

Radiatorer

Opbygning, typer og betegnelser

(1. del)

Af ingeniør E. Dam Ravn

SELV OM MANGE fag- og hobbyfolk betragter elektronrørene som aldeles forældede, findes der dog stadig en del rørbestykket materiel, både inden for underholdningselektronikken og i instrumentbranchen, som stadig fungerer. En del af komponenterne er ret dyre, så der kan i tilfælde af fejl blive tale om reparationer i stedet for kassation. Men for at kunne finde fejl og foretage de nødvendige reparationer må man have et grundlæggende kendskab til elektronrørenes funktioner, og i dette afsnit

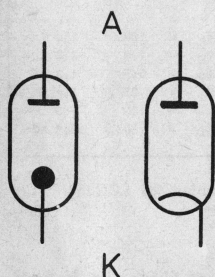


Fig. 1. To forskellige symboler for elektronrør dioder

af gemmesiderne vil vi derfor resumere de mest karakteristiske forhold som for eksempel koder for elektronrør og de almindeligste koblinger, samt omtale et par tommelfingerregler for fejlfinding.

Dioden

Det enkleste elektronrør er dioden, som kun har to elektroder: Anode og katode. Katoden er opvarmet, enten direkte eller indirekte — det vil sige, at katoden selv er glødetråd, eller at der findes en separat glødetråd, som er placeret meget tæt op ad katoden og opvarmer den.

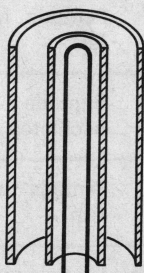


Fig. 2. Skematisk snit gennem en diode. Inderst findes glødetråden, der er omgivet af katoden, og den yderste elektrode er anoden

ne ved stråle- eller ledningsvarme — og der findes nu et par fysiske kendsgerninger, som får dioden til at fungere som en ensretter.

Det ene faktum er, at elektronerne i et opvarmet metallegeme kan forlade metallets overflade, og antallet af de

udkendte elektroner er afhængig af metallets temperatur således, at jo varmere det bliver, des flere elektroner udsendes der. Den anden betingelse, som medvirker til at elektronstrømmen ledes bort fra katoden, er, at de negativt ladede elektroner tiltrækkes af den positive anode. Og disse to fakta betyder tilsammen, at elektronstrømmen i en diode — ligesom i andre elektronrør —

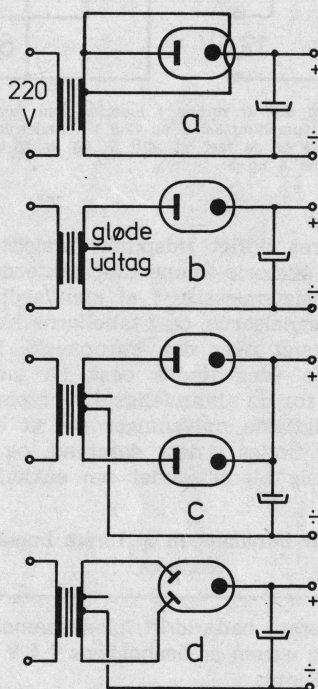


Fig. 3. a og b er enkeltensretning, c er dobbeltensretning med to separate dioder, f. eks. EY 84, og d er dobbeltensretning med en diode, der har to anoder og en katode i samme glaskolbe, f. eks. EZ 41

kun kan gå fra katoden til anoden. Der er dog andre forhold, som også influerer på elektronstrømmens størrelse, for eksempel evt. gas i glaskolben og afstanden mellem elektroderne, men disse er ret uinteressante, når det drejer sig om at forstå princippet.

Dioder benyttes til rensretning af såvel forsyningsspændinger som signalsspændinger. I fig. 3 vises nogle eksempler på enkelt og dobbelt ensretning ved hjælp af elektronrørdioder, og et specielt udtag på nettransformatoren forsyner glødetråden med den fornødne spænding og strøm.

Trioden

For at et elektronrør kan arbejde som signalførstærker, skal elektronstrømmen i røret kunne varieres i takt med det signal, som ønskes förstærket. Da det er ret upraktisk at variere glødetrådens, og dermed katodens, temperatur, og da variationer af anodespændingen ikke kan medføre förstærkning, må elektronstrømmen styres på en anden måde. I 1907 lykkedes det amerikaneren *de Forest* at få et elektronrør til at arbejde som förstærker, og hans opfindelse var en tredje elektrode, styregitteret, der var placeret midt i elektronstrømmens bane mellem katode og anode som en variabel forhindring. Røret med de tre elektroder fik navnet triode.

Funktionen af styregitteret kan bedst beskrives ved først at omtale grænserne for den spænding, der påtrykkes gitteret. Når gitterspændingen er nul volt i forhold til katoden, er gitteret neutralt over for elektronstrømmen, og trioden arbejder da som en almindelig diode. Et meget negativt ladet gitter blokerer derimod totalt for strømmen, fordi de negativt ladede elektroner, som udsendes fra katoden, frastødes af det negativt ladede gitter og tvinges til at svæve som en elektronsky rundt omkring katoden. Imellem de to omtalte grænser for styregitterets spænding findes der et såkaldt arbejdsområde, hvor relativt små spændingsvariationer på styregitteret kan styre elektronstrømmen til at variere i samme takt. Over en arbejdsmodstand i anodetilledningen kan signalspændingen, som nu er større end indgangsspændingen, tages ud og sendes videre i kredsløbet. Princippet i den mest almindelige triodeförstærker, den katodekoblede förstærker, er vist i figur 4a.

Det er upraktisk med en separat spændingskilde til at indstille trioden i det korrekte arbejds punkt. Derfor kobles trioder normalt som figur 4b viser, hvor hvilestrømmen skaber et spændingsfald over katodemodstanden R(K). Dette kaldes automatisk forspænding, og det virker samtidig stabiliserende overfor blandt andet variationer i batterispændingen. Gitteret er stelforbundet gennem modstanden Rg og har derfor nul-potentiale; det vil sige, at gitteret er negativt i forhold til katoden, der er 1-15 V, alt efter rørt type. Hvis der

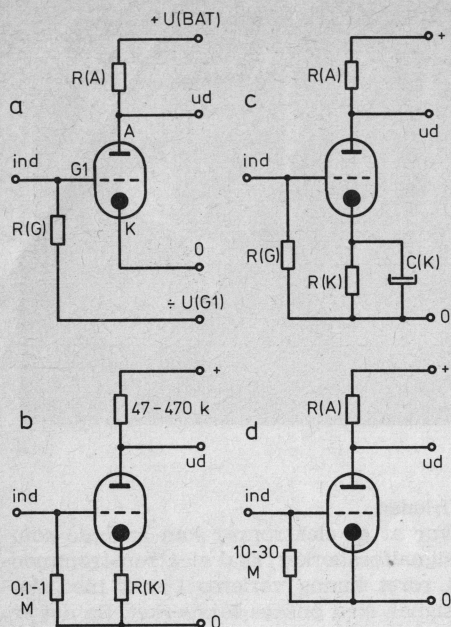


Fig. 4. Forskellige måder, hvorpå arbejds punktet indstilles hos en triode

ikke ønskes strømmodkobling af signalet over katodemodstanden, hvilket sænker forstærkningen, kan R(K) afkobles med en kondensator C(K), som leder signalstrømmene udenom R(K).

En anden metode, der anvendes til at danne en automatisk forspænding, er at stelforbinde styregitteret gennem en meget stor modstand på 10-30 Mohm, se figur 4d. En lille del af de elektroner, som udsendes fra katoden, vil da »sætte sig« på styregitteret og give det en negativ ladning. Denne metode kan dog kun anvendes, når indgangssignalerne er små, idet forspændingen bliver lille.

Tetrode og pentode

Trioderne har ulemper, som gør dem uegnede til visse formål; blandt andet som højfrekvensforstærkere, fordi der findes en kapacitet på 2-6 pF mellem styregitter og anode. For at afbøde kapacitetens virkning konstrueredes et elektronrør med et ekstra gitter placeret mellem styregitter og anode, og dette rør med fire elektroder er en tetrode. Når det fjerde gitter gives en positiv spænding i forhold til katoden — og styregitteret — virker det som en skærm omkring anoden, og det nye gitter fik naturligvis navnet skærmgitter.

Da skærmgitteret med sit positive potentiale samtidig virker som en acellerator på elektronstrømmen, indtræder et nyt fænomen. Den hastighed, hvormed elektronerne lander på anoden, er årsag til, at andre elektroner på ano-

den slås løs og kan forlade anoden for at havne på skærmgitteret. Der dannes herved en sekundærstrøm, der udgør en del af den såkaldte skærmgitterstrøm, som ikke er tilsigtet, og da den primære anodestrøm mindskes i tilsvarende størrelse, falder rørets forstærkning.

Den foranstaltning, der forhindrer at skærmgitterstrømmen opstår, er endnu et gitter, bremsegitteret, og vi har nu et elektronrør med fem elektroder, pentoden. Bremsegitteret gives gerne samme potentiale som katoden, så man må tænke sig, at elektronerne ved at passere skærmgitteret med det høje potentiale har fået så høj en hastighed, at bremsegitteret ikke kan nå at fange nogle af primærelektronerne. Men skulle der frigøres nogle sekundærelektroner fra anoden, kan disse ikke opnå større hastighed, end at bremsegitteret er i stand til at fange og returnere dem til anoden. Pentoden har så mange gode og så få ringe egenskaber, at det er nær ved at være et ideallrør, og det fremstilles til såvel HF- som LF-formål, og til såvel meget små signaler som høje effekter.

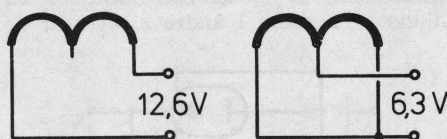


Fig. 6. En del af rørene i E-serien kan forsynes med glødespænding 6,3 V og 12,6 V. Glødetrådenes fællespunkt er da ført til stift 9, og de to andre til stifterne 4 og 5

Datablad

På et ret tidligt tidspunkt i elektronrørens historie kunne fabrikanterne se det hensigtsmæssige i at standardisere typebetegnelserne, og i tabellerne findes en oversigt over den europæiske bogstavkode (der findes også en amerikansk) for de almindeligste rørtypen.

De vigtigste oplysninger om et elektronrør findes i dets datablad, og det drejer sig blandt andet om sokkelfor-

Tabel for betydningen af første bogstav i rørnavn

| | |
|---|--|
| D | Rør til batteridrift, glødespænding og -strøm er henholdsvis 1,4 V og 25 mA. Undtagen DY-rørene, der er højspændingsensrettere i TV, og som en højere glødestrøm på 0,5-0,6 A, samt enkelte specialrør. |
| E | Glødespænding altid 6,3 V, glødestrøm kan variere fra 0,15 til 1,5 A |
| G | Ret sjældne rør, glødespænding oftest 5 V |
| P | Glødestrøm altid 0,3 A, glødespænding kan variere fra 3,8 V til 42 V, anvendes oftest i TV |
| U | En ældre rørttype end E-rørene. Glødestrøm altid 0,1 A og glødespænding 12,6-55 V |

bindelser, maksimale belastninger med hensyn til spænding, strøm og effekt, samt om nogle specielle rørparametre, der kaldes stejlkheden S, den indre modstand Ri og forstærkningsfaktor μ . Desuden vises i databladene nogle kurver over den indbyrdes afhængighed mellem anodestrøm og anodespænding, de såkaldte I(A)-U(G)- og I(A)-U(A)-kurver.

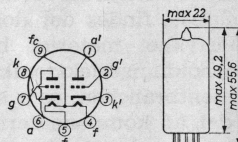
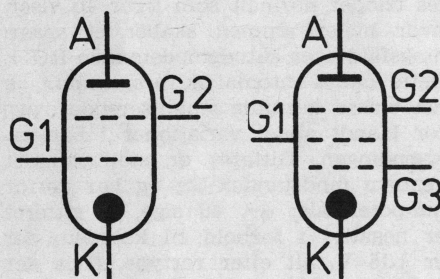
| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|----------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|
| DOUBLE HIGH MU TRIODE DOUBLE TRIODE à coefficient d'amplification élevé DOPPELTRIODE mit grossem Verstärkungsfaktor | | | | | | | | | | | | | | |
| Heating : indirect by A.C. or D.C.; series or parallel supply Chauffage: indirect par C.A. ou C.C.; alimentation série ou parallèle Heizung : indirekt durch Wechsel- oder Gleichstrom; Serien- oder Parallelspeisung | | | | | | | | | | | | | | |
| V _r = 6,3 V | V _r = 12,6 V | | | | | | | | | | | | | |
| I _r = 300 mA | I _r = 150 mA | | | | | | | | | | | | | |
| Pins 9-(4+5) | Pins 4-5 | | | | | | | | | | | | | |
| Broches 9-(4+5) | Broches 4-5 | | | | | | | | | | | | | |
| Stifte 9-(4+5) | Stifte 4-5 | | | | | | | | | | | | | |
| Dimensions in mm Dimensions en mm Abmessungen in mm |  | | | | | | | | | | | | | |
| Base, culot, Sockel: NOVAL | | | | | | | | | | | | | | |
| Capacitances Capacités Kapazitäten | <table><tr><td>C_g = 1,6 pF</td><td>C_{aa'} < 1,2 pF</td><td>C_{g'} = 1,6 pF</td></tr><tr><td>C_a = 0,33 pF</td><td>C_{a'g} < 0,1 pF</td><td>C_{a'} = 0,23 pF</td></tr><tr><td>C_{ag} = 1,6 pF</td><td>C_{ag'} < 0,11 pF</td><td>C_{a'g'} = 1,6 pF</td></tr><tr><td>C_{gr} < 0,15 pF</td><td>C_{gg'} < 0,01 pF</td><td>C_{g'r} < 0,15 pF</td></tr></table> | | C _g = 1,6 pF | C _{aa'} < 1,2 pF | C _{g'} = 1,6 pF | C _a = 0,33 pF | C _{a'g} < 0,1 pF | C _{a'} = 0,23 pF | C _{ag} = 1,6 pF | C _{ag'} < 0,11 pF | C _{a'g'} = 1,6 pF | C _{gr} < 0,15 pF | C _{gg'} < 0,01 pF | C _{g'r} < 0,15 pF |
| C _g = 1,6 pF | C _{aa'} < 1,2 pF | C _{g'} = 1,6 pF | | | | | | | | | | | | |
| C _a = 0,33 pF | C _{a'g} < 0,1 pF | C _{a'} = 0,23 pF | | | | | | | | | | | | |
| C _{ag} = 1,6 pF | C _{ag'} < 0,11 pF | C _{a'g'} = 1,6 pF | | | | | | | | | | | | |
| C _{gr} < 0,15 pF | C _{gg'} < 0,01 pF | C _{g'r} < 0,15 pF | | | | | | | | | | | | |
| Typical characteristics Caractéristiques types Kenndaten | <table><tr><td>V_a = 100</td><td>250 V</td></tr><tr><td>V_g = -1,0</td><td>-2,0 V</td></tr><tr><td>I_a = 0,5</td><td>1,2 mA</td></tr><tr><td>S = 1,25</td><td>1,6 mA/V</td></tr><tr><td>μ = 100</td><td>100</td></tr><tr><td>R_i = 80</td><td>62,5 kΩ</td></tr></table> | | V _a = 100 | 250 V | V _g = -1,0 | -2,0 V | I _a = 0,5 | 1,2 mA | S = 1,25 | 1,6 mA/V | μ = 100 | 100 | R _i = 80 | 62,5 kΩ |
| V _a = 100 | 250 V | | | | | | | | | | | | | |
| V _g = -1,0 | -2,0 V | | | | | | | | | | | | | |
| I _a = 0,5 | 1,2 mA | | | | | | | | | | | | | |
| S = 1,25 | 1,6 mA/V | | | | | | | | | | | | | |
| μ = 100 | 100 | | | | | | | | | | | | | |
| R _i = 80 | 62,5 kΩ | | | | | | | | | | | | | |

Fig. 7. Et eksempel på datablad for ECC 83

Tabel for betydningen af følgende bogstaver i rørnavn

| | |
|---|--|
| A | Diode til ensretning af små strømme, ex. demodulator for AM |
| B | Dobbelt diode til ensretning af små strømme, ex. FM-detektor |
| C | Triode |
| D | Stabiliserings triode, ex. højspænding i TV |
| F | Pentode, forstærker for små signaler |
| H | Heptode, rør med fem gitre, ex. oscillator plus blanding |
| L | Pentode, større effekter, udgangstrin |
| M | Magisk øje |
| Y | Ensretterdiode til større strømme |
| Z | Ensretterrør til dobbelt ensretning af større strømme, én katode og to anoder. |

Fig. 5. Symbolerne for tetrode (tv) og pentode (th)



Radiatorer

Karakteristiske data og typiske koblinger

Af ingeniør E. Dam Ravn

S og RI ANVENDES til beregning af en given opstillings spændingsforstærkning. Den formel, der anvendes hertil, er:

$F = S \times (R(B) \times R_i) : (R(B) + R_i)$ altså stejleheden multipliceret med den indre modstand parallelt med den samlede belastningsmodstand. I figur 8 vises et eksempel på en triodeforstærker ECC 83, hvis data er $R_i = 80 \text{ kohm}$ og $S = 1,25 \text{ mA/V}$.

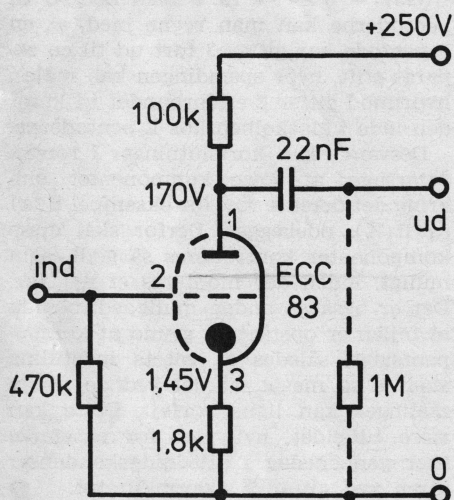
Først beregnes den effektive belastningsmodstand, som er anodemodstanden i parallelkobling med indgangsmodstanden hos næste forstærkertrin.

$(220 \times 470) : (220 + 470) = 150 \text{ kohm}$ Dernæst kan triodens forstærkning beregnes ved at indsætte i formen.

$F = 1,25 \times (150 \times 80) : (150 + 80) = 65,2 \text{ gange}$

Udgangssignalet føres til en anden triode ECC 83, figur 9, som er indbygget i samme glaskolbe som den første triode. Dette vises dels ved at tegne halvdelen af rørsymbolet med stiplet streg i diagrammet, og dels ved at understrege C'et i benævnelsen. Trioden har i den nye opstilling andre data, $S = 1,4 \text{ mA/V}$ og $R_i = 70 \text{ kohm}$, på grund af de ændrede U(A) og I(A), og desuden er den strømmodkoblet over katodemodstanden.

Fig. 9. ECC 83 som strømmodkoblet forstærker



(2. del)

Ligesom før beregnes den totale belastningsmodstand først:

$$R(B) = (100 \times 1000) : (1000 + 100) = 91 \text{ kohm}$$

og spændingsforstærkningen uden modkobling

$F = 1,4 \times (91 \times 70) : (91 \times 70) = 55,4$ Modkoblingsfaktoren β (beta) er ved strømmodkobling afhængig af belastningsmodstandens forhold til katodemodstanden.

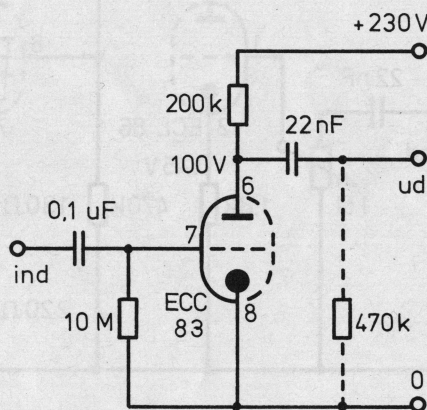


Fig. 8. Triodeforstærker med ECC 83

$$\beta = R(K) : R(B)$$

og i dette tilfælde

$$\beta = 1,8 : 91 = 0,02$$

Så kan den modkoblede forstærkning beregnes.

$$F(m) = F : (1 + \beta \times F) = 55,4 : (1 + 0,02 \times 55,4) = 26,5$$

Specielle problemer

Et fælles træk hos konstruktioner med elektronrør er de høje ind- og udgangs-impedanser. Arbejdsspændinger er ofte over 200 V, og for at holde strømstyrkerne på et acceptabelt niveau, må anode- og skærmgittermodstandene gives ret høje værdier. Og dette medfører, at opstillinger med elektronrør er meget mere følsomme overfor brumfelter, end det kendes hos transistoropstillinger.

Der må derfor lægges megen vægt på gode og effektive afskærmninger af såvel ledningsføring som komponenter. Det er især vigtigt, at der anvendes

skærmede kabler fra indgangsstik til så tæt på det første forstærkertrør, som muligt, i en lavfrekvensforstærker. Komponenterne afskærms bedst ved, at konstruktionens underside dækkes af en jern- eller aluminiumplade. Også chassiset bør være af metalplade, og der må — som i transistorforstærkere — kun jordes i ét punkt.

Ved særlig store ind- og udgangssignaler kan et elektronrør »synge«. Fænomenet kaldes mikrofoni og er rent mekanisk, idet en eller flere af elektroderne faktisk bliver sat i svingninger. Rørtypene har forskellige følsomheder overfor mikrofoni; for eksempel oplyses i databladet for ECC 83, at specielle forholdsregler ikke er nødvendige, såfremt røret arbejder med små signaler. I nogle tilfælde, hvor der er større risiko for mikrofoni — især i båndoptagere, hvor vibrationer fra motoren øger faren — fastgøres rørsoklerne til chassiset eller kredsløbspladen ved hjælp af et blødt gummiophæng.

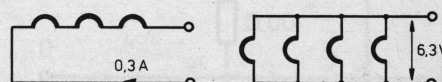
Beregningseksempel

Når et elektronrør skal bringes til at fungere som forstærker, skal de forskellige komponentværdier beregnes således, at røret får et tilfredsstillende arbejds punkt. Som eksempel vælges endnu en gang trioden ECC 83, men fremgangsmåden er den samme hos tetroder og pentoder. Batterispændingen U(BAT), der i reglen er givet på forhånd, er sammen med anodespændingen U(A) udgangspunkt for beregningerne.

En værdi U(BAT) = 250 V er realistisk, og i databladet findes, at ved U(A) = 170 V er $S = 1,4$ og $R_i = 70 \text{ kohm}$. Nu vælges anodestrømmen til en ikke alt for høj værdi, for eksempel 1,6 mA, og det vil sige, at spændingen skal falde fra 250 V til 170 V over R(A).

$$R(A) = (U(BAT) - U(A)) : I(A) = (250 - 170) : 1,6 = 50 \text{ kohm}.$$

Fig. 11. Ved konstruktioner med flere rør kobles glødetrådene i parallel hos E-rørene og i serie hos P-rørene



Standardværdien 47 kohm er udmærket.

Arbejdslinien for $R(A) = 47$ kohm skal nu tegnes ind på $I(A)$ - $U(A)$ -kurven, og det nemmeste er at finde to faste punkter, som den rette arbejdslinie skal gå gennem. Det ene punkt er allerede fastlagt, nemlig arbejds punktet, hvor $U(A) = 170$ V og $I(A) = 1,6$ mA. Det andet punkt er ligeså enkelt at finde, fordi det findes på $U(A)$ -aksen og svarer til batterispændingen $U(BAT) = 250$ V. Man kan tænke sig den situation hvor gitteret er så negativt, at $I(A) = 0$, og at der derfor ikke sker noget spændingsfald over $R(A)$, hvilket resulterer i, at $U(A)$ får samme værdi som $U(BAT)$. Arbejdslinien er tegnet ind i figur 10.

Det ses nu, at de tre linier $I(A) = 1,6$ mA, $U(A) = 170$ V og $R(A) = 47$ kohm skærer hinanden i samme punkt, arbejds punktet, der svarer til gitterfor-spændingen $U(G) = -1$ V. Der skal nu findes en værdi på katodemodstanden $R(K)$, så katodespændingen $U(K)$ med den givne anodestrøm på 1,6 mA bliver 1 V.

$$R(K) = U(K) : I(A) = 1 : 1,6 = 0,625 \text{ kohm}$$

Nærmeste standardværdi er 620 ohm. Såfremt $R(K)$ parallelkobles med en kondensator — $47 \mu F$ er passende — sker der ingen strømmodkobling, og forstærkningen bliver

$$F = 1,4 \times (70 \times 47) : (70 + 47) = 39,4$$

Uden afkoblingskondensatoren, og som før uden at regne med belastningen fra et eventuelt næste forstærkertrin, bliver forstærkningen

$$\beta = 0,620 : 47 = 0,0132$$

$$F(m) = 39,4 : (1 + 0,032 \times 39,4) = 25,9$$

Gittermodstanden $R(G)$ kan vælges mellem 0,1 og 1 Mohm, og valget afhænger hovedsagelig af den belastning, denne forstærker skal yde det foregående trin. Da røret selv har en praktisk taget uendelig høj indgangsmodstand, er det alene gittermodstandens værdi, der bestemmer triodeforstærkerens indgangsmodstand.

Fig. 13. Indgangsforstærker med pentoden EF 86, hvor totalforstærkningen er ca. 150 gange, fordi strømmodkoblingen er meget svag. Hvis afkoblingskondensatoren fjernes, falder F til ca. 35 gange, men lineariteten forbedres væsentlig.

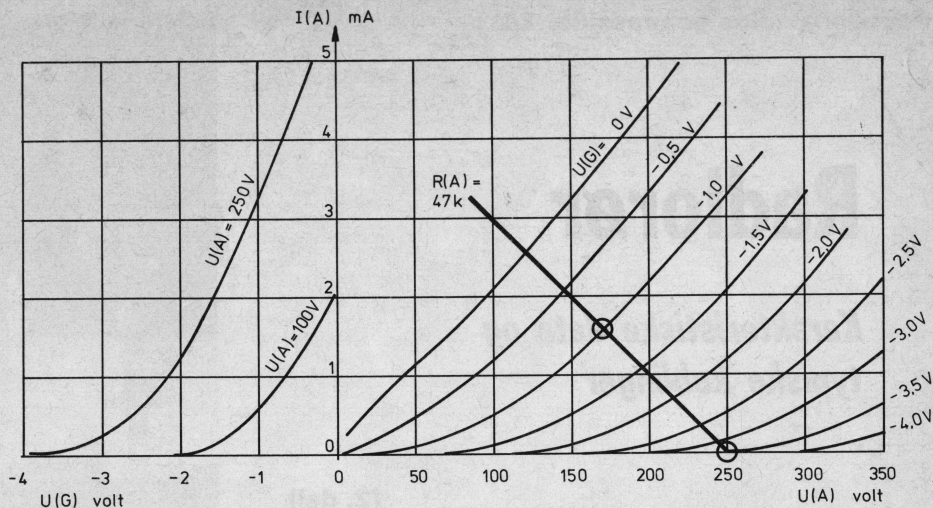
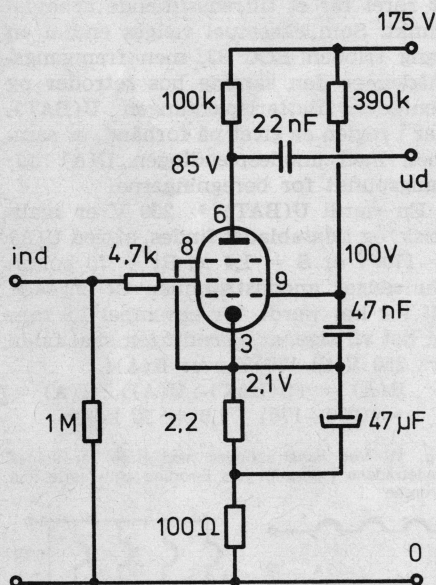


Fig. 10. Kurverne for ECC 83. Arbejdslinien for $R(A) = 47$ kohm er indtegnet

Fejfinding

De to oftest forekommende fejl i elektronrør er brud på glødetråden og »slid« på katoden, der med alderen bliver mindre effektiv med hensyn til elektron-ud-

ret ubehagelige at have med at gøre. Det eneste, man kan gøre for at opdage en sådan fejl, er at kontrollere de forskellige spændinger omkring rørene med et voltmeter. Det er nødvendigt at have

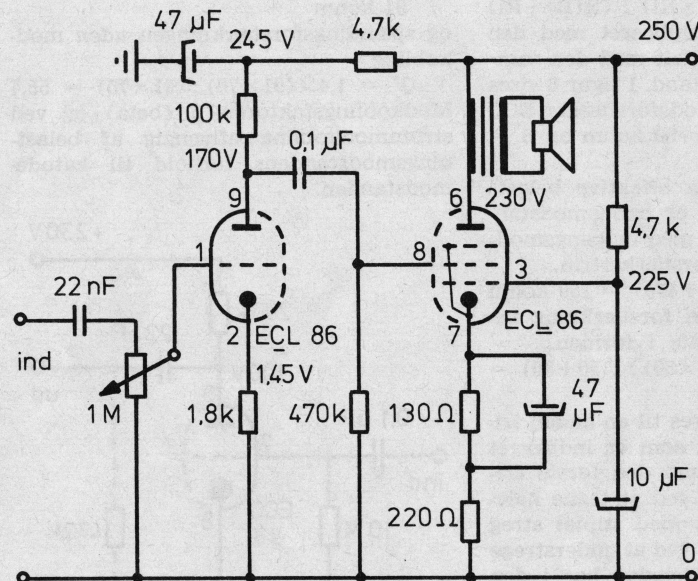


Fig. 12. Typisk LF-forstærker med klasse A udgangstrin. Højttaleraftøens omsætningsforhold er ca. 5 kohm/4 ohm, og største udgangseffekt er 4 W

sendelsen med faldende forstærkning som resultat. Desuden kan der opstå kortslutning mellem eller brud på elektroderne inden i glaskolben, især efter hårdhændet behandling af røret.

Da glødetrådene i E-rørene skal have samme spænding, føder glødetransformatoren i et apparat et antal parallelkoblede glødetråde. Det samme gælder i øvrigt D-rørene. Brud på glødetråden i et enkelt rør blandt mange er derfor nemt at opdage, fordi det er normalt tydeligt at se, om et rør lyser eller ej. Man kan også nøjes med at føle på glaskolben, idet der er en tydelig temperaturforskel på et koldt og et varmt rør.

Det er ikke helt så nemt i et apparat med P- (og U-) rør, idet disses glødetråde er seriekoblede. Sker der brud på én af glødetrådene, slukker hele kæden, og for at finde fejlen, må rørene fjernes fra soklen og ohmes mellem de to stifter, som har forbindelse med glødetrådene.

Fejl, der er opstået på grund af kortslutninger inde i glaskolben, kan være

et diagram, hvor de korrekte spændinger er noterede, men som en rettesnor kan det siges, at: $U(K) = 0-15$ V, $U(A)$ en værdi mellem den halve og hele $U(BAT)$, $U(G1) = 0 - \div 15$ V, $U(G2)$ lig med eller lidt højere end $U(A)$, og $U(G3) = 0 - \div 15$ V Med hensyn til pentoderne kan man regne med, at en F-pentode har gitter 3 ført ud til en separat stift, hvor spændingen kan måles, hvorimod gitter 3 er forbundet til katoden inde i glaskolben hos L-pentoderne.

Desværre kan kortslutninger i rørene forårsage, at visse komponenter omkring det defekte rør, for eksempel $R(A)$ og $R(K)$, ødelægges. Derfor skal disse komponenter kontrolleres så godt, som muligt, inden der monteres et nyt rør. Der er også en anden mulighed, nemlig at fejlen er opstået på grund af komponentsvigt, således at rørets indstilling ændres så meget, at det ved de første målinger kan ligne rørfejl. Dette kan være tilfældet, hvis der for eksempel sker gennemslag i afledningskondensatoren ved gitter 2, skærmgitteret. ●