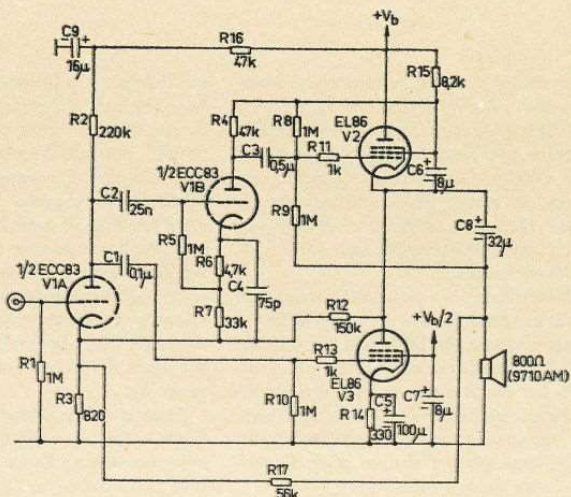
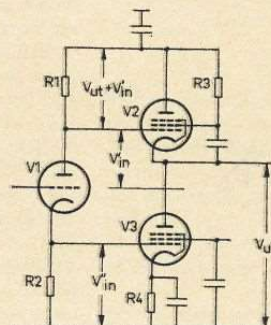


Fig 2

Experimentförstärkarens slutliga dimensionering.

Fig 3

Förenklat schema för ett transformatorlöst slutsteg, drivet av en fasvändare. Drivningen skall vara starkt osymmetrisk. Svår distorsion uppstår på grund av de höga amplituder som fordras över R1 för att styra ut det övre slutröret V2.



Tab. 1. Data för förstärkarna enligt fig. 1 och 2, angivna med avrundade värden.

	»Philips- förstärkaren» enl. schema i fig. 1	»Experiment- förstärkaren» enl. schema i fig. 2
Inmatad effekt P_{in} (exkl. glödeffekt)	20 W	22 W
Nominell uteffekt P_{ut} (kont. sinuston)	4,5 W	12 W
Verkningsgrad P_{ut}/P_{in}	22,5 %	54,5 %
Spänningsförstärkning	50	50
Nominell distorsion vid 1 kHz och full uteffekt	3 %	0,1 %
Utimpedans	800 ohm	4 ohm

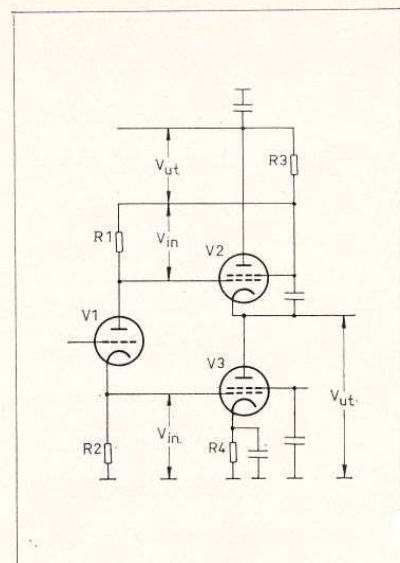


Fig 4

endast är 10 % högre i experimentförstärkaren än i »Philips-förstärkaren», men att den tillgängliga uteffekten i experimentförstärkaren trots detta är drygt 2,5 ggr högre än i »Philips-förstärkaren». Särskilt intressant är emellertid att *distorsionen* är 30 ggr lägre och *utimpedansen* 200 ggr lägre i experimentförstärkaren än i »Philips-förstärkaren».

Förbättringen är genomgripande, och man är knappast beredd att tro på siffrorna när man flyktigt jämför kopplingarna i fig. 1 och 2. Bortsett från att experimentförstärkaren har en fasvändare V1B som driver det övre slutröret V2 och ett avvikande kopplingsarrangemang för att ge V2 rätt gallerförspänning, tycks de båda förstärkarna vara tämligen lika.

Hela förklaringen till förbättringarna kan knappast ligga i fasvändaren. Den bidrar inte nämnvärt till förstärkningen och kan ej ensam vara ansvarig för en sänkning av distorsionen till en trettiondel. Hemligheten med den förbluffande förbättring som uppnås ligger i att positiv återkoppling tillämpas i experimentförstärkarens drivsteg. Mera härom senare.

En kostnadsjämförelse

Vad får man betala för förbättringarna?

Experimentförstärkaren använder ett halvt ECC83, fem motstånd och tre kondensatorer mer än »Philips-förstärkaren». Dessutom är katodavkopplings- och utgångskondensatorerna C5 resp. C8 något större i experimentförstärkaren. Kostnadsökningen kan i runt tal uppskattas till en tia.

Detta gäller så länge vi blott ser till kopplingarna i fig. 1 och 2. Men om vi även tar nätaggregaten med i beräkningen, får vi ett annat resultat; nätaggregatet till experimentförstärkaren kan nämligen gö-

ras billigare. Tack vare den kraftiga motkoppling som tillämpas, kan V_b tas *osilad* direkt från en laddningskondensator på 50 μF , utan att brummet överstiger —80 dB! För att nå samma låga brumnivå i »Philips-förstärkaren» är det nödvändigt att i den sila V_b med hjälp av en drossel och ytterligare en stor elektrolytkondensator. Kostnaden för dessa två komponenter torde överstiga den nyss nämnda tian. Likriktaren i experimentförstärkaren måste dock tåla högre backspänning och blir därför något dyrare, så i stort torde det jämnas ut sig.

Slutsatsen blir sålunda — något förbluffande — att de förbättrade prestanda hos experimentförstärkaren vunnits för praktiskt taget ingen kostnad alls!

Experimentförstärkarens schema

Karaktistiskt för single-ended push-pull-koppling är att slutrören är staplade på varandra. Detta medför en komplikation: drivningen av det övre slutröret. Se fig. 3.

Det undre röret V3 drivs på vanligt sätt mellan galler och jord, medan det övre röret V2 skall ha sin drivspänning applicerad mellan galler och katod. Men på det övre rörets katod ligger hela utgångssignalen V_{ut} . Den uppgår vid 12 W uteffekt till omkring 100 V. Det övre röret skall vid denna uteffekt alltså matas med en drivspänning på ca 100 V *plus* den galler-katodspänning som normalt behövs för att styra ut röret, allt räknat från jordpotential. Det finns inte ett rör att uppbringa som, vid den anodspänning det här är fråga om, kan lämna en drivspänning på ca 110 V utan att en mycket kraftig distorsion uppstår.

Svårigheten att med låg distorsion driva det övre slutröret har ofta anförts, när man velat hävda att single-ended push-pull-steg ej är jämbördigt med ett vanligt push-

pull-steg och ej är lämpligt att använda hi-fi-förstärkare (1, 2). Det finns dock en enkel väg ut ur dilemmat.

Om man nämligen låter drivröret, i vårt fall fasvändaren, hämta sin anodspänning från det övre rörets skärmgallerkondensator, som ju har samma växelströmspotential som katoden, behöver endast den egentliga drivspänningen V'_{in} utvecklas över fasvändarens anodmotstånd R1, se fig. 4. Anodspänningskällan kommer nu visserligen att variera med utspänningen, men detta är en oväsentlig olägenhet (4).

Fasvändarens anodbelastning i experimentförstärkaren (se fig. 2) utgörs ej endast av anodmotståndet R4, utan även av spänningsdelaren R8+R9, varför även dessa motstånd anslutits till punkter som har hela utspänningen V_{ut} mot jord (5).

Slutrören skall enligt fig. 4 styras ut med ungefär lika stora signalspänningar, men i motfas. Det undre slutröret V3 drivs i experimentförstärkaren — vilket framgår av fig. 2 — direkt från förröret V1A, och fasvändarröret V1B:s huvudsakliga uppgift är att vrida förrörets signalspänning 180°.

Den lilla kondensatorn C4 över fasvändarens katodmotstånd har som uppgift att se till att symmetrin i drivspänningarna bibehålls vid höga frekvenser, där fasvändarens anod-jordkapacitans och strökapacitanserna kring R4, R8, R9 och C3 gör sig gällande (4, 6).

Positiv återkoppling ger större råförstärkning

Bruttoförstärkningen är som redan nämnts avsevärt större i experimentförstärkaren än i »Philips-förstärkaren». Samma ingångsrör används i bägge fallen, och eftersom fasvändaren inte bidrar nämnvärt till förstärkningen, kan man fråga sig hur denna

Fig 4

Med denna anordning blir arbetsvillkoren för V1 betydligt gynnsammare än i fig. 3.

Fig 5

Blockschema för en tvåstegs förstärkare A_1 och A_2 återkopplad dels lokalt över första steget A_1 dels över hela förstärkaren. I experimentförstärkaren är den lokala återkopplingen över A_1 positiv, och den återkoppling som ligger över bägge stegen negativ.

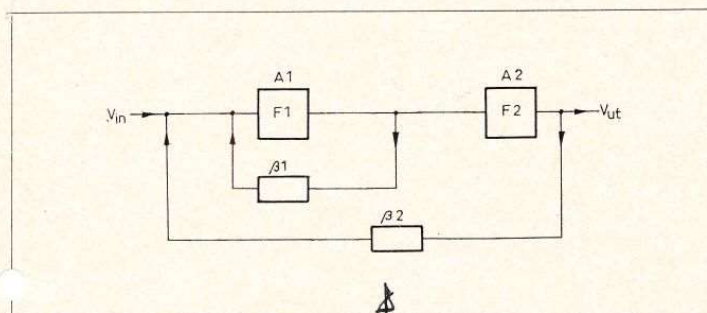


Fig 5

ade förstärkning egentligen åstadkommes.

Förklaringen är att ingångsröret i experimentförstärkaren återkopplats *positivt*, så att detta stegs bidrag till bruttoförstärkningen kraftigt ökats. V1B i fig. 2 har ju en mindre del, R3, av sitt totala katodmotstånd ($R6+R7+R3$) gemensamt med V1A, och eftersom V1B:s katodspänning är i motfas till V1A:s galler spänning, kommer signalspänningen mellan V1A:s galler och katod att vara större än mellan dess galler och jord, vilket är liktydigt med att steget är positivt återkopplat.

Negativ återkoppling har, som brukligt är, lagts över hela förstärkaren. Huvudparten av denna motkoppling tas via R17 ut efter utgångskondensatorn C8, men för att fasvridningen skall minskas tas en mindre del (via R12) ut före kondensatorn.

Kombinerad positiv och negativ återkoppling är ett intressant kapitel och redan en elementär teoretisk analys bjuder på ett ar överraskningar.

I fig. 5 symboliserar A_1 ett förstärkarsteg med förstärkningen F_1 , och A_2 står för ett steg med förstärkningen F_2 . Runt A_1 har spänningen $V_{in} \cdot F_1 \cdot \beta_1$ återkopplats och runt bägge stegen spänningen $V_{in} \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot \beta_2$. Den resulterande förstärkningen F' blir (4, 7):

$$F' = F_1 F_2 / [1 - F_1 \beta_1 - F_1 F_2 \beta_2]$$

I experimentförstärkaren har β_1 positivt förtecken och β_2 negativt förtecken. Uttrycket för F' kan därför skrivas på följande sätt:

$$F' = F_1 F_2 / [1 - F_1 \beta_1 + F_1 F_2 \beta_2]$$

När förstärkaren är kraftigt motkopplad (vilket här är en förutsättning) är

$$F_1 F_2 \beta_2 \gg (1 - F_1 \beta_1)$$

varför

$$F' \approx 1/\beta_2$$

Nettoförstärkningen F' är således huvudsakligen beroende av den negativa återkopplingsfaktorn β_2 , varför F_1 och β_1 kan varieras inom ganska vida gränser *utan att nettoförstärkningen nämnvärt ändras*.

Slutrörens distorsion elimineras

Helt annorlunda ligger det till med distorsionen. Om distorsionen i resp. steg betecknas med d_1 och d_2 blir den totala distorsionen d' (4, 7):

$$d' = d_1 + d_2(1 - F_1 \beta_1) + d_1 d_2(1 - F_1 \beta_1) / [1 - F_1 \beta_1 + F_1 F_2 \beta_2]$$

Sätter vi nu in $F_1 \beta_1 = 1$ (vilket är liktydigt med en långt driven positiv återkoppling) inträffar något egendomligt, nämligen att

$$d' = d_1 / F_1 F_2 \beta_2$$

Eller uttryckt i ord: distorsionen d_2 , som i experimentförstärkaren hänförs sig till fasvändaren och slutsteget, *har helt försvunnit ur bilden!*

Transientegenskaperna

Jag har hittills uppehållit mig vid förstärkarens distorsion, eller rättare sagt vid dess övertonsbildning, och läsaren kan därför lätt få intrycket att experimentet huvudsakligen gått ut på att sänka övertonsbildningen så långt som möjligt. Så är inte alls fallet, även förstärkarens transientegenskaper har studerats ingående. Det är ju så, att för en förstärkarens ljudkvalitet betyder god transientåtergivning betydligt mera än *extremt* låg övertonsbildning (8, 9). Stor vikt har därför lagts vid att få förstärkarens transientegenskaper så goda som möjligt.

Fig 6

Typiskt kantvågssvar vid 10 kHz för en förstklassig hi-fi-förstärkare med omsorgsfullt dimensionerad utgångstransformator.

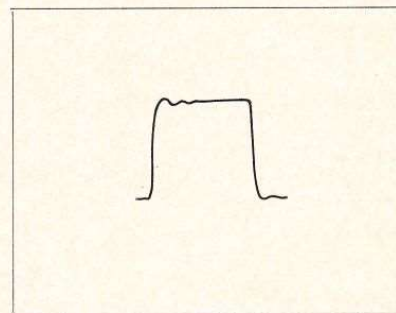


Fig 6

Transientegenskaperna undersöks vanligen med kantvågsprov. En resonanstopp i det övre registret ger sig tillkänna som en översvängning i vågens främre kant. Även en svag lyftning i frekvenskurvan på mindre än 1 dB kan lätt spåras på detta sätt, och — vad mera är — resonansen ger sig till känna även om den uppträder inom det område där frekvenskurvan börjat dala. Översvängningen indikerar då att kurvan ej faller mjukt och jämnt. Ju snabbare översvängningen dämpas, desto större är stabilitetsmarginalen och desto bättre kan transientegenskaperna sägas vara.

Fig. 6 visar kantvågssvaret vid 10 kHz för en amerikansk förstklassig hi-fi-förstärkare med omsorgsfullt dimensionerad utgångstransformator (9, 10). Observera den obetydliga översvängningen som snabbt dämpas. Resonansen ligger vid ungefär tiofaldiga kantvågsfrekvensen, dvs. vid ca 100 kHz.

I fig. 7 visas experimentförstärkarens kantvågssvar vid 1 W uteffekt vid olika frekvenser. Som synes finns inga spår av översvängning.

Kantvågsproven lämnar inget besked om förstärkarens stabilitet vid *låga* frekvenser. För att få en uppfattning om denna brukar man utsätta förstärkaren för en chock i någon form och se hur snabbt den återhämtar sig. Ett sätt är att mata in en signal med relativt hög amplitud på ingången, och sedan plötsligt sänka signalamplituden till hälften och iaktta hur snabbt den nya nivån stabiliserar sig. Ett svårare prov för förstärkaren är att mata in en så kraftig signal att förstärkaren totalt överstyrs, och sedan kortsluta ingången. Ett mått på stabiliteten blir då det antal svängningar som kan iaktas på oscilloskopskärmen innan förstärkaren återhämtat sig, dvs. ställt in sig på nollnivån.

Fig 7

Experimentförstärkarens kantvågssvar vid olika frekvenser.

Fig 8

När gallerförspänningen för experimentförstärkarens ingångsrör abrupt ändras 1,5 V (se texten) blir transientsvaret på utgången detta.

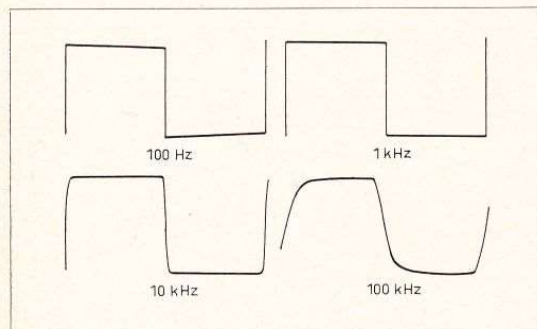


Fig 7

Metoden är ej fullt reproducerbar i den meningen att resultatet alltid blir detsamma. Råkar man nämligen kortsluta ingången i ett fasskede när förstärkaren befinner sig nära nollnivån, utsätts den knappast för någon chock alls. Provet måste därför göras om många gånger varvid endast de mest ogynnsamma svaren beaktas.

Av de olika prov som experimentförstärkaren genomgått, ansågs det sist omnämnda viktigast. Varje ändring i dimensioneringen som medförde lägre övertonsbildning men samtidigt märkbart försämrade stabiliteten förkastades.

En annan metod för chockprov, som är fullt reproducerbar, är att ansluta ett 1,5 V batteri med den negativa polen till ingångsrörets galler och den positiva till jord och sedan bryta anslutningen till gallret (9). Man utsätter då förstärkaren för en brant vågfront med mycket hög amplitud. Svaret blir likartat det som erhöles i de mest ogynnsamma fallen av det tidigare omnämnda chockprovet. Fig. 8 visar hur förstärkaren reagerade utan antydan till instabilitet. Resultatet måste betraktas som mycket tillfredsställande, ty det ger besked om en betryggande stabilitetsmarginal inom det extremt lågfrekventa området 0–10 Hz.

Prov med högtalaren ansluten

De nyss beskrivna proven ger inte hela sanningen om en förstärkares stabilitet under normala driftförhållanden (8). Proven görs nämligen när förstärkaren är resistivt belastad, men högtalaren — som förstärkaren skall driva — är ju ingen ren resistans. Jag gjorde därför några kompletterande prov, där 800 ohms-motståndet ersattes med den högtalare som förstärkaren närmast är avsedd för, nämligen Philips

9710AM. Högtalaren anslöts via en kabel på ett par meter, och en mindre parallellkapacitans över utgången kom därför med i bilden. Den komplexa storhet som nu belastade förstärkaren bestod av åtminstone en resistiv, en induktiv och ett par kapacitiva komponenter.

Kantvågssvaret vid 1 kHz återges i fig. 9. Man kan skönja en lätt översvängning och tendens till efterföljande »ringning», men denna är snabbt dämpad. Resonansen ligger vid ca 120 kHz och är på inget sätt besvärande. Kantvågssvaret är ganska likt det i fig. 6, om man beaktar att kantvågsfrekvensen där är 10 ggr högre. Jämförelsen haltar dock något eftersom fig. 9 är ett svar vid högtalarlast, medan fig. 6 är ett svar vid resistiv last.

På försök adderades ytterligare parallellkapacitans i form av olika stora kondensatorer till utgången, fortfarande med högtalaren inkopplad. Förstärkaren visade sig vid kantvågsprov vara stabil ännu vid kapacitanser över utgångsklämmorna som vida överstiger dem som kan förekomma i praktiken.

Praktisk dimensionering

Som nominell distorsion hos en förstärkare brukar anges distorsionen vid medelhöga frekvenser, vanligen vid 1 kHz. Där är distorsionen i allmänhet lägst. Hur stor den är vid låga resp. höga frekvenser får man mera sällan reda på.

Om man följde denna vedertagna (men högst diskutabla) princip, skulle experimentförstärkarens distorsion vid full uteffekt kunna anges som mindre än 0,05 %. Det går nämligen att sänka distorsionen vid 1 kHz till så små värden genom att göra $F_1\beta_1$ lika med eller mycket nära 1. Därmed är emellertid inte sagt att förstärkaren skulle vara optimalt dimensionerad.

Fig 9

När högtalaren (9710AM) i stället för 800 ohms motståndet anslutits till förstärkaren blir kantvågssvaret vid 1 kHz fortfarande så här rent. Observera att kantvågssvar vid helt eller delvis induktiv belastning aldrig publiceras när det gäller hi-fi-förstärkare. Eventuellt publicerade kantvågssvar gäller i regel vid rent resistiv belastning, eller i enstaka fall med resistiv plus en specificerad kapacitiv belastning.

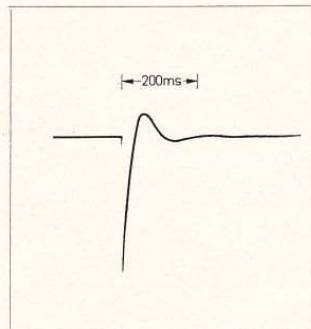


Fig 8

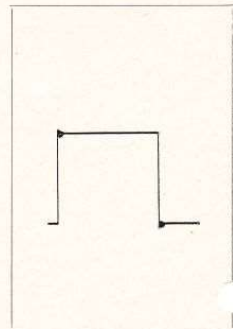


Fig 9

Det är svårt, för att inte säga omöjligt att hålla storheterna F_1 , F_2 , β_1 och β_2 konstanta inom hela frekvensområdet. Uppenbart är t.ex. att både F_1 och F_2 sjunker vid höga frekvenser (på grund av parallellkapacitanser).

När man tar *hela* frekvensregistret i betraktande visar det sig lämpligare att välja ett värde på $F_1\beta_1$ som överstiger 1. Man kan lätt fastställa det optimala värdet genom att trimma in β_1 , men då det är en god regel att hålla sig till standardvärden på komponenterna för att göra konstruktionen lätt reproducerbar — för att undvika efterjusteringar i varje enskilt fall — stannade jag för de komponentvärden som anges i fig. 2. Distorsionen vid olika frekvenser och uteffekter blev då den som anges av kurvorna i fig. 11.

Någon läsare kanske anmärker att distorsionskurvan för 1 kHz har ett maximum vid ca 9 W och ett minimum vid ca 13 W och menar att det är principiellt felaktigt att konstruera en förstärkare på detta sätt. På en sådan eventuell invändning vill jag svara att det inte i första hand varit distorsionen vid 1 kHz som bestämt dimensioneringen, utan distorsionen vid 40 Hz och 10 kHz.

En sak som kan vara värd att notera i marginalen som ett kuriosum är att distorsionen vid 1 kHz kommer att minska när emissionen i V1A går ned, vilket torde vara en unik egenskap hos en hi-fi-förstärkare!

Intermodulationen

I USA anger man lika ofta förstärkardistorsionen i form av intermodulation som i form av övertonsbildning. Dessa distorsionsformer är bägge funktioner av förstärkarens olinjäritet, men något enkelt matematiskt samband mellan dem kan inte påvisas. Det har därför sitt intresse att för-

Fig 10

Ur kantvågssvaren i fig. 7 kan man utläsa denna frekvenskurva hos förstärkaren. Den streckade kurvan anger den inverkan som en ingångskondensator (seriekondensator) på ca 25 nF har.

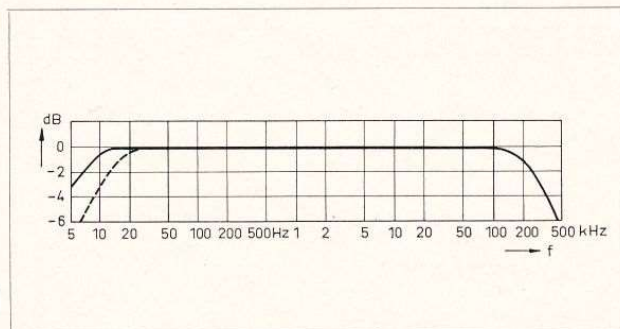
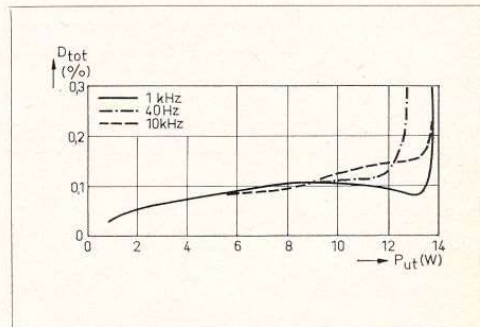


Fig 11

Uppmätt distorsion hos förstärkaren i fig. 2 vid olika frekvenser och uteffekter.



utom övertonsbildningen känna till intermodulationen hos experimentförstärkaren.

Mått enligt SMPTE-metoden med frekvenserna 50 Hz och 5 kHz i proportionerna 4:1, visade sig experimentförstärkarens intermodulation vid 12 W ekvivalent sinus-effekt vara så låg att den knappast kunde bestämmas med de instrument som stod till förfogande. Skalutslaget var 0,05 % och mätinstrumentets egen distorsion ca 0,03 %.

Erforderlig uteffekt

Uppgifterna om hur hög uteffekt en förstärkare måste kunna lämna vid låg distorsion för att ge fullgod musikåtergivning i hemmiljö, varierar mycket starkt. Lars-Olof Lennermalm har ingående penetrerat frågan i ett tidigare nummer av RADIO och TELEVISION (11) och det finns därför ingen anledning att här gå in på den.

Lennermalm stannar efter moget övervägande, och efter att ha räknat med säkerhetsmarginaler åt alla håll, vid siffran 0,2 W per m³ rumsvolym när högtalarsystemets verkningsgrad är 3 %. Verkningsgraden hos Philips 800 ohms-högtalare 9710AM är nominellt 4,5 %, och ca 0,13 W per m³ skulle därför vara tillräckligt, förutsatt att högtalaren är monterad så att verkningsgraden bibehålles. Experimentförstärkarens 12 W uteffekt är under dessa förutsättningar tillfyllest för en rumsvolym på ca 90 m³, dvs. ett efter dagens bostadsstandard tämligen stort rum.

Högtalaren 9710AM är avsedd för effekter på upp till ca 10 W och bestämmer i realiteten den övre effektgränsen. (De extra 2 W som förstärkaren förmår lämna innebär knappast någon risk för högtalaren, ty höga effekter förekommer i praktiken endast mycket kortvarigt.)

Stereoutförande

Slutligen kan nämnas att experimentförstärkaren, tack vare sin enkelhet, sin relativt låga effektkonsumtion och sin låga kostnad, är lämpad att användas i dubbel uppsättning i en stereoförstärkare. Ut-effekten blir då — med betryggande marginal — tillräcklig även för mycket stora eller hårt dämpade bostadsrum.

Sammanfattning

De utförda experimenten och mätningarna visar att en förstärkare uppbyggd enligt schemat i fig. 2 besitter följande egenskaper:

- 1) Tillräcklig uteffekt vid låg distorsion (12 W alt. 24 W vid stereo).
- 2) Utmärkta transientegenskaper.
- 3) Snabb återhämtning efter total överstyrning (ca 200 ms).
- 4) Mycket låg övertonsbildning inom hela det nyttiga frekvensområdet.
- 5) Tillräcklig bandbredd (ca 5 Hz—ca 350 kHz).
- 6) Försumbar utimpedans, ca 4 ohm vid 1 kHz och mindre än 6 ohm vid högtalarens basresonansfrekvens.
- 7) Låg störningsnivå (brum och brus under —80 dB relativt 12 W).

Den summariska redogörelse som lämnats i denna artikel kan närmast betraktas som ett försök att besvara frågan om, huruvida det transformatorlösa slutsteget är användbart i en hi-fi-förstärkare eller inte.

Experimentet gav så gott resultat att det finns anledning att återkomma med en komplett byggbeskrivning på förstärkaren

i stereoutförande, vilket jag hoppas kan ske i något av de närmast kommande numren av RADIO och TELEVISION.

Litteraturhänvisningar

- (1) CROWHURST, N H: *Realistic Audio Engineering Philosophy*. Audio 1959, okt., s. 52.
- (2) RAVENSWOOD, D: *Is the Output Transformer Out?* Radio-Electronics 1958, jan., s. 80.
- (3) *25 W hi-fi-förstärkare utan utgångstransformator*. RADIO och TELEVISION 1955, nr 7, s. 10.
- (4) *Single-Ended Push-Pull Output Stages*. Electronic Applications 1956/57, vol. 17, s. 80.
- (5) *Lund Ortho Acoustical System, modell »1001»*. RADIO och TELEVISION 1959, nr 4, s. 48.
- (6) PETERS, D P: *In Defense of the Split-Load Phase Inverter*. Radio & TV News 1957, nov., s. 182.
- (7) FIDELMAN, D: *Combining Positive and Negative Feedback in an Audio Amplifier*. Radio & Television News 1955, jan., s. 56.
- (8) CROWHURST, N H: *Why Do Amplifier Sound Different?* Radio & Television News 1957, mars, s. 40.
- (9) HAFLE, D: *50-Watt Power Amplifier*. Radio & Television News 1956, juni, s. 61.
- (10) Referat ur Consumer Reports, juli 1959. Ljudteknik 1959, nr 3—4, s. 21.
- (11) LENNERMALM, L-O: *Erforderlig uteffekt för realistisk musikåtergivning i hemmen*. RADIO och TELEVISION 1960, nr 5, s. 54.

JON IDESTAM-ALMQUIST

2 × 15 W effektförstärkare

I en artikel i RADIO och TELEVISION nr 9/62 redogjordes för en del experiment med en transformatorlös slutförstärkare, som visade sig ha utmärkta data. Förstärkaren har sedan dess utvecklats vidare och den byggbeskrivning som här följer, avser den förbättrade versionen i stereoupplaga.

Fördelarna med att använda transformatorlösa effektsteg i hi-fi-förstärkare är som bekant bl.a. följande:

- 1) Man slipper den i utgångstransformatorn ofrånkomliga distorsionen och effektförlusten.
- 2) Fäsvridningen vid bandkanterna blir mindre och stabiliteten därigenom bättre.
- 3) Kraftigare motkoppling kan tillämpas, vilket gör att det inte är nödvändigt att ta till matchade eller speciellt utvalda rörexemplar för att man ska

få ytterligt låg övertonsbildning och intermodulation.

4) Man kan erhålla en väsentligt högre dämpningsfaktor som resulterar i bättre transientåtergivning och frekvensgång hos högtalaren.

Allt detta bidrar till en förbättrad ljudåtergivning, men viktigast i sammanhanget är att stabilitets- och transientegenskaperna förbättras.

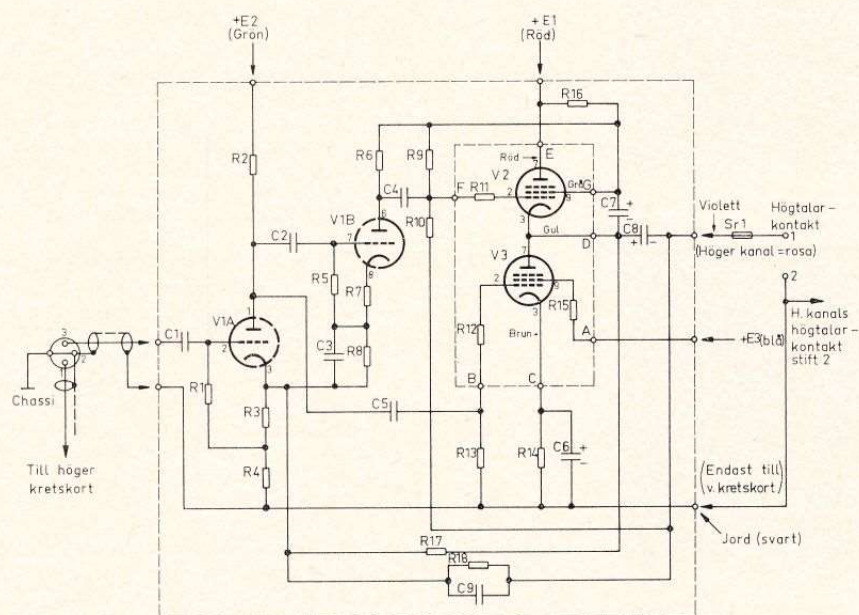
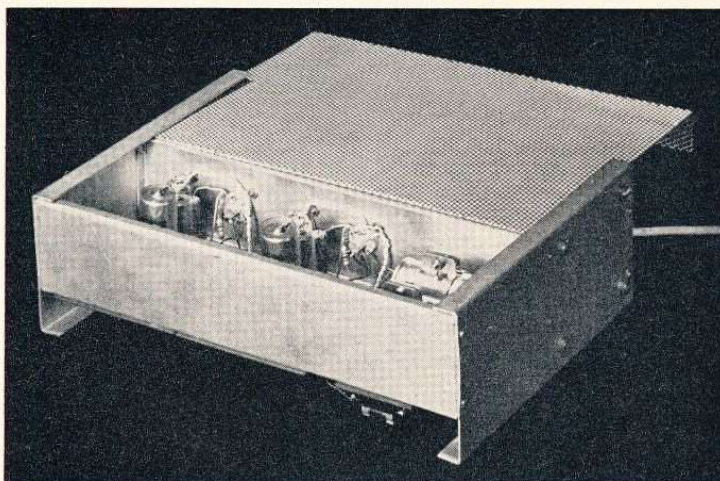


Fig 1

Principschema för den ena av förstärkarens båda identiska kanaler. Området inom den streckade linjen markerar kretskortet; de öppna cirkelarna markerar anslutningspunkterna på kortet. Samma färg- och bokstavsmarkeringar återfinns i fig. 6b.



Här presenterar Jon Idestam-Almquist den för länge sedan utlovade byggbeskrivningen av en högklassig effektförstärkare utan utgångstransformatorer för stereo.

Öfterligare en fördel — för många kanske den väsentligaste — är att en transformatorlös förstärkare blir billig, åtminstone om den görs rörbestyckad.

Principen

En kort rekapitulation av principen för den transformatorlösa förstärkaren kan kanske vara på sin plats.

I principschemat i fig. 1 visas den ena

av de två identiska kanalerna. Slutrören V2 och V3 är kopplade i s.k. »single-ended push-pull». Det betyder att de är likströmsmässigt seriekopplade och växelströmsmässigt parallellkopplade. Den optimala belastningsimpedansen blir därvid omkring fjärdedelen av det optimala värdet som gäller för samma rör i konventionell mottaktkoppling. Med de i förstärkaren använda rören blir optimala belastnings-

impedansen ca 800 ohm. Höghöga högtalare med denna märkimpedans kan således anslutas direkt till förstärkaren utan transformering.

Det övre slutröret drivs via en fasvärdare V1B och det undre slutröret direkt från ingångssteget V1A. Detta senare driver även fasvärdaren och är positivt återkopplat över den gemensamma delen av de bägge rören katodmotstånd ($R3+R4$).

Uppställning

Av följande komponenter fordras dubbel uppsättning:

R1=R13=470 kohm, $\frac{1}{4}$ W, ytskikt
R2=220 kohm, $\frac{1}{2}$ W, ytskikt
R3=220 ohm, $\frac{1}{4}$ W, 5 %, ytskikt
R4=270 ohm, $\frac{1}{4}$ W, 5 %, ytskikt
R5=1 Mohm, $\frac{1}{4}$ W, ytskikt
R6=33 kohm, $\frac{1}{2}$ W, 5 %, ytskikt
R7=2.2 kohm, $\frac{1}{4}$ W, ytskikt
R8=24 kohm, $\frac{1}{2}$ W, 5 %, ytskikt
R9=R10=1 Mohm, $\frac{1}{4}$ W, 5 %, ytskikt
R11=R12=1 kohm, $\frac{1}{4}$ W, ytskikt
R14=330 ohm, 5.5 W, 5 %, trådl. (Philips)
R15=270 ohm, $\frac{1}{4}$ W, ytskikt
R16=8.2 kohm, 5.5 W, trådl. (Philips)
R17=100 kohm, 1 W, 5 %, ytskikt
R18=47 kohm, $\frac{1}{2}$ W, 5 %, ytskikt
C1=47 nF, 400 V, metalliserad polyester (Eromet 85)
C2=10 nF, 630 V, metalliserad polyester (Eromet 85)

C3=120 pF, 500 V, styrol
C4=C5=0.47 μ F, 630 V, metalliserad polyester (Eromet 85)
C6=100 μ F, 40 V (Philips C436CB/G100 e. motsv.)
C7=8 μ F, 450 V (Rifa PEZ 1049, Dubilier BR/PC 5166 e. motsv.)
C8=32 μ F, 350 V (Siemens B43 291 A 32/350 e. motsv.)
C9=47 pF, 500 V, styrol
V1=ECC83 (Telefunken)
V2=V3=EL86 (Telefunken)
Sr1=finsäkring, 80 mA

Av följande fordras endast enkel uppsättning

R19=180 kohm, 2 W (Vitrohm)
R20=R21=R22=33 kohm, 1 W (Vitrohm)
D1-D4=4 st. kiseldioder, 600 V piv.
C10=100 μ F, 500 V (Dubilier CT 5075 e. motsv.)
C11+C12=32+32 μ F, 500 V (Dubilier CT 0134 e. motsv.)

Sr2=finsäkring, 200 mA, snabb
Sr3=finsäkring, 1 A, trög
Tr1=nätransformator med prim: 220 V, 50 Hz skärm sek: 370 V, 150 mA, med mittuttag; 12.6 V 2.5 A
4 novalrörhållare
2 novalrörhållare för kretskort, kvadr. modul.
4 säkringshållare
1 skärmad trepolig ingångskontakt (Hirschmann Mab 3S e. motsv.)
2 högtalarkontakter, hon- (Hirschmann Lb 2)
2 högtalarkontakter, han- (Hirschmann Ls 7)
1 oktallrörhållare
1 kopplingsplint 50x110 mm
Kopplingstråd, skärmad kabel, nätsladd, avlastningsbussning, div. skruv och mutter.

Upplysningar om kretskort och komplett materialsats enligt stycklistan kan erhållas efter hänvändelse till artikel författaren Jon Idestam-Almquist, Skärmarbrinksvägen 1, Enskede.

Fig 2

Distorsionskurva för förstärkaren (heldragen kurva) jämförd med distorsionskurvan för den i RT nr 9/62 publicerade varianten (streckad kurva).

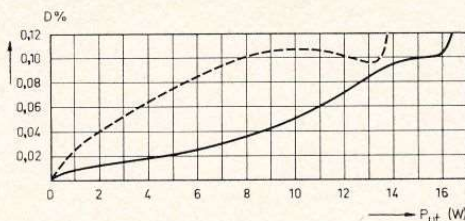
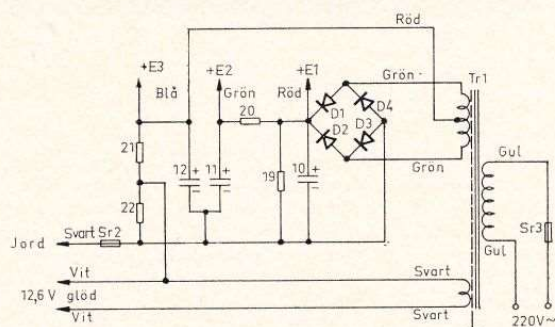


Fig 4

Förstärkarens nätaggregat. Färgmarkeringarna invid nätransformatorn Tr1 anger vilka färger transformatorns anslutningsledningar har. Övriga angivna färger är de som rekommenderas för ledningsdragningen i förstärkaren.



Den positiva återkopplingen är så långt driven, att man får vad man något oegentligt brukar kalla »oändlig» förstärkning i steget. Råförstärkningen blir mycket hög (även om den inte är oändlig) och ger utrymme för en mångfaldigt kraftigare motkoppling än den som brukar tillämpas i hi-fi-förstärkare med utgångstransformator.

Vidtagna modifieringar

Några förändringar i dimensioneringen av denna förstärkare har gjorts. Det sammanhänger främst med att uteffekten höjts till vad slutrören maximalt kan prestera. Detta har skett genom att anod- och skärmgallerspänningarna ökats. På grund härav har även något dyrare komponenter näst användas, framför allt i nätaggregatet.

Några smärre modifieringar av princip-schemat har vidtagits. De har lett till en ytterligare sänkt distorsion — särskilt vid medelhöga uteffekter, jfr fig. 2 — samtidigt som känsligheten kunnat höjas något. Frekvensområdet har avsiktligt be-

skurits vid 100 kHz (mot tidigare 350 kHz) genom att återkopplingsmotståndet R18 överbryggs med en liten kondensator C9. Frekvenskurvan faller mjukt och regelbundet, som framgår av fig. 3. Ännu vid 500 kHz har den inte uppnått brantare lutning än ca 6 dB/oktav.

Förstärkarens data framgår av tab. på s. 65. Värdena är angivna med viss marginal och kan betraktas som nominella.

Nätaggregatet

Nätaggregatet är enkelt. Som likriktare har valts en brygga av fyra kiselioder, vilka ju har lägre impedans än rör- och selenlikriktare. Anodspänningen till slutrören (+E1) tas direkt utan silning från en laddnings-elektrolyt C10 på 100 μ F, medan ingångsrörens anodströmmar (+E2) silas i filterlänken R20 och C11.

Två av bryggans dioder, D3 och D4, tjänar även som tvåvägslukriktare för de undre slutrörens skärmgallerspänning (+E3). De fyra dioderna utgör alltså i själva ver-

ket två halvvägslukriktande system: en brygglukriktare för transformatorns hela sekundärspänning, och en tvåvägslukriktare för halva sekundärspänningen.

Slutrörens glödtrådar är parvis kopplade i serie (de fungerar då som säkring åt varandra vid eventuellt glödtrådsbrott). Ingångsrör-fasvändare erhåller glödströmsmatning från samma 12,6 V lindning. Ena glödströmsbranschen kopplas till spänningsdelaren R21—R22 (den får då potentialen +115 V), detta för att inte den max. tillåtna katod-glödtrådsspänningen för de övre slutrören skall överskridas.

Två säkringar används, en trög i transformatorns primärkrets och en snabb i nätaggregatets minus. Ingen punkt i nätaggregatet är chassijordad (bortsett från transformatorns statiska skärm).

Högtalare

En invändning som ofta görs mot höghögmiga förstärkare är att urvalet av lämpliga högtalare är begränsat. Det är sant, även om numera flera europeiska högtalarfabri-

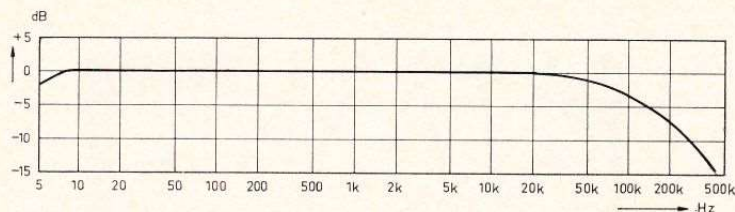


Fig 3

Förstärkarens frekvenskurva. Lägg märke till den mjuka och jämna avböjningen i det högsta frekvensområdet.

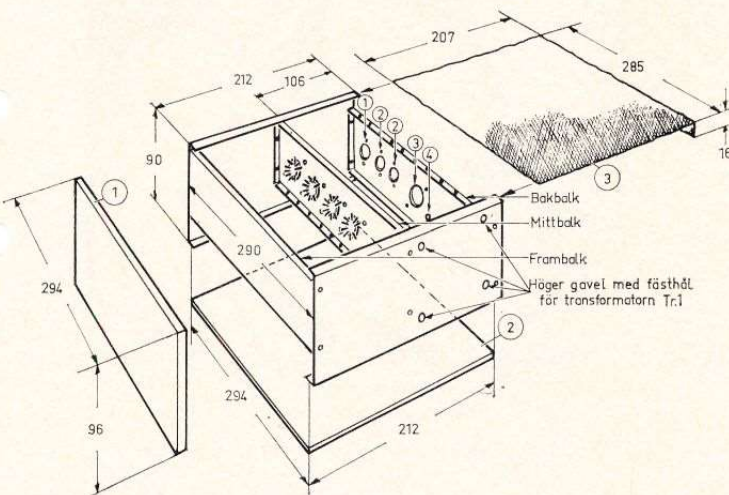


Fig 5

Chassiet är en ramkonstruktion bestående av 1,5–2 mm aluminiumplåt, två sidogavlar sammanbundna med tre »balkar». Mittbalken bär upp de fyra slutrören, som är horisontellt monterade i utrymmet mellan mitt- och bakbalken. Hålen på bakbalken är följande: (1) för ingångskontakt, (2) för högtalarkontakt, (3) för kontaktdon (oktalrörhållare), (4) hål för nät-sladd. Genom att försä chassiet med en frontskiva (1) i snyggt träslag som fästs vid fram-balken med träskruvar från insidan, en botten-platta (2) av 4 mm plywood och ett täckgaller (3) av finmaskig s.k. sträckmetall e.d., kan man ge förstärkaren en hyfsad finish. Täck-gallret inskjutes mellan balkarna och övre flänsen på gavarna. Gavarna och gallret bör lackeras och balkarnas överkanter dras över med tape, för att undvika att gallret skramlar. Bottenplattan fästes med plåtskruv i gavlarnas undre flänsar och förses med gummifötter.

kanter kan konsten att linda höghögiga högtalare — *Sinus* tillverkar t.ex. sin »Ultrasuper» i en 800 ohms-version. *Philips* var som bekant först på plan, och får väl fortfarande sägas leda utvecklingen. ta företags berömda 9710 AM torde vara en av de förnämsta bredbandiga kon-högtalare som konstruerats. Tyvärr har ett utbrett missförstånd av hur högtalaren skall monteras lett till att den på sina håll betraktas med misstro — många tycker att den låter för »vasst». Detta sammanhänger med att man vid konstruktionen följt den riktiga, men allt för sällan tillämpade prin-cipen att söka hålla den totalt utstrålade effekten så jämn som möjligt genom hela frekvensregistret. Man har inte siktat på att åstadkomma en rak frekvenskurva i nollgradersriktningen — den stiger där något i diskanten. Först när högtalaren är riktad på sådant sätt att den diskantrika mittstrålen inte når lyssnaren direkt, utan via reflexion i väggar och/eller tak, kom-mer dess utmärkta egenskaper helt till sin rätt.

Den högtalarkonstruktion som beskrives på annan plats i detta nummer använder en 9170 AM som huvudelement. Den be-skrivna högtalaren rekommenderas att an-vändas ihop med denna transformatorlösa förstärkare. Artikelförfattaren är visserli-gen part i målet, men vill ändå inte sticka under stol med sin åsikt att den i denna artikel beskrivna förstärkaren kopplad till den nyssnämnda högtalaren låter bättre än allt som f.n. finns att tillgå på den svenska marknaden — oavsett prisklass.

Material och komponenter

Komponenterna har valts kritiskt, mera med tanke på kvalitet än på pris. Endast trådlindade och brusfattiga ytskiktssmot-stånd ingår t.ex. i förstärkarkretsarna. Papperskondensatorer är bannlysta. Som kopplingskondensatorer används de vä-sentligt dyrare, men också driftsäkrare, moderna metalliserade polyesterkondensa-torerna i högvoltutförande. Elektrolyter-na C6, C7 och C8 är i specialutförande för stående montage på kretskort. C10 och

C11+C12 är av bägartyp för klammerfast-sättning.

Förstärkarens uppbyggnad

De komponenter som ingår i förstärkar-kretsarna kopplas på två identiska krets-kort 89×121 mm.

Samtliga komponenter i nätaggreatet (exkl. nättransformatorn) kopplas på en kopplingsplint med måtten 50×110 mm.

Chassiet utgörs av en ram av två bäran-de gavlar, som är sammanbundna med tre parallella »balkar», för enkelhetens skull här kallade »fram-», »mitt-» och »bak-balk». På fram- och mittbalken fästes (från undersidan) de två kretskorten och nätaggreatets kopplingsplint, jfr fig. 9.

De fyra slutrören är horisontellt monte-rade på mittbalken i ett från kompen-ternas avskilt utrymme. Monteringens ger god kylning av slutrören och skyddar kom-ponenterna från rören strålningsvärme.

Nättransformatorn bärs upp av den hög-ra gaveln. Signallampa och nätströmbry-tare har ansetts överflödiga, då ju slut-

förstärkaren i regel kopplas på med den strömbrytare som finns i förstärkaren. Med tanke på brumfältet är detta dock ej att rekommendera. Det är bättre att använda en helt separat strömbrytare, som gärna kan vara gemensam för hela hi-fi-anläggningen.

Högtalarsäkring

Som framgår av principschemat i fig. 1 har en säkring, Sr1, lagts in i högtalarledningen. Den skyddar högtalaren vid eventuell kortslutning i utgångselektrolyten C8. Säkringen har dimensionerats så att den nätt och jämnt håller vid 15 W utstyrning med kontinuerlig sinusvåg. För normal användning av förstärkaren, då överstyrning inte bör få förekomma — och inte heller torde ha någon chans att kunna göra det — är säkringen lämpligt dimensionerad. Den som till äventyrs har starka trumhinnor och inte har några grannar och därför kanske styr ut förstärkaren så kraftigt att klippgränsen vid upprepade tillfällen uppnås eller överskrides, får i stället ta till en säkring för högre max. ström.

När förstärkaren utsätts för test, särskilt kantvågs- och chocktest, bör säkringen kortslutas. Den tål definitivt inte de strömmar som uppstår när förstärkaren styrs ut med kontinuerlig kantvåg till klippgränsen. Uteffekten uppgår då nämligen till omkring 30 W (per kanal)!

Allmänna råd

Vid monteringen och kopplingen av förstärkaren bör man utföra de olika momenten i den ordning som anges i det följande. Motstånd och kondensatorer m.m. bör plockas fram i förväg och ordnas i nummerföljd, var komponent med sitt nummer på något sätt markerat, så att man snabbt hittar den aktuella komponenten och slipper leta varje gång.

Det är vidare praktiskt att använda kopplingstråd i de färger som anges i beskrivningen och slaviskt följa färganvisningarna i byggbeskrivningen och figurerna.

Slutrörhållarna på mittbalken

De fyra slutrörens hållare fästes med M3-skruv i mittbalken. De monteras från balkens plana sida, dvs. så, att lödstiften hamnar i balkens fördjupning. De vrides alla åt samma håll: lödstiften 1 och 2 skall peka åt vänster när man ser hållarna från lödsidan och håller balken så att kanten med de nio fästhål är vänd nedåt.

Förbindelserna med hållarnas stift dras och löds för två rörhållare åt gången enligt följande. (Börja med det vänstra paret hållare och sätt efter varje kopplings-etapp ett kryss i parentes som inleder resp. kopplingsmoment. Två parenteser framför vissa moment anger att man har dubbla enheter som skall kopplas på anvisat sätt, det finns sålunda en parentes att kryssa i för vardera enheten.)

() () Förbind med vit kopplingstråd löd-

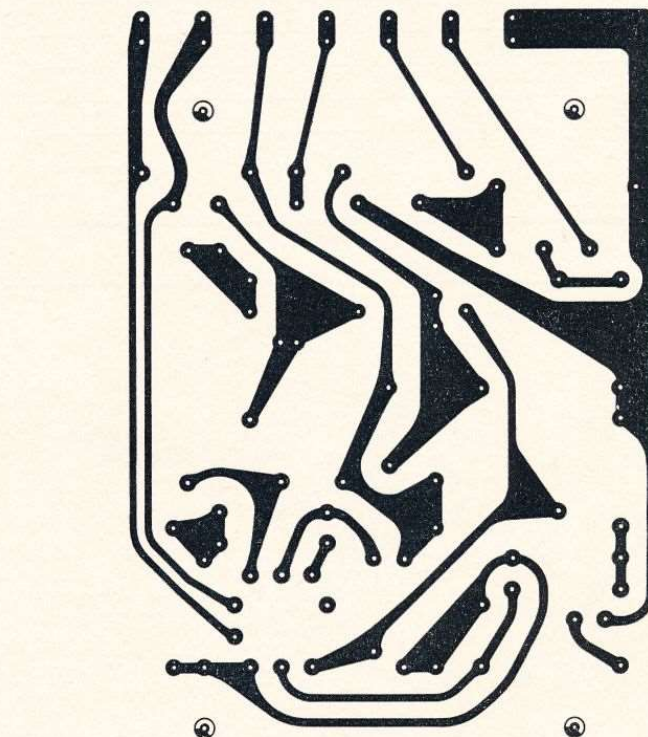


Fig 6a

Kretskortet för en av de två identiska förstärkarna sett från ledningssidan. I fig. 6b har ledningsmönstret ritats in som det ser sig från komponentsidan vid kraftig genomlysning av kortet.

stift 4 på den vänstra hållaren med stift 4 på den högra och löd.

() () Löd en vit tråd vid stift 5 på den vänstra hållaren, sno tråden kring den förra vita tråden fram till stift 4 på den högra hållaren och låt tråden fortsätta drygt 5 cm åt höger förbi denna hållare och klipp av den.

() () Löd en ny vit tråd vid stift 5 på den högra hållaren, sno den kring den förra vita tråddändan, klipp av till samma längd och avisolera 3–4 mm av vardera trådens fria ände.

() () Löd en gul tråd vid stift 7 på vänster hållare och dra den till stift 3 på höger hållare. Löd samtidigt en ny gul, drygt 5 cm lång tråd vid detta stift och avisolera ändra änden.

() () Löd en 7 cm lång brun tråd vid stift 3 på vänster hållare och avisolera den fria änden.

() () Löd en 3 cm lång grå tråd vid stift

9 på höger hållare och avisolera den fria änden.

() () Löd en 4 cm lång röd tråd vid stift 7 på höger hållare och avisolera den fria änden.

Man har nu en brun, en gul, en grå, en röd och två vita tråddändar som senare skall anslutas till kretskortet.

Upprepa exakt samma ledningsdragning för det högra paret rörhållare.

Montering av ram och transformator

Att skruva ihop ramen med ledning av fig. 5 torde inte välla några svårigheter. Se bara till att balkarna vändes rätt: den med fästhål försedda balkkanten skall vara vänd nedåt vad gäller fram- och mittbalkarna, men uppåt vad gäller bakbalken! Ställ ramen på ett plant underlag och se till att den inte skevar, innan skruvarna dras åt för gott.

Passa in nättransformatorn Tr1 mellan

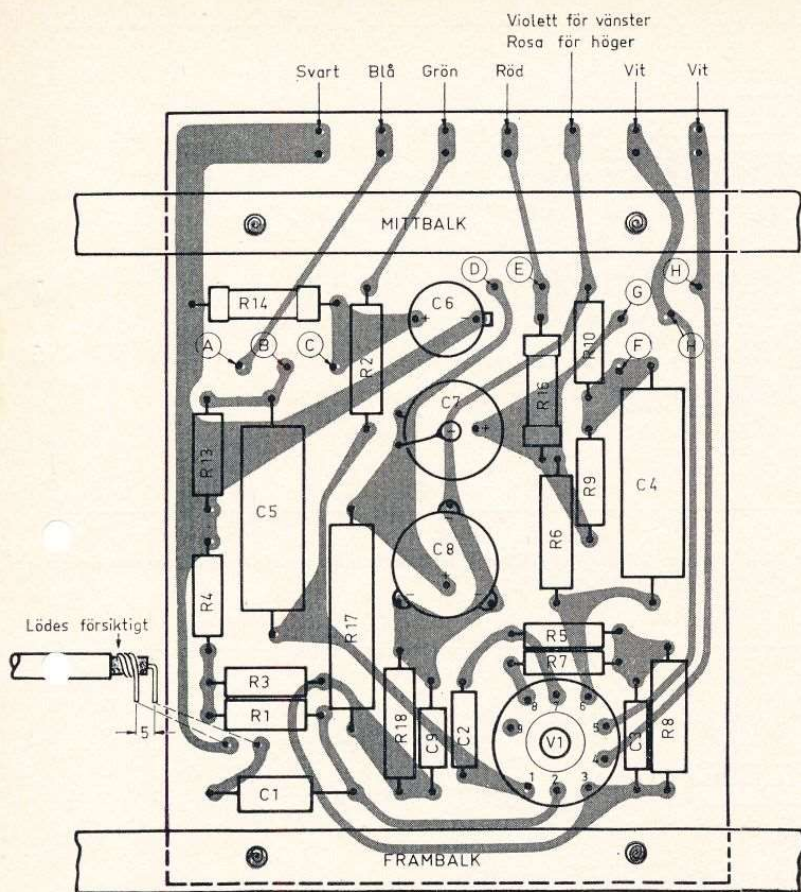


Fig 6b

Komponentplaceringen på resp. kretskort. Bokstäverna markerar anslutningspunkterna till slutrören (jfr fig. 1). Nedtill till vänster anslutes den skärmade kabeln från ingångskontakten.

mitt- och bakbalken. Samtliga trådar från transformatorn skall veta åt mittbalken, och sidan med de gula trådarna skall vara ned uppåt. Fäst transformatorn med fyra M5-skruv och mutter vid höger gavel (med skruvhuvudena utåt). Dra åt kraftigt.

Montering av kontaktdonen

() Montera den trepoliga ingångskontakten (från utsidan) i hålet närmast vänstergaveln på bakbalken. Använd M3-skruv och mutter. Vänd kontakten så att stift 1 vetter uppåt.

() Fäst de två högtalarkontakterna av svart bakelit från insidan på bakbalken. Vänd kontakterna så att lödstift 1 vetter nedåt. Skruva tills vidare endast fast dem vid de övre fästhålerna med M3-skruv och mutter.

() Tag två säkringshållare med tillhörande långa försänkta M3-skrivar, och träd dessa från insidan genom högtalar-

kontakternas undre fästhål. Vrid säkringshållarna vågrätt och fäst med M3-mutter från utsidan.

() Fäst oktalrörhållaren med M3-skruv och mutter i det resterande stora hålet i bakbalken. Hur den vrides har ingen betydelse, men den bör monteras från insidan.

() Fäst slutligen den vita nylonbussningen i 10 mm-hålet i bakbalken. Vänd bussningen inåt och avlastningsskruven nedåt.

Löddning av kretskorten

De båda kretskortens laminatsidor är överdragna med lack för att skydda kopparfolien mot oxidering. Lacken tjänar även som ett utmärkt flussmedel vid löddningen. Löttnet — som givetvis bör vara av bästa kvalitet, avsett för radiobruk — flyter lätt och snabbt ut som det skall. Man behöver endast värma lödstället en eller ett par sekunder samtidigt som man tillför tennet.

Använd en liten lödkolv eller -penna med låg effekt. Alltför kraftig eller långvarig uppvärmning kan skada kretskortet.

Alla komponenter monteras på den icke laminerade sidan av kortet. Börja med den keramiska 9-poliga rörhållaren. Den kan endast vändas på ett sätt. Löd samtliga stift på laminatsidan.

Löd därefter in motstånden ett efter ett. Bocka anslutningstrådarna i 90° vinkel mot motståndskroppen och träd dem genom de avsedda hålen. Studera fig. 6 noga. Börja med de motstånd som skall monteras närmast kortets ytterkanter — det är lättast att orientera sig bland hålen då. Anslutningstrådarna bockas lätt på laminatsidan. Löd, och klipp bort tråddändarna alldeles intill tennet så snart detta svalnat.

Avståndet mellan fästhålerna är alltid det samma för motstånd med samma effektvärde. ($\frac{1}{4}$ W=17,5 mm, $\frac{1}{2}$ W=22,5 mm, 1 W=35 mm, 5,5 W=22,5 mm.)

De trådlindade 5,5 W-motstånd R14 och R16 bör ej monteras dikt mot plattan. Lagg provisoriskt en någon millimeter tjock pappbit e.d. under motståndskroppen vid monteringen och löddningen, så att ett litet luftrum uppstår när pappbiten sedan avlägsnas.

Polyesterkondensatorerna C4, C5, C2 och C1 monteras och lödes i nu nämnd ordning, därefter de två små styrolkondensatorerna C3 och C9.

Nu återstår endast att montera de tre elektrolyterna på denna första platta. Börja med C6. På plastsockeln finns en markering för minuspolen. Det är viktigt att vända minuspolen rätt, jfr fig. 6!

För C7 finns tre hål i plattan. De kan användas för elektrolyter av två olika fabrikat. En Rifa-kondensator kan endast vändas på ett sätt, och vållar därför inga problem. En Dubilier-kondensator måste man däremot se upp med, så att man vänder den rätt och monterar den i just de två hål som fig. 6b visar. Den tredje elektrolyten, C8, kan endast vändas på ett sätt.

Ett färdiglött kort skall se ut som det som visas i fig. 6b. Kontrollera att alla komponenter finns på plats. De med bokstäver markerade hålen skall användas för anslutningar till slutrören. Jfr fig. 6b med fig. 1.

När bägge korten är färdiglödda så här långt, kan man övergå till att koppla nät-aggregatet på kopplingsplinten.

Löddning av kopplingsplinten

() En säkringshållare fästes i vardera änden av kopplingsplinten med långa, försänkta M3-skrivar och muttrar.

() I de fyra 4 mm-hålen fästes — på plintens undersida — de två klammer som hör till elektrolyterna C10 och C11+C12. Använd korta M4-skrivar och muttrar.

() Elektrolyterna skjutes in i var sin klammer (jfr fig. 7a) så långt att lödnabbsändan av bågaren kommer kant i kant med kopplingsplinten. De vrids därefter

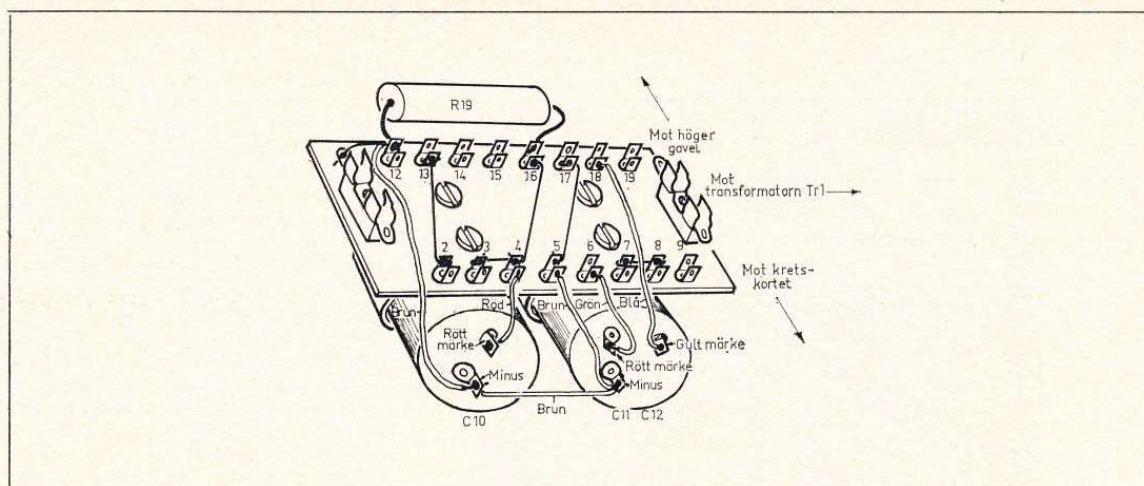


Fig 7a

Kopplingsplinten för nätaggregatet innan dioderna D1—D4 och motstånden R20—R22 löts in. Observera att de oisolerade ledningarna mellan lödöronen 2 och 13 resp. 5 och 17 ej får gå så tätt intill skruvskallarna som fig. visar.

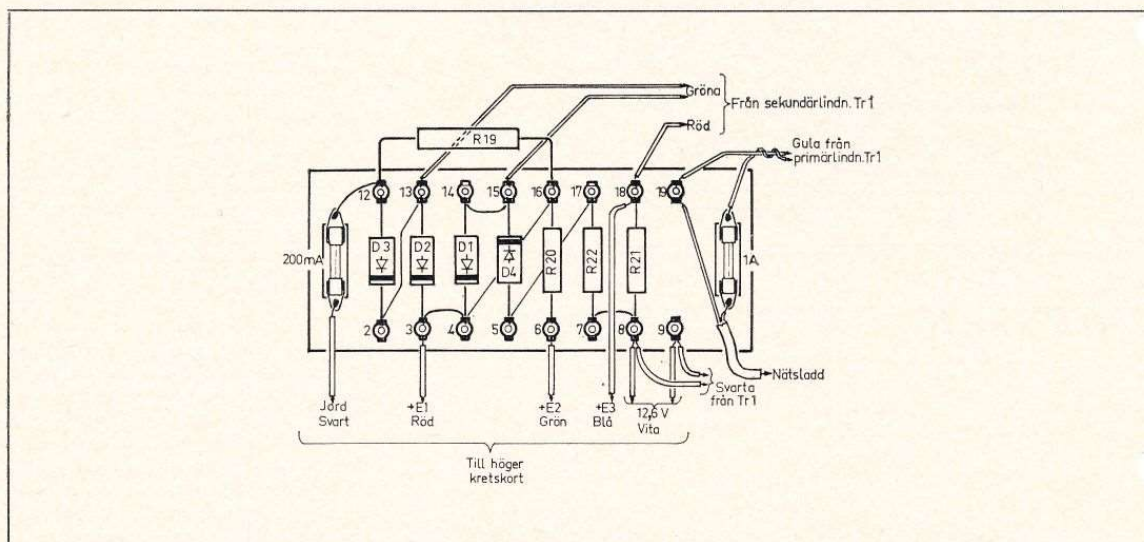


Fig 7b

Kopplingsplinten för nätaggregatet med samtliga komponenter inlödda. Anslutningarna till C10—C12 är ej markerade i denna fig., jfr fig. 7a.

som fig. 7a visar och klammerna dras åt med sina resp. skruvar.

() Drag med oisolerad tråd följande förbindelser mellan kopplingsplintens lödöron och löd (märk att lödöronen 1, 10, 11 och 20 är avlägsnade!): 2 till 13; 3 till 4 och vidare till 16; 5 till 17; 7 till 8; samt 14 till 15.

() Förbind med brun isolerad tråd lödöra 5 med C11+C12:s minuspol och gå vidare med brun tråd till C10:s minuspol och därefter vidare till lödöra 12, samt vidare till den närmast liggande änden på vänstra säkringshållaren, se fig. 7. Förbind med

röd tråd C10:s (rödmarkerade) pluspol med lödöra 4, vidare med grön tråd C11:s (rödmarkerade) pluspol med lödöra 6, och med blå tråd C12:s (gulmarkerade) pluspol med lödöra 18.

() Löd in de tre 33 kohm 1 W-motståndet mellan lödöronen 6 och 16 (R20), 7 och 17 (R22), samt 8 och 18 (R21). Se upp med att inte bränna den blå kopplings-tråden!

() Löd in 180 kohm 2 W-motståndet (R19) mellan lödöronen 12 och 16 precis som fig. 7 visar.

() Löd in kiseldioderna mellan följande

lödöron (diodernas katoder är markerade med röd ring): D1 mellan 14 och 4 (katoden mot 4), D2 mellan 13 och 3 (katoden mot 3), D3 mellan 12 och 2 (katoden mot 2), samt slutligen D4 mellan 5 och 15 (katoden mot 15; denna diod är alltså vänd i motsatt riktning mot de andra på plinten!).

Se upp med värmen från lödkolven. Knip gärna med en plattång om diodens anslutningstråd (mellan diodkroppen och lödstället) vid lödningen. Tången avleder då lödvärmen.

Kopplingsplinten är nu färdig att monteras i chassiramen.

Montering av kort och plint på ramen

Lägg chassiramen upp och ned med baksidan bakåt. Lägg ett av de färdiglödda kretskorten upp och ned på fram- och mittbalkarna, ca en centimeter från vänstergaveln (som nu befinner sig till höger!). Kortet skall sticka ut en dryg centimeter i rummet mellan mitt- och bakbalken. Fäst med fyra skruvar i balkarnas hål. Lägg det andra färdiglödda kortet på samma sätt intill det förra och fäst med fyra skruvar. Jfr fig. 9.

Kopplingsplinten skall nu monteras ungefär i mitten av det utrymme som finns kvar av fram- och mittbalkarna. Använd M3-skruvarna genom säkringshållarna och drag med dessa fast plinten i balkhålen. Plinten skall vara vänd så, att elektrolytbägarnas slutna ändrar vetter mot gaveln, se fig. 7. Där bör nu finnas ca 5 mm luft emellan elektrolyterna och gaveln. Bägarna får absolut inte ligga i kontakt med gaveln!

Anslutning av transformatorn

De två grova, svarta glödströmsledningarna skall anslutas till lödöronen 8 och 9 på plinten. (Så som plinten nu är vänd ligger lödöra 9 närmast transformatorn.)

() Kapa de svarta ledningarna från transformatorn till lagom längd, avisolera ändarna och skrapa dem rena från lack. Löd därefter den ena till lödöra 8 och den andra till lödöra 9.

() Drag de två gröna ledningarna från transformatorn till lödöronen 13 resp. 15. Kapa till lagom längd, avisolera, skrapa ledningarna rena från lack och löd till resp. lödöra. Se till att ledningarna ej ligger mot R19, som blir varm vid drift!

() Drag den röda ledningen från transformatorn till lödöra 18 och förfar på samma sätt.

() Tvinna samman de båda gula ledningarna från transformatorns översida. Drag dem intill transformatorn och gaveln, mot plinten. Den ena ledningen löds till lödöra 19, och den andra till ena änden av den säkringshållare som ligger närmast transformatorn.

Nätsladden avisoleras i ena änden och den ena ledaren löds till den ännu fria änden av nyss nämnda säkringshållare. Den andra ledaren löds till lödöra 19 på plinten. Drag nätsladden snyggt intill transformatorn och genom nylonbusningen i bakbalken. Drag åt avlastningsskruven.

() Placera en 1 A (trög) säkring i hållaren närmast transformatorn.

() Placera en (snabb) 200 mA säkring i den andra hållaren.

Anslutning av slutrören

Ställ chassiramen så att kretskortens över- och undersidor blir lätt åtkomliga. De olikfärgade trådarna skall nu träs genom avsedda hål i korten och lödas på undersidan. Jfr fig. 6. Arbeta med ett kort i taget:

() () Brun tråd sticks genom hålet C och löds.

() () Gul tråd sticks genom hålet D och löds.

() () Grå tråd sticks genom hålet G och löds.

() () Röd tråd korsar den grå och sticks genom hålet E och löds.

() () De vita trådarna sticks genom var sitt hål, markerat med H i fig. 6, och löds.

() () Ett 270 ohms-motstånd, R15 (färgmarkering: röd, violett, brun), sticks genom hålet A. Den andra änden kortas nå-

det ensamma hålet löds på den vänstra plattan en violett tråd, och på den högra en rosa. Vart och ett av de inre hålen i varje hålpar på det vänstra kortet skall nu anslutas till motsvarande hål på det högra kortet. Från vänster räknat skall anslutningen ske med trådar i följande färger: svart (=jord), blå (=+E3), grön (=+E2), röd (=+E1), samt vit och vit (=glöd 12,6 V).

När dessa trådar lösts till motsvarande hål i det högra kortet, ansluts trådar i samma färger (jfr fig. 6) till den yttre hålraden på det högra kortet. Dessa sex trådar samlas ihop i ett plaströr och viks snyggt runt kortets kant i närheten av det högra hörnet, jfr fig. 8. Därefter vändes chassiet upp och ned.

De sex trådarna från det högra kortet löds nu till följande lödöron på kopplingsplinten (jfr fig. 7b!):

() Löd de två vita trådarna till lödöra 9 resp. 8.

() Löd den blå tråden till lödöra 18.

() Löd den gröna tråden till lödöra 6.

() Löd den röda tråden till lödöra 3.

() Löd den svarta tråden till det ännu fria lödörat på säkringshållaren över fram-balken.

Anslutning av högtalarkontakterna

Vänd åter chassiet rätt.

() Löd en svart tråd till det yttre hålet i det hålpar på det *vänstra* kortet, där tidigare en svart tråd anslutits till det inre hålet.

() Samla ihop denna svarta tråd, den violetta (som tidigare anslutits till detta kort) och den rosa (som tidigare anslutits till det *högra* kortet). Tvinna de tre trådarna till en stam, som går ut ungefär från skarven mellan plattorna rakt mot bakbalken. Jfr fig. 9.

() Löd den violetta tråden, efter att ha kapat den till lagom längd, till den i fig. 9 synliga vänstra säkringshållaren.

() Förbind andra änden av säkringshållaren till stift 1 på den högtalarkontakt, som hör till denna säkringshållare.

() Löd den rosa tråden till den i fig. 9 synliga högra säkringshållaren.

() Förbind den andra änden av denna säkringshållare med stift 1 på den högtalarkontakt, som hör till denna säkringshållare.

() Löd den svarta tråden till stift 2 på den i fig. 9 synliga vänstra högtalarkontakten, och förbind detta stift med stift 2 på den högra högtalarkontakten.

() Sätt en 80 mA säkring i vardera säkringshållaren.

Anslutning av ingångskontakten

() Löd en skärmd kabel till det högra kortet enligt fig. 6b. Drag denna kabel längs frambalken fram till den vänstra gaveln. Låt kabeln sedan följa gaveln. Drag den under mittbalken i springan mellan kortet och gaveln, och drag den fram till ingångskontakten. Kapa till lagom längd, avisolera strumpa och innerledare.

Förstärkarens data

Tillgänglig uteffekt	15+15 W (kontinuerlig sinuston)
Distorsion (klirr)	<0,1 % vid 12+12 W och 1 kHz
Bandbredd (–3 dB)	5 Hz–100 kHz
Frekvensgång	±0,2 dB inom 20 Hz–20 kHz
Känslighet	1,5 V (för 12 W uteffekt)
Störningsavstånd	80 dB (kortslutna ingångar)
Kanalseparation	70 dB vid 1 kHz
Effektförbrukning	ca 80 W
Dimensioner	ca 30×21×9 cm

got, bockas och löds till stift 9 på den vänstra rörhållaren. Den förra änden löds till kortet och klipps av intill tennet.

() () Ett 1 kohms-motstånd, R12 (färgmarkering: brun, svart, röd), sticks genom hålet B. Den andra änden bockas och löds till stift 2 på den vänstra rörhållaren. Därefter löds den förra änden till kortet och trådänden klipps av intill tennet.

() () Ett 1 kohms-motstånd, R11, sticks genom hålet F och den andra änden bockas och löds till stift 2 på höger rörhållare. Den förra änden löds till kortet och klipps av intill tennet.

Förfar på samma sätt med det andra kortet.

Kortens anslutning till nätaggregate

Sex par hål och ett ensamt finns på den del av kortet som skjuter ut i rummet mellan mitt- och bakbalkarna. Jfr fig. 6b! Till

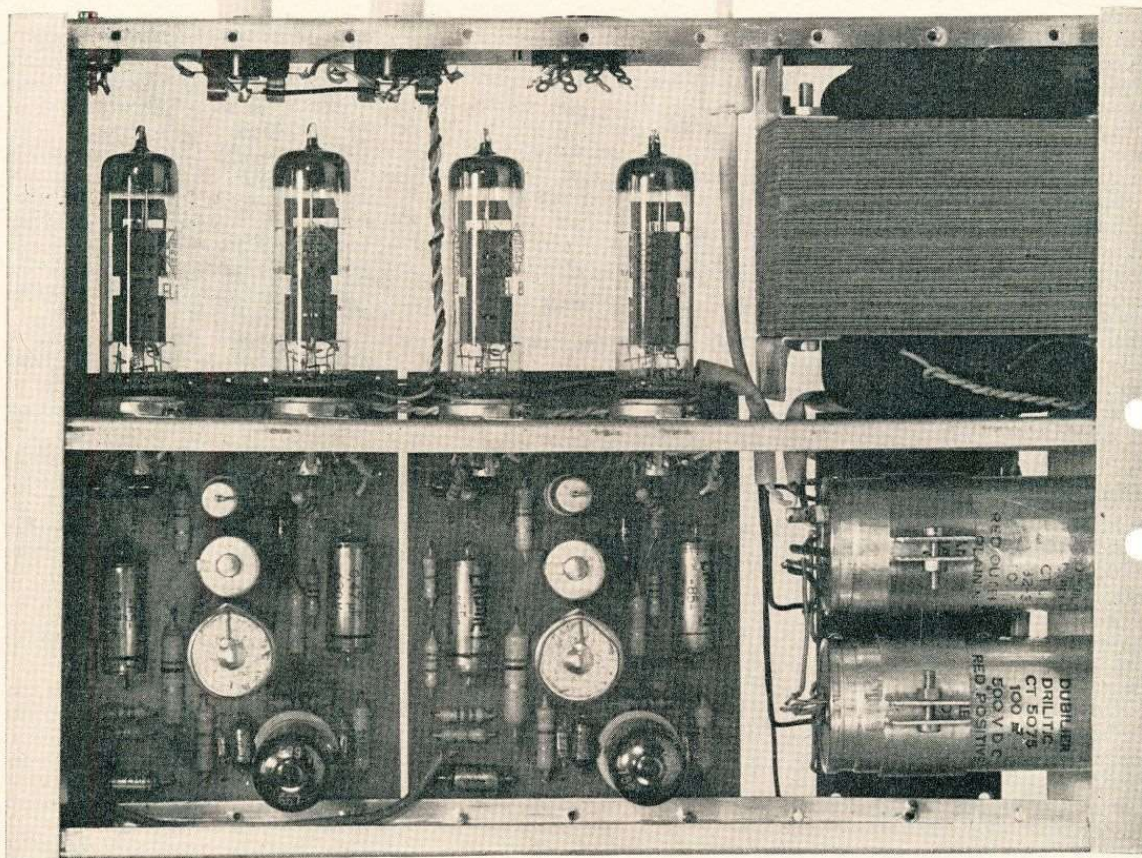


Fig 8
Den färdigbyggda förstärkaren sedd uppifrån.

() Löd skärmen till stift 2 och innerledaren till stift 1. Se till att de ej gör kontakt med varandra.

() Löd en annan skärmad kabel till det vänstra kortet enligt fig. 6. Låt kabeln följa samma väg som den förra. Avisolera skärm och innerledare.

() Löd skärmen till stift 2 och innerledaren till stift 3.

() Förbind lödstift 2 med lödörat på kontaktens skärmkåpa. Detta är den enda punkt i förstärkarens jordsystem som är ansluten till chassiet.

Resterande kopplingar

Nu återstår endast att ansluta lämpliga stift på oktälrörsockeln till nätaggregatet. Det behöver man dock endast göra om man önskar ta ut strömmar från nätaggregatet till en förförstärkare e.d. Anodströmmen

bör i så fall tas från $-E1$ (C10). Den bör inte överstiga 10–15 mA. Av glödström 12,6 V kan tas ut max. 1 A (från lödörönen 8 och 9 på kopplingsplinten). Tänk på att glödströmslindningen ej är mittjordad, utan att ena branschen ligger på -115 V.

Provning av spänningar

Sedan rören satts på plats och nätsladden försetts med en stickpropp är förstärkaren färdig. Gå dock för säkerhets skull igenom byggbeskrivningen en gång till och kontrollera att allt blivit gjort — och gjort på rätt sätt — och att ingen komponent blivit över. Först när man övertygat sig om att så är fallet, bör förstärkaren anslutas till nätet. Koppla inte in högtalarna förrän likspänningen på utgången kontrollerats. Den får maximalt uppgå till 30 V. (Spänningen beror på den ström som flyter ge-

nom kedjan R16—R9—R10—R18—R3—R4, samt läckströmmen genom C8.)

När rören blivit varma skall man kunna mäta upp följande ungefärliga spänningar på vänster slutrör i vardera rörparet, dvs. V3:

stift 3 (brun, katod): ca 19 V

stift 7 (gul, anod): ca 230–240 V

stift 9 (skärmgaller): ca 230 V

och på höger slutrör, dvs V2 i vardera rörparet:

stift 7 (röd, anod): ca 460 V

stift 9 (grå, skärmgaller): ca 430 V

Fig 10

En baktill öppen trälåda i »amerikansk design». Lådans innermått bör vara aningen större än chassiets ytermått (inkl. skruvhuvudena!), lådans ytermått bestäms av trätjockleken. Samma galler som i fig. 5 bör användas.

RT testar: 2×15 W effektförstärkare

Ett färdigbyggt exemplar av den 2×15 W stereoslutförstärkare utan utgångstransformatorer, som beskrivs på annan plats i detta nummer, har testats med avseende på uteffekt, klirr, intermodulation, störningsavstånd och frekvensgång. De uppmätta värdena höll sig väl inom de data som uppges för förstärkaren.

Distorsions- och uteffektmätningarna gjordes vid samtidig utstyrning av bägge kanalerna med 1 kHz. Som belastning användas ett 80 W motstånd, som i varmt tillstånd uppmättes till 798 ohm. Samtliga mätningar företogs vid kontrollerad nätspänning 220 V ($\pm 2\%$).

Den på oscilloskopet synliga klippningen uppträdde vid ca 16 W på båda kanalerna.

Vid distorsionsmätningen uppmättes amplituden för varje delton för sig med hjälp av en våganalysator. Resultatet, angivet i promille av grundtonen framgår av nedanstående sammanställning.

Uteffekt (W)	Amplitud för delton i $\frac{1}{1000}$ av grundtonen			
	d ₂	d ₃	d ₄	d ₅

Vänster kanal:

15	0,93	0,08	0,41	0,68
12,5	0,45	0,13	0,03	0,03
10,1	0,36	0,04	—	—
8	0,28	—	—	—
4,5	0,16	—	—	—
1,1	0,08	—	—	—

Höger kanal:

15	0,75	0,22	0,30	0,47
12,5	0,38	0,03	0,03	—
10,1	0,31	—	—	—
8	0,24	—	—	—
4,5	0,15	—	—	—
1,1	0,06	—	—	—

Den totala distorsionen ($\sqrt{d_2^2 + d_3^2 + d_4^2 + d_5^2}$) uppgick vid 12,5 W till knappt 0,05 % för den vänstra och knappt 0,04 % för den högra kanalen. Som synes dominerar andra deltonen. Vid 12 å 13 W börjar d₅ bli mätbar. Den stiger sedan tämligen brant, och blir strax före klippunkten den dominerande deltonen.

Intermodulationen uppmättes med hjälp av våganalysator på följande sätt: Förstärkaren styrdes ut till 12 W ekvivalent sinuseffekt med frekvenserna 50 Hz och 2 kHz i proportionerna 4:1. Intermodulationsprodukterna mättes som enskilda toner och anges här i procent av 2 kHz-tonens amplitud (endast den ena kanalen mättes): 2050 Hz = 0,075 % högre toner var omätbara; 1950 Hz = 0,035 %, 1900 Hz var omätbar, 1850 Hz = 0,007 %.

Vid samma förfarande men med frekvenserna 50 Hz och 7 kHz blev värdena: 7050 Hz = 0,12 %, 7100 Hz = 0,01 %, högre toner var omätbara; 6950 Hz = 0,045 %, 6900 Hz = 0,007 %, 6850 Hz = 0,008 %, lägre toner var omätbara.

Störningsavståndet uppmättes vid kortslutna ingångar till -86 dB för vänster och -88 dB för höger kanal (relativt 12 W). Störningen bestod huvudsakligen av 50 och 100 Hz, ungefär i proportionerna 2:1.

Förstärkaren var vid mätningen ej försedd med kåpa.

Frekvenskurvan var rak inom 20 Hz -20 kHz. Den hade fallit 1 dB vid 6 Hz resp. 50 kHz och 3 dB vid 4 Hz resp. 100 kHz.