

ELEKTRONRØR

Innledning

Elektronrøret er uten sammenligning det viktigste verktøy vi har i radioteknikken. Vi bruker det som generator til å lage elektriske svingninger, som forsterker, som likeretter, som modulator eller demodulator i arbeide med modulerte svingninger og til enda mange flere forskjellige oppgaver. Elektronrøret spiller faktisk så stor rolle i moderne teknikk at man regner med en egen gren av teknikken, *elektronikk*, som bare omfatter elektronrør og de prosesser som foregår i dem.

Grunnlaget for de fleste av alle disse anvendelsene av elektronrøret er dets evne til å forsterke, dvs. til å motta f. eks. en vekselspanning fra en krets, og levere en forsterret avbildning av den, en *forsterket* spanning, til en annen krets. Denne evnen har ingen av de andre komponentene vi hittil har behandlet. En transformator kan riktignok sette spenningen opp, men bare ved at den samtidig transformerer strømmen ned, så effekten blir den samme. Ved elektronrøret derimot kan det i den siste kretsen (utgangskretsen) opptre en betydelig effekt, som styres av en meget mindre eller praktisk talt ingen effekt i inngangskretsen. Denne evnen til å *styre* eller *regulere* er særegen for elektronrøret, og det har gjort det mulig å utnytte de elektriske svingninger på en helt annen måte enn tidligere.

Elektronrøret består av en beholder av glass eller metall som er pumpet lufttom. Inne i den er montert et antall elektroder: en *katode* eller glødetråd, en *anode* eller plate, og ett eller flere *gitter* — i regelen trådspiraler som er plasert mellom katoden og anoden. Elektrodene er isolert fra hverandre, og ledninger fra dem er ført ut gjennom rørveggen til en *sokkel* eller til spesielle tilkopplingsklemmer.

Selve rørets utforming kan være meget forskjellig, alt etter hva det skal brukes til. Det fins rør som er mindre enn en nøtt, og det fins senderrør som er så store som en voksen mann.

Når et elektronrør brukes, går det en strøm av elektroner gjennom det. Som før nevnt er elektronet en del av atomet; hvert atom består av en kjerne som er positivt elektrisk ladet, og ett eller flere elektroner som har negativ elektrisk ladning. Kjernens positive ladning er like stor som summen av elektronenes negative ladninger. Utad virker derfor atomet som det ikke har noen ladning (elektrisk nøytralt) fordi de motsatte ladninger nøytraliserer hverandre. Blir derimot et atom frarøvet ett eller flere av sine elektroner, vil det virke som en positiv ladning. Vi kaller det da et *positivt jon*. Elektroner som ikke er bundet til en kjerne er *frie elektroner*. I elektronrør er det som regel frie elektroner vi har å gjøre med, undertiden også joner.

I vakuum (lufttomt rom) beveger elektronene seg fritt. I et elektrisk felt vil de bevege seg fra den negative pol til den positive, — i et elektronrør i retning fra katoden mot anoden som i regelen har den høyeste positive spenning. Dette er altså motsatt av det man regner for den elektriske strøms retning: strømmen regnes jo i retning fra positiv til negativ pol. For å unngå forveksling vil vi bruke ordet *elektronstrøm* i stedet for bare strøm i de tilfeller hvor vi spesielt tenker på elektronenes bevegelse i røret.

Frie elektroner beveger seg med overordentlig stor hastighet, og den blir større jo høyere spenningen er. Ved en spenning på 300 volt mellom katode og anode vil elektronene nå anoden med en hastighet av over 8000 km pr sekund.

Hvis røret ikke er helt lufttomt, vil det finnes gassatomer i det som elektronene kan komme til å støte sammen med. Ved disse kollisjoner kan ett eller flere elektroner bli slått løs fra atomet — de blir

frigjort, og resten av atomet blir et positivt jon. Elektronene slutter seg til elektronstrømmen mot anoden, mens jonene beveger seg til katoden. De går altså *med strømmen*. Denne jonisering gjør en bruk av i enkelte elektronrør, men i de vanlige radorør vil den skape vanskeligheter, så en søker å unngå den. Det er derfor nødvendig at rørene er pumpet godt ut, så det finnes få gassatomer i dem.

Emisjon

De frie elektroner som beveger seg inni røret, kommer fra katoden. Det er flere forskjellige metoder en kan bruke for å få en metall-elektrode til å avgi eller *emittere* elektroner, men den alminneligste er simpelthen å varme opp metallet, — termisk emisjon. I et metall er elektronene ikke fast bundet i atomene, og det vil alltid være mange elektroner som svirrer omkring mellom atomene, fra det ene til det andre. Jo varmere stoffet blir, dess fortere beveger disse elektronene seg, og noen får så stor hastighet at de slynges ut gjennom overflaten og forlater metallet. Det er som om det stadig fordampes elektroner fra overflaten, og omkring en glødende katode vil det danne seg en slags sky av frie elektroner. En slik samling av negative ladninger virker selv som en elektrode — en såkalt *romladning* dvs. en ladning som er fordelt i rommet. Den er negativ i forhold til katoden, og driver endel av elektronene tilbake til katoden. Det stiller seg inn en balanse når romladningen er blitt så stor at den driver like mange elektroner tilbake som katoden samtidig emitterer. Da er

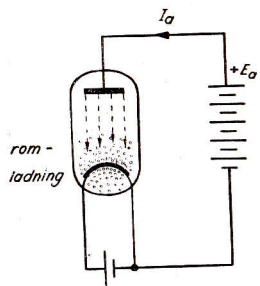


Fig. 103. Romladning omkring katode.

altså romladningen konstant. Har man nå en annen positiv elektrode (anoden) i røret, vil det være et elektrisk felt mellom den og romladningsskyen, og elektronene vil begynne å strømme langs feltlinjene over til anoden (fig. 103). Derved forstyrres balansen, og det vender nå færre elektroner tilbake til katoden enn det fordampes fra den. Øker man spenningen på anoden, vil feltlinjene fra anoden trenge dypere og dypere inn i romladningsskyen, og flere og flere elektroner vil gå over

til anoden. Til slutt når man en anodespenning så høy at alle de elektroner som katoden kan avgi, går til anoden. Selv om anodespenningen nå økes enda mere, kan ikke elektronstrømmen bli sterkere, for ved en bestemt temperatur på katoden kan det bare fordampe en viss mengde elektroner. Dette er den såkalte *metningsstrøm*. Den eneste måte å øke denne på er å heve temperaturen på katoden, så den emitterer rikeligere. Fig. 104 viser hvordan strømmen i et rør med bare katode og anode vokser med økende anodespenning. Ved negativ anodespenning er strømmen null, for da vil anoden frastøte elektronene. Den strekede kurven gjelder for samme rør ved en høyere katodetemperatur. Den viser at metningsstrømmen øker når temperaturen øker.

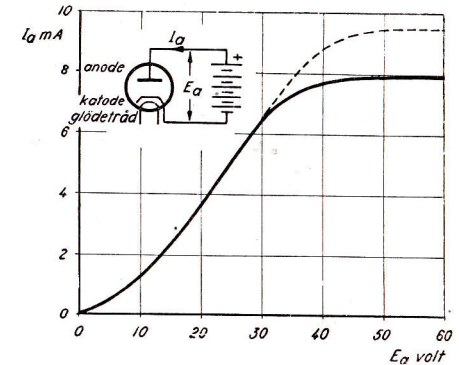


Fig. 104. Karakteristikk for en diode.

Den viser at metningsstrømmen øker når temperaturen øker.

Denne gradvise økningen av elektronstrømmen kan synes overraskende. En ville kanskje vente at den positive anoden skulle trekke til seg alle frie elektroner som finnes i røret, så strømmen skulle springe opp til metning straks anodespenningen ble positiv. At det ikke går slik, skyldes nettopp romladningen: den virker som et magasin hvorfra flere elektroner kan dras ut jo høyere den positive spenning er.

Dioden

Et rør med bare to elektroder kalles en diode. Kurven i fig. 104 kalles diodens *karakteristikk* eller dens anodestrøm-anodespenningskurve ($I_a E_a$ -kurve). På den kan en lese av hvor sterk strømmen vil bli ved enhver spenning, eller med andre ord hvor stor motstanden i røret er. Denne motstanden er åpenbart ikke konstant, for strømmen øker ikke i samme forhold som spenningen: den er 2 mA ved 13 volt og 4 mA ved 21 volt. Regner en ut motstanden etter dette, får en

$$13 : 0,002 = 6500 \text{ ohm, og } 21 : 0,004 = 5250 \text{ ohm.}$$

Ohms lov gjelder altså ikke for et elektronrør, motstanden i det varierer med spenningen. Derfor er det ikke mulig å angi forholdet mellom spenning og strøm ved et rør med bare ett tall, som for ohmske motstander. En må alltid angi hele strøm-spennings-kurven. Dette er karakteristisk for elektronrørene. Det vi har omtalt her, er likestrømsmotstanden. Senere får vi å gjøre med rørens «indre motstand», som er noe helt annet, og som har med vekselstrøm å gjøre.

Dette at strømmen bare kan gå en vei gjennom en diode, er grunnlaget for bruken av rør til *likeretning*. Hvis røret påtrykkes en vekselspenning mellom katode og anode, vil det føre strøm i de halvperiodene da anoden er positiv i forhold til katoden, men ikke når den er negativ. Røret virker som en ventil for strømmen. (I England er derfor ordet valve = ventil blitt en fellesbetegnelse for alle elektronrør. I Amerika derimot brukes ordet tube = rør). Den strøm røret slipper igjennom, blir ikke en ren likestrøm, men en rekke av adskilte strømstøt. Hvis man ønsker å få en likestrøm ut, kan man bruke disse strømstøtene til å lade opp en stor kondensator, og så tappe ladningen ut av denne i en jevn strøm.

I fig. 105 er likerettervirkningen illustrert ved hjelp av karakteristikken for røret. Vekselspenningen e er tegnet under kurven, symmetrisk omkring nullpunktet. For hvert punkt på den positive halvperioden er lest av den tilsvarende strømmen, etter karakteristikken. Derved får en fram den nøyaktige formen på strømstøtene som er tegnet opp til høyre i figuren.

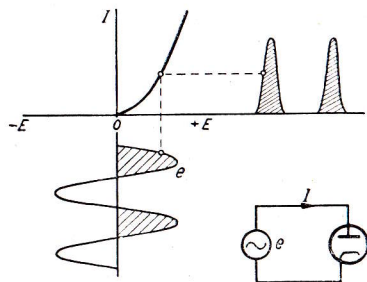


Fig. 105. Diodelikeretning.

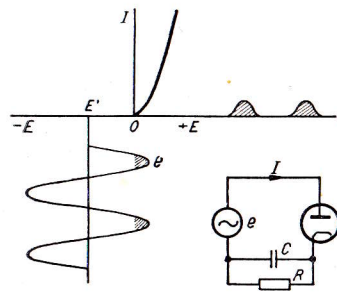


Fig. 106. Diodelikeretning med motstand og ladekondensator.

En fullstendig kopling for en likeretter blir som vist i fig. 106. I serie med røret ligger en motstand R parallellkoplet med en kondensator C . Motstanden er forbrukeren som det skal leveres likestrøm til, og kondensatoren er det «reservoaret» som tar imot strømstøtene og som lader seg ut i en jevn strøm gjennom motstanden. Spenningen på kondensatoren stiger litt i hver positiv halvperiode, og synker igjen i hver negativ. Men hvis kondensatoren er stor nok, blir disse variasjonene små, så det blir en noenlunde ren likespenning (og strøm) man får ut.

Denne likespenningen kompliserer virkemåten av selve likeretteren noe. Anoden får jo nå en likespenning i forhold til katoden, og som man ser av fig. 106, blir anoden negativ. Det vil si at vekselspenningen e ikke lenger svinger symmetrisk om nullpunktet som i fig. 105, men den svinger omkring en negativ spenning E' , slik som vist i fig. 106. Bare de høyeste positive spenningstoppene når da over i det positive område hvor røret fører strøm, og det blir bare meget små strømstøt som går gjennom det. Det stiller seg automatisk inn en balanse: den negative spenningen blir så stor at strømstøtene akkurat blir store nok til å holde kondensatoren ladet og erstatte den ladning som strømmer ut av den. Om man f. eks. øker vekselspenningen e , vil straks E' også vokse, og en ny balanse stiller seg inn. Som regel blir likespenningen E' nokså nær lik amplitudeverdien av vekselspenningen e , — alltid litt mindre, men ikke vesentlig.

Den likerettervirkningen som er beskrevet her, er karakteristisk ikke bare for rør (dioder), men også for andre likerettere, som krystall- eller metall-likerettere. En ser at hele virkningen beror på usymmetrien i strøm-spenningskurven. Alle ledere som har en slik usymmetrisk kurve, virker som likerettere. Det er ikke nødvendig at de skal lede bare en vei og sperre helt for strømmen den andre veien. Det er nok at de leder *bedre* i en retning enn i den andre.

Trioden

Setter man inn en tredje elektrode, et *gitter*, mellom katode og anode, får man et tre-elektroderør eller en triode. Gitteret har

gjerne form av en spole av tynn tråd, som omslutter katoden. Elektronene må passere gjennom åpningene mellom gittertrådene på sin vei til anoden. Det viser seg da at elektronstrømmen i høy grad påvirkes av den spenning gitteret har i forhold til katoden.

Tenker vi oss først at det ikke er noen spenningsforskjell mellom gitter og katode, vil strømmen være bestemt av bare anodespenningen, som i en diode. Er gitteret positivt, vil det virke på lignende måte som anoden, og elektronstrømmen vil dele seg mellom de to positive elektrodene, — noen elektroner til gitteret og noen til anoden. Er derimot gitteret negativt, kan det ikke ta imot elektroner selv, men det har likevel innflytelse på styrken av elektronstrømmen til anoden. Det vil jo være to elektriske felt som virker i rommet omkring katoden, anodefeltet som trekker elektroner utover, og gitterfeltet som driver elektroner tilbake inn mot katoden. Elektronstrømmens styrke vil altså være bestemt både av gitterspenningen og anodespenningen. Hvis gitteret er sterkt negativt, vil feltet fra det helt overvinne anodefeltet, og det vil ikke gå noen elektroner til anoden. Som ved dioden virker også romladningen inn. For å få oversikt over hvordan strømmen varierer må man ha oppgitt ikke bare én strøm-spennings-kurve, men en hel rekke av dem. Det kan gjøres på to måter, som vist i fig. 107. Til venstre er tegnet kurver for sammenhengen mellom strøm og anodespenning,

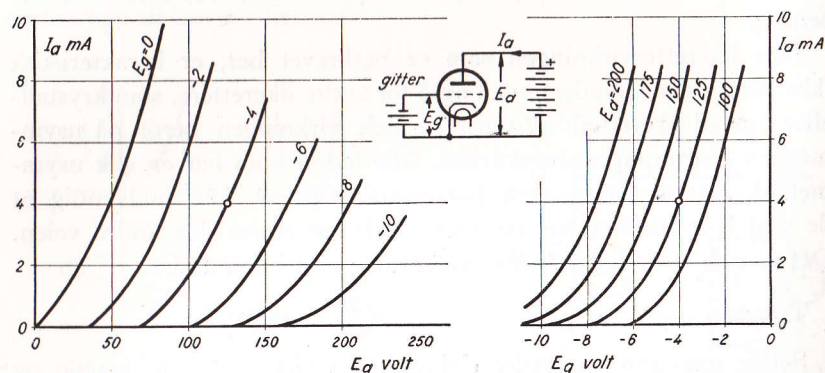


Fig. 107. $I_a E_a$ - og $I_a E_g$ -karakteristikker for en triode.

$I_a E_a$ -kurver. En må ha en slik kurve for hver enkelt verdi av gitterspenningen. Til høyre er det gjort omvendt: kurvene gir sammenhengen mellom strøm og gitterspenning, $I_a E_g$ -kurver, og det er en særskilt kurve for hver verdi av anodespenningen. Begge disse diagrammene gjør det alltid mulig å lese av strømmen når en kjenner begge spenningene. I virkeligheten er de bare to former for samme diagram, og en kan konstruere det ene når en kjenner det andre — se f. eks. punktet $E_a = 125$, $E_g = \div 4$, $I_a = 4$, som er avmerket i begge. En bruker i praksis det ene eller det andre diagrammet, ettersom det passer best.

Anodestrømmen styres altså både av anodespenning og gitterspenning. Det en skal merke seg, er at gitteret øver meget sterkere innflytelse på strømmen enn anoden kan gjøre, — fordi gitteret ligger så meget nærmere katoden, og gitterfeltet derfor er forholdsvis meget sterkere enn anodefeltet. Sett f. eks. at man senker gitterspenningen med 1 volt, dvs. gjør gitteret 1 volt mer negativt. Da vil strømmen reduseres en del, og for å motvirke denne forandring er det ikke nok å heve anodespenningen 1 volt, — en må kanskje heve den 10 eller 100 volt forat strømmen skal komme opp i samme styrke som før. En kan derfor si at gitteret har 10 eller 100 ganger så sterk innflytelse på strømmen som anoden har.

Legg merke til at gitteret, så lenge det er negativt, hverken mottar eller avgir elektroner. Det kan da ikke gå noen strøm i gitterets krets. Gitteret er en ren styre-elektrode, det påtrykkes bare en spenning, og dermed dirigerer det den elektronstrømmen som flyter til anoden. Dette er den styre- eller kontrollvirkningen som har så stor betydning ved elektronrøret og som bl. a. er grunnlaget for rørets bruk som *forsterker*. Det siste er så viktig at vi allerede her skal ta for oss et eksempel.

Vi har en triode koplet som fig. 108 viser, samme rør som vi har sett karakteristikkene for i fig. 107. Det har spenningene $\div 4$ volt på gitteret og $+ 125$ volt på anoden, og anodestrømmen er da 4 mA. Anoden er ikke forbundet direkte med høyspenningsbatteriet, men det er satt en motstand på 30000 ohm imellom. Da anodestrømmen må flyte gjennom motstanden, blir det en spenning over denne på

$$0,004 \cdot 30000 = 120 \text{ volt}$$

Høyspenningsbatteriet må altså ha en spenning på $125 + 120 = 245$ volt. Dette er den tilstanden som er vist i fig. 108 a.

Sett nå at gitterspenningen forandres til $\div 6$ volt. Vi får da

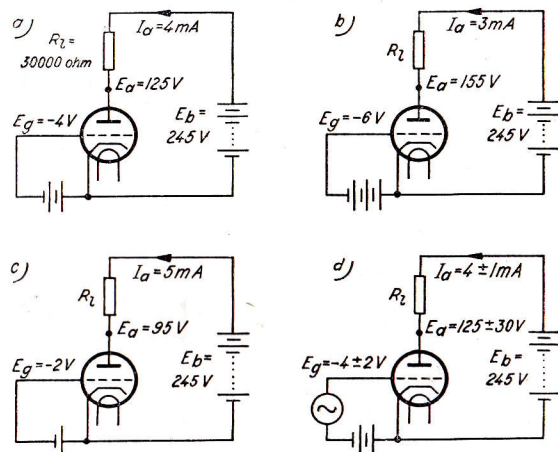


Fig. 108. Trioden som forsterker

strømmer og spenninger som vist i fig. 108 b: anodestrømmen er 3 mA, spenningen over motstanden er derfor nå bare 90 volt, og anodespenningen er steget til 155 volt. Disse verdiene vil en se stemmer med karakteristikkene.

Så forandrer vi gitterspenningen til $\div 2$ volt, og får strømmer og spenninger som i fig. 108 c: anodestrømmen er 5 mA, spenningen over motstanden er derfor øket til 150 volt, og anodespenningen er sunket til 95 volt. Dette stemmer også med karakteristikkene.

Det som hender er i korthet at variasjoner på 2 volt (pluss eller minus) i gitterspenningen framkaller variasjoner på 30 volt i spenningen over motstanden, eller med andre ord, røret forsterker spenningsvariasjonen 15 ganger.

Motstanden er i dette tilfelle den «ytre krets» hvor den forsterkede spenningen opptrer. Den er nødvendig fordi røret bare gir variasjoner i strømmen, — hvis man ønsker en forsterket spenning, må

man kople til en ytre krets som omsetter strømvariasjoner til spenningsvariasjoner.

Det er lett å tenke seg at en kan la variasjonen på gittersiden være en vekselspenning, og at en da vil få en forsterket vekselspenning i anodekretsen. Holder en som vist i fig. 108 d, gitteret på $\div 4$ volt ved hjelp av et gitterbatteri og kopler i serie med det en generator som gir 2 volt vekselspenning (amplitude-verdi), så vil man få en vekselspenning på 30 volt i anodekretsen. Anodespenningen svinger som før mellom 95 og 155 volt, og i middel er den 125. En får meget ofte bruk for å tenke seg spenningene på et elektronrør oppdelt på denne måten i en likespenning og en overlagret vekselspenning, både på gittersiden og anodesiden. Det kan ofte være vanskelig å holde rede på de forskjellige spenningene som opptrer ved elektronrør, særlig når de varierer. Det lønner seg å legge arbeide i å få en klar forståelse av nettopp dette, og den beste måten er da i hvert tilfelle å undersøke variasjonen punkt for punkt slik som i eksemplet overfor. I hovedsaken er forsterkerprosessen alltid den samme: gitterspenningen bestemmer anodestrømmen, og anodestrømmen bestemmer spenningsfallet i anodekretsen.

Nå er anodestrømmen ikke styrt bare av gitterspenningen, men også av anodespenningen. Når gitterspenningen virker til å øke anodestrømmen, vil automatisk anodespenningen synke (p.g.a. den ytre motstanden), og derved avtar strømmen. Omvendt: når gitterspenningen reduserer anodestrømmen, vil anodespenningen stige og derfor søke å øke strømmen igjen. Anoden øver en *tilbakevirkning*, som alltid gjør at strømvariasjonene blir mindre enn gitterspenningen alene skulle tilsi. En kan si at den forsterkede vekselspenning på anoden virker *imot* vekselspenningen på gitteret. I eksemplet ovenfor er denne tilbakevirkningen tatt med i beregningen, idet vi for hver gitterspenning har oppgitt de verdiene av anodestrøm og anodespenning som virkelig innstiller seg. Hvordan en finner dem ved regning skal vi se senere.

Hvis det ikke var noen ytre motstand, ville det ikke være noen slike tilbakevirkninger. Men i det tilfelle ville vi ikke få noen forsterket spenning i det hele tatt.

Tetroden

Setter man inn enda et gitter i røret, får man et fire-elektrode-rør eller en tetrode. Vanlig plasseres dette gitter mellom det første gitter (styregitteret) og anoden. Det kalles *skjermgitteret* (screen grid). Skjermgitteret har høy positiv spenning og virker på elektronene som en anode. Det suger elektroner ut fra romladningen omkring katoden, men av disse elektronene er det bare forholdsvis få som lander på skjermgittertrådene. De fleste flyr igjennom åpningene i gitteret og videre til anoden. For så vidt kan en si at skjermgitteret er en hjelpeanode, som overtar en del av anodens arbeid, nemlig det å utøve det konstante sug eller drag som holder elektronstrømmen igang. Det er nå styregitterets negative og skjermgitterets positive felt som bestemmer elektronenes bevegelse; anodens felt har bare liten virkning, fordi anoden ligger bakom skjermgitteret. Men dette vil si at anodens spenning kan variere uten at den øver nevneverdig tilbakevirkning på elektronstrømmen. En kan tenke seg at skjermgitteret deler røret i to deler: rommet mellom katode og skjerm, hvor styringen av elektronstrømmen foregår (gittersiden), og rommet mellom skjerm og anode, hvor anoden mottar en «ferdig»

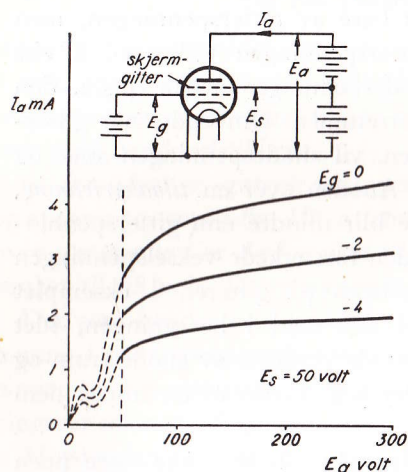


Fig. 109. $I_a E_a$ -karakteristikk for en tetrode.

elektronstrøm og leverer den til den ytre krets. Forat skjermgitteret skal virke på denne måten, må det ha konstant spenning. Det må ikke være noen vekselspenning på skjermgitteret, for da ville det selvgi tilbakevirkning. Derfor blir det alltid forbundet til jord (eller katoden) gjennom en stor kondensator som virker som en kortslutning for vekselspenninger.

Ikke mindre viktig er det at skjermgitteret virker som en elektrisk skjerm mellom anode og gitter. I en triode er det betraktelig kapasitet mellom disse to elek-

trodene, ofte flere picofarad. Dette er en meget stor ulempe, særlig når røret brukes ved høy frekvens. Ved at skjermgitteret, som vekselstrømsmessig er jordet, kommer inn mellom elektrodene, reduseres den uønskede kapasiteten til en brøkdel av en picofarad.

Karakteristikkene for en tetrode ser annerledes ut enn for en triode. Fig. 109 viser $I_a E_a$ -kurvene for tetroden — ved konstant skjermgitterspenning 50 volt, og forskjellige styregitterspenninger. En ser at så snart anodespenningen bare er høyere enn skjermgitterspenningen, er anodestrømmen lite avhengig av anodespenningen — kurvene blir rette linjer som bare skråner svakt oppover. Strømmen er med andre ord styrt bare av gitterspenningen, uten noen tilbakevirkning fra anoden. Dette er karakteristisk for tetroden sammenlignet med trioden.

En slik enkel tetrode er ikke brukbar ved anodespenninger som er lavere enn skjermgitterspenningen (se kurvene i fig. 109). Det skyldes den såkalte *sekundæremisjon* fra anoden. De elektroner som når anoden, kommer med så stor hastighet at de slår løs nye elektroner fra metallet og således bringer anoden til å emitte. Disse sekundær-elektronene vender normalt tilbake til anoden igjen og har derfor ingen merkbar virkning. Men i det tilfelle hvor skjermgitterspenningen er høyere enn anodespenningen, vil en del av dem trekkes over til skjermgitteret, så anoden alt i alt mottar færre elektroner og skjermgitteret flere. Anodestrømmen viser derfor en uregelmessig variasjon, en «knekk», i dette området.

For denne uregelmessighet har en funnet forskjellige botemidler. Felles for dem alle er at de hindrer elektroner i å bevege seg fra anoden til skjermgitteret, selv når anoden har den laveste spenning av de to. I noen rør lar en selve elektronstrømmen være hindringen: alle elektronene som kommer strømmende mot anoden virker som en negativ elektrode (romladning), og støter sekundærelektronene tilbake til anoden. Bare sekundærelektroner med meget stor hastighet greier å forsere en slik negativ stråle for å komme fram til det positive skjermgitteret. Ved å anbringe spesielle styreplater som forbindes til katoden kan en understøtte denne virkningen, og praktisk

talt uskadeliggjøre sekundæremisjonen. Det er det som er gjort i alle moderne tetroder («beam» tetrode, «kinkless» tetrode).

Pentoden

En annen måte å uskadeliggjøre sekundæremisjonen på er å sette inn et tredje gitter mellom skjermgitteret og anoden, et *bremsegitter* (suppressor grid). Derved får man fem-elektroderøret eller pentoden. Bremsegitteret må være negativt i forhold til anoden, og det har da samme virkning som en romladning — det setter en negativ skranke i veien for sekundærelektronene. Bremsegitteret forbindes som regel til katoden.

Fig. 110 og 111 viser eksempler på karakteristikk for en pentode og en «beam» tetrode. Det er liten forskjell på dem, men derimot er det en vesentlig forskjell mellom disse karakteristikkene og triodens karakteristikk. Ved trioden er anodestrømmen sterkt avhengig av anodespenningen, men ved tetroder og pentoder derimot er den nesten uavhengig av anodespenningen.

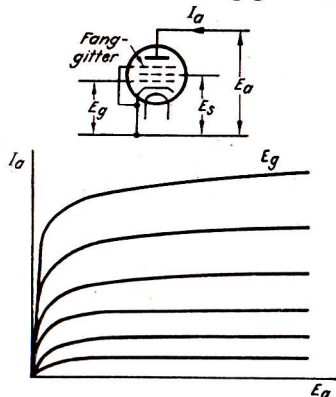


Fig. 110. $I_a E_a$ -karakteristikk for en pentode.

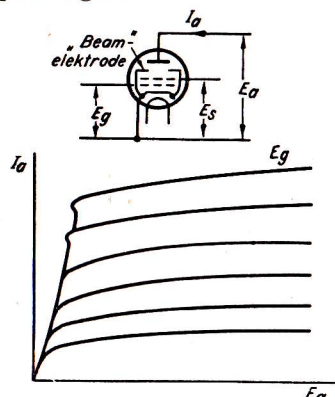


Fig. 111. $I_a E_a$ -karakteristikk for en beam-tetrode.

Det finnes rør med enda flere elektroder: *heksoden* med 6, *heptoden* med 7 og *oktoden* med 8 elektroder. De brukes til spesielle formål, særlig som «blanderør» i mottakere, se s. 260. Som regel er to av gitterne styregitter som tilføres hver sin vekselspanning av forskjellig frekvens, slik at anodestrømmen styres av begge. I heptoden og

oktoden virker de to første gitter som styregitter og anode i en triode, som generer er den ene av de to vekselspanningene.

Endelig fabrikeres det en rekke *kombinasjonsrør*, — to eller flere rør i samme kolbe og i regelen med felles katode, f. eks. dobbeltdiode-pentoden og triode-heksoden. Disse rørtypen betyr ikke noe vesentlig nytt. Det er dioden, trioden, tetroden og pentoden som er de fundamentale typer, og det er dem man først og framst må lære å kjenne.

Spesialrør

Det finnes en rekke elektronrør som dels i virkemåte og dels i anvendelse avviker fra de vanlige radiatorer vi hittil har behandlet. Vi skal her bare kort beskrive enkelte typer som man ofte treffer på i praksis.

Katodestrålerøret

Dette røret er helt ulikt vanlige elektronrør. Det er bygget opp som vist skjematisk i fig. 112, hvor den venstre delen er en triode med katoden K, gitteret G og anoden A. Katoden er en liten sylinder som emitterer fra endeflaten, gitteret er bygget over katoden som en hette med et hull i toppen, og anoden er en plate også med et hull i. Denne utformingen av elektrodene tjener til å samle elektronstrømmen i en tynn stråle som med stor fart løper gjennom hullene og videre ut i røret. Her passerer strålen gjennom to eller

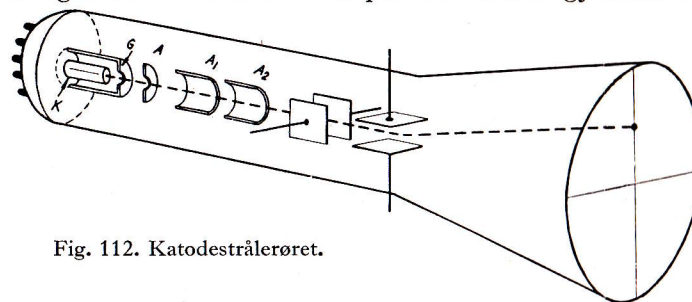


Fig. 112. Katodestrålerøret.

flere sylindriske elektroder (anoder) A_1 og A_2 , som begge har høye positive spenninger. Disse spenninger er imidlertid forskjellige, og man får et elektrisk felt mellom sylindrene som tjener til å konsen-

trere elektronstrålen. Hele denne delen av røret kan en betrakte som en generator for elektronstrålen, og den kalles ofte en «elektronkanon». Ved hjelp av den negative gitterspenning kan man regulere styrken av strålen, og ved å regulere spenningen mellom A_1 og A_2 kan man samle strålen (fokusere den).

I den andre enden av røret er anbrakt en *skjerm*. Innsiden av glasskolben er her belagt med et materiale som fluoreserer, dvs. det lyser når det treffes av elektronstrålen, og denne vil derfor tegne et lysende punkt på skjermen. Mellom elektronkanonen og skjermen er anbrakt den delen som er selve kjernen i røret: styrings- eller avbøyningsdelen. I figuren er dette vist som en ren *elektrisk* avbøyning med to plateelektroder som strålen passerer imellom. Hvis det er en spenning mellom platene, vil elektronene trekkes mot den positive platen og hele strålen blir avbøyet til den ene side. Lyspunktet på skjermen vil derfor flytte seg ut fra sentrum overensstemmende med spenningen mellom platene.

I mange rør brukes *magnetisk* avbøyning. Det er da ingen styreelektroder inni røret, men et spolesystem utenfor som gir et sterkt magnetisk felt i røret. Elektronstrålen er en elektrisk strøm (ladning i bevegelse) og den påvirkes derfor av en kraft når den passerer gjennom magnetfeltet. Resultatet blir at lyspunktet på skjermen flytter seg ut til siden overensstemmende med strømmen gjennom spolen.

Katodestrålerøret kan således brukes som måleinstrument for spenning eller strøm. Elektronstrålen svarer til viseren i et voltmeter eller et amperemeter. Til dette bruk har imidlertid ikke katodestrålerøret noen særlig fordel framfor våre vanlige instrumenter, unntatt at «viseren» beveger seg hurtigere enn noen instrumentviser kan gjøre, og derfor kan følge med selv høyfrekvente vekselstrømmer. Den store fordelen ved katodestrålerøret oppnår man først når man utstyret det med to sett avbøyningsplater eller spoler, et som beveger strålen sideveis (vannrett) på skjermen og et som beveger den opp og ned (loddrett). Lyspunktet vil da samtidig angi to spenninger (eller strømmer), og dette kan vi utnytte på mange måter. Vi kan la lyspunktet tegne en kurve som viser sammenhengen mel-

lom to størrelser, f. eks. en vanlig vekselstrømkurve hvor lyspunktet tegner strømmens variasjon med tiden. Det er den anvendelsen vi vanlig gjør av katodestrålerør i radioteknikken.

Skjermen i katodestrålerøret er etterlysende, dvs. den lyser en kort tid etterat den er truffet av elektronene, og derfor får vårt øye inntrykk av en lysende kurve der punktet har beveget seg. For forskjellige formål bruker man skjermer med kortere eller lengere etterlysningstid, opp til et halvt minutt. Det er også mulig å få lyspunktet til å tegne et helt bilde, idet vi styrer strålen med passende spenninger begge veier, så det i løpet av en viss tid passerer alle punkter på skjermen. Ved samtidig å variere gitterspenningen kan vi forandre lysstyrken fra punkt til punkt på skjermen og derved få fram bildet. På denne måten brukes katodestrålerøret i fjernsyn og i radar-teknikken.

I katodestrålerøret bruker man høye spenninger, som regel over 1000 volt og opp til 10000 volt for å få stor hastighet på elektronene. Strømmen er derimot svak, under 1 mA. Strømkretsen slutes ved sekundær emisjon fra skjermen tilbake til anoden.

I kapitel 15 om måleinstrumenter kommer vi nærmere inn på hvorledes katodestrålerøret i praksis blir brukt til opptegning av vekselstrømkurver, modulasjonskurver, resonanskurver, og til sammenligning av frekvenser.

Indikatorrør

En egen utformning av katodestrålerøret brukes meget som avstemningsindikator i mottakere (trolløye). Dette er et dobbeltrør som består av en triode og et lite katodestrålerør som skjematisk vist på fig. 113. En del av elektronstrømmen fra katoden går til triodens anode A, og en del til skjermen S som lyser opp der hvor den treffes av elektronene (fluoresens). Elektronstrømmen til skjermen styres av egne avbøyningselektroder som er forbundet med triodens anode, hvorved elektronene samles til en strålebunt av en viss form, ofte korsform. Jo høyere spenningen på anoden er, jo bredere blir strålebunten og jo større blir de lysvinklene som tegnes på skjermen.

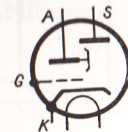


Fig. 113.
Trolløye.

Trolløyet brukes for å vise når en mottaker er nøyaktig innstilt på en bærebølge, og bruken av det vil nærmere bli omtalt under mottakere, s. 249.

Gassfylte rør

Foruten de vanlige elektronrør med høyt vakuum brukes også rør som først er evakuert og deretter fylt med en bestemt gass (f. eks. neon eller kvikksølv damp) ved meget lavt trykk. De har til dels andre egenskaper enn høyvakuurrørene. Et eksempel på en *gassdiode* er *kvikksølv damp røret*, som er meget brukt i kraftlikerettere. Det er bygget opp som en vanlig diode med glødekatode, og inneholder noen dråper kvikksølv som delvis går over i dampform. I rommet mellom katoden og anoden vil det derfor være kvikksølvatomer til stede. Elektronene som emitteres fra katoden og strømmer mot anoden, vil kollideres med disse, og hvis farten er stor nok, vil de kunne rive løs nye elektroner. Gassen blir jonisert, inneholder fri elektroner og positive joner. Elektronene strømmer mot anoden, mens de positive joner beveger seg mot katoden. De utgjør en positiv romladning som nøytraliserer den negative romladning av elektroner omkring katoden. Dette gir som resultat at røret fører stor strøm allerede ved meget lav anodespenning. Forat joniseringen av gassen skal finne sted, må elektronene ha en viss hastighet, dvs. anodespenningen må ha en viss størrelse. Denne såkalte joniseringsspenningen er for kvikksølv damp ca. 15 volt.

I fig. 114 viser A karakteristikk for et kvikksølv damp likeretterrør, sammenlignet med den tilsvarende kurven for et høyvakuurrør

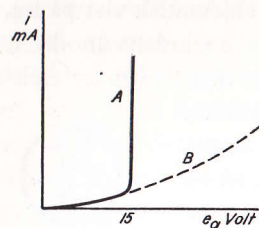


Fig. 114. Karakteristikk for kvikksølv damp diode.

(B). Øker man anodespenningen fra null, er anodestrømmen liten inntil joniseringen av gassen begynner. Når denne først er begynt, blir romladningen redusert, strømmen øker og joniseringen fortsetter å øke osv. Uten at anodespenningen økes videre, vokser således strømmen hurtig til en verdi som bare er begrenset av motstanden i strømkretsen utenfor røret.

Gasstrioden (Thyratron) har en glødekatode, et gitter og en anode. Den atskiller seg fra høyvakuurtrioden ved at gitterspenningen ikke styrer anodestrømmen, men bare kan sette den igang. Når først anodestrømmen er begynt, har gitterspenningen ingen virkning på den lenger, og man må senke anodespenningen under f. eks. 10 volt eller bryte anodekretsen for å stoppe strømmen. Gasstrioden kan derfor sammenlignes med et rele. Ved en liten spenningsforandring på gitteret kan den kople inn en betydelig strøm.

Virkningen av gitteret er denne: I det øyeblikk den negative gitterspenningen blir mindre enn en viss verdi, begynner anodestrømmen å flyte, gassen blir jonisert, og de positive jonene samler seg om både katoden og det negative gitteret. Derved nøytraliseres både katodens romladning og den negative gitterspenningen, og røret fører en kraftig strøm som bare er begrenset av den ytre motstand i anodekretsen.

Gasstrioder brukes i kontroll- og varselapparater og i visse oscillatorer. Som likerettere har de den spesielle fordel at man kan regulere den likerettede spenning ved hjelp av gitterspenningen, idet denne bestemmer det tidspunkt i vekselstrømsperioden da røret skal begynne å føre strøm.

Glimrør

Disse rør har ikke glødekatode, bare to kolde elektroder, og emisjonen kommer først igang ved forholdsvis høy spenning mellom elektrodene. Ved *tennspenningen* begynner det å gå strøm, idet gassen blir jonisert, og denne strømmen ledsages av en karakteristisk lysning (glimmlys) nær den negative elektroden. Så lenge strømmen går, er spenningen meget nær konstant (brennspenning, noe lavere enn tennspenningen), og den varierer meget lite med strømstyrken. Denne egenskapen ved rørene utnytter en ofte til stabilisering av spenninger (s. 347).

Fotocellen

En annen slags emisjon er foto-emisjon eller lysemisjon. Visse metaller (kalsium, kadmium, uran) emitterer elektroner når de blir

belyst, og antallet av elektroner som frigjøres er større jo sterkere belysningen er. Dette gjør man bruk av i fotocellen som er et rør med to elektroder: en av f. eks. kalsium som danner katoden og en elektrode som danner anoden og som har høy positiv spenning. Røret er evakuert og ofte er det fylt med en gass f. eks. argon. Lar man lysstyrken variere etter en eller annen kurve, vil strømmen også variere etter samme kurve. Strømstyrken er meget liten: det dreier seg om noen mikroampere. Strømmen passerer gjennom en motstand og spenningsvariasjonene over denne føres inn til en forsterker. Fig. 115 viser en fotocelle. Fotocellen brukes bl. a. i alarmanordninger, billedtelegrafering og lydfilm.



Fig. 115.
Foto-
cellen.

Rørenes oppbygning

Katoden, anoden og gitteret eller gitterne utgjør det man kaller systemet i et elektronrør. Dette må bygges opp med stor presisjon, for hele rørets virkemåte er avhengig av elektrodernes form og innbyrdes plassering, og det er meget små avstander det dreier seg om, ned til brøkdeler av millimeter. Systemet er montert på et stativ av metalltråder, som er isolert fra hverandre og samtidig holdt i nøyaktig stilling ved hjelp av isolerende distansestykker, ofte glimmerskiver. Det hele er montert i en kolbe, og ledninger fra elektrodene er ført ut til utvendige tilkoplingskontakter. Som regel utgjør kontaktene en sokkel som bærer hele røret, og som passer inn i en rørholder.

Det finnes en mengde forskjellige rørkonstruksjoner, og vi må innskrenke oss til å beskrive noen av de alminneligste.

Kolben er som regel av glass, eller dels av glass og dels av metall (metallrør). Vanlige radiorør må være pumpet praktisk talt lufttomme, eller som en sier, de må ha godt vakuum. Luftrykket inni kolben bør være lavere enn 10^{-6} mm kvikksølv. En kaller undertiden rørene «hårde» når de har godt vakuum, «bløte» når de har dårlig vakuum eller inneholder noe gass. Evakueringen av rørene er en meget omstendelig prosess: det brukes spesielle pumper, og under

pumpingen glødes elektrodene forat de skal avgi all luft som kan klebe til dem. Når pumpingen er ferdig, blir rørene gjensmeltet, og trykket brakt enda lavere ved hjelp av en «getter»: et stykke magnesium som bringes til å fordampe inne i røret. Metall dampen binder ytterligere noen av de gassmolekylene som måtte være igjen. Det speilende belegget som en ser på glasset i mange rør, er den kondenserte metall dampen fra getterprosessen.

Katoden har til oppgave å emittere elektroner og lages derfor av stoff som emitterer særlig lett. De beste emisjonsstoffer er noen metalloksyder (barium- og strontiumoksyd), som gir rikelig emisjon allerede ved så lav temperatur som 700°C . Av oksydkatoder er det to slags: *Direkte glødde* hvor oksydbelegget er lagt rett på en glødetråd (filament), og *indirekte glødde* hvor belegget er anbrakt på et tynt metallrør som ligger omkring glødetråden, men er isolert fra den (fig. 116). I siste tilfelle har man altså tre tilkoplingskontakter, en for selve katoden (belegget) og to for glødetråden. Indirekte glødning har mange fordeler, bl. a. den at man uten vanskelighet kan bruke vekselstrøm til glødningen, men glødeeffekten er betydelig større enn ved direkte glødde rør.

Oksydkatodene er effektive, men ikke særlig robuste, og med tiden mister de emisjonsevnen. Det finnes alltid i et rør en del positive joner som tiltrekkes av katoden, og ved høye spenninger kan den bli utsatt for et så intenst bombardement av joner at det emitterende belegg blir ødelagt. En annen ulempe ved oksydkatodene er at selve oksydbelegget kan fordampe og slå seg ned på gitteret, så dette også får lett for å emittere. På grunn av disse ulempene blir oksydkatoder bare brukt i mindre rør og ved anodespenninger opp til 1000—1500 volt. De fleste moderne mottakerrør har oksydkatoder med indirekte glødning. Direkte glødning brukes mest i rør som glødes fra batteri hvor man vil spare på glødeeffekten.

I større rør brukes katoder av wolfram som på en spesiell måte er belagt

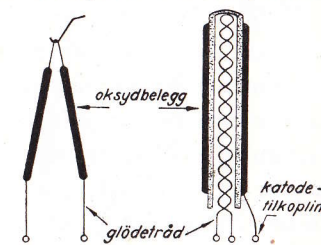


Fig. 116. Direkte glødd og indirekte glødd katode.

med thorium (thoriated tungsten). De er alltid direkte glødd. For å gi god emisjon må katodene ha høy temperatur, ca. 1800° C. De ødelegges ikke så lett som oksydkatodene og kan brukes ved spenninger opp til noen tusen volt. I meget store rør med høye spenninger må man bruke direkte glødde katoder av ren wolfram. De emitterer ikke godt før ved meget høy temperatur, ca. 2500°C, men til gjengjeld er de meget robuste og tåler høye spenninger.

Levetiden for et radiatorør avhenger av katodens konstruksjon. Fabrikantene oppgir en gjennomsnittlig brennetid som kan variere fra 1000 til 4000 timer for de forskjellige rørtypene.

Anoden er i alminnelighet en plate som omslutter de andre elektrodene, og har form av en sylinder, rund, oval eller firkantet. Materialet i anoden er forskjellig etter rørtypen: mest brukt er nikkel, molybden, tantal og grafit.

Da nesten hele elektronstrømmen går til anoden og treffer den med stor hastighet, vil anoden bli varm. Denne varmen er rørets effekttap (anodetap, se s. 188) som er større jo sterkere strømmen og jo høyere anodespenningen er. Forat anoden ikke skal bli for varm, må den ha en slik form at den lett kan avgi (stråle ut) varmen. I større rør er det nødvendig å bruke kunstig kjøling. Røret lages da slik at selve anoden er en del av kolben, og metallet i anoden avgir varmen direkte til en luftstrøm eller kjøleveske.

Ved overbelastning blir anoden glødende, og den kan da avgi så meget gass at røret blir bløtt. Varmestrålingen fra den kan også bli så sterk at gitterne blir glødende og begynner å emittere. Røret blir da meget hurtig ødelagt.

Gitterne kan være grovmaskede nett av metalltråd, men oftest er de enkle spoler av tynn tråd som er viklet opp på to av stativtrådene. Da rørets egenskaper i så høy grad bestemmes av gitterne, må de være meget omhyggelig laget. Tråddimensjonen må ikke variere og avstanden mellom trådene må være nøyaktig riktig. Er det flere gitter, er det også viktig at de står i riktig stilling i forhold til hverandre. Materialet i gittertrådene er som regel nikkel. Styregitteret er i mange rør ført ut til en egen tilkopplingskontakt på toppen av rørkolben, men det kan også være koplet til en av de vanlige sokkel-

kontaktene («single-ended tube»). Bremsegitteret i pentoder skal normalt være forbundet til katoden. Denne sammenkoplingen er ofte gjort inne i røret, og bremsegitteret har i så fall ikke noen egen sokkelkontakt.

Rørsokkelen. Av sokler finnes det en lang rekke forskjellige kon-

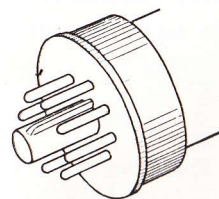


Fig. 117. Oktalsokkelen.

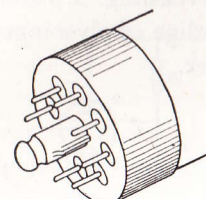


Fig. 118. Loktalsokkelen.

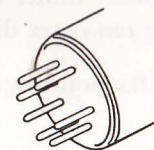


Fig. 119. Miniatur-sokkelen.

struksjoner. Det har ikke lyktes å komme fram til noen universell standardisering, tvertimot ser det ut til at det stadig blir flere typer. Imidlertid er det noen forholdsvis få sokkeltyper som er mest utbredt og som kan sies å dominere. De viktigste er:

Oktalsokkelen (international octal, fig. 117) med 8 kontaktpinner og en styretapp av isolerstoff.

Loktalsokkelen (lock-in, fig. 118) med 8 kontaktpinner og en sentral styretapp av metall, som også låser røret i holderen.

Miniatur-sokkelen (fig. 119) med 7, 8 eller 9 kontaktpinner.

Oktalsokkelen brukes med den rørkonstruksjonen som er vist i fig. 120, hvor systemet er montert på en glassfot inni kolben. Ved miniaturrør derimot har glasskolben en flat

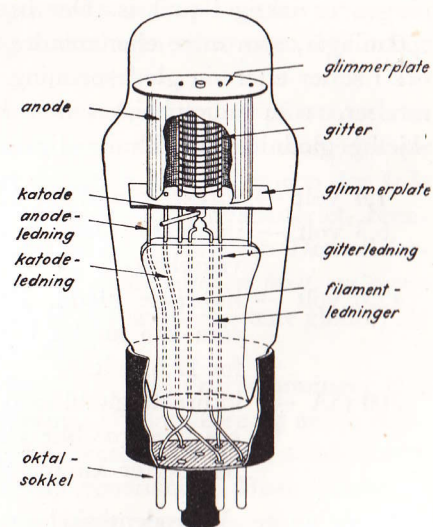


Fig. 120. Rørkonstruksjon.

bunn, som kontaktpinnene er ført igjennom, og systemet er montert direkte på pinnene.

Andre sokkeltyper er de europeiske 4-pinns og 5-pinns, amerikanske 4, 5, 6 og 7-pinns, og engelske 4, 5 og 7-pinns. Det er i det hele så mange typer og varianter av sokler at man må være meget påpasselig for å unngå forveksling. I rørfabrikantenes kataloger og håndbøker finner man utførlige opplysninger om de sokler som brukes og om deres dimensjoner.

Driftsspenninger

Et elektronrørs driftsspenninger vil si alle de spenninger rørets elektroder må tilføres fra batterier eller andre spenningskilder forat røret skal virke. Det er for det første glødespenningen, for det annet de nødvendige likespenninger mellom katoden og de andre elektrodene.

Glødespenningen leverer den effekt som trenges til oppvarming av katoden. I alminnelighet er det en lav spenning, mens glødestrømmen er forholdsvis sterk. Valget av strømart og spenning for glødningen er viktig i praksis. Der brukes en rekke forskjellige glødespenninger, som mere eller mindre er standardiserte, og rørene ordnes i serier etter sin glødespenning. Ofte lages samme rør i flere utførelser, som radioteknisk sett er helt like, men som bare har forskjellig glødning. De alminneligste serier er:

- 1,4 volt — direkte glødd fra 1,5 volt tørrelement,
- 6,3 volt — indirekte glødd fra tre akkumulatorceller eller med vekselstrøm,
- 12,6 volt — indirekte glødd. Disse rør har ofte 2 glødetråder, som kan koples i parallell for 6,3 volt eller i serie for 12,6 volt.
- 300 mA — indirekte glødd med vekselstrøm eller likestrøm. Brukes flere rør blir glødetrådene koplet i serie. Rørene har derfor samme glødestrøm 300 mA.

Av de andre elektrodene skal anoden og skjermgitteret tilføres en høy positiv spenning, men trekker forholdsvis svak strøm, og styre-

gitteret skal tilføres en lav negativ spenning og trekker normalt ingen strøm. Fig. 121 viser en vanlig kopling for et rør som drives fra batterier. Det er direkte glødd, med spenning 1,5 volt og strøm 0,1 ampere, og glødeeffekten er altså bare 0,15 watt. Anodebatteriet er på 150 volt. Gitteret er forbundet til batteriets negative pol (null eller

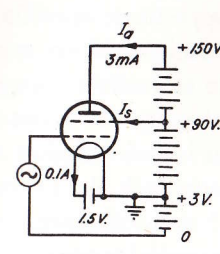


Fig. 121. Batteridrevet rør.

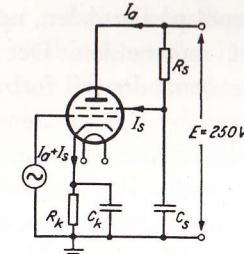


Fig. 122. Nettdrevet rør.

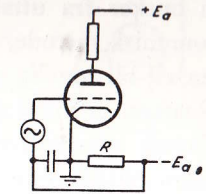


Fig. 123. Gitterforspenning v.h.j.a. returnmotstand.

minus), katoden til + 3 volt, skjermgitteret til + 90 volt, og anoden til + 150 volt. En vil da tenke seg uttaket + 3 som utgangspunkt («jord» i koplingen) og regne styregitteret som 3 volt negativt. Skjermgitterspenningen er da 87 volt og spenningen til anoden 147 volt i forhold til katoden, eller jord.

Batterier brukes bare i transportable apparater og på steder der det ikke er tilgang på annen elektrisk kraft. De har den mangel at de fra tid til annen må fornyes og at de gir farlige muligheter for feilkopling. Setter man anodebatteriet i stedet for glødebatteriet, brenner filamentene uvegerlig av, og alle rørene er ødelagt. Det er derfor en god regel at man alltid kopler til glødebatteriet *først*, og overbeviser seg om at det er riktig koplet (f. eks. at filamentene gløder) før man kopler høyspenningsbatteriet til.

De fleste apparater er nå nettdrevet, og alle driftsspenninger fåes fra lysnettet gjennom en egen omformer. I mottakere og andre mindre apparater er denne en innebygget likeretter, i større sendere ofte et omformeranlegg med motordrevne generatorer. Disse delene er nærmere behandlet i kapittel 14 om kraftforsyning, og vi skal her bare vise hvordan driftsspenningene blir ført fram til selve røret.

Ved nettdrift er det ikke mulig, eller i hvert fall ikke praktisk, å generere så mange forskjellige spenninger som røret trenger. Nettdelen leverer oftest bare to spenninger, nemlig glødespenningen og en høy likespenning, som i alminnelighet er koplet med minussiden på «jord» i apparatet. En kan ikke uten videre ta ut mellomliggende spenninger som fra et batteri, men man kunne kople en motstand mellom minuspol og pluspol på nettdelen, og tappe ut de spenninger man ønsker fra uttak på motstanden. Det er imidlertid en meget uøkonomisk metode, da motstanden vil forbruke stor effekt, og nettdelen vil bli unødig stor og dyr. Den måten som nå praktisk talt alltid brukes, er vist i fig. 122. Skjermgitteret som i alminnelighet skal ha lavere spenning enn anoden, har en seriemotstand R_s . Er motstanden 50000 ohm og skjermgitterstrømmen 1 mA, vil spenningsfallet over motstanden være 50 volt og skjermgitteret får spenningen 200 volt. Da man alltid ønsker at skjermgitteret skal ha ren likespenning uten noen overlagret vekselspenning, kople man en stor kondensator C_s fra skjermgitter til jord.

Katoden i røret er ikke forbundet med jord direkte, men gjennom en motstand R_k . Hele strømmen gjennom røret, anodestrom plus skjermgitterstrøm, må passere denne motstanden, og det blir derfor en spenning over den

$$E_k = I \cdot R_k$$

Er f. eks. motstanden 1000 ohm og totalstrømmen 5 mA, blir katoden 5 volt positiv i forhold til jord. Setter man nå gitteret til jord, vil det bli 5 volt negativt i forhold til katoden, og det har altså fått negativ gitterspenning slik som det skal ha. Samtidig er anode- og skjermgitterspenningene blitt redusert med 5 volt.

Hvis røret skal arbeide som forsterker for vekselstrøm, må katodemotstanden R_k ha en stor kondensator i parallell, ellers vil anodevekselstrømmen framkalle en vekselspenning mellom katode og jord. Denne spenningen ville da også bli liggende mellom katode og gitter, og ville virke forstyrrende. Kondensatoren må være så stor at reaktansen av den er meget liten selv ved den laveste frekvens røret skal arbeide ved.

Man kan også få negativ gitterforspenning ved å anbringe mellom jord og minus høyspenning en motstand som den totale emisjonsstrøm for alle rørene passerer gjennom. Katoden forbindes til jord og gitterforspenningene tas ut over denne motstanden (fig. 123).

Kondensatorene fra skjermgitter til jord og parallellt katodemotstanden er eksempler på det man kaller «avkopling». Denne spiller en stor rolle i alle rørkoplinger.

Det er nødvendig at alle forbindelser fra likespenningskilden (nettdel eller batteri) til rørene er *rene likestrømsforbindelser*. Vekselstrømmene i røret og dets kretser må ikke komme over i kraftforsynings ledningsnett. Grunnen til det er at kraftforsyningen som regel er felles for flere rør, og hvis vekselstrømmene fra forskjellige rør passerer gjennom den, kan det gi anledning til uønskede koplinger mellom rørene (tilbakekopling). Både rørene og alle kretsene må derfor isoleres, vekselstrømsmessig sett, fra spenningskilden. Det gjøres med enkle avkoplingsfilter i ledningene, slik som det er vist for anodeledningen i fig. 124. Kondensatoren C_a avleder anodevekselstrømmene direkte til jord, mens seriemotstanden R_a hindrer dem i å nå spenningskilden. Samtidig vil motstanden senke likespenningen til anoden noe, men da motstanden ikke behøver være stor, spiller dette mindre rolle. Om nødvendig kan man bruke et filter med spole i stedet for motstand (sammenlign fig. 17). Hovedsaken er at det for vekselstrømmene må være en lett vei direkte til jord, mens veien gjennom spenningskilden er vanskeliggjort. Avkopplingskondensatoren skal derfor alltid ligge nærmest røret, og avkopplingsmotstanden mellom kondensatoren og kraftforsyningen.

Disse metodene for tilføring av driftsspenningene og for avkopling vil man finne tallrike eksempler på i alle rørkoplinger (se skjemane i kapittel 12 og 13). Det er umaken verd å gjøre seg fortlølig med dem, for det er da meget lettere å lese apparatskjemaer. Med litt øvelse kan man selv på et meget komplisert skjema straks sortere ut store deler som bare har med avkopling og kraftforsyning å gjøre. Dette er da ordinære og velkjente koplinger, som man ikke

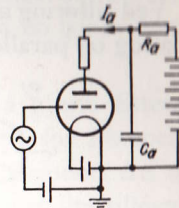


Fig. 124. Avkopling.

behøver spekulere på. Til gjengjeld kan man konsentrere seg om de edlere deler av skjemaet, i alminnelighet vekselstrømkretsene, og finne ut deres virkemåte.

Seriemating og parallellmating

Ved tilføring av driftsspenningene til røret skiller man mellom seriemating og parallellmating. Ved seriemating tilfører man f. eks. anode-

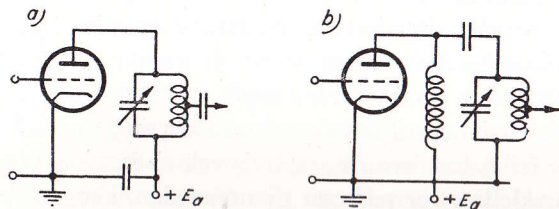


Fig. 125. Seriemating og parallellmating.

spenningen i serie med anodekretsen, og ved parallellmating i parallell med den (fig. 125). Karakteristisk for seriemating er at likespenningen tilføres i et punkt hvor vekselspenningen er null, avkoplek til jord. Ved parallellmating tilføres likespenningen i et punkt som har vekselspenning, anodevekselspenning i eksemplet. I dette tilfelle må likespenningen blokeres med en kondensator mellom anoden og anodekretsen, og denne kondensator må ha liten reaktans for vekselstrømmen. Spenningen tilføres gjennom en drosselspole som må ha høy reaktans sammenlignet med impedansen av anodekretsen. Man skal være oppmerksom på at ved seriemating må både spolen og kondensatoren isoleres for likespenningen.

Rørkonstantene

Det er mulig å beregne virkemåten av et elektronrør i forskjellige koplinger når man kjenner rørets data. En fullstendig oppgave over disse data kan bare gis i form av kurver, og en helt nøyaktig beregning må alltid baseres på disse — et komplett sett av $I_a E_a$ - eller $I_a E_g$ -kurver (rørkarakteristikker). Men man bruker ofte en forenklet beregningsmåte, som er basert på tre rørkonstanter: indre

motstand, steilhet og forsterkningsfaktor. Strengt tatt er de ikke konstanter, de forandrer seg mere eller mindre med driftsspenningene (likespenningene) på røret. Men i praksis er som regel rørets driftsspenninger fastlagt, eller som man sier *arbeidspunktet* på karakteristikkene er bestemt. En regner da med den verdien konstantene har i dette punktet, selv når spenningene varierer. Så lenge det bare er tale om små variasjoner omkring arbeidspunktet, kan en gjøre dette uten større feil.

De tre konstantene har nettopp med *variasjoner* å gjøre. Etterat arbeidspunktet er valgt, interesserer vi oss ikke mere for likespenningen E eller likestrømmen I , men bare for små variasjoner, ΔE og ΔI i dem (Δ = delta betegner en liten avvikelse eller et lite tillegg). Vi regner ΔI positiv når strømmen blir sterkere, og ΔE positiv når elektroden blir mere positiv enn før i forhold til katoden. I praksis er ofte en vekselspenning e og en vekselstrøm i overlappet E og I , og for beregningen betrakter vi dem som variasjoner omkring det faste arbeidspunktet. For å skille mellom dem betegner vi vekselspenningene og vekselstrømmene med små bokstaver (e og i), og likespenningene og likestrømmene med store bokstaver (E og I).

Vi skal først betrakte anoden (i en diode, triode eller et flergitterrør) og tenker oss at vi øker anodespenningen med ΔE_a volt, mens alle andre spenninger på røret er uforandret. Anodestrømmen øker da med ΔI_a ampere. Disse to størrelsene gir den første rørkonstanten:

$$\text{Rørets indre motstand } R_i = \frac{\Delta E_a}{\Delta I_a}$$

Rørets indre motstand er forholdet mellom en anodespenningsforandring og den anodestrømsforandring som denne framkaller. En spenning dividert med en strøm er jo en motstand. Hvis f. eks. $\Delta E_a = 10$ volt og $\Delta I_a = 1$ milliampere, blir

$$R_i = 10 : 0,001 = 10000 \text{ ohm.}$$

Fig. 126 a viser hvordan R_i kan avleses av rørets $I_a E_a$ -kurve. En bestemmer de to små differansene ΔE_a og ΔI_a mellom arbeidspunk-

tet og et nærliggende punkt på karakteristikken. De er sidene i det lille trianget. Jo flattere kurven forløper, jo større er R_i . I praksis er det vekselspenninger det er tale om. Påtrykkes anoden en vekselspenning e_a , vil denne framkalle en vekselstrøm i_a som overlages anodelikestrømmen:

$$i_a = \frac{e_a}{R_i}$$

Den indre motstand brukes altså til beregning av vekselspenninger og vekselstrømmer. En må ikke forveksle den med rørets tilsynelatende motstand for likestrøm (s. 147), og må ikke bruke den til beregning av likestrømmen i røret.

For en diode er denne ene konstanten nok til å karakterisere røret, men for rør med gitter trenges det flere. Vi tenker oss at vi øker gitterspenningen med ΔE_g volt, mens alle andre spenninger på røret er uforandret. Anodestrømmen øker da med ΔI_a ampere. Forholdet mellom disse to størrelsene er den andre rørkonstanten:

$$\text{Rørets steilhet } S = \frac{\Delta I_a}{\Delta E_g}$$

Steilheten er forholdet mellom en anodestrømsforandring og den gitterspenningsforandring som har framkalt den. En angir den i ampere pr. volt, eller oftere i milliampere pr. volt. Hvis f. eks. ΔE_g er 1 volt og ΔI_a er 1 mA, blir

$$S = 0,001 : 1 = 0,001 \text{ A/V eller } 1 \text{ mA/V.}$$

Fig. 126 b viser hvordan S kan avleses av rørets $I_a E_g$ -kurve. En bestemmer de to små differansene ΔE_g og ΔI_a mellom arbeidspunk-

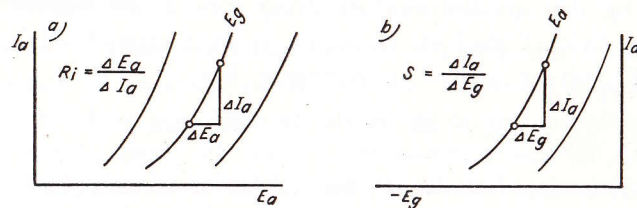


Fig. 126. Bestemmelse av indre motstand R_i og steilhet S .

tet og et nærliggende punkt på karakteristikken. De er sidene i det lille trianget, og forholdet er direkte steilheten av kurven. Steilheten er et uttrykk for gitterets styrevirkning, gitterspenningens innflytelse på anodestrømmen. Man kunne ha valgt det omvendte forholdet, $\Delta E_g : \Delta I_a$, og kalt det en motstand tilsvarende til R_i . Men da det her gjelder sammenhengen mellom en spenning i en krets og en strøm i en helt annen krets, er det mere rimelig å beskrive det som en styring enn som en motstand.

I praksis er det vekselspenningene som har interesse. Påtrykkes gitteret en vekselspenning e_g , vil denne framkalle en vekselstrøm i_a som overlages anodelikestrømmen:

$$i_a = S \cdot e_g$$

Forutsetningen er da at de andre spenningene på røret er uforandret.

I vanlige rør vil S være tilnærmet konstant innen det normale arbeidsområde. Man har imidlertid for spesielle formål rør som har variabel steilhet. Disse rør blir brukt i forbindelse med regulering av f. eks. forsterkningen i mottakere og vil nærmere bli omtalt i kap. 12.

Med de to konstantene R_i og S har vi funnet uttrykk både for sammenhengen anodespenning — anodestrøm og gitterspenning — anodestrøm. Nå vet vi fra før at gitteret vanligvis har mange ganger større innflytelse på anodestrømmen enn anoden har. Dette «mange ganger» er den tredje rørkonstanten, forholdet mellom gitterets og anodens styrevirkning. Vi tenker oss at vi øker anodespenningen med ΔE_a volt, og samtidig minsker gitterspenningen med ΔE_g (gjør anoden mer positiv og gitteret mer negativt), slik at anodestrømmen I_a ikke forandrer seg. Forholdet mellom disse to forandringene, som opphever hverandre, er

$$\text{Rørets forsterkningsfaktor } \mu = \frac{\Delta E_a}{\Delta E_g}$$

Forsterkningsfaktoren er forholdet mellom en anodespenningsforandring og den gitterspenningsforandring som akkurat motvirker denne. Forsterkningsfaktoren er et rent forholdstall uten benevning.

Hvis f. eks. $\Delta E_a = 10$ volt og $\Delta E_g = 1$ volt (i motsatt retning), er

$$\mu = 10 : 1 = 10$$

Tidligere bruktes meget det omvendte forholdet, «gjennomgrepet»

$$D = \frac{1}{\mu}$$

som den tredje rørkonstanten. Navnet sikter til at det er anodens

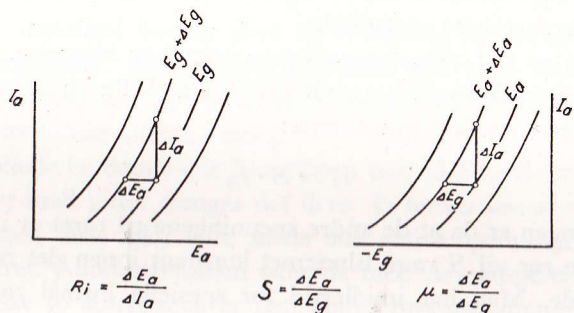


Fig. 127. Bestemmelse av rørkonstantene.

elektriske felt som «griper igjennom» gitteret og utøver sin styrevirkning ved katoden. Jo mindre gjennomgrepet er, jo svakere blir styrevirkningen, og dess høyere forsterkningsfaktoren.

Man kan også bestemme forsterkningsfaktoren μ direkte ut fra rørkarakteristikkene. Har man i $I_a E_a$ -diagrammet kurvene for gitterspenningene E_g og $E_g + \Delta E_g$ og tegner trianglet som vist i fig. 127, kjenner en både ΔE_g , ΔE_a og ΔI_a , og kan altså regne ut alle rørkonstantene. Det samme kan man gjøre i $I_a E_g$ -diagrammet når man har to kurver for anodespenning E_a og $E_a + \Delta E_a$.

Mellom de tre rørkonstantene er det en sammenheng som kan uttrykkes ved ligningen

$$\mu = R_i \cdot S$$

Det er en viktig ligning som en ofte får bruk for. At den er riktig, kan en se likefram ved å sette inn de definisjonene vi har gitt for konstantene ovenfor

$$R_i \cdot S = \frac{\Delta E_a}{\Delta I_a} \cdot \frac{\Delta I_a}{\Delta E_g} = \frac{\Delta E_a}{\Delta E_g} = \mu$$

Vær oppmerksom på at S må settes inn i A/V i denne ligningen, ikke i mA/V. Hvis et rør f. eks. har konstantene $R_i = 10000$ ohm og $S = 1$ mA/V, må forsterkningsfaktoren være

$$\mu = 10000 \cdot 0,001 = 10$$

For trioder er rørkonstantene vanlig av denne størrelse. For pentoder er R_i og μ vesentlig høyere: typiske verdier for en pentode er $R_i = 1$ megohm, $S = 1,5$ mA/V og $\mu = 1500$.

I engelsk og amerikansk litteratur brukes til dels andre navn og symboler for rørkonstantene:

R_i : anode resistance r_a , plate resistance r_p

S : mutual conductance g_m , transconductance

μ : amplification factor.

«Transconductance» angis ofte i « μ mhos», som er det samme som mikroampere pr. volt, — 1 mA/V = 1000 μ mhos.

Bruken av rørkonstantene

Ved hjelp av konstantene kan vi beregne virkemåten av røret når det påtrykkes vekselspenninger i tillegg til driftsspenningene. Hvis vi f. eks. har en generator i gitterkretsen (fig. 128) som gir vekselspenning e_g , blir anodevekselstrømmen

$$i_a = S \cdot e_g$$

Og har vi en generator i anodekretsen som gir vekselspenning e_a , blir anodevekselstrømmen

$$i_a = \frac{e_a}{R_i}$$

Begge disse beregningene er bare enkle anvendelser av definisjonene for konstantene. Men vi kan nå også løse en vanskeligere oppgave, nemlig å beregne anodevekselstrømmen når både gitter og anode påtrykkes vekselspenninger. En tenker seg at e_g og e_a framkaller hver sin strøm, uavhengig av hverandre, og den totale strømmen blir summen av de to:

$$i_a = S \cdot e_g + \frac{e_a}{R_i}$$

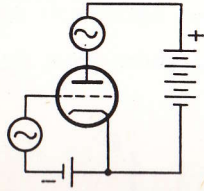
Hvis de to spenningene virker i samme retning (er i fase), adderes

strømmene. Er de i motfase, må derimot den ene strømmen trekkes fra den andre, og vi må skrive

$$i_a = S \cdot e_g - \frac{e_a}{R_i}$$

Disse ligningene gjelder helt alminnelig i alle tilfelle hvor et rør påtrykkes vekselspenninger. Ved hjelp av dem kan vi nå beregne virkemåten av den alminneligste rørkopling, forsterkerkoplingen — den samme som vi gjennomgikk tidligere (fig. 108). Her blir gitteret påtrykt en vekselspenning e_g utenfra, og denne framkaller en anodevekselstrøm. På grunn av motstanden R_i i anodekretsen, opptrer det da også en anodevekselspanning e_a , som er den forsterkede spenningen. Forsterkningsprosessen blir komplisert ved at den forsterkede spenningen øver en tilbakevirkning på anodestrømmen. Da anodespenningen e_a er i motfase med gitterspenningen e_g , blir strømvariasjonene alltid mindre enn de som e_g alene ville framkalle. Dette uttrykker vi ved den siste ligningen, idet minustegnet betegner at e_a virker mot e_g .

Fig. 128. Rør med generator i gitterkrets og i anodekrets.



Vi vet at e_a er den vekselspanningen som oppstår over motstanden R_i når strømmen i_a flyter gjennom den

$$e_a = i_a \cdot R_i$$

Fører vi inn $i_a = \frac{e_a}{R_i}$ i ligningen foran, får vi

$$\frac{e_a}{R_i} = S \cdot e_g - \frac{e_a}{R_i}$$

$$e_a \cdot \left(\frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_i} \right) = S \cdot e_g$$

eller

$$e_a = S \cdot e_g \cdot \frac{R_i \cdot R_i}{R_i + R_i}$$

Dette er den grunnleggende formelen for beregning ved forsterkerør. Når vi kjenner rørkonstantene R_i og S , og dessuten belastnings-

motstanden R_l kan vi beregne den forsterkede spenningen e_a ved et gitt påtrykk e_g . Med andre ord, vi kan beregne forsterkningen.

Ofte brukes formelen i en litt annen form, idet vi erstatter produktet $R_i \cdot S$ med forsterkningsfaktoren μ

$$e_a = \mu \cdot e_g \frac{R_l}{R_i + R_l}$$

Forsterkningen i rørkoplingen er lik forholdet mellom anodevekselspanning e_a og gittervekselspanningen e_g , og den uttrykkes ofte med bokstavsymbolet A . Altså:

$$\text{Forsterkningen } A = \frac{e_a}{e_g}$$

Formlene ovenfor kan vi derfor sette på følgende form:

$$A = S \cdot \frac{R_i \cdot R_l}{R_i + R_l} \quad \text{og} \quad A = \mu \frac{R_l}{R_i + R_l}$$

Røret i fig. 107 har disse rørkonstantene for det arbeidspunktet som var valgt

$$R_i = 10000 \quad S = 0,002 \quad \mu = 20$$

og belastningsmotstanden var $R_l = 30000$. Vi kan beregne forsterkningen enten som

$$A = 0,002 \frac{10000 \cdot 30000}{10000 + 30000} = 15$$

eller

$$A = 20 \frac{30000}{10000 + 30000} = 15$$

Resultatet blir naturligvis det samme etter begge formler, og stemmer også med det vi før har funnet ved å følge forandringene av strømmer og spenninger fra punkt til punkt.

Av disse formlene kan en trekke en rekke slutninger om rørforkerere. En ser at forsterkningen i alminnelighet vil være større jo større μ er. Den kan aldri bli større enn μ , da brøken $R_l : (R_i + R_l)$ alltid er mindre enn 1. Men jo større R_l er og jo mindre R_i er, dess mer nærmer brøken seg til 1, og dess mer nærmer forsterkningen seg til μ . Man kan oppnå samme forsterkning på forskjellig vis:

enten ved å bruke en pentode som har meget stor μ , men samtidig stor R_i , eller ved å bruke en triode som har mindre μ , men også mindre R_i .

Man bør ellers være litt forsiktig med å trekke for alminnelige slutninger av formlene. Det er så mange størrelser som inngår i dem, og det er lett å miste oversikten. Særlig må en huske på at rørkonstantene ikke kan velges fritt, for de er avhengige av hverandre — etter ligningen $\mu = R_i \cdot S$. Tenker en seg å forandre en av dem, må de andre følge med.

Ekvivalente skjemaer

På grunnlag av beregningsformlene kan en lage seg noen meget anskuelige bilder av hvordan en forsterker arbeider. En tenker seg da røret bare som et ledd i en vekselstrømkopling, ser helt bort fra at det i virkeligheten er et elektronrør, og forestiller seg en enkel komponent som i koplingen har *samme virkning* som røret. Dette blir naturligvis bare en tenkt kopling, og det er den som kalles et ekvivalent skjema. Formelen

$$e_a = \mu \cdot e_g \frac{R_i}{R_i + R_l}$$

har ekvivalentskjema som fig. 129 a viser: en generator med spenning $\mu \cdot e_g$ som leverer strøm gjennom en seriemotstand R_i til en belastningsmotstand R_l . Det er en enkel anvendelse av Ohms lov: strømmen i kretsen blir

$$\frac{\mu e_g}{R_i + R_l}$$

og spenningen over belastningsmotstanden (den «nyttige» spenning) blir

$$\mu \cdot e_g \frac{R_l}{R_i + R_l}$$

Dette skjema kalles *ekvivalentskjemaet for konstant spenning*. Det passer best ved beregning av trioder, hvor de to motstandene R_i og R_l ofte er noenlunde like store. For den forsterkeren vi tidligere har beregnet, blir verdiene i ekvivalentskjemaet

$$\mu = 20 \quad R_i = 10000 \quad R_l = 30000$$

Til den andre formelen

$$e_a = S \cdot e_g \frac{R_i \cdot R_l}{R_i + R_l}$$

svarer ekvivalentskjema som fig. 129 b. Brøken i denne formelen

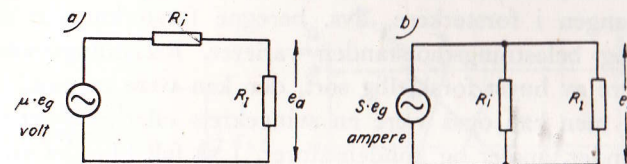


Fig. 129. Ekvivalente skjemaer, a) for konstant spenning, b) for konstant strøm.

er jo uttrykk for motstanden av R_i og R_l koplet i parallell. Vi tenker oss en generator som leverer strøm $S \cdot e_g$ til en slik parallellkopling, — en generator som ikke holder konstant spenning, men leverer konstant strøm, uansett belastningen. Det er en mer uvant forestilling, men i og for seg kan en slik generator godt tenkes. Den nyttige spenning blir

$$S \cdot e_g \frac{R_i \cdot R_l}{R_i + R_l}$$

Dette skjema kalles *ekvivalentskjemaet for konstant strøm*. Det brukes særlig ved beregning av tetroder og pentoder, hvor R_i ofte er meget større enn R_l . I så fall har R_i bare liten virkning, for en stor motstand spiller liten rolle når den koples i parallell med en liten motstand. Typiske verdier for en pentode vil være

$$S = 0,001 \quad R_i = 1000000 \quad R_l = 100000$$

Formelen gir i dette tilfelle

$$e_a = 0,001 \cdot e_g \frac{1000000 \cdot 100000}{1000000 + 100000} = 91 \cdot e_g$$

Etter ekvivalentskjemaet kan vi tenke oss forsterkningen slik: en gittervekselspenning på f. eks. 1 volt tvinger en strøm på $S \cdot e_g = 0,001$ ampere gjennom kretsen. Motstanden av R_i og R_l i parallell er omtrent 91000 ohm, og spenningen over dem blir derfor 91 volt.

Ved overslagsberegninger kan en ofte utelate R_l av skjemaet, og får da en meget enkel tilnærmet formel

$$e_a = S \cdot e_g \cdot R_l \text{ eller } A = S \cdot R_l$$

Ekvivalentskjemaene får vi særlig bruk for når vi skal beregne frekvensgangen i forsterkere, dvs. beregne forsterkningen når frekvensen og belastningsmotstanden varierer. Belastningsmotstanden kan jo være av høyst forskjellig sort, den kan være en vanlig ohmsk motstand, men kan også være en svingekrets eller et annet nettverk av motstander, spoler og kondensatorer. I så fall blir det en belastningsimpedans Z_l en må regne med i stedet for R_l , og impedansen varierer med frekvensen. Ekvivalentskjemaet gir i slike tilfelle en god oversikt.

Grafisk beregning

Den tilnærmede beregningen med rørkonstantene μ , S og R_l forutsetter at disse virkelig er konstanter. Det ville de være hvis rørkarakteristikkene var rette linjer, men det er de ikke, de er alltid mer eller mindre krumme. For en nøyaktig beregning må vi derfor gå tilbake til de virkelige karakteristikkene og følge rørets arbeide fra punkt til punkt langs disse. Bare ved en slik grafisk beregning får vi tak i avvikelsene fra den ideelle virkemåten, og de er meget viktige, fordi disse avvikelsene er årsaken til forvrengning og andre ulemper som i praksis setter grenser for utnyttelsen av rørene.

Som første oppgave skal vi ta grafisk beregning av en forsterker på grunnlag av $I_a E_a$ -karakteristikken, fig. 130. Vi går ut fra at driftsspenningene er gitt, batterispenning $E_b = 200$ volt, gitterspenning $E_g = -3$ volt, og likeså belastningsmotstanden $R_l = 10000$ ohm. Det første som må gjøres, er å bestemme arbeidspunktet. Vi vet at det skal ligge et sted på kurven for $E_g = -3$ volt, men vi vet ikke hvor stor anodestrømmen og anodespenningen vil bli. For å bestemme dette prøver vi oss fram med forskjellige verdier av anodestrømmen: ved $I_a = 0$ må anodespenningen være fulle 200 volt, og det gir punktet merket 1 i figuren. Ved $I_a = 1$ mA er spenningsfallet over belastningsmotstanden 10

volt, så anodespenningen blir 190 volt, punkt 2. Ved $I_a = 2$ mA er spenningsfallet 20 volt og anodespenningen 180 volt, punkt 3. Fortsetter vi på denne måten, får vi fram en rett linje som alle punktene 1, 2, 3, ... ligger på. Denne linjen viser ikke annet enn at

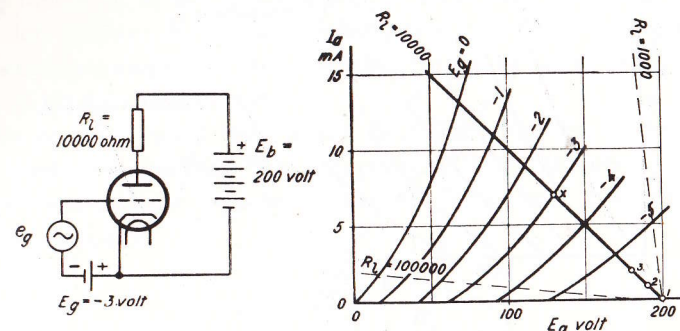


Fig. 130. Konstruksjon av belastningslinje.

anodespenningen faller 10 volt for hver milliampere anodestrømmen øker. Ett av punktene på linjen er imidlertid punktet X på kurven $E_g = -3$ volt, hvor $I_a = 7$ mA og $E_a = 130$ volt. Dette er altså det søkte arbeidspunkt.

Den rette linjen kaller vi *belastningslinjen*. Belastningslinjen for en motstand R_l er alltid en rett linje gjennom det punkt på spenningsaksen som svarer til batterispenningen. For å kunne trekke linjen må vi kjenne ett punkt til, og det kan vi finne ved f. eks. å regne ut anodespenningen ved $I_a = 1$ mA eller 10 mA. En ser lett at belastningslinjen vil gå steilere opp jo mindre belastningsmotstanden er. I figuren er antydnet linjene for $R_l = 1000$ ohm og 10000 ohm. For $R_l = 0$ blir belastningslinjen loddrett på spenningsaksen. Arbeidspunktet er alltid skjæringspunktet mellom belastningslinjen og karakteristikken for den gitte gitterspenningen.

Når vi på denne måten har bestemt arbeidspunktet, blir det neste skritt å finne ut hva som hender når gitterspenningen varierer, f. eks. når gitteret påtrykkes vekselspanning. Vi må da for hver ny verdi av E_g finne hvilken anodestrøm og hvilken anodespenning som innstiller seg, dvs. vi må finne stadig nye skjæringspunkter med belast-

ningslinjen. Den grafiske beregningen består derfor i å følge et punkt som glir langs belastningslinjen, fra den ene karakteristikken til den andre ettersom gitterspenningen varierer. Hver stilling av punktet

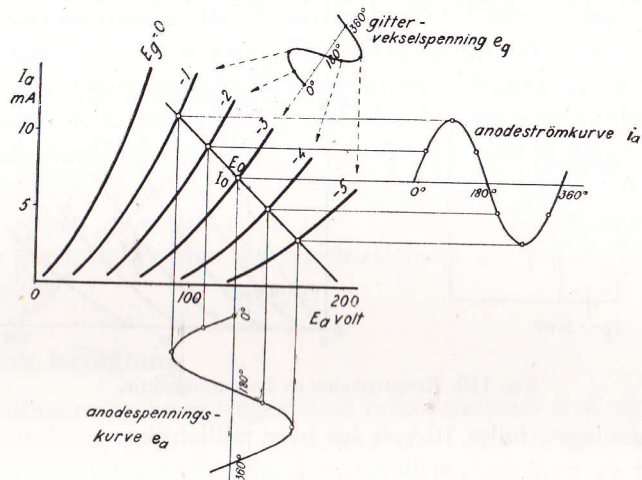


Fig. 131. Konstruksjon av anodespenningskurve og anodestrømkurve ut fra belastningslinjen ved en triode.

gir oss beskjed om verdien av anodestrøm og anodespenning i det tilfelle. Dermed er for så vidt hele oppgaven løst. I fig. 131 er den fullstendige konstruksjonen gjennomført for et forsterkerrør med $E_b = 200$ volt, $E_g = -3$ volt, og $R_i = 10000$ ohm. Den gittervekselspenningen som påtrykkes et forsterkerrør, må i alminnelighet ha amplitude mindre enn E_g forat gitteret ikke skal bli positivt på noe tidspunkt. Her er valgt en amplitude på 2 volt, så gitteret svinger mellom -1 og -5 volt. En har først bestemt arbeidspunktet $E_o I_o$ hvor gittervekselspenningen er null. Deretter har en funnet de punktene som svarer til den positive spenningstopp (90° på kurven for gittervekselspenningen, $E_g = -1$), og den negative spenningstopp (270° , $E_g = -5$). Endelig har en også bestemt to punkter hvor gittervekselspenningen har akkurat halve amplitudeverdien, altså på $E_g = -2$ og -4 volt. En kan nå lese av I_a og E_a i alle punktene og tegne opp hele kurvene for anodestrøm og anodespen-

ning slik som vist i figuren. Det er nødvendig å bestemme mange punkter for å kunne tegne kurvene med sikkerhet, for det er ikke sikkert at anodevekselstrømmen og anodevekselspenningen er sinusformede, selv om gittervekselspenningen er det.

Legg merke til at den positive topp i gittervekselspenningen svarer til den positive topp i anodestrømmen, men til den negative i anodevekselspenningen. Gittervekselspenningen og anodevekselspenningen er altså i motsatt fase.

Ut fra en slik grafisk løsning kan man lett slutte seg til hvordan anodevekselspenningen og dermed spenningsforsterkningen vil variere med belastningsmotstandens størrelse. Vi kjenner resultatet fra beregningsformelen

$$e_a = \mu e_g \frac{R_l}{R_i + R_l}$$

Forsterkningen blir større jo større R_l er, og den nærmer seg μ som maksimum når R_l blir meget større enn R_i , for da nærmer brøken i formelen seg til 1. Den grafiske løsningen viser det samme: en liten belastningsmotstand vil si en meget steil belastningslinje, og den gir bare små variasjoner i anodespenning, altså liten forsterkning. Ettersom R_l øker, svinger belastningslinjen ned i mindre heldning, og anodespenningsvariasjonene blir større. Men dette bildet viser oss noe annet som vi ikke kunne se av formelen: ettersom belastningslinjen svinger ned, må dens skjæring med spenningsaksen rykke lenger og lenger utover, hvis arbeidspunktet skal være det samme. Det vil si at en er nødt til å bruke høyere og høyere batterispenning for å kunne beholde samme arbeidspunkt, altså samme arbeidsforhold for røret. Den store belastningsmotstanden vil jo spise opp en stor del av driftsspenningen. Dette setter i praksis en grense for hvor høyt det vil lønne seg å gå med R_l . Hvis en ikke øker batterispenningen samtidig med R_l , vil hele belastningslinjen forskyves nedover karakteristikkene mot lavere strøm og spenning. Derved kommer man ned i det område hvor kurvene er sterkt krumme, og når også her snart en grense hvor det ikke lønner seg å gå lenger. Valget av R_l må altså bli et kompromiss. I rørfabrikkens håndbøker

vil en finne oppgitt de beste verdier av R_l for hvert rør ved en rekke forskjellige driftsspenninger.

Alt dette gjelder når belastningen er en vanlig ohmsk motstand. Hvis den er en svingekrets, eller en motstand tilkopleet gjennom en

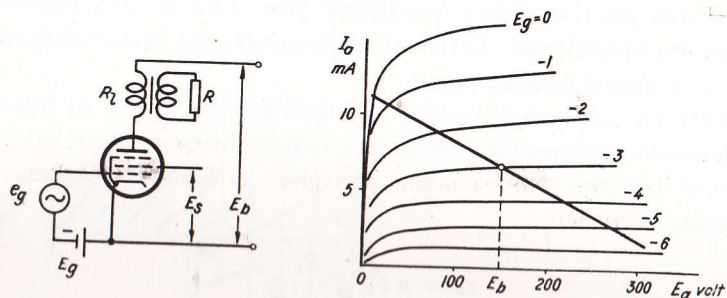


Fig. 132. Belastningslinje for vekselstrømmotstand ved en pentode.

transformator, fig. 132, blir forholdene noe annerledes. Belastningen eksisterer da bare for vekselstrøm, det er praktisk talt null motstand for likestrøm, og det blir derfor ikke noe fall i likespenning over R_l . Diagrammet tilhøyre viser hvordan den grafiske løsning da arter seg. Selve arbeidspunktet finner en nå ved å trekke en linje loddrett på spenningsaksen gjennom det punkt som svarer til batterispenningen E_b . Denne linje kan en betrakte som belastningslinjen for null motstand (likestrømmotstand). Skjæringspunktet mellom linjen og anodestrømkurven for rørets gitterforspenning gir arbeidspunktet. Gjennom arbeidspunktet trekker en så den virkelige belastningslinjen med en helling som svarer til den R_l anodekretsen har for vekselstrøm. Langs denne linjen følger en strøm- og spenningsvariasjonene, og finner kurvene for anodestrøm og anodespenning på samme måte som før.

Legg merke til at spenningen her svinger omkring verdien E_b , både høyere og lavere. Det er ingenting i veien for at spenningen på anoden øyeblikkvis er meget høyere enn driftsspenningen når belastningen er en svingekrets eller en transformator. I en slik forsterker kan en også øke belastningsmotstanden uten at det fører til

vanskeligheter med driftsspenningen. Det blir da helt andre forhold som avgjør valget av en riktig belastning for røret.

Vi har her vist den grafiske beregningen i $I_a E_a$ -diagrammet. Ønsker man å bruke $I_a E_g$ -diagrammet, må man for hver verdi av R_l

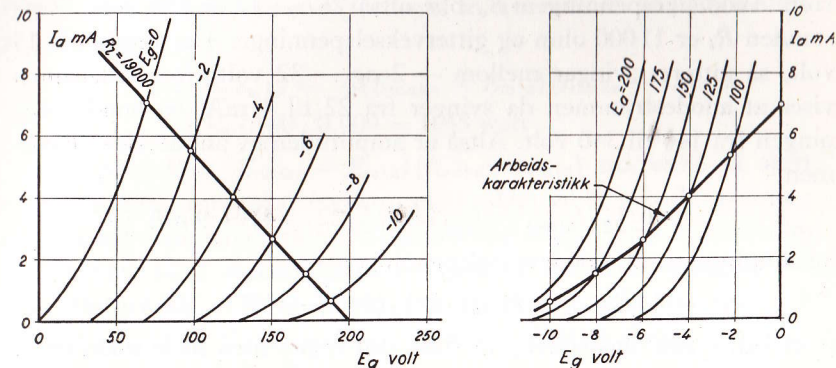


Fig. 133. Belastningslinje og arbeidskarakteristikk.

bestemme en ny $I_a E_g$ -kurve som viser den anodestrøm som da vil innstille seg. Denne kurven kaller en ofte *arbeidskarakteristikken* eller den «dynamiske karakteristikk», til forskjell fra den vanlige karakteristikk som gjelder for null belastningsmotstand. Fig. 133 viser hvordan en kan finne arbeidskarakteristikken ut fra belastningslinjen. (Sammenlign fig. 107).

Effektberegning

Vi har hittil regnet med ren spenningsforsterkning, slik som vi har det i mange tilfelle hvor et forsterkerør bare har til oppgave å multiplisere en spenning opp og levere den videre til neste rør. I andre tilfeller kreves det imidlertid at et rør skal levere en viss effekt, f. eks. til en høyttaler som omformer den til lyd. Det viktigste hensyn er da å få effekten stor. Stor effekt forlanger store strøm- og spenningsvariasjoner, og man kan derfor bare bruke grafiske beregningsmetoder.

Den første oppgaven blir å beregne hvilken nytte-effekt P_n et rør leverer til en gitt belastningsmotstand R_l når det påtrykkes en viss

gittervekselspenning. Belastningen betraktes i praksis som en ren (d.e. reaktansfri) motstand, tilkopleet over en transformator, så røret er bare belastet vekselstrømsmessig. Belastningslinjen blir altså som vist i fig. 134, som gjelder for en triode ved $E_b = 267$ volt og $E_g = -17$ volt. Anodelikespenningen E_o blir altså $267 - 17 = 250$ volt. Motstanden R_l er 11000 ohm og gittervekselspenningen har amplitude 15 volt, så gitteret svinger mellom -2 og -32 volt. Konstruksjonen viser at anodestrømmen da svinger fra 22 til 4 mA, og anodespenningen fra 140 til 340 volt. Altså er amplituden av anodevekselstrømmen

$$i_a = \frac{1}{2}(I_{\text{maks}} - I_{\text{min}}) = \frac{1}{2}(22 - 4) = 9 \text{ mA}$$

og amplituden av anodevekselspenningen er

$$e_a = \frac{1}{2}(E_{\text{maks}} - E_{\text{min}}) = \frac{1}{2}(340 - 140) = 100 \text{ volt}$$

(Det kan synes omstendelig at man skal regne med både maksimum og minimum i stedet for å lese av amplitudeverdiene direkte mellom arbeidspunktet og ett av ytterpunktene. En gjør det fordi variasjonene av strøm og spenning som regel ikke foregår symmetrisk om-

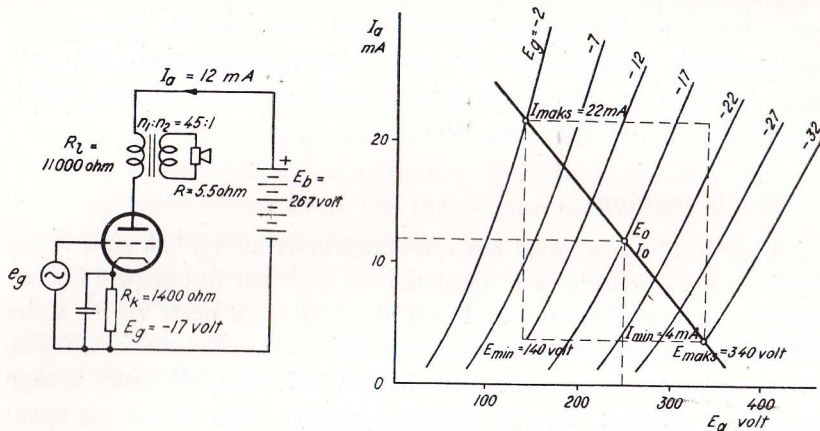


Fig. 134. Grafisk beregning av avgitt effekt.

kring arbeidspunktet, — i eksemplet svinger spenningen 110 volt den ene veien og bare 90 volt den andre. Ved å regne med begge verdiene får en et riktigere resultat).

Effekten vet vi er produktet av strøm og spenning. Dette gjelder også for vekselstrøm når vi regner med effektivverdiene, og når det ikke er noen faseforskyvning mellom strøm og spenning. De verdier vi har beregnet ovenfor er amplitudeverdier, og de må divideres med $\sqrt{2}$ for å gi effektivverdiene (forutsatt at kurvene er sinusformede). Effekten blir derfor

$$\begin{aligned} P_n &= \frac{1}{2} e_a i_a = \frac{1}{8} (E_{\text{maks}} - E_{\text{min}}) (I_{\text{maks}} - I_{\text{min}}) \\ &= \frac{1}{2} \cdot 100 \cdot 0,009 = 0,45 \text{ watt} \end{aligned}$$

Dette produktet $(E_{\text{maks}} - E_{\text{min}})(I_{\text{maks}} - I_{\text{min}})$ må være så stort som mulig for at røret skal avgi stor effekt. Det vil si at både spenning og strøm må variere med store utslag omkring arbeidspunktet, eller som en ofte sier, både «spenningsutstyringen» og «strømstyringen» må være store. I fig. 134 er tegnet inn en firkant som har sider lik $(E_{\text{maks}} - E_{\text{min}})$ og $(I_{\text{maks}} - I_{\text{min}})$. Flateinnholdet av denne er et mål for nytteeffekten, lik $8 \cdot P_n$.

Røret arbeider her som en omformer av effekt. Det mottar hele tiden likestrømseffekt fra anodebatteriet (eller annen kraftforsyning), og leverer en del av denne til belastningen som vekselstrømseffekt. Den tilførte effekt til røret er produktet av likestrøm og likespenning

$$P_o = E_o \cdot I_o$$

I eksemplet er $P_o = 250 \cdot 0,012 = 3$ watt.

I fig. 134 er også antydnet en firkant med sider E_o og I_o . Flateinnholdet av den er direkte et mål for effekten P_o .

Forholdet mellom avgitt og tilført effekt er det vi kaller virkningsgraden av omformerer (røret). Den betegnes med bokstaven η (uttales eta):

$$\eta = \frac{P_n}{P_o}$$

I eksemplet er

$$\eta = \frac{P_n}{P_o} = 0,15$$

Rør arbeider med forholdsvis lav virkningsgrad. Teoretisk vil en få maksimum effekt ved å styre røret helt ut, dvs. til $E_{\text{min}} = 0$ og $I_{\text{min}} = 0$.

Som fig. 135 viser, blir da $E_{\text{maks}} = 2E_0$ og $I_{\text{maks}} = 2I_0$. Firkanten for avgitt effekt er altså vokset helt ut til aksene og kan ikke bli større.

Effekten er da

$$P_n = \frac{1}{8} \cdot 2E_0 \cdot 2I_0 = \frac{1}{2} E_0 I_0$$

og virkningsgraden er 50 prosent. Dette er teoretisk den høyeste

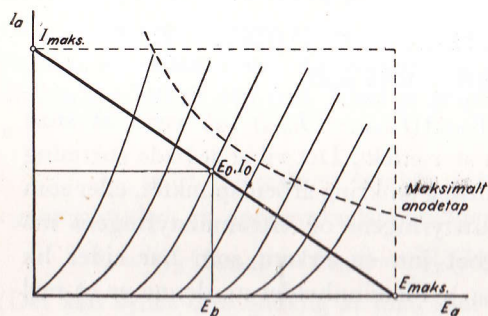


Fig. 135. Maximal utstyring.

Forskjellen ligger i at pentoder tillater større spenningsutstyring, idet karakteristikken for $E_g = 0$, som da er grensen for utstyringen, ligger meget nær strømaksen (se fig. 132), så E_{min} kan gjøres meget liten. Ved trioder vil E_{min} være adskillig høyere.

(Som vi senere skal se, finnes det forsterkere som har meget høyere virkningsgrad enn 50 prosent. I disse er anodestrømvariasjonene langt fra sinusformet, og forholdet mellom amplitudeverdi og effektivverdi er derfor et annet enn det beregningen ovenfor er basert på).

Effekt og virkningsgrad avhenger som en forstår, sterkt av hvilken belastningslinje en velger, altså av belastningsmotstanden. For den maksimale utstyringen må motstanden være $R_l = E_0 : I_0$. Imidlertid er det i praksis mange andre hensyn å ta ved valget av belastningsmotstand, og vi må undersøke rørets arbeidsmåte nøyere før vi kan treffe valget.

Differansen mellom tilført og avgitt effekt er gått tapt, den er blitt til varme på rørets anode. Denne del av effekten, *anodetapet* P_t , er en meget viktig størrelse ved effektforsterkere, for den setter en grense for hvor stor effekt en kan få ut av røret. Ethvert rør har

et maksimalt tillatt anodetap som ikke må overskrides forat anoden ikke skal bli for varm. I rørkatalogene vil en finne det oppgitt blant rørets *maksimaldata*. I fig. 135 er tegnet inn en streket kurve som viser grensen for det tillatte anodetap, dvs. den største tillatte anodestrøm ved forskjellige anodespenninger. Arbeidspunktet for røret må alltid velges *under* denne kurven, men det kan velges enten ved høy spenning og svak strøm eller ved lav spenning og sterk strøm. I praksis vil en merke at anoden blir varmest når røret ikke avgir effekt, for da vil all den tilførte effekt gå over til varme. Så snart røret belastes, blir anoden kaldere.

Andre maksimaldata for røret er den maksimale spenning det tåler mellom anode og katode uten fare for gjennomslag, og den maksimale strøm som katoden tåler å emittere. Ved beregningen av en forsterker må en være oppmerksom på alle disse tre begrensningene.

Forvrengning

Den nøyaktige grafiske beregningen viser at vekselstrømmen og vekselspenningen på anodesiden ikke alltid er sinusformet, selv om den påtrykte gittervekselspenningen er det. I fig. 134 er f. eks. de to halyperiodene ikke like. I en ideel forsterker ville anodevekselspenningen være en tro kopi av gittervekselspenningen, men det er den aldri i praksis, — alle forsterkere forandrer kurveformen mere eller mindre. Man sier at de innfører forvrengning eller distorsjon.

Fig. 136 viser igjen karakteristikkene for en triode med den vanlige belastningslinjekonstruksjonen, og med anodestrømkurve opptegnet. Den er sterkt usymmetrisk med en høy og spiss positiv topp og en flattrøkt negativ topp. Årsaken til det er lett å se av figuren: karakteristikkene ligger meget tettere sammen på den nedre delen av belastningslinjen enn på den øvre. Om man forandrer gitterspenningen 1 volt, blir den tilsvarende forandringen i anodestrømmen meget forskjellig ettersom man arbeider ved lave eller høye gitterspenninger. Det er det samme som å si at steilheten av røret

$$\frac{\Delta I_a}{\Delta E_g}$$

ikke er konstant. Hvis det var mulig å lage et rør hvor steilheten og de andre rørkonstantene virkelig var konstante, ville det gi ideell forsterkning uten forvrengning. Men noe slikt rør har det aldri lyktes å lage. Alle rør avviker mere eller mindre fra idealet, karakteristikkene er krumme, og forsterkningen blir derfor mangelfull. Selvsagt gjør dette seg mere gjeldende jo større rørets utstyring er. Er den meget liten, arbeider røret bare i et lite område nær omkring arbeidspunktet, og da er avvikelserne fra idealkarakteristikken små og forvrengningen forsvinnende. Men ved økende utstyring (stor effekt) vokser forvrengningen i alminnelighet raskt.

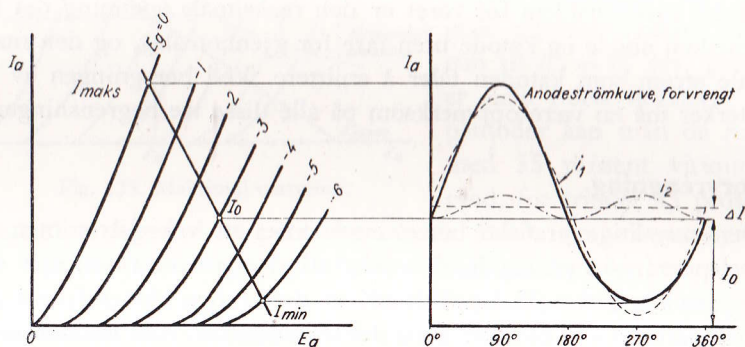


Fig. 136. Forvrengning i en triode.

En slik forvrengning som i fig. 136 er typisk for en triode. Det er vanlig å karakterisere forvrengningen ved å angi anodevekselstrømmens (eller spenningens) innhold av harmoniske svingninger. Vi vet at enhver vekselstrømskurve kan løses opp i enkle sinuskurver, en av grunnfrekvensen (første harmoniske), en med den dobbelte frekvens (annen harmoniske), en med tre ganger så høy frekvens (tredje harmoniske) og så videre. I dette tilfelle er vekselstrømmen overlappet en likestrøm og det blir ialt fire komponenter kurven er bygget opp av (se figuren): 1) likestrømmen I_0 , 2) likestrømmen ΔI som er likerettet strøm (røret virker ikke bare som forsterker, men også som likeretter fordi karakteristikken er usymmetrisk omkring arbeidspunktet), 3) vekselstrømmen i_1 av grunnfrekvens, 4) vekselstrømmen i_2 av den dobbelte frekvens og med amplitude omtrent $1/9$ av i_1 .

Noen merkbar tredje harmonisk er det ikke, og forvrengningen består altså vesentlig i at det er dannet en annen harmonisk. Ved trioder er det i regelen den annen harmoniske som dominerer; de høyere harmoniske har forholdsvis meget liten amplitude. Størrelsen av forvrengningen avhenger foruten av utstyringen også sterkt av belastningsmotstanden. I figuren er belastningslinjen temmelig steil, R_L altså liten, og I_{maks} kommer derfor høyt opp på karakteristikken, mens I_{min} går ned i det område hvor karakteristikken krummer sterkest og ligger tett sammen. Gjører man R_L større, vil belastningslinjen forløpe flatere, og dens skjæringspunkter med karakteristikken vil fordele seg mer jevnt. Ved en triode (fig. 137) blir derfor forvrengningen mindre jo større belastningsmotstanden er.

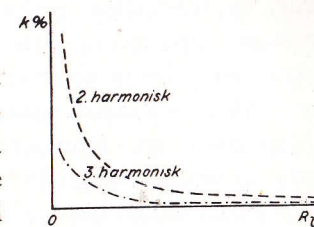


Fig. 137. Forvrengning i en triode som funksjon av R_L

En kan beregne forvrengningen ut fra en konstruksjon som i fig. 136. For amplituden av den annen harmoniske gjelder formelen

$$i_2 = 1/4 (I_{maks} + I_{min} - 2I_0)$$

For de høyere harmoniske kan en stille opp lignende formler, men må da ta med flere verdier av strømmen, ikke bare maksimum og minimum, men også mellomliggende verdier.

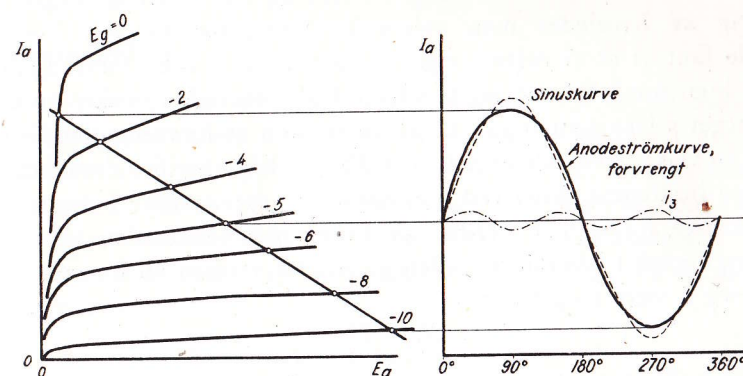


Fig. 138. Forvrengning i en pentode.

Fig. 138 viser karakteristikkene for en pentode med anodestrømkurven opptegnet på samme måte. Den viser også tydelig forvrengning, men av en annen art: kurven er noe flattrykt på begge toppene, og forskjellen mellom den og den nøyaktige sinuskurven er en strøm med frekvens tre ganger grunnfrekvensen, altså den tredje harmoniske. Dette kommer av den formen pentodekarakteristikkene har. Slik som belastningslinjen er lagt i dette tilfelle, kommer den i begge ender inn i områder hvor karakteristikkene ligger tettere sammen, og derfor blir de to halvperioder av anodestrømmen like. Det er da ingen annen harmonisk, men bare tredje og høyere. Ved andre verdier av R_L , både større og mindre, forsvinner denne symmetrien,

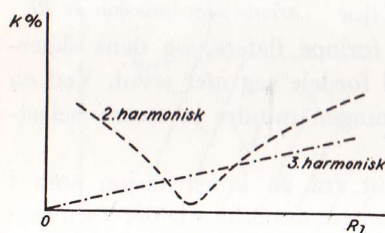


Fig. 139. Forvrengning i en pentode som funksjon av R_L .

og vi får både annen og tredje harmoniske. Dette er karakteristisk for forvrengningen i en pentode, det er et tydelig minimum av forvrengningen ved en bestemt belastningsmotstand, slik som fig. 139 viser. De høyere harmoniske er forholdsvis sterkere enn ved trioden.

Valg av belastningsmotstand

Som vi har sett, er både avgitt effekt og forvrengning meget avhengig av hvorledes man velger belastningsmotstanden. For en triode fant vi at vi måtte velge R_L stor for å få liten forvrengning, men liten for å få stor avgitt effekt. I alminnelighet ønsker en å få så meget effekt som mulig ut av røret uten at forvrengningene går over en viss grense. Den verdien av R_L som tilfredsstillter dette kravet, kan en bestemme enten ved å gjennomføre den grafiske beregningen for mange forskjellige verdier av belastningsmotstanden, eller ved direkte forsøk i laboratoriet. Den gunstigste verdien vil for en triode vise seg å være meget nær

$$R_L = 2R_i$$

Denne enkle formelen gir ofte godt resultat. (Legg merke til at vi

her ikke får den alminnelige tilpasningsregelen, $R_L = R_i$, fordi oppgaven her er en annen enn ved vanlig enkel effekt-tilpasning.)

For en pentode eller tetrode finnes det, som vi har sett, en verdi av R_L som gir minimum forvrengning. Likeså finnes det en verdi som gir maksimum av effekt. Søker man her den verdien som vil gi maksimum effekt uten at forvrengningen blir for stor, vil man finne en R_L som er meget mindre enn rørets indre motstand, ofte bare $1/5$ til $1/10$ av R_i . Dette er i regelen meget nær den verdien som gir minimum av den annen harmoniske. Likesom for trioder kan man bestemme R_L enten ved konstruksjon ut fra karakteristikkene, eller ved måling.

Rørfabrikantene har alltid utført detaljerte undersøkelser av disse forholdene for hver rørtypen, og oppgir i rørkatalogene de gunstigste verdier av belastningsmotstanden ved forskjellige driftsspenninger, samt den effekt røret kan avgi og den forvrengning det vil gi under forskjellige forhold. Ofte får man oppgitt kurver for forvrengningen ved økende effekt.

Vi har her behandlet beregningen av effektforsterkere vesentlig med tanke på lavfrekvensforsterkere for tale eller musikk, hvor det er forvrengningen som er avgjørende for konstruksjonen. I andre forsterkertyper, særlig da i høyfrekvens effektforsterkere, blir det helt andre forhold, som vi senere skal se.

Rørbetegnelser

Alle rørtypen er forsynt med kjenningsmerker. En del av dem er bare vilkårlige nummer, men oftere er de sammenstillinger av tall og bokstaver som gir opplysning om rørets art etter et eller annet kodesystem. Et eksempel på et slikt system er følgende, som flere europeiske rørfabriker siden 1934 har brukt for mottakerrør:

Typenummeret består av flere bokstaver og et tall. Første bokstav angir rørserien:

- A — 4 volt vekselstrømserie
- C — 200 mA likestrøm-vekselstrømserie

D — 0,5–1,5 volt batteriserie	
E — 6,3 » vekselstrømserie	
K — 2 » batteriserie	
P — 300 mA likestrøm-vekselstrømserie	
U — 100 » likestrøm-vekselstrømserie	

Annen bokstav angir rørets art. For kombinasjonsrør brukes flere bokstaver, en for hvert system som inngår i kombinasjonene:

A — diode	K — oktode
B — dobbelt-diode	L — pentode (sluttrør)
C — triode (ikke sluttrør)	M — avstemningsindikator
D — triode (sluttrør)	X — toveis likeretter, gassfylt
E — tetrode	Y — enveis likeretter, vakuum
F — pentode (spenningsforsterker)	Z — toveis likeretter, vakuum.
H — heksode eller heptode	

Til slutt kommer et tall hvis første siffer angir sokkeltypen, mens annet og eventuelt tredje siffer angir rørets plass i rekken av forskjellige utførelser av samme konstruksjon. Er f. eks. første siffer 2, har røret oktalsokkel, mens siffer 3 angir oktalsokkel osv.

Eksempel: Røret EL34 hører til 6,3 volt serien, er en utgangspentode, har oktalsokkel og er den fjerde i rekken.

Amerikanske rør har for det meste kjenningstegn som består av:

1. Et tall som angir den omtrentlige glødespenning, slik at f. eks. 5 betyr glødespenninger fra 5 til 6 volt, 6 fra 6 til 7 volt, og så videre. (Unntagelse: 2-volts rør har tallet 1, mens 2 brukes for 2,5-volts rør).
2. En eller to bokstaver som bare tjener som referanse for rørtypen og som i alminnelighet ikke har noen spesiell mening.
3. Et tall som angir hvor mange elektroder røret har som er ført ut til sokkelen.

I tillegg til dette kommer ofte bokstaver som angir hva slags kolbe røret har, G og GT for forskjellige glasskolber, GL for glass-

kolbe med oktalsokkel. Metallrør har M, men den utelates ofte. De såkalte «single ended» rør har tilleggsbokstaven S mellom første siffer og første bokstav. Vi har f. eks. pentoden 6J7 med metallkolbe, 6J7G og 6J7GT med glasskolbe, 6SJ7 med metallkolbe og styregitteret tatt ut på sokkelen. Røret 6L6 er en tetrode som også finnes i utførelsen 6L6G. Samme rør med en annen glødespenning heter 25L6G.

Oppgaver

1. I en triode er anodestrømmen 6 mA ved 300 volt anodespenning, og 7,5 mA ved 330 volt og uforandret gitterspenning. Beregn den indre motstand.
Svar: 20000 ohm.
2. I en triode er anodestrømmen 6 mA ved — 12 volt gitterspenning, og 8 mA ved — 10 volt og uforandret anodespenning. Beregn steilheten.
Svar: 1 mA/V.
3. I en pentode er steilheten 1,2 mA/V og den indre motstand 1 megohm. Beregn forsterkningsfaktoren.
Svar: 1200.
4. En triode har steilhet 1,4 mA/V og indre motstand 50000 ohm. Beregn hvilken forsterkning den gir med en motstand på 75000 ohm i anodekretsen.
Svar: 42 ganger.
5. En pentode har steilhet 0,75 mA/V og indre motstand 0,8 megohm. Beregn hvilken forsterkning den gir med en motstand på 0,2 megohm i anodekretsen.
Svar: 120 ganger.
6. En triode har en forsterkningsfaktor på 65 og indre motstand 65000 ohm. Beregn hvilken forsterkning den gir med en motstand på 65000 ohm i anodekretsen.
Svar: 32,5 ganger.

7. En pentode har indre motstand 1,0 megohm og gir forsterkning 200 ganger med en motstand på 0,2 megohm i anodekretsen. Beregn dens steilhet.

Svar: 1,2 mA/V.

8. Det tillatte anodetap i et rør er 9 watt. Beregn den maksimale tillatte anodelikestrøm ved anodespenning 100V, 200V og 300V.

Svar: 90 mA, 45 mA, 30 mA.

9. Anodestrømmen i en triode er 25 mA ved anodespenning 300 volt. Beregn anodetapet når avgitt effekt er null, og når den er 2 watt.

Svar: 7,5 watt, 5,5 watt.

10. Et rør trekker i arbeidspunktet en anodestrøm på 36 mA ved anodespenning 250 volt. Det utstyres med en vekselspanning inntil anodespenningen svinger mellom 50 og 450 volt, og anodestrømmen mellom 6 mA og 66 mA. Beregn avgitt effekt og virkningsgraden.

Svar: 3 watt. 33,3 prosent.

Kap. 10.

FORSTERKERE

Klassifisering

Av rørforsterkere finnes det en rekke forskjellige typer, og det er praktisk å dele dem i grupper etter hva de brukes til eller etter hvilken måte de arbeider på. En skiller f. eks. mellom *høyfrekvensforsterkere*, som brukes for radiofrekvenser, og *lavfrekvensforsterkere*, som brukes for frekvensområdet 30—15000 c/s (i spesielle tilfeller også høyere). Eller en deler i *avstemte* og *uavstemte* forsterkere. De første forsterker bare et forholdsvis smalt frekvensbånd omkring en viss avstemningsfrekvens, og er i alminnelighet avstemt med svingekretser. Ikke avstemte forsterkere gir samme forsterkning for alle frekvenser innen et forholdsvis stort frekvensområde, uten å framheve

noen enkelt frekvens. Som regel er høyfrekvensforsterkere avstemte, lavfrekvensforsterkere uavstemte.

En annen inndeling er i *spenningsforsterkere* og *effektforsterkere*. De første er beregnet på å gi stor forsterkning og levere en høy utgangsspenning, men ikke nevneverdig effekt, og de siste på å avgi størst

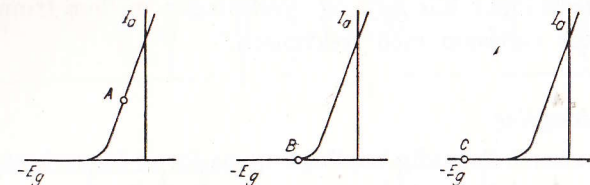


Fig. 140. A-, B- og C-forsterker.

mulig effekt til en belastning. Ved forsterkning av svake signaler bruker man først et eller flere trinn spenningsforsterkning, og når man på den måten har fått spenningen høy nok, lar man den styre siste forsterkertrinn, som er en effektforsterker og leverer effekt til en forbruker, f. eks. en høyttaler. — Effektforsterkere kan igjen deles i *A-*, *B-*, eller *C-forsterkere*. Det er også en type som betegnes med AB, og undertiden brukes tall 1 og 2 i tillegg for å angi undergrupper, som f. eks. AB1. Det som skiller mellom disse klassene, er vesentlig valget av arbeidspunkt for røret. Fig. 140 viser skjematiske $I_a E_g$ -karakteristikkene med inntegnet arbeidspunkt. Ved A-forsterkning ligger det omtrent midt på karakteristikken, ved B-forsterkning i fotpunktet, og ved C-forsterkning et stykke utenfor. AB-forsterkere er en mellomting mellom A og B. Tilleggstill 1 betyr at en arbeider bare på den delen av karakteristikken hvor gitterspenningen er negativ, tilleggstill 2 at en styrer ut røret så gitteret blir positivt i en del av perioden.

Spenningsforsterkere

Vi vil først behandle spenningsforsterkere for lavfrekvens. Til disse er det vesentlig tre krav som stilles: forsterkningen skal være høy, den skal være den samme for alle frekvenser innen et gitt område, og forvrengningen skal være liten. Det siste kravet er som