»Minnesrör.»

För tillämpningar i samband med bl. a. radar och matematikmaskiner ha speciella rör konstruerats, avsedda att magasinera information i form av laddningar på ett sätt som påminner om kamerarörens funktion. Dessa rör ha så skiftande konstruktion, bl. a. beroende på den avsedda tillämpningen, att här endast deras existens må påpekas.

Räknerör.

I samband med arbeten med radioaktiva material, inom elektronisk kopplingsteknik m. m. föreligga ofta önskemål om att räkna och registrera korta elektriska pulser. Härför ha utvecklats speciella »räknerör», t. ex. dekatronen och trokotronen (fig. 142). Det senare röret medger en räknehastighet upp till 10^6 pulser per sekund. Funktionen förutsätter ett korsat elektriskt och magnetiskt fält.

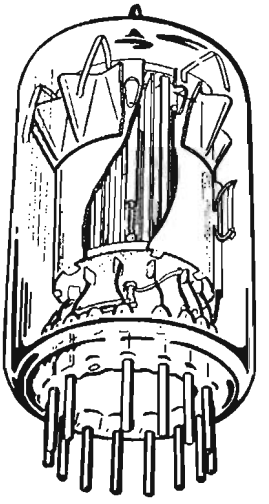

Fig. 142. Trokotron för räkning av snabba pulståg. Röret visat utan permanent magnet.

7. Jonrör

Jonrör kunna uppdelas i två grupper med tämligen artskilda egenskaper: rör med termisk katod och kallkatodrör. Bägge grupperna innefatta motsvarigheter till vakuumrörens dioder, trioder och tetroder m. fl.

Jonrör med termisk emission

I denna grupp förekommande typer ha i princip samma uppbyggnad som motsvarande högvakuumrör men ha dessutom försetts med en ång- eller gasfyllning, som, då den joniseras av elektronströmmen, bidrar till att upphäva den negativa rymdladdningen, varigenom möjlighet vinnes att taga ut stora anodströmmar vid lågt inre spänningsfall i röret. Max. uttagbar anodström bestämmes dock även här av katodens emissionsförmåga.

Jonrör av diodtyp med termisk katod.

Rören i denna grupp arbeta praktiskt taget uteslutande med direkt uppvärmda oxidkatoder. De innehålla kvicksilverånga i jämvikt med flytande kvicksilver eller någon ädelgas såsom argon, xenon eller neon vid ett jämförelsevis lågt tryck, storleksordningen 10^{-3} mm Hg. Om man anlägger en svag positiv anodspänning, uppför sig röret helt som ett vakuumrör, dvs. karakteristikan följer 3/2-lagen. Höjes anodspänningen ytterligare, uppnå elektronerna tillräcklig hastighet för att jonisera gasen, så att fria positiva joner bildas. Förekomsten av dessa positiva laddningar medför ett upphävande av den negativa rymdladdningen i större delen av urladdningsutrymmet, så när som

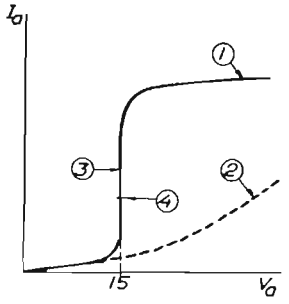

Fig. 143. $I_a V_a$-karakteristika för gas- eller ångfyllt likriktarrör (jondiod). 1. Katodens maximala emission. 2. Karakteristika vid högvakuum. 3. Joniseringsspänning. 4. Lämplig maximidriftström.

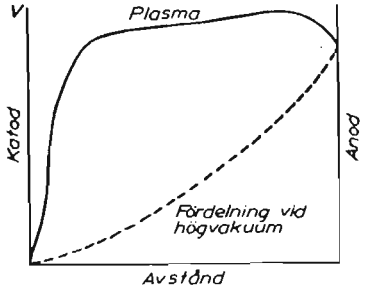

Fig. 144. Potentialfördelningen i en jondiod. För jämförelses skull har den streckade kurvan, som avser samma diod vid högvakuum, inlagts.

på området närmast katoden. Fig. 143 och fig. 144 åskådliggöra de radikala förändringar i $I_a V_a$-karakteristikan och potentialfördelningen i röret, som gasfyllningen förorsakar. Jonerna och elektronerna forma ett »plasma», kännetecknat av nära jämvikt mellan de positiva och negativa laddningarna och låg negativ fältstyrka. På grund av ett visst överskott på joner blir potentialen i plasmat t. o. m. något högre än anodspänningen, såsom framgår av fig. 144. Under inflytande av den svaga fältstyrkan i plasmat röra sig jonerna mot katoden och elektronerna mot anoden. Jonernas stora massa gör att deras hastighet blir låg i jämförelse med elektronernas. Huvuddelen av strömmen befordras alltså av elektroner. Spänningsfallet i röret är lokaliserat till mellanrummet mellan katoden och plasmat, och där accelereras de från katoden emitterade elektronerna tillräckligt starkt för att åstadkomma jonisering vid plasmats gränsyta. Spänningsfallet bestäms tydligen av gasens joniseringsspänning och uppgår vid kvicksilverånga till 10—15 V, huvudsakligen beroende på trycket. Först då strömmen ökas utöver katodens emissionsförmåga, stiger spänningsfallet hastigt, men sådan drift medför snabb förstöring av katoden, då den ju samtidigt utsättes för bombardemang med joner, vilkas hastighet motsvarar det högre spänningsfallet. Joner med högre accelerationsspänning än ca 22 V ha nämligen tillräcklig energi för att slå sönder och skjuta loss delar av katodskiktet. Då spänningen över röret sänkes, så att strömmen avbrytes, upplöses plasmat genom att jonerna, som befinna sig i ständig rörelse, vid ankomsten till elektroder och väggar upptaga elektroner och återgå till oladdade gasmolekyler. Denna process, *avjonisering*, kräver dock en viss tid, längre vid tunga joner, t. ex. kvicksilver.

Plasmat har den säregna egenskapen att anpassa sin utsträckning efter urladdningsrummets form och kan därför tränga igenom både trånga och krokiga passager. I syfte att höja katodverkningsgraden utnyttjas vid gasfyllda likriktarrör denna omständighet genom att man anbringar skärmar omkring katoden för att minska värmeutstrålningen. Själva katoden utformas så att oxidskiktets yta blir den största möjliga samtidigt som god vidhäftning vid underlaget eftersträvas. Själva katodkroppen utgöres därför ofta av ett veckat eller spirallindat nickelband, det senare eventuellt i form av en »väv» av nickeltråd (fig. 145). Glödspänningen är genomgående låg, glödströmmen hög. En för hög glödspänning eller hög resistans i katoden medför nämligen ogynnsam fördelning av emissionsströmmen utefter katoden.

Fig. 146 visar ett typiskt kvicksilverångfyllt likriktarrör, typ 866-A, avsett för en maximal medelström av 0,25 A och maximal spärrspänning 10 kV. Toppströmmen får uppgå till 1 A (gränsvärde, bestämt med hänsyn till kato-

dens momentana emissionsförmåga). Anoden, uttagen i rörets topp, har, tack vare den låga anodförlusten, överraskande små dimensioner.

Grafiska symbolerna för jonrör fås genom att i motsvarande symboler för vakuumrör införes en »punkt» eller, alternativt, medelst »streckning» antyda närvaron av fyllningen, fig. 147.

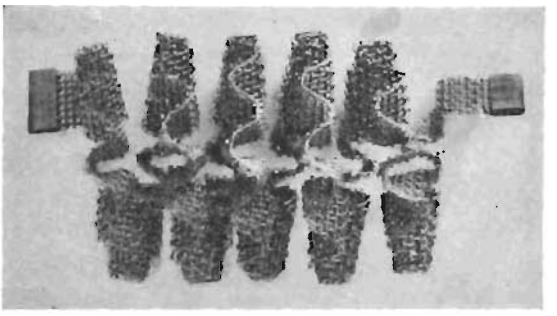

Fig. 145. Obelagd katodkropp avsedd för jonrör med stor strömbelastning. Det veckade och spirallindade bandet, vävt av nickeltråd, ger en stor effektiv katodyta med relativt låg värmeutstrålning. Väven erbjuder gott fäste för det påsprutade oxidskiktet.

Kolven innehåller små mängder flytande kvicksilver. Ångtrycket i röret blir därför enligt lagen om »kalla väggen» bestämt av kolvtemperaturen. Då ångtrycket, som framgår av diagrammet i fig. 148, i hög grad påverkar rörets inre spänningsfall och spärrspänning, är det tydligt att man vid rörets drift måste ge akt på att stipulerade temperaturgränser ej överskridas. För låg driftstemperatur (lågt ångtryck) medför risk för katoden på grund av högt inre spänningsfall och eventuellt otillräcklig jonisation. Vid för hög temperatur återigen blir ångtrycket så stort att en urladdning riskeras i spärriktningen, alltså med anoden som katod.

I de fall där kravet på kontrollerad temperatur i omgivningen är svårt att möta, ställa sig rör med ädelgasfyllning, t. ex. xenon, fördelaktiga, då de kunna arbeta inom mycket vida temperaturgränser, t. ex. — 75° till + 90°. Livslängden hos dessa nedsättes emellertid därigenom att gasen under rörets drift långsamt förbrukas. Vid användning av gasfyllda likriktarrör förtjäna följande synpunkter att beaktas:

Röret får ej belastas förrän katoden nått full driftstemperatur. Den tid som åtgår härför brukar anges i databladen och är vanligen relativt lång, beroende på den förhållandevis låga glödeffekten. Vid kvicksilverångfyllda rör ökas risken för »baktändning» (urladdning i spärriktningen) avsevärt om flytande kvicksilver genom omstjälpning av röret under transport t. ex. hamnat på elektroderna. Förvärmningen av katoden bör i sådana fall utsträckas till storleksordningen 15 min. Av liknande skäl få sådana rör endast användas i upprätt läge.

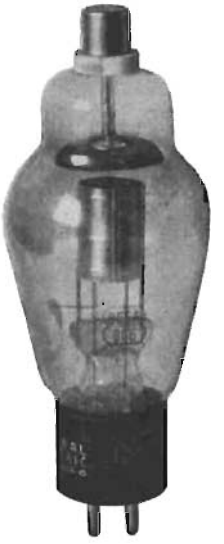

Fig. 146. Kvicksilverångfylld likriktarrör 866-A. Katoden, av samma typ som i fig. 145, inneslutes av en plåtcylinder för att minska värmeutstrålningen. Kondenserat kvicksilver, delvis i droppform, synes på glaskolvens insida.

Med hänsyn till avjoniseringstiden blir den tillåtna spärrspänningen avhängig av den likriktade växelspänningens frekvens. Starka radiofrekventa fält invid röret måste också undvikas, då därigenom avjoniseringen kan förhindras med baktändning som följd.

Parallellkoppling av gasfyllda rör kan på grund av den låga inre resistansen ej genomföras utan att separata serie-

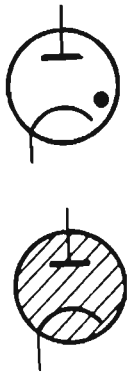

Fig. 147. Olika sätt att markera gas- eller ångfyllning i elektronrör (i detta fall dioder).

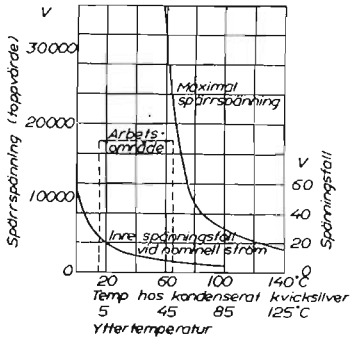

Fig. 148. Maximal spärrspänning och inre spänningsfall vid kvicksilverångfyllt likriktarrör som funktion av ångtryckel, definierat av kolvtemperatur, resp. yttertemperatur.

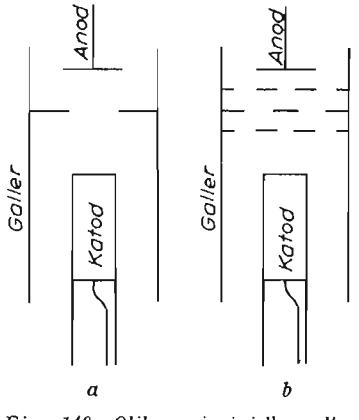

Fig. 149. Olika principiella gallerkonstruktioner vid thyratroner. Alternativ a ger lägre kontrollfaktor, dvs. kräver större negativ gallerspänning för spärrning än b.

motstånd inkopplas, så att en definierad strömfördelning erhålles.

För att utnyttja rören på bästa sätt kan det vid högeffektrör, i synnerhet om glödspänningen är relativt hög, vara motiverat att anordna 90° fasförskjutning mellan glödspänning och anodspänning, varigenom en jämnare belastning av katoden uppnås.

Slutligen må påpekas att gasfyllda likriktarrör visa en benägenhet att ge upphov till radiofrekventa störningar, vilka dock kunna elimineras genom lämplig avkoppling och skärmning.

Thyratroner.

Thyratron är den vedertagna benämningen på jonrör med termisk katod och gallerstyrning. Thyratroner användas dels såsom gallerstyrda likriktare, dels i reläfunktioner. Deras egenskaper sammanfalla med de gasfyllda likriktarrörens i allt utom att strömgenomgången kan fördröjas eller helt förhindras med hjälp av styrgallret. Om man utgår från en normal triod av lämpligt utförande, är det ett trivialt faktum att elektronströmmen kan helt undertryckas med en tillräckligt stor negativ gallerförspänning. Förses ett sådant rör med en gasfyllning av samma typ och tryck som vid de ovan beskrivna gasfyllda likriktarrören, är det också tydligt att någon jonisering ej kan äga rum med mindre en primär elektronström föreligger. En thyratron spärrar följaktligen så länge gallerförspänningen är större än strypspänningen. Höjes gallrets potential, kommer den därvid framsläppta anodströmmen att jonisera gasen, förutsatt att anodspänningen överstiger den erforderliga joniseringsspänningen. De alstrade jonerna attraheras bl. a. av gallret och det uppstår på så sätt ett hölje kring detta av joner, vilkas positiva laddning strävar att neutralisera det negativa gallrets styrverkan. Därigenom ökar den primära elektronströmmen, joniseringen förstärkes, jonhöljet utbygges etc. Genom denna labila mekanism, som påminner om hållfasthetslärans knäckningsfall och som sätter in då den primära elektronströmmen överstiger ett kritiskt värde, utbildas inom loppet av några mikrosekunder en fullständig jonisering, samtidigt som gallret helt förlorar sin styrverkan. Sedan en thyratron väl »tänt», förhåller den sig ifråga om inre spänningsfall m. m. exakt som en gasfylld diod, och *urladdningen kan ej avbrytas genom att göra gallret negativt.* Endast genom att sänka anodspänningen under joniseringsspänningen tillräckligt länge för att avjonisering skall äga rum kunna för-

hållandena återföras till utgångsläget och gallrets strypfunktion åter tagas i anspråk. Då anodkretsen matas med växelspänning sker detta automatiskt. I övriga fall måste särskilda åtgärder vidtagas för att släcka urladdningen.

Thyratronen skiljer sig väsentligt från vakuumrören ifråga om gallerströmförhållandena. Dessa äro vid thyratronen också helt olika före och efter det att röret tänt. Före tändning borde gallerströmskarakteristikan i princip följa vakuumtriodens, men på grund av galleremission och framför allt en viss jonström, särskilt utpräglad vid svagt negativa gallerförspänningar, kan stabil styrning ej åstadkommas vid höga resistanser i gallerkretsen. En väsentlig förbättring i detta hänseende uppnås genom införandet av ett skärmgaller på, eller nära, katodpotential.

Då urladdningen startat, flyter en relativt stor, mot anodströmmen proportionell, jonström till styrgallret, om detta är negativt. Beträffande gallerströmskurvornas detaljerade utseende se fig. 152 a och b.

Liksom vid de gasfyllda dioderna tillämpas vid thyratronerna en uppbyggnad, som skiljer sig avsevärt från vakuumrörens. »Gallret» utbildas sålunda i praktiken såsom en cylinder med ett eller flera hål (fig. 149 a). En bättre *kontrollfaktor* (förhållandet mellan anodspänning och kritisk gallerförspänning) ger arrangemanget enligt fig. 149 b med flera hopkopplade galler i kaskad. Den principiella uppbyggnaden av en skärmgallerthyratron slutligen återges av fig. 150. I motsats mot likriktarrören förses thyratronerna ofta med indirekt uppvärmd katod. Detta gäller i synnerhet rör för kontrolländamål.

Sambandet mellan anodspänning och den gallerspänning vid vilken röret tänder, kritisk gallerspänning, för en skärmgallerthyratron illustreras i fig. 151. Lutningen av dessa $V_a V_{g1}$-karakteristikor är lika med kontrollfaktorn (»control ratio»), vilken i princip motsvarar μ för elektrodsystemet ifråga. Tydligt är att skärmgallerthyratronen kännetecknas av hög kontrollfaktor. Gallerströmskurvorna för samma rör före och efter tändning återfinnas i fig. 152 a och b.

Det må framhållas att sambandet mellan anodspänning och kritisk gallerförspänning i hög grad är beroende av kolvtemperaturen (i synnerhet vid kvicksilverångfyllda rör) och glödspänningen. En typisk skärmgallerthyratron för kontrolländamål avbildas i fig. 153. Maximal medellikström för denna rörtyp är 0,1—0,2 A, beroende på driftsförhållandena. Avjoniseringstiden för detta rör, som är

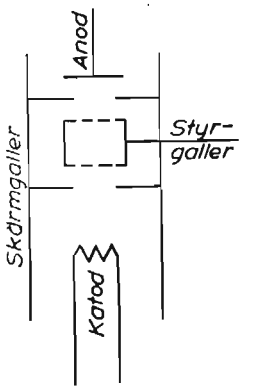

Fig. 150. Exempel på uppbyggnaden hos thyratron av tetrodtyp. Skärmgallret hålles vanligen ungefär på katodpotential.

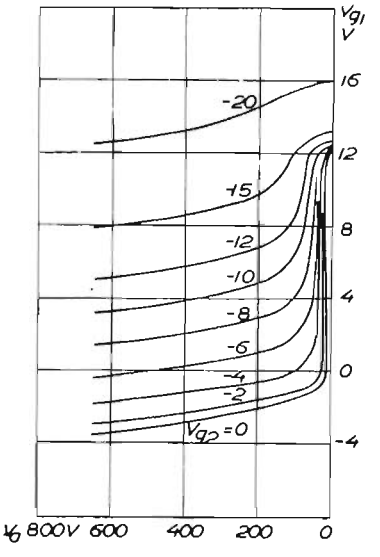

Fig. 151. Kritisk gallerspänning som funktion av anod- och skärmgallerspänning för thyratronen 2050. Det bör observeras att tändning inträffar vid mera negativ gallerspänning då en stor resistans införes i gallerkretsen. Gastrycket, dvs. rörets temperatur, har också stor inverkan.

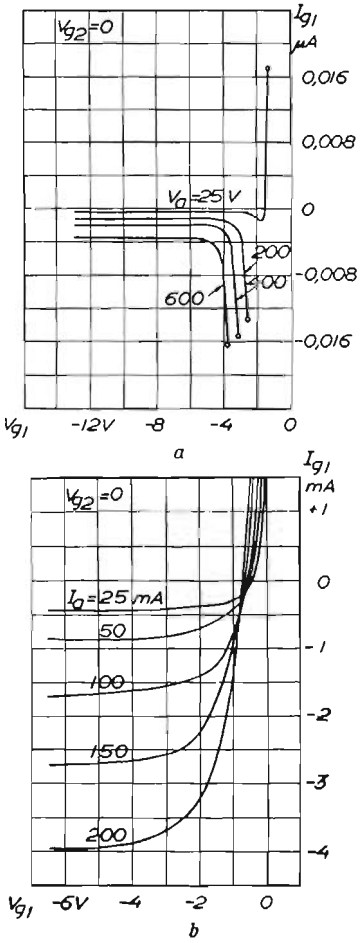

Fig. 152. Gallerströmskarakteristikor för skärmgallerthyratronen 2050: a. innan röret tänt, b. sedan röret tänt. De små cirklarna som avsluta karakteristikorna i a markera att röret tänder i resp. punkter.

Fig. 153. Skärmgallerthyratronen 2050. Max. tillåten anodström 0,2 A (momentant 1,0 A), vid 180 < V_a < 650 dock endast 0,1 A. I spärriktningen äro dubbelt så stora anodspänningar tillåtna.

xenonfyllt, uppgår till ca 100 μs. Vid kvicksilverångfyllning får man räkna med 10-dubbla värden.

För användning i pulsmodulatorer till radarsändare ha vätgasfyllda thyratroner utvecklats, som kännetecknas av bl. a. mycket kort avjoniseringstid och hög pulsström, t. ex. 325 A vid typen 5C22. Den goda skärmningen mellan anod och katod (se fig. 154) medger nollspänning på gallret före tändning trots den höga anodspänningen (max. 16 kV). För »tändning» kräva detta slags thyratroner en brant, positiv gallerpuls, specificerad i resp. datablad. Tändningsfördröjningen uppgår därvid endast till en bråkdels mikrosekund. Utförandet av vätgasthyratronen 5C22 framgår av fig. 155.

Vid användning av thyratroner gälla i stort sett samma regler som för gasfyllda dioder. Därtill kommer att skyddsmotstånd i gallerkretsen i de flesta fall kräves för att begränsa gallerströmmen efter tändning.

Jonrör med kall katod

Vid de kallkatodrör, som här avses, är det i första hand endast foto- och sekundäremission som kan ifrågakomma vid katoden.

Fotoceller med gasfyllning komma dock att behandlas för sig i samband med övriga fotocelltyper.

En uppdelning i diod- och triodtyper faller sig naturlig, varvid dioderna spela den största rollen. De användas huvudsakligen för spänningsstabilisering och i överspänningsskydd av olika slag.

Då en enkel och kortfattad teori för gasurladdningar ej föreligger skall här endast i korthet med hänvisning till fig. 156 redogöras för förloppet vid en ädelgasdiod då spänningen pålägges. Gastrycket antages vara ca 10 mm Hg. Frånsett en mycket svag ström av storleksordningen bråkdels mikroampere händer ingenting förrän tändspänningen uppnåtts (punkten A), då urladdningen sätter in. Om ett lämpligt seriemotstånd användes, faller spänningen därvid momentant till brinnspänningen, punkten B. Sedan röret väl tänt, gäller den heldragna karakteristikan och spänningen över röret tilltar endast obetydligt då strömmen ökas, för att ovanför knät på karakteristikan stiga hastigare och eventuellt passera tändspänningen. (Den däremot svarande relativt höga strömstyrkan, punkten C, hade f. ö. erhållits redan vid tändningen om seriemotstånd saknats.) Hittills har urladdningen haft karaktären av s. k. glimurladdning, kännetecknad av ett diffust ljus, glimljus, huvudsakligen utbrett som ett täcke över en mindre eller större del av katoden men ofta märkbart invid anoden och i utrymmet däremellan.

Att urladdningen överhuvudtaget kan starta beror på att ett fåtal fria joner alltid existera, utlösta genom exempelvis fotoemission, kosmisk strålning eller spår av radioaktiva material i själva röret. Även termisk emission kan, trots den låga temperaturen, medverka. För att en stabil glimurladdning skall kunna uppehållas måste emellertid de elektroner, som vandra mot anoden, ersättas invid katoden. Huruvida dessa utlösas genom jonbombardemang av katodytan (sekundäremission) eller frigöras genom fotoemission i samband med glimljuset, är ej helt klarlagt. Troligen förekomma båda processerna jämsides. Brinnspänningen är

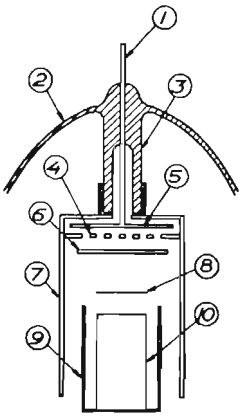

Fig. 154. Välgasthyratron för puls-modulatorbruk i genomskärning. Tack vare den effektiva avskärmningen kring anoden kan dess fäll ej nå längre ned än till 6 och rörel tänder ej med mindre gallrel göres starkt positivt så att jonisering erhålles från katoden och fram till 6. 1. Anodgenomföring. 2. Kolv. 3. Glashylsa. 4. Galler. 5. Anod. 6. Skärm förbunden med gallrel. 7. Gallerburk. 8. Skärm förbunden med katoden. 9. Strålningsskydd. 10. Katod.

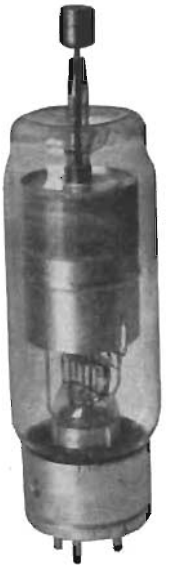

Fig. 155. Välgasthyratronen 5C22, avsedd för radarmodulatorer. Trots de relativt små dimensionerna (diam. ca 65 mm) kan rörel ge en pulseffekt av 2 600 kW.

nämligen beroende såväl av katodmaterialet som gasens sammansättning. Tändspänningen påverkas dessutom även av gastrycket. Brinnspänningens ringa beroende av strömstyrkan sammanhänger med att plasmats utbredning bestämmes av ett jämviktstillstånd, karakteriserat av i huvudsak konstant strömtäthet. I ett glimurladdningsrör (eller kortare: *glimrör*) kan också observeras att glimljuset vid katoden upptar en yta proportionell mot strömstyrkan. Knät på karakteristikan inträffar då hela katoden är täckt och strömtätheten sålunda måste stiga vid ökad ström.

Höjes strömstyrkan avsevärt över detta värde, kan det inträffa att en punkt E nås, där bombardemanget på katoden upphettar någon punkt på denna så starkt, att termisk emission uppstår. Spänningsfallet sjunker då snabbt till gasens joniseringsspänning (F), och en så kallad bågurladdning erhålles.

Sänkes spänningen under brinnspänningen, »slocknar» urladdningen och strömmen upphör (B—D). Ofta sker även detta språngvis.

Glimstabilisatorrör.

I glimstabilisatorrör utnyttjas konstantspänningsdelen av karakteristikan enligt fig. 156 för spänningsreglering. Genom lämplig kombination av gasblandning, gastryck, katodbeläggning och geometrisk utformning kunna inom vissa gränser såväl brinnspänningens storlek som dess konstans inställas. Neon enbart eller som huvudbeståndsdel användes i lågvoltsrör (ca 75—100V brinnspänning) under det att helium och argon, kännetecknade av blått ljus, företrädesvis utgöra fyllning i rör för spänningar upp till 150 V, vilket är den högsta gängse spänningen per glimsträcka. För högre spänningar tillverkas kombinationsrör med flera avgränsade seriekopplade glimsträckor i samma kolv, varvid även delspänningsuttagen kunna utnyttjas.

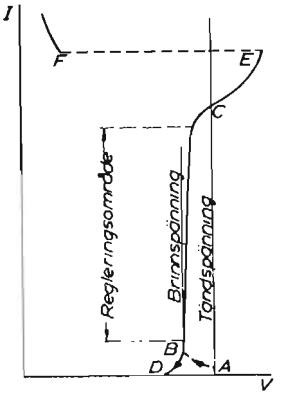

Fig. 156. Schemaliserad karakteristika för glimdiod. Vid E—F ändrar urladdningen karaktär och övergår i bågurladdning.

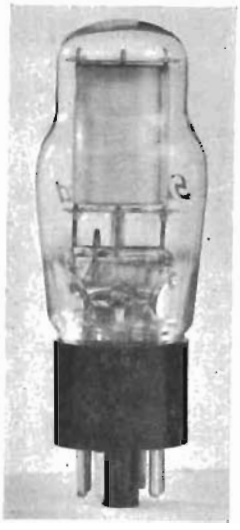

Fig. 157. Stabilisatorröret G2S5 (ekvivalent med VR 150/0D3). Anoden utgöres av en central pinne, som omges av katoden, en cylindrisk plåtburk.

Fig. 158. Glimdioden 85 A1, på grund av sin stora stabilitet vid begränsat regleringsområde särskilt lämplig att tämna referensspänning i regulatorkopplingar. Genom katodförsoftning vid rörets tillverkning erhålles ett karakteristiskt molybdenskikt på kolvens insida.

Den lägsta brinnspänning som kan åstadkommas är ca 35 V, med en katod av cesium-cesiumoxid typ. Även vid de flesta övriga typer förses katoden med ett »aktiveringsskikt» av något material med lågt utträdesarbete.

Fig. 157 visar ett typiskt stabilisatorrör för strömområdet 5—30 mA, Standard G2S5: brinnspänning 155 V, tändspänning 180 V, inre resistans i regleringsområdet 200 Ω.

Även goda stabiliseringsrör av konventionellt utförande uppvisa stundom sporadiska spänningsfluktuationer, som stå i samband med att urladdningen flyttar sig över katodytan. En särskild kategori har därför utvecklats, där denna olägenhet eliminerats samtidigt som en utomordentlig långtidsstabilitet uppnåtts. Sådana rör äro i första hand avsedda att ge referensspänning i elektroniska regulatorer, mätinstrument m. m., varför deras i allmänhet snäva strömområde, 2—8 mA t. ex. för 85A1, ej utgör någon nackdel. Den höga stabiliteten uppnås genom katodförstoftning, som ger ett tunt metallskikt på glaskolvens insida, vilket förlänar dessa rör ett typiskt utseende (fig. 158).

Fig. 161 återger grafiska symbolen för en glimdiod.

Vid användning av glimstabilisatorrör må särskilt tillses att ett tillräckligt stort seriemotstånd till spänningskällan inlagts, så att ej maximalt tillåten urladdningsström överskrides. Ibland uppvisa stabilisatorrör smärre oregelbundenheter i karakteristikan, som kunna ge upphov till svängningar vid exempelvis övervägande kapacitiv belastningskrets.

Det bör vidare ihågkommas att glimstabilisatorrör liksom övriga gasfyllda rörtyper få helt andra egenskaper vid radiofrekvens än vid låga frekvenser. Karakteristiskt är därvid att inre resistansen stiger med frekvensen samtidigt som en kapacitiv susceptans utbildas.

Glimstabilisatorrör kunna vara temperaturberoende, en omständighet, som bör beaktas vid apparatkonstruktioner.

Överspänningsskydd.

Gasfyllda kallkatoddioder i därför speciellt lämpad utformning användas i stor utsträckning i teleteknisk apparatur som överspänningsskydd, varvid tändspänningen väljes högre än ifrågakommande driftspänning, så att endast överspänningar härrörande från exempelvis åskslag medföra tändning. Strömstyrkor på tusentals ampere med varaktighet av storleksordningen mikrosekunder kunna därvid avledas genom röret genom bågurladdning.

Kallkatodtrioder.

De ovan beskrivna SM-rören äro egentligen trioder, då ju en särskild tändelektrod finnes. Samma princip tillämpas i de kallkatodtrioder, som konstruerats särskilt för reläändamål. De kunna utformas på de mest

skiftande sätt och den i fig. 159 skisserade konstruktionen utgör endast ett exempel. Tack vare den speciella utformningen erhålles betydligt högre tändspänning mellan anod och katod resp. tändelektrod än mellan denna och katod. Då även en svag urladdning mellan tändelektrod och katod (strömstyrka 0,2 mA i ett typiskt fall) är tillräcklig för att jonisera huvudsträckan anod-katod, kan denna omständighet utnyttjas för att erhålla en reläfunktion hos röret. Efter tändning sjunker nämligen spänningsfallet anod-katod till ett lågt, konstant värde liksom vid stabilisatorrören, och tändelektrodens potential har ringa eller ingen inverkan. Likheten med thyratronerna är även påtaglig, bl. a. i det avseendet att anodspänningen måste sänkas under brinnspänningen för att urladdningen skall kunna avbrytas. Sambandet mellan anodspänning och spänning på tändelektroden för tändning vid kallkatodtrioden 0A4G framgår av fig. 160. Tändning kan sålunda icke ske innanför den slutna ytan. Utom diagrammets högra, vertikala del, som normalt utnyttjas, kan urladdningen tydligen starta direkt mellan anod och katod eller anod och tändelektrod. I diagrammet har därför också angivits mellan vilka elektroder urladdningen utbildas vid resp. spänningar. Brinnspänningen för rörtypen ifråga uppgår till 70 V.

Vid användning av kallkatodtrioder gäller liksom vid övriga gasfyllda rör att starka radiofrekventa fält i rörets omgivningar böra undvikas, då de kunna förorsaka oavsiktlig tändning.

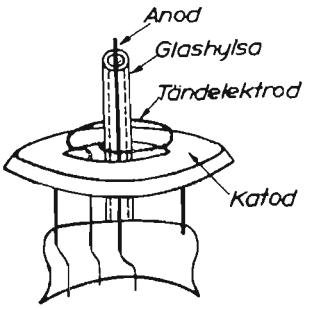

Fig. 159. Elektrodsystemet hos gasfylld kallkatodtriod, avsedd för reläändamål.

SM-rör

Besläktade med överspänningsskydden äro de s. k. SM-rören (»TR-tube» dvs. transmit-receive tube) och deras varianter, anti-SM-rören (ATR-tube — anti transmit-receive tube), vilka användas i radarutrustning för att automatiskt koppla om den gemensamma antennen mellan sändare och mottagare omedelbart efter det att sändarpulsen utgått.

SM- och anti-SM-röret tändas samtidigt av den »högspända» sändarpulsen. Anti-SM-röret verkar därvid i princip som en seriekontakt, som kopplar in sändaren till antenn, under det att SM-röret kortsluter mottagaringången.

För att mottagaren ej skall överbelastas och skadas, kräves av SM-röret lägsta möjliga tändningsfördröjning och motstånd i urladdningen. För att utnyttja SM-röret på effektivaste sätt låter man det ingå i eller självt utgöra en högimpediv resonanskrets, så att dess kortslutande verkan förstärkes. Medelst en särskild likströmsmatad »hållelektrod» underhålles i SM-röret en ständig, svag urladdning. Tack vare denna förjonisering nedbringas tändningsfördröjningen.

Fig. 162 visar foto av ett typiskt SM-rör för 10 cm våglängd med skivinsmältningar. Genom att förena skivornas periferier med en cylindrisk mantel bildas en hålrumsresonator med spänningsmaximum vid åtsnörningen i rörets centrum, dit urladdningen alltså koncentreras.

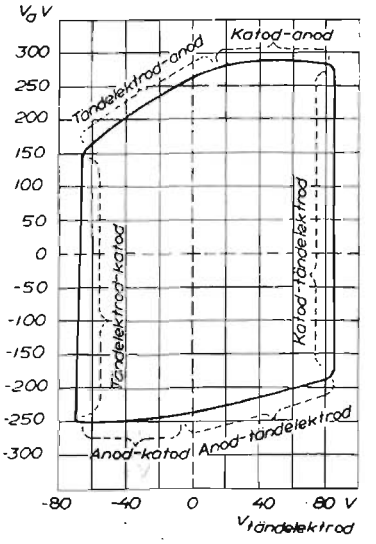

Fig. 160. Tänddiagram för kallkatodtrioden 0A4G. Max. tillåten anodström är vid denna typ 25 mA, momentant 100 mA.

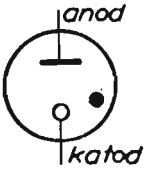

Fig. 161. Grafisk symbol för glimdiod.

Hjälpurladdningen utbildas mellan den ena skivans genomborrade mittparti och hållelektroden i dess centrum.

För att man skall slippa kritiska avstämningar ha även bredbandiga SM-rör enligt fig. 163 utvecklats. Det visade röret är uppbyggt som en vågledarsektion, i båda ändarna avslutad med vakuumtäta glasfönster och försedd med inre, avstämda »bländare», som bilda ett bandpassfilter.

I samband med s. k. balanserade SM-kopplare utföras ovan nämnda bredbandiga rör dubbla (fig. 164).

Anti-SM-rören kunna vara helt identiska med SM-rören men måste kopplas in olika i radarstationen. Emellertid har en speciell konstruktion utvecklats (fig. 165). Röret består av ett vågledarfönster och en $\lambda/4$-lång vågledarkavitet.

Läckeffekt, avjoniseringstid, dämpning och livslängd för SM-rör.

Läckeffekten kan uppdelas i två beståndsdelar, dels en energimängd som under kort tid läcker igenom SM-röret, innan detta har tänt (»spike»), och dels den effektnivå som slipper igenom röret efter tändning (»flat»). Båda dessa måste kontrolleras och mätas var för sig, för att mottagarens kristalldiod skall undgå överbelastning.

När den reflekterade signalen kommit tillbaka till antennen, passerar den vidare till mottagaren via SM-röret, där den icke får utsättas för dämpning. SM-röret måste alltså vara »avjoniserat» vid denna tidpunkt. Gasfyllningen (argon eller någon annan ädelgas med ett tryck av några

Fig. 162.

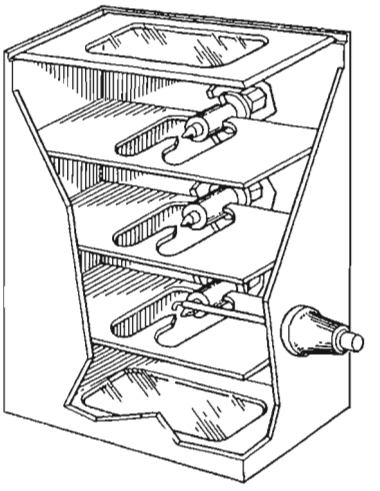

Fig. 163.

Fig. 162. SM-rör för 10 cm radaranläggningar (även användbart som anti-SM-rör). Genom att omsluta kopparskivorna med en cylindrisk mantel erhålles en resonator med hög resonansimpedans i det centrala ringformade gapet. Anslutning och genomföring för hållelektroden, som sträcker sig in i den övre skivans koniska del, igenkännas tall upptill på bilden.

Fig. 163. SM-rör med bandpassegenskaper, uppbyggt på vågledarbasis. De tre bländarna med spetsiga elektroder utgöra resonanskretsar, tillsammans bildande ett bandpassfilter. »Hållelektroden» har placerats invid ett av gapen.

torr) har därför tillsatts vattenånga, för att avjoniseringen skall påskyndas. Vissa SM-rör ha en avjoniseringstid mindre än 0,5 μs, möjliggörande mätning av mål på endast 75 m avstånd.

I allmänhet är det förändringar i gassammansättningen som begränsa livslängden. Den vanligaste orsaken till utbyte av rör är att avjoniseringstiden har förlängts genom att absorption av vattenånga skett av metalldelarna inne i röret. Härav kan dragas den slutsatsen, att en stor gasvolym vore önskvärd. Bredbandiga SM-rör, som på grund av sin konstruktion ha en ganska stor gasvolym, visa sig också i allmänhet ha bättre livslängd.

Möjligheten att använda extra gasreservoarer utnyttjas emellertid även. Ett riktvärde för livslängden hos ett SM-rör torde ligga omkring 500 tim. drifttid.

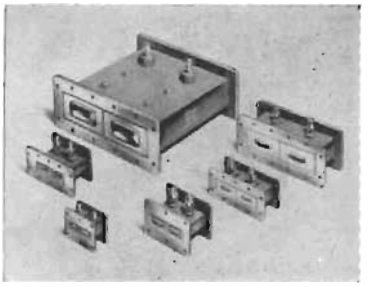

Fig. 164. Dubbla bredbandiga SM-rör för frekvensområdena 3 000, 5 000, 9 000, 10 000 och 15 000 Mp/s.

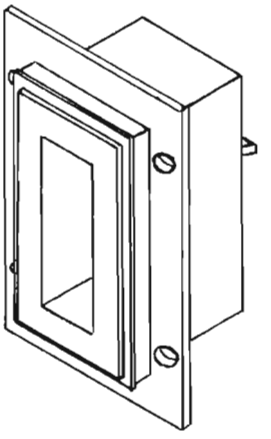

Fig. 165. Anti-SM-rör bestående av vågledarfönster och vågledarkavitet med längden λ.

Fotoceller

Fotocellen är i princip en kallkatoddiod baserad på fotoemission. Då fotocellens uppgift normalt är att omsätta belysningsvariationer i strömvariationer, väljes anodspänningen så hög att rymdladdningsverkan ej gör sig gällande. Fotocellen skiljer sig sålunda från praktiskt taget alla övriga rörtyper därigenom att anodströmmen helt bestämmes av katodemissionen.

Den ursprungliga fotocellen arbetar med högvakuum. Uppbyggnaden vid ett typiskt utförande illustreras av fig. 166. Fotokatoden har utbildats på en halvcirkelformigt böjd nickelplåt, i vars »axel» den trådformade anoden befinner sig. Därigenom vinnes homogena fältförhållanden samtidigt med ringa avskärmning av det infallande ljuset. Vid ett annat utförande anbringas fotokatoden som ett tunt skikt på kolvens insida, som kan belysas direkt utifrån medan strömmen lämnar skiktets motsatta, mot vakuum vända sida.

Fotokatodens sammansättning väljes med hänsyn till önskad spektralkänslighet (se avsnittet om fotoemission).

Grafiska symbolen framgår av fig. 167.

$I_a V_a$-karakteristikorna för en vakuumfotocell (fig. 168) äro praktiskt taget horisontella ned till så låga anodspänningar, att rymdladdningen gör sig gällande, och likna pentodernas, fastän ljusflödet i stället för styrgallerspänningen är parameter.

Ljuskänsligheten uppgår till 10—50 μA/lumen vid vakuumfotoceller, bl. a. beroende på spektralområdet. Bortsett från ev. rymdladdningsbegränsning är sambandet

Fig. 166. Fotocell. Fotokatoden har utbildats på den halvcirkelformade plåten, i vars centrum den stavformade anoden urskiljes.

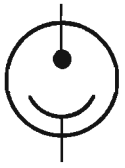

Fig. 167. Grafisk symbol för fotocell.

Fig. 168. I_aV_a-karakteristikor för högvakuumfotocellen 929 med inlagd belastningslinje för 250 V och 50 MΩ belastningsmotstånd.

Fig. 169. I_aV_a karakteristikor för gasfyllda fotocellen 930 med inlagd belastningslinje för 90V och 5 MΩ belastningsmotstånd. Utspänningen är lägre än enl. fig. 142 med impedansen samtidigt gynnsammare.

Fig. 170. 9-stegs multiplikatorfotocell i genomskärning. Elektrodsystemet inrymmes i en vanlig »GT»-rörkolv.

anodström-ljusflöde upp till maximalt tillåten ström fullständigt linjärt och konstant, varför vakuumfotocellen är särskilt lämpad för mätändamål. Även i frånvaro av belysning kvarstår dock en mycket svag ström, »mörkströmmen», vanligen ca 0,01 μA.

På grund av vakuumfotocellens ur praktisk synpunkt ofta alltför låga känslighet ha två speciella varianter utvecklats: den ena med gasfyllning, den andra med inbyggd sekundäremissionsmultiplikator. Den *gasfyllda fotocellen* skiljer sig vad beträffar uppbyggnaden ej från vakuumcellen. Givetvis kan endast en ädelgas komma ifråga; argon med ett tryck av 0,2 torr är en vanlig fyllning.

Funktionen är i princip densamma som i övriga gasfyllda kallkatodrör: en från fotokatoden utlöst primärelektron joniserar vid kollision med en gasmolekyl denna, så att ytterligare en fri elektron erhålles, som jämte den ursprungliga vandrar mot anoden för att under vägen ev. jonisera även en annan molekyl etc. Vid kollisionerna bildade joner kunna även bidra till att öka strömmen genom att vid ankomsten till katoden utlösa sekundärelektroner.

Såsom framgår av fig. 169 yttrar sig gasens inverkan först vid högre anodspänningar, där anodströmmen emellertid stegras mycket hastigt, så att en »gasförstärkning» på ca 10 ggr är möjlig. Vid hög anodspänning och ström kan emellertid en glimurladdning lätt starta, varför ett tillräckligt stort anodmotstånd, specificerat av fabrikanten, måste inkopplas, liksom max. tillåten anodspänning, vanligen 90 V, ej får överskridas. En kvarstående glimurladdning förstör nämligen röret.

Den högre känsligheten hos den gasfyllda fotocellen

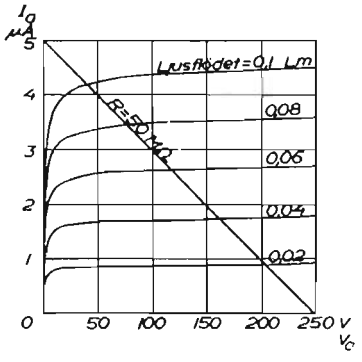

Fig. 168.

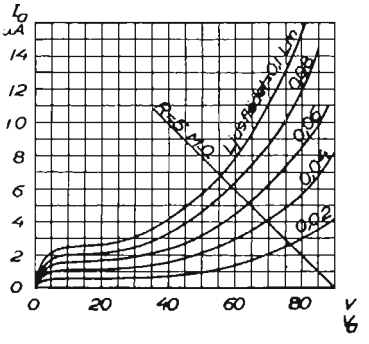

Fig. 169.

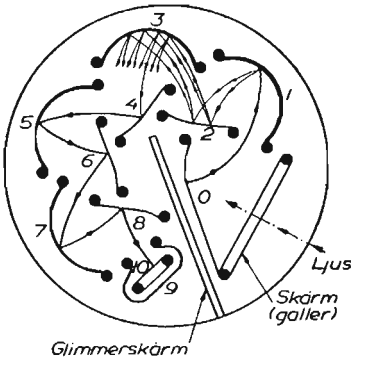

Fig. 170.

är förenad med vissa nackdelar, nämligen bristande linearitet (distorsion), högre brus och viss tröghet, beroende på de tunga jonernas löptid, som gör sig märkbar vid de högre tonfrekvenserna, så att en gränsfrekvens (3 dB:s fall i uteffekt) av storleksordningen 12000 p/s kan anses typisk.

Fotoceller med inbyggd sekundäremissionsmultiplikator, *fotomultiplikatorrör*, sakna dessa nackdelar men ha i gengäld något mera komplicerad uppbyggnad och kräva en högre driftspänning, i proportion till antalet multiplikatorsteg. Genom att i samma rör anordna n steg i kaskad fås en strömförstärkning, som kan uttryckas som n:te digniteten av sekundäremissionsfaktorn, varför en sådan kombination ställer sig gynnsam.

Funktion och uppbyggnad hos en typisk 9-stegs fotomultiplikator framgår av fig. 170. De olika sekundäremissionselektroderna matas lämpligen från en spänningsdelare så att spänningsskillnaden mellan på varandra följande elektroder blir lika stor, 75—100 V, motsvarande en sekundäremissionsfaktor av ca 3,5—4,5. Konstruktionen är ifråga om elektrodernas utformning och placering baserad på elektronoptiska principer. Det har därigenom varit möjligt att erhålla de i figuren antydda önskade elektronbanorna, som alltid sluta på närmast följande elektrod, så att samtliga elektroner tillvaratagas. En strömförstärkning av 10^6 vid 100 V stegspänning är sålunda typisk för denna rörtyp, vilket ger en (differentiell) ljuskänslighet av ca 10 A/Lm. Det är att märka att totalförstärkningen starkt påverkas av totalspänningen över spänningsdelaren; 1 % spänningsändring ger ca 12 % ändring av förstärkningen. Spänningen hos slutanoden i förhållande till sista sekundäremissionselektroden är däremot ej kritisk; $I_a V_a$-karakteristikorna ha »pentodkaraktär».

Typiska värden på maximalt tillåten anodström äro: toppvärde 10 mA, medelvärde 1 mA. Mörkströmmen överstiger normalt ej 0,25 μA. I likhet med de gasfyllda fotocellerna kännetecknas multiplikatorrören av sämre konstans jämfört med vakuumcellerna. Under det att den gasfyllda fotocellens känslighet visar svagt avtagande tendens vid varaktig, stark belysning, är det vid multiplikatorröret höga anodströmsvärden, som äventyra stabiliteten. De äro även temperaturkänsliga och få ej utsättas för högre yttertemperatur än 75° C; motsvarande värde för övriga fotocelltyper är 100° C. Fotoceller, i all synnerhet gasfyllda typer, må ej heller väl av att utsättas för starkt ljus, även om de ej äro elektriskt anslutna.