

Lars-Olof Lennermalm presenterar Effektförstärkare

Sedan *DTN Williamson* 1947 deklarerade att »10 à 15 watt är tillräckligt» har man hos amerikanska hi-fi-förstärkare kunnat märka en tendens mot allt högre uteffekter. Men man bör nog inte se denna tendens endast som en försäljarinspirerad hästkraftkapploppning. Programmaterialiets dynamik har under senare år 5- à 10-faldigats, samtidigt som bostädernas allmänna bullernivå ökat, i synnerhet i städerna. Under samma tid har nya och bättre högtalarkonstruktioner med 3 à 5 gånger lägre verkningsgrad blivit allt vanligare. Det alltmer ökade frekvensområdet har också medfört större impedansvariationer hos högtalarna, vilket krävt en större säkerhetsmarginal i uteffektbehovet. Man får inte heller bortse från att de amerikanska lyssningsrummen ofta är mycket större än de europeiska. Sedd mot bakgrunden av denna utveckling har effekttökningen under åren varit ganska blygsam. (1)¹

Sedan *David Hafter* och *Herb Keroes*

lanserade den ultralinjära slutstegskopplingen (2) har de högre uteffekterna vid bibehållen låg distorsion kunnat erhållas med enkla medel. Samtidigt som effekterna ökat har (det relativa) priset sjunkit och uppgivna data i största allmänhet förbättrats. Större tillverkningsserier, nya rörtyper och förbättrade kopplingar utgör den främsta orsaken härtill.

Utteffekter på mellan 25 och 70 watt, distorsionssiffror på 0,1 % vid normal lyssningsnivå och 2 % vid fulleffekt och rak frekvensgång mellan 20 Hz och 20 kHz utgör nu rutinspecifikationer för ett ständigt växande antal förstärkare på marknaden.

Detta behöver dock inte betyda att förstärkare med samma specifikationer är likvärdiga eller att de låter lika. De gängse rutinmätningarna med sinus- och kantvåg och resistiv last simulerar på intet sätt förstärkarens naturliga arbetsförhållanden.

För att med så fina specifikationer som möjligt möta den hårdnande konkurrensen har man ofta drivit motkopplingen så långt att förstärkarna blivit instabila. Det

största problemet vid konstruktion av effektförstärkare är att erhålla och bibehålla tillräcklig stabilitet vid frekvensområdet gränser. De reaktiva element inom förstärkningsslingan som bestämmer förstärkarens gränsfrekvenser är ej konstanta. På grund av Miller-effekten varierar anod-gallerkapacitansen med förstärkningen, utgångstransformatorns primärinduktans varierar med strömmen, högtalarens impedans varierar med frekvensen. Är förstärkningen runt slingan 1 eller större än 1 då fasvridningen uppgått till 180° uppstår självsvängning. Detta kan inträffa för mycket korta intervall, och frekvensen kan ligga såväl under som över det hörbara området. Svängningen som sådan hörs alltså inte men ger upphov till intermodulation med programmaterialiet, modulering av de låga frekvenserna och differensstonbildning med de höga, »överhäng» i basen och »ringning» i diskanten. Förstärkaren kan blockeras för den önskade signalen under kortare eller längre intervall, är svängningen kontinuerlig i ultraljudområdet kan högtalaren brännas sönder. Men svängningen kan också



Fig 1 Monoeffektförstärkaren Mark III i Dynakit-serien.

I RT har tidigare beskrivits Dynacos förförstärkare.¹

I denna artikel redogöres för Dynakit-seriens effektförstärkare.

från Dynaco

inträffa för en viss typ av programmaterial och under korta tidintervall. Det händer att instabiliteten introduceras av kapacitansen i långa högtalarledningar eller av högtalarens induktiva belastning. En aldrig så liten topp i frekvensgången vid infra- eller ultraljudfrekvens antyder instabilitetspunkter och för låg stabilitetsmarginal.

Distorsion tolereras lättare än instabilitet och metoden att med enbart motkopplingen erhålla goda specifikationer är ett bedrägligt knep, ty förstärkaren kommer att ge mycket lägre återgivningskvalitet än vad samma förstärkare skulle ge med mindre motkoppling, snävare frekvensomfång och högre distorsion.

Att vid en billig utgångstransformator med låg primärinduktans och hög läckinduktans hålla förstärkningen vid låga och höga frekvenser uppe enbart med hjälp av motkopplingen är sålunda förkastligt och medför dessutom att förstärkarens utimpedans stiger inom det frekvensområde där låg utimpedans är av väsentlig betydelse för dämpning av högtalaren.

Den återgivningskvalitet en förstärkare kan prestera framgår alltså inte av de i allmänhet publicerade specifikationerna utan får bedömas med ledning av publicerade test eller konsumentens egna prov.

Monoeffektförstärkaren Mark III

Som alla förstärkare i Dynakit-serien har Mark III konstruerats av David Hafler och tillverkas av dennes firma *Dynaco*. Haflers namn brukar garantera en verkligt inspirerad konstruktion och Mark III har också i Amerika under många år varit den norm efter vilken andra förstärkare bedöms. Den utgör en ovanligt enkel lösning på problemen och har många konstruktiva finesser, som kanske inte framgår redan vid första ögonkastet.

Principischemat

*Ingångssteg*et utgöres av pentoddelen av triod-pentoden 6AN8, direktkopplad å la Williamson till fasvändaren, som utgöres av samma rörs triodd. Att använda en pentod i ingångssteg är ett lyckat drag, då, tack vare dess trots den oavkopplade katoden höga förstärkning av 200 gånger,

ett extra förstärkarsteg med dess ofrånkomliga tidkonstanter kan inbesparas. Härigenom vinnes förbättrad fasgång och därmed ökad stabilitet vid en given motkopplingsgrad. Pentoden medför också fördelen av låg ingångskapacitans, varför de höga frekvenserna dämpas föga, även om förstärkaren matas från en högimpediv källa. Vid triodsteg kan parasitsvängningar starta om källan har hög kapacitans på grund av motkopplingens inverkan, t.ex. vid en lång skärmd ingångskabel. Pentodens låga Miller-effekt gör kretsen okänslig för dylik inverkan.

Fasvändaren är av katodyntyp och utgöres, som redan nämnts, av trioddelen av 6AN8, direktkopplad till föregående steg. Denna fasvändartyp har en verkligt stor fördel framför alla andra, i det att dess balans enbart beror av dess anod- och katod-motstånd och således är fullkomligt oberoende av rördata. Den bibehåller alltså sin balans även om rördata ändras genom rörens åldrande.

¹ LENNERMALM, L.O.: *Förförstärkare i toppklass från Dynaco*. RADIO och TELEVISION 1963, nr 2, s. 65.

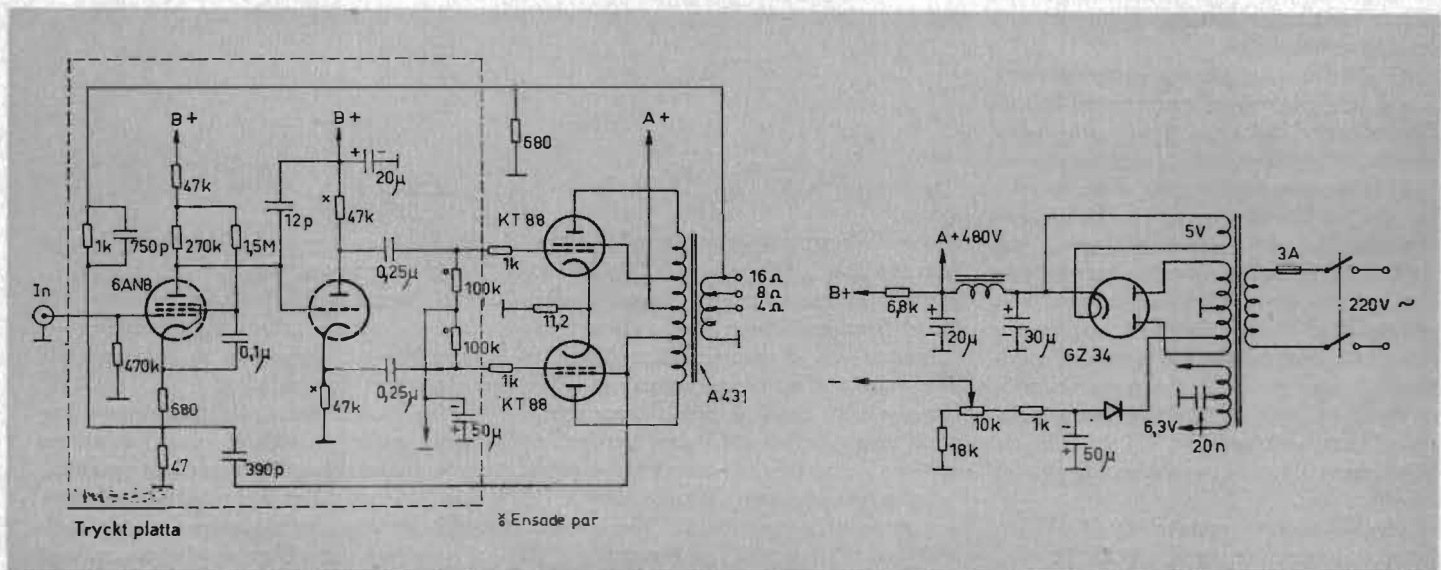


Fig 2 Principischemat för monoeffektförstärkaren Mark III.

På grund av en allmänt spridd missuppfattning råkade katodynen en tid i vanrykte till förmån för en hel mängd mer invecklade och mindre långtidsstabila fasvändarkopplingar. Man hade nämligen fått för sig att anod- och katodkretsarnas olika utimpedanser, belastade med kretsarnas ofrånkomliga shuntkapacitanser, skulle ge upphov till obalans vid höga frekvenser. Som många gånger påpekats (3, 4) är detta inte fallet så länge belastningsimpedanserna genom full symmetri är lika.

Fasvändaren kan mellan slutrörens galler leverera en toppspänning om 120 V med en intermodulationsdistorsion av 2%. Med 20 dB motkoppling minskas distorsionen för kombinationen fasvändare—slutsteg till ca 0,5 % vid 60 W. Den aktuella distorsionen varierar något med toleranserna i komponenter och rör, med ensade motstånd i fasvändaren kommer toleranserna i övriga komponenter att förorsaka en spridning i distorsionssiffrorna från 0,5 till 1 % vid full uteffekt.

Slutsteget är bestyckat med ett par KT 88 i klass AB₁ och ultralinjär koppling.

Vid den ultralinjära kopplingen arbetar slutrören varken som trioder eller som pentoder utan på ett sätt som ligger mitt emellan. Förbindes skärmgallren med utgångstransformatorns mittpunkt är de växelströmsmässigt jordade och rören arbetar som pentoder. Förbindes skärmgallren i stället med anoderna får de full signalspänning och rören arbetar som trioder. Om man i stället matar skärmgallren med 20—50 % av anodväxelspänningen, genom att ansluta dem till uttag på transformatorn, har man förenat pentodens höga uteffekt — ca dubbla triodens — med triodens låga distorsion. För samma uteffekt blir distorsionen ungefär hälften av vad triodkoppling skulle ha givit. Den ultralinjära kopplingen ger också låg utimpedans, ungefär lika med belastningsimpedansen, och en hög dämpningsfaktor kan därför lätt erhållas redan vid måttlig motkoppling.

KT 88 tål relativt stora galler motstånd och skärmgallerspänningar upp till 560 V. Rörens specifikationer visar att deras driftförhållanden är tämligen okritiska. Belastningsimpedansen kan variera mellan 4000 och 5000 ohm för de flesta driftförhållanden och skärmgalleruttag vid mellan 20 och 50 % ger lika god verkan med samma potential på både anod och skärmgaller. I detta avseende skiljer sig dessa rör fördelaktigt från många stråltetroder, som ger sina bästa data vid relativt kritiska skärmgalleruttag. Denna tolerans i anpassningen för KT 88 gör att högtalarens impedansvariation ej får så stor inverkan.

Anodspänningen uppgår till 475 V och katodströmmen för varje rör till 70 mA. Gallerförspänningen är fast och ligger vid — 56 V, den erhålles över en selenlik-

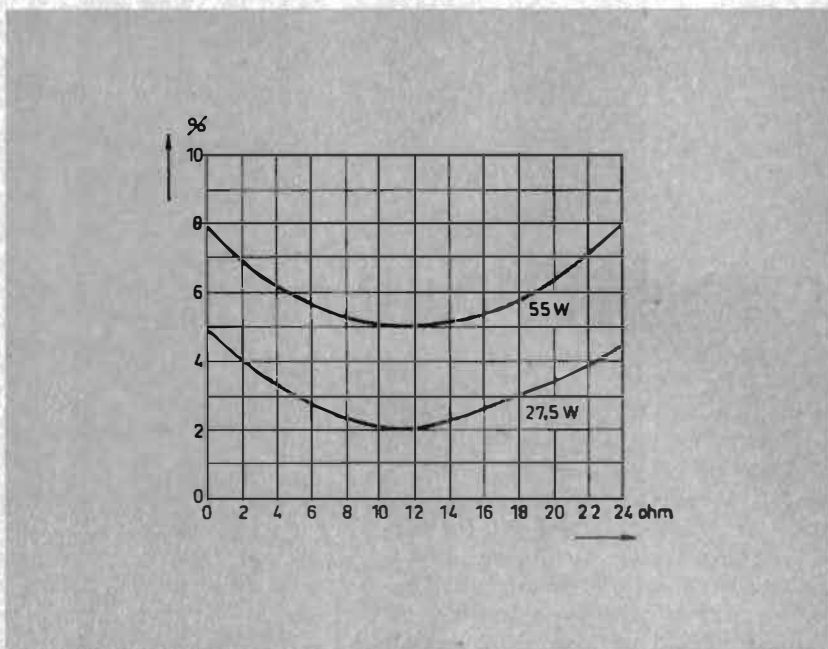


Fig 3

Kurvor visande intermodulationsdistorsionen hos Mark III vid 55 W och 27,5 W uteffekt som funktion av slutstegets oavkopplade katodmotstånd.

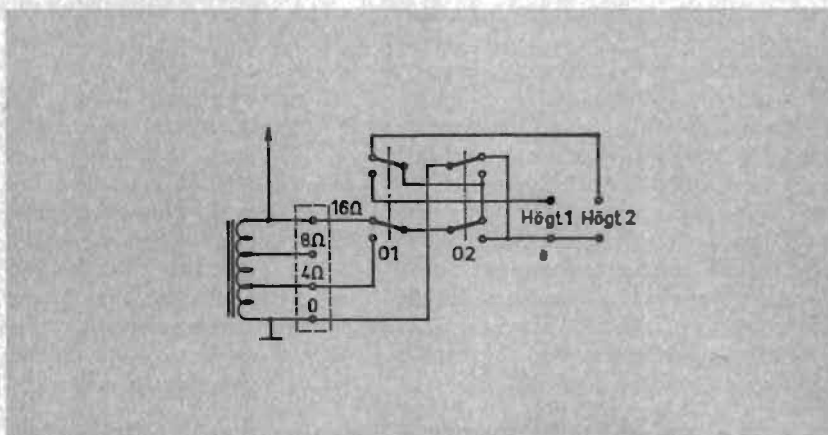


Fig 4

Principschema för omkoppling mellan två högtalare av olika impedans eller olika känslighet (O1) och jmväxling för den vid tillfället inkopplade (O2).

riktare från ett separat uttag på nättransformatorn, så att impedansen blir tillräckligt låg. Automatisk förspänning har nämligen flera nackdelar, dels måste transformator och elektrolytkondensatorer dimensioneras för högre spänning, vilket blir dyrbart, dels kommer rörens arbetspunkter att ändras vid stora signaler, vilket kan ge upphov till transientdistorsion.

I den gemensamma katodledningen ligger ett motstånd på $(11,2 \pm 0,1)$ ohm. Gallerförspänningen skall injusteras så att spänningen över motståndet blir 1,56 V. Då ett vanligt torrelement av typ D-cell

då det är nytt ger $(1,56 \pm 0,01)$ V är den mycket fyndiga tanken den, att ett sådant skall kunna användas som referensstandard då rörens arbetspunkt inställes — man blir då oberoende av den använda voltmeterns noggrannhet.

Men motståndet i katodledningen har ännu en viktig funktion, nämligen att ge strömmotkoppling för signalkomponenter, som inte upphävs i mottaktsteget. Små olikheter i ingångssignalerna eller i slutrörens data förorsakar en obalans, som ej korrigeras av mottaktfunktionen. Sådana avvikelser ger upphov till en spänning

över det gemensamma katodmotståndet, den därav orsakade motkopplingen sänker distorsionen högst avsevärt — med nära 40 % vid 55 W, 70 % vid 27 W! Se fig. 3. Denna dynamiska korrektion får inte förväxlas med en rent statisk balansering av slutsteget, som har relativt liten betydelse i detta sammanhang — rören levereras i ensade par och utgångstransformatorn tål en moderat obalans.

Utgångstransformatorn är Dynaco A-431 med en primärimpedans av 4300 ohm anod-anod och med skärmgalleruttag vid 33 % av lindningen, dvs. 11 % av primärimpedansen. Kärnan har orienterat järn, primärinduktansen uppges till 200 H.

Läckinduktanser och lindningskapacitanser måste hållas låga ty dessa påverkar förstärkarens stabilitet vid motkoppling. Kapacitanserna mellan anod- och skärmgallerlindningarna kan förorsaka fasvridningar, så att ett slags multivibratorfunktion uppstår hos slutröret. (Vid billiga utgångstransformatorer gör man därför många gånger klokt i att inte utnyttja skärmgalleruttagen.)

Läckinduktansen mellan en utgångstransformators halvor ger tillsammans med lindningskapacitanserna resonans vid ofta relativt låg frekvens. *J Somerset Murray* har visat (5) att denna resonans faktiskt kan beröva ena slutröret hela anodspänningen med fruktansvärd intermodulation som följd.

I A-431 är primärlindningen uppdelad på fyra sektioner, var och en med samma proportion skärmgallerimpedans. Lindningarna är så anordnade att fast koppling erhålles mellan sektionerna medan samtidigt lindningskapacitanserna nedbringats till ett minimum.

Murray har också angivit en mätmetod (6) och även mätt på ett antal kommersiella, tyvärr ej namngivna transformatorer. Hans mätningar visar att en del är oanvändbara för högkvalitativ återgivning över 5 kHz, den bästa var användbar upp till 19 kHz! Som jämförelse kan nämnas resultatet av mina mätningar på två högklassiga 60 watts-transformatorer, nämligen Dynaco A-431 och Partridge CFB, 5,6 kohm anod-anod: båda uppvisade en resonansfrekvens av 110 kHz, den förra med en impedans av 3,5 kohm, den senare med impedansen 3,25 kohm. Impedansen hos A-431 hade alltså sjunkit endast 18 % medan den hos CFB sjunkit 42 %. Och dock har CFB, trots den förmånligare engelska valutan, kostat hälften så mycket som hela Dynakitförstärkaren komplett (!) Båda transformatorerna var emellertid vida överlägsna alla i artikeln mätta transformatorer — inklusive Murrays egen konstruktion.

Motkopplingen består, förutom av de redan nämnda skärmgaller- och strömmotkopplingarna, av en inre och en yttre slinga. Den inre går från det undre slutrörets skärmgaller till ingångsstegets katod och är verksam vid högre frekvenser,

där den kompenserar eventuellt förekommande obalans i fasvändarens utgångskretsar. Den yttre har på vanligt sätt dragits från utgångstransformatorns sekundär till ingångsstegets katod. Motkopplingen uppgår till 20 dB och stabilitetsmarginalen är sådan att förstärkaren klarar ytterligare 20 dB motkoppling innan självsvängning inträder.

Den stora stabilitetsmarginalen beror på det ringa antalet steg i förstärkaren. För låga frekvenser finns inom hela slingan, förutom två indirekta, endast två direkta tidkonstanter, nämligen slutstegets kopplingskondensatorer och utgångstransformatorns primärinduktans. Även för höga frekvenser har antalet tidkonstanter nedbringats till ett minimum.

Slingans stabilitet bestäms vid låga frekvenser av ingångsrörets skärmgalleravkoppling och vid höga av en kondensator på 12 pF från ingångsrörets anod. (Mera härom nedan.) Skärmgalleravkopplingen ger kritisk dämpning vid låga frekvenser, tages den bort eller ändras dess värde uppstår en topp vid ca 5 Hz, antydande otillräcklig stabilitet för transienta förlopp. Totala bandbredden reduceras genom stabiliseringen så att gränshänskvenserna kommer att ligga vid ca 5 Hz och 80 kHz. Inom området 20 Hz till 20 kHz är frekvensgången rak inom mätnoggrannheten för alla effekter upp till 60 W.

Nättaggregatet är helt konventionellt. Under de givna arbetsförhållandena skulle slutsteget kunna lämna 75 W vid 1 % distorsion om det matades med konstanta driftspänningar. Detta är alltså den uttagbara musikuteffekten enligt IHFM:s normer (1). Vid en ekonomisk dimensionering av nättaggregatet tillåts driftspänningarna falla något vid fulleffekt och den uttagbara kontinuerliga sinuseffekten blir då 60 W.

Mellan glödströmslindningens mittpunkt och jord ligger en kondensator om 20 nF. Tanken är att diodsträcken glödtråd-katod i 6AN8 åt denna kondensator skall ge en laddning, som automatiskt ger glödtråden en positiv spänning av optimalt värde för att undertrycka brumspänningen från glödtråden.

I exportmodellen tillverkas nättransformatorn för 220 V. Priset på förstärkaren är i Amerika 79,95 dollar.

Testresultat

Förstärkaren levereras som byggsats och är mycket lätt att sammanställa på ca tre timmar. Ingångs- och fasvändarstegen levereras nämligen fullt färdigkopplade på en tryckt platta, och förutom den mekaniska sammansättningen återstår bara att koppla slutsteg och nättaggregat samt anslutningarna till platta och frontpanel.

Komponenterna är av god kvalitet och chassidetaljerna synnerligen välgjorda, så är t.ex. både chassi och bottenplåt hög-

glansförnicklade. Förstärkaren har otroligt små dimensioner i förhållande till ut-effekten — 230×230×175 mm — men den väger sina modiga 12 kg — vilket gör över 5 kg per transformator.

Konstruktionen är väl genomtänkt. Genom sin tyngd och utformning är emellertid förstärkaren tämligen ohanterlig, man skulle önska sig ett kraftigt handtag på huven, ovanför tyngdpunkten. Jag har sett folk av obetänksamhet lägga grammofonskivor på den mycket heta huven — vilket knappast kan vara nyttigt vare sig för förstärkare eller skiva. Ett handtag skulle garantera att förstärkaren alltid finge den luftcirkulation den så väl behöver.

Jag gillar absolut inte att högtalaranslutningen sker till en kopplingsplint med skruvar, ty sladdens lödöron går förr eller senare av eller vrider sig och åstadkommer kortslutning. Man skulle här ha föredragit ordentliga polskruvar, helst två par, oberoende av varandra inställbara för olika impedanser. Gärna skulle endera utgången kunna inkopplas med en omkopplare. Eftersom förförstärkaren saknar fasväxlare vore effektförstärkarens utgång rätta platsen för en sådan. Denna modifiering kan man emellertid lätt göra själv enligt fig. 4.

Två exemplar har sammanställts och mätts. Det ena, som inom mätnoggrannheten fullkomligt motsvarade specifikationerna, har varit i daglig drift i över tre år utan andra driftstörningar än ett erforderligt byte av slutrör efter denna tid. Gallerförspanningen har fått justeras några gånger, en enkel och snabb procedur. Jämfört med många andra konstruktioner — sådana finns med upp till fyra balanseringskontroller — är denna ovanligt långtidsstabil.

Det andra exemplaret, som just färdigställts, gav följande mätresultat (fabrikantens data inom parentes):

Känslighet för 60 W:

1,3 V (1,6 V)

Frekvensgång vid 60 W:

13 Hz—40 kHz ± 0,5 dB
(20 Hz—20 kHz ± 0,1 dB)

Frekvensgång vid 2 W:

6 Hz—85 kHz ± 1,5 dB
(6 Hz—60 kHz ± 0,5 dB)

Intermodulation vid 60 W:

0,65 % SMPTE; 50 Hz och 5 kHz; 4:1
(<1 % SMPTE; 60 Hz och 5 kHz; 4:1)

Klirr vid 60 W inom 1 dB:

1 % 20 Hz—20 kHz
(1 % 20 Hz—20 kHz)

Störningsavstånd, ovägt:

71 dB relativt 2 W (75 dB relativt 2 W)

Dämpningsfaktor:

13 (15)

¹ Institute of High Fidelity Manufacturers

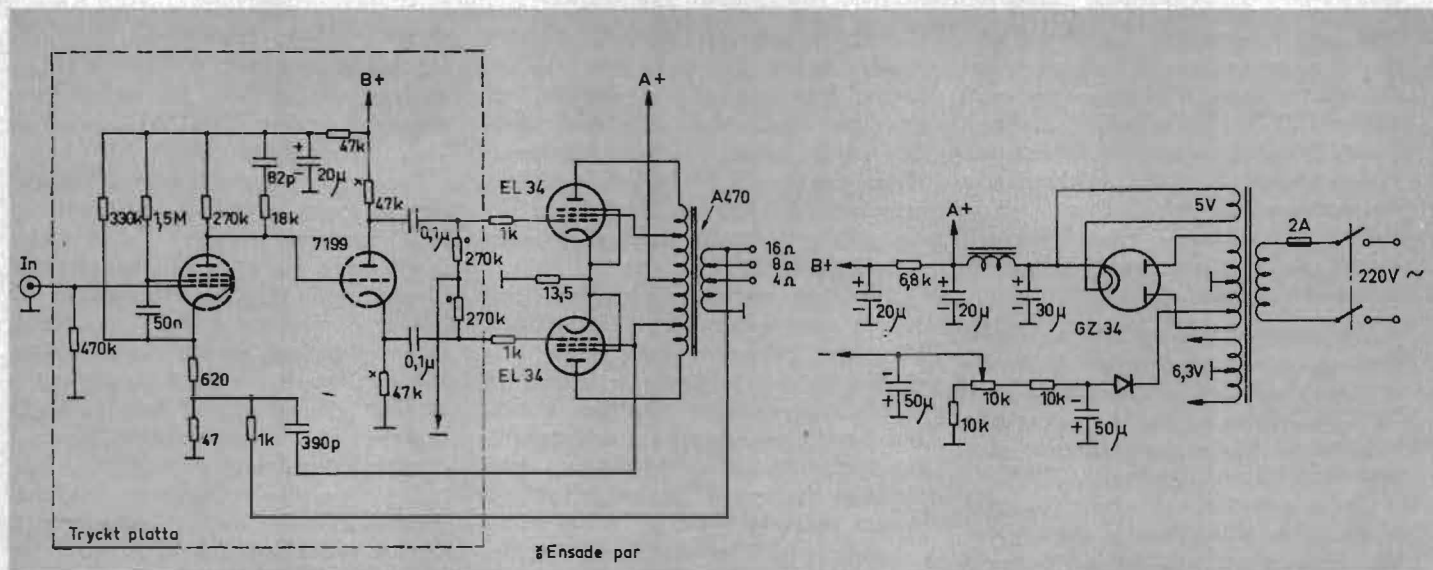


Fig 5

Principalschemat för monoeffektförstärkaren Mark IV.

Stabiliteten är fullkomlig för alla tänkbara arbetsförhållanden och för kapacitiv shuntbelastning upp emot 0,1 µF på 16 ohms-uttaget. (Om stabiliseringskondensatorn på 12 pF i ingångsrörets anodkrets utbytes mot en kondensator på 47 pF i serie med ett motstånd på 18 kohm erhålles en väsentligt förbättrad stabilitet för kapacitiv shuntbelastning upp till flera µF. Härvid stiger dock distorsionen vid höga frekvenser något: man kan inte både äta kakan och ha den kvar. Stabiliteten vid så stora kapacitiva belastningar saknar varje praktisk betydelse men har nämnts endast för jämförelse, då uppgift därom brukar förekomma i en del amerikanska test.)

Överraskande är den höga känsligheten. Övriga avvikelser ligger fullkomligt inom toleransgränserna.

I samtliga effektförstärkare ger nättransformatorn upphov till så starka mekaniska vibrationer att förstärkarna måste placeras utom hörhåll.

Monoeffektförstärkaren Mark IV

Mark IV är konstruerad efter samma grundtankar som Mark III. Ingångs- och fasvänderstegen är uppbyggda kring det nyare 7199, som ger lägre brum än 6AN8. Som slutrör har använts EL34 med en anodspänning av endast 430 V och en uteffekt av 40 W. Förstärkaren är inte lika hårt pressad som Mark III, varför slutrörens livslängd kan antas större. Härtill bidrar också bättre ventilation genom den luftigare placeringen av slutrören under huven. Dimensionerna är 358×130×166 mm. Tillverkas endast för 117 V. Priset i Amerika är 59,95 dollar.

Testresultat

Ett exemplar har sammanställts. De angivna mätningarna har skett efter två års daglig drift utan annan servicötgärd än

justering av gallerjörspänningen! (Fabrikantens data inom parentes.)

Känslighet för 40 W:

1,4 V (1,3 V)

Frekvensgång vid 40 W:

21 Hz—40 kHz ± 0,5 dB
(20 Hz—20 kHz ± 0,5 dB)

Frekvensgång vid 2 W:

6 Hz—51 kHz ± 1,5 dB
(10 Hz—40 kHz ± 0,5 dB)

Intermodulation vid 40 W:

0,9 % SMPTE; 50 Hz och 5 kHz; 4:1
(< 1 % SMPTE; 60 Hz och 5 kHz; 4:1)

Intermodulation vid 2 W:

0,1 % SMPTE
(0,05 % SMPTE vid 1 W)

Klirr vid 40 W inom 1,5 dB:

1 % 20 Hz—20 kHz
(1 % 20 Hz—20 kHz inom 1 dB)

Störningsavstånd, ovägt:

79 dB relativt 2 W (77 dB relativt 2 W)

Dämpningsfaktor:

16 (15)

Förstärkaren är fullkomligt stabil för alla tänkbara arbetsförhållanden och för kapacitiv shuntbelastning av upp till 5 µF (högre har inte provats) på 16 ohms-uttaget.

Stereoeffektförstärkaren Stereo 70

Stereo 70 kan i korthet beskrivas som två Mark IV med gemensamt nätaggregat och på ett gemensamt chassi. (Rättare vore kanske att säga att Mark IV utgör en halv Stereo 70, eftersom denna är den äldre av de två.) Talet 70 syftar på uteffekten 70 W med båda kanalerna hop-

kopplade (vilket kan ske med en omkopplare på fronten). Uteffekten hos en stereoförstärkare bör alltid mätas med kanalerna hopkopplade, den ökade belastningen av nätaggregatet förklarar varför vardera kanalens förstärkare klassats för 35 W mot 40 för Mark IV. Stereo 70 tillverkas för 220 V.

Jag har inte testat något exemplar av Stereo 70 men den har av amerikanska testlaboratorier i likhet med alla andra Dynaco-förstärkare fått många lovord och man kan lugnt förutsätta att vardera delförstärkaren bör mäta i enlighet med Mark IV om »40 W» substitueras med 35 W i protokollet. Det amerikanska priset är 99,95 dollar.

Stereo-35 och SCA-35

Nyligen har från Dynaco utkommit två mindre förstärkare, vardera med en uteffekt av 17 W per kanal. Stereo-35 är enbart slutförstärkare, SCA-35 är en kombinerad för- och slutförstärkare. Ingen-dera har dock provats.

Litteraturhänvisningar

- (1) LENNERMALM, L-O: *Erforderlig uteffekt för realistisk musikåtergivning i hemmet*. RADIO och TELEVISION 1960, nr 5.
- (2) HAFLER, D; KEROES, H I: *An Ultra Linear Amplifier*. Audio Engineering 1951, nov.
- (3) *Concertina Phase-Splitter*. Electronic and Radio Engineer 1959, juli, aug.
- (4) PREISMAN, A: *Notes on the Cathodyne Phase Splitter*. Audio 1960, april.
- (5) MURRAY, J SOMERSET: *High frequency power losses in the transformer*. Hi-Fi News 1959, dec.
- (6) MURRAY, J SOMERSET: *Leakage Resonance Intermodulation Distortion*. Hi-Fi News 1960, jan.