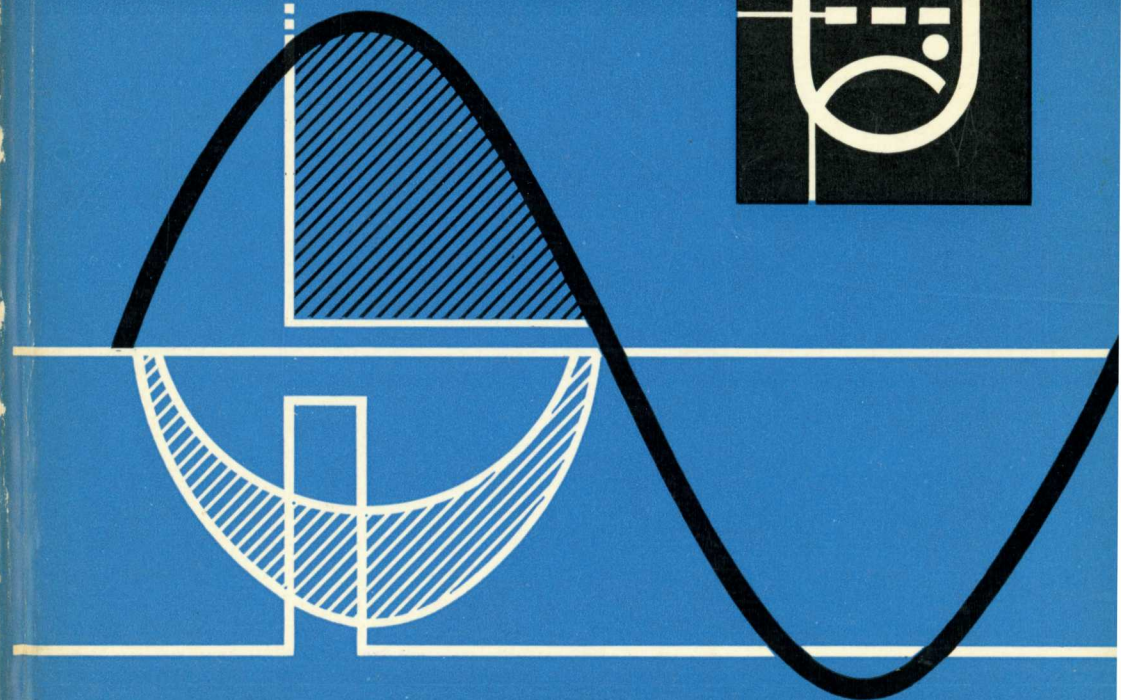
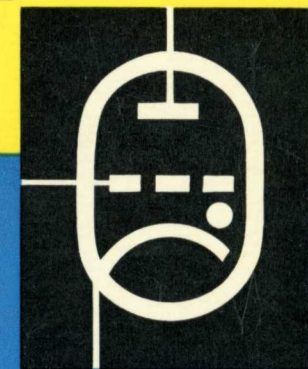


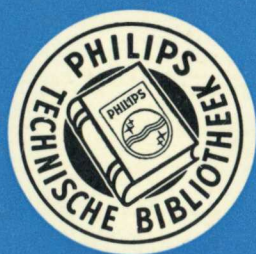
THYRATRONS

DOOR
C. M. SWENNE



C. M. SWENNE

THYRATRONS



POPULAIRE REEKS
PHILIPS TECHNISCHE BIBLIOTHEEK

THYRATRONS



N.V. UITGEVERSMAATSCHAPPIJ CENTREX - EINDHOVEN

THYRATRONS

DOOR

C. M. SWENNE

J. P. de Jongh, PAoDEJ
Begoniastraat 54
Roosendaal

1961

PHILIPS TECHNISCHE BIBLIOTHEEK

Mededeling van de uitgever

Dit boek wordt uitgegeven in 5 talen, n.l. Duits, Engels, Frans, Spaans en Nederlands

Het bevat 84 pagina's, 68 figuren, 1 tabel en 4 pagina's foto's op kunstdrukpapier

U.D.C. Nr. 621.385.38

© N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken - Eindhoven (Nederland), 1961

Nadruk, ook gedeeltelijk, verboden

Gedrukt in Nederland

Vermelding van gegevens in dit boek impliceert geen vrijdom van octrooirechten.

VOORWOORD

Dit boekje is bedoeld als een inleiding tot een klein, maar belangrijk onderdeel van de industriële elektronica: de toepassing van thyratrons. Het richt zich speciaal tot de technicus, die uit de aard van zijn beroep reeds met de elektrotechniek vertrouwd is, doch zich steeds meer met de elektronentechniek geconfronteerd ziet. Het kan bovendien een hulp zijn voor technici van andere richtingen, zoals werktuigbouwkundigen, die zich met het gebruik van thyratrons op de hoogte willen stellen.

Niet alleen om bovengenoemde redenen is in de opzet van dit boekje afgezien van een uitgebreide fysische en mathematische behandeling, doch ook om bij degenen, die zich voor het eerst met dit onderwerp bezig houden, een zekere argwaan of een bepaald vooroordeel ten opzichte van het „glaswerk” weg te nemen.

Augustus 1961

C. M. Swenne

INHOUDSOPGAVE

Inleiding	1
Hoofdstuk I FYSISCHE GRONDSLAGEN	3
Constructie	3
De werking	6
Elektronen en ionen	6
Thermische emissie	7
De gasontlading	8
Roosterbesturing	9
Ionisatietijd en de-ionisatietijd	11
Triode- en tetrode-thyratrons	11
Invloed van de gassoort	13
Directe en indirecte verhitting	15
Montage	16
Gloeidraadvoeding	17
Hoofdstuk II ELEKTRISCHE EIGENSCHAPPEN	20
De ontsteekarakteristiek	20
Horizontale besturing	22
Vertikale besturing	23
De invloed van spreidingen	23
Besturing door middel van impulsen	26
Parallel- en anti-parallel-schakeling	27
Parallel-schakeling	27
Anti-parallel-schakeling	28
Drie-fazen schakeling	29

Hoofdstuk III	BASISSCHAKELINGEN	31
Schakelingen voor roosterbesturing		31
Fazedraai-brug voor horizontale besturing		31
Werking van de piektransformator		35
Thyratron-schakeling met piektransformator		38
De piektransformator 84590		39
Gelijkspanningsbron voor horizontale besturing 1289/03		41
Praktische schakeling.		42
Anode-ketens		43
Weerstandbelasting		43
Inductieve belasting		45
Afvlakking, capacitieve belasting		47
Hoofdstuk IV	TOEPASSINGEN VAN THYRATRONEN	50
Relaisschakelingen		50
Foto-elektrisch relais met vertragende werking		51
Elektronische rookverklikker		52
Eenvoudige elektronische thermostaat		54
Elektronische tijdschakelaars		56
Tijdschakelaars voor toepassing in de fotografie		59
Tijdschakelaar voor een kleine puntlasmaschine		62
Gestuurde gelijkrichters		63
Gestabiliseerde 3-fazen-gelijkrichter		64
Elektronische gelijkstroomschakelaar		67
Eenvoudige enkelfazige motorregel-schakeling		68
Gestuurde wisselstroomschakelingen		69
Dim-schakeling voor fluorescentielampen		70
Elektronische wisselstroomschakelaar		73
Gelijkstroom-wisselstroomomvormers		74
30 W gelijkstroom-wisselstroomomvormer		75

INLEIDING

De mogelijkheden van het gebruik van thyratrons als schakelementen in de industriële elektronica zijn veelvuldig. Thyratrons kunnen taken vervullen, die niet of nauwelijks met mechanische of elektrische middelen kunnen worden volbracht, speciaal waar het industriële toepassingen betreft. Dientengevolge is het gebruik van thyratrons op dit gebied wijd verspreid, terwijl de ontwikkeling van nieuwe toepassingen steeds voortgang vindt.

Een thyatron kan ruwweg worden opgevat als een snelle schakelaar, die gelijkrichteigenschappen bezit. Afhankelijk van het gebruikte type kan een kleinere of grotere stroom met behulp van een thyatron worden ingeschakeld of onderbroken. Een reeks thyratrons, ontworpen voor stromen van 0,1 Ampère tot enkele tientallen Ampères is voor dit doel beschikbaar, zodat thyratrons voor vele toepassingen in aanmerking komen.

De uitdrukking „snelle schakelaar” heeft betrekking op het aantal in- of uitschakelingen, dat per seconde kan worden verricht en van enkele honderden tot enkele duizenden malen kan bedragen, afhankelijk van het gebruikte type thyatron. Het is deze eigenschap, die de thyatron doet uitsteken boven mechanische schakelaars, die een relatief grote traagheid bezitten.

De grote schakelsnelheid maakt het mogelijk, dat met behulp van thyratrons stroomkringen kunnen worden gesloten of geopend gedurende een klein gedeelte van een periode van de netspanning. Van deze eigenschap wordt gebruik gemaakt in motorregel-schakelingen, bij de lichtregeling van fluorescentie-buislampen, voor het stabiliseren van wissel- en gelijkspanningen etc.

Bij het gebruik van geschikte schakelingen is het mogelijk thyratrons

volledig automatisch te besturen, zodat het met de hand bedienen van de „schakelaar” onnodig is. Later zal worden aangetoond op welke wijze deze automatische schakelingen kunnen worden gebruikt voor het regelen van de snelheid van elektro-motoren, het stabiliseren van gelijkrichters, etc. In deze toepassingen worden zelfs twee functies van de thyatron gecombineerd, n.l. gelijkrichting en besturing.

Met de bovengenoemde voorbeelden is de reeks van toepassingen van thyatrons geenszins uitgeput. Relais- en tijdschakelingen en gelijkstroom-wisselstroomvormers behoren eveneens tot de toepassingen, waarin thyatrons zeer goed tot hun recht komen.

HOOFDSTUK I

FYSISCHE GRONDSLAGEN

Constructie

In zijn eenvoudigste vorm bestaat een thyatron uit een met verdund gas gevuld glazen vat, waarin drie (of vier) metalen geleiders (de elektroden) zijn gemonteerd. Deze elektroden, die ten opzichte van elkaar geïsoleerd zijn, zijn verbonden met uitwendige aansluitingen teneinde elektrische verbindingen met de „buitenwereld” tot stand te kunnen brengen.

De constructie van een thyatron is schematisch aangegeven in Fig. 1, die de vorm en de positie van de elektroden in de glazen ballon laat zien, n.l. die van de katode, het rooster en de anode.

De katode, die in het onderste deel van de buis is opgesteld, bestaat uit twee coaxiale cilindrs, die door middel van enkele vinnen met elkaar verbonden zijn, zoals uit de doorsnede-tekening van de katode in Fig. 1b blijkt. De binnenwand van de buitenste cylinder, de buitenwand van de binnenste cylinder en de vinnen zijn bedekt met een mengsel van metaal-oxyden, waarvan het doel later wordt uiteengezet (zie pag. 7).

Om de thyatron werkzaam te doen zijn, moet de katode tot een temperatuur van ongeveer 700 tot 900 °C worden verhit. Voor dit doel bevindt zich in de binnenste cylinder van de katode een gespiraliseerde wolfram-gloeidraad, waardoor een elektrische stroom wordt gevoerd. Om dit laatste mogelijk te maken zijn ook de einden van de gloeidraad met uitwendige aansluitingen verbonden. Gewoonlijk hebben één uiteinde van de gloeidraad en de katode een gemeenschappelijke uitwendige aansluiting, hetgeen mogelijk gemaakt wordt door deze beide in de buis met elkaar door te verbinden.

Het rooster heeft de vorm van een platte ring of een geperforeerde schijf,

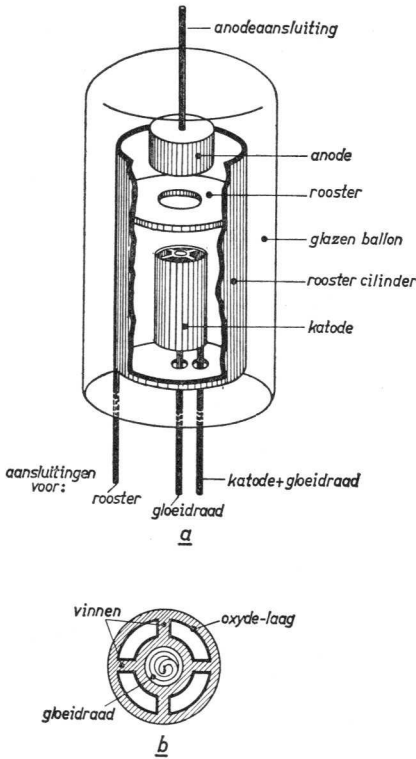


Fig. 1. (a) Opengewerkte tekening van een drie-elektrode thyratron.
(b) Doorsnede van de katode.

die verbonden is met een cylinder (rooster-cylinder). Deze rooster-cylinder omgeeft de katode, zodat, afgezien van de gaten in het rooster, de katode volledig is afgeschermd van de anode, die zich in het bovenste deel van de buis bevindt.

De anode is meestal als een massieve cylinder uitgevoerd en vervaardigd van grafiet, een materiaal, dat gemakkelijk in staat is de warmte uit te stralen, die de anode gedurende de werking van de buis opneemt.

De voorstelling van een thyratron volgens Fig. 1 heeft betrekking op een thyratron met 3 elektroden of „triode”. De opbouw van een thyratron met 4 elektroden („tetraode”) is enigszins anders, maar de principiële werking van beide types is gelijk.

De gas-vulling van een thyratron bestaat meestal uit verzadigde kwikdamp

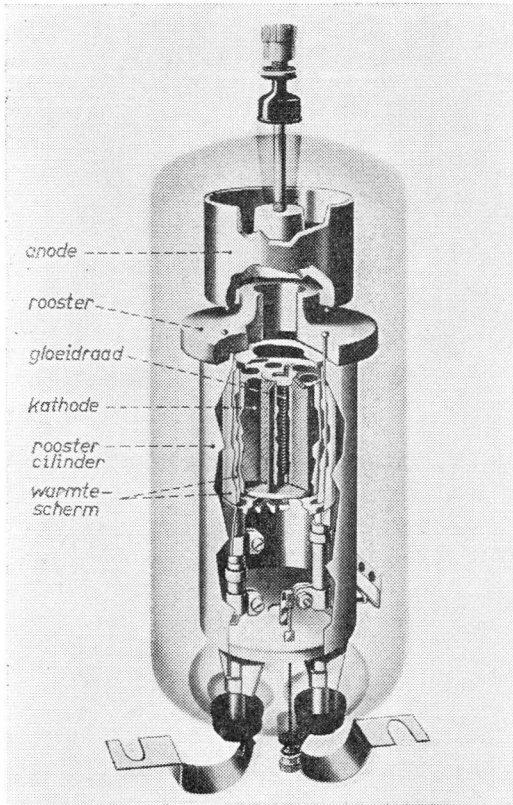
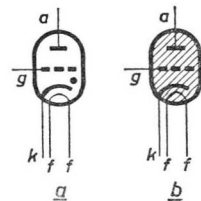


Fig. 2. Constructie van een triode-thyratron: type PL 255.

of een edelgas, zoals argon of xenon, terwijl er ook thyratron-typen bestaan, die gevuld zijn met een mengsel van kwikdamp en een edelgas. De eigenschappen van deze gassoorten worden in een volgende paragraaf beschreven (zie pag. 13).

Fig. 3. Symbolen van thyratrons: (a) modern, (b) verouderd; k = katode, f = gloeidraad, g = rooster, a = anode.



Om een indruk te geven van de praktische constructie van een moderne thyatron, is in Fig. 2 een gedeeltelijk doorgesneden thyatron weergegeven de PL 255, een met kwikdamp gevulde triode.

In schakelschema's worden thyatrons vrij algemeen voorgesteld door de in Fig. 3 getekende symbolen. Hoewel beide symbolen gebruikt worden, geraakt dat van Fig. 3b steeds meer buiten gebruik.

De punt in het symbool *a* en de arcering in symbool *b* geven een indicatie van de gas-vulling van de buis. (Soortgelijke symbolen, doch zonder punt of arcering, worden gebruikt voor hoog-vacuüm buizen, die o.a. in radio-ontvangers worden toegepast.)

De werking

In deze paragraaf zal worden aangetoond, dat het, ondanks de elektrische isolatie van de elektroden, mogelijk is, in een thyatron een elektrische stroom te doen vloeien van de anode naar de katode. De taak van „geleider” tussen deze elektroden wordt dan uitgeoefend door het gas in de buis, dat voor dit doel eerst geïoniseerd dient te worden.

Elektronen en ionen

Elektronen zijn welbekend in de elektro-techniek aangezien immers hun beweging een elektrische stroom genoemd wordt. Elektronen zijn negatief geladen elementaire deeltjes, die deel uitmaken van een atoom. In geleiders zijn de elektronen zo los aan de (veel zwaardere) atoomkern gebonden, dat zij zich vrij in de geleider kunnen bewegen. Wanneer elektronen aan een elektrische spanning worden blootgesteld, bewegen zij alle in dezelfde richting, waardoor een elektrische stroom ontstaat. In isolatoren echter is geen beweging van elektronen mogelijk, daar de aantrekkingskracht van de atoomkernen op de elektronen hiervoor te groot is.

Wanneer een elektron het atoom verlaat, blijft een positief geladen deeltje achter, aangezien het complete atoom elektrisch neutraal is. Dit overblijfsel wordt „ion” genoemd. Afgezien van één of meer elektronen bevat het ion de gehele massa van het atoom en is diens gevolg veel (duizenden malen) zwaarder dan een elektron.

In metalen zijn de atomen, evenals in alle vaste stoffen, aan vaste plaatsen

gebonden; alleen met relatief grote krachten kunnen zij ten opzichte van elkaar bewegen. Hetzelfde geldt voor metaalionen, die ontstaan door het wegnemen van één of meer elektronen uit het atoom. In gassen en – in mindere mate – in vloeistoffen kunnen de atomen zich echter vrij bewegen, hetgeen eveneens geldt voor gasionen.

Evenals de elektronen in een geleider zullen gasionen dank zij hun (positieve) lading onder invloed van een elektrisch veld in eenzelfde richting bewegen. Hierbij wordt positieve lading getransporteerd, hetgeen eveneens het optreden van een elektrische stroom betekent. In een gas, dat geheel of gedeeltelijk in elektronen en ionen is gesplitst („geïoniseerd” gas), komen twee typen ladingsdragers voor, die beide tot een elektrische stroom kunnen bijdragen. De voorwaarden, waaraan voldaan moet worden om een gas te ioniseren, worden hieronder besproken.

Thermische emissie

Hierboven werd reeds gezegd, dat de katode van een thyatron verhit moet worden. Ten gevolge van de hierdoor ontstane hoge temperatuur wordt de snelheid van de elektronen in de (metalen) katode zo groot, dat zij de krachten kunnen overwinnen, die hen anders in de katode vasthouden. Om de zgn. „elektronen-emissie” te vergemakkelijken, is de oppervlakte van de katode, zoals reeds werd vermeld, met een mengsel van metaaloxiden bedekt. Deze oxiden hebben namelijk de eigenschap, dat zij de aantrekkingskracht van de katode op de elektronen verkleinen, zodat de temperatuur van de katode niet zo hoog gemaakt behoeft te worden als in het geval, waarin de katode niet met oxyde bedekt is.

We zullen nu eerst aannemen, dat er geen rooster in de thyatron aanwezig is en dat aan de anode een kleine positieve spanning V_b wordt aangelegd ten opzichte van de katode. De geëmitteerde elektronen worden dan door de anode aangetrokken en hebben diensgevolge de neiging zich naar de anode te bewegen. Op hun weg daarheen botsen ze echter tegen de in de buis aanwezige gasatomen, waardoor ze hun snelheid verliezen. Wanneer de aangelegde spanning tussen anode en katode, de anodespanning, geleidelijk wordt verhoogd, neemt de snelheid van de elektronen toe, zodat de botsingen met de gasatomen steeds krachtiger worden. Bij een bepaalde elektronensnelheid, die overeenkomt met een bepaalde anodespanning,

worden de gasatomen geïoniseerd, d.w.z. de kracht, die door een elektron op een atoom wordt uitgeoefend wordt zo groot, dat het atoom hierdoor een elektron verliest. Op deze wijze wordt het gasatoom dus gesplitst in een elektron en een positief ion.

De gasontlading

Zowel de nieuw ontstane elektronen als de ionen, die uit de neutrale gasatomen ontstaan zijn, zijn geladen deeltjes en staan dus onder invloed van het elektrische veld, dat tussen de anode en de katode heerst. Evenals de elektronen zullen de ionen gaan bewegen, doch in tegengestelde richting,

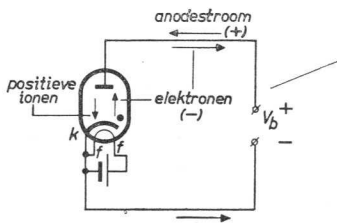


Fig. 4. Stromingsrichting van elektronen en ionen in een ontstoken gasgevulde buis.

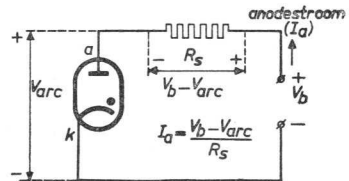


Fig. 5. Optredende spanningen in de anodeketen van een gasgevulde buis. De anodestroom (I_a) moet door een serie-weerstand R_s begrensd worden.

namelijk van de anode naar de katode. Tengevolge van hun relatief grote massa is de snelheid van de ionen veel kleiner dan die van de elektronen.

De door ionisatie ontstane elektronen bewegen evenals de geëmitteerde elektronen in de richting van de anode. Wanneer hun snelheid nu voldoende groot wordt, zullen deze elektronen op hun beurt gasatomen ioniseren, waardoor opnieuw elektronen en ionen ontstaan. Dit cumulatieve verschijnsel wordt „gasontlading” genoemd.

De uiteindelijke bestemming van de elektronen – de geëmitteerde en die ontstaan door ionisatie – is de anode en die van de ionen is de katode. De elektronen, die op de anode arriveren, verlaten de buis via de anodeaansluiting en vormen aldus een elektrische stroom in het uitwendige circuit (zie Fig. 4), zij doorlopen de voedingsbron en keren terug naar de katode. De ionen, die op de katode terecht komen, recombineren met geëmitteerde elektronen, waardoor opnieuw neutrale gasatomen ontstaan.

Het ligt voor de hand, dat de schakeling van Fig. 4 niet in de praktijk kan worden gebruikt; er is hierin namelijk niet voorzien in de begrenzing van de stroom door de buis en het uitwendige circuit. Er moet dus nog een stroombegrenzend element, bijvoorbeeld een weerstand, in de anodeketen worden opgenomen, zoals is voorgesteld in Fig. 5.

Tijdens het optreden van een gasontlading is er slechts een lage anodespanning nodig om de gasontlading in stand te houden, ca. 8 tot 12 volt. Deze spanning, de boogspanning genaamd (V_{arc}), is *onafhankelijk* van de anodestroom, die door de buis loopt. Het verschil tussen de aangelegde spanning V_b en de boogspanning verschijnt over de anode-(belastings) weerstand R_s . Door een juiste keuze van de voedingsspanning en deze serie-weerstand kan de stroom door de buis worden ingesteld.

De laagste anodespanning, waarbij een gasontlading gaat optreden, wordt „ontsteekspanning” genoemd. Deze spanning heeft geen vaste waarde, aangezien de spanning tussen rooster en katode, de roosterspanning, hierop van invloed is. Hierop zal in het volgende dieper worden ingegaan.

Er moet de nadruk op gelegd worden, dat een anodespanning van tegengestelde polariteit (anode negatief t.o.v. de katode) geen stroom door de thyatron veroorzaakt omdat de anode niet verhit wordt en dus niet kan emitteren. De buis heeft dan ook gelijkrichtende eigenschappen; wanneer tussen anode en katode een wisselspanning wordt aangelegd, zal er alleen stroom lopen gedurende de positieve halve perioden van die wisselspanning.

Roosterbesturing

Een gasgevulde buis met alleen een verhitte katode en een anode, die hierboven beschreven werd, staat bekend als een gasgevulde gelijkrichter, zoals

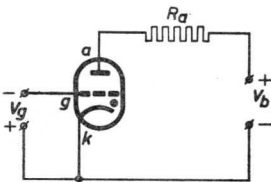


Fig. 6. Het aanleggen van een negatieve roosterspanning aan een thyatron ($-V_g$). Wanneer $-V_g$ wordt gevarieerd van een grote naar een kleine waarde ontsteekt de buis plotseling.

gebruikt wordt om de net-wisselspanning in gelijkspanning om te zetten, bijvoorbeeld voor het laden van accu's. Thyatrons behoren weliswaar ook

tot het soort van gasgevulde gelijkrichters, doch ten gevolge van de aanwezigheid van een rooster kunnen zij een veelzijdiger functie vervullen.

Wanneer een voldoende hoge negatieve spanning tussen het rooster en de katode ($-V_g$) wordt aangelegd, zoals voorgesteld in Fig. 6, zal de buis niet ontsteken, zelfs niet wanneer de anodespanning wordt opgevoerd tot enkele honderden volts. Dit is toe te schrijven aan de afstotende kracht, die de negatieve lading op het rooster op de door de katode geëmitteerde elektronen uitoefent. De snelheid van deze elektronen blijft dan te laag om een gasontlading te kunnen veroorzaken, zodat er geen anodestroom vloeit. Als de negatieve roosterspanning geleidelijk wordt verkleind, wordt de invloed hiervan op de elektronen kleiner, zodat de buis op een gegeven moment ontsteekt en er een anodestroom door de buis gaat vloeien. Het spreekt vanzelf, dat de roosterspanning, waarbij de buis ontsteekt, hoger moet zijn (minder negatief) naarmate de anodespanning lager is. De invloed van de negatieve roosterspanning op de geëmitteerde elektronen is immers tegengesteld aan die van de positieve anodespanning. Dit wordt geïllustreerd door de zgn. „regel-karakteristiek” van de thyatron, zoals getekend in Fig. 7. Deze grafiek geeft het verband tussen negatieve roosterspanning ($-V_g$) en

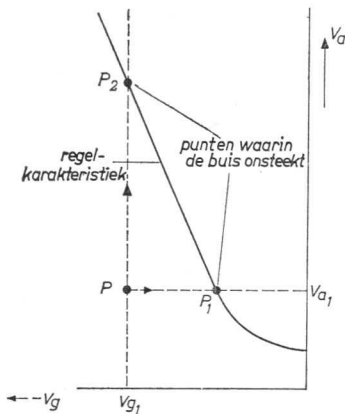


Fig. 7. Regelkarakteristiek van een thyatron. Als de karakteristiek van links naar rechts wordt overschreden, ontsteekt de buis in het snijpunt. Een ontstoken thyatron kan echter niet worden gedoofd door de karakteristiek in tegenovergestelde richting te overschrijden.

positieve anodespanning (V_a), dat moet bestaan om de buis te kunnen ontsteken. Wanneer vanuit een punt P links van de karakteristiek de negatieve roosterspanning wordt verlaagd of de anodespanning wordt verhoogd, waarbij de karakteristiek wordt overschreden, dan zal de buis ontsteken bij de

waarden van V_a en $-V_g$, die bij het snijpunt van de karakteristiek behoren. Zo zal bij een constante anodespanning V_{a1} en variërende roosterspanning de buis in punt P_1 ontsteken, terwijl bij een constante roosterspanning en variërende anodespanning de buis in punt P_2 ontsteekt.

Wanneer een thyatron eenmaal ontstoken is, kan de gasontlading slechts worden onderbroken indien de anodespanning beneden de boogspanning daalt. In een ontstoken thyatron verliest het rooster namelijk zijn invloed op de elektronen aangezien een laag van positieve ionen het rooster afschermt. Door verandering van de roosterspanning is het dan ook slechts mogelijk een thyatron te *ontsteken*, doch niet te *doven*. Bij gebruik van een thyatron met wisselspanning op de anode, wordt de buis automatisch gedurende elke periode gedoofd en wel op het moment waarop de momentele anodespanning van positief naar negatief gaat.

Ionisatietijd en de-ionisatietijd

Wanneer een thyatron ontstoken wordt door het van links naar rechts overschrijden van de regelkarakteristiek, verloopt er enige tijd, voordat de anodespanning tot de waarde van de boogspanning gedaald is. Deze zgn. „ionisatietijd” is van de grootte-orde van enkele micro-seconden en hangt onder andere af van de constructie van de buis en de gasdruk.

Ook hebben de gas-ionen enige tijd nodig om, nadat de buis gedoofd wordt, met elektronen neutrale atomen te vormen. Mocht binnen deze „de-ionisatietijd” de anodespanning stijgen, dan zal de buis ontsteken, zelfs bij een grote negatieve roosterspanning. Dientengevolge wordt de maximale frequentie, waarop een thyatron te gebruiken is, begrensd door de de-ionisatietijd, welke, afhankelijk van het buistype, tot 1 milli-seconde kan bedragen.

Triode- en tetrode-thyatrions

Behalve thyatrions met een enkel rooster, waarvan tot dusver alleen sprake is geweest, worden ook thyatrions met twee roosters gefabriceerd, namelijk met een stuurrooster en een scherm of schermrooster. Buizen met één rooster (3 elektroden) worden triodes en buizen met twee roosters (4 elektroden) worden tetrodes genoemd. Beide types hebben een katode, een stuurrooster en een anode, terwijl de tetrode een extra scherm tussen het

stuurrooster en de anode bezit. Fig. 8 toont het elektrodensysteem van zulk een thyatron. In een tetrode-thyatron is het stuurrooster meestal ringvormig uitgevoerd, terwijl het, afgezien van twee openingen, door het schermrooster wordt omgeven.

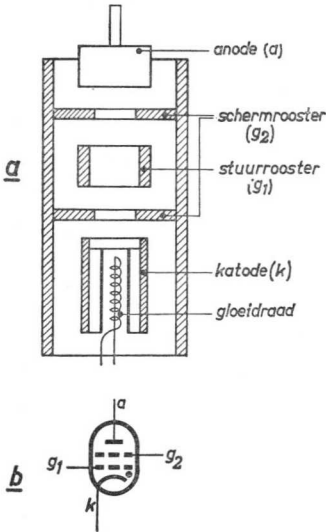


Fig. 8. Opstelling van de elektroden in een tetrode-thyatron. (a) Vereenvoudigde doorsnede, (b) Symbool. In schakelschema's wordt de gloeidraad vaak uit het symbool weggelaten.

De aanwezigheid van een schermrooster verleent de tetrode ten opzichte van de triode de volgende voordelen, die in speciale gevallen van veel nut kunnen zijn.

1. Ten gevolge van de aanwezigheid van het schermrooster is de stroom naar het stuurrooster, die in elke thyatron in een bepaalde mate optreedt, aanzienlijk verminderd. Deze eigenschap kan van belang zijn in schakelingen, waarin een grote weerstand in het stuurroostercircuit is opgenomen. Over deze weerstand treedt namelijk een spanningsval op, die evenredig is met de roosterstroom en de weerstandswaarde. Bij een grote spanningsval ontstaat een niet onaanzienlijke verschuiving van de besturingskarakteristiek, die de betrouwbaarheid van de schakeling ernstig zou kunnen schaden.

2. Wanneer het schermrooster geaard wordt, daalt de capaciteit tussen stuurrooster en anode. De elektrische krachtlijnen, die anders op de anode en het stuurrooster zouden beginnen en eindigen, worden nu grotendeels door het schermrooster onderschept. Hierdoor wordt het risico van een

toevallige ontsteking van de buis ten gevolge van een spanningsimpuls op de anode, die capacitef aan het stuurrooster wordt doorgegeven, sterk verkleind.

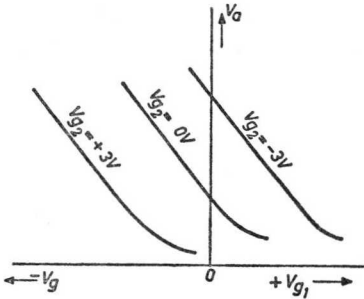


Fig. 9. Regelkarakteristieken van een tetrode thyatron voor verschillende waarden van de schermroosterspanning V_{g2} . Bij toenemende schermroosterspanning verschuift de karakteristiek naar links.

3. Het schermrooster biedt de mogelijkheid tot het binnen zekere grenzen verschuiven van de regelkarakteristiek door het veranderen van de schermroosterspanning. Dit wordt geïllustreerd in Fig. 9, waarin drie regelkarakteristieken van een tetrode thyatron voor verschillende waarden van de schermroosterspanning V_{g2} zijn gegeven. Hoe positiever de schermroosterspanning is, des te meer verschuift de regelkarakteristiek naar links. Dit is gemakkelijk in te zien, aangezien een positieve spanning op het schermrooster een negatieve spanning op het stuurrooster tegenwerkt.

Het verschuiven van de regelkarakteristiek door middel van V_{g2} is belangrijk in speciale schakelingen, waar twee buizen met enigszins verschillende karakteristieken aan elkaar aangepast moeten worden. Het is ook mogelijk om kleine variaties te compenseren, die in de loop van de tijd in de buiskarakteristieken optreden.

4. In speciale gevallen kan het schermrooster als een extra stuelektrode gebruikt worden om de buis te ontsteken.

Invloed van de gassoort

Het gedrag en de behandeling van thyatrons is, afgezien van algemene overwegingen, sterk afhankelijk van het type gas, waarmee de buis gevuld is: verzadigde kwikdamp of een edelgas. Dit is een gevolg van het feit, dat verschillende natuurkundige wetten op beide soorten van toepassing zijn.

In kwikdamp-thyatronen zijn zowel gas als vloeibaar kwik aanwezig. Op

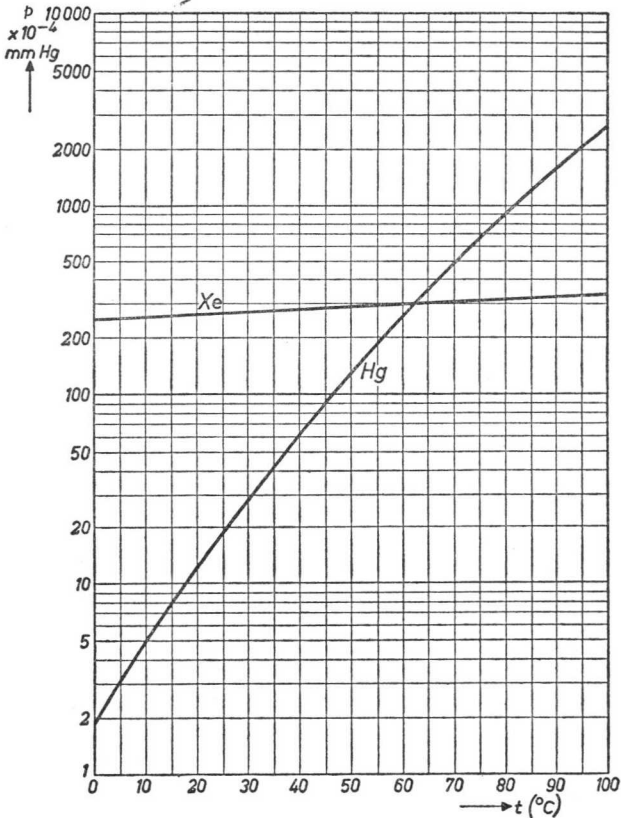


Fig. 10. Het verband tussen gasdruk en temperatuur voor verzadigde kwikdamp (Hg) en xenon (Xe).

kamertemperatuur is de gasdruk laag en onvoldoende om de thyratron te doen werken. Als de temperatuur wordt verhoogd, hetgeen in de praktijk geschiedt door het verhitten van de katode, verdampst een deel van het vloeibare kwik, zodat de gasdruk toeneemt. (De gasdruk wordt alleen bepaald door de laagste temperatuur, die in de buis heerst.)

Het verband tussen de gasdruk en de temperatuur van een met kwikdamp gevulde thyratron is weergegeven in Fig. 10. In deze grafiek komt tot uiting, dat de gasdruk aanzienlijk toeneemt bij toenemende temperatuur. Hoewel de levensduur van de buis gunstig wordt beïnvloed door een hoge gasdruk,

neemt bij toenemende gasdruk de maximaal toelaatbare negatieve anode-piekspanning af. Teneinde een redelijk compromis te verkrijgen tussen deze eigenschappen is het noodzakelijk om de werk-temperatuur van een met kwikdamp gevulde thyatron binnen nauwe grenzen te houden.

In een edelgas-thyatron bevindt zich geen vloeistof, zodat hierin dus geen verdamping kan optreden. De gasdruk is dan ook slechts weinig afhankelijk van de temperatuur. Als vergelijking is in Fig. 10 de gasdruk van een edelgas-thyatron (xenon) eveneens uitgezet tegen de temperatuur. Wanneer, met het oog op de maximaal toelaatbare negatieve anode-piekspanning en levensduur, voor zowel de met kwikdamp als de met een edelgas gevulde thyatron hetzelfde drukgebied wordt toegestaan, dan is het toelaatbare temperatuurgebied van de edelgas-buis groter dan dat van de kwik-dampbuis. In gevallen, waarin grote variaties van de omgevingstemperatuur voorkomen, worden dan ook bij voorkeur edelgas-thyatronen gebruikt.

Tijdens het in gebruik zijn van thyatronen, d.w.z. wanneer in de buis gasontladingen optreden, worden gasatomen geabsorbeerd door de elektroden en de glaswand. Dit „opslorpen” treedt sterker op, naarmate de stroom door de buis groter is. De gasdruk neemt dan geleidelijk af, hetgeen in het geval van een kwikdamp-buis wordt gecompenseerd door hernieuwde verdamping van vloeibaar kwik. In edelgas-buizen is geen bron van extra gas aanwezig, zodat deze typen na verloop van tijd onwerkzaam worden. Door de anodestroom van de thyatron tot een redelijke waarde te beperken, kan de levensduur niettemin zeer lang zijn.

Zowel de voordelen van kwikdamp- als van edelgas-thyatronen worden gecombineerd in buizen, die gevuld zijn met een mengsel van beide gassen. De temperatuurafhankelijkheid van deze buizen is lager dan die van kwikdamp-typen, terwijl de levensduur niet verkort wordt door absorptie van gas.

Directe en indirecte verhitting

De katode van een thyatron werd tot dusver beschreven als een aparte elektrode, waarin zich de gloeidraad bevindt. De stroom, die door de buis vloeit van anode naar katode en door het uitwendige circuit, passeert dienvolge niet de gloeidraad. Er zijn echter ook thyatronen, waarin zich geen aparte katode bevindt. In deze „direct-verhitte” typen fungeert de gloeidraad zelf als katode.

Ten einde elektronenemissie mogelijk te maken is de gloeidraad van een direct verhitte thyatron dan ook voorzien van een oxydelaa, analoog aan de katode van een „indirect verhitte” buis.

Aangezien de anodestroom van een direct verhitte thyatron door de gloeidraad loopt, zijn de zware thyatron-typen dan ook als regel met een indirect verhitte katode uitgevoerd. In het tegenovergestelde geval zou de gloeidraad te zwaar moeten zijn.

Het type katode en de afmetingen ervan bepalen de opwarmtijd van de katode. Direct verhitte katodes hebben in het algemeen een korte opwarmtijd, terwijl indirect verhitte katodes enkele minuten nodig hebben om na het inschakelen de gewenste temperatuur te bereiken. Bij kwikdamp-thyatronen moet bovendien de opwarmtijd van de buis in rekening gebracht worden aangezien dit type pas goed werkt wanneer er voldoende kwik verdampt is, hetgeen geschiedt door warmte-uitstraling van de katode.

Montage

Kwikdamp-thyatronen en thyatronen met een gemengde gasvulling dienen in het algemeen vertikaal, met de voet naar beneden, te worden gemonteerd en opgeslagen, zodat het vloeibare kwik zich altijd onder in de buis bevindt. Thyatronen, die met een edelgas gevuld zijn, mogen in elke positie gemonteerd en bewaard worden.

Alle typen moeten zodanig gemonteerd worden, dat de lucht vrij om de buis heen kan circuleren. Wanneer extra koeling noodzakelijk is, moet lucht geblazen worden op de onderzijde van de buis, waar de kwikdamp moet condenseren.

De afstand tussen de buizen en de andere onderdelen van de schakeling en tussen de buizen en de wanden van de kast moet ten minste gelijk zijn aan de helft van de buisdiameter. Indien de buis in een gesloten kast gemonteerd is, moet bij het bepalen van de afmetingen van de kast en de plaats van de onderdelen rekening gehouden worden met de warmte, die door de buis en de andere onderdelen gedissipeerd wordt. Maatregelen dienen genomen te worden om te voorkomen, dat een werkende thyatron in aanraking kan komen met andere delen van het apparaat of blootgesteld wordt aan vallende deeltjes of druppels.

Thyatronen moeten zodanig worden gemonteerd, dat ze niet kunnen worden beschadigd ten gevolge van schokken of trillingen.

De kleinere typen thyatron hebben gewoonlijk een buisvoet met contactpennen. Deze pennen worden in een passende buishouder gestoken, die voorzien is van contactveren met soldeerlippen. Voor kwikdamp thyatrons moet deze buishouder op een horizontaal chassis gemonteerd worden in verband met de vereiste verticale positie van de buis.

De kracht, waarmee de buis door de contactveren van de buishouder wordt vastgehouden, is zo groot, dat geen extra ondersteuning nodig is. Grotere typen, die grote stromen voeren, zijn in het algemeen voorzien van montagebeugels, die met schroef en moer bevestigd moeten worden.

Als de buis voorzien is van een topaansluiting voor de anode, moet deze via een buigzame aansluiting worden aangesloten ten einde spanningen in de glazen ballon te vermijden. Eventuele schroefaansluitingen dienen stevig bevestigd te worden zonder hierbij de ballon overmatig te belasten.

Het spreekt vanzelf, dat de leidingen een voldoende grote doorsnede moeten hebben voor de effectieve waarde van de stroom.

Gloeidraadvoeding

De gloeidraad van een thyatron wordt in het algemeen met wisselspanning gevoed. De „gloeispanning” heeft een betrekkelijk lage waarde (gewoonlijk 2,5 of 5 V), zodat bij voeding uit het net een transformator gebruikt moet worden. De gloeistroomtransformator moet zo groot zijn, dat deze het benodigde gloeistroomvermogen kan afgeven. Dit vermogen kan uiteenlopen van enkele watts tot ca. 125 W per buis, afhankelijk van het type thyatron.

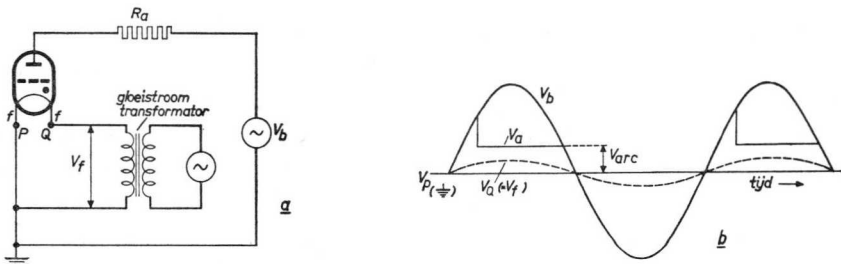


Fig. 11. Het gebruik van één gloeidraadeinde als katodeaansluiting. (a) Schema. (b) Spanning uitgezet tegen de tijd. Het spanningsverschil tussen de anode en punt P is groter dan tussen de anode en punt Q.

Bij direct verhitte thyratrons dient overwogen te worden welk punt van het gloeidraadcircuit met het uitwendige anodecircuit verbonden zal worden, een functie, die bij indirect verhitte buizen door de katode wordt vervuld.

Laten wij eerst het geval beschouwen, waarin één van de gloeidraadeinden de verbinding met het anodecircuit vormt (P in Fig. 11a). Wanneer we aannemen, dat de anodevoedingsspanning V_b en de gloeispanning in fase zijn, blijken de spanningen tussen de anode en de beide gloeidraadeinden ongelijk te zijn (zie Fig. 11b). Gedurende de positieve halve perioden van de anodespanning, is de spanning tussen de anode en punt P altijd groter dan de spanning tussen de anode en punt Q . De linker zijde van de gloeidraad, die de laagste potentiaal heeft, wordt dan ook het zwaarst belast.

Deze asymmetrische belasting van de gloeidraad, die de levensduur van de buis ongunstig beïnvloedt, neemt toe naarmate de verhouding tussen de

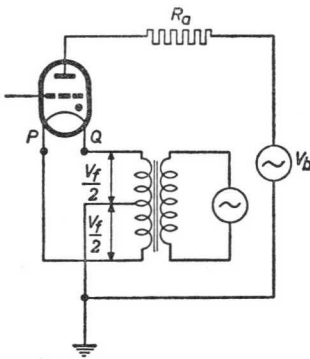


Fig. 12. Aansluiting van de anode-retourleiding aan de middenaftakking op de secundaire van de gloeistroomtransformator. Indien de gloeispanning V_f en de anodevoedingsspanning V_b 90° in fase verschillen wordt een gelijke verdeling van de anodestroom tussen de beide helften van de gloeidraad verkregen (zie Fig. 13).

(betrekkelijk lage) boogspanning en de gloeispanning kleiner wordt. Direct verhitte thyratrons hebben dan ook gewoonlijk een lage gloeispanning; die van de PL 150 bijvoorbeeld is 1,9 V.

Het bovengenoemde verschijnsel kan worden verminderd door de anodeketen met de middenaftakking van de secundaire wikkeling van de gloeistroomtransformator te verbinden, zoals in Fig. 12 is aangegeven. De spanningen van beide gloeidraadeinden ten opzichte van aarde zijn dan gelijk aan de halve gloeispanning. Hierdoor is de verhouding tussen $V_{arc} - V_P$ en $V_{arc} - V_Q$ kleiner dan in de schakeling van Fig. 11a.

Een meer gelijke stroomverdeling, en als gevolg hiervan een langere leve ns-

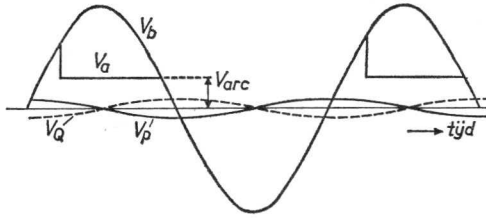


Fig. 13. Diagram waarin het verband tussen de spanningen van de gloeidraaduiteinden ten opzichte van aarde en de anodespanning zijn aangegeven met een fazeverschuiving van 90° tussen de gloeispanning en de anodevoedingsspanning. Gedurende het eerste deel van de positieve halve perioden zal de anodestroom voornamelijk naar de rechter kant van de gloeidraad lopen (Q) en gedurende het tweede deel naar de linkerkant (P).

duur van de buis, wordt verkregen indien in de schakeling van Fig. 12 de gloeispanning een fazeverschil van 90° heeft ten opzichte van de anodespanning. Dit is voorgesteld in Fig. 13, waaruit blijkt dat de anodestroom gedurende de eerste helft van de positieve halve periode door het rechter deel van de gloeidraad (Q) vloeit en gedurende de tweede helft van deze halve periode door het linker deel (P).

HOOFDSTUK II

ELEKTRISCHE EIGENSCHAPPEN

De ontsteekarakteristiek

In de meeste toepassingen worden thyratrons gevoed met wisselspanning tussen anode en katode. De anodespanning is dan vóór het ontsteken sinusvormig, zoals in Fig. 14b te zien is. Deze figuur toont, hoe de momentele waarde van de anodevoedingsspanning met de tijd varieert. Dientengevolge heeft de roosterspanning die nodig is om de buis te ontsteken (de ontsteekspanning) geen vaste waarde, doch hangt eveneens van de tijd af. Wanneer op elk tijdstip de bij de anodespanning behorende ontsteekspanning wordt uitgezet, verkrijgt men de „ontsteekarakteristiek”. Deze karakteristiek kan van de regelkarakteristiek worden afgeleid zoals in Fig. 14 is aangegeven. De bij de momentele waarde van de anodespanning $V_{a(1)}$ behorende ontsteekspanning (bij de fazehoek φ_1) is volgens Fig. 14a gelijk aan $-V_{g(1)}$. Wanneer $-V_{g(1)}$ in het diagram van Fig. 14b onder de tijdas wordt uitgezet bij dezelfde

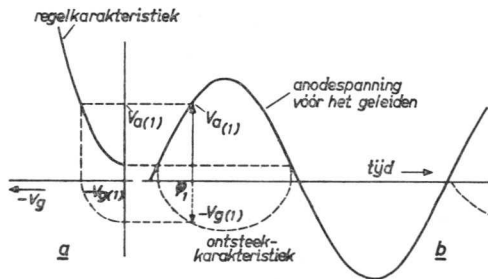


Fig. 14. Constructie van de ontsteekarakteristiek van een thyatron die met een wisselspanning gevoed wordt. Onder de tijdas in (b) is de ontsteekspanning uitgezet overeenkomstig de momentele waarden van de anodespanning bij dezelfde fazehoek. De waarde van de ontsteekspanning $-V_{g(1)}$ bij φ_1 is afgeleid van de regelkarakteristiek in (a).

fazehoek φ_1 , is één punt van de ontsteekarakteristiek geconstrueerd. Indien deze procedure voor alle momentele waarden van de anodespanning wordt herhaald, wordt de gehele ontsteekarakteristiek verkregen.

Het is duidelijk, dat de ontsteekarakteristiek alleen optreedt tijdens de positieve halve perioden van de anodespanning, aangezien de buis bij negatieve anodespanningen niet kan ontsteken.

Wanneer de spanning, die in werkelijkheid tussen rooster en katode wordt aangelegd, de ontsteekarakteristiek snijdt, zal de buis ontsteken op het snijpunt. Indien, zoals in Fig. 15 is aangegeven, een roosterspanning $-V_{g(1)}$ wordt aangelegd, dan zal in de fazehoek φ_1 de buis ontsteken. (φ_1 wordt dan ook de „ontsteekhoek” genoemd.) Zodra de buis ontstoken is, daalt de anodespanning tot de boogspanning V_{arc} . De buis blijft ontstoken tot de fazehoek φ_3 , op welk moment de voedingsspanning V_b beneden de boogspanning daalt. De spanning is dan te laag om de gasontlading in stand te houden. Gedurende de volgende positieve halve perioden van de voedingsspanning ontsteekt de buis weer in de ontsteekhoek φ_1 .

Als de negatieve roosterspanning wordt vergroot tot $V_{g(2)}$ wordt de ontsteekarakteristiek later in de periode gesneden, namelijk in de fazehoek φ_2 , terwijl de buis blijft geleiden tot φ_3 , aangezien dit moment onafhankelijk is van de roosterspanning. Uit Fig. 15 blijkt, dat in het laatste geval de thyatron gedurende een kortere tijd geleidt. Aangezien deze tijd een maat is voor de stroom, die door de buis wordt doorgelaten en voor de spanning over de belasting R_a , kan de stroomsterkte en/of de spanning van een gelijkrichter, die met thyatrons is uitgerust, worden geregeld door de roosterspanning te variëren.

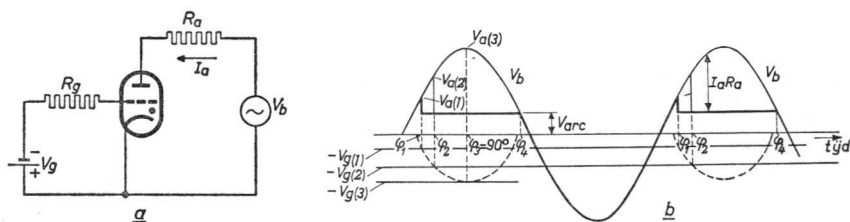


Fig. 15. Invloed van een variabele roostergelijkspanning op de ontsteekhoek van een thyatron die met een wisselspanning V_b tussen anode en katode gevoed wordt. (a) Principe-schema. (b) Spanning uitgezet tegen de tijd.

Horizontale besturing

Uit Fig. 15 valt af te leiden, dat besturing van een thyatron door middel van gelijkspanning op het rooster alleen mogelijk is tot een spanning $-V_{g(3)}$, overeenkomende met een ontsteekhoek van 90° . Indien de rooster-spanning nog verder negatief gemaakt wordt, treedt geen ontsteking op, aangezien de ontsteekarakteristiek niet gesneden wordt. Het ontsteken van een thyatron over een bereik van 0° tot 180° is op deze wijze dan ook niet mogelijk. Als het noodzakelijk is de ontsteekhoek tot 180° te kunnen variëren, moet aan het rooster een wisselspanning worden aangelegd, waarvan het fazeverschil met de anodevoedingsspanning overeenkomt met de gewenste ontsteekhoek.

Dit is geïllustreerd in Fig. 16, waarin een roosterwisselspanning $V_{g(1)}$ de ontsteekarakteristiek snijdt bij een grote ontsteekhoek (ca. 120°). Uit deze figuur blijkt, dat de ontsteekhoek kan worden veranderd door de faze van de roosterspanning te variëren ($V_{g(2)}$).

Deze methode van het besturen van de ontsteekhoek wordt „horizontale besturing” genoemd, omdat de faze van de roosterwisselspanning horizontaal langs de tijdas verschoven wordt.

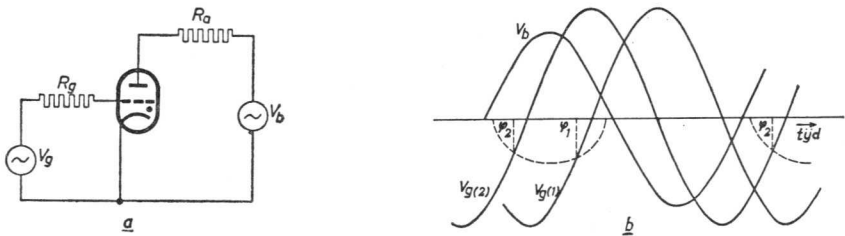


Fig. 16. Horizontale besturing van een thyatron door middel van een roosterwisselspanning V_g , waarvan de faze ten opzichte van de anodevoedingsspanning V_b verschoven is. (a) Principe-schema. (b) Diagram waarin de invloed van de faze van V_g op de ontsteekhoek wordt geïllustreerd. Het blijkt, dat besturing mogelijk is tot ca. 180° .

Om een goed gedefinieerd snijpunt met de ontsteekarakteristiek te verkrijgen, moet de amplitude van de roosterspanning een grote waarde hebben. Dit is noodzakelijk in verband met de spreidingen in de ontsteekarakteristiek, waarover later meer gezegd zal worden. Er zal dan een methode worden

aangegeven, om bij horizontale besturing een beter gedefiniëerde ontsteekhoek te verkrijgen.

Vertikale besturing

Een andere methode om een thyatron te besturen is door middel van een roosterwisselspanning, die op een gelijkspanning gesuperponeerd is. Deze wisselspanning ijlt 90° na op de anodevoedingsspanning, terwijl de gelijkspanning gevarieerd kan worden.

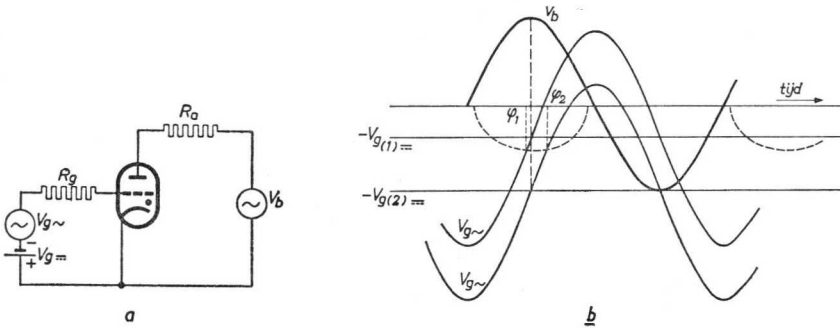


Fig. 17. Vertikale besturing van een thyatron door middel van een roosterwisselspanning $V_{g\sim}$, die op een variabele gelijkspanning $V_g =$ gesuperponeerd is. (a) Principe-schema. (b) Invloed van de rooster gelijkspanning op de ontsteekhoek. Wanneer $V_g =$ gevarieerd wordt van $-V_{g(1)}$ tot $-V_{g(2)}$ verandert de ontsteekhoek van φ_1 tot φ_2 .

In Fig. 17a is de schakeling van het verticale besturingssysteem weergegeven, terwijl Fig. 17b de invloed van de verandering van de negatieve roosterspanning op de ontsteekhoek laat zien. Bij een gelijkspanning $-V_{g(1)}$ ontsteekt de buis bij de hoek φ_1 , terwijl de ontsteekhoek wordt vergroot tot φ_2 wanneer de rooster gelijkspanning wordt verkleind tot $-V_{g(2)}$.

De invloed van spreidingen

Tot dusver werd de regelkarakteristiek van een thyatron als een enkelvoudige kromme voorgesteld. De ontsteekspanning wordt echter niet uitsluitend door de anodespanning bepaald, doch hangt ook nog af van andere

voorwaarden, zoals de temperatuur. Dit is speciaal het geval bij buizen, die met kwikdamp gevuld zijn. Voor een bepaald type thyatron vertoont de ontsteekspanning bij een gegeven anodespanning dan ook een zekere

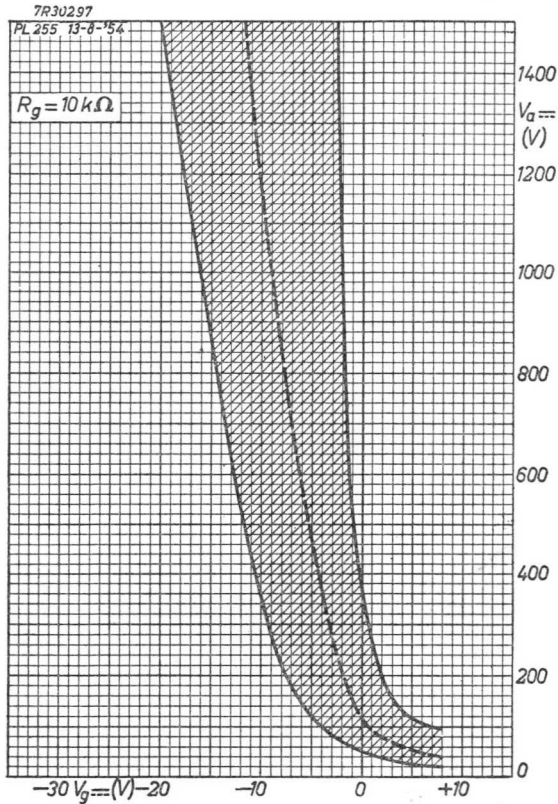


Fig. 18. Regelkarakteristiek van de PL 255 thyatron, waarin de spreidingen in de ontsteekspanning tot uitdrukking gebracht worden. De gemiddelde waarden van de ontsteekspanning zijn met een stippellijn aangeduid.

spreiding, waarmee bij sommige toepassingen rekening gehouden moet worden. Dientengevolge wordt de regelkarakteristiek in de praktijk voorgesteld door een gearceerd gebied, dat tussen twee grenskrommen in ligt. In Fig. 18, die de regelkarakteristiek van de kwikdamp-thyatron PL 255 voorstelt, is dit duidelijk te zien.

Aangezien de ontsteekarakteristiek rechtstreeks verband houdt met de regelkarakteristiek, kan deze eveneens door een gearceerd gebied worden voorgesteld (zie Fig. 19).

In Fig. 19 is ook de roosterwisselspanning weergegeven van een thyatron, die horizontaal bestuurd wordt. Wanneer de uitwendige omstandigheden zodanig zijn, dat de kromme p van toepassing is, treedt de ontsteking op in punt A , terwijl in het andere uiterste geval (kromme q) het ontsteekpunt B is, dus later in de periode.

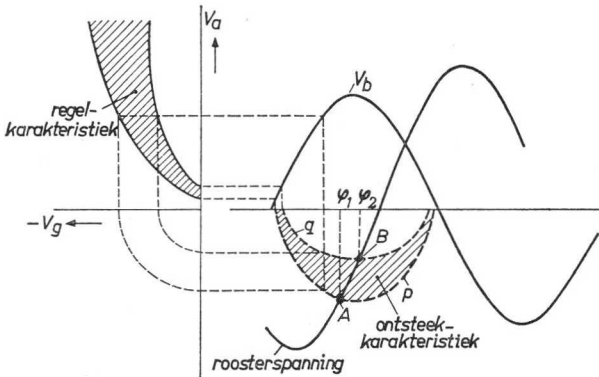


Fig. 19. Bepaling van de ontsteekarakteristiek uit de regelkarakteristiek wanneer deze laatste door een gearceerd gebied wordt weergegeven. Uit deze bepaling blijkt, dat de ontsteekarakteristiek eveneens tussen twee grenzen ligt, de lijnen p en q . Als een roosterwisselspanning aan de thyatron wordt toegevoerd, zoals in de figuur is aangegeven, kan de buis gaan ontsteken in elke fazehoek tussen φ_1 en φ_2 , afhankelijk van externe omstandigheden.

Bij verticale besturing treedt hetzelfde verschijnsel op, zodat het duidelijk is, dat bij de besturing van een thyatron met een wisselspanning een verschuiving in de ontsteekhoek kan optreden tengevolge van spreidingen in de regelkarakteristiek.

Hoewel de verschuiving van de ontsteekhoek verkleind kan worden door de roosterwisselspanning een grote waarde te geven, zijn andere middelen voor de besturing van een thyatron vaak gewenst. Hieronder zal worden aangetoond hoe een exacte ontsteekhoek kan worden verkregen.

Besturing door middel van impulsen

Uit Fig. 19 valt af te leiden, dat de spreiding in de ontsteekhoek ten gevolge van de spreiding in de ontsteekarakteristiek nauw verband houdt met de helling van de roosterspanningskromme in het gebied van de ontsteekspanning. Wanneer in dit gebied de roosterspanning snel met de tijd ver-

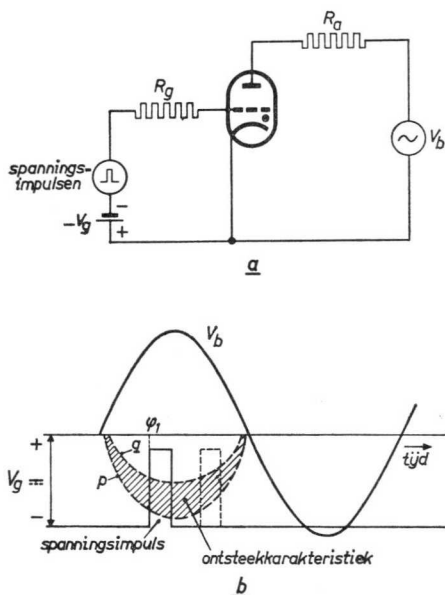


Fig. 20. Ontsteking van een thyatron door middel van impulsen. Om een gedefinieerde ontsteekhoek te verkrijgen, die onafhankelijk is van spreidingen in de ontsteekarakteristiek, wordt een spanningsimpuls met een steile voorflank aan het rooster toegevoerd, gesuperponeerd op een constante negatieve gelijkspanning. (a) Principe-schema, (b) Spanning uitgezet tegen tijd.

andert, zal het verschil tussen φ_2 en φ_1 kleiner zijn dan bij een langzamer verandering van de roosterspanning. Zoals hierboven reeds werd opgemerkt, kan een snelle verandering verkregen worden door de (sinusvormige) roosterwisselspanning een grote amplitude te geven. Dit zal echter om praktische redenen vaak niet mogelijk zijn; in dat geval kan met vrucht gebruik gemaakt worden van steile spanningsimpulsen, die, gesuperponeerd op een negatieve gelijkspanning, aan het rooster worden toegevoerd.

In Fig. 20a is het prinsipeschema van deze impulssturing getekend met in Fig. 20b het spanning/tijd-diagram. Uit deze laatste figuur blijkt, dat het tijdstip van de ontsteking onafhankelijk is van het feit of de kromme p of q van toepassing is; in beide gevallen is de ontsteekhoek φ_1 .

Als de impulsen in de tijd verschoven worden, is besturing mogelijk vanaf ongeveer 0° tot 180° . (De gestippelde impuls in Fig. 20b komt overeen met een ontsteekhoek van ongeveer 120° .)

De hierboven beschreven methode van besturing kan onder „horizontale besturing” geklassificeerd worden. In het volgende hoofdstuk zal worden aangetoond, hoe de vereiste impulsen kunnen worden verkregen door middel van een zogenaamde „piek-transformator” (zie pag. 35).

Parallel- en anti-parallel schakeling

Parallel-schakeling

Indien voor het gestelde doel de stroom, die door een bepaald type thyatron geleverd kan worden, onvoldoende is, kan parallelschakeling van twee of

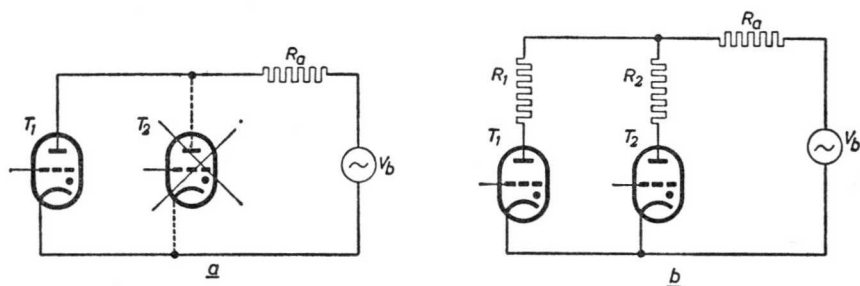


Fig. 21. Parallel-schakeling van twee thyatrons. (a) foutief, (b) correct.

meer buizen overwogen worden. Thyatrons en, in het algemeen, alle typen gasgevulde buizen, mogen echter *niet* zonder meer parallel geschakeld worden, zoals in Fig. 21a is aangegeven. De reden voor dit verbod kan als volgt worden verklaard.

Indien beide buizen oorspronkelijk niet ontstoken zijn en de voedingspanning en/of de roosterspanning wordt verhoogd, zal één van beide buizen

altijd het eerst ontsteken. Dit is het gevolg van de onvermijdelijke spreidingen in de ontsteekarakteristiek. Op het moment dat één van de buizen, laten we aannemen T_1 , ontsteekt, zal de anodespanning van deze buis en dus ook die van T_2 dalen tot de boogspanning. Deze boogspanning is nu echter te laag om T_2 te doen ontsteken, zodat de laatste onwerkzaam blijft.

Om deze moeilijkheid te vermijden, kan met elke buis afzonderlijk een weerstand in serie geschakeld worden, zoals in Fig. 21b is aangegeven. In plaats van weerstanden kunnen ook inductieve elementen (spoelen of transformatoren) gebruikt worden. In een volgende hoofdstuk worden dergelijke schakelingen gedetailleerder behandeld (pag. 45).

Anti-parallel schakeling

Zoals reeds eerder werd gezegd laat een thyatron de stroom slechts in één richting door: van de anode naar de katode. In veel toepassingen wordt van

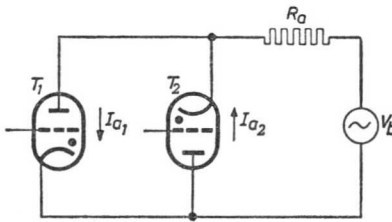


Fig. 22. Anti-parallel-schakeling van twee thyatrons. Gedurende de positieve halve perioden is T_1 geleidend, terwijl T_2 geleidt tijdens de negatieve halve perioden van de voedingspanning V_b . Beide stromen I_{a1} en I_{a2} passeren de belastingsweerstand R_a .

dit gelijkrichteffect een dankbaar gebruik gemaakt; indien men een gelijkstroom wenst, is in het geval van voeding uit het wisselstroomnet geen extra gelijkrichter nodig. Het kan echter noodzakelijk zijn om een wisselstroom te besturen, zoals bijvoorbeeld voor het dimmen van fluorescentielampen. In dit geval kunnen twee thyatrons worden gebruikt, die anti-parallel geschakeld worden. Deze schakeling is getekend in Fig. 22; de anode van de ene buis is verbonden met de katode van de andere en omgekeerd.

Gedurende de positieve halve perioden van de voedingspanning loopt de stroom door T_1 , terwijl gedurende de negatieve halve perioden T_2 geleidend is. De anodestromen van T_1 en T_2 vloeien door de belasting R_a maar in verschillende richting, zodat de vereiste wisselstroom ontstaat.

In tegenstelling tot zuivere parallel-schakeling zijn bij een anti-parallel

schakeling serie-weerstanden of inductieve elementen in serie met elke thyatron afzonderlijk niet nodig. Immers, de ene thyatron geleidt slechts wanneer de andere gedoofd is.

Drie-fazen schakeling

In vele industriële toepassingen wordt elektrisch vermogen verkregen uit het 3-fazen net. Wanneer de stroom uit zulk een 3-fazen systeem gestuurd moet worden door middel van thyatrons, dient in elke fase een thyatron te worden opgenomen, zoals in Fig. 23 is aangegeven. Hierin is elke fase verbonden met de anode van één der buizen, terwijl de katoden doorverbonden zijn. De belasting, die tussen de katoden en de nulleider geschakeld is, is dus gemeenschappelijk voor de drie anodecircuits van de thyatrons.

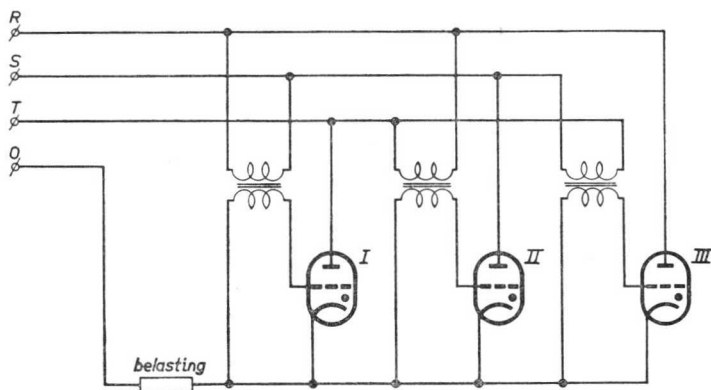


Fig. 23. Toepassing van thyatrons in een 3-fazen schakeling. De buizen laten stroomimpulsen door, die na elkaar de belasting doorlopen.

De anodevoedingsspanningen van de buizen zijn onderling 120° in fase verschoven, zodat de buizen na elkaar geleiden. Om een symmetrische belasting van de fazen en de buizen te verkrijgen, is het noodzakelijk, dat de ontsteekhoeken van de buizen gelijk zijn. Dit houdt in, dat, in verband met de onderlinge fazeverschuiving van de anodevoedingsspanningen van 120° , de roosterspanningen eveneens 120° in fase verschoven moeten zijn. Dit kan op eenvoudige wijze worden verwezenlijkt door de roosterspanning

van een bepaalde buis af te nemen van de twee fazen, waarmee de anode van deze buis niet verbonden is, zoals geïllustreerd is in Fig. 23.

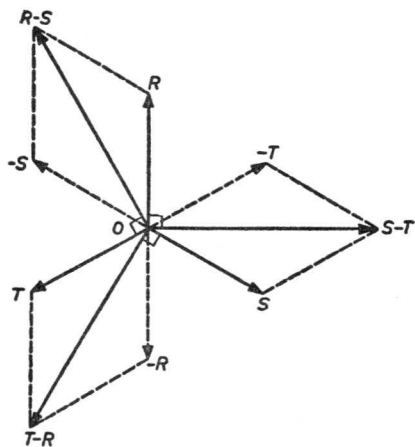


Fig. 24. Vector-diagram van de spanningen in een 3-fazen systeem. Zowel de fazespanningen als de spanningen tussen de fazen hebben een wederzijdse fazeverschuiving van 120° .

Uit het vector-diagram van Fig. 24 blijkt, dat er een fazeverschuiving van 90° bestaat tussen bijvoorbeeld $(R-S)$ en T , overeenkomende met respectievelijk de roosterspanning en de anodespanning van buis I. Hetzelfde is van toepassing op de anode- en roosterspanningen van de andere buizen, zodat alle buizen dezelfde ontstekehoek hebben, in dit geval 90° .

Wanneer in een 3-fazen systeem een wisselstroom gestuurd moet worden, moeten ten minste 6 thyratrons gebruikt worden, die twee aan twee anti-parallel geschakeld zijn.

HOOFDSTUK III

BASISSCHAKELINGEN

Schakelingen voor roosterbesturing

In dit hoofdstuk zal worden aangetoond, hoe de methoden van roosterbesturing, zoals die in het vorige hoofdstuk werden beschreven, kunnen worden verwezenlijkt. Het ligt buiten de opzet van dit boekje om uitgewerkte details te geven, zodat met enkele principe-schakelingen zal worden volstaan.

Fazedraai-brug voor horizontale besturing

Voor horizontale besturing van thyatronen met een roosterwisselspanning kan gebruik gemaakt worden van een fazedraai-brug, zoals getekend is in Fig. 25. Met dit type schakeling kan een constante uitgangsspanning V_o verkregen worden, terwijl de faze-verschuiving tussen deze spanning en de ingangsspanning V_i gevarieerd kan worden van 0° tot ongeveer 180° .

De weerstanden R_1 en R_2 in Fig. 25 zijn gelijk; de spanningen hierover (V_{R_1} en V_{R_2}) zijn diensgevolge beide gelijk aan de halve voedingsspanning.

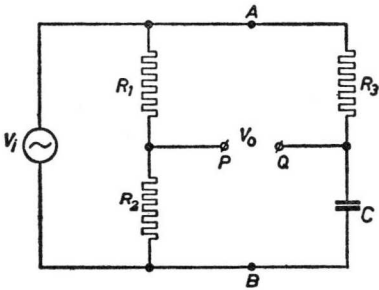


Fig. 25. Fazedraai-brug, waarmee een faze-verschuiving van 0° tot ongeveer 180° tussen V_o en V_i verkregen kan worden.

De spanningen in de andere tak van de brug, n.l. die over de condensator C en over de weerstand R_3 , hebben een onderlinge fazeverschuiving van 90° , terwijl hun vectorsom gelijk is aan V_i . In het vectordiagram van Fig. 26 zijn deze spanningen aangegeven voor bepaalde waarden van C en R_3 (De punten A , B , P en Q in Fig. 26 komen overeen met dezelfde punten in Fig. 25).

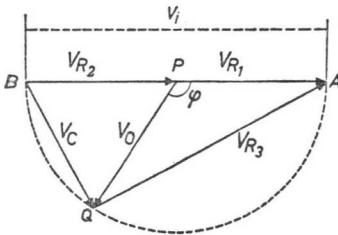


Fig. 26. Vector-diagram van de schakeling van Fig. 25. Het punt Q ligt op een halve cirkel beschreven op $B-A$. Als gevolg hiervan is de uitgangsspanning V_o onafhankelijk van de waarden van R_3 en C .

Wanneer de capaciteit van C of de weerstand van R veranderd wordt, beschrijft het punt Q in Fig. 26 een halve cirkel op BA als middellijn, aangezien de vectoren BQ (V_C) en QA (V_{R3}) altijd loodrecht op elkaar staan. De grootte van de uitgangsspanning V_o , die afgenomen wordt tussen de punten P en Q , is gelijk aan de straal van deze halve cirkel en dus gelijk aan de helft van de ingangsspanning V_i .

Uit Fig. 26 volgt, dat de fazehoek tussen de uitgangsspanning V_o en de ingangsspanning V_i gevarieerd kan worden tussen 0° en ca. 180° . Een fazeverschuiving van precies 180° kan niet worden bereikt, aangezien in dat geval hetzij R_3 of C oneindig groot gemaakt zou moeten worden.

Om met de schakeling van Fig. 25 een thyatron te kunnen besturen, moet de uitgangsspanning V_o tussen de katode en het stuurrooster worden aangesloten, terwijl de ingangsspanning V_i in faze moet zijn met de anodevoedingsspanning, of althans hiermee een zekere fazebetrekking moet hebben. Om dit te bereiken wordt V_i gewoonlijk betrokken van een wikkeling op dezelfde transformator als waarvan de anodespanning van de buis afgenomen wordt. Indien deze wikkeling voorzien is van een middenaftakking, kan de tak R_1-R_2 worden weggelaten, waarbij dan deze middenaftakking als het punt P fungeert.

Een hierop gebaseerde schakeling is voorgesteld in Fig. 27. De fazedraai-

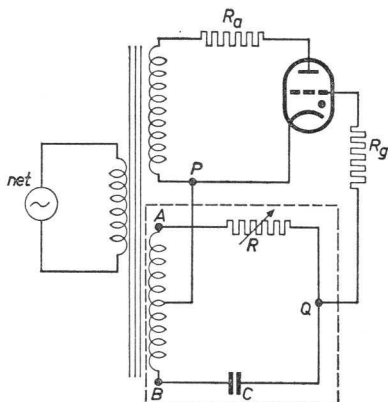


Fig. 27. Thyatron-ontsteekschakeling voor horizontale besturing uitgerust met een fazedraai-brug, zoals getekend in Fig. 25. (binnen de stippellijnen). De symbolen A , B , P en Q corresponderen met die van Fig. 25.

brug is door de stippellijn omgeven. De letters A , B , P en Q corresponderen weer met die in Fig. 25. De weerstand R_g in het roostercircuit van de thyatron dient voor het beperken van de roosterstroom, die altijd in zekere mate optreedt bij een ontstoken thyatron.

In Fig. 27 is R als variabele weerstand uitgevoerd. Dit biedt de mogelijkheid om de ontsteekhoek van de thyatron met de hand in te stellen. Voor

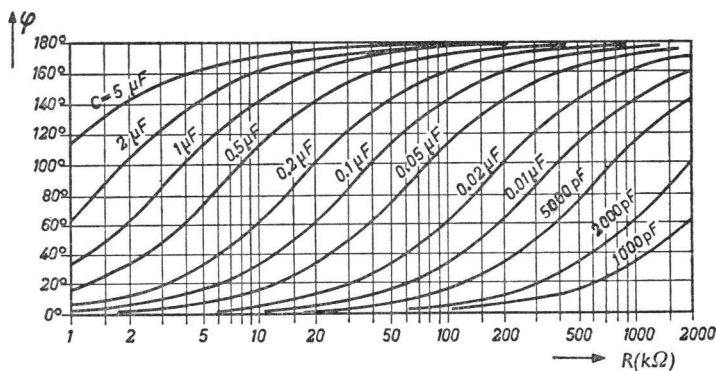


Fig. 28. Verband tussen fazeverschuiving (φ) en weerstand (R) van de brugschakeling van Fig. 27 voor verschillende waarden van de capaciteit (C) ($f = 50$ Hz).

verschillende waarden van de capaciteit C is het verband tussen de fazehoek en de waarde van R in Fig. 28 aangegeven, geldend voor een frequentie van 50 Hz.

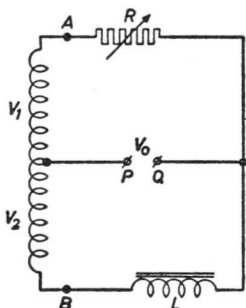
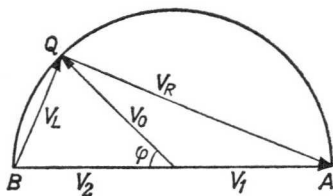


Fig. 29. Fazedraai-brug met een variabele weerstand R en zelfinductie L .

Fig. 30. Vector-diagram van de schakeling van Fig. 29. Vergelijk met Fig. 25 en 26.



Om de ontsteekhoek van een thyatron automatisch in te stellen, kan de weerstand R mechanisch gekoppeld worden aan een inrichting, die reageert op de grootte, die bestuurd dient te worden, zoals een differentieel in het geval van motorregeling.

Wanneer de ontsteekhoek dient te reageren op temperatuurverschillen, kan de weerstand R worden vervangen door een N.T.C.-weerstand¹⁾. Op pag. 54 is een schakeling gegeven van een door een thyatron geregelde thermostaat, waarin een N.T.C.-weerstand gebruikt wordt. Het ligt voor de hand, dat in plaats van de weerstand R de capaciteit van C veranderd kan worden ten einde de ontsteekhoek te variëren.

Op een soortgelijke manier als een brug met condensator en weerstand kan een brug met weerstand en zelfinductie worden geconstrueerd. Zulk

¹⁾ Negatieve Temperatuur Coëfficiënt. De weerstand van een N.T.C.-weerstand neemt sterk af bij toenemende temperatuur.

een schakeling is in Fig. 29 getekend en het bijbehorende vectordiagram in Fig. 30. *Vergroting* van de waarde van R in deze schakeling heeft hetzelfde effect op de fazehoek als *verkleining* van de weerstandswaarde van R in de schakeling van Fig. 27. Dit is duidelijk wanneer we bedenken, dat in een zelfinductie de stroom 90° naijlt op de spanning, terwijl bij een condensator de stroom 90° voorijlt op de spanning.

Werking van de piektransformator

De werking van de piektransformator berust op het niet-lineaire verband, dat bij deze transformator bestaat tussen magnetische veldsterkte en inductie. Deze eigenschap is verkregen door de kern van een piektransformator uit twee verschillende delen te maken (zie Fig. 31); één deel met normale transformator-lamellen (K_1) en het andere (K_2) gemaakt van een materiaal,

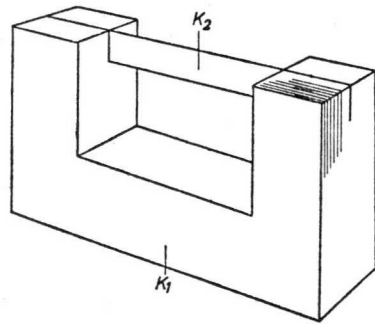


Fig. 31. Kern van een piektransformator. K_1 bestaat uit normale lamellen en K_2 is gemaakt van een materiaal, waarin verzadiging optreedt bij een lage veldsterkte.

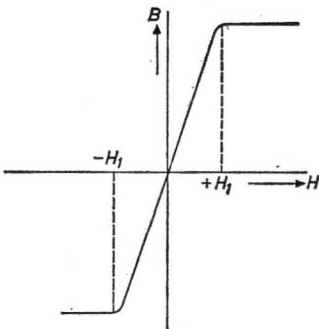


Fig. 32. Inductie (B) uitgezet tegen veldsterkte (H) van een piektransformator. Boven een betrekkelijk lage waarde $+H_1$ (en beneden $-H_1$) is de inductie praktisch constant.

waarin magnetische verzadiging al bij een betrekkelijk lage veldsterkte optreedt. De inductie (B) verloopt dan met de veldsterkte (H) zoals in Fig. 32 is aangegeven. Boven een bepaalde (lage) waarde van de veldsterkte (H_1) is de inductie praktisch constant.

De primaire wikkeling van een piektransformator ligt om K_1 en de secundaire om K_2 . Door de primaire wordt een sinusvormige stroom gestuurd, die een eveneens sinusvormig met de tijd veranderende veldsterkte veroorzaakt. Deze veldsterkte is zo groot, dat de waarde H_1 aanzienlijk overschreden wordt.

In Fig. 33b is de veldsterkte H als functie van de tijd uitgezet. Voor elk tijdstip kan de overeenkomstige inductie B worden afgeleid uit de magnetiseringskromme van Fig. 33a. De op deze wijze gevonden grafiek van

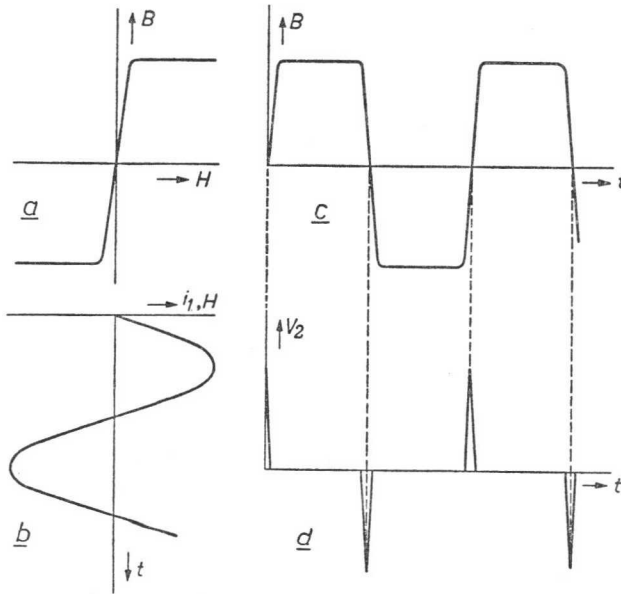


Fig. 33. Verklaring van de werking van een piektransformator. (a) magnetische inductie B als functie van de magnetische veldsterkte H in de kern K_2 , (b): magnetische veldsterkte H (evenredig met de primaire stroom i_1) als functie van de tijd t , (c) magnetische inductie B als functie van de tijd t in de kern K_2 , (d): piekspanning v_2 geïnduceerd in de secundaire als functie van de tijd t .

inductie als functie van de tijd is in Fig. 33c aangegeven, waaruit blijkt, dat deze nagenoeg rechthoekig is.

De in de secundaire wikkeling opgewekte inductiespanning is evenredig met de snelheid, waarmee de inductie verandert, m.a.w.: evenredig met de momentele „steilheid” van de kromme in Fig. 33c. In de secundaire wordt dus slechts een spanning opgewekt tijdens de positieve en negatieve flanken van deze kromme, terwijl gedurende de intervallen, waarin de inductie constant is, de opgewekte spanning nul is. Dit is geïllustreerd in Fig. 33d, waar de spanning in de secundaire wikkeling (V_2) tegen de tijd is uitgezet. Uit deze figuur blijkt, dat de spanning uit scherpe impulsen bestaat, die kunnen worden gebruikt om thyratrons te besturen. Zoals op pag. 26 werd verklaard, is de ontsteekhoek dan praktisch onafhankelijk van de spreidingen in de ontsteekarakteristiek.

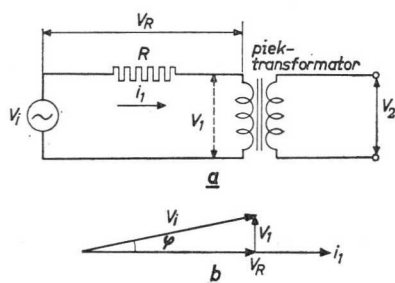


Fig. 34. Het opnemen van een serie-weerstand R in de primaire keten van een piek-transformator ten einde de fazeverschuiving tussen voedingsspanning V_i en de primaire stroom i_1 te verkleinen. (a) schakelschema, (b) vector-diagram; φ fazehoek tussen V_i en i_1 .

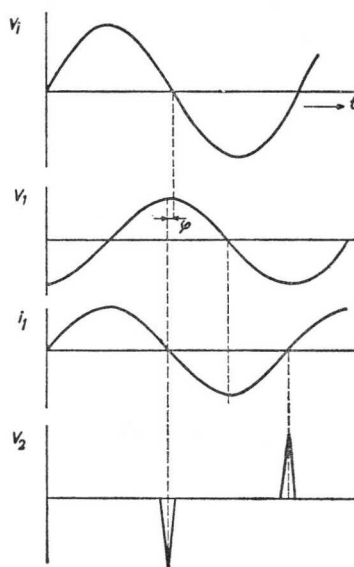


Fig. 35. Optredende spanningen en stroom in de schakeling van Fig. 34, uitgezet als functie van de tijd. Het blijkt, dat de secundaire spanningspieken v_2 praktisch samenvallen met de momenten, waarop de aangelegde spanning V_i door nul gaat.

Uit Fig. 33 volgt, dat de secundaire spanningspieken optreden op de ogenblikken, dat de primaire *stroom* door nul gaat: bij 0° en 180° . Wanneer de primaire van een piektransformator direct op een sinusvormige spanning is aangesloten, ijlt de primaire stroom ongeveer 90° op de spanning na tengevolge van de zelfinductie van de primaire wikkeling. Het kan echter gewenst zijn de secundaire spanningspieken te laten optreden op de momenten, waarop de primaire *spanning* door nul gaat. Deze situatie kan worden benaderd door een weerstand in serie met de primaire te schakelen (zie Fig. 34a), die groot is ten opzichte van de reactantie van de primaire wikkeling¹⁾. Uit het vector-diagram van Fig. 34b valt af te lezen, dat de fazeverschuiving tussen de aangelegde spanning en de primaire stroom dan aanzienlijk verminderd is. In Fig. 35 zijn de ingangsspanning (V_i), de primaire spanning (V_1), de primaire stroom (i_1) en de secundaire spanning (V_2) als functie van de tijd uitgezet. Zoals uit deze figuur blijkt zijn de geïnduceerde spanningsimpulsen praktisch „in fase” met de nuldoorgangen van de ingangsspanning.

Thyratron-schakeling met piektransformator

Een voorbeeld van een eenvoudige schakeling, waarin een piektransformator wordt gebruikt, is in Fig. 36 gegeven. Deze figuur laat zien, dat de primaire wikkeling van de transformator in serie met de weerstand R_1 in de brugschakeling is opgenomen. Deze weerstand heeft dezelfde functie als R in Fig. 34. De variabele weerstand R_2 maakt het mogelijk de fazehoek tussen de stroom in de primaire wikkeling van de piektransformator en de anodespanning van de thyatron in te stellen.

De secundaire wikkeling van de transformator is in serie geschakeld met een gelijkspanningsbron V_- , zodat positieve spanningspieken, gesuperponeerd op een negatieve gelijkspanning, tussen rooster en katode van de thyatron worden toegevoerd (zie Fig. 20b). (Negatieve impulsen worden weliswaar eveneens op deze gelijkspanning gesuperponeerd, doch deze hebben geen invloed op de ontsteking van de buis.)

Eenvoudigheidshalve is de gelijkspanningsbron V_- in Fig. 36 als een batterij voorgesteld. In industriële apparatuur is een dergelijke bron echter

¹⁾ De reactantie van een zelfinductie is gelijk aan $2\pi fL$, waarbij f de frequentie van de wisselspanning is (in Hz) en L de zelfinductie (in H).

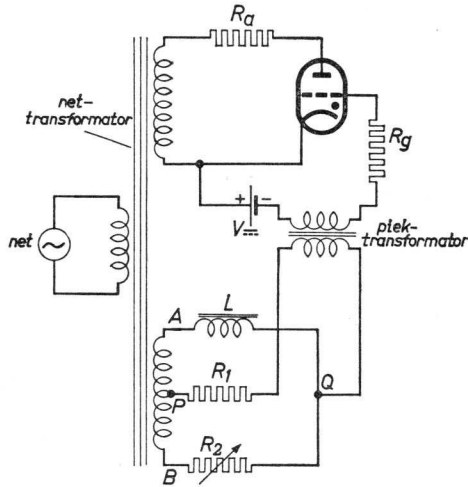


Fig. 36. Het gebruik van een piektransformator voor het ontsteken van een thyatron, in combinatie met een gelijkspanningsbron en een fazedraai-brug. De ontsteekhoek van de buis kan worden geregeld door de variabele weerstand R_2 (horizontale besturing).

hoogst onpraktisch. De vereiste gelijkspanning wordt dan ook gewoonlijk betrokken uit een gelijkrichter cel, die door de nettransformator of gloei-draadtransformator gevoed wordt. Een in de handel verkrijgbare gelijkspanningsbron, die voor dit doel geschikt is, Philips type 1289/03, wordt op pag. 41 beschreven.

De piektransformator 84590

De Philips piektransformator 84590 (foto tegenover pag. 40) heeft twee gelijke secundaire wikkelingen, zodat twee thyatronen met verschillende roostergelijkspanningen tegelijkertijd bestuurd kunnen worden. Bovendien zijn hierdoor twee positieve spanningspieken met een onderlinge faze-verschuiving van 180° beschikbaar indien de aansluitingen van de ene secundaire wikkeling ten opzichte van de andere omgedraaid worden.

De aansluitingen van de piektransformator en de maatschets zijn respectievelijk in Fig. 37 en 38 weergegeven.

De transformator is ontworpen voor een primaire spanning van 110 V, 50 Hz en neemt hierbij een stroom op van ca. 40 mA.

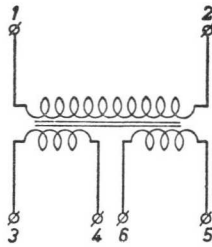


Fig. 37. Diagram waarin de aansluitingen van de Philips piektransformator type 84590 zijn aangegeven.

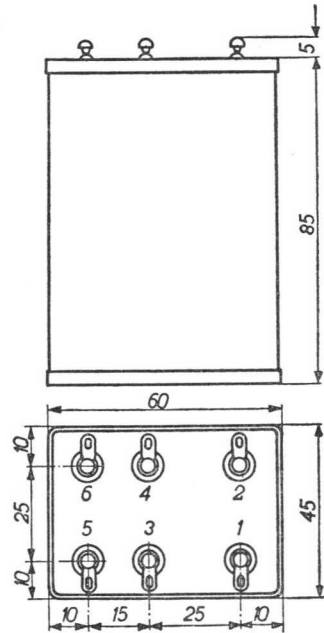


Fig. 38. Maatschets van de piektransformator. De cijfers van de aansluitingen komen overeen met die van Fig. 37.

De vorm en grootte van de uitgangsspanningen op beide secundaire wikkelingen is getekend in Fig. 39. De hoogte van de spanningspieken is minimaal 80 V, gesuperponeerd op een maximale sinusvormige rimpelspanning van 15 V.

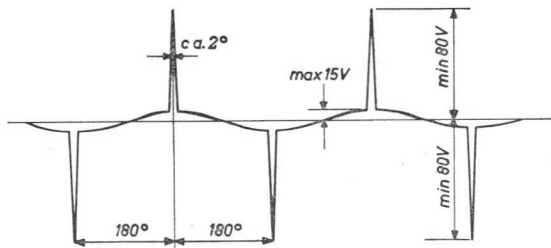


Fig. 39. Vorm en grootte van de uitgangsimpulsen bij de nominale voedingsspanning van 110 V_{eff}.

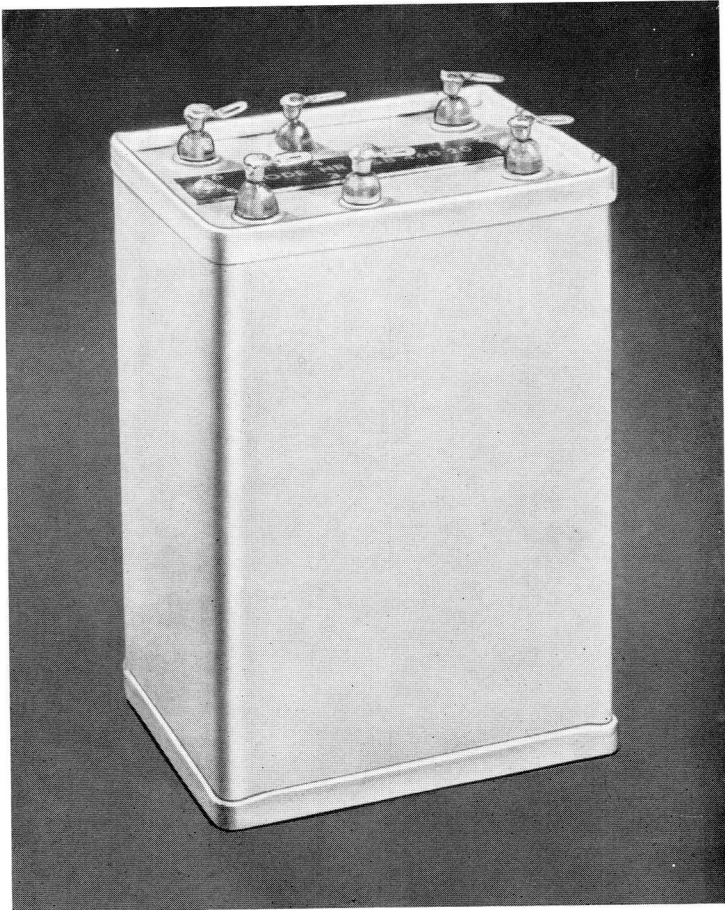


Foto 1. Luchtdichte piektransformator (type 84590) voor het gebruik in regelschakelingen met thyatronen (zie pag. 39).

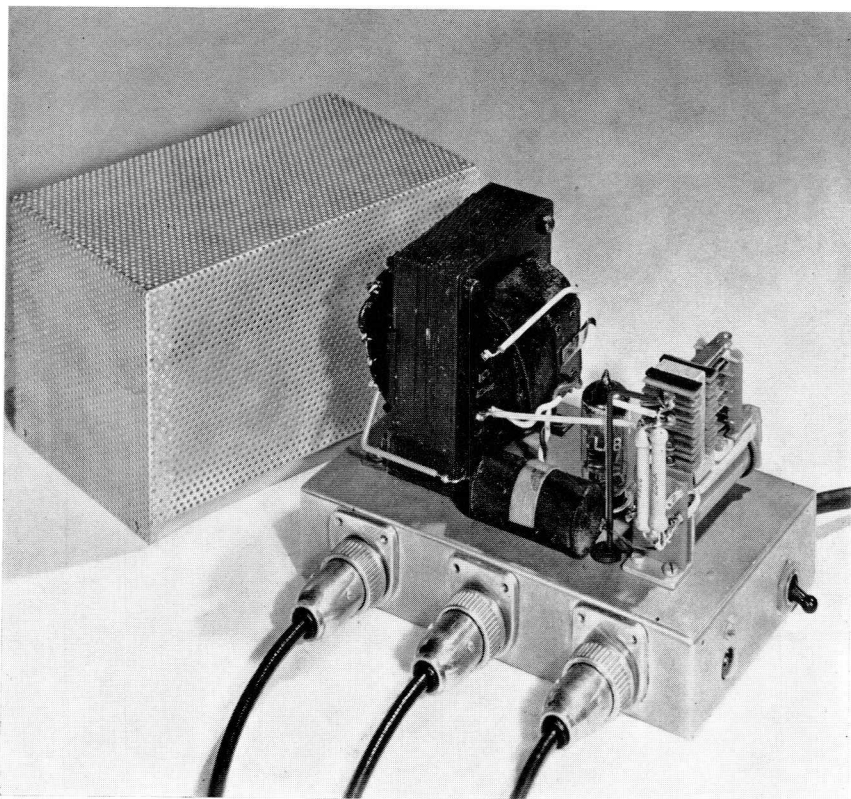


Foto 2. Relais-schakeling van een elektronische rookverklikker volgens het schema van Fig. 49 (pag. 53).

Gelijkspanningsbron voor horizontale besturing 1289/03

De gelijkspanningsbron, Philips type 1289/03, kan met succes worden gebruikt voor horizontale besturing van thyatronen, al of niet in combinatie met een piektransformator.

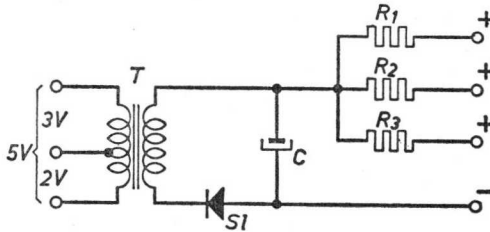


Fig. 40. Schema van de gelijkspanningsbron type 1289/03. De primaire wikkeling van de transformator T is ontworpen voor spanningen van 2, 3 en 5 V_{eff}.

De schakeling, waarvan het schema in Fig. 40 getekend is, bevat een transformator T , waarvan de secundaire spanning door de seleencil $S1$ gelijkgericht wordt. De gelijkspanning verschijnt over de condensator C . De positieve pool van C is via de weerstanden R_1 , R_2 en R_3 van elk 2700 met drie klemmen verbonden.

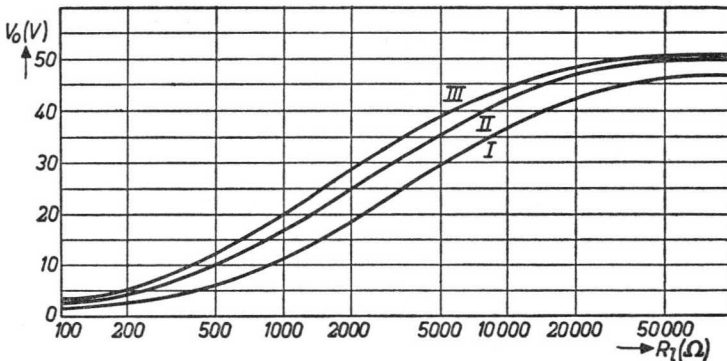


Fig. 41. Uitgangsspanning (V_o) van de gelijkspanningsbron in afhankelijkheid van de belastingsweerstand R_l . Kromme I: R_l aangesloten tussen de negatieve klem en één positieve klem; kromme II: R_l aangesloten tussen de negatieve klem en twee doorverbonden positieve klemmen; kromme III: R_l aangesloten tussen de negatieve klem en drie doorverbonden positieve klemmen.

De transformator T is ontworpen voor een primaire spanning van $5 V_{\text{eff}}$; een aftakking op de primaire maakt deze ook geschikt voor voedingspanningen van 2 en 3 V. Deze spanningen zijn zodanig gekozen, dat ze corresponderen met de gloeispanning van de te besturen thyatronen.

De wijze waarop de uitgangsspanning van de belastingsweerstand afhangt is weergegeven in Fig. 41, waarin de kromme I de spanning is tussen de negatieve klem en elke positieve klem, kromme II de spanning tussen de negatieve klem en twee doorverbonden positieve klemmen, terwijl kromme III de spanning voorstelt tussen de negatieve klem en de drie doorverbonden positieve klemmen.

Fig. 42 toont drie aanzichten van de unit 1289/03; de onderdelen hierin hebben dezelfde symbolen als in het schema van Fig. 40.

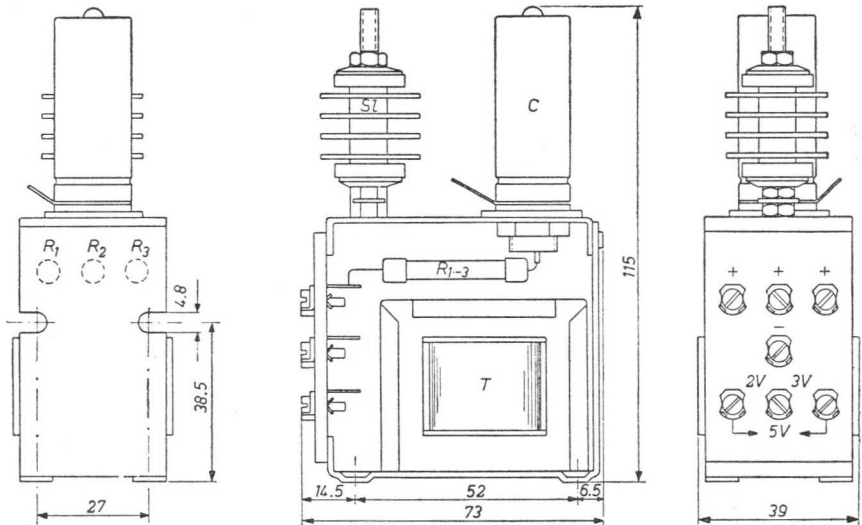


Fig. 42. Mechanische opbouw, afmetingen en aansluitingen; zie Fig. 40.

Praktische schakeling

Als voorbeeld van de toepassing van de gelijkspanningsbron 1289/03 geeft Fig. 43 een praktische schakeling. De uitgangsspanning van de unit is in serie met de secundaire van een piektransformator opgenomen tussen het rooster

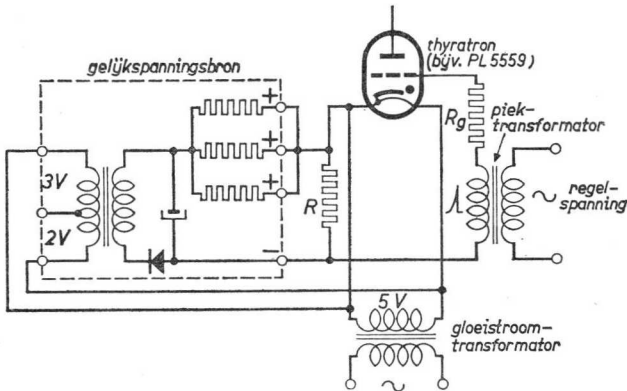


Fig. 43. Gecombineerde toepassing van een gelijkspanningsbron en een piektransformator voor horizontale besturing van een thyatron. De gelijkspanningsbron wordt gevoed uit de gloeistroomtransformator van de thyatron.

en de katode van de thyatron PL 5559. Met een waarde voor R van $10\text{ k}\Omega$ heeft het rooster van de thyatron een negatieve voorspanning van ongeveer 45 V ten opzichte van de katode. (Dit kan uit de kromme III van Fig. 41 worden afgeleid.) De thyatron kan dientengevolge niet ontsteken. Indien als piektransformator het type 84590 wordt gebruikt, worden spanningspieken van ca. 80 V op de negatieve voorspanning gesuperponeerd met als gevolg, dat de buis ontsteekt. De ingangsspanning van de piektransformator is als regel afkomstig van een fazedraai-brug, zoals deze reeds werd besproken.

Anode-ketens

Weerstandbelasting

In de tot dusver behandelde schakelingen bevond zich altijd een weerstand in de anodeleiding van de thyatron. Tijdens het geleiden van de buis staat het verschil tussen de voedingsspanning V_b en de boogspanning V_{arc} over deze weerstand. De anodestroom van de thyatron wordt dan ook bepaald door:

$$I_a = (V_b - V_{\text{arc}}) / R_a.$$

De waarde van de serieweerstand R_a dient zodanig te worden gekozen, dat de anodestroom nimmer de maximaal toelaatbare waarde overschrijdt.

In het geval van voeding met gelijkspanning is het verschil $V_b - V_{arc}$ constant, zodat tijdens het geleiden van de buis de anodestroom eveneens constant is. Bij wisselspanningsvoeding echter variëert de spanning over de belastingsweerstand met de tijd, zoals uit Fig. 44a blijkt. In deze figuur zijn de voedingsspanning V_b en de anodespanning tegen de tijd uitgezet. De ontstekehoek wordt verondersteld gelijk te zijn aan φ_1 , zodat in het interval tussen φ_1 en φ_2 de anodespanning gelijk is aan de boogspanning. (φ_2 is de fazehoek van de voedingsspanning waarbij de buis dooft.)

In Fig. 44b is de spanning over R_a (V_{R_a}) afzonderlijk als functie van de tijd uitgezet, terwijl de anodestroom, die evenredig is met V_{R_a} , in Fig. 44c is aan-

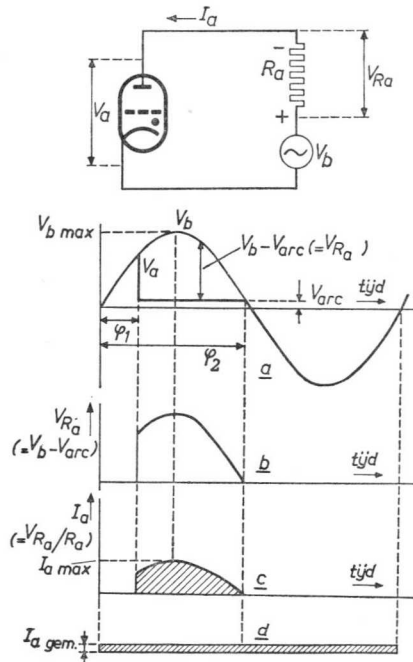


Fig. 44. Diverse grootheden van een thyatron met weerstandbelasting, gevoed door een sinusvormige spanning. In (a) zijn de voedingsspanning V_b en de anodespanning V_a (dikke lijn) als functie van de tijd uitgezet. (b) toont de spanning over de belastingsweerstand R_a (V_{R_a}), zoals deze uit (a) is afgeleid. In (c) is de anodestroom tegen de tijd uitgezet. De gemiddelde anodestroom I_a is in (d) aangegeven. De gemiddelde stroom heeft een zodanige waarde, dat de gearceerde oppervlakken van (c) en (d) gelijk zijn.

gegeven. Zoals uit deze figuur blijkt, bestaat de anodestroom uit impulsen, die gedurende een deel van de periode van de voedingsspanning optreden. Blijkbaar is de maximale (piek-)waarde van deze impulsen ($I_{a \max}$) gelijk aan $\frac{V_{b \max} - V_{\text{arc}}}{R_a}$, waarbij $V_{b \max}$ de piekwaarde van de voedingsspanning is. Uit deze formule kan worden afgeleid, dat $V_{b \max}$ en R_a zodanig gekozen moeten worden, dat de piekwaarde van de anodestroom de maximaal toelaatbare waarde niet overschrijdt.

Behalve de piekwaarde is de *gemiddelde* anodestroom ook van belang. Voor de gemiddelde waarde van een pulserende stroom, zoals in Fig. 44c getekend is, is een zo simpele formule als voor de piekwaarde niet beschikbaar. In het algemeen is de gemiddelde waarde gelijk aan de hoogte van een rechthoek, die een breedte heeft gelijk aan één periode van de wisselspanning en waarvan de oppervlakte gelijk is aan die van de stroomimpuls. In Fig. 44d is deze rechthoek aangegeven; de gearceerde oppervlakken van Fig. 44 c en d zijn hierbij aan elkaar gelijk. Het is duidelijk, dat een smalle impuls een kleinere gemiddelde waarde heeft dan een brede impuls met dezelfde piekwaarde. Door de ontsteekhoek van een thyatron naar een grotere waarde te verschuiven wordt de oppervlakte van de anodestroomimpuls, en diens gevolg ook de gemiddelde anodestroom, kleiner. Schakelingen met thyatrons dienen zodanig te worden gedimensioneerd, dat zowel de gemiddelde anodestroom als de piekwaarde binnen de veilige grenzen blijven, die door de buisfabrikant worden gepubliceerd.

De gemiddelde anodestroom van een thyatron kan worden gemeten met een draaispoelmeter (gelijkstroom-milliampèremeter of -ampèremeter), terwijl de piekwaarde van de anodestroom kan worden afgelezen op een geijkte katodestraaloscilloscoop, die over een kleine serie-weerstand in de anodeleiding is geschakeld. In vele gevallen kan de piekstroom worden berekend uit de hierboven gegeven formule.

Inductieve belasting

In vele toepassingen is een inductief element, zoals een elektromagnetisch relais, een transformator-wikkeling of het anker van een elektromotor in de anodeleiding van een thyatron opgenomen. De zaak wordt dan minder eenvoudig omdat er dan een extra spanning, opgewekt in het inductieve deel

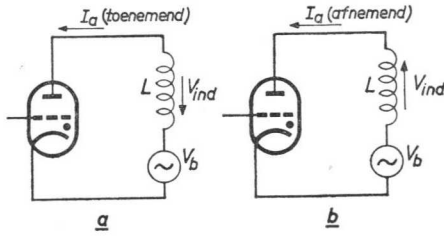


Fig. 45. Inductieve anode-belasting, voorgesteld door L . In (a) neemt de anodestroom toe; in (b) neemt deze af. De opgewekte spanning heeft de aangegeven polariteit.

van de anodebelasting door veranderingen in de anodestroom, in het circuit werkzaam is. Deze veranderingen in de anodestroom hangen op hun beurt weer van de genoemde inductiespanning af, zodat het gedrag van de anodestroom tamelijk gecompliceerd is. Enkele algemene opmerkingen kunnen echter waardevol zijn.

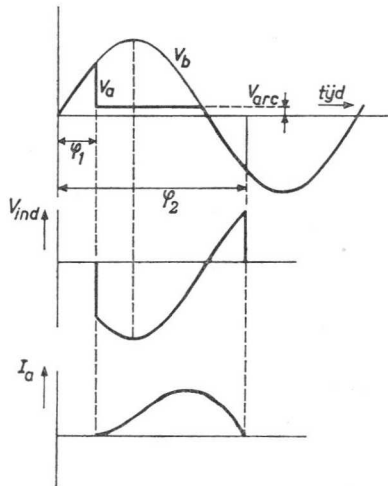


Fig. 46. Voedingsspanning V_b , anodespanning V_a , geïnduceerde spanning V_{ind} en anodestroom I_a als functie van de tijd, zoals deze optreden in een thyatronschakeling met een gedeeltelijk ohmse en een gedeeltelijk inductieve belasting. De richting van V_{ind} correspondeert met Fig. 45. Het blijkt, dat de fazehoek waarbij de buis dooft (φ_2) groter is dan 180° .

In Fig. 45 is de schakeling getekend van een thyatron met een inductieve belasting (L). In Fig. 45a behoort de aangegeven richting van de in L opgewekte spanning V_{ind} bij een toenemende anodestroom. In dit geval werkt V_{ind} de aangelegde spanning V_b tegen. Als gevolg hiervan is de totale spanning, die in het anodecircuit werkzaam is, kleiner dan de voedingsspanning, namelijk: $V_b - V_{\text{ind}}$. De anodestroom kan dan ook niet direct bij het ontsteken van de buis de volle waarde aannemen, zoals bij een zuiver ohmse belasting, aangezien dit verhinderd wordt door de tegenwerkende inductiespanning V_{ind} , die evenredig is met de snelheid waarmee de anodestroom toeneemt.

Anderzijds heeft bij afnemende anodestroom de inductiespanning dezelfde richting als de voedingsspanning (Fig. 45b), zodat in dit geval de *som* van V_b en V_{ind} in het anodecircuit werkzaam is. De thyatron blijft geleiden zolang de momentele waarde van $V_b + V_{\text{ind}}$ groter is dan de boogspanning van de buis. Dit kan zelfs het geval zijn als de waarde van V_b *alleen* negatief is. De thyatron blijft dan geleiden gedurende een gedeelte van de negatieve helft van de periode van de voedingsspanning.

Dit is geïllustreerd in Fig. 46, waarin de voedingsspanning, de anodespanning, de spanning over de belasting en de anodestroom zijn aangegeven bij een belasting, die gedeeltelijk inductief en gedeeltelijk ohms is.

Aangezien berekeningen van de anodepiekstroom en de gemiddelde anodestroom tamelijk ingewikkeld zijn, wordt het gebruik van voor dit doel speciaal samengestelde nomogrammen aanbevolen. De gemiddelde anodestroom kan altijd worden gemeten met een draaispoelinstrument.

Afvlakking, capacatieve belasting

Het kan gewenst zijn een continue elektrische stroom te verkrijgen uit een thyatron, die met wisselspanning gevoed wordt, hetgeen bijvoorbeeld het geval is in een regelbare gelijkrichter. Dit kan worden bereikt door de gelijkgerichte anodestroomimpulsen door een afvlakcircuit te sturen, dat in de praktijk meestal uit een $R - C$ of $L - C$ netwerk bestaat.

In Fig. 47a is het anodecircuit van een met wisselspanning gevoede thyatron getekend met als belasting de spoel van een elektromagnetisch relais. Dit relais dient te worden bekrachtigd zo lang de thyatron elke periode ontsteekt. Indien geen speciale maatregelen worden genomen, zal

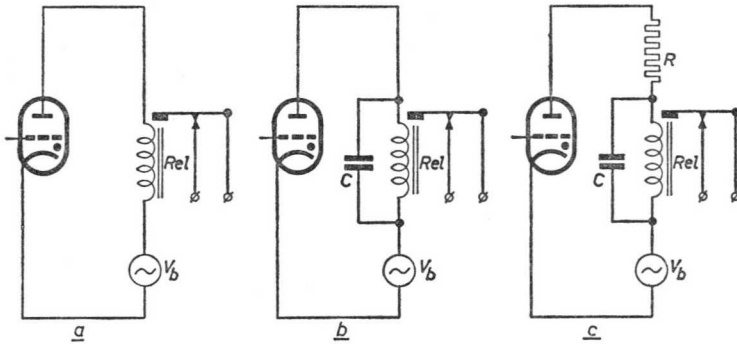


Fig. 47. Het opnemen van de spoel van een elektro-mechanisch relais in de anodeketen van een thyatron, die met wisselspanning gevoed wordt. (a) principe-schema; (b) een condensator C parallel geschakeld met het relais om klapperen te voorkomen; (c) de serie-weerstand R in de keten opgenomen om de anodepiekstromen van de buis te begrenzen.

De schakeling (c) verdient de voorkeur.

het relais ten gevolge van de pulserende anodestroom gaan klapperen. Dit kan echter worden voorkomen door een condensator met voldoende capaciteit parallel aan het relais te schakelen (C in Fig. 47b), zodat de wisselstroomcomponent van de impulsen door de condensator gaat en de gemiddelde (gelijk-) stroom door het relais. Aangezien de condensator voor plotselinge stroomvariaties echter een lage weerstand vormt, moet een extra weerstand in het circuit worden opgenomen om de piekstroom te beperken. Deze schakeling is in Fig. 47c aangegeven; de weerstand R , die de piekstroom begrenst, is in serie geschakeld met de parallelschakeling van het relais en de condensator.

Om de *gelijkstroom* van de buis te begrenzen dient de weerstand van de relaisspoel voldoende groot te zijn, doch, indien dit niet het geval is, moet voor dit doel een extra weerstand gebruikt worden.

Het ligt voor de hand, dat in plaats van de weerstand een geschikte zelf-inductie gebruikt kan worden om te grote piekstromen te vermijden.

In het algemeen geldt, dat een thyatron niet door een te grote capaciteit mag worden belast. Wanneer een thyatron dan ook als gelijkrichter wordt gebruikt, dient de reservoir-condensator altijd door een weerstand, of beter nog een zelfinductie, te worden voorafgegaan.

In thyatronschakelingen, waarbij het anker van een elektromotor in het

anodecircuit is opgenomen behoeft geen afvlakschakeling te worden gebruikt daar de traagheid van het anker voldoende groot is om de motor rustig te doen lopen. Een in serie met het anker geschakelde spoel kan echter noodzakelijk zijn om de piekstroom van de thyatron te begrenzen.

HOOFDSTUK IV

TOEPASSINGEN VAN THYRATRONS

In dit hoofdstuk worden enkele toepassingen van thyratrons gegeven. Ze kunnen worden onderscheiden in:

- a. Relaischakelingen,
- b. Elektronische tijdschakelaars,
- c. Gestuurde gelijkrichters,
- d. Gestuurde wisselstroomschakelingen,
- e. Gelijkstroom-wisselstroomomvormers.

De beschreven schakelingen zijn als regel eenvoudig van opzet; ze dienen hoofdzakelijk als praktische voorbeelden van principe-schakelingen met thyratrons te worden beschouwd. Er dient de aandacht op gevestigd te worden, dat in deze schakelingen voor het verkrijgen van de vereiste op-warmtijd geen voorzorgen genomen zijn.

Relaischakelingen

In een relaischakeling met een thyatron dient de buis voor het bekrachtigen van een elektro-magnetisch relais op het commando van een zwak signaal op het rooster. Dit signaal kan afkomstig zijn van diverse opneemelementen, zoals een lichtgevoelig element, een contact-thermometer, een N.T.C.-weerstand, een rekstrookje enz. In het algemeen is het beschikbare vermogen van dergelijke elementen te klein om direct een mechanisch relais te bekrachtigen, zodat het gebruik van een thyatron noodzakelijk is. Bovendien heeft een thyatron de eigenschap, dat deze scherp discrimineert tussen de „aan” en „uit” toestand, hetgeen bij continue regeling niet het geval is.

In de hieronder beschreven relaisschakelingen worden de thyratrons met wisselspanning gevoed. Deze methode heeft, naast het overbodig zijn van een net-gelijkrichter, het voordeel, dat geen speciale maatregelen nodig zijn om de buis te doven.

Foto-elektrisch relais met vertragende werking

Fig. 48 geeft de schakeling van een door licht bestuurd relais met vertragende werking, waarmee het mogelijk is bij het duister worden bepaalde apparaten in te schakelen, zoals binnen- of buitenverlichting, reclameverlichting of landingsbakens voor vliegtuigen, en deze bij het aanbreken van de dag weer uit te schakelen. Dit eenvoudige relais wordt gevoed door een kleine transformator Tr , waarvan de wikkeling w_1 de fotocel F , en de wikkeling w_2 het anodecircuit van de miniatuurthyatron $PL2D21$ voedt.

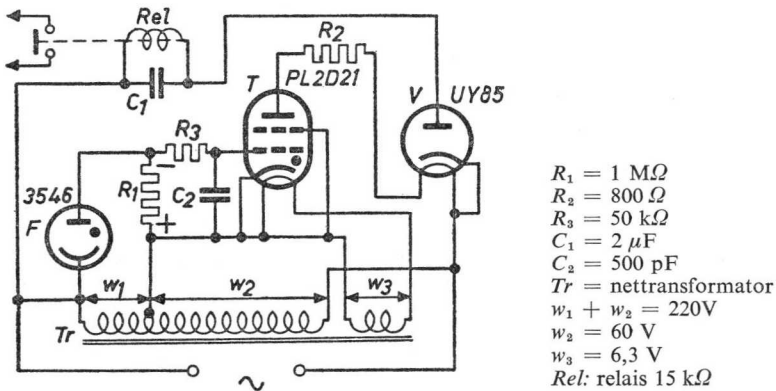


Fig. 48. Foto-elektrisch relais met vertraging.

Een fotocel (fotobuis), zoals in de figuur is aangegeven, is een elektronenbuis, die een anode en een fotokatode bevat, welke laatste een hoeveelheid elektronen emitteert, dat evenredig is met de hoeveelheid licht die er op valt. Wanneer aan de anode een positieve spanning wordt aangelegd ten opzichte van de katode zal er door de buis een stroom gaan vloeien en, in het geval van Fig. 48, ook door de anodeweerstand R_1 . Deze stroom vloeit alleen door de fotocel gedurende de halve perioden, waarin de rechterzijde van w_1 positief is ten opzichte van de linkerzijde.

De spanningsval over R_1 heeft een polariteit zoals in de figuur is aangegeven. Deze spanning wordt tussen het rooster en de katode van de thyatron aangelegd, zodat deze buis een negatieve rooster-voorspanning heeft. De buis zal dan niet kunnen ontsteken.

Indien echter bij het duister worden het licht op de fotocel aanzienlijk vermindert en de stroom door R_1 dientengevolge kleiner wordt, zal de negatieve voorspanning van de thyatron-overeenkomstig dalen. Dit heeft tot gevolg, dat de buis gedurende de positieve halve perioden van de spanning over de wikkeling w_2 , die in fase is met de anodevoedingsspanning van de fotocel (over w_1), ontsteekt. Er zullen dan stroomimpulsen gaan lopen door de thyatron, de begrenziingsweerstand R_2 en de gloeidraad van de indirect verhitte hoog-vacuum gelijkrichtbuis V .

Na een zeker tijdsverloop (tengevolge van de warmtetraagheid) zal de katode van V elektronen gaan emitteren, zodat er stroom door de gelijkrichtbuis gaat lopen, die het relais *Rel* bekrachtigt. Hierdoor wordt het uitwendige circuit gesloten. Hoewel de anodestroom van V een pulserend karakter heeft, vloeit er toch een gelijkstroom door *Rel* ten gevolge van de afvlakkende werking van C_1 .

De tijd die verloopt tussen het moment waarop de thyatron voor de eerste maal ontsteekt en de bekrachtiging van het relais (veroorzaakt door het opwarmen van de katode van V) heeft tot gevolg, dat het relais slechts in werking komt door de normale, geleidelijke variaties in de belichting van F . Onvoorziene veranderingen in de belichting, zoals bijvoorbeeld overdag door vliegtuigen of 's nachts door bliksemflitsen, hebben dan ook geen invloed.

Elektronische rookverklikker

Het feit dat een aanzienlijke hoeveelheid brandstof zonder verbrand te zijn door de fabrieksschoorsteen de lucht in gaat, is waar te nemen aan het optreden van een sterke rookontwikkeling. Een rookverklikker kan goede diensten bewijzen in kleine fabrieken waar één persoon tegelijkertijd stoker en machinist is. Met behulp van een dergelijk apparaat kan de aandacht op een te sterke rookontwikkeling worden gevestigd. Een zeer eenvoudige en goedkope schakeling, waarin de miniatuur-thyatron PL2D21 wordt ge-

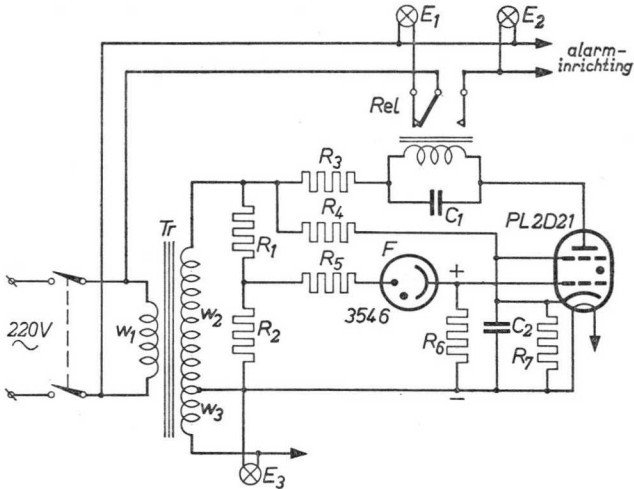


Fig. 49. Schakeling van een rookverklikker.

Stuklijst:

$R_1 = 1 \text{ M}\Omega, 1 \text{ W}$	$Tr =$ nettransformator
$R_2 = 0.4 \text{ M}\Omega, 1 \text{ W}$	$w_1 = 220 \text{ V}$
$R_3 = 10 \text{ k}\Omega, 2 \text{ W}$	$w_2 = 250 \text{ V}, 40 \text{ mA}$
$R_4 = 40 \text{ k}\Omega, 5 \text{ W}$	$w_3 = 6,3 \text{ V}, 5 \text{ A}$
$R_5 = 1 \text{ M}\Omega, 1 \text{ W}$	$Rel =$ relais $7,6 \text{ k}\Omega$
$R_6 = 1 \text{ M}\Omega, 1 \text{ W}$	$E_1 =$ groene signaallamp
$R_7 = 2,2 \text{ k}\Omega, 1 \text{ W}$	$E_2 =$ rode signaallamp
$C_1 = 0,5 \mu\text{F}$	$E_3 =$ verlichtingslamp $6,3 \text{ V};$
$C_2 = 0,5 \mu\text{F}$	$3 \text{ of } 4 \text{ A.}$

bruikt, kan een aanzienlijke brandstofbesparing geven, terwijl verontreiniging van de lucht door rook kan worden verminderd.

Het schema van een rookverklikker is in Fig. 49 gegeven. De werking ervan is als volgt te verklaren.

Laten we veronderstellen, dat er geen licht op de fotocel F valt. Op het stuurrooster en het schermrooster van de thyatron staat een wisselspanning afkomstig van de spanningsdeler $R_4 - R_7$. Deze spanning is in tegenfase met de anodespanning van de thyatron, zodat deze niet ontsteekt. Wanneer er licht op de fotocel valt, gaat er stroom lopen door de weerstand R_6 gedurende de positieve halve perioden van de voedingsspanning, waardoor er een spanning over R_6 komt te staan met de aangegeven polariteit. Hierdoor

wordt de gemiddelde spanning tussen rooster en katode meer positief, waardoor de buis ontsteekt (vertikale besturing).

Het doel van de condensator C_1 parallel aan het relais en dat van de weerstand R_3 zijn reeds eerder besproken (zie pag. 47).

De fotocel en de lamp zijn tegenover elkaar in de schoorsteenschacht gemonteerd, zodat in afwezigheid van rook de maximale hoeveelheid licht van de lamp op de fotocel valt. De thyatron is dan ontstoken en schakelt het groene controlelampje E_1 in. Als het licht van E_3 geheel of gedeeltelijk wordt onderschept door rook, dooft de thyatron en het relais valt af. E_1 wordt dan uitgeschakeld en de rode lamp E_2 tesamen met een waarschuwingsinrichting (elektrische bel of zoemer) ingeschakeld.

Een foto van de relaisschakeling van een rookverklikker, gemaakt volgens het schema van Fig. 49 is geplaatst tegenover pag. 41.

Eenvoudige elektronische thermostaat

De hieronder beschreven schakeling is een typisch voorbeeld van een „terugregel“-circuit, d.w.z. de actie, in dit geval een temperatuurvariatie, wordt automatisch gecorrigeerd.

De elektronische thermostaat, waarvan het schema in Fig. 50 getekend is, maakt het mogelijk de temperatuur in bijvoorbeeld droogkamers, galvanische baden, inmaakketels enz. binnen twee vooraf ingestelde temperatuurgrenzen constant te houden.

Als opnemerement (het element, dat op de te regelen grootheid reageert) wordt een N.T.C.-weerstand (R_7) gebruikt. Deze weerstand is aangebracht op de plaats, waar de temperatuur geregeld moet worden.

De N.T.C.-weerstand vormt een tak van een brug van Wheatstone, waarvan de uitgangsspanning tussen het stuurrooster en de katode van de thyatron wordt aangesloten. Een wisselspanning, die ongeveer 90° op de anodevoedingsspanning voorijlt, wordt aan het schermrooster van de buis toegevoerd, hetgeen een extra besturing van de thyatron vormt. Zolang de spanning op het stuurrooster laag genoeg is, kan de buis niet ontsteken. De brug is zodanig gedimensioneerd, dat bij de vooraf ingestelde temperatuur de thyatron juist op het punt staat te ontsteken.

Als de temperatuur van de N.T.C.-weerstand afneemt, wordt de weerstand ervan groter, waardoor de potentiaal van het punt P stijgt. Als gevolg hiervan

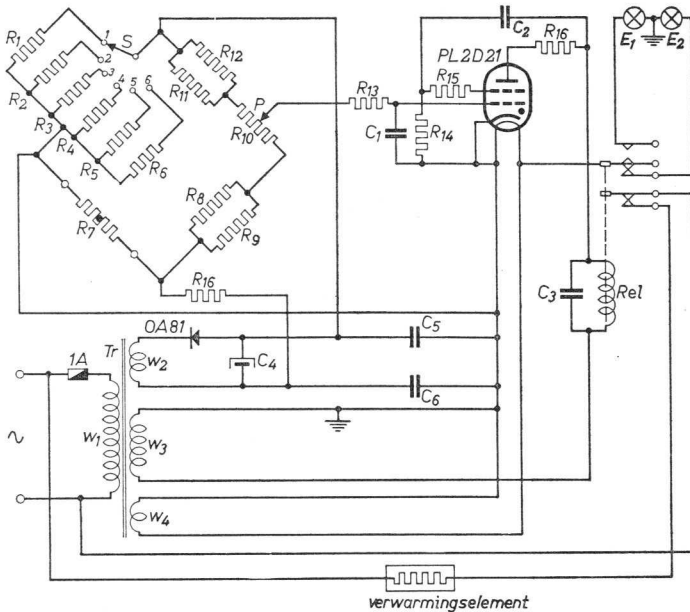


Fig. 50. Schema van een eenvoudige elektronische thermostaat.

Stuklijst:

$R_1 = 330 \text{ k}\Omega$	$R_{11} = 120 \text{ k}\Omega$	$C_5 = 0,1 \mu\text{F}$
$R_2 = 180 \text{ k}\Omega$	$R_{12} = 10 \text{ k}\Omega$	$C_6 = 0,1 \mu\text{F}$
$R_3 = 82 \text{ k}\Omega$	$R_{13} = 470 \text{ k}\Omega$	$Tr = \text{nettransformator}$
$R_4 = 33 \text{ k}\Omega$	$R_{14} = 560 \text{ k}\Omega$	$w_1 = 220 \text{ V}$
$R_5 = 10 \text{ k}\Omega$	$R_{15} = 1 \text{ k}\Omega$	$w_2 = 35 \text{ V}$
$R_6 = 2,7 \text{ k}\Omega$	$R_{16} = 1,2 \text{ k}\Omega$	$w_3 = 400 \text{ V}$
$R_7 = 300 \text{ k}\Omega$, N.T.C.-weerstand	$C_1 = 220 \text{ pF}$	$w_4 = 6,3 \text{ V}$
$R_8 = 120 \text{ k}\Omega$	$C_2 = 680 \text{ pF}$	$E_1 = \text{groene lamp}$
$R_9 = 10 \text{ k}\Omega$	$C_3 = 0,47 \mu\text{F}$	$E_2 = \text{rode lamp}$
$R_{10} = 4 \text{ k}\Omega$	$C_4 = 25 \mu\text{F}, 50 \text{ V}$	$Rel = \text{relais } 7600\Omega, 32000 \text{ windingen}$

ontsteekt de thyatron, waardoor het relais *Rel* in de anodeleiding wordt bekrachtigd. Dit relais schakelt een verwarmingselement in, zodat de temperatuur gaat stijgen.

Op het moment, waarop de temperatuur de ingestelde waarde bereikt, is de potentiaal van *P* zover gedaald, dat de thyatron niet langer ontsteekt.

De voedingsspanning van de brugschakeling wordt verkregen uit de

germanium-diode OA 81, die op een extra winding w_2 van de nettransformator is aangesloten.

Uit de weerstanden van de linker-boven tak van de brugschakeling kan een selectie worden gemaakt door middel van de schakelaar S . Op deze wijze kunnen de volgende temperatuurbereiken worden ingesteld:

Stand van S	Temperatuurbereik
1	10— 30 °C
2	25— 45 °C
3	40— 65 °C
4	60— 80 °C
5	80—115 °C
6	110—140 °C

De controlelampjes E_1 en E_2 geven aan of het verwarmingselement al of niet is ingeschakeld.

Elektronische tijdschakelaars

Een tijdschakelaar is een inrichting, die het mogelijk maakt gedurende een vooraf ingestelde periode een gegeven actie te doen plaats vinden. Wanneer de tijd tussen het begin en het einde van de actie lang is, kan het eenvoudigst een met de hand te bedienen schakelaar, vloeistofkraan of iets dergelijks worden gebruikt. Korte en nauwkeurige schakeltijden (fracties van een seconde) kunnen op deze wijze echter niet worden verwezenlijkt als gevolg van mechanische traagheid en menselijk onvermogen.

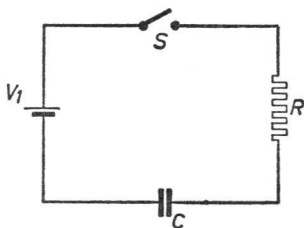


Fig. 51. Het laden van een condensator via een weerstand.

Tijdschakelaars voor zeer korte tijdsintervallen komen in aanmerking bij de automatische besturing van elektrische lasmachines, het regelen van

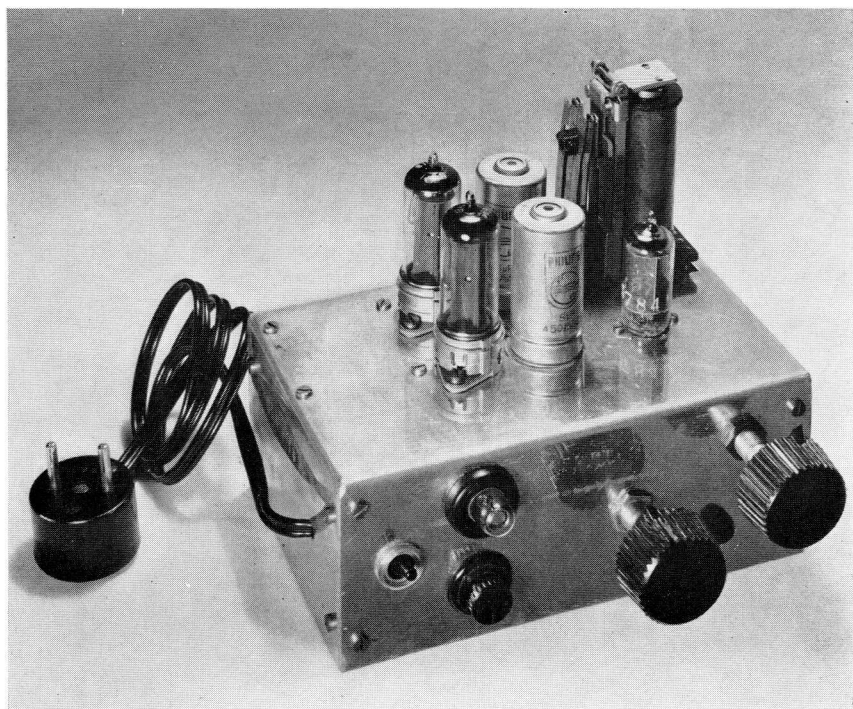


Foto 3. Tijdschakelaar voor toepassing in de fotografie volgens het schema van Fig. 57 (pag. 60).

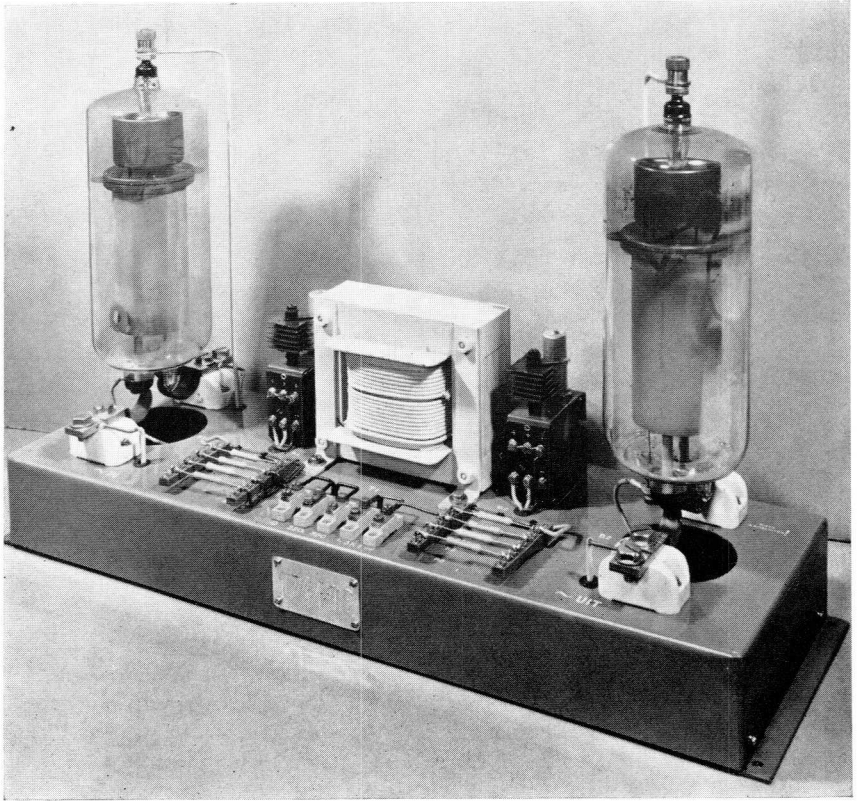


Foto 4. Elektronische wisselstroomschakelaar volgens het schema van Fig. 67 (pag. 74).

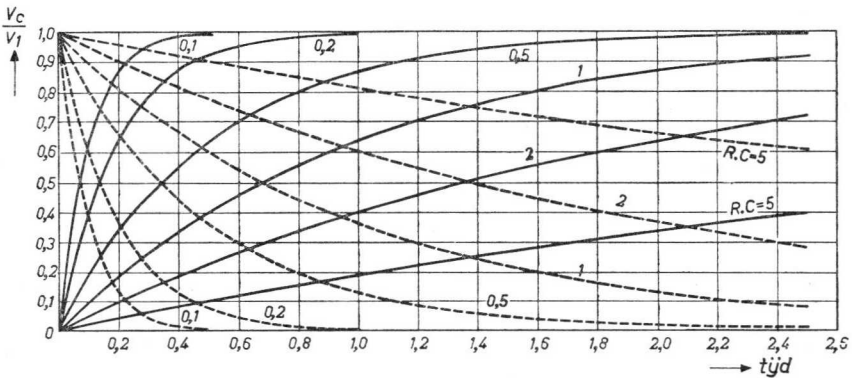


Fig. 52. Spanning over de condensator van Fig. 51 ten opzichte van de voedingsspanning (getrokken lijnen) en de spanning over C van Fig. 53 (stippellijnen) als functie van de tijd voor verschillende waarden van het product $R \cdot C$ (R uitgedrukt in Ω en C in F, of R in $M\Omega$ en C in μF).

chemische processen in laboratoria, het regelen van de dosering van Röntgenstraling en het regelen van belichtingstijden in fotostudios.

In elektronische tijdschakelaars wordt het vereiste tijdsinterval gewoonlijk bepaald door de mate, waarin een condensator via een weerstand wordt geladen of ontladen.

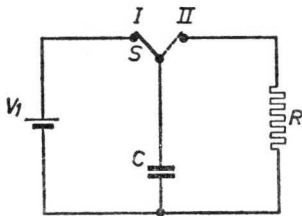


Fig. 53. Het ontladen van een condensator via een weerstand.

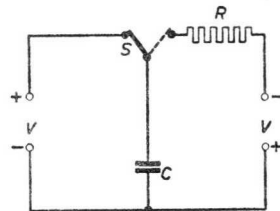


Fig. 54. Het laden van een condensator met tegengestelde polariteit.

In Fig. 51 is het princieschema getekend van het opladen van een condensator via een weerstand. Wanneer de schakelaar S wordt gesloten gaat in het circuit een stroom lopen, die C oplaadt tot een spanning, die gelijk is aan de aangelegde spanning V_1 . Hoe groter de waarden van C en R zijn, des

te langer duurt het voordat C praktisch geheel is opgeladen. Dit is te zien in Fig. 52, waarin de spanning over C in betrekking tot V_1 is uitgezet als functie van de tijd voor verschillende waarden van het product $R \cdot C$, de zogenaamde „tijdconstante”.

Een dergelijke betrekking geldt ook voor de ontlading van een condensator via een weerstand. Als in Fig. 53 de schakelaar van stand I naar stand II omgelegd wordt, neemt de spanning over C vanaf V_1 tot nul af volgens de gestippelde lijnen in Fig. 52. De spanningsafval van C wordt eveneens bepaald door de tijdconstante $R \cdot C$.

In veel toepassingen is het noodzakelijk, dat er een actie plaats vindt zodra een condensator zich tot een vooraf bepaalde waarde heeft ontladen. Dit moment hangt af van de beginspanning van de condensator; hoe hoger deze beginspanning, des te langer duurt het voordat de ingestelde spanning wordt bereikt. Indien echter het tijdsinterval onafhankelijk van de beginspanning dient te zijn, kan de schakeling van Fig. 54 gebruikt worden.

Wanneer de schakelaar zich in de linker stand bevindt, wordt de condensator C tot de spanning $+V$ opgeladen; als de schakelaar dan in de rechter stand geplaatst wordt, gaat C zich via de weerstand R ontladen tot de uiteindelijke waarde $-V$. De tijd t_1 , die verloopt tussen het begin van de ontlading en het moment, waarop de spanning over C tot nul gedaald is, is onafhankelijk van V , nl. $t_1 \approx 0,7 R \cdot C$ (zie Fig. 55).

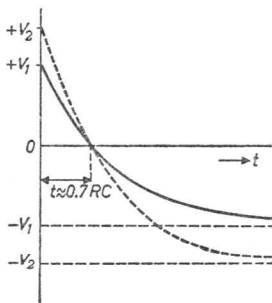


Fig. 55. Spanningen op de condensator C van Fig. 54 bij verschillende waarden van de voedingsspanning V (V_1 en V_2). Het tijdstip waarop de spanning over C door nul gaat is onafhankelijk van V ($t_1 \approx 0,7 R \cdot C$).

De bovenbeschreven methode heeft bovendien het voordeel, dat het snijpunt van de V_C -kromme met de tijd-as beter gedefiniëerd is dan welke gestippelde kromme in Fig. 52 dan ook met bijvoorbeeld de lijn $V_C/V_1 = 0,05$.

Tijdschakelaars voor toepassing in de fotografie

Fig. 56 toont een schakeling voor het instellen van belichtingstijden in foto-studios. Deze schakeling, die ontworpen is voor een netspanning van 110 V, kan ook voor andere netspanningen gebruikt worden, waarbij de waarde van de weerstand R_4 overeenkomstig veranderd moet worden.

De werking van de schakeling is als volgt. Veronderstel, dat de schakelaars S_2 en S_3 zich in de standen bevinden zoals in de figuur is aangegeven. Wanneer de netschakelaar S_1 gesloten wordt, zal de thyatron gedurende iedere positieve halve periode ontsteken, zodat het relais Rel bekrachtigd wordt. De donkere kamer-lamp E_1 wordt dan ingeschakeld en de hoofdverlichting E_2 uitgeschakeld. Om de vergrotingsapparatuur in te stellen kan E_2 zo nodig door middel van S_3 tijdelijk worden ingeschakeld, doch deze schakelaar moet weer worden geopend voor de tijdschakelaar wordt gebruikt. Om de opname te maken moet S_2 in de andere stand gezet worden.

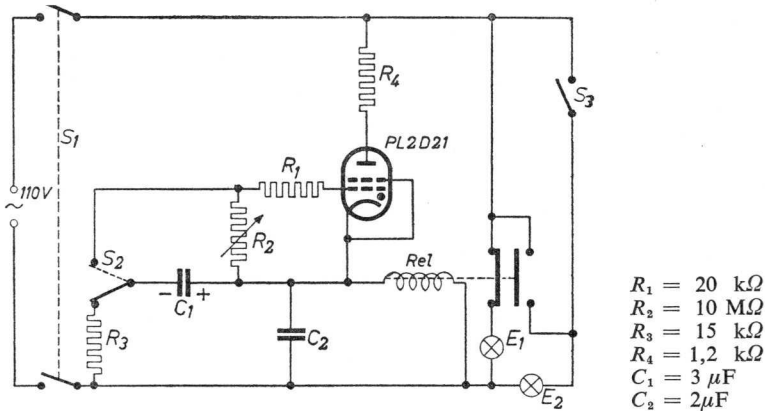


Fig. 56. Eenvoudige tijdschakelaar voor toepassing in de fotografie.

In de katodeleiding van de thyatron bevindt zich een afvlakfilter bestaande uit de weerstand van de relaispoel parallel met de condensator C_2 . Als gevolg hiervan wordt over C_2 een gelijkspanning van ca. 100 V ontwikkeld. Met de schakelaar S_2 in de getekende stand wordt C_1 via R_3 opgeladen met de polariteit, die in Fig. 56 is aangegeven.

Als S_2 in de bovenste stand staat, komt de spanning over C_1 tussen de

katode en het rooster van de thyatron te staan (het rooster negatief ten opzichte van de katode), zodat de buis niet langer ontsteekt. Het relais valt dan af, het circuit van de donkere-kamerlamp E_1 wordt onderbroken en dat van E_2 wordt gesloten. C_1 ontlad zich nu over de weerstand R_2 , zodat de roosterspanning van de thyatron geleidelijk toeneemt. Zodra C_1 bijna geheel ontladen is, is de thyatron weer in staat te ontsteken. Dit geschiedt dan ook tijdens de eerstvolgende positieve halve periode. Als gevolg hiervan wordt het relais bekrachtigd en E_2 uitgeschakeld. De opname is dan voltooid en de donkere-kamerlamp E_1 wordt opnieuw ingeschakeld.

De weerstand R_2 , waardoor C_1 zich ontlad, is variabel uitgevoerd, zodat de snelheid van de ontlading (bepaald door de tijdconstante $R_2 \cdot C_1$) kan

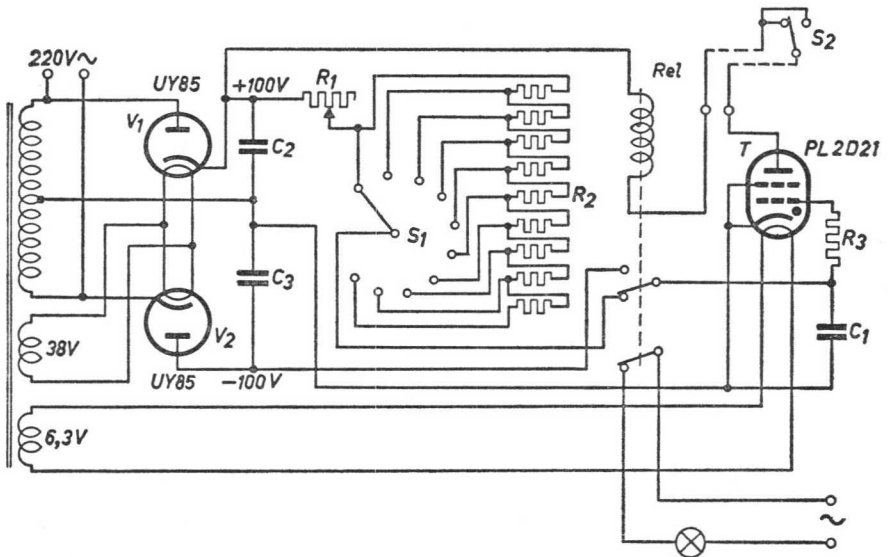


Fig. 57. Schema van een elektronische tijdschakelaar, die nauwkeuriger werkt dan die van Fig. 56.

Stuklijst:

$R_1 =$	$1,5 \text{ M}\Omega$	$C_3 =$	$8 \mu\text{F}$
$R_2 =$	$9 \times 1 \text{ M}\Omega$	$Rel =$	relais 7600 Ω
$R_3 =$	$0,1 \text{ M}\Omega$		
$C_1 =$	$2 \mu\text{F}$		
$C_2 =$	$8 \mu\text{F}$		

worden gekozen door R_2 vooraf in te stellen. Een eventuele schaalverdeling op de regelknop van R_2 kan dan ook in seconden worden geijkt.

Het is duidelijk dat een maximale ontsteekvertraging van een halve periode kan optreden omdat de buis tijdens de negatieve halve perioden van de voedingsspanning niet kan ontsteken.

Een andere tijdschakelaar, waarbij deze vertraging niet optreedt, is in Fig. 57 weergegeven. De werking is nog extra nauwkeurig, aangezien deze op het principe van Fig. 54 berust.

Nadat de netspanning is ingeschakeld, worden door de indirect verhitte gelijkrichtbuizen V_1 en V_2 spanningen van 100 V over C_2 en C_3 veroorzaakt met de aangeduide polariteit. De thyatron T heeft dan een positieve anodespanning en, via een relais-contact en R_1 , een positieve stuurroosterspanning. Tengevolge hiervan ontsteekt de buis en het relais *Rel* wordt bekrachtigd, zodat het circuit van de lamp wordt onderbroken. De condensator C_1 is dan verbonden met een negatieve spanning van 100 V. Hoewel het stuurrooster van de buis nu negatief wordt ten opzichte van de katode, dooft de thyatron niet, daar de anodevoedingsspanning op een constante positieve spanning blijft. Indien S_2 echter wordt omgelegd, wordt de anodespanning gedurende een korte tijd onderbroken, zodat de buis dooft en gedoofd blijft als gevolg van de negatieve roosterspanning. Het relais valt dus af en sluit het circuit, waarin de lamp is opgenomen.

Op hetzelfde ogenblik wordt C_1 aangesloten op een spanning van + 100 V via de weerstanden R_1 en R_2 . R_2 bestaat in werkelijkheid uit negen in serie geschakelde weerstanden, waaruit een keuze gemaakt kan worden door middel van de schakelaar S_1 . Op deze wijze kan de snelheid, waarmee C_1 zich oplaadt, ingesteld worden.

Nadat C_1 tot een waarde van ca. — 2 V is opgeladen, ontsteekt de thyatron opnieuw, het relais wordt bekrachtigd en de lamp wordt uitgeschakeld. De tijdschakelaar is nu tot zijn oorspronkelijke situatie teruggekeerd en de lamp blijft uitgeschakeld totdat S_2 opnieuw omgeschakeld wordt.

De tijd, gedurende welke de lamp ingeschakeld is, kan worden ingesteld door middel van R_1 (fijninstelling) en R_2 (grofinstelling); de waarden van beide weerstanden bepalen de tijdconstante, waarmee C_1 zich oplaadt.

Een foto van een experimentele tijdschakelaar, die volgens het hierboven beschreven principe werkt, bevindt zich tegenover pag. 56.

Tijdschakelaar voor een kleine puntlasmachine

Om bij het puntlassen goede resultaten te krijgen, is het noodzakelijk, dat zowel de sterkte van de stroom door het werkstuk als de duur van deze stroom nauwkeurig vastliggen. Speciaal als het om fracties van een seconde gaat, kan een elektronische tijdschakelaar goede diensten bewijzen, terwijl in combinatie hiermee een thyatron kan worden gebruikt voor een juiste dosering van de stroom.

De schakeling van een dergelijke tijdschakelaar voor een klein puntlasapparaat is in Fig. 58 getekend. De schakeling wordt rechtstreeks uit het 220 V net gevoed.

Het werkstuk bevindt zich tussen twee elektroden, die aan de secundaire wikkeling van de aanpassingstransformator Tr aangesloten zijn. De werking van de schakeling kan als volgt worden verklaard.

Als de hoofdschakelaar S_1 gesloten wordt, wordt de condensator C_1 met de aangegeven polariteit opgeladen via de seleen-gelijkrichter Sel , de primaire van Tr en de weerstand van $1,2\text{ k}\Omega$. Het stuurrooster van de thyatron heeft dan een negatieve spanning ten opzichte van de katode en deze houdt de buis gedooft.

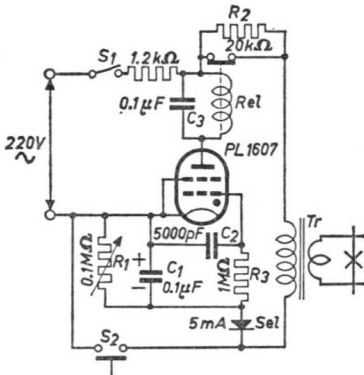


Fig. 58. Schema van een tijdschakelaar voor een klein lasapparaat.

De lasstroom kan worden ingeschakeld door de schakelaar S_2 te sluiten (S_2 wordt gewoonlijk als voetschakelaar uitgevoerd). Op dit moment wordt de gelijkrichter Sel buiten werking gesteld, aangezien het circuit bestaande

uit Sel en C_1 door S_2 kortgesloten wordt. Als gevolg hiervan ontlaadt C_1 zich via R_1 , zodat de roosterspanning van de thyatron toeneemt. De snelheid, waarmee de spanning over C_1 afneemt, wordt door de tijdconstante $R_1 \cdot C_1$ bepaald. Als C_1 bijna geheel ontladen is, is de roosterspanning zo hoog geworden, dat de thyatron ontsteekt. Het relais Rel wordt dan bekrachtigd en de lasstroom door de primaire van Tr wordt (praktisch) onderbroken. De lastijd kan door middel van de variabele weerstand R_1 worden ingesteld.

Als S_2 opnieuw geopend wordt, wordt C_1 weer opgeladen, zodat de thyatron dooft. De schakeling is dan tot de aanvangssituatie teruggekeerd.

Het zou theoretisch mogelijk zijn de lasstroom te onderbreken door S_2 voortijdig te openen. Dit is in de praktijk echter onmogelijk, daar de lasperiode zeer kort is en een mechanische schakelaar in een dergelijke korte tijd niet gesloten en geopend kan worden.

Gestuurde gelijkrichters

Zoals reeds eerder werd gezegd, komen de beide voornaamste eigenschappen van thyatrons: gelijkrichting en mogelijkheid tot regeling, goed tot hun recht in gestuurde gelijkrichters. Voordat op meer uitgewerkte schakelingen wordt ingegaan, zal eerst het principe van een geregelde thyatron-gelijkrichter aan de hand van Fig. 59 in het kort worden beschreven.

Als de thyatron wordt ontstoken, hetgeen alleen gedurende de positieve halve perioden van de voedingswisselspanning V_i kan geschieden, wordt de condensator C_1 door de anodestroomimpulsen opgeladen met een polariteit als in de figuur is aangegeven. Tijdens de negatieve halve perioden is de thyatron gedoofd, zodat C_1 zich niet via de buis kan ontladen, doch slechts via de belasting R_l .

De voedingsspanning van de thyatron bestaat in werkelijkheid uit de voedingswisselspanning V_i verminderd met de gelijkspanning over C_1 . Bij een bepaalde belastingsweerstand R_l en een bepaalde ontsteekhoek neemt de gelijkspanning op C_1 een waarde aan, waarbij evenwicht is bereikt tussen de aan C_1 via de buis toegevoerde lading en de door C_1 aan de belasting afgegeven lading. Wanneer V_{C_1} bijvoorbeeld de neiging zou hebben af te nemen, dan zou de totale voedingsspanning van de buis en daarmee de gemiddelde stroom stijgen, zodat C_1 bijgeladen wordt en de spanning van C_1 tot de oorspronkelijke waarden zou toenemen.

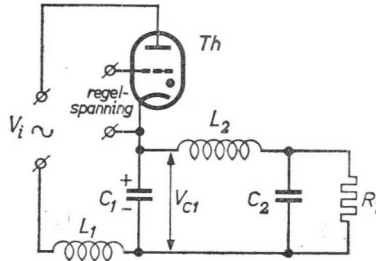


Fig. 59. Principe-schema van een regelgelijkrichter met een thyatron. Door de ontsteekhoek van de buis te veranderen wordt de gemiddelde stroom, die aan de condensator C_1 wordt toegevoerd (en daarmee de spanning op C_1 (V_{C1})) geregeld.

De spanning over C_1 (de uitgangsspanning) kan op twee manieren worden gewijzigd:

- a. door de belastingsweerstand te variëren (bij constante ontsteekhoek),
- b. door de ontsteekhoek te veranderen (bij constante belasting).

In beide gevallen zal de uitgangsspanning afnemen of toenemen tot opnieuw evenwicht is bereikt tussen de aan C_1 toegevoerde lading en de door C_1 geleverde lading.

Het spreekt vanzelf, dat, teneinde bij een veranderlijke belasting een constante uitgangsspanning te verkrijgen, de ontsteekhoek dient te worden gevarieerd. In gestabiliseerde gelijkrichters geschiedt dit automatisch door middel van een „terugregel” (tegenkoppel-)schakeling.

Tengevolge van het pulserende karakter van de lading van C_1 ontstaat er een rimpelspanning, die op de gelijkspanning gesuperponeerd is. Om de invloed van deze rimpelspanning te verminderen kan de belasting via een afvlakschakeling met C_1 worden verbonden. In Fig. 59 bestaat dit filter uit L_2 en C_2 , die voor de stroom naar de belasting een „low-pass” filter vormen.

L_1 dient voor het beperken van de piekstroom van de thyatron (filter met smoorspoel-ingang).

Gestabiliseerde 3-fazen-gelijkrichter

De hieronder beschreven gestabiliseerde 3-fazen-gelijkrichter levert een uitgangs(gelijk)spanning, die praktisch onafhankelijk van belastingsvariaties is. Dit is te zien in Fig. 60, waar de uitgangsspanning V_o als functie

van de uitgangsstroom is uitgezet bij verschillende standen van de regelknop, waarmee de uitgangsspanning ingesteld wordt. De schakeling, die uitgerust is met drie PL 5557 thyratrons, is voorgesteld in Fig. 61.

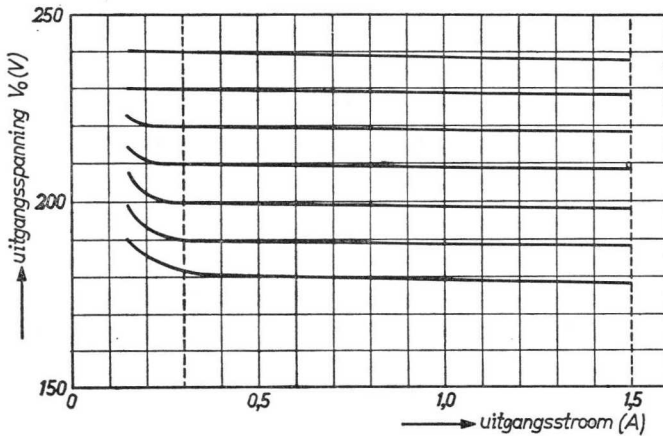


Fig. 60. Uitgangsspanning van de gestabiliseerde 3 fazen-gelijkrichter van Fig. 61 uitgezet tegen de uitgangsstroom.

De anodes van de thyratrons zijn ieder met een van de fazen van het net verbonden en de katodes met één kant (+) van de reservoircondensator C_1 . De andere pool van C_1 is met de nulleider verbonden.

Als de schakelaar S_1 gesloten wordt laten de thyratrons na elkaar stroom door, zodat C_1 wordt opgeladen en hierover een gelijkspanning ontstaat. Een aparte gelijkrichter met de hoogvacuumbuis EZ 80, levert een gestabiliseerde referentie-gelijkspanning tussen de punten P en Q , die tegen de gelijkspanning tussen R en Q in staat. Als gevolg hiervan staat tussen de punten P en R een gelijkspanning, die gelijk is aan het verschil van de referentiespanning tussen P en Q en de uitgangsspanning tussen Q en R . Op de spanning tussen P en Q , die de negatieve voorspanning van de thyratrons vormt, worden drie wisselspanningen gesuperponeerd. Deze roosterwisselspanningen zijn ongeveer 90° in fase verschoven ten opzichte van de overeenkomstige anodespanningen. Dit werd bereikt door de transformator Tr_1 van elk roostercircuit te verbinden met de twee fazen, waaraan de anode van de buis in kwestie niet verbonden is (verg. Fig. 23).

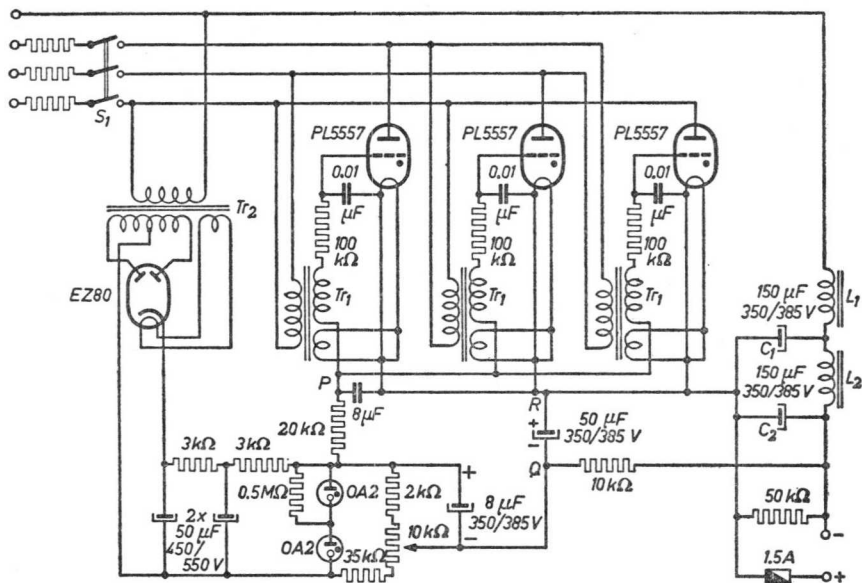


Fig. 61. Schema van de gelijkrichter.

Wordt de roostervoorspanning van de thyratrons gevarieerd, hetzij door verandering van de referentiespanning of door variatie van de uitgangsspanning, dan wordt de ontstekhoek van de buizen gevarieerd (vertikale besturing).

De stabilisatie van de uitgangsspanning kan als volgt worden verklaard. Wanneer om een of andere reden (netspanningsvariatie of belastingsvariatie) de uitgangsspanning de neiging tot vermindering vertoont, neemt de spanning tussen R en Q eveneens af en dientengevolge ook de negatieve voorspanning van de thyratrons. De buizen worden dan eerder in de periode ontstoken, zodat zij per periode langer stroom voeren. De aan C_1 toegevoerde lading neemt dan toe, zodat de uitgangsspanning ook toeneemt, waardoor de aanvankelijke daling van deze spanning (praktisch) opgeheven wordt. Op dezelfde wijze, doch in tegengestelde zin, wordt een toeneming van de uitgangsspanning gecompenseerd. Het blijkt dus, dat het terugvoeren van de uitgangsspanning naar het rooster-circuit de uitgangsspanning constant houdt.

De grootte van de uitgangsspanning kan worden ingesteld door de referentiespanning te variëren door middel van de potentiometer van $10\text{ k}\Omega$.

Als de referentiespanning verlaagd wordt, neemt de roosterspanning af, waardoor de uitgangsspanning genoodzaakt wordt te stijgen om de rooster-spanning de aanvankelijke waarde te doen hernemen.

Uit de regelkarakteristieken van Fig. 60 blijkt, dat in het gebied van 0,3 A tot 1,5 A een zeer effectieve stabilisatie van de uitgangsspanning wordt ver- kregen.

Elektronische gelijkstroomschakelaar

In Fig. 62 is het schema getekend van een schakeling, waarmee een gelijk- stroom elektronisch kan worden ingeschakeld en onderbroken. De schake- ling wordt uit het wisselstroomnet gevoed, zodat een afzonderlijke gelijk- richter overbodig is.

Voor frequent in- en uitschakelen is een elektronische schakelaar te prefereren boven een mechanische, die onder deze omstandigheden aan grote slijtage onderhevig is.

De schakeling van Fig. 62 wordt uit het 3-fazennet gevoed via de trans- formator Tr_1 . De anodes van de thyratrons PL 5557 zijn ieder met één van de secundaire wikkelingen verbonden, terwijl hun gloeidraden met elkaar zijn doorverbonden via de secundaire van de gloeistroomtransformator Tr_2 (aangeduid door pijltjes). De middenaftakking van deze wikkeling is ver- bonden met de gemeenschappelijke aansluiting van de drie secundaire wikkelingen van Tr_1 via de belasting.

De thyratrons worden vertikaal gestuurd door middel van een negatieve gelijkspanning, waarop wisselspanningen zijn gesuperponeerd. De gelijk- spanning wordt verkregen uit een afzonderlijke Graetz-gelijkrichter, die uitgerust is met 4germanium-dioden OA 81.

De roosterwisselspanningen komen van een wikkeling van Tr_2 en krijgen een onderlinge fazeverschuiving van 120° door middel van drie $R-C$ -net- werken. Daar de anodespanningen van de thyratrons onderling ook 120° in faze verschoven zijn, hebben alle buizen dus dezelfde ontsteekhoek.

Als de schakelaar S gesloten is, is de negatieve roosterspanning van de thyratrons (tussen de punten P en Q) gelijk aan de spanning over R_0 . Deze spanning is zo groot, dat de buizen niet kunnen ontsteken. Als S geopend wordt, wordt een positieve spanning bij de spanning over R_0 opgeteld, waardoor de thyratrons ontsteken.

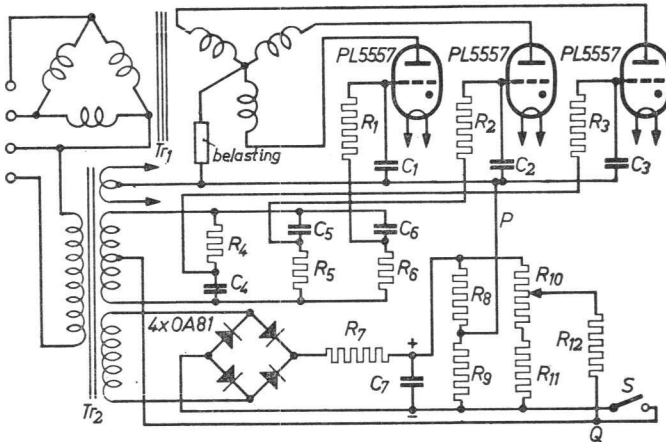


Fig. 62. Schema van een elektronische gelijkstroomschakelaar.

Stuklijst:

$R_1 = R_2 = R_3 = 50 \text{ k}\Omega$	$C_1 = C_2 = C_3 = 250 \text{ pF}$
$R_4 = 50 \text{ k}\Omega$	$C_4 = C_5 = 0,1 \mu\text{F}$
$R_5 = 41 \text{ k}\Omega$	$C_6 = 0,25 \mu\text{F}$
$R_6 = 60 \text{ k}\Omega$	$C_7 = 10 \mu\text{F}$
$R_7 = 5 \text{ k}\Omega$	
$R_8 = 10 \text{ k}\Omega$	$Tr_1 = \text{nettransformator}$
$R_9 = 25 \text{ k}\Omega$	$380/240 \text{ V}_{eff}$
$R_{10} = 25 \text{ k}\Omega \text{ variabel}$	$Tr_2 = \text{transformator}$
$R_{11} = 5 \text{ k}\Omega$	$220/2 \times 50 \text{ V}_{eff}$
$R_{12} = 50 \text{ k}\Omega$	

De grootte van de stroom door de belasting kan worden ingesteld door de potentiometer R_{10} . De stand hiervan bepaalt de ontsteekhoek van de thyristrons.

Eenvoudige enkelfazige motorregel-schakeling

Fig. 63 geeft de schakeling van een elektronisch geregelde gelijkstroom-shuntmotor. Met deze schakeling kan het toerental van de motor over een bereik van 25 : 1 worden geverieerd.

Het anker van de motor is in de anodeketen van een PL 5557 thyristron opgenomen. De gemiddelde ankerstroom en daarmee de snelheid van de motor kan diensgevolge worden veranderd door verandering van de ontsteekhoek van de buis.

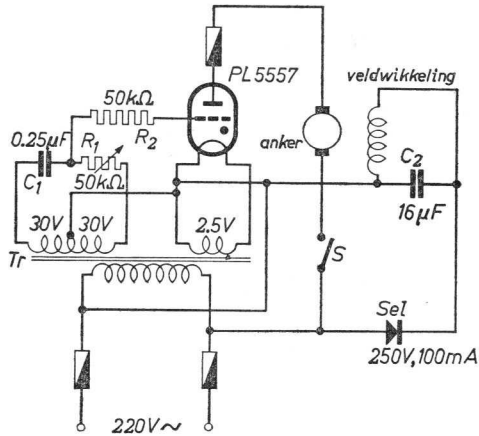


Fig. 63. Schema van een eenvoudige enkelfazige motorregel-schakeling.

Horizontale besturing van de thyatron wordt toegepast door middel van een fazedraai-brug, bestaande uit de secundaire winding van de transformator Tr , de condensator C_1 en de variabele weerstand R_1 .

De voeding van de veldwinding geschiedt vanuit het net via de seleen-gelijkrichter $Se1$; C_2 is de reservoircondensator.

De thyatron wordt direct vanuit het net gevoed, zodat hiervoor geen zware transformator nodig is. De transformator Tr voorziet alleen in de gloeidraadvoeding en de regelspanning.

Bij het veranderen van de ankerstroom van een shunt-motor, zoals in de hier beschreven schakeling, verandert ook het door de motor geleverde vermogen. Het geleverde koppel echter blijft praktisch constant.

De beschreven schakeling is ontworpen voor een netspanning van 220 V; het opgenomen vermogen bedraagt ongeveer 80 W. De schakelaar S in de anodeleiding van de thyatron mag eerst gesloten worden als de opwarmtijd van de buis verstreken is. Zekeringen in de net-aansluiting en het anodecircuit beveiligen de schakeling tegen overbelasting.

Gestuurde wisselstroomschakelingen

Bij het regelen van wisselstromen, zoals in de hieronder beschreven toepassingen, is de gelijkrichtende werking van thyatrons ongewenst. Anti-

parallel schakeling van twee buizen (of zes buizen in een 3-fazen systeem) is in deze schakelingen dan ook noodzakelijk.

Dim-schakeling voor fluorescentielampen

Als de lichtopbrengst van fluorescentielampen geregeld dient te worden, komen eenvoudige middelen als bijvoorbeeld een variabele weerstand of een variabele transformator zoals gebruikt bij gloeilampen, niet in aanmerking. Dit vindt zijn oorzaak in het feit, dat een fluorescentielamp, die in principe een gasontladingsbuis is, een relatief hoge spanning nodig heeft om te kunnen ontsteken. Wanneer de voedingsspanning van een dergelijke lamp verlaagd wordt, hetgeen met de hierboven beschreven middelen in feite gebeurt, wordt weldra een punt bereikt, waarop de lamp niet meer ontsteekt. Het dimmen van dit type lamp is dan ook slechts mogelijk door het regelen van de gemiddelde stroom door de lamp zonder hierbij de maximale voedingsspanning te variëren.

De oplossing van dit probleem kan worden gevonden door de fluorescentielamp te voeden met spanningimpulsen met een constante amplitude maar met variabele breedte. Dit kan kennelijk met thyratrons worden verwezenlijkt. Door de ontsteekhoek van de thyatron(s) te regelen wordt de gemiddelde stroom door de lamp en diens gevolg de lichtopbrengst beïnvloed.

Het principeschema van een dim-schakeling voor fluorescentielampen is in Fig. 64 voorgesteld. De lamp is voorzien van twee gloeidraden (aan elke kant van de buis één), die beurtelings de functie van katode en anode uitoefenen, zodat gedurende zowel de positieve als de negatieve halve perioden van de voedingsspanning stroom door de buis kan vloeien. Deze stroom wordt geregeld door twee anti-parallel geschakelde thyratrons.

Om te zorgen, dat de lamp zelfs bij grote ontsteekhoeken van de thyratrons nog ontsteekt, is de spoel L in het anodecircuit opgenomen. Zoals bij thyratrons met een inductieve belasting blijft de stroom nu in de positieve richting vloeien zelfs indien de momentele voedingsspanning negatief is en omgekeerd. Als meer dan één lamp door dezelfde thyratrons bestuurd moet worden, moet elke lamp van een eigen spoel zijn voorzien.

De werking van de spoel en de invloed van de ontsteekhoek van de thyratrons is geïllustreerd in Fig. 65. Deze figuur laat zien, dat de gemiddelde stroom afneemt bij toenemende ontsteekhoek van de buizen.

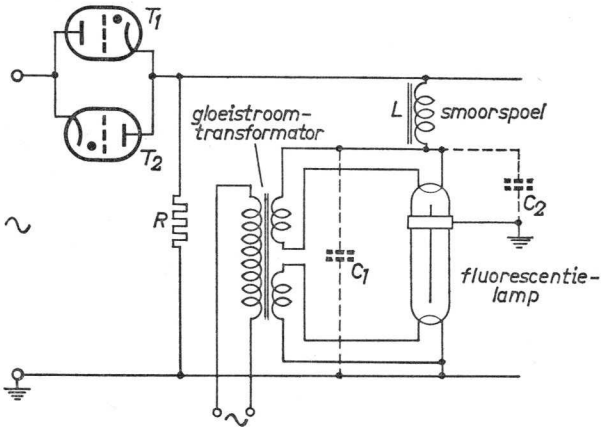


Fig. 64. Principe-schema van een dim-schakeling voor fluoresceentielampen door middel van twee anti-parallel geschakelde thyratrons.

Een praktische schakeling, die in Fig. 66 getekend is, bestaat uit twee thyratrons (I en II), die horizontaal bestuurd worden door middel van de piektransformator Tr_2 (type 84590) in combinatie met de gelijkspanningsbronnen A_1 en A_2 (type 1289/03). Deze laatste worden door de gloeistroomtransformator Tr_1 gevoed.

De primaire van de piektransformator vormt een deel van een brug-schakeling, die vanuit de punten a , b en c van de gloeistroomtransformator

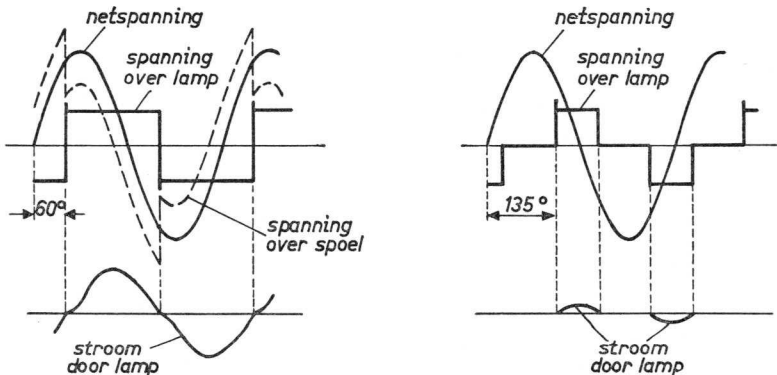


Fig. 65. Diagrammen, waarin de invloed van de ontstekehoek van de thyratrons op de spanningen en de stroom is aangegeven.

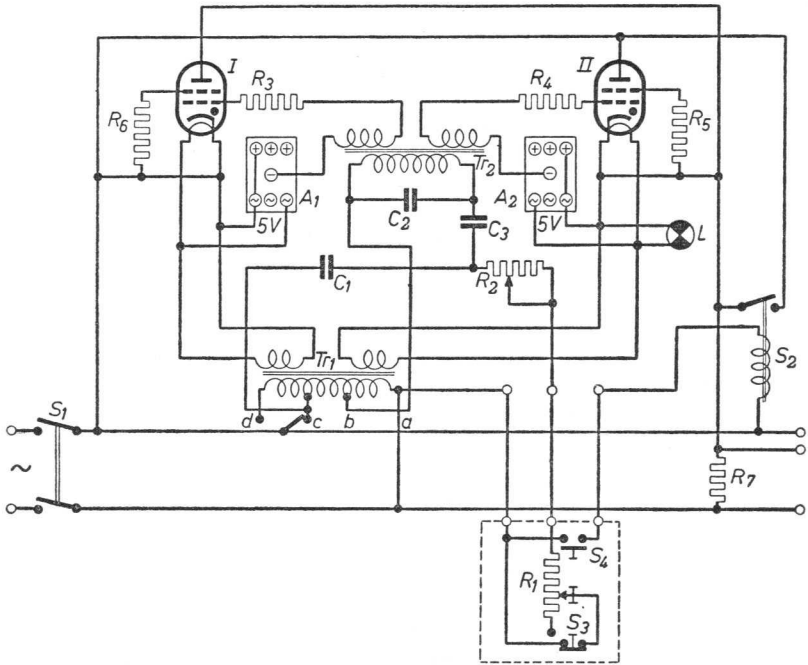


Fig. 66. Complete schakeling van het dim-apparaat.

Stuklijst:

- $R_1 = 2 \text{ k}\Omega$, 100 W variabel
 $R_2 = 470 \ \Omega$, 10 W semi-variabel
 $R_3 = R_4 = 18 \text{ k}\Omega$, 1 W
 $R_5 = R_6 = 10 \text{ k}\Omega$, 1 W
 $R_7 = 10 \text{ k}\Omega$, 10 W
 $C_1 = 2 \ \mu\text{F}$, 5000 V
 $C_2 = C_3 = 0,5 \ \mu\text{F}$, 1000 V
 $I = II = \text{PL } 105$
 $L =$ controle-lamp
 $Tr_1 =$ gloeistroomtransformator
 prim: 110 V, 110 V, 160 V
 sec.: 2 x 5 V, 11 A.
 $Tr_2 =$ piektransformator, type 84590
 $A_1 = A_2 =$ gelijkspanningsbronnen type 1289/03
 $S_1 =$ dubbel-polige schakelaar
 $S_2 =$ elektromagnetisch relais, 15 A, 220 V spoel
 $S_3 = S_4 =$ micro-schakelaar, enkelpolig, maak- en breekcontact.

gevoed wordt. De ontstekhoek kan worden veranderd door de variabele weerstand R_1 .

Door middel van twee micro-schakelaars S_3 en S_4 kan de dim-schakeling buiten werking worden gesteld. Als S_3 geopend wordt, wordt de primaire van de piektransformator onderbroken, waardoor de lampen volledig doven. Het sluiten van S_4 heeft tot gevolg, dat het elektro-magnetisch relais S_2 bekrachtigd wordt waardoor de thyratrons kortgesloten worden. In dat geval kan de verlichting direct worden ingeschakeld nadat de netschakelaar gesloten is.

S_3 en S_4 kunnen worden bediend door een nok op de as van R_1 , zodanig dat S_3 bediend wordt wanneer R_1 in zijn laagste stand staat (minimale lichtsterkte) en S_4 in de hoogste stand van R_1 (maximale lichtsterkte). De combinatie R_1 - S_3 - S_4 kan in een apart kastje worden gemonteerd, zodat het mogelijk is de installatie op afstand te bedienen met slechts één knop.

Elektronisch wisselstroomschakelaar

In Fig. 67 is een eenvoudige schakeling gegeven, waarmee het mogelijk is een wisselstroom elektronisch in en uit te schakelen. De beide thyratrons Th_1 en Th_2 zijn anti-parallel geschakeld, zodat zij, indien ontstoken, een stroom door de belasting R_l voeren.

Met de schakelaar S_2 gesloten en S_1 geopend hebben beide thyratrons een zo grote negatieve roostervoorspanning, dat ze niet kunnen ontsteken. Deze roosterspanning wordt verkregen uit twee gelijkspanningsbronnen 1289/03, die door de secundaire wikkelingen van de gloeistroomtransformator Tr gevoed worden.

Als S_1 gesloten wordt, gaat een wisselstroom lopen door het weerstanden-netwerk R_6 - R_4 - R_3 - R_5 , waardoor over R_6 en R_5 wisselspanningen ontstaan. De roosterspanning van elke thyatron bestaat dan uit een wisselspanning, die op een negatieve gelijkspanning gesuperponeerd is.

De roosterwisselspanning van elke buis is in fase met de anodespanning en is zo groot, dat de buis in het begin van de periode ontsteekt. De thyratrons geleiden dan ook gedurende bijna een volledige halve periode, waardoor de stroom door de belasting praktisch sinusvormig is.

Wanneer S_1 geopend wordt, zullen de thyratrons, die elke periode automatisch doven, niet opnieuw ontsteken, zodat de stroom door R_l onder-

broken wordt. S_2 wordt eerst gesloten nadat de opwarmtijd van de thyratrons verstreken is.

De maximale stroom door de belasting, die in- of uitgeschakeld kan worden met de schakeling van Fig. 67 hangt af van het gebruikte type

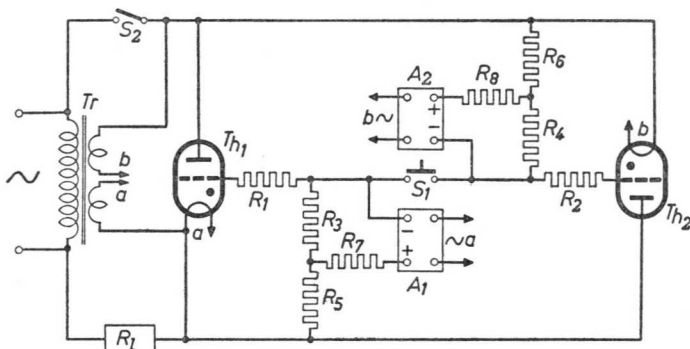


Fig. 67. Schema van een elektronische wisselstroomschakelaar.

Stuklijst:

$R_1 = R_2 = 10 \text{ k}\Omega, 1 \text{ W}$	$A_1 = A_2 = \text{gelijkspanningsbronnen}$
$R_3 = R_4 = 3,3 \text{ k}\Omega, 1 \text{ W}$	type 1289/03
$R_5 = R_6 = 10 \text{ k}\Omega, 1 \text{ W}$	
$R_7 = R_8 = 1,5 \text{ k}\Omega, 1 \text{ W}$	

thyatron. Met twee PL 5559's bedraagt de maximale effectieve stroom door R_1 5,5 A en met twee PL 255 buizen 27 A.

Een foto van een elektronische schakelaar met twee PL 255 buizen is tegenover pag. 57 geplaatst. Op deze foto kunnen de onderdelen van de schakeling gemakkelijk worden herkend.

Gelijkstroom-wisselstroomomvormers

Het kan voorkomen, dat slechts gelijkspanning beschikbaar is op plaatsen, waar voor een bepaalde toepassing een wisselspanning noodzakelijk is. In een dergelijk geval kan een gelijkstroom-wisselstroomomvormer het probleem oplossen. De nadelen van mechanische omvormers (hetzij roterende of

triller-omvormers) kunnen worden vermeden door het gebruik van een volledig elektronisch apparaat, terwijl bovendien een hoog rendement kan worden verkregen indien dit apparaat met thyatronen wordt uitgerust.

30 W gelijkstroom-wisselstroomomvormer

In de schakeling van Fig. 68 worden twee PL2D21 thyatronen gebruikt. De werking is als volgt.

Als de netschakelaar S gesloten wordt, vloeit er een stroom door R_2 en de gloeidraden van de thyatronen. Op hetzelfde moment wordt het bimetaalrelais Rel_1 opgewarmd door een stroom die door het verwarmingselement hiervan loopt. Nadat de katodes van de buizen hun werktemperatuur hebben

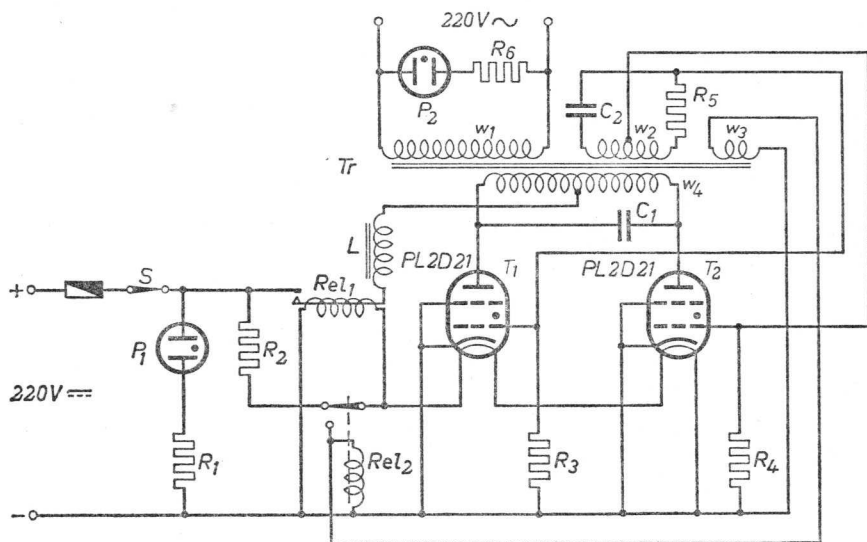


Fig. 68. Schema van een dubbelfazige 40 W omvormer.

Stuklijst:

$R_1 = 500 \Omega$	$L = 2 H, 20 \Omega$
$R_2 = 50 k\Omega$	$Rel_1 =$ thermisch relais
$R_3 = 50 k\Omega$	$Rel_2 =$ wisselstroomrelais
$R_4 = 165 k\Omega$	$Tr =$ transformator
$C_1 = 0,75 \mu F$	$w_1 = 1300$ windingen, $0,32$ mm \varnothing
$C_2 = 0,1 \mu F$	$w_2 = 2 \times 300$ windingen, $0,1$ mm \varnothing
P_1 en P_2 : neon controle-lampjes	$w_3 = 80$ windingen, $0,7$ mm \varnothing
	$w_4 = 2 \times 1200$ windingen, $0,35$ mm \varnothing

bereikt, wordt Rel_1 gesloten, zodat via de spoel L en de wikkeling w_4 van de transformator Tr een gelijkspanning aangelegd wordt tussen de anodes en de katodes van de thyratrons.

Zodra één van de buizen ontsteekt, bijvoorbeeld T_1 , wordt de plotselinge spanningsval op de anode van deze buis via de condensator C_1 naar de anode van T_2 doorgegeven, zodat T_2 aanvankelijk niet kan ontsteken. Er gaat dan een stroom vloeien in de linker helft van w_4 , C_1 gaat zich opladen en de anodespanning van T_2 gaat stijgen.

Intussen doet de spanning, die in w_2 geïnduceerd wordt, de stuurrooster-spanning van T_2 stijgen. Als zowel de anodespanning als de roosterspanning hoog genoeg zijn, ontsteekt T_2 , terwijl, door de commuterende werking van C_1 , T_1 dooft. De stroom door w_4 vloeit nu in de rechter helft en wel in tegen-gestelde richting.

Het proces herhaalt zich nu, doch in omgekeerde zin, zodat door de primaire wikkeling w_4 van Tr een wisselstroom gaat lopen. Als gevolg hiervan hiervan wordt in de secundaire wikkeling w_1 een wisselspanning opgewekt, hetgeen de opzet was.

De spanning, die in w_3 geïnduceerd wordt, bekrachtigt het relais Rel_2 . Hierdoor wordt de verbinding van de gloeidraden van de thyratrons met het net verbroken terwijl deze gloeidraden vervolgens op w_3 aangesloten worden, zodat op deze wijze het aanzienlijke vermogensverlies in R_2 wordt vermeden.

De frequentie van de geproduceerde wisselspanning hangt af van die van de roosterwisselspanning, die op zijn beurt, tengevolge van de koppeling tussen rooster- en anodecircuit, weer bepaald wordt door de frequentie in de anodeketen. De fazeverschuiving tussen anodespanning en roosterspanning is afhankelijk van de waarden van C_2 en R_5 en van de frequentie. Deze laatste zal dan ook een zodanige waarde aannemen, dat de vereiste fazeverschuiving voor zelf-excitatie verkregen wordt. Een verandering in de waarde van R_5 veroorzaakt een verandering in de frequentie. De vorm van de wisselspanning, die in het algemeen niet zuiver sinusvormig zal zijn, wordt door de elementen in het anodecircuit bepaald, waarbij de waarde van de commutatiecondensator C_1 van bijzonder belang is.

Het uitgangsvermogen van de beschreven schakeling is ongeveer 40 W bij een rendement van 75%. Het vermogensverlies vindt plaats in de gloeidraadvoeding en de bekrachtiging van de relais.



TECHNISCHE GEGEVENS V

Gasvulling		Xenon			
		PL21 2D 21	PL6574	PL1607	PL5684 C3 JA
Gemiddelde anodestroom	(A) max.	0,1	0,3	0,5	2,5
Anode-piekstroom	(A) max.	0,5	2,0	2	30
Topwaarde v.d. anodetegenspanning	(V) max.	1300	1300	650	1250
Topwaarde v.d. anodesp. in voorwaartsrichting	(V) max.	650	650	650	1000
Katodeverhitting		ind.	ind.	dir.	dir.
Gloeispanning	(V)	6,3	6,3	2	2,5
Gloeistroom	(A)	0,6	0,95	2,6	9
Opwarmtijd	min.	10 s	20 s	30 s	30 s
Boogspanning	(V)	8	10	15	10
Negatieve stuurroosterspanning					
voor het ontsteken	(V) max.	100	250	100	300
na het ontsteken	(V) max.	10	10	10	10
Negatieve schermroosterspanning					
voor het ontsteken	(V) max.	100	100	100	-
na het ontsteken	(V) max.	10	10	10	-
Momentele stuurroosterstroom	(mA) max.	-	-	250	500
Gemiddelde stuurroosterstroom	(A) max.	0,01	0,020	0,05	0,1
Momentele schermroosterstroom	(A) max.	-	-	0,25	-
Gemiddelde schermroosterstroom	(A) max.	0,01	0,020	0,05	-
Integratietijd van de stromen	(s) max.	30	15	15	5
Omgevingstemperatuur	(°C) max.	+90	+90	+90	+75
Omgevingstemperatuur	(°C) min.	-75	-75	-75	-55
Temperatuur v.h. gecondenseerde kwik	(°C) max.	-	-	-	-
Temperatuur v.h. gecondenseerde kwik	(°C) min.	-	-	-	-
Aanbevolen omgevingstemperatuur	(°C)	20	20	20	20
Aanbevolen temperatuur v.h. gecondenseerde kwik	(°C)	-	-	-	-
Weerstand tussen stuurrooster en katode	(kΩ) max.	10000	10000	min. 100 max. 5000	min. 10 max. 100
Aantal elektroden		4	4	4	3
Netto gewicht (ca.)	(g)	10	-	75	95
Bruto gewicht (ca.)	(g)	50	-	250	-
Aanbevolen buishoudertype		5909	5903/13	40465	40218/03
Lengte	(mm) max.	54,6	85	142	150
Diameter	(mm) max.	19	33	48	40

MODERNE THYRATRONS

		Kwikdamp					Xenon + kwikdamp		
544	PL5545	PL17 5557	PL57 5559	PL105	PL225	PL260	PL323 3C 23	PL6755	PL106
3,2	6,4	1	2,5	6,4	12,5	25	1,6	3,2	6,4
40	80	2	15	40	80	160	6,4	20	80
1500	1500	1500	1000	2500	2500	2500	1500	1500	2000
1500	1500	1500	1000	2500	1500	2000	1500	1500	2000
dir.	dir.	dir.	ind.	ind.	ind.	ind.	dir.	dir.	dir.
2,5	2,5	2,5	5	5	5	5	2,5	2,5	2,5
12	21	5,0	4,5	10	14	25	7	11	22
min	1 min	10 s	5 min	5 min	5 min	10 min	30 s	1 min	30 s
12	12	12	12	12	10	10	12	12	12
250	250	500	500	1000	300	300	500	300	500
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
-	-	-	-	500	-	-	-	-	-
-	-	-	-	10	-	-	-	-	-
2,5A	2,5A	250	1000	1000	min. 0,5	min. 3	50	-	-
					max. 1000	max. 1000			
0,2	0,2	0,05	0,25	0,25	0,25	0,25	0,01	0,25	0,25
-	-	-	-	2	-	-	-	-	-
-	-	-	-	0,5	-	-	-	-	-
15	15	15	15	15	15	15	5	15	
+70	+70	-	-	-	-	-	+50	+40	+50
-55	-55	-	-	-	-	-	-40	0	-40
-	-	+80	+80	+80	+75	+75	+80	+80	+80
-	-	+35	+40	+40	+35	+35	+40	+25	+25
20	20	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	50	60	60	60	60	40	40	
0,5	min. 0,5	100	100	100	50	20	min. 5	100	100
100	max. 100						max. 100		
3	3	3	3	4	3	3	3	3	3
300	340	85	125	510	820	1600	85	345	480
1350	1350	240	400	1400	1500	5600	130	1350	2135
0403	40403	40218/03	40218/03	40403	-	-	40218/03	40403	40403
190	229	155	184	288	334	405	155	228	290
67	67	52	74	123	102	127	52	59	73

