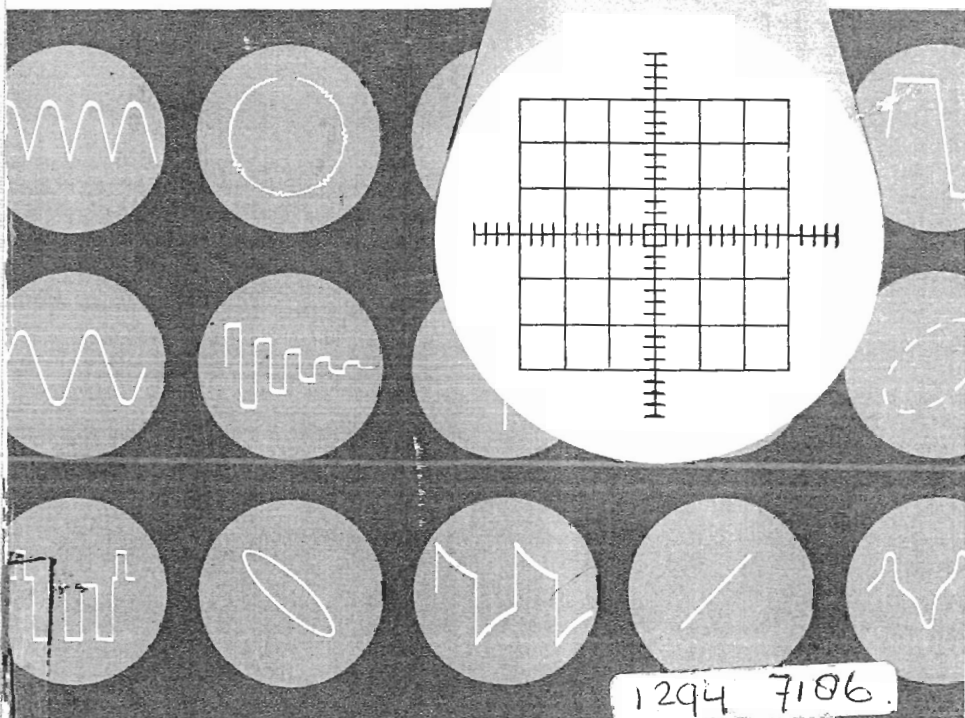


a.o.l. beerensla.w n kerkhofs

# 101 PROEVEN MET DE OSCILLOSCOOP



1294 7186

*kader* REEKS



101 PROEVEN  
MET EEN OSCILLOSCOOP

A. C. J. BEERENS  
A. W. N. KERKHOFS

≡≡≡ *kader* REEKS ≡≡≡≡≡

Dit boek wordt ook uitgegeven in het Engels, Frans en Duits

Het bevat 124 pagina's en 106 figuren

© N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken, Eindhoven, 1966

Nadruk, ook gedeeltelijk, verboden

Geen garantie wordt gegeven, dat de in dit boek vervatte informatie vrij loopt van octrooi-rechten; door deze publicatie wordt geen enkele licentie onder eventueel bestaande octrooien verleend.

Gedrukt in Nederland

## VOORWOORD

De elektronenstraaloscilloscoop is een van de meest universele meetinstrumenten die men zich kan indenken. Het aantal toepassingen van dit apparaat is bijna onbeperkt. Vroeger werd de oscilloscoop als een laboratoriuminstrument beschouwd, maar door de voortschrijdende techniek is de oscilloscoop sinds enige tientallen jaren in veel moderne bedrijven een onmisbaar hulpmiddel geworden. Ook het huidige technische onderwijs is bijna ondenkbaar zonder de hulp van de oscilloscoop.

Het grote voordeel van de elektronenstraaloscilloscoop ten opzichte van de mechanische meetsystemen, zoals volt- en ampèremeters, is zijn vrijwel traagheidsloze werking. Een elektronenstraaloscilloscoop kan men beschouwen als een *supersnelle universele grafiekschrijver*. „Universeel” omdat de te meten grootheden niet zijn beperkt tot die welke in de elektrotechniek optreden; men kan ook niet-elektrische grootheden waarnemen. Hierbij maakt men gebruik van „omzetters”, die de niet-elektrische grootheden omzetten in evenredige elektrische spanningen. Door gebruik te maken van hulpapparaten kan men zelfs meer dan één grafiek tegelijk zichtbaar maken.

In het navolgende worden eerst de globale werking en de eigenschappen van een gangbare oscilloscoop en zijn hulpapparatuur behandeld. Daarna volgt een samenvatting van de gebruikte omzetters. Tenslotte worden 101 proeven met behulp van een oscilloscoop beschreven. Met het getal 101 menen wij tot uitdrukking te brengen dat deze verzameling van proeven geen aanspraak maakt op volledigheid, doch slechts een keuze is uit de bijna onbeperkte mogelijkheden. Men mag echter niet de conclusie trekken dat het geheel een onafhankelijke verzameling van proeven is. Het is de uitdrukkelijke bedoeling, de lezer geleidelijk aan met de opbouw van eenvoudige schakelingen en met de bediening van de oscilloscoop vertrouwd te maken. Hiertoe voert hij zelfstandig een aantal niet te ingewikkelde proeven uit; proeven waarvan misschien de „ingewijde” vindt dat zij weinig spectaculair zijn. Wij menen echter dat eenvoudige proeven de basis vormen voor een verdere ontplooiing van de lezer.

Om een grote lezerskring te gerieven hebben we in hoofdzaak proeven gekozen die weinig hulpapparaten behoeven. Ongeveer 25% der proeven kan men uitvoeren als men slechts beschikt over een variabele gelijk- en wisselspanning. In ieder natuurkunde practicum vindt men evenwel een toongenerator en een LF-versterker; in dat geval kan men de helft der proeven doen. Beschikt men daarnaast over een kanteelspanningsgenerator dan komen nog eens ca. 25 proeven binnen het bereik. Om alle proeven uit te voeren zijn meer hulpapparaten vereist.

Naast een schakelschema en een korte beschrijving van de uit te voeren handelingen komt bij iedere proef een beknopte toelichting voor. In enkele gevallen zal die toelichting voldoende zijn. In de meeste gevallen kan zij slechts beogen de serieuze lezer te prikkelen; hem aan te zetten, méér van de achtergronden van de proef te willen kennen. Juist daarom menen wij dat het boekje uitermate geschikt is voor het moderne technische onderwijs.

## INHOUDSOPGAVE

I. De elektronenstraaloscilloscoop met bijbehorende hulp-apparaten . . . . .	1
1. De elektronenstraaloscilloscoop . . . . .	1
2. De elektronenschakelaar . . . . .	7
3. Voorversterkers . . . . .	8
II. Omzeters . . . . .	8
1. Elektrische grootheden . . . . .	9
2. Niet-elektrische grootheden . . . . .	9
III. 101 Proeven met behulp van een elektronenstraaloscil- loscoop . . . . .	15
1. IJken van het <i>Y</i> -kanaal in elektrische spanning . . . . .	15
2. Het meten van gelijkstroom . . . . .	16
3. De top-tot-top-waarde van een kanteelvormige spanning . . . . .	17
4. De gemiddelde waarde van een kanteelvormige spanning . . . . .	18
5. De top-tot-top-waarde van een sinusvormige spanning . . . . .	19
6. De effectieve waarde van een sinusvormige spanning . . . . .	20
7. De gemiddelde waarde van een „halve-sinus” . . . . .	21
8. De inductie-wet van Faraday . . . . .	22
9. Het testen van afschermmaterialen tegen magnetische velden . . . . .	23
10. De golflengte van een geluidssignaal . . . . .	24
11. IJken van het <i>X</i> -kanaal in tijd . . . . .	25
12. Het gebied der hoorbare frequenties . . . . .	26
13. De eigen-frequentie van een stemvork . . . . .	27
14. Trillingswijzen van een snaar . . . . .	28
15. Het bekijken en beluisteren van een kanteelvormig signaal . . . . .	29
16. Het uitgangssignaal van een radio . . . . .	30
17. Trilling van een pianosnaar . . . . .	31
18. Akoestische zwevingen . . . . .	32
19. De voortplantingssnelheid van het geluid in lucht . . . . .	33
20. Het Doppler-effect . . . . .	34
21. IJken van het <i>X</i> -kanaal in elektrische spanning . . . . .	35

22.	X- en Y-afbuiging met behulp van gelijkspanningen . . . . .	36
23.	X- en Y-afbuiging met behulp van sinusvormige spanningen. . . . .	37
24.	De stroom-spanningskarakteristiek van een weerstand . . . . .	38
25.	De stroom-spanningskarakteristiek van een V.D.R. . . . .	39
26.	Stroom-spanningskarakteristiek van een vacuümdiode . . . . .	40
27.	De stroom-spanningskarakteristiek van een kristaldiode . . . . .	41
28.	De stroom-spanningskarakteristiek van een gasdiode. . . . .	42
29.	Het werkgebied van een zenerdiode . . . . .	43
30.	Het werkgebied van een gasstabilisatiediode . . . . .	44
31.	Een condensator in een gelijkstroomcircuit . . . . .	45
32.	Laden van een condensator met behulp van een kortstondige stroom	46
33.	De capaciteit van een condensator. . . . .	47
34.	Het „natuurlijke” verloop van de stroom in een condensatorcircuit	48
35.	Het „natuurlijke” verloop van de spanning over een condensator .	49
36.	Een condensator in een wisselstroomcircuit . . . . .	50
37.	Fazeverschil van stroom en spanning bij een condensator. . . . .	51
38.	Grootheden die de capaciteit van een condensator bepalen . . . . .	52
39.	Wegen met behulp van een capacitieve opnemer. . . . .	53
40.	Bepalen van een vloeistofniveau met behulp van een capacitieve opnemer . . . . .	54
41.	Een spoel in een gelijkstroomcircuit . . . . .	55
42.	Bekrachtigen van een spoel met behulp van een kortstondige spanning. . . . .	56
43.	De zelfinductie van een spoel . . . . .	57
44.	Het „natuurlijke” verloop van de spanning over een spoel . . . . .	58
45.	Het „natuurlijke” verloop van de stroom door een spoel . . . . .	59
46.	Een spoel in een wisselstroomcircuit . . . . .	60
47.	Fazeverschil van stroom en spanning bij een spoel. . . . .	61
48.	Grootheden die de zelfinductie van een spoel bepalen . . . . .	62
49.	Eigenschappen van gekoppelde spoelen. . . . .	63
50.	Het bepalen van de lineaire uitzettingscoëfficiënt van metalen . . . .	64
51.	De netspanning . . . . .	65
52.	Het controleren van de ontsteking van een motor . . . . .	66
53.	De schakeltijden van een trilleromschakelaar . . . . .	67
54.	Selecterende eigenschappen van een trillingskring . . . . .	68
55.	Uitslingeren van een trillingskring . . . . .	69
56.	Uitslingeren van twee gekoppelde kringen . . . . .	70
57.	Het ontleden van een kanteelvormige spanning . . . . .	71
58.	De helderheid van een gloeilamp . . . . .	72
59.	De helderheid van een „TL”-lamp. . . . .	73
60.	Het bepalen van de ontstek- en de brandspanning van een gasge- vulde diode . . . . .	74

61. Een thyatron in een wisselspanningscircuit . . . . .	75
62. De primaire stroom van een nettransformator. . . . .	76
63. Zichtbaar maken van de hysteresislus van transformatorblik . . . . .	77
64. Zichtbaar maken van de hysteresislus van diëlektrisch materiaal . . . . .	78
65. Diodestroom bij enkelfazige gelijkrichting . . . . .	79
66. De uitgangsspanning van een dubbelfazige gelijkrichter. . . . .	80
67. Enige metingen aan een spanningsbegrenzer . . . . .	81
68. Het „hole-storage” effect van een halfgeleiderdiode . . . . .	82
69. „Niveau”-instelschakelingen . . . . .	83
70. Poortschakelingen . . . . .	84
71. Het afregelen van de verzwakkermeetkop van een oscilloscoop . . . . .	85
72. Metingen aan een coaxiaal-transmissiekabel. . . . .	86
73. Metingen aan een parallel-transmissiekabel . . . . .	87
74. Een in amplitude-gemoduleerd signaal . . . . .	88
75. Demoduleren van een AM-signaal . . . . .	89
76. Frequentie-vergelijking van twee hoogfrequent-signalen. . . . .	90
77. Snelheid, versnelling en verplaatsing van een trillend lichaam . . . . .	91
78. Opsporen van knopen en buiken van een trillende snaar . . . . .	92
79. Meten met een rekstrookje . . . . .	93
80. Een eenvoudige zaagtandgenerator . . . . .	94
81. Het fazeverschil van twee sinusvormige spanningen . . . . .	95
82. Meten van wisselstroomvermogen . . . . .	96
83. Frequentiemetingen met behulp van Lissajousfiguren. . . . .	97
84. Bepalen van het toerental van een motor . . . . .	98
85. Frequentiemetingen door middel van straalonderdrukking . . . . .	99
86. Het voor- of najlen van de $X$ - ten opzichte van de $Y$ -spanning . . . . .	100
87. Slingeren van een roterende as. . . . .	101
88. Zichtbaar maken van een $I_a$ - $V_{gk}$ -karakteristiek van een elektronenbuis . . . . .	102
89. $I_a$ - $V_{ak}$ -karakteristieken van een elektronenbuis bij twee $V_{gk}$ -waarden . . . . .	103
90. Zichtbaar maken van een $I_C$ - $I_B$ -karakteristiek van een transistor . . . . .	104
91. $I_C$ - $V_{CE}$ -karakteristieken van een transistor bij twee $I_B$ -waarden . . . . .	105
92. Eenvoudige „integrerende” netwerken . . . . .	106
93. De spanning voor- en achter het afvlakfilter van een gelijkrichter . . . . .	107
94. De frequentiezwaai van een FM-signaal . . . . .	108
95. Demoduleren van een FM-signaal . . . . .	109
96. Het frequentiegebied van een trillingskring . . . . .	110
97. Het frequentiegebied van een stel gekoppelde trillingskringen . . . . .	111
98. Het aantonen van de „zijbanden” van een AM-signaal . . . . .	112
99. Een videosignaal gedurende één „lijntijd” . . . . .	113
100. Een videosignaal gedurende één „rastertijd” . . . . .	114
101. De „stijgtijd” van de $Y$ -versterker van een oscilloscoop . . . . .	115



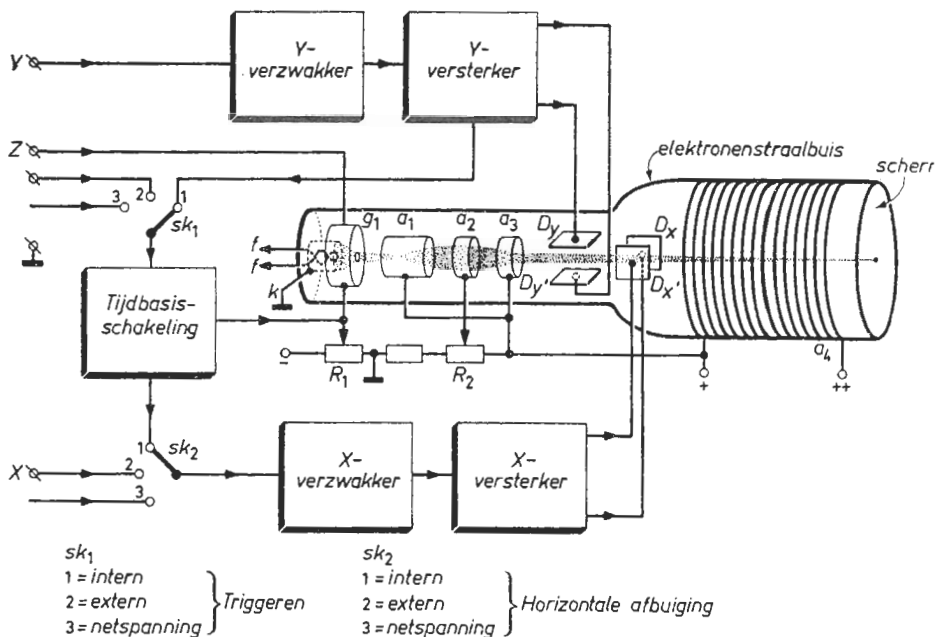
# I. DE ELEKTRONENSTRAALOSCILLOSCOOP MET BIJBEHORENDE HULPAPPARATEN

## 1. De elektronenstraaloscilloscoop

De hoofdbestanddelen van een elektronenstraaloscilloscoop zijn:

- De elektronenstraalbuis.
- De  $Y$ -versterker met verzwakker.
- De  $X$ -versterker met verzwakker.
- De tijdbasischakeling.

Bijgaande figuur toont het vereenvoudigde blokschema van een gangbare oscilloscoop. Daarna volgt een korte beschrijving van ieder blok.



### a. De elektronenstraalbuis

De elektronenstraalbuis bestaat uit een trechtervormige glazen ballon, die luchtledig is gepompt. In de nauwe hals zijn de diverse elektroden aangebracht; het wijde gedeelte is afgesloten met een vrijwel vlakke glazen plaat, die aan de binnenkant is voorzien van een dun laagje fosforiserend materiaal. Dit zogenaamde *scherm* licht op, daar waar het door elektronen wordt getroffen; de kleur van de lichtvlek is meestal groen (soms blauwachtig). De mate van oplichten is afhankelijk van de hoeveelheid elektronen en de snelheid waarmede

deze op het scherm komen. De elektronen worden verkregen door thermische emissie uit de katode  $k$ , die door een gloeidraad ( $f-f$ ) wordt verhit. Vlak voor de katode bevindt zich een cilindervormige metalen bus  $g_1$  (de zogenaamde wehneltcilinder), die op een kleine negatieve spanning ten opzichte van de katode is ingesteld. Door regeling van deze spanning met behulp van  $R_1$  worden meer of minder („negatieve”) elektronen afgestoten. Hoe groter deze negatieve spanning, hoe minder het aantal elektronen dat deze cilinder passeert. Men regelt zodoende de helderheid van de lichtvlek op het scherm ( $R_1 =$  *helderheids- of intensiteitsregeling*). Het is ook mogelijk de helderheid van buitenaf te beïnvloeden. Dit gebeurt via de aansluiting gemerkt met  $Z$ . Is de  $Z$ -spanning een wisselspanning dan verandert de helderheid in het ritme van deze spanning (dit noemt men *helderheidsmodulatie*). Men moet echter over een spanning van enige tientallen volt beschikken teneinde de elektronenstraal volledig te blokkeren zodat het scherm niet meer oplicht (zie bijvoorbeeld de proeven 85 en 86).

Na de wehneltcilinder volgen drie cilindervormige elektroden ( $a_1, a_2$  en  $a_3$ ); deze staan op een hoge positieve spanning ten opzichte van de katode. Hierdoor worden de elektronen door de opening van de wehneltcilinder „getrokken” en versneld. De anoden zelf worden, ten gevolge van hun specifieke vorm, niet door elektronen getroffen; deze vliegen er met grote snelheid doorheen. De anoden hebben niet dezelfde positieve spanning; de spanning op  $a_2$  is enige honderden volt lager als die op  $a_1$  en  $a_3$ . Dit spanningsverschil beïnvloedt de banen van de verschillende elektronen zodanig dat deze nagenoeg door één punt gaan. De combinatie  $a_1, a_2$  en  $a_3$  werkt dus als een elektronenlens. Door regeling van het spanningsverschil tussen  $a_2$  en  $a_1$ - $a_3$  met behulp van  $R_2$  kan men het brandpunt van deze „lens” zodanig verleggen dat men een scherpe lichtpunt ziet ( $R_2 =$  *focusregeling*).

De gemiddelde spanning op de afbuigplaten  $D_X$ - $D_X'$  en  $D_Y$ - $D_Y'$  is ongeveer gelijk aan die op  $a_3$ , waardoor de snelheid van de elektronen blijft gehandhaafd. Het spanningsverschil tussen de twee bij elkaar behorende platen bepaalt evenwel de afbuiging van de elektronenbundel in de horizontale- resp. de verticale richting. Is er geen spanningsverschil tussen  $D_X$  en  $D_X'$  en ook niet tussen  $D_Y$  en  $D_Y'$  dan valt de lichtstip in het midden van het scherm. Is  $D_Y$  positief ten opzichte van  $D_Y'$  dan wordt de elektronenstraal naar boven afgebogen; hoe groter dit spanningsverschil, hoe hoger de lichtpunt op het scherm komt (de afbuiging is evenredig met het spanningsverschil). Is  $D_Y$  daarentegen negatief ten opzichte van  $D_Y'$  dan valt de lichtstip beneden het midden van het scherm (zie proef 1). Een spanningsverschil tussen  $D_X$  en  $D_X'$  zal de elektronenbundel naar rechts resp. naar links doen bewegen, indien  $D_X$  positief resp. negatief is ten opzichte van  $D_X'$  (zie proef 21). Wordt er tussen  $D_Y$  en  $D_Y'$  een wisselspanning aangelegd dan trilt de lichtstip verticaal op en neer. Bij snelle trillingen beweegt de lichtstip zo vlug dat men, ten gevolge van de traagheid van het oog en de nalichting van het scherm, een stilstaande verticale lichtstreep ziet (zie bijvoorbeeld proef 5). Een horizontale streep kan men waarnemen indien er tussen  $D_X$  en  $D_X'$  een „snelle” wisselspanning is aangelegd. Op het scherm van de elektronenstraalbuis kan de lichtstip dus onder

gelijktijdige inwerking van twee spanningen nagenoeg traagheidsloos worden verplaatst; in de horizontale richting ten gevolge van de ene spanning ( $X$ -spanning) en in de verticale richting ten gevolge van de andere spanning ( $Y$ -spanning). Op deze wijze is het mogelijk twee spanningen met elkaar te vergelijken; met andere woorden, een grafiek van de  $Y$ -spanning als functie van de  $X$ -spanning af te beelden (de letters  $X$  en  $Y$  duiden op de gebruikelijke  $X$ - en  $Y$ -richtingen van een rechthoekig assenstelsel).

De afbuiggevoeligheid (dit is het benodigde spanningsverschil tussen een platenpaar om 1 cm verplaatsing van de lichtstip te verkrijgen) wordt bepaald door de snelheid waarmee de elektronen de afbuigplaten passeren. Bij een geringe snelheid wordt er lange tijd kracht op de elektronen uitgeoefend waardoor een goede afbuiggevoeligheid verzekerd is; echter ook een slechte lichtintensiteit. Teneinde de beeldhelderheid te vergroten zonder de afbuiggevoeligheid sterk te verminderen, legt men een spanning van enige duizenden volt aan de naversnellingsanode  $a_4$ . Door deze hoge spanning komen de elektronen met een grote snelheid op het scherm terecht en aangezien deze naversnelling plaats heeft achter de afbuigsystemen, wordt de afbuiggevoeligheid nauwelijks beïnvloed. De naversnellingsanode bestaat meestal uit een spiraalvormige baan van slechtgeleidend materiaal die aan de binnenzijde van de ballon is aangebracht. Deze spiraal is aan de schermzijde op de hoogspanning aangesloten en aan de andere zijde op een spanning die ongeveer overeenkomt met die op  $a_3$ . Ten gevolge van de geleidelijke spanningsval over deze weerstandsbaan blijft de richting van de elektronen gehandhaafd tijdens het versnellen.

De energie die vrijkomt indien elektronen op het scherm vallen wordt niet alleen omgezet in licht maar veroorzaakt ook zogenaamde „secundaire emissie”. Deze door het scherm geëmitteerde elektronen gaan naar  $a_4$ . Aldus is er een gesloten stroomcircuit: katode-elektronenbundel-scherm-secundaire emissie- $a_4$ -voedingsbron-katode.

#### **b. De $Y$ -versterker met verzwakker**

De gevoeligheid van de afbuigplaten ligt in de grootte orde van 20 à 30 volt. Doorgaans zijn de te meten spanningen niet zo hoog, zodat een voorafgaande versterking nodig is. Een zodanige versterking dat met behulp van bijvoorbeeld 100 mV reeds een afbuiging van 1 cm ontstaat, is betrekkelijk gemakkelijk te verwezenlijken. Men zegt dan dat de gevoeligheid van de versterker 100 mV per cm bedraagt. Indien de te meten spanningen zo groot zijn dat de versterker wordt „overstuurd”, moet men deze spanningen eerst verzwakken. Een verzwakker is een spanningsdeler bestaande uit weerstanden en/of condensatoren. Met behulp van een schakelaar of een potentiometer kan men de spanningsdeling in stappen resp. continu naar wens instellen. Er wordt dan een gedeelte van het aan de  $Y$ -klemmen toegevoerde signaal naar de ingang van de versterker doorgegeven. Op deze wijze wordt de gevoeligheid van het zogenaamde  $Y$ -kanaal ingesteld (men regelt de  $Y$ -versterking). Meestal gaat aan deze „variabele” spanningsdeler nog een „vaste” spanningsdeler van bijvoorbeeld 1 op 10 vooraf. De laatste is dan in een *meetkop* aan het begin van de bijbe-

horende meetkabel gemonteerd (zie proef 71). Bij het meten brengt men deze meetkop naar het meetobject, zodat de „verzwakte” spanning via de meetkabel naar de oscilloscoop wordt geleid. Het meetobject wordt aldus minder beïnvloed door de ingangsweerstand en de ingangscapaciteit van het  $Y$ -kanaal. De ingangsweerstand van een gangbare oscilloscoop bedraagt ongeveer  $1\text{ M}\Omega$ ; de ingangscapaciteit ca.  $20\text{ pF}$ .

Met behulp van een oscilloscoop wil men het verloop van de meest uiteenlopende verschijnselen afbeelden. Willekeurige spanningen (met verschillen in frequentie, amplitude en vorm) moeten dus „natuurgetrouw” worden versterkt. Men dient dus hoge eisen te stellen aan de overdrachtseigenschappen van het  $Y$ -kanaal. Voor een „getrouwe” versterking van snel veranderende spanningen is een snel „reagerende” schakeling nodig (zie proef 101). Dit kan men bereiken door capaciteits-arme en zelfinductie-arme onderdelen en montage toe te passen. (Bij proef 35 wordt aangetoond dat de spanning over een condensator niet snel kan veranderen; bij proef 45 ziet men dat de stroom door een spoel niet kan „springen”.) Een maat voor de „snelheid” van het  $Y$ -kanaal is de zogenaamde bandbreedte. Hiermee bedoelt men de hoogste frequentie van een spanning op de  $Y$ -ingang waarbij de afbuiging niet minder is als 70% van de afbuiging bij veel lagere frequenties. De kwaliteit van het  $Y$ -kanaal kan men uitdrukken in het product van versterking en bandbreedte. Deze twee eigenschappen zijn tegenstrijdig. Het is uiterst moeilijk een „brede-band”-versterker te construeren die bovendien ook nog veel versterking geeft. Een oscilloscoop met een gevoeligheid van  $100\text{ mV}$  per cm en een bandbreedte van  $5\text{ MHz}$  behoort tot de normale middenklasse. Er zijn echter ook oscilloscopen in de handel waarvan de bandbreedte, bij dezelfde gevoeligheid, het drie- of viervoud hiervan is.

Het  $Y$ -kanaal moet niet alleen spanningen met hoge frequenties getrouw versterken; ook langzaam-veranderende spanningen behoren onvervormd te worden doorgegeven. Moderne oscilloscopen zijn dan ook uitgerust met zogenaamde gelijkspanningsversterkers. Dit zijn versterkers waarin de koppeling tussen de diverse versterkertrappen „galvanisch” gebeurt. Dit in tegenstelling met wisselspanningsversterkers, die met condensatoren (deze laten geen gelijkstroom door) worden gekoppeld. Het ontbreken van koppelcondensatoren in een gelijkspanningsversterker houdt echter in dat naast de te meten gelijkspanning ook de gelijkspanningsvariaties in de versterker zelf worden doorgegeven. Dit kan aanleiding geven tot foutieve metingen. (Deze zogenaamde „gelijkspanningsdrijf” in de versterker kan bijvoorbeeld ontstaan ten gevolge van een tijdelijke verlaging van de voedingsspanning van de versterker; dit is weer het gevolg van onvermijdelijke netspanningsvariaties.) Het gebruik van gelijkspanningsversterkers dient men dan ook tot een minimum te beperken. Bij de meeste oscilloscopen kan men de  $Y$ -versterker naar keuze als gelijkspanningsversterker („D.C.”: Direct Current) of als wisselspanningsversterker („A.C.”: Alternating Current) schakelen. Men zet het  $Y$ -kanaal op „D.C.” indien men gelijkspanning (zie bijvoorbeeld proef 1), laagfrequente wisselspanning (proef 31) of wisselspanning met een gelijkspanningscomponent (proef 70) wil meten. In de andere gevallen verdient het aanbeveling het  $Y$ -kanaal op „A.C.” te

schakelen. (Tenzij anders vermeld, wordt bij de navolgende proeven steeds de „A.C.”-stand gebruikt.)

De uitgang van het  $Y$ -kanaal is praktisch altijd „gelijkspannings-gekoppeld” met de afbuigplaten. Dit biedt de mogelijkheid om naast het te meten signaal via dezelfde weg een interne gelijkspanning aan de platen te leggen. Door regeling van deze gelijkspanning kan men dan het oscillogram verticaal verschuiven ( $Y$ -verschuiving).

### c. De $X$ -versterker met verzwakker

De eisen ten aanzien van een „natuurgetrouwe” overdracht, die voor het  $Y$ -kanaal gelden, zijn uiteraard ook van toepassing op de  $X$ -versterker met verzwakker (het  $X$ -kanaal). Met behulp van de  $X$ -verzwakker regelt men de gevoeligheid van het  $X$ -kanaal; met de  $X$ -verschuiving kan men het oscillogram in horizontale richting verplaatsen. Bij sommige oscilloscopen is het  $X$ -kanaal identiek aan het  $Y$ -kanaal; in vele gevallen is de kwaliteit van de  $Y$ -versterker ( $Y$ -versterking maal bandbreedte) evenwel aanmerkelijk groter dan die van de  $X$ -versterker. Laatstgenoemde wordt bij de meeste toepassingen „gestuurd” met een grote „interne” spanning, zodat met een geringe  $X$ -gevoeligheid kan worden volstaan.

In het blokschema van de oscilloscoop zien we dat de ingang van het  $X$ -kanaal met behulp van de schakelaar  $Sk_2$  kan worden omgeschakeld. In stand 1 wordt de uitgangsspanning van de tijdbasissschakeling aan de ingang van het  $X$ -kanaal gelegd. De tijdbasissschakeling levert een lineair met de tijd verlopende spanning (zie verder punt d). In deze stand van de schakelaar is de  $X$ -afbuiging evenredig met de tijd. Het verloop van de spanning op het  $Y$ -kanaal wordt dus als functie van de tijd afgebeeld (zie bijvoorbeeld de proeven 12 t/m 20). Staat  $Sk_2$  in stand 2 dan is de ingang van de  $X$ -versterker met de „externe”  $X$ -klem verbonden. Legt men geen spanning aan deze klem dan is er ook geen  $X$ -afbuiging (zie bijvoorbeeld de proeven 1 t/m 10). Deze stand van  $Sk_2$  wordt ook gebruikt indien men twee „willekeurige” grootheden met elkaar wil vergelijken. Een spanning, die overeenkomt met de ene grootte voert men dan toe aan de  $Y$ -klem, terwijl een spanning overeenkomende met de andere grootte aan de  $X$ -klem wordt gelegd. Aldus verschijnt er op het scherm een grafiek, die het verband tussen beide grootheden weergeeft (zie bijvoorbeeld de proeven 22 t/m 30). Hierbij dient vermeld dat de  $X$ - en  $Y$ -spanning met één kant aan een gemeenschappelijk punt (de zogenaamde „aardklem”) zitten. Tenslotte kan  $Sk_2$  ook nog in stand 3 worden geschakeld. In dit geval is het  $X$ -kanaal verbonden met een wisselspanning van 50 Hz (afgeleid van de netspanning). In deze stand van  $Sk_2$  wordt de  $Y$ -spanning vergeleken met de netspanning.

### d. De tijdbasissschakeling

Dikwijls wenst men het verloop van een grootte als functie van de tijd zichtbaar te maken. Men legt dan de spanning die evenredig is met de desbetreffende grootte, via het  $Y$ -kanaal tussen de  $Y$ -afbuigplaten. Gelijktijdig sluit men tussen de  $X$ -afbuigplaten een zodanige spanning aan dat de elektronenstraal met

een constante snelheid van links naar rechts over het scherm beweegt. Nadat de lichtstip de rechterkant van het scherm heeft bereikt, moet de elektronenstraal weer snel terug naar zijn uitgangspunt links op het scherm. Daarna kan een nieuwe cyclus beginnen. De spanning op de afbuigplaat  $D_X$  ten opzichte van  $D_X'$  (zie het blokschema) moet dus „langzaam” en regelmatig toenemen van een zekere negatieve waarde naar een evengrote positieve waarde, en daarna weer „snel” afnemen naar de beginwaarde, enz. Een dergelijke spanning noemt men een „zaagtandspanning” (zie het oscillogram van proef 80). De tijd van het oplopende deel van de zaagtandspanning noemt men de „slagtijd”; de tijd van het afnemende deel is de „terugslagtijd”. Iedere oscilloscoop is uitgerust met een schakeling die zaagtandspanningen opwekt; dit is de zogenaamde *tijdbasis-schakeling*. Bij dit soort schakelingen gaat men praktisch altijd uit van het principe dat de spanning over een condensator lineair met de tijd verloopt indien deze condensator met een constante stroom wordt geladen of ontladen (zie proef 32). Tijdens de terugslagtijd levert de tijdbasis-schakeling een negatieve impuls aan de wehnelcilinder, zodat het scherm gedurende deze tijd donker wordt.

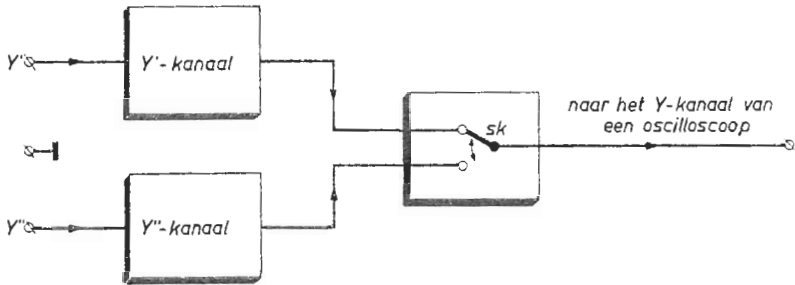
Teneinde een stilstaand beeld op het scherm te verkrijgen moet de periodetijd van de zaagtandspanning gelijk of een veelvoud zijn van die van de te meten spanning. Op de oscilloscoop is dan ook de mogelijkheid aangebracht, de periodetijd van de zaagtandspanning in stappen en/of continu in te stellen. Men regelt dan de schrijfsnelheid van de elektronenstraal in horizontale richting (de *X-snelheid*). Daar zowel de frequentie van de *Y*-spanning als die van de zaagtandspanning altijd min of meer instabiel zijn, zal de afbeelding na een kortere of langere tijd toch weer gaan „lopen”, zodat de *X*-snelheid opnieuw moet worden bijgesteld. Om deze omslachtige manier van werken te voorkomen, gaat men tegenwoordig als volgt te werk. Men „start” de tijdbasis-schakeling met behulp van de *Y*-spanning. Daarna volgt automatisch de slagtijd en de terugslagtijd, waarna de tijdbasis weer opnieuw moet worden gestart. Op deze manier is de *Y*-spanning „vergrendeld” met de zaagtandspanning en is een stilstaand beeld verzekerd. Deze manier van doen noemt men het „*triggeren*” van de tijdbasis. Hierbij dient te worden opgemerkt dat voor de goede werking, het triggersignaal niet te groot mag zijn (maximaal ca. 10 volt).

In het blokschema van de oscilloscoop zien we dat het „trigger-signaal” op verschillende wijze kan worden toegevoerd. Staat de schakelaar  $Sk_1$  in stand 1 dan wordt de tijdbasis „intern” getriggerd met behulp van de versterkte *Y*-spanning. Deze situatie is de meest gebruikelijke. (In de navolgende proeven wordt steeds „intern” getriggerd, tenzij anders vermeld.) In stand 2 van  $Sk_2$  kan men een „extern” triggersignaal aan de tijdbasis leggen (zie bijvoorbeeld de proeven 55 en 56). Schakelt men  $Sk_1$  in stand 3 dan wordt er met behulp van de netspanning getriggerd (zie bijvoorbeeld de proeven 65 en 66).

## 2. De Elektronenschakelaar

Men kan meer dan één grafiek tegelijk op één scherm zichtbaar maken door het toepassen van een zogenaamde *elektronenschakelaar*.

Bijgaand het vereenvoudigde schema van een elektronenschakelaar en een korte beschrijving van de werking.



Door middel van de „schakelaar” *Sk* worden achtereenvolgens de uitgangen van het *Y'*- en *Y''*-kanaal met het *Y*-kanaal van een oscilloscoop verbonden. (Wij stellen dat het *X*-kanaal van deze oscilloscoop „intern” wordt gestuurd met de tijdbasisspanning.) De te meten spanningen op de *Y'*- en *Y''*-klem worden dan beurtelings gedurende een bepaalde tijd op het scherm afgebeeld.

Zijn de *Y'*- en *Y''*-spanning laagfrequent (tot ca. 200 Hz), dan gebruikt men een schakelfrequentie van 2000 Hz of hoger. De beelden worden dan niet in hun geheel zichtbaar, maar zijn opgebouwd uit „beeldelementen”. Is de schakelfrequentie 10 maal hoger als die van de te meten signalen dan wordt iedere periode door 10 beeldelementen weergegeven, hetgeen als een minimum te beschouwen is. Een hoger aantal beeldelementen verdient aanbeveling omdat er dan minder beelddetails verloren gaan (zie proef 93).

Voor signalen met hoge frequenties (vanaf ongeveer 200 Hz), gebruikt men een schakelfrequentie die lager is als die van de te meten spanningen. Nu worden beurtelings één of meer volledige perioden zichtbaar (zie proef 92). (Deze manier van schakelen is bij eerder genoemde laagfrequent-spanningen niet goed mogelijk; bij schakelfrequenties lager als 25 Hz beginnen de beelden te „flikkeren”.)

Om zo weinig mogelijk van ieder beeld te verliezen, moet het omschakelen zelf zeer snel gebeuren. Het overspringen van de elektronenstraal van het ene naar het andere beeld is dan praktisch onzichtbaar. Het is te begrijpen dat een mechanische schakelaar voor dit doel veel te traag zou zijn. Men maakt dan ook gebruik van schakelingen met elektronenbuizen of transistors.

Het *Y'*- en *Y''*-kanaal bevatten elk onder andere een verzwakker waarmee men de gevoeligheid van het desbetreffende kanaal kan instellen (*Y'*- resp. *Y''*-gevoeligheid). Beide kanalen bezitten een gemeenschappelijke „aardklem”.

Er zijn tevens voorzieningen getroffen, de twee beelden ten opzichte van elkaar in verticale richting te verschuiven ( $Y'$ - en  $Y''$ -*verschuiving*); men regelt hierbij de gemiddelde uitgangsspanning tussen beide kanalen.

### 3. Voorversterkers

Indien de te meten spanningen zo klein zijn dat, ondanks de  $X$ - resp.  $Y$ -versterking in de oscilloscoop zelf, de resulterende afbuiging toch te gering is, is een extra versterking vóór de oscilloscoop noodzakelijk (zie bijvoorbeeld de proeven 95, 96 en 97). Voor dit doel zijn er *voorversterkers* in de handel, met behulp waarvan kleine spanningen (1 mV en kleiner) op de gewenste grootte kunnen worden gebracht. Het is vanzelfsprekend dat in dergelijke versterkers speciaal moet worden gelet op een minimum aan storende brom- en ruisspanningen; deze kunnen immers in dezelfde grootte orde liggen als de te meten spanningen.

We hebben gezien dat een goede oscilloscoop een betrouwbaar beeld geeft van het verloop van de te meten spanningen. Het is dan ook van het grootste belang dat iedere schakeling die opgenomen is tussen het meetpunt en de oscilloscoop een getrouwe overdracht geeft. Een universele voorversterker dient dus een grote *bandbreedte* te bezitten. Een andere belangrijke eigenschap van een oscilloscoop is, dat hij zelf een kleine belasting vormt voor het meetobject, zodat de bedrijfstoestand van het meetobject tijdens het meten niet noemenswaardig wordt verstoord. Een voorversterker moet deze eigenschap handhaven; de ingangsweerstand moet dus groot zijn (bijvoorbeeld 1 M $\Omega$ ) en de ingangscapaciteit laag (bijvoorbeeld 20 pF).

De meeste voorversterkers zijn uitgerust met een eenvoudige verzwakker waarmee de versterking kan worden ingesteld.

## II. OMZETTERS

Een oscilloscoop is een instrument dat in wezen elektrische spanningen kan waarnemen. Willen we hem gebruiken om andere grootheden te meten, dan moeten we in staat zijn die grootheden om te zetten in spanning. De elektronica komt ons daarbij te hulp. Zij kent vele elementen en schakelingen om elektrische- zowel als niet-elektrische grootheden in spanning om te zetten. Het element of onderdeel van een schakeling dat op de waar te nemen grootheid reageert noemen we een *opnemer*. De schakeling die die grootheid in spanning omzet en waarvan de opnemer deel uitmaakt, noemen we *omzetter*. Een volledige opsomming van opnemers of omzeters te geven is, zo niet onmogelijk, weinig zinvol. Een dergelijke samenvatting zou snel verouderd zijn; de elektronica levert ons bijna dagelijks nieuwe en/of verbeterde onderdelen. Daarentegen zijn vele opnemers en omzeters varianten op eenzelfde principe. We willen daarom in het volgende vooral aan die principes aandacht schenken.



## 1. Elektrische Grootheden

### a. Stroomsterkte

Een elektrische stroom is op bijzonder eenvoudige wijze „om te zetten” in een spanning. In het circuit waarin we de stroomsterkte willen bepalen, wordt een weerstand opgenomen. Men dient uiteraard die weerstand zo te kiezen dat hij het circuit niet verstoort. De weerstand veroorzaakt een (klein) spanningsverval. Volgens de wet van Ohm is dit spanningsverval evenredig met de stroomsterkte. Door middel van een *weerstand* kan men dus een stroomsterkte „omzetten” in een spanning. Toepassingen vindt men bij de proeven 24 tot en met 30.

### b. Weerstand

Volgens hetzelfde principe kan men weerstand „omzetten” in spanning. Hierbij gaat men uit van een bekende stroomsterkte van constante waarde. De spanning over de weerstand is dan evenredig met de weerstandswaarde.

### c. Zelfinductie

De door een veranderende stroom in een geleider opgewekte zelfinductiespanning is evenredig met de stroomverandering per tijdsfractie en de coëfficiënt van zelfinductie. Gaat men uit van een bekende stroomverandering per tijdsfractie (bijvoorbeeld door een wisselstroom van constante amplitude en frequentie door de geleider te sturen) dan is de amplitude van de spanning over de geleider (spoel) afhankelijk van de zelfinductie der geleider. Zo kan men zelfinductie „omzetten” in spanning. Wij hebben hiervan gebruik gemaakt bij proef 48.

### d. Capaciteit

De stroomsterkte in een condensatorcircuit is evenredig met de capaciteit en de spanningsverandering per tijdsfractie. Legt men aan de condensator een wisselspanning van constante frequentie en amplitude, dan is de maximale spanningsverandering per tijdsfractie een constante. De amplitude van de stroomsterkte in het circuit is dan evenredig met de capaciteit. Zetten we nu door middel van een weerstand (zie punt a) die stroomsterkte om in een spanning, dan is de amplitude van de spanning over die weerstand evenredig met de capaciteit van de condensator. Zie bijvoorbeeld proef 38.

## 2. Niet-elektrische grootheden

### e. Kleine afstanden, lengten e.d.

Er zijn vele mogelijkheden om een afstand om te zetten in een spanning. Men kan bijvoorbeeld gebruik maken van een als opnemer fungerende *vlakke condensator*. De capaciteit van zo'n condensator is omgekeerd evenredig met zijn plaatafstand. Leggen we de condensator aan een wisselspanning van constante frequentie en amplitude, dan is de amplitude van de stroom in het circuit om-

gekeerd evenredig met de plaatafstand. Zetten we de wisselstroom door middel van een weerstand om in een spanning (zie proef 38), dan is de amplitude van die spanning omgekeerd evenredig met de afstand der condensatorplaten. Moeten we bij wijze van voorbeeld de lengteverandering van een voorwerp meten dan koppelen we dat voorwerp aan één der platen; de andere plaat stellen we vast op. Neemt de lengte van het voorwerp toe dan neemt de plaatafstand af. De amplitude van de spanning over de weerstand verandert dan evenredig met de lengteverandering van het voorwerp.

Een tweede manier om afstand in spanning om te zetten, vindt men toegepast bij proef 50. De lengteverandering van de staaf wordt hier omgezet in een zelfinductieverandering van de spoel. Een wisselstroom van constante frequentie en amplitude geeft nu over de spoel een wisselspanning. De amplitude van die wisselspanning is evenredig met de zelfinductie der spoel. Een lengtetoe name van de staaf gaat dus samen met een toename van de amplitude van de spanning over de spoel.

Een derde mogelijkheid om lengte om te zetten in spanning is die waarbij gebruik wordt gemaakt van een *rekstrookje*. Een rekstrookje in zijn eenvoudigste vorm is een „weerstanddraadje” dat op een speciale wijze is aangebracht op bijvoorbeeld een papieren ondergrond. De weerstand van het draadje hangt af van de lengte. Rekt of krimpt het draadje dan wordt daardoor de weerstand groter respectievelijk kleiner. Wil men zeer kleine lengteveranderingen meten dan plakt men het rekstrookje op het te onderzoeken voorwerp. Verandert de lengte van het voorwerp dan rekt of krimpt het rekstrookje eveneens, zodat er een weerstandsvariatie ontstaat. Door middel van een elektrische stroom van constante sterkte wordt die weerstandsverandering omgezet in een spanningsverandering.

We hebben hier beschreven hoe een lengteverandering kan worden omgezet in een spanningsverandering door gebruik te maken van een „*capacitieve*” opnemer, een „*inductieve*” opnemer en een *rekstrookje*. Praktische opnemers zijn vaak varianten op de hier omschreven typen. Zo is de capaciteit van een condensator behalve van afmetingen afhankelijk van de stof die zich tussen de platen bevindt. Door het geheel of gedeeltelijk aanbrengen van een andere tussenstof verandert dus de capaciteit van de condensator (zie proef 38). Hiervan is gebruik gemaakt bij proef 40.

#### **f. Mechanische krachten, gewicht e.d.**

Lichamen die aan de inwerking van mechanische krachten zijn blootgesteld, ondergaan in het algemeen vormveranderingen, lengteveranderingen of iets van dien aard. Zolang een zekere grens niet wordt overschreden, zijn die veranderingen qua grootte evenredig met de aangewende kracht. Zo zal een draad iets rekken als we er een gewicht aan hangen. Maken we het gewicht twee-maal zo groot, dan verkrijgt men de dubbele oorspronkelijke rek. Een aan één zijde ingeklemde staaf buigt iets door onder inwerking van de zwaartekracht. Door hem extra te belasten wordt de doorbuiging groter. Een blokje rubber kan men

samendrukken door er op te knijpen. Het wordt meer samengedrukt als men harder knijpt. Men kan zulke krachten dan ook meten door het bepalen van de „vormveranderingen” die zij ten gevolge hebben. Praktisch komt dit neer op het meten van kleine lengteveranderingen volgens punt e. Een voorbeeld hiervan vinden we bij proef 39. De stukjes schuimrubber worden méér samengedrukt naarmate de aangewende kracht (het gewicht) groter is. De zo ontstane afstandsverandering komt overeen met een zekere capaciteitsvariatie van de capaciteive opnemer. De capaciteitsvariatie wordt omgezet in een stroomverandering. De spanning over een serieweerstand hangt dan af van de op de plaat uitgeoefende kracht.

Ook rekstrookjes zijn bijzonder geschikt voor het omzetten van krachten in spanningen. Zij worden in de praktijk dan ook vaak voor dit doel gebruikt. Zo plakt men wel eens één of meer rekstrookjes op een balk of dergelijke. Buigt de balk vanwege een hem belastende kracht iets door, dan treedt er in bijvoorbeeld de bovenste oppervlaktelaag een krimp op, in de onderste laag een rek. Die krimp en rek komen overeen met weerstandsvariëaties; zij kunnen worden omgezet in spanningsvariëaties. Bij proef 79 worden volgens dit principe periodieke doorbuigingen in spanningsvariëaties omgezet.

Het is ook mogelijk met behulp van een inductieve opnemer krachten te meten. De te meten kracht zou een ijzeren kern meer of minder ver binnen een spoel kunnen brengen. In dit geval verandert de zelfinductie van de spoel. De zelfinductieverandering kan volgens punt c in spanning worden omgezet. De inductieve opnemer die bij proef 50 is toegepast kan dienst doen als weegschaal. Neemt men de metalen staaf weg en belast men het I-ferroxcube-deel met een gewicht, dan is de spanning over de spoel afhankelijk van de grootte van het gewicht.

### **g. Geluidstrillingen, mechanische trillingen e.d.**

Voor het opnemen van geluidstrillingen kan men gebruik maken van een *microfoon*. Microfoons komen voor in verscheidene uitvoeringsvormen. Bij een *koolmicrofoon* worden door luchtdrukverschillen een hoeveelheid koolkorrels meer of minder samengedrukt. De luchtdrukverschillen hebben dus lengte- of afstandsveranderingen tot gevolg; deze op hun beurt weerstandsveranderingen. Voedt men de koolmicrofoon via een grote serieweerstand uit een batterij, dan verloopt de spanning over de microfoon in het ritme waarin de weerstand verandert; de trilling levert zodoende een wisselspanning. De amplitude daarvan is evenredig met de weerstandsverandering.

Een *condensatormicrofoon* bestaat in wezen uit twee onderling geïsoleerde platen. De ene plaat is vast, de andere beweegbaar opgesteld. Trillingen die de beweegbare plaat treffen doen haar meetrillen. Er ontstaan capaciteitsvariëaties. Legt men de microfoon via een grote serieweerstand aan een constante spanning dan kan de condensatorlading niet snel variëren. Capaciteitsvariëaties hebben dan spanningsvariëaties ten gevolge. De amplitude van de geleverde wisselspanning is evenredig met de capaciteitsvariëaties.

De werking van een *kristalmicrofoon* berust op het zogenaamde piëzo-elektrisch effect. Tussen de twee van een geleidende laag voorziene oppervlakken van een op de juiste wijze gesneden plaatje kristal blijkt een spanningsverschil te ontstaan als het plaatje rekt of krimpt. Rekken en krimpen hebben tegengestelde potentiaalverschillen ten gevolge. Praktisch plakt men twee van dergelijke kristalplaatjes op elkaar. Buigt het geheel, dan rekt het ene plaatje; het andere krimpt. Tussen de bekleedsels is dan een spanning beschikbaar. De trillingen van het kristal worden zodoende direct omgezet in spanning. Men behoeft hiervoor geen hulpspanning beschikbaar te hebben; bij de koolmicrofoon en de condensatormicrofoon is dat wél het geval.

Beweegt een geleider in een magnetisch veld zodanig dat hij krachtlijnen snijdt, dan wordt er in die geleider een spanning opgewekt; een zogenaamde E.M.K. van inductie. Hierop berust de werking van de *elektrodynamische microfoon*. Vaak bestaat de geleider uit een spoeltje dat aan een membraan is gekoppeld. Is de geleider een gespannen bandje, tevens dienst doende als membraan, dan spreekt men van een *bandmicrofoon*. De werking van zo'n microfoon wordt gedemonstreerd onder proef 78. De gespannen draad (hier wordt die door een trillingsgever in trilling gebracht) beweegt in een magnetisch veld (hier slechts gedeeltelijk). Tussen de uiteinden van de draad is de opgewekte E.M.K. beschikbaar. Een *luidspreker* kan ook dienst doen als elektrodynamische microfoon. Treft een trilling de conus (membraan) dan wordt er in de spreekspoel een inductiespanning opgewekt; de spreekspoel beweegt dan namelijk in een magnetisch veld.

Mechanische trillingen zoals die bij machine-onderdelen en dergelijke voorkomen, neemt men wel op met speciaal daartoe vervaardigde *inductieve trillingsopnemers*. Dergelijke opnemers worden aan het trillende voorwerp bevestigd. Zij berusten op het bij proef 8 gedemonstreerde inductieverschijnsel zodat de beschikbare inductiespanning evenredig is met de trillingssnelheid. Van zulke opnemers geeft men dan ook de „snelheidsgevoeligheid”. Dit is de geleverde inductiespanning per eenheid van snelheid. Door middel van een geschikte *RC*-combinatie kan men uit de inductiespanning die evenredig is met de snelheid tevens een spanning winnen die evenredig is met de versnelling in de trilling. De laatstgenoemde grootte is van belang als men de krachten waaraan het trillende voorwerp is blootgesteld wil kennen. Een andere grootte van praktisch belang is de maximale uitwijking (de verplaatsing) van een trillend voorwerp. Men kan die eveneens met behulp van een geschikt *RC*-netwerk uit de opnemerspanning bepalen. Bij proef 77 worden op deze wijze de genoemde trillingsgrootheden gemeten.

Bij proef 79 worden trillingen opgenomen middels een rekstrookje. Hier zijn de verkregen spanningsvariaties evenredig met de uitwijking. Ook hier kan men door middel van zogenaamde differentiërende netwerken (*RC*-combinaties) de andere trillingsgrootheden bepalen.

## h. Lichtsterkte, verlichtingssterkte e.d.

Men kent verscheidene systemen om licht „om te zetten” in spanning. Men maakt daarbij gebruik van lichtgevoelige elementen. Een in de elektronica veel voorkomend lichtgevoelig element is de *fotoweerstand*. De werking berust op het principe van „fotogeleiding”. Een laagje cadmiumsulfide dat in het donker nagenoeg een isolator is, wordt stroomgeleidend als het door licht wordt getroffen. De weerstand van het laagje hangt dus af van de verlichtingssterkte. Door het laagje met behulp van twee in elkaar grijpende kammen van een geleidend verf te verdelen, ontstaat er een parallelschakeling van een aantal fotoweerstanden. Hierdoor bereikt men dat de weerstand van het geheel in belichte toestand laag is. Vanwege zijn traagheid van reageren is de fotoweerstand niet zo geschikt om snelle lichtfluctuaties om te zetten.

Halfgeleiderdioden (kristaldioden) geleiden een elektrische stroom bij voorkeur in één richting (zie proef 27). De diodestroom hangt behalve van de aangelegde spanning enigszins af van de energietoevoer in de vorm van warmte of licht. Schakelt men de diode in sperrichting (de anode is dan negatief ten opzichte van de katode) dan is de diodestroom (sperstroom) gering. In dat geval komt het aandeel van de stroom ten gevolge van licht of warmtetoevoer goed tot uiting. Hierop berust de werking van de *fotodiode*. Praktisch doet het gebolde deel van een glazen ballonnetje waarin de diode zich bevindt, tevens dienst als lens; het invallende licht wordt daardoor gebundeld en effectiever gebruikt. Fotodioden zoals hier omschreven zijn veel minder traag dan fotoweerstanden. Fotodioden zijn toegepast bij de proeven 58, 59, 84 en 87.

Een ander lichtgevoelig element is de *fotocel*; zij werkt volgens het principe van foto-emissie. Een deel van de binnenkant van een luchtdiedige glazen ballon is bedekt met een laagje „katode-materiaal”, bijvoorbeeld caesiumoxyde. Belicht men dat laagje dan treden elektronen uit het katodeoppervlak. Een anode, verbonden met een positieve spanning, „zuigt” die elektronen aan; er vloeit een elektrische stroom gedragen door elektronen. De stroomsterkte (enkele microampères) hangt af van de verlichtingssterkte. Bij dezelfde verlichting kan men een stroomsterkte verkrijgen die 5 à 10 maal zo groot is, door een gasgevulde fotocel toe te passen. De elektronen die door foto-emissie uit de katode treden en bij een voldoende hoge spanning een grote snelheid verkrijgen, ioniseren dan gasmoleculen. Er zijn dan méér stroomdragers aanwezig zodat de elektrische stroom groter is dan in het geval van een vacuümbuis.

Een ander soort lichtgevoelig element is de *sperlaag-fotocel*. Op een plaatje koper is een laagje koperoxyde aangebracht. Hier overheen zit een metaalvliesje. Opvallend licht dringt door het vliesje en maakt elektronen vrij uit de oxydelaag. De vrijgekomen elektronen gaan naar het vliesje. Tussen het vliesje en het koperen plaatje is dan een potentiaalverschil aanwezig. Het potentiaalverschil is afhankelijk van de hoeveelheid licht dat de cel treft. Verlichtingssterkte wordt zodoende direct omgezet in spanning zonder tussenkomst van een hulpspanning.

## i. Temperatuur

Alhoewel „snelle” temperatuurvariatiës zelden voorkomen en men dus bij het meten van temperaturen meestal niet op een oscilloscoop is aangewezen, willen we tenslotte iets zeggen van het omzetten van temperatuurverschillen in spanningen. De weerstand van een geleider hangt af van de temperatuur. Bij een aantal geleiders (metalen) neemt de weerstand toe bij hoger wordende temperatuur. Men verklaart dit wel door aan te nemen dat de zich verplaatsende electronen bij toenemende temperatuur méér worden gehinderd door het heviger trillen van de „deeltjesstructuur”. Zulke geleiders hebben een positieve temperatuurcoëfficiënt. Men spreekt van *P.T.C.-weerstand*. De spanning over zo'n weerstand is, als men een constante stroom toevoert, afhankelijk van de temperatuur ter plaatse van de weerstand.

Het aantal „vrije elektronen” in een halfgeleider hangt af van de temperatuur. Bij toenemende temperatuur zijn er méér elektronen die aan de stroomgeleiding kunnen deelnemen. De weerstand van een halfgeleider neemt daarom af bij toenemende temperatuur. Hierop berust de werking van een *N.T.C.-weerstand*; een weerstand met een negatieve temperatuurcoëfficiënt. Middels een stroom van constante sterkte kan men de N.T.C.-weerstand gebruiken om temperatuur, in spanning om te zetten.

Temperatuurverschillen kan men meten via een *thermokoppel*. Wordt het laspunt van twee verschillende materialen (draden) blootgesteld aan een temperatuur die verschilt van die der vrije einden, dan ontstaat er een zogenaamde thermo-E.M.K. De thermo-E.M.K. is beschikbaar tussen de vrije uiteinden. Zonder tussenkomst van een hulpspanning wordt op deze wijze een temperatuur omgezet in een spanning.

# Proef I

## IJKEN VAN HET Y-KANAAL IN ELEKTRISCHE SPANNING

### Schakeling

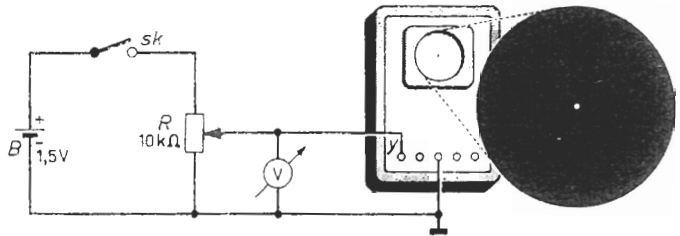


Fig. 1a

Fig. 1b

### Beschrijving

- Zet schakelaar  $Sk$  open en plaats het loopcontact van  $R$  onderaan.
- Zet het  $X$ -kanaal van de oscilloscoop op „extern” en het  $Y$ -kanaal op „D.C.”. Regel de  $X$ - en  $Y$ -verschuiving en de focus en intensiteit tot een scherpe juist waarneembare lichtstip in het midden op de beeldbuis zichtbaar wordt (een te grote helderheid heeft inbranden van het scherm tot gevolg).
- Zet  $Sk$  dicht. Regel de looper van  $R$  van onder naar boven; noteer de verplaatsing van de lichtstip en de bijbehorende uitslag van de voltmeter  $V$ .
- Sluit de batterij  $B$  en de voltmeter andersom aan en herhaal punt c.
- Herhaal de punten c en d voor de andere standen van de  $Y$ -verzwakker.

### Toelichting

De verticale deflectieplaten van de elektronenstraalbuis zijn zodanig aangesloten dat de elektronenstraal naar boven wordt afgebogen indien aan het  $Y$ -kanaal een spanning wordt gelegd die positief is ten opzichte van de aardklem. De lichtstip verschuift dus naar boven als men het loopcontact in een hogere stand brengt. Men kan nu bij verschillende standen van het loopcontact de voltmeter-

uitslag vergelijken met de verplaatsing van de lichtstip en vindt dan een ijktabel of een grafiek volgens fig. 1c. Poolt men de batterij om dan is de spanning op het  $Y$ -kanaal negatief ten opzichte van de aardklem. In dat geval beweegt de lichtstip zich naar beneden als men het loopcontact omhoog schuift. Ook voor andere standen van de verticale versterker kan men op dezelfde wijze grafieken samenstellen.

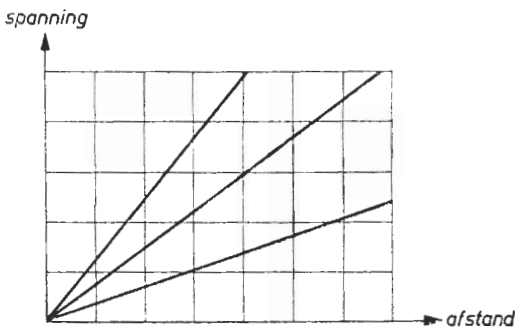


Fig. 1c

## Proef 2

### HET METEN VAN GELIJKSTROOM

#### Schakeling

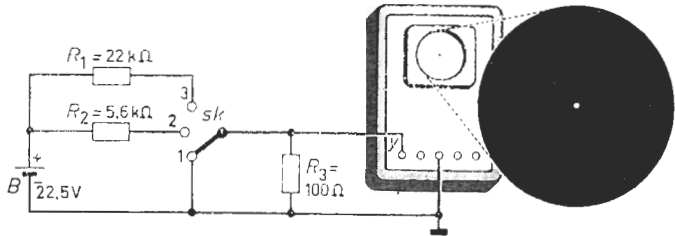


Fig. 2a

Fig. 2b

#### Beschrijving

- Plaats  $Sk$  in stand 1 (het  $Y$ -kanaal is met de aardklem verbonden).
- Zet het  $X$ -kanaal op „extern” en het  $Y$ -kanaal op „D.C.”. Regel de  $X$ - en  $Y$ -verschuiving en de focus- en intensiteitsregeling tot een scherpe juist waarneembare lichtstip in het midden op de beeldbuis zichtbaar wordt (voorkom inbranden van het scherm ten gevolge van een te grote helderheid).
- Schakel  $Sk$  in stand 2 en meet de verplaatsing van de lichtstip. Zet dit resultaat om in een overeenkomstige gelijkspanning aan de hand van de ijkgrafiek van proef 1. Bereken hieruit de stroom door de weerstand  $R_2$ .
- Plaats  $Sk$  in stand 3 en meet de stroom door  $R_1$  zoals bij punt c.
- Sluit de batterij  $B$  andersom aan en herhaal de punten c en d.

#### Toelichting

Staat  $Sk$  in stand 2 dan drijft de batterij een gelijkstroom door het circuit:  $B$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $B$ . De totale weerstand in dit circuit bestaat uit de som van  $R_2$  en  $R_3$ . Omdat  $R_3$  zeer klein is ten opzichte van  $R_2$  is de totale circuitweerstand nagenoeg gelijk aan  $R_2$ . De elektrische stroom veroorzaakt over  $R_3$  een (kleine) spanningsval, die de lichtstip op het scherm naar boven doet verschuiven. Deze verschuiving komt overeen met een spanning waarvan de grootte met behulp van de ijkgrafiek uit proef 1 kan worden bepaald. De stroomsterkte in het circuit is nu volgens de wet van Ohm gelijk aan het quotiënt van de gevonden spanning en de weerstandswaarde van  $R_3$ . Zet men  $Sk$  in stand 3 dan blijft  $R_3$  klein ten opzichte van de circuitweerstand. Ook in dit geval zal de stroomsterkte op gelijke wijze zijn te bepalen. Verwisselt men de aansluitingen van de batterij dan vloeit de elektrische stroom in tegengestelde richting. Hierdoor is de spanningsval over  $R_3$  van tegengestelde polariteit. De lichtstip verschuift dan naar beneden. Behalve de grootte, kan men dus ook de richting van de stroom vaststellen.



DE TOP-TOT-TOP-WAARDE  
VAN EEN KANTEELVORMIGE SPANNING

Schakeling

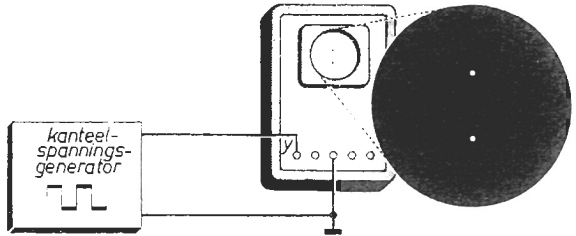


Fig. 3a

Fig. 3b

Beschrijving

- Regel de uitgangsspanning van de kanteelspanningsgenerator op ongeveer 1 volt; maak de herhalingsfrequentie ca. 1 kHz en de impulsverhouding 1 : 1.
- Zet het X-kanaal van de oscilloscoop op „intern”. Regel de Y-versterking en de X-snelheid tot een kanteelvorm zichtbaar wordt. Bestudeer dit beeld.
- Zet het X-kanaal op „extern”. Regel de Y-versterking en de X- en Y-verschuiving tot een juist zichtbaar oscillogram volgens fig. 3b ontstaat.
- Meet de afstand tussen de twee lichtstippen en zet het resultaat om in een overeenkomstig spanningsverschil aan de hand van de grafiek van proef 1.
- Maak de kanteelvormige spanning asymmetrisch en herhaal de punten b, c en d. Merk het helderheidsverschil van de twee lichtstippen op.

Toelichting

Een kanteelspanning is een gelijkspanning die beurtelings een lage en een hogere waarde aanneemt. Onder punt b zal men daarom een figuur waarnemen waarin twee niveaus zijn te onderscheiden. Vaak interesseert men zich alleen voor het verschil tussen deze twee spanningsniveaus, zonder daarbij te letten op de absolute waarden van de spanningen op zich zelf. Men spreekt dan van de top-tot-top-waarde van de kanteelspanning. Is de tijd dat het ene spanningsniveau optreedt, even lang als die gedurende welke het andere niveau optreedt, dan noemt men de kanteelspanning symmetrisch. Zijn deze tijden ongelijk dan is de kanteelspanning asymmetrisch. De lichtstippen op het scherm (punt e) zijn dan ongelijk van helderheid, omdat gedurende het ene spanningsniveau het scherm een kortere gelegenheid tot oplichten krijgt dan gedurende het andere niveau. Het verschil in helderheid der stippen zal dus groter worden naarmate de verhouding der „impulstijden” groter wordt. De afstand der lichtstippen is bij een bepaalde instelling der Y-versterker uitsluitend afhankelijk van de top-tot-top-waarde van de kanteelspanning (punt d).

DE GEMIDDELDE WAARDE  
VAN EEN KANTEELVORMIGE SPANNING

Schakeling

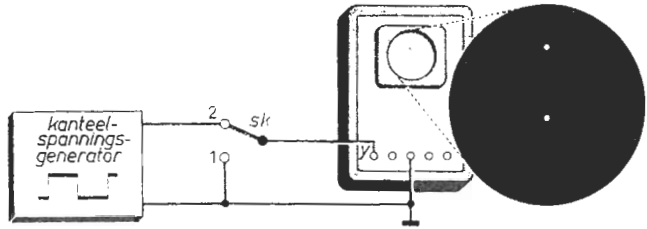


Fig. 4a

Fig. 4b

Beschrijving

- Maak de generatorspanning ongeveer 1 volt; regel de herhalingsfrequentie op ca. 1 kHz en de impulsverhouding op 1 : 1. Plaats *Sk* in stand 1.
- Zet het X-kanaal van de oscilloscoop op „extern”; het Y-kanaal op „D.C.”. Regel de X- en Y-verschuiving tot de lichtstip midden op het scherm ligt.
- Schakel *Sk* in stand 2. Regel de Y-versterking tot de afstand tussen de twee beeldpunten de halve schermhoogte bedraagt. Markeer deze punten.
- Zet het Y-kanaal op „A.C.”. Meet de verticale verplaatsing van het oscillogram en zet dit resultaat om in een overeenkomstige spanning (zie grafiek 1c).
- Maak de impulsverhouding groter respectievelijk kleiner en herhaal punt d.
- Herhaal de punten c en d bij andere waarden van de generatorspanning.

Toelichting

De uitgangsspanning van een kanteelspanningsgenerator bevat gewoonlijk een „gelijkstroomcomponent”; de gemiddelde waarde van de uitgangsspanning is ongelijk aan nul. Om dit te controleren, wordt *Sk* in stand 1 gezet; de Y-spanning is dan nul. De hoogte waar de lichtstip zich nu bevindt (men kan die regelen middels de „Y-verschuivingsknop”) is het „nulniveau”. Zet men *Sk* in stand 2 (punt c) dan wordt in de „D.C.”-stand van het Y-kanaal, de generatorspanning in zijn geheel, versterkt aan de deflectieplaten toegevoerd. We zien dan dat de twee lichtstippen (het maximale- en het minimale niveau der generatorspanning) niet even ver van het nulniveau liggen. Zou de („symmetrische”) generatorspanning géén gelijkstroomcomponent bevatten dan zou het maximale niveau (bovenste lichtstip) even ver boven- als het minimale niveau (onderste lichtstip) beneden het nulniveau liggen. Zet men het Y-kanaal op „A.C.” (punt d) dan wordt de gelijkstroomcomponent in de Y-versterker „tegengehouden”. De lichtstippen verschuiven dan zóveel als overeenkomt met de gelijkstroomcomponent. Onder de punten e en f wordt bekeken welke invloed de impulsverhouding en de grootte der uitgangsspanning op de gelijkstroomcomponent hebben.

## DE TOP-TOT-TOP-WAARDE VAN EEN SINUSVORMIGE SPANNING

### Schakeling

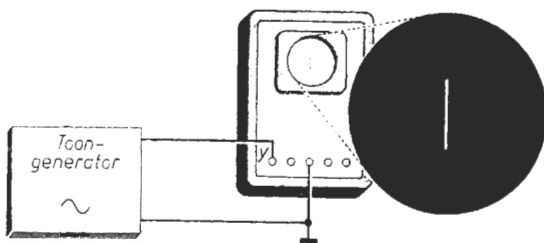


Fig. 5a

Fig. 5b

### Beschrijving

- Regel de uitgangsspanning van de toongenerator op ongeveer 1 volt en maak de frequentie ca. 1 kHz.
- Zet het  $X$ -kanaal op „intern”. Regel de  $Y$ -versterking en de  $X$ -snelheid tot een „sinusvorm” zichtbaar wordt. Bekijk dit beeld. Schakel het  $Y$ -kanaal op „D.C.” resp. „A.C.” en merk op dat het beeld niet verschuift.
- Zet het  $X$ -kanaal op „extern”. Regel de  $Y$ -versterking en de  $X$ - en  $Y$ -verschuiving tot een juist zichtbaar oscillogram volgens fig. 5b ontstaat.
- Meet de lengte van de verticale streep en zet het resultaat om in een overeenkomstig spanningsverschil aan de hand van de ijkgrafiek van proef 1. Merk op dat de helderheid van de streep in het midden het kleinste is.

### Toelichting

De toongenerator levert een „sinusspanning”. Dit is een spanning met een golfvormig verloop, waarvan de gemiddelde waarde nul volt bedraagt; dit laatste controleert men bij punt b. De spanning wordt dus afwisselend positief en negatief, terwijl er geen sprake is van het verspringen in niveau; de spanning verloopt steeds geleidelijk tussen een positief en een negatief maximum. De maximale waarde noemt men de amplitude, het aantal complete golven (perioden) per seconde de frequentie van de wisselspanning. De tijd waarin één golfvorm optreedt, heet: periodetijd. De spanning verandert het snelst van waarde op de momenten dat zij het kleinste is (dus in de nuldoorgangen). Op de momenten dat de spanning maximaal is, verandert zij slechts langzaam van waarde. Dit zijn kenmerken van een sinusvormige spanning. De elektronenstraal bevindt zich dus geruimere tijd geheel boven en geheel beneden in het oscillogram als in het midden van het scherm. Vandaar dat de helderheid van de streep (punt d) in het midden het kleinste is. De lengte van de streep komt overeen met de top-tot-top-waarde van de wisselspanning; dit is de dubbele amplitude.

## DE EFFECTIEVE WAARDE VAN EEN SINUSVORMIGE SPANNING

### Schakeling

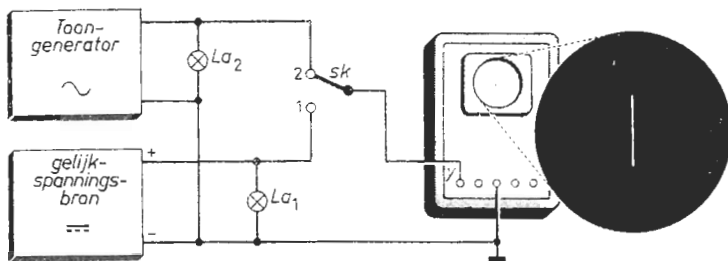


Fig. 6a

Fig. 6b

### Beschrijving

- Regel beide spanningen op nul volt. Gebruik voor  $La_1$  en  $La_2$  twee gelijke rijwiel-achterlichtlampjes. Plaats de schakelaar  $Sk$  in stand 1.
- Zet het  $X$ -kanaal op „extern” en het  $Y$ -kanaal op „D.C.”. Regel de  $X$ - en  $Y$ -verschuiving tot de lichtstip in het midden van het scherm ligt.
- Verhoog de gelijkspanning tot  $La_1$  juist oplicht. Meet de verplaatsing van de lichtstip en zet deze om in spanning (zo nodig de  $Y$ -versterking bijregelen).
- Zet  $Sk$  in stand 2. Verhoog de wisselspanning (1 kHz) tot  $La_2$  evenveel oplicht als  $La_1$ . Meet de beeldhoogte en bepaal de overeenkomstige spanning. Druk de effectieve waarde van de sinusspanning uit in haar amplitude.
- Herhaal punt d bij een andere, niet te lage frequentie van de wisselspanning.

### Toelichting

Een elektrische stroom die door een geleider vloeit, ontwikkelt daarin warmte. Is de ontwikkelde warmte groot genoeg dan gaat de geleider gloeien; er wordt licht uitgestraald. Dit is het geval bij de brandende lampjes. De daarin ontwikkelde warmte (dus de hoeveelheid licht) hangt af van de grootte van de stroom en daarmee van de spanning over de lampjes. Onder punt d branden de lampjes even fel. De door de constante stroom in  $La_1$  ontwikkelde warmte is dan gelijk aan de gemiddelde door de wisselstroom in  $La_2$  ontwikkelde warmte. De wisselspanning over  $La_2$  neemt slechts bij momenten haar maximale waarde aan; de gelijkspanning over  $La_1$  blijft constant van grootte. De amplitude der wisselspanning moet daarom voor eenzelfde warmte-ontwikkeling groter zijn dan de gelijkspanning. In dit verband geldt dat het kwadraat der gelijkspanning even groot is als het halve kwadraat der wisselspanningsamplitude. De amplitude der wisselspanning (de halve lengte der verticale streep) is dus  $\sqrt{2}$  maal zo groot als de gelijkspanning (de verplaatsing der lichtstip onder punt c). Men zegt nu: de „effectieve” waarde van een sinusspanning is het  $\sqrt{2}$ -de deel van de amplitude. Onder punt e blijkt dat de effectieve waarde onafhankelijk is van de frequentie.

## Proef 7

### DE GEMIDDELDE WAARDE VAN EEN „HALVE-SINUS”

#### Schakeling

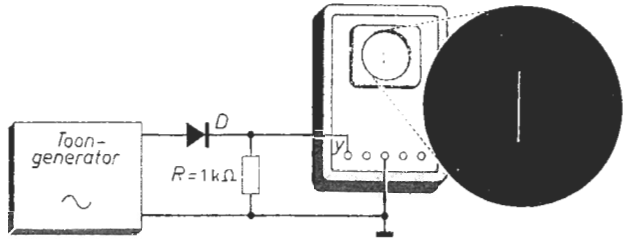


Fig. 7a

Fig. 7b

#### Beschrijving

- Maak de generatorspanning 10 volt; de frequentie b.v. 1 kHz. De diode  $D$  is van een zodanig type dat de diodespanning in geleidende toestand verwaarloosbaar is ten opzichte van 10 volt. De maximale diodestroom is 15 mA.
- Zet het  $X$ -kanaal op „intern” en het  $Y$ -kanaal op „A.C.”. Regel de  $Y$ -versterking en de  $X$ -snelheid tot enkele „halve-sinussen” zichtbaar zijn.
- Zet het  $X$ -kanaal op „extern”. Regel de  $X$ - en  $Y$ -verschuiving tot de verticale streep in het midden van het scherm ligt. Meet de lengte van die streep.
- Zet het  $Y$ -kanaal op „D.C.”. Meet hoeveel het beeld hierdoor verschuift. Bepaal uit dit resultaat en het vorige de gemiddelde waarde der  $Y$ -spanning.
- Herhaal de punten c en d bij enkele andere frequenties.

#### Toelichting

Soms wenst men de gemiddelde waarde van óf het „positieve” óf het „negatieve” deel van een wisselspanning te kennen. Het gaat dan om de „gelijkstroomcomponent” van een halve golf. Over  $R$  is gedurende de helft van de tijd een „halve-golf-spanning” aanwezig. We controleren dat onder punt b. Voor de werking van de schakeling zij verwezen naar de proeven 27 en 65. Vanwege haar „bolheid” kan men zeggen dat de gemiddelde waarde van een halve-golf groter is dan de halve amplitude; tevens moet zij kleiner zijn als de maximale waarde. De gelijkstroomcomponent van een halve-sinus zal dus moeten liggen tussen een half- en éénmaal de amplitude. In dit verband geldt dat de gemiddelde waarde van een halve-sinus het  $\pi$ -de deel is van de dubbele amplitude. Gedurende de halve tijd is er geen spanning over  $R$  aanwezig. De gelijkstroomcomponent der  $Y$ -spanning is dus de helft van die der halve golf. Schakelen we het  $Y$ -kanaal van de „A.C.”- in de „D.C.”-stand (punt d) dan wordt eerst de gelijkstroomcomponent niet, – later wél aan de deflectieplaten doorgegeven. Het beeld verschuift dan juist evenveel als overeen komt met de gelijkstroomcomponent der  $Y$ -spanning. De gemiddelde waarde hangt niet af van de frequentie (punt e).

DE INDUCTIE-WET VAN FARADAY

Schakeling

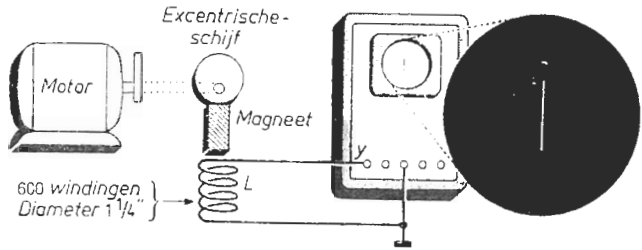


Fig. 8a

Fig. 8b

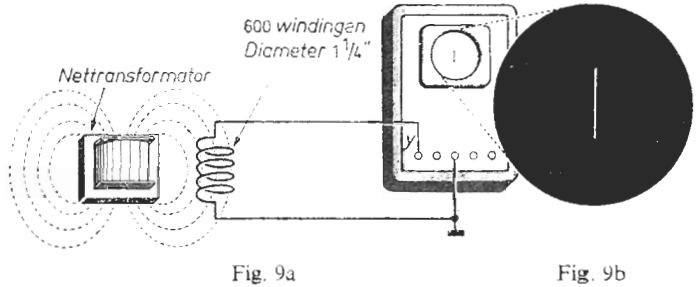
Beschrijving

- Op de as van een draaiende motor is een excentrische schijf aangebracht. Met behulp hiervan wordt een magneet op en neer bewogen in de spoel  $L$ .
- Zet het  $X$ -kanaal van de oscilloscoop op „extern”. Regel de  $Y$ -versterking en de  $X$ - en  $Y$ -verschuiving tot het oscillogram volgens fig. 8b ontstaat.
- Meet de lengte van de verticale streep en zet dit resultaat om in een overeenkomstig spanningsverschil aan de hand van de ijkgrafiek van proef 1.
- Laat de motor sneller lopen en herhaal de meting volgens punt c. Doe de meting nogmaals indien de motor minder toeren maakt.
- Plaats de motor iets verder van  $L$  zodat de magneet slechts gedeeltelijk in de spoel wordt bewogen en herhaal de meting van punt c.

Toelichting

Een ruimte waarbinnen magnetische invloeden merkbaar zijn, noemt men een magnetisch veld. Wanneer een magnetisch veld ten opzichte van een geleider (een draad, spoel of dergelijke) verandert van plaats of sterkte, dan wordt er in die geleider een spanning opgewekt; een zogenaamde E.M.K. (Elektro-Motorische-Kracht) van inductie. De inductiewet van Faraday die dit verschijnsel beschrijft, leert dat de grootte van die E.M.K. evenredig is met de mate waarmee een veld verandert, en omgekeerd evenredig met de tijd waarin die verandering optreedt. Behalve uit de verandering van de sterkte kan de veldverandering bestaan uit het verplaatsen van de magneet of uit het verplaatsen van de geleider. Bij deze proef wordt de magneet verplaatst. De opgewekte spanning (dus de lengte van de streep op het scherm) wordt groter naarmate de motor sneller loopt, omdat in dit geval de tijd waarin een verplaatsing optreedt korter wordt. Onder punt e wordt de magneet met dezelfde snelheid en over dezelfde afstand verplaatst; toch is hier de opgewekte spanning lager omdat de sterkte van het veld ter plaatse van de spoel kleiner is, naarmate de spoel verder van de magneet is verwijderd.

Schakeling



Beschrijving

- Zet het X-kanaal op „extern” en de Y-versterking op maximum. Schakel een spoel tussen het Y-kanaal en de aardklem (zie fig. 9a).
- Breng de spoel in de buurt van het magnetisch veld van een nettransformator of elektromotor. Draai de spoel tot de verticale streep op de beeldbuis de grootste lengte heeft. Regel de Y-versterking tot het oscillogram goed meetbaar is (zie fig. 9b).
- Meet de hoogte van het oscillogram en zet het resultaat om in een evenredige spanning aan de hand van de ijkgrafiek van proef 1 (fig. 1c).
- Zet om de spoel achtereenvolgens een koperen, een ijzeren en een „Mu”-metalen bus en herhaal de meting volgens punt c. Vergelijk de resultaten.

Toelichting

Behalve permanente magneten zijn er elektromagneten; zij ontleen hun kracht aan een elektrische stroom. Zo ontleent de nettransformator zijn magnetisch veld aan een wisselstroom. Ook buiten de transformator is een (zij het zwak) magnetisch veld aanwezig dat voortdurend van sterkte verandert, omdat het door een wisselstroom wordt opgewekt. Volgens proef 8 wordt dan in de spoel een E.M.K. opgewekt. In magnetische velden tekent men vaak krachtlijnen; zij geven de richting van de magnetische kracht aan. Zo zijn in fig. 9a enkele krachtlijnen getekend, die als het ware de transformator koppelen met de spoel. De opgewekte E.M.K. is nu groter naarmate deze (inductieve) koppeling groter is, dit wil zeggen naarmate er meer krachtlijnen van de transformator de spoel snijden. Verscheidene ijzersoorten hebben de eigenschap magnetisme te bundelen. Zet men om de spoel een ijzeren bus, dan gaan de meeste krachtlijnen door deze bus buiten de spoel om. De inductieve koppeling en daarmee de opgewekte E.M.K., is dan kleiner. Op deze wijze kan men er voor zorgen dat een geleider wordt afgeschermd tegen een storend magnetisch veld.

## Proef 10

### DE GOLFLENGTE VAN EEN GELUIDSSIGNAAL

#### Schakeling

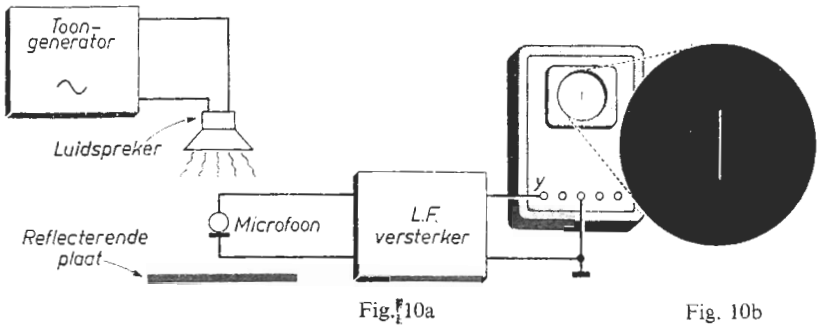


Fig. 10a

Fig. 10b

#### Beschrijving

- Regel de generatorspanning tot de luidspreker een duidelijk hoorbare toon weergeeft; de frequentie instellen op ongeveer 1 kHz.
- Plaats de luidspreker op ca. 1 meter voor een reflecterende plaat (glad materiaal) en de microfoon in het midden tussen beide in (zie fig. 10a).
- Zet het X-kanaal van de oscilloscoop op „extern”. Regel de Y-versterking en de X- en Y-verschuiving tot een afbeelding volgens fig. 10b zichtbaar wordt.
- Beweeg de microfoon over een denkbeeldige verbindingslijn tussen de luidspreker en de reflecterende plaat, en meet de afstand tussen de plaatsen waarbij het oscillogram een maximale resp. een minimale hoogte heeft. Bereken met deze gegevens de golflengte van het weergegeven signaal.

#### Toelichting

De luidspreker brengt de luchtdeeltjes in longitudinale trilling, dit wil zeggen dat de trillingsrichting dezelfde is als de voortplantingsrichting. Plaast men een reflecterend scherm dan ontvangt de microfoon een trilling vanaf het scherm en een trilling vanuit de richting van de luidspreker. Onder invloed van beide trillingen ontstaat er op de verbindingslijn een zogenaamde staande golfbeweging, zodanig dat op bepaalde punten (knopen) de luchtdeeltjes bijna in rust zijn terwijl op andere punten (buiken) juist extra grote verplaatsingen ontstaan. Een knoop ontstaat doordat op de luchtdeeltjes twee tegengesteld gerichte krachten worden uitgeoefend. De éne trilling wil de deeltjes in de ene richting, de andere in de andere richting doen bewegen. In de buiken helpen de krachten elkaar zodat de uitwijkingen daar groot zijn. Plaast men de microfoon in een knoop dan is dus het oscillogram klein, in een buik daarentegen groot. De afstand tussen twee opeenvolgende knopen of tussen twee opeenvolgende buiken is gelijk aan de halve golflengte van de trilling. De golflengte vindt men dus door de afstand tussen bijv. twee opeenvolgende knopen met twee te vermenigvuldigen.



# Proef 11

## IJKEN VAN HET X-KANAAL IN TIJD

### Schakeling

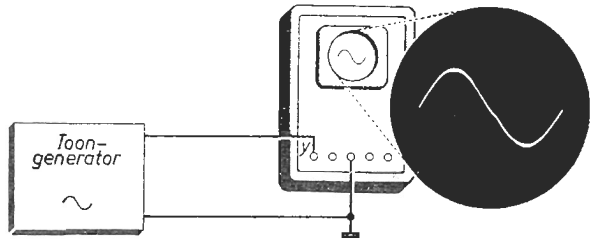


Fig. 11a

Fig. 11b

### Beschrijving

- Regel de uitgangsspanning van de toongenerator op 1 volt; frequentie 20 Hz.
- Zet het X-kanaal van de oscilloscoop op „intern”. Regel de Y-versterking en de X-snelheid tot één sinus-periode volgens fig. 11b zichtbaar wordt.
- Meet de breedte van het oscillogram. Lees op de toongenerator de ingestelde frequentie af en bepaal hieruit de periodetijd van de gebruikte spanning.
- Maak de frequentie van de generatorspanning hoger tot er 5 à 6 perioden op de beeldbuis verschijnen. Meet de afstanden tussen de nuldoorgangen.
- Herhaal de metingen volgens de punten c en d bij andere schrijfsnelheden. Hierbij dient men de frequentie van de generatorspanning aan te passen.

### Toelichting

Stel de schrijfsnelheid is 1 m/s en het oscillogram is 5 cm breed. De lichtstip beweegt dan in 0,05 s van uiterst links naar uiterst rechts. Voert men nu aan het Y-kanaal een wisselspanning toe waarvan één periode 0,05 s duurt (dus van 20 Hz) en die begint op het moment dat de punt zich uiterst links bevindt, dan is in die éne periodetijd de lichtstip behalve van links naar rechts, éénmaal naar boven en beneden geweest. We zien dan één complete golf (punt c). Verhogen

we nu de frequentie van de generatorspanning tot we bijv. 5 golven (punt d) zien, dan is de periodetijd van iedere golf 0,01 s. De afstand van twee willekeurige elkaar opeenvolgende „nuldoorgangen” is dan 0,5 cm; overeenkomende met 5 ms. Voor een aantal standen van de schrijfsnelheid kunnen grafieken worden samengesteld; fig. 11c geeft er enkele.

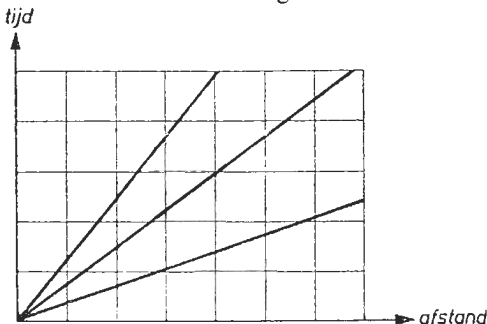


Fig. 11c

## Proef 12

### HET GEBIED DER HOORBARE FREQUENTIES

#### Schakeling

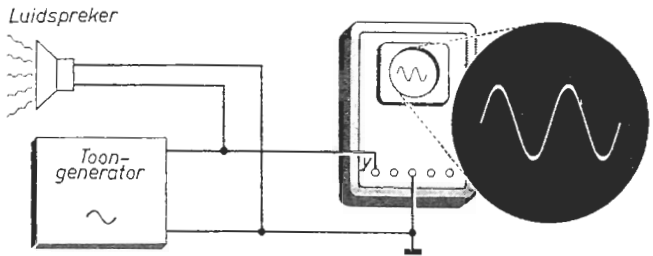


Fig. 12a

Fig. 12b

#### Beschrijving

- Maak de frequentie van de generatorspanning 1 kHz en regel de amplitude tot de luidspreker een duidelijk hoorbare toon weergeeft.
- Zet het X-kanaal van de oscilloscoop op „intern”. Regel de Y-versterking en de X-snelheid tot een afbeelding volgens fig. 12b zichtbaar wordt.
- Verhoog resp. verlaag de frequentie van de generatorspanning tot U geen geluid meer hoort. Meet in beide gevallen de trillingstijd aan de hand van de ijkgrafiek die in proef 11 is opgenomen (zie fig. 11c).
- Maak de uitgangsspanning van de toongenerator achtereenvolgens hoger en lager. Bestudeer de oscillogrammen; luister tevens naar de geluidsterkte.
- Herhaal punt d bij andere frequenties in het hoorbare gebied.

#### Toelichting

Trillingen moeten om via het menselijk gehoororgaan een geluidsindruk te veroorzaken in een bepaald frequentiegebied liggen. Dit gebied kan worden bepaald met behulp van de meting onder punt c; het strekt zich uit van ongeveer 15 Hz tot 20 kHz, min of meer afhankelijk van de proefpersoon en zijn leeftijd. Naarmate men de frequentie verhoogt, neemt men een hogere toon waar en ziet men meer golven op het scherm. De toonhoogte wordt dus bepaald door het aantal trillingen per seconde en hangt bepaald niet af van de sterkte van het luidsprekersignaal; het laatste wordt gedemonstreerd onder punt d. Hier zien we het oscillogram hoger worden terwijl de toonhoogte gelijk blijft. Wel nemen we een krachtiger geluid waar als de amplitude van de trilling groter wordt. Conclusie: de luidheid hangt af van de amplitude der trilling. Is de amplitude te klein dan ligt het signaal beneden de onderste hoorbaarheidsgrens (gehoordrempel) en horen we het niet meer. Is de amplitude te groot dan wordt de bovenste hoorbaarheidsgrens (pijngrens) overschreden en men krijgt een indruk van pijn. De gehoordrempel hangt in tegenstelling met de pijngrens in vrij sterke mate af van de frequentie.

## Proef 13

### DE EIGEN-FREQUENTIE VAN EEN STEMVORK

#### Schakeling

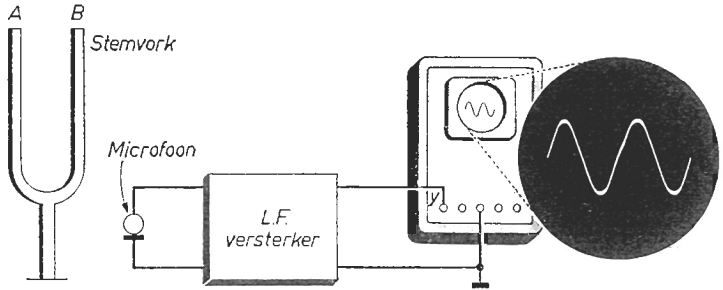


Fig. 13a

Fig. 13b

#### Beschrijving

- Breng de stemvork in trilling door tegen de punten *A* of *B* te tikken.
- Zet het *X*-kanaal van de oscilloscoop op „intern”. Regel de *Y*-versterking en de *X*-snelheid tot een afbeelding volgens fig. 13b zichtbaar wordt.
- Meet de trillingstijd (fig. 11c) en bepaal hieruit de frequentie. Bestudeer het oscillogram en merk op dat de amplitude langzaam kleiner wordt.
- Sla de stemvork opnieuw aan en breng een tweede stemvork van hetzelfde soort in de buurt van de eerstgenoemde, die vervolgens wordt gedempt door de punten *A* en *B* stil te zetten (houdt deze punten met twee vingers vast).
- Breng de microfoon in de nabijheid van de tweede stemvork en herhaal de meting volgens punt c. Zo nodig de *Y*-versterking groter maken.

#### Toelichting

Men kan een lichaam dwingen om in een bepaalde frequentie te trillen; in dat geval moet men om de trilling te onderhouden relatief veel energie toevoeren. Daarnaast hebben vele lichamen (platen, staven, snaren enz.) de eigenschap om bij voorkeur in een zeer bepaalde frequentie (de zogenaamde eigenfrequentie) te trillen. Hiervoor behoeft men als regel slechts weinig energie toe te voeren. Laat men het lichaam (na éénmalige energietoevoer) aan zijn lot over dan „trilt het uit” in zijn eigenfrequentie. Is na een zekere tijd de amplitude de helft geworden, dan is na nogmaals zo’n tijd de amplitude tot op een vierde gedaald, weer een gelijk tijdsbestek later tot op een achtste enz. De trilling van de stemvork treft de microfoon. Op het scherm ontstaat dan een vrijwel sinusvormig oscillogram. De hoogte van het oscillogram neemt af volgens het bovenvermelde natuurlijke proces (punt c). Onder punt d wordt het zogenaamde „medeklinken” of resoneren gedemonstreerd. De tweede stemvork heeft dezelfde eigenfrequentie als de eerste en wordt in trilling gebracht door luchtdrukverschillen (verdichtingen en verdunningen) afkomstig van de eerste stemvork.

## Proef 14

### TRILLINGSWIJZEN VAN EEN SNAAR

#### Schakeling

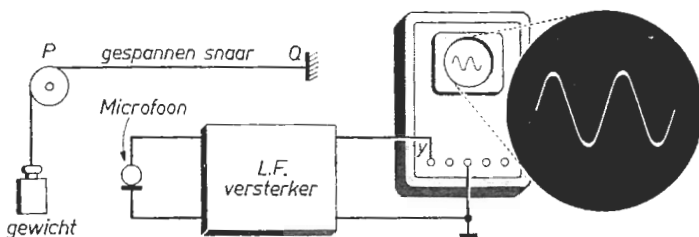


Fig. 14a

Fig. 14b

#### Beschrijving

- Een snaar zit bij punt  $Q$  vast en is gespannen met behulp van een gewicht. Breng de snaar in trilling door deze in het midden aan te tikken.
- Zet het  $X$ -kanaal van de oscilloscoop op „intern”. Regel de  $Y$ -versterking en de  $X$ -snelheid tot een afbeelding volgens fig. 14b zichtbaar wordt.
- Meet de trillingstijd aan de hand van de ijkgrafiek van proef 11. Bestudeer het oscillogram en merk op dat de amplitude langzaam kleiner wordt.
- Houdt de snaar in het midden vast en sla haar daarna aan op  $\frac{1}{4}$  van haar lengte. Vergelijk het resulterende oscillogram met dat van punt c.
- Maak het gewicht tweemaal zo groot en herhaal de punten a en c.
- Verkort de snaar tot de halve lengte en herhaal de punten a en c.

#### Toelichting

Tikt men de snaar aan, dan planten zich lopende transversale golven voort over de snaar; zij worden teruggekaatst tegen de vaste einden  $P$  en  $Q$ . De lopende golven tezamen vormen dan een trillingspatroon dat men een staande golfbeweging noemt. Het kenmerkende is, dat er punten van de snaar (knopen) steeds in rust zijn terwijl er andere punten (buiken) hevig trillen. De afstand tussen twee opeenvolgende knopen is gelijk aan de halve golflengte van de lopende golven die de oorzaak van de staande golfbeweging zijn. In het eenvoudigste geval (punt a) ontstaan er knopen bij  $P$  en  $Q$ ; in het midden der snaar een buik. De snaarlengte  $PQ$  is dan de halve golflengte. Onder punt d ontstaat er behalve bij  $P$  en  $Q$  een knoop in het midden der snaar; de golflengte is dan de snaarlengte. Onder punt e blijkt dat de trillingstijd omgekeerd evenredig is met de wortel uit de spanning in de snaar. Dit komt omdat de voortplantingssnelheid toeneemt met de genoemde factor, terwijl de golflengte gelijk blijft (de golflengte is het product van de voortplantingssnelheid en de trillingstijd). Halveert men de snaar (punt f) dan worden daarmee de golflengte en de trillingstijd gehalveerd; de frequentie van het waargenomen signaal wordt dus verdubbeld.

**HET BEKIJKEN EN BELUISTEREN  
VAN EEN KANTEELVORMIG SIGNAAL**

**Schakeling**

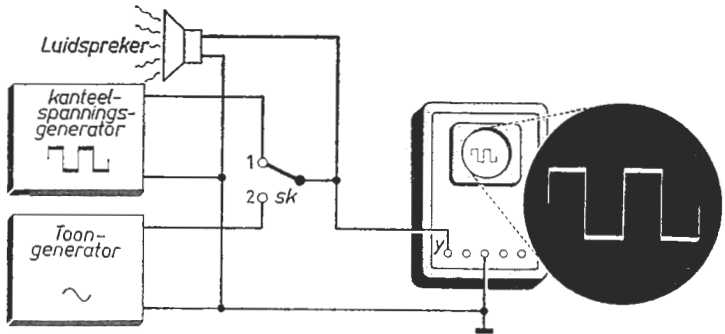


Fig. 15a

Fig. 15b

**Beschrijving**

- Maak de frequentie van beide generatorspanningen 1 kHz. Plaats de schakelaar *Sk* in stand 1 en regel de grootte van de kanteelspanning tot de luidspreker een duidelijk hoorbaar geluid weergeeft (impulsverhouding 1 : 1).
- Zet het *X*-kanaal van de oscilloscoop op „intern”. Regel de *Y*-versterking en de *X*-snelheid tot een afbeelding volgens fig. 15b zichtbaar wordt.
- Meet de hoogte van het oscillogram. Luister aandachtig naar de klank (timbre) van de toon die door de luidspreker wordt weergegeven.
- Zet *Sk* in stand 2 en regel de uitgangsspanning van de toongenerator tot de beeldhoogte gelijk is aan die van punt c. Luister naar de klank van de toon.
- Herhaal de punten a, c en d bij een lagere resp. hogere frequentie.

**Toelichting**

De amplituden der trillingen onder c en d zijn gelijk en ondanks het feit dat ook de „trillingstijden” dezelfde zijn, krijgen we toch een verschillende geluidsindruk. De twee signalen hebben een ongelijke klank of een ongelijk timbre. Op het scherm zien we verschillende „spanningsvormen”. De klank hangt dan ook af van de „vorm” der trilling; dit is van de wijze waarop een voorwerp (hier de luidsprekerconus) trilt. Men kan een willekeurige trilling opbouwen door aan een gelijkfrequente sinusvormige trilling (de grondgolf), een aantal harmonischen of boventonen toe te voegen. Dit zijn sinusvormige trillingen met frequenties die een veelvoud zijn van die der grondgolf. Het klankverschil van een sinusvormige- en een niet-sinusvormige trilling wordt dan ook veroorzaakt door zulke boventonen. Is het signaal bijna sinusvormig dan komen de boventonen uiterst zwak voor. Naarmate een trilling meer afwijkt van de sinusvorm komen de harmonischen sterker voor. Zo blijkt de kanteelvormige trilling te bestaan uit een grondgolf, een derde-, een vijfde-, een zevende-, enz. harmonische. Even harmonischen komen in de symmetrische kanteelspanning echter niet voor (zie proef 57).

## Proef 16

### HET UITGANGSSIGNAAL VAN EEN RADIO

#### Schakeling

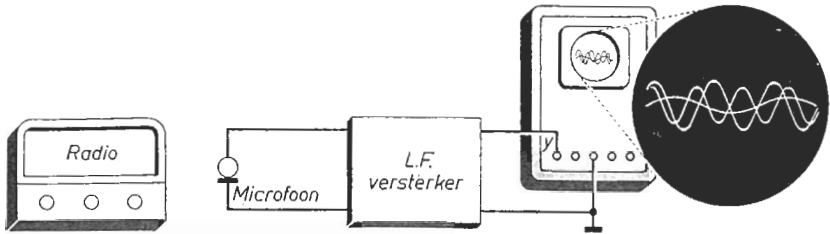


Fig. 16a

Fig. 16b

#### Beschrijving

- Breng een microfoon in de buurt van een radio die op muziek is afgestemd.
- Zet het *X*-kanaal van de oscilloscoop op „intern”. Regel de *Y*-versterking en de *X*-snelheid tot iets dergelijks als de afbeelding volgens fig. 16b ontstaat.
- Bestudeer dit oscillogram en merk op dat dit is samengesteld uit een groot aantal trillingen die zowel in amplitude als in frequentie variëren.
- Draai aan de volumeregelaar van de radio en bekijk het resulterende beeld. Merk op dat de amplitude van het oscillogram groter resp. kleiner wordt.
- Draai aan de toonregelaar van de radio en bekijk de resultaten. Merk op dat het oscillogram minder langzame resp. minder snelle trillingen bevat.
- Zet de radio op een station dat spraak uitzendt en bestudeer het oscillogram.

#### Toelichting

Van een goede radio verwacht men dat de muziek die voor de studio-microfoon ten gehore wordt gebracht, op het gehoor een zo natuurgetrouw-mogelijke indruk maakt. Afhankelijk van de persoonlijke smaak van de luisteraar moet de gemiddelde sterkte van de muziek kunnen worden geregeld. Dit kan men doen met de volumeregelaar (punt d). Stelt men er prijs op de verschillende toongebieden in hun juiste onderlinge sterkteverhouding te blijven horen, dan moet na een volumeverandering ook deze onderlinge verhouding worden gecorrigeerd. Globaal gesproken moeten bij weergave op een lager niveau de hoge tonen méér worden verzwakt dan de lage. Deze correctie voert men uit met behulp van de toonregelaar (punt e). Overigens wensen sommige luisteraars muziek waarin veel lage tonen voorkomen; andere horen liever „hoge” muziek. Verder zijn vele radio's uitgerust met een „spraak-muziek” schakelaar. Gaat het vooral om de verstaanbaarheid van een spreker en niet zo zeer om de herkenbaarheid, dan blijkt het beter om slechts trillingen weer te geven in het gebied van ongeveer 300 Hz tot 3500 Hz. De overige eventueel in de spraak aanwezige trillingen „blijven dan achter” in de radio.

## Proef 17

### TRILLING VAN EEN PIANOSNAAR

#### Schakeling

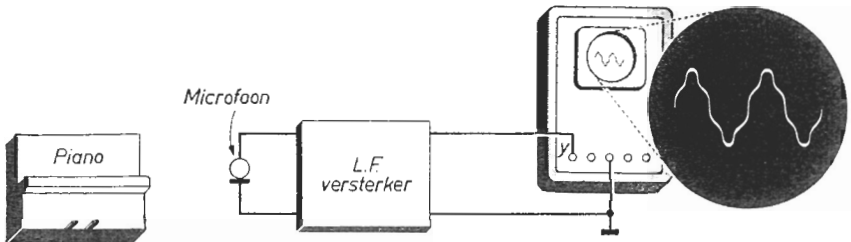


Fig. 17a

Fig. 17b

#### Beschrijving

- Sla de  $c'$  van een piano aan en neem dit geluid op met een microfoon.
- Zet het  $X$ -kanaal van de oscilloscoop op „intern”. Regel de  $Y$ -versterking en de  $X$ -snelheid tot een afbeelding volgens fig. 17b zichtbaar wordt.
- Meet de periodetijd aan de hand van de ijktabel van proef 11. Bestudeer de vorm van de trilling en merk op dat de amplitude langzaam kleiner wordt.
- Speel de toonladder vanaf  $c'$  tot  $c''$  en herhaal meting  $c$  bij iedere noot.
- Sla tegelijk aan:  $c'-c''$  (octaaf),  $c'-g'$  (quint),  $c'-f'$  (quart),  $c'-e'$  (terts) en bestudeer achtereenvolgens de resulterende oscillogrammen.
- Herhaal punt a en bedien vervolgens de dempings- resp. ontdempingspedaal. Ga na wat dit voor invloed heeft op de vorm van het oscillogram.

#### Toelichting

Men heeft het stelsel van tonen, de zogenaamde grote-terts-toonladder, verdeeld in een aantal octaven. In elk octaaf komen 7 hele- of stamtonen voor. Bij de piano zijn dit witte toetsen. De stamtonen duidt men aan door de letters  $c$   $d$   $e$   $f$   $g$   $a$   $b$ . De octaven onderscheidt men door deze letters klein of groot te schrijven en er indices aan toe te voegen. Men kent het subcontra-octaaf  $C_2$  t/m  $B_2$ , het contra-octaaf  $C_1$  t/m  $B_1$ , het groot octaaf  $C$  t/m  $B$ , het klein octaaf  $c$  t/m  $b$ , het éénmaal-gestreept  $c'$  t/m  $b'$ , tot en met het vijfmaal-gestreept octaaf  $c''''''$  t/m  $b''''''$ . Op een piano worden de tonen vanaf  $A_2$  tot en met  $a''''''$  gebruikt. De frequenties der tonen van een octaaf verhouden zich als de rij der getallen  $24 : 27 : 30 : 32 : 36 : 40 : 45 : 48$ . Men heeft de frequentie van de toon  $a'$  vastgelegd op 440 Hertz. De frequentie van  $c'$  is dan gelijk aan  $24/40$  maal 440, dit is 264 Hertz (zie punt a). De frequentie van  $c''$  wordt dus 528 Hertz (zie punt d). De samenklank van twee tonen klinkt welluidend als men de frequenties der tonen als de verhouding van kleine getallen kan schrijven. Zo zijn onder punt e de frequentie-verhoudingen achtereenvolgens  $1 : 2$ ,  $2 : 3$ ,  $3 : 4$  en  $4 : 5$ .

AKOESTISCHE ZWEVINGEN

Schakeling

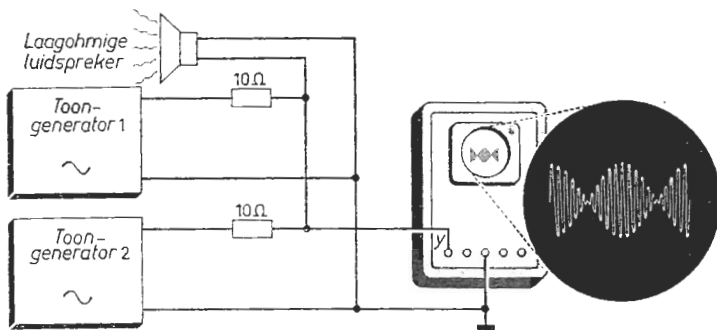


Fig. 18a

Fig. 18b

Beschrijving

- Zet de generatoren op gelijke frequenties (bijv. 1 kHz). Maak de eerste generator los en regel de spanning van de andere tot de luidspreker een goed hoorbare toon weergeeft; noteer de bijbehorende hoogte van het oscillogram. Maak nu de tweede generator los en regel de spanning van de andere tot dezelfde beeldhoogte ontstaat. Worden nu beide generatoren verbonden zoals in fig. 18a dan hoort men een toon die in sterkte variëert.
- Zet het X-kanaal van de oscilloscoop op „intern”. Regel de Y-versterking en de X-snelheid tot een afbeelding volgens fig. 18b zichtbaar wordt.
- Regel de uitgangsspanning en de frequentie van de ene generator; bekijk (op de oscilloscoop) en beluister (via de luidspreker) de resultaten.

Toelichting

Stel, dat op een bepaald moment beide signalen maximaal positief zijn. De stroom door de luidspreker is dan eveneens maximaal omdat de signalen elkaar versterken; ze zijn in fase. Tegelijkertijd geeft de luidspreker een luide toon en het beeld op het scherm van de oscilloscoop is op z'n hoogst. Is het verschil in frequentie der signalen één hertz, dan zijn die signalen na een halve seconde juist in tegenfase zodat ze elkaar verzwakken. De luidsprekerstroom is dan minimaal en men hoort een minder luide toon. Het beeld op het scherm heeft op dat moment z'n minimale hoogte. Een complete cyclus: versterking-verzwakking-versterking duurt dus een seconde zodat er één zweeping per seconde wordt waargenomen. Is het frequentieverschil der trillingen  $a$  Hz, dan treden er  $a$  zweepingen per seconde op. Onder punt c zal men dus bij vergroting van het frequentieverschil, méér zweepingen waarnemen, dus een snellere vibratie. Verlaagt men de amplitude van een der signalen dan worden de minima groter, de maxima kleiner. Het totale signaal wordt dan immers nagenoeg gevormd door het grootste signaal. De zweepingen worden dan zwakker, men hoort dus een minder vibrerend geluid.



## Proef 19

### DE VOORTPLANTINGSSNELHEID VAN HET GELUID IN LUCHT

#### Schakeling

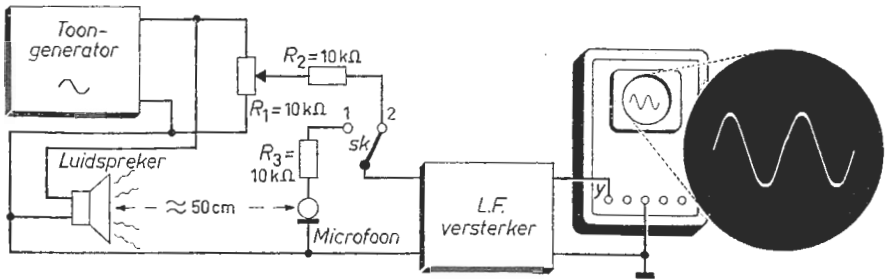


Fig. 19a

Fig. 19b

#### Beschrijving

- Plaats de schakelaar  $Sk$  in stand 1. Regel de spanning van de generator tot de microfoon zoveel geluid krijgt toegevoerd dat een goed meetbare beeldhoogte op de oscilloscoop ontstaat; stel de frequentie in op 1 kHz.
- Zet  $Sk$  in stand 2. Regel  $R_1$  tot dezelfde beeldhoogte ontstaat als bij a.
- Zet het X-kanaal van de oscilloscoop op „intern”. Regel de Y-versterking en de X-snelheid tot een afbeelding volgens fig. 19b zichtbaar wordt.
- Meet de trillingstijd aan de hand van de ijkgrafiek opgenomen in proef 11.
- Verbindt de punten 1 en 2 door. Verplaats de microfoon in horizontale richting en meet de afstand tussen de punten waarbij de beeldhoogte minimaal is. Bereken de voortplantingssnelheid van het signaal.

#### Toelichting

De afstand waarover een trilling zich in één trillingstijd voortplant, noemt men de golflengte der trilling. Uiteraard is dan de golflengte het produkt van voortplantingssnelheid en trillingstijd. Gaat op een zeker moment de luidsprekerconus naar voren, dan treedt vóór de conus een luchtverdichting (drukverhoging) op die zich in de richting van de microfoon voortplant. In één trillingstijd heeft deze drukgolf per definitie een afstand afgelegd gelijk aan de golflengte; in een halve trillingstijd gelijk aan de halve golflengte. Plaatst men nu de microfoon op een halve golflengte afstand van de luidspreker, dan gaat de luidsprekerconus juist naar achteren als de drukgolf de microfoon bereikt. Dit wil zeggen: luidspreker- en microfoonsignaal zijn in tegenfase, zodat zij, samen op het scherm gebracht, minimale beeldhoogte veroorzaken. Minimale beeldhoogte treedt volgens het voorgaande ook op, als de microfoon zich op een oneven aantal keer de halve golflengte afstand vanaf de luidspreker bevindt (punt e). De afstand tussen twee opeenvolgende minima is dus de golflengte. Omdat de trillingstijd bekend is (punt d), kan de voortplantingssnelheid worden bepaald.

HET DOPPLER-EFFECT

Schakeling

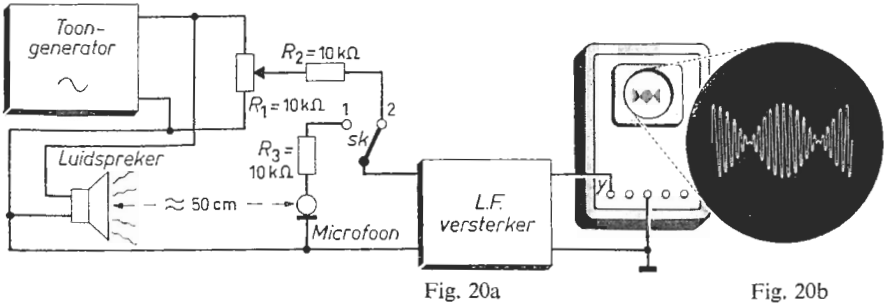


Fig. 20a

Fig. 20b

Beschrijving

- Plaats de schakelaar *Sk* in stand 1. Regel de spanning van de generator tot de microfoon zoveel geluid krijgt toegevoerd dat een goed meetbare beeldhoogte op de oscilloscoop ontstaat; stel de frequentie in op 6 kHz.
- Zet *Sk* in stand 2. Regel *R*<sub>1</sub> tot dezelfde beeldhoogte ontstaat als bij a.
- Zet het X-kanaal van de oscilloscoop op „intern”. Regel de X-snelheid op de laagste waarde waarbij een compleet niet-flikkerend oscillogram ontstaat.
- Verbindt de punten 1 en 2 door. Beweeg de microfoon in horizontale richting snel heen en weer zodat U de afbeelding volgens fig. 20b ziet.
- Herhaal punt d, maar beweeg nu de luidspreker in plaats van de microfoon. Tracht een verklaring te vinden van hetgeen U op het scherm waarneemt.

Toelichting

Als bij een frequentie van 6000 Hz de voortplantingssnelheid bijv. 300 m/s bedraagt, dan is de golflengte 5 cm. Beweegt men nu de microfoon met een snelheid van 0,5 meter per seconde naar de luidspreker toe, dan ontvangt de microfoon tien extra golven per seconde. De frequentie van het microfoonsignaal wordt dus 6010 in plaats van 6000 Hz. Beweegt men de microfoon met een snelheid van bijv. 5 meter per seconde naar rechts, dan ontloopt hij per seconde 100 golven. Het microfoonsignaal wordt dan 5900 in plaats van 6000 Hz. Een soortgelijk verschijnsel treedt ook op als men de luidspreker beweegt. Het effect van toonsverlaging of toonsverhoging door het bewegen van een geluidsbron en/of een waarnemer noemt men het Doppler-effect. De verlaging of verhoging hangt af van de snelheid waarmee de bron en/of de waarnemer bewegen. Omdat de oscilloscoop behalve het luidsprekersignaal het microfoonsignaal krijgt toegevoerd, zien we als de microfoon (punt d) of de luidspreker (punt e) beweegt een oscillogram met maxima en minima. De twee signalen brengen namelijk zwevingen teweeg volgens de toelichting bij proef 18.

## Proef 21

### IJKEN VAN HET X-KANAAL IN ELEKTRISCHE SPANNING

#### Schakeling

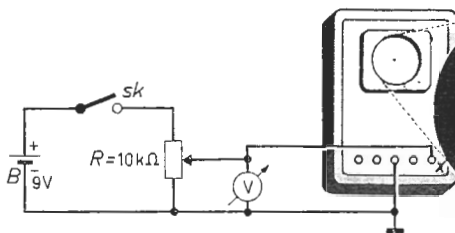


Fig. 21a

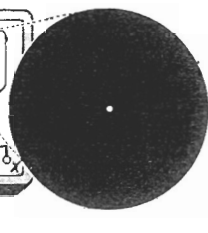


Fig. 21b

#### Beschrijving

- Zet de schakelaar  $Sk$  open en plaats het loopcontact van  $R$  onderaan.
- Zet het  $X$ -kanaal van de oscilloscoop op „extern” en „D.C.”. Regel de  $X$ - en  $Y$ -verschuiving en de focus- en intensiteitsregeling tot een scherpe juist waarneembare lichtstip in het midden op de beeldbuis ontstaat. Opgemerkt zij dat een te grote helderheid inbranden van het scherm tot gevolg heeft.
- Maak  $Sk$  dicht. Regel de looper van  $R$  van onder naar boven; noteer de verplaatsing van de lichtstip en de bijbehorende uitslag van de voltmeter  $V$ .
- Sluit de batterij  $B$  en de voltmeter andersom aan en herhaal punt c.
- Herhaal de punten c en d voor de andere standen van de  $X$ -verzwakker.

#### Toelichting

De deflectieplaten die de horizontale afbuiging bewerkstelligen, zijn zodanig aangesloten dat de elektronenstraal naar rechts wordt afgebogen indien aan het  $X$ -kanaal een spanning wordt toegevoerd die positief is ten opzichte van de aardklem. De lichtstip verschuift dus naar rechts als men het loopcontact in een hogere stand brengt (punt c). Men kan de voltmeteruitslag vergelijken met de verplaatsing van de lichtstip en vindt zodoende een ijktablel of grafiek volgens

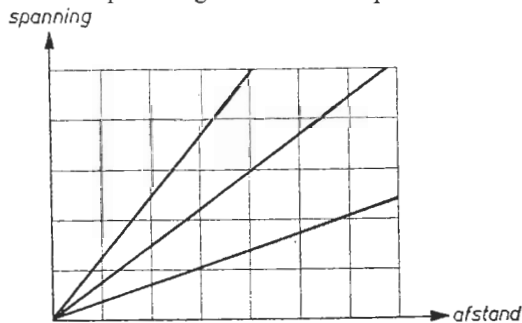


Fig. 21c

fig. 21c. Poolt men de batterij om, dan is de spanning op het  $X$ -kanaal negatief ten opzichte van de aardklem. De lichtstip verschuift dan naar links als men het loopcontact omhoog schuift. Ook voor andere standen van de horizontale versterker kan men op dezelfde wijze grafieken samenstellen.

## Proef 22

### X- EN Y-AFBUIGING MET BEHULP VAN GELIJKSPANNINGEN

#### Schakeling

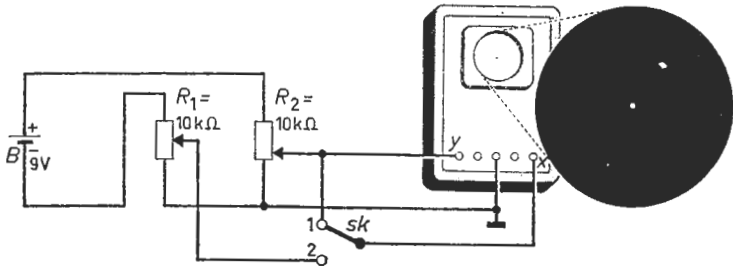


Fig. 22a

Fig. 22b

#### Beschrijving

- Zet de schakelaar  $Sk$  in stand 1 en regel de looper van  $R_2$  tegen de aardklem.
- Zet het  $X$ -kanaal van de oscilloscoop op „extern”;  $X$ - en  $Y$ -kanaal op „D.C.”. Regel de  $X$ - en  $Y$ -verschuiving en de focus en intensiteit tot een scherpe, juist waarneembare lichtstip midden op de beeldbuis ontstaat.
- Plaats de looper van  $R_2$  in zijn bovenste stand en regel de  $X$ - en  $Y$ -versterking van de oscilloscoop tot de lichtstip zich rechts-boven op het scherm bevindt.
- Regel  $R_2$  van boven naar beneden en volg de lichtstip op het beeldscherm.
- Pool  $B$  om en regel  $R_2$  van beneden naar boven; bekijk de resultaten.
- Zet  $B$  in de getekende situatie en  $Sk$  in stand 2. Regel de lopers van  $R_1$  en  $R_2$  samen van boven naar beneden en (na ompoling van  $B$ ) weer omhoog.

#### Toelichting

De richtingen waarin de lichtstip zich beweegt als men aan het  $X$ - en  $Y$ -kanaal spanningen legt, zijn de gebruikelijke  $X$ - en  $Y$ -richtingen van een rechthoekig assenstelsel (zie proeven 1 en 21). Na de handelingen a t/m c bevindt de lichtstip zich dus rechts-boven op het scherm. Regelt men nu de looper van  $R_2$  omlaag (punt d) dan verlopen de  $X$ - en  $Y$ -spanning gezamenlijk. De lichtstip beweegt dus over een rechte lijn vanuit rechts-boven naar het midden van het scherm. Poolt men de batterij om en regelt men het loopcontact van  $R_2$  weer omhoog (punt e) dan beweegt de lichtstip van het midden naar links-onder. De potentiometers zijn van eenzelfde type, zodat  $R_1$  de halve batterijspanning hetzelfde verdeelt als  $R_2$  dit de andere helft doet. Staat de schakelaar in stand 2 (punt f), de batterij in de getekende stand en de lopers van  $R_1$  en  $R_2$  geheel bovenaan, dan bevindt de lichtstip zich links-boven. Regelt men de lopers van  $R_1$  en  $R_2$  gezamenlijk naar beneden, poolt men de batterij om en regelt men de loopcontacten weer omhoog, dan zijn de  $X$ - en  $Y$ -spanning steeds even groot doch tegengesteld. De lichtstip beweegt zich dus over een rechte lijn van links-boven via het midden naar rechts-beneden.

Schakeling

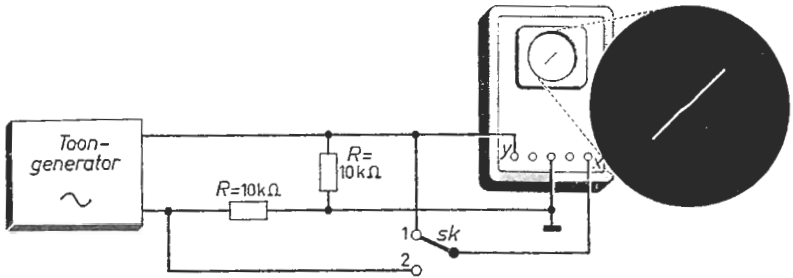


Fig. 23a

Fig. 23b

Beschrijving

- Zet de schakelaar *Sk* in stand 1. Stel de uitgangsspanning van de toon-generator in op 10 volt en maak de frequentie 1 kHz.
- Zet het X-kanaal van de oscilloscoop op „extern”. Regel de X- en Y-versterking tot een afbeelding volgens fig. 23b zichtbaar wordt.
- Schakel *Sk* in stand 2 en vergelijk het resultaat met dat van punt b.
- Regel de frequentie van de generatorspanning op de laagste waarde. Zet *Sk* achtereenvolgens in stand 1 en 2 en bestudeer de resulterende beelden.
- Maak achtereenvolgens de X- en Y-versterking groter, kleiner en weer de oorspronkelijke waarde. Bekijk de resultaten en geef hiervan een verklaring.

Toelichting

Bij proef 22 hebben we met de hand (op een statische wijze) de grootte en de polariteit van de spanningen op het X- en Y-kanaal geregeld. Hier gebeurt dit automatisch (op dynamische wijze). Staat de schakelaar in stand 1 (punt a) dan worden de spanningen op het X- en Y-kanaal gelijktijdig positief, gelijktijdig nul, gelijktijdig negatief enz.; zij zijn één en dezelfde generatorspanning die in grootte en polariteit varieert. Staat *Sk* in stand 2 (punt c) dan is op ieder moment de spanning op het X-kanaal evenveel positief als de spanning op het Y-kanaal negatief is en andersom. Is de frequentie zeer laag (punt d) dan kan men het verschuiven van de lichtstip nog waarnemen. Men krijgt dan hetzelfde beeld als wanneer men de handelingen bij proef 22 snel na elkaar uitoefent. Is de frequentie hoger, dan nemen we geen lichtstip meer waar, doch een ononderbroken rechte lijn van rechts-boven via het midden naar links-onder (bij *Sk* in stand 1) of van links-boven via het midden naar rechts-onder (bij *Sk* in stand 2). In het algemeen bestaat het beeld uit een rechte lijn, als de aan het X- en Y-kanaal toegevoerde spanningen steeds evenredig zijn. De helling van deze lijn wordt bepaald door de verhouding van de X- en de Y-spanning (punt e).

## Proef 24

### DE STROOM-SPANNINGSKARAKTERISTIEK VAN EEN WEERSTAND

#### Schakeling

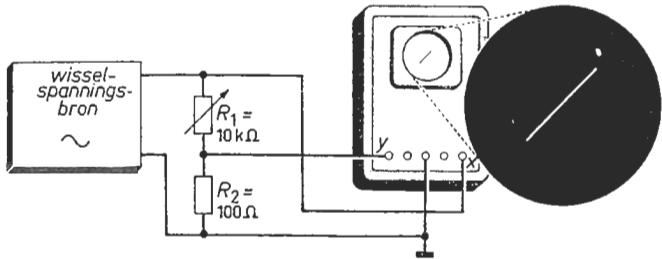


Fig. 24a

Fig. 24b

#### Beschrijving

- Zet de variabele weerstand  $R_1$ , waarvan de stroom-spanningskarakteristiek moet worden afgebeeld, op de maximale waarde.
- Regel de uitgangsspanning van de bron (neem hiervoor een variabele net-transformator of een toongenerator) op 10 volt; frequentie 50 Hz.
- Zet het  $X$ -kanaal van de oscilloscoop op „extern”. Regel de  $X$ - en  $Y$ -versterking tot een afbeelding volgens fig. 24b zichtbaar wordt.
- Bereken het quotiënt van de verticale- en de horizontale afbuigspanning.
- Zet de variabele weerstand op de halve waarde en herhaal punt d.
- Maak de waarde van  $R_1$  groter en kleiner en vergelijk het resultaat met dat van punt c (hierbij niet aan de  $X$ - en  $Y$ -versterking regelen).

#### Toelichting

De amplitude van de stroom door de weerstand  $R_2$  wordt bij constante amplitude van de generatorspanning nagenoeg uitsluitend bepaald door  $R_1$ ; zijn waarde is veel groter dan die van  $R_2$ . Om dezelfde reden is de spanning over  $R_1$  praktisch gelijk aan de generatorspanning. We zien op het scherm een rechte lijn van rechts-boven via het midden naar links-onder. Volgens proef 23 wil dit zeggen dat de spanningen op het  $X$ - en  $Y$ -kanaal evenredig zijn. Op het  $X$ -kanaal staat de generatorspanning, dus de spanning over  $R_1$ ; op het  $Y$ -kanaal de spanning over  $R_2$ ; of, omdat  $R_2$  een ohmse weerstand is, een spanning evenredig met de stroomsterkte door  $R_1$ . Kortom: de  $Y$ -afbuiging is evenredig met de stroomsterkte door  $R_1$ ; de  $X$ -afbuiging met de spanning over  $R_1$ . Het oscillogram noemt men daarom de stroom-spanningskarakteristiek van de weerstand  $R_1$ . Halveert men de waarde van  $R_1$  (punt e) dan blijft de spanning over  $R_1$  (de generatorspanning) en daarmee de  $X$ -afbuiging gelijk. De  $Y$ -afbuiging (evenredig met de stroomsterkte door  $R_1$ ) wordt echter verdubbeld, zodat de helling van het oscillogram (het quotiënt van verticale- en horizontale afbuiging) eveneens wordt verdubbeld.

## Proef 25

### DE STROOM-SPANNINGSKARAKTERISTIEK VAN EEN V.D.R.

#### Schakeling

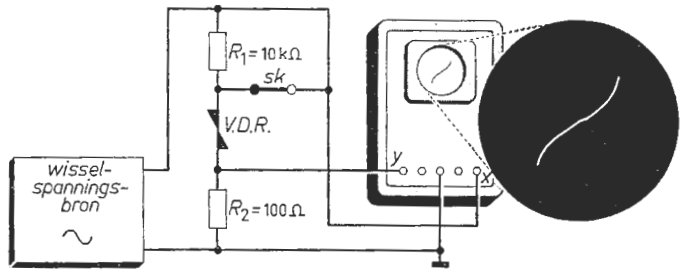


Fig. 25a

Fig. 25b

#### Beschrijving

- Sluit de schakelaar  $Sk$ . Neem als spanningsafhankelijke weerstand (V.D.R. genoemd) een type dat bij 10 volt een waarde van ongeveer  $10 \text{ k}\Omega$  bezit.
- Regel de uitgangsspanning van de bron (neem hiervoor een variabele nettransformator of een toongenerator) op 10 volt; frequentie 50 Hz.
- Zet het X-kanaal van de oscilloscoop op „extern”. Regel de X- en Y-versterking tot een afbeelding volgens fig. 25b zichtbaar wordt.
- Bestudeer dit oscillogram; let op het spanningsstabiliserende karakter.
- Regel de uitgangsspanning van de bron op enige lagere waarden en vergelijk de resulterende oscillogrammen met die van punt c.
- Open  $Sk$ , herhaal punt b en vergelijk het resultaat met dat van punt c.

#### Toelichting

De weerstandswaarde van  $R_2$  is klein ten opzichte van die van de V.D.R. (voltage-dependent-resistance) en kan dus de stroom door de V.D.R. niet noemenswaardig beïnvloeden. Tevens is (bij gesloten schakelaar) de spanning over de V.D.R. nagenoeg gelijk aan de generatorspanning. De X-afbuiging wordt dus veroorzaakt door de spanning over de V.D.R.; de Y-afbuiging door een spanning die evenredig is met de stroom door de V.D.R. We nemen een kromme lijn waar. Stroom en spanning van de V.D.R. zijn kennelijk niet evenredig. Op de momenten dat de spanning maximaal is (de elektronenstraal bevindt zich dan uiterst links of uiterst rechts op het scherm), is de Y-afbuiging onevenredig groot. Het quotiënt van spanning en stroom is kleiner naarmate de spanning toeneemt, zijnde het kenmerk van de V.D.R. Zakt de generatorspanning (punt e) dan bereikt zij niet meer die waarde waarbij de stroom onevenredig veel toeneemt. De V.D.R. „werkt” blijkbaar pas als de spanning een zekere waarde bereikt. Bij geopende schakelaar (punt f) heeft het oscillogram betrekking op de serieschakeling van de V.D.R. en  $R_1$ . Een deel van het circuit is nu zuiver „ohms”; het oscillogram is aldus minder gekromd.

## STROOM-SPANNINGSKARAKTERISTIEK VAN EEN VACUÛMDIODE

### Schakeling

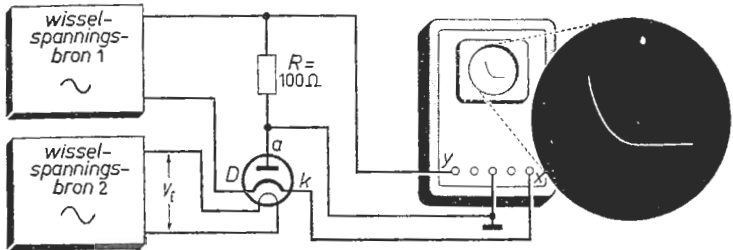


Fig. 26a

Fig. 26b

### Beschrijving

- Regel de spanning van bron 1 op nul en die van bron 2 op de nominale gloeispanning ( $V_f$ ). Beide bronnen zijn variabele nettransformatoren.
- Zet het X-kanaal van de oscilloscoop op „extern” en het X- en Y-kanaal op „D.C.” Plaats de lichtstip ongeveer 2 cm onder het midden van het scherm met behulp van de X- en Y-verschuiving. Regel daarna de spanning van bron 1 en de X- en Y-versterking tot U een beeld volgens fig. 26b ziet.
- Regel de uitgangsspanning van bron 2 achtereenvolgens op  $\frac{3}{4}V_f$ ,  $\frac{1}{2}V_f$  en  $\frac{1}{4}V_f$ , en vergelijk de resulterende oscillogrammen met dat van punt b.
- Maak de spanning van bron 1 zo hoog dat het „verzadigingsgebied” zichtbaar wordt. Deze meting uitvoeren bij een gloeispanning van  $\frac{1}{4}V_f$ .

### Toelichting

Het punt waar de lichtstip zich na instelling bij punt b bevindt, noemen we het nulpunt; het komt overeen met de oorsprong in een rechthoekig assenstelsel. Regelen we de spanning van bron 1 omhoog dan zien we boven het nulpunt een grote Y-afbuiging als de X-spanning negatief is. Daar de Y-afbuiging evenredig is met de diodestroom, wil dit zeggen dat er een grote diodestroom vloeit als de katode  $k$  voldoende negatief is ten opzichte van de anode  $a$ . Is de X-spanning positief (rechts van het nulpunt) dan treedt geen Y-afbuiging op. Er is dus geen diodestroom als  $k$  positief is ten opzichte van  $a$ . De vacuÛmdiode laat slechts stroom toe in één richting, en wel van de anode naar de katode. Bij een lagere gloeispanning (punt c) is de katodetemperatuur en daarmee de elektronenemissie geringer. De diodestroom die door elektronen wordt „gedragen”, is dan lager zodat het oscillogram (het geleidende gebied) minder steil verloopt. Worden alle door de katode geëmitteerde elektronen „aangezogen” door de anode dan treedt bij verhoging van de diodespanning nagenoeg geen diodestroomtoename meer op (punt d). De grafiek krijgt dan een „bovenbocht”; de diode raakt in het „verzadigingsgebied”.



# Proef 27 DE STROOM-SPANNINGSKARAKTERISTIEK VAN EEN KRISTALDIODE

## Schakeling

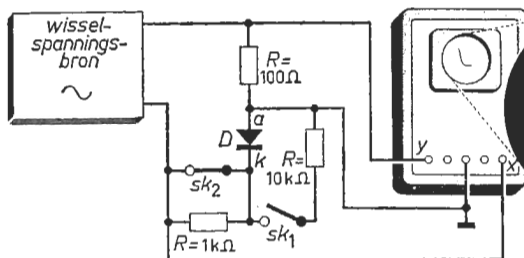


Fig. 27a



Fig. 27b

## Beschrijving

- Open de schakelaar  $Sk_1$  en sluit  $Sk_2$ . Regel de spanning van de bron op nul; deze bron is een variabele nettransformator of een toongenerator.
- Zet het  $X$ -kanaal van de oscilloscoop op „extern” en het  $X$ - en  $Y$ -kanaal op „D.C.”. Plaats de lichtstip 2 cm onder het midden van het scherm met behulp van de  $X$ - en  $Y$ -verschuiving. Regel daarna de spanning van de bron en de  $X$ - en  $Y$ -versterking tot een afbeelding volgens fig. 27b zichtbaar wordt.
- Wijs in het oscillogram het doorlaat- en het spergebied van de diode  $D$  aan.
- Sluit  $Sk_1$  en vergelijk het spergebied met dat van punt b.
- Open  $Sk_1$  en  $Sk_2$ . Vergelijk nu het doorlaatgebied met dat van punt b.
- Sluit  $Sk_1$  en open  $Sk_2$ . Let nu zowel op het doorlaat- als het spergebied.

## Toelichting

We nemen onder punt c een grote  $Y$ -afbuiging waar als de  $X$ -spanning negatief is en een uiterst geringe als de  $X$ -spanning positief is. Dit houdt in dat de kristal diode een relatief grote stroom toelaat van de anode  $a$  naar de katode  $k$  (in doorlaatrichting) en een verwaarloosbare stroom in tegengestelde richting (sperrichting). Men kan daarom de kristal diode evenals de vacuümdiode van proef 26 vergelijken met een ventiel. Onder punt d vloeit er door de parallelweerstand van  $10\text{ k}\Omega$  een stroom die groot is ten opzichte van de sperstroom en klein ten opzichte van de doorlaatstroom. Rechts van het nulpunt zal daarom het oscillogram relatief veel, links van het nulpunt relatief weinig veranderen. Onder punt e valt er over de weerstand van  $1\text{ k}\Omega$  een spanning. Vloeit door de diode de sperstroom dan is deze spanning uiterst gering. Vloeit door de diode de doorlaatstroom dan is deze spanning veel groter. Rechts van het nulpunt zal het oscillogram dus niet noemenswaardig-, links van het nulpunt belangrijk veranderen (minder steil worden). Het oscillogram onder punt f verschilt zowel rechts als links van het nulpunt met dat van punt c.

## Proef 28

### DE STROOM-SPANNINGSKARAKTERISTIEK VAN EEN GASDIODE

#### Schakeling

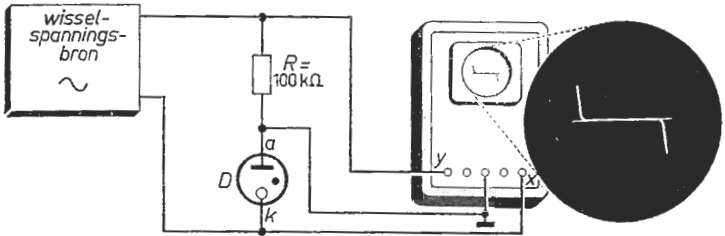


Fig. 28a

Fig. 28b

#### Beschrijving

- Neem voor de gasdiode  $D$  een type dat als spanningsindicator (bijv. in een spanningszoeker) wordt gebruikt. De wisselspanningsbron is een variabele nettransformator; maak de transformatorspanning nul volt.
- Zet het  $X$ -kanaal van de oscilloscoop op „extern” en het  $X$ - en  $Y$ -kanaal op „D.C.”. Plaats de lichtstip in het midden op de beeldbuis met behulp van de  $X$ - en  $Y$ -verschuiving. Regel daarna de spanning van de bron en de  $X$ - en  $Y$ -versterking tot een afbeelding volgens fig. 28b zichtbaar wordt.
- Wijs in het oscillogram de ontsteek- en de brandspanning van de diode aan.
- Regel de spanning van de bron tot de diode in de ene richting juist ontsteekt. Controleer of de diode in beide richtingen hetzelfde ontsteekt.

#### Toelichting

Rechts en links dicht bij het nulpunt bestaat het oscillogram uit een praktisch horizontale lijn, er zijn namelijk bij lage spanningen bijna geen „stroomdragers” aanwezig in de met edelgas gevulde buis. Bereikt de spanning over de gasbuis een zekere waarde (de zogenaamde ontsteekspanning) dan is het ioniseren van het edelgas sterk op gang gekomen zodat er wél stroomdragers aanwezig zijn, in de vorm van gasionen. Er vloeit dan een stroom die over de weerstand een spanningsval veroorzaakt. De diodespanning daalt dus en stelt zich in op de zogenaamde brandspanning, die nagenoeg onafhankelijk is van de diodestroom. De gasdiode is dan ontstoken. In deze toestand van evenwicht kan men glimlicht binnen de buis waarnemen. Het gedeelte van het oscillogram overeenkomende met de ontstoken toestand is bijna een verticale lijn; via een vrij scherpe knik gaat dus het „gedoofde gebied” over in het „ontstoken gebied”. Zijn de anode  $a$  en de katode  $k$  hetzelfde van grootte, vorm en samenstelling, dan bestaat het oscillogram uit twee gelijke gedeelten, rechts-beneden- en linksboven het nulpunt gelegen. Bij ongelijke  $a$  en  $k$  bestaat deze symmetrie niet (punt d).

# Proef 29

## HET WERKGEBIED VAN EEN ZENERDIODE

### Schakeling

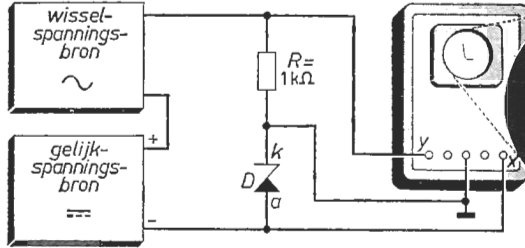


Fig. 29a

Fig. 29b

### Beschrijving

- De zenerdiode  $D$  is een type met een werkspanning van ca. 10 volt. Regel de gelijk- en wisselspanning op nul. Bron  $\text{---}$  is een variabel gelijkspanningsapparaat; bron  $\sim$  een netspanningstransformator of een toongenerator.
- Zet het  $X$ -kanaal op „extern” en het  $X$ - en  $Y$ -kanaal op „D.C.”. Plaats de lichtstip rechts-onder op het scherm met behulp van de  $X$ - en  $Y$ -verschuiving.
- Maak de gelijkspanning 20 volt. Regel de wisselspanning en de  $X$ - en  $Y$ -versterking tot een afbeelding volgens fig. 29b zichtbaar wordt.
- Bestudeer het oscillogram en geef hierin het werkgebied van de diode aan.
- Variëer de gelijk- en de wisselspanning; verklaar hetgeen  $U$  ziet.

### Toelichting

Maakt men de amplitude van de wisselspanning even groot als de gelijkspanning, dan is de  $X$ -spanning steeds negatief. Het meest rechtse punt van het oscillogram valt samen met het onder punt b vastgestelde nulpunt; we maken dus de diodekarakteristiek slechts zichtbaar voor die waarde van de diodespanning waarbij de anode  $a$  negatief is ten opzichte van de katode  $k$ . Dit oscillogram blijkt dicht bij het nulpunt vlak te verlopen om bij zekere vrij scherp begrensde waarde van de  $X$ -spanning (de zenerspanning) plotseling sterk af te buigen. Het werkgebied (punt d) kenmerkt zich dus daardoor, dat de diodespanning slechts in zeer geringe mate afhangt van de diodestroom. Is de toegevoerde spanning ( $\text{---}$  en  $\sim$  samen) groter dan de zenerspanning (punt e) dan zal bij verhoging van het gelijkspanningsaandeel de  $X$ -afbuiging nagenoeg niet veranderen; vergroting van het wisselspanningsaandeel heeft slechts een toename van  $X$ -afbuiging naar rechts tengevolge. De toegevoerde totaalspanning „loopt als het ware vast” tegen de diodekarakteristiek zodat een zekere spanningsstabilisatie optreedt. Voor dit doel wordt de zenerdiode dan ook vaak gebruikt.

## Proef 30

### HET WERKGEBIED VAN EEN GASSTABILISATIEDIODE

#### Schakeling

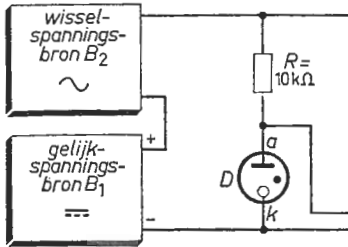


Fig. 30a

Fig. 30b

#### Beschrijving

- Neem voor de gasstabilisatiediode  $D$  een type met een werkspanning van ca. 100 volt. Regel de gelijk- en wisselspanning op nul.  $B_1$  is een variabel gelijkspanningsapparaat;  $B_2$  een variabele nettransformator.
- Zet het  $X$ -kanaal van de oscilloscoop op „extern” en het  $X$ - en  $Y$ -kanaal op „D.C.”. Plaats de lichtstip rechts-onder op het beeldscherm met behulp van de  $X$ - en  $Y$ -verschuiving.
- Maak de gelijkspanning 200 volt. Regel de wisselspanning en de  $X$ - en  $Y$ -versterking tot een afbeelding volgens fig. 30b zichtbaar wordt.
- Bestudeer het oscillogram en geef hierin het werkgebied van de diode aan.
- Variëer de gelijk- en wisselspanning; verklaar hetgeen U ziet.

#### Toelichting

Onder proef 28 is de stroom-spanningskarakteristiek van een gasdiode in zijn algemeenheid zichtbaar gemaakt. Een speciale uitvoeringsvorm van de gasdiode is de gasstabilisatiediode. Zij wordt als regel gebruikt in ontstoken toestand, waarbij de anode  $a$  positief is ten opzichte van de katode  $k$ . Onder punt c wordt de stroom-spanningskarakteristiek weergegeven voor positieve anode-katode spanningen; de amplitude van de wisselspanning is namelijk gelijk gemaakt aan de gelijkspanning. Het oscillogram bestaat uit een vlak en een steil gedeelte en vertoont qua vorm een grote overeenkomst met dat van proef 29 (zenerdiode). In het onder punt d zichtbaar gemaakte werkgebied (steile gedeelte) is de diodespanning praktisch onafhankelijk van de diodestroom zodat met behulp van de gasdiode een stabiliserend effect kan worden bereikt. Voeren we bijv. een spanning toe die varieert tussen 150 en 250 volt (punt e) terwijl de gasbuis een brandspanning (midden in het werkgebied) heeft van 100 volt, dan komt aan de klemmen  $a$  en  $k$  van de gasbuis een nagenoeg „stabiele” spanning van 100 volt beschikbaar; de diodespanning „kan” in ontstoken toestand niet noemenswaardig variëren.

# Proef 31

## EEN CONDENSATOR IN EEN GELIJKSTROOMCIRCUIT

### Schakeling

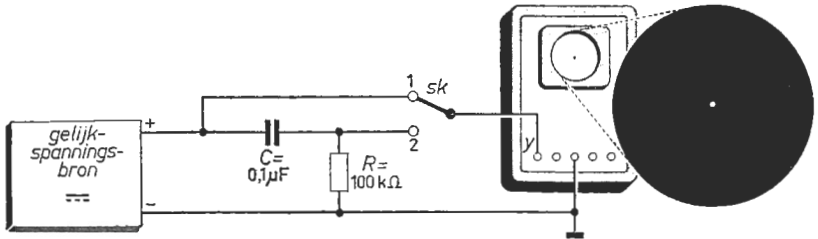


Fig. 31a

Fig. 31b

### Beschrijving

- Maak de gelijkspanning nul volt. Plaats de schakelaar *Sk* in stand 1.
- Zet het *X*-kanaal van de oscilloscoop op „extern” en het *Y*-kanaal op „D.C.”. Regel de *X*- en *Y*-verschuiving en de focus en intensiteit tot een scherpe juist waarneembare lichtstip in het midden op de beeldbuis ontstaat.
- Regel de spanning van de bron op ongeveer 1 volt. Meet de verticale afbuiging en zet dit resultaat om in een evenredige spanning (zie fig. 1c).
- Schakel *Sk* in stand 2 en herhaal de meting van punt c.
- Variëer de bronspanning langzaam en snel. Een zeer snelle variatie ontstaat indien de pluspool van de bron wordt losgemaakt en punt 1 van *Sk* met de aardklem verbonden. Bestudeer de bewegingen van het lichtstip.

### Toelichting

Vloeit er in de condensatorvoerleiding een stroom, dan verzamelt zich de toegevoerde hoeveelheid elektriciteit (lading) op de onderling geïsoleerde platen. Deze lading openbaart zich als een spanningsverschil tussen de platen. Praktisch betekent dit dat er in een condensatorcircuit slechts gedurende een beperkte tijd een stroom in één richting kan vloeien. De condensatorspanning is namelijk vrij spoedig gelijk aan de spanning van de bron die het laden bewerkstelligt. Vrij snel stelt zich dan ook de evenwichtstoestand in waarbij de gemiddelde condensatorspanning gelijk is aan de gemiddelde spanning der bron; over de weerstand (punt d) valt dan geen spanning omdat de stroom heeft opgehouden te bestaan. Verhoogt of verlaagt men de spanning van de bron (punt e) dan vloeit er kortstondig een stroom die de condensatorspanning aan de „nieuwe” spanning wil aanpassen. Een langdurige constante stroom (gelijkstroom) is derhalve in een condensatorcircuit onmogelijk; dit zou een oneindige condensatorspanning betekenen. Een en ander brengt men tot uitdrukking door het gezegde: een condensator „blokkeert” een gelijkspanning.

## LADEN VAN EEN CONDENSATOR MET BEHULP VAN EEN KORTSTONDIGE STROOM

### Schakeling

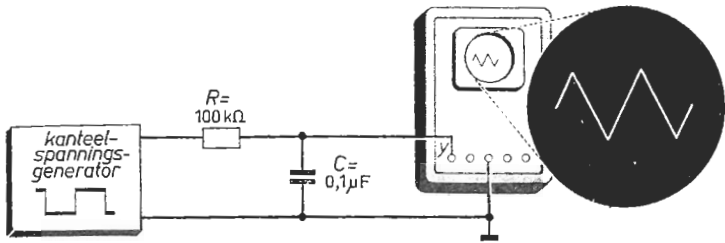


Fig. 32a

Fig. 32b

### Beschrijving

- Stel de kanteelspanningsgenerator in op de maximale uitgangsspanning; regel de herhalingsfrequentie op 1 kHz en de impulsverhouding op 1 : 1.
- Zet het Y-kanaal van de oscilloscoop op „A.C.” (dit om een eventuele gelijkspanning te blokkeren) en het X-kanaal op „intern”. Regel de Y-versterking en de X-snelheid tot een afbeelding volgens fig. 32b zichtbaar wordt.
- Bestudeer het oscillogram. Meet de top-tot-topwaarde van de afbeelding.
- Maak de frequentie van de generatorspanning tweemaal zo hoog en vergelijk het resulterende oscillogram met dat van punt b. Herhaal punt c.
- Maak de uitgangsspanning van de generator tweemaal zo laag en vergelijk het resulterende oscillogram met die van de punten b en d. Herhaal punt c.

### Toelichting

De gemiddelde waarde van de generator- en condensatorspanning zijn in de stationaire toestand gelijk. De generatorspanning springt nu op het maximale niveau. De condensatorspanning wil zich hierbij aanpassen; er moet dan een hoeveelheid elektriciteit worden vervoerd. Dit vergt een zekere tijd. Daar het maximale niveau slechts  $\frac{1}{2}$  ms optreedt en de weerstand de stroom beperkt, is de stijging van de condensatorspanning (de hoogte van het oscillogram onder punt c) klein ten opzichte van de top-tot-topwaarde der kanteelspanning. Over  $R$  staat dan een constante spanning; er vloeit dus een constante laadstroom. Iedere gelijke tijdsfractie wordt dan een even grote lading op de „platen” gebracht. Hierdoor stijgt de condensatorspanning evenredig met de tijd. Na  $\frac{1}{2}$  ms springt de kanteelspanning op het minimale niveau. De condensatorspanning is nu hoger dan de generatorspanning; er vloeit een stroom in tegengestelde richting. Hierdoor daalt de condensatorspanning. Onder d en e worden resp. de laadtijd en de laadstroom gehalveerd. In beide gevallen wordt dus de hoogte van het oscillogram gehalveerd. De ladingsverandering en daarmee de spanningsverandering zijn namelijk de helft.

DE CAPACITEIT VAN EEN CONDENSATOR

Schakeling

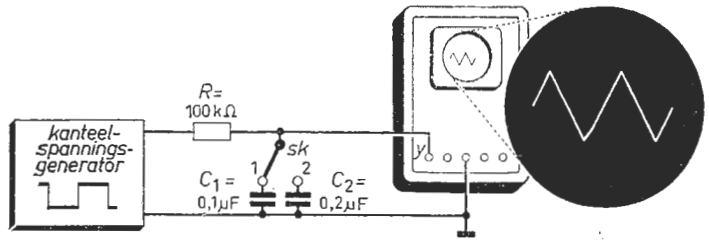


Fig. 33a

Fig. 33b

Beschrijving

- Stel de kanteelspanningsgenerator in op een spanning van 10 volt top-tot-top (gebruik hierbij de oscilloscoop). Regel de herhalingsfrequentie op 1 kHz en de impulsverhouding op 1 : 1. Plaats de schakelaar *Sk* in stand 1.
- Zet het *Y*-kanaal van de oscilloscoop op „A.C.” (dit om een eventuele gelijkspanning te blokkeren) en het *X*-kanaal op „intern”. Regel de *Y*-versterking en de *X*-snelheid tot een beeld volgens fig. 33b zichtbaar wordt.
- Meet de top-tot-topwaarde van het oscillogram en zet het resultaat om in een evenredige spanning aan de hand van de ijkgrafiek volgens proef 1.
- Meet de laad- of ontladtijd aan de hand van de ijkgrafiek volgens proef 11.
- Schakel *Sk* in stand 2 en herhaal de metingen volgens de punten c en d.

Toelichting

Voert men een lading toe aan een „grote” condensator, dan verandert de condensatorspanning minder dan dat men dezelfde lading toevoert aan een kleinere condensator. Onder lading (hoeveelheid elektriciteit) verstaat men het produkt van gemiddelde stroom en tijd. De „grootte” van condensatoren drukt men uit in de eenheid van capaciteit: farad (F). Praktisch is de farad een te grote eenheid; men rekent met microfarad ( $\mu\text{F}$ ) of picofarad (pF). ( $1 \text{ F} = 1000000 \mu\text{F}$ ;  $1 \mu\text{F} = 1000000 \text{ pF}$ .) Een condensator heeft een capaciteit van één farad als een lading van één ampèreseconde de condensatorspanning één volt verandert. De kanteelspanning is 10 volt (top-tot-top). De gemiddelde generator- en condensatorspanning zijn gelijk. Over de weerstand van  $100 \text{ k}\Omega$  staat dan telkens een spanning van 5 volt. De stroom is dus  $0,05 \text{ mA}$ . De laad- (ontlading)tijd (punt d) is  $0,5 \text{ ms}$ ; het produkt van stroom en tijd derhalve  $0,025 \mu\text{As}$ . Men bepaalt hoeveel de condensatorspanning door deze lading verandert (punt c) en vindt  $0,25$  en  $0,125$  volt bij *Sk* in stand 1 resp. in stand 2. De capaciteit is het quotiënt van lading- en spanningsverandering. Men vindt  $0,025 \mu\text{As}$  gedeeld door  $0,25$  resp.  $0,125$  volt; dit is  $0,1$  resp.  $0,2 \mu\text{F}$ .

HET „NATUURLIJKE” VERLOOP  
VAN DE STROOM IN EEN CONDENSATORCIRCUIT

Schakeling

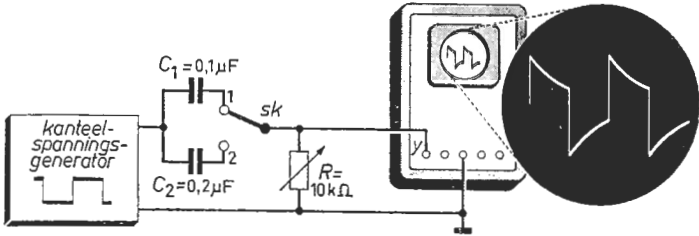


Fig. 34a

Fig. 34b

Beschrijving

- Stel de uitgangsspanning van de generator in op ongeveer 1 volt; regel de herhalingsfrequentie op 1 kHz en de impulsverhouding op 1 : 1.
- Plaats *Sk* in stand 1 en regel de weerstand *R* op de maximale waarde.
- Zet het *X*-kanaal van de oscilloscoop op „intern”. Regel de *Y*-versterking en de *X*-snelheid tot een afbeelding volgens fig. 34b zichtbaar wordt.
- Bestudeer het oscillogram; maak zodontig de *X*-snelheid hoger teneinde het „natuurlijke” verloop van de stroom beter te kunnen waarnemen.
- Schakel *Sk* in stand 2; vergelijk de afbeelding met die van punt c.
- Regel de variabele weerstand achtereenvolgens op enige lagere waarden en vergelijk de resulterende oscillogrammen met die van de punten c en e.

Toelichting

Bij proef 32 hebben wij gezien hoe een condensator achtereenvolgens wordt geladen en ontladen met behulp van een constante stroom. De condensatorspanning verandert daar weinig omdat de stroom door  $R (= 100 \text{ k}\Omega)$  wordt beperkt. Over deze weerstand valt dan een nagenoeg kanteelvormige spanning met een gemiddelde waarde van nul volt. Bij de nu te behandelen proef is de laadstroom groter omdat hij door een veel kleinere  $R (10 \text{ k}\Omega)$  wordt beperkt. De condensatorspanning stijgt en daalt dus veel sneller zodat de stroom (afhankelijk van het verschil tussen generator- en condensatorspanning) vlug afneemt. Dit afnemen geschiedt volgens een natuurlijk proces. Is na een zekere tijd de stroom de helft geworden, dan is hij na nogmaals zo'n tijd op  $\frac{1}{4}$  van zijn oorspronkelijke waarde gedaald; weer een gelijk tijdsbestek later tot op  $\frac{1}{8}$  enz. Springt de generatorspanning op het minimale niveau dan vloeit er plotseling een stroom in tegengestelde richting en zien we een gelijke negatieve „impuls”. Onder punt e neemt de stroom minder snel af; een grotere condensator moet men immers voor eenzelfde spanningsverandering een grotere lading toevoeren. Onder punt f neemt de stroom sneller af omdat de weerstand  $R$  lager wordt.



## HET „NATUURLIJKE” VERLOOP VAN DE SPANNING OVER EEN CONDENSATOR

### Schakeling

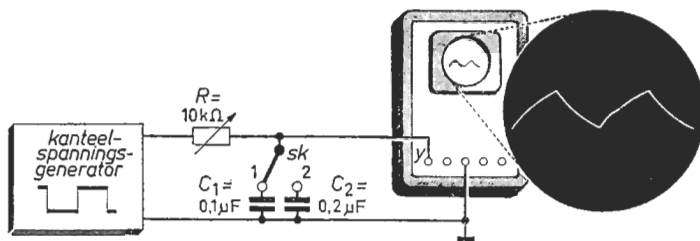


Fig. 35a

Fig. 35b

### Beschrijving

- a. Stel de uitgangsspanning van de generator in op ongeveer 1 volt; regel de herhalingsfrequentie op 1 kHz en de impulsverhouding op 1 : 1.
- b. Plaats de schakelaar *Sk* in stand 1 en regel *R* op de maximale waarde.
- c. Zet het *X*-kanaal van de oscilloscoop op „intern”. Regel de *Y*-versterking en de *X*-snelheid tot een afbeelding volgens fig. 35b zichtbaar wordt.
- d. Bestudeer het oscillogram; maak zonodig de *X*-snelheid hoger om het „natuurlijke” verloop van de condensatorspanning goed te kunnen waarnemen.
- e. Schakel *Sk* in stand 2; vergelijk de afbeelding met die van punt c.
- f. Regel de variabele weerstand achtereenvolgens op enige lagere waarden en vergelijk de resulterende oscillogrammen met die van de punten c en e.

### Toelichting

De periodieke laad- en ontladestroom neemt binnen een tijdsbestek van  $\frac{1}{2}$  ms volgens een natuurlijk proces af (zie proef 34). De condensatorspanning benadert (bij de gekozen waarden van *R*, *C* en de laad-ontlaadtijd) het maximale en minimale niveau van de kanteelspanning, zij het ook „vertraagd”. Op de tijdstippen dat de kanteelspanning een sprong maakt (de stroom is dan het grootst) zien we de condensatorspanning het snelste stijgen of dalen. De spanningsverandering wordt echter per gelijke tijdsfractie minder omdat de stroom afneemt. Terwijl de stroom in een condensatorcircuit plotseling van een zekere „positieve”- naar een „negatieve” waarde kan springen (proef 34), zien we hier dat de condensatorspanning steeds geleidelijk verloopt. Onder punt e wordt een grotere condensator geladen; deze behoeft een grotere lading om dezelfde spanning te verkrijgen. Het oscillogram begint dus minder steil en krijgt een „kortere” vlak gedeelte. Vergroten van *R* heeft hetzelfde effect (de stroom wordt dan kleiner). Maakt men *R* kleiner (punt f) dan wordt de stroomimpuls hoger; de condensator raakt dus sneller geladen. Het oscillogram benadert dan beter de kanteelspanning.

## Proef 36

### EEN CONDENSATOR IN EEN WISSELSTROOMCIRCUIT

#### Schakeling

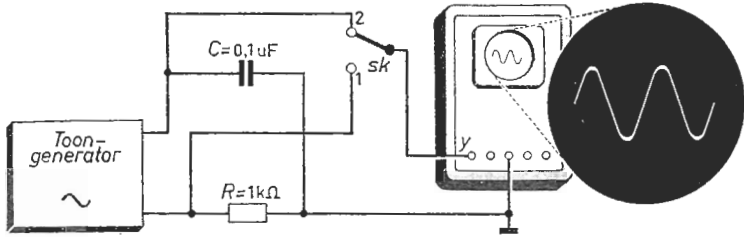


Fig. 36a

Fig. 36b

#### Beschrijving

- Plaats de schakelaar  $Sk$  in stand 1. Zet de toongenerator op 1 kHz en regel de uitgangsspanning tot de amplitude over de weerstand  $R$ , 1 volt bedraagt (doe dit met behulp van de oscilloscoop en de ijkgrafiek van proef 1).
- Zet het X-kanaal van de oscilloscoop op „intern”. Regel de Y-versterking en de X-snelheid tot een afbeelding volgens fig. 36b zichtbaar wordt.
- Schakel  $Sk$  in stand 2 en herhaal punt b. Meet de amplitude van het oscillogram en zet dit resultaat om in een spanning (zie de ijkgrafiek fig. 1c).
- Halveer de frequentie van de generatorspanning. Zet  $Sk$  in stand 1 en maak de spanning over  $R$  weer 1 volt. Herhaal daarna de meting volgens punt c.

#### Toelichting

De condensatorspanning (punt c) verloopt evenals de stroom (punt b) sinusvormig. Er vloeit afwisselend een laad- en ontladstroom, waardoor de condensatorspanning stijgt resp. daalt. Zij verandert het snelste als de stroom het grootst is. Een sinusvorm is het steilste in de nuldoorgangen zodat de condensatorspanning nul is en stijgende als de stroom maximaal is. De laagste punten in het stroomoscillogram (maximale ontladstroom) vallen samen met een condensatorspanning die nul is en dalende. De condensatorspanning is dus  $\frac{1}{4}$  periodetijd vertraagd („ijlt na”) ten opzichte van de stroom (zie proef 37). De amplitude van de laad- ontladstroom is 1 mA (punt a); de gemiddelde laadstroom kleiner; deze is  $2/\pi \approx 0,636$  mA. De laadtijd is  $\frac{1}{2}$  ms. De verzamelde lading (stroom maal tijd) is dan  $1/\pi \approx 0,32$   $\mu$ As (zie proef 7). Daar de capaciteit 0,1  $\mu$ F bedraagt, stijgt de condensatorspanning 3,2 volt. De amplitude der condensatorwisselspanning is dus 1,6 volt. Het quotiënt van deze spanning en de amplitude der stroom noemt men de impedantie of „schijnbare weerstand” van de condensator. Zij is omgekeerd evenredig met de frequentie der wisselspanning en met de capaciteit. Onder punt d wordt dus de amplitude van de spanning over de condensator verdubbeld.

## FAZEVERSCHIL VAN STROOM EN SPANNING BIJ EEN CONDENSATOR

### Schakeling

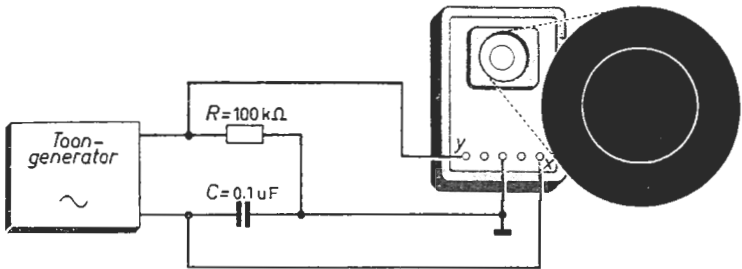


Fig. 37a

Fig. 37b

### Beschrijving

- Regel de uitgangsspanning van de toongenerator op de maximale waarde en de frequentie op 1 kHz.
- Zet het  $X$ -kanaal van de oscilloscoop op „extern”. Regel de  $X$ - en  $Y$ -versterking en de  $X$ - en  $Y$ -verschuiving tot een cirkelvormige afbeelding in het midden op de beeldbuis zichtbaar wordt (zie fig. 37b).
- Maak de  $X$ - en  $Y$ -versterking groter en kleiner; bekijk de resultaten.
- Maak de amplitude van de generatorspanning groter (regel niet aan de  $X$ - en  $Y$ -versterking) en controleer of de vorm van de afbeelding dezelfde blijft.
- Maak de frequentie van de generatorspanning lager (regel niet aan de  $X$ - en  $Y$ -versterking) en verklaar de vormverandering van het oscillogram.

### Toelichting

De stroom (spanning over  $R$ ) en de condensatorwisselspanning zijn sinusvormig; de condensatorwisselspanning „ijlt”  $\frac{1}{4}$  periode na op de stroom (zie proef 36); het „fazeverschil” is  $\frac{1}{4}$  periode. Op een zeker tijdstip is de stroom maximaal. De condensatorwisselspanning ( $X$ -spanning) is dan nul en de  $Y$ -spanning maximaal negatief. De lichtstip bevindt zich dus loodrecht onder het middelpunt van het scherm.  $\frac{1}{4}$  ms later is de stroom ( $Y$ -spanning) nul. De  $X$ -spanning stijgt niet meer; zij is maximaal positief. De lichtstip bevindt zich dan rechts van het middelpunt. Weer  $\frac{1}{4}$  ms later vloeit de maximale ontladstroom zodat de  $Y$ -spanning positief en de  $X$ -spanning nul is. De lichtstip zit nu dus even ver boven het middelpunt als hij er aanvankelijk beneden zat. Uiteindelijk komt hij weer terug in het punt van uitgang en heeft dan een gesloten kromme, cirkel (punt b) of ellips (punt c), beschreven, waarvan de uiterste waarden op de  $X$ - en  $Y$ -as liggen. Vergroot men de periodieke laadstroom dan worden de  $X$ - en  $Y$ -spanning in gelijke mate groter (punt d). Het beeld behoudt dus z'n oorspronkelijke vorm. Vergroot men de laadtijd (bij dezelfde stroomamplitude) dan neemt uitsluitend de  $X$ -afbuiging toe (punt e).

## Schakeling

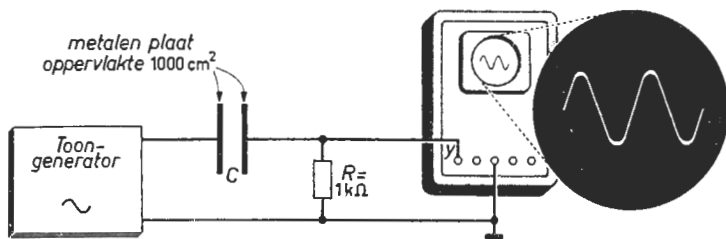


Fig. 38a

Fig. 38b

## Beschrijving

- Maak de uitgangsspanning van de generator maximaal; frequentie 10 kHz. Stel de platen van de condensator  $C$  tegenover elkaar op; afstand 2 mm.
- Zet het  $X$ -kanaal van de oscilloscoop op „intern”. Regel de  $Y$ -versterking en de  $X$ -snelheid tot een afbeelding volgens fig. 38b zichtbaar wordt.
- Meet de beeldhoogte en zet het resultaat om in een spanning (zie fig. 1c).
- Maak de afstand tussen de platen respectievelijk 1 en 4 mm; herhaal punt c.
- Verschuif een der platen zodat het oppervlak van de tegenoverliggende delen kleiner wordt (de afstand tussen deze delen handhaven), en herhaal punt c.
- Herhaal punt c nadat achtereenvolgens enige soorten isolerend materiaal (bijv. papier, mica, keramiek, teflon) tussen de platen zijn gebracht.

## Toelichting

De condensatorspanning is nagenoeg gelijk aan de generatorspanning; de weerstand  $R$  veroorzaakt slechts een geringe spanningsval evenredig met de stroom. De hoogte van het oscillogram (de periodieke laadstroom) is dus evenredig met de capaciteit der onderling geïsoleerde platen. Zij vormen als het ware een „opslagplaats” voor de toegevoerde elektriciteit. De op de platen opgehoopte ladingen trekken elkaar aan en worden zodoende ongeveer gelijkmatig over de naar elkaar toegekeerde oppervlakken der platen verdeeld. De capaciteit („bevattingvermogen”) is dan ook groter naarmate het „werkzame” plaatoppervlak groter is (zie punt e). Verder is de capaciteit omgekeerd evenredig met de plaatafstand (punt d). De genoemde aantrekkingskracht wordt groter als de platen dichter bij elkaar staan; de ladingen „houden elkaar beter vast”; er is dan bij dezelfde spanning „plaats” voor een grotere lading. Tussen de platen heerst een „gespannen sfeer”, een zogenaamd elektrisch veld. Brengt men hierin een isolator dan treedt daarin polarisatie op. Dank zij dit effect is de lading op de platen bij dezelfde spanning groter; het oscillogram wordt daarom hoger door de onder punt f genoemde handelingen.

## Proef 39

### WEGEN MET BEHULP VAN EEN CAPACITIEVE OPNEMER

#### Schakeling

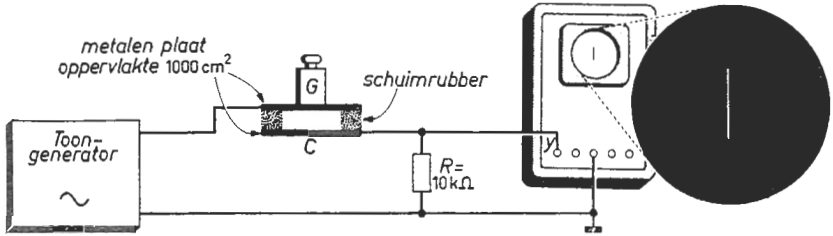


Fig. 39a

Fig. 39b

#### Beschrijving

- Maak de generatorspanning maximaal; frequentie 10 kHz. Verwijder het gewicht  $G$  en maak de afstand tussen de condensatorplaten 1 cm.
- Zet het  $X$ -kanaal van de oscilloscoop op „extern”. Regel de  $Y$ -versterking en de  $X$ - en  $Y$ -verschuiving tot een verticale streep met een geringe hoogte, die nog redelijk meetbaar is, in het midden op de beeldbuis zichtbaar wordt.
- Meet de hoogte van het oscillogram en noteer deze waarde.
- Plaats achtereenvolgens enige standaardgewichten op de capacitieve opnemer  $C$ ; herhaal telkens punt c. Maak een grafiek van de resultaten.
- Plaats enige te meten objecten op de capacitieve opnemer en bepaal hun gewicht aan de hand van de onder punt d opgenomen ijkgrafiek.

#### Toelichting

De amplitude van de spanningsval over de weerstand  $R$  is evenredig met de amplitude van de wisselstroom. Deze wordt bij een constante frequentie en amplitude der generatorspanning bepaald door de capaciteit van de twee platen ten opzichte van elkaar. Uit de vorige proef weten we dat de capaciteit van twee evenwijdige vlakke platen op geringe afstand (dit is een zogenaamde vlakke condensator) omgekeerd evenredig is met de plaatafstand. De platen worden evenwijdig gehouden door tussen de platen op de vier hoeken bijvoorbeeld gelijke stukjes schuimrubber te plakken. Onder de punten c en d wordt de „weegschaal” geijkt. Belast men haar zodanig dat de plaatafstand merkbaar kleiner wordt dan wordt de capaciteit van de vlakke condensator groter. De stroomamplitude neemt dan toe zodat de verticale streep op het scherm langer wordt; zij is dus een maat voor het gewicht dat op de opnemer is geplaatst. Het verdient aanbeveling de gewichten in het midden op de „weegschaal” te zetten opdat de platen evenwijdig blijven. Wil men lichte voorwerpen wegen dan neme men een *dunne* bovenplaat en smalle stukjes schuimrubber om haar evenwijdig aan de onderplaat te houden.

**BEPALEN VAN EEN VLOEISTOFNIVEAU  
MET BEHULP VAN EEN CAPACITIEVE OPNEMER**

**Schakeling**

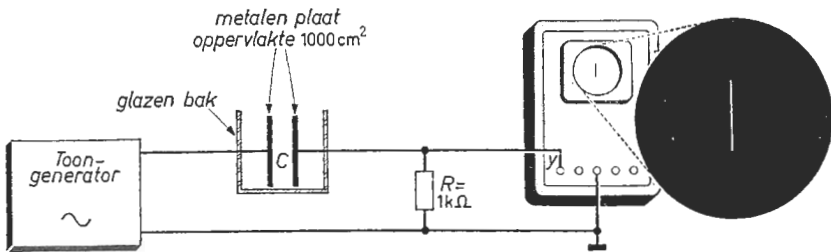


Fig. 40a

Fig. 40b

**Beschrijving**

- Maak de generatorspanning maximaal; frequentie 10 kHz. Stel de platen van de capacitieve opnemer  $C$  tegenover elkaar op; afstand 1 cm.
- Zet het  $X$ -kanaal van de oscilloscoop op „extern”. Regel de  $Y$ -versterking en de  $X$ - en  $Y$ -verschuiving tot een verticale streep met een geringe hoogte, die nog redelijk meetbaar is, in het midden op de beeldbuis zichtbaar wordt.
- Meet de hoogte van het oscillogram en noteer deze waarde.
- Laat achtereenvolgens 1, 2, 3, ... cm van een isolerende vloeistof (bijv. aceton) in de bak lopen; herhaal punt c. Zet de resultaten in een grafiek.
- Laat naar willekeur enige vloeistof uit de bak lopen en bepaal dan het vloeistofniveau in de bak aan de hand van de onder punt d opgenomen ijkgrafiek.

**Toelichting**

Behalve van het oppervlak en van de afstand der condensatorplaten hangt de capaciteit af van het medium tussen de platen (het zogenaamde diëlektricum); zie proef 38. Vult men de ruimte tussen de platen met een zekere stof en wordt de capaciteit daardoor bijvoorbeeld vijf maal zo groot dan zegt men dat de „relatieve diëlektrische constante” van die stof vijf is. Zo heeft aceton een relatieve diëlektrische constante:  $\epsilon_r \approx 20$ . De capaciteit van de door de twee platen gevormde vlakke condensator wordt dus twintig maal zo groot door het vullen van de glazen bak. De stroom wordt dienovereenkomstig groter zodat de hoogte van het oscillogram een maat is voor de hoogte van het vloeistofniveau. De stroom in het circuit bestaat slechts uit de laad- en ontladstroom van de condensator; de vloeistof is een isolator zodat zij de elektrische stroom persé niet geleidt. Men kan dit controleren door de frequentie van de generatorspanning te veranderen. Is de vloeistof wél geleidend dan vormt zij samen met de weerstand  $R$  een „spanningsdeler”; de hoogte van het oscillogram is dan niet zozeer afhankelijk van de frequentie, doch voornamelijk van de amplitude der generatorspanning.

EEN SPOEL IN EEN GELIJKSTROOMCIRCUIT

Schakeling

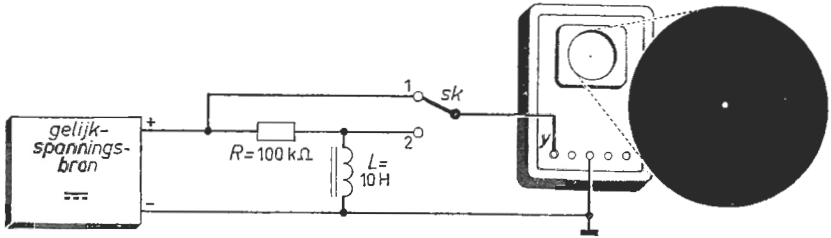


Fig. 41a

Fig. 41b

Beschrijving

- Maak de bronspanning nul volt. Plaats de schakelaar *Sk* in stand 1.
- Zet het *X*-kanaal op „extern” en het *Y*-kanaal op „D.C.”. Regel de *X*- en *Y*-verschuiving en de focus- en intensiteitsregeling tot een scherpe juist waarneembare lichtstip in het midden op de beeldbuis ontstaat.
- Regel de spanning van de bron op ongeveer 1 volt. Meet de verticale afbuiging en zet dit resultaat om in een evenredige spanning (zie fig. 1c).
- Schakel *Sk* in stand 2 en herhaal de meting van punt c.
- Variëer de bronspanning achtereenvolgens langzaam en snel van nul tot ongeveer 1 volt en terug (een snelle variatie ontstaat indien de pluspool van de bron wordt losgenomen). Bestudeer de bewegingen van de lichtstip.

Toelichting

De spoel is gewikkeld van koperdraad en heeft een weerstand die zeer klein is ten opzichte van  $100\text{ k}\Omega$ . Onder punt d blijkt dan ook dat over de spoel geen spanning valt. In het circuit (door de spoel) vloeit dan een constante stroom die gelijk is aan het quotiënt van de spanning der bron (punt c) en de weerstand van  $100\text{ k}\Omega$ . Deze stroom gaat gepaard met een magnetisch veld. De sterkte van het veld is evenredig met de stroomsterkte. Verandert de stroomsterkte (punt e) dan verandert de sterkte van het magnetisch veld. In de spoel die zich in zijn eigen veranderende veld bevindt, wordt dan volgens de toelichting bij proef 8 een inductiespanning opgewekt. Verandert de stroom snel van waarde (onderbreek het circuit) dan is de inductiespanning (de spanning over de spoel) kortstondig vrij hoog. De lichtstip springt dan even naar beneden. Omdat de inductiespanning uitsluitend wordt opgewekt als de sterkte van het veld verandert, is in de stationaire toestand de spanning over de spoel nul; de stroom bereikt in het praktische geval namelijk vrij spoedig zijn eindwaarde. De lichtstip zal zich dus slechts noemenswaardig verplaatsen als de stroom snel genoeg verandert.

**BEKRACHTIGEN VAN EEN SPOEL  
MET BEHULP VAN EEN KORTSTONDIGE SPANNING**

**Schakeling**

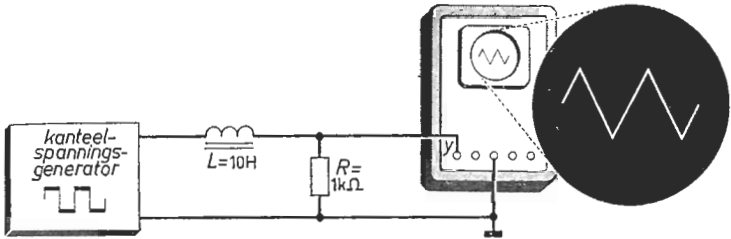


Fig. 42a

Fig. 42b

**Beschrijving**

- a. Stel de kanteelspanningsgenerator in op de maximale uitgangsspanning; regel de herhalingsfrequentie op 1 kHz en de impulsverhouding op 1 : 1.
- b. Zet het Y-kanaal van de oscilloscoop op „A.C.” (dit om een eventuele gelijkspanning te blokkeren), en het X-kanaal op „intern”. Regel de Y-versterking en de X-snelheid tot een afbeelding volgens fig. 42b zichtbaar wordt.
- c. Bestudeer het oscillogram. Meet de top-tot-topwaarde van de afbeelding.
- d. Maak de frequentie van de generatorspanning tweemaal zo hoog en vergelijk het resulterende oscillogram met dat van punt b. Herhaal punt c.
- e. Maak de uitgangsspanning van de generator tweemaal zo laag en vergelijk het resulterende oscillogram met die van de punten b en d. Herhaal punt c.

**Toelichting**

Vrij snel na het inschakelen bereikt de stroom door de spoel zijn gemiddelde waarde, die behalve van de circuitweerstand afhangt van de gemiddelde generatorspanning. De kanteelspanning springt nu op het maximale niveau. De stroom door de spoel (sterkte van het magnetisch veld) neemt dan toe om zich bij het nieuwe niveau aan te passen. Over de spoel ontstaat dan een inductiespanning, die de oorzaak van zijn ontstaan tegenwerkt. Zij zorgt er voor dat de stroom niet plotseling een andere waarde kan aannemen. Het „opbouwen” van een magnetisch veld gaat geleidelijk. We zien de stroom (punt c) geleidelijk toenemen als de kanteelspanning haar maximale niveau aanneemt. Springt de kanteelspanning op het minimale niveau dan neemt de stroom geleidelijk af. Daar de circuitweerstand klein is, is de inductiespanning (de spanning over de spoel) bijna gelijk aan de kanteelspanning. Onder punt d wordt de stroomverandering (hoogte van het oscillogram) gehalveerd; de tijd dat een maximaal of minimaal niveau optreedt, is namelijk de helft geworden. Onder punt e is de inductiespanning (spanning over de spoel) de helft der oorspronkelijke; de stroomverandering is dus ook een factor twee kleiner.



## Proef 43

### DE ZELFINDUCTIE VAN EEN SPOEL

#### Schakeling

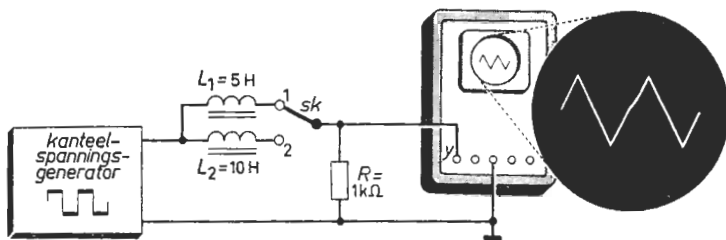


Fig. 43a

Fig. 43b

#### Beschrijving

- Stel de kanteelspanningsgenerator in op 10 volt top-tot-top (gebruik hierbij de oscilloscoop). Regel de herhalingsfrequentie op 1 kHz en de impulsverhouding op 1 : 1. Plaats de schakelaar  $Sk$  in stand 1.
- Zet het  $Y$ -kanaal van de oscilloscoop op „A.C.” (dit om een eventuele gelijkspanning te blokkeren) en het  $X$ -kanaal op „intern”. Regel de  $Y$ -versterking en de  $X$ -snelheid tot een afbeelding volgens fig. 43b zichtbaar wordt.
- Meet de top-tot-topwaarde van het oscillogram en zet dit resultaat om in een evenredige spanning aan de hand van de ijkgrafiek volgens proef 1.
- Meet de tijd dat de stroom toe- of afneemt (zie fig. 11c).
- Schakel  $Sk$  in stand 2 en herhaal de metingen volgens de punten c en d.

#### Toelichting

De weerstand van het circuit is klein. De kanteelspanning der generator is dus nagenoeg gelijk aan de inductiespanning. Zij wordt veroorzaakt door een zekere stroomverandering (veldverandering). Een grote stroomverandering gaat samen met een hoge spanning. De inductiespanning is hoger naarmate de tijd waarin die stroomverandering optreedt, korter is. Welke stroomverandering bij een bepaalde inductiespanning behoort, hangt af van de afmetingen, het aantal windingen en het „kern”-materiaal van de spoel. Deze grootheden bepalen namelijk de zogenaamde coëfficiënt-van-zelfinductie, kortweg de zelfinductie van de spoel. Zelfinductie drukt men uit in henry (H). De zelfinductie van een spoel is één henry als een spanning van één volt optreedt bij een stroomverandering van één ampère-per-seconde. Onder c en e vindt men spanningen van  $\frac{1}{2}$  resp.  $\frac{1}{4}$  volt. De stroomveranderingen in  $\frac{1}{2}$  milliseconde (punt d) zijn dus, daar  $R = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $\frac{1}{2}$  resp.  $\frac{1}{4}$  mA; per seconde is dat 1 resp.  $\frac{1}{2}$  ampère. De inductiespanning is in beide gevallen 5 volt (punt a). De zelfinductie (het quotiënt van inductiespanning en stroomverandering-per-seconde) van de ene spoel (punt c) is dus 5 henry. De zelfinductie van de andere spoel (punt e) is 10 henry.

## HET „NATUURLIJKE” VERLOOP VAN DE SPANNING OVER EEN SPOEL

## Schakeling

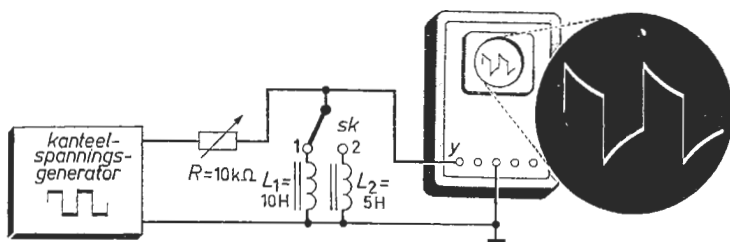


Fig. 44a

Fig. 44b

## Beschrijving

- Stel de grootte van de kanteelspanning in op ongeveer 1 volt top-tot-top. Regel de herhalingsfrequentie op 1 kHz en de impulsverhouding op 1 : 1.
- Plaats de schakelaar  $Sk$  in stand 1 en regel  $R$  op de maximale waarde.
- Zet het  $X$ -kanaal van de oscilloscoop op „intern”. Regel de  $Y$ -versterking en de  $X$ -snelheid tot een afbeelding volgens fig. 44b zichtbaar wordt.
- Bestudeer het beeld. Maak zonodig de  $X$ -snelheid hoger om het „natuurlijke” verloop van de spanning over de spoel beter te kunnen waarnemen.
- Schakel  $Sk$  in stand 2; vergelijk de afbeelding met die van punt c.
- Regel de variabele weerstand achtereenvolgens op enige lagere waarden en vergelijk de resulterende oscillogrammen met die van de punten c en e.

## Toelichting

Regelen we de weerstand  $R$  op minimum dan toont het oscillogram nagenoeg de generatorspanning. De spanning over de weerstand is gering en praktisch „driehoekvormig” (zie proef 42). Maken we de circuitweerstand groot dan valt hierover een groot deel van de generatorspanning (punt b). Deze spanningsval is evenredig met de stroom. De stroom neemt telkens gedurende  $\frac{1}{2}$  ms regelmatig toe en daarna gedurende dezelfde tijd regelmatig af. De spanning over  $R$  moet dit dan ook doen. De spanning over de spoel neemt af als die over de weerstand toeneemt en omgekeerd; de som van deze spanningen is immers de gedurende  $\frac{1}{2}$  ms constante generatorspanning. Maakt de generatorspanning een sprong dan doet de spanning over de spoel dit ook. De stroom (de spanning over  $R$ ) kan niet plotseling veranderen. Het oscillogram (punt d) bestaat dan ook uit „sprongen” gevolgd door een regelmatig „natuurlijk” verloop (zie toelichting proef 34). Halveert men de zelfinductie (punt e) dan kan de stroom (de spanning over  $R$ ) sneller veranderen. De spanning over de spoel komt dan telkens dichter bij z'n gemiddelde waarde. We zien dus een serie „sprongen” en een korter „natuurlijk” verloop.

HET „NATUURLIJKE” VERLOOP  
VAN DE STROOM DOOR EEN SPOEL

Schakeling

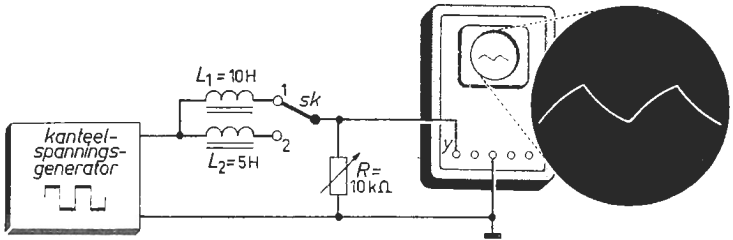


Fig. 45a

Fig. 45b

Beschrijving

- Stel de generatorspanning in op ongeveer 1 volt top-tot-top. Regel de herhalingsfrequentie op 1 kHz en de impulsverhouding op 1 : 1.
- Plaats *Sk* in stand 1 en regel de weerstand *R* op de maximale waarde.
- Zet het *X*-kanaal van de oscilloscoop op „intern”. Regel de *Y*-versterking en de *X*-snelheid tot een afbeelding volgens fig. 45b zichtbaar wordt.
- Bestudeer het oscillogram. Verhoog zonodig de *X*-snelheid om het „natuurlijke” verloop van de stroom door de spoel beter te kunnen waarnemen.
- Schakel *Sk* in stand 2; vergelijk de afbeelding met die van punt c.
- Regel de variabele weerstand achtereenvolgens op enige lagere waarden en vergelijk de resulterende oscillogrammen met die van de punten c en e.

Toelichting

Onder de proeven 42 en 43 zagen we dat de stroom in het circuit „driehoekvormig” verandert als de spanning over de spoel kanteelvormig is, dus als de weerstand in het circuit klein is. We maken nu de weerstand groter (punt b). Springt de kanteelspanning op het maximale niveau dan wil de stroom zich geleidelijk op z'n nieuwe hogere waarde gaan instellen. Deze nieuwe stroomwaarde is echter bij een grote circuitweerstand slechts weinig hoger dan het voorafgaande stroomniveau en wordt daarom sneller bereikt dan in het geval van een kleine circuitweerstand. We zien dan ook dat het oscillogram na elke sprong der kanteelspanning al vrij snel vlakker gaat verlopen (punt d). Onmiddellijk na de sprongen der kanteelspanning neemt de stroom het snelst toe en af; de spanning over de spoel is dan het hoogst (vergelijk proef 44). Onder punt e bereikt de stroom sneller z'n eindwaarde daar de (tegenwerkende) zelfinductie kleiner is. Het oscillogram gaat dus „beter lijken” op een kanteelspanning; de sprongen der kanteelspanning staan echter over de spoel. Het oscillogram volgens fig. 45b vult dat van fig. 44b aan tot de kanteelspanning van de generator.

EEN SPOEL IN EEN WISSELSTROOMCIRCUIT

Schakeling

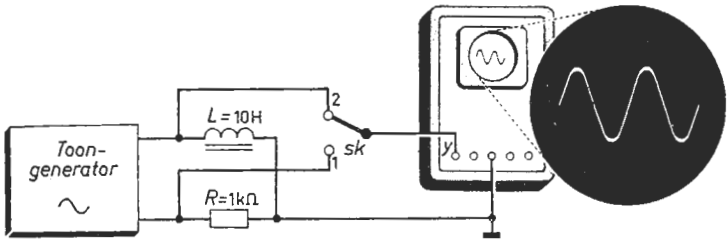


Fig. 46a

Fig. 46b

Beschrijving

- Plaats de schakelaar *Sk* in stand 1. Stel de toongenerator in op 100 Hz en regel de uitgangsspanning tot de amplitude over de weerstand *R*, 1 volt bedraagt (doe dit met behulp van de oscilloscoop en de ijkgrafiek van proef 1).
- Zet het *X*-kanaal van de oscilloscoop op „intern”. Regel de *Y*-versterking en *X*-snelheid tot een afbeelding volgens fig. 46b zichtbaar wordt.
- Schakel *Sk* in stand 2 en herhaal punt b. Meet de amplitude van het oscillogram en zet dit resultaat om in een spanning (zie de ijkgrafiek fig. 1c.)
- Verdubbel de frequentie van de generatorspanning. Zet *Sk* in stand 1 en maak de spanning over *R* weer 1 volt. Herhaal de meting volgens punt c.

Toelichting

De stroom door de spoel verandert sinusvormig (punt b). De inductiespanning (eveneens sinusvormig; punt c) is volgens proef 43 evenredig met de stroomverandering-per-tijdsfractie. Deze spanning is dus maximaal positief (negatief) als de stroom het snelst toeneemt (afneemt), dus op de momenten dat de stroom nul is. De inductiespanning is nihil als de stroomverandering-per-tijdsfractie dit ook is; dus op de momenten dat het stroomoscillogram maximaal of minimaal is. De sinusvormige stroom „ijlt” dus  $\frac{1}{4}$  periode na op de spanning over de spoel (zie proef 47). In 5 ms verandert de stroom van maximaal negatief (-1 mA) tot maximaal positief (+1 mA). De gemiddelde stroomverandering-per-tijdsfractie gedurende die tijd is dus  $2/5$  A/s. De gemiddelde spanning over de spoel van 10 H gedurende die tijd is dus  $10 \times 2/5 = 4$  volt. De maximale spanning is  $\pi/2 \approx 1,57$  maal zo hoog (zie proef 7); dit is 6,28 volt (punt c). Het quotiënt van de amplitude der inductiespanning en de amplitude van de stroom noemt men de impedantie of schijnweerstand der spoel. Deze is dus 6,28 kΩ. Maakt men (bij dezelfde stroomamplitude) de frequentie tweemaal zo hoog dan is de stroomverandering-per-tijdsfractie en dus de spanning over de spoel eveneens tweemaal zo groot (punt d).

**Schakeling**

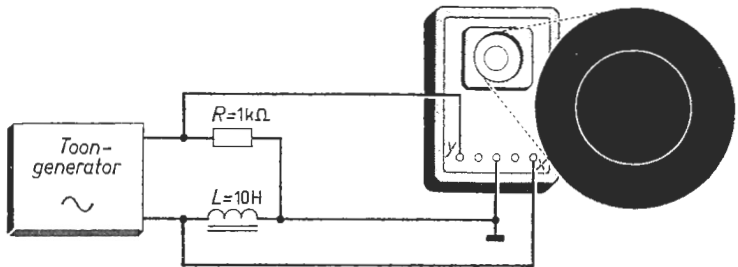


Fig. 47a

Fig. 47b

**Beschrijving**

- a. Regel de uitgangsspanning van de toongenerator op de maximale waarde en de frequentie op 100 Hz.
- b. Zet het X-kanaal van de oscilloscoop op „extern”. Regel de X- en Y-versterking en de X- en Y-verschuiving tot een cirkelvormige afbeelding in het midden op de beeldbuis zichtbaar wordt (zie fig. 47b).
- c. Maak de X- en Y-versterking groter en kleiner; bekijk de resultaten.
- d. Maak de amplitude van de generatorspanning groter (regel niet aan de X- en Y-versterking) en controleer of de vorm van het oscillogram hetzelfde blijft.
- e. Maak de frequentie van de generatorspanning hoger (regel niet aan de X- en Y-versterking) en verklaar de vormverandering van het oscillogram.

**Toelichting**

De stroom door de spoel is  $\frac{1}{4}$  periodetijd vertraagd (ijlt na) ten opzichte van de inductiespanning over de spoel (zie proef 46). Op de momenten dat de stroom nul is, is de inductiespanning maximaal; is de stroom maximaal, dan is de inductiespanning nihil. Aan het X-kanaal wordt de spanning over de spoel toegevoerd; aan het Y-kanaal een spanning die evenredig is met de stroom. Is de horizontale afbuiging nul dan is de verticale maximaal, en omgekeerd. Het oscillogram moet dus een gesloten kromme met een geleidelijk verloop zijn, waarvan de uiterste waarden op de X- en de Y-as liggen. Het oscillogram, een cirkel (punt b) of ellips (punt c), wordt door de lichtstip in 10 ms rechtsom doorlopen. Vergroot men de generatorspanning (punt d) dan nemen zowel de stroom als de zelfinductiespanning in gelijke mate toe. De verhouding dezer grootheden blijft dus gelijk zodat het oscillogram bij behoud van vorm in z'n geheel groter wordt. Verhoogt men de frequentie (punt e) dan is bij de oorspronkelijke stroomamplitude de zelfinductiespanning hoger. De horizontale afbuiging wordt dus (bij de oorspronkelijke verticale-afbuiging) groter.

**GROOTHEDEN  
DIE DE ZELFINDUCTIE VAN EEN SPOEL BEPALEN**

**Schakeling**

	windingen	diameter	lengte
$L_1$	600	5/8"	120 mm
$L_2$	600	1 1/4"	120 mm
$L_3$	600	5/8"	60 mm
$L_4$	300	5/8"	60 mm

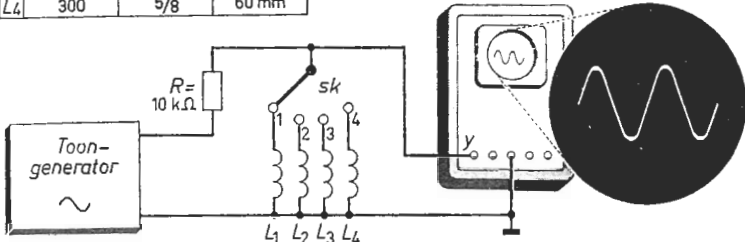


Fig. 48a

Fig. 48b

**Beschrijving**

- Maak de spanning van de generator maximaal; frequentie 10 kHz. Plaats  $Sk$  in stand 1. De spoelen  $L_1$  t/m  $L_4$  zijn op plastic-pijp gewikkeld.
- Zet het  $X$ -kanaal van de oscilloscoop op „intern”. Regel de  $Y$ -versterking en de  $X$ -snelheid tot een sinusvormige afbeelding ontstaat (zie fig. 48b).
- Meet de hoogte van het oscillogram en zet die om in spanning.
- Schakel  $Sk$  achtereenvolgens in stand 2 en 3 en herhaal telkens punt c.
- Zet  $Sk$  achtereenvolgens in stand 1, 2 en 3 waarbij een goed magnetismegeleidend materiaal (bijv. ferroxcube) binnen de ingeschakelde spoel wordt gebracht. Herhaal telkens punt c en vergelijk de onderlinge meetresultaten.
- Plaats  $Sk$  in stand 4 en herhaal de meting volgens punt c.

**Toelichting**

De spoellengte is groot ten opzichte van de diameter. Het magnetische veld binnen de spoel is dan relatief sterk en bestaat bij benadering uit een bundel evenwijdige krachtlijnen. Buiten de spoel verspreiden die zich; de ruimte daar is véél groter; het magnetische veld is daar zwak. Het blijkt (punt d) dat de zelfinductie (hoogte van het oscillogram) omgekeerd evenredig is met de „weerstand” die de krachtlijnen bij hun loop ondervinden. Hier worden achtereenvolgens de spoeldiameter verdubbeld (doorsnede verviervoudigd) en de spoellengte gehalveerd; de zelfinductie wordt vier-maal resp. twee-maal zo groot als die van  $L_1$ . Brengt men een staaf goed magnetismegeleidend materiaal binnen de spoel, dan zijn de spoelafmetingen van gering belang. De afmetingen en de zogenaamde permeabiliteit van de staaf bepalen dan hoofdzakelijk de zelfinductie. De zelfinducties van  $L_1$ ,  $L_2$  en  $L_3$  zijn dan ook veel groter dan aanvankelijk en bijna gelijk aan elkaar. Het aantal windingen van  $L_4$  is de helft van dat van  $L_3$ ; de afmetingen zijn hetzelfde. De zelfinductie is door het halve windingsgetal vier-maal zo klein; zij is evenredig met het kwadraat van het aantal windingen (punt f).

## Proef 49

### EIGENSCHAPPEN VAN GEKOPPELDE SPOELEN

#### Schakeling

	windingen	diameter	lengte
$L_1$	600	$\frac{5}{8}$ "	120 mm
$L_2$	600	$1\frac{1}{4}$ "	120 mm

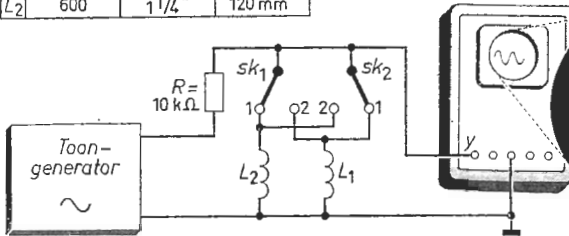


Fig. 49a

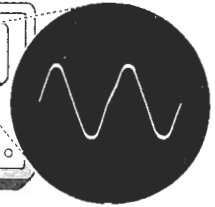


Fig. 49b

#### Beschrijving

- Maak de uitgangsspanning van de toongenerator maximaal en regel de frequentie op 10 kHz. Plaats  $L_1$  geheel binnen  $L_2$ . Zet  $Sk_1$  in stand 1.
- Zet het X-kanaal van de oscilloscoop op „intern”. Regel de Y-versterking en de X-snelheid tot een afbeelding volgens fig. 49b zichtbaar wordt.
- Schakel  $Sk_2$  achtereenvolgens in stand 1 en 2 en meet de beeldhoogten. Zet deze resultaten om in overeenkomstige spanningen (zie grafiek fig. 1c).
- Plaats een staaf ferroxcube binnen de spoel  $L_1$ ; herhaal punt c.
- Stop de staaf naast  $L_1$  binnen de spoel  $L_2$  en herhaal punt c.
- Zet  $Sk_1$  in stand 2; herhaal d en e. Vergelijk de onderlinge resultaten.
- Schuif de spoelen  $L_1$  en  $L_2$  uit elkaar en herhaal punt c.

#### Toelichting

$L_2$  is, uitgezonderd zijn viervoudige doorsnede, gelijk aan  $L_1$ ;  $L_1$  bevindt zich geheel binnen  $L_2$  en omvat dus een kwart van de krachtlijnen van  $L_2$ . De (zelf-)inductiespanning in  $L_2$  is daarom vier-maal zo groot als de (wederzijdse) inductiespanning in  $L_1$  (punt c). De koppelfactor is  $\frac{1}{4}$ . Stopt men een staaf goed magnetisme-geleidend materiaal in  $L_1$  ( $L_1$  blijft in  $L_2$ ) dan omvatten beide spoelen eenzelfde veld; de krachtlijnen gaan door de staaf. Bij dezelfde wisselstroom worden de spanningen over  $L_1$  en  $L_2$  véél hoger en praktisch gelijk; de koppelfactor is bijna 1 (punt d). Stopt men de staaf naast  $L_1$  binnen  $L_2$  dan wordt de koppelfactor zéér klein; de krachtlijnen gaan door de staaf buiten  $L_1$  om (punt e). Voeren we de wisselstroom toe aan de binnenste spoel ( $L_1$ ) dan omvatten beide spoelen bijna hetzelfde veld. De koppelfactor is dus (met of zonder staaf binnen  $L_1$ ) bijna 1. Bevindt de staaf zich naast  $L_1$  in  $L_2$  dan wordt de koppeling kleiner. Een deel der krachtlijnen van  $L_1$  die eerst buiten  $L_2$  om „terug gingen”, gaan nu door de staaf terug en werken het oorspronkelijke door  $L_2$  omvatte veld tegen (punt f). Als men de spoelen uit elkaar schuift, dan wordt de koppeling natuurlijk kleiner (punt g).

HET BEPALEN VAN DE LINEAIRE  
UITZETTINGSCOËFFICIËNT VAN METALEN

Schakeling

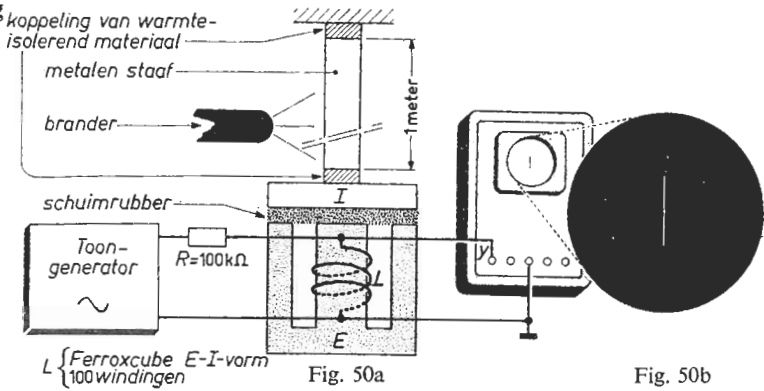


Fig. 50b

Beschrijving

- Maak de generatorspanning maximaal; frequentie 10 kHz. Leg een blaadje papier tussen de E- en I-vorm zodat de afstand 0,1 mm wordt.
- Zet het X-kanaal van de oscilloscoop op „extern”. Regel de Y-versterking en de X- en Y-verschuiving tot een verticale streep met een geringe hoogte, die nog redelijk meetbaar is, in het midden op de beeldbuis zichtbaar wordt.
- Meet de hoogte van het oscillogram en noteer deze waarde.
- Maak de afstand tussen het I- en E-ferroxcube achtereenvolgens 0,2, 0,3, ... enz. mm; herhaal telkens punt c. Maak een grafiek van de resultaten.
- Bevestig de te onderzoeken staaf volgens fig. 50a. Vul de ruimte tussen de E- en I-vorm met schuimrubber. Bepaal de lengteverandering (zie grafiek).

Toelichting

Binnen zowel als buiten de spoel  $L$  bevindt zich een goed magnetisme-geleidend materiaal. De krachtlijnen van het magnetische veld, veroorzaakt door de wisselstroom, gaan dus door het genoemde ferroxcube. De „magnetische weerstand” wordt nu in hoofdzaak bepaald door de weglengte die de krachtlijnen door de lucht afleggen; dit is door de zogenaamde „luchtspleet”. Omdat de zelfinductie omgekeerd evenredig is met de „weerstand voor krachtlijnen”, wordt het oscillogram hoger als de luchtspleet kleiner wordt. Een luchtspleetverandering van bijvoorbeeld een halve millimeter kan gemakkelijk een Y-afbuiging van enkele centimeters ten gevolge hebben. Dit wordt gecontroleerd onder punt d; hier wordt de opstelling geijkt en de hoogte van het oscillogram uitgezet als functie van de lengte der luchtspleet. Koppelt men daarna de te onderzoeken staaf aan bijvoorbeeld het I-ferroxcube, dan kan men uit de onder punt d opgenomen grafiek de lengteverandering als gevolg van de temperatuurswijziging der staaf aflezen. Hieruit wordt de lineaire uitzettingscoëfficiënt (dit is de procentuele lengteverandering per graad Celsius) berekend.



DE NETSPANNING

Schakeling

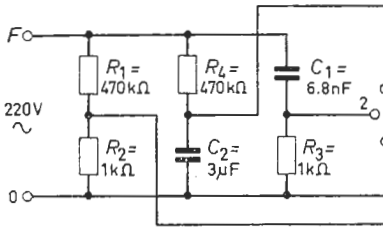


Fig. 51a

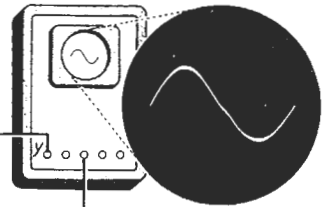


Fig. 51b

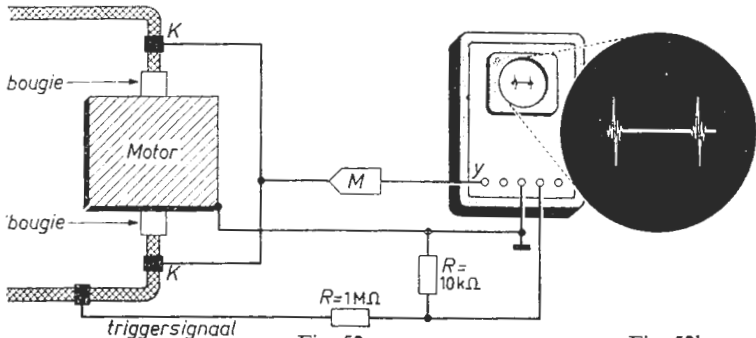
Beschrijving

- Bepaal met behulp van een spanningszoeker welke de „nulleider” van het net is. Verbindt de nulleider met het punt 0 en de „faze” met het punt  $F$  der schakeling. Voorzichtigheid is geboden . . . Zet de schakelaar  $Sk$  in stand 1.
- Zet het  $X$ -kanaal van de oscilloscoop op „intern”. Regel de  $Y$ -versterking en de  $X$ -snelheid tot een duidelijk oscillogram zichtbaar is. Zie fig. 51b.
- Bestudeer dit oscillogram. Wijkt het af van de „sinus-vorm”?
- Meet de periodetijd; daarbij gebruikt U de grafiek volgens fig. 11c.
- Zet  $Sk$  in stand 2 en vergelijk het nieuwe oscillogram met dat van punt c.
- Schakel over naar stand 3 van  $Sk$ . Vergelijk het beeld met de vorige oscillogrammen. Tracht te verklaren waarom het beeld nagenoeg sinusvormig is.

Toelichting

De elektriciteitsbedrijven streven er naar de verbruikers een „sinusvormige” spanning van 50 Hz te leveren. In de meeste gevallen wordt de sinusvorm voldoende nauwkeurig benaderd. De frequentie-nauwkeurigheid (punt d) is zeer goed te noemen.  $R_1$  en  $R_2$  vormen een eenvoudige spanningsdeler. Het oscillogram ( $Sk$  in stand 1) toont dus het verloop der netspanning. Bekijken we dit oscillogram kritisch, dan kunnen we kleine onregelmatigheden waarnemen. Dat die inderdaad aanwezig zijn, wordt duidelijker zichtbaar als we  $Sk$  in stand 2 zetten. Omdat de spanning over  $C_1$  niet kan „springen”, komen de onregelmatigheden (spanningsprongetjes en snelle variaties) hoofdzakelijk over  $R_3$  te staan. De „ongerechtigeden” worden dus veel minder verzwakt als het sinusvormige aandeel van de netspanning. Wenst men een „schone” netspanning, dan past men een „netfilter” toe, dat de onregelmatigheden zoveel mogelijk wegwerkt. De werking van een schakeling om een „schone” spanning te verkrijgen (hier is vanwege het lage rendement geen sprake van een praktisch netfilter), wordt gedemonstreerd onder punt f. De spanning over  $C_2$  kan slechts geleidelijk verlopen; de in de netspanning aanwezige onregelmatigheden vallen dus over  $R_4$ .

Schakeling



Beschrijving

- Maak rond elke bougiekabel een metalen klem *K* en verbindt deze klemmen via de meetkop *M* aan het *Y*-kanaal (zie fig. 52a). Genoemde klemmen moeten dezelfde afmetingen hebben en op dezelfde manier zijn bevestigd.
- Laat de motor stationair lopen. Zet het *X*-kanaal op „intern” en trigger „extern” met de bougie-spanning. Regel de *Y*-versterking en de *X*-snelheid tot het aantal afgebeelde pieken gelijk is aan het aantal bougies (fig. 52b).
- Maak de klemmen een voor een even los en noteer welke piek er dan wegvalt. Tracht op deze manier de bij elke piek behorende bougie te vinden.
- Meet de afstanden tussen de pieken. Zijn alle pieken even hoog?
- Laat de motor sneller lopen en vergelijk het oscillogram met dat van punt b.

Toelichting

De binnenader van de bougiekabel vormt met de klem *K* een condensator. De capaciteit van deze condensator wordt mede bepaald door het oppervlak van de klem voor zover dat oppervlak de bougiekabel „ziet”. Men kan rond de bougiekabels op dezelfde wijze gelijke strookjes bladtin wikkelen. De binnenders van de bougiekabels zijn dan via gelijke condensatoren gekoppeld met de meetkop van de oscilloscoop, zodat spanningsvariaties op de binnenders worden doorgegeven aan de meetkop. De meetkop verzwakt deze spanningsvariaties omdat zij te groot zijn om direct aan de *Y*-versterker te worden toegevoerd. De spanning op een bougie is namelijk kortstondig zéér hoog. Het oscillogram bestaat dan ook uit een serie „pieken”. De afstand tussen deze pieken is een maat voor het toerental van de motor; laat men de motor sneller draaien, dan worden er meer pieken zichtbaar. Is de ontsteking van de motor in orde, dan zijn de spanningspieken op elk der bougies even hoog; de pieken van het oscillogram evenzo. Is bijvoorbeeld één der bougies slecht dan zijn de pieken niet even hoog. Welke bougie de slechte is, controleert men eenvoudig door de klemmen stuk voor stuk even los te nemen.

## Proef 53

### DE SCHAKELTIJDEN VAN EEN TRILLEROMSCHAKELAAR

#### Schakeling

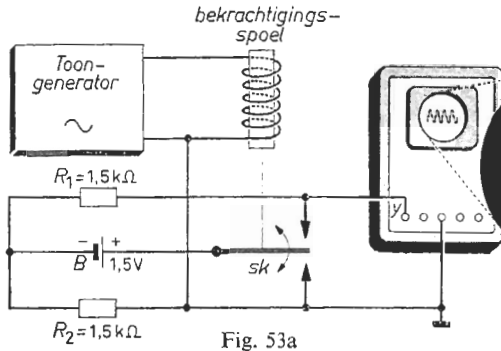


Fig. 53a

Fig. 53b

#### Beschrijving

- Regel de uitgangsspanning van de toongenerator en de frequentie zodanig dat de trilleromschakelaar *Sk* in zijn bedrijfstoestand staat ingesteld.
- Zet het *X*-kanaal van de oscilloscoop op „intern”. Regel de *Y*-versterking en de *X*-snelheid tot een afbeelding volgens fig. 53b zichtbaar wordt.
- Meet de tijden van de bovenste, de onderste en de middelste horizontale delen van het oscillogram aan de hand van de ijkgrafiek van proef 11 (zie fig. 11c).
- Controleer of er onregelmatigheden (bijv. piekjes of inkepingen) in het oscillogram zichtbaar zijn. Zijn de horizontale delen van het beeld stabiel in tijd?
- Variëer achtereenvolgens de amplitude en de frequentie van de generatorspanning; vergelijk het resultaat met dat van punt b. Herhaal de punten c en d.

#### Toelichting

We kunnen in het oscillogram drie niveaus onderscheiden. Het maximale niveau treedt op gedurende de tijd dat het loopcontact van *Sk* het bovenste werkcontact raakt. Gedurende die tijd zit namelijk de *Y*-versterker aan de  $+$  van de batterij, terwijl de  $-$  van de batterij via  $R_2$  aan de aardklem ligt. Raakt het loopcontact van *Sk* het onderste werkcontact dan treedt het minimale niveau op. In dat geval zit namelijk de  $-$  van de batterij via  $R_1$  aan de *Y*-versterker, terwijl de  $+$  van de batterij aan de aardklem ligt. Bevindt het loopcontact zich tussen de werkcontacten in (deze toestand treedt op tijdens het omschakelen) dan heeft het oscillogram zijn nulniveau. Dit komt overeen met een spanning van nul volt, daar de batterij in die tijd los ligt. Bij een te geringe bekrachtiging „twijfelt” het loopcontact en komt daardoor gedurende een te korte tijd in de werkstand. Dit houdt in dat het nulniveau langer wordt en de andere niveaus korter. Bij een te sterke bekrachtiging kan het loopcontact te krachtig tegen de werkcontacten slaan, waardoor het onmiddellijk weer terug springt. Het omschakelen wordt dan onregelmatig. Dit kan trouwens ook voorkomen bij een te geringe bekrachtiging.

## Proef 54

### SELECTERENDE EIGENSCHAPPEN VAN EEN TRILLINGSKRING

#### Schakeling

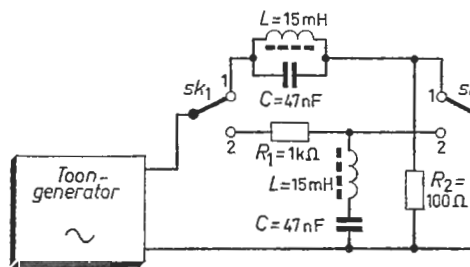


Fig. 54a

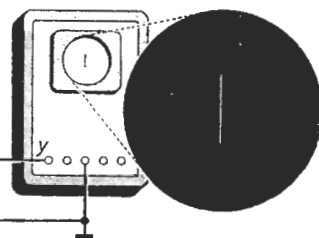


Fig. 54b

#### Beschrijving

- Maak de uitgangsspanning van de toongenerator maximaal en de frequentie ongeveer 6 kHz. Plaats de schakelaars  $Sk_1$  en  $Sk_2$  in stand 1.
- Zet het X-kanaal van de oscilloscoop op „extern”. Regel de Y-versterking en de X- en Y-verschuiving tot de afbeelding volgens fig. 54b zichtbaar wordt.
- Regel de frequentie van de generatorspanning tot de hoogte van het oscillogram minimaal is; noteer deze frequentie. Meet de beeldhoogte en zet die om in een evenredige spanning. Zonodig de Y-versterking bijregelen.
- Variëer de frequentie naar enige hogere en lagere waarden; noteer deze frequenties en de resulterende spanningen. Maak een grafiek van deze gegevens.
- Herhaal de punten c en d nadat  $Sk_1$  en  $Sk_2$  in stand 2 zijn geschakeld.

#### Toelichting

De impedantie van een condensator neemt af bij toenemende frequentie (proef 36), die van een spoel neemt juist toe (proef 46). Bij één bepaalde frequentie is daarom de stroomamplitude in de condensatortak gelijk aan die in de spoel; spoel en condensator staan immers parallel, dus aan dezelfde spanning ( $Sk$  in stand 1). Daar de twee takstromen in tegenfase zijn (afgezien van de verliezen) is bij die éne frequentie (resonantiefrequentie) de totaalstroom bijna nul. Over  $R_2$  valt dan geen noemenswaardige spanning. De parallelkring (sperkring) houdt in het resonantiegeval de generatorspanning tegen. De kringspanning is groot, de totaalstroom klein. De onder punt c gemeten hoogte is dan ook te wijten aan onvolkomenheden zoals de weerstand van de spoel en de „vervorming” van de generatorspanning. Staan spoel en condensator in serie (punt e) dan is bij de resonantiefrequentie de amplitude van de condensatorspanning gelijk aan die van de spanning over de spoel. Daar deze spanningen in tegenfase zijn (afgezien van de verliezen), is dan hun som nul. De seriekring (zuigkring) gedraagt zich in het resonantiegeval bijna als een „kortsluiting”. De kringspanning is dan klein, de stroom is groot.

UITSLINGEREN VAN EEN TRILLINGSKRING

Schakeling

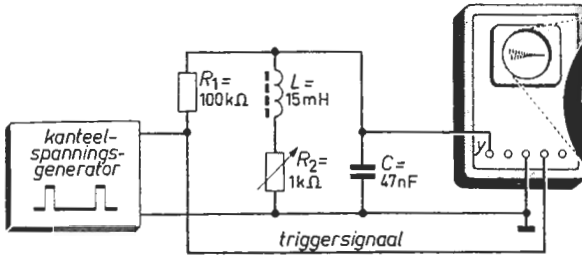


Fig. 55a

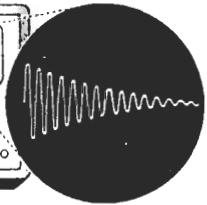


Fig. 55b

Beschrijving

- Maak de generatorspanning 10 volt; de herhalingsfrequentie 50 Hz en de impulsverhouding 1 : 10. Regel de weerstand  $R_2$  op de minimale waarde.
- Zet het X-kanaal van de oscilloscoop op „intern” en trigger de tijdbasis „extern” met de generatorspanning. Regel de Y-versterking en de X-snelheid tot een afbeelding volgens fig. 55b zichtbaar wordt.
- Meet de periodetijd van een slingering en bereken hieruit de eigenfrequentie van de trillingskring. Bij deze meting kan men met voordeel de X-snelheid opvoeren zodat slechts een paar perioden op het scherm verschijnen.
- Regel de variabele weerstand op enige hogere waarden; vergelijk de resulterende oscilogrammen met dat van punt c.

Toelichting

De schakeling bestaande uit  $L$ ,  $C$  en  $R_2$ , noemt men een trillingskring. Het kenmerkende van een trilling is, dat er steeds energie van de ene vorm in de andere wordt omgezet (denk bijv. aan een slinger waarbij steeds A.V.P. overgaat in A.V.B. en omgekeerd). De geladen condensator  $C$  bevat een hoeveelheid elektrische energie, uitsluitend afhankelijk van de spanning. De condensator gaat zich ontladen over de spoel  $L$ . Hierdoor neemt de spanning over  $C$  af (dus ook de energie in  $C$ ) en de stroom door  $L$  toe. Als de condensatorspanning nul is geworden dan is de gehele energie omgezet in magnetische energie; deze is uitsluitend afhankelijk van de stroom door  $L$ . Deze stroom blijft nu dezelfde richting behouden en laadt daarom  $C$  in tegengestelde zin. De energie in  $C$  neemt dus weer toe, terwijl de stroom door  $L$  geleidelijk afneemt. De tijd van deze cyclus is afhankelijk van de waarde van  $L$  en  $C$  en bij een praktische kring slechts in geringe mate van  $R$ . Indien de omzetting van energie zonder verliezen zou plaatsvinden, dan zou er een „ongedempte” trilling ontstaan. Praktisch zal iedere slingering kleiner zijn dan de voorafgaande omdat  $R_2$  energie verbruikt die vrijkomt in de vorm van warmte. Met behulp van  $R_2$  regelt men dus de „damping” van de kring.

UITSLINGEREN VAN TWEE GEKOPPELDE KRINGEN

Schakeling

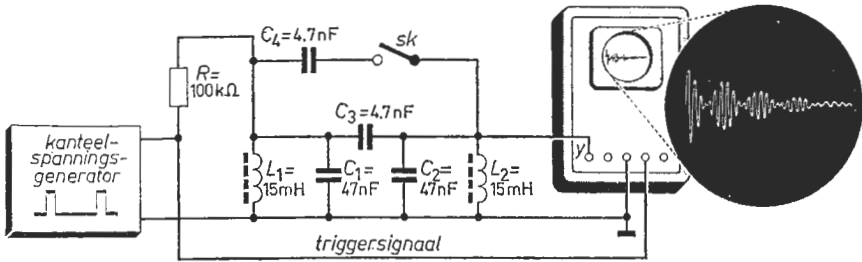


Fig. 56a

Fig. 56b

Beschrijving

- Stel de kanteelspanningsgenerator in op 10 volt; herhalingsfrequentie 50 Hz en de impulsverhouding 1 : 10. Open de schakelaar *Sk*.
- Zet het *X*-kanaal van de oscilloscoop op „intern” en trigger de tijdbasis „extern” met de generatorspanning. Regel de *Y*-versterking en de *X*-snelheid tot een afbeelding volgens fig. 56b op het scherm verschijnt.
- Meet de eigenfrequentie van de trillingskringen en bepaal het aantal uitslingeringen per overnameperiode. Indien de horizontale afstanden te klein zijn om nauwkeurig te kunnen meten, verdient het aanbeveling de *X*-snelheid wat op te voeren; U ziet dan minder perioden op het scherm.
- Herhaal de meting van punt c nadat *Sk* is gesloten.

Toelichting

De primaire kring  $L_1-C_1$  wordt aangestoten door de impulsvormige generatorspanning. Hij wil op de bij proef 55 beschreven wijze gaan uitslingeren, doch is d.m.v.  $C_3$  zwak gekoppeld met de secundaire kring  $L_2-C_2$ . Hierdoor krijgt  $L_2-C_2$  bij iedere spanningstop in  $L_1-C_1$  een weinig energie toegevoerd, zodat ook in de trillingskring  $L_2-C_2$  een trilling ontstaat waarvan de amplitude geleidelijk toeneemt. De amplitude van de trilling in  $L_1-C_1$  zal dan afnemen omdat er zich slechts een beperkte hoeveelheid energie in het stelsel bevindt. Heeft het beeld op de oscilloscoop zijn grootste hoogte, dan bevindt de gehele energie zich in de secundaire kring. Men kan goed waarnemen hoeveel spanningstoppen er nodig zijn geweest om alle energie uit de primaire kring naar de secundaire kring over te brengen (zie punt c). Sluit men de schakelaar *Sk* (punt d) dan wordt de koppeling tweemaal zo groot. Per trilling wordt dan een grotere hoeveelheid energie overgedragen, zodat een overname-tijd minder trillingen bevat. Telt men het aantal trillingen in een overname-tijd dan zal men ongeveer de helft van het oorspronkelijke aantal vinden. Vanwege het energieverlies in beide kringen sterft de trilling uit (zie proef 55).

## Proef 57

### HET ONTLEDEN VAN EEN KANTEELVORMIGE SPANNING

#### Schakeling

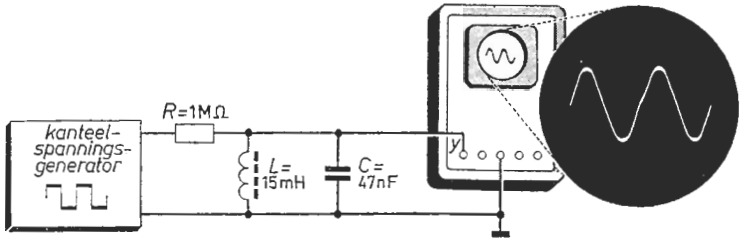


Fig. 57a

Fig. 57b

#### Beschrijving

- Stel de kanteelspanningsgenerator in op de maximale uitgangsspanning; maak de herhalingsfrequentie ongeveer 6 kHz en de impulsverhouding 1 : 1.
- Zet het X-kanaal van de oscilloscoop op „intern”. Regel de Y-versterking en de X-snelheid tot een stilstaand oscillogram zichtbaar wordt.
- Variëer de frequentie van de generatorspanning in de buurt van 6 kHz tot de afbeelding sinusvorming is. Zonodig de Y-versterking bijregelen.
- Bepaal de periodetijd en de amplitude van de Y-spanning.
- Maak de frequentie van de generatorspanning geleidelijk lager en herhaal telkens punt d wanneer een sinusvorm op het scherm verschijnt.
- Herhaal de punten c, d en e in het geval de impulsverhouding bijv. 1 : 2 is.

#### Toelichting

Stoot men een kring aan, dan ontstaat er een gedempte vrije trilling (proef 55). Zij wordt gedwongen ongedempt (sinusvormig) als men de door kringverliezen verbruikte energie aanvult. De gedwongen trilling wil steeds de eigenfrequentie der kring aannemen (dan is weinig energie nodig); in hoeverre zij dit kan hangt af van het aanstoten. Hierop berust in feite de selecterende werking van een trillingskring (proef 54). Onder punt c wordt de kring „eigenfrequent” aangestoten zodat energietoevoer plaats vindt op de juiste tijdstippen; er ontstaat een ongedempte trilling. Onder punt e ontstaat een ongedempte trilling slechts indien de eigenfrequentie der kring gelijk is aan een oneven aantal malen de kanteelfrequentie. In elk ander geval is het produkt van kringsspanning en kanteelstroom (de geleverde energie) nul. De amplitude der trilling is kleiner naarmate de kanteelfrequentie lager wordt; dit vindt zijn oorzaak in de geringere geleverde energie. Lettende op de „selecterende werking” van de trillingskring (proef 54) kan men zeggen dat de kring de harmonischen (proef 15) uit de kanteelspanning filtert. Dit blijkt voor een niet-symmetrische spanning ook even harmonischen te zijn (punt f).

## Proef 58

### DE HELDERHEID VAN EEN GLOEILAMP

#### Schakeling

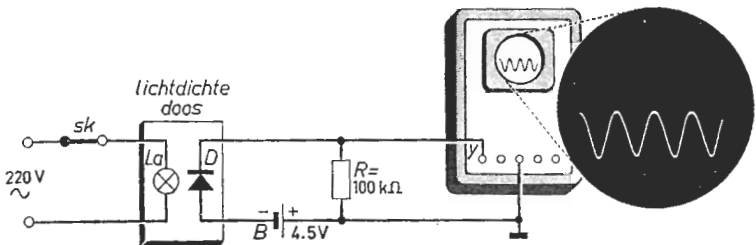


Fig. 58a

Fig. 58b

#### Beschrijving

- Zet de schakelaar  $Sk$  open. Plaats de te onderzoeken lamp  $La$  (bijv. 25 W) en de lichtgevoelige kristaldiode  $D$  in een lichtdichte doos van bijv. zwart papier.
- Zet het  $X$ -kanaal van de oscilloscoop op „intern” en het  $Y$ -kanaal op „D.C”. Plaats het beeld boven in het scherm met behulp van de  $Y$ -verschuiving.
- Maak  $Sk$  dicht. Regel de  $Y$ -versterking en de  $X$ -snelheid tot een afbeelding volgens fig. 58b ontstaat. „Trigger” de tijdbasis met de netspanning.
- Meet de top-tot-topwaarde van het oscillogram en de afstand tussen het onder punt b ingestelde niveau en de bovenkant van de afbeelding.
- Meet de periodetijd van het verschijnsel aan de hand van fig. 11c.
- Herhaal c en d nadat  $La$  is vervangen door een lamp van groter vermogen.

#### Toelichting

De combinatie: weerstand, batterij en lichtgevoelige diode vormen een snel reagerende „lichtomzetter”. De spanning over de weerstand verandert praktisch evenredig met de verlichtingssterkte ter plaatse van de diode. De  $Y$ -afbuiging is dus een maat voor de lichtsterkte van de lamp, die tot gloeien wordt gebracht door een wisselstroom van 50 hertz. Na onder punt b het „donker-niveau” te hebben vastgelegd, zien we onder punt c dat de door de lamp uitgezonden lichtstroom periodiek van grootte verandert. De in de gloeidraad ontwikkelde warmte die uitsluitend van de grootte en niet van de richting der wisselstroom afhangt, wordt dan ook 100 keer per seconde maximaal en 100 keer per seconde nul (punt e). De gloeidraad kan echter in een korte tijd niet geheel afkoelen. Zijn temperatuur (de uitgezonden lichtstroom) neemt dus niet af tot nul doch schommelt in het ritme van de ontwikkelde warmte (punt d) tussen een zekere maximale- en minimale waarde. De grootte van deze temperatuurschommeling hangt af van de warmtecapaciteit der gloeidraad. Bij een lamp van groter vermogen (deze heeft een dikkere gloeidraad) zijn daarom de temperatuurschommelingen kleiner dan bij een lamp van geringer vermogen (punt f).



# Proef 59

## DE HELDERHEID VAN EEN „TL”-LAMP

### Schakeling

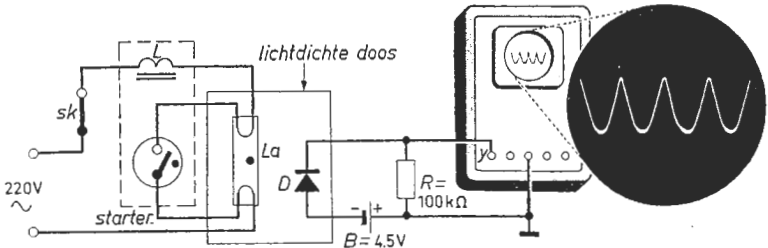


Fig. 59a

Fig. 59b

### Beschrijving

- Zet de schakelaar  $Sk$  open. Plaats de te onderzoeken lamp  $La$  en de lichtgevoelige kristaldiode  $D$  in een lichtdichte doos van bijvoorbeeld zwart papier.
- Zet het  $X$ -kanaal van de oscilloscoop op „intern” en het  $Y$ -kanaal op „D.C.” Plaats het beeld boven in het scherm met behulp van de  $Y$ -verschuiving.
- Maak  $Sk$  dicht. Regel de  $Y$ -versterking en de  $X$ -snelheid tot een afbeelding volgens fig. 59b zichtbaar wordt. „Trigger” de tijdbasis met de netspanning.
- Meet de top-tot-topwaarde van het oscillogram en bepaal de afstand tussen het onder punt b ingestelde niveau en de bovenkant van de afbeelding.
- Meet de periodetijd van het verschijnsel aan de hand van fig. 11c.
- Vergelijk de onder de punten d en e gemeten resultaten met die van proef 58.

### Toelichting

Het bi-metaal in de starter maakt in koude toestand geen contact; over de starter staat dus na het inschakelen van  $Sk$  bijna de netspanning. In de gasgevulde starter ontstaat dan een gasontlading die het bi-metaal verwarmt. Het buigt en maakt contact. Er is nu een gesloten circuit; de gloeidraden der „TL”-lamp worden warm. Inmiddels koelt het bi-metaal af en onderbreekt het circuit. Over de smoorspoel  $L$  ontstaat dan een hoge zelfinductiespanning die de „TL”-lamp ontsteekt. De spanning over de lamp daalt dan tot de brandspanning waarop de starter niet meer werkt. De gloeidraden der lamp worden op temperatuur gehouden door het elektronen- en ionenbombardement der gasontlading. Deze gasontlading brengt tevens het poeder op de binnenkant der ballon tot fluoresceren; hierdoor ontstaat de grote lichtstroom die de „TL”-lamp eigen is. De lamp wordt bedreven door de netspanning, een wisselspanning van 50 Hz. De spanning wordt dus 100 keer per seconde nul (punt e). De lamp dooft dan praktisch geheel zodat men onder punt c grote lichtstroomschommelingen waarneemt. Het licht (dus het oscillogram) bestaat als het ware uit impulsen. Hierdoor kan ons oog van „TL-licht” een min of meer „flikkerende” indruk krijgen (stroboscopisch effect).

Proef 60 **HET BEPALEN VAN DE ONTSTEEK- EN DE  
BRANDSPANNING VAN EEN GASGEVULDE DIODE**

**Schakeling**

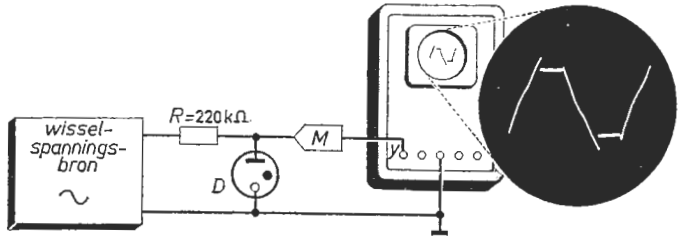


Fig. 60a

Fig. 60b

**Beschrijving**

- De gasgevulde diode  $D$  is een type dat als netspanningsindicator wordt toegepast. De bron is een variabele nettransformator ingesteld op 100 volt.
- Zet het  $X$ -kanaal van de oscilloscoop op „intern”. Regel de  $Y$ -versterking en de  $X$ -snelheid tot een afbeelding volgens fig. 60b zichtbaar wordt. In de meeste gevallen zal men een verzwakkermeetkop ( $M$ ) moeten gebruiken.
- Meet de verticale afstand tussen de twee toppen en tussen de twee vlakke gedeelten in het oscillogram; zet deze resultaten om in spanning.
- Verhoog de spanning van de bron en bestudeer het resulterende oscillogram.
- Maak de spanning van de bron zoveel lager dat de diode dooft (de diode licht niet meer op); vergelijk de resulterende afbeelding met die van punt b.

**Toelichting**

Is de gasbuis in gedoofde toestand dan vloeit er door  $R$  bijna geen stroom, er valt dus geen spanning over. De diodespanning „volgt” dan de aangelegde wisselspanning tot op het moment van ontsteken (eerste deel van het oscillogram). Er gaat dan een stroom vloeien. De diodespanning daalt tot de brandspanning (door de spanningsval over  $R$ ). De brandspanning hangt niet noemenswaardig af van de stroom en blijft gehandhaafd zolang de diode is ontstoken (vlakke deel in het oscillogram). Daalt de wisselspanning tot beneden de brandspanning (doofspanning) dan dooft de buis. De diodespanning „volgt” weer de wisselspanning. Gedurende de tweede halve periode herhaalt zich het verschijnsel met tegengestelde diodespanning. De ontsteekspanning (punt c) is dus de halve top-tot-topwaarde van de diodespanning. De brandspanning komt overeen met de halve verticale afstand van de vlakke delen in het oscillogram. Onder punt d worden de vlakke gedeelten langer; de hogere wisselspanning blijft immers langer boven de brandspanning. Onder punt e maakt men de amplitude der wisselspanning lager dan de ontsteekspanning. De buis kan dan niet ontsteken. De diodespanning volgt dan steeds de wisselspanning. Het oscillogram is dus sinusvormig.

# Proef 61

## EEN THYRATRON IN EEN WISSELSpanningsCIRCUIT

### Schakeling

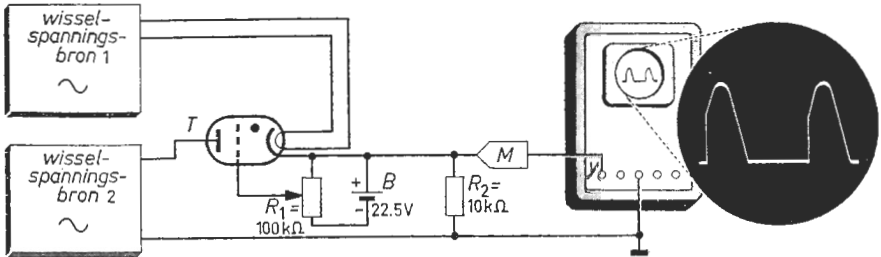


Fig. 61a

Fig. 61b

### Beschrijving

- De thyatron  $T$  is van een klein type (in deze proef is de maximale  $I_a \approx 15$  mA). Wisselspanningsbron 1 is ingesteld op de nominale gloeispanning van de thyatron; spanningsbron 2 geeft 150 volt. Beide bronnen zijn netspanningstransformatoren. Plaats de looper van  $R_1$  in de bovenste stand.
- Zet het  $X$ -kanaal op „intern”. Regel de  $Y$ -versterking en de  $X$ -snelheid tot een afbeelding volgens fig. 61b ontstaat. De te meten spanning is zo hoog, dat meestal een verzwakker  $M$  moet worden voorgeschakeld (fig. 61a).
- Bestudeer het oscillogram; wanneer ontsteekt en dooft de thyatron?
- Regel de looper van  $R_1$  naar onder en vergelijk de afbeeldingen met die van punt c. Waarom verdwijnt het oscillogram op een gegeven moment?

### Toelichting

De thyatron wordt stroomgeleidend als zijn gasmoleculen ioniseren. Dit komt tot stand indien elektronen met voldoende snelheid de gasmoleculen treffen. De door verwarming tot emitteren gebrachte katode is de „elektronen-leverancier” zodat er slechts ionisatie kan optreden indien de anode positief is ten opzichte van de katode. Bij welke anodespanning het ioniseren begint (de buis ontsteekt) hangt af van de spanning op de „stuurelektrode” (de roosterspanning). Is de roosterspanning nul (loopcontact van  $R_1$  boven) dan ontsteekt de buis bij een lage anodespanning. Zij blijft ontstoken tot op het moment dat de spanning van bron 2 bijna nul is. In ontstoken toestand is de anodespanning (brandspanning) laag zodat dan praktisch de toegevoerde spanning geheel over  $R_2$  valt. Het oscillogram (punt c) bestaat dus uit een positieve halve sinusoïde waaraan een klein gedeelte (voorste) ontbreekt. Een negatieve roosterspanning „remt” de elektronen; de buis ontsteekt dan bij een hogere anodespanning als men het loopcontact van  $R_1$  naar beneden beweegt (punt d). Een groter deel van het oscillogram „valt weg”. Het verdwijnt helemaal als (bij een „hoge” negatieve roosterspanning) de thyatron in het geheel niet ontsteekt.

DE PRIMAIRE STROOM VAN EEN NETTRANSFORMATOR

Schakeling

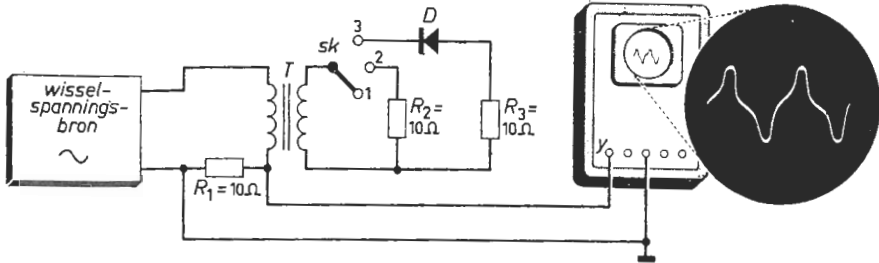


Fig. 62a

Fig. 62b

Beschrijving

- Regel de spanning van de bron (dit is een variabele nettransformator met gescheiden wikkelingen) tot de transformator  $T$  op zijn bedrijfsspanning staat. Neem voor  $T$  bijv. een scheltransformator. Plaats  $Sk$  in stand 1.
- Zet het  $X$ -kanaal op „intern”. Regel de  $Y$ -versterking en de  $X$ -snelheid tot de afbeelding van fig. 62b ontstaat. „Trigger” met de netspanning.
- Bestudeer het oscillogram. Op welke tijdstippen raakt het ijzer verzadigd?
- Zet  $Sk$  in stand 2. Vergelijk het nieuwe oscillogram met dat van punt c.
- Schakel  $Sk$  in stand 3 en vergelijk het beeld met de vorige oscillogrammen. Wat verwacht  $U$  te zien indien de diode  $D$  andersom wordt aangesloten? Draai  $D$  om en controleer of het beeld overeenkomt met hetgeen  $U$  dacht.

Toelichting

Overschrijdt de bekrachtigingsstroom van een elektromagneet (transformator-kern) een zekere waarde dan heeft verhoging nog slechts weinig magnetisme-toename tot gevolg; het ijzer is dan „verzadigd”. Voor een krachtig sinus-vormig-veranderend magneetveld moet dus de stroom telkens na het bereiken van die zekere waarde extra groot worden. Op de momenten dat de bekrachtiging het sterkste is, is dan de stroom aanmerkelijk groter dan overeenkomt met met de sinusvorm. Omdat  $R_1$  klein is, is de sinusvormige voedingsspanning gelijk aan de primaire inductiespanning. De inductiespanning in beide wikkelingen is dus door een sinusvormig-veranderend veld veroorzaakt. Staat  $Sk$  in stand 1 dan zal daarom de bekrachtigingsstroom (spanning over  $R_1$ ) de bovengenoemde vervorming vertonen. Door  $R_2$  (secundaire wikkeling) vloeit een wisselstroom (punt d). Toch moet het veld hetzelfde blijven; de inductiespanning (voedingsspanning) blijft dit immers ook. Door  $R_1$  vloeit dan behalve de vervormde, een extra onvervormde wisselstroom. Het oscillogram is dus hoger en minder „piekvormig”. Onder punt e vloeit vanwege de diode deze extra onvervormde wisselstroom slechts gedurende óf de positieve óf de negatieve periode-helften.

## Schakeling

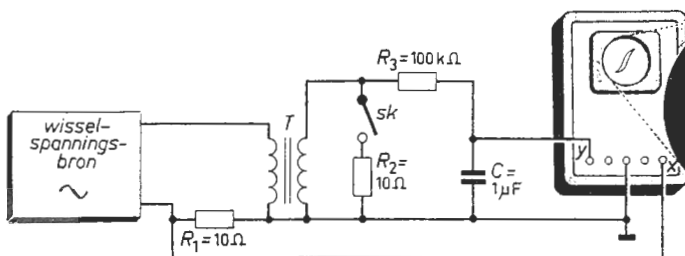


Fig. 63a

Fig. 63b

## Beschrijving

- Regel de spanning van de bron (dit is een variabele nettransformator met gescheiden wikkelingen) tot de transformator  $T$  op zijn bedrijfsspanning staat. Voor  $T$  kan men bijv. een scheltransformator nemen. Zet  $Sk$  open.
- Zet het  $X$ -kanaal van de oscilloscoop op „extern”. Regel de  $X$ - en  $Y$ -versterking tot een „lusvormige” afbeelding volgens fig. 63b zichtbaar wordt.
- Bestudeer het oscillogram; wijs het gedeelte aan dat overeenkomt met het „remanente magnetisme” van het ijzer; waar raakt het ijzer verzadigd?
- Maak de spanning van de bron lager; bekijk het resultaat.
- Regel de spanning van de bron weer op zijn oorspronkelijke waarde. Zet  $Sk$  dicht; vergelijk het resulterende oscillogram met dat van de punten c en d.

## Toelichting

De zelfinductiespanning is gelijk aan de spanning der bron ( $R_1$  is klein); de veldverandering-per-tijdsfractie is dus sinusvormig. Tussen inductiespanning en magneetsterkte bestaat dan een „fazeverschil” van  $\frac{1}{4}$  periode. De magneetsterkte is dan evenredig met de spanning over de condensator ( $Y$ -spanning), deze is namelijk ten opzichte van de inductiespanning eveneens  $\frac{1}{4}$  periode uit fase (door grote  $R_3$ ). Daar de  $X$ -spanning (over  $R_1$ ) bij geopende  $Sk$  evenredig is met de bekrachtigingsstroom, toont het oscillogram het verband tussen magneetsterkte en bekrachtiging. De boven- en onderbochten wijzen op de verzadiging van het ijzer (proef 62). De momenten van maximale stroom en maximale magneetsterkte vallen samen (rechts-boven en links-beneden). Het moment van minimale stroom valt echter niet samen met dat van minimale magneetsterkte. De  $X$ - en  $Y$ -afbuiging zijn dus niet gelijktijdig nul. De magneetsterkte die overblijft als de stroom nul is, heet remanent magnetisme (punt c). Een lagere wisselspanning (punt d) behoort bij een minder sterk variërend veld. De maximale bekrachtigingsstroom is dus lager als aanvankelijk; het stroomverloop minder vervormd; dus het oscillogram minder gekromd. Na sluiting van  $Sk$  is de stroom door  $R_1$  nagenoeg onvervormd (proef 62).

## ZICHTBAAR MAKEN VAN DE HYSTERESISLUS VAN DIËLEKTRISCH MATERIAAL

### Schakeling

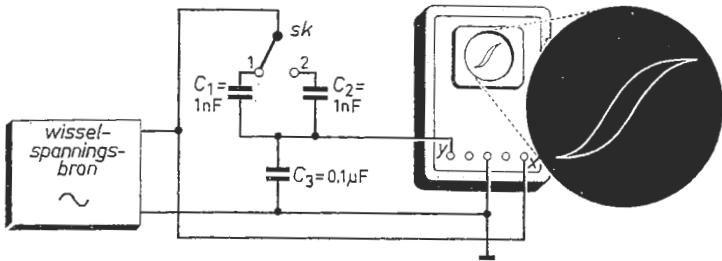


Fig. 64a

Fig. 64b

### Beschrijving

- Maak de spanning van de bron (dit is een variabele nettransformator met gescheiden wikkelingen) gelijk aan de werkspanning van de condensatoren  $C_1$  en  $C_2$ .  $C_1$  is een spanningsafhankelijke keramische condensator (een zogenaamde ceracap);  $C_2$  is een polyester-type. Plaats  $Sk$  in stand 1.
- Zet het  $X$ -kanaal van de oscilloscoop op „extern”. Regel de  $X$ - en  $Y$ -versterking tot een oscillogram volgens fig. 64b op het scherm zichtbaar is.
- Bestudeer de afbeelding; wijs hierin aan waar het diëlektricum verzadigd is.
- Maak de spanning van de bron lager en bekijk de resultaten.
- Regel de spanning van de bron weer op zijn oorspronkelijke waarde. Schakel  $Sk$  in stand 2 en vergelijk dit beeld met die van de punten c en d.

### Toelichting

De capaciteit van  $C_3$  is véél groter dan die van  $C_1$  of  $C_2$ ; de spanning over  $C_1$  (resp.  $C_2$ ) is dus praktisch de door de bron geleverde  $X$ -spanning. De lading (het product van stroom en tijd) op  $C_1$  is gelijk aan die op  $C_3$  ( $Sk$  in stand 1). Daar voor  $C_3$  (een „normale” condensator) lading en spanning evenredig zijn, wordt aan het  $Y$ -kanaal een spanning gelegd die evenredig is met de lading van  $C_1$ . Het oscillogram toont dus het verband tussen de spanning (horizontaal) en de lading (verticaal) van de „ceracap”. Het vertoont grote overeenkomst met dat van proef 63. Evenals het ijzer van een elektromagneet bij een toenemende bekrachtiging op den duur „verzadigd” raakt, raakt het isolerende medium tussen de condensator-„platen” verzadigd bij een toenemende spanning (veldsterkte). Het diëlektricum wordt kennelijk bij een relatief lage spanning reeds maximaal gepolariseerd. Spanningsverhoging kan dan geen ladingstoename meer ten gevolge hebben. We treffen dit effect vooral aan bij condensatoren met een keramisch diëlektricum (zoals bij de ceracap). Bij een polyester-type is de spanning praktisch evenredig met de lading. Het oscillogram onder punt e is dus bijna een rechte lijn.

DIODESTROOM BIJ ENKELFAZIGE GELIJKRICHTING

Schakeling

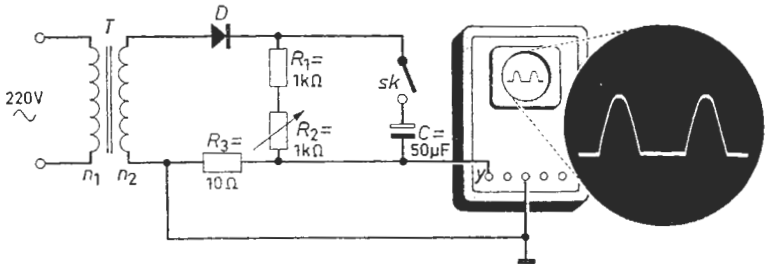


Fig. 65a

Fig. 65b

Beschrijving

- Zet *Sk* open en *R<sub>2</sub>* op maximum. Neem een transformator *T* met een wikkilverhouding  $n_1 : n_2 \approx 2 : 1$ . De diode *D* moet bestand zijn tegen een topstroom van ongeveer 1 A en een topspanning van ca. 300 V.
- Zet het X-kanaal op „intern”. Regel de Y-versterking en de X-snelheid tot de afbeelding van fig. 65b ontstaat. Trigger met de netspanning.
- Bestudeer het beeld; wanneer is de diode wél en wanneer niet geleidend?
- Variëer *R<sub>2</sub>* naar de minimale waarde en bekijk de resultaten.
- Sluit *Sk*; vergelijk de afbeelding met die van de punten c en d (indien gewenst de Y-versterking vergroten). Bekijk wat er aan het oscillogram verandert indien *R<sub>2</sub>* van de minimale naar de maximale waarde wordt geregeld.

Toelichting

Gedurende de „negatieve” halve-perioden staat de diode gesperd; de positieve helften is zij geleidend. In gesperde toestand vloeit er geen diodestroom; in „geopende” toestand is de stroom nagenoeg gelijk aan het quotiënt van de transformatorspanning en de weerstand  $R_1 + R_2$ . De diodestroom (het oscillogram) bestaat dus uit het positieve deel van een sinus (punt c). De hoogte kan door middel van *R<sub>2</sub>* ongeveer een factor twee worden geregeld (punt d). Onder punt e blijkt de diode slechts gedurende ongeveer een achtste deel van een periode te geleiden. Spoedig na het inschakelen van *Sk* is de condensator geladen. Hij kan zich in een tijdsbestek vallende tussen twee stroompulsen slechts gedeeltelijk ontladen. De wisselspanning moet dus alvorens de diode telkens geleidend wordt een positieve waarde bereiken die even groot is als de spanning van de nog grotendeels (voor ca. 70%) geladen condensator. De anode is dus slechts een korte tijd positief ten opzichte van de katode; vandaar de korte stroomimpulsen. Maakt men de variabele weerstand *R<sub>2</sub>* groter, dan daalt de condensatorspanning minder ver. De diode wordt op een later tijdstip geleidend zodat de stroomimpuls korter duurt.

DE UITGANGSSPANNING  
VAN EEN DUBBELFAZIGE GELIJKRICHTER

Schakeling

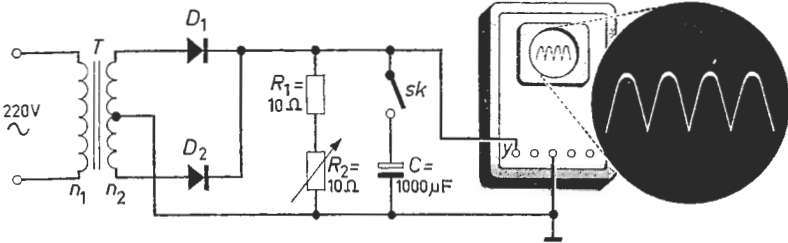


Fig. 66a

Fig. 66b

Beschrijving

- Zet  $Sk$  open en geef  $R_2$  zijn maximale waarde. De transformator  $T$  heeft een middenaftakking (de wikkerverhouding  $n_1 : n_2$  is ca. 20 : 1). De diodes  $D_1$  en  $D_2$  moeten geschikt zijn voor topstromen van ca. 10 A.
- Zet het X-kanaal van de oscilloscoop op „intern”. Regel de Y-versterking en de X-snelheid tot fig. 66b ontstaat. Trigger met de netspanning.
- Bestudeer het oscillogram; meet de periode-tijd van de Y-spanning.
- Variëer  $R_2$  van de maximale naar de minimale waarde; bekijk de resultaten.
- Sluit  $Sk$ ; vergelijk de resulterende afbeelding met die van de punten c en d (zonedig de Y-versterking opvoeren). Wat verandert er aan het oscillogram indien  $R_2$  van de minimale naar de maximale waarde wordt geregeld?

Toelichting

Doorloopt de spanning aan de bovenste transformator-klem haar positieve halve golf dan staat  $D_1$  geopend en ligt de Y-versterker aan de transformator. Gedurende deze tijd spert  $D_2$ . Doorloopt de spanning aan de onderste transformator-klem haar positieve halve golf dan geleidt  $D_2$  en spert  $D_1$ . Om de beurt leggen dus de diodes een halve sinus aan de Y-versterker. Het oscillogram is dus een aaneenschakeling van halve golven (punt c). In het ideale geval is de hoogte onafhankelijk van de stand van  $R_2$ . Praktisch zal (vanwege de diodeweerstand en de wikkelseerstand van de transformator) de hoogte iets afnemen als  $R_2$  kleiner wordt en dus de diodestroom toeneemt (punt d). Onder punt e wordt de condensator geladen. Alvorens de diodes geleidend worden, moet de wisselspanning een positieve waarde bereiken die groter is dan de spanning van de nog grotendeels geladen condensator. Het sneloplopende deel van het oscillogram komt overeen met het laden-, het langzamer afnemende met het ontladen van de condensator. Wordt  $R_2$  groter dan ontladde de condensator zich minder snel. Het afnemende deel van het oscillogram wordt dus relatief langer, het toenemende korter; het gehele beeld minder hoog.



## Proef 67

### ENIGE METINGEN AAN EEN SPANNINGSBEGRENZER

#### Schakeling

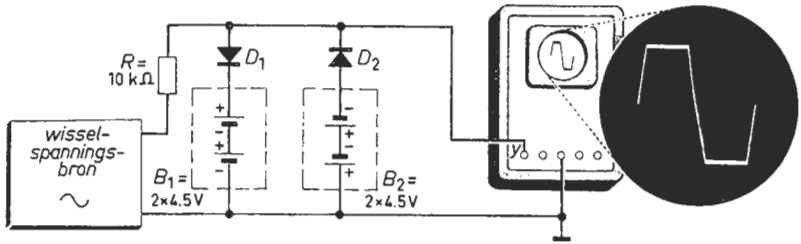


Fig. 67a

Fig. 67b

#### Beschrijving

- Regel de bronspanning op ca. 30 volt topwaarde. De bron is een variabele nettransformator met gescheiden windingen. De diodes  $D_1$  en  $D_2$  moeten een spanning van 18 volt en een stroom van ca. 2 mA kunnen verdragen.
- Zet het X-kanaal van de oscilloscoop op „intern”. Regel de Y-versterking en de X-snelheid tot fig. 67b ontstaat. Trigger met de netspanning.
- Bestudeer het oscillogram; gedurende welke tijden geleiden de diodes?
- Maak de spanning van de bron geleidelijk lager tot deze een waarde heeft bereikt waarbij  $D_1$  en  $D_2$  niet meer geleidend worden; waaraan is dit te zien?
- Maak de spanning van  $B_1$  4,5 volt door één batterij te verwijderen; bekijk de resultaten. Wat gebeurt er als de spanning van  $B_2$  wordt gehalveerd?

#### Toelichting

De wisselspanning van de bron neemt vanaf nul toe tot een positieve waarde van 30 volt. Zodra zij een waarde van 9 volt overschrijdt, geleidt de linker diode; zij verbindt het Y-kanaal met de + van  $B_1$ . De Y-spanning blijft gelijk aan de spanning van  $B_1$  zolang de linker diode geleidt. De diodestroom (die  $B_1$  laadt) veroorzaakt over  $R$  een spanningsval. Het gedeelte van de sinusvormige spanning dat boven +9 volt ligt valt over  $R$ . Zodra de afnemende wisselspanning daalt tot beneden +9 volt spert de linker diode. Het Y-kanaal „komt los” van de batterij  $B_1$ . Door  $R$  vloeit nu geen stroom zodat de Y-spanning de verder afnemende wisselspanning volgt totdat zij een waarde van -9 volt bereikt. Hierna wordt namelijk de rechter diode  $D_2$  geleidend en legt het Y-kanaal aan de - van  $B_2$ . Het komt hiervan weer los als de wisselspanning weer stijgende -9 volt passeert. Het gedeelte der wisselspanning dat beneden -9 volt ligt valt over  $R$ . Het oscillogram (punt c) is dus een sinus waarvan de toppen zijn „afgesneden”. Het hoogste niveau komt overeen met de spanning van  $B_1$ ; het laagste met die van  $B_2$  (punt e). Is de amplitude der wisselspanning lager als de batterijspanning dan vindt uiteraard geen „begrenzing” plaats (punt d); we zien dan een sinusvormig oscillogram.

Schakeling

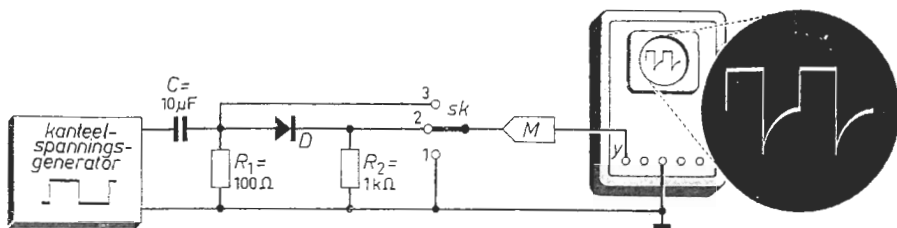


Fig. 68a

Fig. 68b

Beschrijving

- Maak de generatorspanning maximaal, de frequentie 10 kHz en de impulsverhouding 1 : 1. De diode  $D$  is een type dat in netspanningsgelijkrichters wordt toegepast. Gebruik een verzwakkermeetkop  $M$ . Zet  $Sk$  in stand 1.
- Zet het  $X$ -kanaal op „intern” en het  $Y$ -kanaal op „D.C.”. Regel de  $Y$ -verschuiving tot het beeld in het midden van het scherm ligt.
- Schakel  $Sk$  in stand 3. Regel de  $Y$ -versterking en de  $X$ -snelheid tot een kanteelvormig oscillogram ontstaat. Controleer of de gemiddelde waarde van deze spanning overeenkomt met het onder punt b ingestelde nulniveau.
- Zet  $Sk$  in stand 2. Vergelijk de resulterende afbeelding met die van fig. 68b.
- Verwissel diode  $D$  met een zogenaamde schakeldiode; herhaal punt d.

Toelichting

Omdat de weerstand van de „diode- $R_2$ -tak” in geleidende- zowel als in gesperde toestand van de diode groot is ten opzichte van  $R_1$ , komt de gemiddelde waarde van de kanteelspanning over  $R_1$  nagenoeg overeen met het nulniveau. De aan de „diode- $R_2$ -tak” toegevoerde spanning (punt c) wordt dus afwisselend positief en negatief. In het geval van een „ideale” diode staat dan de „negatieve” halve kanteelspanning over de diode; de positieve andere helft over de weerstand  $R_2$ . Het oscillogram (punt d) zou dan juist geheel boven het nulniveau liggen en half zo hoog zijn als dat van punt c. Dit blijkt echter slechts ten dele juist te zijn. Behalve in „voorwaarts” richting vloeit er kortstondig een stroom nadat de toegevoerde spanning op haar negatieve niveau springt; het „omschakelen” van de geleidende in de gesperde toestand geschiedt „vertraagd”. Tijdens het geleiden worden „stroomdragers” aan de diode toegevoegd. Tijdens het „omschakelen” bevindt een aantal van hen zich in het diodemateriaal. Deze moeten alvorens de diode spert worden afgevoerd; dit wil zeggen er vloeit een stroom in tegengestelde richting. Men brengt dit effect („hole-storage”) wel in rekening door parallel aan de diode een capaciteit te denken.

„NIVEAU“-INSTELSCHAKELINGEN

Schakeling

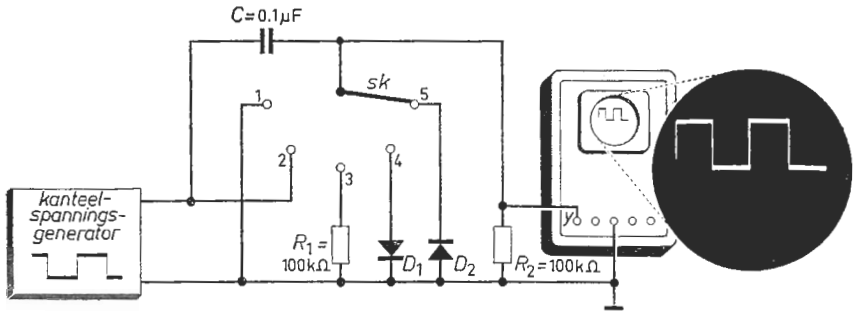


Fig. 69a

Fig. 69b

Beschrijving

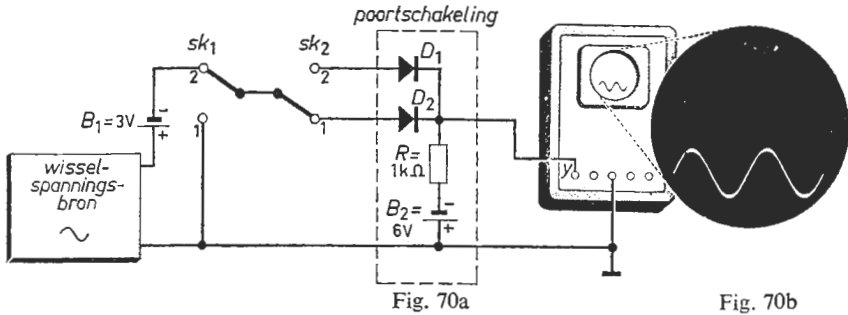
- Maak de generatorspanning 10 volt top-tot-top; stel de herhalingsfrequentie in op 1 kHz en de impulsverhouding 1 : 1. Plaats de schakelaar *Sk* in stand 1. Neem voor de diodes *D*<sub>1</sub> en *D*<sub>2</sub> zogenaamde schakeldiodes.
- Zet het *X*-kanaal van de oscilloscoop op „intern” en het *Y*-kanaal op „D.C.” Regel de *Y*-verschuiving tot het beeld in het midden van het scherm ligt.
- Schakel *Sk* in stand 2. Regel de *Y*-versterking en de *X*-snelheid tot fig. 69b ontstaat; beeldhoogte iets kleiner dan de halve schermhoogte.
- Meet de afstand tussen het gemiddelde niveau van het oscillogram en het onder punt b ingestelde niveau; zet het resultaat om in spanning (zie proef 1).
- Herhaal punt d nadat *Sk* in de standen 3, 4 en 5 is geschakeld.

Toelichting

Onder punt b wordt het nulniveau vastgelegd. Het *Y*-kanaal is dan kortgesloten. Bij *Sk* in stand 2 ligt de uitgang der generator direct aan de *Y*-versterker. Het oscillogram toont dus de volledige generatorspanning (punt c). Staat *Sk* in stand 3 dan wordt de condensator geladen tot de gemiddelde waarde der generatorspanning (*C* blokkeert de gelijkspanning). De gemiddelde spanning over de weerstand is dus nul volt. Het oscillogram bevindt zich dus even ver boven- als beneden het nulniveau. In stand 4 van *Sk* is *D*<sub>1</sub> geleidend zolang de *Y*-spanning positief is; zolang zal er dus een diodestroom vloeien die de condensator laadt. Hij moet dus worden geladen tot een spanning die juist even hoog is als het maximale niveau der generatorspanning. Over de diode staat dan een kantelspanning waarvan het maximale niveau nul volt bedraagt. De maxima van het oscillogram liggen dus op het nulniveau. In stand 5 geleidt *D*<sub>2</sub> zolang de *Y*-spanning negatief is; zolang wordt dan de condensator door de diodestroom geladen. De condensatorspanning moet dus juist gelijk worden aan het minimale niveau der generatorspanning. Het oscillogram ligt dus juist geheel boven het nulniveau.

POORTSCHAKELINGEN

Schakeling



Beschrijving

- Plaats  $Sk_1$  en  $Sk_2$  in stand 1. Maak de amplitude van de bronspanning ca. 1,5 volt; frequentie 50 Hz. De bron is een nettransformator of een toon-generator met een uitgangstransformator.  $D_1$  en  $D_2$  zijn schakeldiodes.
- Zet het X-kanaal van de oscilloscoop op „intern” en het Y-kanaal op „D.C.” Regel de Y-verschuiving tot het beeld in het midden van het scherm ligt.
- Schakel  $Sk_1$  in stand 2. Regel de Y-versterking en de X-snelheid tot de afbeelding van fig. 70b ontstaat. Trigger met de netspanning.
- Leg punt 2 van  $Sk_2$  aan de aardklem. Het signaal is nu geblokkeerd.
- Draai  $D_1$ ,  $D_2$  en  $B_2$  om. Zet  $Sk_1$  en  $Sk_2$  in stand 1 en herhaal de punten b, c en d. Vergelijk de resultaten met die van de schakeling volgens fig. 70a.

Toelichting

Staan beide schakelaars in stand 1 dan is het Y-kanaal via de geleidende diode  $D_2$  kortgesloten; de spanning van  $B_2$  valt geheel over  $R$ . Het oscillogram onder punt b (streep of punt) stelt dus het nulniveau voor. Onder punt c blijft  $D_2$  steeds geopend; de spanning van de loopcontacten van de schakelaars ten opzichte van de aardklem varieert namelijk tussen  $-4,5$  en  $-1,5$  volt. Het oscillogram (de somspanning van  $B_1$  en de wisselspanningsbron) is dan een sinusvorm waarvan de gemiddelde waarde 3 volt beneden het nulniveau ligt. Onder punt d verdwijnt dit beeld. Door het „aarden” van punt 2 van  $Sk_2$  wordt het Y-kanaal kortgesloten;  $D_1$  is namelijk geleidend. Tevens spert dan  $D_2$ ; haar anodespanning is negatief. Door het al of niet „aarden” van één punt (punt 1 of 2 van  $Sk_2$ ) terwijl het „signaal” wordt toegevoerd aan het andere punt, verdwijnt of verschijnt het signaal aan de Y-versterker. Onder punt e staat de door  $Sk_2$  ingeschakelde diode steeds geleidend. We nemen dan het nulniveau waar als  $Sk_1$  in stand 1 staat, en de totaalspanning (het signaal) als  $Sk_1$  in stand 2 is geschakeld. „Aardt” men de katode van de niet ingeschakelde diode, dan blijft het signaal aan de Y-versterker omdat de „geaarde” diode steeds spert.

HET AFREGELLEN VAN DE  
VERZWAKKERMEETKOP VAN EEN OSCILLOSCOOP

Schakeling

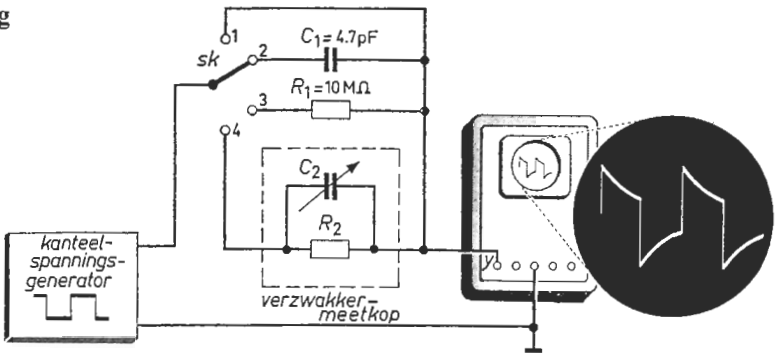


Fig. 71a

Fig. 71b

Beschrijving

- Maak de spanning van de generator maximaal, de herhalingsfrequentie 10 kHz en de impulsverhouding 1 : 1. Als meetobject neemt men bij voorkeur de verzwakkermeetkop van de oscilloscoop. Plaats *Sk* in stand 2.
- Zet het X-kanaal van de oscilloscoop op „intern”. Regel de X-snelheid en de Y-versterking tot de afbeelding volgens fig. 71b zichtbaar wordt.
- Bestudeer het beeld. Tracht een verklaring te vinden voor hetgeen U ziet.
- Schakel *Sk* in stand 3. Vergelijk het nieuwe oscillogram met dat van c.
- Zet *Sk* in stand 4. Regel aan de variabele condensator  $C_2$  tot het beeld kanteelvormig is. Bepaal de verzwakking van de meetkop (meet hiertoe achtereenvolgens de hoogte van het oscillogram bij *Sk* in stand 1 resp. stand 4).

Toelichting

Onder punt c zien we een oscillogram dat qua vorm overeenkomt met dat van proef 34. De ingangsweerstand van het Y-kanaal vervult blijkbaar de rol van  $R$  uit proef 34. Het oscillogram van punt d vertoont overeenkomst met dat van proef 35; de ingangscapaciteit van het Y-kanaal vervult kennelijk de rol van  $C$  uit proef 35. Terwijl onder punt c hoofdzakelijk de steile flanken der kanteelspanning in het oscillogram zijn terug te vinden, zien we deze onder punt d juist ontbreken. Men kan het oscillogram dan ook kanteelvormig maken door de kanteelspanning via een geschikte combinatie van weerstand en capaciteit aan het Y-kanaal toe te voeren. Men heeft dan te maken én met de schakeling volgens punt c én met de hem aanvullende schakeling volgens punt d. In de verzwakkermeetkop van een oscilloscoop bevindt zich zo'n RC-combinatie. Door  $C_2$  op de juiste waarde af te regelen, kan men dus het oscillogram de vorm der toegevoerde spanning geven (punt e). Er ontstaat dan een spanningsdeling in dezelfde proporties alsof uitsluitend de ingangsweerstand van het Y-kanaal en  $R_2$  werkzaam zijn. Is  $C_2$  te klein dan heeft men te maken met de schakeling van punt d; is  $C_2$  te groot dan overheerst de invloed gemeten onder punt c.

METINGEN AAN EEN COAXIAAL-TRANSMISSIEKABEL

Schakeling

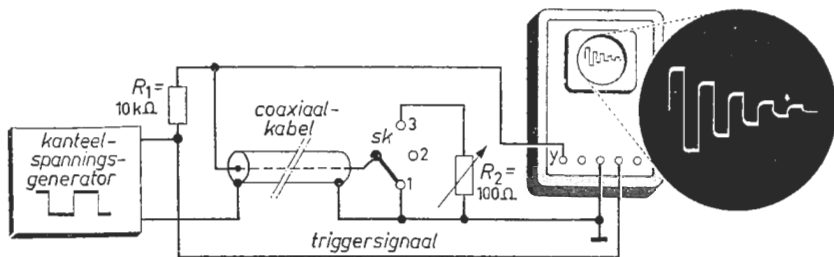


Fig. 72a

Fig. 72b

Beschrijving

- Maak de spanning van de generator 10 volt; stel de frequentie in op 100 kHz en de impulsverhouding op 1 : 1. Plaats  $Sk$  in stand 1. De lengte van de coaxiaalkabel is 100 meter; de golfweerstand 50, 60 of 75 Ohm.
- Zet het  $X$ -kanaal op „intern” en trigger de tijdbasis „extern” met de generatorspanning. Regel de  $Y$ -versterking en de  $X$ -snelheid tot een afnemende pulsvormige figuur op de beeldbuis zichtbaar wordt (zie fig. 72b).
- Meet de afstand tussen de nuldoorgangen en zet dit resultaat om in tijd. Bereken hieruit de voortplantingssnelheid in de kabel.
- Schakel  $Sk$  in stand 2 en bestudeer het resulterende oscillogram.
- Zet  $Sk$  in 3 en regel  $R_2$  tot het beeld kanteelvormig is. Meet de waarde van  $R_2$ .

Toelichting

Voedt men de kabelingang, dan dringt de stroom steeds dieper de kabel in en brengt hem steeds verder onder spanning; er plant zich een „energiefront” voort. Daar de stroom in een kortsluiting geen belemmering ziet doch de spanning daarover nul is, wordt de stroom in „positieve” zin en de spanning in „negatieve” zin gereflecteerd als het front het kortgesloten einde bereikt ( $Sk$  in stand 1). Een tweede reflectie treedt daarna op aan de ingang; daar deze nagenoeg „open” is vindt positieve spannings- en negatieve stroomreflectie plaats. Het front blijft heen en weer lopen. Het oscillogram (punt b) is dus de som van beurtelings positieve en negatieve kanteelspanningen die ten opzichte van elkaar iets zijn vertraagd. Onder punt d zijn deze kanteelspanningen steeds positief vanwege de uitsluitend positieve spanningsreflectie; er ontstaat dan een „trap”-figuur. Het heen en weer lopende front sterft langzaam uit vanwege verliezen; de spanningssprongen in het oscillogram worden dus regelmatig kleiner. De voortplantingssnelheid is het quotiënt van de dubbele kabellengte en de onder punt c gemeten vertragingstijd. Heeft  $R_2$  een zekere waarde (de zogenaamde golfweerstand) dan neemt hij (punt e) de energie geheel op; er treedt dan géén reflectie op.

METINGEN AAN EEN PARALLEL-TRANSMISSIEKABEL

Schakeling

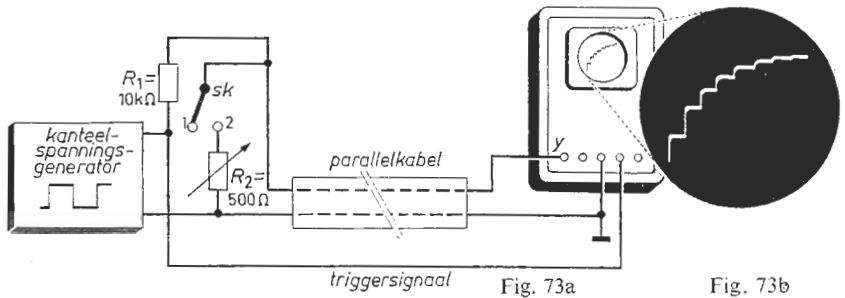


Fig. 73a

Fig. 73b

Beschrijving

- Maak de spanning van de generator 10 volt; de frequentie 100 kHz en de impulsverhouding 1 : 1. Plaats *Sk* in stand 1. De lengte van de parallelkabel is 100 meter; de golfweerstand 150 of 300 Ohm (bijv. televisie-lintkabel).
- Zet het *X*-kanaal van de oscilloscoop op „intern” en trigger de tijdbasis „extern” met de generatorspanning. Regel de *Y*-versterking en de *X*-snelheid tot een „trap”-figuur op de beeldbuis zichtbaar wordt (zie fig. 73b).
- Bestudeer het oscillogram. Meet de hoogte van twee opeenvolgende „treden”. Tracht de verliezen in de kabel tot uitdrukking te brengen.
- Schakel *Sk* in stand 2. Regel *R<sub>2</sub>* tot een kanteelspanning zichtbaar wordt. Vergelijk de ingestelde waarde van *R<sub>2</sub>* met de golfweerstand van de kabel.

Toelichting

Het opbouwen van een magnetisch veld (elektrische stroom) zowel als van een elektrisch veld (spanning) vergt enige tijd. Dit komt tot uiting in een eindige voortplantingssnelheid van het te vervoeren signaal (proef 72). De aders der kabel bieden de stroom een zekere weerstand terwijl de isolatie niet geheel volkomen is. De aan het kabelbegin toegevoerde energie komt dus slechts gedeeltelijk aan het kabeleinde; er is sprake van een zekere „demping”. Daar zowel de ingang als de uitgang der kabel „open” zijn vindt steeds „positieve” spanningsreflectie plaats (punt b). Het oscillogram is dus de som van een aantal positieve kanteelspanningen die ten opzichte van elkaar enigszins zijn verschoven; dit is een „trap”-figuur. Het hoogteverschil van twee opeenvolgende „treden” neemt af naarmate men verder de „trap” bestijgt; dit is een gevolg van de demping. Een maat hiervoor is het quotiënt van een zekere spanningsprong en de aan hem voorafgaande. Regelt men *R<sub>2</sub>* (punt d) op de juiste waarde (de golfweerstand) dan komt slechts de toegevoerde kanteelspanning aan het einde; aan het kabelbegin wordt dan namelijk het éénmaal gereflecteerde signaal geheel door *R<sub>2</sub>* „geabsorbeerd”.

EEN IN AMPLITUDE-GEMODULEERD SIGNAAL

Schakeling

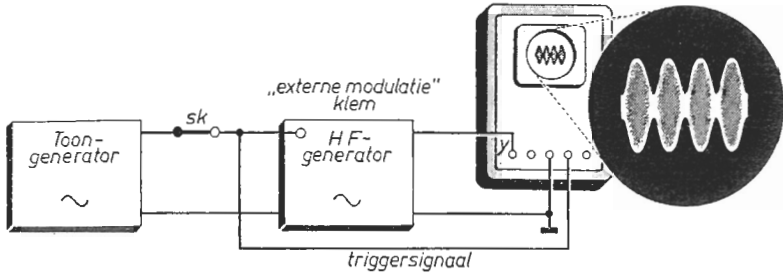


Fig. 74a

Fig. 74b

Beschrijving

- Zet de HF-generator op 500 kHz, maximale uitgangsspanning, stand „A.M.". Maak de LF-spanning 1 kHz. Zet de schakelaar *Sk* open.
- Zet het *X*-kanaal op „intern". Regel de *Y*-versterking tot de gewenste beeldhoogte is bereikt. Regel de *X*-snelheid tot achtereenvolgens 1, 2, 3, ... enz. sinusperiodes ontstaan en tenslotte een oplichtend vlak is te zien.
- Sluit *Sk*. Regel de LF-spanning en de *X*-snelheid tot een afbeelding volgens fig. 74b zichtbaar is. Trigger de tijdbasis „extern" met de LF-spanning.
- Bestudeer het oscillogram. Meet de maximale en de minimale hoogte van het beeld. Bereken hieruit de modulatie diepte van het gemoduleerde signaal.
- Variëer frequentie en amplitude van het LF-signaal; bekijk de resultaten.

Toelichting

De door de HF-generator afgegeven wisselspanning is sinusvormig (punt b). Verlaagt men de schrijfsnelheid van de tijdbasis, dan verschijnen er in het beeld steeds meer sinusgolven; tenslotte kunnen we geen golven meer onderscheiden en zien dan een oplichtend vlak. De hoogte daarvan komt overeen met de dubbele amplitude van het HF-signaal. Voeren we nu het uitgangssignaal van de LF-generator toe aan de „externe-modulatie"-klem van de HF-generator (punt c), dan levert de HF-generator een wisselspanning waarvan de amplitude varieert in een ritme dat overeenkomt met de frequentie van het LF-signaal. Het HF-signaal (de zogenaamde draaggolf) wordt door het LF-signaal „in amplitude gemoduleerd". Een dergelijk in amplitude gemoduleerd signaal wordt door een AM-omroepzender uitgezonden als we een enkelvoudige toon horen uit een op die zender afgestemde radio. De toonhoogte komt overeen met het ritme waarin de HF-amplitude varieert. De toonsterkte is evenredig met de procentuele variatie van de amplitude van het HF-signaal; dit is met de zogenaamde „modulatie diepte". Deze wordt gemeten onder punt d. Zij is het verschil van de minimale en de maximale amplitude gedeeld door hun som.



DEMODULEREN VAN EEN AM-SIGNAAL

Schakeling

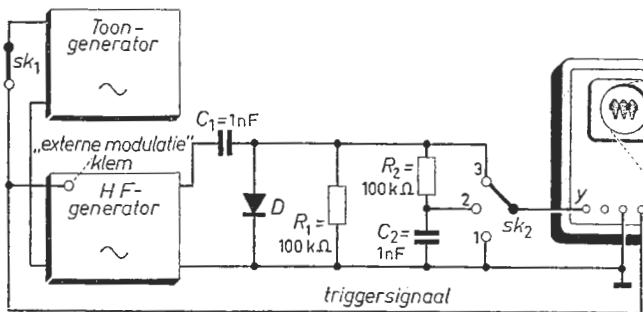


Fig. 75a

Fig. 75b

Beschrijving

- Zet de HF-generator op 500 kHz, maximale uitgangsspanning, stand „A.M.". Maak de LF-spanning 1 kHz. Zet  $Sk_1$  open en  $Sk_2$  in stand 1.
- Zet het X-kanaal op „intern" en het Y-kanaal op „D.C.". Regel de Y-verschuiving tot het oscillogram ongeveer 2 cm boven het midden ligt.
- Plaats  $Sk_2$  in stand 3. Regel de Y-versterking en de X-snelheid tot een aantal stilstaande sinusgolven zichtbaar worden.
- Schakel  $Sk_2$  in stand 2 en tracht een verklaring te vinden van hetgeen U ziet.
- Zet  $Sk_1$  dicht en  $Sk_2$  in stand 3. Regel de LF-spanning en de X-snelheid tot het beeld volgens fig. 75b ontstaat. Trigger „extern" met de LF-spanning.
- Zet  $Sk_2$  in stand 2. Hoe groot is de frequentie van de Y-spanning?

Toelichting

De HF-generator levert een ongemoduleerde wisselspanning (punt c). De diode geleidt bij positieve anodespanning aanmerkelijk beter als bij negatieve. De diodestroom laadt daarom  $C_1$  tot een spanning die bijna gelijk is aan de amplitude van de HF-spanning. Over de diode staat dan een spanning die sinusvormig verandert en waarvan de maxima iets boven het nulniveau (punt b) liggen.  $C_2$  wordt dan geladen tot de gemiddelde waarde van de diodespanning; de Y-spanning (punt d) is daarom een negatieve gelijkspanning.  $C_1$  zowel als  $C_2$  behoeven het merendeel van hun lading slechts te behouden gedurende de tijd overeenkomende met de periodetijd van het HF-signaal (2  $\mu$ s). Over een veel langere tijd gezien (1 ms) ontlad  $C_1$  zich over  $R_1$  en  $C_2$  over  $R_2$ . Verandert de amplitude van het HF-signaal (door het moduleren onder punt e), dan verandert zowel de gelijkspanning over  $C_1$  als die over  $C_2$ . De maxima der diodespanning blijven ongeveer op het nulniveau liggen; het oscillogram is dus een „verwongen" gemoduleerde HF-spanning. De diode legt de toppen van de HF-spanning ongeveer op nul volt (zie proef 69). De spanning over  $C_2$  is dan een in het LF-ritme variërende gelijkspanning (punt f).

## FREQUENTIE-VERGELIJKING VAN TWEE HOOGFREQUENT-SIGNALLEN

### Schakeling

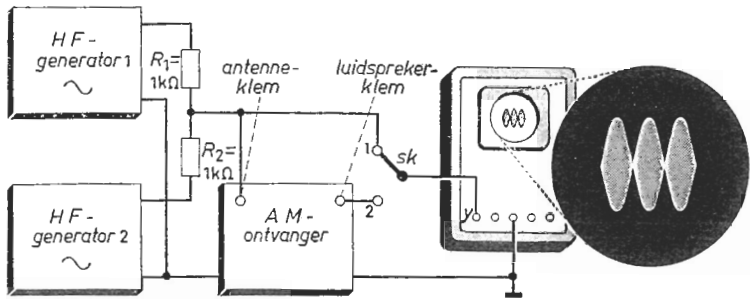


Fig. 76a

Fig. 76b

### Beschrijving

- Regel de frequentie van beide HF-spanningen op 200 kHz en maak hun amplituden ongeveer gelijk aan elkaar. Plaats de schakelaar *Sk* in stand 1.
- Zet het *X*-kanaal van de oscilloscoop op „intern”. Regel de *X*-snelheid en de *Y*-versterking tot een afbeelding volgens fig. 76b zichtbaar wordt.
- Maak de amplitude van een der spanningen zoveel lager dat het omhullende van het oscillogram ongeveer sinusvormig verloopt; regel de frequentie van de andere spanning tot de periodetijd van het omhullende 0,5 ms bedraagt.
- Schakel *Sk* in stand 2. Stem de radio af op 200 kHz en draai aan de volumeregelaar tot *U* een toon hoort. Controleer of de periodetijd 0,5 ms bedraagt.
- Variëer één der hoge frequenties; bekijk en beluister de resultaten.

### Toelichting

De spanning aan het knooppunt van  $R_1$  en  $R_2$  (de halve som van de twee generatorspanningen) is uitsluitend dan constant van amplitude als de frequentie van het ene HF-signaal exact gelijk is aan die van het andere. Praktisch is dit niet het geval; het somsignaal is een HF-zweavingsverschijnsel (vergelijk proef 18). Is de amplitude van het ene signaal bijvoorbeeld  $5 \times$  zo groot als die van het andere en het frequentieverschil klein (bijvoorbeeld 2 kHz), dan is de somspanning een HF-wisselspanning waarvan de amplitude ongeveer sinusvormig verandert in het ritme overeenkomende met het frequentieverschil der twee HF-signalen (punt c). De frequentie van het somsignaal varieert enigszins en is gemiddeld gelijk aan de halve som van de frequenties der afzonderlijke signalen. Stemmen we hierop de radio af (punt d), dan wordt het somsignaal na te zijn versterkt toegevoerd aan een schakeling (bijvoorbeeld die volgens proef 75) die de amplitudevariatie omzet in een veranderende gelijkspanning. Via een condensator wordt het gelijkspanningsaandeel geblokkeerd en het wisselspanningsaandeel versterkt aan de luidspreker toegevoerd. Men hoort dan een toon met een frequentie gelijk aan het frequentieverschil der twee HF-signalen.

Schakeling

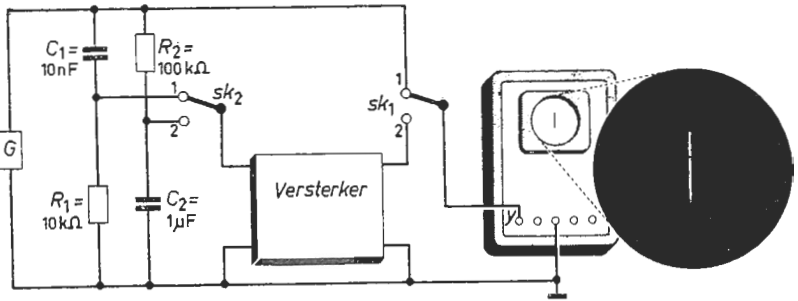


Fig. 77a

Fig. 77b

Beschrijving

- Bevestig een elektrodynamische- of elektromagnetische trillingsopnemer  $G$  aan b.v. een trillende machine. De opnemergevoeligheid is 10 volt per m/s. De filters zijn berekend voor trillingen tussen 10 Hz en 200 Hz.
- Zet het  $X$ -kanaal op „extern” en  $Sk_1$  in stand 1. Regel de  $Y$ -versterking tot er een streep van een goed meetbare lengte op het scherm zichtbaar is (fig. 77b).
- Meet de lengte der streep en zet die om in spanning. Bepaal hieruit de maximale snelheid waarmee het trillende lichaam zich periodiek verplaatst.
- Schakel  $Sk_1$  in stand 2 en  $Sk_2$  in stand 1. Meet de beeldhoogte en zet die om in spanning. Bepaal hieruit de maximale versnelling in de trilling.
- Zet  $Sk_2$  in stand 2. Bepaal uit de beeldhoogte de maximale verplaatsing.

Toelichting

De opnemerspanning is evenredig met de trillingsnelheid. Bij de onder a gegeven gevoeligheid vindt men de snelheid in m/s als men de  $Y$ -spanning ( $Sk_1$  in stand 1) in volt deelt door 10 (punt c). De spanning over  $R_1$  is voor trillingen met een frequentie lager dan 200 Hz, klein ten opzichte van die over  $C_1$ . De stroom in het  $R_1$ - $C_1$  circuit (en dus de spanning over  $R_1$ ) is dan praktisch evenredig met de opnemerspanningsverandering-per-tijdsfractie, dit is met de versnelling. Bij de gebezigde waarden van  $R_1$  en  $C_1$  is de versnelling in m/s<sup>2</sup> gelijk aan de spanning over  $R_1$  in millivolt. Bij een bekende versterking kan men dus uit de beeldhoogte de versnelling bepalen (punt d). De spanning over  $C_2$  is voor frequenties hoger dan 10 Hz, klein ten opzichte van die over  $R_2$ . De stroom in het  $R_2$ - $C_2$  circuit is evenredig met de opnemerspanning. De spanning over  $C_2$  (evenredig met het produkt van stroom en tijd) is dan evenredig met het produkt van de opnemerspanning (snelheid) en tijd; dit is met de verplaatsing. Bij de gebezigde waarden van  $R_2$  en  $C_2$  is de verplaatsing in cm gelijk aan de spanning over  $C_2$  in volt. Bij een bekende versterking kan men dus uit de beeldhoogte de maximale verplaatsing bepalen (punt e).

OPSPOREN VAN KNOPEN EN BUIKEN  
VAN EEN TRILLENDE SNAAR

Schakeling

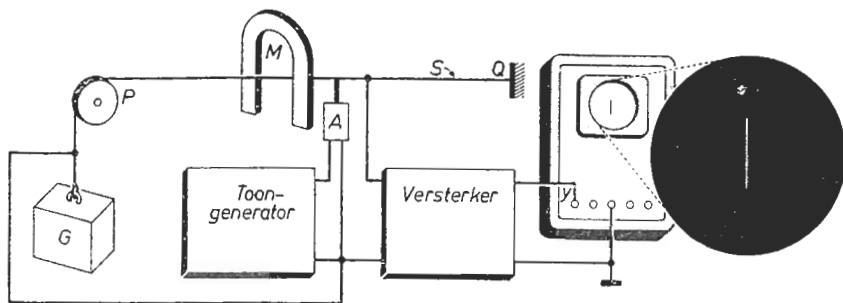


Fig. 78a

Fig. 78b

Beschrijving

- De staaldraad  $S$  (dikte 1 mm, lengte  $P-Q$  50 cm) zit vast bij punt  $Q$  en is gespannen met behulp van een massa  $G$  van 25 kg.  $S$  komt in trilling met behulp van de trillingsgever  $A$  die wordt gevoed uit een geschikte toongenerator. De draad kan zich vrij tussen de polen van de magneet  $M$  bewegen.
- Zet het  $X$ -kanaal op „extern”. Regel de frequentie van de generatorspanning tot de laagste waarde waarbij de hoogte van het oscillogram (fig. 78b) maximaal is; de  $Y$ -versterking kan hierbij naar wens worden geregeld.
- Verplaats  $M$  naar links en naar rechts en weer terug; markeer de plaats(en) waarbij de beeldhoogte maximaal resp. minimaal is.
- Verhoog de frequentie tot  $S$  opnieuw trilt; herhaal punt c.

Toelichting

De staaldraad komt in trilling (geeft zijn „grondtoon”) indien de frequentie van de aan de trillingsgever toegevoerde wisselstroom een zeer bepaalde waarde heeft. Is de massa die de spankracht veroorzaakt 25 kg, de afstand  $P-Q$  50 cm en de draaddikte 1 mm dan is de „grondfrequentie” ongeveer 200 Hz. Bij  $P$  en  $Q$  ontstaan dan „knopen” daartussen in een „buike” (zie proef 14). De snaar bevindt zich (plaatselijk) in een magneetveld, zodat er indien zij (ter plaatse van de magneet) trilt een E.M.K. wordt opgewekt (zie proef 8). De in de staaldraad (geleider) opgewekte E.M.K. is het grootst als de magneet zich dáár bevindt waar de snaar het hevigste trilt. De hoogte van het oscillogram is dus maximaal als de magneet halverwege  $P$  en  $Q$  staat (punt c). Verhoogt men de frequentie van de aan de trillingsgever toegevoerde wisselstroom langzaam (punt d), dan komt de snaar uitsluitend dán merkbaar in trilling als de frequentie der wisselstroom een geheel aantal malen de grondfrequentie is. Zo vindt men als een wisselstroom van de dubbele grondfrequentie wordt toegevoerd een knoop halverwege  $P$  en  $Q$ . Plaatst men dáár de magneet dan is de opgewekte E.M.K. (dus de hoogte van het oscillogram) minimaal.

## Proef 79

### METEN MET EEN REKSTROOKJE

#### Schakeling

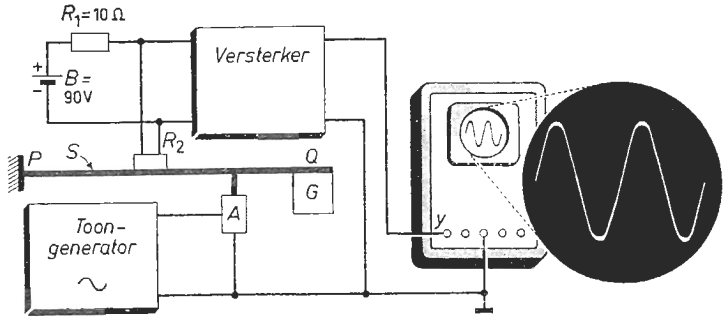


Fig. 79a

Fig. 79b

#### Beschrijving

- De horizontaal opgestelde bladveer  $S$  ( $100 \times 10 \times 1$  mm) zit bij  $P$  vast en is bij  $Q$  belast met een massa  $G$  van 200 gr. Hoeveel zakt de veer door bij  $Q$ ?
- Het rekstrookje  $R_2$  is op de voorgeschreven wijze op  $S$  bevestigd.  $S$  wordt in de verticale stand in trilling gebracht door de trillingsgever  $A$ .
- Zet het  $X$ -kanaal van de oscilloscoop op „intern”. Regel de frequentie van de generatorspanning in de buurt van 16 Hz tot de beeldhoogte maximaal is.
- Regel de  $X$ -snelheid en de  $Y$ -versterking van de oscilloscoop tot de afbeelding volgens fig. 79b zichtbaar wordt. Meet de periodetijd van de trilling.
- Maak  $G$  bijv. 100 gr en herhaal de voorafgaande punten.
- Herhaal de punten a, b, c en d nogmaals nadat de veer korter is ingeklemd.

#### Toelichting

De belaste veer wordt door de trillingsgever in trilling gebracht. De oppervlaktelaag van de veer krimpt en rekt dan in het trillingsritme. Het rekstrookje krimpt en rekt mee zodat er weerstandsvariaties ontstaan. Deze worden middels de batterij en  $R_1$  omgezet in spanningsveranderingen en aan het  $Y$ -kanaal toegevoerd. De eigenfrequentie (zie proef 13) hangt af van de (elastische) kracht naar de evenwichtstoestand; deze is evenredig met de uitwijking uit de evenwichtstoestand. Het blijkt dat het kwadraat van de trillingstijd (in seconden) gelijk is aan viermaal de uitwijking (in m) die men meet onder punt a. Buigt de veer bijv. 1 mm door, dan vindt men aldus een trillingstijd van ca. 0,063 s. De eigenfrequentie der belaste veer is dan  $1/0,063 \approx 16$  Hz. Belast men de veer met de halve oorspronkelijke massa (punt e) dan wordt bij gelijke lengte de doorbuiging de helft. De eigenfrequentie wordt dan  $\sqrt{2}$  maal zo hoog. Is de uitwijking (punt a) te gering om hem nauwkeurig te kunnen meten, dan vervang men de massa tijdelijk door een  $n$ -maal zo grote, zodat een beter meetbare uitwijking ontstaat. Men kan dan stellen dat de uitwijking bij kleinere massa's het  $n$ -de deel is. Onder punt f wordt de eigenfrequentie hoger; de veer buigt namelijk bij dezelfde belasting minder ver door.

## EEN EENVOUDIGE ZAAGTANDGENERATOR

### Schakeling

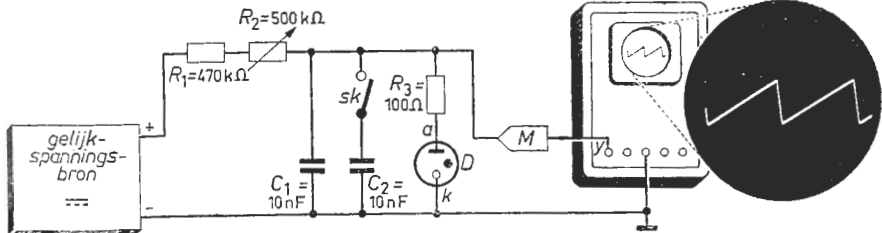


Fig. 80a

Fig. 80b

### Beschrijving

- De gasgevulde diode  $D$  is een type dat als spanningsstabilisator wordt gebruikt. Maak de bronspanning nul; zet  $Sk$  open en regel  $R_2$  op maximum. Gebruik een verzwakkermeetkop  $M$  tussen het  $Y$ -kanaal en het meetpunt.
- Zet het  $X$ -kanaal van de oscilloscoop op „intern”. Maak de gelijkspanning langzaam hoger tot er op het scherm een periodiek verschijnsel zichtbaar is (men ziet nu lichtverschijnselen in de diode). Regel de  $X$ -snelheid en de  $Y$ -versterking tot een „zaagtandvormig” oscillogram ontstaat (zie fig. 80b).
- Meet de hoogte van het oscillogram en bepaal de overeenkomstige spanning.
- Verricht de hierna genoemde handelingen: maak  $R_2$  kleiner, de bronspanning hoger en sluit  $Sk$ . Bekijk wat er aan het oscillogram verandert.

### Toelichting

De karakteristiek van proef 30 toont dat er bijna geen diodestroom vloeit als de buis in gedoofde toestand verkeert en dat de ontsteekspanning hoger is als de brand- en doofspanning. De condensator  $C_1$  wil zich via  $R_1$  en  $R_2$  laden tot de spanning van de bron. De  $Y$ -spanning stijgt dus geleidelijk en bereikt dan de ontsteekspanning van de gasbuis. De buis ontsteekt en stelt zich in op de lager gelegen brandspanning. De diodestroom wordt slechts door een kleine weerstand beperkt en is dus groot. De  $Y$ -spanning daalt dan snel en bereikt spoedig de doofspanning van de buis; de buis dooft. De condensator wordt opnieuw geladen; de buis ontsteekt weer . . . enz. (punt b). Het laden geschiedt via een hoge-, het ontladen via een lage weerstand. De  $Y$ -spanning neemt „langzaam” toe en snel af. De grootte der „zaagtand” (hoogte van het oscillogram) hangt uitsluitend af van het verschil tussen de ontsteek- en doofspanning (punt c). Is  $R_2$  kleiner dan wordt de condensator sneller geladen (punt d); wordt  $C_2$  ingeschakeld dan gebeurt dit minder snel. Het „oplopende” deel van het oscillogram wordt dan korter respectievelijk langer. Bij een hogere aangelegde spanning is de laadstroom groter; een „laadtijd” dus korter. De „zaagtand”-frequentie neemt toe.

# Proef 81

## HET FAZEVERSCHIL VAN TWEE SINUSVORMIGE SPANNINGEN

### Schakeling

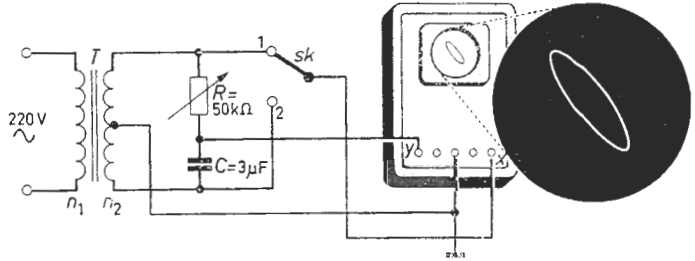


Fig. 81a

Fig. 81b

### Beschrijving

- De nettransformator  $T$  heeft een wikkelverhouding  $n_1 : n_2 \approx 30 : 1$  (neem hier bijvoorbeeld een gloeistroomtransformator met een middenaftakking). Regel de weerstand  $R$  op zijn maximale waarde en plaats  $Sk$  in stand 1.
- Zet het  $X$ -kanaal op „extern”. Regel de  $X$ - en  $Y$ -versterking tot een ellipsvormig oscillogram van voldoende afmetingen zichtbaar wordt.
- Regel  $R$  tot de  $Y$ -afbuiging in het midden de helft is van de maximale  $Y$ -afbuiging (fig. 81b). Hoe groot is het fazeverschil van de  $X$ - en  $Y$ -spanning?
- Regel  $R$  op enige andere waarden en bepaal daarbij het fazeverschil.
- Schakel  $Sk$  in stand 2 en herhaal de punten c en d. Vergelijk de oscillogrammen en de meetresultaten met die waarbij  $Sk$  in stand 1 stond.

### Toelichting

Is  $R$  nul dan zijn ( $Sk$  in stand 1) de  $X$ - en  $Y$ -spanning gelijk; het beeld is een rechte van rechts-boven naar links-onder. Is  $R$  maximaal dan is de  $Y$ -spanning (vanwege de relatief lage condensatorimpedantie) bijna evenveel „positief” als de  $X$ -spanning „negatief” is. We zien een rechte van links-boven naar rechts-onder (proef 23). Met  $R$  regelt men dus de  $Y$ -spanning van „in-faze” tot „integenfaze” met de  $X$ -spanning. Helt het oscillogram over naar rechts, dan is het fazeverschil kleiner-, naar links groter dan  $\frac{1}{4}$  periode. Het fazeverschil bij willekeurige  $R$  vindt men door te meten welk deel van de maximale  $Y$ -afbuiging er optreedt op het moment dat de  $X$ -afbuiging nul is. Is de  $Y$ -afbuiging in het midden (d  r is de  $X$ -afbuiging nul) het  $n$ -de deel van de maximale, dan is het fazeverschil te bepalen door in een tekening van een „sinusgolf” (of in een tabel) op te zoeken op welk tijdstip een sinus het  $n$ -de deel van zijn amplitude bereikt. Is bijv. de  $Y$ -afbuiging in het midden de helft van de maximale (punt c) dan is het fazeverschil tussen de  $X$ - en  $Y$ -spanning  $1/12$  of  $5/12$  periode ( $1/12$  als het oscillogram naar rechts- en  $5/12$  als het naar links overhelt). Na  $1/12$  en  $5/12$  periode bereikt namelijk een „sinus” zijn halve amplitude.

## METEN VAN WISSELSTROOMVERMOGEN

## Schakeling

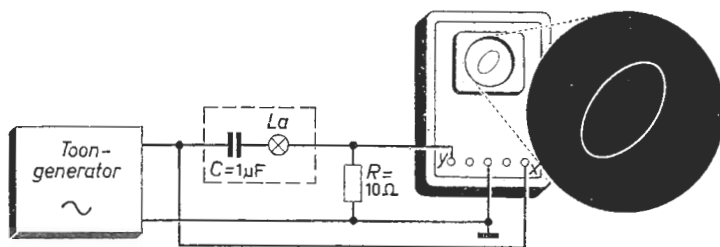


Fig. 82a

Fig. 82b

## Beschrijving

- Maak de generatorspanning gelijk aan de bedrijfsspanning van het rijwielachterlichtlampje  $La$ ; regel de frequentie tot  $La$  begint op te lichten.  $La$  vormt met de condensator  $C$  een frequentie-afhankelijke lichtbron.
- Zet het  $X$ -kanaal van de oscilloscoop op „extern”. Regel de  $X$ - en  $Y$ -versterking tot een ellipsvormig oscillogram zichtbaar wordt (zie fig. 82b).
- Meet de maximale horizontale afbuiging en de bijbehorende verticale afbuiging; zet deze resultaten om in elektrische spanning resp. elektrische stroom. Bereken met deze gegevens het aan  $C + La$  toegevoerde vermogen.
- Maak de frequentie zo laag dat  $La$  niet oplicht. Herhaal punt c.
- Maak de frequentie zo hoog dat  $La$  normaal oplicht. Herhaal c.

## Toelichting

Elektrisch vermogen is het gemiddelde produkt van spanning en stroom. „Wisselstroomvermogen” is dus evenredig met de spannings- en stroomamplitude en hangt af van het fazeverschil. Deze grootheden zijn verenigd in het oscillogram; het is dus een informatie voor vermogen. Het te bepalen vermogen (punt c) is het halve produkt van de maximale  $X$ -afbuiging (spanningsamplitude) en de daarbij behorende  $Y$ -afbuiging (deel van de stroomamplitude). In het laatste gegeven zijn én het fazeverschil én de stroomamplitude verwerkt. Is het fazeverschil bijna  $\frac{1}{4}$  periode (zeer lage frequenties) dan is het oscillogram een cirkel of rechtopstaande ellips. De maximale  $X$ -afbuiging valt dan samen met nihil- $Y$ -afbuiging; het opgenomen vermogen is dan nul, het lampje brandt niet (punt d). Is het fazeverschil bijna nul (hoge frequenties) dan is het oscillogram bijna een rechte lijn. Maximale  $X$ -afbuiging valt samen met maximale  $Y$ -afbuiging; het vermogen is hun halve produkt (punt e). Is bijv. het fazeverschil  $1/6$  periode dan valt de maximale  $X$ -afbuiging samen met de halve-maximale  $Y$ -afbuiging. Het vermogen is dan een kwart van het produkt van stroom- en spanningsamplitude.



## Proef 83

# FREQUENTIEMETINGEN MET BEHULP VAN LISSAJOUSFIGUREN

### Schakeling

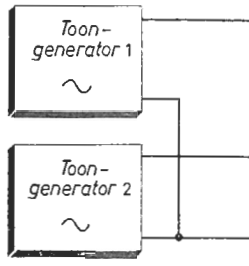


Fig. 83a

Fig. 83b

### Beschrijving

- Maak de generatorspanningen ongeveer 10 volt en de frequentie 100 Hz.
- Zet het  $X$ -kanaal van de oscilloscoop op „extern”. Regel de  $X$ - en  $Y$ -versterking tot de  $X$ - en  $Y$ -afbuiging ongeveer gelijk zijn en voldoende groot.
- Variëer de frequentie van signaal 1 ( $f_1$ ) in de buurt van 100 Hz tot een streepvormig, ellipsvormig of cirkelvormig oscillogram, zichtbaar wordt.
- Regel de frequentie van signaal 2 ( $f_2$ ) op waarden lager en hoger als 100 Hz zodat achtereenvolgens twee, drie, vier en vijf lussen boven elkaar resp. naast elkaar op de beeldbuis verschijnen. Bepaal telkens de verhouding  $f_1 : f_2$ .
- Stel  $f_1$  zodanig in dat de afbeelding volgens fig. 83b ontstaat. Bepaal  $f_1 : f_2$ .
- Maak de verhouding van  $f_1$  en  $f_2$  achtereenvolgens  $3/2$ ,  $3/4$  en  $5/3$ .

### Toelichting

Tijdens de éénmaal in horizontale zin heen-en-weer lopen gaat de elektronenstraal tevens éénmaal in verticale zin op-en-neer (punt c). Het aantal snijpunten met de  $X$ -as (of met een andere binnen het beeld geplaatste horizontale lijn) is gelijk aan dat met de  $Y$ -as (of met een andere binnen het oscillogram getrokken verticale lijn). De vorm van het beeld hangt af van de onderlinge fase (de „ligging-in-de-tijd”) van het  $X$ - en  $Y$ -signaal (zie proef 81). De onder punt d gevraagde frequentieverhouding vindt men door het aantal snijpunten met een willekeurige binnen het beeld liggende verticale lijn te delen door het aantal snijpunten met een willekeurige horizontale lijn. Trekt men in het oscillogram (punt e) een horizontale- en een verticale lijn dan wordt de eerste twee-maal en de laatste drie-maal door het beeld gesneden. De frequentie der  $X$ -spanning is anderhalf-maal de frequentie der  $Y$ -spanning. De positieve top der  $Y$ -spanning valt beurtelings met een positieve- en een negatieve top der  $X$ -spanning samen (twee bovenste punten in de afbeelding). De negatieve top der  $Y$ -spanning valt op het moment dat de  $X$ -spanning nul is (laagste punt van het oscillogram).

BEPALEN VAN HET TOERENTAL VAN EEN MOTOR

Schakeling

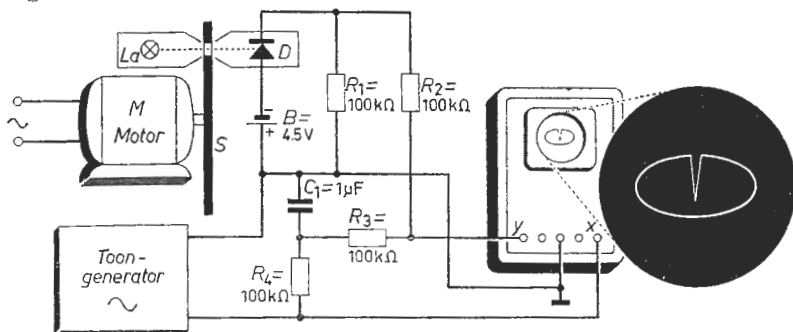


Fig. 84a

Fig. 84b

Beschrijving

- a. De as van de motor *M* is voorzien van een lichttegenhoudende schijf *S* waarin een opening is aangebracht. De lichtbron *La* werpt een lichtbundel via de opening in *S* op de lichtgevoelige diode *D*. Maak de generatorspanning maximaal en leg de frequentie in de buurt van het te meten toerental.
- b. Zet het X-kanaal van de oscilloscoop op „extern”. Regel de X- en Y-versterking tot er op het beeldscherm een ellipsvormig oscillogram zichtbaar wordt.
- c. Laat de motor draaien. Regel de frequentie van de generatorspanning tot het oscillogram volgens fig. 84b ontstaat. Noteer de ingestelde frequentie. Is het te meten toerental lager dan de minimum haalbare frequentie, maak dan in *S* een extra gat juist tegenover de oorspronkelijke opening.

Toelichting

Zelfs voor de laagste in aanmerking komende frequentie is de condensatorspanning uit fase met de generatorspanning. De condensatorspanning ligt via  $R_3$  aan het Y-kanaal; de generatorspanning aan het X-kanaal. Op het scherm ontstaat dus een ellips die door de elektronenstraal in één periodetijd wordt doorlopen. De combinatie: batterij-diode- $R_1$  vormt een snel-reagerende „lichtomzetter”. In belichte toestand trekt de diode een sperstroom; in onbelichte toestand niet. Over  $R_1$  valt dan al of niet een spanning afkomstig van de batterij. Behalve de condensatorspanning wordt dus telkens wanneer een gat in de schijf tegenover het lampje komt aan het Y-kanaal een negatieve spanningsimpuls toegevoerd. Is het toerental der schijf gelijk aan de frequentie der generatorspanning dan wordt dus een ellipsvormige omloop van de elektronenstraal juist evenveel malen „verstoord” als er gaten in de schijf zitten. Regelt men de frequentie der generatorspanning zo dat het oscillogram één (stilstaande) verstoring vertoont, dan is het toerental van de motor het quotiënt van de ingestelde frequentie en het aantal gaten. (De gaten behoren gelijkmatig over de omtrek der schijf te zijn verdeeld.)

**FREQUENTIEMETINGEN  
DOOR MIDDEL VAN STRAALONDERDRUKKING**

**Schakeling**

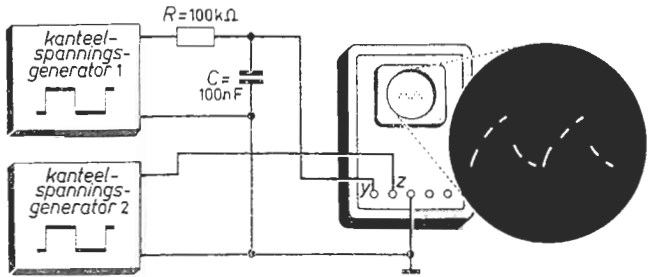


Fig. 85a

Fig. 85b

**Beschrijving**

- Maak de spanning van de generatoren maximaal en de impulsverhouding 1 : 1. Stel de frequentie  $f_1$  in op 40 Hz en  $f_2$  op 200 Hz.
- Zet het X-kanaal van de oscilloscoop op „intern”. Regel de Y-versterking en de X-snelheid tot de contouren van de afbeelding volgens fig. 85b zichtbaar worden. Verminder de helderheid van het oscillogram tot de hoogst noodzakelijke. Variëer  $f_2$  iets zodat de beeldelementen stil staan (zie fig. 85b).
- Bepaal het aantal beeldelementen per periode en hieruit  $f_2 : f_1$ .
- Stel  $f_2$  zodanig in dat 10 beeldelementen per periode zichtbaar worden.
- Regel  $f_1$  tot 8,5 beeldelementen per periode optreden.
- Variëer de impulsverhouding van spanning 2 en bekijk de resultaten.

**Toelichting**

Gedurende het maximale niveau van de spanning van generator 1 neemt de condensatorspanning toe; het minimale niveau geeft een afnemende condensatorspanning (Y-spanning). Eén cyclus: toenemende-Y-spanning — afnemende-Y-spanning duurt de periodetijd van de generatorspanning (proef 35). Eén compleet oscillogram wordt dus „geschreven” in de dubbele periodetijd; en wel door tien heldere afgewisseld door tien minder heldere hetzij „donkere” lijnstukjes. Eén cyclus helder-lijnstuk — donker-lijnstuk duurt dus vijf maal zo kort als een cyclus: toenemende-Y-spanning — afnemende-Y-spanning. Het „moduleren” van de helderheid geschiedt in een ritme dat vijf maal zo hoog is als dat van de Y-spanning (punt c). De helderheidsverandering wordt bewerkstelligd door de spanning aan het Z-kanaal; deze spanning (van generator 2) onderdrukt periodiek de elektronenstraal. Men kan dus door het tellen van het aantal „beeldelementen”: helder-beeld — donker-beeld, de frequentie der Y-spanning bepalen als men de frequentie der Z-spanning kent en omgekeerd. De frequentie der „Z-spanning” is het produkt van het aantal genoemde beeldelementen per periode der Y-spanning en de frequentie der spanning aan het Y-kanaal.

## HET VOOR- OF NAIJLEN VAN DE X- TEN OPZICHTE VAN DE Y-SPANNING

## Schakeling

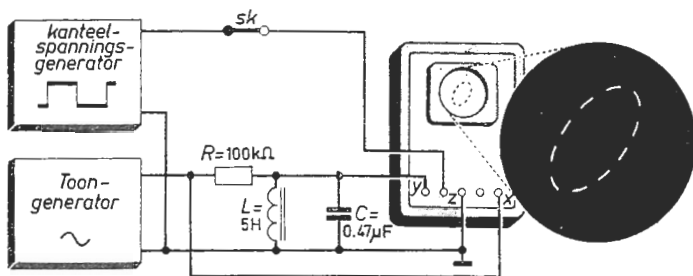


Fig. 86a

Fig. 86b

## Beschrijving

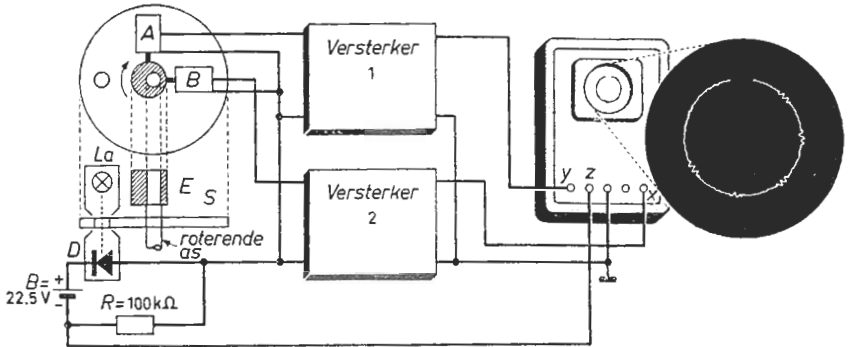
- Maak de spanning van beide generatoren maximaal. Stel de frequentie van de sinusspanning ( $f_1$ ) in op 50 Hz en die van de kanteelspanning ( $f_2$ ) op 500 Hz; neem een impulsverhouding van 1 : 1. Zet de schakelaar  $Sk$  open.
- Zet het X-kanaal van de oscilloscoop op „extern”. Regel de X- en Y-versterking tot een ellips van voldoende afmetingen zichtbaar wordt. Reduceer de helderheid van de afbeelding tot de hoogst noodzakelijke.
- Sluit  $Sk$ . Variëer  $f_2$  in de buurt van 500 Hz tot de oplichtende delen van het oscillogram stilstaan (fig. 86b). Maak  $f_2$  nu iets lager en bekijk het resultaat.
- Regel  $f_1$  op 200 Hz. Zet de oplichtende delen van de afbeelding stil door regeling van  $f_2$ . Maak daarna  $f_2$  weer iets lager en vergelijk het resultaat met c.

## Toelichting

De ellips helt over naar rechts; het fazeverschil tussen X- en Y-spanning is minder dan  $\frac{1}{4}$  periode (proef 81). Is de X-spanning nul dan moet de Y-spanning wil zij najlen binnen  $\frac{1}{4}$  periode daarna nul worden. Na het snijden der Y-as wordt binnen  $\frac{1}{4}$  periode de X-as gesneden; het oscillogram wordt dus linksom geschreven. Het wordt rechtsom geschreven als eerst de X-as en minder dan  $\frac{1}{4}$  periode daarna de Y-as wordt gesneden; dus als de Y-spanning vóórijlt op de X-spanning. De schrijfrichting (vóór- of najlende Y-spanning) wordt bepaald met behulp van „Z-modulatie”. Uitgaande van de toestand dat de onderbrekingen „stilstaan” (één bepaalde onderbreking komt bij iedere omloop op exact dezelfde plaats) wordt de frequentie der Z-spanning zéér weinig verlaagd (punten c en d). De onderbrekingen volgen dan elkaar (in de tijd gezien) iets minder snel op. De elektronenstraal schrijft dus iets méér dan een volledige omloop alvorens dezelfde onderbreking terug komt. We zien dan de onderbrekingen bij verlaging der „Z-frequentie” in dezelfde richting „lopen” als de elektronenstraal het oscillogram beschrijft. Dit is bij voorrijlende Y-spanning rechtsom (punt c) bij najlende Y-spanning linksom (punt d).

SLINGEREN VAN EEN ROTERENDE AS

Schakeling



Beschrijving

Fig. 87a

Fig. 87b

- Op de as van een motor zijn een excentrische bus  $E$  en een lichttegenhoudende schijf  $S$  gemonteerd. Tegen  $E$  worden twee trillingsopnemers  $A$  en  $B$  onder een hoek van  $90^\circ$  ten opzichte van elkaar aangebracht. De lichtbron  $La$  werpt een lichtbundel door de opening in  $S$  op de lichtgevoelige diode  $D$ .
- Zet het  $X$ -kanaal van de oscilloscoop op „extern”. Regel de  $X$ - en  $Y$ -verschuiving tot het puntvormige oscillogram midden op het scherm ligt.
- Laat de motor lopen. Regel de  $X$ - en  $Y$ -versterking tot er voldoende horizontale- en verticale afbuiging ontstaat (zie fig. 87b). Verminder de beeldhelderheid tot er in het oscillogram een donker gedeelte zichtbaar wordt.
- Verdraai het busje  $E$  een kwart slag ten opzichte van  $S$ ; bekijk de resultaten.

Toelichting

Het busje  $E$  zit excentrisch op de as om slingeren na te bootsen. De opnemers worden dan ná elkaar aangestoten. Draait de as rechtsom volgens de pijl dan wordt eerst de  $Y$ -spanning, een kwart omwenteling later de  $X$ -spanning maximaal. Het oscillogram is dan een gesloten kromme die rechtsom wordt geschreven. Het wordt linksom geschreven als de as eveneens linksom draait. Bij iedere omwenteling (als het gat in de schijf tegenover het lampje komt) krijgt het  $Z$ -kanaal een impuls toegevoerd; een stukje van het oscillogram is dan onderdrukt. In de getekende opstelling valt die onderdrukking samen met het „moment” dat de „pen” van opnemer  $A$  zijn gemiddelde stand inneemt en die van opnemer  $B$  minimaal is ingedrukt. De  $Y$ -spanning is dan maximaal; de  $X$ -spanning nul. De onderbreking zit dus boven in het oscillogram. Verdraait men het excentrische busje ten opzichte van de schijf bijvoorbeeld een kwart slag naar rechts (punt d), dan komt bij rechtsomdraaiende as de  $Z$ -impuls ten opzichte van de  $X$ - en de  $Y$ -spanning een kwart omwenteling later als aanvankelijk; bij linksomdraaiende as een kwart omwenteling vroeger. In beide gevallen is de onderbreking in het oscillogram over dezelfde hoek verdraaid als het excentrisch busje; zij zit dus uiterst rechts.

### Schakeling

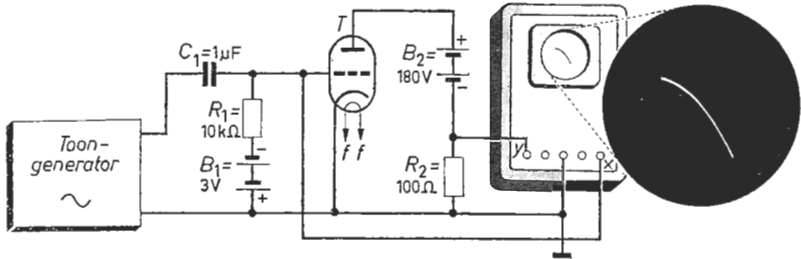


Fig. 88a

Fig. 88b

### Beschrijving

- De eigenschappen van de te meten triode  $T$  zijn:  $R_i \approx 10 \text{ k}\Omega$ ,  $\mu \approx 50$ . De gloeidraad  $f$ - $f$  is aangesloten op de nominale gloeispanning. De generatorspanning is ingesteld op 1 kHz; deze spanning wordt op nul gedraaid.
- Zet het  $X$ -kanaal op „extern” en het  $X$ - en  $Y$ -kanaal op „D.C.”. Plaats de lichtstip in het midden van het scherm m.b.v. de  $X$ - en  $Y$ -verschuiving.
- Maak de amplitude van de generatorspanning 2 volt. Regel de  $X$ - en  $Y$ -versterking tot een afbeelding volgens fig. 88b zichtbaar wordt.
- Neem na elkaar de  $X$ - en  $Y$ -klem even los; markeer de  $X$ - en  $Y$ -lijnen.
- Bepaal het aantal ampère en het aantal volt per cm verticale- resp. horizontale afbuiging. Bereken hieruit de steilheid van de triode in het instelpunt.

### Toelichting

De  $Y$ -spanning (spanning over  $R_2$ ) is evenredig met de anodestroom. Binnen de buis vloeit uitsluitend een stroom van de anode naar de katode; de  $Y$ -spanning is dus steeds „negatief”. De  $X$ -spanning is de roosterspanning. Het oscillogram (punt c) geeft dus de samenhang van roosterspanning en anodestroom bij praktisch constante anodespanning (de  $Y$ -spanning is klein ten opzichte van de spanning van  $B_2$ ). Is de roosterwisselspanning nul dan is de roosterspanning  $-3$  volt terwijl de  $Y$ -spanning een bepaalde waarde heeft. De lichtstip (punt b) stelt dus niet het nulpunt van het assenstelsel voor, doch een punt (het „instelpunt”) van de te schrijven grafiek. De  $X$ - en  $Y$ -as van het assenstelsel vindt men door de aansluitingen naar de  $Y$ -respectievelijk  $X$ -versterker los te nemen (punt d). De roosterspanning varieert tussen  $-1$  en  $-5$  volt (het uiterst rechtse- respectievelijk linkse punt van het beeld). We zien dat de anodestroom kleiner is naarmate de roosterspanning méér negatief wordt. De onder punt e genoemde „steilheid” is het quotiënt van een (kleine) anodestroomverandering en de bijbehorende roosterspanningsverandering (dus de helling van de grafiek); zij hangt af van het beschouwde punt omdat het oscillogram is gekromd.

### Schakeling

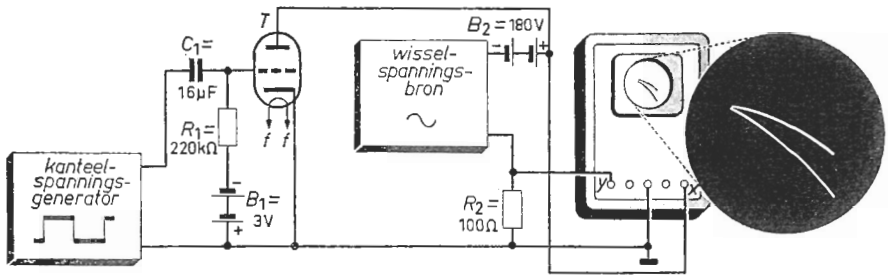


Fig. 89a

Fig. 89b

### Beschrijving

- De triode  $T$  is die van proef 88. De gloeidraad  $f$ - $f$  staat op bedrijfsspanning. De wisselspanningsbron is een variabele nettransformator; de frequentie van de kanteelspanning is 25 Hz. Maak beide spanningen nul volt.
- Zet het  $X$ -kanaal op „extern” en het  $X$ - en  $Y$ -kanaal op „D.C.”. Plaats de lichtstip in het midden van het scherm m.b.v. de  $X$ - en  $Y$ -verschuiving.
- Maak de amplitude van de sinusspanning 150 volt. Regel de  $X$ - en  $Y$ -versterking tot een beeld van voldoende afmetingen ontstaat. Bestudeer dit.
- Neem na elkaar de  $X$ - en  $Y$ -klem even los; markeer de  $X$ - en  $Y$ -lijnen.
- Bepaal uit het oscillogram volgens punt c de „ $R_1$ ” van de triode  $T$ .
- Maak de kanteelspanningsamplitude 2 volt. Bekijk de resultaten (fig. 89b).

### Toelichting

Omdat de amplitude der wisselspanning 150 volt en de batterijspanning 180 volt is, varieert de anodespanning (de  $X$ -spanning) tussen 30 en 330 volt. De  $Y$ -spanning (is steeds negatief) is evenredig met de anodestroom. Het oscillogram (punt c) geeft dus de samenhang tussen de anodestroom en de anodespanning der elektronenbuis bij een roosterspanning van  $-3$  volt. De  $X$ - en de  $Y$ -as van het stelsel waarin de grafiek is geschreven vindt men door achtereenvolgens de  $Y$ - en  $X$ -versterker van hun toevoerleiding te ontdoen (punt d). We zien dan dat de anodestroom toeneemt als de anodespanning hoger wordt. De zogenaamde „inwendige weerstand” ( $R_1$ ) (punt e) van de buis is het quotiënt van een (kleine) anodespanningsverandering en de daarbij behorende anodestroomverandering. De inwendige weerstand hangt vanwege de gekromde karakteristiek af van het beschouwde punt. Onder punt f is de roosterspanning óf  $-1$  volt (als de kanteelspanning haar maximale niveau aanneemt) óf  $-5$  volt (als de kanteelspanning haar minimale niveau aanneemt). We zien dan én de anodestroom-anodespannings-karakteristiek behorende bij een roosterspanning van  $-1$  volt (de onderste) én die behorende bij een roosterspanning van  $-5$  volt (de bovenste).

## ZICHTBAAR MAKEN VAN EEN I<sub>C</sub>-I<sub>B</sub>-KARAKTERISTIEK VAN EEN TRANSISTOR

### Schakeling

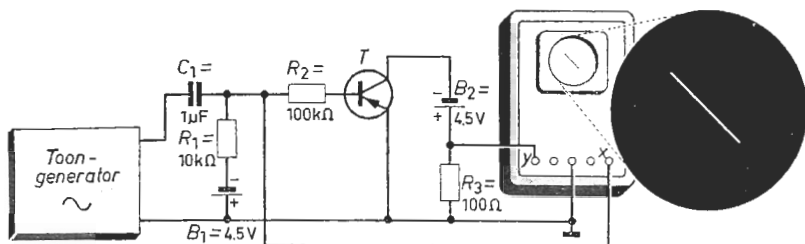


Fig. 90a

Fig. 90b

### Beschrijving

- De te meten transistor  $T$  is van een gangbaar laagfrequent-type. De toongenerator is ingesteld op 1 kHz; de uitgangsspanning maakt men nul volt.
- Zet het  $X$ -kanaal op „extern” en het  $X$ - en  $Y$ -kanaal op „D.C.”. Plaats de lichtstip in het midden van het scherm m.b.v. de  $X$ - en  $Y$ -verschuiving.
- Maak de amplitude van de generatorspanning 4 volt. Regel de  $X$ - en  $Y$ -versterking tot een beeld volgens fig. 90b op het scherm verschijnt.
- Neem de  $X$ - en  $Y$ -klem na elkaar even los; markeer de  $X$ - en  $Y$ -lijnen.
- Bepaal het aantal ampère per cm afbuiging in horizontale- en in verticale richting. Bereken hieruit de stroomversterkingsfactor van de transistor.
- Maak de amplitude van de generatorspanning lager en bekijk de resultaten.

### Toelichting

De  $X$ -spanning bestaat behalve uit een negatieve gelijkspanning (ongeveer de spanning van  $B_1$ ) uit de wisselspanning der toongenerator. De  $X$ -spanning varieert dus ongeveer tussen 0 en 8 volt. De „basisstroom” (stroom door  $R_2$ ) is praktisch evenredig met de  $X$ -spanning en varieert dus tussen ca. 0 en 80  $\mu$ A overeenkomende met het uiterst rechtse en het uiterst linkse punt van het oscillogram. De  $Y$ -as van het stelsel ligt dus rechts van het oscillogram (punt d); de  $X$ -as ligt er onder. De  $Y$ -spanning is steeds positief; de  $X$ -spanning negatief. De grootte der  $Y$ -spanning is evenredig met de stroom door  $R_3$ ; dit is de collectorstroom. Het oscillogram toont dus de collectorstroom als functie van de basisstroom (bij een nagenoeg constante waarde van de collectorspanning). Het beeld is een nagenoeg rechte lijn; het verlengde van die lijn gaat ongeveer door het nulpunt van het assenstelsel. De collectorstroom is dus bij benadering evenredig met de basisstroom. De zogenaamde „stroomversterkingsfactor” (punt e) is het quotiënt van een collectorstroomverandering en de hem veroorzakende basisstroomverandering (bij constante collectorspanning). Dit is dus de helling van het oscillogram.



Schakeling

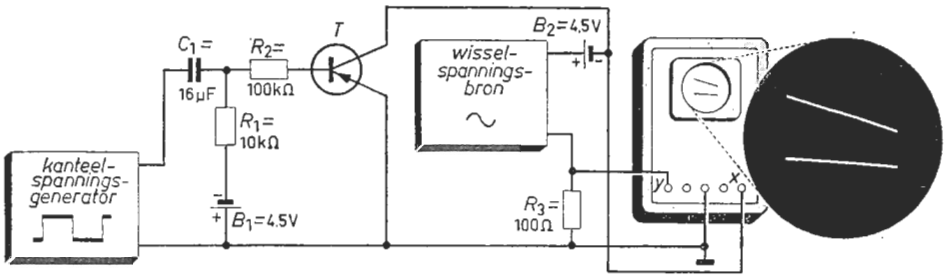


Fig. 91a

Fig. 91b

Beschrijving

- $T$  is een gangbare LF-transistor. De wisselspanningsbron is een variabele transformator met gescheiden wikkelingen; de kanteelspanningsgenerator is ingesteld op 1 kHz. Maak de spanning van de bronnen 0 volt.
- Zet het  $X$ -kanaal op „extern” en het  $X$ - en  $Y$ -kanaal op „D.C.”. Plaats de lichtstip in het midden van het scherm m.b.v. de  $X$ - en  $Y$ -verschuiving.
- Maak de amplitude van de kanteelspanning en die van de sinusspanning 4 volt. Regel de  $X$ - en  $Y$ -versterking tot  $U$  het beeld volgens fig. 91 b ziet.
- Bestudeer het oscillogram. Bepaal hieruit de inwendige weerstand van  $T$ .
- Verwarm de transistor uitwendig (niet boven  $75\text{ }^\circ\text{C}$ ) en bekijk de resultaten.
- Verlaag na elkaar de kanteel- en de sinusspanning; bekijk de resultaten.

Toelichting

De  $Y$ -spanning (over  $R_3$ ) stelt de collectorstroom voor; de  $X$ -spanning is de collectorspanning. Het oscillogram toont twee collectorstroom-collectorspanningskarakteristieken. De onderste valt bijna samen met de  $X$ -as; de bijbehorende basisstroom is slechts enkele micro-ampères. De zogenaamde „inwendige weerstand” (punt d) is het quotiënt van een collectorspanningsverandering en de bijbehorende collectorstroomverandering bij een constante basisstroom. Daar de helling van de bovenste grafiek groter is dan die van de onderste, is de inwendige weerstand bij grotere basisstromen kleiner dan bij lagere. Maakt men de basisstroom van een transistor nul dan vloeit in de collectorleiding de zogenaamde lekstroom, die in grote mate afhangt van de transistortemperatuur. Deze lekstroom maakt naarmate de basisstroom geringer is een groter deel uit van de totale collectorstroom. De laagst gelegen karakteristiek zal dus onder punt e relatief het meest verschuiven. Maakt men de amplitude der wisselspanning lager (punt f) dan wordt een kleiner deel der grafieken zichtbaar. Door het verlagen der kanteelspanning komen de twee karakteristieken dichter bij elkaar liggen.

## EENVOUDIGE „INTEGRERENDE” NETWERKEN

### Schakeling

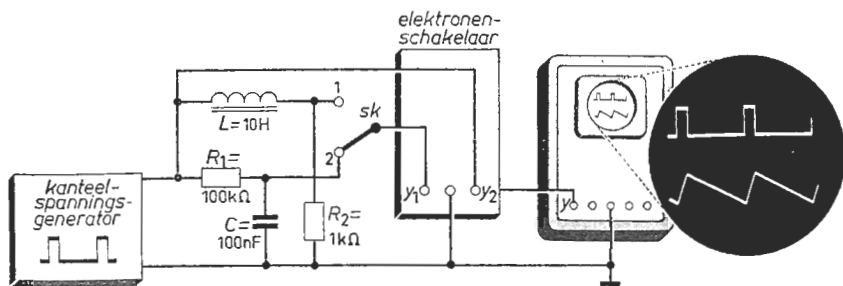


Fig. 92a

Fig. 92b

### Beschrijving

- Maak de spanning van de generator maximaal; regel de herhalingsfrequentie op 1 kHz en de impulsverhouding op 1 : 10. Plaats  $Sk$  in stand 1.
- Zet het  $X$ -kanaal op „intern” en de  $Y$ -versterking op maximum. Maak de schakelfrequentie van de elektronenschakelaar 100 Hz en zet de  $Y_1$ - en  $Y_2$ -verschuiving op nul. Regel de  $Y_1$ - en  $Y_2$ -gevoeligheid tot de twee afbeeldingen even hoog zijn. Regel de  $X$ -snelheid tot de oscillogrammen stilstaan.
- Plaats de afbeeldingen boven elkaar met behulp van de  $Y_1$ - en  $Y_2$ -verschuiving (zie fig. 92b); tracht een verklaring te vinden van hetgeen  $U$  ziet.
- Schakel  $Sk$  in stand 2. Vergelijk de nieuwe beelden met die van punt c.

### Toelichting

De elektronenschakelaar legt onder toevoeging van geschikte gelijkspanningen (om de beelden ten opzichte van elkaar verticaal te kunnen verschuiven) beurtelings het  $Y_1$ - en  $Y_2$ -signaal 5 ms lang aan de  $Y$ -versterker van de oscilloscoop. Het bovenste en het onderste beeld worden dus afwisselend 5 ms lang geschreven. Het ene beeld stelt de generatorspanning voor: een kanteelspanning die 1/11 van de tijd „hoog” en 10/11 periodesdij „laag” is. Ten opzichte van de gemiddelde waarde is dan de positieve impuls 10-maal zo hoog als de negatieve. De condensatorspanning (het andere beeld) wil zich telkens bij het nieuwe spanningsniveau aanpassen;  $C$  wordt via  $R_1$  afwisselend met een zekere stroom geladen en door een 10-maal zo kleine stroom ontladen. De  $Y_1$ -spanning ( $Sk$  in stand 1) neemt dus 10-maal zo snel toe als af. Staat  $Sk$  in stand 2 dan behouden we hetzelfde  $Y_2$ -signaal (de generatorspanning). Het  $Y_1$ -signaal stelt nu de spanning over  $R_2$  voor; het is dus evenredig met de stroom door de spoel. Omdat de stroom door een spoel evenals de spanning over een condensator slechts geleidelijk kan verlopen, heeft het  $Y_1$ -signaal, afgezien van bijkomstigheden, in beide standen van  $Sk$  dezelfde vorm (zie proeven 32 en 42). Beide schakelingen ( $L$ - $R_2$  en  $R_1$ - $C$ ) zijn zogenaamde „integrerende” netwerken.

## Schakeling

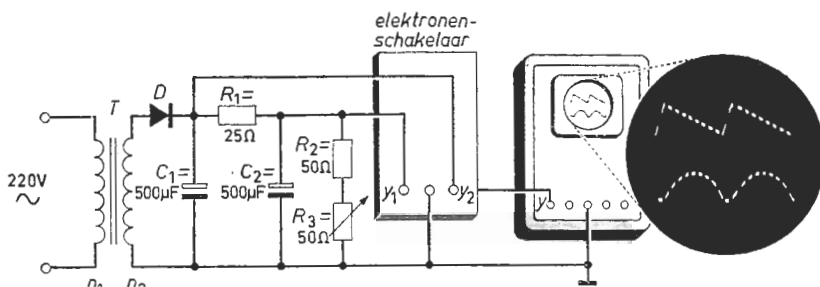


Fig. 93a

Fig. 93b

## Beschrijving

- Van de transformator  $T$  is  $n_1 : n_2 \approx 10 : 1$ . Diode  $D$  voert een topstroom van  $\approx 2$  A; de topspanning is  $\approx 60$  V. Zet  $R_3$  op de maximale waarde.
- Zet het  $X$ -kanaal op „intern” en de  $Y$ -versterking op maximum. Maak de schakelfrequentie van de elektronenschakelaar 500 Hz en zet de  $Y_1$ - en  $Y_2$ -verschuiving op nul. Regel de  $Y_1$ - en  $Y_2$ -gevoeligheid tot de beeldhoogten gelijk zijn. Regel de  $X$ -snelheid tot de oscillogrammen stilstaan.
- Bepaal het quotiënt van de  $Y_1$ - en de  $Y_2$ -spanning; de „afvlakfactor”.
- Plaats de afbeeldingen boven elkaar met behulp van de  $Y_1$ - en de  $Y_2$ -verschuiving (fig. 93b). Tracht een verklaring te vinden van hetgeen U ziet.
- Variëer  $R_3$  naar de minimale waarde en bekijk de resultaten.

## Toelichting

De „schakelfrequentie” van de elektronenschakelaar ligt véél hoger als de herhalingsfrequentie van het  $Y_1$ - en  $Y_2$ -signaal. Eerst wordt dus 1 ms lang een element van het éne, daarna 1 ms lang een element van het andere beeld geschreven. Het  $Y_2$ -signaal (bovenste beeld) stelt de spanning op  $C_1$  (de zogenaamde „buffercondensator”) voor. Bij iedere positieve „top” van de transformatorspanning geleidt de diode. De diodestroom-impuls vloeit voor verreweg het grootste deel in de condensator  $C_1$ ;  $C_1$  wordt bijgeladen (het snel oplopende deel van het bovenste beeld). Neemt de transformatorspanning weer af dan spert de diode;  $C_1$  ontlad zich gedeeltelijk (het afnemende deel van het bovenste beeld). Komt de spanning van  $C_1$  vér boven (beneden) zijn gemiddelde waarde, dan wordt  $C_2$  met een grote stroom geladen (ontladen). Wijkt de spanning van  $C_1$  weinig af van zijn gemiddelde waarde, dan is de stroom naar- of van  $C_2$  slechts gering. De  $Y_1$ -spanning (onderste beeld) stijgt of daalt dus sneller naarmate de  $Y_2$ -spanning (bovenste beeld) meer boven- respectievelijk beneden zijn gemiddelde waarde komt. De hoogste en laagste punten van het  $Y_1$ -signaal vallen dus op de tijdstippen dat de  $Y_2$ -spanning zijn gemiddelde waarde aanneemt.

## DE FREQUENTIEZWAAI VAN EEN FM-SIGNAAL

### Schakeling

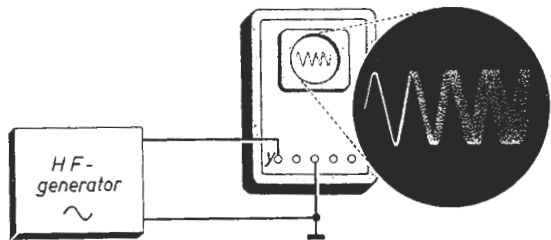


Fig. 94a

Fig. 94b

### Beschrijving

- Zet de generatorspanning op maximum; stand 500 kHz ongemoduleerd.
- Zet het *X*-kanaal op „intern”. Regel de *X*-snelheid en de *Y*-versterking tot een aantal golven van voldoende hoogte zichtbaar worden.
- Schakel de generator op „FM” en maak de frequentiezwaaai zo groot mogelijk. Trigger de tijdbasis van de oscilloscoop zodanig dat het oscillogram met een enkelvoudige lijn begint; regel de *X*-snelheid tot de „wazige” beeldlijnen rechts in het beeld een halve periode beslaan (zie fig. 94b).
- Bestudeer het oscillogram. Tel het aantal perioden en meet de gemiddelde periodetijd. Bepaal hieruit de frequentiezwaaai van het te meten FM-signaal.
- Variëer (zo mogelijk) de frequentiezwaaai; bekijk de oscillogrammen.

### Toelichting

Bij een in frequentie gemoduleerd signaal (FM-signaal) verandert de (hoge) frequentie periodiek in het ritme van de modulerende trilling. De grootste afwijking van de gemiddelde frequentie noemt men de „frequentiezwaaai”. Binnen één periode der modulerende trilling worden honderden beelden beschreven. Enkele daarvan worden geschreven als het FM-signaal zijn minimale frequentie aanneemt; enkele als het zijn maximale frequentie doorloopt, en het merendeel bij allerlei daar-tussen-in gelegen frequenties. In het eerste geval worden er in één beeld minder golven geheel geschreven dan in het tweede. Niet alle beelden vallen dus samen. Omdat alle beelden in hetzelfde punt met een „opgaande golf” beginnen, is het oscillogram vooraan wél, verder naar rechts niet „scherp”. Het golflengteverschil van de signalen met de twee uiterste frequenties (punt d) is na „*n*” golven der gemiddelde frequentie een halve golflengte. Het golflengteverschil van één der uiterste en de gemiddelde frequentie is dan na *n* golven een kwart golf van het gemiddelde signaal; na één golf het *4n*-de deel. De frequentiezwaaai is dus het *4n*-de deel van de gemiddelde frequentie als na *n* golven de „waas” een halve golf breed is.

DEMODULEREN VAN EEN FM-SIGNAAL

Schakeling

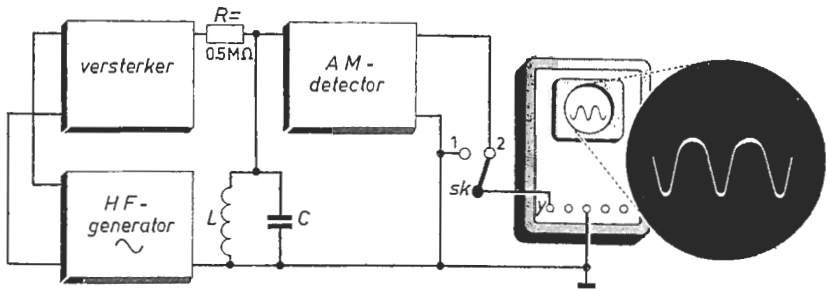


Fig. 95a

Fig. 95b

Beschrijving

- Zet de generatorspanning op maximum; stand 450 kHz ongemoduleerd. De bandbreedte van de versterker is 500 kHz. De LC-kring is afgestemd op 480 kHz. De detector is die van proef 75. Plaats Sk in stand 1.
- Zet het X-kanaal op „intern” en het Y-kanaal op „D.C.”. Regel de Y-verstuiving tot de afbeelding aan de bovenkant van het scherm ligt.
- Zet Sk in stand 2. Leg het beeld in het midden m.b.v. de Y-versterking.
- Plaats de generator op „FM”; maak de frequentiezwaai maximaal (echter  $\leq 30$  kHz). Regel de X-snelheid tot U een beeld volgens fig. 95b ziet.
- Meet de periodetijd. Is hij gelijk aan die van de modulerende spanning?
- Maak het FM-signaal 480 kHz. Bekijk de resultaten.

Toelichting

De kringimpedantie hangt af van de frequentie (proef 54). Ligt de frequentie der toegevoerde wisselstroom dicht bij de „kringresonantie” dan is de kringspanning groter dan wanneer de frequentie verder van het „resonantiepunt” ligt. Is de wisselstroom ongemoduleerd, dan is de kringspanning van constante amplitude. De detector (proef 75) levert dan een gelijkspanning (punt c). Is de generatorspanning in frequentie gemoduleerd dan verandert de amplitude der kringspanning in het ritme waarin de frequentie variëert. Omdat echter de kringimpedantie niet evenredig met de frequentie verloopt (proef 96), is het amplitudeverloop der kringspanning niet het evenbeeld van het frequentieverloop der generatorspanning. De verandering van de door de detector geleverde gelijkspanning (punt e) komt slechts in ritme (niet in vorm) overeen met het frequentieverloop der generatorspanning. Dit wil zeggen dat de door het FM-signaal over te brengen informatie is „vervormd”. Komt de frequentie van het FM-signaal zowel boven als beneden de „kringresonantie” (punt f) dan wordt gedurende één complete modulatiecyclus de kringimpedantie tweemaal hoog en laag. Het ritme waarin de Y-spanning nu variëert is tweemaal zo groot als dat waarin het FM-signaal „zwaait”.

Schakeling

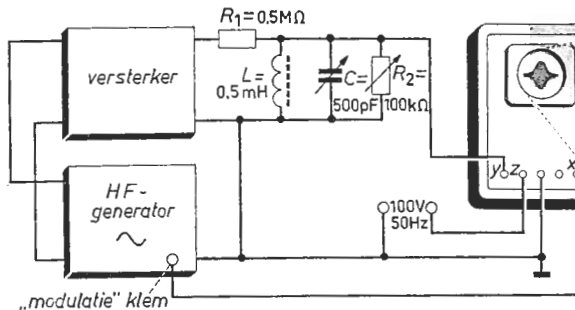


Fig. 96a

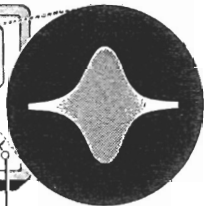


Fig. 96b

Beschrijving

- Zet de generator op „ongemoduleerd”. Maak de spanning maximaal en de frequentie 450 kHz. De bandbreedte van de versterker is 500 kHz. Regel  $R_2$  op 100 kΩ. De Z-spanning wordt betrokken van een nettransformator.
- Zet het X-kanaal van de oscilloscoop op „extern”. Draai aan de condensator C tot de beeldhoogte maximaal is; zo nodig de Y-versterking bijregelen.
- Schakel de generator op „FM”; modulatiefrequentie 50 Hz en  $\Delta f$  maximaal. Regel de X- en Y-versterking tot een beeld volgens fig. 96b ontstaat (indien er twee beelden door elkaar zichtbaar worden, verminder dan de helderheid).
- Bestudeer het oscillogram; waar is de trillingskring in resonantie?
- Regel  $R_2$  op enige lagere waarden en bestudeer de oscillogrammen.

Toelichting

De frequentie der generatorspanning (punt c) verloopt vanaf een waarde beneden- tot een waarde boven de kringresonantie. Dit geschiedt in hetzelfde ritme (50 Hz) als dat waarin de elektronenstraal horizontaal „schrijft”. Gedurende een complete modulatiecyclus wordt tweemaal de kringresonantie „gepasseerd” (éénmaal als het FM-sigitaal van zijn laagste naar zijn hoogste frequentie verloopt, en éénmaal als de frequentie in omgekeerde richting verandert om weer haar oorspronkelijke waarde aan te nemen). Gaat de elektronenstraal naar rechts dan wordt de kringimpedantie éénmaal maximaal; hetzelfde gebeurt als de straal weer naar links loopt. Omdat door de (met de horizontale afbuiging gelijk lopende) Z-spanning de elektronenstraal de halve tijd is onderdrukt, ontstaat er één beeld: een hoogfrequent sigitaal met een veranderende amplitude. De frequentiezwaaai is evenredig met de amplitude der X-spanning. Men kan dus de X-as van het oscillogram als frequentie-as beschouwen. De breedte van het beeld komt dan overeen met de dubbele frequentiezwaaai. De amplitude der Y-spanning is evenredig met de kringimpedantie. Het amplitudeverloop van het oscillogram is dus de grafiek van de kringimpedantie als functie van de frequentie.

**HET FREQUENTIEGEBIED  
VAN EEN STEL GEKOPPELDE TRILLINGSKRINGEN**

**Schakeling**

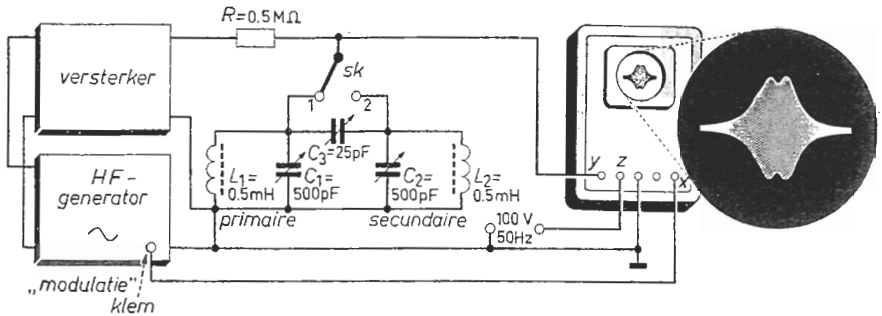


Fig. 97a

Fig. 97b

**Beschrijving**

- a. Maak de generatorspanning maximaal (ongemoduleerd); frequentie 450 kHz. De versterker is 500 kHz „breed”. Maak  $C_3$  minimum;  $Sk$  in stand 2.
- b. Zet het X-kanaal op „extern”. Draai aan de condensator  $C_2$  tot de beeldhoogte maximaal is. Zet daarna  $Sk$  in stand 1 en regel nu aan  $C_1$  teneinde een maximale beeldhoogte te verkrijgen (zo nodig de Y-versterking regelen).
- c. Moduleer de HF-spanning in „FM”;  $\Delta f$  maximaal; modulatiefrequentie 50 Hz. Regel de X- en Y-versterking naar wens. Maak  $C_3$  zoveel groter dat de afbeelding volgens fig. 97b zichtbaar wordt (verminder de helderheid tot de Z-spanning effectief werkt). Verklaar het minimum in het oscillogram.
- d. Variëer  $C_3$  naar hogere en lagere waarden; bekijk de resultaten.

**Toelichting**

Onder punt b worden de  $L_2$ - $C_2$ -kring ( $Sk$  stand 2) en de  $L_1$ - $C_1$ -kring ( $Sk$  stand 1) op 450 kHz afgestemd. Bij minimale  $C_3$  „doet” de secundaire kring bijna niets; het oscillogram ( $Sk$  stand 1) is gelijk aan dat van proef 96 (de secundaire spanning is dan klein). Wordt  $C_3$  groter dan is de invloed van de secundaire kring merkbaar, vooral bij het resonantiepunt; daar is namelijk het door de secundaire kringweerstand opgenomen vermogen maximaal. De secundaire kring introduceert, voornamelijk bij resonantie, in de primaire kring extra verliezen die groter zijn naarmate de „koppeling” ( $C_3$ ) toeneemt. De hoogte van het oscillogram bij resonantie neemt af als  $C_3$  toeneemt. Bij de zogenaamde „kritische” koppeling is zij de helft geworden; de primaire kringverliezen zijn gelijk aan de secundaire; de kringstromen, dus de kringspanningen, zijn gelijk. Er is optimale energie-overdracht; 50% van het via  $R$  geleverde vermogen komt in de secundaire kring terecht. Iets buiten resonantie is bij deze koppeling de primaire kringspanning hoger omdat de geïntroduceerde weerstand daar véél lager is (punt c). Bij nog grotere koppeling neemt de primaire spanning bij resonantie verder af.

## Proef 98

### HET AANTONEN VAN DE „ZIJBANDEN” VAN EEN AM-SIGNAAL

#### Schakeling

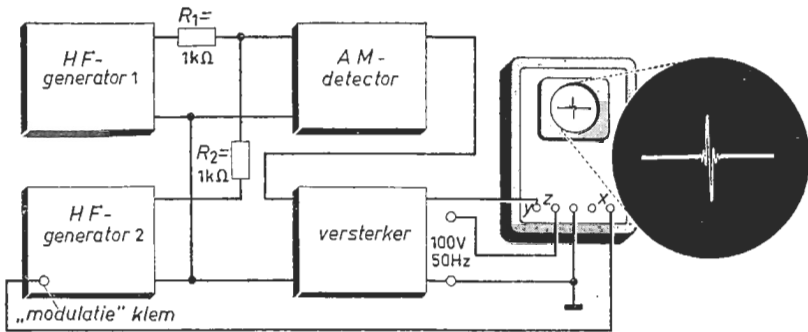


Fig. 98a

Fig. 98b

#### Beschrijving

- Maak de frequenties van de HF-spanningen 10 MHz en hun amplituden maximaal. Zet generator 1 op „ongemoduleerd” en generator 2 op „FM” ( $\Delta f$  maximaal; modulatiefrequentie 50 Hz). Een nettransformator levert de Z-spanning. De AM-detector is die van proef 75. De versterker 1 kHz breed.
- Zet het X-kanaal op „extern”. Regel de X- en Y-versterking tot het oscillogram volgens fig. 98b ontstaat. (Indien er twee „pieken” zichtbaar worden, reduceer dan de helderheid tot de Z-spanning effectief werkt.)
- Bestudeer het oscillogram; zo nodig de X-versterking tijdelijk opvoeren.
- Zet generator 1 op „AM” (kies de modulatiefrequentie lager dan de frequentiezwaai van generator 2). U ziet twee nieuwe „pieken” op het scherm.

#### Toelichting

Is het frequentieverschil der generatorsignalen klein, dan varieert de detector-uitgangsspanning in een ritme gelijk aan dat verschil (proef 76). De versterker versterkt die uitgangsspanning voor zover zij een frequentie heeft niet hoger als enkele kHz. Er is dus een laagfrequente Y-spanning als het frequentieverschil der HF-signalen kleiner is als enkele kHz; technisch gesproken: als de frequenties gelijk zijn. Dit komt onder punt b tweemaal per FM-cyclus voor. Omdat de elektronenstraal in die tijd (in horizontale zin) éénmaal heen en weer schrijft en het beeld gedurende de heen- of de terugslag door de Z-spanning wordt onderdrukt, ontstaat er één beeld. Dit is een horizontale lijn waarop een verstoring voorkomt. Ligt de verstoring uiterst links dan is de frequentie van het ongemoduleerde signaal gelijk aan de éne uiterste frequentie-, ligt zij uiterst rechts dan is de frequentie van het ongemoduleerde signaal gelijk aan de andere uiterste frequentie van het FM-signaal. De verstoring is dus een „merkteken” op de horizontale lijn (frequentie-as). Onder punt d zien we drie merktekens. Het AM-signaal bestaat hier dan ook uit drie ongemoduleerde hoogfrequent signalen: de draaggolf met aan weerszijden een zijbandfrequentie.



## Proef 99

### EEN VIDEO SIGNAAL GEDURENDE EÉN „LIJNTIJD”

#### Schakeling

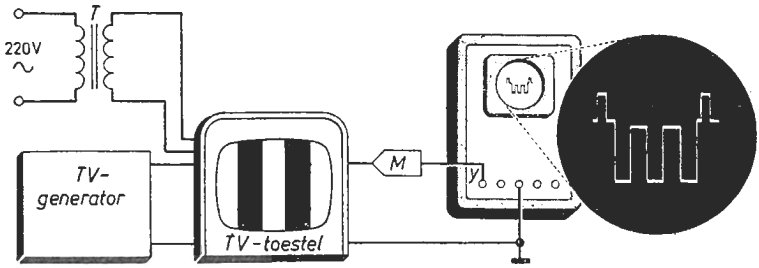


Fig. 99a

Fig. 99b

#### Beschrijving

- Het TV-toestel wordt via een scheidingstransformator  $T$  gevoed; de antennebussen zijn verbonden met een TV-generator; de katode van de TV-beeldbuis zit via de meetkop  $M$  aan het  $Y$ -kanaal van de oscilloscoop.
- Schakel het TV-toestel in. Moduleer de generatorspanning met een „verticale balken”-signaal; regel de amplitude en de frequentie van het TV-sigitaal tot een „balken”-beeld op de TV-beeldbuis zichtbaar wordt (fig. 99a).
- Zet het  $X$ -kanaal van de oscilloscoop op „intern”. Regel de  $X$ -snelheid ( $X$ -frequentie  $\approx 15$  kHz) en de  $Y$ -versterking tot U het beeld van fig. 99b ziet.
- Meet de lijntijd; dit is de tijd tussen de beginpunten der hoogste niveaux.
- Draai aan de contrastregeling van het TV-toestel; bekijk de resultaten.

#### Toelichting

Een „televisiebeeld” volgens het Europese systeem bestaat uit 625 lijnen die in 40 ms worden geschreven. Eén lijntijd duurt dus  $64 \mu\text{s}$  (punt d). In ongeveer  $53 \mu\text{s}$  wordt het wezenlijke deel van een beeldlijn geschreven; de resterende  $11 \mu\text{s}$  is de televisiebuis van de ontvanger (mits goed ingesteld) „afgeknepen” ongeacht het beeldpatroon. In deze tijd krijgt de elektronenstraal der televisiebuis de gelegenheid om van het einde van een lijn terug te gaan naar het begin van de volgende lijn. Deze „terugslag” wordt ingeluid door de „opgaande” flank van de „lijnsynchronisatie-impuls”; in fig. 99b is dit het verticale lijntje aan de voorkant van het hoogste niveau. Het valt  $1 \mu\text{s}$  nadat het wezenlijke deel van een beeldlijn is geschreven. Hierna is de televisiebuis nog  $10 \mu\text{s}$  lang afgeknepen (donker); dan begint het wezenlijke deel van een nieuwe beeldlijn. De synchronisatie-impuls (maximale niveau) is ongeveer  $5 \mu\text{s}$  „breed”. De laagste niveaux van het oscillogram komen overeen met de helderste stukken der beeldlijnen; de hogere niveaux van het wezenlijke beeldsignaal met de donkere stukken der beeldlijnen. De „contrastregeling” (punt e) varieert de grootte van het aan de televisiebuis toegevoerde beeldsignaal.

## Proef 100

### EEN VIDEO SIGNAAL GEDURENDE EÉN „RASTERTIJD”

#### Schakeling

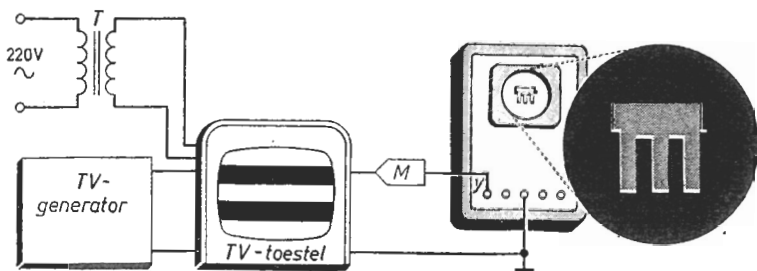


Fig. 100a

Fig. 100b

#### Beschrijving

- De voedingsspanning voor het TV-toestel wordt van een scheidingstransformator  $T$  betrokken. De TV-generator is met de antenneklemmen van het TV-toestel verbonden; de meetkop  $M$  zit aan de katode van de beeldbuis.
- Stem de ontvanger af op het generatorsignaal. Moduleer de generatorspanning met een „horizontale-balken”-signaal; regel het TV-signaal tot het gewenste beeld op de TV-beeldbuis zichtbaar wordt (fig. 100a).
- Zet het  $X$ -kanaal op „intern”. Regel de  $X$ -snelheid ( $X$ -frequentie  $\approx 50$  Hz en de  $Y$ -versterking tot het beeld volgens fig. 100b ontstaat.
- Vergelijk het oscillogram met het TV-beeld (let op het aantal „balken”).
- Maak een TV-uitzending zichtbaar. Bekijk de oscillogrammen.

#### Toelichting

Een televisiebeeld (Europese systeem) komt in 40 ms tot stand. Eerst worden alle oneven- daarna alle even lijnen geschreven; men spreekt van een geïnterlineerd beeld. De elektronenstraal van de televisiebuis beweegt dus voor één beeld tweemaal van boven naar beneden; het beeld bestaat uit twee „rasters”. Elk raster „duurt” dan 20 ms. Het wezenlijke deel van een rastertijd is ongeveer 18,4 ms; de resterende 1,6 ms is de televisiebuis (mits de ontvanger goed staat ingesteld) afgeknepen. In die tijd treedt het „rasteronderdrukkingssignaal” op. Dit is een vrij ingewikkelde reeks van smalle en bredere impulsen die er voor zorgen dat de 25 „onzichtbare” lijnen op de juiste momenten beginnen, en tevens dat ieder nieuw raster op het goede tijdstip aanvangt. Gedurende de laagste niveaus van het oscillogram (fig. 100b) is het televisiebeeld het helderste; de minder heldere beelddelen behoren bij het hogere niveau (punt d). Het hoogste niveau is dat van de toppen der synchronisatie- en onderdrukkingsimpulsen. Onder punt e ziet men bij bewegende televisiebeelden de vorm van het onderste deel van het oscillogram variëren; de synchronisatie- en onderdrukkingsimpulsen blijven op hun plaats.

DE „STIJGTIJD” VAN DE  
Y-VERSTERKER VAN EEN OSCILLOSCOOP

Schakeling

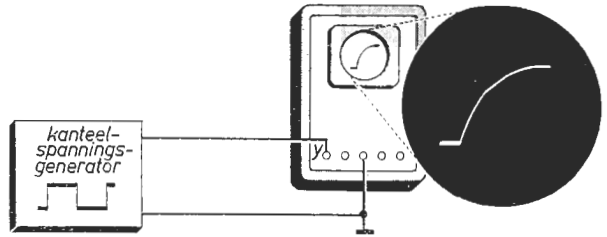


Fig. 101a

Fig. 101b

Beschrijving

- Maak de generatorspanning 1 volt; regel de frequentie op 1 kHz en de impulsverhouding op 1 : 1. De „stijgtijd” van de kanteelspanning dient veel kleiner te zijn als die van de Y-versterker (vergelijk de technische gegevens).
- Zet het X-kanaal van de oscilloscoop op „intern”. Regel de X-snelheid en de Y-versterking tot een kanteelvormig beeld van voldoende hoogte ontstaat.
- Bekijk het oscillogram; let op de steile flanken (gebruik maximale helderheid).
- Maak de X-snelheid maximaal. Regel de frequentie van de kanteelspanning tot het beeld van fig. 101b zichtbaar wordt (zo nodig extern „triggeren”).
- Meet de tijd tussen 0,1 en 0,9 van de maximale beeldhoogte. Vergelijk dit resultaat met de opgegeven „stijgtijd” van de desbetreffende Y-versterker.

Toelichting

Een ideale kanteelspanning aan een ideaal Y-kanaal gelegd veroorzaakt een beeld waarin uitsluitend twee niveaus zijn te onderscheiden. De sprong van het ene niveau naar het andere vergt geen tijd en kan dan ook niet worden afgebeeld. De sprong tussen de niveaus van een praktische kanteelspanning vergt echter wél een zekere tijd. Bovendien kan een kanteelspanning ook al zou die ideaal zijn door de oscilloscoop niet volkomen „natuurgetrouw” worden gemeten. Men stuit daarbij op de moeilijkheid dat de spanning over (parasitaire) capaciteiten (bijvoorbeeld de capaciteit van de deflectieplaten) niet kan springen (zie proef 35). Zelfs zorgvuldig bemeten schakelingen als die waarmee de oscilloscoop is uitgerust, kunnen dit effect nooit geheel „compenseren”. In dit verband is de zogenaamde stijgtijd van belang. Dit is de tijd waarbinnen de sprong in het oscillogram wordt geschreven, gerekend vanaf 10% boven het laagste- tot aan 10% beneden het hoogste niveau als aan het Y-kanaal een ideale kanteelspanning wordt gelegd. Onder punt e wordt die stijgtijd gemeten in de veronderstelling dat de sprong in de generatorspanning veel korter duurt als de ermee overeenkomende sprong in het oscillogram.

## KADERREEKS

- Dit is een reeks boeken met onderwerpen op elk technisch gebied.
- Behandelt onderwerpen over radiotechniek, geluidskwaliteit, zend- en ontvangproblemen bij radio en TV, tape recorders, gelijkstroomrelais, antennes, enz.
- Bestemd voor elke technicus, studierend of praktisch werkzaam.
- Vele titels voor de amateur en de geïnteresseerde leek.
- Zowel oorspronkelijke titels als herdrukken van veel gevraagde boeken worden in deze serie gepubliceerd.
- Rijk aan illustraties en foto's.

### In deze reeks zijn reeds verschenen:

#### K 1 G. Slot, GELUIDSKWALITEIT

Waaraan een geluidsinstallatie moet voldoen — over klanken van muziekinstrumenten en eigenschappen van het oor.  
170 pagina's, 61 figuren en 26 tabellen.

#### K 2 C. G. Nijsen, GELUID OP BAND

Een volledig handboek over de magnetische recording en zijn vele mogelijkheden.  
136 pagina's, 57 figuren en 30 pagina's foto's op kunstdrukpapier, waarvan één uitslagblad.

#### K 3 D. J. W. Sjobbema, ANTENNES

Ontvangantennes voor TV en FM.  
122 pagina's en 98 figuren.

## RADIO-SERVICETECHNIEK

Radio-servicetechniek is de verzamelnaam voor 6 op elkaar volgende delen die tot doel hebben een handleiding te vormen voor het repareren van radio-ontvangers. De boeken zijn in een zéér eenvoudige taal geschreven. Elk deel behandelt een bepaald onderwerp. Na ieder hoofdstuk volgen een korte samenvatting en een aantal vragen over de behandelde stof, waaraan de lezer zijn kennis kan toetsen.

K 4 Edgar J. Black, GELIJKSTROOM EN MAGNETISME

**(Radio-servicetechniek)**

115 pagina's en 92 figuren.

K 5 Edgar J. Black, WISSELSTROOM EN AKOESTIEK

**(Radio-servicetechniek)**

118 pagina's en 86 figuren.

K 6 Edgar J. Black, ELEKTRONENBUIZEN

**(Radio-servicetechniek)**

122 pagina's en 92 figuren.

K 7 Edgar J. Black, L. F. VERSTERKING

**(Radio-servicetechniek)**

121 pagina's, 90 figuren en 4 fotopagina's.

K 8 Edgar J. Black, MEETINSTRUMENTEN

**(Radio-servicetechniek)**

*In voorbereiding*

Het gebruik van meetinstrumenten is, vooral in de elektronica noodzakelijk om te bepalen of de diverse apparaten op de juiste wijze werken.

Dit boek behandelt een aantal van deze meetapparaten met hun werking en gebruik.

K 9 Edgar J. Black, FOUTZOEKEN IN RADIO-ONTVANGERS

**(Radio-servicetechniek)**

*In voorbereiding*

Voor het opsporen van fouten in een radio-ontvanger is een bepaalde volgorde van werkzaamheden nodig.

Dit boek wil proberen het foutzoeken op een eenvoudige en systematische wijze aan te geven.

K 10 I. Adler, ZO DENKEN MACHINES

130 pagina's en 46 figuren.

„Zo denken Machines” is een boek voor allen die met rekenmachines werken, rekenmachines verkopen en onderhouden. Ook accountants, statistici en ballistische deskundigen, de elektronikaman en de wiskundeliefhebber zullen nog veel wetenswaardigs ontdekken.

K 11 A. H. Bruinsma, SCHAKELN MET GELIJKSTROOMRELAIS

92 pagina's en 66 figuren.

Indien men in de techniek der elektronica hoort spreken van versterking, denkt men direct aan buizen en transistors.

Men kan echter een relais ook opvatten als een versterker, omdat ook hier grote vermogens door kleine vermogens gestuurd worden. Dit boek nu probeert een zo duidelijk mogelijk overzicht te geven van een aantal basisschakelingen welke gebruikt kunnen worden voor de oplossing van een zeer groot aantal problemen op schakeltechnisch gebied.

K 12 A. Morgan, OP AVONTUUR IN DE ELEKTROCHEMIE

224 pagina's en 85 figuren.

Dit boek bevat vele interessante elektrotechnische experimenten, die de lezer met zeer eenvoudige middelen zelf kan doen. De inhoud beperkt zich echter niet tot deze proefjes alleen, maar bevat ook de historische achtergrond, evenals de industriële toepassing ervan.

K 13 Ir. J. P. Korthals Altes, JA EN NEEN MET TRANSISTORS

134 pagina's, 125 figuren en 2 fotopagina's.

Het is de bedoeling van dit boek, zoveel mogelijk uitgaande van de reeds bekende relaisschakelingen, de lezer vertrouwd te maken met de schakeltechniek met behulp van halfgeleiders.

K 14 P. W. v. d. Wal, LUIDSPREKERS EN LUIDSPREKERKASTEN

124 pagina's, 156 figuren en 2 fotopagina's.

Dit boek geeft niet alleen een groot aantal verschillende tekeningen van luidsprekerkasten, maar houdt zich ook bezig met allerlei factoren, welke invloed uitoefenen op de geluidswaergave. Er is ook een hoofdstuk opgenomen, dat tal van praktische aanwijzingen bevat voor hen, die een luidsprekerkast zelf willen bouwen.

K 15 J. Vastenhoud, KORTE GOLVEN ROND DE WERELD

136 pagina's, 35 figuren en 4 fotopagina's.

Een bijzonder instructieve leidraad voor een steeds groter wordende groep mensen, die luisteren naar kortegolfomroepstations of die als radio-amateurs geïnteresseerd zijn in het gebruik van korte golven.

K 16 T. G. Potma, REKSTROOKJESMEETTECHNIEK

156 pagina's, 135 figuren en 8 fotopagina's.

Bij vele mechanische belastingproblemen is het rekstrookje als omzetter van niet-elektrische in elektrische grootheden onontbeerlijk. Voor rekstrookjes, in combinatie met een meetbrug en/of een elektronenstraaloscilloscoop, liggen in de techniek uitgebreide toepassingsgebieden.

In dit boek is overzichtelijk en bevattelijk beschreven hoe en waar rekstrookjes kunnen en moeten worden toegepast.

## 101 PROEVEN MET DE OSCILLOSCOOP

In dit boek worden eerst de globale werking en de eigenschappen van een gangbare oscilloscoop en zijn hulpapparatuur behandeld. Daarna volgt een samenvatting van de gebruikte omzeters. Tenslotte worden meer dan honderd proeven met behulp van een oscilloscoop beschreven. Deze proeven zijn met overleg gekozen uit de bijna onbeperkte reeks van toepassingsmogelijkheden en speciaal beproefd op de didaktische waarde ervan.

De lezer wordt geleidelijk aan met de opbouw van eenvoudige schakelingen en met de bediening van de oscilloscoop vertrouwd gemaakt, doordat hij zelfstandig een aantal niet te ingewikkelde proeven uitvoert. Naast een schakelschema en een korte beschrijving van de uit te voeren handelingen komt bij iedere proef een beknopte toelichting voor.

In enkele gevallen zal die toelichting voldoende zijn.

In de meeste gevallen kan zij slechts beogen de serieuze lezer te prikkelen; hem aan te zetten, meer van de achtergronden van de proef te willen kennen. Juist daarom is het boekje uitermate geschikt voor het moderne technische onderwijs.