



HARLEY CARTER * KATODESTRAALOSCILLOSKOOP



**INLEIDING TOT DE
KATODESTRAAL
OSCILLOSKOOP**

DOOR

HARLEY CARTER A.M.I.E.E.

POPULAIRE REEKS

PHILIPS TECHNISCHE BIBLIOTHEEK

G. MASCHERINI
Genève, le 14.12.1978
Ouvrage

LESTONIA R. A. L. L. O. S. I. O. R. I. A.
P. O. S. T. A. L. I. A. S. T. A. T. I. S. T. I. C. A. S. I. A.



N. V. UITGEVERSM A A T S C H A P P I J C E N T R E X
E I N D H O V E N



INLEIDING TOT DE
KATODESTRAALOSCILLOSCOOP

DOOR

HARLEY CARTER A.M.I.E.E.

1960

POPULAIRE REEKS
PHILIPS TECHNISCHE BIBLIOTHEEK

Vertaald uit het Engels door Ing. D. C. van Reijendam, Zwolle

Mededeling van de uitgever:

Dit boek wordt uitgegeven in zes talen:

Nederlands, Engels, Frans, Duits, Spaans en Zweeds

U.D.C. 621.317.755

Dit boek bevat 138 pagina's, 14,8 × 21 cm, 99 figuren en 3 uitslagbladen

© N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken — Eindhoven (Nederland), 1960

Nadruk, ook gedeeltelijk, verboden

Gedrukt in Nederland

Eerste uitgave 1960

Vermelding van gegevens in dit boek impliceert geen vrijdom van octrooirechten

VOORWOORD

De katodestraaloscilloskoop kan van de momenteel verkrijgbare meet-instrumenten waarschijnlijk wel voor het grootste aantal doeleinden worden gebruikt.

Oorspronkelijk werd hij in een vrij grove vorm ontwikkeld voor laboratoriumgebruik, maar verbeteringen aan de elektronenstraalbuis, het ontwikkelen van nieuwe en ingenieuze schakelingen en vooral de moderne precisie-methoden bij de fabricage van de buizen hebben het mogelijk gemaakt oscilloskopen voor verschillende toepassingen in de handel te brengen. Enkele daarvan zijn ontworpen voor de meest uiteenlopende wetenschappelijke onderzoekingen of voor industriële toepassingen, maar een nog groter aantal is geschikt om te worden gebruikt bij de controle, de afregeling en de reparatie van zowel elektrische als mechanische apparaten.

Deze oscilloskopen voor algemeen gebruik moeten dikwijls worden gebruikt door technici en dergelijken, die, hoewel vaklieden op hun eigen terrein, toch vrijwel niets afweten van elektronica. Het is met het oog op deze groep gebruikers, dat dit boek werd geschreven.

Er zijn echter ook anderen, die voor deze inleiding tot de katodestraaloscilloskoop belangstelling kunnen hebben, zoals serieuze experimenteerders, technische assistenten en studenten aan technische scholen om er maar eens een paar te noemen. Aan al deze mensen en ook aan hen, die een eenvoudige verklaring van de elektronenstraalbuis en van het principe, de constructie en de toepassing van de katodestraaloscilloskoop zoeken, draag ik dit boek op.

Ik heb afgezien van iedere wiskundige benadering van het onderwerp en heb ernaar gestreefd de verklaringen voldoende eenvoudig te houden voor hen, die slechts een vaag begrip hebben van elektronische schakelingen, terwijl ik daarnaast getracht heb de meer technisch onderlegde lezer ook nog wat te bieden.

De voorbeelden van het praktische gebruik van de oscilloskoop zijn zodanig gekozen, dat zij de voornaamste grond-toepassingen bestrijken en tevens voldoende zijn gevariëerd, maar ik moet toegeven, dat dit hoofdstuk niet volledig is.

Ik stel er prijs op mijn dank te betuigen aan de Heer J. Jager van de N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken te Eindhoven voor zijn hulp bij het verza-

melen van het overgrote deel van de gegevens voor de hoofdstukken 3 en 4 aan de vele ingenieurs en technici uit wiens publicaties ik mocht putten. Tevens dank ik Mullard Limited in Londen voor de toestemming welke zij mij verleenden tot het opnemen van een groot aantal illustraties, afkomstig uit hun bibliotheek van technische publicaties en filmstroken.

Grote erkentelijkheid betuig ik gaarne aan de heer D. C. van Reijndam te Zwolle die dit boek uit het Engels in het Nederlands vertaalde en voor het Nederlandse taalgebied aanpaste aan de tweede in 1960 geheel herziene en op de hoogte van zijn tijd gebrachte Engelse uitgave.

Londen, september 1960.

Harley Carter

INHOUDSOPGAVE

Hoofdstuk I INLEIDING	1
Hoofdstuk II DE ELEKTRONENSTRAALBUIS	6
1. Werking	6
2. Focusering van de straal	9
3. Afbuiging van de straal	11
4. Symmetrische en asymmetrische afbuiging	13
5. Intensiteitsmodulatie van de elektronenstraal	15
6. Versnelling na afbuiging	16
7. Schermkarakteristieken	17
8. Fabricage van elektronenstraalbuizen	23
9. Methodes van zichtbaarmaking of registratie	26
10. Meting van een enkele grootheid	26
11. Meten van het verband tussen twee grootheden	27
12. Aangeven van het verband tussen twee grootheden, waar- van er een de tijd is	27
13. Aangeven van het verband tussen twee grootheden, waar- van geen van beiden de tijd is	29
14. Fotografische registratie	30
Hoofdstuk III DE TIJDBASIS	35
1. Eisen te stellen aan een zaagtandspanning	35
2. Grondbeginselen	36
3. Methodes voor het opwekken van een zaagtandspanning	37
4. De terugslag	38
5. Eenvoudige grondschemata's	39
6. Lineariteit	41
7. De invloed van het koppelend element op de lineariteit	42
8. De invloed van een versterker op de lineariteit	44
9. Methodes ter verbetering van de lineariteit	46
10. Methodes voor het opwekken van een herhalende tijdbasis- spanning	49
11. Tijdbasis met een enkele slag	56
12. Cirkelvormige, spiraalvormige en radiale tijdbases	56

Hoofdstuk IV	VERSTERKERS VOOR DE VERTICALE AFBUI- GING EN OPNEMERS VOOR HET OMZETTEN VAN NIET-ELEKTRISCHE VERSCHIJNSELEN IN ELEKTRISCHE GROOTHEDEN	58
1.	Versterkers voor de verticale afbuiging	58
1.1.	Wat is vervorming?	60
1.2.	Amplitude vervorming	60
1.3.	Frekwentie vervorming	61
1.4.	Fazevervorming	67
2.	Het omzetten van niet-elektrische verschijnselen in elek- trische grootheden	68
2.1.	Weerstandopnemers	68
2.2.	Piëzo-elektrische opnemers	69
2.3.	Capacitieve opnemers	70
2.4.	Elektromagnetische opnemers	70
2.5.	Thermo-elektrische opnemers	70
2.6.	Foto-elektrische opnemers	71
Hoofdstuk V	HOOGSPANNINGSVOEDING VOOR KATODE- STRAALOSCILLOSKOPEN	72
1.	Anodespanningseenheid	72
2.	De eenheid voor de extra hoge spanning	74
3.	Algemene wenken	77
Hoofdstuk VI	PRAKTISCHE TOEPASSINGEN VAN DE OS- CILLOSKOOP	79
1.	IJken van de oscilloskoop	80
2.	Enkele eenvoudige metingen	83
3.	Metingen van de fazeverhouding	85
4.	Meting van capaciteit, zelfinductie en reactantie	86

5.	Vergelijking van frekwenties	88
6.	De elektronische schakelaar	89
7.	Toepassingen met gebruikmaking van een cirkelvormige tijdbasis	91
8.	Vergelijken van frekwenties	92
9.	Het controleren van horloges	94
10.	Controle van de sluitersnelheid van camera's	94
11.	„Echo” meetmethoden	95
12.	Opsporen van gietgallen	95
13.	Resonantiekrommen van trillingskringen	96
14.	Opnemen van de hysteresislus	97
Hoofdstuk VII NORMALE KATODESTRAALBUIZEN VOOR OSCILLOSKOPEN		100
Hoofdstuk VIII ENKELE VOLLEDIGE OSCILLOSKOOP- SCHEMA'S		106
1.	Schema Nr. 1 Eenvoudige oscilloscoop met elektronenstraal- buis type DG 7-31	106
1.1.	Algemene beschrijving	106
1.2.	Verticale afbuigversterker	107
1.3.	Tijdbasisgenerator	109
1.4.	Het voedingsapparaat	111
1.5.	De katodestraalbuiseenheid	113
1.6.	Het golfvorm- en spanningsuitgangspaneel	114
1.7.	Uitvoering	114
2.	Schema Nr 2. Een eenvoudige oscilloscoop voor de service technicus	117
2.1.	Algemene beschrijving	117
2.2.	Verticale versterker	117
2.3.	Tijdbasisgenerator	119
2.4.	Synchronisatieversterker	119
2.5.	IJking	120
2.6.	Verschuivingsregeling	120

2.7.	Het voedingsapparaat en de schakeling voor de kato- destraalbuis	120
2.8.	Uitvoering	121
3.	Schema Nr. 3. Een veelzijdige oscilloscoop waarvan de tijd- basis kan worden veranderd in een versterker voor uitwen- dige horizontale afbuigsignalen	123
3.1.	Algemene Beschrijving	124
3.2.	Eigenschappen	124
3.3.	Tijdbasis en horizontale afbuigversterker	125
3.4.	Verticale afbuigversterker	127
3.5.	Voeding	129

HOOFDSTUK I

INLEIDING

De meeste toestellen, waarmee elektrische stromen of spanningen worden gemeten, maken gebruik van een van de volgende verschijnselen:

1. De warmte, opgewekt door een elektrische stroom als deze door een weerstand vloeit.
2. De chemische reacties die optreden als een elektrische stroom door een elektrolyt vloeit.
3. De krachten, uitgeoefend op magneten, magnetische materialen of stroomvoerende geleiders in een magnetisch veld.
4. De krachten welke in een elektrisch veld optreden.

Behalve voor een heel enkele toepassing zijn de beide eerste mogelijkheden alleen nog maar van theoretisch belang. Instrumenten die werken volgens het elektromagnetische principe, zijn natuurlijk vertrouwde hulpmiddelen voor de technikus. Bekende voorbeelden daarvan zijn de weerkijzer- en elektrodynamische volt- en ampèremeters. In principe zijn dit stroommeters, maar door hun inwendige weerstand groot te maken, zodat de stroom die er doorheen vloeit zeer klein is in vergelijking tot de totale stroom in de stroomkring, kunnen ze ook worden gebruikt voor het meten van spanningen. Elektrostatische instrumenten reageren uitsluitend op spanningsverschillen; zij komen in de techniek voor als elektrostatische voltmeters, die worden gebruikt voor het meten van naar verhouding hoge spanningen.

De normale meetinstrumenten van het elektromagnetische type voldoen uitstekend voor verschillende, veel voorkomende, metingen, zoals bij voorbeeld voor het meten van gelijkstromen en -spanningen, vooropgesteld dat de te meten grootheden niet te snel van waarde veranderen.

Zij hebben namelijk het grote nadeel, dat het bewegende deel een vrij grote traagheid bezit. Het gevolg daarvan is dat het instrument niet onmiddellijk variaties van de te meten grootheid kan volgen. Tevens neemt het instrument vrij veel energie op uit de te meten stroomkring.

Dat zal duidelijk worden na een korte beschouwing van het principe waarop deze instrumenten berusten. De te meten stroom, die door het instrument vloeit, oefent een koppel uit op het bewegende deel van de meter,

dat daardoor een zekere uitwijking krijgt. Dit koppel, en dus ook de draaiing van het bewegende deel, wordt tegengewerkt door een richtend koppel dat kan worden veroorzaakt door b.v. een gewicht of een veer. Het bewegende deel komt tot rust wanneer het drijvende koppel en het tegenwerkende koppel precies in evenwicht zijn. De grootte van de draaiing is dan een maat voor de sterkte van de stroom door het instrument. Door zijn traagheid doet het bewegende deel er vrij lang over eer zijn definitieve stand is bereikt, terwijl het daarna nog verder doordraait, zodat de aanwijznaald eerst nog wat heen en weer slingert alvorens de juiste afleesstand in te nemen.

Om deze slingering te verminderen wordt danook altijd in het instrument nog een of andere demping aangebracht, b.v. een zuigertje of een wervelstroomdemping. Hierdoor bezitten alle instrumenten van dit type een zekere traagheid, waardoor zij niet direct reageren op snelle of plotselinge veranderingen van de spanning of stroom. Verder wordt er in al deze instrumenten energie verbruikt om het tegenwerkende koppel te overwinnen, terwijl het dempende systeem, wanneer het niet zeer kritisch is ingesteld, nog weer een verdere belasting van de kring kan vormen.

De behoefte aan elektrische meetinstrumenten met een zeer snelle reactie werd in de geschiedenis van de elektrotechniek al zeer vroeg gevoeld. Eerst alleen nog maar in de laboratoria, maar later ook in de industrie, deden zich problemen voor, zoals het onderzoek naar de golfvorm van wisselstromen en andere periodieke verschijnselen, en het vaststellen van inschakelver-

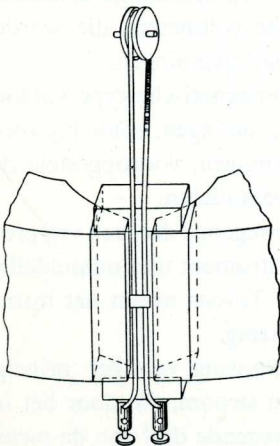


Fig. 1. Oscilloskoop van Duddell (1893)

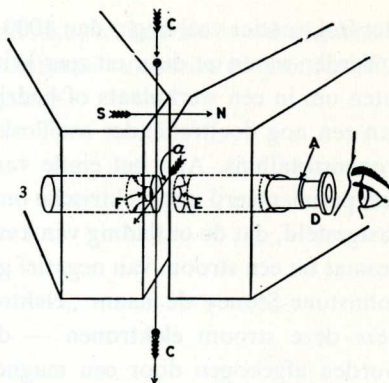


Fig. 2. Oscilloskoop van Einthoven (1901).
 Met dank aan The Cambridge Instrument
 Co.
 De Einthoven (snaar) galvanometer
 C-C Stroomrichting
 S-N Richting van het magnetische veld
 a Richting van de afbuiging
 A-D-E-F Optisch systeem

schijnselen — plotselinge impulsen, meestal van zeer korte duur, die òf alleen òf met ongelijke tussenpozen optreden.

De eerste pogingen om aan deze eisen te voldoen, waren bijna alle gericht op een toepassing van het principe van het draaispoel instrument op zodanige wijze dat de traagheid van het bewegende deel zeer laag werd gehouden, terwijl de resonantiefrekwentie zeer hoog werd gemaakt en de demping kritisch. Op de elektrodynamische oscillograaf van Blondel (1891) volgde in 1893 die van Duddell (fig. 1). Hij gebruikte een enkele lus van dun fosforbronsdraad als draai-, „spoel”. De uitslag werd aangetoond door een lichtstraal die werd weerkaatst door een spiegel, dat op de lus was bevestigd. Dit licht liet men op b.v. een fotografische film vallen, waardoor dan een lijn of grafiek ontstond van de variaties in de spanning gedurende de tijd dat het instrument op deze spanning was aangesloten.

Een nog gevoeliger instrument, uitgevonden door professor Einthoven, werd in 1901 geïntroduceerd (fig. 2). Het bewegende deel van deze oscillograaf bestond uit een enkele dunne draad van kwarts, die om hem geleidend te maken, was verzilverd of verguld. Deze draad was opgehangen in de nauwe lichtspleet tussen de beide polen van een sterke magneet. Bewegingen van de draad in de spleet werden gecontroleerd en gemeten òf direct met een microscoop òf met behulp van een lichtstraal welke op de draad werd geworpen en door deze werd gereflekteerd op een schaal of scherm.

Niettegenstaande hun weldoordacht ontwerp en het enorme vakmanschap dat de fabricage vergde, waren deze oscilloskopen toch niet in staat variaties

met frekwenties veel hoger dan 1000 perioden per seconde, te volgen.

Verder waren ze duur en zeer kritisch afgesteld, dus eigenlijk geen apparaten om in een werkplaats of bedrijf te worden gebruikt. De mogelijkheid van een nog doeltreffender oscilloskoop echter was al aanwezig in de elektronenstraalbuis. Aan het einde van de negentiende eeuw was er heel wat geëxperimenteerd met elektrische ontladingen in luchtledige vaten. Men had vastgesteld, dat de ontlading van katode naar anode of versnellingselektrode bestaat uit een stroom van negatief geladen deeltjes — waaraan in 1890 door Johnstone-Stoney de naam „elektronen” werd gegeven. Het was bekend deze stroom elektronen — de zogenaamde „katodestraal” — kan worden afgebogen door een magnetisch veld en door een elektrisch veld en dat de elektronenstraal, hoewel zelf onzichtbaar voor het menselijk oog, luminescentie veroorzaakt als hij op zekere chemische stoffen valt, en ook een fotografische film kan beïnvloeden.

Reeds in 1897 gebruikte Braun een soort elektronenstraalbuis als instrument om elektrische grootheden te meten. Steeds maar weer werden er verbeteringen in aangebracht en tegenwoordig is de katodestraaloscilloskoop een onmisbaar werktuig in de handen van de wetenschapsman en de technikus.

De elektronenstraal, die het bewegende deel van het instrument is, heeft binnen de grenzen welke de tegenwoordige meetmethoden stellen, geen traagheid en het instrument vormt ook geen belasting voor de te onderzoeken kring.

De elektronenstraalbuis wordt tegenwoordig gebruikt voor het vaststellen en het meten van zowel periodieke als tijdelijke elektrische verschijnselen, zelfs met zeer hoge frekwenties en ook van niet-elektrische verschijnselen, zoals b.v. trillingen in vaste stoffen, die kunnen worden omgezet in spannings- of stroomvariaties. De elektronenstraalbuis heeft ook de televisie, zoals wij die nu kennen, mogelijk gemaakt en dan nog niet te vergeten de verschillende hulpmiddelen, die onder de verzamelnaam „radar” bekend zijn.

De volgende hoofdstukken zullen zich bezighouden met het principe en de bouw van de elektronenstraalbuis zelf en met de bijkomende apparaten en kringen die tezamen met de buis een katodestraaloscilloskoop vormen. Een aantal praktische toepassingen van de oscilloskoop wordt kort beschreven. Technische details en gegevens zijn opgenomen van de commer-

ciële elektronenstraalbuizen, die in oscilloskopen kunnen worden gebruikt, terwijl het laatste hoofdstuk tekeningen, schema's en verdere bijzonderheden bevat van verschillende complete apparaten.

HOOFDSTUK II

DE ELEKTRONENSTRAALBUIS

De katodestraaloscilloskoop is een instrument waarin spanningsvariaties zichtbaar worden gemaakt als een lichtende streep op een scherm. Het volledige apparaat bevat een elektronenstraalbuis, die het metende en aanwijzende deel van het instrument vormt en verder nog een aantal bijkomende eenheden of kringen voor het leveren van de nodige voedingsspanningen, voor het versterken of verzwakken van de te meten spanning en om er voor te zorgen dat de momentele waarde van die spanning in de juiste volgorde op het scherm zichtbaar wordt, zodat het lichtspoor de vorm krijgt van een grafiek, waarin de spanning is uitgezet als een functie van de tijd. In dit hoofdstuk wordt het principe van de elektronenstraalbuis verklaard en de konstruktie ervan beschreven.

Ruimtegebrek belet een uitvoerige bespreking van de ontwikkelingsstadia, die de elektronenstraalbuis heeft doorlopen tussen de primitief experimentele laboratoriummodellen, welke in 1897 werden gemaakt tot de geperfectioneerde, in massa vervaardigde, buizen van heden. Ook zal er geen poging worden gedaan alle uitvoeringen van de thans verkrijgbare buizen te bespreken. Alle aandacht zal echter worden besteed aan het type, dat normaal wordt toegepast in oscilloskopen voor normaal gebruik in laboratoria en industrie.

1. Werking

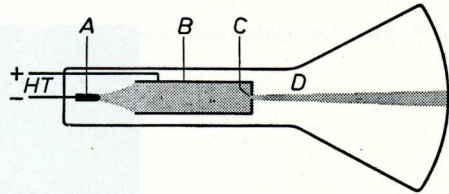
De elektronenstraalbuis van dit type bestaat in wezen uit een peervormige luchtledige glazen ballon met een lange hals, terwijl het brede einde van de ballon vrijwel vlak is.

In de hals van de ballon is een samenstelling van elektroden ondergebracht, dat het elektronenkanon wordt genoemd. De binnenkant van het vlakke gedeelte van de ballon is bedekt met een chemische stof, waardoor het scherm ontstaat waarop het lichtspoor wordt geschreven.

De eenvoudigste vorm van een elektronenkanon, die schematisch is aangegeven in fig. 3, bevat een katode, die wordt verhit en dan elektronen emitteert op dezelfde wijze als de katode van een elektronenbuis, verder een ver-

Fig. 3. Elektronenstraalbuis met eenvoudig elektronenkanon

- A katode
- B versnellingselektrode
- C opening
- D elektronestraal



snellingselektrode, die op een hoge positieve potentiaal wordt gehouden ten zichte van de katode en voorzien is van een opening, die precies in het verlengde van de katode ligt. Elektronen, die door de katode worden geëmitteerd, krijgen een versnelling in de richting van de versnellingselektrode, die een gedeelte van de elektronen aantrekt; de rest vliegt door de opening naar het scherm met een snelheid, die evenredig is met de spanning aan de versnellingselektrode. Wanneer deze zeer snelle elektronen het scherm treffen, ontstaat er een lichtverschijnsel op de plaats van de botsing.

Twee paar metalen plaatjes, die haaks ten opzichte van elkaar zijn aangebracht, bevinden zich in de hals van de buis tussen de versnellingselektrode en het scherm. Wanneer er een elektrisch veld wordt opgewekt tussen de twee tot een paar behorende plaatjes, wordt de elektronenstraal afgebogen naar het plaatje met de positieve potentiaal toe en van het plaatje met negatieve potentiaal af, zodat de lichtstip over het scherm beweegt, laten we zeggen van A naar B (fig. 4). Wordt er nu een ander elektrisch veld opgewekt tussen de twee plaatjes van het ander paar, dan wordt de straal afgebogen in een richting loodrecht op de vorige en wel horizontaal. De lichtstip verplaatst zich nu in een overeenkomstige richting nl. van B naar C. Wanneer nu de span-

Fig. 4. Methode om de straal af te buigen.

- VV plaatjes voor de verticale afbuiging
- HH plaatjes voor de horizontale afbuiging
- A ruststand van de lichtstip
- B plaats van de lichtstip bij alleen verticale afbuiging
- C plaats van de lichtstip zowel bij verticale als horizontale afbuiging

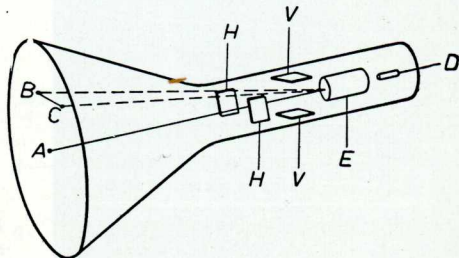
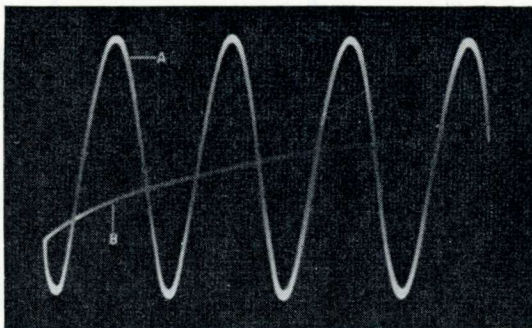




Fig. 5. Oscillogram van een sinusvormige spanning
 A sinusvormige golf
 B terugslag



ning, die aan de plaatjes voor de verticale afbuiging wordt gelegd een zuiver sinusvormige wisselspanning is, dan zal de lichtstip een verticale rechte baan over het scherm beschrijven. Wordt er nu aan het tweede paar plaatjes een spanning gelegd, die lineair toeneemt van een zeker negatief maximum tot een positief maximum in een tijd, die gelijk is aan de duur van een of meer perioden van de verticale afbuigspanning en dan plotseling weer tot het negatieve maximum terug valt, dan zal de lichtstip, zoals in fig. 5 is te zien, een sinusvormige baan op het scherm afleggen.

Op dezelfde wijze kunnen alle denkbare variaties van een van de twee spanningen op het scherm worden getekend. Fig. 6 bijvoorbeeld, is een oscillogram, zoals dit werd gefotografeerd van het scherm van een elektronen-

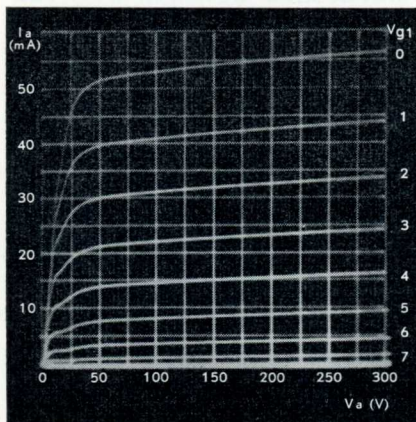


Fig. 6. Oscillogram van de I_a/V_a karakteristiek van een gloeikatodebuis.

straalbuis en dat de anodespannings-anodestroom karakteristiek van een elektronenbuis laat zien.

2. Focussering van de straal

Zoals we in fig. 3 zien, wordt een belangrijk deel van de door de katode geëmitteerde elektronen door de versnellingselektrode opgenomen. Ook blijkt daaruit, dat de door het elektronenkanon uitgeschoten elektronen een enigszins divergerende bundel vormen. De spreiding van de bundel heeft tot resultaat dat er een vrij grote lichtstip op het scherm ontstaat.

Wanneer dus deze eenvoudige vorm voor het elektronenkanon zou worden toegepast, dan zou de lijn op het scherm vrij vaag worden. Een verbetering, afkomstig van Wehnelt, bestaat uit een metalen cilinder die concentrisch om de katode is aangebracht en op een zekere negatieve potentiaal wordt gehouden. Zoals uit fig. 7 blijkt stoot de Wehneltcilinder (die tegenwoordig meestal „rooster” wordt genoemd) de elektronen af, waardoor een soort bundeling optreedt. Het gevolg daarvan is, dat een kleiner deel van de totale elektronenstroom door de versnellingselektrode wordt opgenomen en er dus meer elektronen het scherm bereiken.

Verdere focussering wordt verkregen door nog een rooster toe te voegen tussen de Wehneltcilinder of eerste rooster en de versnellingselektrode en dit rooster dan een positieve potentiaal te geven, die iets lager is dan die van de versnellingselektrode. Bij een zuiver geometrische opzet van het elektroden systeem en een juiste instelling van de spanningen wordt een niet homogeen veld verkregen, waardoor een nauwkeurig gefocuseerde bundel ontstaat, die een kleine stip op het scherm geeft, zodat de lichtstip mooi en zeer precies wordt begrensd.

De invloed van het focuserende veld op de elektronenbundel is verwant

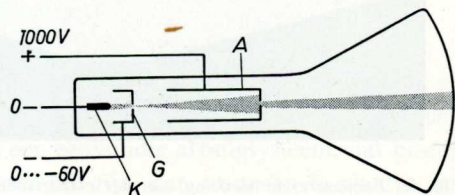


Fig. 7. Elektronenstraalbuis met een elektronenkanon met drie elektrodes K katode; G Wehnelt cylinder (rooster); A versnellingselektrode.

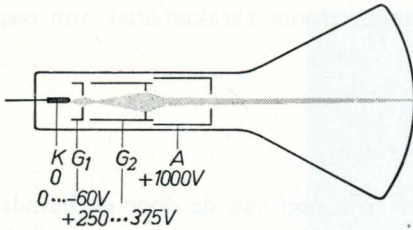


Fig. 8. Elektronenstrahlbuis met een elektronenkanon met vier elektroden K katode; G_1 eerste rooster; G_2 tweede rooster; A versnellingselektrode.

aan die van een lens op een lichtbundel. Deze inrichting wordt dan ook dikwijls aangeduid met „elektrische lens”. De materie van de elektronenoptiek is vrij ingewikkeld, maar de werking van een elektronische lens kan toch wel worden verklaard aan de hand van fig. 8, waarin de plaats is getekend van het tweede rooster en de versnellingselektrode en van fig. 9, waarin de verdeling van het elektrische veld in hun nabijheid is aangegeven. In deze laatste figuur stellen de stippellijnen de equipotentiaalvlakken voor, waarbij het potentiaalverschil tussen telkens twee naast elkaar liggende equipotentiaalvlakken hetzelfde is.

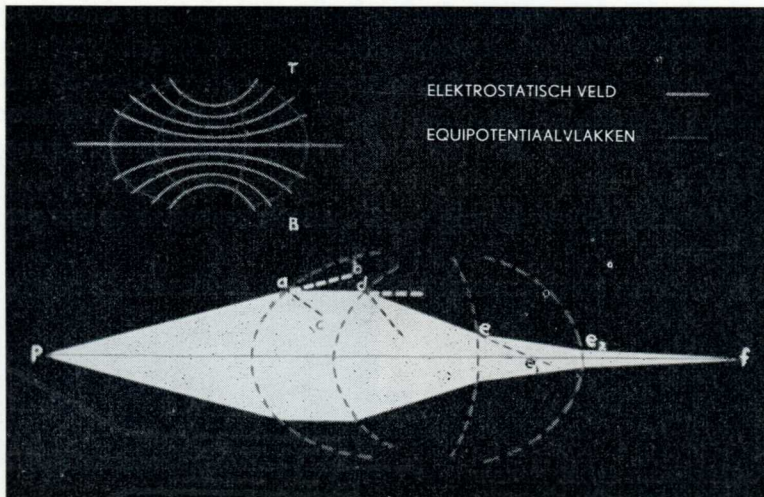


Fig. 9. Focuserende werking van het elektrische veld in een elektronisch lenzensysteem.

De figuur laat tevens een divergerende elektronenbundel zien, die uitgaat van punt P en dan binnentreedt in het veld, dat ontstaat door de werking van het tweede rooster en de versnellingselektrode. Opgemerkt dient te worden, dat punt P overeenkomt met het brandpunt, dat ontstaat door de invloed van de negatieve elektrode of het rooster uit fig. 8. Laten we eerst eens een elektron beschouwen, dat zich in het hart van de stralenbundel bevindt en zich daardoor precies langs de lengte-as van de buis verplaatst. Aangezien zijn weg overal loodrecht staat op de equipotentiaalvlakken, zal het niet van richting veranderen, maar het zal de hartlijn van de buis volgen. En nu een elektron aan de zijde van de divergerende bundel, dat dus de weg $P - a$ volgt. Het zal het punt a bereiken met een zekere snelheid, die wordt bepaald door de potentiaalverschillen, die het elektron doorlopen heeft. Wanneer a is bereikt, wordt het elektron door het veld versneld, deze versnelling is dan in de richting van het grootste potentiaalverval, dat wil dus zeggen in de richting $a - c$ overeenkomende met de kortste afstand tussen twee naast elkaar liggende equipotentiaalvlakken. Tengevolge van zijn beginsnelheid in de richting $P - a - b$ zal het een baan volgen gelegen tussen $a - c$ en $a - b$, dus b.v. $a - d$. Op overeenkomstige wijze wordt de baan van het elektron op ieder equipotentiaalvlak verder omgebogen, zodat de bundel uiteindelijk convergerend wordt in plaats van divergerend. Wanneer echter het elektron in het punt e komt, waar de veldsterkte lager is, zodat de equipotentiaalvlakken concaaf zijn, ondervindt het een vertragende kracht van de as af, zodat het in plaats van de baan $e - e_1$ bijvoorbeeld de baan $e - e_2$ zal volgen. Als de vorm van het elektrische veld nauwkeurig werd bepaald en ingesteld — en dit wordt bereikt door een juist ontwerp van het elektrodesysteem en de juiste potentiaal van de elektrodes — dan zal de stralenbundel door een brandpunt gaan bij f . Dit brandpunt ligt dan precies op het luminescerende scherm van de buis.

3. Afbuiging van de straal

Het principe van de elektrostatische afbuiging is reeds in het kort in een voorgaande paragraaf behandeld. Maar nu moeten we meer in details gaan treden. Fig. 10 toont schematisch een eenvoudig afbuigstelsel, dat bestaat uit één paar plaatjes en het zal duidelijk zijn, dat, wanneer de plaatjes aan

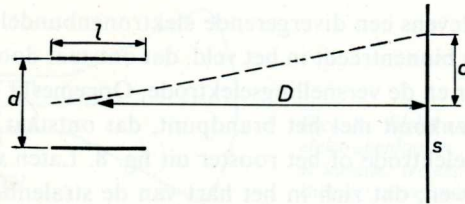


Fig. 10. Eenvoudig elektrostatich afbuigsysteem.

Afbuiging $\alpha = 0,5 \frac{D \times l}{d} \cdot \frac{V_a}{V_a}$, waarin V_a de afbuigspanning, en V_a de versnellingspanning is.

een verschillende potentiaal worden gelegd, de elektronenstraal zal worden afgebogen in de richting van het plaatje dat sterker positief is.

De grootte van de verplaatsing van de lichtende stip over het oppervlak van het scherm, hangt van verschillende factoren af, waarvan de voornaamste zijn: de natuurkundige afmetingen van het afbuigsysteem en de plaats daarvan ten opzichte van het scherm; tenslotte nog de spanningen welke aan het elektronenkanon en de afbuigplaatjes worden gelegd.

Voor het getekende systeem is de afstand a , waarover de lichtstip wordt afgebogen ten opzichte van het midden van het scherm, te berekenen met behulp van:

$$a = 0,5 \frac{D \times l}{d} \cdot \frac{V_a}{V_a} \dots \dots \dots (\text{mm})$$

waarin:

D = de afstand in mm tussen het hart van het afbuigsysteem en het scherm

l = de lengte in mm van de afbuigplaatjes in axiale richting

d = afstand tussen de afbuigplaatjes in mm

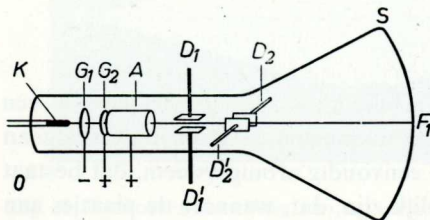


Fig. 11. Compleet elektronensysteem van een osciloscopbuiss.

K = katode; G_1 = eerste rooster; G_2 = tweede rooster; A = versneller; D_1, D_1' = verticale afbuigplaatjes; D_2, D_2' = horizontale afbuigplaatjes; S = luminescerend scherm; F_1 = fokus van de straal wanneer geen afbuigspanning is aangelegd.

V_a = de versnellingsspanning vóór de afbuigingsplaatjes en

V_a = de spanning tussen de afbuigplaatjes.

Aangezien het nodig is de stralenbundel in twee richtingen af te buigen — verticaal en horizontaal — zijn, zoals uit fig. 11 blijkt, twee paar afbuigplaatjes aangebracht, die onderling loodrecht op elkaar staan. De plaatjes die het verst van het scherm af staan, dienen voor de verticale afbuiging. Ze worden meestal aangeduid met D_1 en D_1' , terwijl de plaatjes die het dichtst bij het scherm liggen, worden aangeduid met D_2 en D_2' , deze dienen voor de horizontale afbuiging. In Engeland en Amerika worden de plaatjes voor de verticale afbuiging y en y^1 genoemd en de plaatjes voor de horizontale afbuiging x en x^1 . Voor normale toepassingen waarbij men de variaties van een spanning als functie van de tijd wil onderzoeken, wordt de te controleren spanning aangesloten tussen de plaatjes voor de verticale afbuiging (D_1 en D_1'), terwijl een spanning die lineair met de tijd verandert, wordt aangesloten tussen de plaatjes D_2 en D_2' .

4. Symmetrische en asymmetrische afbuiging

Er zijn twee methoden waarop de afbuigspanningen aan de afbuigplaatjes kunnen worden gelegd. Bij de zogenaamde „symmetrische afbuiging” worden de spanningen zodanig aan de beide plaatjes die tot een paar behoren, gelegd dat de potentialen op de twee plaatjes symmetrisch zijn ten opzichte van de versnellingsspanning. Bij de „asymmetrische afbuiging” wordt een van de plaatjes van het D_2 -paar, tezamen met de versnellings elektrode van de buis en de positieve klem van de hoogspanningsvoeding aan aarde gelegd, terwijl de afbuigspanningen worden verbonden met de overblijvende plaatjes. Bij deze schakeling is het veld tussen de twee D_2 -plaatjes niet symmetrisch ten opzichte van aarde.

Asymmetrische afbuiging vraagt, zoals later zal blijken, een veel eenvoudiger en minder dure schakeling dan symmetrische afbuiging en het is danook geen wonder dat deze methode voor vele toepassingen wordt verkozen boven de symmetrische afbuiging. Het bezwaar is echter dat de meetresultaten niet zo nauwkeurig zijn als die welke worden verkregen met symmetrische afbuiging, terwijl het lichtspoor op het scherm ook in zekere mate onderhevig is aan een vervorming, die bekend staat als trapezium vervorming. Deze fout kan als volgt worden verklaard:

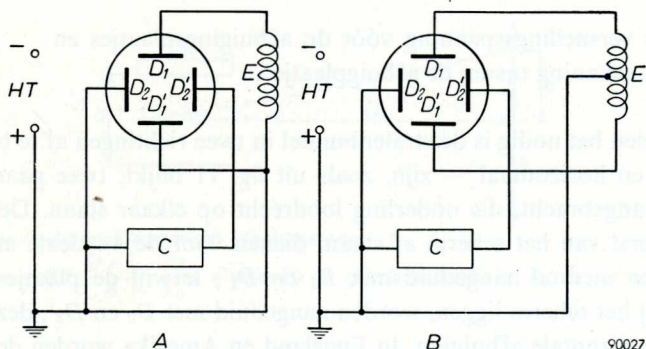


Fig. 12. *A* Zowel horizontale- als verticale afbuigspanningen asymmetrisch aangelegd
B Horizontale afbuigspanning asymmetrisch, verticale afbuigspanning symmetrisch
C tijdbasisgenerator
E spanningsbron voor verticale afbuiging

Bij asymmetrische afbuiging, waarbij het afbuigstelsel is geschakeld volgens fig. 12*A*, is de potentiaal in het punt gelegen, precies midden tussen de plaatjes van het D_2 -paar, niet constant, maar hij is de resultante van een vaste potentiaal afkomstig van de versnellingselektrode en een wisselende potentiaal waarvan de momentele waarde gelijk is aan de momentele waarde van de afbuigspanning welke op de plaatjes wordt gezet. Deze resulterende spanning is de effectieve versnellingsspanning van de buis — de factor V_a in de formule voor de afbuiging (zie blz. 12). Aangezien deze spanning niet constant is, zal de werkelijke grootte van de afbuiging a bij een zekere gegeven afbuigspanning enkele procenten afwijken van de berekende afbuiging. De trapeziumvorming als gevolg van het aanleggen van een asymmetrische afbuigspanning is te wijten aan het feit dat de elektronenstraal, na door het eerste paar plaatjes verticaal te zijn afgebogen, in de ruimte komt tussen het tweede paar afbuigplaatjes, waar hij niet alleen horizontaal wordt afgebogen, maar waar hij ook enige verticale afbuiging krijgt — in de richting van het middelpunt van het scherm, als de potentiaal van het niet-geaarde plaatje positief is en naar de rand van het scherm toe als dit plaatje negatief is. De spanning die aan het tweede paar plaatjes is gelegd, oefent dus invloed uit op de afbuiggevoeligheid van het eerste paar plaatjes, zodat er vervorming van het lichtspoor optreedt.

Deze nadelen van de eenvoudigere asymmetrische schakeling kunnen echter sterk worden verminderd wanneer buizen worden gebruikt waarvan het tweede paar afbuigplaatjes zodanig is uitgevoerd dat de trapeziumvervorming wordt opgeheven. De te meten spanning wordt dan symmetrisch gelegd aan het eerste paar afbuigplaatjes, terwijl de tijdbasisspanning asymmetrisch op het tweede paar afbuigplaatjes wordt aangesloten, dus op de wijze zoals in fig. 12B. De enige fout, die dan ontstaat, is een lichte niet-lineariteit van de tijdbasis, die daaraan is te danken dat de afbuiggevoeligheid van de plaatjes voor horizontale afbuiging iets verandert met de momentele waarde van de tijdbasisspanning. Verdere bijzonderheden over de symmetrische en asymmetrische afbuigsystemen zullen ter sprake komen in de hoofdstukken waarin de volledige schema's van oscilloskopen worden behandeld.

5. Intensiteitsmodulatie van de elektronenstraal

In de paragraaf, handelende over de focussing van de straal is duidelijk gemaakt dat de Wehneltcilinder of het „rooster” een belangrijk deel is van het gehele focusseersysteem van de buis. Het heeft echter ook nog een andere belangrijke functie. Wanneer de negatieve potentiaal die aan het rooster wordt gelegd, varieert, verandert ook het aantal elektronen dat de omgeving van de katode verlaat, d.w.z. de grootte van de straalstroom kan worden beïnvloed.

Dit komt dus overeen met de werking van het stuurrooster in een elektronenbuis en kan evenals een buis worden „dichtgeknepen”, dat wil zeggen dat de anodestroom wordt onderdrukt bij een voldoende hoge negatieve roosterspanning. Men kan dus de elektronenstraalstroom van een katodestraalbuis tot nul terugbrengen (en het lichtspoor op het scherm laten verdwijnen) door een hoge negatieve spanning aan het rooster te leggen.

Op deze wijze is het mogelijk het ogenblik te bepalen waarop het lichtspoor op het scherm verschijnt en de tijdsduur daarvan te regelen met behulp van een schakelaar waarmee men een gedeelte van de negatieve roosterspanning aanlegt of wegneemt. Het is ook mogelijk het zo in te kleden, dat de straalstroom automatisch begint te vloeien, zodra het te onderzoeken signaal aan de afbuigplaatjes wordt gelegd. Dit maakt het mogelijk de schakeling zodanig te construeren dat alle risico voor het vernielen van het lumi-

nescerende scherm wordt voorkomen. Deze vernieling treedt op, wanneer een heldere lichtstip, b.v. tengevolge van een storing in de afbuigspanningen, op het scherm blijft stilstaan.

Een andere toepassing van intensiteitsmodulatie van de straal is de automatische helderheidscontrole van de lichtstip. Als de „schrijfsnelheid”, dat is de snelheid waarmee de lichtstip zich over het scherm verplaatst, afneemt, dan wordt de helderheid evenredig daarmee minder, zodat er een lichtspoor met een meer constante helderheid ontstaat. Dit systeem is vooral van belang wanneer een lichtspoor, waarvan de schrijfsnelheid sterk varieert, fotografische moet worden vastgelegd.

Tenslotte kan intensiteitsmodulatie van de elektronenstraal ook worden gebruikt voor het produceren van heldere lichtstippen in het lichtspoor op nauwkeurig bepaalde afstanden door middel van naar positief verlopende impulsen van de roosterspanning. Deze heldere lichtstippen kunnen dan worden gebruikt voor meting of indicatie van tijdsintervallen gedurende het aftasten, vooral wanneer een nauwkeurige tijdmeting nodig is en de lineariteit van de tijdbasis (de golfvorm van de horizontale afbuigspanning) onvolkomen is, zodat aflezing van een ruitwerk op het scherm onnauwkeurig zal zijn.

6. Versnelling na afbuiging

Voor een lichtstip van zekere afmetingen en een luminescerende stof met een zeker nuttig effect hangt de helderheid af van twee belangrijke factoren: de straalstroom, dat is de hoeveelheid elektronen die het scherm bereiken en de snelheid van deze elektronen op het moment van de botsing. Deze snelheid wordt bepaald door het potentiaalverschil, dat de elektronen hebben doorlopen, dat wil dus zeggen door de uiteindelijke versnellingsspanning. Met het oog op een grote helderheid van het lichtspoor is het daarom gewenst een hoge versnellingsspanning toe te passen.

Zoals al blijkt uit de eenvoudige vergelijking die gegeven is in de paragraaf „afbuiging van de straal”, is de afbuiggevoeligheid, dat wil zeggen de grootte van de afbuiging veroorzaakt door een zekere variatie van de afbuigspanning, omgekeerd evenredig met de spanning aan de elektronenversneller vóór de afbuiging. Iedere vergroting van de helderheid van de lichtstip die wordt veroorzaakt door een hogere spanning van de elektronen-

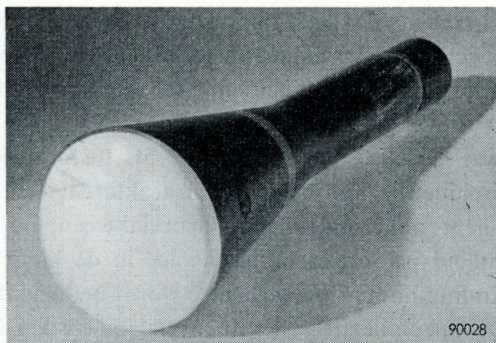


Fig. 13. Foto van een oscilloskoopbuis met naversnellingselektrodes

versneller, gaat danook gepaard met een verkleining van de afbuiggevoeligheid.

Dit verschijnsel kan in sterke mate worden verminderd door een of meer extra elektrodes aan te brengen tussen het afbuigstelsel en het scherm. Deze „na-afbuigings” versnellingselektroden zijn dikwijls uitgevoerd als brede, geleidende (grafiet) ringen, aangebracht op de binnenzijde van de buis, zoals deze zijn te zien in fig. 13. Zij worden op aanmerkelijk hogere potentialen gehouden dan de „voor-afbuigings” versneller, waardoor een aanzienlijk heldere lichtstip kan worden verkregen. Daar deze extra versnelling echter pas plaats heeft nadat de elektronenstraal is afgebogen, wordt de afbuiggevoeligheid van de buis in wezen niet beïnvloed.

7. Schermkarakteristieken

Het beeld dat op de voorzijde van de elektronenstraalbuis verschijnt, bestaat, zoals reeds werd verklaard, uit licht dat door het schermmateriaal wordt uitgestraald, zodra dit wordt gebombardeerd door de snel bewegende elektronen van de elektronenstraal. Deze schermmaterialen worden dikwijls aangeduid als „fosforen”, maar deze naam is niet helemaal goed, aangezien het lichtgevend effect niet alleen ontstaat door fosforescentie. Er zijn twee belangrijke lichtgevend effecten, die door het schermmateriaal worden veroorzaakt. Het eerste is de uitstraling van licht doordat de elektronen wer-

kelijk het scherm treffen; dat heet fluorescentie en houdt direkt op, zodra de elektronen het schermmateriaal niet meer raken. Het tweede verschijnsel, dat zeer juist fosforescentie heet, is het nalichten, dat nog even optreedt nadat de fluorescentie is opgehouden.

Er zijn heel wat verschillende stoffen, die als fosforen kunnen worden gebruikt. Zij verschillen in hun helderheidskarakteristieken, dat wil zeggen de hoeveelheid licht uitgezonden per oppervlakteenheid bij een zekere straalstroomdichtheid per oppervlakteenheid, in de kleur van het uitgezonden licht en in hun nawerking, waarmee wordt bedoeld de tijdsduur van het nalichten. De verschillende schermmaterialen worden in de typenummers van de buizen aangegeven met B, G en P, zie hiervoor hoofdstuk VII. De eigenschappen van de schermen volgen hieronder.

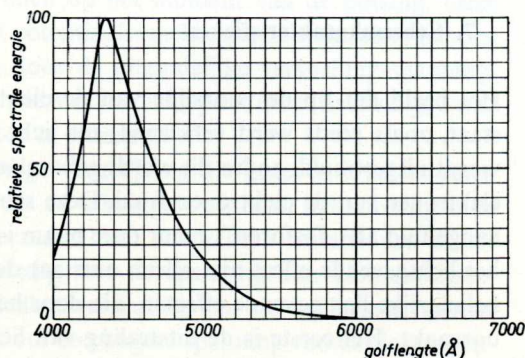
Schermen van het type B geven een blauwachtige luminescentie van korte duur.

Schermen van het type G geven een groen lichtspoor, dat kort nalicht.

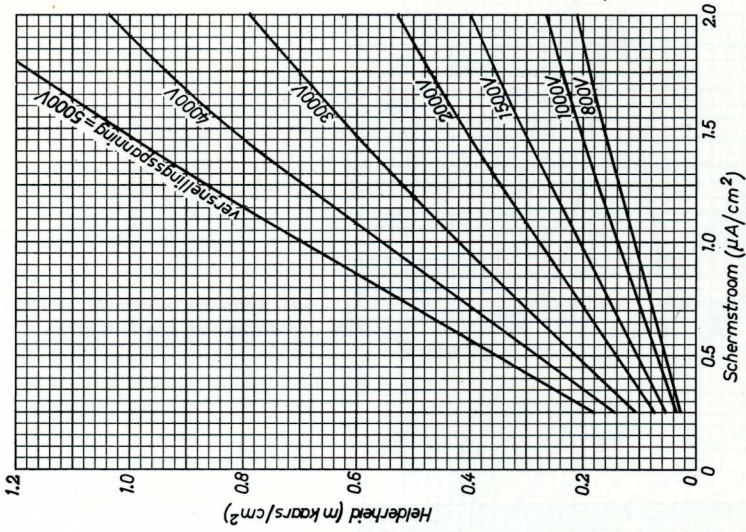
Schermen van het type P zijn schermen met twee lagen, die kortdurend een blauwachtig lichtspoor geven, gevolgd door een groenachtig gele fosforescentie, die lang nalicht.

Fig. 14 toont de nalichtkarakteristiek, de relatieve spectrale energieverdeling en de helderheidskarakteristiek van elk van deze typen schermen.

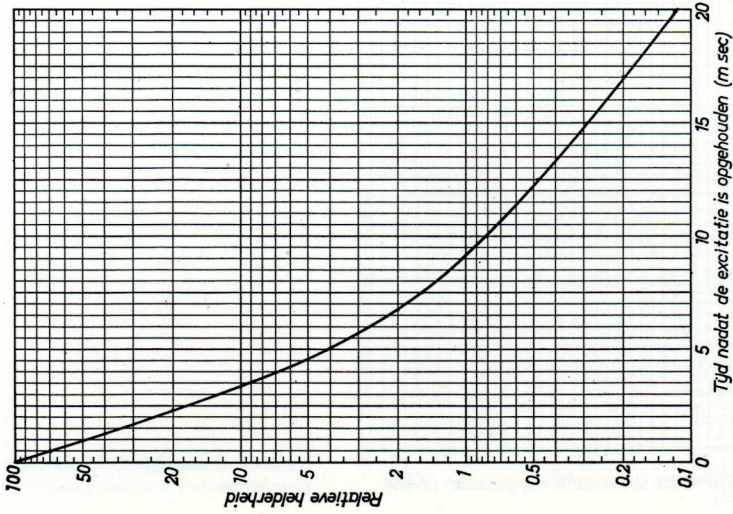
Fig. 14. a tot en met i. Grafieken van de nalicht-karakteristieken, relatieve spectrale energieverdeling en helderheidskarakteristieken van B, G en P schermen.



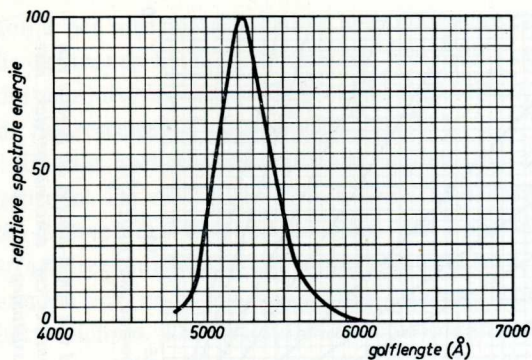
(a) relatieve spectrale energieverdeling van een B-scherm.



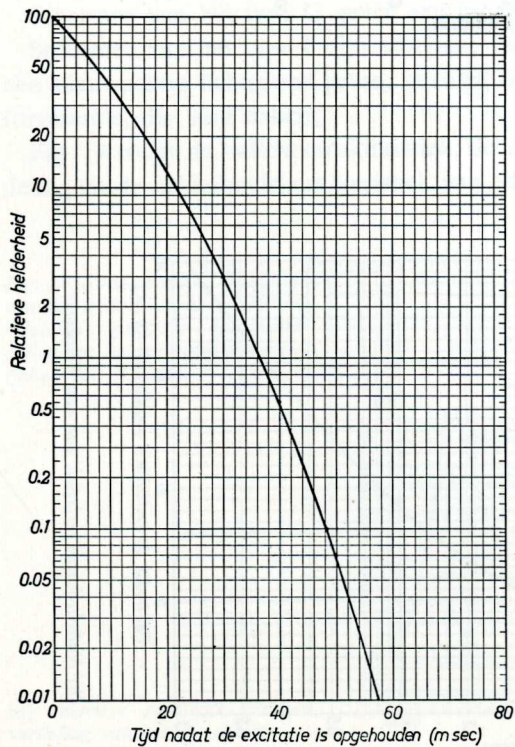
(c) Helderheid van een B-scherm als functie van de straalstroom per cm^2 schermoppervlak, met de versnellingsspanning als parameter.



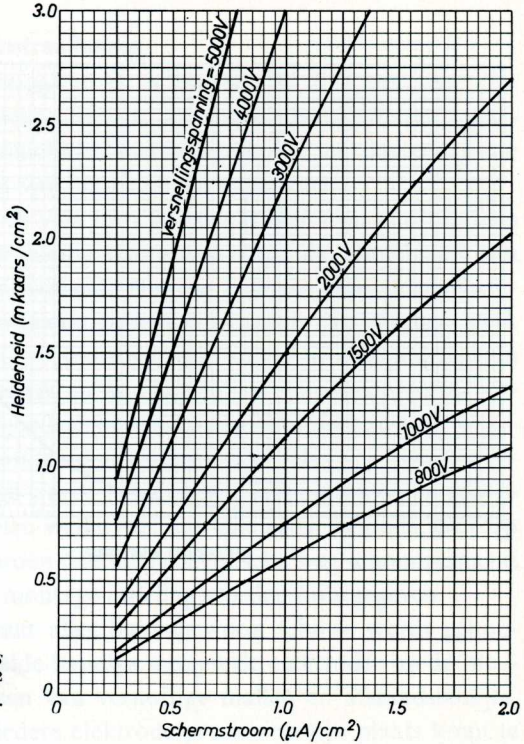
(b) Nalicht-karakteristiek van een B-scherm



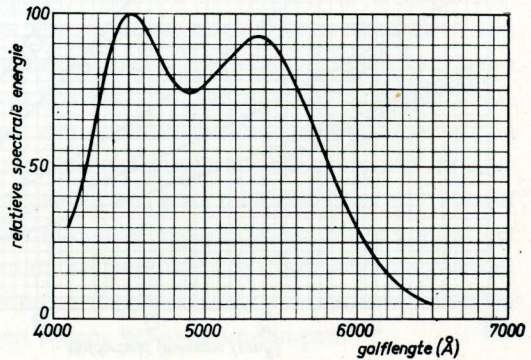
(d) Relatieve spectrale energieverdeling van een G-scherm.



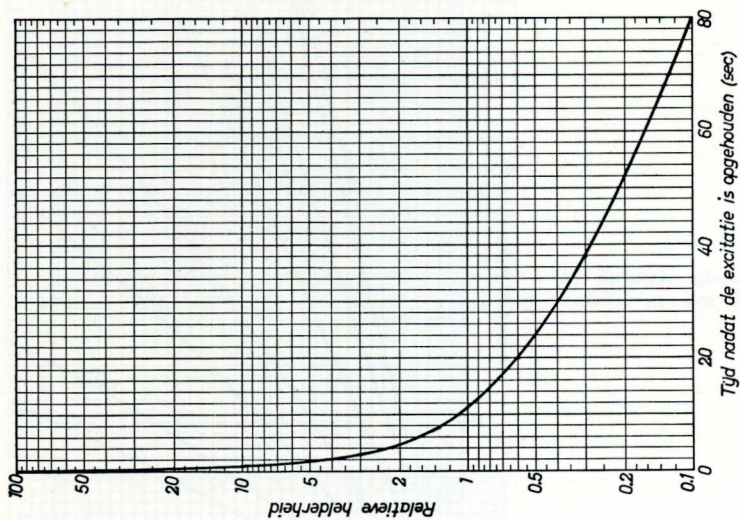
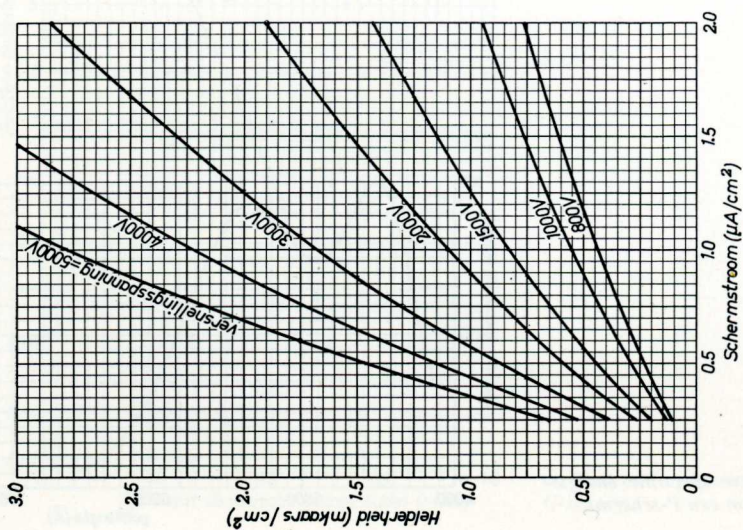
(e) Nalicht-karakteristiek van een G-scherm.



(f) Helderheid van een G-scherm als functie van de straalstroom per cm² schermoppervlak, met de versnellings-spanning als parameter.



(g) Relatieve spectrale energie-verdeling van een P-scherm.

(1) *Nalicht-karakteristiek van een P-scherm.*(h) *Helderheid van een P-scherm als functie van de straalstroom per cm² schermoppervlak, met de versnellingsspanning als parameter.*

8. Fabricage van elektronenstraalbuizen

De fabricage van elektronenstraalbuizen is een bedrijf, dat zeer veel verschillende processen en technieken omvat, waarbij ingewikkelde en ingenieuze automatisch werkende machines worden gebruikt, en dat een grote vakkennis en handigheid vergt van het bedienende personeel.

In de eerste plaats moeten de vele verschillende onderdelen voor de buis worden vervaardigd met zeer kleine toleranties voor de afmetingen van materialen van de grootste zuiverheid. Hiertoe behoren buisvormige nikkelkaten waarvan het uiteinde bedekt wordt met een speciale sterk emitterende stof; gloeidraden, vervaardigd van zuiver wolframdraad en geïsoleerd met alundum; roosters en anoden van verschillende vorm, vervaardigd van speciaal niet-magnetisch materiaal; de keramische drager waarop de elektrodes worden gemonteerd en glazen onderdelen van zeer uiteenlopende vorm. Na de fabricage wordt ieder onderdeel nagemeten en gecontroleerd, waarbij die onderdelen welke niet aan alle eisen voldoen, worden afgekeurd. De onderdelen worden dan langs chemische weg schoongemaakt en verhit alvorens zij aan de montage-afdeling worden doorgegeven.

In de montage-afdeling, waar alles buitengewoon schoon wordt gehouden, monteren speciaal opgeleide handige meisjes de elektrodes op de steunen, waarbij ze gebruik maken van vernuftige mallen en afstandsstukjes, om er zeker van te zijn, dat iedere elektrode precies op zijn plaats komt te zitten. Een vloeibare keramische kit moet er dan voor zorgen dat ieder onderdeel ook op zijn plaats blijft. In dit stadium worden met puntlasmachines enkele inwendige lassen en verbindingen gemaakt, waarbij dan het betreffende onderdeel, zoals we in fig. 15 zien, eerst met een pincet op de juiste plaats wordt gebracht. De volgende stap is het verbinden van het elektrodegedeelte met de glazen bodem, waarin de noodzakelijke invoerdraden zijn ingesmolten (zie fig. 16). Deze invoerdraden zelf zijn vrij ingewikkeld van samenstelling. Zij bestaan uit een bovenste deel van zuiver nikkeldraad waarop de elektrodes worden gelast, een onderste deel van zeer goed geleidend koperdraad dat later wordt vastgesoldeerd aan de betreffende pen in de buisvoet van isolatiemateriaal en tenslotte een kort middelste deel dat bestaat uit een speciaal metaal met dezelfde uitzettingscoëfficiënt als glas zodat het een luchtdichte afsluiting vormt op het punt waar de draad door de glasvoet wordt gevoerd. Aan de voet zit ook een glazen buisje waardoorheen de lucht uit de ballon wordt weggezogen tijdens het vacuümpompen.

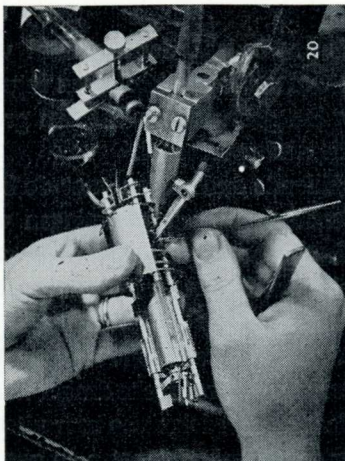


Fig. 15. Montage van het kanon door puntlassen.



Fig. 16. Het lassen van het binnenwerk aan de glazen voet.

Het geheel wordt nu grondig geïnspecteerd. De totale afmetingen en de afstand tussen de elektrodes worden gecontroleerd; alle laspunten beproefd en iedere fout in de centrering van de onderdelen wordt hersteld.

Intussen zijn de ballons klaargemaakt om het elektrodesysteem te kunnen opnemen. De ballons zijn door ingenieuze automatisch werkende machines geblazen uit speciaal glas en worden daarna voorzichtig verhit teneinde alle inwendige glasspanningen weg te nemen die tijdens het blazen kunnen zijn ontstaan. Vervolgens wordt iedere ballon gedurende geruime tijd in een sterk zuur gewassen, verschillende malen uitgespoeld met gedestilleerd water en zeer zorgvuldig gedroogd. Deze behandeling staat er borg voor dat de ballon geen vreemde substanties bevat die het later op de binnenkant van de vlakke voorzijde van de buis aan te brengen luminescerende scherm kunnen verontreinigen en bederven.

Het aanbrengen van het luminescerende scherm is een zeer vakkundige en moeilijke behandeling. Het fijn poedervormige luminescerende materiaal wordt gemengd met een vloeibaar bindmiddel tot een dunne brij. Een nauwkeurig bepaalde hoeveelheid wordt in de ballon gegoten, een vlugge draaiing met de hand zorgt er voor dat het mooi vlak wordt verdeeld over het gehele

vlakke oppervlak van de buis. De ballon wordt dan in een oven geplaatst, waardoor de laag wordt vastgebakken en het vluchtige bindmiddel verdampt. De binnenkant van de wand van het conische deel wordt dan bedekt met kolloïdaal grafiet, dat een geleidende laag vormt.

Nu wordt het elektrodesysteem in de hals van de buis gebracht. Verende lippen op de anode zorgen ervoor dat een goede elektrische verbinding tot stand komt tussen de anode en de inwendige geleidende laag. Nu komt het geheel in een machine waarin gasvlammen tegen de hals van de ballon gericht zijn op zodanige wijze dat de glazen bodem en de hals van de ballon week worden en aan elkaar smelten, waarbij het overblijvende deel van de hals eraf valt. Wanneer de elektrodes op deze wijze zijn ingesmolten, is de dunne pompstengel de nog enige verbinding tussen het inwendige van de ballon en de buitenlucht. De katodestraalbuizen worden nu op een draaiende schijf bevestigd, waarbij de pompstengels worden verbonden met sterke pompen die de lucht uit de ballon verwijderen. Tijdens het pompen passeert de buis een sterk verhitte tunnel teneinde beter de lucht en andere gassen te kunnen uitdrijven. Zodra de tunnel gepasseerd is, wordt de gasbinder — een scheikundige stof die van tevoren op het binnenwerk is gebracht — door hoogfrequentie verhitting verdampt en absorbeert daarbij de laatste gasresten, zodat een zeer hoog luchtledig ontstaat.

De pompstengel wordt nu afgesmolten en de complete buis van de pomptafel verwijderd (zie fig. 17).

Nu blijven alleen nog maar over: het aanbrenge van de buisvoet, het solderen van de verbindingen met de contacten op die voet, de buizen te

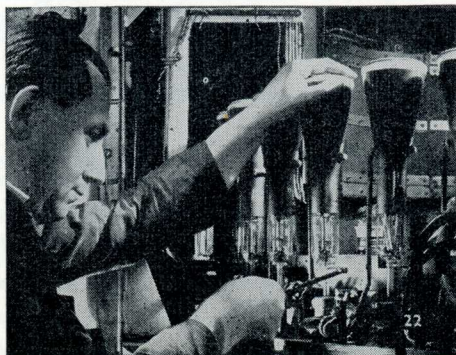


Fig. 17. Het afsmelten van de gereed zijnde buis.

onderwerpen aan een verouderingsproces en het doorlopen van de zeer strenge controleproeven. Daarna worden het typenummer en andere aanduidingen op de buis gestempeld om de buizen tenslotte na een laatste controle in de speciaal ontworpen dozen te verpakken.

9. Methodes van zichtbaarmaking of registratie

Informaties betreffende elke grootheid die in een spanning kan worden uitgedrukt, of het verband tussen twee van deze grootheden, kunnen op het scherm van een katodestraaloscilloscoop worden zichtbaar gemaakt. Deze gegevens kunnen op verschillende manieren worden geregistreerd — tijdelijk voor directe controle of langs fotografische weg voor permanente optekening.

10. Meting van een enkele grootheid

De eenvoudigste, maar niet de meest toegepaste wijze van indicatie, is het laten zien van de waarde van een enkele grootheid. De spanning die overeenkomt met de te meten grootheid, wordt aangesloten tussen de twee platen

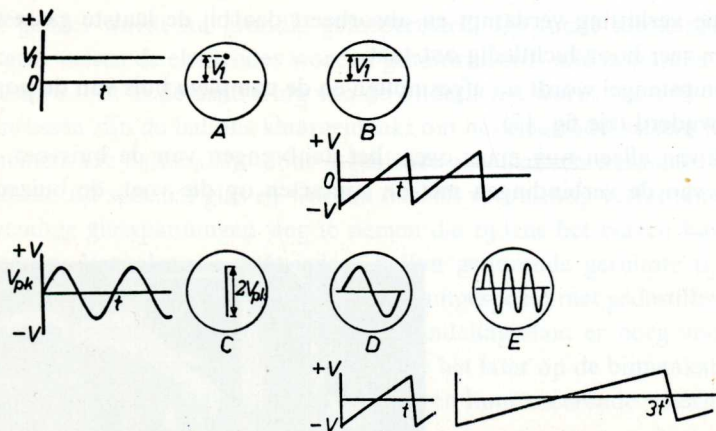


Fig. 18. A - Een gelijkspanning wordt aangegeven door een verticaal verplaatste lichtstip wanneer geen horizontale afbuigspanning aanwezig is.

B - Met een zaagtandspanning op de horizontale afbuigelektrodes wordt een gelijkspanning afgebeeld als een horizontale lijn.

C - Is er geen tijdbasispanning, dan wordt een sinusvormige wisselspanning voorgesteld door een rechte lijn.

D en E - Met tijdbasis is de sinusvormige golf ook als zodanig te zien.

voor verticale afbuiging, en de platen voor horizontale afbuiging worden niet gebruikt. Is het een gelijkspanning of stroom, dan wordt de waarde van de te meten grootte bepaald door de grootte van de verticale verplaatsing van de lichtstip ten opzichte van zijn nul- of „geen signaal” plaats (zie fig. 18A). Voor wisselende grootheden echter wordt de waarde aangegeven door de hoogte van een verticale lichtstreep die in feite overeenkomt met het dubbele van de grootste amplitude van de grootte (zie fig. 18C).

Deze toepassingen komen weliswaar overeen met de werking van een normaal aanwijsinstrument, zoals b.v. een voltmeter, en katodestraalbuizen worden dan ook dikwijls op deze manier gebruikt in plaats van draaispoel- of weerkijzerinstrumenten.

Bij dergelijke toepassingen heeft de katodestraalbuis de reeds eerder genoemde voordelen, namelijk dat de elektronenstraal, die in de plaats komt van het bewegende deel en de naald, geen traagheid bezit zodat directe aflezing mogelijk is en ook doordat het instrument geen belasting vormt voor de te meten kring, zodat geen meetfouten optreden. Verder zijn er nog twee voordelen: ten eerste kan het instrument niet worden vernield door overbelasting of verkeerde aansluiting en ten tweede is het al heel eenvoudig met behulp van daarvoor geschikte versterkers of verzwakkers de schaal of het meetbereik van het instrument te veranderen.

11. Meten van het verband tussen twee grootheden

Dit is de gebruikelijke toepassing van de katodestraaloscilloscoop en wel een waarbij geen enkel ander instrument bevredigende resultaten geeft. In verband met de aard en de eigenschappen van de genoemde verschijnselen zijn daarvoor verschillende mogelijkheden.

12. Aangeven van het verband tussen twee grootheden, waarvan er een de tijd is

Het eenvoudigste voorbeeld waarbij de variatie van een grootte gedurende een zekere tijd wordt getoond, is het onderzoeken van golfvormen. Andere voorbeelden komen uitvoeriger ter sprake in hoofdstuk VI. Bij deze toepassingen wordt de te onderzoeken spanning normaal aangesloten tussen de plaatjes voor de verticale afbuiging en een lineair met de tijd toenemende spanning wordt aangelegd tussen de plaatjes voor de horizontale afbuiging.

Er zijn nu twee mogelijkheden. De eerste is dat de te onderzoeken spanning cyclisch of periodiek is, waarvan een bekend voorbeeld een normale sinusvormige wisselspanning is. Bij deze soort toepassingen moet, zoals reeds eerder werd verteld, de tijdbasisspanning voor de horizontale afbuiging een zaagtandvorm hebben, terwijl de frekwentie gelijk aan of een faktor moet zijn van de frekwentie van de te onderzoeken spanning. Om dit te kunnen bereiken, kan, teneinde de beide afbuigspanningen te synchroniseren, een gedeelte van de te onderzoeken spanning worden toegevoerd aan de kring die de zaagtandspanning opwekt. Lichtsporen waarbij de frekwentie van de tijdbasis gelijk is aan, en ook een waarbij zij een derde deel is van, die van de te onderzoeken spanning, zijn getekend in de figuren 18D en E.

De tweede mogelijkheid is die, waarbij het te onderzoeken verschijnsel niet cyclisch is maar slechts een keer of met ongelijke tussenpozen optreedt. In het ideale geval vereist dit soort onderzoek een tijdbasis met een zodanige zaagtandfrekwentie, dat de horizontale afbuiging van links naar rechts continu is gedurende de gehele duur van het verschijnsel.

Dit kan zeer zeker zonder veel moeite worden verkregen, wanneer het ogenblik waarop het verschijnsel begint en de duur daarvan, bekend zijn. Het is dan n.l. mogelijk de snelheid (frekwentie) van de tijdbasisspanning in te stellen en deze automatisch zo te starten dat de horizontale afbuiging juist iets eerder dan het verschijnsel begint en aanhoudt gedurende de gehele duur van het verschijnsel. Wanneer de tijd van het verschijnsel niet van te voren kan worden vastgesteld, dan kan het voor een visuele waarneming voldoende zijn, wanneer een normale tijdbasis met een geschikte frekwentie wordt gebruikt om dan op zijn goede gesternte te vertrouwen in de hoop dat het verschijnsel op een geschikt moment van de aftastcyclus zal optreden. Een veel betere oplossing, die tegenwoordig algemeen wordt toegepast, is de aankomst van het signaal van het korte verschijnsel te gebruiken voor het starten van de tijdbasis, zodat de horizontale afbuiging op dat moment begint en dan tevens het toe te voeren signaal aan de verticale afbuigplaten gedurende een fractie van een seconde te vertragen, zodat het werkelijke lichtspoor niet eerder begint dan de tijdbasis. Een blokschema van deze opstelling is in fig. 19 getekend. Voor het overgrote deel van onderzoekingen aan snel verloopende verschijnselen is het echter wenselijk een permanente registratie te maken en dat kan langs fotografische weg door gebruik te maken van de techniek met bewegende film, die verderop in dit hoofdstuk beschreven wordt.

*A = vertragskring; B = signaalbron;
C = tijdbasisgenerator; D₁ = vertraagd
voorbijgaand verschijnsel toegevoerd
aan de verticale afbuigplaatjes; D₂ =
gestarte zaagtandspanning toegevoerd
aan de horizontale afbuigplaatjes.*

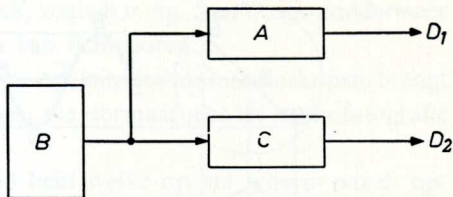


Fig. 19. Blokschema van een methode om er voor te zorgen, dat de tijdbasisgenerator op het juiste ogenblik start om een voorbijgaand verschijnsel te kunnen aangeven.

13. Aangeven van het verband tussen twee grootheden, waarvan geen van beiden de tijd is

Behalve voor het geven van informatie betreffende een enkele grootheid die met de tijd verandert, kan de katodestraaloscilloscoop ook worden gebruikt voor het vergelijken of aantonen van het verband tussen twee verschijnselen die gelijktijdig veranderen. Dat kan worden gedaan door een spanning welke overeenkomt met de variatie van het ene verschijnsel, aan te sluiten op de platen voor de verticale afbuiging en een spanning overeenkomende met de variaties van het tweede verschijnsel, te leggen aan de platen voor de horizontale afbuiging.

Typische praktische voorbeelden van het oneindige aantal variaties welke hierbij optreden, worden beschreven in hoofdstuk IV en we moeten dan ook volstaan met er hier slechts enkele te noemen. Een typisch voorbeeld van de vergelijking van twee variable verschijnselen is het meten van het fazever- schil tussen twee sinusvormige spanningen, waarbij een van de spanningen wordt gelegd tussen het ene paar afbuigplaatjes en de andere spanning tussen de beide andere plaatjes. Wanneer slechts een spanning werd aangelegd, laten we zeggen aan de plaatjes voor verticale afbuiging, dan zou het lichtspoor een rechte verticale lijn zijn. Evenzo zou, wanneer een enkele spanning op de horizontale afbuigplaatjes werd gezet, het lichtspoor een rechte horizontale lijn zijn. Met de spanningen aangesloten op beide stellen plaatjes tegelijk zal het lichtspoor een rechte lijn zijn, die de diagonaal is van de ruitverdeling. Dit is aangegeven in het linker gedeelte van fig. 20, doch dat geldt alleen wanneer beide spanningen in fase zijn. Is er echter een fazever- schuiving tussen de beide spanningen, dan zal het lichtspoor geen rechte lijn meer

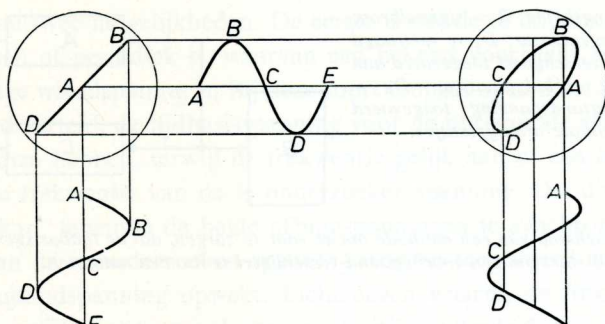


Fig. 20. Links: Diagonaal lichtspoor overeenkomende met twee wisselspanningen van gelijke frekwentie en fase.
 Rechts: Elliptische figuur voorstellende twee wisselspanningen met gelijke amplitude doch met faseverschuiving.

optekenen, doch een gesloten figuur van elliptische vorm. De breedte daarvan (korte as) is dan een maat voor de faseverschuiving (zie rechterhelft van fig. 20). Wanneer een en ander zodanig wordt ingekleed, dat de amplitude van de verticale en horizontale afbuigingen gelijk zijn, kan de werkelijke faseverschuiving worden berekend uit de lengten van de lange en korte as van de ellips.

Een soortgelijke meting omvat wat men zou kunnen noemen „oorzaak en gevolg” metingen. Een typisch voorbeeld daarvan is het bepalen van de karakteristieken van een gloeikatodebuis. Om b.v. de I_a/V_g karakteristieken op te nemen wordt een spanning die evenredig is met de anodespanning, gelegd aan de plaatjes voor verticale afbuiging, terwijl een wisselende signaalspanning met een geschikte amplitude wordt aangesloten op het stuurrooster en tevens op de plaatjes voor horizontale afbuiging.

14. Fotografische registratie

Het lichtspoor op het scherm van een katodestraaloscilloskoop kan niet alleen worden gebruikt voor direct visueel onderzoek, maar het kan ook fotografisch worden vastgelegd. De foto's kunnen dan rustig aan een nauwkeurig onderzoek worden onderworpen; zij kunnen worden gereproduceerd voor het illustreren van boeken, artikelen of lezingen en dikwijls zijn het nuttige en waardevolle blijvende documenten.

Verschillende illustraties in dit boek, zoals b.v. fig. 5 en 6 zijn zondermeer reproducties van echte fotografieën van lichtsporen.

Het fotograferen van de lichtsporen op katodestraaloscilloskopen brengt verschillende problemen met zich mee, die normaal niet bij studiofotografie optreden.

In de eerste plaats is de hoeveelheid licht welke op het scherm wordt opgewekt en beschikbaar is om de fotografische plaat of film te beïnvloeden, zeer klein, zodat betrekkelijk snelle films van een speciaal soort moeten worden gebruikt, vooral voor het opnemen van korte verschijnselen en van figuren waarvan de schrijfsnelheid groot is. Bij het kiezen van de soort film moet ook worden rekening gehouden met de kleur van het lichtspoor.

Verder komt het dikwijls voor, dat de films onderbelicht zijn tengevolge van de kleine hoeveelheid en de geringe aktinische werking van het beschikbare licht. Bij het ontwikkelen en afdrucken moet daarmee dan worden rekening gehouden.

Een uitvoerige bespreking van de techniek van het fotograferen van oscillogrammen valt buiten het bestek van dit boek en de lezers die zich voor dit onderwerp interesseren, worden danook verwezen naar de fabrikanten van

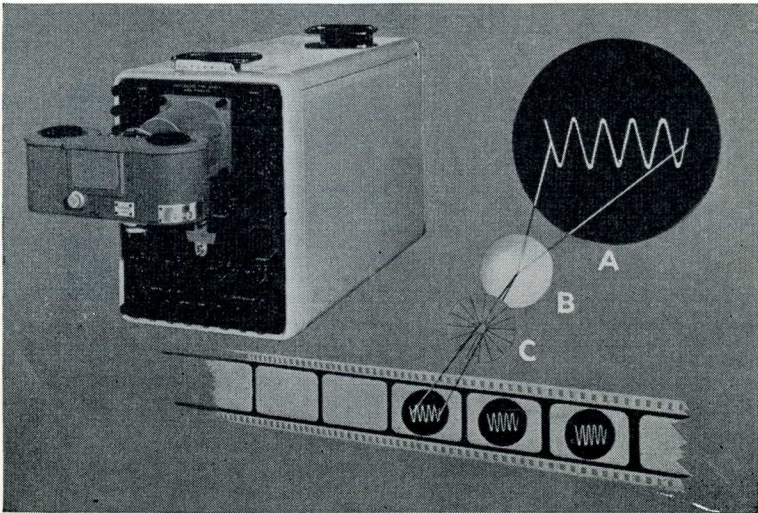
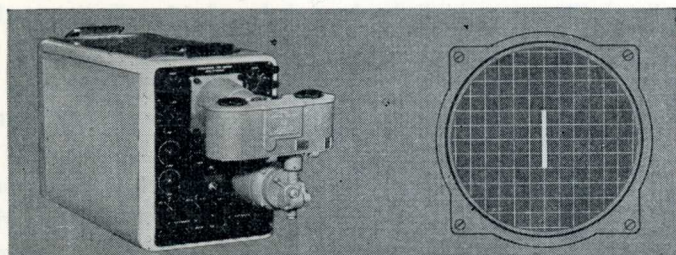


Fig. 21. Fotografische reproductie-methode met een enkele opname.
A = scherm; B = lens; C = diafragma



Richting van de filmtransport

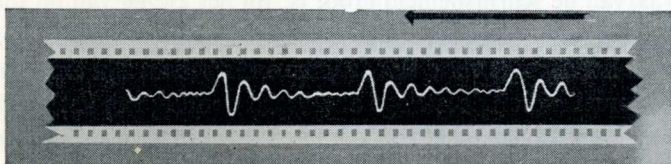


Fig. 22. Fotografische reproductie — Met bewegende film waarbij geen tijdbasis nodig is

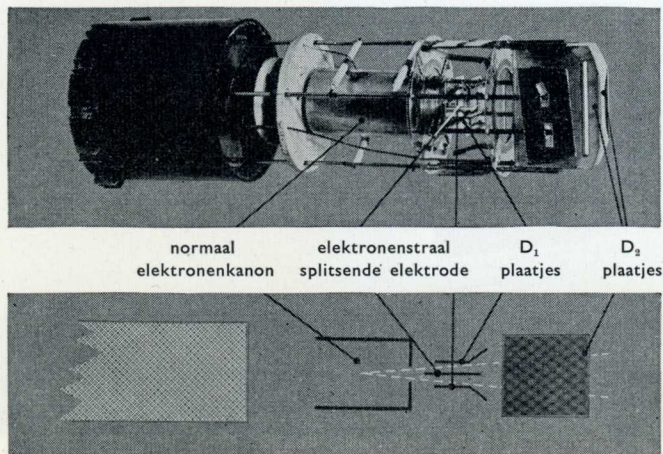


Fig. 23. Katodestraalbuis met een elektrode, die de elektronenschaal in tweeën splitst.

fotografische film, waarbij er velen zijn die leerzame brochures over dit onderwerp hebben uitgegeven. Er zijn in principe twee methoden voor fotografische registratie. Bij de methode, die bekend staat als „enkele opname” methode, wordt — zoals duidelijk in fig. 21 is te zien — een speciaal camera opzetstuk gebruikt, waarbij dan het scherm op de normale manier wordt gefotografeerd.

Wanneer het te onderzoeken verschijnsel zich herhaalt, zodat het lichtspoor behoorlijk constant is, kan de belichtingstijd langer worden genomen, zodat de verschillende elkaar opvolgende verschijnselen elk hun beeld op de film achterlaten, zodat het risico van onderbelichting daardoor wordt voorkomen ten koste van een iets minder scherp beeld.

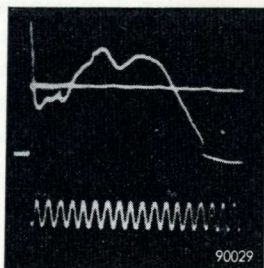


Fig. 24. Oscillogram waarin het onderste lichtspoor is gemoduleerd om een tijdschaal te krijgen.

De tweede methode is die met de „bewegende film”. Deze is afgebeeld in fig. 22. Zij wordt voornamelijk gebruikt voor het registreren van kortdurende verschijnselen en ook voor cyclische verschijnselen, zoals b.v. het geluid van de hartslag, waarbij de golfvorm in de opeenvolgende cycli niet steeds dezelfde is. Hierbij wordt de te controleren spanning aangesloten op de plaatjes voor verticale afbuiging. De film echter wordt gedurende de tijd dat wordt belicht, met een constante snelheid in horizontale richting voortbewogen. Deze beweging heeft hetzelfde resultaat als de tijdsbasisspanning.

Wanneer „kortdurende” met ongelijke tussenpozen optredende verschijnselen moeten worden geregistreerd met behulp van deze methode, wordt dikwijls de reeds in de vorige paragraaf genoemde vertragsings-

schakeling toegepast om verspilling van film tegen te gaan. In dit geval wordt het begin van het kortdurende signaal gebruikt om het filmaandrijfmechanisme te starten, terwijl het signaal dat aan de verticale afbuigplaatjes wordt gelegd, gedurende korte tijd wordt vertraagd om het aandrijfmechanisme gelegenheid te geven op normale snelheid te komen.

Door een speciale vorm van elektronenstraalbuis te gebruiken, die is voorzien van wat men noemt een „slijtplaat” (zie fig. 23), worden twee elektronenstralen gevormd waarvan een van beide voor een ogenblik verticaal kan worden afgebogen in een bekende frekwentie, b.v. 50 perioden per seconde.

Dit lichtspoor komt dan te staan onder het oscillogram van de te onderzoeken spanning, zodat er een tijdschaal ontstaat, waarmee de duur van het hoofdlichtspoor kan worden gemeten. Een voorbeeld hiervan geeft fig. 24.

HOOFDSTUK III

DE TIJDBASIS

Zoals reeds werd opgemerkt, moet een oscilloskoop een inrichting bevatten waarmee een zaagtandvormige spanning wordt opgewekt, welke wordt toegevoerd aan de plaatjes, die voor de horizontale afbuiging van de lichtstip zorgen. De algemene golfvorm van deze spanning is aangegeven in fig. 25.

1. Eisen te stellen aan een zaagtandspanning

De eisen die aan deze spanning worden gesteld, zijn:

Ten eerste moet de spanning regelmatig toenemen van nul tot een zeker maximum op zodanig wijze dat de horizontale afbuiging een lineaire functie zal zijn van de tijd. Dit deel van de cyclus heet slag en komt overeen met het gedeelte $a - b$ in fig. 25.

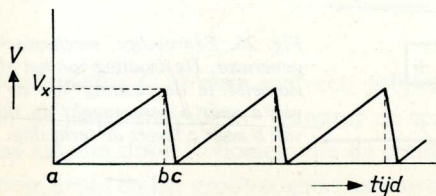


Fig. 25. Ideale golfvorm voor de tijdbasis van een oscilloskoop
 $a-b$ heenslag $b-c$ terugslag

Ten tweede moet de afbuigspanning wanneer zij haar maximale waarde heeft bereikt en de lichtstip dus aan het eind is gekomen van haar horizontale baan, in de kortst mogelijke tijd plotseling tot nul terugvallen, zodat de lichtstip weer terugkeert naar de linkerzijde van het scherm om daar een nieuwe slag te kunnen beginnen. Dit gedeelte wordt de terugslag genoemd en komt overeen met het stuk $b - c$ in fig. 25.

Ten derde moet de frekwentie van de zaagtandspanning instelbaar zijn,

teneinde het onderzoeken van verschijnselen die met verschillende snelheden optreden of die verschillende frekwenties hebben, mogelijk te maken.

2. Grondbeginselen

Er zijn verschillende manieren om een dergelijke zaagtandspanning op te wekken, maar alvorens de meestal toegepaste methoden te beschrijven en de schema's te geven waarin zij worden toegepast, is het wenselijk eerst een eenvoudige mechanische methode te bespreken, waarmee hetzelfde is te bereiken.

In fig. 26 is P een potentiometer, die is aangesloten op een gelijkstroombron, voorgesteld door een batterij B . De negatieve klem van de batterij is verbonden met een van de plaatjes voor horizontale afbuiging en het andere plaatje is verbonden met het glijcontact van de potentiometer.

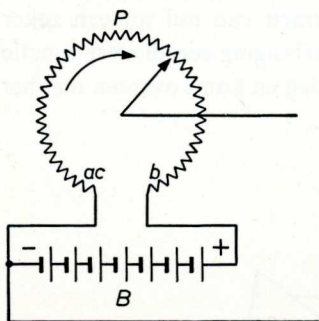


Fig. 26. Eenvoudige, mechanisch werkende, zaagtand-generator. De draaiing van het glijcontact van de potentiometer in de richting van de wijzers van een klok van a naar b veroorzaakt de slag; verder doordraaien van b naar c levert de terugslag.

Stel dat het glijcontact om te beginnen in het punt a staat, de negatieve zijde van de potentiometer. Beide plaatjes zullen dan dezelfde potentiaal hebben. Wanneer nu het glijcontact met constante snelheid rechtsonder wordt verdraaid, zal de spanning tussen de plaatjes toenemen en wel eveneens met constante snelheid, tot het glijcontact punt b heeft bereikt. Dit is de positieve zijde van de potentiometer. De spanning tussen de plaatjes is nu maximaal en wel gelijk aan de batterijspanning. Een iets verder doordraaien van de potentiometer brengt het glijcontact op het punt c , dus weer de negatieve zijde, zodat het potentiaalverschil tussen de plaatjes onmiddellijk tot nul afneemt.

Op deze wijze wordt dus aan twee eisen voldaan die men aan de tijdbasis-

spanning stelt. Door de snelheid waarmee het glijcontact ronddraait, te vergroten, kan de frekwentie van de spanningscylcus worden geregeld, waarmee dan aan de derde eis is voldaan. Een mechanisch aangedreven tijdbasis volgens dit of een soortgelijk principe zou slechts voor een zeer beperkt aantal onderzoeken met de oscilloskoop kunnen worden gebruikt. Voor het overgrote deel van de praktische toepassingen is een automatisch werkende inrichting zonder bewegende delen belangrijk en dit kan langs elektronische weg op verschillende manieren worden bereikt.

3. Methodes voor het opwekken van een zaagtandspanning

Een van de mogelijkheden om een gelijkspanning te verkrijgen die geleidelijk toeneemt van nul tot een maximale waarde, is getekend in fig. 27.

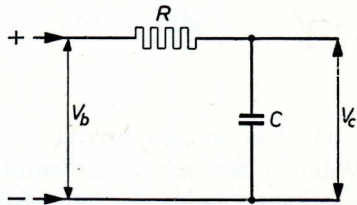


Fig. 27. De slag kan worden verkregen door uit een gelijkspanningsbron de condensator C via de weerstand R geleidelijk op te laden.

Hierbij is een condensator C in serie met een gelijkstroomweerstand R aangesloten op een gelijkspanningsbron. Wanneer de spanning wordt ingeschakeld, zal er een stroom door R vloeien, die de condensator C oplaadt. Eerst is de laadstroom groot en het grootste gedeelte van de aangelegde spanning zal danook in R verloren gaan, zodat er slechts een lage spanning over de uitgangsklemmen komt te staan. Maar naarmate de condensator zich verder oplaadt, neemt de laadstroom af, totdat, na een zeker tijdsverloop dat wordt bepaald door de capaciteit van C en de weerstand van R , de gehele batterijspanning beschikbaar is over de uitgangsklemmen.

De spanning over de condensator gedurende de lading, uitgezet als functie van de tijd, toont een verloop, zoals dat in fig. 28 is getekend. Het moet worden toegegeven dat deze kromme volkomen afwijkt van de ideale rechte lijn welke nodig is voor het eerste deel van de tijdbasisspanning. Maar door enkel gebruik te maken van het onderste deel van de kromme, dat in fig. 28 met een zware lijn is aangegeven, wordt de rechte lijn vrij goed benaderd.

4. De terugslag

We hebben nu het stijgende deel van de zaagtandspanning opgewekt en nu blijft dus nog over de terugslag te veroorzaken, dat wil zeggen we moeten ervoor zorgen, dat in het punt X in fig. 28, de spanning snel terugloopt tot nul zoals dat met stippellijnen is aangegeven.

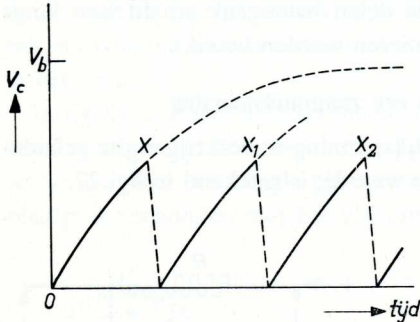


Fig. 28. Grafiek welke de spanningsvariatie over een condensator aangeeft tijdens de lading. Door slechts een gedeelte, tot het punt X , van deze kromme te gebruiken, en dan de condensator snel te ontladen, kan de ideale zaagtandkromme worden benaderd.

Dit kan worden bereikt met behulp van de schakelaar S uit fig. 29. Wanneer deze schakelaar wordt gesloten op het ogenblik dat overeenkomt met punt X in fig. 28, dan wordt de condensator kortgesloten, zodat deze zich via de schakelaar ontlad, waardoor de spanning over de condensator tot nul terugvalt. Deze ontlading is niet absoluut plotseling, maar zij duurt een zekere eindige tijd, die afhangt van de waarde van C en de weerstand van de schakelaar. Deze laatste kan zeer klein worden gemaakt, zodat de ontlading voor alle praktische toepassingen plotseling is. In werkelijkheid zal de vorm van de ontladingskromme overeenkomen met die van de gestippelde lijn in fig. 30.

Er is nu aangegeven op welke wijze een volledige cyclus van een zaagtandspanning kan worden verkregen door geleidelijke lading en snelle ont-

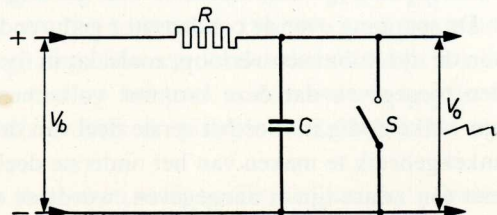


Fig. 29. Wanneer schakelaar S korte tijd wordt gesloten op de tijdstippen X , X_1 , X_2 , ... van fig. 28, waardoor de condensator ontlad, wordt een voortdurende zaagtandspanning verkregen.

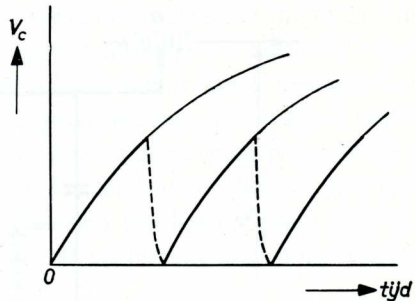


Fig. 30. Werkelijke vorm van de zaagtandspanning welke wordt verkregen met de opstelling van fig. 29.

lading van een condensator. Blijft nu nog over dit proces continu te maken door het toevoegen van een inrichting waarmee de schakelaar gedurende zeer korte tijd wordt gesloten en dan weer geopend met regelmatige tussenpozen, die overeenkomen met de gewenste frekwentie van de zaagtandspanning.

5. Eenvoudige grondschemas

De eenvoudigste weg om dit te bereiken is de schakelaar S uit fig. 29 te vervangen door een neonbuis NT , zoals is aangegeven in fig. 31. Zodra de spanning op de condensator de waarde bereikt, die overeenkomt met de ontsteekspanning van de neonbuis, wordt deze laatste geleidend en ontladst snel de condensator. De aan de buis liggende spanning daalt tot een lagere waarde, waarbij de buis weer niet-geleidend wordt, zodat de condensator zich opnieuw kan opladen en de gehele gang van zaken zich herhaalt.

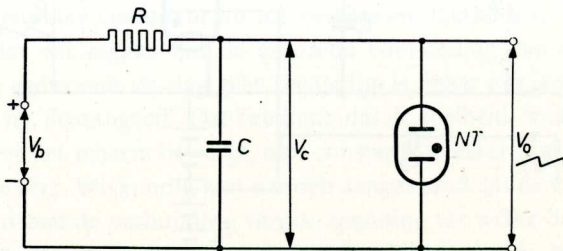


Fig. 31. Door de schakelaar S uit fig. 29 te vervangen door een neonbuis NT , treden met geregelde tussenpozen afwisselend geleidelijke oplading en snelle ontlading van de capaciteit C op.

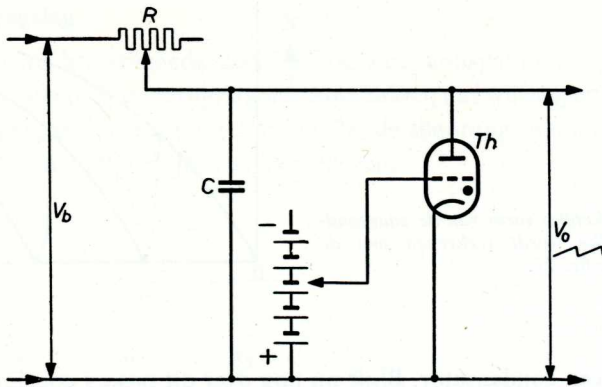


Fig. 32. Verbeterde schakeling met een thyatron, in plaats van een met gasgevulde diode, als elektronische schakelaar

Het grootste nadeel van deze opstelling is dat bij vaste waarden van C en R en bij een zekere neonbuis slechts een vaste herhalingsfrequentie is, aangezien de spanning waarbij de neonbuis ontsteekt, vast is.

Om een instelbare frequentie te krijgen, is de neonbuis, zoals fig. 32 aangeeft, vervangen door een thyatron. Door de negatieve roosterspanning

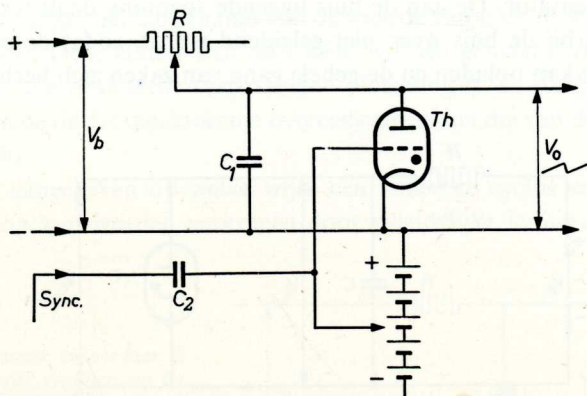


Fig. 33. Door positieve impulsen, afkomstig uit de kring voor verticale afbuiging, toe voeren aan het rooster van het thyatron kan de tijdbasis worden gesynchroniseerd met het onderzoeken verschijnsel.

van het thyatron te veranderen, kan de spanning waarbij het thyatron ontsteekt en geleidend wordt, worden geregeld. Een ander voordeel, dat wordt verkregen door een thyatron als elektronische schakelaar te gebruiken, is dat de tijdbasis gemakkelijk kan worden gesynchroniseerd met het te onderzoeken verschijnsel door een gedeelte van de verticale afbuigspanning toe te voeren aan het rooster van het thyatron. Fig. 33 laat zien hoe dat kan worden gedaan. De vaste negatieve roosterspanning wordt eerst ingesteld op een zodanige waarde, dat de frekwentie van de tijdbasiszaagtandspanning iets

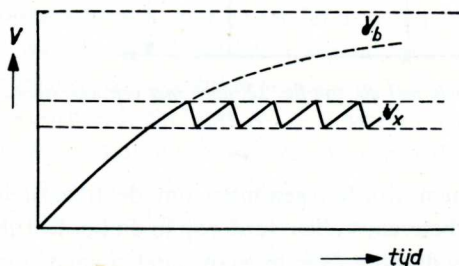


Fig. 34. Als variatie op de werkwijze van fig. 30 is het dikwijls wenselijk van een ander deel van de laadkromme gebruik te maken. De uitgangsspanning is dan een gelijkspanning met een daarop gesuperponeerde zaagtandspanning.

lager ligt dan die van de verticale afbuigspanning. Een synchronisatie-impuls, afkomstig van de verticale afbuigspanning, wordt via de condensator C_2 toegevoerd aan het rooster van het thyatron en deze impuls start de tijdbasis volkomen synchron.

6. Lineariteit

We hebben al aangetoond, dat de golfvorm van de tijdbasisspanning, opgewekt volgens elke van de tot nu toe beschreven methoden, niet volkomen lineair is, dat wil zeggen dat de grafische voorstelling van de spanningsverandering gedurende de slag geen rechte lijn is, maar iets is gebogen op de wijze, zoals fig. 30 aangeeft. Dat betekent, dat de snelheid, waarmee de lichtstip zich over het scherm beweegt, niet constant is, maar afneemt tegen het einde van de slag. Wiskundig kan worden aangetoond dat deze snelheidsfout overeenkomt met de verhouding van de spanning tot welke de condensator wordt opgeladen en de totale spanning beschikbaar voor het opladen. Is bijvoorbeeld een fout van 10% toelaatbaar, dan behoeft de condensator slechts tot op een tiende van de aangelegde spanning te worden opgeladen.

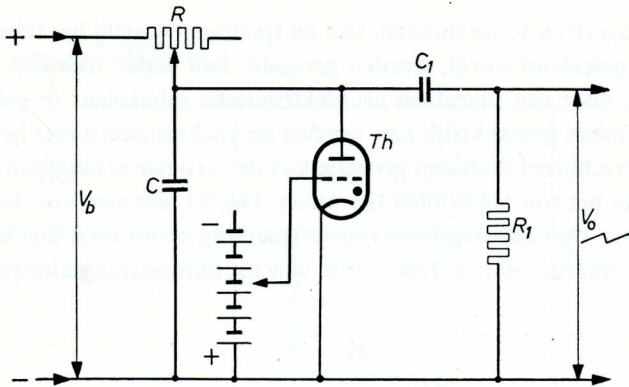


Fig. 35. Zaagstandgenerator overeenkomende met die van fig. 32, doch met een weerstandskoppeling (C_1R_1).

Enkele maatregelen welke kunnen worden genomen om de lineariteit van de *opgewekte* golfvorm te verbeteren, zullen verderop in dit hoofdstuk worden beschreven, maar alvorens daartoe over te gaan moeten eerst nog enkele andere oorzaken van niet-lineariteit worden genoemd.

Wat men zou kunnen noemen „parasitaire” niet-lineariteit, kan worden veroorzaakt door de koppelende kring tussen de tijdbasisgenerator zelf en de afbuigplaatjes van de elektronenstraalbuis. Het komt zelden voor dat de afbuigspanning direct aan de afbuigplaatjes wordt gelegd; in de meeste gevallen wordt een *RC*-kring als koppelend element gebruikt en dikwijls is het ook nog nodig een versterker tussen te schakelen, teneinde een voldoende hoge afbuigspanning te krijgen.

7. De invloed van het koppelend element op de lineariteit

De koppelende kring introduceert twee factoren, die de lineariteit bepalen. In de eerste plaats bepaalt de gelijkspanningscomponent, welke verschijnt over de koppelcondensator C_1 , de grootte van de lading van de condensator C . De fout, die hierdoor wordt ingevoerd, kan worden verkleind door de waarde van de koppelweerstand R_1 groot te nemen ten opzichte van de weerstand R . Wanneer R_1 meer dan 10 maal zo groot is als R , zal de fout te verwaarlozen klein zijn.

De tweede fout die door de koppelende kring C_1R_1 wordt geïntroduceert,

is een gevolg van het feit dat, tenzij de tijdconstante (het produkt van C_1 en R_1) groot genoeg is in vergelijking met de periode van een cyclus, de spanning over de uitgangsklemmen geen zuiver beeld zal zijn van de spanning over C . De grootte van de snelheidsfout, die hierdoor ontstaat, hangt dus af van de verhouding van T , de tijdsduur van één zaagtandcyclus, en het produkt van R_1 en C_1 .

Het verband tussen de fout en de verhouding T/R_1C_1 is grafisch voorgesteld in fig. 36. Uit deze grafiek zijn voor verschillende toepassingen de juiste waarden te bepalen van R_1 en C_1 . Daar de waarde van R_1 min of meer wordt voorgeschreven door de eis dat deze minstens 10 maal zo groot moet zijn als de waarde van R , zal het vraagstuk dus meestal beperkt blijven tot het bepalen van een geschikte waarde voor C_1 .

Voorbeeld: Stel dat $R_1 = 3 \text{ M}\Omega$ en dat de zaagtandfrequentie 50 Hz is. De vraag is nu uit te rekenen hoe groot C_1 moet zijn, zodat de snelheidsfout niet meer dan 10% zal bedragen.

Volgens de kromme van fig. 36 mag voor een snelheidsfout van 10% de waarde T/R_1C_1 niet meer bedragen dan 0,1. Dus:

$$T/R_1C_1 = 0,1 \text{ of}$$

$$C_1 = \frac{10}{50 \times 3 \times 10^6} = 66 \text{ 000 pF}$$

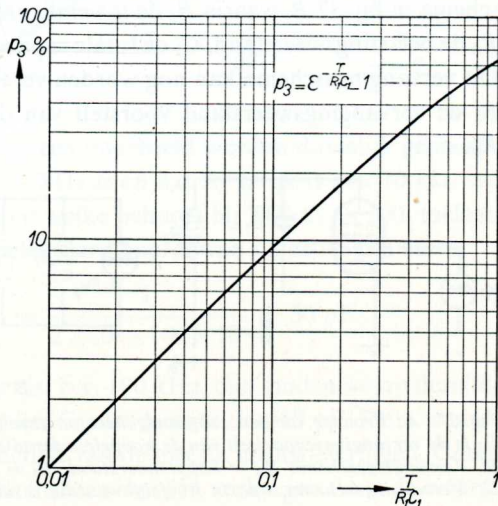


Fig. 36. Percentage van de snelheidsfout in de schakeling van fig. 35 als functie van de verhouding T/R_1C_1

Mag de snelheidsfout niet meer bedragen dan 1%, dan mag de waarde van $T/R_1 C_1$ niet boven 0,01 komen, terwijl dan $C_1 = 0,66 \mu\text{F}$.

8. De invloed van een versterker op de lineariteit

Bij verschillende tijdbasischakelingen is het nodig de opgewekte zaagtandspanning te versterken en de versterker zal dan een zekere niet-lineariteit veroorzaken. De fouten die een gevolg zijn van de kromming van de buiskarakteristieken, zullen om twee redenen hier nu niet worden besproken. In de eerste plaats is het niet moeilijk een versterker te ontwerpen die zeer weinig vervorming geeft, en in de tweede plaats is het — zoals we later zullen zien — mogelijk gebruik te maken van de vervorming tengevolge van de kromming van de karakteristiek, om tot op zekere hoogte de niet-lineariteit van de opgewekte zaagtandvorm te compenseren.

Er is echter nog een fout in de lineariteit, die wordt veroorzaakt door een versterker. En deze fout kan worden beschouwd als een speciale snelheidsfout, die wordt veroorzaakt door de koppelende elementen, zoals reeds in de vorige paragraaf is behandeld. Dat komt doordat de totale impedantie in de anodekring van een versterkbuis is samengesteld uit de belastingsweerstand, de uitgangscapaciteit van de buis, de bedradingscapaciteit en de ingangscapaciteit van de volgende versterkbuis, als die er tenminste is.

Een dergelijke versterker kan worden voorgesteld door het vervangingschema in fig. 37 B, waarin R_i de inwendige weerstand van de buis voorstelt, R_a de belastingsweerstand, C_1 de totale capaciteit en S de steilheid van de buis. Dit vervangingschema kan nog worden vereenvoudigd tot fig. 37 C, waarin R_1 de vervangingsweerstand voorstelt van de parallelschakeling van R_i en R_a .

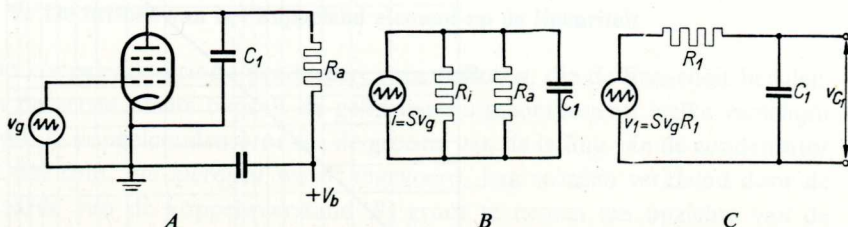


Fig. 37. A: Principe van een zaagtandgenerator gevolgd door een versterker met één buis. C_1 is de vervangingscapaciteit van de koppelcondensator, de buis en de bedrading.

B: Vervangingschema R_a = koppelweerstand, R_i = inwendige weerstand van de buis

C: Vervangingschema, waarin R_1 gelijkwaardig is aan de parallelschakeling van R_i en R_a

Evenals het geval was bij de schakeling met een eenvoudige RC-koppeling, kan worden aangetoond dat de lineariteit van de uitgangsspanning V_{C1} afhankelijk is van de verhouding T/R_1C_1 , waarin T de periode is van een cyclus van de zaagtandspanning.

De momentele waarden van V_{C1} gedurende een volledige periode T zijn in fig. 38 uitgezet voor verschillende waarden van T/R_1C_1 . We zien dat ideale lineariteit alleen wordt bereikt, als T/R_1C_1 oneindig groot is. Bij lagere waarden van T/R_1C_1 ontstaat er een snelheidsfout gedurende het eerste deel van de slag en deze fout strekt zich over een groter deel van de slag uit voor waarden van T/R_1C_1 kleiner dan 100.

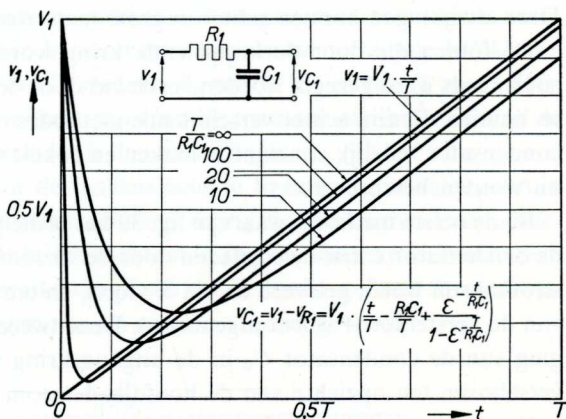


Fig. 38. Momentele waarden van V_{C1} in fig. 37 uitgezet als functie van de tijd voor verschillende waarden van T/R_1C_1

De betekenis hiervan kan door een voorbeeld worden duidelijk gemaakt. Stel dat de tijdbasisfrequentie 20 kHz is en dat R_1 gelijk is aan 10 kΩ, stel verder dat de graad van lineariteit welke behoort bij $T/R_1C_1 = 100$, toelaatbaar is, dan zal de maximaal toelaatbare waarde van C_1 gelijk zijn aan:

$$C_1(\text{max}) = \frac{T}{100 R_1} = \frac{1}{2 \times 10^4 \times 100 \times 10^4} = 50 \text{ pF.}$$

Als de frekwentie echter hoger is, b.v. 100 kHz, dan vinden we op dezelfde wijze dat de maximale waarde van C_1 niet meer is dan 10 pF. Deze waarde is echter lager dan de eigencapaciteit van de meeste normale kringen. Goede lineariteit bij deze frekwentie kan alleen worden verkregen door de waarde

van R_1 kleiner te maken, en dit kan worden bereikt door de belastingsweerstand R_a te verlagen, maar dat gaat ten koste van de versterking.

Bij zeer hoge tijdbasisfrequenties moeten danook speciale compensatiemethoden worden gebruikt, maar dat valt buiten het bestek van dit boek.

9. Methodes ter verbetering van de lineariteit

De afwijking van de zuivere zaagtandvorm in de tijdbasisspanning, die zich uit als een snelheidsfout tijdens de slag, blijkt te wijten te zijn aan de niet-constante laadsnelheid van de condensator en het opnemen van een koppelende kring tussen de zaagtandgenerator en de horizontale afbuigplaatjes. Deze afwijkingen kunnen echter in grote mate worden gecompenseerd.

De fouten die door de koppelende kring worden veroorzaakt, kunnen, zoals reeds werd gezegd, worden verkleind door de verhouding T/R_1C_1 klein te houden. Er zijn echter verschillende methodes om de laadsnelheid van de condensator redelijk constant te maken en enkele van deze methoden zullen nu worden beschreven.

Bij de eerste methode, waarvan fig. 39 het prinscipeschema laat zien, wordt de condensator C ten dele geladen door de stroom die direct door de gelijkstroombron wordt geleverd en via R vloeit, en ten dele door een stroom die van de versterker A wordt afgenomen. Deze tweede stroom is door toevoeging van de condensator C_2 in de uitgangskring van de versterker in fase verschoven ten opzichte van de hoofdlaadstroom.

Het is natuurlijk noodzakelijk, dat de versterker zelf volkomen ver-

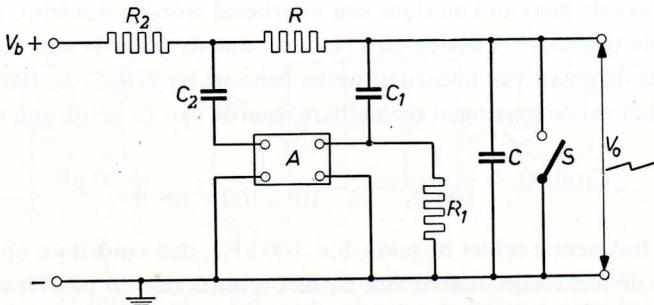


Fig. 39. Prinscipeschema voor het verbeteren van de lineariteit van de zaagtandspanning voor middel van versterker „A”.

vormingsvrij is en dat de tijdconstanten R_1C_1 en R_2C_2 groot genoeg zijn om vervorming te vermijden van de overgedragen spanning. Het is ook van belang dat de spanning aan de uitgang van de versterker in fase is met die van de ingang. Deze laatste eis maakt een tweetrapsversterker nodig, omdat een enkele trap een faseverschuiving van 180° veroorzaakt.

Met het oog op een goede lineariteit moet de versterking gelijk zijn aan $1 + R/R_1$.

Wanneer geen absolute lineariteit wordt verlangd, kan als alternatief een versterker met één buis worden gebruikt, die dan als katodevolger wordt geschakeld om te voldoen aan de eis dat de uitgangsspanning in fase moet zijn met de ingangsspanning.

In fig. 40 is het prinsipeschema getekend. De ingangsweerstand moet eveneens groot zijn. Zo kan men bijvoorbeeld met een pentode type EF 42, die een steilheid heeft van $9,5 \text{ mA/V}$ met een R_k van $10 \text{ k}\Omega$ en een R_1 van $3 \text{ M}\Omega$, een tijdbasisspanning opwekken, waarvan de toename aan het eind van de laadperiode slechts $1,8\%$ minder is dan in het begin.

Een andere methode om de laadsnelheid te lineariseren maakt gebruik van het feit, dat over een groot deel van de I_a/V_a karakteristiek de anodestroom van een pentode praktisch constant is. Door in het zo juist beschreven schema een pentode te gebruiken in plaats van de laadweerstand R wordt een vrijwel constante laadstroom aan de condensator toegevoerd.

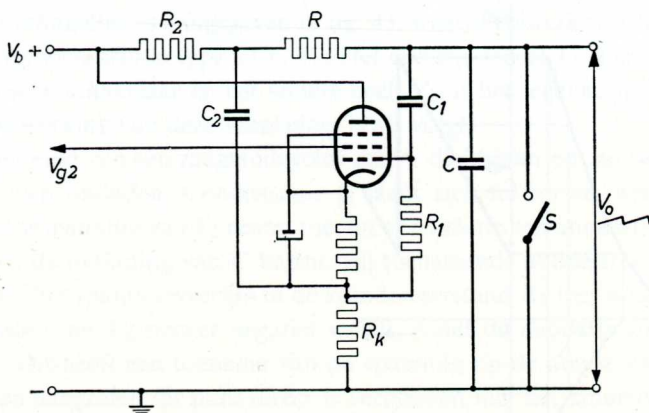


Fig. 40. Schema voor het verbeteren van de lineariteit van de zaagtandspanning door het gebruik van een buis, die als katodevolger is geschakeld.

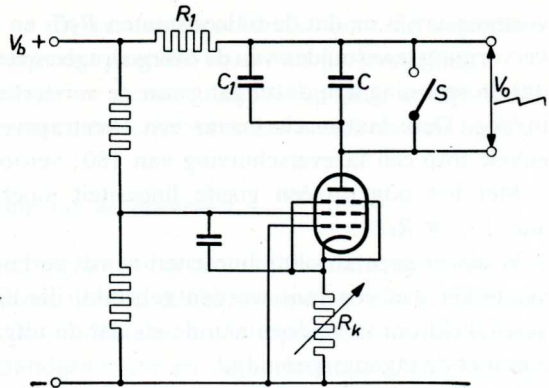


Fig. 41. Het gebruik van een pentode als laadweerstand om de lineariteit van de zaagtandspanning te verbeteren.

Het prinsipeschema voor deze methode is gegeven in fig. 41. Volkomen lineariteit kan niet worden verkregen, aangezien de anodestroom van de pentode van nature sneller afneemt bij lagere waarden van V_a , maar de totale snelheidsfout kan worden beperkt tot ca. 4,8%, wanneer de pentode type EF 40 bij de volgende instelling wordt gebruikt: steilheid 1,0 mA/V; $I_a = 1,0$ mA; $R_k = 2,5$ k Ω ; $R_1 = 3,0$ M Ω ; $R_t = 5$ M Ω ; $V_b = 250$ V en V_C , dat is de spanning tot welke C wordt geladen = 120 V.

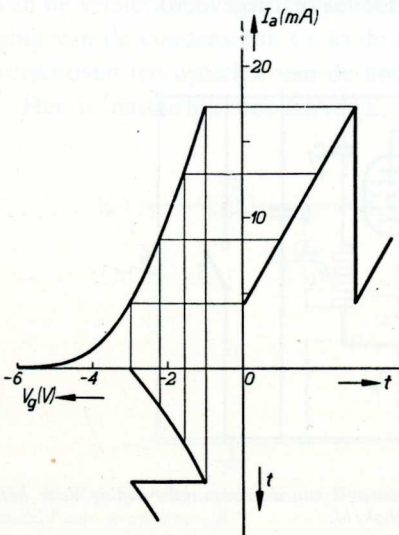


Fig. 42. Verbeterde lineariteit van de zaagtandspanning tengevolge van de bocht in de $I_a|V_g$ karakteristiek van de versterkbuis.

Wanneer de zaagtandspanning moet worden versterkt, voor zij aan de horizontale afbuigplaatjes van de oscilloskoopbuis wordt toegevoerd, dan kan de kromming van de I_a/V_g karakteristiek van de versterkbuis worden gebruikt om enigermate lineariteitscompensatie te krijgen. Fig. 42 laat de invloed zien van deze niet lineaire karakteristiek op een ingangsspanning van exponentiële vorm. Aangezien de I_a/V_g karakteristiek zelf geen exponentiële vorm heeft, is volkomen lineariteit niet mogelijk, maar de figuur laat zien dat aanzienlijk betere resultaten worden verkregen, wanneer de versterkbuis wordt gestuurd door een niet-lineaire tijdbasisspanning.

10. Methodes voor het opwekken van een herhalende tijdbasisspanning

Er is al verklaard dat de een of andere automatische schakelaar nodig is om de condensator snel te ontladen aan het einde van iedere slag, en twee typen elektronische schakelaars — een gasdiode en een thyatron — zijn voor dit doel beschreven en hun beperkingen aangegeven. Hoewel het thyatron het mogelijk maakt een zeer eenvoudige tijdbasis te bouwen die gemakkelijk kan worden gesynchroniseerd door impulsen van omstreeks 1 volt, is een tijdbasis volgens dit principe niet te gebruiken voor zeer hoge zaagtandfrequenties. Bevredigender resultaten zijn danook te verkrijgen wanneer men voor de elektronische schakelaar vacuümbuizen gebruikt.

Een van de mogelijkheden is een extra buis te gebruiken, om een tegenkoppeleffect op te wekken. De eenvoudigste van de vele variaties op deze multivibratorschakeling is aangegeven in fig. 43, waarin gebruik wordt gemaakt van een dubbele triode type ECC 40. Het ene triodedeel V_1 doet dienst als elektronische schakelaar en het andere deel, V_2 , is het tegenkoppelende element. De werking van deze schakeling is als volgt:

Aan het eind van een zaagtandcyclus zal V_1 dichtslaan en zal de condensator C zich ontladen. Condensator C laadt zich nu op via weerstand R en de anodespanning van V_1 neemt toe, tot er tenslotte een anodestroom gaat vloeien en de ontlading van C begint. Bij toenemende anodestroom van V_1 neemt ook het spanningsverlies in de katodeweerstand R_k toe, waardoor het stuurrooster van V_2 sterker negatief wordt, zodat de anodestroom van V_2 afneemt. Dit heeft een toename van de spanning op de anode van V_2 tengevolge en aangezien dit punt direct is verbonden met het stuurrooster van V_1 , wordt dit meer positief, waardoor de anodestroom van V_1 nog meer toeneemt.

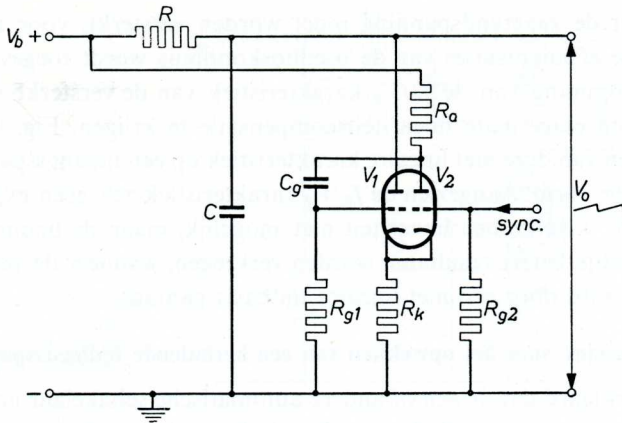


Fig. 43. Tijdbasisschakeling, waarin een dubbele triode als elektronische schakelaar wordt gebruikt.

Dit proces is cumulatief, zodat condensator C zeer snel is ontladen. Er moet op worden gewezen dat, om dit effect te verkrijgen, de toename van de rooster spanning van V_1 groter moet zijn dan de toename van de katodespanning; met andere woorden de versterking van V_2 moet meer zijn dan de eenheid. Wanneer de rooster potentiaal van V_1 positief is geworden ten opzichte van de katodespanning, begint er een roosterstroom te vloeien, die condensator C_g zodanig oplaadt dat het rooster negatief wordt en V_1 wordt dichtgeknepen. De cyclus is nu voltooid en begint opnieuw. Passende waarden voor de verschillende onderdelen van de schakeling van fig. 43 zijn, wanneer een dubbele triode ECC 40 wordt gebruikt:

$R = 100 \text{ tot } 200 \text{ k}\Omega$	$R_{g1} = 300 \text{ k}\Omega$
$R_k = 1 \text{ k}\Omega$	$R_{g2} = 500 \text{ k}\Omega$
$R_a = 100 \text{ k}\Omega$	$V_b = 250 \text{ V}$

De waarde van C hangt af van de gewenste frekwentie en bedraagt ongeveer $0,5 \mu\text{F}$ voor een frekwentie van 50 Hz. De waarde van C_g moet ongeveer $1/20$ of $1/30$ zijn van C . De terugslagverhouding zal ca. $1 : 20$ bedragen voor frekwenties tot 1 kHz.

Wanneer de ingangscapaciteit van C_1 aan de hoge kant is, wordt de terug-

slagverhouding bij hoge frekwenties vrij laag en kan wel 1 : 5 worden voor frekwenties tussen 10 kHz en 20 kHz. De amplitude van de zaagtanduitgangsspanning is ongeveer 30 V, maar verandert iets met de waarde van R . Synchronisatie kan worden verkregen door een wisselspanning van ongeveer 1 volt met een willekeurige golfvorm aan het rooster van V_2 te leggen.

Een schakeling die overeenkomt met die van fig. 43 maar met twee pentoden in plaats van trioden, is gegeven in fig. 44. Dankzij de lagere ingangscapaciteit van de pentode wordt hiermee een veel betere terugslagverhouding verkregen.

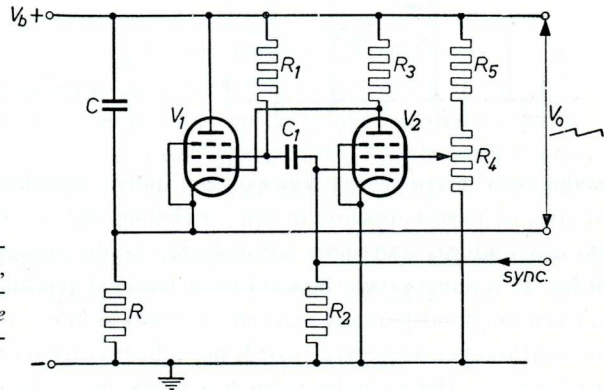


Fig. 44. Tijdbasischakeling volgens fig. 43, waarin echter twee pentodes als elektronische schakelaar worden gebruikt.

Verder zal, omdat in deze schakeling geen koppelcondensator nodig is tussen de anode van V_2 en het rooster van V_1 , de amplitude van de zaagtandspanning minder afhankelijk zijn van de herhalingsfrekwentie. Regeling van de amplitude wordt verkregen door het instellen van potentiometer R_4 , welke de schermroosterspanning wijzigt en dus ook de anodestroom van V_2 .

Hierdoor wordt de gemiddelde stuurroosterspanning van V_1 beïnvloed, welke op haar beurt weer de anodespanning bepaalt waarbij V_1 geleidend wordt. Er moet op worden gewezen dat de katode van V_1 een vrij hoge positieve potentiaal ten opzichte van aarde heeft, zodat de gloeidraad op een afzonderlijke wikkeling op de voedingstransformator moet worden aangesloten.

Als een alternatief van de hierboven beschreven multivibratorschakeling,

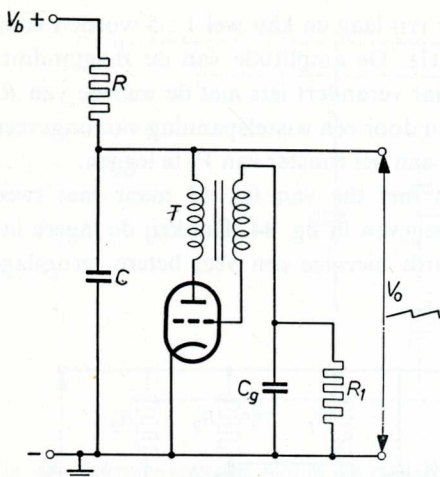


Fig. 45. Principe van een tijdbasisgenerator met afslagoscillator.

welke twee buizen vereist, kan ook een tijdbasischakeling worden gemaakt, waarbij de tegenkoppeling in een schakeling met één buis wordt verkregen. De eenvoudigste van deze schakelingen is de afslagoscillator zoals deze in fig. 45 is aangegeven. Hoewel meer speciaal geschikt voor het opwekken van een zaagtandspanning met een vaste frekwentie en daarom normaal niet in oscilloskopen toegepast, wordt het schema hier ter wille van de volledigheid gegeven. Het wezenlijke van deze schakeling is dat de primaire wikkeling van de transformator T is opgenomen in de anodekring van de triode en de secundaire in de roosterkring, en wel zodanig dat als de anodepotentiaal daalt, de roosterspanning meer positief wordt.

De werking van de schakeling kan het beste worden begrepen door aan te nemen dat de buis een negatieve roosterspanning heeft, die hoger is dan de afknijpspanning, afkomstig van de negatieve lading op condensator C_g . Hoe dat in zijn werk gaat, zal later duidelijk worden. Condensator C wordt via R opgeladen uit de hoogspanningsvoedingsbron en de spanning over de condensator neemt op de normale wijze exponentieel toe. Op hetzelfde ogenblik ontladert C_g via R_1 , zodat de roosterpotentiaal toeneemt. Wanneer de roosterspanning tot op het afknijppunt is toegenomen, begint de anodestroom te vloeien en de daardoor veroorzaakte lagere anodespanning geeft weer een toeneming van de roosterspanning, die te danken is aan de tegenkoppeling via de transformator. De anodestroom neemt daardoor toe, waardoor de

anodespanning weer lager wordt en de roosterspanning hoger; het proces is cumulatief en maakt het mogelijk dat C snel door de buis ontlaaft. Uiteindelijk krijgt het rooster een positieve spanning en er gaat een roosterstroom lopen, die C in een zodanige richting oplaadt dat het rooster weer negatief wordt en de buis weer dicht slaat. De cyclus begint dan weer opnieuw.

Een ongeveer gelijke schakeling, de zelfblokkerende (squegging) oscillator, is getekend in fig. 46, maar de koppeling tussen anode en rooster is vaster. Aan het begin van de cyclus gedraagt de schakeling zich praktisch als een afslagoscillator, maar als de anodestroom een zekere waarde bereikt, begint de schakeling in een hoge frekwentie te oscilleren. De trillingen nemen toe tot zij een zekere amplitude hebben bereikt en houden dan snel op. De herhalingsfrekwentie van deze oscillatie-uitbarstingen hangt af van de kringconstanten. Een volledig schema voor een dergelijke oscillator is in fig. 47 getekend. De buis is een dubbele triode type ECC 40, V_1 is de oscillator terwijl V_2 , met wat daarbij behoort, net als in de schakeling van fig. 40 voor de lineariteit zorgt.

Als transformator kan of de primaire of de secundaire wikkeling worden gebruikt van een normale middenfrekwenttransformator voor 470 kHz,

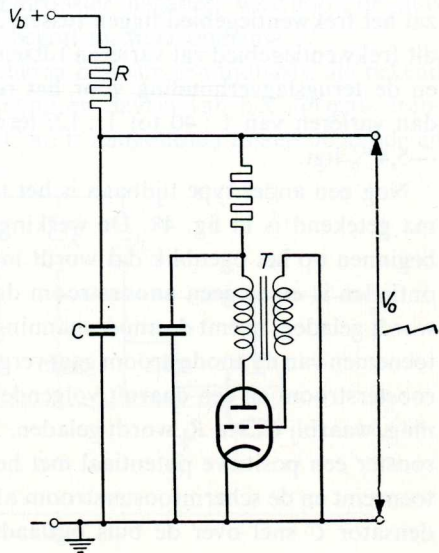


Fig. 46. Principe van een zelf-blokkerende tijdbasisgenerator.

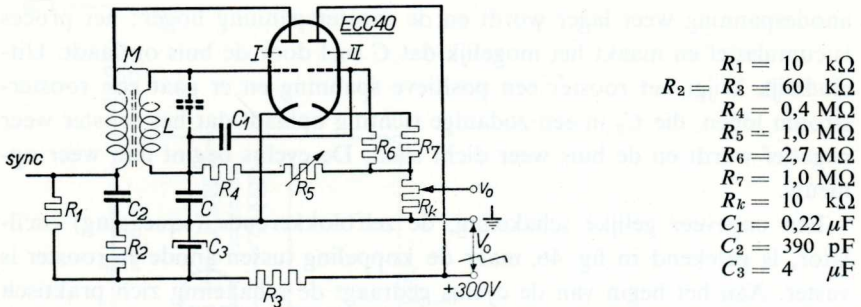


Fig. 47. Schema van een zelfblokkerende tijdbasisgenerator met dubbele triode ECC 40. De frequentie kan worden ingesteld door de capaciteit C en de laadweerstand ($R_4 + R_5$) te veranderen. De amplitude is te regelen door middel van R_k .

die in twee gelijke delen is gewonden en voorzien is van een ijzerpoederkern. De ingebouwde afstemcondensator moet worden verwijderd en de verbindingen tussen de beide spoelhelften verbroken. De ene helft van de spoel wordt nu in de anodekring opgenomen en de andere helft in de roosterkring.

Wanneer C variabel is in 7 stappen van 50 000 pF tot 150 pF en de laadweerstand ($R_4 + R_5$) kan worden geregeld tussen 1,4 M Ω en 0,4 M Ω , dan zal het frekwentiegebied liggen tussen 20 Hz en 20 kHz. De amplitude voor dit frekwentiegebied zal variëren tussen 54 V en 42 V piek tot piekspanning, en de terugslagverhouding voor het regelbereik van de laadweerstand zal dan variëren van 1 : 40 tot 1 : 12, terwijl de snelheidsfout tussen —8,8 en —5,4% ligt.

Nog een ander type tijdbasis is het transitron, waarvan het principeschema getekend is in fig. 48. De werking kan worden verklaard wanneer we beginnen op het ogenblik dat wordt ingeschakeld, de condensator C geheel ontladen is en er geen anodestroom door de buis vloeit. Wanneer C via R wordt geladen, neemt de anodespanning toe en de buis laat stroom door. Het toenemen van de anodestroom gaat vergezeld van een afnemen van de schermroosterstroom en een daaruit volgende toename van de schermroosterstroom, waarbij C_1 via R_1 wordt geladen. Door de lading op C_1 krijgt het remrooster een positieve potentiaal met het gevolg, dat de anodestroom verder toeneemt en de schermroosterstroom af. Dit proces is cumulatief, zodat condensator C snel over de buis ontladtd. De toename van de anodestroom

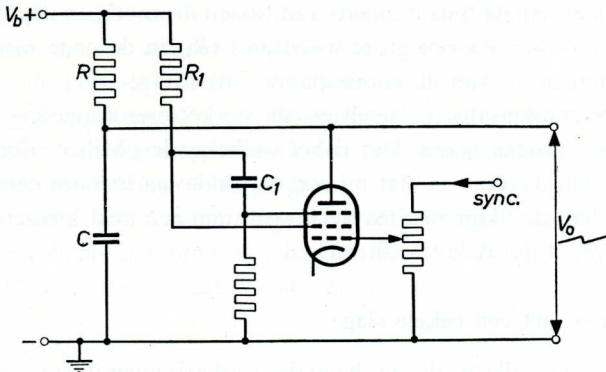


Fig. 48. Principe van een transitron-tijdbasisgenerator.

heeft een daarmee overeenkomende daling van de anodespanning ten gevolge. Wanneer deze spanning is gedaald tot een waarde die overeenkomt met de knik in de I_a/V_a karakteristiek, begint de anodestroom af en de schermroosterstroom toe te nemen. Een toename van de schermroosterstroom gaat vergezeld van een afname van de schermroosterspanning, zodat C_1 ontlaaft en de stroom door R_1 op hetzelfde ogenblik omkeert. De ontlading van C_1 maakt het remrooster negatief, waardoor de buis wordt afgeknepen. De gehele cyclus begint nu weer opnieuw.

Fig. 49 tenslotte laat het prinseschema zien van een tijdbasis, die bekend staat als de Miller transitron schakeling en daarin van het normale transitron verschilt, dat de condensator C nu is aangesloten tussen de anode en

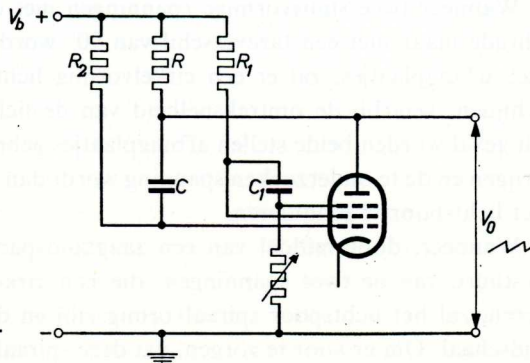


Fig. 49. Miller-transitron zaag-tandgenerator

het stuurrooster van de buis in plaats van tussen de anode en de katode, terwijl het stuurrooster via een grote weerstand (R_2) in de orde van $2 \text{ M}\Omega$ is verbonden met de + van de anodespanningsvoeding.

Dankzij de condensator C treedt er een sterke tegenkoppeling op tussen de anode- en roosterkringen. Dat is het welbekende „Miller effect” en een van de gevolgen daarvan is, dat bij een bepaalde laadstroom een spanning over de condensator kan worden verkregen met een veel kleinere condensator, dan bij het normale transitron.

11. Tijdbasis met een enkele slag

Tot nu toe zijn alleen de herhalende tijdbasisgeneratoren behandeld. Voor het onderzoek van niet-periodieke verschijnselen is een tijdbasis nodig waarvan de slag wordt gestart door een impuls, welke wordt geleverd door het te onderzoeken verschijnsel en dan een enkele slag geeft. Een dergelijke tijdbasis kan dikwijls worden verkregen door de schakeling van een normale tijdbasis te veranderen. Voor verschillende doeleinden echter is het wenselijk fotografische recording toe te passen, waarbij enkel de verticale afbuiging voor het te onderzoeken verschijnsel wordt gebruikt. De horizontale beweging wordt dan verkregen door de voortbeweging van de film zelf.

12. Cirkelvormige, spiraalvormige en radiale tijdbases

Voor een beperkt aantal toepassingen heeft het belangrijke voordelen, wanneer de tijdschaal van de oscilloscoop niet horizontaal, maar of cirkelvormig, of spiraalvormig of radiaal is.

Wanneer twee sinusvormige spanningen met dezelfde frekwentie en amplitude maar met een fazeverschil van 90° worden aangesloten op de twee stel afbuigplaatjes, zal er een cirkelvormig lichtspoor op het scherm verschijnen, waarbij de omtreksnelheid van de lichtstip constant zal zijn. In dit geval worden beide stellen afbuigplaatjes gebruikt om de tijdbasis te verkrijgen en de te onderzoeken spanning wordt dan gebruikt om de omtrek van het lichtspoor te moduleren.

Wanneer, door middel van een zaagtandspanning, de amplitude wordt gestuurd van de twee spanningen, die een cirkelvormige tijdbasis produceren, zal het lichtspoor spiraalvormig zijn en dat betekent een zeer lange tijdschaal. Om er voor te zorgen, dat deze spiraal blijft stilstaan en niet gaat

draaien, moet de tijd-periode van de sturende zaagtandspanning een geheel veelvoud zijn van die van het cirkelvormige lichtspoor.

Wanneer de periode van het cirkelvormige lichtspoor zeer groot wordt gemaakt vergeleken met die van de sturende zaagtandspanning, verandert het lichtspoor van spiraalvormig in een radiaal lichtspoor, waardoor een nog langere tijdschaal wordt verkregen.

Wanneer deze vorm van tijdbasis wordt toegepast, is het gebruikelijk de te onderzoeken spanning aan het rooster van de elektronenstraalbuis te leggen. De indicatie bestaat dan uit variaties in de helderheid van het lichtspoor.

HOOFDSTUK IV

VERSTERKERS VOOR DE VERTICALE AFBUIGING EN OPNEMERS VOOR HET OMZETTEN VAN NIET-ELEKTRISCHE VERSCHIJN- SELEN IN ELEKTRISCHE GROOTHEDEN

Onder de in hoofdstuk VII opgenomen gegevens van normale katodestraalbuizen komen waarden voor van, wat is genoemd, de afbuiggevoeligheid. De afbuiggevoeligheid is gedefinieerd als de afstand waarover de lichtstip over het scherm beweegt, wanneer de spanning welke is aangelegd tussen een paar afbuigplaatjes, 1 volt verandert. Uit hoofdstuk VII blijkt dat de afbuiggevoeligheid ligt in de orde van 0,25 mm per volt. Dat betekent dus, dat om een goed afleesbare uitwijking te krijgen, behoorlijk hoge spanningen tussen de afbuigplaatjes moeten worden aangelegd. Zo moet b.v. om een lichtspoor van 1 cm totale lengte te krijgen een verticale afbuigspanning van 40 V piek tot piekwaarde worden aangelegd.

Een lichtspoor met een maximum amplitude van 1 cm is niet goed bruikbaar en voor nauwkeurige metingen of onderzoeken is een veel groter beeld nodig, zodat voor de meeste toepassingen een spanning van een of twee honderd volt piek tot piekwaarde moet worden aangelegd tussen de plaatjes voor de verticale afbuiging.

Het gebeurt niet dikwijls dat dergelijke hoge spanningen direct beschikbaar zijn bij de te onderzoeken verschijnselen; immers, de signaalspanning is dikwijls zeer laag en kan zelfs wel in de orde van enkele millivolts liggen. Het is danook nodig de te onderzoeken spanning te versterken en dat doen we door een versterker te schakelen tussen de spanningsbron en de verticale afbuigplaatjes.

1. Versterkers voor de verticale afbuiging

De eisen, waaraan een versterker voor de verticale afbuigspanning moet voldoen, zijn op vele punten veel strenger dan die voor versterkers in andere takken van de toegepaste elektronica. Alvorens verder in te gaan op de bijzonderheden van de schakeling van de versterkers voor de verticale afbuigspanning, zal het daarom goed zijn enkele van de voornaamste eigenschappen aan te geven, die een dergelijke versterker moet hebben.

Een van de grootste voordelen van een katodestraalbuis is, dat zij, wanneer de instellingen goed zijn gekozen en worden aangehouden, een meetapparaat is met zeer grote nauwkeurigheid, dat wil zeggen dat het spoor op het scherm een zeer betrouwbaar beeld geeft van de veranderingen van de spanning, die op het afbuigstelsel is aangesloten. Om het volle profijt van deze nauwkeurigheid te kunnen verkrijgen, is danook een eerste vereiste dat iedere versterker die opgenomen is tussen de signaalbron en de afbuigplaatjes, zo min mogelijk vervorming geeft.

Een ander voordeel van de katodestraalbuis is, dat zij zelf een zeer kleine belasting vormt voor de signaalbron; dat betekent dus, dat zij zeer weinig energie aan die bron onttrekt. Een versterker voor de verticale afbuigspanning moet dit voordeel handhaven; om dat te kunnen doen, moet de ingangsimpedantie groot zijn.

De derde eis is, dat de uitgangskring van de versterker moet zijn aangepast op de kathodestraalbuis, waarmee hij zal worden gebruikt. De relatieve voordelen van symmetrische en asymmetrische afbuigspanningen zijn al tot op zekere hoogte besproken in hoofdstuk II, waarin werd duidelijk gemaakt, dat, in het algemeen gesproken, de symmetrische sturing te verkiezen is voor het verticale afbuigstelsel, hoewel er toch wel enkele buizen zijn, die speciaal zijn ontworpen voor het geven van goede resultaten, wanneer het horizontale afbuigstelsel asymmetrisch wordt gestuurd. Dit levert — hoewel wat duurder — geen extra technische moeilijkheden op.

De laatste, maar zeker niet de minst belangrijke, eis waaraan een versterker voor de verticale afbuigspanning moet voldoen, betreft het frequentiegebied; dat de versterker zonder ernstige vervorming kan verwerken. Een oscilloscoop moet in staat zijn een spanning van iedere willekeurige golfvorm, hoe samengesteld deze ook is, nauwkeurig te laten zien. Een van de meest ingewikkelde golfvormen — hoewel uit meetkundig oogpunt ogenschijnlijk eenvoudig — is de kanteelspanning, die in fig. 50 is getekend. Een dergelijke golfvorm blijkt in wiskundige analyse te zijn samengesteld uit een sinusvormige golf van de grondfrequentie plus een groot aantal harmonischen, dat wil zeggen, sinusvormige golven met frequenties, die veelvouden zijn van de grondfrequentie. Om een kanteelspanning nauwgezet te kunnen weergeven, moet de versterker een frequentie karakteristiek hebben, die vlak is tot voor minstens de tiende harmonische van de hoogste grondfrequentie die de oscilloscoop vermoedelijk te verwerken zal krijgen, beter

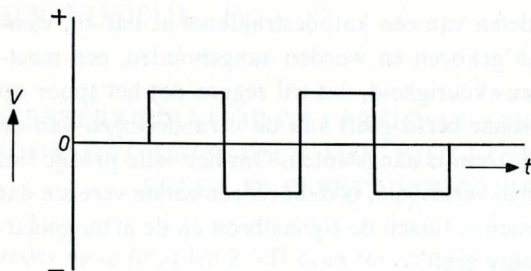


Fig. 50. Kanteelspanning

nog zelfs tot de twintigste harmonische. Methodes om dat te bereiken worden behandeld in een van de volgende paragrafen, die over vervorming handelen.

1.1. WAT IS VERVORMING?

Aangezien bij het ontwerpen van versterkers voor verticale afbuiging de aandacht in de eerste plaats gericht moet zijn op het voorkomen van vervorming, is het goed hier vast te stellen, wat nu eigenlijk wel vervorming is. De uitdrukking „vervorming” betekent in de ruimste zin iedere afwijking, die de golfvorm van het afgegeven signaal vertoont ten opzichte van het toegevoerde oorspronkelijke signaal. Er zijn verschillende soorten vervorming, waarvan de voornaamste hieronder nader zullen worden behandeld.

1.2. AMPLITUDE VERVORMING

Bij de normale audiefrekwentie techniek wordt het enkele woord „vervorming” dikwijls gebruikt voor een soort vervorming, die de technicus „amplitudevervorming” noemt; hiermee wordt dan bedoeld dat ingangssignalen met verschillende amplitudo niet evenveel worden versterkt. Deze soort vervorming is meestal te wijten aan de gebogen vorm van de karakteristiek van de versterkbuis of -buizen. Een voorbeeld, dat met het oog op de duidelijkheid sterk is overdreven, is te zien in fig. 51. We zien hier eeningangssignaal met een piek tot piekspanning van 0,4 volt, dat een anodestroomvariatie veroorzaakt met een piek tot piekwaarde van 1,2 mA. In een vervormingsvrije versterker zou eeningangssignaal dat een drie maal zo grote amplitude heeft, dus 1,2 V piek tot piekspanning, een stroomvariatie veroorzaken van $3 \times 1,2$ milliampère, dus met een piek tot piek-

waarde van 3,6 mA. We zien echter, dat in werkelijkheid, tengevolge van de niet-lineariteit van de buiskarakteristiek, de piek tot piekwaarde slechts 3,3 mA is. Met andere woorden, er treedt amplitudevervorming op. De grootte van deze vervorming is

$$\frac{3,6 - 3,3}{3,6} \times 100 = \frac{0,3}{3,6} \times 100 = 8,3\%.$$

We zien, dat deze vervorming zich uit in een verandering van de golf-

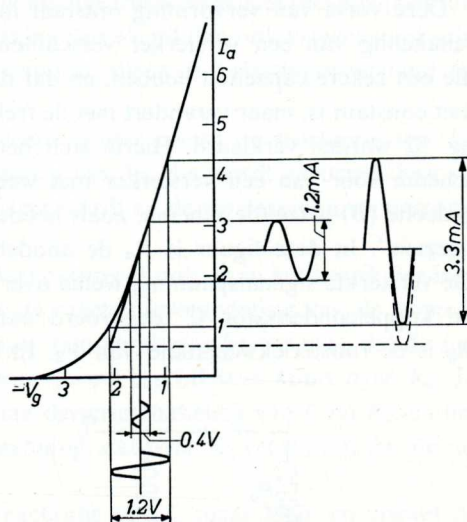


Fig. 51. Amplitudevervorming tengevolge van de niet-lineariteit van de buiskarakteristieken.

vorm, in dit geval doordat bij een sterk signaal de positieve halve perioden meer worden versterkt dan de negatieve halve perioden. Door de buis de juiste negatieve roosterspanning te geven en de maximale amplitude van hetingangssignaal te begrenzen tot een waarde, die voor het werkpunt blijft binnen het rechte deel van de karakteristiek, kan gewone amplitudevervorming in de buis meestal geheel worden voorkomen. De maatregelen, die hiervoor bij het ontwerpen van de versterker moeten worden genomen, zijn algemeen bekend, zodat hier daarop niet verder behoeft te worden ingegaan.

1.3. FREKWENTIE VERVORMING

Een veel ernstiger soort vervorming, en wel omdat zij veel moeilijker is

te voorkomen en te corrigeren, is die, welke bekend staat als „frequentievervorming”, waarmee wordt bedoeld dat ingangsspanningen met verschillende frequenties niet allemaal evenveel worden versterkt. De uitdrukking „frequentievervorming” is niet zo bijzonder gelukkig gekozen, want het is niet de frequentie, die wordt vervormd, maar wel de golfvorm. Feitelijk is het een speciaal soort amplitudevervorming, die afhankelijk is van de frequentie van het signaal en zij zou daarom beter „frequentie afhankelijke amplitudevervorming” kunnen heten.

Deze vorm van vervorming ontstaat in hoofdzaak daardoor, dat in de schakeling van een versterker verschillende onderdelen zijn opgenomen, die een zekere capaciteit hebben, en dat de reactantie van een condensator niet constant is, maar verandert met de frequentie. Dit kan aan de hand van fig. 52 worden verklaard. Hierin stelt het linkergedeelte (A) het prinscipeschema voor van een versterker met weerstandskoppeling en het rechter gedeelte (B) hetzelfde schema, zoals het door het te versterken signaal wordt „gezien”. In deze figuur is R_a de anodebelastingsweerstand van buis V_1 . De versterkte signaalspanning, welke over R_a beschikbaar komt, wordt via de koppelcondensator C toegevoerd aan de roosterkring van buis V_2 . R_g is de roosterlekweerstand van V_2 . In het overeenkomstig schema B is

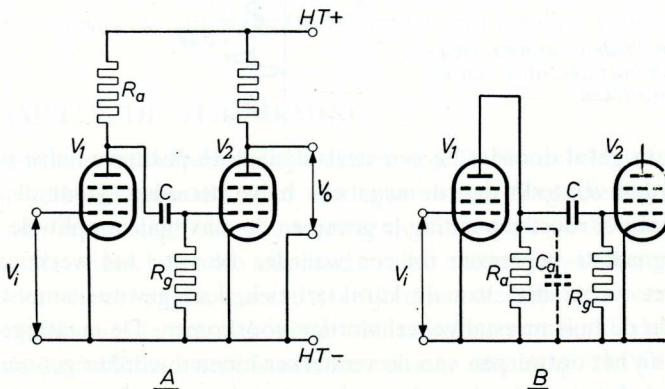


Fig. 52. A - Prinscipeschema van een versterker met weerstandskoppeling

R_a = anodebelasting van V_1

C = koppelcondensator

B - Vervangingscircuit

R_g = roosterlekweerstand van V_2

C_a = werkzame capaciteit parallel aan R_a

parallel aan R_a nog een gestippeld getekende condensator aangegeven. Deze condensator C_a stelt de vervangingscapaciteit voor van de uitgangscapaciteit van V_1 , de ingangscapaciteit van V_2 en de verschillende parasitaire capaciteiten toe te schrijven aan de buishouder en de bedrading.

Door een juiste keuze van de buizen en onderdelen en een oordeelkundige bedrading, kan C_a zeer laag worden gehouden en haar reactantie, die gelijk is aan $1/2\pi f C_a$ (waarin f = frekwentie en C_a = de capaciteit in farad), zal behoorlijk hoog zijn bij lage frekwenties. De impedantie van de parallelschakeling van R_a en C_a zal danook bij lage frekwenties niet veel afwijken van de weerstand van R_a en de versterking van V_1 zal dan ook vrijwel gelijk zijn aan die, welke wordt gevonden, wanneer alleen de belastingsweerstand R_a aanwezig zou zijn.

Bij een hoger wordende frekwentie echter neemt de reactantie van C_a af, zodat de werkzame anodebelasting van V_1 , die wordt gevormd door de parallelschakeling van R_a en C_a lager wordt en de versterking overeenkomstig daarmee dus kleiner.

Een soortgelijk verschil in versterking treedt ook op in het bereik der lage frekwenties, maar in dit geval is de reactantieverandering van de koppelcondensator C in fig. 52 de oorzaak. Een verklaring hiervoor is, dat de signaalspanning, die door V_1 is versterkt en beschikbaar komt over R_a , in werkelijkheid wordt toegevoerd aan de serieschakeling van C en R_g , en het is alleen het gedeelte van deze spanning, dat over R_g verschijnt, dat de ingangsspanning vormt voor V_2 .

Voor hoge frekwenties is de reactantie van C maar klein en vrijwel de totale beschikbare spanning staat dan over R_g en wordt versterkt door V_2 . Voor lage frekwenties echter is de reactantie van C groter en het gedeelte van de totale spanning dat over R_g staat, is bij lage frekwenties dus kleiner.

Hieruit blijkt, dat de algemene vorm van de frekwentiekarakteristiek van de versterker, dat is de versterking als functie van de frekwentie, er uit ziet zoals in fig. 53 is aangegeven. We zien daarin een afname van de versterking voor het gedeelte van de hoge frekwenties in het frekwentiegebied (A) en een afname van de versterking bij de lage frekwenties in het frekwentiegebied (B). Met het oog op de noodzaak de versterker zodanig te ontwerpen dat hij een volkomen getrouwe weergave geeft over een groot frekwentiegebied, moeten stappen worden ondernomen om de neiging tot het verzwakken van de hoge en lage frekwenties tegen te gaan en tevens om een com-

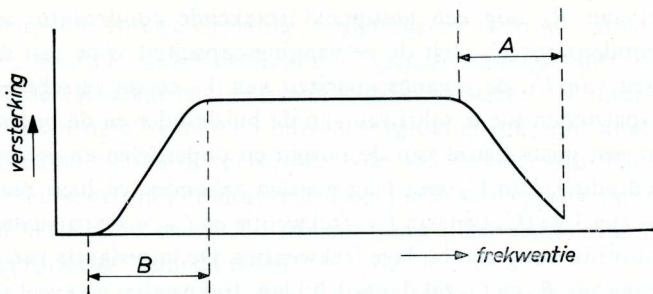


Fig. 53. Algemene vorm van de frekwentiekarakteristiek van een versterker met weerstandskoppeling

pensatie in te bouwen voor die verzwakking, welke niet kan worden voorkomen.

Het verlies aan versterking van de hoge frekwenties kan tot op zekere hoogte worden verminderd door de buizen met een veel kleinere R_a te belasten dan normaal het geval zou zijn. Onder deze omstandigheden is in fig. 52 het shunt-effect van C_a niet zo uitgesproken, omdat zijn reactantie, zelfs bij hoge frekwenties, groot is ten opzichte van R_a . Deze verbetering gaat echter ten koste van een vermindering van de totale versterking, tengevolge van de kleine waarde van de anodebelasting, en het zal danook dikwijls nodig zijn extra versterktrappen toe te voegen. Deze achteruitgang van de totale versterking ten gevolge van het werken met een in verhouding lage anodebelasting kan tot op zekere hoogte worden verkleind door pentodes met een grote steilheid te gebruiken, die een behoorlijke versterking per trap geven bij betrekkelijk lage waarden van de anodebelastingsweerstand.

Compensatie voor het afnemen van de versterking in het gebied van de hoge frekwenties kan langs verschillende wegen worden verkregen. Bijvoorbeeld door een gedeelte van de anodebelasting inductief te maken, zoals is aangegeven in fig. 54, waarbij dan de inductieve component zodanig wordt gekozen, dat er resonantie optreedt met C_a bij een frekwentie, die in de buurt ligt van die, waarbij de versterking begint af te nemen.

Een andere methode is er voor te zorgen dat bij lage frekwenties een sterke tegenkoppeling optreedt, waardoor de totale versterking afneemt, terwijl dan bij hoge frekwenties de tegenkoppeling te verwaarlozen klein is, zodat volledige versterking optreedt. Dit kan worden bereikt door de ontkoppelingcondensator voor de katodeweerstand klein te nemen.

Fig. 54. Compensatie voor de verzwakking van de hoge frequenties door een gedeelte van de anodebelasting inductief te maken.

- R_a = ohmse deel van een anodebelasting
 L = inductieve deel van de anodebelasting
 C = koppelcondensator
 R_g = roosterlekweerstand van volgende buis.

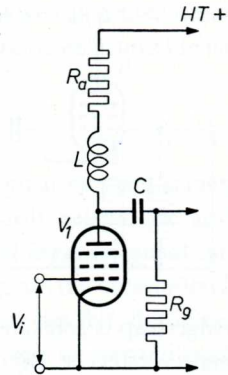
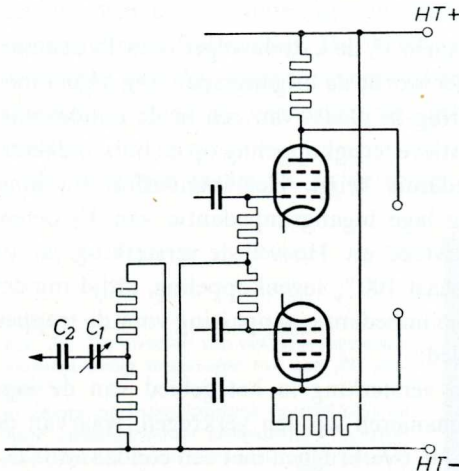


Fig. 55. Door positieve terugkoppeling op de anode van de voorgaande buis toe te passen, kan de verzwakking van de hoge frequenties worden verminderd.

Een derde mogelijkheid is de invloed van de parasitaire capaciteiten ten opzichte van aarde te verminderen door *positieve* terugkoppeling toe te passen afkomstig van de uitgang van een van de kringen en toegevoerd aan de anode van de voorgaande trap. Hiervan is een voorbeeld getekend in fig. 55, die een gedeelte laat zien van een versterker voor verticale afbuiging met balansuitgang. De positieve terugkoppeling wordt afgenomen van de anode van een van de twee balansbuizen en wordt toegevoerd aan de anode van de voorgaande buis via een zeer kleine capaciteit, welke wordt gevormd door de serieschakeling van C_1 en C_2 . Nog een andere methode om de afname van de versterking bij hoge frequenties te compenseren is het opnemen van een katodevolger tussen twee normale versterktrappen en zo mogelijk ook als ingangsbuis van de versterker. Het prinseschema van een katode-

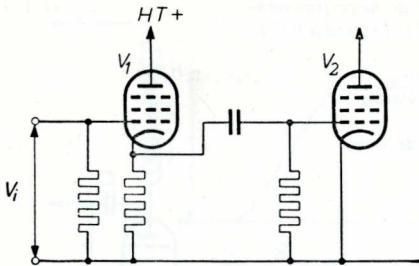


Fig. 56. Principeschema van buis V_1 als katodevolger geschakeld.

volgertrap is getekend in fig. 56, waarin V_1 de katodevolger is en V_2 een normale versterker. Bij de katodevolger wordt de uitgangsspanning afgenomen van een weerstand in de katodekring in plaats van een in de anodekring. Het resultaat is een zeer sterke negatieve terugkoppeling op de buis, die daardoor een zeer lage uitgangsimpedantie krijgt. Het shunt-effect bij hoge frequenties van de in verhouding lage ingangsimpedantie van V_2 oefent hierdoor geen noemenswaardige invloed uit. Hoewel de versterking van de katodevolger, tengevolge van de haast 100% tegenkoppeling, altijd minder is dan de eenheid, geeft hij een juiste impedantie-aanpassing voor de trappen over een zeer groot frequentiegebied.

Compensatie van het verlies in versterking in het gebied van de lage frequenties kan op verschillende manieren worden verkregen, waarvan de eenvoudigste is een gedeelte van R_a te overbruggen met een condensator C_1 , zoals is aangegeven in fig. 57. Bij lage frequenties is de reactantie van de condensator groot en het shunt-effect daardoor gering, zodat de werkzame belastingsimpedantie niet veel kleiner is dan de waarde van R_a en een maxi-

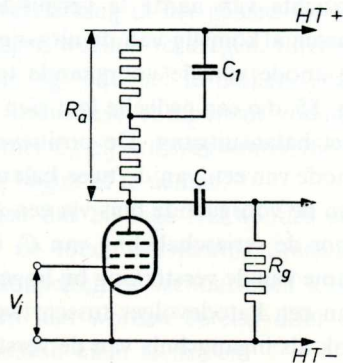


Fig. 57. Compensatie voor de verzwakking van de lage frequenties door een condensator parallel te schakelen aan een deel van de anodebelasting.

R_a = anodebelasting

C_1 = compensatiecondensator

C = koppelcondensator

R_g = roosterlekweerstand van de volgende buis.

male versterking wordt verkregen. Bij toenemende frekventie echter neemt de reactantie van de condensator af, waardoor de werkzame belasting kleiner wordt en de versterking vermindert.

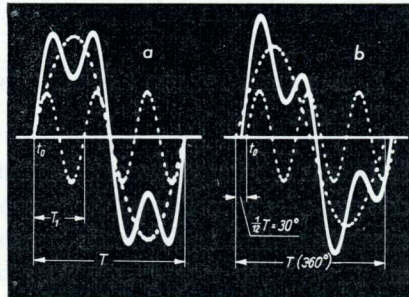
1.4. FAZEVERVORMING

Fazevervorming is het verschijnsel, waarbij, als een signaal met een samengestelde golfvorm aan de ingang van de versterker wordt gelegd, de golfvorm van het versterkte signaal afwijkt van die van hetingangssignaal tengevolge van een verandering van de fazeverhouding in de verschillende samenstellende frekventies. Dit wordt veroorzaakt door het feit, dat in een versterker met RC koppelingsnetwerken de looptijd van de verschillende frekventies door de versterker niet gelijk is, zodat fazeverschuiving optreedt.

Dit is te zien in fig. 58. In de linker grafiek stelt de getrokken lijn een

Fig. 58. Vervorming van een samengestelde wisselspanning tengevolge van een RC netwerk

a) totale spanningskromme (getrokken) en haar samenstellende componenten (gestipeld) op het moment van de start (grond-frekventie en harmonische in fase).
b) vervorming ten gevolge van fazeverschuiving in een RC netwerk.



samengestelde golfvorm voor, die na analyse blijkt te bestaan uit een sinusvormige grondgolf en haar derde harmonische. Deze beide samenstellende golven zijn met stippellijnen getekend. De rechter grafiek laat zien, hoe deze twee samenstellende golven verschijnen aan de uitgang van een versterker waarin fazeverschuiving optreedt. Zoals we zien, treedt er een fazeverschuiving (in dit geval 30°) tussen beide op. Wanneer deze twee componenten tot een golf worden samengesteld, zoals door een getrokken lijn is aangegeven, dan blijkt er een belangrijke vervorming te zijn ontstaan.

Fazevervorming is meestal niet zo groot wanneer het lage frekventies betreft, maar wordt waarschijnlijk wel ernstig bij hogere frekventies. Aangezien een van de belangrijkste toepassingen van de oscilloscoop is: een

betrouwbaar lichtspoor te produceren van een te onderzoeken golfvorm, is fasevervorming de ergste vorm van vervorming in een versterker voor verticale afbuiging. Daar fasevervorming wordt veroorzaakt door dezelfde onderdelen als die, welke frekwentievervorming veroorzaken, zal elke maatregel om deze laatste te verminderen ook een verbetering geven voor wat de fasevervorming betreft.

In de voorgaande paragrafen is een poging gedaan om de voornaamste eigenschappen die een verticale afbuigversterker moet hebben, aan te geven en tevens zijn enkele methodes genoemd waarmee deze eigenschappen kunnen worden verkregen.

Het ontwerpen van een goede versterker vergt ingewikkelde berekeningen en ook het met overleg kiezen van compromissen, daarom zijn hier dan ook geen richtlijnen verstrekt voor het ontwerpen van een volledige versterker. In het laatste hoofdstuk van dit boek worden echter een aantal typische oscilloskoopschakelingen behandeld en deze bevatten op zijn minst enige van de reeds besproken schakelingen.

2. Het omzetten van niet-elektrische verschijnselen in elektrische grootheden

In feite is een katodestraaloscilloskoop een gevoelige galvanometer en kan daarom alleen worden gebruikt voor het meten of onderzoeken van elektrische grootheden, die in de vorm van spanningen aan de afbuigplaatjes moeten worden toegevoerd. Voor het onderzoek van niet-elektrische verschijnselen is het nodig een of andere „opnemer” te gebruiken, die deze verschijnselen omzet in elektrische grootheden.

Er is veel vernuft aan de dag gelegd bij het verzinnen van omzettingmethoden, sommige daarvan werken zelfs nog met extra tussenomzettingen. Enkele van de voornaamste vormen van opnemers, die voor de meest gebruikelijke omzettingen kunnen worden gebruikt, worden hieronder in het kort beschreven. Voorbeelden van praktische toepassingen worden wat meer in details behandeld in hoofdstuk VI.

2.1. WEERSTANDSOPNEMERS

Verschillende niet-elektrische verschijnselen kunnen worden gebruikt om de weerstand van een of ander onderdeel van een schakeling te wijzigen,

waardoor ook de stroom door de kring waarin het onderdeel is opgenomen, verandert of wat op hetzelfde neerkomt: waardoor de spanningsval over de weerstand verandert. Deze verandering kan dan op het oscilloscoopscherm zichtbaar worden gemaakt. Weerstandsopnemers bestaan in verschillende uitvoeringen, waarvan de onderstaande de belangrijkste zijn.

- a) *Compressieweerstanden*. Bij deze onderdelen veroorzaakt een variatie van natuurkundige grootheden of plaats, of van een mechanische druk daarmee overeenkomende weerstandsveranderingen. Een bekend voorbeeld daarvan is de gewone koolmicrofoon.
- b) *Temperatuurgevoelige weerstanden*. De verandering van de soortelijke weerstand, die de meeste geleiders bij temperatuursveranderingen vertonen, kan worden benut als een vorm van opnemer, welke wordt gebruikt daar, waar men temperatuursvariaties wil meten. Alle weerstandsmaterialen die een positieve temperatuurscoëfficiënt hebben, (dat zijn die waarvan de weerstand toeneemt bij een hogere temperatuur), en die, welke een negatieve temperatuurscoëfficiënt hebben, (nl. „thermistors” waarvan de weerstand bij een hogere temperatuur afneemt) kunnen hiervoor worden gebruikt.
- c) *Rekstrookjes*. Deze bestaan uit dunne draadjes, die meestal op strookjes papier worden bevestigd, en dan zodanig op een mechanisch onderdeel worden geplakt, dat iedere vormverandering van het onderdeel tengevolge van mechanische spanningen een lengtevermeerdering van het draadje veroorzaakt en een daarmee overeenkomende vermindering van de doorsnede, die beiden tengevolge hebben, dat de weerstand toeneemt. Rekstrookjes kunnen daardoor worden gebruikt om dimensieveranderingen tengevolge van mechanische spanningen aan te tonen en ook voor het meten van belastingen.

2.2. PIËZO-ELEKTRISCHE OPNEMERS

Wanneer een mechanische druk wordt uitgeoefend op twee tegenover elkaar liggende vlakken van zekere kristallen, speciaal kwarts en toermalijn, ontstaat een potentiaalverschil tussen een ander paar tegenover elkaar liggende vlakken van het kristal. Het potentiaalverschil is evenredig met de uitgeoefende druk. Dit potentiaalverschil kan worden versterkt en dan worden toegevoerd aan de verticale afbuigplaatjes van een oscilloskoop. Op

deze wijze ontstaat op het scherm een reproductie van de variaties van de mechanische druk.

2.3. CAPACITIEVE OPNEMERS

Variaties in mechanische druk, van plaats of van natuurkundige dimensies kunnen worden gebruikt om de afstand tussen de platen van een kleine condensator te wijzigen en daardoor de capaciteit te veranderen. De condensator kan op zodanige wijze worden opgenomen in een elektrische kring, dat de capaciteitsvariaties de frekwentie of de amplitude van elektrische trillingen veranderen en dit kan dan weer op het luminescerende scherm zichtbaar worden gemaakt.

2.4. ELEKTROMAGNETISCHE OPNEMERS

Variaties in natuurkundige dimensies, van plaats of van mechanische druk kunnen worden gebruikt om de configuratie te wijzigen van een systeem, dat een inductief element bevat. Een dergelijk systeem kan bestaan uit een spoel en een kern of anker van magnetisch materiaal, of uit twee ten opzichte van elkaar beweegbare spoelen, of een soortgelijke combinatie.

Er zijn twee grondtypen van elektromagnetische opnemers. Bij de eerste verandert het mechanische verschijnsel alleen maar de zelfinductie en dus de reactantie van het elektrische systeem en deze variaties kunnen worden gebruikt om òf de frekwentie òf de amplitude van elektrische trillingen te veranderen. Bij het tweede type kunnen mechanische bewegingen of trillingen worden gebruikt om de stand van een weekijzeren anker ten opzichte van een spoel met magnetische kern te veranderen. De beweging van het anker induceert dan in de spoel een elektromotorische kracht en deze kan, na te zijn versterkt, worden toegevoerd aan de afbuigelektrodes van de oscilloskoop.

2.5. THERMO-ELEKTRISCHE OPNEMERS

De normale thermo-element thermometer kan worden gebruikt om een temperatuursvariatie om te zetten in een elektrische spanning, die dan wordt zichtbaar gemaakt op het oscilloskoopscherm. Bij dit apparaat zijn twee verbindingpunten van verschillende metalen in serie geschakeld. Een van de verbindingpunten wordt op een constante temperatuur gehouden, terwijl

het andere wordt blootgesteld aan de temperatuur die men wenst te meten. Er ontstaat dan een elektromotorische kracht in de kring, die evenredig is met het verschil van de temperatuur in de beide punten. Deze elektromotorische kracht wordt zo nodig versterkt en daarna toegevoerd aan de afbuig-elektrodes van de oscilloskoopbuis.

2.6. FOTO-ELEKTRISCHE OPNEMERS

Elk van de drie uitvoeringen van fotocellen kan worden gebruikt om licht om te zetten in een elektrische grootheid. Deze drie uitvoeringen zijn:

- a) *foto-geleidende cellen*, waarvan de weerstand verandert in overeenstemming met de hoeveelheid en de golflengte van het er op vallende licht.
- b) *foto-spanningscellen*, die een elektromotorische kracht opwekken als er licht op valt.
- c) *foto-emitterende cellen*, waarvan de katodes vrije elektronen emitteren als er licht op valt.

Deze cellen kunnen zondermeer worden gebruikt voor het meten van de lichtsterkte en kleur, en ook als tussentrap voor het onderzoeken van andere niet-elektrische verschijnselen, zoals verandering van natuurkundige grootheden of plaats, mechanische trillingen enz. Bij deze toepassingen wordt het te onderzoeken verschijnsel gebruikt om de grootte te veranderen van een opening waardoorheen het licht op de fotocel valt. De elektrische variaties die daardoor ontstaan, worden versterkt en dan aan het afbuig-systeem van de oscilloskoop toegevoerd.

HOOFDSTUK V

HOOGSPANNINGSVOEDING VOOR KATODESTRAALOSCILLOSKOPEN

De voedingsapparaten in een katodestraaloscilloskoop moeten de volgende spanningen leveren:

- 1) Gloeispanning voor de buizen met inbegrip van de tijdbasis en de versterker voor verticale afbuiging.
- 2) Anodespanningsvoeding voor alle buizen in de tijdbasis en versterker.
- 3) Gloeispanning voor de katodestraalbuis.
- 4) Hoogspanningsvoeding voor de verschillende elektrodes van de katodestraalbuis.

Bij de behandeling is het praktisch deze voedingen in twee groepen te verdelen en wel (1) en (2) van dit lijstje gecombineerd en (3) en (4) als tweede eenheid. In werkelijkheid kan het soms ook wenselijk zijn hiervoor twee eenheden te nemen.

1. Anodespanningseenheid

Ter onderscheiding kunnen we de voeding voor de tijdbasis en de versterker „*hoogspanningsvoeding*” noemen en die voor de katodestraalbuis zelf de „*extra hoge spanningsvoeding*”. De schakeling is meestal conventioneel. Kennis van de totale gloeistroom, die alle buizen van de tijdbasis en de versterker tezamen opnemen, maakt het mogelijk het uitgangsvermogen te berekenen van de 6,3 volt gloeispanningswikkeling. Er moet ook een extra gloeispanningswikkeling zijn voor de gelijkrichtbuis.

Voor de hoogspanningsvoeding moet het uitgangsvermogen berekend zijn voor de som van alle anodestromen en schermroosterstromen van de buizen van de tijdbasis en de versterker, terwijl de spanning b.v. 300 volt moet bedragen. De afvlakking moet zeer goed zijn teneinde de rimpelspanning van de hoogspanningsvoeding te beperken tot maximaal 0,5 volt piek tot piek spanning.

De overwegingen die gelden voor het ontwerpen van een dergelijke eenheid, zijn algemeen bekend, terwijl het schema ook geen moeilijkheden zal opleveren. Er is danook geen speciaal schema in dit hoofdstuk opgenomen,

maar details van deze eenheden zijn wel te vinden in de schema's voor complete oscilloskopen, die in hoofdstuk VIII worden behandeld. Een algemeen schema is echter gegeven in fig. 59.

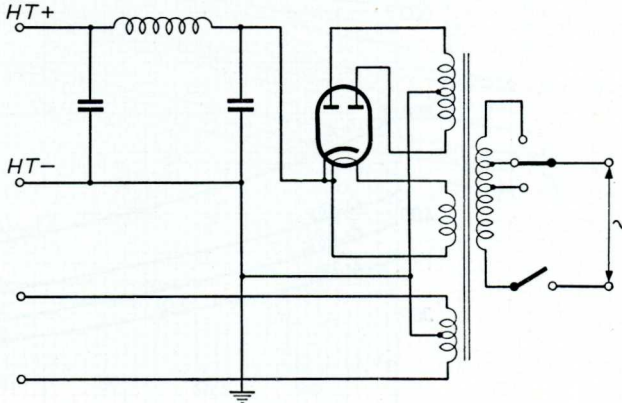


Fig. 59. Principeschema van de voedingseenheid voor een oscilloskoop

Natuurlijk zal een tweefase gelijkrichtbuis worden gebruikt, waarvoor de EZ 80, een moderne kleine gelijkrichtbuis met 9 pens noval buisvoet, zeer goed voldoet. Deze buis heeft een indirect verhitte katode; de gloeistroom is 0,6 ampère bij 6,3 volt. De EZ 80 levert een maximale gelijkgerichte stroom van 90 milliampère en moet worden gebruikt met een buffercondensator van $50 \mu\text{F}$. Een begrenzingsweerstand moet in serie worden geschakeld met iedere anode om overbelasting te voorkomen in geval van een fout of kortsluiting.

De normale instelgegevens voor deze buis zijn in onderstaande tabel opgenomen.

Anodespanning (effectief)	2×250	2×275	2×300	2×350	V
buffercondensator	50	50	50	50	μF
begrenzingsweerstand (iedere anode)	125	175	215	300	Ω
gelijkgerichte stroom	90	90	90	90	mA
afgegeven spanning	265	285	310	360	V

Regelkarakteristieken, overeenkomende met deze instellingen, zijn in

Fig. 60. Regelkrommen van de tweefazegelijkrichtbuis type EZ 80

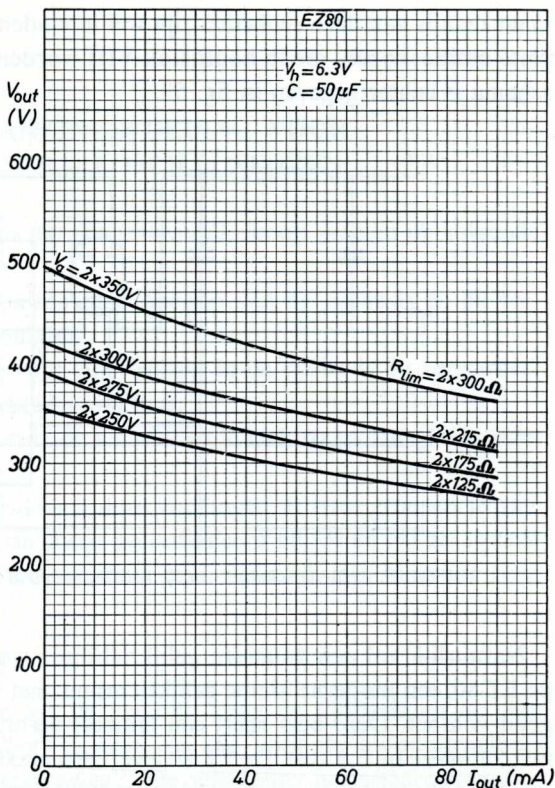


fig. 60 gegeven. Wanneer een groter uitgangsvermogen noodzakelijk is, dan kan de GZ 32 als gelijkrichtbuis worden toegepast. Dat is een tweefazegelijkrichtbuis met indirect verhitte katode. De gloeistroom bedraagt 2,3 ampère bij 5,0 volt. Deze buis heeft een octal buisvoet. De karakteristieken van deze buis bij verschillende werkcondities zijn gegeven in fig. 61.

2. De eenheid voor de extra hoge spanning

De gegevens van de normale oscilloscoopbuizen, opgenomen in hoofdstuk VII, geven aan dat voor de kleinere buizen tot 7 cm schermdiameter een spanning nodig is van ca. 800 tot 1000 V voor normale toepassingen, terwijl voor de grotere buizen 2000 volt tot 5000 volt nodig is, afhankelijk van het feit of zij met naversnelling zijn uitgerust of niet. Dit stelt al heel andere

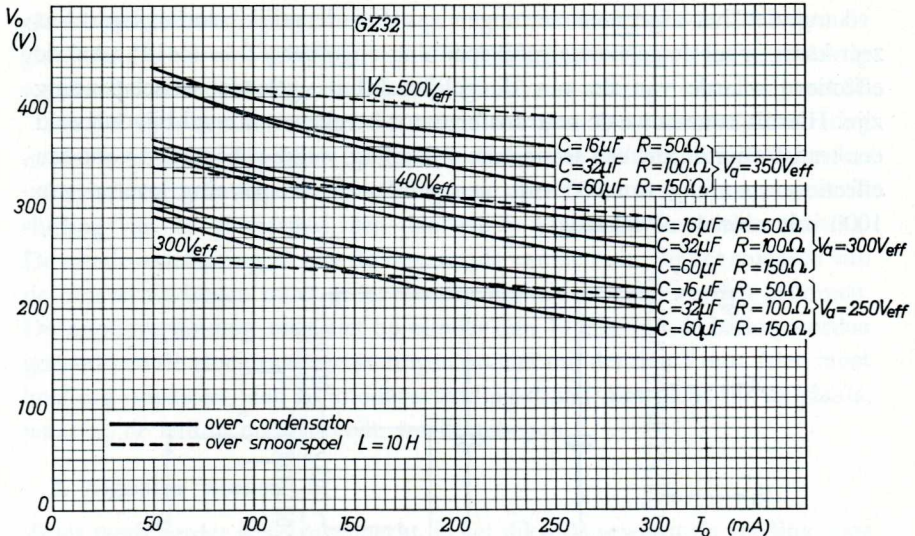


Fig. 61. Karakteristieken van de tweefazegelijkrichter type GZ 32

eisen aan het hoogspanningsvoedingsapparaat, dan er aan de normale voedingsapparaten worden gesteld.

Er zijn echter nog meer verschilpunten. In de eerste plaats is de stroom, die door de katodestraalbuis zelf vloeit, zeer klein — in de orde van enkele tienden milli-ampères. Maar, omdat de spanningen voor de verschillende elektrodes van de buis worden afgenomen van een potentiometer, die over het voedingsapparaat is geschakeld, moet ook worden rekening gehouden met de potentiometerstroom. De totale belasting van het voedingsapparaat is danook ca. 3 milli-ampère.

Gewoonlijk wordt een daarvoor geschikte eenfase gelijkrichtbuis genomen in combinatie met een eenvoudig RC afvlakfilter.

Het eenvoudige principe-schema van een voedingsapparaat voor extra hoge spanning is in fig. 62 getekend. De waarden van de onderdelen zijn hierin niet aangegeven, omdat zij afhangen van het type katodestraalbuis dat wordt gebruikt en de daarvoor benodigde spanningen. Verder uitgewerkte schema's met onderdelenwaarden vindt U in hoofdstuk VIII in de schema's van volledige katodestraaloscilloskopen. De volgende algemene richtlijnen moeten echter worden onthouden:

Aangezien het afgegeven vermogen van een dergelijk voedingsapparaat zeer klein is, zal de geleverde gelijkspanning ongeveer $\sqrt{2}$ ($=1,414$) maal de effectieve waarde van de aan de gelijkrichtbuis gelegde wisselspanning zijn. Hieruit kunnen we de nettransformator berekenen. Zo zal bijvoorbeeld een transformator met een secundaire wikkeling, welke is berekend voor een effectieve spanning van 700 volt, een gelijkgerichte spanning leveren van 1000 volt vóór de afvlakking.

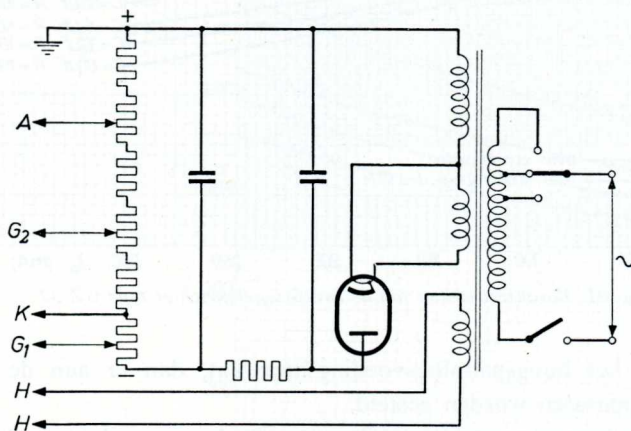


Fig. 62. Principeschema van de eenheid voor extra hoge spanning voor een oscilloskoop.

De transformator moet ook worden voorzien van een wikkeling welke de gloeidraadvoeding voor de gelijkrichtbuis levert, en ook van een extra wikkeling om de gloeidraad van de elektronenstraalbuis te voeden. Deze laatste wikkeling moet zeer goed zijn geïsoleerd ten opzichte van de transformator kern en de andere wikkelingen, aangezien het de gewoonte is de positieve klem van de hoogspanningsvoeding te aarden, zodat de katode en de gloeidraad van de katodestraalbuis een hoge negatieve potentiaal, die praktisch gelijk is aan de gehele hoogspanning, ten opzichte van aarde bezitten.

Een goede hoogspanningsgelijkrichtbuis voor het gebruik in dergelijke voedingsapparaten is het type EY 51. Dit is een eenfase gelijkrichtbuis met indirect verhitte katode. De gloeidraad, die binnen in de buis met de katode verbonden is, neemt 90 milli-ampère op bij 6,3 volt. Om overbelasting van de

gloedraad te voorkomen, met als gevolg niet alleen het vernielen van de gloedraad maar ook van de katode, moet de transformator zeer nauwkeurig worden berekend en uitgevoerd, zodat de gloeispanning niet te hoog wordt.

De EY 51 is een miniaturbuis, geheel van glas, met losse aansluitdraden in plaats van aansluitpennen, zodat de buis direct in de bedrading kan worden vastgesoldeerd. Er zijn twee draden aan de onderzijde van de buis voor aansluiting van de gloedraad, een daarvan is tevens de katode-aansluiting. De anode-aansluiting zit aan de bovenzijde van de buis. Bij het solderen van de buisverbindingen moet grote voorzichtigheid in acht worden genomen. De anodeverbinding mag niet op minder dan 10 mm van de ballon worden gemaakt en de gloedraadverbindingen op niet minder dan 5 mm. Men moet heel erg oppassen, dat de anodeverbindingdraad niet dicht bij de plaats, waar zij de ballon binnentreedt, wordt gebogen.

3. Algemene wenken

Zoals reeds eerder werd opgemerkt, is het dikwijls gewenst de voeding voor een oscilloskoop te splitsen in twee eenheden, waarbij dan de hoogspanningsvoeding op een extra chassis binnen in het instrument wordt gemonteerd, of zelfs wel als een geheel afzonderlijke eenheid in een eigen kast wordt uitgevoerd. Deze laatste methode wordt dikwijls door amateurs en experimenteerders gevolgd, evenals in laboratoria, scholen en universiteiten en wel, omdat het daardoor mogelijk wordt het voedingsapparaat, dat als zodanig een zeer bruikbaar onderdeel is, in voorkomende gevallen ook nog voor andere doeleinden te gebruiken. Het voedingsapparaat voor de extra hoge spanningen wordt meestal in de katodestraalbuis eenheid ingebouwd.

Met het oog op de zeer hoge spanningen moet grote aandacht worden besteed aan de isolatie vooral daar, waar het het voedingsapparaat betreft.

Een ander belangrijk punt is het vermijden van magnetische strooivelden van de nettransformatoren. Dergelijke velden zullen, als zij tot de katodestraalbuis doordringen, interfereren met de afbuiging van de elektronenstraal en kunnen daardoor het focus beïnvloeden. De nettransformator moet daarom zeer goed zijn, met een buitengewoon kleine magnetische spreiding. Het is mogelijk de invloed van de magnetische strooivelden te verminderen door de transformator zodanig op te stellen, dat het strooiveld niet tot de katodestraalbuis kan doordringen of deze niet onder een ongewenste hoek kan binnentreden. Zo kan b.v. de transformator achter de buis

worden opgesteld en zodanig worden geplaatst, dat een eventueel strooiveld langs de lengte-as van de buis verloopt.

De beste methode echter is de transformator van de katodestraalbuis af te schermen, bij voorkeur met „Mu”-metalen schermen. Deze schermen kunnen worden vervaardigd uit blik, of, zoals dikwijls het geval is bij professionele oscilloskopen: men kan de konus en de hals van de buis omgeven door een „Mu”-metalen omhulsel, dat precies de vorm heeft van de buis.

HOOFDSTUK VI

PRAKTISCHE TOEPASSINGEN VAN DE OSCILLOSKOOP

In hoofdstuk II werden de voornaamste mogelijkheden, die de oscilloskoop ons biedt bij het verrichten van onderzoeken en metingen, reeds zeer in het kort aangehaald. Zij werden als volgt onderverdeeld:

1. Meting van een enkele grootheid.
2. Onderzoek van de verhouding van twee grootheden.
 - a) als een van de twee grootheden de tijd is
 - i) periodieke of herhalende verschijnselen
 - ii) niet herhalende verschijnselen
 - b) als geen van beide grootheden de tijd is.

In hoofdstuk IV werd er de nadruk op gelegd, dat de katodestraaloscilloskoop op zichzelf alleen maar elektrische grootheden kan meten of aantonen, terwijl een aantal typische „opnemers” werden beschreven, waarmee niet-elektrische verschijnselen kunnen worden omgezet in elektrische grootheden.

Uit deze vroegere mededelingen over het gebruik van de oscilloskoop zal het duidelijk zijn geworden, dat het instrument een waardevol stuk gereedschap is, met veel toepassingsmogelijkheden, die tot vrijwel iedere tak van industrie en wetenschap behoren. Van de vele gebruiksmogelijkheden moeten wij ook nog de metingen noemen die nodig zijn bij het ontwerpen, testen en de reparatie van elektrische apparaten, en wel speciaal de elektrische toestellen; het oplossen van mechanische problemen en het onderzoek en testen van materialen in de industrie en ook nog voor de metingen en onderzoeken in verschillende takken van de psychologie en neurologie.

Het is onmogelijk, in een boek als dit, ook maar te trachten alle toepassingen van de katodestraaloscilloskoop op te noemen, want voor een beschrijving daarvan zouden zelfs verschillende boekdelen nodig zijn. In dit hoofdstuk zal danook maar een korte beschrijving worden gegeven van enkele typische voorbeelden uit de voornaamste toepassingsgebieden. De keuze is in hoofdzaak beperkt tot toepassingen, die het meest van belang

zijn voor hen, voor wie dit boek in de eerste plaats is bedoeld, nl. studerenden, de amateurconstructeur, de experimenteerder en de industriële technicus. Enkele van deze voorbeelden zullen zeer eenvoudig zijn en dienen in hoofdzaak als praktische oefening om studerenden enig idee van het gebruik van het instrument te geven. De beschrijving zal in de meeste gevallen zelfs niet voldoende zijn om als handleiding te kunnen dienen in de genoemde gevallen, alleen het algemene principe wordt behandeld. Voor verdere bijzonderheden wordt de lezer verwezen naar de vele gespecialiseerde werken en artikelen over dit onderwerp.

De eenvoudigste toepassing is het gebruik van de oscilloskoop voor het meten van eenvoudige waarden, zoals spanning, stroom en weerstand. Deze methode heeft vrijwel geen praktische waarde, aangezien de goed ingerichte laboratoria of werkplaatsen de beschikking hebben over een collectie ampèremeters, voltmeters en weerstandsmeters van het normale type. Zelfs metingen van capaciteiten, zelfinducties en reactanties, die toch alle mogelijk zijn met behulp van een oscilloskoop, worden slechts zelden daarmee uitgevoerd, omdat ook daarvoor eenvoudige, direct afleesbare instrumenten bestaan.

Deze eenvoudige metingen echter zijn een goede oefening en daarom zijn er hier ook enkele opgenomen. Zij leggen ook de nadruk op het feit, dat de oscilloskoop in feite eigenlijk niets anders is dan een nauwkeurige voltmeter, omdat de afmetingen en de vorm van het beeld op het scherm alleen worden bepaald door de waarden, de golfvorm en de frekwentie van de spanningen, welke aan het afbuigstelsel worden gelegd.

1. IJken van de oscilloskoop

Alvorens de oscilloskoop voor kwantitatieve metingen te gebruiken, is het nodig deze te ijken, zodat de grootte van de afbuiging direct in bruikbare eenheden kan worden afgelezen, of gemakkelijk kan worden omgerekend in de gewenste eenheden. Voor dit doel is het niet voldoende de grootte van de afbuiging in b.v. millimeters te meten en dan uit te rekenen, hoeveel dat is, uitgedrukt in de elektrische eenheid, door gebruik te maken van de waarde voor de afbuiggevoeligheid in mm per volt, zoals de buizenfabrikant die verstrekt. Deze gevoeligheidscijfers, die zijn uitgedrukt in de grootte van de toename van de afbuiging in millimeters per volt afbuig-e.m.k., zijn slechts nominale waarden, die van buis tot buis iets variëren en ook afhankelijk

zijn van de grootte van de hoogspanning op de anode van de buis. Verlaging van deze spanning tot beneden de voorgeschreven waarde, geeft een toename van de afbuiggevoeligheid, terwijl een verhoging van de hoogspanning een geringere gevoeligheid ten gevolge heeft.

De meest gebruikelijke wijze om een oscilloskoop te ijken is de volgende:

1. Maak de tijdbasis los of schakel deze uit (horizontale afbuigspanning).
2. Leg een wisselspanning van een bekende waarde aan de elektrodes voor de horizontale afbuiging. Deze spanning kunnen we het beste via een daarvoor geschikte transformator betrekken van het 50 Hz lichtnet, waarbij we dan de werkelijke waarde van de spanning controleren met behulp van een nauwkeurige voltmeter. Het lichtspoor zal op de buis verschijnen als een rechte horizontale lijn, en de afbuigspanning moet nu zodanig worden ingesteld, dat de lengte van de lijn ongeveer overeenkomt met de diameter van het vlakke gedeelte van het scherm, met vermindering van de zijkanten waar het scherm min of meer is gebogen. Zie fig. 63 (A).
3. Geef de uiteinden van het lichtspoor aan met glaspotlood en verbind deze punten door een rechte horizontale lijn.
4. Verbreek de verbindingen met de horizontale afbuigelektrodes en zet *dezelfde* spanning nu op de elektrodes voor de verticale afbuiging. Nu zal er een verticaal lichtspoor op het scherm verschijnen (zie fig. 63 B). Dit lichtspoor zal langer zijn dan het horizontale, hoewel de afbuigspanning in beide gevallen dezelfde is. De reden hiervoor is,

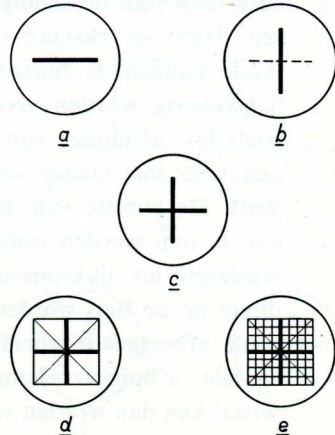


Fig. 63.

A Lichtspoor van een sinusvormige spanning op de horizontale afbuigelektrodes

B Lichtspoor van een sinusvormige spanning op de verticale afbuigelektrodes

C Horizontale en verticale assen voor de aflees-schaal

D Assen en omtrek van de geijkte schaal

E Volledige geijkte schaal.

dat de verticale afbuigelektrodes dichter bij de katode van de buis staan dan de horizontale afbuigelektrodes, waardoor de afbuiggevoeligheid groter is.

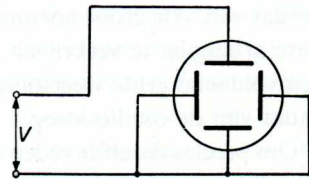
5. Geef ook de uiteinden van dit lichtspoor aan met glaspotlood en verbind ook deze punten. Er ontstaat nu een kruis, zoals in fig. 63 (C) is aangegeven.
6. Teken een rechthoek op het scherm, zodanig dat de armen van het kruis de vier zijden van de rechthoek middendoor delen. Teken nu ook nog de diagonalen van de rechthoek (zie fig. 63 D).
7. Meet de lengte in mm van de horizontale en verticale lijnen. De lengte van de horizontale lijn komt overeen met de piek tot piekwaarde van de aangelegde spanning, dat is dus $2\sqrt{2}$ maal de effectieve waarde. De horizontale afbuiggevoeligheid van het instrument, uitgedrukt in millimeters per volt, wordt dan gevonden door de lengte van de horizontale lijn te delen door 2,82 maal de effectieve waarde van de voor de ijking gebruikte spanning. Op overeenkomstige wijze is ook de lengte van de verticale lijn $2\sqrt{2}$ maal de effectieve waarde van de afbuigspanning, zodat de verticale afbuiggevoeligheid op overeenkomstige wijze kan worden berekend. Hierna vergelijken we de gevonden waarden even met de fabrieksgegevens van de betreffende buis in onze oscilloscoop om te zien of de gemeten afbuiggevoeligheden op redelijke wijze overeenstemmen met de nominale waarden.
8. Nu blijft nog over een bruikbare schaalverdeling te maken, waarop de grootte van de afbuigingen en spanningen kunnen worden afgelezen. Hiervoor bestaan twee mogelijkheden. Volgens de eerste methode kunnen de horizontale en verticale zijden van de rechthoek nauwkeurig worden verdeeld in centimeters of kleinere eenheden, zoals b.v. afstanden van 5 mm. De overeenkomstige punten worden dan weer met elkaar verbonden op de wijze zoals fig. 63 (E) aangeeft. De grootte van de horizontale en verticale afbuiging kunnen dan in mm worden gemeten en de bijbehorende spanningen worden afgelezen uit ijk-krommen. Eventueel kunnen de spanningen ook direct op de buis worden aangegeven. Stel b.v., dat de gemeten verticale afbuiggevoeligheid 0,25 mm/V bedraagt en de gemeten horizontale afbuiggevoeligheid 0,20 mm/V. De verticale spanningschaal kan dan worden verkregen door onder en boven de as horizon-

tale lijnen te trekken op onderlinge afstanden van 5 mm, waardoor iedere deelstreep een waarde van 20 volt vertegenwoordigt. Op overeenkomstige wijze kan de horizontale schaalverdeling worden gemaakt door het trekken van verticale lijnen op afstanden van 4 mm aan beide zijden van de as. Ook deze deelstrepen zullen dan overeenkomen met 20 volt.

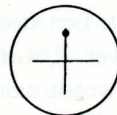
Een dergelijke schaal, getekend met glaspotlood op de voorzijde van de buis is zeer zeker niet erg nauwkeurig en houdbaar. Maar wanneer de horizontale en verticale assen van de rechthoek op de bovenbeschreven wijze zijn vastgesteld, kunnen we de metingen overbrengen op een plaatje dun perspex of ander transparant materiaal en dan daarop met oost indische inkt de schaalverdeling verder aanbrengen. Nog beter is het deze in het perspex te graveren. Het plaatje perspex kan dan voor de buis worden bevestigd. Er moet op worden gewezen, dat deze ijking alleen maar klopt bij de hoogspanning, die tijdens de meting werd gebruikt, en het is dan ook aan te bevelen meteen even op de schaalverdeling aan te geven, bij welke spanning deze werd gemaakt.

2. Enkele eenvoudige metingen

Nadat de oscilloscoop is voorzien van een geijkte schaal, kunnen enkele eenvoudige metingen worden uitgevoerd, teneinde enige ervaring in het gebruik van het instrument op te doen. De eenvoudigste meting is natuurlijk de spanningsmeting. De te meten spanning wordt aangesloten tussen de elektrodes voor de verticale afbuiging, terwijl de beide horizontale af-



a



b



c

Fig. 64. a) Aansluitingen van het afbuigstelsel voor het meten van spanningen
 b) Lichtspoor als V een gelijkspanning is
 c) Lichtspoor als V een wisselspanning is

buigelektrodes met elkaar en met een van de elektrodes voor de verticale afbuiging worden verbonden. Dus zoals is aangegeven in fig. 64. De tijdbasisspanning wordt hierbij uitgeschakeld. Wanneer de te meten spanning een gelijkspanning is, zal het lichtspoor bestaan uit een enkele stip, waarvan de hoogte boven of onder de horizontale as dan een maat is voor de spanning in volts. Bij een wisselspanning zal het lichtspoor een verticale lijn zijn, waarvan de lengte de piek tot piek waarde van de spanning aangeeft. Is het een sinusvormige spanning, dan is de effectieve waarde te berekenen met behulp van de volgende formule:

$$V_{\text{eff}} = V_{\text{piek}} \times 0,707 \text{ of } V_{\text{piek-piek}} \times 0,354$$

Voor de stroommetingen wordt de schakeling van fig. 65 gebruikt, waarbij de oscilloscoop in werkelijkheid het spanningsverlies meet over de bekende weerstand R , die in de kring is opgenomen. De stroom is dan te berekenen met behulp van de formule $I = E/R$. Zoals reeds eerder werd

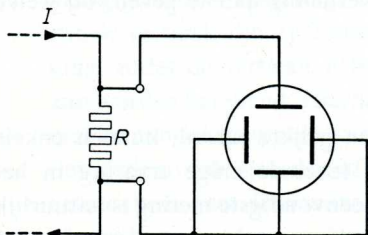
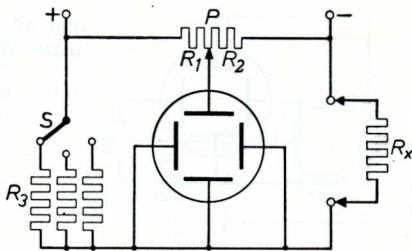


Fig. 65. Aansluitingen van het afbuig-systeem voor het meten van stromen.

opgemerkt, heeft deze meting geen enkele praktische waarde, voornamelijk omdat een vrij groot spanningsverlies in R noodzakelijk is om een afleesbare afbuiging te verkrijgen, en er zijn slechts weinig schakelingen, waarin een voldoende grote weerstand kan worden opgenomen om dienst te doen als shunt van de oscilloscoop.

Om precies dezelfde reden is de oscilloscoop ook geen geschikt instrument voor het meten van weerstanden van een geringe waarde. De schakeling van fig. 65 moet ook daarvoor worden gebruikt, waarbij dan R de te meten weerstand voorstelt. Een stroom van bekende sterkte vloeit door R , en het spanningsverlies over R wordt met behulp van de oscilloscoop gemeten. De waarde van R wordt dan berekend met behulp van de Wet van Ohm: nl. $R = E/I$. De oscilloscoop is echter heel geschikt voor het met voldoende

Fig. 66. Brugschakeling voor het meten van grote weerstanden
Bij evenwicht is $R_x = R_2 \times R_3/R_1$



nauwkeurigheid meten van hoge weerstanden. De schakeling daarvoor is aangegeven in fig. 66, die onmiddellijk zal worden herkend als een toepassing van de brug van Wheatstone. Hierin is P een geijkte potentiometer, die de takken R_1 en R_2 van de brug vormt. R_3 is een bekende weerstand, waarvan de waarde kan worden gekozen met behulp van de schakelaar S . De vierde tak van de brug vormt de te meten weerstand. De potentiometer P wordt zodanig ingesteld, dat geen afbuiging op het scherm te zien is. De waarde van de onbekende weerstand wordt dan berekend met behulp van de volgende formule:

$$R_x = R_2 \times \frac{R_3}{R_1}$$

Hoewel deze eenvoudige metingen van weinig belang zijn voor de praktijk, vormen zij toch dikwijls de basis voor interessante toepassingen bij het onderzoeken van vele soortgelijke onderdelen.

3. Metingen van de fazeverhouding

De meting van het fazeverschil tussen twee wisselspanningen met dezelfde frekwentie is een belangrijke toepassing van de katodestraaloscilloscoop. Een van de spanningen wordt gelegd aan de horizontale afbuigelektrodes en de andere aan de elektrodes voor de verticale afbuiging, terwijl een van de elektrodes van het ene paar wordt doorverbonden met een elektrode van het andere paar, zoals is aangegeven in fig. 67. Aangezien de ene spanning een horizontale lijn op het scherm wil maken en de andere een verticale, zullen beide spanningen tezamen een schuine lijn opleveren, *vooropgesteld, dat beide spanningen in fase of in tegenfase zijn*. De helling van de lijn hangt af van de relatieve amplitudes van de beide te onderzoeken spanningen. Hebben de beide spanningen een andere fazeverhouding, dan zal het licht-

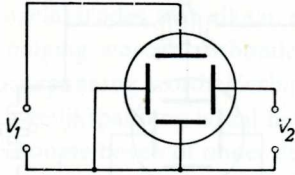


Fig. 67. Aansluitingen van het afbuigstelsel voor het meten van faseverhoudingen.

spoor een ellips vormen. De helling van de grote as van de ellips hangt nu af van de relatieve amplitudes van de beide spanningen. Er van uitgaande, dat de katodestraaloscilloscoop zodanig is aangesloten, dat een positieve horizontale afbuigspanning de lichtstip naar rechts beweegt en een positieve verticale afbuigspanning naar boven, zijn een aantal typische voorbeelden voor verschillende fasehoeken getekend in fig. 68.

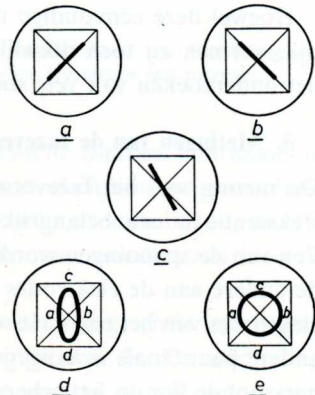
De werkelijke fasehoek kan worden bepaald door eerst de beide afbuigspanningen even groot te maken en dan de grote en de kleine as van de ellips op te meten. De fasehoek is dan:

$$\phi = 2 \operatorname{bgtg} \frac{\text{langte van de kleine as}}{\text{langte van de grote as}} \quad \text{of, uit fig. 68 (d):}$$

$$\phi = 2 \operatorname{bgtg} ab/cd$$

Fig. 68. Typische lichtsporen voor de faseverschuiving tussen twee sinusvormige spanningen.

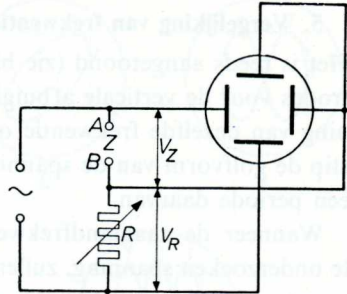
- spanningen met gelijke amplituden in fase ($\Phi = 0$)
- spanningen met gelijke amplituden in tegenfase ($\Phi = 180^\circ$)
- spanningen met verschillende amplituden in tegenfase ($\Phi = 180^\circ$)
- spanningen met gelijke amplituden.
 $\Phi = 2 \operatorname{bgtg} (ab/cd)$
- spanningen met gelijke amplituden loodrecht op elkaar ($\Phi = 90^\circ$)



4. Meting van capaciteit, zelfinductie en reactantie

De hierboven beschreven brugmethode voor het meten van grote weerstanden is tevens de basis voor het bij benadering meten van capaciteiten,

Fig. 69. Aansluitingen van het afbuigstelsel voor het meten van een reactantie. R is een geijkte weerstand. Een weerstand van bekende grootte, die later vervangen wordt door de te meten condensator of zelfinductie, is aangesloten tussen A en B .



zelfinducties en reactanties. De opstelling is dan zoals is aangegeven in fig. 69, waarbij dan gebruik wordt gemaakt van het scherm met de geijkte schaalverdeling. In deze schakeling is Z een weerstand van ongeveer $40\text{ k}\Omega$ en R een, van een geijkte schaalverdeling voorziene, variabele weerstand. Een wisselspanning met bekende frequentie (b.v. van het wisselstroomnet) wordt op de schakeling aangesloten en R wordt zodanig ingesteld, dat het lichtspoor op het scherm precies samenvalt met een diagonaal van de schaalverdeling op de buis. In dit geval is $V_R = V_Z$.

De uiteinden van deze lijn worden nu met glaspotlood aangegeven en door deze punten wordt een rechthoek getekend, zodanig, dat het lichtspoor er de diagonaal van vormt (zie fig. 70 A). Weerstand Z wordt nu vervangen door de capaciteit of zelfinductie, die moet worden gemeten en weerstand R opnieuw ingesteld, en wel zodanig dat het lichtspoor, dat nu ellipsvormig kan zijn, precies binnen de getekende rechthoek valt (fig. 70 B).

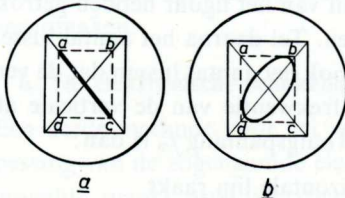


Fig. 70.

A $a-c$ is het lichtspoor als Z in fig. 69 een ohmse weerstand is en de variabele weerstand R zodanig is ingesteld dat $V_R = V_Z$

B Lichtspoor als Z in fig. 69 de te onderzoeken condensator of zelfinductie is en de variabele weerstand R zodanig is ingesteld dat $V_R = V_Z$

De reactantie van de capaciteit of de zelfinductie is dan gelijk aan de waarde van R , terwijl de capaciteit of de zelfinductie berekend kunnen worden met behulp van de volgende formules:

$$C = 1/2\pi fR \text{ of } L = R/2\pi f$$

5. Vergelijking van frekwenties

Het is reeds aangetoond (zie blz. 8) dat als een wisselspanning op de elektrodes voor de verticale afbuiging wordt aangesloten en een zaagtandspanning van dezelfde frekwentie op de horizontale afbuigelektrodes, de lichtstip de golfvorm van de spanning op het scherm zal tekenen en wel precies een periode daarvan.

Wanneer de zaagtandfrekwentie de helft is van de frekwentie van de te onderzoeken spanning, zullen er twee perioden op het scherm verschijnen enz. Is echter een goed geijkte zaagtandgenerator met instelbare frekwentie beschikbaar, dan is het mogelijk, door de zaagtandfrekwentie te veranderen, de frekwentie te meten van de spanning welke aan het verticale afbuigstelsel is gelegd.

Een andere methode is, om in plaats van een zaagtandvormige horizontale afbuigspanning, gebruik te maken van een sinusvormige of praktische sinusvormige golfvorm. In de paragraaf met het opschrift „Metingen van de fazeverhouding” (blz. 85) is aangetoond, dat als wisselspanningen met dezelfde frekwentie, maar met een zekere fazeverschuiving, aan de afbuigelektrodes worden gelegd, het resultaat een eenvoudig gesloten figuur zal zijn — een ellips of cirkel. Worden nu spanningen met verschillende frekwenties gebruikt, dan worden lichtsporen ingewikkelder van vorm — de z.g. figuren van Lissajous — op het scherm getekend. De verhouding van de beide frekwenties kan daaruit dan worden bepaald. Hoe dat geschiedt, kan het beste worden verklaard aan de hand van fig. 71, waarin een stel veel voorkomende figuren zijn getekend. Veronderstel, dat we een horizontale en een verticale lijn langs de top en de zijkant van het figuur hebben getrokken op de wijze zoals in fig. 71 is aangegeven. Tel daarna het aantal lussen in de figuur dat de horizontale lijn raakt, en ook het aantal lussen dat de verticale lijn raakt. De verhouding tussen de frekwentie van de verticale afbuigspanning f_y en die van de horizontale afbuigspanning f_x is dan:

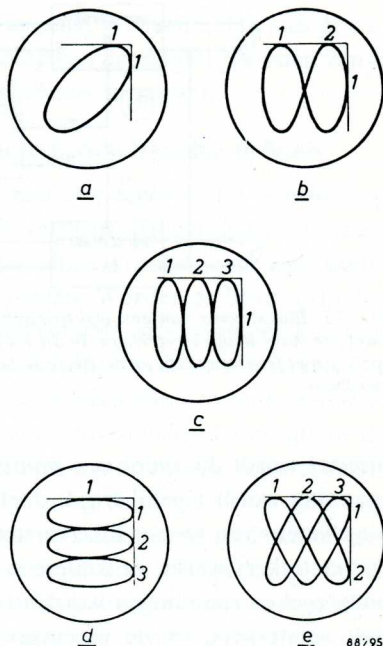
$$\frac{f_y}{f_x} = \frac{\text{aantal lussen dat de horizontale lijn raakt}}{\text{aantal lussen dat de verticale lijn raakt}}$$

Dus voor fig. 71 geldt: (a) is het lichtspoor als $f_y = f_x$; (b) geeft de vorm aan van het lichtspoor als $f_y/f_x = 2$; (c) is voor $f_y/f_x = 3$; (d) is voor $f_y/f_x = 1/3$; en (e) als $f_y/f_x = 3/2$.

Wanneer òf f_y òf f_x bekend is, kan de andere frekwentie worden bere-

Fig. 71. Kenmerkende figuren van Lissajous voor verschillende frekwentieverhoudingen f_y/f_x

- a) $f_y = f_x$
- b) $f_y/f_x = 2$
- c) $f_y/f_x = 3$
- d) $f_y/f_x = 1/3$
- e) $f_y/f_x = 3/2$



kend. Deze methode voldoet goed, als de frekwentieverhoudingen klein zijn en òf gehele getallen òf eenvoudige verhoudingen zijn zoals $3/2$ of $7/4$. Maar voor grotere of ingewikkelder verhoudingen wordt het moeilijk het aantal lussen nauwkeurig te tellen, vooral wanneer de golfvormen een aantal harmonischen bevatten, die een vervorming van de figuren van Lissajous veroorzaken.

6. De elektronische schakelaar

Een derde methode voor het vergelijken van frekwenties berust op de toepassing van de zogenaamde elektronische schakelaar; een apparaat, dat het mogelijk maakt twee lichtsporen tegelijkertijd op een enkel scherm zichtbaar te maken, door afwisselend twee verticale afbuigspanningen aan te leggen met tussenpozen die kort zijn vergeleken met de nalichttijd van het schermmateriaal. De elektronische schakelaar is een zo nuttig hulpmiddel bij de katodestraaloscilloscoop, dat het van belang is er hier wat verder op in te gaan. Het apparaat bevat een generator voor een kanteelspanning —

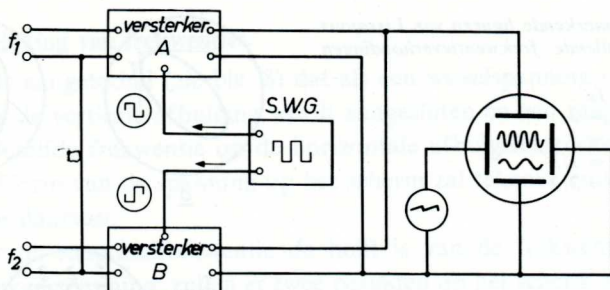


Fig. 72. Blokschema van een elektronische schakelaar. SWG is een kanteelspanningsgenerator, en A en B zijn versterkers. In dit voorbeeld zijn de ingangsspanningen van A en B sinusvormig met frequenties f_1 en f_2 . Beide sinussen worden op het scherm van de katodestraalbuis zichtbaar.

meestal wordt daarvoor een multivibratorschakeling gebruikt. De kanteelspanning wordt tegelijkertijd, doch in tegenfase, toegevoerd aan de bedieningsketens van twee gelijke versterkers (zie fig. 72), zodat wanneer een van de versterkers werkt, de andere is dichtgedrukt en omgekeerd. De twee te onderzoeken spanningen worden toegevoerd aan de ingangskringen van de twee versterkers, en de uitgangen van de versterkers verbonden met de verticale afbuigelektrodes. Hierdoor ontstaan na elkaar twee lichtsporen op het scherm, die worden herhaald in een frequentie, die gelijk is aan de frequentie van de kanteelspanning. Dank zij het nalichten van het fosfor op het scherm zullen beide lichtsporen tegelijk door ons oog worden waargenomen.

Bij toepassing van de elektronische schakelaar voor het vergelijken van frequenties wordt de spanning, waarvan men de frequentie wil weten, via een tak van de elektronische schakelaar gelegd aan de verticale afbuigelektrodes, terwijl een spanning met een bekende (bij voorkeur instelbare) frequentie via de andere tak van de elektronische schakelaar op de verticale afbuigelektrodes wordt aangesloten. De beide lichtsporen zien er dan b.v.

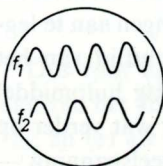


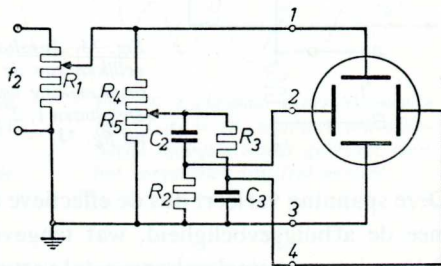
Fig. 73. Dubbel lichtspoor, verkregen door aan te sluiten op de wijze zoals in fig. 72 is getekend. De verhouding tussen f_1 en f_2 kan worden gevonden door het aantal complete perioden te tellen in een bepaalde lengte van ieder lichtspoor.

uit als in fig. 73 is aangegeven. Is nu de frequentie f_2 bekend, dan kan de frequentie f_1 worden berekend uit de verhouding van het aantal perioden van f_1 en f_2 , dat op een bepaalde lengte van de tijdbasis verschijnt.

7. Toepassingen met gebruikmaking van een cirkelvormige tijdbasis

Wanneer twee sinusvormige spanningen met een fazeverschil van 90° op de elektrodes voor de horizontale, resp. de verticale afbuiging, worden aangesloten, dan zal het lichtspoor een gesloten ellipsvormige figuur zijn, waarvan de beide assen horizontaal en verticaal staan. Worden de beide spanningen zodanig ingesteld, dat de maximale horizontale afbuiging gelijk is aan de maximale verticale afbuiging, dan gaat de ellips over in een cirkel. Dit cirkelvormige lichtspoor is in werkelijkheid de baan van een langs een cirkelvorm bewegende lichtstip, die precies een omwenteling beschrijft in de tijd van een volledige periode van de aangelegde spanning. De hoekverplaatsing van de lichtstip is dus evenredig met de tijd en de straal is evenredig met de piekwaarde van de afbuigspanning. Tenslotte kan het verschijnen of verdwijnen van een lichtende stip worden geregeld door de spanning, welke tussen de katode en het eerste rooster van de katodestraalbuis wordt gelegd. Een dergelijk cirkelvormig lichtspoor kan een zeer bruikbare tijdbasis zijn voor een zeer groot aantal verschillende toepassingen.

Fig. 74. Principeschema voor het verkrijgen van een cirkelvormige tijdbasis. R_1 bepaalt de straal van het lichtspoor $R_2 = 1/2\pi f C_2$ $R_3 = 1/2\pi f C_3$ R_4 R_5 is een potentiometer, waarmee het lichtspoor zuiver cirkelvormig kan worden ingesteld.



Het principe van het opwekken van een cirkelvormige tijdbasis is aangegeven in fig. 74. Hier wordt een wisselspanning aangesloten op de ingangsklemmen. De frequentie van deze wisselspanning bepaalt de tijd overeenkomende met een hoekverplaatsing van de lichtstip van 360° . De potentiometer R bepaalt de straal van het lichtspoor, hoewel, zoals later zal worden aangetoond, het ook zo kan worden ingericht dat de straal wordt beïnvloed

door een signaal, dat aan de anode van de buis wordt gelegd, of aan een van de afbuigkringen. De twee combinaties R_2, C_2 en R_3, C_3 waarvan $R = 1/2\pi fC$ zorgen voor de 90° faseverschuiving tussen de horizontale en verticale afbuigspanningen, terwijl de potentiometer R_4-R_5 dienst doet voor het compenseren van het verschil tussen de horizontale en de verticale afbuiggevoeligheid, waardoor een zuiver cirkelvormig lichtspoor ontstaat.

Enkele typische voorbeelden van het gebruik van een cirkelvormige tijdbasis worden hieronder gegeven.

8. Vergelijken van frekwenties

a) De gebruikte opstelling is in fig. 75 aangegeven. De frekwentie van de tijdbasis moet enige malen kleiner zijn dan die van de te onderzoeken spanning. De te onderzoeken spanning wordt nu aangesloten tussen de punten A en B , dat wil zeggen tussen het afbuigstelsel en de anode van de buis.

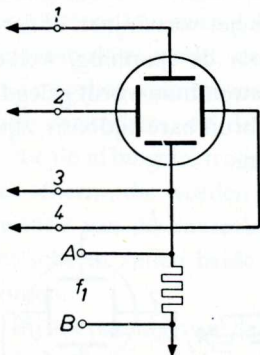
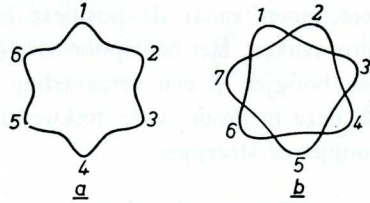


Fig. 75. Aansluitingen van het afbuigstelsel voor het vergelijken van de frekwenties van twee spanningen met gebruikmaking van een cirkelvormige tijdbasis.

De punten 1, 2, 3, 4 komen overeen met de punten 1, 2, 3, 4 uit fig. 74.

Deze spanning varieert dus de effectieve anodespanning van de buis en daarmee de afbuiggevoeligheid, wat tengevolge heeft, dat de omtrek van het lichtspoor een aantal golvingen zal vertonen, een voor iedere periode van de te onderzoeken spanning. Het aantal golvingen geeft de verhouding aan tussen de signaalfrekwentie f_1 en de tijdbasisfrekwentie f_2 . Zo is bijvoorbeeld in fig. 76 (a) de verhouding $f_1/f_2 = 6$. Ontstaat een dubbel lichtspoor, dan is de verhouding gelijk aan het aantal golvingen gedeeld door 2; voor een driedubbel lichtspoor moet het aantal golvingen worden gedeeld door 3 om de juiste frekwentieverhouding te vinden. Zo is deze b.v. in fig. 76 (b) gelijk aan $\frac{7}{2}$.

Fig. 76. Lichtsporen geldende voor (a) $f_1/f_2 = 6$ en (b) $f_1/f_2 = 7/2$, wanneer gewerkt wordt met een cirkelvormige tijdbasis.



b) Eventueel kan de signaalspanning, waarvan de frequentie f_1 is, zoals fig. 77 aangeeft, in serie worden aangesloten met een paar van de afbuigelektrodes. Het lichtspoor zal dan een elliptische vorm krijgen, waarop golven voorkomen zoals deze in fig. 78 zijn aangegeven. De frequentieverhouding wordt op dezelfde wijze berekend als bij de methode met een cirkelvormige tijdbasis, waarbij er mee moet worden rekening gehouden, dat alleen het aantal naar boven gerichte golftoppen moet worden geteld.

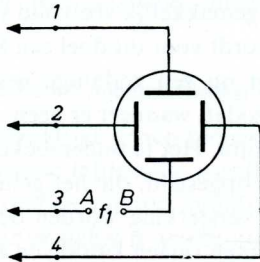


Fig. 77. Aansluitingen van het afbuigstelsel voor het vergelijken van frequenties met een elliptische tijdbasis. De punten 1, 2, 3, 4 komen overeen met de punten 1, 2, 3, 4 uit fig. 74.

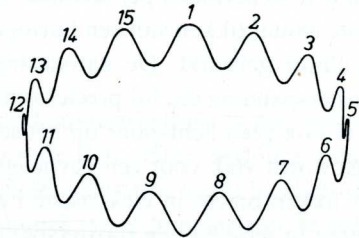


Fig. 78. Lichtspoor overeenkomende met $f_1/f_2 = 15$, wanneer een elliptische tijdbasis wordt gebruikt voor het vergelijken van frequenties.

c) De straalonderdrukkingsmethode is de laatste van de hier te beschrijven methoden voor het vergelijken van frequenties. De oscilloscoop wordt op de bekende wijze ingesteld voor een cirkelvormige tijdbasis, maar het eerste rooster van de buis krijgt een hoge negatieve voorspanning — ongeveer tot aan het afknijppunt. De te onderzoeken spanning wordt, na zodanig te zijn versterkt, in serie met de negatieve voorspanning aangesloten tussen katode en het rooster van de buis. Gedurende de negatieve halve perioden van het signaal zal nu geen lichtspoor op het scherm van de buis

verschijnen, maar de positieve halve perioden zullen wel een lichtspoor veroorzaken. Het lichtspoor zal dan verschijnen als een serie van onderbroken boogjes of een verzameling streepjes, zoals is aangegeven in fig. 79. Bij deze methode is de frekwentieverhouding weer gelijk aan het aantal boogjes of streepjes.



Fig. 79. Lichtspoor overeenkomende met $f_1/f_2 = 6$, wanneer een cirkelvormige tijdbasis met straalmodulatie wordt toegepast.

9. Het controleren van horloges

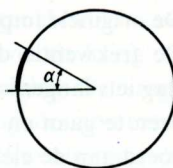
Dezelfde methode wordt gevolgd bij het reguleren van horloges. De cirkelvormige tijdbasis wordt op een zeer nauwkeurig gehouden snelheid ingesteld van b.v. 30 perioden per seconde, of een ander gemakkelijk veelvoud van het juiste aantal tikken van een horloge. Meestal wordt voor dit doel een kristal-oscillator gebruikt. De katodestraalbuis krijgt nu een zodanige negatieve roosterspanning dat hij precies is afgeknepen, zodat, wanneer er geen signaal is, er ook geen lichtspoor op het scherm verschijnt. Het te onderzoeken horloge wordt vlak voor een gevoelige microfoon opgesteld, die het geluid van het tikken omzet in elektrische impulsen. Na versterking worden deze impulsen in serie met de roosterspanning aangesloten tussen katode en rooster van de buis, waardoor iedere tik in de vorm van een lichtstip zichtbaar zal worden. Wanneer het horloge goed is gereguleerd, zullen de stippen op hun plaats blijven staan. Beweging van de stip in de richting van de wijzers van een uurwerk of in tegengestelde richting geeft aan dat het horloge voor- resp. achterloopt.

10. Controle van de sluitersnelheid van camera's

De cirkelvormige tijdbasis wordt ook gebruikt bij een van de vele methoden, die er bestaan om de belichtingstijd van de sluiters van een camera te meten. Bij deze toepassing wordt de tijdbasis ook weer nauwkeurig op een bekende frekwentie gehouden — b.v. 50 perioden per seconde. Dat wil zeggen, dat de hoekverplaatsing van de lichtstip 360° in $1/50$ seconde bedraagt of 180° in $1/100$ seconde enz. Wordt nu een foto van het scherm genomen, waarbij

Fig. 80. Kenmerkend lichtspoor bij het controleren van de sluitersnelheid van camera's met gebruikmaking van een cirkelvormige tijdbasis. Wanneer de tijdbasisfrequentie 50 Hz is, doorloopt de lichtstip 360° in $1/50$ seconde. De sluitersnelheid is dan:

$$1/50 \times \alpha / 360^\circ \text{ sec.}$$



de te onderzoeken sluitersnelheid wordt gebruikt voor de belichting, dan kan de belichtingstijd, dat is de sluitersnelheid, worden bepaald door de hoek te bepalen, welke wordt omspannen door het boogvormige lichtspoor (zie fig. 80). Voor zeer grote sluitersnelheden moet een hogere tijdbasisfrequentie worden genomen, aangezien het moeilijk is zeer kleine hoeken met voldoende nauwkeurigheid te meten. Het is vanzelfsprekend dat een katodestraalbuis met zeer korte nalichttijd voor deze controle van de sluitersnelheid moet worden gebruikt. Is de nalichttijd zelfs maar van een gemiddelde waarde, dan zal de berekende belichtingstijd reeds langer zijn dan de werkelijke, waarbij deze toename ongeveer gelijk zal zijn aan de nalichttijd van de fosfor.

11. „Echo” meetmethoden

Een belangrijke groep toepassingen van de katodestraalbuis is die, waarbij de gewenste informatie wordt bepaald door de tijd, welke verloopt tussen het uitzenden van een impuls en het ontvangen daarvan, nadat hij door een of ander obstakel is gereflecteerd. Deze techniek is het principe van de radar en vele andere hulpmiddelen voor de scheepvaart. Dit zeer gespecialiseerde gebied valt buiten het bestek van dit boek, slechts een industriële toepassing van deze echo-techniek, namelijk het opsporen van mechanische fouten in materialen zal worden behandeld.

12. Opsporen van gietgallen

Bij een van de methoden om gietgallen op te sporen wordt een mechanische stoot met een ultrasonore frequentie, die wordt opgewekt door een overeenkomstige elektrische impuls aan een kristal toe te voeren, overgebracht op een van de zijden van het te onderzoeken materiaal. De stoot plant zich via het materiaal voort, wordt door de tegenoverliggende zijde gereflecteerd en keert dan terug naar de eerste zijde, waar hij wordt opgevangen door b.v. een piëzo-kristal opnemer en daarin wordt omgezet in een elektrische impuls.

De originele impuls stelt een normale zaagtandtijdbasisspanning in werking. De frekwentie daarvan wordt zodanig gekozen, dat de periode van een slag iets langer is dan de tijd, die de stoot nodig heeft, om door het materiaal heen te gaan en weer terug te keren. De terugkerende impuls wordt toegevoerd aan de elektrodes voor de verticale afbuiging en veroorzaakt dan een afwijking in de tijdbasislijn, zoals in fig. 81 (a) is aangegeven. Is er echter een gietgal of een andere opening in het materiaal dan zal er een secundaire echo worden ontvangen vóór de werkelijke echo (zie fig. 81 b). De plaats van de fout kan dan nauwkeurig worden bepaald door meting van de relatieve afstand van de impulsen op het scherm.

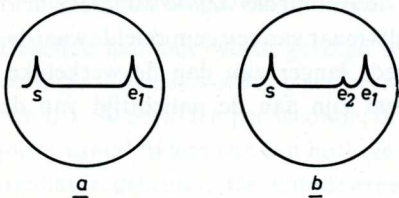


Fig. 81. Typische lichtsporen bij het onderzoek van materialen op scheuren, gietgallen e.d. waarbij wordt gebruik gemaakt van de echomethode met ultrasonische impulsen.

- a) toegevoerde impuls (s) en echo (e_1) als er geen fouten in het materiaal zitten.
- b) toegevoerde impuls (s), hoofdecho (e_1) en secundaire echo (e_2) die de gietgal aangeeft. De afstand (s - e_1) geeft de dikte van het materiaal aan, terwijl de afstand (s - e_2) overeenkomt met de diepte, waarop de gietgal ligt.

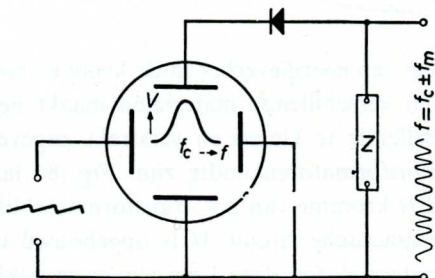
13. Resonantiekrommen van trillingskringen

De katodestraaloscilloscoop is een waardevol hulpmiddel bij het onderzoeken en de service van elektrische apparaten en wel speciaal van radio- en televisietoestellen. Slechts een enkel voorbeeld van deze toepassingen zal worden gegeven: er zijn er namelijk zoveel, dat daarover alleen al wel een heel boek zou kunnen worden geschreven. Dit voorbeeld zal dan zijn het onderzoek van de resonantiekromme van een afgestemde kring, zoals b.v. nodig is bij het instellen van de hoogfrequent- en middenfrequentkringen van een ontvanger. Voor dit doel is het nodig een signaal op te wekken waarvan de frekwentie regelmatig wordt gevarieerd boven en onder een bekende grondfrekwentie, waarvan de waarde dan weer instelbaar moet zijn. Dit frekwentie gemoduleerde signaal kan bijvoorbeeld worden verkregen met behulp van een combinatie van een normale geijkte oscillator en een reactantiebuis, waarbij dan de reactantiebuis wordt gestuurd door de tijd-basisspanning. Een dergelijke schakeling noemt men soms een „wobbler”

(frequentiemodulator). Het frequentie gemoduleerde signaal wordt aan de te onderzoeken kring toegevoerd en de spanning die over de kring optreedt, wordt aangesloten op de elektrodes voor verticale afbuiging. De hoogte van het lichtspoor varieert ieder moment overeenkomstig de momentele waarde van de signaalfrequentie. Aangezien de tijdbasisfrequentie vergrendeld is met de frequentiemodulatie, zullen de afstanden langs de horizontale basis evenredig zijn met de momentele frequentie, zodat de lichtstip de resonantiekromme van de te onderzoeken kring op het scherm zal schrijven (zie fig. 82.)

Fig. 82. Aansluitingen van het afbuig-systeem voor het opnemen van resonantiekrommen van trillingskringen met behulp van een frequentiegemoduleerd signaal.

De momentele frequentie f varieert tussen $f_c + f_m$ en $f_c - f_m$ waarin f_c de gemiddelde of draaggolfrequentie en f_m de maximale grootte van de modulerende frequentie is.



14. Opnemen van de hysteresislus

Het lichtspoor in de vorm van een resonantiekromme, zoals dat hierboven werd beschreven, is slechts een van het haast oneindig grote aantal toepassingen, waarbij het verband tussen twee variabele grootheden moet worden opgetekend. Als laatste voorbeeld zal nu nog worden beschreven, op welke wijze de hysteresislus van verschillende magnetische materialen kan worden opgenomen. Het verband, dat moet worden getekend, is dat tussen de magnetiserende kracht (H) en de magnetische flux (B). Wanneer de magnetiserende kracht in één richting wordt verhoogd van nul tot een zeker maximum, daarna wordt teruggebracht tot nul en weer verhoogd tot hetzelfde maximum, maar in tegengestelde richting en dan weer tot nul wordt teruggebracht, zullen de veranderingen van het magnetisme najlen op de veranderingen van de magnetiserende kracht. Worden deze twee hoeveelheden uitgezet, zoals in fig. 83 is aangegeven, dan zal de kromme een lusvorm vertonen. Het gebied dat door de lus wordt ingesloten, vertegenwoordigt

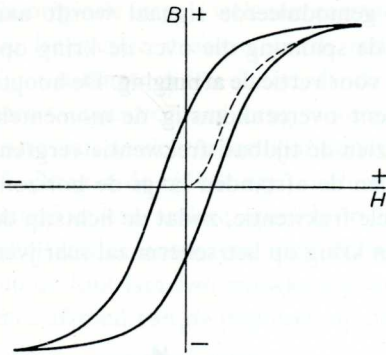


Fig. 83. Typische vorm van een B/H kromme van magnetisch materiaal

dig een energieverlies in de kring en een bestudering van de B/H krommen van verschillende materialen maakt het mogelijk daaruit het meest doeltreffende te kiezen en verstrekt gegevens, die bij berekeningen, b.v. van transformatoren nodig zijn. Fig. 84 laat een opstelling zien, waarmee de B/H kromme van b.v. transformatorblik kan worden bepaald. Het gesloten magnetische circuit M is opgebouwd uit plaatjes van het te onderzoeken materiaal. Op deze kern zijn twee wikkelingen aangebracht en wel A , die is aangesloten op een wisselstroom, die via een transformator van het lichtnet wordt betrokken en B , waarin een elektromotorische kracht wordt opgewekt tengevolge van de wisselende magnetiserende stroom door A . De spanningsval over de weerstand R_1 is evenredig met de magnetiserende stroom en wordt toegevoerd aan de horizontale afbuigelektrodes. De spanning welke over B ontstaat, is echter niet evenredig met de magnetische flux in de kern M , maar met de mate waarin de magnetische krachtstroom verandert. Door deze spanning aan de serieschakeling van de weerstand R_2 en de condensator C toe te voeren, zal echter de spanning over C evenredig

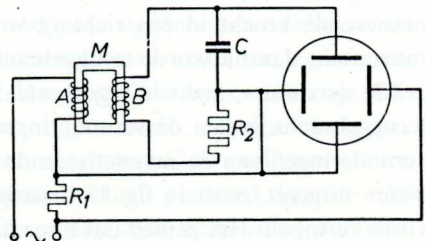


Fig. 84. Principeschema voor de aansluitingen van het afbuigstelsel wanneer een hysteresislus wordt opgenomen.

zijn met de flux, en kan danook, na versterkt te zijn, worden toegevoerd aan de verticale afbuigelektrodes. De combinatie van R_2 en C staat bekend als een integrerend filter en om goed te functioneren moeten de waarden van R_2 en C zodanig worden gekozen, dat de reactantie van C , bij de voor de proef gebruikte frekwentie, klein is vergeleken met de weerstand van R_2 .

HOOFDSTUK VII

NORMALE KATODESTRAALBUIZEN VOOR OSCILLOSKOPEN

De volgende bladzijden bevatten korte gegevens over de volledige serie katodestraalbuizen, welke voor het gebruik in oscilloskopen geschikt zijn. Ze zijn verkrijgbaar in afmetingen, liggende tussen een scherm van 4 cm diameter en een scherm van 13 cm diameter. Van iedere afmeting bestaan er verschillende typen schermmateriaal, waarvan de kleur van het lichtspoor en de nalichttijd verschillend zijn.

Gegevens over de afmetingen en de eigenschappen van het scherm worden verstrekt door het typenummer van de buizen. Het typenummer bestaat uit twee letters gevolgd door een aantal cijfers.

De eerste letter, D betekent, dat de buis voorzien is van elektrostatische focusering en afbuiging.

De tweede letter, die een B, G, R of P kan zijn, geeft het soort schermmateriaal aan volgens de volgende code:

Schermtypen B geeft een blauw lichtspoor van grote aktinische sterkte en is daarom speciaal geschikt voor fotografische reproductie. Het beeld blijft niet lang nalichten, het valt na het verdwijnen van de elektronenstraal binnen 20 milliseconden terug tot 0,1 % van de maximale helderheid.

Schermtypen G geeft een groen lichtspoor en verdient de voorkeur bij visuele waarnemingen, omdat het goed contrasteert bij normale verlichting. Verder blijft het lichtspoor wat langer zichtbaar dan dat van het B-scherm. Het valt na het verdwijnen van de elektronenstraal in 48 milliseconden terug tot op 0,1 % van de maximale helderheid.

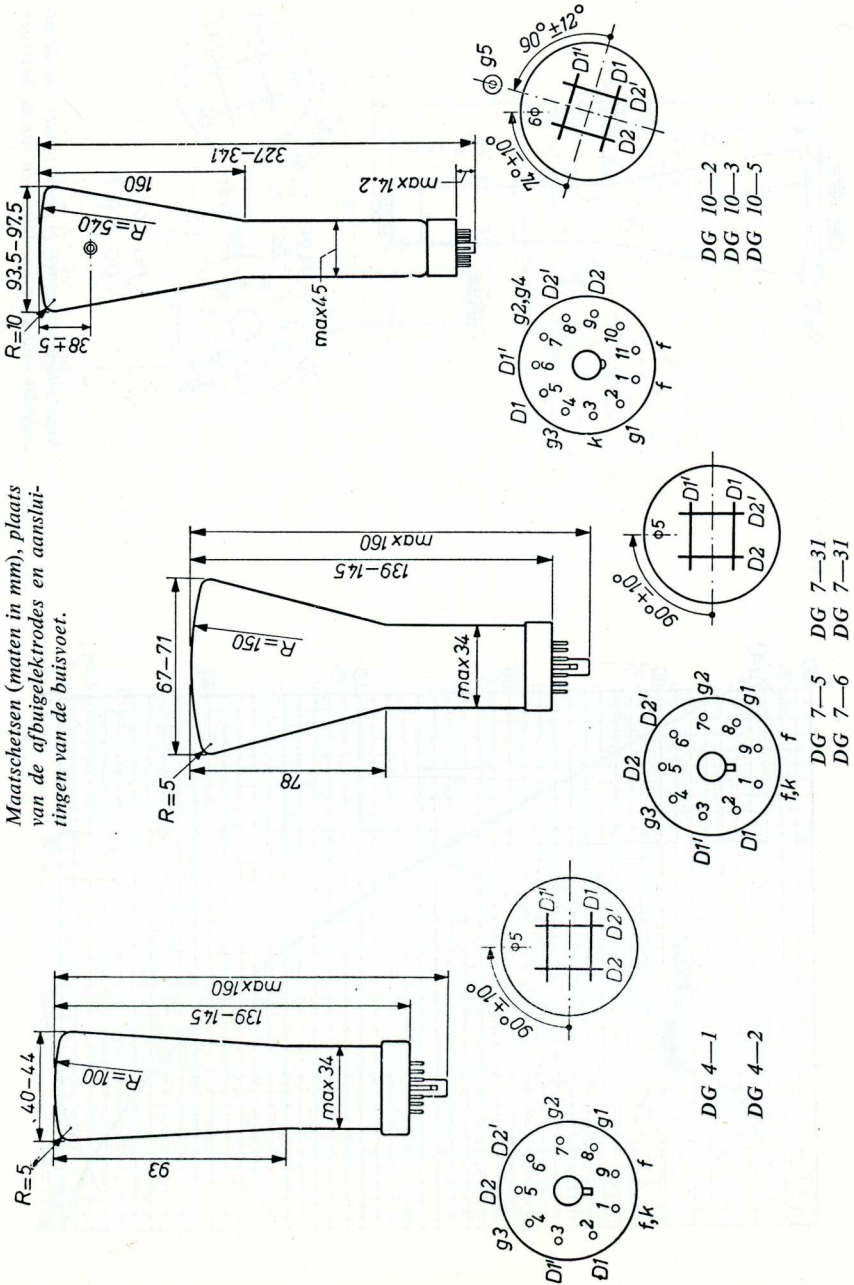
Schermtypen R is speciaal geschikt voor het visueel waarnemen van niet-herhalende verschijnselen of verschijnselen die in een zeer lage frekwentie terugkeren. Het lichtspoor is groen-geel van kleur en licht lang na. Het duurt nl. 20 seconden, eer het tot op 0,1 % van de maximale helderheid is afgenomen.

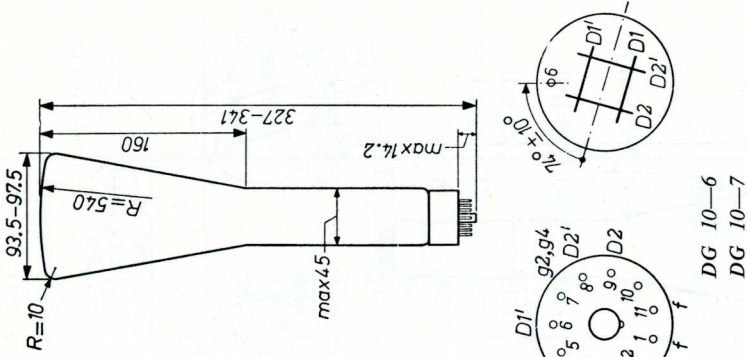
Schermtypen P is ook speciaal geschikt voor waarneming van niet-herhalende verschijnselen aangezien het 80 seconden duurt, eer het lichtspoor tot op 0,1 % van de maximale helderheid is afgenomen. Het scherm bestaat uit twee

katodestraal- buizen voor oscilloskopen	Afmetingen		Afbuiging		Instelgegevens				Max. waarde		verkrijgbare scherm- typen
	scherm diameter	totale lengte (ongeveer)	symmetrisch = S asymmetrisch = A		anodespanning P.D.A. ²⁾	af buiggevoeligh.		Anodespanning			
			hori- zontaal	verti- caal		hori- zontaal	verti- caal	versnel- lings- anode	P.D.A.		
type ¹⁾	mm	mm	hori- zontaal	verti- caal	V	mm/V	mm/V	V	V		
DG 4-1	40	160	S	S	800	0,25	0,16	1000		G-B-P	
DG 4-2	40	160	S	A	800	0,25	0,16	1000		G-B-P	
DG 7-5	70	160	S	S	800	0,25	0,16	1000		G-B-P-R	
DG 7-6	70	160	S	A	800	0,25	0,16	1000		G-B-P-R	
DG 7-31	70	172	S	A	400	0,39	0,25	800		G	
DG 7-32	70	172	S	S	400	0,39	0,25	800		G	
DG 7-36	70	296	S	S	1500	0,54	0,37	2500		G	
DG 10-2	100	334	S	S	2000	0,35	0,27	2500		G-B-P-R	
DG 10-3	100	337	S	A	1000	0,65	0,55	1200		G-B-R	
DG 10-5	100	337	S	A	1000	1000	0,65	0,55	1200	3000	G-B-R
DG 10-6	100	334	S	S	2000	2500	0,37	0,32	2500	5000	G-B-P-R
DG 10-74 ³⁾	100	341	S	S	2000	2000	0,35	0,27	2500	5000	G
DG 13-2	130	425	S	S	2000	2000	0,35	0,27	2500	5000	G-B-P-R

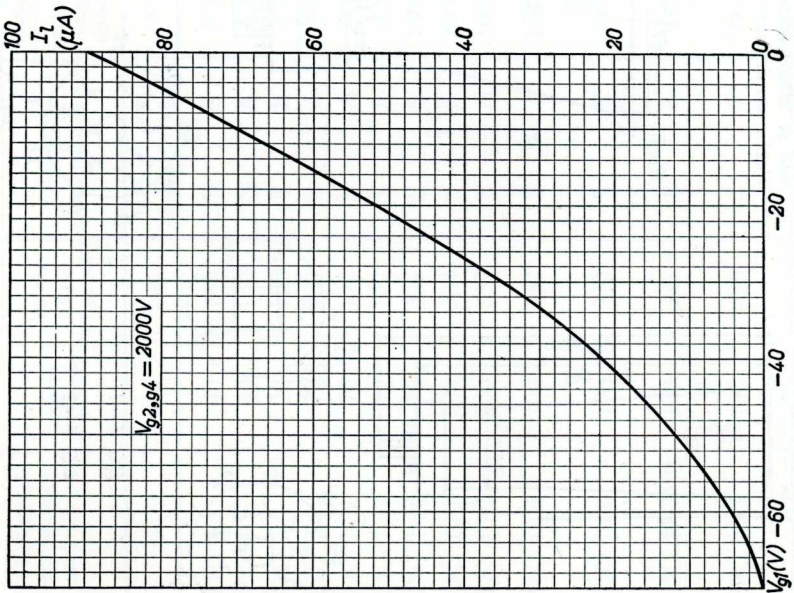
¹⁾ zie blz. 100²⁾ P.D.A. = naversnelling³⁾ DG 10-74 is gelijk aan de DG 10-6 met vlak scherm.

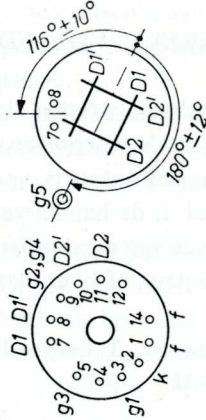
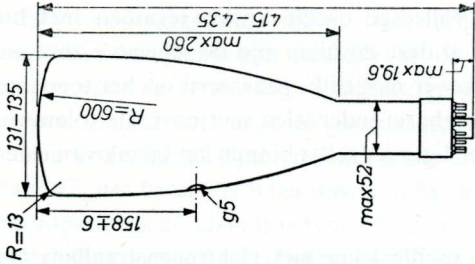
Maatschetsen (maten in mm), plaats van de afbuigelektrodes en aansluitingen van de buisvoet.





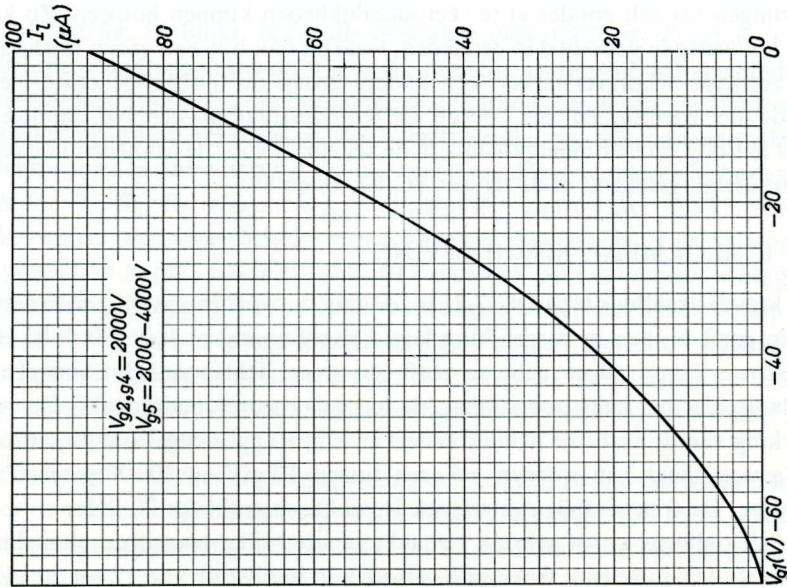
Maatschetsen (maten in mm), plaats van de afbuigelektrodes en aansluitingen van de buisvoet.





DG 13-2

Maatschetsen (maten in mm), plaats van de afbuigelektrodes en aansluitingen van de buisvoet.



HOOFDSTUK VIII

ENKELE VOLLEDIGE OSCILLOSKOOPSCHEMA'S

In dit hoofdstuk worden drie volledige oscilloskopen tezamen met hun principescema's beschreven. In al deze gevallen zijn de schema's zeer eenvoudig en is het ontwerp, voor zover mogelijk, gebaseerd op het toepassen van normaal in de handel verkrijgbare onderdelen met normale tolerantie.

Het bouwen van deze apparaten ligt zeer zeker binnen het bereik van iedere serieuze amateur of knutselaar.

1. Schema Nr. 1 Eenvoudige oscilloscoop met elektronenstraalbuis type DG 7-31

Deze oscilloscoop, waarvan het complete schema is getekend in fig. 85, is in de eerste plaats ontworpen als een eenvoudig, doch betrouwbaar instrument, dat zal voldoen aan de eisen welke het gebruik op L.T.S. en U.T.S. laboratoria stelt. Het instrument kan zodanig worden geconstrueerd, dat de leerlingen het zelf zonder al te veel moeilijkheden kunnen bouwen. Zo kan het b.v. worden gebouwd in eenheden, waarbij dan b.v. een groep leerlingen de verticale afbuigversterker, een andere groep de tijdbasisgenerator, een derde de voeding en een vierde de katodestraalbuis-eenheid monteert. Met het oog op de duidelijkheid zijn de schema's voor de eenheden nog eens afzonderlijk getekend in de figuren 86, 87, 88 en 89.

1.1. ALGEMENE BESCHRIJVING

De katodestraalbuis type DG 7-31 is zodanig ontworpen dat hij goede resultaten geeft bij een in vergelijking lage hoogspanning nl. ca. 500 volt. Het scherm is 7 cm in doorsnede en geeft een groen lichtspoor. Het ontwerp is zodanig, dat het lichtspoor tijdens de terugslag wordt onderdrukt. De versterking van de verticale afbuigversterker is in trappen regelbaar, waardoor de gevoeligheid kan worden gekozen tussen 10 mV en 100 V per cm afbuiging. De frekwentiekarakteristiek is praktisch recht tot 20 kHz.

In de tijdbasis wordt gebruik gemaakt van de Miller-transitronschakeling. Zij heeft drie instelbare frekwentiegebieden in het bereik van 12 tot 20 kHz.

Een afzonderlijke synchronisatieversterktrap is ingebouwd om de tijdbasis te kunnen synchroniseren met het aan de verticale afbuigversterker toegevoerde signaal. Maatregelen zijn genomen om de tijdbasisgenerator te kunnen losnemen teneinde deze te kunnen vervangen door een tijdbasisspanning van een onafhankelijke uitwendige spanningsbron.

Het voedingsgedeelte bevat twee eenfaze gelijkrichters en levert de verschillende spanningen nodig voor de katodestraalbuis, de anodespanningen voor de versterker en tijdbasisgenerator en drie afzonderlijke spanningen van 6,3 volt voor de gloeidraadvoeding.

Een interessante bijzonderheid is het „spannings- en golfvorm uitgangspaneel”, dat te zien is links boven in fig. 85. Dit paneel maakt het mogelijk hoogspanning en gloeidraadvoeding af te nemen van het voedingsapparaat en deze spanningen dan te gebruiken voor het voeden van andere apparaten, zoals b.v. een signaalgenerator, terwijl ook verschillende golfvormen, die in het voedingsapparaat voorkomen aan de oscilloskoop kunnen worden toegevoerd, teneinde deze zichtbaar te maken. Voor demonstratiedoeleinden is dat zeer aantrekkelijk.

1.2. VERTICALE AFBUIGVERSTERKER

Zoals uit fig. 86 blijkt, bevat de versterker twee trappen, de eerste is een pentode spanningsversterker V_3 , welke direct is gekoppeld met een eindtrap met dubbele triode V_4 , die twee uitgangsspanningen in tegenfase levert voor aansluiting op de verticale of Y -afbuigelektrodes van de katodestraalbuis. Het ingangssignaal wordt via de in trappen regelbare verzwakker, bestaande uit R_6 , R_7 , R_8 , R_9 , R_{10} en R_{11} , gelegd aan het stuurrooster van V_3 . Met de verzwakker kan, met behulp van schakelaar S_2 , de gevoeligheid worden ingesteld op 10 mV, 100 mV, 1,0 V, 10 V en 100 V per cm verticale afbuiging. Dit maakt het mogelijk kwantitatieve metingen uit te voeren met behulp van een geijkte schaalverdeling. Daarnaast kan nog een continu variabele gevoeligheidsregeling worden verkregen door R_7 , R_8 , R_9 en R_{10} te vervangen door een logarithmische potentiometer van 1 M Ω , waarbij dan R_6 en R_{11} moeten blijven zitten.

De beide versterkte uitgangsspanningen in tegenfase zijn direct verbonden met de verticale afbuigelektrodes. Zij worden als volgt verkregen. De versterkte signaalspanning op de anode van V_3 wordt direct toegevoerd aan het stuurrooster van V_{4A} , terwijl het stuurrooster V_{4B} door de spanningsdeler

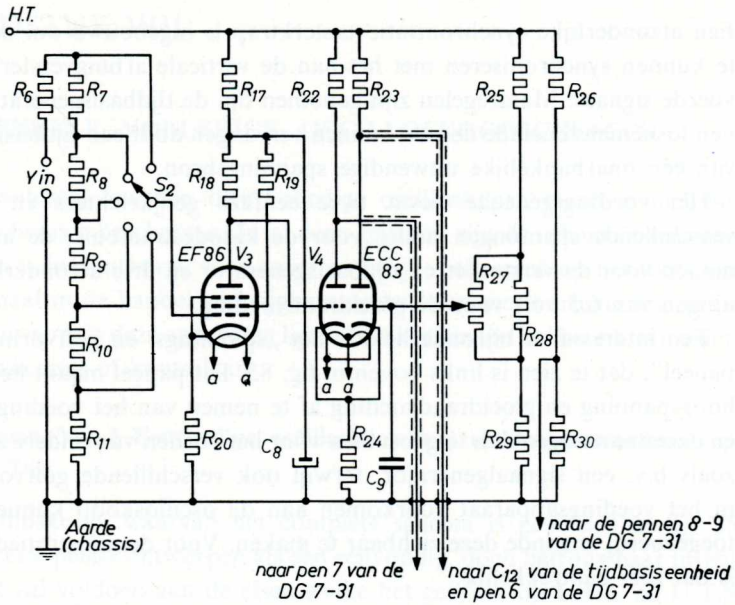


Fig. 86. Versterkerschakeling

R_{25} , R_{27} , R_{28} en R_{29} op een vaste positieve potentiaal wordt gehouden, die gelijk is aan de spanning op het rooster van V_4A .

Fijninstelling van de vaste potentiaal op het rooster van V_4B is mogelijk met de potentiometer R_{27} , die tevens dienst doet voor regeling van de Y -verschuiving. Daar V_4A en V_4B een gezamenlijke katodeweerstand R_{24} hebben, zijn de uitgangsspanningen in tegenfase. Deze beide spanningen worden toegevoerd aan de Y -elektrodes van de katodestraalbuis. De potentialen van deze elektrodes variëren symmetrisch ten opzichte van die van de anode van de katodestraalbuis, welke spanning wordt afgenomen van het verbindingspunt van R_{26} met R_{30} in de Y -versterker.

Een gedeelte van de uitgangsspanning van V_4B wordt via R_{37} toegevoerd aan het stuurrooster van de synchronisatieversterker V_6 in de tijdbasis-eenheid (zie fig. 87).

De verdere eigenschappen van de Y -versterker zijn normaal. R_{17} en C_8 zorgen voor ont koppeling van de anode van V_3 . Het weglaten van de ont-

koppelcondensatoren in de katodekringen van V_3 en V_4 veroorzaakt negatieve terugkoppeling, waardoor de vervorming geringer wordt; de ontkoppelcondensator C_9 zorgt er voor, dat de regeling van de Y -verschuiving met behulp van R_{27} zeer soepel is.

1.3. TIJDBASISGENERATOR

Het schema voor de tijdbasisgenerator is getekend in fig. 87. Twee pentodes type EF 80 worden gebruikt, waarvan de ene, V_5 , geschakeld is als een Miller-transitron oscillator, terwijl V_6 de synchronisatieversterker is. Wanneer we beginnen met de oscillator dan kan met behulp van schakelaar S_4 een keuze worden gemaakt uit C_{13} , C_{14} of C_{15} , waardoor drie frekwentiegebieden worden bepaald, nl. 13 Hz tot 130 Hz, 125 Hz tot 1,3 kHz en 1,25 kHz tot 20 kHz. Met de potentiometer R_{34} wordt de frekwentie in ieder frekwentiegebied nauwkeurig ingesteld. Schakelaar S_5 , die is gekoppeld met S_4 , doet een keuze uit C_{18} , C_{19} of C_{20} , die tezamen met R_{45} de vorm van de tijdbasisspanning bepalen. De zaagtanduitgangsvariaties op de anode van V_5 worden via de blokkeringscondensator C_{10} toegevoerd aan een netwerk bestaande uit R_{33} , C_{11} , R_{31} en R_{32} , waarvan met R_{33} de X -amplitude kan worden ingesteld, terwijl R_{31} een instelbare gelijkspanning levert, waarop de zaagtand is gesuperponeerd, zodat deze dienst doet voor regeling van de X -verschuiving. De impulsen, welke tijdens de terugslag op het rooster van V_5 optreden, worden via C_{16} , R_{42} en C_{17} toegevoerd aan het rooster van de katodestraalbuis, teneinde gedurende de terugslag de straal en daarmee de lichtstip te onderdrukken.

Zoals onder „Verticale afbuigversterker” is opgemerkt, wordt een deel van het uitgangssignaal van de verticale afbuigversterker via R_{37} toegevoerd aan het stuurrooster van de synchronisatieversterker V_6 . De anode van deze buis is via C_{22} verbonden met het remrooster van de oscillatorbuis V_5 en via C_{22} en/of C_{18} , C_{19} of C_{20} met de schermroosterkring van dezelfde buis. Wanneer de frekwentie van de tijdbasis zodanig is ingesteld, dat zij gelijk is aan, of een veelvoud of geheel gedeelte is van, de verticale afbuigspanning en als dan R_{37} ook nog juist is ingesteld, dan zal de tijdbasisbuis door de impulsen, die worden geleverd door de Y -versterker en door de synchronisatieversterker aan het schermrooster van V_5 werden toegevoerd, in fase worden gehouden met de verticale afbuiging.

Is het nodig een uitwendige bron voor de horizontale afbuigspanning

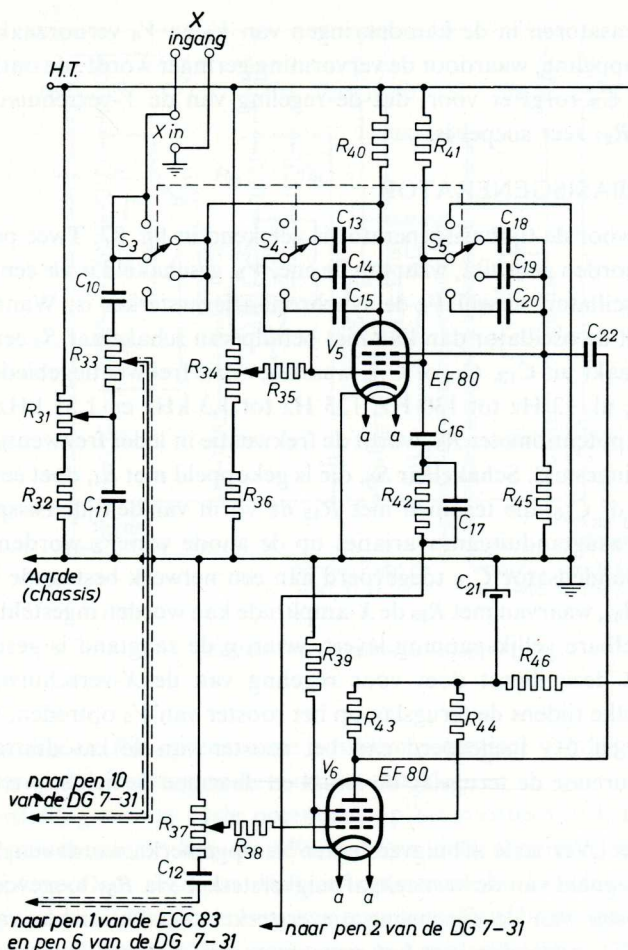


Fig. 87. Tijdbasisseenheid

te gebruiken in plaats van de ingebouwde tijdbasisgenerator, dan moet de grofinstelling (S_{3-4-5}) van de tijdbasisfrequentie in de vierde stand (meest linkse stand) worden geplaatst, in welk geval de met „X in” gemerkte klemmen verbonden zijn met het horizontale afbuigstelsel van de katodestraalbuis. Het is ook nog mogelijk de ingebouwde tijdbasisgenerator te gebruiken voor het leveren van een zaagtandspanning aan een ander apparaat. In dit geval

echter moet schakelaar S_{3-4-5} op het gewenste gebied worden ingesteld en de uitgangsspanning afgenomen van de „X in” klemmen.

Het ontkoppelnetswerk R_{46} , C_{21} ont koppelt de anode- en schermrooster-voedingen van V_6 en verkleint daardoor de kans op positieve terugkoppeling via de hoogspanningsleiding tussen de synchronisatieversterker en de verticale afbuigversterker.

1.4. HET VOEDINGSAPPARAAT

De schakeling van het voedingsapparaat is aangegeven in fig. 88, waaruit blijkt, dat in deze eenheid twee eenfase gelijkrichtbuizen type EY 84 worden gebruikt in combinatie met een netspanningstransformator, welke een hoogspanningswikkeling voor 300-0-300 volt heeft met middenaftakking en drie laagspanningswikkelingen voor 6,3 volt. Het geheel is berekend voor het leveren van 350 V voor de Y -versterker en tijdbasisgenerator en kan daarnaast ook nog 20 mA bij 350 V leveren voor de voeding van een of ander ander apparaat. Van de drie laagspanningen levert er een 1,0 A voor de gloeidraad van de katodestraalbuis; een ander levert 2,0 A voor de gloeidraadvoeding van de gelijkrichter voor de zeer hoge spanning, terwijl de derde voor 2,5 A de gloeistroom levert voor de Y -versterker, de tijdbasisgenerator en de gloeidraad van de indicatorlamp en daarbij ook nog 0,6 A kan leveren voor de gloeistroom van een ander apparaat.

De anodespanningsgelijkrichter V_1 krijgt zijn voeding van de middenaftakking van de secundaire wikkeling van de netspanningstransformator en gebruikt daardoor dus slechts de halve secundaire wikkeling; V_2 daarentegen, die de extra hoge spanning voor de katodestraalbuis levert, is aangesloten op de gehele secundaire wikkeling van de transformator.

Het is van belang er op te wijzen, dat de beide gelijkgerichte spanningen in serie staan, waarbij het chassis negatief is ten opzichte van de anodespanningsvoeding, doch positief ten opzichte van de extra hoge spanning. *Het is daarom noodzakelijk, dat het chassis en de andere apparaten zeer goed worden geaard.*

De twee weerstanden R_3 en R_2 zijn stroombegrenzende weerstanden om vernieling van V_1 en V_2 , in geval van kortsluiting aan de uitgangszijde, tegen te gaan. De waarden van deze twee weerstanden hangen af van de gelijkstroomweerstand van de transformatorwikkeling en de wikkellingsverhouding van de windingen. De juiste waarden voor iedere willekeurige trans-

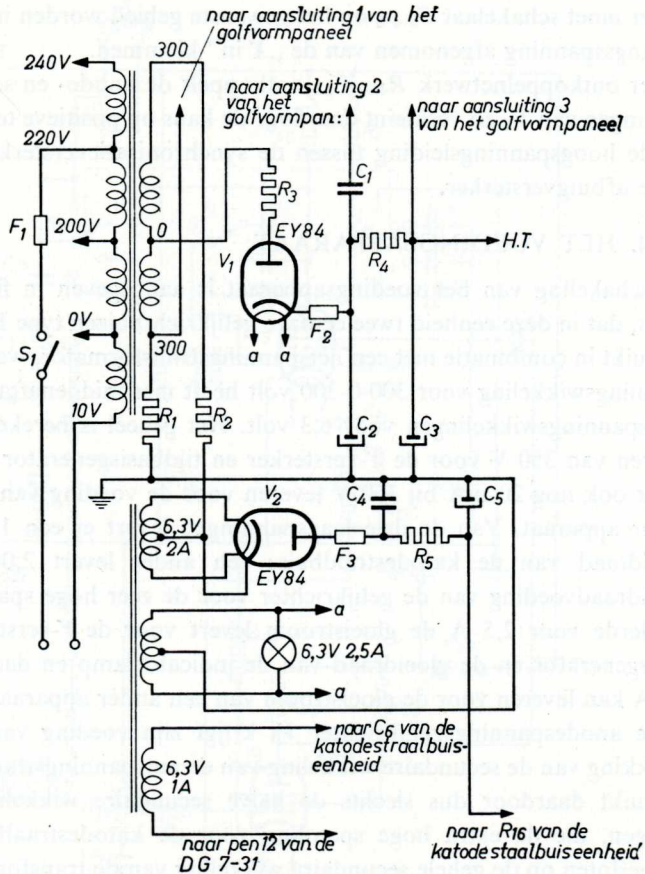


Fig. 88. Schema van het voedingsapparaat

formator kunnen worden berekend uit:

$$R_{lim} = R_s + n^2 R_p + R_{add}$$

waarin:

$$R_{lim} = \text{totale serieweerstand}$$

$$R_s = \text{weerstand van de secundaire winding van de transformator}$$

$$R_p = \text{weerstand van de primaire winding van de transformator}$$

$$R_{add} = \text{extra serieweerstand}$$

$$n = \text{transformatieverhouding.}$$

Van de waarde R_{add} , die uit deze formule wordt gevonden voor V_1 en V_2 , moet de weerstand R_1 , dat wil zeggen 10Ω , worden afgetrokken om R_2 of R_3 te vinden. Het doel van R_1 zal worden verklaard in de paragraaf, welke handelt over het golfvorm- en spanningsuitgangspaneel. De overige eigenschappen van de schakeling zijn normaal en behoeven dus geen nadere verklaring.

1.5. DE KATODESTRAALBUISEENHEID

De bij de katodestraalbuis behorende kringen zijn aangegeven in fig. 89. Hoewel de gelijkspanning, welke door buis V_2 wordt geleverd, de extra hoge spanning werd genoemd, wordt de katodestraalbuis in werkelijkheid gevoed met de door V_1 en V_2 geleverde spanningen in serie. De versnellingsanode van

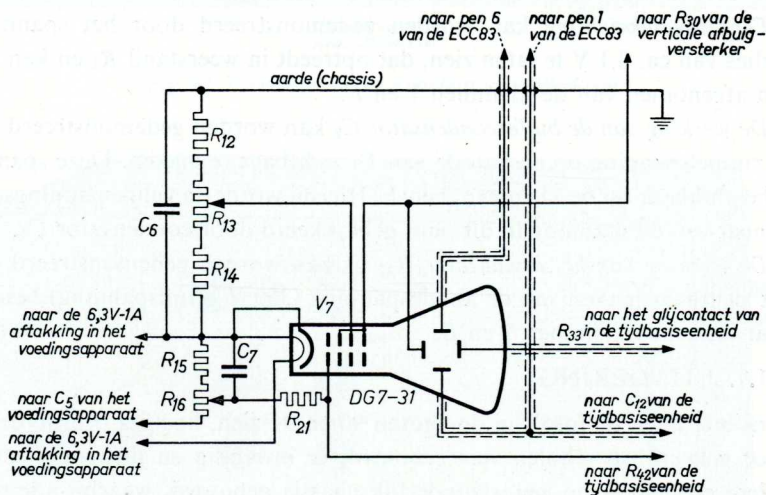


Fig. 89. Katodestraalbuiseenheid

de katodestraalbuis is verbonden met het verbindingspunt van R_{26} met R_{30} in de Y-versterker (zie fig. 86), terwijl de overige elektroden van de katodestraalbuis via een spanningsdeler gevoed worden, die uit de weerstanden R_{12} , R_{13} , R_{14} , R_{15} en R_{16} bestaat. Hiervan dient R_{13} voor de focusering en R_{16} voor de helderheidsinstelling.

1.6. HET GOLFORM- EN SPANNINGSUITGANGSPANEEL

Via een klein paneel, dat aan de linker bovenzijde van fig. 85 is aangegeven, kunnen zowel de hoog- als laagspanningsvoedingen uit het voedingsapparaat worden afgenomen voor de voeding van andere apparaten. Ook de verticale afbuigspanningen nodig om de verschillende golfvormen uit het voedingsapparaat op het scherm zichtbaar te maken, zijn op dit paneel beschikbaar. Op dit paneel zit een plug met 4 pennen voor de hoogspanning en vijf klemmen, gemerkt 1, 2, 3, 4 en E voor de golfvorm. Zoals reeds werd opgemerkt, zijn een anodegelijkstroom van 20 mA bij 350 V en een gloeispanning van 0,6 A bij 6,3 V wisselstroom beschikbaar. De volgende golfvormen zijn door verschillende combinaties van de klemmen 1, 2, 3, 4 en E af te nemen:

Een sinusvormige spanning van $3,15 V_{\text{eff}}$, geleverd door de helft van een van de 6,3 V secundaire wikkelingen van de netspanningstransformator, kan worden afgenomen via de klemmen 4 en E .

Een fazegelijkrichting kan worden gedemonstreerd door het spanningsverlies van ca. 0,1 V te laten zien, dat optreedt in weerstand R_1 en kan worden afgenomen van de klemmen 1 en E .

De werking van de buffercondensator C_2 kan worden gedemonstreerd door de rimpelspanning op de katode van V_1 zichtbaar te maken. Deze spanning is beschikbaar op de klemmen 2 en E . Hierbij wordt de gelijkspanningscomponent van de spanning in dit punt geblokkeerd door condensator C_1 .

De werking van het afvlakfilter R_4, C_3 kan worden gedemonstreerd door het zichtbaar maken van de anodespanning (350 V gelijkspanning) beschikbaar tussen de klemmen 3 en E .

1.7. UITVOERING

Tenslotte laten de foto's in de figuren 90 en 91 zien, hoe het prototype, dat voor gebruik op scholen was gebouwd, er inwendig en uitwendig uitziet. Iedere eenheid is op een afzonderlijk chassis gebouwd, waarbij alle regelknoppen aan de voorzijde zijn aangebracht. Aan de achterzijde zit een klemmenbordje, waarop die punten van de schakeling uitkomen, die met andere apparaten moeten kunnen worden verbonden. De verschillende chassis zijn met bouten aan de frontplaat bevestigd en het geheel is in een metalen kast ondergebracht. Eventueel kunnen de verschillende eenheden in aparte kasten worden ondergebracht, waarbij dan de onderlinge verbindingen met behulp van meeraderige kabels worden aangebracht.

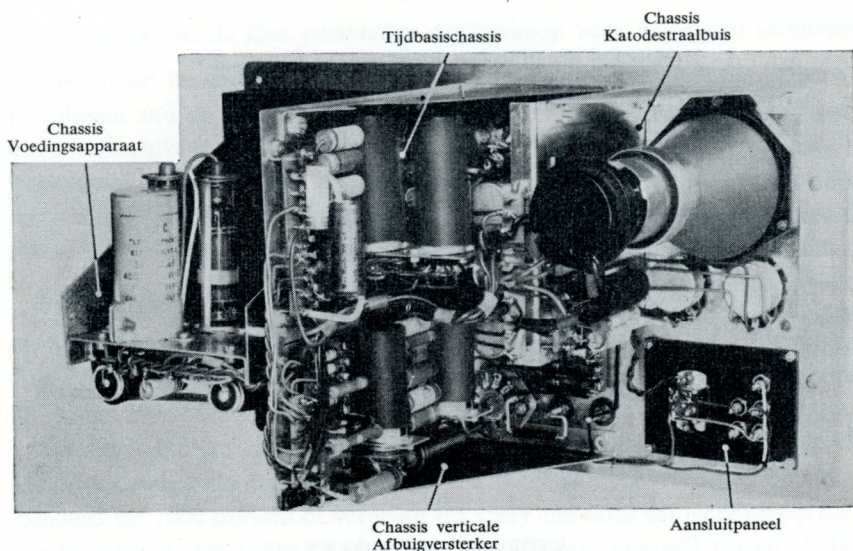


Fig. 90. Inwendige van de katodestraaloscilloscoop

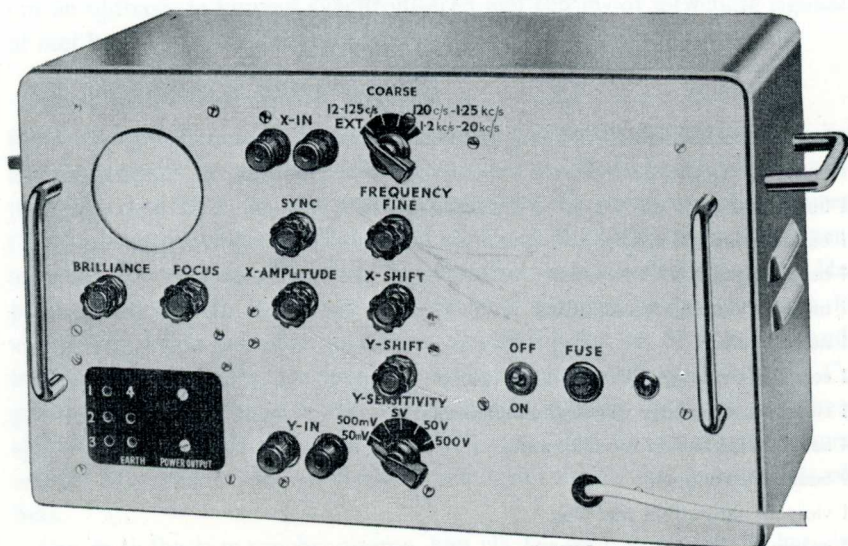


Fig. 91. Aanzicht van de oscilloscoop

BUIZEN EN BIJBEHORENDE ONDERDELEN

- 2 gelijkrichters type EY 84
- 1 pentode type EF 86
- 1 dubbele diode type ECC 83
- 2 pentoden type EF 80
- 1 katodestraalbuis type DG 7-31
- 2 buishouders B9A met clips en topaansluitingen
- 4 buishouders B9A met nylonvulling en afschermrands
- 4 afschermkappen
- 1 „Mu” metaal scherm voor DG 7-31
- 1 buishouder B12A

ANDERE ONDERDELEN

- 1 netspanningstransformator

primair	10-0-200-220-240 V
secundair	300-0-300 V, 120 mA
	3,15-0-3,15 V, 2 A
	3,15-0-3,15 V, 2,5 A
	6,3 V, 1 A
- 2 buiszekeringhouders
- 1 paneelzekeringhouder
- 1 buiszekering 250 mA
- 1 buiszekering 150 mA
- 1 buiszekering 2 A
- 1 indicatorlamp 6,3 V met fitting
- 1 netschakelaar
- 1 eendeks, eenpolige vijfwegdraaischakelaar
- 1 tweedeks, driepolige vierwegdraaischakelaar
- 4 aansluitklemmen (2 rood, 2 zwart)
- 9 bedieningsknoppen
- 1 vierpens aansluitbus met plug
- 5 enkele bussen (4 rood, 1 zwart)
- 3 rubber doorvoertulen (12 mm, 18 mm, 6 mm)

2. Schema Nr. 2. Een eenvoudige oscilloscoop voor de service technicus

De hieronder beschreven oscilloscoop is in de eerste plaats ontworpen om te voldoen aan de wensen van de radio- en televisietechnicus. Hoewel volkomen geschikt voor dit doel en daarenboven nog voorzien van verschillende extra mogelijkheden, is toch opgepast voor overdaad. Verder zijn ook hier weer verschillende, hoewel niet alle, onderdelen gebruikt, die normaal tot de onderdelenvoorraad van een service werkplaats behoort.

2.1. ALGEMENE BESCHRIJVING

De oscilloscoop bevat een katodestraalbuis type DG 7-32 met een scherm van 7 cm diameter. Hij werkt met een anodespanning van 400 V en de horizontale zowel als de verticale afbuigelektrodes worden symmetrisch aangesloten.

De maximale gevoeligheid van de verticale afbuigversterker is 100 mV/cm. Maar deze kan door middel van een verzwakkingssonde, worden verminderd tot 1000 mV/cm of vergroot tot 1 mV/cm door een voorversterker-sonde eenheid. De tijdbasisfrequentie kan worden ingesteld tussen 20 Hz en 20 kHz en de tijdbasisbreedte tussen 2 cm en 8 cm. De elektronenstraal wordt gedurende de terugslag onderdrukt en voorzieningen zijn getroffen om de tijdbasis te kunnen synchroniseren met een in- of uitwendig signaal, of met het 50 perioden lichtnet.

2.2. VERTICALE VERSTERKER

Het volledige schema van de oscilloscoop is gegeven in fig. 92, waarvan het middengedeelte de verticale afbuigversterker is. Deze bevat twee triodepentodes type ECF 80. Het triodegedeelte van de eerste van deze buizen (V_2) is als katodevolger geschakeld en via C_8 en R_{16} gekoppeld met het pentodegedeelte. De weerstand R_{16} dient voor continu variabele sterkteregeling. Het pentodegedeelte van V_2 is via een R - C netwerk met het pentodegedeelte van V_3 verbonden, beide pentodes geven een versterking van ca. 60 over een bandbreedte van 2,5 MHz. De uitgang van het pentodegedeelte van V_3 is via C_{12} gekoppeld met het rooster van het triodegedeelte, dat als fase-splitter (phase splitter) is geschakeld, zodat via C_{13} en C_{14} symmetrische spanningen kunnen worden afgenomen voor de verticale afbuigelektrodes van de katodestraalbuis.

Om de tijdbasis te synchroniseren, kan via R_{27} een signaal van de katodevolger (triodegedeelte van V_2) worden afgenomen. Wanneer dit signaal hiervan

wordt afgenomen, zal de synchronisatie niet worden beïnvloed, wanneer aan R_{16} wordt gedraaid.

Het stuurrooster van de katodevolger is via C_7 verbonden met een van de ingangsklemmen. Wanneer het signaal direct wordt verbonden met de ingangsklemmen van het apparaat, dan is de ingangsweerstand $1\text{ M}\Omega$ en de ingangscapaciteit 20 pF . De maximale gevoeligheid is 100 mV/cm en het apparaat kan signalen tot 30 V verwerken. De frekwentiekarakteristiek is vlak binnen 3 dB van 2 Hz tot $2,5\text{ MHz}$.

Met behulp van de verzwakkingssonde-eenheid met hoge impedantie, waarvan het schema links bovenaan in het versterkerschema is aangegeven als een afzonderlijke eenheid, kan de totale gevoeligheid worden verkleind tot 1000 mV/cm en het maximale ingangssignaal worden verhoogd tot 300 V , de frekwentiekarakteristiek verandert daardoor niet, omdat de ingangsweerstand en de ingangscapaciteit respectievelijk $10\text{ M}\Omega$ en 10 pF bedragen. De sonde bestaat uit een weerstand van $10\text{ M}\Omega$ (R_{11}) parallel aan een capaciteit (C_6), die variabel is van $0,3$ tot 3 pF . Het geheel is in een afgeschermd kastje ondergebracht.

Met het oog op de grote belangstelling voor Hi-Fi geluidsreproductie is de mogelijkheid aanwezig een extra ingangs-sonde eenheid in de vorm van een voorversterker met een vlakke karakteristiek van 50 Hz tot 20 kHz aan te sluiten. De schakeling is getekend in fig. 93. Zij bevat een pentode type EF 86 in een normale schakeling en geeft een versterking van 100 over het genoemde frekwentiegebied, wanneer de sonde met de oscilloscoop is verbonden door middel van $60\text{ cm } 75\ \Omega$ afgeschermd kabel voor televisie-

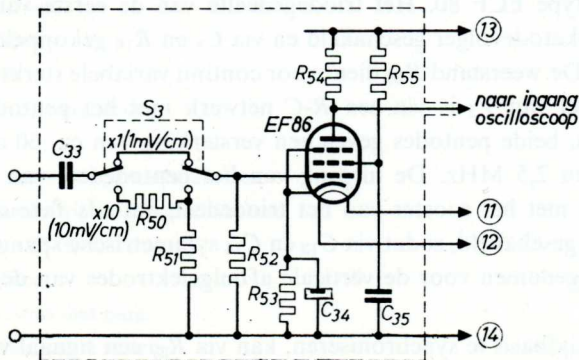


Fig. 93. Sonde met grote versterking

doeleinden. De totale gevoeligheid wordt daardoor 1 mV/cm (max. signaal 0,3 V), de ingangsweerstand 0,5 M Ω en de ingangscapaciteit 10 pF. Een verzwakker kan met behulp van een schakelaar in de kring worden opgenomen, waardoor de gevoeligheid wordt verminderd tot 10 mV/cm en het maximale signaal wordt vergroot tot 3 V.

2.3. TIJDBASISGENERATOR

Het schema van de tijdbasisgenerator is onderaan fig. 92 getekend. De tijdbasis bevat 2 buizen — een pentode, type EF 80 (V_5), die als Miller-transitron zaagtandgenerator is geschakeld en een dubbele triode, type ECC 81 (V_4), waarvan het ene deel het synchronisatiesignaal versterkt en het andere deel als faze-omkeerbuis werkt, zodat via C_{31} en C_{32} een symmetrische zaagtandspanning kan worden afgenomen voor de horizontale afbuiging.

Met schakelaar S_{2b} kan de frekwentie grof worden ingesteld door daarmee de juiste waarde te kiezen van de capaciteit tussen anode en katode om 5 elkaar overlappende bereiken tussen 20 Hz en 20 kHz te krijgen. Schakelaar S_{2a} kiest passende waarden voor de capaciteit tussen schermrooster en remrooster. Met weerstand R_{40} wordt de frekwentie nauwkeurig ingesteld.

De zaagtandspanning die beschikbaar is aan de anode van V_5 , is ongeveer 150 V, terwijl de horizontale slag continu instelbaar is tussen 2 cm en 8 cm. Hiervoor is potentiometer R_{39} aangebracht, die deel uitmaakt van de anodebelasting van V_5 . De verbinding tussen de anode van V_5 en R_{39} moet worden afgeschermd.

Negatieve impulsen welke worden afgenomen van het schermrooster van V_5 en die worden begrensd door de germaniumdiode D_2 , uiten zich in een golf met vlakke toppen optredende over weerstand R_{36} . Deze wordt toegevoerd aan het rooster van de katodestraalbuis en onderdrukt daar de elektronenstraal gedurende de terugslagperiode.

2.4. SYNCHRONISATIEVERSTERKER

Deel V_{4a} van de dubbele triode is de synchronisatiesignaalversterker, het stuurrooster is via C_{15} verbonden met de aansluitbus gemerkt *SYNC. EXT.*, waarop het synchronisatiesignaal moet worden aangesloten. Dit signaal kan afkomstig zijn van een uitwendige bron, b.v. van een daarvoor geschikt punt in een ontvanger, die moet worden onderzocht. Ook kan, wanneer de klemmen *EXT.* en *INT.* worden doorverbonden, een synchronisatiesignaal worden verkregen van de *Y*-versterker, of, wanneer de klemmen *EXT.* en „50 Hz”

worden verbonden, kan de tijdbasis worden gesynchroniseerd met de rasterfrequentie, dat wil zeggen met het 50 perioden lichtnet.

2.5. IJKING

Zeer praktisch zijn de aansluitingen gemerkt *CAL*, waarop 50 Hz signalen van 0,1, 1,0, 10 of 50 V piek tot piek beschikbaar zijn, die aan de *Y*-versterker kunnen worden toegevoerd teneinde de sterkteregeling op een bekende gevoeligheid te kunnen instellen.

2.6. VERSCHUIVINGSREGELING

In het schema komt geen verschuivingsregeling voor, maar zij kan wel worden toegevoegd door de waarden van R_{25} , R_{26} , R_{45} en R_{46} te verkleinen tot elk $3,9 \text{ M}\Omega$ en dan de potentiometer R_{48} en R_{49} toe te voegen, zoals in fig. 94 is aangegeven. Er moet op worden gewezen, dat, wanneer deze wijziging wordt aangebracht, de verbinding naar de eindanode van de katodestraalbuis moet worden verplaatst naar het verbindingspunt van R_8 met R_9 .

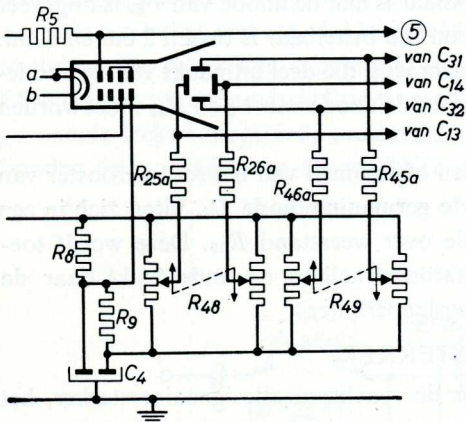


Fig. 94. Regelingen van de verschuiving (facultatief)

2.7. HET VOEDINGSAPPARAAT EN DE SCHAKELING VOOR DE KATODESTRAALBUIS

Er is één voedingstransformator met een secundaire wikkeling, welke 40 mA bij 250-0-250 V levert, en twee laagspanningswikkelingen, een voor

6,3 V-2 A en een voor 6,3 V-0,3 A. De anodespanningsvoeding levert ca. +310 V voor de *Y*-versterker en voor de tijdbasisgenerator. De gelijkrichtbuis is een tweefazegelijkrichter type EZ 80 (V_1).

De katodestraalbuis wordt gevoed door deze zelfde hoogspanningsvoeding in serie met een spanning van -300 V, welke door een metaalgelijkrichter MR_1 wordt geleverd. De potentiometers R_3 en R_4 dienen voor het instellen van de helderheid resp. de fokus.

2.8. UITVOERING

De figuren 95 en 96 tonen de boven en onderzijde van het prototype van de hierboven beschreven oscilloskoop. Alleen voor de verbinding tussen de anode van V_5 en R_{39} was het noodzakelijk inwendige afscherming aan te brengen. Het is echter wel wenselijk de verbindingsdraden zo kort mogelijk te maken, vooral in de verticale afbuigversterker, omdat, met het oog op het verkrijgen van de volle bandbreedte, de parasitaire capaciteiten ten opzichte van aarde

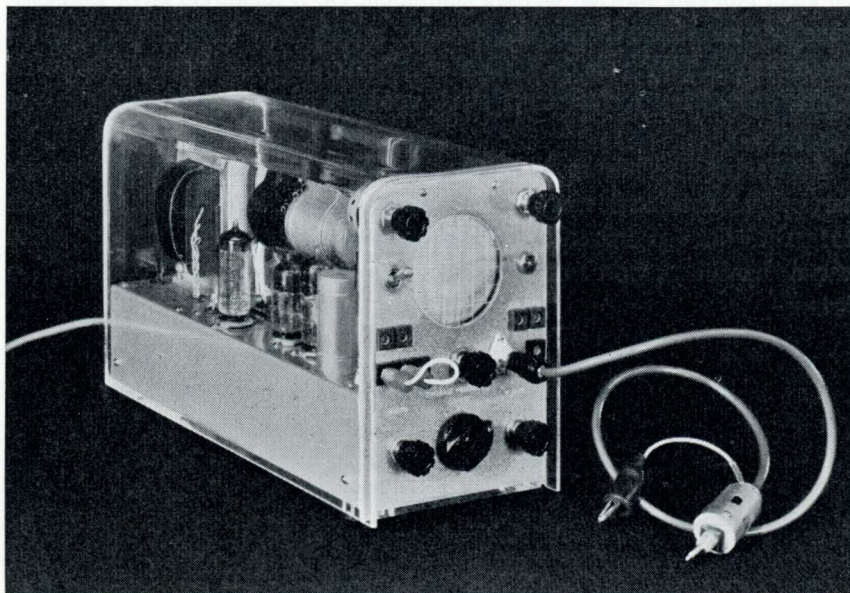


Fig. 95. Bovenzijde van het chassis

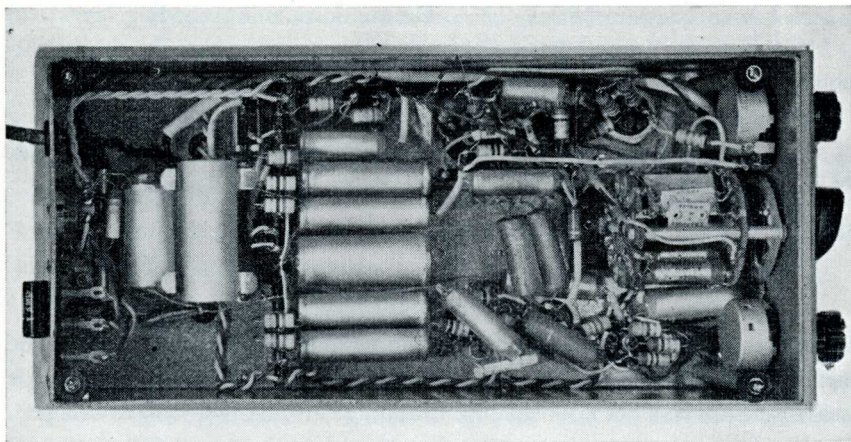


Fig. 96. Onderzijde van het chassis

zo klein mogelijk moeten worden gehouden. De *Y*-versterker en de tijdbasis-generator moeten zo ver mogelijk van elkaar worden geplaatst. Bij het gefotografeerde exemplaar zit de versterker links van de katodestraalbuis en de tijdbasisgenerator rechts, terwijl het voedingsapparaat achter de buis is opgesteld.

Aangezien het instrument in de eerste plaats is bedoeld voor televisieservice, kan het chassis niet worden geaard. Er moet daarom ook op worden toegezien, dat de aardverbinding van de sonde, of een afzonderlijke draad van de aardklem, wordt bevestigd met de aardzijde van de te onderzoeken kring.

3. Schema Nr. 3. Een veelzijdige oscilloscoop waarvan de tijdbasis kan worden veranderd in een versterker voor uitwendige horizontale afbuigsignalen

De bruikbaarheid van een katodestraaloscilloscoop wordt aanmerkelijk groter, wanneer de schakeling naast de tijdbasisgenerator ook nog een versterker bevat voor horizontale afbuigspanningen, afkomstig van een uitwendige spanningsbron. Fig. 97 is het blokschema van een dergelijk apparaat. Met behulp van schakelaar *S* worden de horizontale afbuigelektrodes òf met de tijdbasisgenerator òf met de horizontale afbuigversterker verbonden.

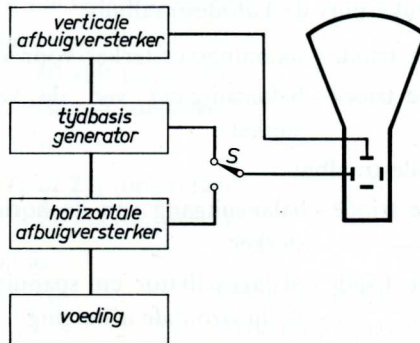


Fig. 97. Blokschema van een oscilloscoop. Met behulp van schakelaar *S* kan òf een tijdbasisgenerator òf een versterker voor horizontale afbuiging worden verbonden met de overeenkomstige afbuigelektrodes van de katodestraalbuis.

Deze oplossing heeft echter verschillende bezwaren. In de eerste plaats maken de extra buizen het apparaat duurder en in de tweede plaats gebruikt de niet gebruikte eenheid — hoewel niet met de katodestraalbuis verbonden — toch onnodig energie, terwijl er, als het de tijdbasisgenerator is die niet in gebruik is, kans bestaat dat de trillingen, die hij opwekt, interferentie zullen veroorzaken in de horizontale versterker. Deze nadelen heeft het hieronder te beschrijven instrument niet, omdat dit zodanig is gebouwd, dat zowel de tijdbasisgenerator als de horizontale-versterker met dezelfde buizen werken doordat, bij het overschakelen van zaagtandgenerator op versterker met

behulp van een 10-voudige omschakelaar, de nodige verbindingen worden omgeschakeld.

3.1. ALGEMENE BESCHRIJVING

Het volledige schema van dit instrument is weergegeven in fig. 98. Het heeft een grote gevoeligheid over een wijd frekwentiegebied, een zeer goede lineariteit van de tijdbasis en is compact en economisch gebouwd. De katodestraalbuis, type DG 7-32, met een scherm van 7 cm, is ontworpen voor symmetrische afbuigspanningen. Hoewel dit balanseindtrappen vergt zowel voor horizontale als verticale afbuiging, was het, dankzij het gebruik van dubbele trioden en seleniumgelijkrichters, mogelijk het aantal buizen te beperken tot vier stuks plus de katodestraalbuis:

V_1 : ECC 83 dubbele triode - spanningsversterker voor verticale afbuiging.

V_2 : ECC 81 dubbele triode - balansuitgang van de verticale afbuigversterker

V_3 : DCG 7-32 katodestraalbuis

V_4 : ECC 81 dubbele triode - balansuitgang van de horizontale afbuigversterker

V_5 : ECC 83 dubbele triode - afslagoscillator en spanningsversterker voor de horizontale afbuiging.

3.2. EIGENSCHAPPEN

Gevoeligheid

Tussen verticale afbuigelektrodes klemmen T_4 en T_5	10 V_{eff}/cm
Tussen horizontale afbuigelektrodes klemmen T_7 en T_8	16 V_{eff}/cm
Aan de ingang van de verticale afbuigversterker klemmen T_2 en T_3	10 mV_{eff}/cm
klemmen T_1 en T_3 (ongeveer)	50 mV_{eff}/cm
Aan de ingang van de horizontale afbuigversterker klemmen T_{11} en T_{12}	16 mV_{eff}/cm
klemmen T_{10} en T_{12} (ongeveer)	80 mV_{eff}/cm

Frekwentiekarakteristiek

Verticale afbuigversterker

van 0,5 Hz tot 200 kHz —1 dB

bij 250 kHz —3 dB

Horizontale afbuigversterker

van 0,5 Hz tot 200 kHz —1 dB

bij 250 kHz —3 dB

*Maximale ingangsspanning*Tussen de klemmen T_2 en T_3 oftussen de klemmen T_{11} en T_{12} (ongeveer) 60 V_{eff} Tussen de klemmen T_1 en T_3 oftussen de klemmen T_{10} en T_{12} (ongeveer) 300 V_{eff} *Ingangsweerstand*Ingangskringen 0—60 volt (ongeveer) 2 $M\Omega$ Ingangskringen 0—300 volt (ongeveer) 10 $M\Omega$ *Ingangscapaciteit*Aan de klemmen T_2 of T_{11} (ongeveer) 5 pFAan de klemmen T_1 of T_{10} (ongeveer) 1 pF*Tijdbasisfrequenties*

Stand van S_4	frekwentiegebied (Hz)
1	30 000 tot 120 000
2	10 000 tot 40 000
3	3 000 tot 12 000
4	1 000 tot 4 000
5	300 tot 1 200
6	100 tot 400
7	30 tot 120
8	10 tot 40
9	3 tot 12
10	50 Hz sinusvormig.

3.3. TIJDBASIS EN HORIZONTALE AFBUIGVERSTERKER

Een interessante bijzonderheid van de schakeling is de tijdbasisgenerator, die door het omzetten van een schakelaar, kan worden veranderd in een versterker voor horizontale afbuiging, waarvan de eigenschappen

gelijk zijn aan die van de verticale afbuigversterker, waardoor faze-metingen over een groot frekwentiegebied kunnen worden gedaan.

Deze eenheid bevat de twee dubbele trioden V_4 en V_5 . In de „tijdbasisstand” van schakelaar S_6 is het linker gedeelte van V_5 geschakeld als een afslagoscillator en het rechter gedeelte als katodevolger, terwijl V_4 dienst doet als balansuitgang. In de „versterkerstand” van S_6 is het linker gedeelte van V_5 geschakeld als katodevolger en het rechter gedeelte als een normale spanningsversterker, waarbij het versterkte signaal wordt afgenomen van de anodekring van de balanstrap. De eigenschappen van de horizontale afbuigversterker zijn gelijk aan die, welke worden genoemd in de paragraaf over de verticale afbuigversterker.

Als V_5 als tijdbasisgenerator werkt, kan de zaagtandfrequentie in trappen worden geregeld met behulp van schakelaar S_4 , waarmee uit een aantal capaciteiten kan worden gekozen. Stand 10 van deze schakelaar levert een sinusvormige tijdbasis op van 50 Hz. R_{64} is de fijnregeling voor de zaagtandspanning.

Drie extra bronnen voor het tijdbasis-synchronisatiesignaal kunnen worden gekozen met schakelaar S_7 . In stand 1 van deze schakelaar is de synchronisatiekring uitgeschakeld. In stand 2 wordt het synchronisatiesignaal betrokken van de uitgang van de verticale afbuigversterker; in stand 3 een sinusvormig signaal van een ingebouwde spanningsbron voor 50 Hz en in stand 4 van een uitwendige bron via klem T_9 , waar een spanning van 0,5 tot 5 V op nodig is. In al deze gevallen wordt het synchronisatiesignaal via een weerstand toegevoerd aan de katodekring van de afslagoscillator. Deze weerstand is een germaniumdiode (G in fig. 98) die een in verhouding grote weerstand heeft in de ene richting, waardoor goede synchronisatie optreedt, maar een lage weerstand gedurende de terugslag.

Twee andere bijzonderheden van dit schema moeten nog worden genoemd. Een neon-buis, type Z 10 („N” in fig. 98) is geschakeld tussen het rechter stuurrooster van V_4 en aarde. Deze buis wordt geleidend, wanneer van oscillator op versterker wordt overgeschakeld en omgekeerd, en voorkomt daardoor dat te hoge spanningen zullen optreden tussen het rooster en de katode van het rechter gedeelte van V_4 . De spanningsstabiliseerbuis V_6 type 85 A2 vervult twee functies. In de eerste plaats is daardoor toepassing van laadcondensatoren met lage werkspanning mogelijk en in de tweede plaats wordt de lineariteit van de tijdbasis er beter door.

De gang van zaken bij het overschakelen van „tijdbasis” of „horizontale afbuigversterker” kan worden duidelijk gemaakt aan de hand van het vereenvoudigde schema van de buis V_5 (fig. 99), waarin de verbindingen zijn aangegeven, welke in twee standen van schakelaar S_1 , die overeenkomt met schakelaar S_6 van fig. 98, tot stand worden gebracht. In onderstaande verklaring geven de tussen haakjes geplaatste indicaties aan hoe ze in het volledige schema van fig. 98 zijn genoemd.

In het linker schema (fig. 99a) zijn de verbindingen als tijdbasisgenerator getekend. Het linker triodedeel van V_5 is geschakeld als afslagoscillator. De frekwentie daarvan wordt met R_4 (R_{64}) ingesteld en door het veranderen van de waarde van C_1 (door middel van S_4 in het volledige schema). Het rechter triodedeel is als katodevolger geschakeld, waarbij $R_1 + R_2$ ($R_{56} + R_{57}$) als katodebelasting dienst doen. De uitgangsspanning wordt via R_5 en R_2 (R_{74} en R_{57}) toegevoerd aan de verzwakker P (R_{75}) en dan via S_1 (S_5) aan de eindtrap (V_4).

Er moet op worden gewezen, dat in deze stand van S_1 de anodebelasting van het rechterdeel van de triode (R_{55} en L_2) is kortgesloten. Wordt de schakelaar S_1 (S_6) in de stand „versterker” geplaatst, dan worden de verbindingen zoals is aangegeven in fig. 99 (b). De kortsluiting wordt van de anodebelasting van het rechter triodedeel weggenomen en de katode en bovenste aansluiting van R_1 (R_{56}) worden met aarde verbonden. De triode werkt dan als normale versterker en de uitgangsspanning wordt toegevoerd aan de eindtrap (V_4).

3.4. VERTICALE AFBUIGVERSTERKER

Onderstaande beschrijving van de verticale afbuigversterker geldt ook voor de horizontale afbuigversterker, echter met andere indicaties voor de onderdelen. De buizen V_1 en V_2 zijn bij de verticale afbuigversterker als volgt geschakeld: het linker gedeelte van V_1 als katodevolger; het rechter deel als spanningsversterker; V_2 is de balanseindtrap.

Ingangsspanningen tot $60 V_{\text{eff}}$ kunnen worden aangesloten tussen de klemmen T_2 en T_3 en ingangsspanningen tot $300 V_{\text{eff}}$ tussen T_1 en T_3 . S_1 is een verzwakker voor het in trappen regelen van de ingangsspanning, terwijl R_{12} als fijnregelaar voor de amplitude dienst doet. Schakelaar S_2 verbindt de verticale afbuigelektrodes van de katodestraalbuis òf direct met de twee anoden van de eindtrap òf via de condensatoren C_7 en C_9 met de

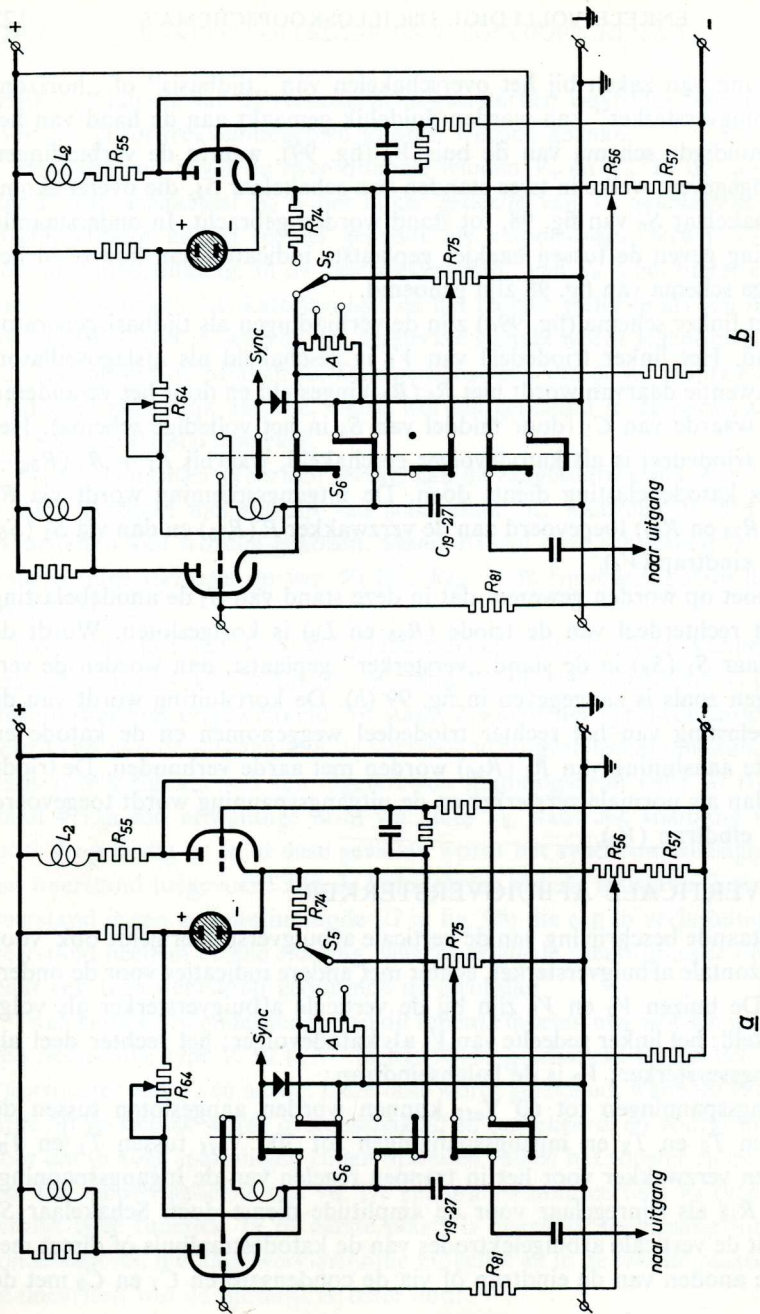


Fig. 99. Schema voor het overschakelen van de eerste buis van de horizontale afbuigversterker van tijdbasisoscillator (a) op versterker (b)

klemmen T_4 en T_5 , wat de directe aansluiting op het afbuigstelsel mogelijk maakt.

R_{40} is de helderheidsregelaar en uitwendige elektronenstraalmodulatie kan via klem T_6 worden aangelegd; hiervoor is een spanning tussen 0,5 en 3 V nodig.

3.5. VOEDING

Aangezien uitsluitend seleniumgelijkrichters worden gebruikt, is slechts een eenvoudige en goedkope netspanningstransformator nodig met een secundaire wikkeling voor de anodespannings- en hoogspanningsvoeding en twee gloeistroomwikkelingen, een voor de buizen en een voor de katodestraalbuis. De anodespanningswikkeling levert na gelijkrichting een gelijkspanning van +360 V en een tweede spanning van -360 V wordt verkregen met behulp van spanningsverdubbeling. Het is aan te bevelen de netschakelaar S_8 te combineren met de focussering R_{35} .

ONDERDELENLIJST

CONDENSATOREN

$C_1 =$	0,1 μ F	..	..	..	papier	..	..	..	400V
$C_2 \}$	32 + 32 μ F	..	..	..	elektrolyt	..	..	..	450V
$C_3 \}$									
$C_4 =$	0,1 μ F	..	..	..	papier	..	..	..	1000V
$C_5 =$	8 μ F	..	..	..	elektrolyt	..	..	..	500V
$C_6 =$	2 μ F	..	..	..	papier	..	..	..	600V
$C_7 =$	0,25 μ F	..	..	..	papier	..	..	..	250V
$C_8 =$	8 μ F	..	..	..	elektrolyt	..	..	..	500V
$C_9 =$	0,1 μ F	..	..	..	papier	..	..	..	350V
$C_{10} =$	0,1 μ F	..	..	..	papier	..	..	..	300V
$C_{11} =$	0,25 μ F	..	..	..	papier	..	..	..	400V
$C_{12} =$	0,1 μ F	..	..	..	papier	..	..	..	500V
$C_{13} =$	6800 pF	..	..	..	5% zilver-mica				
$C_{14} =$	680 pF	..	..	..	5% zilver-mica				
$C_{15} =$	68 pF	..	..	..	5% zilver-mica				
$C_{16} =$	0,1 μ F	..	..	..	papier	..	..	..	500V
$C_{17} =$	8,2 pF	..	..	..	10% zilver-mica				
$C_{18} =$	0,02 μ F	..	..	..	papier				
$C_{19} =$	1800 pF	..	..	..	5% zilver-mica				
$C_{20} =$	180 pF	..	..	..	5% zilver-mica				
$C_{21} =$	8 μ F	..	..	..	elektrolyt	..	..	..	450V
$C_{22} =$	47 pF	..	..	..	10% zilver-mica				

WEERSTANDEN

$R_1 =$	10 Ω		$\frac{1}{2}$ W	$R_{16} =$	50 k Ω	10%	lin	$R_{32} =$	220 k Ω		1W
$R_2 \}$	waarde te berekenen als op blz. 112 is aangegeven			$R_{17} =$	82 k Ω		1W	$R_{33} =$	2 M Ω	10%	lin
$R_3 \}$					$R_{18} =$	100 k Ω	10%	1W	$R_{34} =$	2 M Ω	10%	log
$R_4 =$	1 k Ω		1W	$R_{19} =$	390 k Ω	10%	1W	$R_{35} =$	500 k Ω		1W
$R_5 =$	220 k Ω		1W	$R_{20} =$	1,2 k Ω *	5%	1W	$R_{36} =$	27 k Ω	10%	1W
$R_6 =$	680 k Ω *	5%	$\frac{1}{2}$ W	$R_{21} =$	100 k Ω		$\frac{1}{2}$ W	$R_{37} =$	250 k Ω	10%	lin
$R_7 =$	1 M Ω *	5%	$\frac{1}{2}$ W	$R_{22} =$	180 k Ω	10%	$\frac{1}{2}$ W	$R_{38} =$	1 M Ω		$\frac{1}{2}$ W
$R_8 =$	100 k Ω *	5%	$\frac{1}{2}$ W	$R_{23} =$	180 k Ω	10%	$\frac{1}{2}$ W	$R_{39} =$	180 Ω		1W
$R_9 =$	10 k Ω *	5%	$\frac{1}{2}$ W	$R_{24} =$	68 k Ω	10%	1W	$R_{40} =$	68 k Ω		1W
$R_{10} =$	1 k Ω *	5%	$\frac{1}{2}$ W	$R_{25} =$	330 k Ω	10%	1W	$R_{41} =$	56 k Ω		6W
$R_{11} =$	110 Ω *	5%	$\frac{1}{2}$ W	$R_{26} =$	120 k Ω	10%	1W	$R_{42} =$	1 M Ω		$\frac{1}{2}$ W
$R_{12} =$	82 k Ω		1W	$R_{27} =$	250 k Ω	10%	lin	$R_{43} =$	22 k Ω		1W
$R_{13} =$	100 k Ω	10%	lin	$R_{28} =$	22 k Ω	10%	$\frac{1}{2}$ W	$R_{44} =$	82 k Ω		1W
$R_{14} =$	22 k Ω		1W	$R_{29} =$	68 k Ω *	5%	$\frac{1}{2}$ W	$R_{45} =$	270 k Ω		1W
$R_{15} =$	47 k Ω		1W	$R_{30} =$	330 k Ω	10%	1W	$R_{46} =$	22 k Ω		1W
				$R_{31} =$	250 k Ω	10%	lin				

* weerstanden met grote stabiliteit.

Tolerantie $\pm 20\%$ behalve als anders is aangegeven.

De weerstanden R_7 , R_8 , R_9 en R_{10} kunnen desgewenst worden vervangen door een logarithmische potentiometer van 1 M Ω .

ONDERDELENLIJST

CONDENSATOREN

C ₁	=	Elektrolyt	32	μF	350V
C ₂	=	Elektrolyt	16	μF	350V
C ₃	=	Elektrolyt	25+25	μF	300V
C ₄	=	Elektrolyt	25+25	μF	300V
C ₅	=	Elektrolyt	16	μF	350V
C ₆ *	=	Trimmer	0,3 tot 3	pF	500V
C ₇	=	Papier	0,1	μF	500V
C ₈	=	Elektrolyt	25	μF	50V
C ₉	=	Keramisch	220	pF	350V
C ₁₀	=	Papier	0,1	μF	350V
C ₁₁	=	Keramisch	220	pF	350V
C ₁₂	=	Papier	0,05	μF	350V
C ₁₃	=	Papier	0,25	μF	350V
C ₁₄	=	Papier	0,25	μF	350V
C ₁₅	=	Zilver-Mica	1800	pF	350V
C ₁₆	=	Papier	0,01	μF	350V
C ₁₇	=	Papier	0,05	μF	350V
C ₁₈	=	Papier	0,01	μF	350V
C ₁₉	=	Zilver-Mica	2200	pF	350V
C ₂₀	=	Zilver-Mica	560	pF	350V
C ₂₁	=	Zilver-Mica	150	pF	350V
C ₂₂	=	Papier	0,1	μF	350V
C ₂₃	=	Papier	0,1	μF	350V
C ₂₄	=	Papier	0,02	μF	350V
C ₂₅	=	Papier	0,005	μF	350V
C ₂₆	=	Zilver-Mica	1200	pF	350V
C ₂₇	=	Zilver-Mica	300	pF	350V
C ₂₈	=	Keramisch	33	pF	350V
C ₂₉	=	Papier	0,05	μF	350V
C ₃₀	=	Keramisch	33	pF	350V
C ₃₁	=	Papier	0,25	μF	350V
C ₃₂	=	Papier	0,25	μF	350V
C ₃₃ §	=	Papier	0,1	μF	350V
C ₃₄ §	=	Elektrolyt	100	μF	6V
C ₃₅ §	=	Papier	0,1	μF	350V

WEERSTANDEN

R ₁	=	150	kΩ	1W
R ₂	=	22	kΩ	¼W
R ₃	=	50	kΩ	1W lin
R ₄	=	100	kΩ	1W lin
R ₅	=	270	kΩ	¼W
R ₆	=	2,2	kΩ	¼W
R ₇	=	2,2	kΩ	¼W
R ₈	=	2×8,2	kΩ	2×2W parallel
R ₉	=	8,2	kΩ	2W
R ₁₀	=	100	kΩ	¼W
R ₁₁ *	=	10	MΩ	½W
R ₁₂	=	1,2	MΩ	¼W
R ₁₃	=	1,0	MΩ	¼W
R ₁₄	=	330	Ω	¼W
R ₁₅	=	10	kΩ	¼W
R ₁₆	=	10	kΩ	1W lin
R ₁₇	=	220	Ω	¼W
R ₁₈	=	5,6	kΩ	½W
R ₁₉	=	1	MΩ	¼W
R ₂₀	=	270	Ω	¼W
R ₂₁	=	5,6	kΩ	½W
R ₂₂	=	10	MΩ	¼W
R ₂₃	=	10	kΩ	½W
R ₂₄	=	10	kΩ	½W
R ₂₅	=	4,7	MΩ	¼W
R _{26a} †	=	3,9	MΩ	¼W
R ₂₆	=	4,7	MΩ	¼W
R _{26a} †	=	3,9	MΩ	¼W
R ₂₇	=	10	kΩ	¼W
R ₂₈	=	390	Ω	¼W
R ₂₉	=	470	Ω	¼W
R ₃₀	=	47	Ω	¼W
R ₃₁	=	2×10	Ω	2×¼W parallel
R ₃₂	=	1	MΩ	¼W
R ₃₃	=	82	kΩ	¼W
R _{33a}	=	10	kΩ	¼W
R ₃₄	=	100	kΩ	¼W
R ₃₅	=	27	kΩ	½W
R ₃₆	=	10	kΩ	¼W
R ₃₇	=	10	kΩ	¼W

* gebruikt in de verzwakker-sonde met hoge impedantie

§ gebruikt in de sonde met voorversterker

$R_{38} =$	4,7 k Ω	$\frac{1}{4}$ W		$R_{46a}\dagger =$	3,9 M Ω	$\frac{1}{4}$ W
$R_{39} =$	25 k Ω	1W	lin	$R_{47} =$	100 k Ω	$\frac{1}{4}$ W
$R_{40} =$	2 M Ω	1W	lin	$R_{48} =$	2 \times 2 M Ω	dubbel, lin
$R_{41} =$	390 k Ω	$\frac{1}{4}$ W		$R_{49}\dagger =$	2 \times 2 M Ω	dubbel, lin
$R_{42} =$	1 M Ω	$\frac{1}{4}$ W		$R_{50}\S =$	470 k Ω	$\frac{1}{4}$ W
$R_{43} =$	10 M Ω	$\frac{1}{4}$ W		$R_{51}\S =$	47 k Ω	$\frac{1}{4}$ W
$R_{44} =$	1,2 M Ω	$\frac{1}{4}$ W		$R_{52}\S =$	470 k Ω	$\frac{1}{4}$ W
$R_{45} =$	4,7 M Ω	$\frac{1}{4}$ W		$R_{53}\S =$	1,5 k Ω	$\frac{1}{4}$ W
$R_{45a}\dagger =$	3,9 M Ω	$\frac{1}{4}$ W		$R_{54}\S =$	120 k Ω	$\frac{1}{4}$ W
$R_{46} =$	4,7 M Ω	$\frac{1}{4}$ W		$R_{55}\S =$	470 k Ω	$\frac{1}{4}$ W

* gebruikt in de verzwakker-sonde met hoge impedantie

§ gebruikt in de sonde met voorversterker

† gebruikt in de kring voor het regelen van de slag (zie fig. 94)

Noot: Alle potentiometers zijn $\pm 20\%$ tolerantie

Alle overige weerstanden zijn $\pm 10\%$ tolerantie

BUIZEN

$K.S.B.$.. DG7-32, (met „Mu” metaal scherm)

V_1 EZ80

V_2, V_3 2 \times ECF80

V_4 ECC81

V_5 EF80 (verbinding van anode naar R_{39} moet afgeschermd zijn)

D_1, D_2 2 \times OA81

MR_1 .. Iedere passende metaalgelijkrichter

Een EF86 wordt in de versterker-sonde gebruikt.

ANDERE ONDERDELEN

T_1 Netspanningstransformator

primair 10-0-200-220-240V

secundair 250-0-250V, 40mA

6,3V, 2A

6,3V, 1A

FS_1 Zekering 1A

S_1 netschakelaar

S_2 a/b 2 polige vijfwegschakelaar

S_3 dubbelpolige omschakelaar (voor versterkersonde)

scherm katodestraalbuis

10 aansluitbussen

10 bijpassende stekers

6 B9A buishouders

1 B12A buishouder

1 B9A plug voor versterkersonde

1 masker voor katodestraalbuis

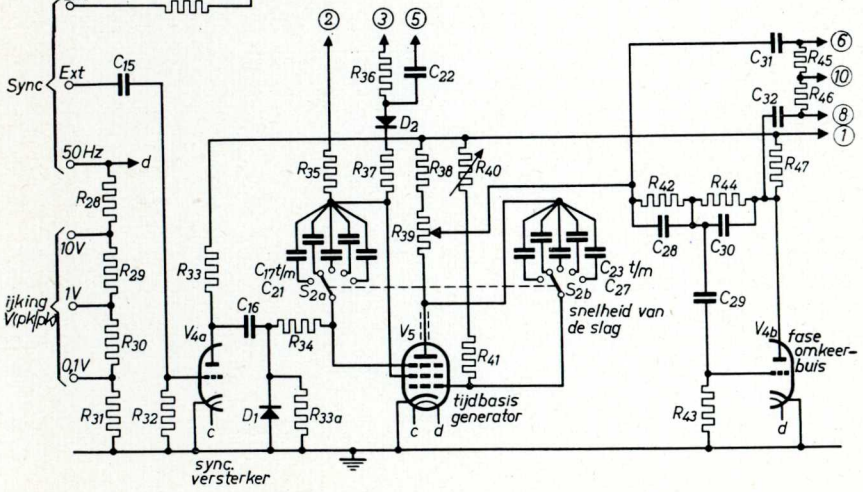
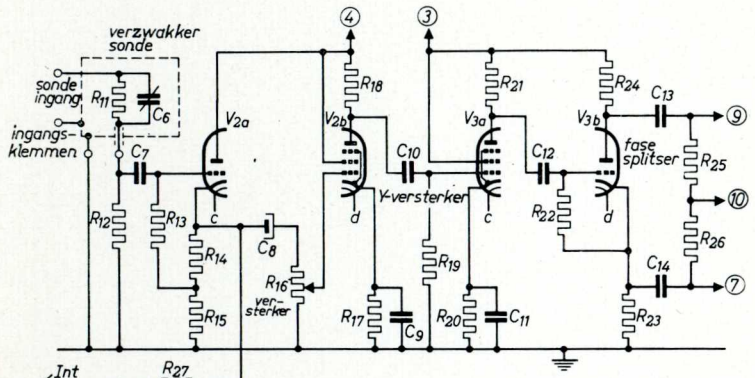
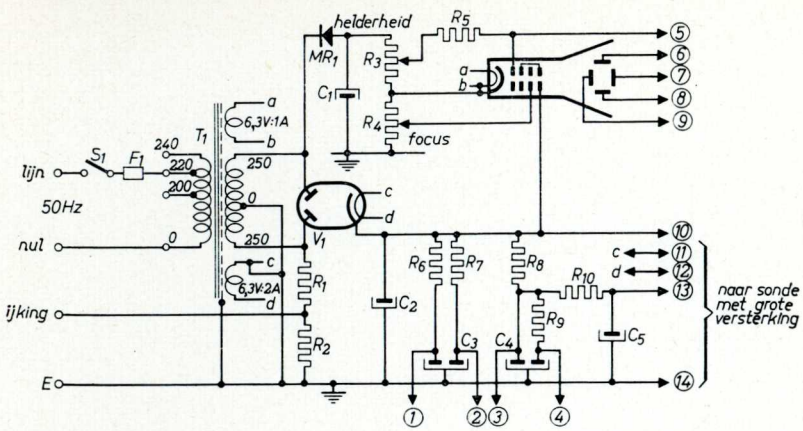


Fig. 92. Schakeling van een service-oscilloscoop

ONDERDELENLIJST

WEERSTANDEN

R₁	=	8,2 MΩ, 1W
R₂	=	2,2 MΩ, ½W
R₃	=	270 kΩ, 1W
R₄	=	10 kΩ, ¼W
R₅	=	33 kΩ, ¼W
R₆	=	82 kΩ, ¼W
R₇	=	27 kΩ, ¼W
R₈	=	1,5 kΩ, ¼W
R₉	=	390 Ω, ¼W
R₁₀	=	100 Ω, ¼W
R₁₁	=	47 Ω, ¼W
R₁₂	=	5 kΩ, linear, draad
R₁₃	=	1 MΩ, ½W
R₁₄	=	100 MΩ, 1W
R₁₅	=	27 kΩ, ¼W
R₁₆	=	4,7 kΩ, ¼W
R₁₇	=	1 kΩ, linear, kool
R₁₈	=	3,3 kΩ, ¼W
R₁₉	=	220 kΩ, 1W
R₂₀	=	220 kΩ, 1W
R₂₁	=	1 MΩ, ½W
R₂₂	=	27 kΩ, 1W
R₂₃	=	47 kΩ, 7W, draad
R₂₄	=	27 kΩ, 1W
R₂₅	=	12 kΩ, 1W
R₂₆	=	1 MΩ, ½W
R₂₇	=	12 kΩ, ½W
R₂₈	=	3,3 MΩ, 1W
R₂₉	=	3,3 MΩ, 1W
R₃₀	=	39 kΩ, 1W
R₃₁	=	100 kΩ, linear, kool
R₃₂	=	1,5 MΩ, 1W
R₃₃	=	100 kΩ, linear, kool
R₃₄	=	270 kΩ, 1W
R₃₅	=	100 kΩ, linear, kool
R₃₆	=	82 kΩ, 1W
R₃₇	=	10 kΩ, ¼W
R₃₈	=	220 kΩ, ½W
R₃₉	=	220 kΩ, ½W
R₄₀	=	20 kΩ, linear, kool
R₄₁	=	2,7 kΩ, 3W
R₄₂	=	1 MΩ, ½W
R₄₃	=	1 MΩ, ½W
R₄₄	=	3,3 MΩ, 1W

CONDENSATOREN

R₄₅	=	1 MΩ, ½W
R₄₆	=	3,3 MΩ, ½W
R₄₇	=	82 kΩ, ¼W
R₄₈	=	27 kΩ, 1W
R₄₉	=	12 kΩ, 1W
R₅₀	=	47 kΩ, 7W, draad
R₅₁	=	27 kΩ, 1W
R₅₂	=	1 MΩ, ½W
R₅₃	=	2,2 kΩ, ½W
R₅₄	=	100 MΩ, 1W
R₅₅	=	27 kΩ, ¼W
R₅₆	=	1 kΩ, linear, draad
R₅₇	=	56 kΩ, 3W
R₅₈	=	5,6 kΩ, 1W
R₅₉	=	5,6 kΩ, 1W
R₆₀	=	1 MΩ, ½W
R₆₁	=	270 kΩ, 1W
R₆₂	=	68 kΩ, ½W
R₆₃	=	560 kΩ, 1W
R₆₄	=	1 MΩ, neg. log.
R₆₅	=	330 kΩ, 1W
R₆₆	=	10 kΩ, ¼W
R₆₇	=	33 kΩ, ¼W
R₆₈	=	82 kΩ, ¼W
R₆₉	=	27 kΩ, ¼W
R₇₀	=	1,5 kΩ, ½W
R₇₁	=	390 Ω, ¼W
R₇₂	=	100 Ω, ¼W
R₇₃	=	47 Ω, ¼W
R₇₄	=	5,6 kΩ, ½W
R₇₅	=	5 kΩ, linear, kool
R₇₆	=	2,2 kΩ, ¼W
R₇₇	=	2,7 kΩ, ¼W
R₇₈	=	1,5 kΩ, ½W
R₇₉	=	2,2 kΩ, 1W
R₈₀	=	270 kΩ, 1W
R₈₁	=	2,2 MΩ, ½W
R₈₂	=	820 Ω, ½W
R₈₃	=	3,3 kΩ, ½W
R₈₄	=	560 Ω, 1W
R₈₅	=	8,2 MΩ, 1W
C₁	=	5 pF, max., trimmer
C₂	=	0,25 μF, 500V
C₃	=	0,047 μF, 300V
C₄	=	0,5 μF, 500V
C₅	=	100 μF, 12,5V
C₆	=	0,5 μF, 500V
C₇	=	0,25 μF, 500V
C₈	=	0,25 μF, 500V
C₉	=	0,25 μF, 500V
C₁₀	=	0,25 μF, 500V
C₁₁	=	0,25 μF, 500V
C₁₂	=	0,25 μF, 500V
C₁₃	=	0,25 μF, 500V
C₁₄	=	0,5 μF, 500V
C₁₅	=	270 pF, 300V
C₁₆	=	0,5 μF, 500V
C₁₇	=	2 × 50 μF, 400V
C₁₈	=	0,047 μF, 300V
C₁₉	=	47 pF, 300V
C₂₀	=	180 pF, 300V
C₂₁	=	820 pF, 300V
C₂₂	=	3300 pF, 300V
C₂₃	=	0,01 μF, 300V
C₂₄	=	0,033 μF, 300V
C₂₅	=	0,1 μF, 300V
C₂₆	=	0,33 μF, 330V
C₂₇	=	1 μF, 300V
C₂₈	=	50 μF, 450V
C₂₉	=	50 μF, 450V

C₃₀	=	1000 pF, 500V
C₃₁	=	2 × 50 μF, 450V
C₃₂	=	0,25 μF, 500V
C₃₃	=	5 pF max., trimmer

ANDERE ONDERDELEN

L₁	=	ongeveer 15 mH
L₂	=	ongeveer 15 mH
V₁	=	ECC83
V₂	=	ECC81
V₃	=	DG7-32
V₄	=	ECC81
V₅	=	ECC83
V₆	=	85A2
N	=	neonbuisje Z 10
F₁	=	1 A zekering
F₂	=	0,1 A zekering
G	=	germaniumdiode OA 55
Sel₁	=	seleengelijkrichter 2 × 220C85 in serie
Sel₂	=	seleengelijkrichter 2 × 220C85 in serie
Tr₁	: w ₁	= ongeveer 120 μH
	w ₁ /w ₂	= 2,5 : 1
Tr₂	: w ₁	= 110, 130, 145, 190, 220, 245 V
	w ₂	= 350 V, 40 mA
	w ₃	= 6,3 V, 1,2 A
	w ₄	= 6,3 V, 0,4 A

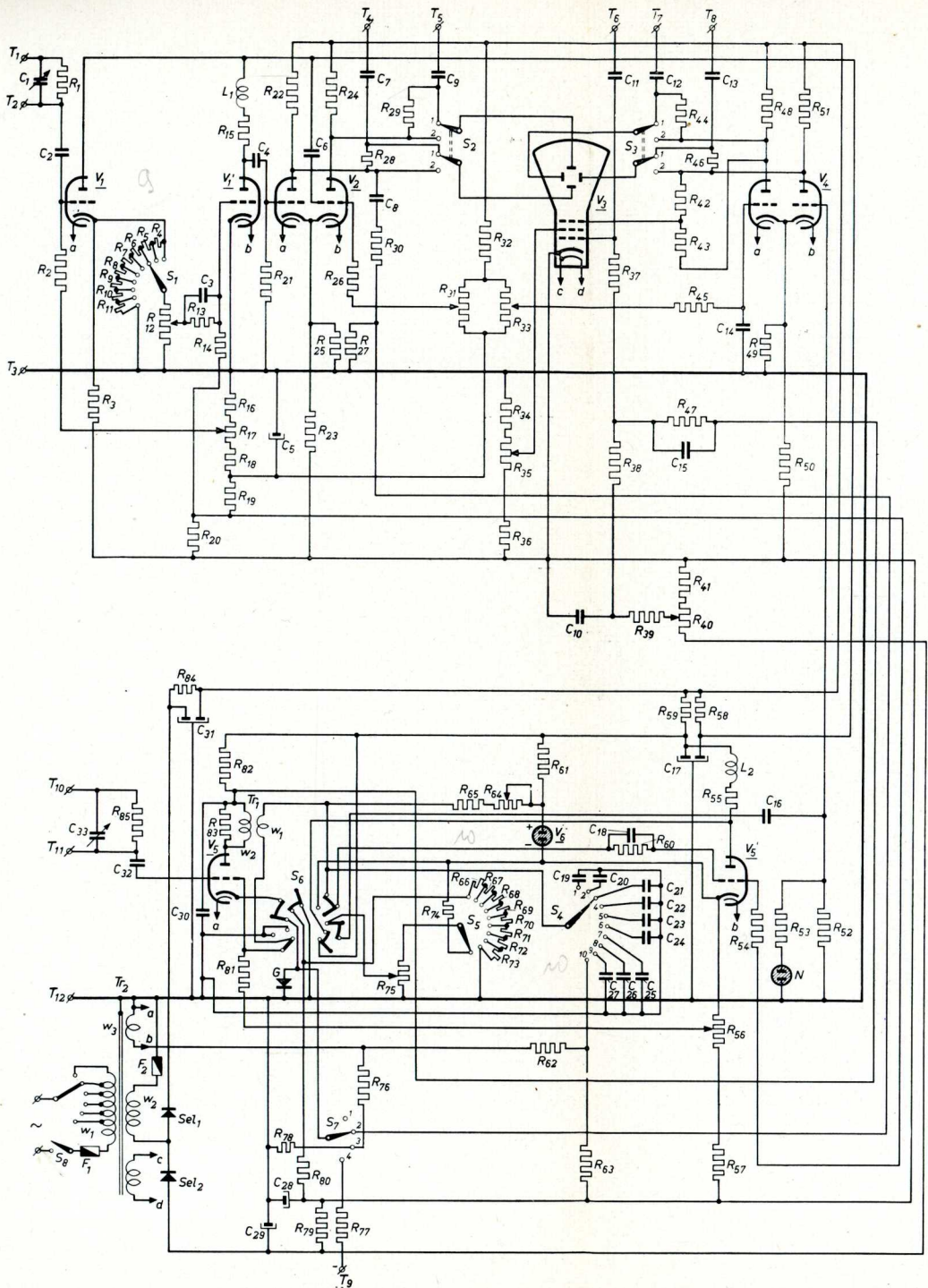


Fig. 98. Een betrouwbare oscilloscoop met katodestraalbuis DG 7-32