

PHILIPS BOEKENREEKS OVER ELECTRONENBUIZEN

OPGENOMEN IN PHILIPS TECHNISCHE BIBLIOTHEEK

1^E DEEL

UITGAVE MEULENHOFF & Co. N.V. — AMSTERDAM

Copyright 1943 N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken te Eindhoven
(Nederland).
Nadruk, ook gedeeltelijk, verboden.
Gedrukt in Nederland.

GRONDSLAGEN VAN DE RADIOPUIZENTECHNIEK

MET 361 FIGUREN EN EEN AANHANGSEL

Een inleiding tot de physische grondslagen,
eigenschappen en toepassingen van ont-
vang- en versterkingsbuizen naar den stand
van de techniek in Juli 1943,

door Ir. J. DEKETH

1943

**PHILIPS BOEKENREEKS
LECTRONENBUIZEN**

verschenen tot nu toe:

agen van de radiobuizentechniek.

**ens en schakelingen van moderne ontvangst- en
versterkerbuizen.**

**Gegevens en schakelingen van moderne ontvangst- en
versterkerbuizen (supplement).**

Verdere deelen zijn in bewerking.



Een gedeelte van de Philips' Radiobuizenfabriek te Eindhoven.

VOORWOORD

Dit boek is ontstaan uit een oorspronkelijk in de Duitsche taal uitgegeven werk, getiteld: „Grundlagen der Röhrentechnik”. Dit werk had, ook in Nederland, een bijzonder groot succes en moest ettelijke malen herdrukt worden, hetgeen tot het plan leidde, een Nederlandsche uitgave te laten verschijnen. De schrijver zou hierdoor tevens in de gelegenheid zijn, voorstellen over verbeteringen en uitbreidingen in werkelijkheid om te zetten.

De opzet van de oorspronkelijke *uitgave* was een boek te brengen, dat niet met radio op de hoogte zijnde technici en studeerenden een inzicht geeft in het wezen van de *radiobuis voor ontvangstdoeleinden* en in haar toepassingen in ontvangers en soortgelijke toestellen. Het doel was echter voor een groot deel ook, vakmensen een handig overzicht te bieden over de eigenschappen en de werkingswijze van *electronenbuizen*, die voornamelijk voor radio-onvangst ontworpen worden. Het boek moest verder een technische inleiding zijn en den grondslag vormen voor de in de volgende twee delen van deze boekenserie „Gegevens en Schakelingen van Moderne Ontvang- en Versterkerbuizen” en het supplement hierop behandelde beschrijvingen met gegevens en karakteristieken van Philips electronenbuizen.

Van deze doelstellingen uitgaande werden eerst op zeer eenvoudige wijze de physische grondslagen van de radiobuis behandeld en werd daarna een kort overzicht gegeven van den bouw en de fabricage van radiobuizen. Vervolgens werden de buiseigenschappen behandeld, die vastgelegd worden door gegevens en karakteristieken, en werden de voor de verschillende ontvangertrappen bestaande buistypen met hun eigenschappen en de daarvan te stellen eischen besproken. Ook werden begrippen, zooals het ruischen ten gevolge van de buizen, kortegolf-eigenschappen, laagfrequente tegenkoppeling, kruismodulatie enz., verklaard en benut. Hierbij werden uitsluitend onderwerpen behandeld, die in de praktijk bewezen hebben van beteekenis te zijn.

De volgorde van de hoofdstukken werd daarbij zooveel mogelijk zóó gekozen, dat een gestadige ontwikkeling van den gedachtengang plaats heeft en dat in volgende hoofdstukken gebruik gemaakt kon worden van begrippen, die in voorgaande hoofdstukken werden verklaard. Waar de duidelijkheid dit noodzakelijk maakte, werd niet geschroomd in korte herhaling te vervallen.

Aan de bovenstaande doelstellingen zou ook de *Nederlandsche uitgave* moeten voldoen. Schrijver achtte het wenschelijk, de in het oorspronkelijke werk zeer kort gehouden beschrijving van de physische grond-

slagen, waarop de werking van de radiobuis berust, uit te breiden, daar een goede kennis hiervan, bijv. van de potentiaalverdeling in de buis, van den invloed van de ruimtelading, van de thermische emissie, van de secundaire emissie, van de contactpotentiaal enz., zeer belangrijk is voor het juiste begrip van de werking van de radiobuis en haar eigenschappen en toepassingen, alsook van vele in de praktijk optredende verschijnselen. Dit onderwerp vereischt echter een groote zelfbeperking, daar een bewerking ervan alras tot een boekwerk op zichzelf uitgroeit. Er moest dus wel noodgedwongen een compromis gezocht worden tus-schen duidelijkheid en volledigheid eenerzijds en omvang anderzijds. Er werden nieuwe hoofdstukken toegevoegd over onderwerpen, die in het oorspronkelijke werk niet behandeld waren, o.a. een hoofdstuk over buiscapaciteiten en enige hoofdstukken over storingsverschijnse-
len, die in buizen kunnen optreden. Bestaande hoofdstukken werden deels volledig omgewerkt, uitgebreid en aangepast aan voorgaande hoofdstukken, waarbij gestreefd werd het boek op het meest moderne peil te brengen. Zoo wordt in hoofdstuk IX een kort overzicht gegeven van de werking van frequentiemodulatie en van de samenstelling van ontvangers voor frequentiegemoduleerde signalen.

Aan het einde van dit boek vindt de lezer een aanhangsel, waarin een uitgebreide verzameling van definities, formules en tabellen met allerlei gegevens, die den lezer van nut kunnen zijn bij de studie en bij het berekenen en ontwerpen van toestellen met electronenbuizen.

Er wordt verder attent gemaakt op de eveneens aan het einde aanwezige lijst van door Philips auteurs gedane publicaties op het gebied van electronenbuizen, radio-ontvangst en zendwezen en toepassingen van diverse soorten electronenbuizen. Vele van deze publicaties zijn verschenen in het Philips Technisch Tijdschrift, waarin geregeld interessante artikelen over electronenbuizen en hun toepassingen verschenen zijn. Verder wordt nog verwezen naar de bij Julius Springer in Berlijn verschenen boeken van Dr. M. J. O. Strutt over buizen en toestellen met buizen (zie het overzicht van boekwerken op het gebied van elec-tronenbuizen en hun toepassingen, eveneens aan het einde van dit boek).

Dit boek richt zich tot allen, die zich bezig houden met het ontwerpen en fabriceeren van toestellen met electronenbuizen, met de reparatie en het onderhoud ervan en tot hen die experimenteren en studeeren. De inhoud berust gedeeltelijk op publicaties en geschriften van het „Natuurkundig Laboratorium der N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken" en van de láboratoria in de Philips Buizenfabrieken. In het bijzonder werd gebruik gemaakt van geschriften van Dr. C. F. Veenemans, Dr. M. J. O. Strutt, Dr. J. L. H. Jonker, Ir. H. van Suchtelen, Ir. B. D. H.

Tellegen, Ir. A. J. Heins van der Ven, Dr. B. G. Dammers, Ir. J. M. van Hofweegen, Ir. P. H. J. A. Kleynen en anderen. De schrijver is veel dank verschuldigd aan de heeren Dr. E. Oosterhuis, Dr. W. de Groot, Dr. C. F. Veenemans, Dr. M. J. O. Strutt, Ir. B. D. H. Tellegen, Dr. J. L. H. Jonker, Ir. H. van Suchtelen, Ir. P. H. J. A. Kleynen en vele anderen, die zich tijd noch moeite gespaard hebben, om met raad en daad bij te dragen tot den vorm waarin dit boek uiteindelijk gedrukt werd en om de talooze drukproeven door te lezen. Aan de oorspronkelijke Duitsche uitgave werd indertijd ook nog medegewerkt door de heeren Ir. G. van Beusekom en Ir. J. M. van Hofweegen, aan wien de schrijver even grooten dank verschuldigd blijft.

Eindhoven, Augustus 1943.

J. Deketh.

INHOUDSOPGAVE

	Blz.
VOORWOORD	06
INHOUDSOPGAVE	09
INLEIDING	1
HOOFDSTUK I. Grondbeginselen van de werking der radio- buis	3
§ 1. Electroden	3
§ 2. De gelijkrichtwerking	4
§ 3. De versterking door sturen van den anodestroom	4
§ 4. De negatieve roosterspanning van versterkingsbuizen	6
HOOFDSTUK II. Eenige physische begrippen omtrent electro- nen en electrischen stroom	7
§ 1. Electronen	7
§ 2. De bouw van het atoom	7
§ 3. De bouw van de vaste stof	8
§ 4. Het ontstaan van een electrischen stroom; electrische weerstand	9
HOOFDSTUK III. De gedragingen van de electronen in elec- trostatische en magnetische velden; het ontstaan van ruim- telading	10
§ 1. Electronen in een electrostatisch veld	10
§ 2. Electronen in een magnetisch veld	13
§ 3. Potentiaalverdeelingsdiagrammen	14
§ 4. De ruimtelading	17
HOOFDSTUK IV. De beginselen van de electronenemissie	21
§ 1. De binding van de electronen in het metaal	21
§ 2. De snelheids- of energieverdeling van de electronen en de uittreearbeit	22
§ 3. Electronenemissie en verzadigingsstroom	23
§ 4. Invloed van de electronenemissie op de potentiaal- verdeelingsdiagrammen	24
	09

§ 5. De aanloopstroom	25
§ 6. De contactpotentiaal tusschen metalen of het Volta-effect	28
§ 7. Het emissierendement	29
§ 8. De electronenemissie van oppervlakken van zuiver metaal	30
§ 9. De electronenemissie van oxydekkathoden	32
a) Het activeeren van de oxydekkathoden	33
b) De verzagingsstroom van de oxydekkathode	34
c) De aanloopstroom bij oxydekkathoden	35
d) De contactpotentiaal bij oxydekkathoden	35
HOOFDSTUK V. De secundaire electronenemissie	36
§ 1. De geschiktheid van oppervlakken om secundaire electronen te emiteeren	36
§ 2. De energieverdeling van de secundaire electronen; elastisch teruggekaatste primaire electronen	37
§ 3. Eenige praktische waarden voor den secundaire-emissiefactor	38
§ 4. Invloed van de hoedanigheid van het oppervlak op den secundaire-emissiefactor	40
HOOFDSTUK VI. Eenige belangrijke onderdeelen van de radiobuis	41
§ 1. De kathode	41
a) Direct verhitte kathoden	41
b) Indirect verhitte kathoden	44
§ 2. Roosters	46
§ 3. De anode	47
§ 4. De inwendige zwarting van den ballon	47
§ 5. De afschermingen	47
§ 6. Gasbinder (getter)	48
§ 7. Metalliseering	48
§ 8. Afschermkooi	48
HOOFDSTUK VII. Bouw van de radiobuis	49
§ 1. Glazen buizen met kneep	49
§ 2. Glazen buizen met bodem van geperst glas	54
a) Beschrijving van de constructie van een buis met een bodem van geperst glas	54
b) Voordeelen van de constructie zonder kneep	57
§ 3. Metalen buizen	61
§ 4. Nabeschouwing	65

HOOFDSTUK VIII. De fabricage van de radiobuis	66
§ 1. Glazen ballon en overige glazen deelen	68
§ 2. Huls van „Philite”	68
§ 3. De vervaardiging van kathoden en gloeidraden	69
§ 4. De vervaardiging van roosters	71
§ 5. De vervaardiging van anoden	76
§ 6. De vervaardiging van verdere onderdeelen	77
§ 7. De montage van het electrodensysteem	79
§ 8. Het luchtledig pompen van de buizen	80
§ 9. Het metalliseeren van de buizen	84
§ 10. Het proefbranden of uitbranden, mechanische en electrische contrôle	84
HOOFDSTUK IX. De verschillende taken, die de buizen moeten vervullen	89
§ 1. De aard van de signalen, die door de antenne worden opgevangen	89
a) Signalen, waarvan de amplitude wordt gemoduleerd	91
b) Signalen, waarvan de frequentie wordt gemonodeerd	95
§ 2. Beknopte uiteenzetting van de werking van het ontvangtoestel	99
§ 3. Voeding van de toestellen	103
§ 4. Opsomming van enkele taken, die de buizen moeten vervullen	104
HOOFDSTUK X. Schematische voorstelling van de electroden in de radiobuis	106
HOOFDSTUK XI. Benaming van de verschillende typen buizen en beknopte aanduiding van de toepassing ervan in ontvangtoestellen	107
§ 1. Dioden	107
§ 2. Trioden	108
§ 3. Tetroden	108
§ 4. Penthoden	109
§ 5. Hexoden	109
§ 6. Heptoden	110
§ 7. Octoden	110
§ 8. Gecombineerde buizen	111

HOOFDSTUK XII. Eigenschappen van de buizen	113
§ 1. Anodestroom-roosterspanningskarakteristiek	113
§ 2. Steilheid van de buis	114
§ 3. Anodestroom-anodespanningskarakteristieken	115
§ 4. Inwendige weerstand	116
§ 5. Versterkingsfactor	118
§ 6. Verband tusschen de scharen van I_a/V_g en van I_a/V_a karakteristieken	121
§ 7. Verschillende soorten koppelingen	122
§ 8. Voorstelling van den anodeweerstand in een schaar van I_a/V_a karakteristieken	124
§ 9. Vervangingsschema voor een versterkingsbuis	125
a) De buis als stroombron	125
b) De buis als spanningsbron	126
§ 10. Dynamische steilheid en dynamische karakteristieken	128
§ 11. Wisselstroomweerstand in de anodeketen	131
§ 12. Het vermogen in de anodeketen	133
§ 13. Keuze van het werkpunt	134
 HOOFDSTUK XIII. De werking van de verschillende roosters	137
§ 1. Het stuurooster	137
a) De stuurspanning	137
b) Het eilandeffect	139
§ 2. Het schermrooster	141
a) Principe	141
b) De stroomverdeeling	142
α) De stroomverdeeling in het gebied van terugkeerende electronen	144
β) De stroomverdeeling in het gebied van doorloopende electronen	146
c) De ruimtelading in de ruimte tusschen schermrooster en anode, de virtueele kathode	147
d) De secundaire emissie van de anode en het schermrooster bij een tetrode	149
§ 3. Het vangrooster	152
§ 4. Een tweede stuurooster achter een schermrooster . .	154
§ 5. Een schermrooster achter een tweede stuurooster .	154
 HOOFDSTUK XIV. De buiscapaciteiten	155
§ 1. De verschillende electrodecapaciteiten bij afwezigheid van ruimtelading	155
a) De capaciteiten van een triode	156

α)	De roostercapaciteit	157
β)	De anodecapaciteit	157
γ)	De rooster-anodecapaciteit	157
b)	De capaciteiten van een pentode	163
α)	De roostercapaciteit	163
β)	De anodecapaciteit	163
γ)	De rooster-anodecapaciteit	164
c)	De capaciteiten van een octode	165
d)	De capaciteiten van andere meerroosterbuizen en van gecombineerde buizen	165
§ 2.	De invloed van de ruimtelading op de capaciteiten	166

HOOFDSTUK XV. Gevolgen van de kromming der karakteristiek

	171
§ 1.	Vervorming	171
§ 2.	Het leggen van twee signalen aan hetzelfde rooster	176
§ 3.	Brommodulatie	177
§ 4.	Gevolgen van de kromming van de steilheidskarakteristiek	179
a)	Modulatievervorming en modulatieverdieping	179
b)	Kruismodulatie	182

HOOFDSTUK XVI. Eindversterking

	187
§ 1.	De taak, die de eindtrap te vervullen heeft, en de daarvoor toegepaste buizen	187
§ 2.	De aanpassing van den luidspreker aan de eindbus	188
§ 3.	De gunstigste aanpassing bij trioden in enkelvoudige schakeling	189
§ 4.	De gunstigste aanpassing bij pentoden in enkelvoudige schakeling	193
§ 5.	De vervorming in eindbuizen in enkelvoudige schakeling	195
a)	Eenige beschouwingen over de toelaatbare vervorming	195
b)	Het verband tusschen het uitgangsvermogen en de vervorming	197
c)	Het uitgangsvermogen en de vervorming bij waarden van de aanpassingsimpedantie, welke van de gunstigste afwijken	198
§ 6.	De eischen, die aan eindpentoden voor enkelvoudige schakeling moeten worden gesteld	202

	Blz.
§ 7. Balanseindtrappen	205
§ 8. Instelling klasse A	208
§ 9. Instelling klasse B	208
§ 10. Het sturen in het roosterstroomgebied	212
§ 11. Instelling klasse A/B	215
§ 12. Aanpassing van den luidspreker aan klasse B en klasse A/B eindtrappen	216
 HOOFDSTUK XVII. De gelijkrichting van het H.F. of M.F. signaal	
§ 1. De gelijkrichtende werking van een diode	218
§ 2. Invloed van de stroom-spanningskromme van de diode	222
§ 3. Invloed van het koppelement op de detectiewerking .	225
§ 4. De door den diodedetector veroorzaakte demping .	228
a) Het ontstaan van de demping	228
b) Vervangingsweerstand voor de gelijkrichtschakeling .	228
α) Demping bij groote signalen	228
β) Demping bij kleine signalen	229
c) Demping, indien de lekweerstand parallel aan den kring ligt	231
 HOOFDSTUK XVIII. Netspanningsgelijkrichters	
§ 1. Inleiding	232
§ 2. Enkelfasige gelijkrichtbuizen	232
§ 3. Dubbelfasige gelijkrichtbuizen	237
§ 4. Spanningsverdubbeling	238
§ 5. Berekening van de rimpelspanning	240
§ 6. De gemiddelde, effectieve en maximale stroom in de gelijkrichtschakeling	241
 HOOFDSTUK XIX. Opwekking van trillingen	
§ 1. Het ontdempen door een versterkingsbuis	244
§ 2. Automatische roostervoorspanning	245
§ 3. Het opnemen van den trillingskring in de anodeketen	249
§ 4. De voorwaarden voor genereeren	249
§ 5. De effectieve steilheid en de gemiddelde anodege- lijkstroom van de oscillatorbuis	252
§ 6. Speciale oscillatorschakelingen	256
§ 7. Het benutten van de opgewekte oscillatorspanning	257

	Blz.
HOOFDSTUK XX. Menging	260
§ 1. Grondbegrippen inzake de menging	260
§ 2. Mengbuizen, waarbij de oscillatorspanning en het H.F. signaal aan dezelfde electrode worden gelegd	265
§ 3. Mengbuizen, waarbij de oscillatorspanning en het H.F. signaal aan verschillende electroden worden gelegd	268
a) Mengbuizen, waarbij de electronenstroom eerst door het H.F. signaal en daarna door de oscillatorspanning wordt gestuurd	268
b) Mengbuizen, waarbij de electronenstroom eerst door de oscillatorspanning en daarna door de H.F. wisselspanning wordt gestuurd	272
§ 4. Nevenverschijnselen bij mengbuizen	273
a) Looptijdstroom	273
b) Inductie-effect	274
c) Frequentieverchuiving	279
d) Fluittonen	282
e) Ruisch	285
f) Kruismodulatie, modulatievervorming en brommodulatie	286
§ 5. Roosterstroomkrommen	286
HOOFDSTUK XXI. Regeling van de versterking (buizen met regelbare steilheid)	287
§ 1. Doel en verwezenlijking van de versterkingsregeling	287
§ 2. Voorwaarden, waaraan de geregelde buizen moeten voldoen	288
§ 3. Middelen, waarmede men den karakteristiekvorm beïnvloedt	290
§ 4. De logarithmische steilheidskarakteristiek en de niet-lineaire vervorming	293
§ 5. Meeloopende schermroosterspanning	297
§ 6. Toepassing van buizen met regelbare steilheid voor L.F. versterking	300
HOOFDSTUK XXII. Automatische volumeregeling	302
§ 1. Doel van de automatische volumeregeling	302
§ 2. Principiële verwezenlijking van de automatische volumeregeling	302
§ 3. Uitgestelde automatische volumeregeling	304

§ 4. Aansluiting van de diode voor de automatische volumeregeling op het voorafgaande bandfilter	305
a) De invloed op de selectiviteit van het bandfilter	306
b) De invloed op de scherpte van de afstemming op een zender	307
c) De invloed op de modulatievervorming	308
§ 5. De drie-diodenschakeling	309
§ 6. Practische verwezenlijking van drie-diodenschakelingen	313
§ 7. De regelingskromme van de automatische volumeregeling	315
§ 8. Versterkte automatische volumeregeling	317
§ 9. Automatische volumeregeling, waarbij de L.F. versterking mee wordt geregeld	319
§ 10. Korte opmerking betreffende de spanning over den lekweerstand bij afwezigheid van een draaggolf	321
HOOFDSTUK XXIII. De ruisch van versterkingsbuizen	322
§ 1. Algemeene beschouwingen over den ruisch en in het bijzonder over den ruisch van buizen	322
§ 2. Invloed van de weergavekromme	326
§ 3. Sterkte van den ruisch	327
§ 4. Vergelijking tusschen den ruisch der buizen en dien der kringen	329
§ 5. Verhouding tusschen de signaalsterkte en den ruisch	330
HOOFDSTUK XXIV. Kortegolfeigenschappen van versterkingsbuizen	333
§ 1. De demping van den trillingskring door hieraan parallel geschakelde buizen en schakelementen	333
§ 2. Eigenschappen van de buizen bij zeer hooge frequenties	335
a) De invloed van den looptijd der electronen op den ingangsweerstand	336
b) De invloed van zelfinducties van de toevoerleidingen en van inductieve en capacitieve kopplingen tusschen de leidingen onderling op den ingangs- en den uitgangsweerstand	337
c) De invloed van den looptijd van de electronen op de steilheid	339
d) De terugwerkingsimpedantie	340
§ 3. In- en uitgangscapaciteiten	341

§ 4. Eenige gemeten waarden voor Philips buizen	344
a) De ingangsweerstand	344
b) De uitgangsweerstand	345
§ 5. De invloed van de kortegolfimpedanties op praktische waarden van kringimpedanties	346
HOOFDSTUK XXV. Afstemmingsindicatie	348
§ 1. Doel van de afstemmingsindicatie	348
§ 2. Het principe, waarop de afstemmingsindicatie berust .	349
§ 3. De verschillende systemen van afstemmingsindicatie .	349
§ 4. De electronenstraal-indicatorbuis	351
§ 5. De neon-indicatorbuis	357
HOOFDSTUK XXVI. Laagfrequente tegenkoppeling	359
§ 1. Beschouwingen over de weergavekwaliteit van het ontvangtoestel	359
§ 2. Het principe van de laagfrequente tegenkoppeling .	361
§ 3. Met den uitgangswisselstroom evenredige tegenkoppeling	362
a) Invloed van de stroomtegenkoppeling op de versterking, de vervorming en den inwendigen weerstand	362
b) Practische verwezenlijking van de stroomtegenkoppeling	367
§ 4. Met de uitgangswisselspanning evenredige tegenkoppeling	370
a) Invloed van de spanningstegenkoppeling op de versterking, de vervorming en den inwendigen weerstand	370
b) Practische verwezenlijking van de spannings-tegenkoppeling	374
§ 5. De invloed van de tegenkoppeling op storingen	377
§ 6. De correctie van de frequentiekarakteristiek met behulp van tegenkoppeling	378
§ 7. Toepassing van gecombineerde buizen in den L.F. voorversterkingstrap	383
§ 8. Faseverhoudingen en stabiliteit in tegenkoppelings-schakelingen	385
HOOFDSTUK XXVII. Door het net veroorzaakte brom	387
§ 1. Inleiding	387
§ 2. Beschouwingen over de componenten van de wisselspanning van het net	387

§ 3. Invloed van de frequentieafhankelijkheid van de oor-gevoeligheid	388
§ 4. Definitie van de bromspanning	389
§ 5. De toelaatbare bromspanning	389
a) Het bepalen van de toelaatbare bromspanning bij eindbuizen	390
b) Het bepalen van de toelaatbare bromspanning bij L.F. voorversterkingsbuizen	390
c) Het bepalen van de toelaatbare bromspanning bij detectiedioden	391
d) Het bepalen van de toelaatbare bromspanning bij H.F. en M.F. buizen	391
e) Het bepalen van de toelaatbare bromspanning bij mengbuizen	392
§ 6. De verschillende oorzaken van brom in de buis	392
a) Anodebrom	393
b) Roosterbrom	394
c) Kathodebrom	396
§ 7. Brom ten gevolge van de wisselstroomvoeding van direct verhitte buizen	398

HOOFDSTUK XXVIII. Microfonisch effect in ontvangstbuizen 400

§ 1. Inleiding	400
§ 2. Oorzaken voor het ontstaan van microfonisch effect	400
§ 3. L.F. microfonisch effect	401
§ 4. Invloed van de bedrijfsspanningen op L.F. microfonisch effect	405
§ 5. H.F. microfonisch effect	405
§ 6. Microfonisch effect bij mengbuizen	408
§ 7. Krakende en krassende geluiden	409
§ 8. Ratelende geluiden	410
§ 9. Slotbeschouwing over de kwaliteit van de buizen	410

HOOFDSTUK XXIX. Verschijnselen, die tijdens den levensduur van de buizen optreden 412

§ 1. Achteruitgang van de emissie	412
§ 2. Verandering van de contactpotentiaal tusschen stuurrooster en kathode	414
§ 3. Omgekeerde roosterstroom	415
a) Ionenstroom	415
b) Roosteremissie	417
c) Isolatiestroom	418

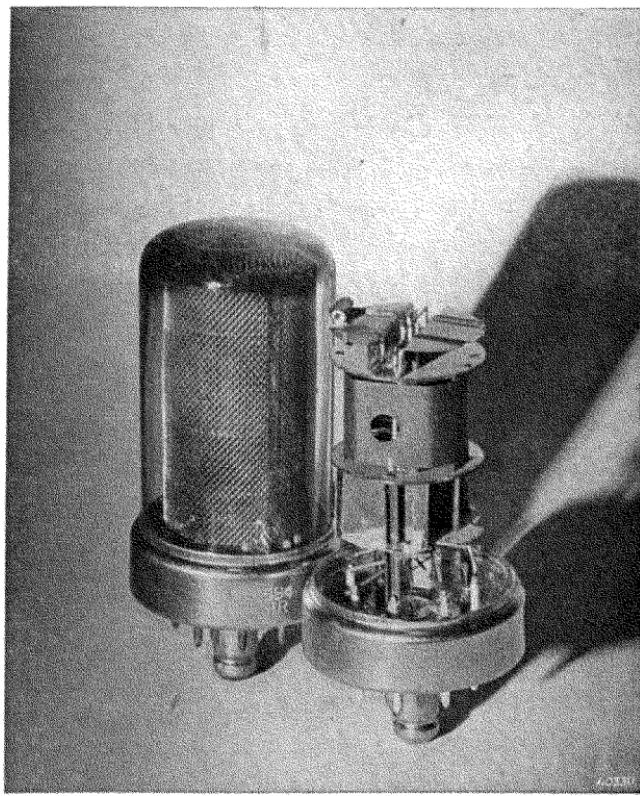
§ 4. Tegenemissie	419
§ 5. Electrolyse in den kneep	419
HOOFDSTUK XXX. Eenige mogelijke storingsverschijnselen door secundaire emissie van isoleerende deelen in de buis	421
§ 1. Het opladen van isolatoren of geïsoleerde deelen	421
§ 2. Invloed van de oplading van isolatoren op de werking van de buizen	424
a) H.F. buizen, schakeleffect	424
b) Eindbuizen, vervormingseffect	424
§ 3. Middelen ter vermindering van het schakel- en van het vervormingseffect in de buis	427
HOOFDSTUK XXXI. Voeding van de buizen	428
§ 1. De verschillende voedingsbronnen en de erbij toegepaste buizen	428
§ 2. Voeding van wisselstroomtoestellen	431
a) Gloeispanning	432
b) Anodespanning	433
c) Spanningen voor de andere stroomvoerende electroden	434
d) Negatieve roosterspanningen	435
§ 3. Voeding van gelijkstroom-wisselstroomtoestellen	436
a) Gloeidraadvoeding	436
α) Volgorde van de gloeidraden	437
β) Overbelasting van de gloeidraden door schommelingen van de netspanning	438
γ) Stroomstooten bij het inschakelen van den gloeistroom	440
b) Anodespanning	441
c) Omschakeling bij verandering van netspanning	443
§ 4. Voeding van automobielontvangers	445
§ 5. Voeding van batterijtoestellen	447
§ 6. Voeding van batterij-, gelijkstroom- en wisselstroomtoestellen	450
HOOFDSTUK XXXII. De gevoeligheid van een ontvanger of van een versterkingstrap	454
AANHANGSEL (definities, formules, tabellen en grafieken)	457
I. Eenheden	458
A. Definitie van en het verband tusschen de verschillende eenhedenstelsels	458

Tabel: Het verband tusschen practische, electromagnetische en electrostatische eenheden	458
B. De definitie en de eenheden van capaciteit en zelf-inductie	459
C. De waarden van enige natuurconstanten	459
II. Gelijkstroomketens	460
III. Wisselstroomketens	462
IV. Trillingskringen	467
1) Vrije trillingen	467
2) Gedwongen trillingen	467
A. Serieschakeling van C, L en R	467
B. Parallelschakeling van C aan L en R in serie	468
C. Parallelschakeling van L, C en R	469
3) Selectiviteit en kwaliteit van trillingskringen	470
A. De selectiviteit van een trillingskring	470
B. Parallelschakeling van een weerstand aan een trillingskring	471
C. Serieschakeling van een weerstand met de spoel of den condensator van een trillingskring	471
D. Bepaling van de grootte van den kwaliteitsfactor R/L of 1/R'C van den kring	471
E. Algemeene formules voor de selectiviteit en de kwaliteit van trillingskringen	471
a) Definities	471
b) Formules	471
c) Bepaling van den kwaliteitsfactor d	472
d) Invloed van de vergrooting van den serie-weerstand in of van de parallelschakeling van een weerstand aan den kring op den kwaliteitsfactor	472
V. Bandfilters	472
Bandfilterkrommenblad I	474
Bandfilterkrommenblad II	475
VI. De frequentiekarakteristiek van RC-koppelingen in laagfrequentversterkingstrappen	476
1) Weerstandskoppeling tusschen twee buizen	476
A. De frequentiekarakteristiek voor hoge frequenties	476

B. De frequentiekarakteristiek voor lage frequenties.	477
2) Automatische negatieve roosterspanning	478
3) Ontkoppeling door een RC-filter	478
4) Koppeling door een CR-element	479
VII. De H.F. weerstand van rond draad ten gevolge van het skineffect (met 3 tabellen)	479
VIII. Berekening van zelfinducties	481
1) De zelfinductie van een cirkelvormige winding van een ronden draad	481
2) De wederzijdsche inductie tusschen twee gelijke, evenwijdige, cirkelvormige windingen van een ronden draad	481
3) De zelfinductie van een vierkante winding	482
4) De zelfinductie van luchtpoelen	482
IX. Eigenschappen van lange leidingen	486
1) Rechte, ronde draad parallel aan aarde	486
2) Twee parallele draden in lucht opgehangen	486
3) Concentrische leiding of kabel	486
X. Berekening van capaciteiten	487
De capaciteit van een condensator bestaande uit twee evenwijdige vlakke platen	487
XI. Tabellen en grafieken	488
Decibel en neper	488
Tabel voor het omrekenen van golflengten in frequenties en omgekeerd	489
De doorslagveldsterkte van enkele isolatiematerialen . .	490
De diëlectriciteitsconstante en de verliesfactor van isolatiematerialen bij kamertemperatuur	490
Soortelijke weerstand, soortelijk geleidingsvermogen, soortelijk gewicht en temperatuurcoëfficiënt van materialen .	491
Weerstand van geëmailleerd zacht electrolytisch koperdraad (rond)	492
Overzicht van Philips publicaties op het gebied van radiobuizen, radio-ontvangst en aanverwante gebieden	493
Eenige boekwerken op het gebied van electronenbuizen en hun toepassingen	502
Symbolen en aanduidingen	504

Inleiding

De radiobuis versterkt de uiterst zwakke spanningen, die in de antenne worden geïnduceerd, tot zij sterk genoeg zijn, om het gekozen programma met voldoende geluidssterkte in de woonkamer weer te geven; zij vormt aldus het belangrijkste onderdeel van het ontvangsttoestel. De spanningen, die door een zender van gemiddelde sterkte in de antenne worden geïnduceerd, zijn in de orde van grootte van enkele duizendsten volt; bij normaal kamergeluid bedraagt de spanning over den luidsprekertransformator ca. 20—30 V, bij maximale geluidssterkte kan zij tot 150 V en hooger oplopen. Het vermogen van het signaal aan den ingang van de eerste versterkingsbuis zal gemiddeld in de orde van grootte van 4×10^{-12} W zijn, terwijl in een normaal toestel, bij volle geluidssterkte, een vermogen van ca. 4 W aan den luidspreker wordt geleverd, zoodat in het toestel een billioenvoudige versterking plaats heeft. Het geheele proces der versterking speelt zich in de buizen van het toestel af, die dus een zeer belangrijke taak moeten vervullen. Zonder de ontwikkeling van de electronenbuis, zou de radiotechniek in de tegenwoordige volmaaktheid niet mogelijk zijn; haar zou integendeel een uiterst bescheiden uitbreiding in een primitieven vorm ten deel zijn gevallen. Ook heden ten dage wordt de vooruitgang van den radioomroep en de berichtenoverbrenging, evenals die van de nog jonge televisietechniek, door de ontwikkeling en vervolmaking van de electronenbuis bepaald. Ook op andere gebieden gaat de electronenbuis een grote rol spelen. We behoeven in dit verband slechts te wijzen op de moderne meetinstrumenten en het gebruik van electronenbuizen in geautomatiseerde industrieën.



Het uiterlijk van een moderne buis met de inwendige constructie ervan.

HOOFDSTUK I

Grondbeginse van de werking der radiobuis

§ 1. Electroden

De radiobuis bestaat uit een glazen of metalen vat (buis of ballon), dat door pompen en andere bewerkingen nagenoeg volkomen luchtledig (vrij van gassen) is gemaakt. In dit vat bevindt zich een **electroden-systeem**; in den eenvoudigsten vorm bestaat het uit twee **electroden**; meer gecompliceerde systemen hebben drie of meer electroden. Een electrode is een in de buis geïsoleerd aangebracht metalen deel; de verschillende electroden in de buis worden op bepaalde plaatsen met behulp van metalen geleiders, de **doorvoerdraden**, door den buiswand naar buiten gevoerd; ze kunnen hierdoor buiten de buis electrisch met een **spanningsbron** worden verbonden. De doorvoerdraden zijn aan **aansluitcontacten** vastgesoldeerd, bijv. aan de contacten of pennen van de **huls** of aan het **topcontact** van de buis. Tot de electroden van een buis behoren altijd ten minste een **kathode** en een **anode**. De electrode, die met de **negatieve pool** van een gelijkspanningsbron wordt verbonden, heet **kathode**, die welke met de **positieve pool** wordt verbonden, **anode**. Sluit men twee in een luchtledig vat aangebrachte metalen platen, waarvan de eene dus als kathode en de andere als anode wordt gebruikt, op een spanningsbron aan, dan zal normaal geen stroom door de luchtledige ruimte (het **vacuum**) vloeien¹⁾. Dit zal pas het geval zijn, als voor de kathode een geschikt materiaal wordt gebruikt en dit bovendien door verwarming op een voldoend hooge temperatuur wordt gebracht (**thermische electronenemissie**)²⁾.

Bij voldoend hooge spanning tus-schen kathode en anode vloeit dan een electronenstroom van de eerstge-noemde electrode naar de laatstge-noemde

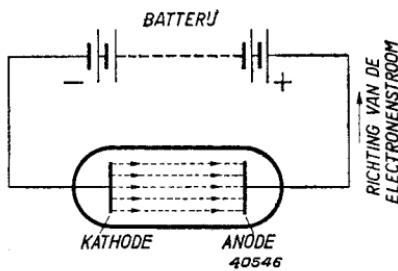


Fig. 1

Luchtledig glazen vat met kathode en anode. Door een positieve spanning tusschen anode en kathode ontstaat van de kathode naar de anode een electronenstroom door het vacuum, mits de kathode uit geschikt materiaal is vervaardigd en op voldoend hooge temperatuur is gebracht.

¹⁾ Afgezien van het geval, dat de spanning tusschen de electroden zeer hoog is, en van het foto-elektrische effect.

²⁾ De begrippen electronen, electronenstroom en electronenemissie zullen in de volgende hoofdstukken worden toegelicht.

de¹): de anodestroom (fig. 1). Hierbij wordt een vermogen verbruikt, dat gelijk is aan de aangelegde spanning, vermenigvuldigd met den stroom van kathode naar anode (toegevoerd anodevermogen).

§ 2. De gelijkrichtwerking

Daar de anode niet wordt verwarmd, zal geen stroom door het vacuum vloeien, indien de positieve pool van de spanningsbron (batterij) met de kathode en de negatieve pool met de anode wordt verbonden. Als tusschen de kathode en de anode een wisselspanning wordt gelegd, zal alleen in het tijdsverloop, gedurende hetwelk de anode t.o.v. de kathode positief is, stroom door de buis vloeien. Gedurende het tijdsverloop, waarin de anode negatief is, vindt geen stroomdoorgang plaats.

Hierop berust de **gelijkrichtwerking** van de buis, waarvan bijv. in zoogenaamde detectoren voor de gelijkrichting van het ontvangen signaal gebruik wordt gemaakt. Verder wordt deze gelijkrichtwerking benut voor het omvormen van wisselstroom uit het lichtnet in gelijkstroom.

§ 3. De versterking door sturen van den anodestroom

De werking van de **versterkingsbuis** berust hierop, dat de elektrische stroom, de z.g. **anodestroom**, die van de kathode naar de anode vloeit, wordt gestuurd. Dit geschieht met behulp van een bijzondere electrode tusschen de kathode en de anode: een **stuurelectrode**. Door tusschen de stuurelectrode en de kathode een spanning te leggen, wordt de stroomsterkte (electronenstroom) van de kathode naar de anode geregeld (fig. 2). Deze stuurelectrode wordt **rooster** of **stuurrooster**, soms ook **ingangsrooster**, genoemd. Wordt aan het stuurrooster een wisselspanning gelegd (fig. 3), dan zal de stroom naar de

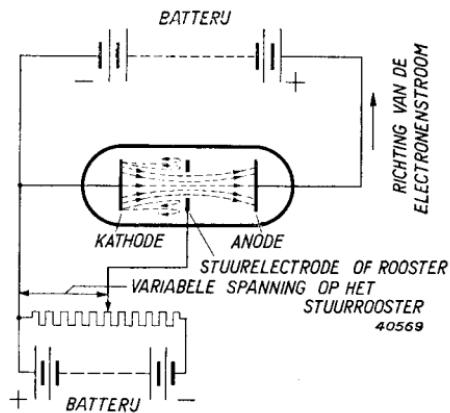


Fig. 2
Luchtledig glazen vat met kathode, anode en stuurelectrode. Door de negatieve spanning tusschen de stuurelectrode en de kathode te regelen, kan de stroomsterkte van de kathode naar de anode worden beïnvloed. Zou de stuurelectrode positief zijn, dan zou deze, evenals de anode, stroom opnemen.

¹) In dit hoofdstuk wordt als stroomrichting bewegingsrichting van de electronen aangenomen.

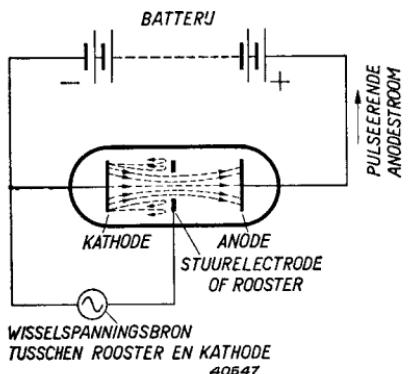


Fig. 3

Luchtledig glazen vat met kathode, anode en stuurelectrode. Tusschen de stuurelectrode en de kathode wordt een wisselspanning gelegd, die een pulseerenden gelijkstroom in de anodeketen ten gevolge heeft. Deze pulseerende gelijkstroom kan worden ontleed in een gelijkstroom met gesuperponeerde wisselstroom.

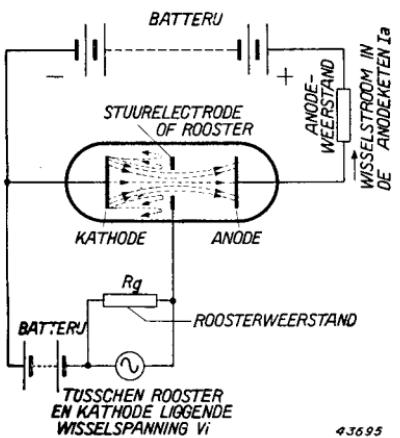


Fig. 4

Luchtledig glazen vat met kathode, anode en stuurelectrode. In de anodeketen bevindt zich een weerstand, terwijl tusschen stuurelectrode en kathode een negatieve voorspanning, een weerstand R_g en een wisselspanningsbron met een spanning V_i is geschakeld.

Hierin is V_i de effectieve waarde van de roosterwisselspanning.

Als de wisselstroomcomponent in de anodeketen een effectieve waarde heeft van $I_{a\text{ eff}}$, bedraagt de wisselstroomenergie in de anodeketen $I_{a\text{ eff}}^2 \cdot R_a$ (R_a is de weerstand in de anodeketen).

anode afwisselend sterker en zwakker worden en neemt de stroom in de **anodeketen**, d.w.z. buiten de buis, tusschen anode en kathode, ook periodiek toe en af. Ten gevolge van de gelijkrichtwerking van de buis, kan de anodestroom niet in de richting tegengesteld aan die van den pijl vloeien, dus niet van de anode naar de kathode. De stroom in de anodeketen is dus een pulseerende gelijkstroom en kan worden beschouwd als de **superpositie** van een gelijkstroom en een wisselstroom. Door in de anodeketen hiervoor geschikte elementen op te nemen, zooals bijv. een **weerstand** of een **impedantie** (wisselstroomweerstand, zie fig. 4), kan de op den gelijkstroom gesuperponeerde wisselstroom worden omgezet in een wisselspanning, die veel groter is dan de wisselspanning op het stuurooster: de **roosterwisselspanning**. De wisselspanning, die op het stuurooster werd gebracht, bevindt zich dus versterkt aan de anodezijde van de buis; men heeft een zoogenaamde **spanningsversterking** verkregen (anodewisselspanning gedeeld door de roosterwisselspanning). In de roosterketen bevindt zich meestal een weerstand of een impedantie. Als men dezen weerstand door R_g aanduidt, zal, afgezien van de in de volgende paragraaf beschreven bijkomstigheden, volgens de wet van Ohm in de roosterketen een energie worden verbruikt van:

$$\frac{V_i^2}{R_g}.$$

Als de topwaarde van den anodewisselstroom nu kleiner is dan de anodegelijkstroom, wordt de anodestroom nooit gelijk aan nul en zal de anodewisselstroom op soortgelijke wijze als de roosterwisselspanning varieeren. Doorgaans zal de energie $I_a^2 \cdot R_a$ in de anodeketen grooter zijn dan de aan het rooster toegevoerde energie $\frac{V_i^2}{R_g}$; men spreekt in dit geval van **energieversterking** (geleverde anode-energie gedeeld door de toegevoerde roosterenergie, beide afgeleid van de aanwezige wisselstroomen, resp. -spanningen).

§ 4. De negatieve roosterspanning van versterkingsbuizen

In paragraaf 3 werd voor het sturen van den kathode-anodestroom door middel van een wisselspanning aangenomen, dat een energie van V_i^2 / R_g noodig is. Dit is alleen juist, voor zoover de spanning van het rooster t.o.v. de kathode negatief is. Zou het door een wisselspanning gestuurde rooster gedurende een gedeelte van de wisselspanningsperiode positief worden, dan zou het rooster gedurende dit gedeelte van de periode als anode werken, zoodat ook naar deze electrode stroom uit de kathode zou vloeien (**roosterstroom**), zie fig. 5. Voor het leveren van dezen stroom is doorgaans belangrijk meer energie noodig dan de vermelde roosterenergie $\frac{V_i^2}{R_g}$. Daardoor wordt de energieversterking aanzienlijk verkleind. Om roosterstroom te vermijden, wordt aan het rooster een negatieve gelijkspanning gelegd (fig. 4), de **negatieve roosterspanning**, die een zoodanige waarde heeft, dat, na het aanleggen van de te versterken wisselspanning, de resulteerende spanning nooit positief kan worden. Op het rooster bevindt zich dan derhalve een negatieve gelijkspanning, waarop een wisselspanning is gesuperponeerd.

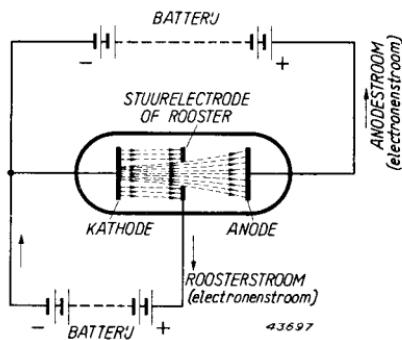


Fig. 5

Als de stuurelectrode positief is, zal ook deze stroom opnemen; tusschen rooster en kathode vloeit dan roosterstroom.

HOOFDSTUK II

Eenige physische begrippen omtrent electronen en electrischen stroom

§ 1. Electronen

De verschijnselen der elektrische geleiding in vloeistoffen (electrolyse) en in verdunde gassen leidden er toe aan te nemen, dat de elektrische lading in eindige kleine hoeveelheden is verdeeld. Bij het verschijnsel der **kathodestralen** heeft men direct met deze elementaire lading te maken; zij treedt op in den vorm van negatief geladen deeltjes, **electronen**, met een lading van

$$e = 4,8 \times 10^{-10} \text{ electrostatische eenheden (e.s.e.) of}$$

$$e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ coulomb (practische eenheden) of}$$

$$e = 1,60 \times 10^{-20} \text{ electromagnetische eenheden (e.m.e.).}$$

De kathodestralen zijn niets anders dan electronen, die zich in een buis met groote snelheid van de cathode naar de anode bewegen. Zij kunnen zichtbaar worden gemaakt door gebruik te maken van het verschijnsel, dat een vaste stof (bijv. zinksilicaat) licht geeft, indien deze door electronen met een groote snelheid wordt getroffen¹⁾. Daardoor is men ook in staat, de afbuiging van een kathodestraalbundel in een magnetisch veld te onderzoeken. Uit deze afbuiging kan, behalve de snelheid, ook de verhouding $\frac{e}{m_e}$ van lading en massa van het electron worden afgeleid. Deze bedraagt $5,27 \cdot 10^{17}$ e.s.e./g of, in praktische eenheden, $1,76 \cdot 10^8$ coulomb/g, waaruit met de in het voorgaande gegeven waarde van e , volgt, dat de massa m_e van het electron gelijk is aan

$$m_e = 9,1 \times 10^{-28} \text{ g.}$$

De massa van een electron is ongeveer 1840 maal kleiner dan die van het lichtste atoom, het waterstofatoom.

§ 2. De bouw van het atoom

Alle materie is, zooals bekend, opgebouwd uit atomen. De moderne atoomtheorie stelt zich het atoom voor als een samenstel van kleinere bestanddeelen, namelijk de **atoomkern**, waarin het grootste gedeelte van de massa is opgehoopt, en een aantal electronen. De atoomkern draagt een positieve lading, die een veelvoud is van de elementaire lading e . Het aantal electronen per atoom is zoodanig, dat de totale

¹⁾ Deze methode wordt tegenwoordig bij kathodestraalbuizen toegepast.

lading juist nul is. De bouw van het atoom moet nu zoo worden opgevat, dat de positieve kern zich in het centrum bevindt en dat een ijle zwerm van electronen zich daaromheen beweegt, ongeveer zooals planeten zich om de zon bewegen. Hierbij zijn de electronenbanen in bepaalde groepen, schalen of schillen genoemd, te rangschikken. Bij de zwaarste atomen onderscheidt men 7 van zulke schillen.

Worden één of meer electronen uit de buitenste schil verwijderd, dan blijft een atoom met een tekort aan negatieve, dus een teveel aan positieve lading, over. Zulk een atoom wordt een **positief ion** genoemd. Het onttrekken van een elektron aan een atoom kost in het algemeen arbeid, omdat daarbij o.a. de electrostatische aantrekking tusschen het negatieve elektron en de positieve rest van het atoom moet worden overwonnen. Deze arbeid wordt **ionisatie-arbeid** genoemd. Men kent ook negatieve ionen, die ontstaan, doordat aan een (neutraal) atoom een extra elektron wordt toegevoegd.

Verscheidene atomen of ionen kunnen onder bepaalde omstandigheden vereenigd zijn tot een **molecuul**. Zoo bestaan de gassen waterstof, zuurstof en stikstof uit moleculen (H_2 , O_2 en N_2), die ieder uit twee gelijke atomen zijn samengesteld. Een voorbeeld van **ionenmoleculen** vindt men in den damp van keukenzout ($NaCl$), ontstaan door samenvoeging van een positief natriumion (Na^+) en een negatief chloorion (Cl^-).

§ 3. De bouw van de vaste stof

In sommige gevallen kan een vaste stof worden opgevat als een samenstel van regelmatig gerangschikte moleculen. Voor een groot aantal gevallen is deze opvatting echter minder juist en moet zij door een andere worden vervangen. Dit is het geval bij de belangrijke groep der metalen en verder bij vele eenvoudige verbindingen, zooals metaalzouten, oxyden enz. In deze gevallen vormen de atomen zelf de bouwstenen, en wel niet in neutralen maar in geïoniseerde toestand. Bij metalen, bijv. wolfraam, vinden wij de atomen als positieve ionen gerangschikt volgens een regelmatig patroon (**ionenrooster**), terwijl zich in de ruimten tusschen de ionen „vrije” negatieve electronen bevinden. Het beeld van een metaal is dus, zooals in fig. 6 bijv. voor wolfraam is aangegeven. In deze figuur stellen de stippen de „vrije” electronen voor, die zich door het metaal kunnen bewegen. Men spreekt dan ook wel van een **electronengas**, dat zich tusschen de ionen van het metaal bevindt.

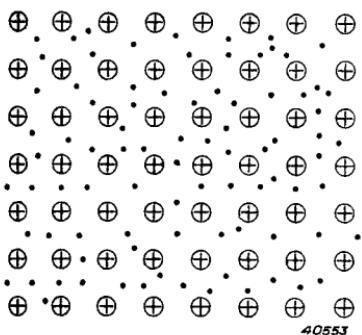


Fig. 6

Schematische voorstelling van een ionenrooster van het metaal wolfraam. De cirkels stellen de positieve metaalionen voor, de punten de negatieve electronen van het electronegengas (2 vrije electronen per ion).

wegen positief worden genoemd.

De electrische weerstand komt tot stand, doordat de ionen de electronen in hun beweging hinderen. Daarbij wordt de kinetische energie, die de electronen onder invloed van het veld verkrijgen, aan de ionen overgedragen, die daardoor in sterkere mate aan de warmtebeweging van het ionenrooster gaan deelnemen. Zoo ontstaat de verwarming van een geleider bij doorgang van een electrischen stroom.

Evenals de „vrije” electronen in een metaal zich onder invloed van een electrisch veld door de ruimte tusschen de ionen bewegen, zullen electronen, die zich in een ledige ruimte bevinden, bij aanwezigheid van een electrisch veld zich in de richting tegengesteld aan de richting van de krachtlijnen van het veld verplaatsen en dus van de negatieve pool (kathode) naar de positieve pool (anode) bewegen. Op dit verschijnsel berust de electrische stroomdoorgang in een radiobuis.

§ 4. Het ontstaan van een electrischen stroom; electrische weerstand

Onder invloed van een electrisch veld kunnen de vrije electronen in het metaal in beweging geraken. Dit is het verschijnsel van den electrischen stroom. Daar de electronen een negatieve lading hebben, is de richting waarin zich de electronen bewegen tegengesteld aan de positieve stroomrichting.

In het vervolg zal, in tegenstelling met hoofdstuk I, in overeenstemming met het gebruik in de electrotechniek, de stroom waarvan de richting tegengesteld is aan de richting waarin zich de electronen be-

HOOFDSTUK III

De gedragingen van de electronen in electrostatische en magnetische velden; het ontstaan van ruimtelading

In de radiobuis bevindt zich, zooals in het eerste hoofdstuk werd vermeld, een verhitte kathode van een hiervoor geschikt materiaal. De temperatuur van de kathode moet zoo hoog zijn, dat de electronen het materiaal, waaruit de kathode bestaat, in voldoende hoeveelheid verlaten; deze electronen komen dan in de luchtledige ruimte van de buis. Het wezen van de electronenemissie zal echter pas in het volgende hoofdstuk worden besproken; allereerst zullen de gedragingen van electronen, die zich onder invloed van electrostatische of magnetische velden bevinden, worden beschouwd.

§ 1. Electronen in een electrostatisch veld

Fig. 7 stelt twee in een luchtledige ruimte evenwijdig opgestelde platen voor, die zich op een afstand d van elkaar bevinden. Wordt nu tusschen de platen een spanning V gelegd, dan ontstaat een electrostatisch veld,

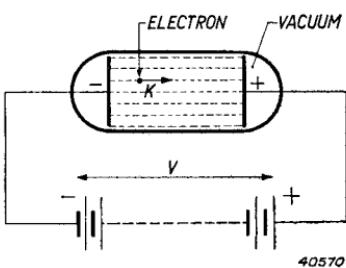


Fig. 7

Een vrij electron tusschen twee in het luchtledige evenwijdig opgestelde platen; tusschen de platen bevindt zich een spanning V , die een electrostatisch veld met parallel loopende krachtlijnen veroorzaakt.

waarvan de krachtlijnen, afgezien van het randgebied der platen, parallel lopen. De veldsterkte F zal in elk punt van de parallel loopende krachtlijnen gelijk zijn aan V/d . Bevindt zich nu op een willekeurig punt in het veld een electron (lading $-e$), dan zal op dit electron door de **positieve** electrode een electrostatische aantrekking worden uitgeoefend. De aantrekking wordt bepaald door de veldsterkte F in het punt, waar het electron zich bevindt.

De aantrekkingskracht K (in fig. 7 aangegeven door een pijl in de richting van de aantrekking) is dan gelijk aan:

$$(1) \quad K = e \cdot F \text{ dyne},$$

waarin e en F in electrostatische eenheden moeten worden uitgedrukt. In praktische eenheden wordt deze formule:

$$(2) \quad K = e \cdot F \cdot 10^7 \text{ dyne},$$

waarin $e = 1,60 \times 10^{-19}$ coulomb, terwijl F in volt/cm is uitgedrukt.

Door deze kracht wordt het electron in de richting van de kracht versneld. Daar de kracht gelijk is aan het product van massa en versnelling, zal het electron een versnelling (in cm/sec²) krijgen van:

$$(3) \quad g = \frac{e \cdot F \cdot 10^7}{m_e} \quad (m_e = \text{massa van het electron}).$$

Stelt men zich nu voor, dat het electron oorspronkelijk bij de negatieve plaat stil stond, dan zal het, na een potentiaalverschil V te hebben doorlopen, een kinetische energie van $\frac{1}{2} m_e \cdot v^2$ hebben verkregen ($v = \text{snelheid van het electron}$). Deze kinetische energie is gelijk aan den door het veld op het electron verrichten arbeid $e \cdot V \cdot 10^7$ (10⁷ vanwege het rekenen met praktische eenheden).

Men krijgt dus:

$$(4) \quad \frac{1}{2} m_e \cdot v^2 = e \cdot V \cdot 10^7,$$

of

$$(4a) \quad v = \sqrt{2 \cdot 10^7 \cdot \frac{e}{m_e} V} \quad (\text{cm/sec}).$$

Daar $\frac{e}{m_e} = 1,76 \cdot 10^8$ coulomb/gr, is de eindsnelheid van het electron, na het doorlopen van een potentiaalverschil V, volgens formule (4a) gelijk aan:

$$(5) \quad v = 5,93 \times 10^7 \sqrt{V} \quad (\text{cm/sec}).$$

Bij een spanningsverschil van 200 V tusschen kathode en anode wordt dus een eindsnelheid van $8,4 \times 10^8$ cm/sec of 8400 km/sec gevonden. Als het electron een spanning van 1 V heeft doorlopen, bedraagt de eindsnelheid 593 km/sec, overeenkomend met een kinetische energie van $\frac{1}{2} m_e \cdot v^2 = 1,60 \times 10^{-12}$ erg. Deze energie noemt men **electronvolt** (eV); zij wordt vaak als eenheid gebruikt, ook als het niet gaat om bewegingen van electrisch geladen deeltjes in een electrostatisch veld.

Beschouwen we nu het geval, dat een electron door een kleine opening in de positieve electrode vliegt en in een ruimte terecht komt, waarin zich geen veld bevindt (een dergelijke ruimte kan bijv. worden verkregen door achter de eerste plaat een tweede op te stellen met dezelfde positieve potentiaal — zie ook fig. 8). Doordat het electron niet meer door een veld wordt beïnvloed, zal het zich met eenparige snelheid (dus ook rechtlijnig) verder verplaatsen, en wel met de snelheid, die door het verschil in potentiaal tusschen de platen A en B in fig. 8 wordt bepaald. Daar dit stel platen door de opening een electron af-

schiet, noemt men het ook wel **electronenkanon**.

Als een dergelijk afgeschoten electron nu in een electrostatisch veld komt, waarvan de krachtlijnen loodrecht op de bewegingsrichting van het electron staan (fig. 9), wordt het electron opnieuw versneld en wel in de richting van de positieve plaat, loodrecht op de bewegingsrichting. De electronenbaan wordt dan parabolisch afgebogen (zoals ook een horizontaal afgeschoten kogel ten gevolge van de aantrekkingskracht der aarde een parabolische baan beschrijft), zoodat het electron het afbuigende electrische veld met een nieuwe bewegingsrichting verlaat.

De afwijkking a (zie fig 9), die de electronenbaan op een afstand L van het stel platen ten gevolge van het afbuigende veld zal vertoonen, kan op eenvoudige wijze worden berekend.

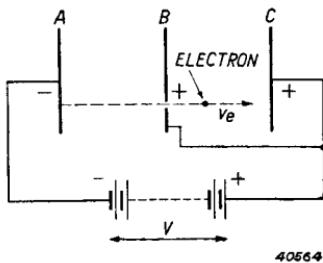


Fig. 8

Vliegt een elektron door een opening in de positieve elektrode B en komt het in een veldvrije ruimte, dan beweegt het zich met eenparige snelheid voort.

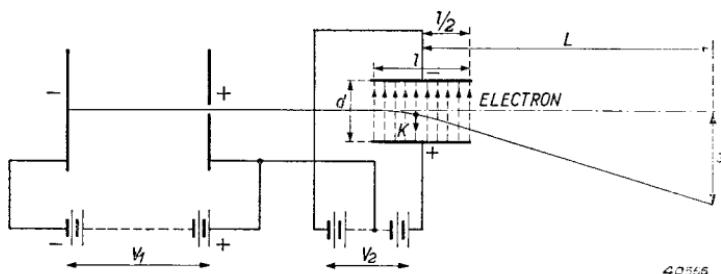


Fig. 9

Geraakt het elektron, dat oorspronkelijk een rechte baan beschreef, in een electrostatisch veld, dat loodrecht staat op de oorspronkelijke bewegingsrichting, dan wordt de baan afgebogen en verplaatst het elektron zich, na het veld te hebben verlaten, in een nieuwe richting.

Zij is bij benadering gelijk aan:

$$(6) \quad a = \frac{1}{2} \cdot \frac{L}{V_1} \cdot \frac{1}{d} \cdot V_2.$$

De grootte van de afbuiging hangt volgens vergelijking (6) dus af van de spanning V_1 ; van de lengten L , l en d en ten slotte van de afbuigende spanning V_2 . (Hierop berust bijv. de electrostatische afbuiging bij kathodestraalbuizen.)

De afbuiging van electronen in een electrostatisch veld geschiedt in de richting tegengesteld aan die van de krachtlijnen.

In versterkingsbuizen zijn de verhoudingen meestal niet zoo eenvoudig en is de verdeeling van het veld zoo gecompliceerd, dat een nauwkeurige berekening van den loop der electronen moeilijk kan worden uitgevoerd. Er bestaan echter hulpmiddelen, die de berekening van den weg, dien de electronen in een buis afleggen, mogelijk maken.¹⁾

§ 2. Electronen in een magnetisch veld

Een electron, dat zich voortbeweegt, kan als een electrischen stroom worden opgevat. Bij een stroom van 1 A in een draad verplaatsen zich door elke doorsnede per secunde $6,25 \times 10^{18}$ electronen in de richting van de positieve pool.

Een electron, dat zich door het luchtlidige van een buis beweegt, vormt eveneens een, zij het uiterst kleinen, stroom. Beweegt het electron zich door een magnetisch veld, dan zal op het electron, evenals op een geleider, waar stroom doorheen vloeit, een kracht worden uitgeoefend.

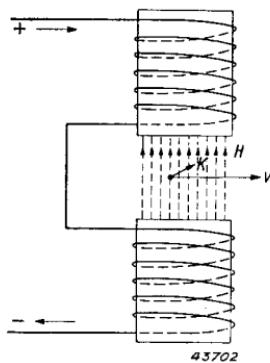


Fig. 10

Op een bewegend electron in een magnetisch veld wordt een kracht K uitgeoefend (in de richting loodrecht op v en H en van den lezer af).

(in fig. 10 naar achteren gebogen). De straal van deze baan kan worden berekend; de centripetaalkracht moet namelijk gelijk zijn aan de (magnetische) kracht K , zoodat:

$$(8) \quad \frac{m_e \cdot v^2}{r} = H \cdot e \cdot v,$$

of:

$$(9) \quad r = \frac{m_e \cdot v}{e \cdot H} \text{ cm} \quad (e \text{ en } H \text{ in electromagnetische eenheden}).$$

Deze kracht is, volgens de electromagnetische wetten, loodrecht op de bewegingsrichting van het electron en op de richting van het veld gericht.

De kracht K , die wordt uitgeoefend op een electron met een snelheid v in een magnetisch veld, waarvan de richting loodrecht op de bewegingsrichting van het electron staat en waarvan de dichtheid der krachtlijnen H bedraagt, is gelijk aan:

$$(7) \quad K = H \cdot e \cdot v \text{ (dyne)} \quad (e \text{ en } H \text{ in electromagnetische eenheden}).$$

Ten gevolge van deze steeds werkende afbuigende kracht wordt de richting van het electron voortdurend veranderd. Het electron beschrijft dientengevolge een cirkelvormige baan

(zie Philips' Technisch Tijdschrift 2 (1937), blz. 338, 4 (1939), blz. 235 en 5 (1940), blz. 135).

Als bij de snelheid, die het electron heeft, de kinetische energie overeenkomt met 100 eV en het electron in een magnetisch veld geraakt, waarvan de krachtlijnen loodrecht staan op de bewegingsrichting van het electron en waarvan de sterkte gelijk is aan 100 gauss, dan zal de straal van den door het electron te beschrijven cirkel gelijk zijn aan:

$$r = \frac{9,1 \times 10^{-28} \times 5,93 \times 10^7 \times \sqrt{100}}{1,60 \times 10^{-20} \times 100} = \text{ca. } 0,34 \text{ cm.}$$

Had het electron geen horizontale, maar een verticale bewegingsrichting in het veld van fig. 10, dan zou het niet worden afgebogen. Vormt de richting, waarin het electron in het veld geraakt, een bepaalde hoek met de horizontale richting, dan zal het electron een schroefvormige baan beschrijven, daar de horizontale component van de snelheid de cirkelvormige beweging en de verticale component de rechtlijnige beweging van de schroef veroorzaakt.

Zeer zwakke magnetische velden kunnen de electronenbaan reeds sterk afbuigen, zoodat de gevoeligheid voor magnetische invloeden zeer groot is.

§ 3. Potentiaalverdeelingsdiagrammen

In de versterkingsbuizentechniek spelen de electrostatische velden en de verdeeling van deze velden de voornaamste rol. Storende invloeden zijn dikwijls een gevolg van de van buiten inwerkende magnetische en electrische velden. In verband met het groote belang van de electrostatische verdeeling van de potentiaal, is het van practische waarde, zich daarvan een duidelijke voorstelling te maken.

Fig. 11 stelt een vlakte kathode voor met een parallel hieraan op een afstand a aangebrachte anode. De kathode heeft de laagste potentiaal P_1 , de anode de hoogste potentiaal P_2 ; het spanningsverschil V tusschen deze electroden is gelijk aan $P_2 - P_1$.

Men kan nu volgens fig. 11 horizontaal, op de x -as van een coördinatenstelsel, den afstand tot de kathode, en verticaal, op de y -as hiervan, de potentiaalverschillen uitzetten. Hierbij wordt de potentiaal van de kathode in gedachten op nul gesteld, daar men gewoon is in de buis alle spanningen t.o.v. de kathode te beschouwen. De potentiaal van de anode bedraagt dus V . Daar de potentiaal van de kathode naar de anode met den afstand van de kathode lineair toeneemt, geeft de schuine lijn tusschen kathode en anode een grafische voorstelling van de toeneming van de potentiaal als functie van den afstand tot de kathode.

De veldsterkte F in de ruimte tus-schen kathode en anode is, volgens de definitie $\frac{V}{a}$, dus gelijk aan den tangens van den hoek α , dien de potentiaallijn met de horizontale as vormt.

(Bevindt zich in de ruimte tusschen anode en kathode een electron, dan wordt op de negatieve lading hier-van een kracht K uitgeoefend in de richting tegengesteld aan de veld-sterkte, dus naar de anode toe.)

De sturing van den electronen-stroom van de kathode naar de anode kan geschieden door een rooster, dat bijv. uit parallel loopende, onderling verbonden, draadjes bestaat, zooals in fig. 12 in doorsnede is geteekend.

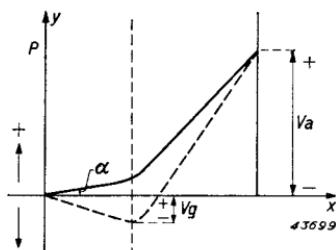
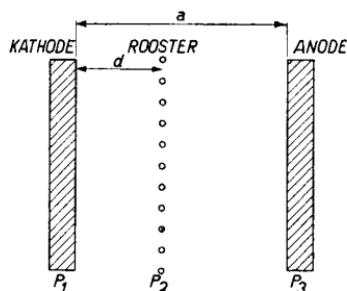


Fig. 12

Potentiaalverdeelingsdiagram van een buis met een negatief rooster, voor een doorsnede, die midden tusschen de roosterdraden loopt.

Potentiaalverdeling ongeveer verloopen, zooals in fig. 13 is aangegeven.

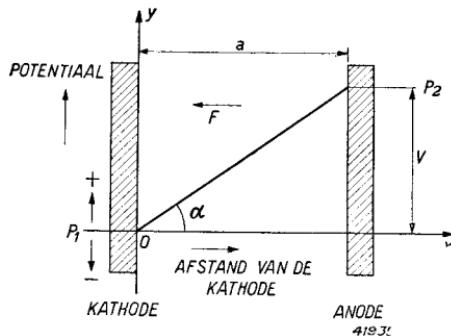


Fig. 11

Potentiaalverdeelingsdiagram van de ruimte tusschen kathode en anode van een buis met twee parallel loopende vlakke electroden (twee-electrodenbuis of diode).

Het potentiaalverschil tusschen een roosterdraad en de kathode is gelijk aan $P_2 - P_1 = V_g$, de roosterspanning, en tusschen de anode en een roosterdraad $P_3 - P_2 = V_a - V_g = V_a + |V_g|$. Is V_g negatief, dan zou men dus verwachten, dat de potentiaalkromme zou verlopen, zooals de stippellijn in fig. 12 aangeeft. In werkelijkheid is dit niet het geval. Het rooster bestaat uit draadjes, en in de tus-schenliggende mazen is de potentiaal niet gelijk aan P_2 , maar hooger, ten gevolge van het doordringen van het veld tus-schen anode en kathode, zoodat de poten-tiaal volgens de getrokken kromme verloopt.

In fig. 12 moet er rekening mee worden gehouden, dat deze potentiaalverdeling alleen voor een doorsnede geldt, die mid-den tusschen twee roosterdraden door-loopt. Voor een doorsnede, die een nega-tieve roosterdraad snijdt, zal de poten-tiaalverdeling ongeveer verloopen, zooals in fig. 13 is aangegeven.

De veldsterkte op een gegeven afstand van de kathode wordt bepaald door de helling, die de potentiaalverdeelingskromme op dien afstand heeft. Fig. 14 geldt voor het geval, dat de negatieve spanning tusschen het rooster en de kathode hoog is, en voor een doorsnede, die midden tusschen twee roosterdraden doorloopt. De potentiaallijn verloopt tusschen kathode en rooster beneden de x-as en de hoek α is negatief, d.w.z. de veldsterkte is in dit gebied naar de anode gericht. Een electron, dat zich in dit gebied bevindt, zal zich in de richting van de kathode in plaats van naar de anode bewegen. De negatieve roosterspanning verspert aan de electronen den weg door het rooster. In dit geval kan geen elektronenstroom naar de anode vloeien (in werkelijkheid geldt dit niet voor kleine negatieve hoeken α ; zie hoofdstuk IV, § 4 en 5).

De tangens van den hoek α , die door de potentiaalkromme met de horizontale as ter plaatse van de oppervlakte van de kathode wordt gevormd, is een maatstaf voor de aan de oppervlakte van de kathode werkzame veldsterkte F_k (zie ook fig. 15). Deze veldsterkte bepaalt tegelijkertijd de kracht, in de richting van de anode, die op een electron, dat de kathode verlaat, wordt uitgeoefend.

De gemiddelde veldsterkte F_k aan de oppervlakte van de kathode kan bij een buis met drie electroden, waaronder een stuurrooster, worden voorgesteld door de formule:

$$(10) \quad F_k = \frac{p \left(V_g + \frac{V_a}{\mu} \right)}{d}$$

Hierin is μ een factor, die **versterkingsfactor** wordt genoemd en die door de af-

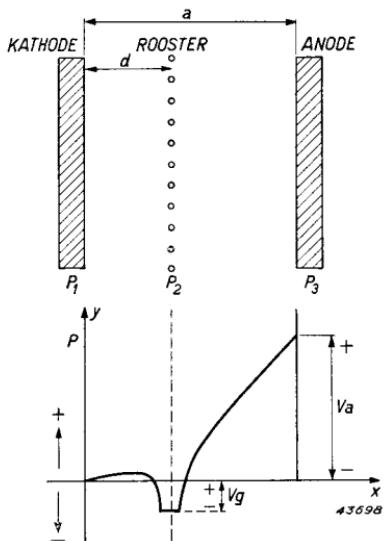


Fig. 13

Potentiaalverdeelingsdiagram van een buis met negatief rooster voor een doorsnede, die een roosterdraad snijdt.

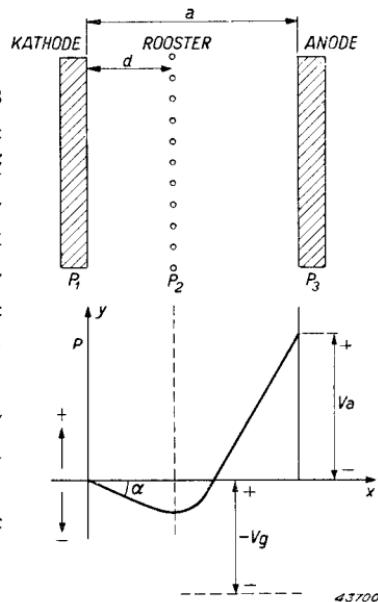


Fig. 14

Potentiaalverdeelingsdiagram van een buis met kathode, rooster en anode, voor het geval, dat het rooster sterk negatief is.

metingen van de buis (afstand tusschen anode en kathode, tusschen rooster en kathode, aantal roosterdraden per cm lengte van het rooster, dikte van de roosterdraden) wordt bepaald, en is d de afstand tusschen rooster en kathode. De grootheid p is doorgaans slechts weinig kleiner dan één.

De spanning $p \left(V_g + \frac{V_a}{\mu} \right)$ stelt de spanning tusschen anode en kathode van een denkbeeldige buis met twee electroden op afstand d voor, welke dezelfde veldsterkte F_k aan de oppervlakte van de kathode zou veroorzaken, als de genoemde buis met drie electroden met stuurooster.

Het dient ten opzichte van het bovenstaande te worden vermeld, dat in werkelijkheid, bij uitvoeringen van buizen, de electroden meestal niet vlak maar concentrisch zijn opgesteld.

§ 4. De ruimtelading

In het voorgaande werden de verhoudingen in het gebied tusschen kathode en anode beschouwd, voor het geval geen of slechts weinig electronen in deze ruimte aanwezig zijn. Stel echter, dat de kathode van een twee-electrodenbuis een grote hoeveelheid electronen uitzendt in de luchtedige ruimte, die haar omgeeft. Onder den invloed van de aan de kathode aanwezige veldsterkte, die door een positieve anodespanning wordt veroorzaakt, zullen de electronen zich in de richting van de anode bewegen. Men zou verwachten, dat in dat geval alle uit de kathode tredende electronen de anode zouden bereiken. Bij een negatieve anodespanning zou men daarentegen kunnen meenen, dat de electronenstroom geheel wordt tegengehouden. In werkelijkheid vertoont de potentiaalverdeling echter een geheel ander beeld dan door de

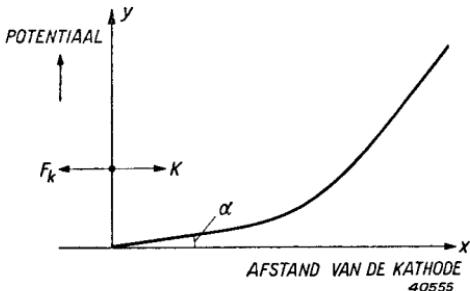


Fig. 15

De tangens van den hoek α , die de potentiaalkromme met de x-as ter plaatse van de oppervlakte der kathode vormt, stelt de grootte voor van de aan de kathode heerschende veldsterkte F_k en van de op het elektron uitgeoefende kracht K .

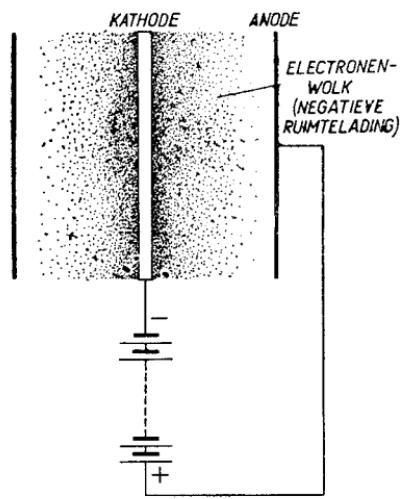


Fig. 16

De kathode is omringd door een wolk van electronen, die uit negatieve ladingen bestaat en ruimtelading wordt genoemd.

geometrie van het electrodensysteem en de spanningen aan de electroden zonder meer wordt bepaald, daar de uittredende electronen in de ruimte tusschen kathode en anode een negatief geladen wolk vormen, die bij de kathode zeer dicht is (fig. 16); daardoor is de electronenstroom op een andere wijze afhankelijk van de spanningen aan de electroden. De lading van deze wolk, de zoogenaamde **ruimtelading**, is door de negatieve ladingen van de afzonderlijke electronen negatief, en dit heeft ten gevolge, dat een deel van de electronen weer naar de kathode wordt teruggedrongen, aangezien de negatieve ruimtelading de eveneens negatief geladen uittredende electronen afstoot. Hierdoor wordt de electronenstroom naar de anode begrensd.

De anodestroom heeft dus voor elke anodespanning een beperkte waarde, namelijk die, waarbij de negatieve ruimtelading, die door den anodestroom ontstaat, het veld, dat door de positieve anodespanning aan de kathode wordt opgewekt, juist opheft. (In werkelijkheid is dit niet geheel juist, daar het meerendeel van de electronen, die uit de kathode treden, niet een beginsnelheid gelijk nul heeft; zie hoofdstuk IV.) Verhoogt men de anodespanning, dan neemt de snelheid van de electronen in de electronenwolk toe en een groter aantal electronen kan de kathode verlaten. Dientengevolge wordt de anodestroom sterker en tevens neemt de dichtheid van de electronen (ruimtelading) toe.

In de nabijheid van de kathode is de snelheid van de electronen gering; deze neemt in de richting van de anode zeer snel toe. Nu is de elektrische stroomdichtheid niets anders dan de verplaatsing van een hoeveelheid lading per tijdseenheid door een bepaalde doorsnede. Nemen we nu aan, dat in de buis de stroomsterkte voor een constante doorsnede overal gelijk is, dan zal bij een langzame beweging de dichtheid van de lading in een bepaalde ruimte groter zijn dan die, welke in dezelfde ruimte bij een snelle beweging van de lading optreedt. Dit wijst er op, dat de dichtheid van de ruimtelading in de nabijheid van de kathode groot moet zijn en in de richting van de anode met de toenemende snelheid van de electronen zal afnemen. Ten gevolge van de ruimtelading wordt de potentiaalkromme tusschen anode en kathode geen rechte maar een gebogen lijn (fig. 17).

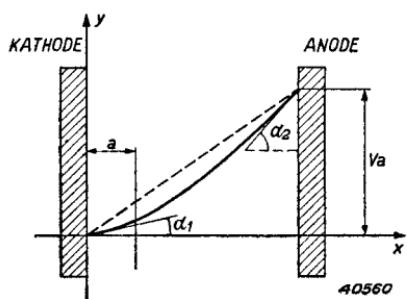


Fig. 17

Verloop van de potentiaal (verticale as) als functie van den afstand tot de kathode (horizontale as), voor een buis met twee vlakke, parallel lopende electroden, bij aanwezigheid van ruimtelading. De gestippelde lijn dient ter vergelijking en stelt de potentiaalverdeling voor in het geval dat geen ruimtelading aanwezig is.

Door de negatieve ruimtelading is de potentiaal bijv. op een afstand a van de kathode lager (getrokken lijn) dan zonder ruimtelading het geval zou zijn (stippellijn). Daar de einden van de getrokken en van de gestippelde lijn in fig. 17 bij de anode in één punt moeten uitkomen, zal de potentiaalverdeelingskromme bij een **negatieve** ruimtelading volgens een convex naar beneden gekromde lijn verlopen. De vorm van deze kromme wordt bepaald door de verdeeling van de ruimtelading tusschen de kathode en de anode. De kromming van de potentiaallijn in een bepaald punt van de grafiek is een maatstaf voor de dichtheid der ruimtelading op die plaats, waarbij de dichtheid der ruimtelading in coulomb per cm^3 wordt uitgedrukt.

Stel nu, dat de kathode een onbeperkt aantal electronen kan afgeven. Ten gevolge van een bepaalde anodespanning zal tusschen anode en kathode een negatieve ruimtelading worden gevormd, die een convex naar beneden gekromde potentiaalverdeelingskromme doet ontstaan. Is nu de hoek α_1 (zie fig. 17), waarvan de tangens een maatstaf is voor de veldsterkte, aan de oppervlakte der kathode positief, dan zal, indien de kathode een onbeperkt aantal electronen kan afgeven, het aantal electronen, dat uit de kathode treedt, toenemen. Hierdoor neemt de dichtheid van de ruimtelading toe, en wel tot de hoek α_1 gelijk aan nul is geworden. Eerst dan zal een stabiele toestand zijn bereikt. Bij een andere anodespanning zal ook een andere evenwichtstoestand worden bereikt, die een bepaalde dichtheid van de ruimtelading en een daarmee verband houdenden electronenstroom veroorzaakt. Zoo heeft een bepaalde keuze van de afmetingen der electroden en van hun onderlinge afstand, evenals van de anodespanning, een nauwkeurig te bepalen, van de ruimtelading afhankelijken electronenstroom, ten gevolge. Van dezen stroom zegt men, dat hij door de **ruimtelading is begrensd**.

De potentiaalverdeelingskromme heeft in den evenwichtstoestand een bepaalde gedaante en deze is, bij gegeven afmetingen van de electroden en bij een bepaalde onderlinge afstand hiervan, voor elke anodespanning dezelfde. Bij verandering van de spanning verandert alleen de spanningsschaal in het diagram. Dit betekent, dat de dichtheid van de ruimtelading evenredig is met de anodespanning. Daar de snelheid der electronen echter tegelijkertijd verandert, en wel evenredig met den wortel uit de spanning [zie vergelijking (4)], zal de stroom evenredig zijn met de spanning en met den wortel uit de spanning, dus evenredig zijn met de $3/2$ e macht van de spanning. Voor den stroom, die door de ruimtelading wordt begrensd, luidt de formule dus:

$$(11) \quad I = k \cdot V^{3/2},$$

waarin k een verhoudingsfactor is, die met de afmetingen van de buis verband houdt. Voor twee evenwijdige vlakke electroden is $k = \frac{\sqrt{2}}{9\pi} \sqrt{\frac{e}{m_e}} \cdot \frac{1}{d^2}$, waarin d den afstand tusschen de electroden voorstelt.
Voor een buis met stuurrooster (zie bijv. fig. 12) is de anodestroom gegeven door de betrekking:

$$(12) \quad I_a = k \left[p \left(V_g + \frac{V_a}{\mu} \right) \right]^{3/2} = k' \left[V_g + \frac{V_a}{\mu} \right]^{3/2}.$$

Hierin is: V_g de roosterspanning,

V_a de anodespanning,

k' een verhoudingsfactor, die met de afmetingen van de buis verband houdt en

μ de z.g. versterkingsfactor van de buis.

Bij een buis met drie electroden is de door de ruimtelading begrensde anodestroom evenredig met $3/2$ e macht van de spanning $\left[V_g + \frac{V_a}{\mu} \right]$.

De potentiaal $p \left(V_g + \frac{V_a}{\mu} \right)$ is de gemiddelde potentiaal in het vlak van het stuurrooster. Zij wordt ook wel de **stuurspanning** of de **effec-tieve potentiaal** van de buis genoemd.

De vergelijking (12) toont de afhankelijkheid van den door de ruimtelading begrensten stroom van de roosterspanning V_g . Bij de gebruikelijke buizen zal reeds een kleine spanningsverandering aan het rooster een betrekkelijk groote anodestroomvariatie veroorzaken. **Hierop berust de sturende werking van het rooster.**

HOOFDSTUK IV

De beginselen van de electronenemissie

Ten einde door een luchtledige buis een electronenstroom te verkrijgen, is het noodig, dat „vrije” electronen door een bepaald in de buis aanwezig metaaloppervlak of door een oppervlak van een ander soort materiaal worden afgegeven. Een dergelijk oppervlak werd reeds in het voorgaande als kathode genoemd. Het verschijnsel, dat een bepaald oppervlak in de omringende ruimte vrije electronen uitzendt, wordt **electronenemissie** genoemd.

In principe bestaan de volgende mogelijkheden om electronen uit het oppervlak van een metaal of ander geschikt materiaal vrij te maken:

- 1) door een metaal of metaalbedekking tot hoge temperatuur (rood tot geelwit gloeiend) te verhitten (thermische emissie);
- 2) door inwerking van lichtstralen op het oppervlak (foto-electrisch effect);
- 3) door een electronenbombardement op het oppervlak (secundaire emissie);
- 4) door het oppervlak met positieve ionen te bombardeeren;
- 5) door aanleggen van een bijzonder hoge veldsterkte (bijv. 10 miljoen V per cm) aan het oppervlak (koude emissie).

In het kader van dit boek zijn hoofdzakelijk de onder 1) en 3) vermelde mogelijkheden van belang.

§ 1. De binding van de electronen in het metaal

De electronen van het „electronengas” in het metaal bewegen zich met zeer verschillende en, in het algemeen, zeer grote snelheden door het metaal. Ondanks hun grote snelheden zijn de electronen echter bij kamertemperatuur niet bij machte het metaal te verlaten. Ook als electronen niet aan **bepaalde** atoomkernen zijn gebonden, worden zij immers door de positieve ionen, in wier nabijheid zij zich op dat oogenblik bevinden, aangetrokken. Een elektron bevindt zich in het metaal in het electrostatische veld, dat zowel door de positieve ionen als door alle andere

electronen wordt opgewekt. Over het algemeen zullen de aantrekkrachten op een electron, die op deze wijze ontstaan, elkaar in het metaal compenseeren, daar het electron in alle richtingen door een nagenoeg gelijk aantal ionen en electronen is omgeven. Dit is echter niet meer het geval, als een electron zich aan het oppervlak van het metaal bevindt of door dit oppervlak naar buiten treedt. Dan werken op het electron de aantrekkrachten van de ionen, die dan niet ten volle door de achtergebleven electronen worden gecompenseerd en die de neiging hebben het electron weer naar het binneste van het metaal terug te brengen. De electronen met de grootste snelheid zullen van tijd tot tijd door de buitenste laag ionen heen schieten en zich een oogenblik buiten het metaal bevinden, tot hun snelheden door de sterke aantrekkracht van de ionen in de buitenste laag zijn afgeremd en zij weer in de richting van het metaal worden versneld. De electronen zullen tijdens hun verblijf buiten het metaal bijdragen tot de vorming van een negatieve ladingswolk, welke ontstaat door alle electronen, die op dergelijke wijze een oogenblik buiten het metaal zijn getreden. De negatieve lading, die zich op een bepaald oogenblik buiten het metaal bevindt, moet klaarblijkelijk aan de buitenste lagen van de oppervlakte van het metaal zijn ontrokken, zoodat in deze laag een positieve lading overblijft. Hierdoor ontstaat een zoogenaamde **dubbellaag**, die wordt gevormd door het oppervlak van het metaal en de negatieve electronenwolk aan de oppervlakte van het metaal. In de dubbellaag is een potentiaalsprong aanwezig.

Om een electron uit het metaal te verwijderen, moet dit deze dubbellaag passeren, waarvoor arbeid noodig is. Om dus een stilstaand electron uit het metaal te laten uittreeden moet een zekere arbeid W_a worden verricht.

§ 2. De snelheids- of energieverdeeling van de electronen en de uittreearbeid

In het metaal verplaatsen de vrije electronen zich door het ionenrooster. Een electron zal tijdens zijn beweging de ruimte tusschen de ionen met een bepaalde snelheid doorlopen. Deze snelheid zal gedurende het verloop van den tijd niet constant blijven; het electron wordt versneld, vertraagd, ondervindt richtingsveranderingen. Dit is met alle vrije electronen in het metaal het geval. Op een bepaald tijdstip zou men zich een momentopname van de bewegingen van alle vrije electronen kunnen voorstellen. Deze zou dan tonen, dat de electronen zich in verschillende richtingen en met verschillende snelheden verplaatsen en dus ook verschillende kinetische energieën bezitten.

De snelste electronen hebben bij een temperatuur van 0° K een kinetische energie van W_0 , en om deze electronen te laten uittreden, moet ten minste een extra energie gelijk aan $W_a - W_0$ worden toegevoerd. Men noemt deze extra energie de inwendige uittreearbeit. Deze uittreearbeit vertoont grote overeenkomst met de ionisatie-energie van een atoom. Hij wordt doorgaans in electronvolts (eV, zie hoofdstuk III, § 1) aangegeven en men gebruikt hiervoor het symbool φ .

De uittreearbeit is voor metalen met een kleinen ionenafstand groter dan voor metalen met een groten afstand tusschen de ionen. Zoo is de uittreearbeit voor het metaal wolfraam gelijk aan 4,54 eV, voor caesium 1,96 eV en voor barium 2,70 eV. De grootheid φ wordt ook wel uittreepotentiaal genoemd.

§ 3. Electronenemissie en verzadigingsstroom

Bij een temperatuur T komen in het metaal ook electronen voor met een grootere kinetische energie dan W_0 , zoodat het dan mogelijk is, dat een aantal electronen voldoende snelheid heeft, om den arbeid W_a te verrichten en het metaal te verlaten.

Met behulp van de statistisch bepaalde energieverdeling van de electronen kan men berekenen, hoeveel electronen per secunde door het metaaloppervlak naar buiten treden.

Deze berekening geeft de formule:

$$(1) \quad I_s = \frac{4 \pi m_e k^2}{h^3} T^2 \varepsilon \frac{e\varphi}{kT} (\text{A/cm}^2).$$

Hierin is: m_e de massa van een electron ($m_e = 9,1 \cdot 10^{-28}$ g),

k de constante van Boltzmann ($k = 1,38 \times 10^{-16}$ erg per $^{\circ}\text{K}$),

h de constante van Planck ($h = 6,6 \times 10^{-27}$ erg/sec),

T de absolute temperatuur in $^{\circ}\text{K}$,

ε de basis der natuurlijke logarithmen ($\varepsilon = 2,72 \dots$),

e de lading van een electron in coulomb en

φ de uittreepotentiaal in V.

Voert men voor $\frac{4 \pi m_e k^2}{h^3}$ het symbool A_o in, dan wordt deze vergelijking:

$$(2) \quad I_s = A_0 T^2 e^{-\frac{e\varphi}{kT}} \text{ (A/cm}^2\text{)}.$$

A_0 heeft theoretisch voor alle metalen een waarde van 120,4.

De stroom I_s wordt **verzadigingsstroom** genoemd: bij een bepaalde temperatuur kunnen gemiddeld niet meer electronen per secunde door 1 cm^2 uit de oppervlakte van het metaal treden dan de formule van den verzadigingsstroom aangeeft. De bovenstaande vergelijking geeft het verband tusschen temperatuur en verzadigingsstroom.

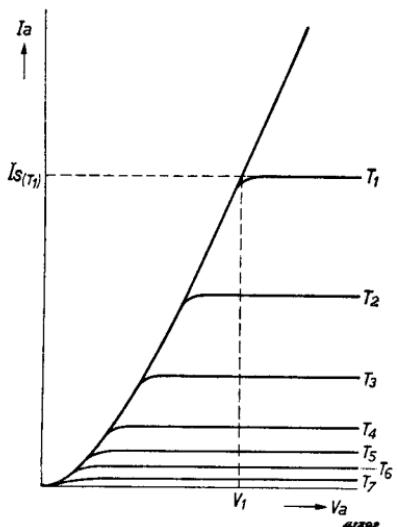


Fig. 18

Krommen, die het verband voorstellen tusschen den stroom I_a door de buis en de spanning tusschen anode en kathode, bij verschillende temperaturen T .

den door de ruimtelading begrensden stroom met de $3/2$ e macht van de spanning toe; bij een bepaalde spanning, V_1 , buigt de kromme af en de stroom blijft vrijwel constant. Dit is de waarde van den verzadigingsstroom I_s voor de temperatuur T_1 . Bij een lagere temperatuur, T_2 , is de verzadigingsstroom kleiner.

§ 4. Invloed van de elektronenemissie op de potentiaalverdeelingsdiagrammen

In hoofdstuk III werd bij de bespreking van de potentiaalverdeelingsdiagrammen uitgegaan van een kathode, die een groot aantal electronen emiteert, welke echter geen beginsnelheid hebben.

Uit de snelheidsverdeling blijkt, dat de electronen, na uit de kathode

De verzadigingsstroom wordt gemeten met behulp van een positieve anode, die de geëmitteerde electronen opvangt. De positieve spanning aan de anode moet zoo groot zijn, dat practisch geen ruimtelading kan ontstaan. Daartoe moet het verschil in potentiaal tusschen de anode en de kathode zoo groot zijn, dat de gemeten verzadigingsstroom bij een nog groter verschil in potentiaal niet verder toeneemt. Men kan voor een buis met twee electroden karakteristieken opnemen, die den stroom door de buis aangeven als functie van de spanning V_a tusschen anode en kathode bij verschillende temperaturen T van de kathode.

Fig. 18 geeft een dergelijke krommenschaar. Zoo neemt de stroom bij een temperatuur T_1 bij toenemende anodespanning allereerst volgens de wet van

te zijn getreden, nog een bepaalde snelheid over hebben, indien de temperatuur van de kathode voldoende hoog is. Wanneer de verzadigingsstroom van een kathode bij een bepaalde temperatuur groter is dan de bij een gegeven spanning tusschen anode en kathode door de ruimtelading begrensde stroom, ontstaat een toestand, waarbij meer electronen ten gevolge van hun beginsnelheid in de ruimte tusschen kathode en anode kunnen treden dan met den normalen, door de ruimtelading begrensten stroom overeenkomt. De potentiaal als functie van den afstand tot de kathode moet daarbij lager zijn dan overeenkomt met de potentiaalverdeeling bij den door de ruimtelading begrensten stroom zonder beginsnelheid.

Indien de electronen geen beginsnelheid hebben, verlaat de potentiaalverdeelingskromme de kathode in horizontale richting (zie ook de gestippelde kromme in fig. 19), zoodat de potentiaal in de nabijheid van de kathode negatief moet zijn, wanneer de ruimtelading, ten gevolge van de beginsnelheid der electronen, dichter wordt. Op deze wijze ontstaat dan een potentiaalverdeelingsdiagram, dat volgens de getrokken lijn in fig. 19 verloopt. Op den afstand d_M bereikt de potentiaal, zooals uit deze kromme blijkt, een minimum, waarvan de waarde V_M bedraagt (ook wel **minimum van Epstein** genoemd).

Alle geëmitteerde electronen moeten nu tegen een negatieve potentiaal V_M oplopen. Het veld tusschen het potentiaalminimum en de kathode tracht daarbij de electronen naar de kathode terug te dringen. Alleen die electronen, welke de bindende krachten aan het metaal hebben overwonnen en waarvan de kinetische energieën, die met de loodrecht op het oppervlak der kathode staande snelheidscomponenten overeenkomen, voldoende zijn om dit minimum te overwinnen, zullen de anode bereiken. Er bestaat dus een evenwichtstoestand, indien het potentiaalminimum, dat door de geometrie van de buis en de anodespanning wordt bepaald, zoo groot is, dat het overschot aan electronen na de kathode wordt teruggezon- den.

§ 5. De aanloopstroom

Het is gemakkelijk in te zien, dat ook bij een anodespanning gelijk

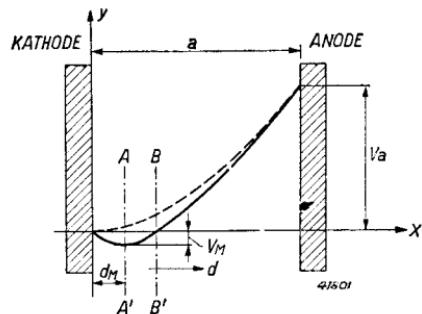


Fig. 19

Gestippelde kromme: Potentiaalverdeelingsdiagram zonder beginsnelheid van de electronen.

Getrokken kromme: Potentiaalverdeelingsdiagram bij een met een bepaalde temperatuur van de kathode overeenkomende verdeling van de beginsnelheid van de electronen. Op een afstand d_M van de kathode vormt zich een potentiaalminimum V_M .

aan nul en bij lage negatieve waarden van de anodespanning ten opzichte van de kathode door de beginsnelheid der electronen een stroom moet vloeien. Bij een anodespanning gelijk aan nul zouden zonder ruimtelading alle uittredende electronen de anode bereiken. In dat geval zou de electronenstroom gelijk moeten zijn aan den verzadigingsstroom. Daar de uittredende electronenwolk echter een ruimtelading veroorzaakt, zal ook in dit geval een potentiaalminimum worden gevormd. Laat men de anodespanning bij het electrodensysteem van fig. 19 lager en ten slotte, zooals in fig. 20, negatief worden, dan zal men, bij een oploopende negatieve waarde van de anodespanning, vaststellen, dat het potentiaalminimum V_{M_3} dieper wordt en dat dit minimum zich van de kathode verwijderd (men vergelijke het potentiaalminimum van de streep-stippellijn in fig. 20 met dat van de getrokken lijn). Als de anodespanning ten slotte gelijk is geworden aan V_{M_3} , ligt het minimum van de potentiaal op de anode (in fig. 19 zou het minimum van de

potentiaal op de anode liggen, indien de anode zich bij AA' zou bevinden en de anodespanning gelijk aan V_M zou zijn). In dat geval is de kromming van de potentiaalverdeelingskromme uiterst zwak, hetgeen op een zeer geringe dichtheid van de ruimtelading wijst.

Bij een nog grootere negatieve waarde van de anodespanning neemt de kromming, evenals de dichtheid van de ruimtelading, steeds verder af. Men noemt den stroom bij negatieve waarden van V_a , waarvan de absolute waarde gelijk aan of groter is dan de absolute waarde van het potentiaalminimum V_{M_3} aan de anode, **aanloopstroom**. Bij aanwezigheid van een aanloopstroom is dus nagenoeg geen ruimtelading meer aanwezig.

De formule van den aanloopstroom I_a als functie van de anodespanning V_a luidt:

$$(3) \quad I_a = I_s e^{\frac{eV_a}{kT}}$$

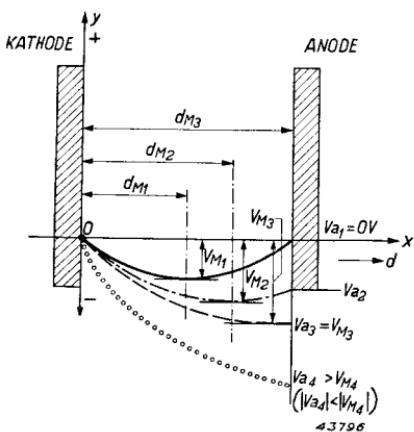


Fig. 20

Getrokken kromme: Potentiaalverdeling in de ruimte tusschen kathode en anode, voor het geval, dat de anodespanning gelijk is aan nul.

Streepjeslijn: Potentiaalverdeling voor het geval, dat de anode een zoodanige negatieve spanning heeft, dat het minimum van de potentiaal op de anode ligt.

Streep-stippellijn: Potentiaalverdelingsdiagram voor een anodespanning, die minder negatief is dan de anodespanning, waarbij het minimum van de potentiaal op de anode ligt.

Uit cirkeltjes bestaande kromme: Potentiaalverdelingsdiagram voor een anodespanning, die sterker negatief is dan de anodespanning, waarbij het minimum van de potentiaal op de anode ligt.

Hierin stelt I_s den verzadigingsstroom voor, die volgens de in de vergelijkingen (1) en (2) aangegeven wijze, van de absolute temperatuur T der kathode afhankelijk is. Uit vergelijking (3) blijkt, dat de aanloopstroom feitelijk nooit gelijk aan nul wordt. Wel zal deze stroom zeer klein worden, indien de anodespanning V_a voldoende sterk negatief wordt.

Men kan langs experimenteleen weg gemakkelijk vaststellen, dat in een twee-electrodenbuis, bij lage negatieve spanningen aan de anode, anodestroom vloeit. Ook bij een buis met meer electroden zal men bij lage negatieve spanningen aan het stuurrooster een stuurroosterstroom meten. Het is dientengevolge bij een buis met stuurrooster mogelijk, dat gedurende een gedeelte van de roosterwisselspanningsperiode (gedurende den tijd, dat het rooster slechts weinig negatief is) een betrekkelijk groot aantal electronen het rooster bereikt, indien de negatieve roostergelijkspanning niet groot genoeg is. Als gevolg hiervan zal roosterstroom optreden, hetgeen op de versterking van ongunstigen invloed kan zijn. Om dit te vermijden, dient de negatieve roosterspanning nooit minder dan 1,3 V te bedragen. Bij deze negatieve spanning is de roosterstroom bij de meeste buizen namelijk lager dan $0,3 \mu\text{A}$ en vrijwel steeds te verwaarlozen.

De vergelijking $I_a = I_s e^{\frac{eV_a}{kT}}$ kan men grafisch uitzetten (I_a als functie van V_a). In de praktijk wordt de aanloopstroom meestal logarithmisch en de spanning lineair uitgezet, waardoor men een kromme verkrijgt, zooals door fig. 21 wordt gegeven.

De aanloopstroom verloopt dan volgens een rechte lijn en buigt bij kleine negatieve waarden van de anodespanning om tot een horizontale lijn. Is het horizontale gedeelte bereikt, dan is de waarde van den anodestroom constant en gelijk aan den verzadigingsstroom. De verlengden van de beide rechte lijnen moeten elkaar op de I_a -as snijden, d.w.z. bij $V_a = 0$. Dat de aanloopstroom als functie van de anodespanning een rechte lijn moet zijn, indien de stroom logarithmisch wordt uitgezet, blijkt uit vergelijking (3), namelijk:

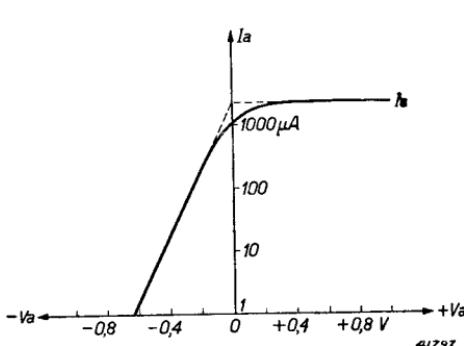


Fig. 21

Logarithmisch uitgezette aanloopstroom en verzadigingsstroom als functie van de anodespanning. Indien men in het overgangsgebied de rechte lijnen voor den aanloopstroom en den verzadigingsstroom verlengt (stippellijnen), moeten deze verlengden zich op de verticale as snijden.

$$(4) \quad \log I_a = \log I_s + \left(\frac{e}{kT} \log \varepsilon \right) V_a = k_1 + k_2 \cdot V_a,$$

$$k_1 = \log I_s = \text{constant},$$

$$k_2 = \frac{e}{kT} \log \varepsilon = \text{constant}.$$

$\log I_a$ hangt dus lineair af van V_a . De helling van de lijn van den aanloopstroom is gelijk aan $\frac{e}{kT} \log \varepsilon$ en dus omgekeerd evenredig met de temperatuur van de kathode. Het verlengde van deze lijn moet de I_a -as (dus bij $V_a = 0$) bij $I_a = I_s$ snijden.

§ 6. De contactpotentiaal tusschen metalen of het Volta-effect

In buizen is de invloed van electrische velden tusschen verschillende electroden ten gevolge van de **contactpotentiaal** of het z.g. Volta-effect zeer belangrijk. Dit potentiaalverschil wordt op het uitwendig aangelegde potentiaalverschil (anode- of roosterspanning) gesuperponeerd. De contactpotentiaal is afhankelijk van de toegepaste metalen en van de geraardheid hunner oppervlakken.

Indien twee metalen, A en B (zie fig. 22), onderling in contact worden gebracht, vloeien vrije electronen van het metaal met den kleinste uitreearbeid φ_1 (bijv. metaal A in fig. 22) naar het metaal met den grootste uitreearbeid φ_2 (metaal B). Het metaal A verliest dus negatieve lading en wordt sterker positief, terwijl het metaal B negatieve lading ontvangt en sterker negatief wordt. Het metaal A noemt men dan electro-positief t.o.v. het metaal B. Dientengevolge ontstaat tusschen de metalen A en B een elektrisch veld, waarvan de krachtlijnen van het metaal met den laagste uitreearbeid naar het metaal met den hoogste uitreearbeid lopen.

Het uitwendige potentiaalverschil tusschen de metalen is gelijk aan het verschil tusschen de uitreepotentialen $\varphi_2 - \varphi_1$. De contactpotentiaal is dus gelijk aan:

$$(5) \quad V_{KP} = \varphi_2 - \varphi_1.$$

Ten gevolge van de contactpotentiaal vloeit er echter geen stroom van het eene metaal naar het andere. Het is dan ook niet mogelijk, dit potentiaalverschil met electromagnetische instrumenten vast te stellen. Als de kring wordt gesloten,

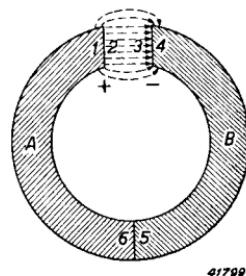


Fig. 22
Indien twee metalen, A en B, met elkaar in aanraking worden gebracht (bij 5 en 6) en deze metalen verschillende uitreepotentialen hebben, ontstaat tusschen de oppervlakken der metalen (bijv. tusschen 2 en 3) een potentiaalverschil. Dit is gelijk aan het verschil van de uitreepotentialen der metalen, waarbij het metaal met de laagste uitreepotentiaal positief is t.o.v. het metaal met de hogere uitreepotentiaal.

d.w.z. als de vlakken 2 en 3 van fig. 22 met elkaar in contact worden gebracht, vloeien geen electronen van het metaal A naar het metaal B. Het electrostatische veld, dat wordt veroorzaakt door het verschil in potentiaal tusschen verschillende in de buizen voor de electroden toegepaste metalen, zal echter van invloed zijn op de electronenbeweging in het electrodensysteem.

In de praktijk heeft het optreden van het Volta-effect ten gevolge, dat in een twee-electrodenbuis bijvoorbeeld, tusschen anode en kathode, een voltagrading ontstaat, die gelijk is aan het verschil tusschen de inwendige uittreepotentiaalen φ van de voor de anode en de kathode toegepaste metalen; hierbij speelt het metaal van de verbindingssleiding tusschen de electroden, evenals de tusschengeschakelde spanningsbron (bijv. de batterij) geen andere rol dan die van ladingoverbrenger.

Indien de uittreepotentiaal van het metaal der kathode lager is dan die van het voor de anode of voor het rooster gebruikte metaal, zal de contactpotentiaal van de kathode t.o.v. de anode of het rooster van een buis positief zijn. Daar de contactpotentiaal een constante waarde heeft, betekent dit, dat de in fig. 21 weergegeven anodestroom-anodespanningskromme van een twee-electrodenbuis naar rechts wordt verschoven.

In een drie-electrodenbuis zal zoowel de roosterspanning als de anodespanning door de contactpotentiaalen van het voor de anode en voor het rooster gebruikte metaal veranderen, en wel zal het rooster, indien het negatief is, sterker negatief en de anode, indien deze positief is, minder positief worden.

Daar de rooster-kathode en de anode-kathode voltagradients voor een bepaalde drie-electrodenbuis constant zijn, kunnen deze tot één waarde, V_{KP} , worden gecombineerd, namelijk:

$$(6) \quad V_{KP} = V_g' + \frac{V_a'}{\mu}.$$

Hierin zijn:

V_g' de contactpotentiaal van het rooster t.o.v. de kathode,

V_a' de contactpotentiaal van de anode t.o.v. de kathode,

μ de versterkingsfactor van de buis.

Daar μ steeds aanmerkelijk groter is dan 1, zal de invloed van de contactpotentiaal der anode slechts uiterst gering zijn, zoodat men dezen kan verwaarlozen en alleen rekening behoeft te houden met de contactpotentiaal van het rooster.

§ 7. Het emissierendement

De electronenemissie van een metaal hangt, volgens de formule van den verzadigingsstroom, sterk af van de temperatuur. Bij stijgende tempera-

tuur neemt de electronenemissie toe, zoodat het gunstig is, de temperatuur van de kathode zoo hoog mogelijk te kiezen. Dit is ook nog uit anderen hoofde gunstig. Voor de verwarming van de kathode is namelijk een bepaald vermogen (in watt) noodig (vooralsnog kan de aard van de verwarming buiten beschouwing blijven). Per watt verhittingsvermogen worden bij een hogere temperatuur meer electronen geëmitteerd dan bij een lagere temperatuur. Men noemt het quotiënt electronenemissie in mA

het emissierendement van de kathode; dit rendement neemt bij stijgende temperatuur sterk toe, hetgeen een gevolg is van het feit, dat de electronenemissie bij een hogere temperatuur veel sterker toeneemt dan de warmte, die de kathode door straling en geleiding afgeeft. (Het verhittingsvermogen moet de warmteafgifte compenseren, zoodat het verhittingsvermogen kan worden gelijkgesteld aan het vermogen, dat in den vorm van warmte wordt afgegeven.)

De verschillende in aanmerking komende metalen en materialen van bijzondere samenstelling hebben een zeer verschillende maximum toelatbare temperatuur, zoodat metalen met een lage uitreepotentiaal in verband met het smeltpunt en het verdampen, een belangrijk lager rendement kunnen hebben dan andere metalen of materialen en soms, door het uiterst lage rendement, praktisch niet te gebruiken zijn. Bovendien spelen de mogelijkheid van het bewerken, de levensduur en nog andere eigenschappen een belangrijke rol bij de keuze van het materiaal voor de kathode.

§ 8. De electronenemissie van oppervlakken van zuiver metaal

De electronenemissie van een zuiver metaal wordt, volgens de formule van den verzadigingsstroom, voornamelijk bepaald door den exponent. De alkali metalen natrium, kalium, rubidium en caesium zijn, ondanks het feit, dat deze van alle metalen de laagste uitreepotentiaal hebben, praktisch onbruikbaar voor toepassing als kathode voor thermische emissie. Het smeltpunt van deze metalen ligt te laag en de verdampingssnelheid is te groot.

Zoo heeft caesium een smeltpunt van 29° C en, bij deze temperatuur, een verzadigingsstroom I_s van ca. 10^{-18} A/cm², d.w.z. 10^{-7} μ A per cm². Deze waarde is veel te laag, daar de kathodestroom bij normale verstekingsbuizen in de orde van grootte van enkele mA en, bij eindversterkingsbuizen, in de orde van grootte van 20—100 mA ligt en de oppervlakte van de kathode hierbij slechts enkele cm² bedraagt. Ook metalen zoals zirconium en platina hebben een nog te laag smeltpunt om voor kathodemateriaal in aanmerking te kunnen komen. Alleen me-

talen met een zeer hoog smeltpunt, zoals bijv. wolfraam, tantaal en molybdeen, komen dus in aanmerking.

Belangrijk voor de keuze van het kathodemateriaal zijn onder andere ook nog de gedragingen ervan onder den invloed van achtergebleven gassen in de buis. Ondanks het meest zorgvuldige pompen en andere bewerkingen ter perfectionneering van het vacuum, blijft in een buis altijd nog een bepaalde hoeveelheid gas achter (ook gassen, die later uit de verschillende delen van de buis vrij komen). Dergelijke achtergebleven gassen, zoals zuurstof, stikstof, kooldioxyde, waterdamp e.a., die chemische verbindingen kunnen vormen met het kathodemateriaal, veranderen het emitteerende oppervlak zoodanig, dat haar vermogen, electronen te emitteeren, achteruit gaat. Zoo kan zuurstof een dunne oxydelaag op de kathode vormen, waardoor de emissie grootendeels wordt teniet gedaan. Men noemt dezen invloed van achtergebleven gassen **vergiftiging van de kathode**.

De **levensduur** van de kathode kan door de aanwezigheid van edelgassen, zoals argon, helium, neon, en ook door kwikdamp, ongunstig worden beïnvloed, hoewel deze gassen niet rechtstreeks van invloed zijn op de emissie. Bij voldoend hoge spanning worden deze gassen geïoniseerd en botsen positieve ionen tegen de kathode; bij dit ionenbombardement worden atomen uit de kathode los gemaakt, waardoor de kathode snel te gronde gaat. De keuze van het voor de kathode gebruikte metaal wordt dus ook door de gedragingen onder den invloed van achtergebleven gassen bepaald.

Van de drie boven genoemde metalen is wolfraam het belangrijkste:

- 1) in verband met het hoge smeltpunt (3655° K), waardoor een hoge bedrijfstemperatuur (2500° K) bij een gunstigen levensduur mogelijk is;
- 2) in verband met de ongevoeligheid van de electronenemissie voor achtergebleven gassen. De verbindingen van deze gassen met wolfraam (bijv. wolfraamoxyde) zijn namelijk bij hoge temperatuur uiterst vluchtig, zoodat de oppervlakte steeds schoon blijft. Ook een zuurstoflaag ter dikte van 1 atoom, die de emissie belangrijk schaadt, is bij deze temperatuur niet mogelijk.

Molybdeen heeft weliswaar een hogere specifieke electronenemissie dan wolfraam, maar ten gevolge van het lagere smeltpunt (2895° K) is de duurzaamheid bij de gewenschte bedrijfstemperatuur onvoldoende. Tantaal heeft een smeltpunt van 3300° K en is in dit opzicht beter geschikt dan molybdeen. De emissie van dit metaal is echter zeer gevoelig voor achtergebleven gassen; verschillende verbindingen, zoals tantaal-pentoxyde, vervluchtigen bij de gewenschte bedrijfstemperatuur maar weinig.

In onderstaande tabel zijn voor het metaal wolfraam de electronenemissie in A/cm² en de electronenemissie per watt uitgestraald warmtevermogen in mA/W als functie van de absolute temperatuur opgenomen.

TABEL I

Metaal: wolfraam

Temperatuur (° K)	Electronenemissie (A/cm ²)	Emissierendement (mA/W)
1500	$0,102 \times 10^{-6}$	$1,85 \times 10^{-5}$
1600	$0,102 \times 10^{-5}$	$1,28 \times 10^{-4}$
1700	$0,812 \times 10^{-5}$	$7,58 \times 10^{-4}$
1800	$0,490 \times 10^{-4}$	$3,47 \times 10^{-3}$
1900	$0,257 \times 10^{-3}$	$1,38 \times 10^{-2}$
2000	$0,112 \times 10^{-2}$	$4,67 \times 10^{-2}$
2100	$0,427 \times 10^{-2}$	0,140
2200	$1,41 \times 10^{-2}$	0,369
2300	$4,37 \times 10^{-2}$	0,920
2400	$12,3 \times 10^{-2}$	2,13
2500	$30,2 \times 10^{-2}$	4,27
2600	0,776	8,92
2700	1,74	19,6
2800	3,74	27,5
2900	7,75	43,7
3000	14,9	65
3100	28,1	89,2
3200	50,5	112
3300	87,7	135
3400	149	155

§ 9. De electronenemissie van oxydekathoden

Door op het metaal van een kathode een geschikte oxydelaag aan te brengen, bestaat de mogelijkheid kathoden te maken, die veel gunstiger eigenschappen hebben dan uit zuivere metalen vervaardigde kathoden. Kathoden, waarvan de kern uit een metaal of een metaallalliage bestaat en die met een dunne laag van aardalkali-oxyde zijn bedekt, noemt men **oxydekathoden**. Deze kathoden geven bij een betrekkelijk lage tem-

peratuur (700 à 800° C) een veel grotere emissie dan kathoden van zuiver metaal.

a) Het activeeren van de oxydekathoden

De in radiobuizen toegepaste oxydekathoden bestaan uit een metalen kern, die door een wolfraam- of nikkeldraad, resp. nikkelen band of buisje, wordt gevormd en met een laag barium- en strontiumoxyde ter dikte van 20 — 80 micron (1 micron = 10^{-4} cm) is bedekt. Bij de fabricage wordt de draad of het nikkelen buisje eerst met een mengsel van barium- en strontiumcarbonaten (BaCO_3 en SrCO_3) bedekt. Het **activeeren** van de aldus geprepareerde kathode vindt plaats na de volledige montage van de buis, tijdens het **pompen** en **uitbranden**. Alle inwendige metalen deelen worden dan met behulp van hoogfrequente wervelstroomen, die door middel van een over de buis geplaatste spoel van enkele windingen worden opgewekt, roodgloeiend verhit; tegelijkertijd wordt een electrische stroom door den wolfraam- of nikkeldraad, resp. door een gloeilichaam in het nikkelen buisje, gestuurd, ten gevolge waarvan de kathode op een hooge temperatuur (ca. 1000° C) wordt gebracht.

Bij deze temperatuur vallen de carbonaten op de kathode uiteen en er ontstaan op het metaal, dat de kern van de kathode vormt, een metaal-oxyde en verder kooldioxyde (CO_2), dat door gelijktijdig **pompen** uit de buis wordt verwijderd. Als het pompen is beëindigd, wordt de buis dichtgesmolten; de kathode is dan echter nog niet volledig geactiveerd, de electronenemissie heeft het maximum nog niet bereikt en is nog niet gelijkmatig over de geheele oppervlakte verdeeld. De volledige activeering geschiedt door het zoogenaamde **uitbranden**, hetwelk hierin bestaat, dat men den kathededraad of het gloeilichaam van het kathodebuisje, na de buis te hebben dichtgesmolten, op een hooge temperatuur brengt (ca. $1\frac{1}{2}$ tot 2 keer de normale gloeispanning van den draad of het gloeilichaam). Tegelijkertijd wordt de emissie met behulp van anode- en roosterspanningen, die positief zijn t.o.v. de kathode, uit deze laatste getrokken. De kathode emiteert dan electronen en de emissie wordt tijdens het activeeren voortdurend beter. Na het uitbranden van de buis wordt deze nog een bepaalde tijd bij verhoogde gloeispanning van den kathededraad of het gloeilichaam, echter met betrekkelijk lage emissie (stuurroosterspanning gelijk aan nul), verder gebrand (zoogenaamd **ruststroombanden**).

De geactiveerde oxydekathode bevat een bepaald percentage metallisch barium en strontium. Zoo is gebleken, dat het aantal vrije bariumatomen ca. $0,2\%$ van het totale aantal aanwezige barium-oxydemoleculen

bedraagt. Deze bariumatomen zijn gedeeltelijk aan de oppervlakte van de bariumoxydekristallen geadsorbeerd¹⁾; vermoedelijk bevindt het grootste gedeelte van de bariumatomen zich echter in de oxydekristallen. Het vrije barium, dat in de geactiveerde kathode aanwezig is, speelt bij de emissie een belangrijke rol. Het bewijs hiervoor wordt geleverd door het feit, dat de emissie sterk afneemt, als gedurende korte tijd zuurstof in de buis wordt toegelaten. Het vrije barium oxydeert dan; de kathode is door de zuurstof „vergiftigd”. Andere gassen, die zich niet met barium verbinden, vergiftigen de kathode niet (waterdamp is uitermate schadelijk voor de kathode, daar deze niet alleen een verbinding vormt met barium, maar bovendien het oxyde gedeeltelijk in hydroxyde omzet).

Een ander bewijs voor het belang van het barium als „emitter” van elektronen wordt gevormd door het feit, dat een oxydekathode kan worden geactiveerd door barium van buiten uit op de kathode te destilleeren. Het activeeringsproces bestaat klaarblijkelijk dan ook uitsluitend daarin, dat door verschillende oorzaken tijdens het pompen en uitbranden **metallisch barium** ontstaat.

Men heeft verschillende verklaringen voor de wijze, waarop de elektronenemissie bij oxydekathoden plaats vindt. De jongste opvatting, die het meest met de werkelijkheid schijnt overeen te komen, wordt in het werk van J. H. de Boer, Elektronenemission und Adsorptionserscheinungen, uitgever Johann Ambrosius Barth, Leipzig, 1937, blz. 267 e.v., uitvoerig uiteengezet. In dit boek volstaan wij, hiernaar te verwijzen.

b) De verzadigingsstroom van de oxydekathode

Voor den verzadigingsstroom per cm² van een oxydekathode geldt met voldoende benadering de formule:

$$(7) \quad I_s = A' T^2 e^{-\frac{e\varphi'}{kT}}.$$

Het blijkt, dat voor een op juiste wijze geactiveerde oxydekathode de uittreepotentiaal φ' van 1 tot 1,3 V bedraagt. De factor A' bedraagt daarbij 0,2 tot 10 A/(graad cm)².

De uittreepotentiaal van de oxydekathode is opvallend laag in vergelijking met die van de wolfraamkathode. Dit heeft ten gevolge, dat de emissie van de oxydekathode per watt uitgestraald warmtevermogen betrekkelijk groot is. Het emissierendement van de oxydekathode is dus

¹⁾ Onder adsorptie van metaalatomen aan een oppervlak verstaat men het verschijnsel, waarbij vreemde metaalatomen aan het oppervlak van een metaal (of oxyde) worden gebonden. De vreemde metaalatomen kunnen veelal ook als ionen worden gebonden.

zeer gunstig, en deze kathode kan bij de normale bedrijfstemperatuur van 1050° K per watt gloeistroomvermogen tot 1000 mA emiteeren. Zooals reeds in den aanhef van deze paragraaf werd vermeld, bestaan de in de praktijk toegepaste oxydekathoden meestal uit een mengsel van bariumoxyde en strontiumoxyde. Het blijkt namelijk, dat de emissie bij een dergelijk mengsel aanmerkelijk groter is, dan van bariumoxyde of strontiumoxyde alleen.

c) De aanloopstroom bij oxydekathoden

Vergelijking (3) van § 5 geeft de formule voor den aanloopstroom. Deze formule geldt eveneens voor oxydekathoden; de waarde van I_s is dan door vergelijking (7) gegeven. In vergelijking (3) kan men $\frac{kT}{e}$, waarvan de dimensie overeenkomt met de dimensie van een spanning, vervangen door een grootheid V_T , die temperatuurspanning genoemd wordt. Vergelijking (3) wordt dan:

$$(8) \quad I_a = I_s e \frac{V_a}{V_T}.$$

Bij de meeste oxydekathoden heeft de temperatuurspanning V_T een waarde van 0,1 V.

d) De contactpotentiaal bij oxydekathoden

Tusschen de oxydekathode en het stuurrooster bestaat eveneens een contactpotentiaal. Daar echter bij oxydekathoden de gang van zaken bij de emissie geheel anders is dan bij zuivere metaaloppervlakken, en daar aan de uittreepotentiaal φ' een geheel verschillende beteekenis moet worden toegeschreven, kan niet worden gezegd, dat

$$V_{KP} = \varphi_{rooster} - \varphi_{kathode}.$$

Toch moet men zich voorstellen, dat ook in dit geval de contactpotentiaal wordt veroorzaakt door den aard van het kathode- en roostermetaal en door de bezetting van deze metaaloppervlakken met barium. Wellicht wordt de contactpotentiaal bovendien nog beïnvloed door de bariumionen, die tijdens de emissie steeds in de oxydelaag aanwezig zijn. De contactpotentiaal tusschen stuurrooster en kathode heeft een verschuiving van de roosterspanning en van het beginpunt van den roosterstroom ten gevolge. Meestal heeft de contactpotentiaal tusschen kathode en stuurrooster een waarde tusschen 0,5 en 1 V, die ten opzichte van de kathode negatief is. Als de oxydekathode nog niet geactiveerd is, dus vóór het uitbranden, heeft V_{KP} een waarde van 1,5 tot 2 V. Het rooster is in dit geval namelijk nog niet met barium bedekt.

HOOFDSTUK V

De secundaire electronenemissie

Onder **secundaire electronenemissie** verstaat men het verschijnsel, waarbij, ten gevolge van de botsing van een zeer snel bewegend elektron of ion tegen een metaal (of isolator), electronen uit dit metaal (of dezen isolator) worden vrij gemaakt.

Een stof, die met electronen wordt gebombardeerd, zendt dus electronen uit. Soms is het aantal uitgezonden **secundaire electronen** groter dan het aantal **primaire electronen**, dat tegen deze stof botst.

De secundaire emissie is een belangrijk verschijnsel. In radiobuizen kan de uitwerking ervan tot storingen aanleiding geven. Ook worden speciale buizen met bijzondere eigenschappen vervaardigd, waarbij van het principe der secundaire electronenemissie gebruik wordt gemaakt. In dit hoofdstuk zullen slechts enkele eigenschappen van de secundaire emissie worden beschreven.¹⁾

§ 1. De geschiktheid van oppervlakken om secundaire electronen te emitteeren

Onder secundaire-emissiefactor van een oppervlak verstaat men het gemiddelde aantal secundaire electronen, dat per botsend primair elektron uit het oppervlak wordt vrij gemaakt. De secundaire-emissiefactor stelt men voor door de grieksche letter δ .

De secundaire-emissiefactor is niet onafhankelijk van de snelheid, waarmee het primaire elektron met de stof in botsing komt. Deze botsings-snelheid van het primaire elektron staat volgens de formule (5), § 1, hoofdstuk III, in een bepaald verband met de spanning tusschen de primaire kathode en het secundaire emitteerend oppervlak, n.l.:

$$v = 5,93 \times 10^7 \times \sqrt{V_p} \text{ (cm/sec).}$$

Hierin is V_p de spanning tusschen de kathode en het secundaire emitteerend oppervlak.

Meet men nu den secundaire-emissiefactor δ voor verschillende metaaloppervlakken als functie van de in V doorloopen potentiaalverschil uitgedrukte botsingssnelheid van de primaire electronen, dan vertoonten alle uit de metingen verkregen krommen een maximum van den

¹⁾ Zie voor nadere details: H. Bruining, Dissertatie Leiden, 1930, H. Bruining, Philips' Technisch Tijdschrift 3, 1938, blz. 80 e.v. en H. Bruining, „Die Sekundäremission fester Körper”, uitgave van Julius Springer, 1941.

factor δ . Fig. 23 geeft een dergelijke kromme voor nikkel en fig. 24 voor barium en bariumoxyde. Uit fig. 23 blijkt, dat het maximum voor nikkel bij ongeveer 500 V ligt en dat de secundaire elektronenstroom dan ca. 1,25 maal zoo groot is als de primaire electronenstroom. Bij barium is de secundaire electronenstroom kleiner dan de primaire electronenstroom, terwijl bariumoxyde een nagenoeg vijfvoudigen secundairen electronenstroom geeft. Hieruit volgt, dat de secundaire emissie voor verschillende stoffen sterk uiteen kan loopen.

Door voor V_p verschillende waarden te nemen, is het mogelijk, δ als functie van de botsingssnelheid van de primaire electronen te bepalen. De stroomen worden daarbij zoo klein gekozen, dat praktisch geen ruimtelading optreedt.

§ 2. De energieverdeling van de secundaire electronen; elastisch teruggekaatste primaire electronen

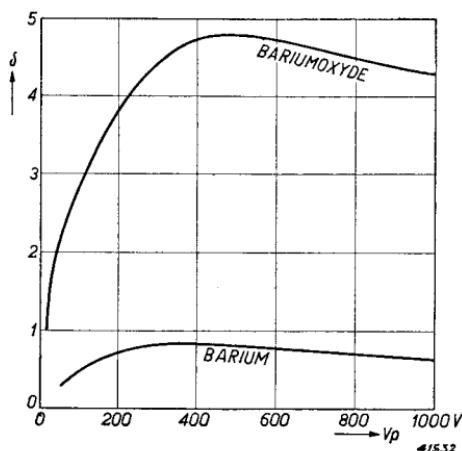


Fig. 24

Secundaire-emissiefactor δ voor barium en bariumoxyde, als functie van de botsingssnelheid van het primaire elektron, overeenkomstig de in V aangegeven spanning.

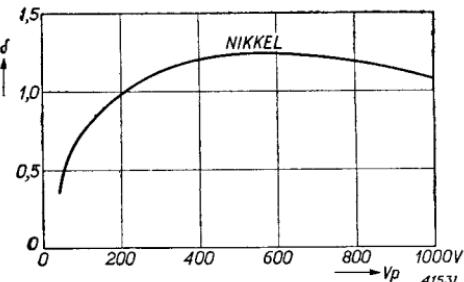


Fig. 23

Secundaire-emissiefactor δ voor nikkel, als functie van de botsingssnelheid van het primaire elektron, overeenkomstig de in V aangegeven spanning.

Het is soms van belang, de snelheden of de kinetische energieën van de secundaire electronen en de meest voorkomende snelheden ervan, te kennen. De snelheden en de verdeeling van de snelheden kunnen worden bepaald met behulp van verscheidene methoden. Een van deze methoden is de tegenveldmethode, waarmede kan worden bepaald, welk gedeelte van de secundaire electronen tegen een bepaald potentiaalverschil, V_d , kan oplopen en welk gedeelte dus een grotere kinetische energie dan e.V_d bezit. Op deze wijze zou men dus een inzicht in de

verdeeling van de kinetische energie der secundaire electronen kunnen krijgen, hoewel deze methode niet direct een energieverdeelingskromme oplevert. Andere methoden, bijv. die van het transversale magnetische veld¹), leveren direct een snelheidsverdeelingskromme op, die in een energieverdeelingskromme omgerekend kan worden.

Fig. 25 toont bijvoorbeeld het aantal der secundaire electronen in een klein energiegebied, die door zilver worden geëmitteerd, als functie van de energie. In dit voorbeeld is de botsingsenergie van de electronen 160 V²). Uit deze figuur blijkt, dat kinetische energieën tusschen 0 en 30 V het veelvuldigst zijn; terwijl het maximum, M, bij ongeveer 4 tot

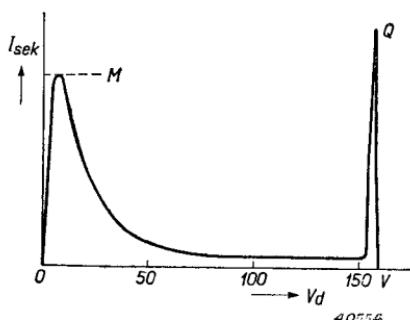


Fig. 25

Het aantal, voor zilver door meting van den stroom bepaalde, secundaire electronen als functie van de uittreesnelheid ervan, overeenkomstig de in V aangegeven spanning. De botsingssnelheid van de primaire electronen is hierbij, overeenkomstig de spanning, 160 V.

dat de meest voorkomende snelheid van de secundaire electronen niet door de snelheid van de primaire electronen wordt beïnvloed. Tevens kan worden aangetoond, dat het aantal elastisch teruggekaatste elektronen bij toenemende snelheid van de primaire electronen afneemt.

§ 3. Eenige praktische waarden voor den secundaire-emissiefactor

In de twee voorgaande paragrafen werd een beknopte uiteenzetting gegeven van enkele eigenschappen der secundaire emissie. Thans zal aan de hand van enkele praktische getallen een beeld worden gegeven van de secundaire emissie van metalen en andere oppervlakken. Aller eerst is in tabel II voor de meeste metalen de waarde van δ voor $V_p = 150$ V vermeld. Ook vindt men in deze tabel de maximale waarde van δ en de met deze waarde overeenkomende botsingssnelheid (uitgedrukt in de overeenkomstige spanning in V) van de primaire

¹⁾ R. Kollath, Annalen der Physik, dl. 27, 1936, pag. 731 e.v.

²⁾ Hiermede wordt bedoeld de kinetische energie, die een elektron krijgt ten gevolge van het doorlopen van een potentiaalverschil van 160 V.

electronen. Bovendien is in de tabel de botsingssnelheid opgenomen, waarbij $\delta = 1$. Ten slotte geeft de tabel nog de uitreepotentiaal φ aan.

TABEL II

Secundaire emissie van zuivere metalen en van koolstof

Materiaal	Vorm, waarin de stof werd onderzocht	Botsings-snelheid V_p , waarbij $\delta = 1$	δ bij $V_p = 150$ V	Max. secun-daire-emis-siefactor δ_{\max}	Botsings-snelheid V_p , waarbij $\delta = \delta_{\max}$	Uittree-potentiaal φ
zilver	in plaatvorm	165 V	0,95	1,47	800 V	4,61 V
aluminium	in plaatvorm aan de lucht blootgesteld	50—30 V	1,65—2,1	2,1—2,6	400 V	—
goud	in plaatvorm	165 V	0,96	1,46	800 V	4,90 V
barium	in vacuum neergeslagen	—	0,63	0,83	400 V	2,70 V
caesium	id.	—	0,55	0,72	400 V	1,91 V
koper	in plaatvorm	205 V	0,85	1,27	600 V	4,26 V
kalium	in vacuum neergeslagen	—	0,72—0,88	0,8—0,94	300 V	2,24 V
magnesium	id.	—	0,90	0,95	300 V	2,74 V
molybdeen	in plaatvorm	150 V	1,0	1,25	400 V	4,15 V
nikkel	id.	180—160 V	0,94—0,98	1,22—1,34	500 V	5,01 V
platina	id.	150 V	1,0	1,78	750 V	5,29 V
tantalum	id.	275 V	0,76	1,29	600 V	4,12 V
titaan	id.	—	0,75	0,90	275 V	3,95 V
wolfraam	id.	250 V	0,75	1,33	650 V	4,5 V
zirkonium	id.	180 V	0,96	1,09	350 V	4,1 V
koolstof	koolsmeersel	300 V	0,9	1,0	300 V	—

Men zou verwachten, dat, bij metalen met een kleine uitreepotentiaal φ , de factor δ groot zou zijn. Het tegendeel is echter waar.

Doorgaans is het secundaire emitteerend vermogen van metalen met hoge uitreepotentiaal φ groter dan van metalen met lage φ . Dit kan worden verklaard, doordat de snelle primaire electronen in metalen met lage φ , die in het algemeen een geringe ionendichtheid bezitten, diep kunnen doordringen, terwijl de langzame secundaire electronen, door de betrekkelijk dikke laag metaal, die zij, alvorens uit te treden, moeten doorschrijden, worden geabsorbeerd. Verder dient te worden opgemerkt, dat de secundaire-emissiefactor δ van metaaloppervlakken sterk wordt beïnvloed door onvoldoend ontgassen en oxydehuidjes aan de oppervlakte.

§ 4. Invloed van de hoedanigheid van het oppervlak op den secundaire-emissiefactor

De geschiktheid van een oppervlak om secundaire electronen te emittieren hangt sterk af van de hoedanigheid van dit oppervlak. Is het oppervlak van een geleider ruw (bijv. koolstof in den vorm van roet of wolfruur in den vorm van zoogenaamd „zwart wolfruur”, dat uit zeer fijn

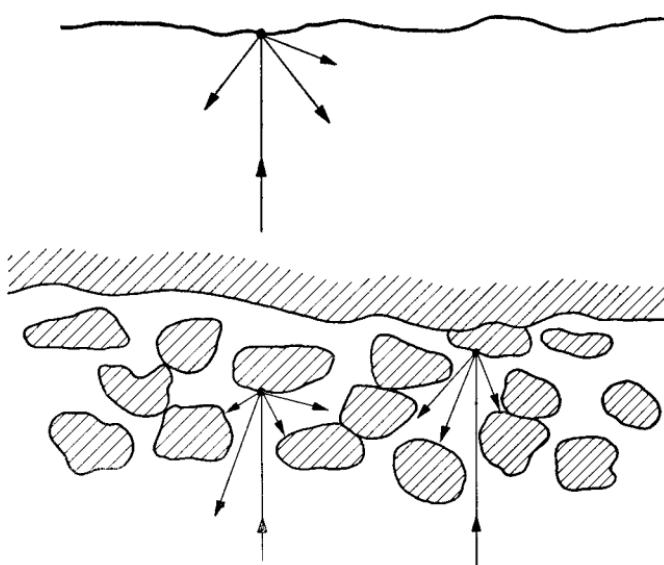


Fig. 26

Schematische voorstelling van het labyrintheffect bij de secundaire emissie van ruwe oppervlakken.

verdeeld wolfruur bestaat), dan zal de secundaire emissie geringer zijn dan normaal het geval is. Hierbij speelt het zoogenaamde labyrinth-effect een rol. Fig. 26 geeft een schematische voorstelling van dit effect. Heeft een secundair elektron bij een glad oppervlak de uittree-potentiaal overwonnen, dan staan hem geen verdere hindernissen in den weg, om zich van het oppervlak te verwijderen (zie fig. 26 boven). Hebben we echter te maken met een ruw oppervlak van labyrinthachtigen aard, dan komt het voor, dat electronen na hun uittreden uit het oppervlak, door voor dit oppervlak liggende deeltjes worden opgevangen (zie fig. 26 beneden). Het aantal secundaire electronen, dat zich van het oppervlak verwijdt, wordt hierdoor aanmerkelijk verkleind. Bovendien kan het uitwendige elektrische veld niet voldoende in de openingen doordringen, om de secundaire electronen weg te trekken.

HOOFDSTUK VI

Eenige belangrijke onderdeelen van de radiobuis

§ 1. De kathode

De kathode is een van de belangrijkste onderdelen van de radiobuis, want zij moet de voor het functionneeren van de buis vereischte electronen leveren. Zooals uit hoofdstuk IV blijkt, bestaat de kathode uit een metaal of uit een metaal- of metaaloxydebedekking, die tot de vereischte temperatuur wordt verhit, om den electronen de voor het uit-treden noodzakelijke temperatuursnelheid te geven. Ofschoon het in principe onbelangrijk is op welke wijze de kathode wordt verhit, geschiedt dit uit praktische overwegingen altijd door een electrischen stroom, den zoogenaamden **gloeistroom**.

Men maakt onderscheid tusschen **direct en indirect verhitte kathoden**. In het eerste geval bestaat de kathode uit een metaaldraad, waarvan de emitteerende eigenschappen gunstig zijn en waar de gloeistroom door-heen loopt. Ten gevolge van den weerstand, die de stroom in den kathedraad ondervindt, wordt deze op de vereischte temperatuur gebracht (warmteontwikkeling van Joule).

In het tweede geval bestaat de kathode uit een dun metalen buisje, waarin een gloeidraad geïsoleerd is aangebracht. Door dezen gloeidraad wordt een electrische stroom van de voor het bereiken van de gewenschte temperatuur vereischte sterkte gestuurd. De warmte van den draad wordt, door de isoleering heen, op het kathodebuisje overgebracht. Deze isoleering is bestand tegen de optredende hooge temperaturen.

a) Direct verhitte kathoden

Zooals boven beschreven, bestaat een direct verhitte kathode uit een draad, waardoor de gloeistroom loopt. Deze draad is bij kleine radio-ontvangbuizen uiterst dun — bij de modernste typen buizen bedraagt de diameter bijvoorbeeld 10μ (0,01 mm) — terwijl de diameter bij groote zendbuizen belangrijk groter kan zijn (van de orde van grootte van 1 mm). Daar het gewenscht is, voor een bepaald gloeistroomvermogen (stroom \times spanning), d.w.z. toevoer van warmte, zoo veel mogelijk electronen vrij te maken, is de keuze van het kathodemateriaal zeer belangrijk (zie hoofdstuk IV). Uit deze overweging wordt tegenwoordig in radio-ontvangbuizen bijna uitsluitend de oxydekathode gebruikt.

De direct verhitte oxydekathode bestaat uit een draad, de kern, waarop een oxydelaag is aangebracht. Als kernmateriaal wordt wolfraam of nikkel of een nikkellegeering gebruikt, waarbij nikkel, ook dikwijls in den vorm van band wordt toegepast. Voor buizen met een uiterst klein gloeistroomvermogen, zooals de moderne batterijbuizen met een

gloeistroomvermogen van slechts 0,035 W, wordt wolfraamdraad als kern gebruikt, daar het wolfraam gemakkelijker tot op een dikte van 10μ kan worden getrokken. Bij oudere batterijbuizen, evenals bij direct verhitte gelijkrichtbuizen, vindt men nog dikwijls nikkeldraad of nikkelband als kernmateriaal. Terwijl bij oudere buizen, en ook bij de moderne, direct verhitte gelijkrichtbuizen, de oxydelaag een dikte van 20 tot 80 μ heeft, hebben de nieuwste batterijbuizen een oxydelaag van slechts 10 μ , zoodat de diameter van de kathode (kerndraaddiameter + tweemaal de dikte van de laag) slechts 30 μ bedraagt (bij vroegere batterijbuizen met gelijksoortige eigenschappen 85 μ). Hierdoor wordt het vereischte gloeistroomvermogen tot een minimum teruggebracht. De oxydekathode levert bij een betrekkelijk lage temperatuur een voldoende emissie. Gewoonlijk werken deze kathoden bij een temperatuur van 700 à 800° C; deze temperatuur komt overeen met een kersrode kleur van den gloeidraad. Over het activeeren van de oxydekathoden werd in hoofdstuk IV, § 9a, reeds het een en ander medegedeeld.

Hieraan kan nog het volgende worden toegevoegd:

De bedrijfstemperatuur van de kathode wordt doorgaans zoo gekozen, dat de eigenschappen van de buizen bij bepaalde variaties van deze temperatuur, ten gevolge van schommelingen van de spanning van de gloeistroombron, waardoor onderverhitting of oververhitting wordt veroorzaakt, niet al te zeer veranderen.

De gloeidraden van de direct verhitte kathoden moeten zeer zorgvuldig worden bevestigd, in het bijzonder, indien voor de kern uiterst dunne draden worden gebruikt. De gloeidraden worden meestal in een vlak uit-

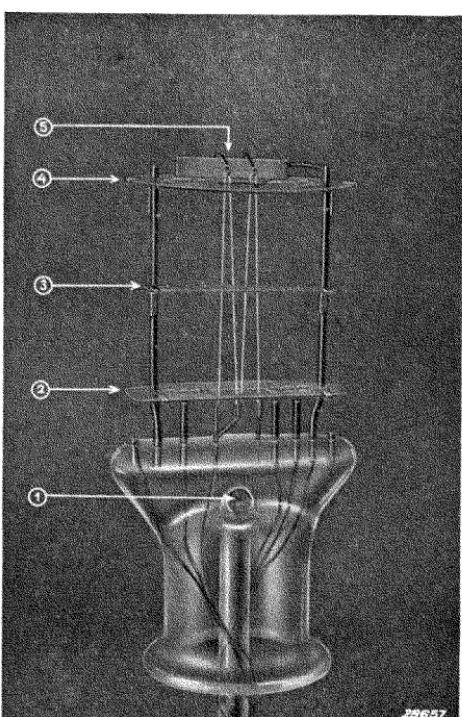


Fig. 27

Direct verhitte kathode. Deze bestaat uit een met oxyde bedekten wolfraamdraad, die door veeren wordt gespannen.

- 1) Opening van den pompstengel.
- 2) Onderste micaplaatje.
- 3) Micaplaatje, dat, ter vermindering van zijwaartsche trillingen van den draad (microfonisch effect), tegen dezen draad drukt.
- 4) Bovenste micaplaatje.
- 5) Veeren voor het spannen van den draad.

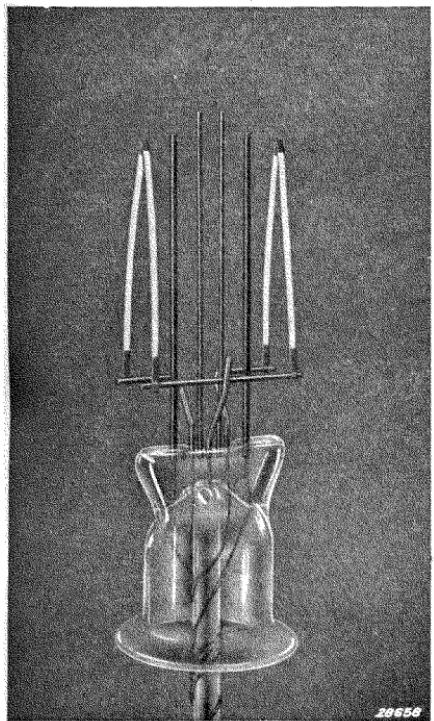


Fig. 28

Kathode van een direct verhitte gelijkrichtbuis. Deze bestaat uit een nikkelband, die met oxyden (witte kleur) is bedekt.

tegen den draad een micaplaatje gedrukt (3 in fig. 27), waarmee deze trillingen worden gedempt. Weliswaar is het nadeel van dit micaplaatje, dat het midden van de rechte stukken van den draad wordt afgekoeld. Zuivere, dus niet met oxyden bedekte wolfraamdraden, worden in radioontvangbuizen tegenwoordig niet meer als „electronenemitter” gebruikt. Wegens het geringer gloeistroomvermogen wordt bij buizen, die door batterijen worden gevoed, bijna uitsluitend de directe verhitting toegepast. De directe verhitting is daarentegen voor voeding met wisselstroom, in verband met den brom, minder geschikt. De periodieke spanningsvariaties aan de einden van den gloeidraad beïnvloeden den electronenstroom van de kathode naar de anode, en daardoor wordt op den anodestroom een wisselstroom met de frequentie van de wisselspanning van het net gesuperponeerd. Ook zal de gloeidraadtemperatuur, en daardoor de electronenemissie, varieeren in afhankelijkheid van de netfrequentie.

Een onaangename eigenschap van de directe verhitting is, dat de kathodepotentiaal, ten gevolge van den spanningsval in den draad, niet

gespannen en wel in M- of V-vorm. De draad wordt door veeren (5 in fig. 27) gespannen, waardoor de rechte stukken zijwaarts niet kunnen doorzakken, hetgeen anders, als gevolg van de warmteuitzetting, wel het geval zou zijn. Op deze wijze blijven de draden van de kathode onder alle omstandigheden nauwkeurig op hun plaats in het electrodensysteem.

De fig. 27 en 28 geven een voorbeeld van direct verhitte kathoden, fig. 27 van een kathode van een batterijbuis voor een betrekkelijk lagen emissiestroom en fig. 28 van een kathode van een direct verhitte gelijkrichtbuis met een nikkelband als kern, die een groten emissiestroom kan leveren. Dikwijls is de spanning van de steunveeren ontoreikend om trillingen van den draad, ten gevolge van mechanische trillingen van de buis, te vermijden.

Daarom wordt veelal in het midden

overal gelijk is. Om deze reden wordt de gloeispanning zoo laag mogelijk gehouden; bij de moderne batterijbuizen bedraagt zij 1,4 of 2 V.

b) Indirect verhitte kathoden

Bij indirect verhitte kathoden wordt steeds een geactiveerde oxydelaag toegepast, daar anders het vereischte gloeistroomvermogen veel te groot zou zijn. De kathode bestaat dan uit een metalen buisje (meestal nikkel of nikkellegeeringen), waarop de actieve laag over een bepaalde lengte is aangebracht. Op de plaatsen van het buisje, die niet met de oxydelaag zijn bedekt, heeft practisch geen electronenemissie plaats. (Dikwijls wordt hiervan gebruik gemaakt, om de electronen slechts op

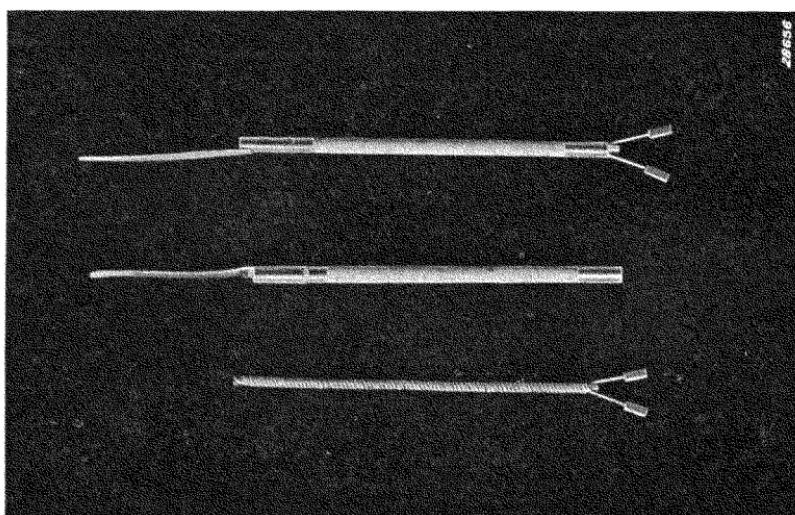


Fig. 29

Boven: Indirect verhitte kathode; ze bestaat uit een nikkelen buisje, waarin geïsoleerd de gloeidraad ligt.

In het midden: Kathodebuisje, waarop de actieve laag op een bepaalde lengte is aangebracht. Het is deze laag, die de elektronen emiteert.

Beneden: Gespiraliseerde gloeidraad, die met een isolerende en tegen hitte bestendige laag is bedekt en die in het kathodebuisje wordt geschoven.

bepaalde plaatsen in een bepaalde richting te laten uittreden.) De gloeidraad van deze nikkelen buisjes bestaat meestal uit wolfram en wordt spiraalvormig gewikkeld (zie ook fig. 29).

De gloeidraad is met een isolerende en tegen hitte bestendige laag, bestaande uit aluminiumoxyde, bedekt; deze laag verzekert een voldoende elektrische scheiding tusschen gloeidraad en kathode. Bij de oudere uitvoeringen van de indirect verhitte kathode werd de gloeidraad aangebracht in een isolerend buisje van magnesiumoxyde, dat zich in het nikkel buisje bevindt; de spiraalvormige gloeidraad werd hierbij door een

doorn (staafje) uit magnesiumoxyde ondersteund. Door het vervallen van dit staafje en van het isoleerende buisje werd de warmtecapaciteit aanzienlijk verminderd, waardoor de tijd, die voor het op temperatuur komen van de kathode wordt vereischt (de tijd, die verloopt tusschen het inschakelen van den gloeistroom en den aanvang van een voldoende emissie) belangrijk werd verkort. De kathode werd kleiner en het vereischte gloeistroomvermogen daardoor aanmerkelijk geringer. Bij buizen voor hooge gloeispanningen (G/W buizen) wordt de grootere gloeidraadlengte, die noodig is, in een dubbele spiraal ondergebracht. De in dergelijke gevallen uiterst dunne gloeidraad wordt spiraalvormig gewikkeld en deze spiraal wordt nogmaals gespiraliseerd.

De indirect verhitte kathode is bijzonder geschikt voor wisselstroomvoeding. Een van de grootste voordeelen van de indirect verhitte kathode is wel, dat het geheele kathodeoppervlak zich op gelijke potentiaal bevindt (aequipotentiaal-kathode). De kathode heeft een bepaalde warmtecapaciteit, waardoor de netfrequentie geen invloed heeft op de emissie. Door de spiraalvormige uitvoering van den gloeidraad worden storingen door brom, die het magnetische veld van de gloeidraadwikkeling kan veroorzaken, vermeden. De electrische scheiding tusschen den gloeidraad en de kathode biedt groote voordeelen wat schakelingen betreft. Op grond hiervan zijn bijna alle moderne wisselstroombuizen van een indirect verhitte kathode voorzien. Een ander voordeel van de indirecte verhitting bestaat hierin, dat de andere electroden veel dichter bij de kathode kunnen worden opgesteld, waardoor een aanzienlijke beperking van de afmetingen van het systeem en gunstiger elektrische eigenschappen (bijvoorbeeld grotere steilheid) bereikt worden. Het gloeistroomvermogen van een indirect verhitte ontvangbuis is aanzienlijk groter dan dat van een kleine, direct verhitte batterijbuis. Terwijl vroeger een normaal gloeistroom-

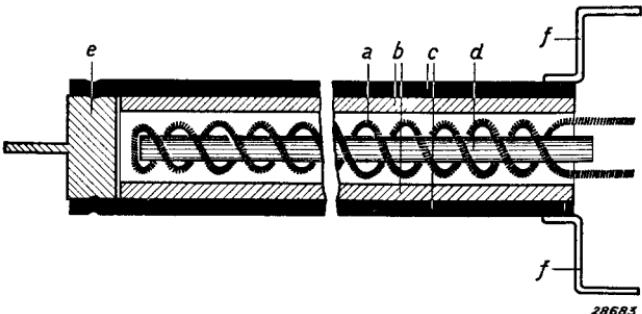


Fig. 30

Doorsnede van een oude uitvoering van de indirect verhitte kathode voor hooge gloeispanningen.

a = Dubbele spiraal van den gloeidraad.

b = Buisje van isoleerend materiaal, dat tegen hitte bestand is.

c = Kathodebuisje.

d = Doorn van tegen hitte bestand materiaal.

e = Centreerstuk met naaldpunt ter bevestiging van de kathode.

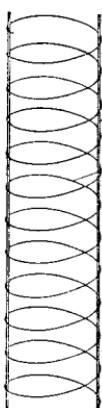
f = Metalen strip voor de bevestiging en elektrische aansluiting van de kathode.

vermogen van 4 W noodig was, is dit in de laatste jaren tot op 1,26 W teruggebracht.

§ 2. Roosters

Om de kathode bevinden zich één of meer roosters en de anode. Deze electroden zijn cylindrisch rondom de kathode op geschikte steunen bevestigd, waarbij de doorsnede van deze cylinders een ronden of een anderen vorm (ellipsvorm bijv.) kunnen hebben. De roosters worden in het algemeen uit een dunnen molybdeendaad of een draad uit metaallegeringen vervaardigd en spiraalvormig om één of meer steunstaafjes, de zoogenaamde roosterbalkjes, gewikkeld. De lengte van de roostercylinders komt ongeveer overeen met de lengte van de kathode of van het gloeidraadsysteem. De electronen kunnen door de openingen tusschen de roosterdraden (roostermazen) schieten.

In een buis met één rooster heeft het rooster doorgaans de functie van stuurelectrode en wordt daarom ook **stuurrooster** genoemd. In een **versterkingsbuis met meer dan één rooster** zijn, behalve een stuurrooster, nog roosters aanwezig, die bijvoorbeeld als **scherm-** of als **vangrooster** worden aangeduid. Eenige ontvangbuizen hebben twee stuurroosters, waartusschen zich o.a. nog schermroosters bevinden. Het doel van al deze roosters zal in hoofdstuk XIII nader worden uiteengezet.



20659

Fig. 31

Roosterspiraal met zoogenaamde roosterbalkjes.

Het stuurrooster bevindt zich meestal direct als eerste rooster om de kathode; de afstand tusschen deze beide electroden is gewoonlijk uiterst gering (eenige tienden millimeter), om de gewenschte stuurwerking te verkrijgen. De mogelijkheid bestaat, dat het rooster onder den invloed van de uitgestraalde warmte van de kathode wordt verhit en zelf electronen uitzendt. In het bijzonder bestaat deze mogelijkheid bij oxydekathoden, waarbij een deel van het oxyde is verdampd en op het rooster neergeslagen. Het rooster kan dan een electronenstroom afgeven (zie ook hoofdstuk XXIX, § 3b). Om deze verhitting van het rooster tegen te gaan, worden de steunen dikwijls vervaardigd uit een metaal met een bijzonder goede warmtegeleiding, bijvoorbeeld koper. Een ander middel is het aanbrengen van zwart gemaakte koelplaatjes, de z.g. **koelvinnen**, aan de roostersteunen. Zij kunnen door warmtestraling belangrijk tot den warmteafvoer van de roosters bijdragen.

§ 3. De anode

De electronenstroom, die de kathode verlaat, vloeit geheel, dan wel voor het grootste deel, naar de anode. Een deel van dezen stroom kan bijvoorbeeld ook naar het schermrooster gaan. De electronen botsen met groote snelheid tegen de anode, waardoor een verhitting van deze electrode ontstaat, die binnen toelaatbare grenzen moet worden gehouden. Deze verhitting wordt bepaald door het aantal electronen, dat tegen de anode botst, en door de snelheid hiervan, d.w.z. door den anodesstroom en de anodespanning. Het product van deze beide grootheden, de **anodedissipatie**, bepaalt, tezamen met de door de kathode uitgestraalde warmte, de verhitting.

De anode omsluit als buitenste electrode alle andere electroden; zij is eveneens meestal cylindervormig. In den regel bestaat de anode uit een massief nikkelplaatje (blik), dikwijs ook uit een draadvlechtsel. De anode van geweven draad heeft het voordeel, dat de van de kathode uitgaande warmtestralen grootendeels door de mazen van het vlechtsel heen gaan, terwijl het oppervlak van de anode, dat de warmte uitstraalt, groter is.

Hier staat weliswaar het nadeel tegenover, dat een groot aantal electronen door de anode heen kan schieten en tegen den glaswand van den ballon kan botsen. De uitvoering van draadvlechtsel wordt voornamelijk bij eindbuizen gebruikt, waarbij met een betrekkelijk groot vermogen wordt gewerkt. Doorgaans wordt de anode zwart gemaakt, om een betere warmteuitstraling, dus afkoeling, te verzekeren.

§ 4. De inwendige zwarting van den ballon

Wanneer electronen zich buiten het electrodensysteem begeven, kunnen zij, indien zij tegen den glaswand van den ballon of tegen geïsoleerde plaatsen botsen, secundaire electronen uit het glas vrij maken. Deze secundaire electronen hebben diverse ongewenste storingen ten gevolge, zooals vervorming en versterkingsvariaties, die aan positieve ladingen van den glaswand zijn te wijten (zie hoofdstuk XXX). Daarom wordt aan de binnenzijde van den ballonwand meestal een koollaag aangebracht, waardoor de secundaire-emissiefactor wordt verlaagd.

§ 5. De afschermingen

Om het uittreden van electronen buiten het electrodensysteem te vermijden, worden afschermingen toegepast, bijvoorbeeld metalen deksels, aan de beide einden van het systeem. Wanneer verschillende systemen in één ballon zijn ondergebracht, wordt een onderlinge beïnvloeding door zwervende electronen of wisselvelden door middel van afschermingen zoo veel mogelijk beperkt.

§ 6. Gasbinder (getter)

Nadat de buis zoo luchtledig mogelijk is gepompt, worden de achtergebleven gasresten geabsorbeerd, door een stukje van een bepaald materiaal, den gasbinder, te verdampen. Als materiaal voor den gasbinder komen meestal magnesium of barium in aanmerking. In den ballon wordt op een geschikte plaats een klein blikken dopje of plaatje aangebracht (zie fig. 32), waarin of waarop zich dit materiaal bevindt. Na het pompen wordt het door hoogfrequente wervelstroomen verhit, waardoor het verdampst en op den tegenovergelegen glaswand van den ballon neerslaat (de bekende inwendige spiegel van den ballon).

De opstelling van het dopje met den gasbinder wordt zóó gekozen, dat tijdens het verdampen zoo weinig mogelijk van den gasbinder op de mica of keramische plaatjes, die ter bevestiging van de electroden dienen, neerslaat, waardoor kortsluitingen en lekstroomen, en ook wel te lage H.F. weerstanden tusschen de electroden onderling zouden kunnen ontstaan.

§ 7. Metalliseering

Om te vermijden, dat de werking van de buis door uitwendige invloeden (electrische velden) wordt geschaad, wordt bij vele buizen een metaalbedekking (zink of koper) aan de buitenzijde van den ballon aangebracht. Deze bedekking kan rechtstreeks worden geaard of met de kathode worden verbonden en wordt door een laag lak, die de bekende gouden of roode kleur bezit, beschermd.

In den laatsten tijd wordt bij eindbuizen ook een dergelijke metalliseerring toegepast, en wel uitsluitend om het onderste deel van den ballon, daar anders een te groote verwarming (te geringe warmteafvoer) zou optreden. Zij dient om ongewenchte beïnvloeding door wandladingen capacitief te neutraliseeren (zie hoofdstuk XXX).

§ 8. Afschermkooi

In de modernste ontvangstbuizen wordt de metalliseering door een afschermkooi aan de binnenzijde van den ballon vervangen.

Deze afschermkooi bestaat doorgaans uit een cylinder van geperforeerd blik, die om het electrodensysteem wordt bevestigd (zie fig. 41 en 42). Deze cylinder oefent een elektrische afscherming uit (kooi van Faraday) en vangt tevens zwervende electronen op, die zich buiten het eigenlijke electrodensysteem bewegen, zoodat daardoor het effect van het opladen van den glaswand grootendeels wordt verhinderd. Om een eenigszins betere warmteuitstraling te verkrijgen, wordt geperforeerd blik gebruikt in plaats van blik in plaatvorm.

HOOFDSTUK VII

Bouw van de radiobuis

Nadat in het vorige hoofdstuk de belangrijkste bestanddeelen, waaruit de radiobuis bestaat, werden beschreven, zal nu een korte uiteenzetting worden gegeven van den bouw van de radiobuis.

De radiobuis bestaat uit een **electrodensysteem**, dat in den ballon is bevestigd. De ballon moet luchtledig zijn. De electroden van het electrodensysteem moeten door middel van **doorvoerdraden** buiten den ballon elektrisch kunnen worden aangesloten.

Dikwijls wordt aan den ballon een **huls**, bestaande uit een kunstharsproduct („Philite”), bevestigd. In deze huls zijn metalen contactstukken aangebracht, die met de doorvoerdraden worden verbonden. De huls heeft ten doel, contact te maken met de elektrische schakelingen, waarin de buis werkt, waartoe deze op dezelfde wijze in een **houder** wordt gestoken als de steker van een schemerlamp in het stopcontact, om de verbinding van de lamp met het lichtnet tot stand te brengen. Bovendien hebben huls en houder ten doel, de buis in het toestel te bevestigen en te dragen. Dank zij deze huls en houder kan de buis gemakkelijk worden vervangen, hetgeen niet het geval zou zijn, indien de doorvoerdraden rechtstreeks op de leidingen van den stroomkring zouden zijn aangesloten.

De ballon bestaat meestal uit glas, soms echter ook uit ijzer. De buizen kunnen, naar gelang het toegepaste materiaal van den ballon, worden ingedeeld in **glazen** en in **metalen** buizen. Er zijn tegenwoordig verschillende vormen van uitvoering, zoowel voor de buizen met een glazen ballon als voor de buizen met een metalen ballon, waarbij ook weer oudere en nieuwere constructies voorkomen. In de volgende paragrafen zullen eenige van de door Philips gebruikte uitvoeringen worden besproken.

§ 1. Glazen buizen met kneep

De constructie van een glazen buis met kneep zal allereerst met behulp van een voorbeeld worden verklaard. Fig. 32 toont het doorgesneden model van een octode (mengbuis met acht electroden) van oudere uitvoering. Het electrodensysteem wordt gedragen door twee verticale steunen, zoogenaamde steunbalkjes, die in de figuur met het cijfer 10 zijn gemerkt. Deze beide steunen vormen den ruggegraat van het systeem en zijn in den uit een glazen buis vervaardigden kneep (4) geperst. Het electrodensysteem wordt tusschen twee horizontale bordjes

of steunplaatjes (6 en 7) opgesteld. Deze zijn, om tevens een afscherming te verkrijgen, uit metaal vervaardigd en hierin zijn kruisgewijze spleten gestanst, die door mica of keramische plaatjes zijn bedekt. In deze isoleerende plaatjes nu zijn de roostersteunen (14, 15 enz.) en de kathode bevestigd, zoodat ze alle onderling en t.o.v. de beide metalen plaatjes zijn geïsoleerd (dikwijls bestaan de plaatjes echter alleen uit isoleerend materiaal — mica of keramische stof). De anode (12) bestaat uit een metalen cylinder, waarvan in fig. 32 de voorste helft is weggeknipt.

De anode is aan de beide verticale draagsteunen van het systeem bevestigd. In den kneep is het vereischte aantal doorvoerdraden (11) aangebracht, die aan de verschillende steunen voor de electroden zijn gelascht. De electroden worden dus door den kneep heen naar buiten gevoerd. Als het glas in warmen toestand plat wordt geperst, worden de draagsteunen van het systeem, evenals die van de verschillende electroden, hierin luchtdicht bevestigd. Daar echter de toegepaste steunen, om een zekere stevigheid te verkrijgen, een zoo grooten diameter moeten hebben, dat een luchtdichte afsluiting van het glas hierdoor wordt bemoeilijkt, zijn aan de einden van de draagsteunen dunne draadjes gelascht, die eveneens in het platte deel van den kneep zijn geperst. De verbinding tusschen het glas en de dunne toevoerdraden is luchtdicht, waardoor het vacuum dus is verzekerd.

De kneep heeft aan de onderzijde een rand, die met den glazen ballon wordt samengesmolten. Aan den kneep is een glazen pompstengel bevestigd, terwijl zich in den kneep, op de plaats waar de pompstengel aangesmolten is, een gat bevindt, zoodat, als de kneep met den ballon is samengesmolten, de lucht en de uit het electrodenmetaal vrijkomende gassen door pompen door dezen stengel kunnen worden verwijderd. Na het pompen wordt de pompstengel luchtdicht versmolten.

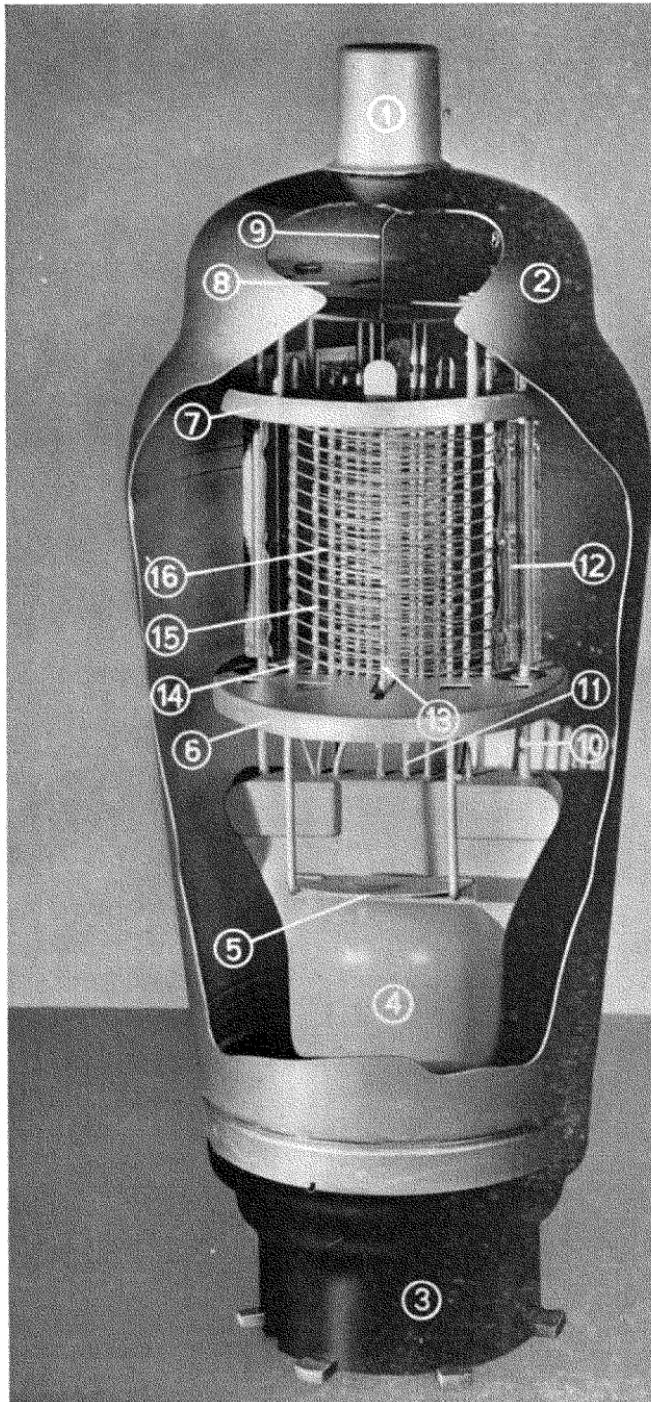
Voor het aansluiten van het vierde rooster is op den ballon een klein trechtervormig gat gelaten, dat, na het aanbrengen van het systeem in den ballon, luchtdicht om den bovensten toevoerdraad (9) wordt dichtgesmolten. In fig. 32 is duidelijk te zien, op welke wijze de verschillende nog niet genoemde deelen zijn opgesteld. Aan het onderste steunplaatje bevindt zich het reeds besproken uitgeholde plaatje voor den gasbinder (5), terwijl aan het bovenste steunplaatje (7) en aan de draagsteunen het micaplaatje (8) voor het centreeren en steunen van het systeem in den ballon is bevestigd.

De doorvoerdraden (11) van den kneep zijn in de contacten van de huls (3) gesoldeerd en de huls van de buis is aan den ballon gekit (zie ook fig. 33). Verder is de doorvoerdraad door den top van den ballon aan een contactdopje (1) gesoldeerd, dat op het glas is vastgekit. Hier-

Fig. 32

Doorgesneden model van een octode (type AK 2).

- 1 = Aansluitdop v. h. vierde rooster.
- 2 = Wand v. d. ballon.
- 3 = Huls van de buis.
- 4 = Kneep.
- 5 = Bevestigingsplaatje voor den gasbinder.
- 6 = Onderste en
- 7 = bovenste steunplaatje.
Tusschen deze beide plaatjes of bordjes is het electroden-systeem opgesteld.
- 8 = Micraplaatje voor het centreren van het systeem in den koepelvormigen ballon.
- 9 = Roostertoevoerdaad naar den top van den ballon.
- 10 = Draagsteen v. h. electroden-systeem.
- 11 = Doorvoerdaad door den kneep.
- 12 = Doorgeknipte anodeplaat.
- 13 = Kathode.
- 14 = Draagsteen v. h. zesde rooster.
- 15 = Draagsteen v. h. vijfde rooster.
- 16 = Spiraal v. h. zesde rooster.



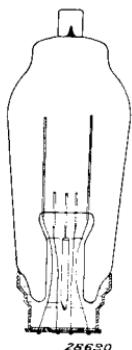


Fig. 33

Doorsnede van een ballon met kneep en huls.

mee is in principe de bouw beschreven van een buis, waarvan het electrodensysteem op een kneep is ge monteerd. Deze constructie werd tot voor kort voor de meeste Philips buizen toegepast en aan de speciale eischen van elk type aangepast. Fig. 35 geeft nog een tekening van de doorsnede van een buis van een latere constructie met kleine afmetingen, namelijk de pentode EF 9. Ook hieruit ziet men details van de montage van het systeem op een kneep. Men vindt wederom de twee draagsteunen; echter, in plaats van de bij de octode toegepaste metalen steunplaatjes, waartusschen het systeem werd op gesteld, werden bij deze buis alleen micaplaatjes gebruikt. Ook bij deze buis bevindt zich een electrodenaansluiting aan den top van den ballon, namelijk de aansluiting van het stuurrooster (het eerste rooster). Door de aansluiting van het stuurrooster op den ballon kan de capacitieve koppeling tus sen dit rooster en de anode zwak zijn; bij het naar buiten voeren van den roosterdraad door den kneep zou deze draad op geringen afstand parallel aan de anodetoevoerleiding loopen en zou de onder linge capaciteit aanzienlijk zijn. Daar een koppeling tusschen het stuur rooster en de anode van een H.F. buis zeer on gewenscht is, werd het stuurrooster bij H.F.-, M.F.- en mengbuizen¹), volgens de kneepconstruc tie op den ballon en de anode, door de huls naar buiten gevoerd. (Bij oude re typen buizen, zooals de E 446 en AF 2, werd het rooster door de huls en de anode op den ballon naar buiten gevoerd.)

In de tekening van fig. 35 is nog een ander detail te zien, namelijk dat een toevoerleiding van de electroden onder den

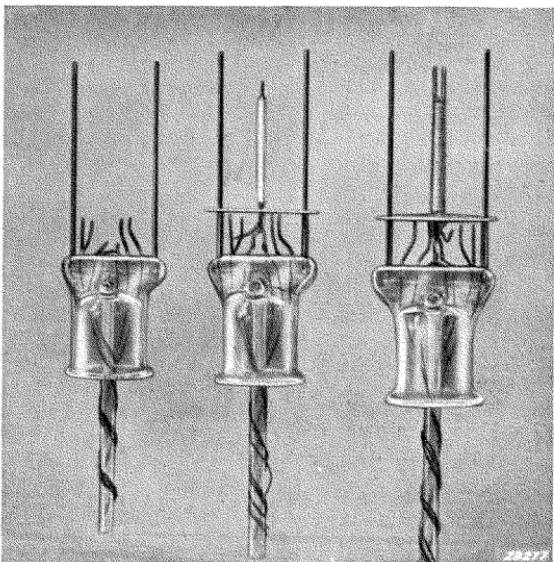


Fig. 34

Van links naar rechts: Kneep met pompstengel, draagsteunen en electrodendoorvoerdraadjes, de zelfde kneep met het onderste steunplaatje en kathode en dezelfde kneep met daarbij het eerste rooster. Het betreft hier drie ontwikkelingsstadia van de octode EK 3.

¹⁾ De begrippen H.F., M.F. en mengbuizen worden in hoofdstuk IX nader toegelicht.

Fig. 35

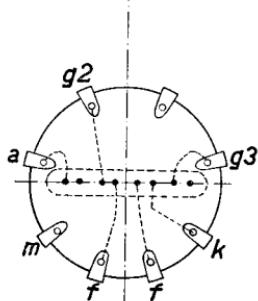
Doorsnede van de H.F. pentode EF 9 (ware grootte).

- 1 = Houder van den gasbinder.
- 2 = Ballon.
- 3 = Draad voor aansluiting van de elektroden (in dit geval de aansluiting van de kathode).
- 4 = Draagsteen v. h. electrodensysteem.
- 5 = Kneep.
- 6 = Kit, waarmee de huls aan den ballon is bevestigd.
- 7 = Huls van een kunstharsproduct („Philite“).
- 8 = Contact van de huls.
- 9 = Dopje voor de roosteraansluiting.
- 10 = Afsmelting van den ballon voor de doorvoering van den roosteraansluitdraad.
- 11 = Pompstengel.
- 12 = Samensmelting tusschen ballon en kneep.
- 13 = Roostertoeverdraad.
- 14 = Metalen bekleding van den ballon.

kneep door een stukje isolatiekous is omgeven, om sluitingen tusschen de afzonderlijke draden te verhinderen.

Bij oudere batterijbuizen zal men zien, dat het electrodensysteem een andere opstelling t.o.v. den kneep heeft. De kathode (gloeidraad) werd in een horizontaal vlak uitgespannen en hier omheen werd het electrodensysteem aangebracht.

Fig. 36 geeft een voorbeeld van een dergelijke buis.



In het aangehaalde voorbeeld van de octode werd het electrodensysteem tusschen metalen steunplaatjes met mica gemonteerd.

Tegenwoordig wordt er naar gestreefd, het mica door keramische plaatjes te vervangen; de resultaten zijn, wat de nauwkeurigheid van de constructie betreft, bevredigend. In fig. 37 ziet men een fotografische opname van een triode-heptode (type ECH 4), die is voorzien van drie keramische plaatjes, waartusschen het heptodegedeelte (boven) en het triodegedeelte (onder) zijn bevestigd. Fig. 38 toont nog een keramische constructie van een moderne, indirect verhitte gelijkrichtbuis (type UY 21) en fig. 39 een dergelijke constructie van een H.F. pentode (type EF 22). Het veerende, in het bovenste deel van den koepelvormigen ballon aangebrachte mica plaatje, waardoor het elec-

trodensysteem tegen zijwaartsch doorbuigen ten gevolge van schokken wordt beschermd (8 in fig. 32), wordt tegenwoordig dikwijls door kleine stalen veeren vervangen (zie fig. 40).

§ 2. Glazen buizen met bodem van geperst glas

Om aan de voor de televisie- en ultrakortegolfontvangst gestelde eischen te kunnen beantwoorden, werd eenigen tijd geleden een bijzondere buisconstructie uitgewerkt. Daar deze constructie tegenover die

met kneep belangrijke electrische en mechanische voordeelen biedt en bovendien toepassing van een gunstige aansluitmethode aan de huls mogelijk maakt, werd zij in eenigszins gewijzigden vorm ook voor radio-ontvangbuizen toegepast. In dit verband springen twee mechanische voordeelen in het oog, namelijk de kleinere afmetingen van de nieuwe glasconstructie en het door den bodem van de buis naar buiten voeren van *alle* electrodessen. Deze nieuwe constructie betekent een belangrijke stap vooruit in de moderne ontwikkeling van de buis.

a) Beschrijving van de constructie van een buis met een bodem van geperst glas

Fig. 41 toont de constructie van een buis met een bodem van geperst glas, zonder kneep (H.F.penthode type EF 22). Op dezen bodem is het electrodensysteem ge monteerd. Hij heeft een opstaanden rand en acht chroomijzeren doorvoerpennen, die luchtdicht in dezen bodem zijn ge perst (8 in fig. 41). Deze pennen hebben een diameter van 1,1 of 1,27 mm en zijn in een cirkel van 17,5 mm diameter opgesteld. In het midden van dezen bodem bevindt zich de pompstengel (11 in fig. 41). Op de acht doorvoerpennen wordt het verticaal opgestelde electrodensysteem gelascht, dat op deze wijze uiterst stevig staat. De als voorbeeld gebruikte buis EF 22 wordt, evenals de meeste andere buizen, met behulp van drie U-vormige dragers (4) in drie punten ondersteund. Nadat het systeem is bevestigd en de electroden met de hiervoor be-

Fig. 36

Inwendige constructie van een direct verhitte eindbuis van een oudere uitvoering.

perst (8 in fig. 41). Deze pennen hebben een diameter van 1,1 of 1,27 mm en zijn in een cirkel van 17,5 mm diameter opgesteld. In het midden van dezen bodem bevindt zich de pompstengel (11 in fig. 41). Op de acht doorvoerpennen wordt het verticaal opgestelde electrodensysteem gelascht, dat op deze wijze uiterst stevig staat. De als voorbeeld gebruikte buis EF 22 wordt, evenals de meeste andere buizen, met behulp van drie U-vormige dragers (4) in drie punten ondersteund. Nadat het systeem is bevestigd en de electroden met de hiervoor be-

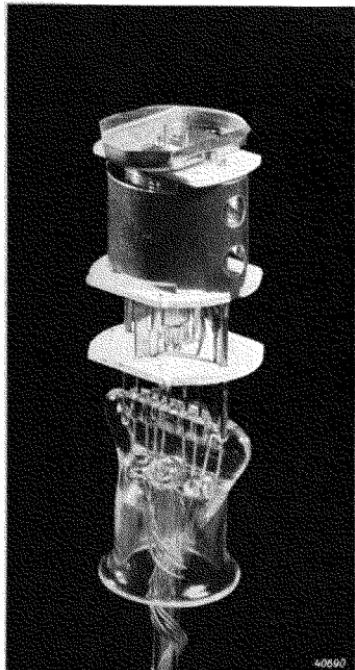


Fig. 37

Opname van het electrodensysteem van een triode-heptode (ECH 4) volgens de keramische constructie. Het heptodegedeelte bevindt zich boven het middelste keramische plaatje en het triodegedeelte aan de onderzijde hiervan.

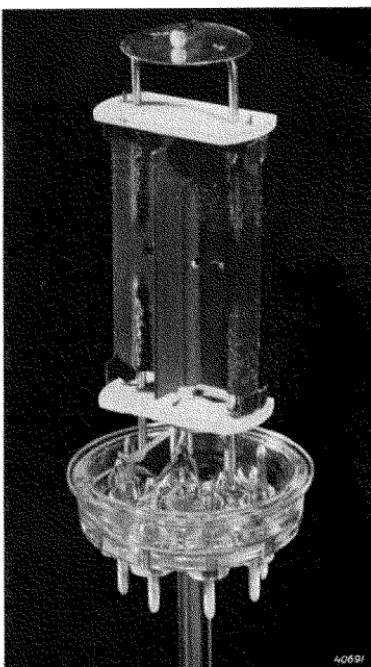


Fig. 38

Opname van een indirect verhitte gelijkrichtbuis (UY 21) met isolerende plaatjes van keramisch materiaal.

stemde doorvoerpennen (8) zijn verbonden, wordt de eigenlijke ballon over het systeem geschoven en met den opstaanden rand van den bodem samengesmolten (in fig. 41 is de verdikking (12) van den lasch afgebeeld). Daarna wordt de buis luchtledig gepompt en het materiaal van den gasbinder (getter) (1 in fig. 41 is het steunplaatje voor den gasbinder) tot verstuiving gebracht. De gasbinder is op een plaatje boven het systeem gemonteerd, zoodat de hierdoor veroorzaakte spiegel uitsluitend in het bovenste gedeelte van den ballon ontstaat. Nadat de pompstengel (11) is dichtgesmolten, wordt aan den glazen bodem een afschermplaat met in het midden een zoekpen (10) bevestigd. Deze bevestiging wordt verkregen, door om den glazen bodem een metalen ring (6) te leggen, die onder aan de afschermplaat wordt gefelsd. Deze ring is boven vernauwd en past op die plaats nauwkeurig om den ballon. De ring komt met deze vernauwing tegen den lasch (12) tusschen den ballon en den bodem te rusten.

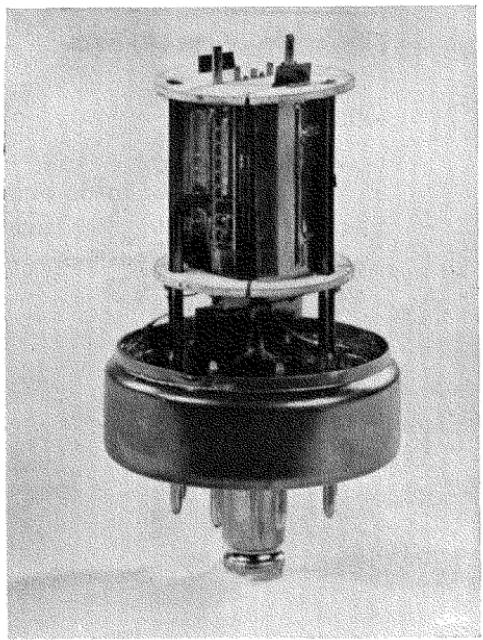


Fig. 39

Opname van een moderne H.F. pentode (EF 22) met isoleerende plaatjes van keramisch materiaal. De afscherming van het voetje is nog aanwezig; de ballon en de afschermkooi zijn echter verwijderd.

noemde plaatjes wordt tegenwoordig in plaats van mica dikwijls keramisch materiaal gebruikt (zie fig. 37, 38, 39 en 40). Door toepassing van geschikt materiaal (chromijzer) met denzelfden uitzettingscoëfficiënt als glas, kunnen de toevoerdraden betrekkelijk dik zijn (1,1 of 1,27 mm), zoodat deze sterk genoeg zijn, om tegelijkertijd als contactpennen te worden gebruikt (voor het maken van contact in een bijbehorenden houder).

De bij de H.F. buizen met kneepconstructie gebruikelijke metalen bespuiting wordt bij de constructie zonder kneep vervangen door een afschermkooi, die in den ballon, om het elec-

Het electrodensysteem van deze buizen zonder kneep wordt op dezelfde wijze geconstrueerd als bij de buizen met kneep. Ook hierbij zijn twee plaatjes van isoleerend materiaal of van metaal met isoleerend materiaal, aanwezig, waartusschen de electroden van het systeem worden gemonteerd. De beide plaatjes worden door de drie U-vormige steunen bijeen gehouden; deze drie U-vormige steunen vervangen dus de beide draagsteunen (10 in fig. 32), die den ruggegraat van de kneepconstructie vormen. Als isoleerend materiaal van de beide ge-

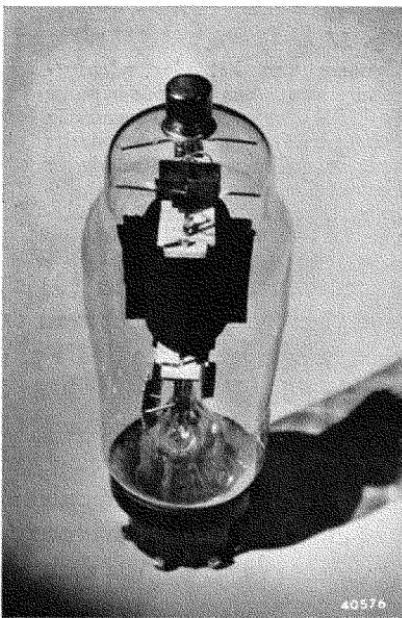


Fig. 40

Opname van een systeem van een buis, waarbij het micaplaatje, dat dient voor het steunen van het electrodensysteem tegen den ballonwand, door staelen veeren is vervangen.

trodensysteem, is aangebracht (zie hoofdstuk VI, § 7 en fig. 41 en 42). De bouwwijze van de buizen met een bodem van geperst glas maakt het mogelijk, dat alle electroden door den bodem naar buiten worden gevoerd (de roosteraansluiting op den ballon, zooals in fig. 32 bij de octode AK 2, is dus naar den bodem verplaatst). Bij deze eenzijdige aansluiting van de electroden bleek het mogelijk, door in de buis afschermingen (14 in fig. 41) aan te brengen, de anode-roostercapaciteit voldoende klein te houden. Bovendien wordt door deze afscherming, evenals door de keuze van de volgorde van de aansluitingen, bereikt, dat de inductie van brom op het rooster door de wisselstroomvoeding van den gloeidraad (zie hoofdstuk XXVII) zoo gering mogelijk is.

b) Voordeelen van de constructie zonder kneep

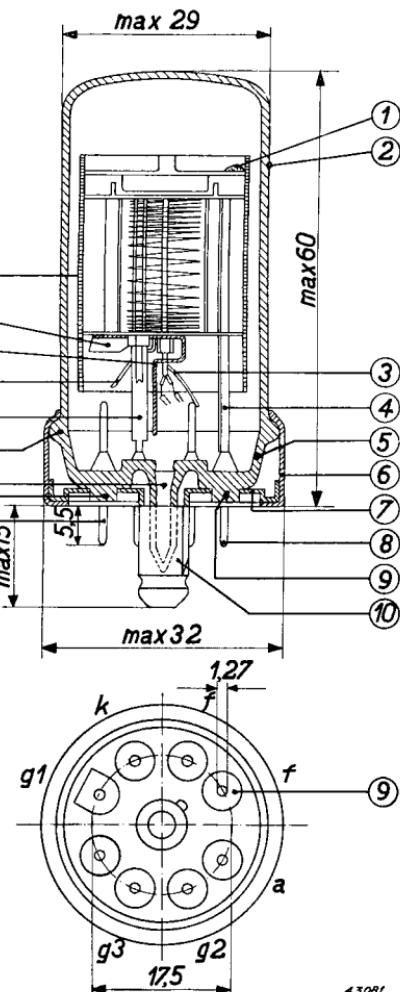
De voordeelen van deze constructie boven die met kneep zijn in het kort:

1) **Kleine afmetingen van de buizen.** Deze veroorloven de constructie van kleinere toestellen met geringere materiaalkosten.

Fig. 41

Dcrosnede van de H.F. pentode EF 22 (ware grootte).

- 1 = Steunplaatje voor den gasbinder.
- 2 = Ballon.
- 3 = Verbindingen tusschen de electroden en de doorvoerpennen (schermerroosterverbinding in dit geval).
- 4 = U-vormige steunen van het electroden-systeem.
- 5 = Bodem van de buis van geperst glas.
- 6 = Gefelsde metaalrand.
- 7 = Afschermplaat van den glazen bodem.
- 8 = Doorvoerpennen van 1,1 of 1,27 mm diameter.
- 9 = Ronde verhoogingen van den bodem van geperst glas, voor het vergroten van den kruipweg tusschen doorvoerpennen en afschermplaat.
- 10 = Zoekpen met nokje.
- 11 = Dichtgesmolten pompstengel.
- 12 = Lasch tusschen ballon en bodem van geperst glas.
- 13 = Roostertoedoerdraad.
- 14 = Afschermplaatje tusschen den roostertoedoerdraad en de overige draden.
- 15 = Verlenging van het afschermplaatje 14 voor afscherming van de anode tegen den toevoerdraad van het rooster.
- 16 = Geperforeerd blik voor de afscherming (afschermkooi).



- 2) **Grootere mechanische stevigheid.** De bevestiging van het electrodensysteem is belangrijk steviger (tegen stoten en trillingen bestand). Door toepassing van den bodem van geperst glas met doorvoerpennen, in plaats van de huls van kunsthars (zie 3 in fig. 32), bestaat geen kans op losraken van onderdelen en op soldeerfouten van de doorvoerdraden aan de contacten van de huls.
- 3) **Het aan één zijde naar buiten voeren van alle electroden.** Hierdoor kan een meer logische constructie van het chassis, met een betere afscherming, worden verkregen.
- 4) **Lage temperatuur van het glas bij de doorvoerdraden.** Bij kneepconstructies bereikt het glas van den kneep temperaturen, die bij eindbuizen 200° C kunnen bedragen. Bij de constructie zonder kneep blijft de temperatuur van den bodem belangrijk lager (ongeveer 90° C). Hierdoor is een betere isolatie verzekerd en het gevaar voor electrolyse van het glas geringer.
- 5) **Nieuwe en praktische huls.** Een eigenlijke huls ontbreekt; de glazen bodem dient als huls te worden opgevat. Deze huls met de acht pernen en de zoekpen biedt een grote vrijheid in de keuze van de electrodenaansluitingen en door de praktische uitvoering ervan kunnen de buizen gemakkelijk worden vervangen; toch zijn de buizen hierbij zoo goed in de bijbehorende houders bevestigd, dat ze, zelfs bij zware schokken en trillingen, er niet uit kunnen vallen.
- 6) **De capaciteiten van de buizen zijn weinig afhankelijk van de temperatuur.** De capaciteiten van de buizen zijn bij de constructie zonder kneep minder van de temperatuur afhankelijk. Door het ontbreken van een huls van „Philite”, welk materiaal een diëlectrische constante heeft, die vrij sterk van de temperatuur afhangt, zijn de capaciteitsveranderingen bij het op temperatuur komen van

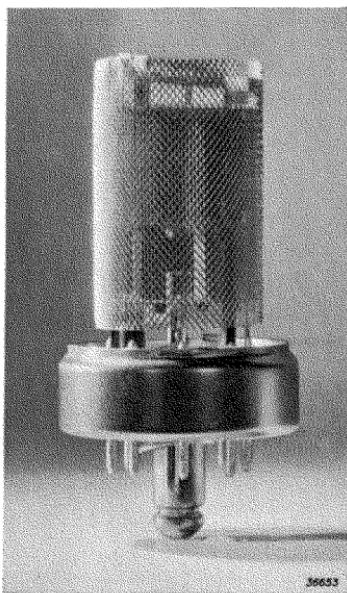


Fig. 42

Constructie van het electrodensysteem van een triode-heptode (type ECH 21) op een bodem van geperst glas. De afscherming van het voetje en de afschermkooi zijn nog aanwezig; alleen de ballon werd verwijderd.

de buizen na het inschakelen van het toestel en door variaties van de omgevingstemperatuur geringer.

Hiertoe wordt ook bijgedragen door de omstandigheid, dat de temperatuur van het glas aan de doorvoeringsplaatsen lager blijft dan bij de kneepconstructie en dat de onderlinge afstanden tussen de doorvoeringen groter zijn.

- 7) **Kleinere toleranties van de capaciteiten van de buizen.** Daar alle electroden aan de onderzijde naar buiten zijn gevoerd, kan de spiegel van den gasbinder boven in de buis en dus op grooten afstand van

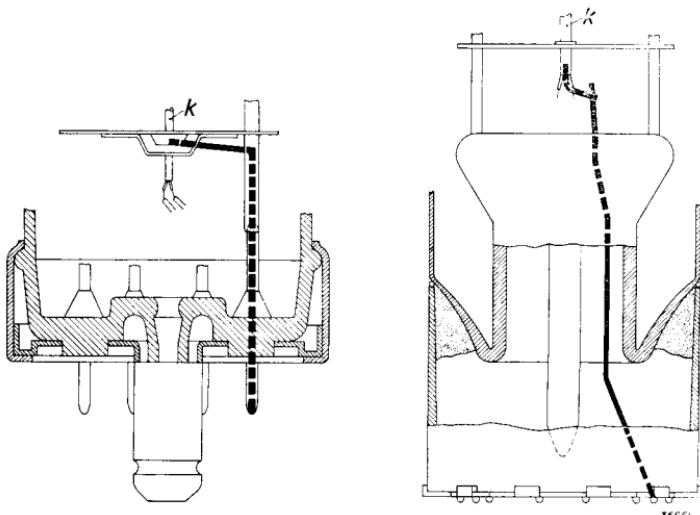


Fig. 43

Vergelijking van de lengte van de kathodeverbinding van de buis EF 22 met een bodem van geperst glas (links) met die van de buis EF 9 met kneep (rechts).

het electrodensysteem worden gevormd. Daarom is de invloed van dezen spiegel op de capaciteiten veel geringer, zoodat de in- en uitgangscapaciteiten binnen veel nauwere grenzen vastliggen.

- 8) **Gunstige eigenschappen voor kortegolfontvangst.** De verkorting van de toevoerdraden heeft, evenals de grotere onderlinge afstanden, een opvallend gunstigen invloed op de eigenschappen voor kortegolfontvangst. Fig. 43 geeft een vergelijking van de lengte van de kathodeverbinding van de buis EF 22 (met een bodem van geperst glas) met die van een buis EF 9 (met kneep). Hieruit blijkt, dat door de nieuwe constructie een veel kortere verbinding is verkregen, hetgeen op de eigenschappen voor kortegolfontvangst een gunstigen invloed heeft¹⁾. Ook de kortere verbindingen naar de andere electroden hebben een gunstige uitwerking. Bij de vroegere

¹⁾ Zie Hoofdstuk XXIV.

constructies liepen de verbindingen in den kneep over een lengte van 35 mm op een onderlinge afstand van 0,5 tot 1 mm parallel. Dit betekende een verslechtering van de eigenschappen van de buis voor kortegolfontvangst. Door de constructie met een bodem van geperset glas werd bereikt, dat elke electrode langs den kortsten

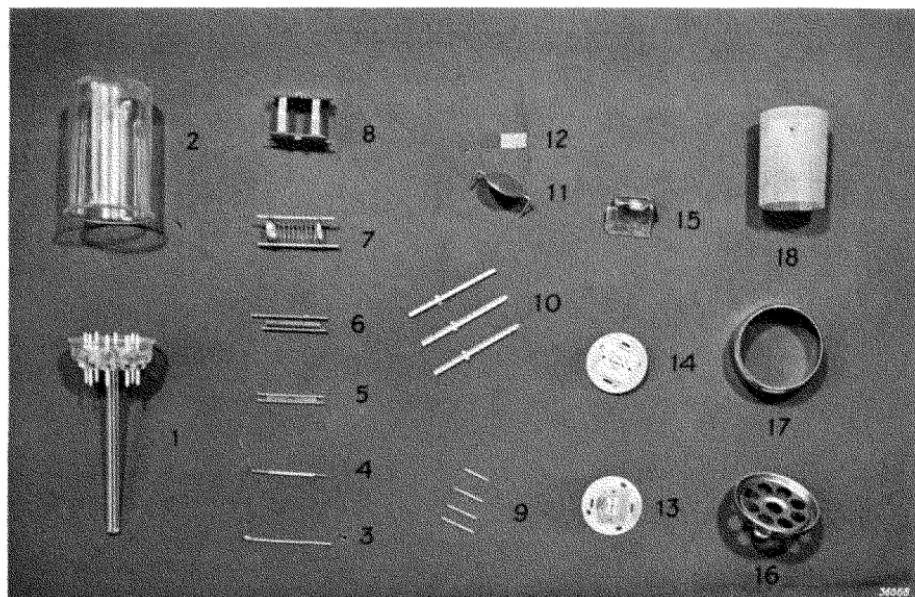


Fig. 44

Overzicht van de onderdeelen, waaruit de H.F. pentode EF 22 bestaat.

- 1 = Bodem van geperst glas met doorvoerpennen en pompstengel.
- 2 = Ballon.
- 3 = Bifilaire gloeidraad.
- 4 = Kathode.
- 5 = Stuurrooster.
- 6 = Schermrooster.
- 7 = Vangrooster.
- 8 = Anode.
- 9 = Metalen stripjes voor verbinding van de electroden met de pennen van den bodem.
- 10 = De drie U-vormige steunen van het electrodensysteem.
- 11 = Metalen plaatje, waarop het materiaal van den gasbinder wordt bevestigd. Dit metalen plaatje voorkomt het neerslaan van het materiaal van den gasbinder op het electrodensysteem.
- 12 = Gaas voor het bevestigen van het materiaal van den gasbinder op het bovenste metalen plaatje.
- 13 = Onderste plaatje van isoleerend materiaal.
- 14 = Bovenste plaatje van isoleerend materiaal.
- 15 = Afschermpaatje in het onderste deel van de buis, voor het verminderen van de anode-roostercapaciteit en de bromspanningen aan het rooster.
- 16 = Afscherming van het buisvoetje met zoekpen en ronde uitsparingen voor het doorvoeren van de pennen.
- 17 = Gefelde rand voor het bevestigen van de afscherming van het buisvoetje.
- 18 = Afschermkooi.

weg met het contact van de huls wordt verbonden, en werden de capacitieve en inductieve koppelingen met de andere electroden tot een minimum gereduceerd.

§ 3. Metalen buizen

Eenige jaren geleden werden in Europa metalen buizen op de markt gebracht, die den naam van „stalen” buizen kregen. De techniek van deze „stalen” buizen mag niet met de Amerikaansche metalen buisconstructie worden verward. Beide constructies zijn weliswaar zonder kneep, doch bij de „stalen” buis is het electrodensysteem horizontaal opgesteld (de kathode ligt dus horizontaal in plaats van verticaal), terwijl bij de Amerikaansche metalen buis het systeem, evenals bij de glazen buizen met kneep en bij de buizen met een bodem van geperst glas, verticaal is opgesteld.

Het merkwaardige van de constructie van de „stalen” buis is dus de horizontale opstelling van het electrodensysteem.

Daardoor is het ook mogelijk op eenvoudige wijze alle electroden, met inbegrip van het stuurrooster, door den bodem naar buiten te voeren. De constructie van de „stalen” buis zal nu aan de hand van een voorbeeld worden uiteengezet. Fig. 45 toont de inwendige constructie van een H.F. pentode en fig. 46 een doorsnede van deze buis. Het inwendige systeem is met behulp van micaplaatjes (h in fig. 45 en 46) tusschen twee breede metalen U-steunen horizontaal opgesteld. Deze steunen zijn op de ijzeren grondplaat a gelascht. De grondplaat a heeft een doorsnede van 43 mm; de plaat is aan de onderzijde van een kraag voorzien en heeft gaten van ongeveer 3 mm diameter, die in twee groepen cirkelsgewijze zijn aangebracht. Deze gaten, waarin metalen bevestigingsbusjes, b, zijn vastgesoldeerd, dienen voor doorvoering van de electroden. De doorvoerdraden c hebben een tusschenstuk van molybdeen en worden door de glazen kralen, d, luchtdicht in de busjes, b, ingesmolten.

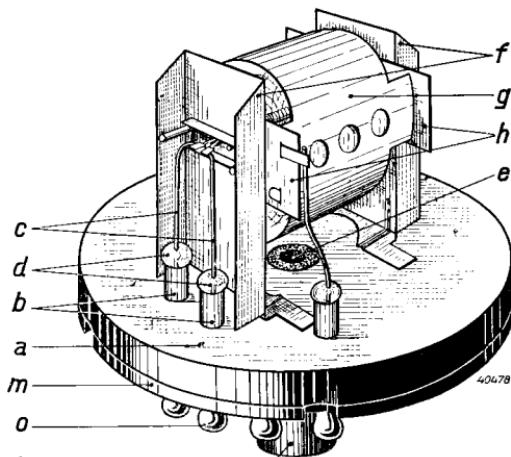


Fig. 45

Inwendige constructie van de H.F. pentode EF 11 in stalen uitvoering. Voor de betekenis van de letters zie fig. 46.

Deze gaten, waarin metalen bevestigingsbusjes, b, zijn vastgesoldeerd, dienen voor doorvoering van de electroden. De doorvoerdraden c hebben een tusschenstuk van molybdeen en worden door de glazen kralen, d, luchtdicht in de busjes, b, ingesmolten.

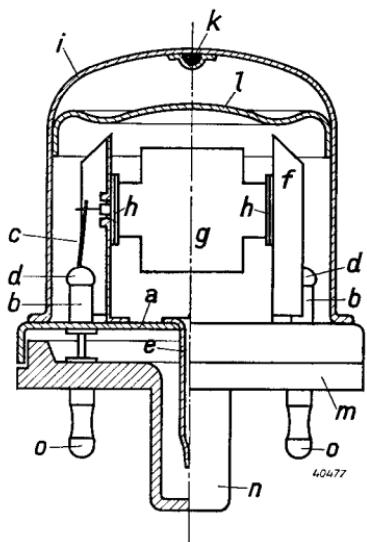


Fig. 46
Doorsnede van de H.F. pentode EF 11.

- a = Stalen grondplaat.
- b = Metalen bevestigingsbusjes van een bijzondere legering voor aanpassing aan den uitzettingscoëfficiënt van het glas (glasparels).
- c = Draadjes voor aansluiting van de electroden.
- d = Glazen kraalen.
- e = Pompstengel.
- f = Steunen voor het electrodensysteem.
- g = Électrodensysteem.
- h = Mica brugjes.
- i = Stalen ballon.
- k = Gasbinder.
- l = Blikje voor bescherming van het electrodensysteem tegen het neerslaan van het materiaal van den gasbinder.
- m = Huls van kunsthars.
- n = Zoekpen.
- o = Contactpen.

derste deel van de ballonruimte te verzekeren. De huls a bestaat uit een plaat van kunsthars („Philite“) met een zoekpen uit hetzelfde materiaal in het midden en acht holle metalen aansluitpennen o. De huls wordt niet aan den bodem gekit, maar vastgehouden, doordat de grondplaat van een kraag is voorzien, die op enkele plaatsen naar binnen wordt gedrukt, waartoe enige uitsparingen in de plaat van „Philite“ zijn aangebracht. De zoekpen van de huls is hol, zoodat de pompstengel hierin kan worden ondergebracht.

De U-vormige steunen van het electrodensysteem dienen tevens voor afscherming van de aansluitdraden naar het systeem.

In het midden van de grondplaat is een gat geponst, waaraan de pompstengel e is bevestigd. De ijzeren ballon i wordt, nadat het inmiddels gemonteerde electrodensysteem, g, op de grondplaat, a, is gelascht, aangebracht en eveneens op de grondplaat gelascht. Boven in den ballon bevindt zich de gasbinder k. Om te verhinderen, dat het materiaal van den gasbinder tijdens het verstuiven op het electrodensysteem neerslaat, is een stukje blik aangebracht, dat aan den rand van openingen is voorzien, om de verbinding tusschen het bovenste en het on-

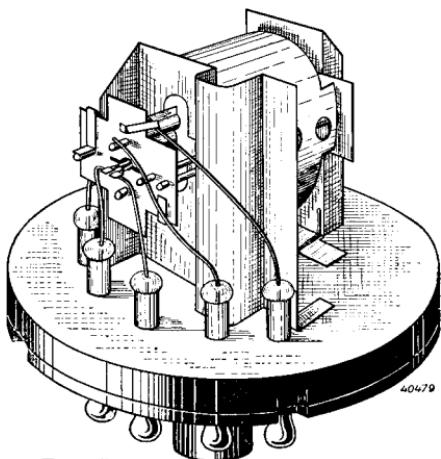


Fig. 47
Inwendige constructie van de triode-hexode mengbuis ECH11.

De doorvoerdraden worden door de holle aansluitpennen gevoerd en aan de einden hiervan vastgesoldeerd.

Andere buizen zijn in principe op dezelfde wijze geconstrueerd. Zoo toont fig. 47 de inwendige constructie van een triode-hexode. In plaats van de U-vormige steunen bevindt zich hierin aan één einde een groter afschermplaatje, dat ten doel heeft, het triodesysteem (in de figuur te zien) van het achter het afschermplaatje liggende hexodesysteem electricisch zoo goed mogelijk af te schermen.

De horizontale constructie biedt dus de mogelijkheid, het stuurrooster via het eene einde van het systeem naar het contact van de huls te voeren en de anode van het andere einde uit op een diametraal tegenoverliggende pen aan te sluiten. Hieruit ontstaat dus een aanmerkelijke vermindering van de koppeling tusschen deze electroden. Een nadeel van de horizontale constructie van het electrodensysteem is, dat deze een naar verhouding grooten diameter van de buizen noodzakelijk maakt, waardoor deze op de chassisplaat van een ontvangsttoestel tamelijk veel plaats innemen, zoodat een besparing van ruimte in het toestel niet op normale wijze door verkleining van de oppervlakte van de chassisplaat kan worden doorgevoerd.

Bij buizen van groot vermogen zou de diameter zoo groot worden, dat zij daardoor onpractische afmetingen zouden krijgen; deze constructie wordt daarom alleen voor buizen van gering vermogen gebruikt. Vergelijkt men de afmetingen met die van een buis met een bodem van geperst glas, dan blijkt de „stalen” buis een diameter d van 43,5 mm en een hoogte h van 43,5 mm te hebben, terwijl bij de gelijksoortige buis met een bodem van geperst glas $d = 29$ mm en $h = 60$ mm (dus doelmatiger afmetingen). Bij de constructie met een bodem van geperst glas en verticale opstelling van het electrodensysteem, kunnen volgens dezelfde techniek bovendien ook buizen van groot vermogen (zoals eindbuizen en gelijkrichtbuizen) worden vervaardigd.

De „stalen” constructie biedt belangrijke voordeelen boven de constructie met kneep.

Eenige hiervan zijn onderstaand samengevat:

- 1) Groote reproduceerbaarheid, dank zij de gekozen constructie, de wijze van pompen (zie hoofdstuk VIII, § 8) en doordat het materiaal van den gasbinder niet op het electrodensysteem kan neerslaan.
- 2) Groote stevigheid van de constructie.
- 3) Korte verbindingen van de electroden naar de pennen van de huls. De „stalen” buizen hebben gunstige eigenschappen voor korte-gelfontvangst.

- 4) Aansluiting van alle electroden aan de huls (eenzijdig naar buiten voeren van de electroden).
- 5) Uitstekende afscherming tegen elektrische en electromagnetische velden. Bovendien zijn door den metalen wand alle moeilijkheden vermeden, die, ten gevolge van ladingen op den wand, bij glazen buizen soms optreden.

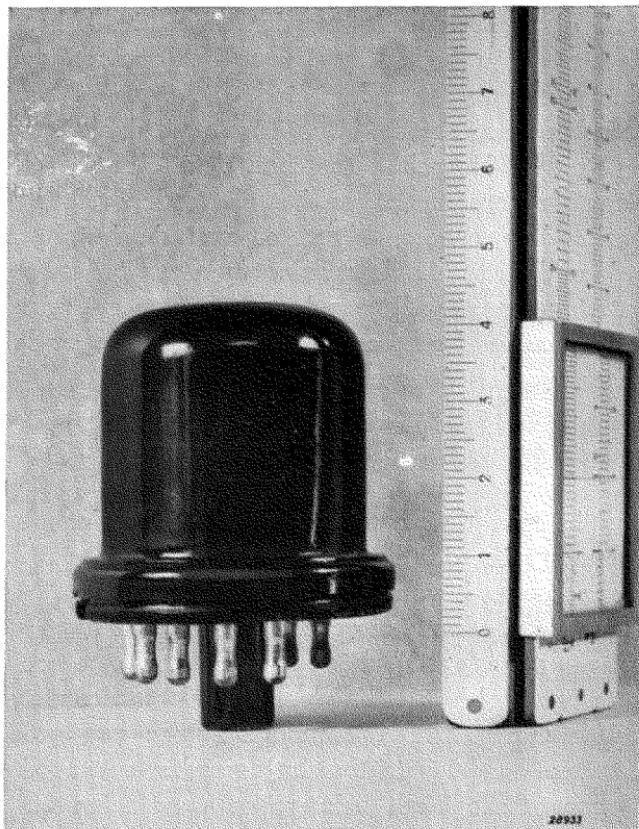


Fig. 48
Uniforme uitvoering van de stalen buizen.

- 6) Geringe toleranties van de afmetingen en van de capaciteiten van de buizen.
- 7) De mogelijkheid om de buizen in iederen stand te gebruiken (de glazen buizen met kneep mogen alleen verticaal of eventueel horizontaal, dus niet met de huls naar boven, worden opgesteld).
- 8) Geen gevaar voor breuk van den ballon.

§ 4. Nabeschouwing

Hiermede zijn eenige uitvoeringen van buisconstructies beschreven; de moderne constructies met een bodem van geperst glas en met stalen ballon zijn tegenwoordig algemeen ingeburgerd en beantwoorden aan hun doel. De constructie met een bodem van geperst glas biedt, ook voor televisiebuizen en speciale buizen voor ultrakortegolfontvangst (golflengte van 1 tot 10 m), groote voordeelen, en hiervoor worden bij voorkeur deze buizen in dezelfde uitvoering of met een iets groteren diameter en negen in plaats van acht pennen gebruikt. Ook voor andere groepen speciale buizen wordt deze constructie, die groote mogelijkheden voor de toekomst biedt, toegepast. De glazen constructie met kneep zal vermoedelijk voor nieuwe buizen — groote versterkings- en gelijkrichtbuizen uitgezonderd — minder worden gebruikt.

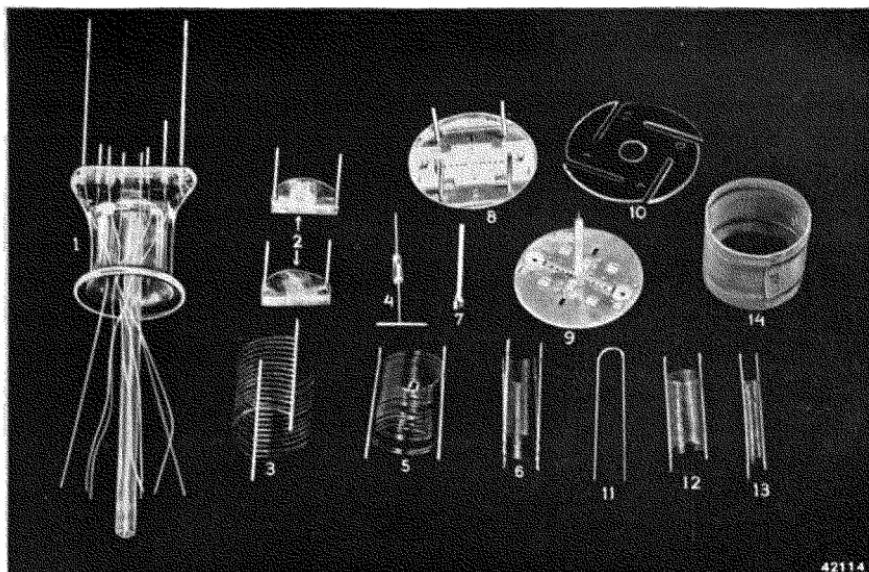
HOOFDSTUK VIII

De fabricage van de radiobuis

De fabricage van een buis omvat verschillende fasen, die men in groote lijnen als volgt kan onderscheiden:

- 1) De fabricage van de afzonderlijke onderdeelen.
 - 1a) Het keuren van de onderdeelen.
- 2) De montage van de daartoe bestemde onderdeelen tot een elektrodensysteem.
- 2a) Het controleeren van de gemonteerde systemen.
- 3) Het monteren van de electrodensystemen in de ballons en het luchtledig pompen van de buizen.
- 3a) Het beproeven van de luchtledig gepompte buizen.
- 4) De uitwendige afwerking van de buizen en het aanbrengen van hulzen.
 - 4a) Het keuren van het uitwendige gedeelte van de buizen.
- 5) Het branden van de buizen onder normale bedrijfsvoorwaarden.
 - 5a) Het beproeven van de buizen.

Op de fabricage van de afzonderlijke onderdeelen zal hier niet in bijzonderheden worden ingegaan; wèl zal aan de hand van een serie foto's worden getracht, een indruk te geven van de zeer gecompliceerde fabricage van de buis en de onderdeelen ervan, een fabricage, die een groot aantal vernuftig bedachte machines en methoden vereischt, die het resultaat van jarenlangen ingespannen arbeid van gespecialiseerde ingenieurs en technici zijn, en aan de verbetering en vervolmaking waarvan onafgebroken wordt gewerkt



42114

Fig. 49

Overzicht van de verschillende onderdelen van het electrodensysteem van de „Miniwatt” octode CK 1.

- 1 = Kneep met pompstengel en ingesmolten doorvoerdraden.
- 2 = Houder voor den gasbinder (getter).
- 3 = Vangrooster (rooster 6).
- 4 = Stuurroosterdoorvoerdraad met dwarssteen en glazen kraal voor het aansmelten op den ballon.
- 5 = Buitenste schermrooster (rooster 5).
- 6 = Stuurrooster (rooster 4).
- 7 = Met isoleerend materiaal bedekte bifilaire gloeidraad.
- 8 = Bovenste plaatje voorzien van mica.
- 9 = Kathodebuisje en onderste plaatje voorzien van mica.
- 10 = Mica plaatje voor het vastzetten van het systeem in den koepelvormigen ballon.
- 11 = Anode van het oscillatorgedeelte. Deze bestaat slechts uit twee staafjes.
- 12 = Binnenste schermrooster (rooster 3).
- 13 = Stuurrooster van het oscillatorgedeelte (rooster 1).
- 14 = Anode.

§ 1. Glazen ballon en overige glazen deelen

De glazen ballon en de overige glazen deelen (glazen buisje voor de constructie van de kneepen, glazen isolatoren enz.) worden in de Philips glasfabriek geblazen of getrokken.

Fig. 50 toont een platform, met in het midden de glasoven en in een kring er omheen de glasblazers; hier worden ballons van verschillende vorm en grootte voor buizen en gloeilampen geblazen. Fig. 51 toont een automatische installatie, die ballons in grote series produceert. Deze machine vervangt een groot aantal glasblazers, die hierdoor voor het vervaardigen van speciale ballons ter beschikking staan.

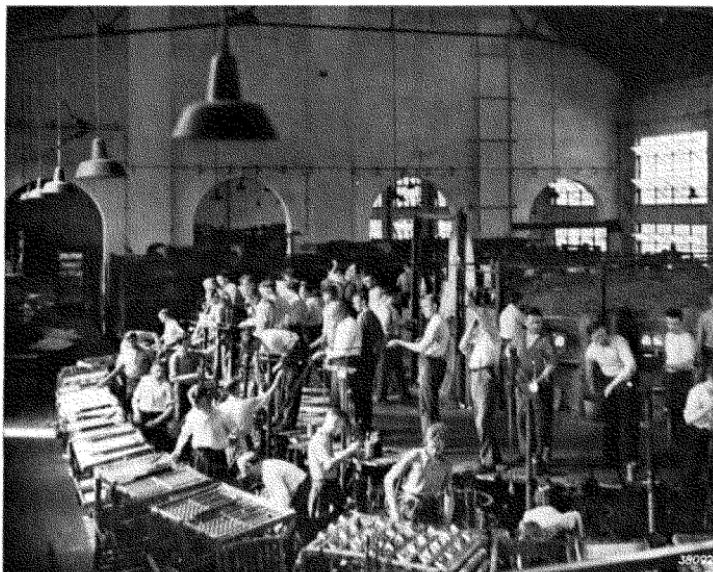


Fig. 50

Een blik in de glasfabriek. In het midden van het platform bevindt zich de glasoven en hier omheen arbeiden de glasblazers, die ballons van verschillende vorm en grootte voor buizen en gloeilampen blazen.

§ 2. Huls van „Philite”

Het „Philite” is een kunstharsproduct, dat in den vorm van poeder met een bijmengsel van zaagsel of andere stoffen onder hoge temperatuur in hiervoor geschikte vormen wordt geperst. De hulzen voor de buizen worden uit dit materiaal vervaardigd. Fig. 52 toont een opname in de „Philite” fabriek met de grote personen.

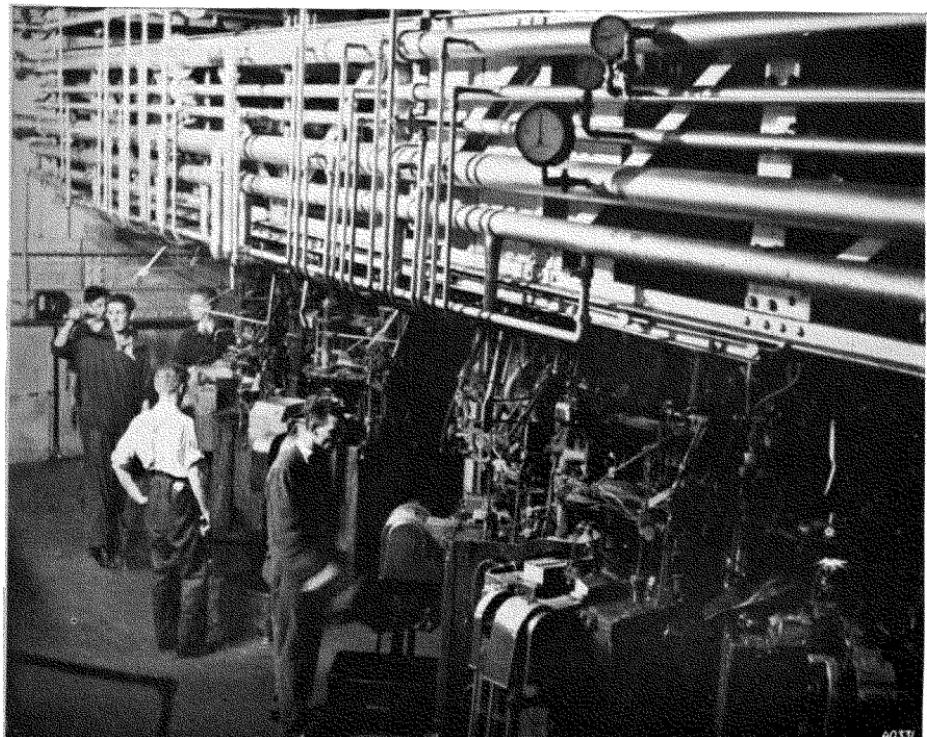


Fig. 51

Machine voor automatische fabricage van ballons in groote series.

§ 3. De vervaardiging van kathoden en gloeidraden

Zoals in hoofdstuk VI werd beschreven, bestaat een indirect verhitte kathode uit een nikkelalen buisje, dat met carbonaten van barium en strontium is bedekt. Daar het materiaal voor de kathodebuisjes in de fabriek in zeer lange stukken wordt getrokken, moeten deze eerst op de juiste lengte worden gesneden. Fig. 53 toont een machine, die speciaal voor dit doel is ontworpen.

Nadat de kathodebuisjes op de gewenschte lengte zijn gesneden, wordt het eene einde van deze buisjes gehamerd, zoodat dit in een dun pennetje uitloopt. Dit moet precies passen in een gat in het mica van het bovenste isoleerende plaatje van het electrodensysteem.

De gloeidraad moet bij de montage door het andere einde worden ingebracht, zoodat dit niet kan worden gehamerd en de kathode aan dit einde in een overeenkomstig groter gat in het mica (of in het keramische materiaal) van het onderste plaatje moet passen. Fig. 54 toont een machine, die het eene einde van het kathodebuisje tot een dunne pen hamert.

Als de kathodebuisjes zoo ver gereed zijn, worden zij in een speciale

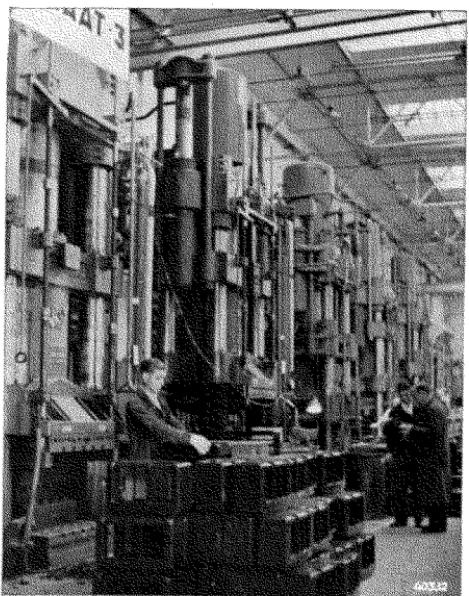


Fig. 52

Opname in de „Philite” fabriek, waar o.a. ook de hulzen van kunsthars voor de buizen worden geperst.

afdeeling met de barium- en strontiumcarbonaten bedekt; door de toegepaste methode wordt een zeer gelijkmatige bedekking van deze buisjes verkregen.

De wolfraamdraden van het gloeilichaam worden op speciaal voor dit doel geconstrueerde machines tot de gewenschte dikte getrokken en op andere machines gewikkeld. Het gloeilichaam wordt doorgaans uit een gewonden draad vervaardigd, daar bij een bepaalde gloeispanning en den daarbij vereischten gloeistroom een lange, dunne draad noodzakelijk is, die in de kleine ruimte binnen in het buisje moet worden ondergebracht.

Dikwijls is de draad zóó lang, dat hij dubbel moet worden gewonden, d.w.z. de tot een spiraal gewonden draad wordt nogmaals gewonden.

Het gloeilichaam moet verder met isoleerend materiaal worden bedekt. Het aanbrengen van een isoleerende laag uit vuurvast materiaal (aluminumoxyde) op de gewonden wolfraamdraden geschiedt op dezelfde wijze als het bedekken van de kathodebuisjes met de in het bovenstaande vermelde carbonaten.

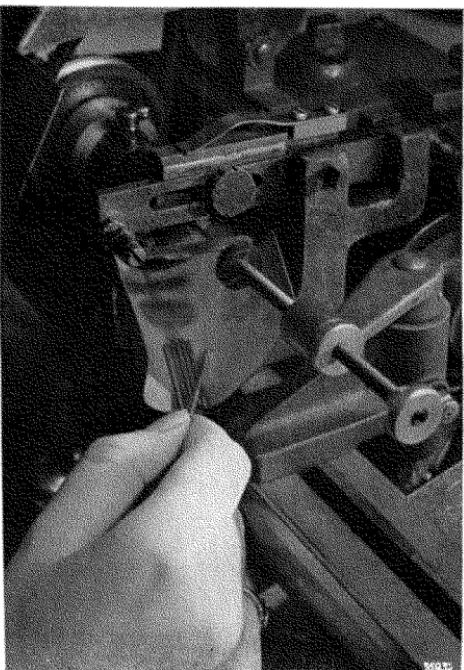


Fig. 53

De machine, die het kathodemateriaal (dun nikkel-en buisje) op de juiste lengte snijdt.

Na het aanbrengen van de isoleerende laag worden deze draden in een oven sterk verhit (zie fig. 55), waardoor de isoleerende laag vast op de draadjes wordt gebakken.

Het bedekken van de gloeidraden van direct verhitte kathoden met de barium- en strontiumcarbonaten geschiedt op dezelfde manier als bij de buisjes van indirect verhitte kathoden. De emitteerende stof wordt rechtstreeks op de draden gebracht en daarna worden deze draden, al naar de vereischte lengte, zigzaggewijs gespannen.

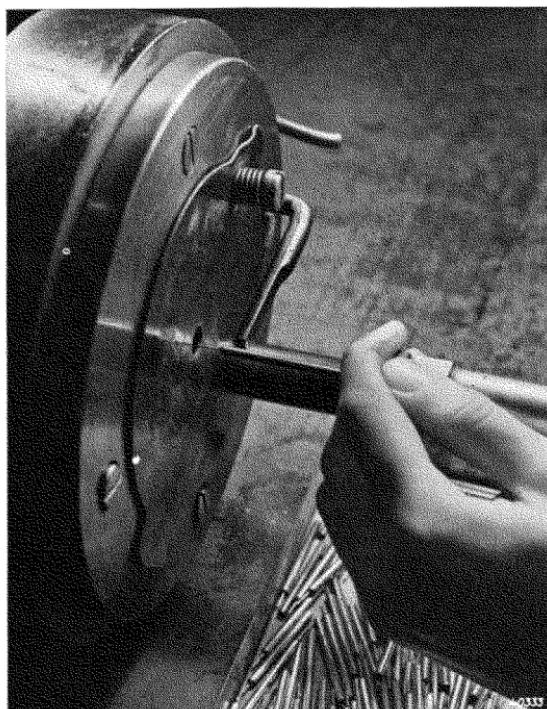


Fig. 54

Machine, die het eene einde van het kathodebuisje tot een dun pennetje hamert.

§ 4. De vervaardiging van roosters

De roosters van de buizen bestaan meestal uit een zeer dunnen, spiraalvormig gewikkelden draad, die de kathode op een bepaalden afstand omgeeft. Om den draad voldoende stevigheid te geven, worden in de lengterichting van de spiraal twee of meer dikkere draden, de zoogenaamde roostersteunen of **roosterbalkjes**, aangebracht, waaraan alle windingen zijn bevestigd. De afmetingen van het rooster moeten zeer nauwkeurig zijn, als men bedenkt, dat de afstand tusschen rooster en

kathode bij bepaalde typen buizen slechts enkele tienden millimeter bedraagt. Toch mag de kathode niet met de roosterwinding in aanraking komen, zelfs niet, als de vorm van deze windingen aan veranderingen is onderworpen, bijvoorbeeld door uitzetting, ten gevolge van de verwarming veroorzaakt door de verhitte kathode in de nabijheid.

Het wikkelen van het rooster geschiedt door automatische machines. De roostersteunen, die een dikte van ongeveer 3/4 mm hebben, worden in den vorm van twee lange, parallel loopende draden toegevoerd. Om deze draden wikkelt de machine een spiraal, die nauwkeurig in daar-

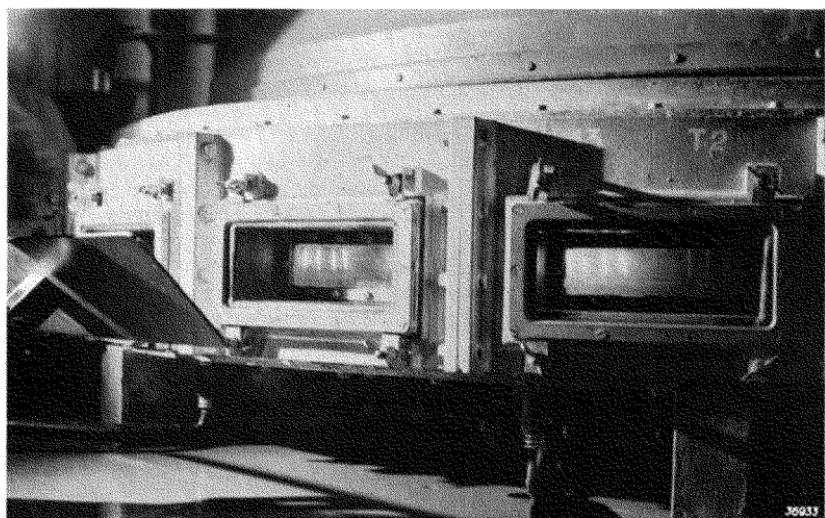


Fig. 55

Het verhitten van de voor indirect verhitte kathoden gewonden gloeidraden in een oven, ten einde de isoleerende laag op deze draden vast te bakken.

voor bestemde inkeepingen in de parallel loopende draden wordt gelegd en ingeperst en daardoor duurzaam wordt bevestigd.

De roosters komen in lange reeksen uit de roosterwikkelmachine (zie fig. 57); door een aantal windingen met groteren spoed zijn de afzonderlijke roosters van elkaar gescheiden. Deze windingen worden later met de roostersteunen op de juiste lengte van het rooster afgeknipt.

De roosters ondergaan, zooals zij van de wikkelmachine komen, eerst een bewerking voor het volledig strekken van de roostersteunen. Hiertoe worden deze roosters in een met gas gevulde buis gebracht, waarna hier, door middel van twee contacten, een electrische stroom doorheen wordt gezonden. De roosters gaan dan gloeien en worden daarbij door een lichten trek gerekt, waardoor de roostersteunen volmaakt recht worden.

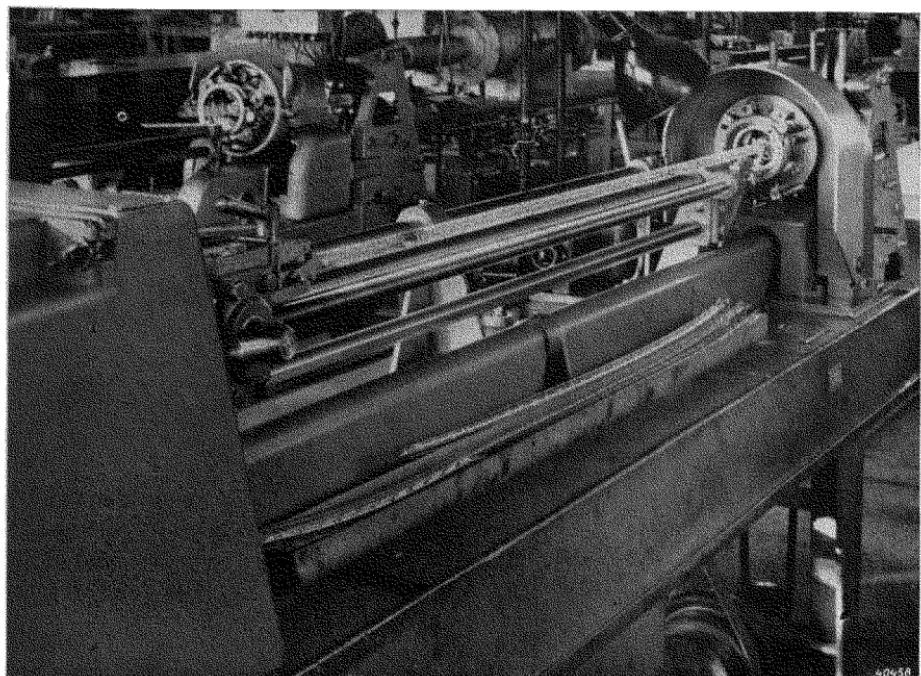


Fig. 56 Een roosterwikkelmachine. Op dergelijke machines worden roosters van elke gewenachte afmeting vervaardigd.

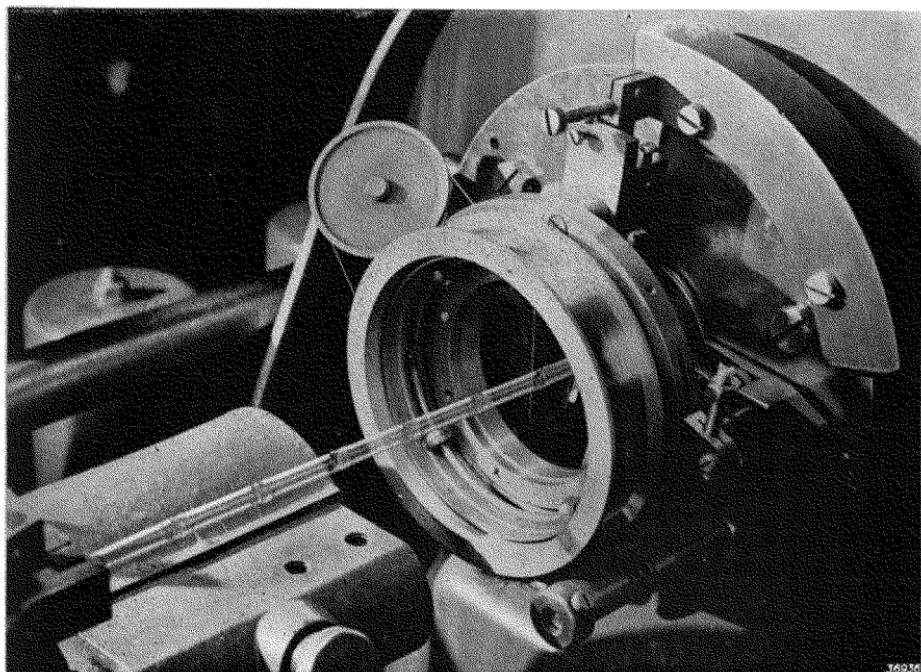


Fig. 57 Een roosterwikkelmachine van nabij gezien.

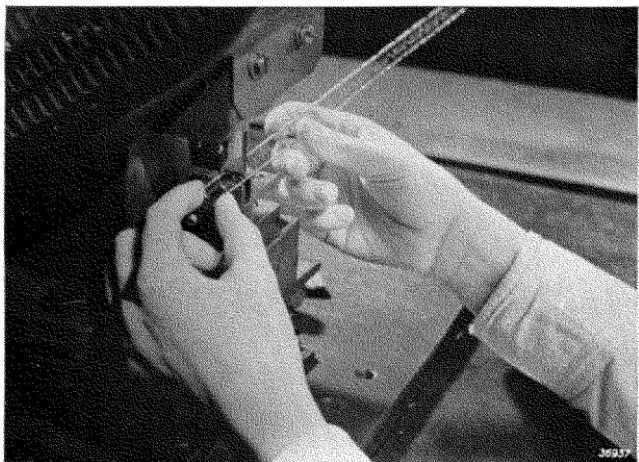


Fig. 58

De in lange reeksen gewikkelde roosters worden machinaal op de juiste lengte afgesneden.

kunnen bedragen (zie fig. 60 en 61). Ook de onderlinge stand van de windingen wordt nauwkeurig gecontroleerd en zoo noodig met een pincet verbeterd.



Fig. 59

Afwerking van de afgesneden roosters.

Na deze bewerking worden de afzonderlijke roosters afgesneden (zie fig. 58).

Met behulp van bijzondere instrumenten wordt de doorsnede van de roosters in den vereischten vorm gebracht (fig. 59), waarna alle roosters zóó nauwkeurig worden gekeurd, dat de afwijkingen ten hoogste 0,03 mm



Fig. 60

Contrôle van de roosters met behulp van een kaliber.

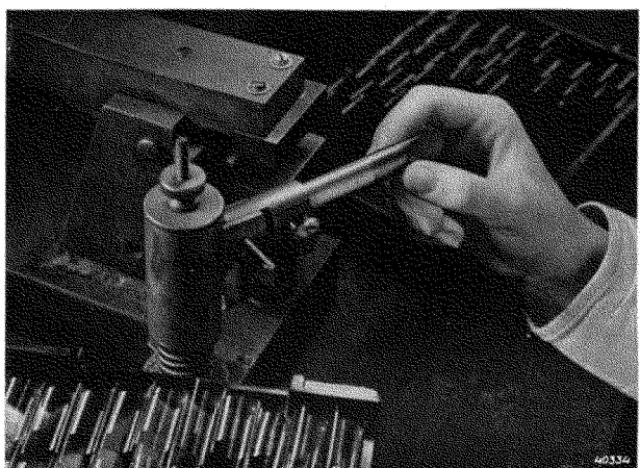


Fig. 61

Contrôle van het rooster op de juiste afmetingen.

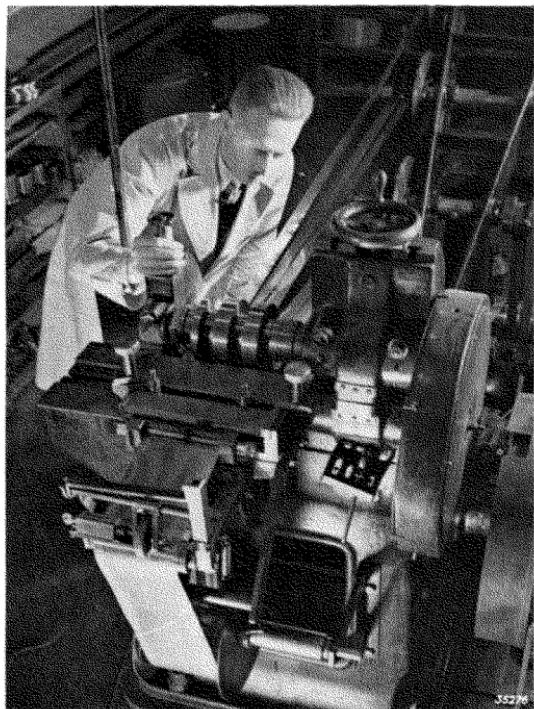


Fig. 62

Het voor de anoden bestemde, op breede rollen gewikkeld bladmetaal wordt met behulp van deze machine op de gewenschte breedte gesneden.

§ 5. De vervaardiging van anoden

De meest gebruikelijke vorm van de anode is een metalen cylinder, die de kathode en de verschillende roosters omgeeft. Het materiaal voor de anode komt in den vorm van rollen bladmetaal in de buizenfabriek. Al naar gelang den vorm van de anode, wordt dit materiaal op de gewenschte breedte

gesneden, zooals men in fig. 62 kan zien.

Uit dit bladmetaal worden daarna de anodeplaatjes gestanst, die op een buigtoestel den definitieven vorm krijgen. Fig. 63 toont, hoe de draagsteunen door puntlasschen aan anode- of afschermpaatjes worden bevestigd.

Ook afschermpaatjes worden op deze wijze vervaardigd. Fig. 64 toont nog, hoe op een machine de geperforeerde plaat voor anode en afschermkooien uit



Fig. 63

Het bevestigen van draagsteunen aan anode- of afschermpaatjes door puntlasschen.

Fig. 64

Machine, waarop geperforeerde plaat uit massief bladmetaal wordt vervaardigd.

massief bladmetaal wordt vervaardigd.

§ 6. De vervaardiging van verdere onderdeelen

Zonder op elk detail in te gaan, zal, aan de hand van nog eenige fotograafische opnamen, de vervaardiging van verdere onderdeelen in het kort worden aangegeven. Zoo toont fig. 65 een machine, die den kneep met de doorvoerdraden vervaardigt.

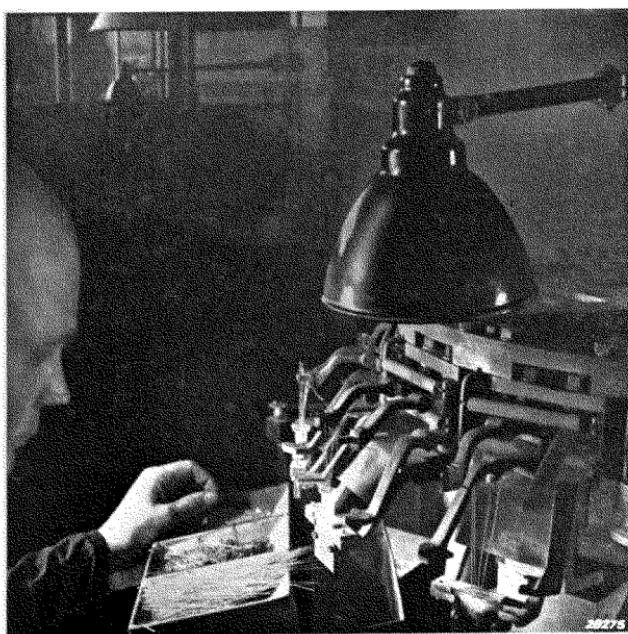
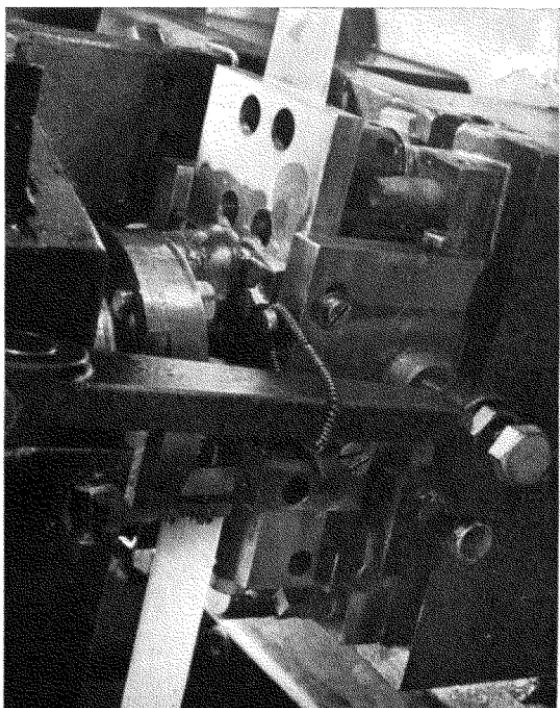


Fig. 65 Fabricage van den kneep met doorvoerdraadjes, draagsteunen en den pompstengel.

Het glas voor de kneepen komt in den vorm van lange buizen uit de Philips glasfabriek; deze worden op de juiste lengte gesneden en vervolgens, na door gasvlammen te zijn verhit, door deze machine tot kneepen gepreßt. Het eene einde van de glazen buizen wordt in warmen toestand om de doorvoerdraden samengedrukt, terwijl het andere einde tot een flens wordt geplet. Tijdens de vervaardiging wordt



Fig. 66 Het stansen van de in de buizen toegepaste mica plaatjes.

Fig. 67 Machine, waarop kleine draadjes ter bevestiging van electroden worden geknipt en gebogen.



Fig. 68 Om den roostertoevoerdraad door den top van den ballon naar buiten te brengen, wordt op deze plaats aan den ballon een dun glazen buisje aangesmolten.

Fig. 69 Ter keuring van den ballon houdt men dezen tegen een verlicht matglas.



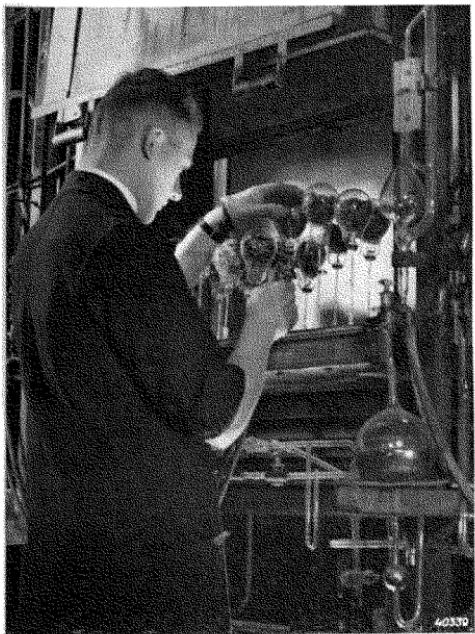


Fig. 70

In een speciaal oven worden de mica plaatjes in glazen ballons op hooge temperatuur gebracht, om deze vrij van gas te maken. Tijdens dit proces worden de ballons luchtledig gepompt en dichtgesmolten. Kort voor het gebruik van de onderdeelen in de montage worden de ballons geopend.

ook de pompstengel aangesmolten. In de buis worden kleine mica plaatjes gebruikt; deze worden in den gewenschten vorm gestanst (fig. 66).

Op andere machines worden kleine draadjes gesneden en gebogen (fig. 67). Fig. 68 toont, hoe, na het doorvoeren van den roostertoevoerdraad door den ballon, aan den top hiervan een glazen buisje wordt vastgesmolten.

§ 7. De montage van het elektrodenstelsel

Nadat in de verschillende afdelingen van de fabriek de vereischte deelen zijn vervaardigd, die tot de radiobuis behoren, komen deze in de montageafdeeling (zie fig. 82). Op deze afdeeling wordt de buis geheel afgewerkt.

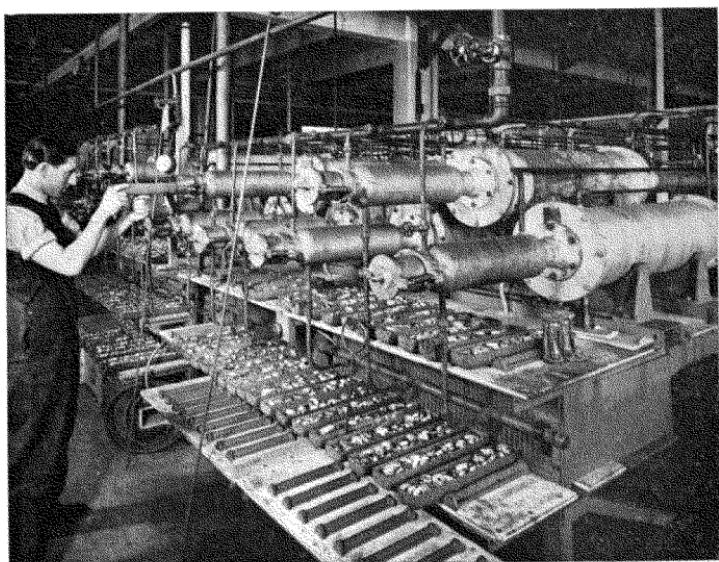


Fig. 71 Electrische ovens voor het reinigen van de onderdeelen voor de elektrodenstelsystemen voor de montage.

Vóór de montage worden de verschillende te gebruiken mica en metalen deelen in ovens echter grondig gereinigd en geheel vrij van gas gemaakt. De gassen in de onderdeelen worden, ten gevolge van de behandeling met stikstof, door dit gas vervangen, waardoor de geringe, eventueel nog uit deze deelen vrij komende gassen, na het luchtledig pompen van de buis, geen vergiftigingsverschijnselen van de kathode kunnen veroorzaken.

Nu wordt het electrodensysteem gemonteerd. Bij de glazen buizen met kneep geschiedt de montage van dit systeem op den kneep, waarin de toevoerdraden van de electroden en draagsteunen reeds zijn aangebracht. Fig. 49 toont een overzicht van de voor de montage van het electrodensysteem vereischte onderdeelen en fig. 72 een eindstadium van de montage van het electrodensysteem met deze onderdeelen. De metalen onderdeelen worden door puntlasschen aan elkaar en op de doorvoerdraadjes en draagsteunen van den kneep bevestigd. Fig. 73 toont het lasschen van het gloeidraadeinde, terwijl verdere stadia van de ontwikkeling door fig. 74 en 75 worden weergegeven. In deze afbeeldingen kan men zien, met welk een nauwkeurigheid het systeem wordt gemonteerd.

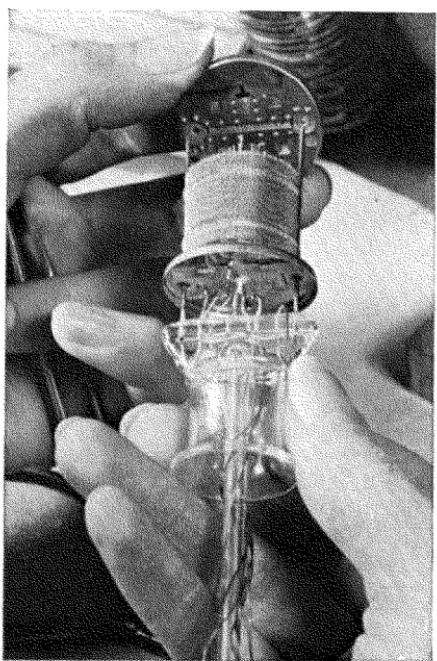


Fig. 72

Een eindstadium in de montage van het voor de octode CK 1 bestemde electrodensysteem.

Bij de buizen met een bodem van geperst glas en de stalen buizen worden de electrodensystemen allereerst los van den bodem gemonteerd. Eerst dan worden, bij een bodem van geperst glas, de drie U-vormige dragers van het systeem door puntlasschen op de doorvoerdraden van den glazen bodem gelascht, terwijl bij de stalen buizen de U-vormige blikjes op den stalen bodem worden bevestigd.

§ 8. Het luchtledig pompen van de buizen

Nadat het binnenwerk van een glazen buis is gemonteerd, wordt het in den glazen ballon aangebracht, waarna de kneep of de bodem van geperst glas hiermee op een machine wordt samengesmolten.

Bij de stalen buizen worden de bal-

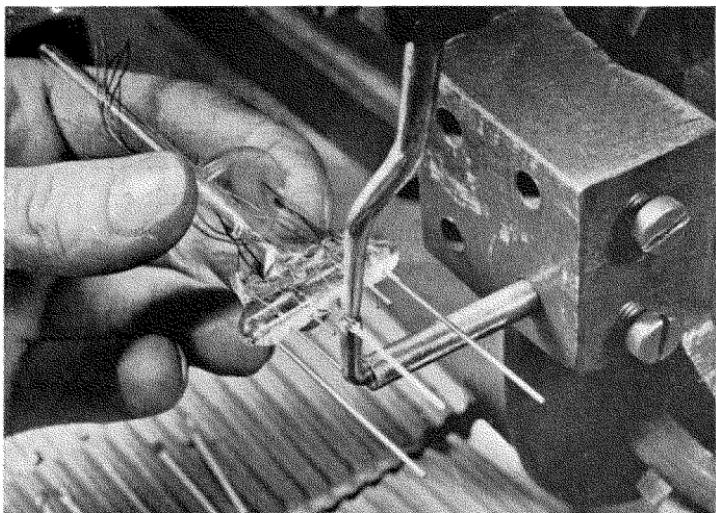


Fig. 73

Het lasschen van den met isolatiemateriaal bedekten gloeidraad aan de daarvoor bestemde doorvoerdraadjes van den kneep.

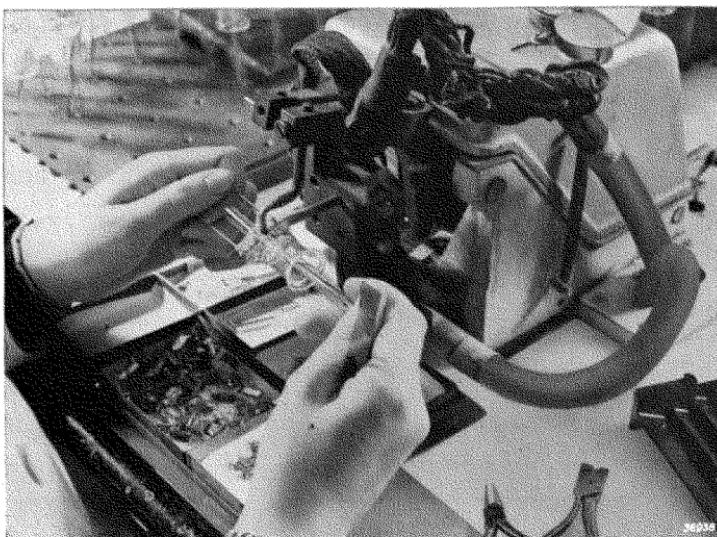


Fig. 74

Montage van het onderste mica plaatje met kathode en rooster op den kneep.

lon en de bodem op een speciale laschmachine door een sterken elektrischen stroom aan elkaar gelascht.

Bij glazen buizen met stuurroosteraansluiting op den ballon, wordt de toevoerdraad van het stuurrooster door het glazen tuitje op den ballon getrokken, waarna het tuitje om den draad wordt vastgesmolten.

Op deze wijze ontstaat de ingesmolten buis, waaruit onderaan, en eveneueel ook bovenaan, de aansluitdraden van de electroden steken en waaraan zich aan de onderzijde nog de pompstengel bevindt.



Fig. 75

Montage van het bovenste mica plaatje. Op den voorgrond electrodensystemen, die, op de anode na, compleet zijn.

buis, waardoor deze op hooge temperatuur worden gebracht. Bij de „stalen” buizen kan deze methode, in verband met de afschermende werking van den ijzeren ballon, niet worden toegepast. Het uitgloeien van de metalen, die zich in deze buizen bevinden, geschiedt door den mantel van den ijzeren ballon met behulp van gasvlammen geelgloeiend te verhitten. Daarbij komen de inwendige deelen op zulke hooge temperaturen, dat de gassen, die zich hierin bevinden, vrij komen.

Op dezelfde machine worden de buizen luchtledig gepompt. Door den pompstengel wordt de in de buis achtergebleven lucht weggezogen. Gelijktijdig worden de electroden en andere metalen onderdelen in het inwendige van de buis uitgloeid. De gassen, die eventueel nog in de metalen en andere deelen zijn achtergebleven, worden door de hoge temperaturen bevrijd en kunnen tijdens het pompen mede worden weggezogen.

Dit uitgloeien geschiedt bij de glazen buizen door een spoel, die automatisch om den ballon wordt geplaatst en waar een H.F. stroom doorheen vloeit; deze stroom induceert H.F. wisselstroomen in de metalen deelen van de

Na het uitgloeien van het inwendige van de buis wordt de gloei-draad onder spanning gezet; hierdoor veranderen de hierop aange-brachte carbonaten in oxyden (zie hoofdstuk IV, § 9a). Na het pompen wordt de pompstengel dicht bij de buis dichtgesmolten. Even voor het dichtsmelten wordt het H.F. veld opgewekt, waardoor het metaal van den gasbinder gaat gloeien en verdampft; als het materiaal

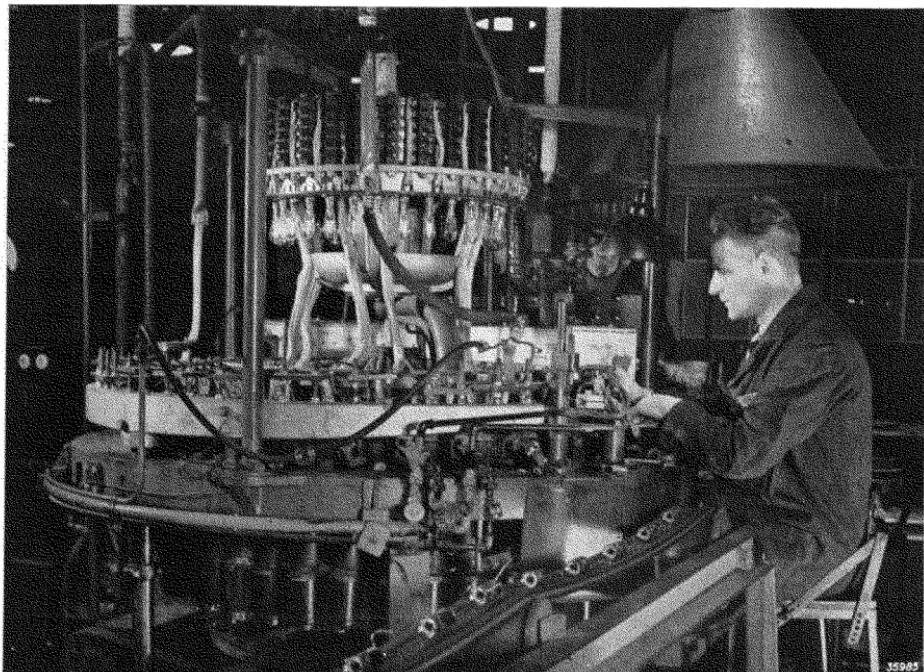


Fig. 76

In deze installatie worden de buizen met kneep luchtledig gepompt, terwijl de inwendige constructie door H.F. wisselstroomen wordt uitgegloeid.

afkoelt, slaat de damp voornamelijk op den tegenoverliggenden glas-wand neer. Het als gasbinder toegepaste barium of magnesium heeft de eigenschap, bij het neerslaan op den glaswand eventueel nog aanwezige gassen in zich op te nemen. Dit gas wordt zodoende gebonden en het daardoor verkregen vacuum is praktisch volkommen.

Na het uitgloeien van de „stalen” buizen door gasvlammen (waarbij ervoor wordt gezorgd, dat de temperatuur van den ballon niet al te hoog wordt, zoodat de gasbinder niet te vroeg verdampft), wordt de gasbinder door een steekvlam, die boven op den ballon wordt gericht, verdampft (op deze plaats bevindt zich namelijk binnen in den ballon de gasbinder). Ten slotte wordt de metalen pompstengel van deze buizen dichtgeknepen en gelascht.

Fig. 76 toont een pompinstallatie voor glazen buizen met kneep.



Fig. 77

Toestel voor het stempelen van de buizen (het aanbrengen van het typenummer en andere kenteeken, zoals datum van fabricage enz.)

Direct na het pompen worden de buizen op een andere machine voorzien van de huls en eventueel van het roosteraansluitdopje. Deze worden bij de glazen buizen met kit aan den ballon bevestigd. Gelijktijdig worden de toevoerdraden van de electroden aan de contacten van de huls en het aansluitdopje op den ballon gesoldeerd.

§ 9. Het metalliseeren van de buizen

Ten slotte worden de buizen, waarbij een metalen bedekking op den ballon gewenscht is, gemetalliseerd. Dit metalliseeren geschiedt met een machine, op zoodanige wijze, dat de delen die niet mogen worden bedekt, afgedekt blijven.

Dikwijs wordt het metaal nog eens met een laag lak overtrokken, waarop als laatste bewerking een stempel wordt gedrukt, die het typenummer enz. aangeeft (zie fig. 77).

§ 10. Het proefbranden of uitbranden, mechanische en electrische contrôle

Nadat de buis zoo ver gereed is, wordt deze eerst eenige uren uitgebrand, d.w.z. ze wordt gedurende dezen tijd met een groo-

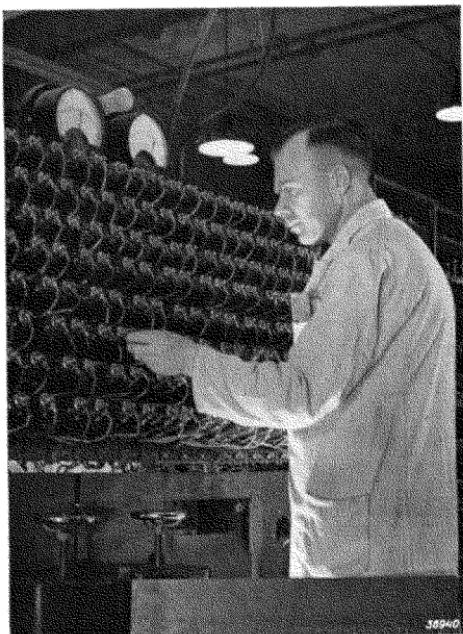


Fig. 78

Het uitbranden van de buizen op grote brandramen.

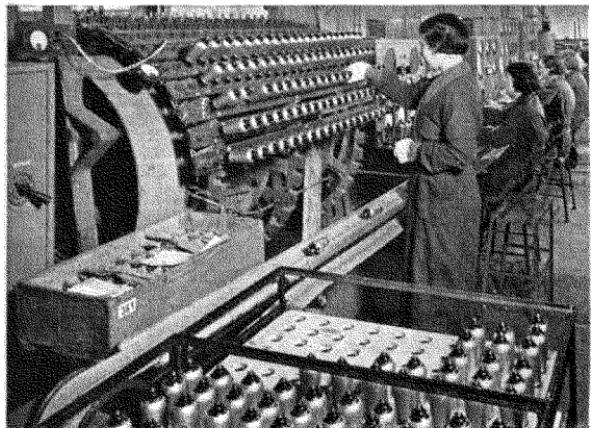


Fig. 79

Een overzicht over de contrôle van de radiobuizen. Eerst worden de buizen op een van houders voorziene grote trommel voorverhit, en daarna door een loopenden band naar de verschillende meetlessenaars gebracht.

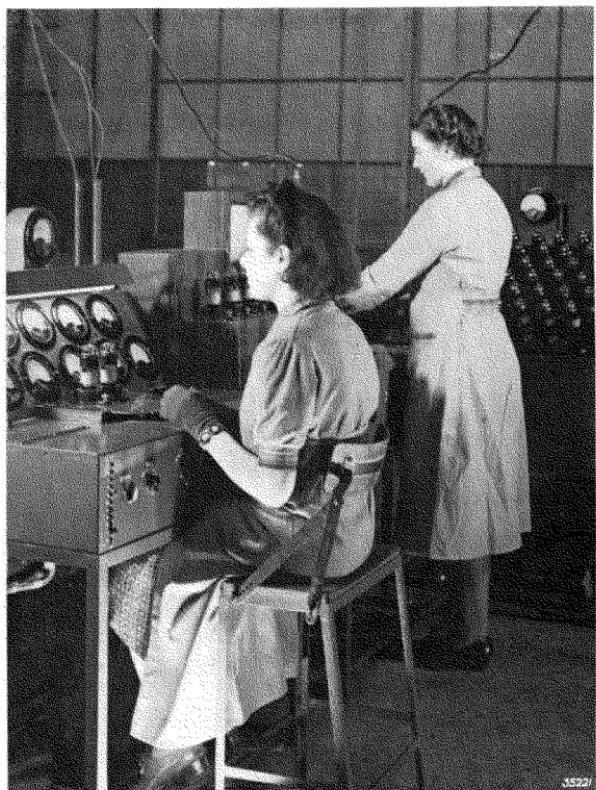


Fig. 80

Meetlessenaar voor de contrôle van de radiobuizen op elektrische eigenschappen.

teren gloeistroom verhit, dan later toelaatbaar is (zie hoofdst. IV, § 9a). Hier toe worden de buizen ondergebracht in groote rekken, zoogenaamde brandramen, waarbij alle gloeidraden parallel worden geschakeld (fig. 78).

Voordat de buizen de fabriek verlaten, worden ze nog aan een groot aantal mechanische en electrische contrôlemetingen onderworpen. Hier toe worden enige meetinstallaties gebruikt, die half-automatisch werken. Eerst worden de buizen op groote brandramen (zie fig. 79) voorverhit, waardoor zij in warmen toestand op den meetlessenaar komen, om vervolgens hierop elektrisch te worden beproefd. Fig. 80 toont een dergelyken meetlessenaar. Door een walsschakelaar in telkens een anderen stand te zetten, worden achtereenvolgens alle elektrische eigenschappen door een contro-

leuse nagegaan. Deze contrôle omvat o.a. meting van de gloeidraadgegevens, van de karakteristieken, van de emissie enz. Buizen, die niet aan de gestelde eischen beantwoorden, vallen uit en worden vernietigd. Toch zou het zonder verdere contrôle mogelijk zijn, dat een buis, die bij de electrische contrôle geen enkele afwijking vertoont, bij het gebruik in een radio-ontvangtoestel nog gebreken blijkt te hebben. Zulke gebreken bestaan uit onregelmatigheden in de buis, waardoor storende krakende geluiden in den luidspreker van een ontvanger kunnen ontstaan. Storing kan bijvoorbeeld worden veroorzaakt door beschadiging van de isolatie tussen gloeidraad en kathode.

Om dergelijke gebreken uit te schakelen, worden alle buizen nog aan een mechanische contrôle onderworpen. Zoo wordt met een rubber hamertje tegen de buizen geklopt (zie fig. 81), waardoor een geschoolde controleuse de oorzaken van de storing met behulp van de aangesloten instrumenten gemakkelijk kan opsporen.

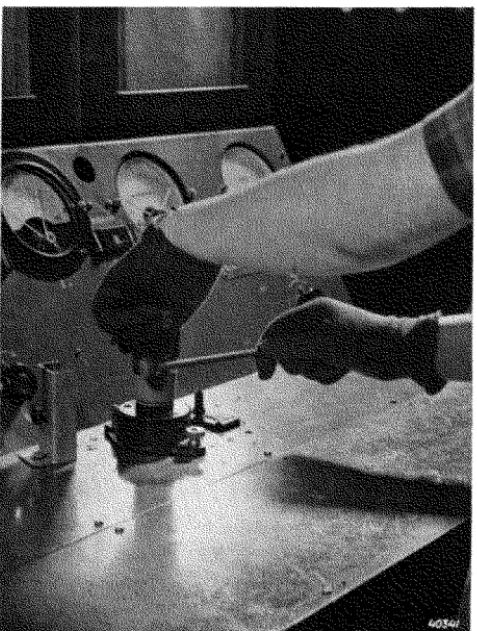
Daarna worden van alle bestaande typen buizen steekproeven genomen; bij deze buizen worden nauwkeurige onderzoeken met betrekking tot de electrische gegevens, de capaciteiten, microfonisch effect, levensduur en andere eigenschappen gedaan, waarvan in de praktijk veel kan afhangen.

Fig. 81

Het controleren van de buizen op storingen ten gevolge van mechanische oorzaken, die krakende geluiden kunnen veroorzaken; deze contrôle geschiedt door bekloppen met een hamertje.

Op deze wijze wordt ervoor gezorgd, dat elke buis, die in den handel komt, volledig aan de gestelde eischen beantwoordt en dat zij binnen nauwe toleranties aan de gepubliceerde gegevens voldoet en de nagestreefde hoedanigheden bezit. Zoo ontstaan in de massaproductie tien-en honderdduizenden buizen van één type met buitengewoon grote gelijkheid van de eigenschappen.

De figuren 83, 84 en 85 geven nog een indruk van de uitgebreide meetinstallaties voor de electrische en mechanische contrôle van de radio-buizen.



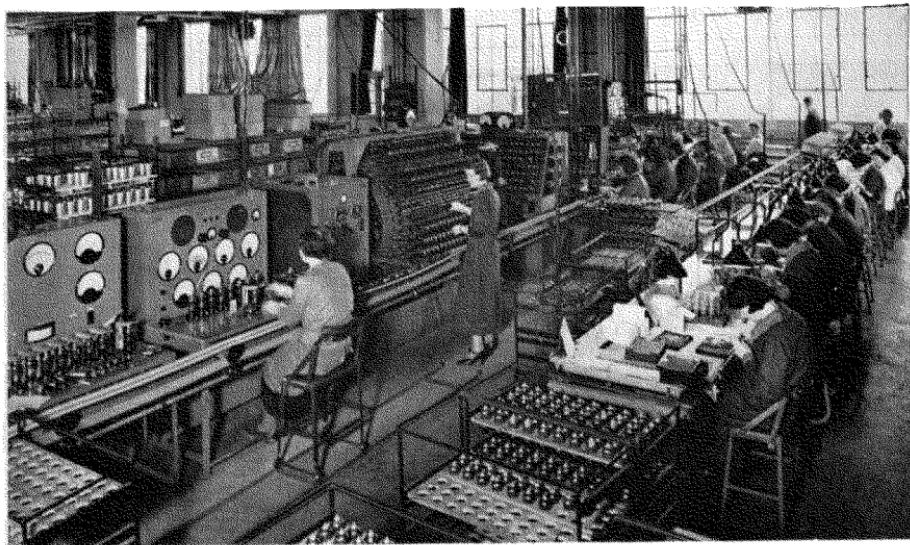


Fig. 82

Een overzicht van de montage van radiobuizen met de eerste contrôle ervan, die direct na de montage, het pompen en het uitbranden wordt verricht.

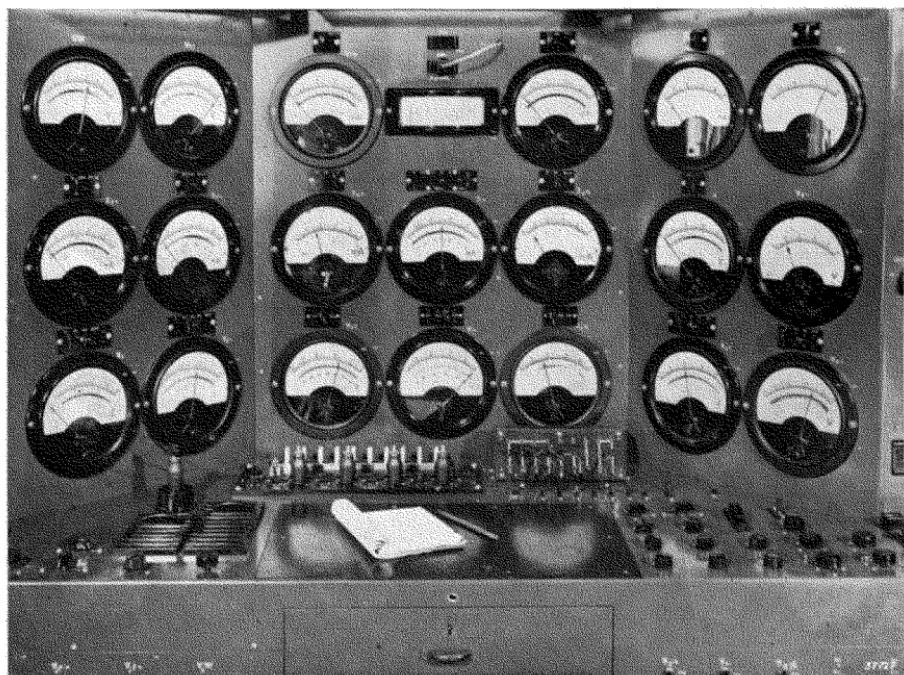


Fig. 83

Meetlessenaar, waarop men alle noodzakelijke spanningen en stroomen der buizen kan meten. De te meten buis bevindt zich voor het linker paneel, terwijl in het midden andere buizen worden voorverwarmd.

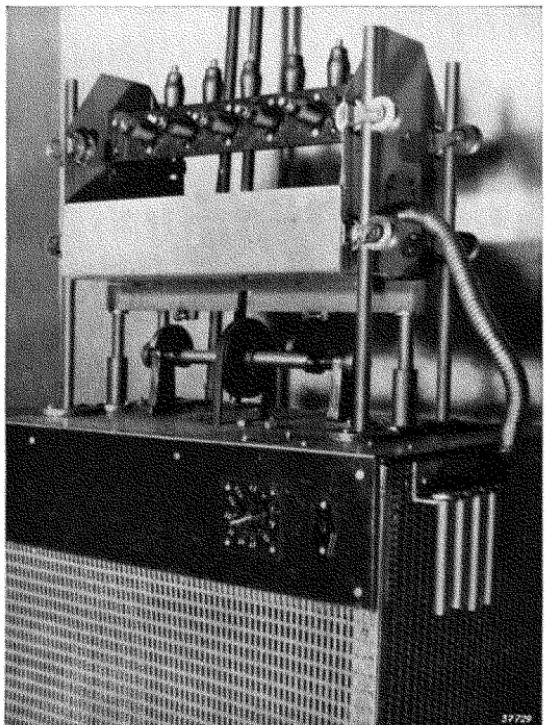


Fig. 84

Stootproefinstallatie, waarop de buizen op hun mechanische stevigheid worden onderzocht.

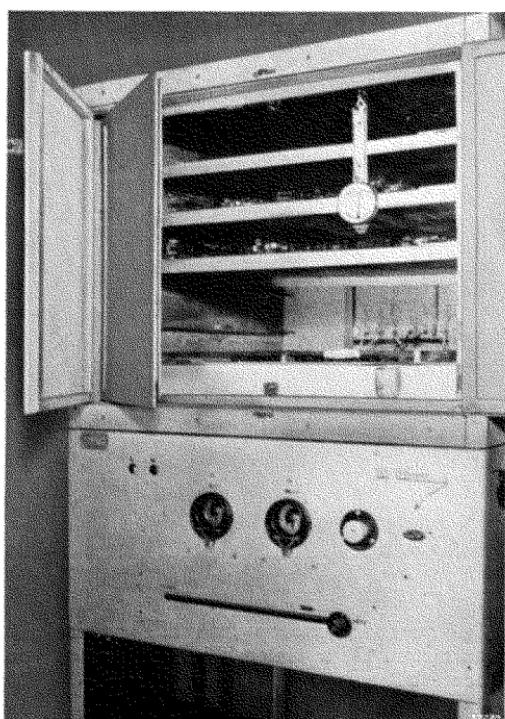
Figuur 83 toont bijvoorbeeld een meetlessenaar, waarop men alle spanningen en stroomen van de buizen snel kan meten. Figuur 84 laat een stootproefinstallatie zien. Hierop worden de buizen zowel in horizontale als in verticale richting door een regelbare kracht heen en weer geschokt. Op deze wijze wordt onderzocht, of de buizen de schokken en stoten verdragen kunnen, die bij de verzending en gedurende

het gebruik (bijv. in autoradiotoestellen) kunnen optreden.

In de tropenkast (fig. 85) worden de atmosferische voorwaarden, zoals deze in de tropen voorkomen, nagebootst. Het geldt hier voornamelijk de temperatuur en den vochtigheidsgraad van de tropen; in de tropenkast worden de invloeden op de uitwendige isolatiematerialen en de kit, waarmee de hulzen aan de ballons zijn bevestigd, nagegaan.

Fig. 85

Tropenkast, waarin de temperatuur en het vochtigheidsgehalte van de tropen zo goed mogelijk worden nagebootst. Nadat de buizen eenigen tijd in deze kast hebben gelegen, wordt onderzocht, of isolatiefouten of corrosie optreden.



HOOFDSTUK IX

De verschillende taken, die de buizen moeten vervullen

Ontvangtoestellen hebben tot taak, uit de veelal uiterst zwakke spanningen, die door alle aanwezige zenders in de antenne worden geïnduceerd, één naar keuze af te zonderen en zoodanig te versterken, dat in den luidspreker of telefoon de gewenschte geluidssterkte ontstaat. De golf, die door een zender wordt uitgezonden, induceert in de antenne een spanning, waarvan het verloop als functie van den tijd doorgaans niet zonder meer sinusvormig, en meestal van meer gecompliceerde aard is.

Alvorens de verschillende taken, die de buizen in een ontvangsttoestel moeten vervullen, op te sommen, zal een en ander worden uiteengezet over den aard van de wisselspanningen, die door de antenne worden opgevangen.

§ 1. De aard van de signalen, die door de antenne worden opgevangen

De overbrenging van muziek, spraak, televisiebeelden of telegrafietekens geschiedt op zoodanige wijze, dat een golf met hoogfrequente trilling door een zendantenne in de ruimte wordt uitgestraald; deze golf noemt men de **draaggolf**. De frequentie hiervan moet zoo hoog zijn, dat de golf gemakkelijk door een zendantenne kan worden uitgestraald en wordt daarom steeds hooger dan 100 000 Hz gekozen. De frequentie, die voor de draaggolf wordt toegepast, is van vele overwegingen afhankelijk; voor den normalen radio-omroep maakt men gebruik van de frequenties tusschen 150 kHz en 30 MHz. Voor speciale uitzendingen komen nog hogere frequenties in aanmerking.

Het verband tusschen de frequentie en de golflengte is, zooals bekend:

$$f = \frac{3 \cdot 10^8}{\lambda} .$$

Hierin stelt f de frequentie in Hz voor (aantal perioden per secunde) en λ de golflengte in meters.

Indien een hoogfrequente golf in den zender wordt beïnvloed door muziek, spraak of andere effecten, die moeten worden overgedragen — men noemt deze beïnvloeding **modulatie** — kan deze modulatie in het ontvangsttoestel te voorschijn worden gebracht, waardoor de mogelijkheid wordt geboden, de gewenschte effecten door geschikte toestellen (bijv. bij ontvangsttoestellen den luidspreker) weer te geven. In den zender worden de acoustische trillingen bij de overbrenging van muziek en

spraak door microfoons in electrische trillingen omgezet. De amplituden van deze electrische trillingen dienen evenredig te zijn met de geluidsterkte, hun frequenties gelijk aan de frequenties en harmonischen, welke in de acoustische trillingen aanwezig zijn. Deze electrische trillingen komen dus met de acoustische trillingen overeen en worden in het ontvangsttoestel door **detectie** (gelijkrichting) van de hoogfrequente golf weer te voorschijn geroepen, waarna zij door den luidspreker in acoustische trillingen worden omgezet. De acoustische trillingen liggen ongeveer tus-schen 40 en 10 000 Hz (hoorbaar gebied), zoodat ook de **laagfrequente trillingen**, die de **hoogfrequente trilling van de draaggolf** moduleeren, binnen dit gebied liggen.

Bij de overbrenging van beelden (beeldtelegrafie en televisieuitzendingen) worden deze punt voor punt afgetast en zet een hiervoor bestemde inrichting de helderheid van elk punt in een spanning om, die evenredig is met de helderheid. Deze spanning moduleert een H.F. draaggolf¹⁾ en wordt in het televisie-ontvangtoestel weer als electrische spanning te voorschijn geroepen, om op het scherm van een kathodestraalbuis als een punt van bepaalde helderheid te worden weergegeven.

Een hoogfrequente spanning, die als functie van den tijd sinusvormig verloopt, kan, zooals bekend, worden voorgesteld door de formule

$$(1) \quad v = V_0 \cos (\omega t + \varphi).$$

waarin:

v = momentele waarde van de spanning,

V_0 = amplitude van de spanning,

ω = cirkelfrequentie van de trilling = $2\pi f$ (f = aantal perioden per secunde),

t = tijd in secunden,

φ = fasinhoek.

Stelt men het begin van den tijd bij $v = V_0$, dan wordt de formule (1) vereenvoudigd tot:

$$(2) \quad v = V_0 \cos \omega t.$$

Uit deze formule blijkt, dat er twee mogelijkheden zijn, deze H.F. spanning door een L. F. spanning te moduleeren, en wel door de amplitude V_0 of de frequentie ω te beïnvloeden. In het eerste geval spreekt men van **amplitudemodulatie**, in het tweede geval van **frequentie- of fasemodulatie**.

¹⁾ De afkortingen H.F., M.F. en L.F. hebben betrekking op hoogfrequent, midden-frequent en laagfrequent.

a) Signalen, waarvan de amplitude wordt gemoduleerd

Bij amplitudemodulatie bestaat de wisselspanning in de antenne uit een H.F. wisselspanning van een bepaalde constante frequentie, de draaggolf, waarvan de amplitude in een lage frequentie varieert. De modulatiespanning wordt in de studio van den zender door de muziek of spraak opgewekt en, na voldoende te zijn versterkt, naar den zender gevoerd. Hier wordt op de in den zender opgewekte H.F. spanning van constante frequentie (**draaggolf-frequentie**) en constante amplitude een zoodanige invloed uitgeoefend, dat de amplitude van deze H.F. spanning in het rythme van de modulatiefrequentie verandert, en wel evenredig met de sterkte van de moduleerende spanning (zie fig. 86 c). De streep-punt lijnen van fig. 86 c, waarvan de vorm gelijk is aan dien van de moduleerende spanning als functie van den tijd, worden soms ook als **omhullende lijnen** betiteld. Onder **modulatiediepte** verstaat men de verhouding tusschen de amplitude van een sinusvormige omhullende kromme van de H.F. draaggolf en de amplitude van de ongemoduleerde draaggolfspanning. Bij een modulatiediepte van 100% is de amplitude van de omhullende lijn gelijk aan de amplitude van de draaggolfspanning. Deze spanning verandert dan in het rythme van de modulatiefrequentie tusschen 0 en de dubbele waarde van de ongemoduleerde de bovenstaande uiteenzettingen wordt door de vergelijking:

$$(3) \quad m = \frac{V_m}{V_o} 100\%,$$

waarin:

m = modulatiediepte in %.

V_m = amplitude van de spanning, die door de sinusvormige omhullende lijn wordt voorgesteld,

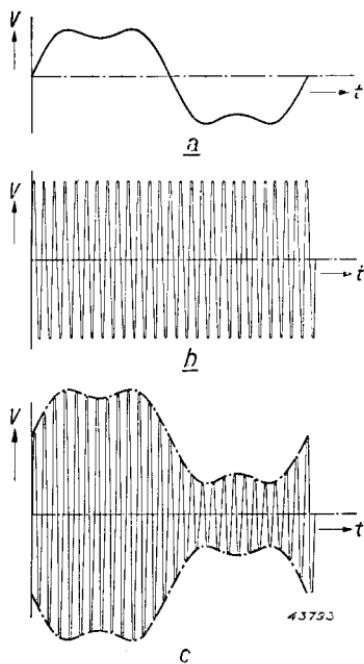


Fig. 86

Bovenste kromme: L.F. spanning, die de draaggolf moduleert, als functie van den tijd.

Middelste kromme: H.F. spanning (draaggolf) zonder L.F. modulatie.

Onderste kromme: Gemoduleerde H.F. spanning.

draaggolfspanning. Volgens de modulatiediepte bepaald

V_o = amplitude van de spanning der draaggolf.

In fig. 87 is de definitie van de modulatiediepte in beeld gebracht, terwijl het oscillogram van fig. 88, dat met een Philips kathodestraaloscillograaf is opgenomen, een gemoduleerde H.F. spanning voorstelt.

Uit fig. 87 blijkt, dat de gemoduleerde draaggolf tusschen de waarden $V_o + V_M$ en $V_o - V_M$ schommelt. De modulatie van een H.F. draaggolfspanning (**H.F. signaal**)

door een L.F. wisselspanning (**L.F. signaal**) heeft ten gevolge, dat de H.F. wisselspanning als functie van den tijd volgens de kromme van fig. 87 verloopt. Deze H.F. wisselspanning bestaat niet meer uit één zuiver sinusvormige spanning (verondersteld, dat de ongemoduleerde H.F. wisselspanning als functie van den tijd zuiver sinusvormig verliep). Ten gevolge van de modulatie ontstaan drie sinusvormige trillingen, en wel één sinusvormige trilling, waarvan de frequentie en de amplitude met die van de ongemoduleerde draaggolf overeenkomen, en twee sinusvormige trillingen, waarvan de eene een frequentie gelijk aan die van de ongemoduleerde draaggolffrequentie, vermeerderd met de modulatiefrequentie, en de andere een frequentie gelijk aan die van de ongemoduleerde draaggolffrequentie, verminderd met de modulatiefrequentie, heeft, waarbij de amplitude van beide gelijk is aan $\frac{1}{2} m \times$ de amplitude van de ongemoduleerde draaggolfspanning. Bij de modulatie wordt de draaggolf namelijk in het rythme van de L.F. modulatiespanning verzwakt of versterkt. Dit kan door de volgende vergelijking worden voorgesteld (zie ook fig. 87):

$$(4) \quad v = \underline{V_o [1 + m \cos pt] \cos \omega_0 t},$$

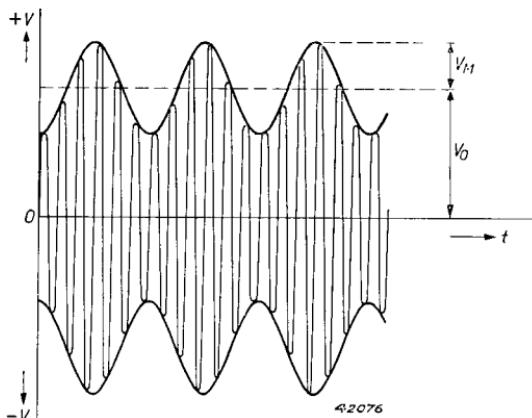


Fig. 87

H.F. spanning, die met een enkele lage frequentie is gemoduleerd. De modulatiediepte van de trilling, die door deze figuur wordt voorgesteld, bedraagt $33\frac{1}{3}\%$.

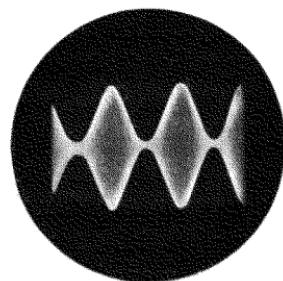


Fig. 88

Oscillogram van een gemoduleerde H.F. spanning, dat met een Philips kathodestraaloscillograaf is opgenomen. Dit oscillogram stelt de modulatie voor van een draaggolf van 300 kHz met een geluids frequentie van 400 Hz.

waarin:

V_o = amplitude van de draaggolfspanning,

m = modulatiediepte,

p = cirkelfrequentie van de modulatiespanning $= 2\pi f_M$,

ω_0 = cirkelfrequentie van de draaggolfspanning $= 2\pi f_0$.

Het onderstreepte gedeelte van deze vergelijking noemt men de **momen-tele waarde van de amplitude** van de draaggolf.

De vergelijking (4) kan ook als volgt worden geschreven:

$$(5) \quad v = V_o \cos \omega_0 t + m V_o \cos p t \cos \omega_0 t =$$

$$V_o \cos \omega_0 t + \frac{1}{2} m V_o \cos (\omega_0 + p) t + \frac{1}{2} m V_o \cos (\omega_0 - p) t.$$

Uit vergelijking (5) nu blijkt, dat de modulatie van een H.F. spanning met een L.F. golf de drie bovengenoemde wisselspanningen oplevert. De beide trillingen $\frac{1}{2} m V_o \cos (\omega_0 + p) t$ en $\frac{1}{2} m V_o \cos (\omega_0 - p) t$, die dus een bedrag p (= modulatiefrequentie) hoger, respectievelijk lager dan de draaggolffrequentie liggen, worden **zijgolven** genoemd; de trilling $V_o \cos \omega_0 t$ is de oorspronkelijk niet gemoduleerde **draaggolf**. Bij radio-uitzendingen bestaat de modulatie meestal uit frequenties, die tusschen 40 en 4500 Hz liggen¹⁾. Elk van deze frequenties vormt met de draaggolf twee zijgolven, en alle modulatiefrequenties tezamen vormen aan weerszijden van de draaggolffrequentie twee symmetrische frequentiespectra of **zijbanden**, die zich bijvoorbeeld uitstrekken van de draaggolffrequentie + 40 Hz tot de draaggolffrequentie + 4500 Hz en van de draaggolffrequentie - 40 Hz tot de draaggolffrequentie - 4500 Hz. Het gehele frequentiespectrum van $(\omega_0 + p)$ tot $(\omega_0 - p)$, waarbij p in dit geval de hoogste modulatiefrequentie voorstelt, noemt men de bandbreedte van den zender. Uit het bovenstaande blijkt, dat de bandbreedte van de hoogste modulatiefrequentie afhankelijk en met deze frequentie evenredig is.

Soms wordt één zijband in den zender onderdrukt, zoodat het frequentiespectrum van den zender zich uitstrek van ω_0 tot $(\omega_0 + p)$ of van $(\omega_0 - p)$ tot ω_0 . De onderdrukking van één zijband wordt veelal bij televisie-uitzendingen toegepast, ter beperking van de bandbreedte voor de beeldoverbrenging, daar hierbij buitengewoon hoge modulatiefrequenties voorkomen (bijv. 2 MHz).

¹⁾ Meestal wordt voor de verschillende zenders in het omroepgebied een frequentieafstand tusschen de draaggolven van 9000 Hz aangehouden, zoodat de hoogste modulatiefrequentie niet hoger dan 4500 Hz genomen kan worden, om storingen tusschen naburige zenders beperkt te houden (een zijgolf van 6000 Hz van één zender treedt bij 9000 Hz frequentieverschil tusschen twee naburige draaggolven ook op als een zijgolf van den anderen zender met een frequentieafwijking van 3000 Hz).

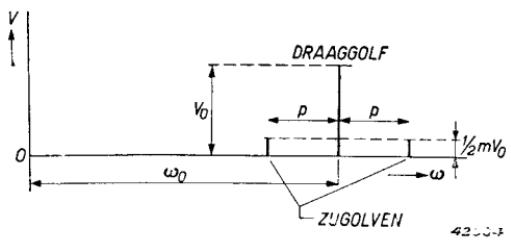


Fig. 89a

Voorstelling van een draaggolf, die met een enkele frequentie is gemoduleerd, als een ongemoduleerde draaggolf met twee zijgolven, waarvan de amplituden gelijk zijn aan $\frac{1}{2}mV_0$ (V_0 = amplitude van de draaggolf).

tegelijkertijd de resulteerende gemoduleerde H.F. spanning en de omhullende kromme geteekend.

De draaggolf heeft meestal een hoge frequentie. Bij den radio-omroep liggen de frequenties van de draaggolven, die door de zenders worden uitgestraald, tusschen 150 en 300 kHz (langegefoggebied: golflengte

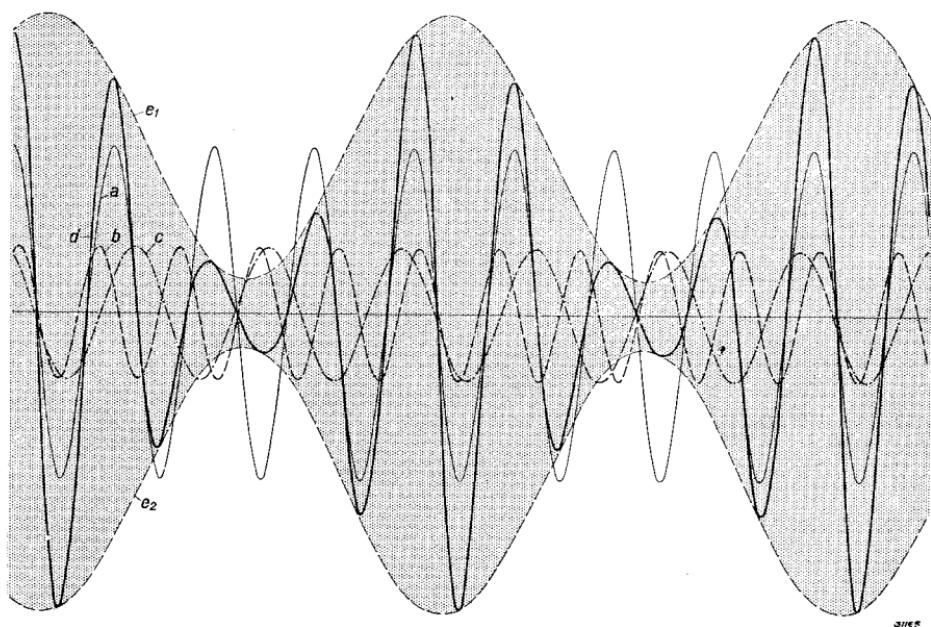


Fig. 89b

Voorstelling van een gemoduleerde H.F.-trilling d, samengesteld uit een draaggolf a en de hierbij behorende zijgolven b en c. De omhullende lijnen e_1 en e_2 zijn eveneens aangegeven.

- : draaggolf a.
- - - : zijbandcomponent b.
- - - - : zijbandcomponent c.
- — — : resulteerende H.F. trilling d.
- - - - - : omhullenden e_1 en e_2 .

Fig. 89 geeft nog een ontleding van een gemoduleerde draaggolf in een ongemoduleerde draaggolf met twee zijgolven, en wel geeft fig. 89a, waarin op de horizontale as de frequenties zijn uitgezet, de spanningen bij de frequentie $(\omega_0 + p)$, bij ω_0 en bij $(\omega_0 - p)$, terwijl fig. 89b de spanningen als functie van den tijd t voor deze drie trillingen weergeeft. In fig. 89b zijn

2000—1000 m), tusschen 500 en 1500 kHz (middengolfgebied: golflengte 600—200 m) en tusschen 6000 kHz en 30 MHz (kortegolfgebied: golflengte 50—10 m). Voor televisieoverdracht worden frequenties tusschen 40 en 100 MHz (7,5—3 m) en voor ultrakortegolfuitzendingen frequenties van 60 MHz tot 300 MHz (5—1 m) en hooger gebruikt. Voor decimeter- en centimeteruitzendingen (golflengte bijv. 30 cm of 6 cm) zijn de frequenties nog aanmerkelijk hooger.

b) Signalen, waarvan de frequentie wordt gemoduleerd¹⁾

In den laatsten tijd bestaat groote belangstelling voor toepassing van de reeds vroeger bekende frequentiemodulatie, die, dank zij de moderne technische hulpmiddelen, aan beteekenis heeft gewonnen. Ze biedt groote mogelijkheden voor ongestoorde overbrenging van het uitgezonden signaal. Bij frequentiemodulatie wordt een opgewekte H.F. trilling zoodanig gemoduleerd, dat niet de amplitude van deze trilling, maar de frequentie ervan in het rhythme van een laagfrequente modulatie varieert. De sterkte van de modulatie wordt bepaald door de grootte van de frequentieafwijking ten opzichte van een gemiddelde vaste hoge frequentie, waaromheen de frequentieafwijking symmetrisch schommelt; het rhythme van de modulatie bepaalt de frequentie van de frequentieafwijking, waarin deze om de gemiddelde waarde schommelt. De amplitude van de H.F. trilling blijft hierbij dus constant.

Indien ω_0 de cirkelfrequentie van het ongemoduleerde H.F. signaal voorstelt ($\omega_0 = 2\pi f_0$) en p de cirkelfrequentie van een sinusvormige modulatiespanning ($p = 2\pi f_M$), zal de frequentie volgens de bovenstaande beschrijving van de frequentiemodulatie p maal per seconde tusschen $\omega_0 + \Delta\omega_0$ en $\omega_0 - \Delta\omega_0$ varieeren, waarbij $\Delta\omega_0$ evenredig is met de amplitude van de L.F. modulatiespanning.

$\Delta\omega_0$ is de amplitude van de frequentieafwijking van een gemiddelde frequentie ω_0 , en bij een sinusvormige modulatie verloopt de frequentie als functie van den tijd dus volgens de vergelijking:

$$(6) \quad \omega = \omega_0 + \Delta\omega_0 \cos pt.$$

In deze formule noemt men ω de **momentele waarde van de frequentie** van het signaal, waarvan de frequentie wordt gemoduleerd. Men kan nu afleiden, dat een golf, waarvan de frequentie een dergelijke momentele waarde heeft, door de vergelijking:

$$(7) \quad v = V_0 \cos(\omega_0 t + \frac{\Delta\omega_0}{p} \sin pt)$$

wordt voorgesteld.

¹⁾ Zie ook Th. J. Weijers, „Recente ontwikkelingen betreffende frequentiemodulatie”, Tijdschr. v. h. Ned. Radiogenootschap 8, 1940, blz. 315—364, en het literatuuroverzicht op blz. 105.

Wordt $\frac{\Delta\omega_0}{p}$ door de letter m vervangen, die men den **modulatie-index** noemt, dan verkrijgt men:

$$(8) \quad v = V_o \cos (\omega_0 t + m \sin pt),$$

waarin:

v = momentele waarde van de spanning,

V_o = amplitude van de ongemoduleerde H.F. spanning,

ω_0 = cirkelfrequentie van de ongemoduleerde H.F. spanning,

p = cirkelfrequentie van de moduleerende trilling,

m = modulatie-index =

$$\frac{\text{amplitude van de frequentieafwijking}}{\text{frequentie van de frequentieafwijking}} = \frac{\Delta\omega_0}{p}.$$

Uit de vergelijking (8) blijkt, dat de fase $\omega_0 t$ van de ongemoduleerde draaggolf door een L.F. trilling $m \sin pt$ is gemoduleerd; om deze reden spreekt men ook van **fase-modulatie**. Men kan den modulatie-index m op verschillende wijzen vastleggen. In het geval, dat de amplitude $\Delta\omega_0$ onafhankelijk is van de frequentie p van het moduleerende L.F. signaal, maar wel evenredig is met de amplitude van dit L.F. signaal, spreekt men van **frequentiemodulatie**.

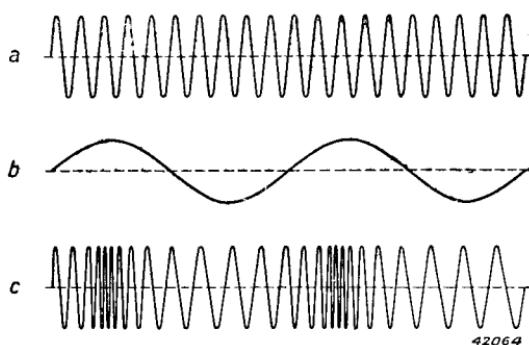


Fig. 90

- a) Ongemoduleerde H.F. trilling.
- b) Moduleerende L.F. trilling.
- c) Trilling, waarvan de frequentie is gemoduleerd.

Fig. 90c toont de H.F. trilling, waarvan de frequentie is gemoduleerd. Fig. 90a stelt de H.F. trilling voor, fig. 90b de moduleerende L.F. trilling en fig. 90c de H.F. trilling, waarvan de frequentie is gemoduleerd.

Het signaal, waarvan de frequentie is gemoduleerd, kan een aanzienlijke bandbreedte innemen. Door ontleding van vergelijking (8) verkrijgt men namelijk:

$$(9) \quad V_o \cos (\omega_0 t + m \sin pt) = f_1 V_o \cos \omega_0 t + \\ + f_2 V_o \left\{ \cos (\omega_0 + p)t - \cos (\omega_0 - p)t \right\} + \\ + f_3 V_o \left\{ \cos (\omega_0 + 2p)t + \cos (\omega_0 - 2p)t \right\} + \\ + f_4 V_o \left\{ \cos (\omega_0 + 3p)t - \cos (\omega_0 - 3p)t \right\} + \dots \text{enz.}$$

De factoren $f_1, f_2, f_3, f_4, \dots$ enz. zijn van de grootte van m afhankelijk en kunnen wiskundig worden bepaald. Voor kleine waarden van m ($m \ll 1$) wordt $f_1 = 1, f_2 = \frac{m}{2}$, terwijl f_3 evenredig wordt met m^2, f_4 met m^3 , enz. Dus worden de factoren f_3 en hoger uiterst klein en luidt de vergelijking (9) dientengevolge, bij verwaarlozing van deze factoren:

$$(10) \quad V_o \cos(\omega_0 t + m \sin p t) = V_o \cos \omega_0 t + \frac{1}{2} m V_o \cos(\omega_0 + p) t - \frac{1}{2} m V_o \cos(\omega_0 - p) t$$

Men verkrijgt dan weer, evenals bij de amplitudemodulatie, een draaggolf met twee zijgolven, waarvan de eene zijgolf echter tegengesteld in fase is t.o.v. de overeenkomstige bij amplitudemodulatie. De bandbreedte is in dat geval dus gelijk aan het tweevoud van de modulatiefrequentie

$\frac{p}{2\pi}$. Bij grotere waarden van m worden de factoren f_3, f_4 , enz. echter

groter en mogen de zijgolven met de frequenties $(\omega_0 + 2p), (\omega_0 - 2p)$, $(\omega_0 + 3p), (\omega_0 - 3p)$

enz, die dus steeds een geheel veelvoud van de modulatiefrequentie p hooger of lager dan de grondfrequentie ω_0 liggen, niet meer worden verwaarloosd; in dat geval is een frequentiespectrum van zijgolven aanwezig, waarin alle frequenties op een afstand gelijk aan de modulatiefrequentie p van elkaar liggen. De bandbreedte, die in beslag wordt genomen, is dan veel groter.

Nu moet men, om met frequentiemodulatie een behoorlijke storingsvrijheid te krijgen, $\Delta\omega_0$, en dus ook de modulatiedeindex m , groot kiezen ($mp = \Delta\omega_0$). Meestal kiest men daarom een waarde van den modulatiedeindex, die groter is dan 10, en er ontstaat dan, bij een hoge waarde van de modulatiefrequentie, een frequentie-

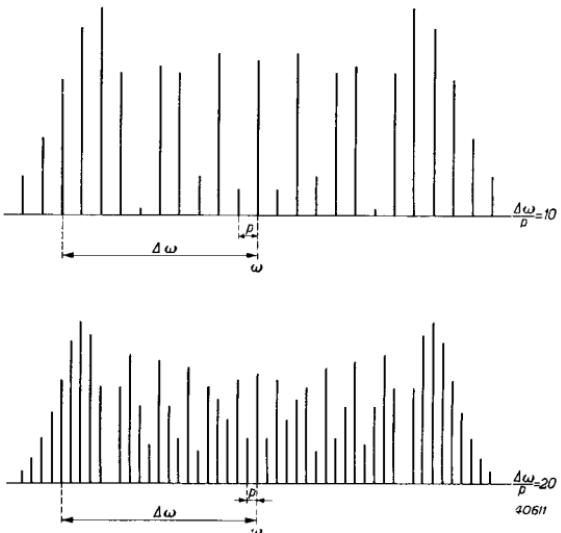


Fig. 91

Ontleding van een frequentiegemoduleerde draaggolf in de afzonderlijke frequenties, voor een modulatiedeindex $m = 10$ en $m = 20$. Op de horizontale as is de frequentie, op de verticale as de relatieve amplitude van de afzonderlijke frequentiecomponenten lineair uitgezet.

spectrum van aanzienlijke breedte. Fig. 91 toont een frequentiespectrum voor $m = 10$ en voor $m = 20$ [deze frequentiespectra volgen uit een wiskundige berekening van de factoren f_1 , f_2 , f_3 enz. van vergelijking (9)]. Uit deze figuur blijkt, dat bij een groote waarde van den modulatie-index m een bandbreedte in beslag wordt genomen, die weliswaar groter is dan het tweevoud der frequentieafwijking $\Delta\omega_0$, maar die toch practisch als gelijk aan $2\Delta\omega_0$ aangenomen kan worden. De amplituden van de frequenties, die buiten dezen band liggen, zijn zoo klein, dat zij kunnen worden verwaarloosd. Men vindt dus bij $m = 10$ en een hoogste modulatiefrequentie van $p = 10\,000$ Hz, dat het frequentiespectrum een bandbreedte B van $2 \times 10 \times 10\,000$ Hz = 200 kHz in beslag neemt.

Bij amplitudemodulatie is de bandbreedte, die met een hoogste modulatiefrequentie van 10 000 Hz overeenkomt, gelijk aan 20 000 Hz. Vanwege de aanzienlijke bandbreeden, die, om met frequentiemodulatie een behoorlijke storingsvrijheid te krijgen, noodzakelijk zijn, gebruikt men bij frequentiemodulatie voor de draaggolf hooge frequenties, bijvoorbeeld in de orde van grootte van 40 MHz (7,5 m).

In het middengolfgebied van den omroep (500—1500 kHz) kan een bandbreedte van 200 kHz niet worden ondergebracht; daarom biedt frequentiemodulatie voor dit gebied geen voordeelen boven amplitudemodulatie en verdient de laatste wegens haar eenvoud de voorkeur.

In het kortegolfgebied (ca. 40 MHz) biedt frequentiemodulatie echter groote voordeelen tegenover amplitudemodulatie. Deze zijn:

- 1) minder storing door ruisch;
- 2) minder storing door niet al te sterke atmosferische storingen en andere stootsgewijze optredende storingen;
- 3) minder storing door andere zenders;
- 4) de mogelijkheid een weergave van zoo goed mogelijke kwaliteit te bereiken, zonder de selectiviteit te schaden;
- 5) goede ontvangst bij een aanmerkelijk kleinere veldsterkte van de golf op de plaats van ontvangst.

Deze voordeelen kunnen worden bereikt onder voorwaarde, dat:

- 1) de frequentieafwijking $\Delta\omega_0$ aanmerkelijk groter wordt gekozen dan de hoogste modulatiefrequentie p , bijv. $\Delta\omega_0 > 10p$;

- 2) de afstand tusschen de frequenties van twee naast elkaar liggende draaggolven ten minste gelijk aan $2 \Delta\omega_0$ wordt gekozen;
- 3) in het ontvangsttoestel bijzondere maatregelen worden getroffen; hierop wordt verderop nog teruggekomen.

§ 2. Beknopte uiteenzetting van de werking van het ontvangsttoestel

In het bovenstaande werd de vorm van de signalen in de ontvangstantenne beschreven. Het ontvangsttoestel heeft tot taak, deze zeer zwakte signalen te versterken, te detecteren (d.w.z. de modulatiespanningen weer uit de gemoduleerde H.F. spanning te voorschijn te roepen) en de op deze wijze verkregen modulatiespanningen zoodanig te versterken, dat de luidspreker van het toestel acoustische golven van voldoende sterkte uitzendt. In het kort is het procédé in het ontvangsttoestel nu zoo, dat de gemoduleerde H.F. spanning, die het gewenschte programma draagt, door één of meer afgestemde kringen, die uit spoelen en condensatoren bestaan, wordt afgezonderd en daarna, meestal door één of meer buizen, wordt versterkt. Tusschen de afzonderlijke buizen bevinden zich weer afgestemde kringen, die ervoor zorgen, dat het gewenschte signaal met zijn zijbanden goed van de andere in de antenne aanwezige signalen met hun zijbanden wordt gescheiden.

Deze versterking noemt men **H.F. versterking**; zij heeft in **H.F. buizen** plaats. Na voldoende H.F. versterking door één of meer buizen, volgt de detectie of gelijkrichting in een **detectorbuis**. In den detectortrap wordt de gemoduleerde draaggolfspanning in de modulatie spanning omgezet, d.w.z. de oorspronkelijke modulatiefrequentie en -sterkte worden hierin te voorschijn gebracht, en de draaggolf frequentie verdwijnt. Over den uitgang van dezen trap komen dus uitsluitend nog de L.F. wisselspanningen te staan. Deze worden dan in één of meer **L.F. versterkingsbuizen** zoodanig versterkt, dat zij aan den ingang van een **eindversterkingsbuis** of **eindbuis** voldoende sterk zijn, om het gewenschte vermogen aan den luidspreker of aan de andere weergave toestellen te leveren.

Fig. 92 geeft een schematische voorstelling van de wijze, waarop de verschillende delen of **trappen** van een ontvangsttoestel elkaar opvolgen. Een dergelijk toestel noemt men een **cascade-onontvangstel**. Hierin wordt zoogenaamde **rechtstreeksche H.F. versterking** toegepast. Volgens dit principe worden alleen nog maar eenvoudige toestellen vervaardigd. Meestal worden zoowel groote als kleine moderne ontvangsttoestellen volgens het superheterodyne principe vervaardigd. **Superheterodyne ontvangst** berust op het feit, dat in een bepaalden H.F. trap een onge-

moduleerde H.F. trilling, die in het toestel zelf in een z.g. oscillatorbuis wordt opgewekt, en waarvan de frequentie iets van die van de te ontvangen draaggolf frequentie afwijkt, met het afgestemde H.F. signaal wordt gemengd. De buis, waarin deze menging plaats vindt, heet **meng-**

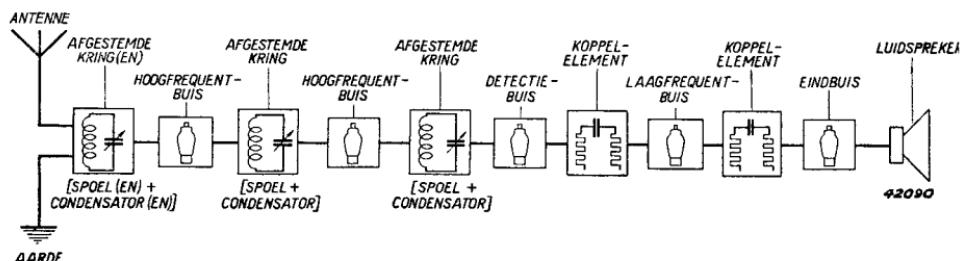


Fig. 92

Schematische voorstelling van de verschillende delen, waaruit een cascade-ontvanger-toestel voor signalen, waarvan de amplitude wordt gemoduleerd, bestaat.

buis. Hierin ontstaan nieuwe frequenties, waarvan er één gelijk is aan het verschil van de frequenties van de beide gemengde trillingen, dus van de ontvangen H.F. trilling en van de ter plaatse opgewekte trilling; deze verschilfrequentie is na de menging de draagster van de modulatie van het oorspronkelijke H.F. signaal geworden. De frequentie van de ter plaatse opgewekte wisselspanning wordt steeds een bepaald constant bedrag hooger of lager gekozen dan de frequentie van het afgestemde antennesignaal. Daar de verschilfrequentie dan steeds dezelfde waarde heeft, kan deze door kringen met een vaste afstemming (die dus zonder variabele condensatoren werken) worden afgezonderd en met behulp van buizen versterkt. Men noemt dit signaal met de verschilfrequentie het **middenfrequentsignaal**; dit wordt in den M.F. versterker door middel van één of meer **M.F. versterkingsbuizen** versterkt, tot de spanningen voldoende groot zijn, om in den detector of gelijkrichter de modulatiefrequenties te kunnen doen ontstaan. In radiotoestellen wordt doorgaans een middenfrequentie van ongeveer 125 of 475 kHz toegepast. In televisie-ontvangtoestellen kiest men de middenfrequentie aanzienlijk hooger, evenals soms in ultrakortegolf-ontvangtoestellen. De modulatiespanningen worden na de detectie, evenals bij cascade-ontvangtoestellen, in den L.F. versterker verder versterkt en naar de eindbuis geleid.

De H.F. trilling kan, alvorens in een mengtrap met de ter plaatse opgewekte trilling te worden gemengd, hetzij in één of meer H.F. trappen worden versterkt, dan wel rechtstreeks via één of enkele afgestemde

kringen naar den mengtrap worden gevoerd. Eenvoudige superheterodyne toestellen hebben in het geheel geen H.F. trap, terwijl meer gecompliceerde toestellen van één, of, bij wijze van hooge uitzondering, van meer H.F. trappen zijn voorzien. De ter plaatse opgewekte ongemoduleerde H.F. spanning noemt men de **oscillatorwisselspanning**. Deze wordt opgewekt met behulp van een buis (de oscillatorbuis), een afgestemden kring (variabele condensator + spoel) en een terugkoppelspoel. In fig. 93 wordt een schematische voorstelling gegeven van het principe van een superheterodyne toestel.

Volgens de hierboven gegeven uiteenzettingen wordt het H.F. antennesignaal in het superheterodyne toestel eerst al of niet hoogfrequent versterkt; deze eventuele versterking heeft plaats in de **H.F. buis**. Vervolgens wordt het versterkte H.F. signaal in de **mengbuis** gemengd met de oscillatorspanning, die in de **oscillatorbuis** wordt opgewekt, zoodat

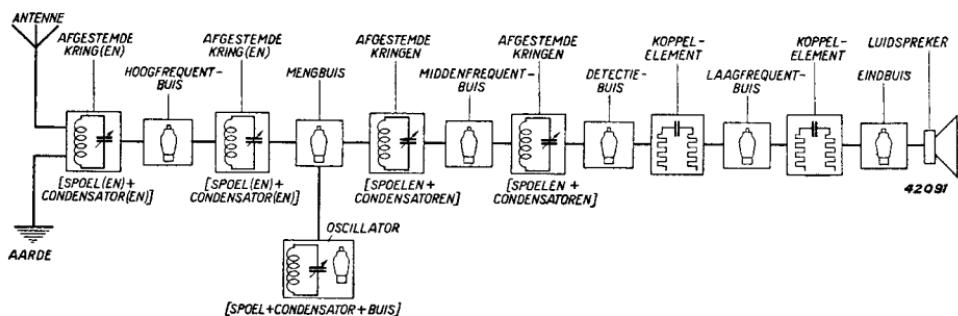


Fig. 93

Schematische voorstelling van de verschillende delen, waaruit een superheterodyne ontvangoestel voor signalen, waarvan de amplitude wordt gemoduleerd, bestaat.

over den uitgang van de mengbuis het M.F. signaal komt te staan. Dit wordt door één of, bij uitzondering, door meer **M.F. buizen** versterkt en naar de **detectorbuis** gevoerd. Het L.F. signaal, dat op deze wijze wordt verkregen, wordt dan in de **L.F. buizen** en in de **eindbuis** verder versterkt en naar den luidspreker gevoerd.

Er bestaat vanzelfsprekend een aantal varianten op deze grondtypen, bijvoorbeeld ontvangsttoestellen, die zonder H.F. versterking werken en waarin het antennesignaal rechtstreeks over een afgestemden kring en aan de detectorbuis komt te liggen.

De bovenstaande korte uiteenzetting over de samenstelling van ontvangsttoestellen geldt zoowel voor signalen, waarvan de amplitude, als voor die, waarvan de frequentie wordt gemoduleerd. Bij ontvangst van signa-

len, waarvan de frequentie wordt gemoduleerd, is de detectortrap echter gecompliceerder, daar het signaal, waarvan de frequentie is gemoduleerd, alvorens in den feitelijken detector te kunnen worden gelijkgericht, moet worden veranderd in een signaal, waarvan de amplitude is gemoduleerd.

Deze verandering heeft plaats in een zogenoamden **omvormertrap** of frequentiedetector. Deze trap kan in principe uit een serieschakeling van een weerstand, een zelfinductie en een capaciteit bestaan (zie ook fig. 94).

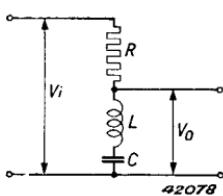


Fig. 94

Omvormertrap (frequentiedetector) voor het veranderen van een ingangsspanning, waarvan de frequentie is gemoduleerd, in een signaal, waarvan de amplitude is gemoduleerd.

Bij juiste keuze van de waarden R , L en C verkrijgt men met dezen trap een uitgangsspanning V_o , die lineair afhangt van de frequentie van de ingangsspanning V_i , mits de amplitude van V_i hierbij voor alle frequenties gelijk is. Uit fig. 95 blijkt, dat de amplitude van de uitgangswisselspanning afhankelijk is van de frequentie ω der ingangswisselspanning, indien de karakteristiek van den omvormertrap verloopt, zooals door deze figuur wordt voorgesteld.

Ten einde de voordeelen van frequentiemodulatie in verband met atmosferische storingen en dergelijke ten volle te benutten, laat men aan den omvormertrap een zogenoamden **begrenzingstrap** voorafgaan of past men frequentietegenkoppeling toe. Het zou te ver voeren, hier op de theorie van de storingsbegrenzing door toepassing van deze maatregelen in te gaan.

Een begrenzingstrap wordt veelvuldig toegepast en heeft ten doel, aan den omvormertrap, ongeacht alle mogelijke storingen, signalen van constante amplitude toe te voeren. De karakteristiek ervan verloopt zooals door fig. 96 wordt voorgesteld. Door storingen zullen namelijk doorgaans zoowel de amplitude als de frequentie van de ontvangen draaggolf worden gemoduleerd. Indien men nu, door begrenzing van de amplitude, ervoor zorgt, dat geen amplitude-modulatie meer aanwezig is, zal achter den amplitudebegrenzer alleen nog de frequentiemodulatie

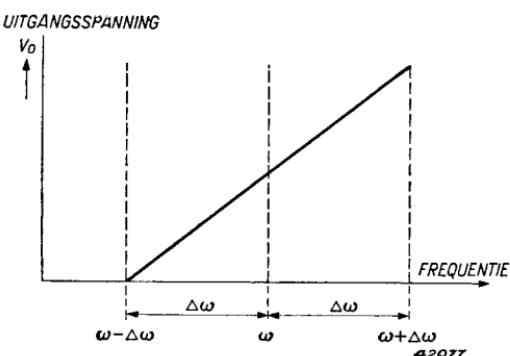


Fig. 95

Karakteristiek van den omvormertrap, die in fig. 94 wordt voorgesteld (uitgangsspanning als functie van de frequentie ω , bij een constante amplitude V_i van het ingangssignaal).

van de storing aanwezig zijn. Nu worden de amplituden van de frequentieafwijkingen in de moderne systemen voor frequentiemodulatie zeer groot gehouden ($m > 10$), waardoor de frequentieafwijkingen, die door de storingen worden geïntroduceerd, in vergelijking tot de frequentieafwijkingen, die door de L.F. modulatie worden veroorzaakt, uiterst klein worden.

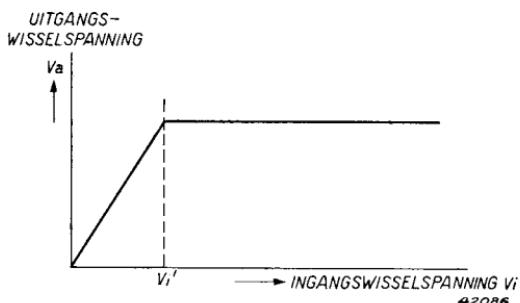


Fig. 96

Karakteristiek van een trap ter begrenzing van de amplitude voor signalen, waarvan de frequentie wordt gemoduleerd (amplitude van het uitgangssignaal V_a als functie van de amplitude van het ingangssignaal V_i).

komstig zijn, mag de amplitude niet onder deze drempelwaarde dalen. Aan den amplitudebegrenzer moet dus een signaal worden toegevoerd, dat voldoende versterkt is, opdat bij vrijwel alle door storingen veroorzaakte modulatiediepten achter den amplitudebegrenzer niets van de storingsmodulatie overblijft.

In fig. 98 wordt een schematische voorstelling gegeven van de trappen, waaruit een superheterodyne ontvangtoestel voor frequentiemoduleerde signalen bestaat.

§ 3. Voeding van de toestellen

Het ontvangtoestel moet worden gevoed, d.w.z. er moet stroom worden toegevoerd, om de ontvangstbuizen te doen werken. Deze stroom wordt doorgaans aan het gelijk- of wisselstroomnet onttrokken, maar soms ook door accumulatoren of droge batterijen geleverd. De meeste ontvangtoestellen worden heden ten dage uit het wisselstroomnet gevoed. Daar de buizen, met uitzondering van de gloeidraadvoeding, uitsluitend met gelijkspanningen mogen werken, moet de wisselspanning van het net in gelijkspanning worden omgezet. Meestal zal de **nettransformator** de wisselspanning van het net op een hogere

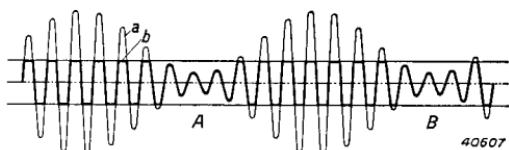


Fig. 97

Dun getrokken lijn a: Signaal, waarvan de amplitude wordt gemoduleerd.
Dik getrokken lijn b: Signaal, nadat dit den amplitudebegrenzer heeft doorlopen.

waarde transformeeren, bijv. 300 V, waarna de aldus verkregen spanning door een gelijkrichtbuis in gelijkspanning wordt omgezet. De gelijkspanning, die de gelijkrichtbuis levert, kan echter niet zonder meer in het ontvangtoestel worden toegepast, daar deze nog een wisselstroomcomponent bevat, die in de er op volgende afvlakketen (smoorspoel of weerstand met condensatoren) wordt onderdrukt. In hoofdstuk XXXI zal nog uitvoeriger op de voeding der buizen worden teruggekomen. Verder wordt naar hoofdstuk XVIII verwezen, waarin netspanningsgelijkrichters worden behandeld.

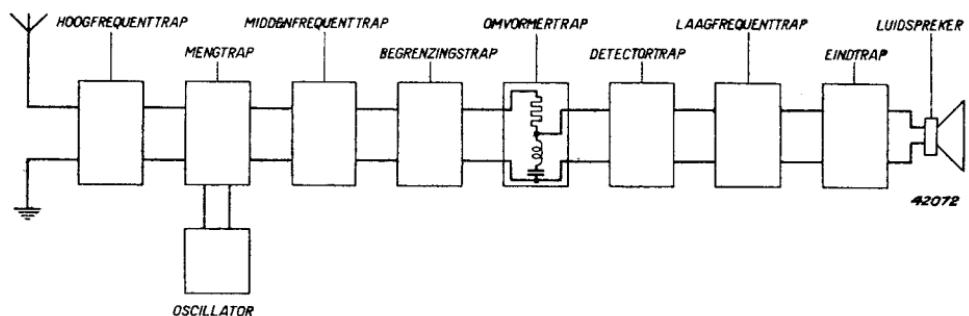


Fig. 98

Schematische voorstelling van een superheterodyne ontvangtoestel voor frequentiegemoduleerde signalen.

§ 4. Opsomming van enkele taken, die de buizen moeten vervullen.

Behalve voor de hierboven genoemde functies, worden buizen, vooral in gecompliceerde ontvangtoestellen, ook voor hulpdoeleinden toegepast, bijvoorbeeld voor het versterken van regelspanningen en dergelijke. Uit het bovenstaande blijkt, dat de buis zeer verschillende taken in het ontvangtoestel moet vervullen. De eischen, die men aan een buis stelt, loopen dus, al naar gelang haar taak, zeer sterk uiteen, en zijn voor een H.F. buis geheel anders dan voor een eindbuis. In de radiotoestellen onderscheidt men:

- 1) H.F. versterkingsbuizen,
M.F. versterkingsbuizen,
- 2) mengbuizen,
- 3) oscillatorbuizen,
- 4) detectorbuizen,
- 5) L.F. versterkingsbuizen,
- 6) eindbuizen,

- 7) gelijkrichtbuizen,
- 8) electronenstraal-indicatorbuizen (op de beteekenis hiervan wordt later nog teruggekomen).

Soms worden buizen voor verschillende taken gecombineerd en in één ballon ondergebracht. In dat geval spreekt men van **combinatiebuizen**. Dit is dikwijls het geval bij eindpenthoden of L.F. versterkingsbuizen, die ook nog een detectorsysteem bevatten. Ook wordt een mengbuis dikwijls met een oscillatorbuis gecombineerd.

Literatuur

- 1) Carson. Notes on the theory of modulation, Proceedings of the Institute of Radio Engineers **10**, 1922, blz. 57—83.
- 2) Balth. van der Pol, Frequentiemodulatie, Tijdschr. v. h. Ned. Radiogenootschap **4**, 1929, blz. 57—70.
- 3) Th. J. Weijers, Recente ontwikkelingen betreffende frequentiemodulatie, Tijdschr. v. h. Ned. Radiogenootschap **8**, 1940, blz. 315—364.
- 4) H. Roder, Über Frequenzmodulation, Telefunken Ztg. X, **53**, 1929 blz. 48—54.
- 5) Armstrong, A method of reducing disturbances in radio signaling by a system of frequency modulation, Proc. I.R.E. **24**, 1936, blz. 689—740.
- 6) Carson and Fry, Variable frequency electric circuit theory, Bell System Technical Journal **16**, 1937, blz. 513—540.
- 7) Carson, Theory of the feedback receiving circuit, Bell Syst. Techn. Journ. **18**, 1939, blz. 395—403.
- 8) J. L. Chaffee, The application of negative feedback to frequency modulation systems, Proc. I.R.E. **27**, 1939, blz. 317—331 en Bell Syst. Techn. Journ. **18**, 1939, blz. 404—437.

HOOFDSTUK X

Schematische voorstelling van de electroden in de radiobuis

In het voorafgaande werd de samenstelling van de radiobuis reeds uiteengezet. In schakelschema's moeten deze buizen schematisch worden voorgesteld. De concentrische opstelling van de verschillende electroden kan hierbij moeilijk tot uitdrukking worden gebracht. Fig. 99 toont, hoe een buis met een kathode en een anode schematisch wordt voorgesteld. Indien de buis een stuurooster heeft, wordt dit rooster voorgesteld door een stippe lijn tusschen kathode en anode (fig. 100). Indien verscheidene roosters concentrisch om de kathode zijn gerangschikt, worden deze in de schematische voorstelling in de desbetreffende volgorde van binnen naar buiten, van de kathode naar de anode, getekend en genummerd. Rooster 1 is dus het rooster, dat het dichtst bij de kathode ligt (zie fig. 101).

De verschillende elektroden worden door letters aangeduid:
de gloeidraad door f,
de kathode door k,
het eerste rooster door
 g_1 ,
het tweede rooster
door g_2 ,
de anode door a, enz.

Bij de aanduiding van de spanningen, stroomen, enz. van de verschillende elektroden, past men deze letters als indices toe.

Zoo wordt de anodespanning door V_a aangeduid, de spanning van het tweede rooster door V_{g2} , de kathodestroom door I_k .

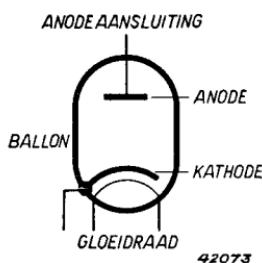


Fig. 99
Schematische voorstelling van een diode.

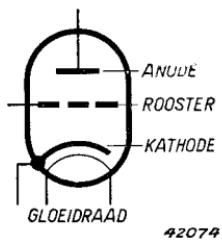


Fig. 100
Schematische voorstelling van een triode.

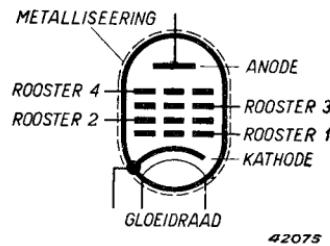


Fig. 101
Schematische voorstelling van een buis met verscheidene roosters.

HOOFDSTUK XI

Benaming van de verschillende typen buizen en beknopte aanduiding van de toepassing ervan in ontvangsttoestellen

De buizen, die in radio-onvangstoestellen worden toegepast, onderscheiden zich onder meer door hun constructie en door het aantal electroden, die beide verband houden met het doel, waaraan de buizen in het toestel moeten beantwoorden. Het is gebruikelijk, de buizen, al naar gelang het aantal electroden, in groepen te verdeelen, daar dit reeds een algemeenen indruk geeft van de werking. Bij indirect verhitte buizen wordt daarbij de gloeidraad niet meegeteld.

§ 1. Dioden

Een diode is een buis met twee electroden, namelijk met slechts één kathode en één anode. Dioden zijn dus buizen zonder stuurelectroden.

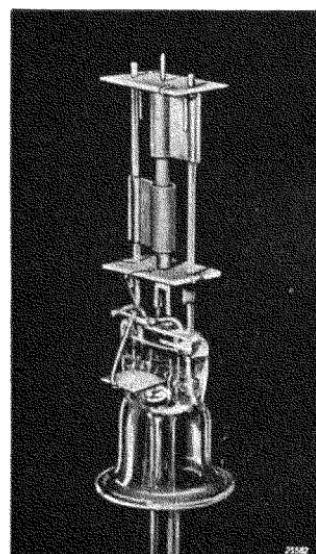


Fig. 102

Electrodensysteem van de duodiode CB 2.

Een **duodiode** of dubbele diode is een buis, die uit twee afzonderlijke dioden in denzelfden ballon bestaat. Doorgaans heeft een dergelijke duodiode slechts één kathode, omgeven door de anoden in den vorm van twee onder elkaar aangebrachte cilinders (bij een verticale opstelling van de kathode) (zie fig. 102). Voor de beide dioden wordt dan dezelfde kathode gebruikt. In vele gevallen wijkt de opstelling hiervan af, bijvoorbeeld bij gelijkrichtbuien (buien voor het gelijkrichten van den wisselstroom van het net; zie fig. 103).

In verband met de afwezigheid van een stuurooster, komt een diode alleen in aanmerking voor gelijkrichting. De electronen kunnen uitsluitend van de kathode naar de anode vloeien en niet in omgekeerde richting. In ontvangsttoestellen wordt deze gelijkrichtwerking in de eerste plaats gebruikt om de wisselspanning van het net gelijk te richten. In dat geval spreekt men niet van dioden, maar van gelijkrichtbuien. Verder wordt van de gelijkrichtwerking der diode gebruik gemaakt, om uit het H.F. of M.F. signaal de modulatiefrequenties te doen ontstaan, in welk geval men

van een **detectiediode** of kortweg van een diode spreekt (soms gebruikt

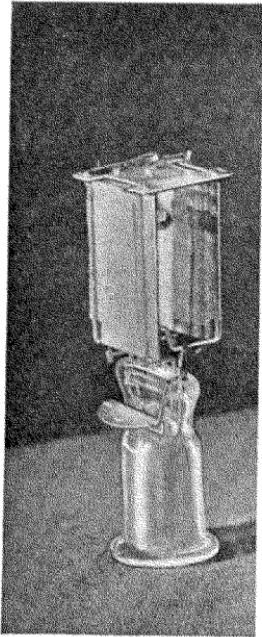


Fig. 103

Constructie van de dubbelfasige gelijkrichtbuis AZ 1.

Indien tusschen het stuurooster en de anode van een triode een rooster wordt aangebracht, waaraan men een positieve potentiaal legt, spreekt men van een tetrode; een dergelijke buis heeft immers vier electroden. Dit tweede rooster noemt men **schermrooster**. Het eerste rooster wordt dan als stuurooster gebruikt. De versterkingsmogelijkheden van een tetrode zijn aanzienlijk groter dan die van een triode; door het schermrooster wordt tegelijkertijd de terugwerking van den anodekring op den stuuroosterkring in belangrijke mate verminderd. Tetroden of schermroosterbuizen werden doorgaans voor H.F. of M.F. versterking gebruikt. Tegenwoordig gebruikt men voor deze doeleinden echter nieuwere typen, zoodat zij vrijwel niet meer worden gefabriceerd.

Tetroden worden ook voor toepassing als eindbuis gemaakt, waarbij de electronenstroom in de ruimte tusschen schermrooster en anode wordt geconcentreerd. Door de verdichting van de

men ook de benaming detector). In moderne ontvangtoestellen wordt de gelijkrichtwerking van de diode ook voor verschillende andere doeleinden, bijvoorbeeld voor de automatische volumeregeling gebruikt.

§ 2. Trioden

Indien zich tusschen de kathode en de anode één rooster bevindt, spreekt men van een triode. De reeds genoemde stuurwerking wordt door dit rooster veroorzaakt. Trioden worden in het ontvangtoestel voor L.F. versterking en als oscillator, voor het opwekken van de oscillatorspanning in superheterodyne ontvangtoestellen, gebruikt. Verder worden trioden ook wel als eindbuis uitgevoerd.

§ 3. Tetroden

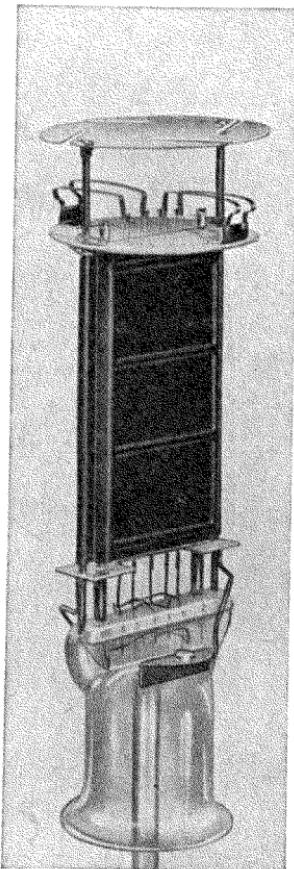


Fig. 104

Electrodensysteem van de direct verhitte eindtrioode AD 1.

ruimtelading, die hiervan het gevolg is, wordt weinig hinder ondervonden van de secundaire emissie van de anode (zie de hoofdstukken XII en XIII).

Vroeger werd nog een ander soort tetroden toegepast, namelijk buizen met een stuurrooster en een ruimteladingsrooster. Het ruimteladingsrooster van deze buizen, dat zich tusschen het stuurrooster en de kathode bevindt, werd op een potentiaal gebracht, die iets positief t.o.v. de kathodepotentiaal was. Hierdoor verkreeg men een groteren anodesstroom dan anders bij een negatieve rooster- en lage anodespanning mogelijk zou zijn. Op deze wijze kon men bij een zeer lage anodespanning een bruikbare steilheid verkrijgen.

§ 4. Penthoden

Het derde rooster van een buis met vijf electroden (pentode) bevindt zich tusschen het schermrooster en de anode en wordt **vangrooster** genoemd. Het vangrooster wordt doorgaans hetzij met de kathode verbonden, dan wel rechtstreeks geaard. Soms wordt het vangrooster in

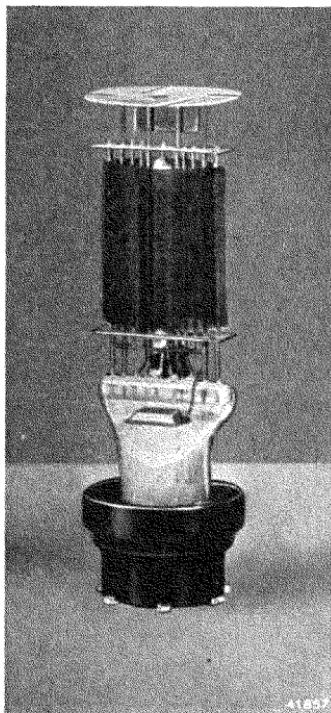
de huls of in den ballon met de kathode verbonden. Penthoden gebruikt men voor H.F. of M.F. versterking, in welk geval men van **H.F. pentoden** spreekt. Vele H.F. pentoden zijn ook voor L.F. versterking geschikt. In dat geval kan men hiermee een aanmerkelijk grotere versterking bereiken dan met trioden (met normale H.F. pentoden kan een honderd- tot tweehonderdvoudige L.F. versterking worden verkregen). Penthoden zijn uitstekend geschikt voor toepassing als eindbuis, in welk geval men van **eindpentoden** spreekt. De pentode is een van de meest verbreide typen en wordt in ontvangtoestellen voor de meest uiteenlopende doeleinden gebruikt.

§ 5. Hexoden

Een hexode is een buis met zes electroden, dus vier roosters. Het eerste en het derde rooster zijn als stuurrooster uitgevoerd, het tweede en het vierde rooster als schermrooster. Hexoden zijn geschikt voor toe-

Fig. 105

Electrodensysteem van een moderne 18 W eindpentode met grote steilheid.



passing als mengbuis in superheterodyne ontvangsttoestellen. Het H.F. ingangssignaal wordt aan het eerste rooster en de in het toestel opgewekte oscillatorspanning aan het derde rooster gelegd. Beide signalen hebben invloed op den electronenstroom naar de anode, waardoor de gewenschte mengwerking wordt verkregen. Hexoden worden voornamelijk als mengbuis toegepast, maar kunnen ook voor H.F. en M.F. versterking worden gebruikt.

§ 6. Heptoden

Een heptode is een hexode, waarin als vijfde rooster een vangrooster tusschen het vierde rooster (schermrooster) en de anode is aangebracht. Heptoden worden, evenals hexoden, voornamelijk als mengbuis toegepast, maar soms ook voor H.F. of M.F. versterking gebruikt. Kort geleden werd nog een ander soort heptode ontwikkeld. Hierbij dient het eerste rooster om de elektronenbanen te bundelen, terwijl het tweede als ruimteladingsrooster werkt; het derde rooster is een stuurelectrode, het vierde een schermrooster en het vijfde een vangrooster. Deze heptode is feitelijk een penthode, die om een ruimteladingsrooster is geconstrueerd en bij een zeer lage anodespanning nog goed voor L.F. en H.F. versterking kan worden gebruikt.

§ 7. Octoden

Dit soort buizen bevat zes roosters. Octoden worden tegenwoordig uitsluitend voor toepassing als mengbuis vervaardigd. Het eerste en het tweede rooster worden bij een octode respectievelijk als stuurrooster en als anode van een triode voor het opwekken van de oscillatorspanning in superheterodyne ontvangsttoestellen gebruikt en dienovereenkom-

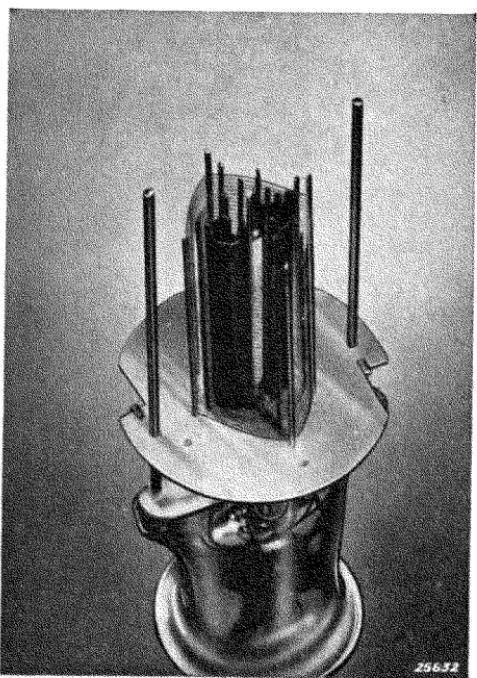


Fig. 106

Een opname van het electrodensysteem van een octode met vier elektronenbundels. Het oscillatorrooster, de beide anodeplaatjes en het afschermbladje van het oscillatorgedeelte (electrode 3), het vierde rooster en het ruitvormige vijfde rooster kunnen duidelijk worden onderscheiden. Het zesde rooster en de anode zijn verwijderd.

stig gedimensioneerd. (Het eerste rooster wordt bijvoorbeeld op een afgestemden kring en het tweede op een terugkoppelspoel aangesloten.) Het derde en het vijfde rooster zijn schermroosters, het vierde rooster is een stuurrooster, waaraan het H.F. ingangssignaal wordt gelegd, terwijl het zesde rooster als vangrooster werkt.

§ 8. Gecombineerde buizen

Dikwijls worden verscheidene van de beschreven buissystemen in één ballon vereenigd. Een veelvuldig voorkomende combinatie is die van een duodiode met een pentode of een triode. In dat geval spreekt men van een **combinatiebuis**. Soms worden ook trioden met andere systemen gecombineerd. In de meeste gevallen hebben dergelijke systemen niet alleen een gemeenschappelijken ballon, maar ook hetzelfde kathodebuisje en denzelfden gloeidraad, respectievelijk dezelfde direct verhitte kathode. De systemen worden dan (bij een verticaal opgestelde kathode) onder elkaar om de kathode gemonteerd. Zoo kan, bij combinatie van twee systemen, voor het eene bijvoorbeeld de onderste helft van de kathode en voor het andere de bovenste helft worden gebruikt. Bij direct verhitte buizen stelt men de tezamen gemonteerde systemen dikwijls ook naast elkaar op en wordt voor elk systeem van een afzonderlijken gloeidraad gebruik gemaakt; de beide gloeidraden zijn dan in de buis *hetzij* in serie, dan wel parallel geschakeld. Combinatiebuizen bevatten tegenwoordig niet meer dan twee systemen¹⁾). Door een groter aantal systemen in één ballon onder te brengen, zouden zich bij de vervaardiging grote moeilijkheden voordoen en zouden in de buis gemakkelijk ongewenschte koppelingen tusschen de systemen kunnen ontstaan. Bovendien zou men de geheele buis moeten vervangen, indien één systeem defect zou geraken, hetgeen betrekkelijk kostbaar zou zijn.

De combinatie van een duodiode met een L.F. versterkingstriode wordt **duodiode-triode** genoemd. De dioden worden gebruikt voor de detectie van het H.F. of M.F. signaal en voor de automatische volumeregeling, terwijl de triode als L.F. versterker met weerstandskoppeling wordt toegepast. Een andere veel voorkomende combinatie van duodioden is die met eindpentoden (**duodiode-eindpentode**). Verder combineert men duodioden ook wel met H.F. pentoden (**duodiode-H.F.pentode**). Het pentodesysteem doet dan bijvoorbeeld dienst als M.F. versterker van een superheterodyne ontvangsttoestel, terwijl de beide dioden weer, evenals bij duodiode-trioden en duodiode-eindpentoden, voor de detectie en de automatische volumeregeling worden gebruikt.

¹⁾ Hierbij wordt een dubbele diode als één systeem opgevat.

De combinatie van een triode met een hexode- of een heptodesysteem heeft ten doel, in een enkele buis de functies van oscillatorbuis voor het opwekken van de oscillatorspanning voor de superheterodyne ontvangst (triodesysteem) en van mengbuis voor de frequentietransformatie (hexode- of heptodesysteem) te vereenigen. **Triode-hexoden** en **triode-heptoden** vervullen dus dezelfde functies als octoden, namelijk het opwekken van de oscillatorspanning, gecombineerd met het mengen van het H.F. signaal met de opgewekte hulpspanning. Soms wordt ook wel een L.F. triode met een tetrode voor den eindtrap gecombineerd (**triode-eindtetrode**).

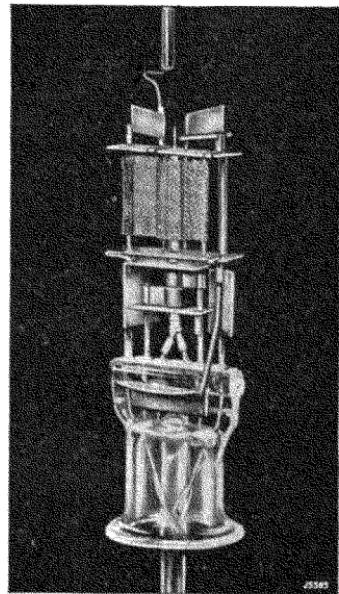


Fig. 107

Inwendige constructie van een duodiode-triode. In deze figuur kan men duidelijk onder het triodesysteem (boven) de beide cilindervormige diodeplaatjes onderscheiden, die door een afschermbladje van het triodesysteem zijn gescheiden.

in het gebruik zijn. De praktijk heeft uitgewezen, dat boven een stroomafname van ongeveer 250 mA de accumulator voordeeliger is dan de droge batterij, terwijl bij een lagere stroomafname dan de boven- genoemde levensduur van de droge batterij zoodanig is, dat men de gloeistroomvoeding zonder bezwaren door een droge batterij kan doen geschieden. In dit geval biedt de droge batterij aanzienlijke voordeelen boven de accumulator, daar deze laatste geregeld opgeladen en het zuur- gehalte ervan gecontroleerd moet worden, hetgeen niet alleen deskundige hulp vereischt, maar bovendien kosten medebrengt. Daarenboven is de droge batterij veel handiger voor draagbare ontvangers, daar zij geen zuur kan verliezen. De ontwikkeling van een nieuwe techniek van gloeidraad- en buisconstructie veroorloofde buizen met uiterst lagen gloeistroom te maken, waarbij de buiseigenschappen, zooals steilheid en uitgangsvermogen (bij eindbuizen), niet onderdoen voor de waarden, die met buizen voor voeding door accumulatoren worden bereikt.

De spanning, die een droge batterij gedurende een groot gedeelte van haar levensduur geeft, is ongeveer 1,4 V, zoodat de buizen voor gloeistroomvoeding door een droge batterij voor deze waarde van de gloeispanssning werden ontworpen. De Philips buizen, die voor voeding door droge batterijen op de markt worden gebracht, hebben als eerste letter in de typeaanduiding de D ($D = 1,4$ V gloeispanssning). Sommige van deze buizen hebben een gloeistroom van slechts 25 mA, andere typen 50 mA en meer.

Voor woningen, die niet op het lichtnet zijn aangesloten, zijn nog wel andere oplossingen mogelijk, die echter door hun kostbaarheid minder worden toegepast. Zoo is het mogelijk ontvangststellen te voeden uit een groote accubatterij, welke bijvoorbeeld wordt geladen door een generator, die door den wind of door een benzinemotor wordt gedreven.

§ 2. Voeding van wisselstroomtoestellen

Voor het voeden van ontvangstbuizen heeft men de volgende spanningen noodig:

- a) gloeispanssning;
- b) anodespanssning (positieve gelijkspanssning t.o.v. de algemeene minleiding);
- c) spanningen voor andere stroomvoerende electroden, bijvoorbeeld schermroosterspanssning (positieve gelijkspanssning t.o.v. de algemeene minleiding);

- d) stuurroosterspanningen (negatieve gelijkspanningen t.o.v. de algemeene minleiding).

Fig. 344 geeft een principeschema van de voeding van een wisselstroomontvangtoestel.

a) Gloeispanning

Zoals reeds werd gezegd, worden de gloeidraden van alle wisselstroom-versterkingsbuizen, zoowel van de indirect als van de eventueel direct verhitte (eindbuizen), parallel geschakeld en doorgaans op een gemeenschappelijke gloeistroomwikkeling van den netspanningstransformator aangesloten. De gloeispanning van alle buizen moet dus gelijk

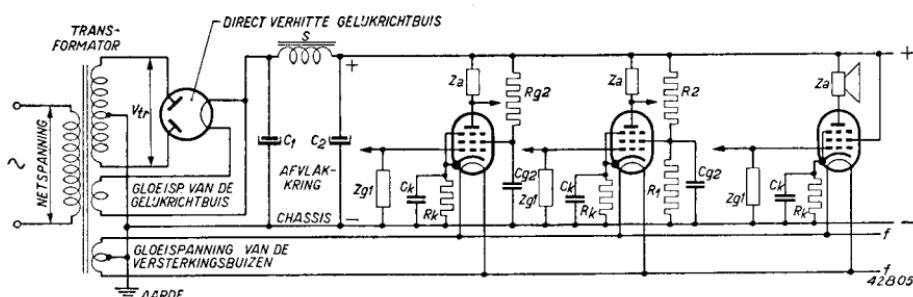


Fig. 344

Principieele schakeling voor voeding van een ontvangtoestel met nettransformator en direct verhitte gelijkrichtbus.

zijn. In verband met het feit, dat het gloeistroomvermogen van de verschillende buizen onderling uiteenloopt (eindbuizen hebben doorgaans een groter gloeistroomvermogen noodig dan H.F. buizen), is de gloeistroom, al naar het type van de buis, verschillend. De totale gloeistroom is gelijk aan de som van de gloeistroomen van de verschillende buizen. Indien men buizen voor verschillende gloeispanningen toepast, bijvoorbeeld buizen voor 6,3 V en voor 4 V, moet voor elke gloeispanning een afzonderlijke gloeistroomwikkeling aanwezig zijn of dient de wikkeling voor 6,3 V voorzien te zijn van een aftakking voor 4 V. Bij toepassing van de direct verhitte eindtriode AD 1 in combinatie met 6,3 V buizen, verdient het aanbeveling, voor de direct verhitte buis een afzonderlijke gloeistroomwikkeling aan te brengen, daar de schakeling voor de automatische negatieve roosterspanning op deze wijze gemakkelijk kan worden verwezenlijkt. Doorgaans wordt de middenaftakking van de gloeistroomwikkeling van de versterkingsbuizen aan aarde gelegd. Dit is het veiligst in verband met den brom.

b) Anodespanning

Zoals in hoofdstuk XVIII reeds werd uiteengezet, wordt de wisselspanning van het net bij wisselstroomvoeding door een gelijkrichtbuis gelijkgericht. De gelijkgerichte spanning wordt afgevlakt en naar de anode-impedanties van de verschillende buizen gevoerd. Zoowel direct als indirect verhitte gelijkrichtbuizen komen in aanmerking, maar men past meestal direct verhitte buizen toe. Daar de gloeidraad (kathode) van een direct verhitte gelijkrichtbuis met de positieve pool van de gelijkgerichte wisselspanning verbonden is, kan hij niet door de gloeistroomwikkeling voor de versterkingsbuizen worden gevoed.

Bij de indirect verhitte gelijkrichtbuizen zou dit in principe wel mogelijk zijn; de kathoden van de versterkingsbuizen hebben echter ongeveer de potentiaal van het chassis (negatieve pool van de anodegelijkspanning). Met het oog hierop wordt, zoals boven reeds werd vermeld, de gloeistroomwikkeling geaard, hetzij aan een middenaftakking of aan een van de einden. Zou men nu den gloeidraad van de indirect verhitte gelijkrichtbuis ook op deze wikkeling aansluiten, dan zou de spanning tusschen gloeidraad en kathode van de gelijkrichtbuis een ontoelaatbaar hooge waarde aannemen. Bij indirect verhitte gelijkrichtbuizen moet de voeding van den gloeidraad dus, evenals bij direct verhitte gelijkrichtbuizen, door een afzonderlijke gloeistroomwikkeling geschieden, die in dit geval met de kathode wordt verbonden (zie fig. 345). Daar dus voor de ontvangbuizen en voor de gelijkrichtbuis gescheiden gloeistroomwickelingen noodig zijn, is het mogelijk, een gelijkrichtbuis toe te passen, waarvan de gloeispanning afwijkt van die der versterkingsbuizen, ten minste als de gloeistroomwikkeling dienovereenkomstig wordt gedimensionneerd.

Doorgaans wordt de wisselspanning van het net getransformeerd alvorens te worden gelijkgericht. De spanning van de secundaire van den transformator heeft dan een zoodanige waarde, dat de gelijkgerichte spanning, na te zijn afgevlakt, bij de belasting, die door de buizen wordt gevormd, bij ontvangststellen ca. 250—300 V bedraagt. Deze spanning moet zoodanig worden gekozen, dat tusschen de anode en de kathode van de eindbuis de juiste span-

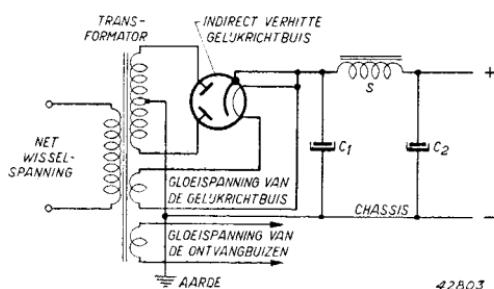


Fig. 345

Schakeling van een indirect verhitte gelijkrichtbuis in het voedingsgedeelte van een wisselstroomontvangtoestel.

ning voor de gunstigste werking komt te staan. Hierbij moet men rekening houden met den spanningsval in den uitgangstransformator en dien in den kathodeweerstand voor de automatische negatieve roosterspanning. Veelal worden de anodespanningen van de versterkingsbuizen, die aan de eindbuis voorafgaan, nog extra afgevlakt door speciale filters. Deze filters bestaan dan uit een serieweerstand met een condensator (zie fig. 346) en hebben in de eerste plaats ten doel, den nog aanwezigen rimpel uit te filteren en, in de tweede plaats, terugwerking tus-schen de verschillende ontvangbuizen, via de gemeenschappelijke anodevoedingsleiding, te voor-komen.

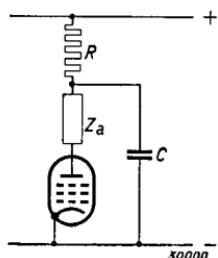


Fig. 346

Extra afvlakking van de anodegelijkspanning van een buis door een RC-keten.

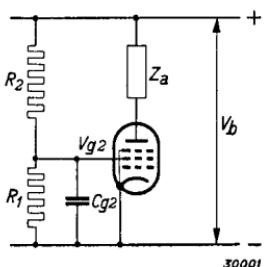
c) Spanningen voor de andere stroomvoerende electroden

De andere stroomvoerende electroden van ontvangbuizen met meer dan één rooster worden door positieve spanningen gevoed, die van het plaatsspanningsgedeelte kunnen worden afgeno-men. Het betreft hier in de meeste gevallen schermroosters. Bij H.F. en L.F. versterkingsbuizen is de schermrooster-

spanning doorgaans lager dan de anodespanning en moet de voedingsspanning dienovereenkomstig worden verlaagd. Dit kan geschieden door middel van spanningsdeelers (zie fig. 347) of met behulp van serieweerstanden (zie fig. 348). Een spanningsdeeler of een serieweerstand werkt tevens als afvlakinrichting, daar het schermrooster steeds door een capaciteit voor de voorkomen-de wisselspanningen voldoende geaard dient te zijn; anders zouden aan het schermrooster wisselspanningen ontstaan, waardoor de anodestroom, die door het stuurooster wordt gestuurd, in tegengestelde richting zou worden beïnvloed.

Eindbuizen hebben voor het schermrooster en voor de anode door-gaans dezelfde spanning noodig. Het schermrooster wordt dan recht-streeks op de anodevoedingsleiding aangesloten. Bij steile eindpen-thoden moet echter een kleine weerstand in de schermroosterleiding worden opgenomen, en wel zonder condensator, ten einde het ontstaan van hoogfrequente trillingen door zelfexcitatie van de buizen te onderdrukken. (Om dezelfde reden dient in serie met het stuurooster van deze buizen een weerstand te worden opgenomen.) In

Fig. 347
Voeding van een schermrooster door middel van een spanningsdeeler.



verband met den spanningsval in den uitgangstransformator zal de schermroosterspanning hooger worden dan de anodespanning.

Indien het schermrooster van een buis door een spanningsdeeler wordt gevoed, zal men de schermroosterspanning V_{g2} met behulp van de volgende formule (zie ook fig. 347) op gemakkelijke wijze kunnen berekenen:

$$V_{g2} = V_b \frac{R_1}{R_1 + R_2} - I_{g2} \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}.$$

Van de nieuwere buizen worden steeds krommen gepubliceerd, waaruit men den schermroosterstroom als functie van de schermroosterspanning bij verschillende negatieve roosterspanningen kan aflezen. Deze krommen kunnen voor het berekenen van de schermroosterspanning worden gebruikt.

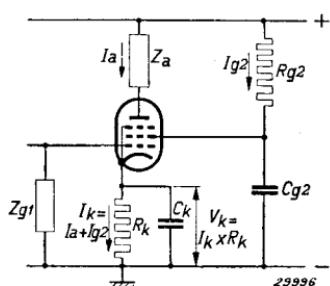


Fig. 348

Voeding van een schermrooster door middel van een serie-werstand.

d) Negatieve roosterspanningen

De indirect verhitte kathode van de wisselstroombuizen maakt het mogelijk, de negatieve roosterspanning automatisch op te wekken. Indien men namelijk tusschen de kathode en de minleiding van het voedingsgedeelte een weerstand opneemt, zal de kathodestroom ten gevolge hebben, dat een spanningsval over dezen weerstand ontstaat. Deze kathodestroom wordt gevormd door de som van de stroomen naar alle electroden (bij oscillatorbuizen kan ook de roosterstroom in rekening worden gebracht, voor zoover hij door den kathodeweerstand vloeit). De spanningsval in den kathodeweerstand heeft ten gevolge, dat de kathode positief wordt ten opzichte van de minleiding (chassis). Is het rooster nu via een roosterimpedantie galvanisch met de minleiding verbonden, dan krijgt het de potentiaal van de minleiding; het rooster is dan dus even sterk negatief ten opzichte van de kathode als de kathodespanning positief is t.o.v. de minleiding. In de meeste gevallen wordt de kathode door een condensator overbrugd, zoodat deze hoog-, midden- en laagfrequent is geaard. Ter bepaling van de negatieve roosterspanning, die bij een bepaalden kathodeweerstand ontstaat, kan men bij trioden de I_a/V_g karakteristiek gebruiken, indien men hierin de rechte lijn teekent, die de door den kathodeweerstand bepaalde betrekking tusschen stroom en spanning aangeeft. De negatieve roosterspanning wordt dan door het snijpunt van de weerstandslijn met de I_a/V_g karakteristiek (zie fig. 349) bepaald. Bij buizen met

meer dan één rooster moet men het snijpunt van de weerstandslijn bepalen met de kromme $I_{\text{tot}} = f(V_{g1})$.

Voor eindbuizen wordt de negatieve roosterspanning dikwijls van de afvlakketen van den anodespanningsgelijkrichter afgetakt. Het afvlakkende element (smoorspoel of weerstand) wordt dan in de minleiding geschakeld (zie fig. 350). Ten einde de juiste roosterspanning te verkrijgen, moet men dikwijls de negatieve roosterspanning van een aftakking aan deze smoorspoel of weerstand (zie bijv. punt C in fig. 350) afnemen. Met behulp van een afvlakketen, die uit een weerstand met een condensator bestaat (R_3C_3), wordt de rimpel in de gelijkspanning tusschen de punten b en c afgewakt.

§ 3. Voeding van gelijkstroom-wisselstroomtoestellen

Figuur 351 geeft een principieele schakeling voor de voeding van gelijkstroom-wisselstroomtoestellen.

a) Gloeidraadvoeding

Doordat geen nettransformator aanwezig is, worden de gloeidraden van de buizen in serie met een voorschakelweerstand (R_2 in fig. 351) tusschen de beide polen van het net in serie geschakeld. De gloeidraad van

de indirect verhitte gelijkrichtbuis wordt eveneens in deze keten opgenomen. Indien schaalverlichtingslampjes worden toegepast, worden deze doorgaans eveneens in de gloestroomketen geschakeld. De totale spanning over de gloeidraden is gelijk aan

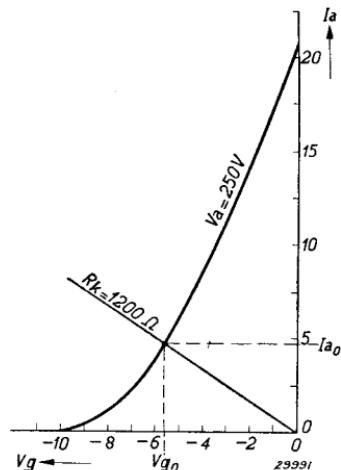


Fig. 349

Bepaling van de negatieve roosterspanning van een triode bij een gegeven kathodeweerstand, met behulp van een weerstandslijn en de I_a/V_g -karakteristiek.

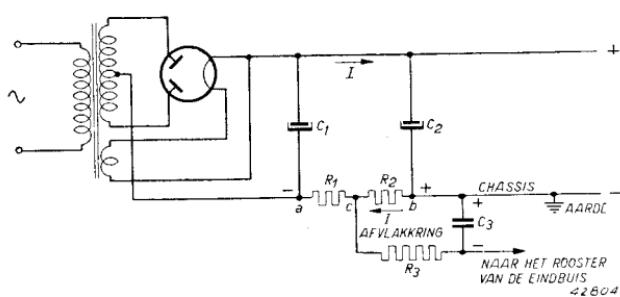


Fig. 350

Aftakking van de negatieve roosterspanning voor de eindbuis van den afvlakweerstand in de negatieve terugvoerleiding van het voedingsgedeelte. Indien de kathodestroom van de eindbuis meer dan 50% bedraagt van den totalen stroom I door ($R_1 + R_2$), spreekt men van halfautomatische negatieve roosterspanning van de eindbuis.

de som van de gloeispanningen der afzonderlijke buizen. Het verschil tusschen deze spanning en de netspanning moet door den serieweerstand R_2 worden opgenomen.

a) Volgorde van de gloeidraden

Het chassis is rechtstreeks met een pool van het net verbonden en wordt, via een condensator C, aan aarde gelegd. De gloeistroomketen begint bij deze pool en eindigt bij den weerstand R_2 . Het is nu duidelijk, dat de gloeidraden, die ver van het chassis zijn geschakeld, groote wisselspanningen ten opzichte van het chassis, dus ook ten opzichte

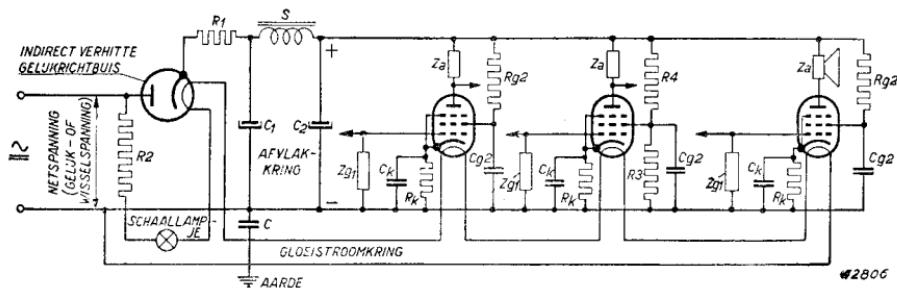


Fig. 351

Principieele schakeling van de voeding van een gelijkstroom-wisselstroomtoestel. In plaats van den weerstand R_2 in serie met de in serie geschakelde gloeidraden, wordt een stroomregulatorbuis (ijzer-waterstofweerstand) aanbevolen. In dit principieele schema wordt nog geen rekening gehouden met de juiste volgorde van de gloeidraden der afzonderlijke buizen.

van hun kathoden hebben. Dientengevolge moet niet alleen de isolatie tusschen gloeidraad en kathode zeer goed zijn, maar bestaat tevens gevaar, dat deze wisselspanningen capacitief op het stuurrooster worden overgedragen, of op een andere wijze op den loop der electronen in de buis van invloed zijn en zoodende aanleiding geven tot brom, die rechtstreeks als bromwisselspanning op het rooster kan worden uitgedrukt.

Het is duidelijk, dat deze bromspanningen bij L.F. buizen direct met de laagfrequente spanningen worden vermengd en een storenden bromtoon in den luidspreker veroorzaken. Ook bij dioden en andere detectorbuizen zal de bromspanning zich met de L.F. spanningen vermengen. Bij H.F. of M.F. buizen zal de bromtoon daarentegen uitsluitend door brommodulatie kunnen ontstaan. Indien deze buizen, wat brommodulatie betreft, een gunstige karakteristiek hebben, zal deze brom uiterst zwak

zijn. Bij mengbuizen is de kans op brommodulatie iets groter, daar deze hierbij op tweeeërlei wijze kan ontstaan, en wel door de kromming van de karakteristiek en door den oscillator.

In verband met het bovenstaande zal men de gloeidraden van de L.F. buizen en detectorbuizen het dichtst bij het chassis schakelen, vervolgens de gloeidraad van de mengbuis en ten slotte de gloeidraden van de H.F. en M.F. buizen. Voor de schakeling van den gloeidraad van de eindbuis gelden bijzondere overwegingen. In de eerste plaats is de versterking achter het rooster zeer gering, zoodat het gevaar voor brom zeer klein is; in de tweede plaats heeft deze buis doorgaans een grotere gloeispanning noodig, zoodat de buizen, waarvan de gloeidraden achter dien van de eindbuis zijn geschakeld, aan een veel hogere bromspanning zijn blootgesteld. Daarom worden de eindbuis en de gelijkrichtbuis als laatste buizen (gerekend van het chassis af) in de gloeistroomketen opgenomen.

De gelijkrichtbuizen van de gelijkstroom-wisselstroomserie kunnen piekspanningen met een maximale waarde van 300 V tusschen kathode en gloeidraad verdragen. Doordat tusschen de kathode en den gloeidraad hiervan, behalve de volledige, gelijkgerichte spanning, nog een aanzienlijke wisselspanning met de netfrequentie (de spanning tusschen den gloeidraad en het chassis) staat, zouden, onder bepaalde omstandigheden, te hooge piekspanningen tusschen deze electroden kunnen ontstaan. Het verdient daarom dikwijls aanbeveling den gloeidraad van de gelijkrichtbuis als voorlaatste en den gloeidraad van de eindbuis als laatste in de gloeistroomketen op te nemen.

Doorgaans is de aanbevolen volgorde van de gloeidraden: chassis — detectorbuis — L.F. versterkingsbuis — mengbuis — H.F. versterkingsbuis — M.F. versterkingsbuis — eindbuis — gelijkrichtbuis — voorschakelweerstand of stroomregulatorbuis — tweede netpool. Volgens het bovenstaande zal de volgorde: eindbuis — gelijkrichtbuis eventueel moet worden omgekeerd.

3) Overbelasting van de gloeidraden door schommelingen van de netspanning

De spanning van de lichtnetten is meestal niet constant en aan schommelingen onderhevig. Doorgaans zullen de spanningsschommelingen 10% plus of minus niet overschrijden; bij zeer slechte netten kunnen schommelingen van 15% of meer voorkomen. Dit betekent, dat de netspanning bij een nominale waarde van 220 V bij schommelingen van 10% tusschen 198 en 242 V en bij schommelingen van 15% tusschen 187 en 253 V kan varieeren. Bij goede netten zijn deze schommelingen achter aanmerkelijk kleiner. De gloeidraden van de buizen kunnen door

zeer grote schommelingen van de netspanning overbelast worden en daardoor schade ondervinden.

De invloed van spanningsschommelingen is bij serieschakeling van de gloeidraden en toepassing van een voorschakelweerstand groter dan bij parallelschakeling en voeding door een gloeistroomtransformator.

De inwendige weerstand van den transformator kan in dat geval worden verwaarloosd. Indien de spanning aan de klemmen van den gloeidraad 10% toeneemt, zal de gloeistroom niet 10% toenemen, doch veel minder, daar de weerstand van den gloeidraad bij stijgende temperatuur toeneemt. In fig. 352 wordt

de gloeistroom gegeven als functie van de gloeispanning, en hieruit blijkt, dat met een 10% grotere gloeispanning een slechts 5% grotere gloeistroom overeenkomt.

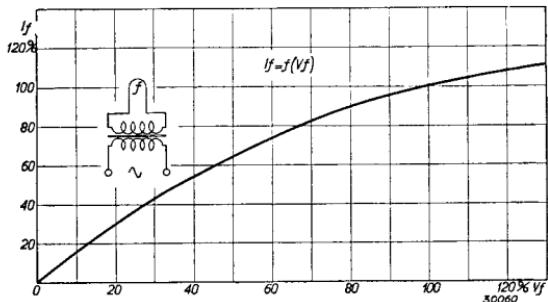


Fig. 352

Kromme, waardoor de gloeistroom in % van de nominale waarde wordt voorgesteld als functie van de gloeispanning in % van de nominale waarde van een indirect verhitte buis.

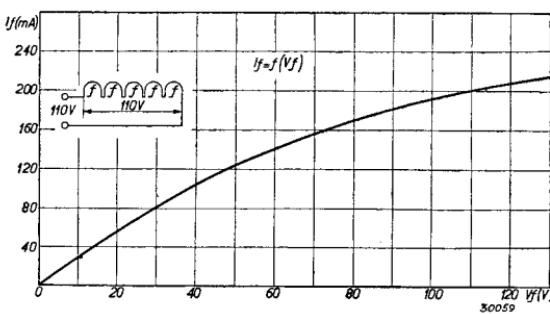


Fig. 353

Kromme, waardoor de gloeistroom als functie van de gloeispanning (netspanning) wordt gegeven, van een rechtstreeks op het net aangesloten gloeistroomketen van buizen, waarvan de gloeidraden zonder voorschakelweerstand in serie zijn geschakeld.

bestaan; de gloeistroom neemt dus sterker toe. Fig. 354 geeft een grafiek ter bepaling van deze gloeistroomvariaties voor een onder- en een overspanning van 10%. In dit voorbeeld zal een toename van de spanning met 10% ten gevolge hebben, dat de stroom met 7½% toeneemt. Hoe groter de vaste weerstand is ten opzichte van den weerstand, die door de in serie geschakelde gloeidraden wordt gevormd, des te groter zullen de stroomvariaties zijn.

Voor het geval, dat de buizen in serie zijn geschakeld, geldt fig. 353. Indien in de gloeistroomketen echter een serie-weerstand is opgenomen, zal de weerstandswaarde ervan bij oplopende spanning niet toenemen. De totale weerstand neemt dus minder toe dan het geval zou zijn, indien de gloeistroomketen uitsluitend uit gloeidraden zou

Het is duidelijk, dat reeds betrekkelijk kleine netspanningsschommelingen een niet te verwaarlozen over- of onderbelasting van de buizen kunnen veroorzaken.

Stroomregulatorbuizen maken het mogelijk, den stroom in een bepaald spanningsgebied binnen zeer nauwe grenzen constant te houden, doordat de weerstand van zulk een buis bij oploopenden stroom uiterst snel toe-neemt.

γ) Stroomstooten bij het inschakelen van den gloeistroom

Indien de gloeidraden bij het inschakelen van de gloeistroomketen koud zijn, hebben zij een zeer lagen weerstand, bij benadering $1/7$ tot $1/10$ van den weerstand bij den normalen stroom, zoodat op dat oogenblik een sterke stroomstoot ontstaat. Deze stroomstoot schaadt de gloeidraden niet en heeft ten gevolge, dat de buizen snel op temperatuur komen. Indien een voor-schakelweerstand in de gloeistroomketen wordt opgenomen, begrenst hij den stroomstoot bij het inschakelen, zoodat de buizen minder snel op temperatuur komen. Is een stroomregulatorbuis in de gloeistroomketen opgenomen, dan zal de weerstand van deze buis in den beginne ook laag zijn en geleidelijk met het op temperatuur komen toenemen, zoodat bij aanwezigheid van een regulatorbuis eveneens een sterke stroomstoot zal ontstaan. Deze is echter slechts van korte duur, daar een regulatorbuis zeer snel warm wordt. Een regulatorbuis kan echter niet steeds in plaats van een voor-schakelweerstand worden gebruikt, daar het regelingsgebied van deze buizen beperkt is. Indien de laagste spanning over de buis bijv. 80 V bedraagt, zal de stroom tot een spanning van ca. 200 V over de buis

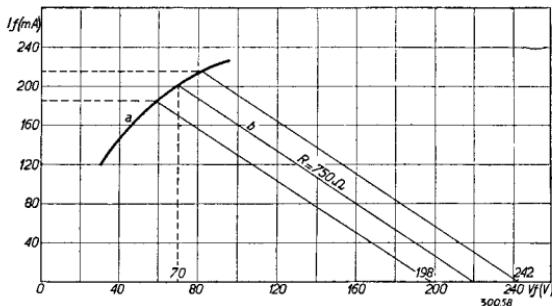


Fig. 354

Grafische bepaling van de gloeistroomveranderingen van in serie geschakelde buizen met een voor-schakelweerstand bij een over- en een underspanning van het net van 10%.

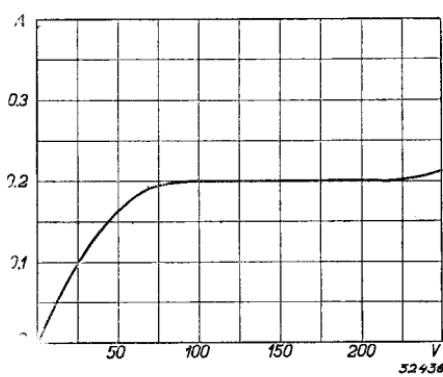


Fig. 355

Stroom-spanningskarakteristiek van een stroomregulatorbuis voor 200 mA.

constant kunnen worden gehouden. Bij hogere spanningen neemt de stroom snel toe, tot de weerstandsdraad doorbrandt (zie fig. 355, welke de stroom-spanningskarakteristiek van een stroomregulatorbuis toont). Indien de spanningsval in den voorschakelweerstand klein is ten opzichte van dien in de warme gloeistroomketen, zal een regulatorbuis met een lage onderste spanningsgrens bij het inschakelen van de koude buizen doorbranden, indien zulk een buis in plaats van den voorschakelweerstand wordt toegepast, daar de spanning over de buis bij inschakelen dan aanmerkelijk hooger wordt dan de bovenste spanningsgrens. Wordt een schaalverlichtingslampje in de gloeistroomketen opgenomen, dan zal de gloeidraad van dit lampje door den stroomstoot bij het inschakelen zwaar worden belast. Daarom moet dan ook, hetzij een speciaal voor dit doel vervaardigd lampje worden toegepast, dan wel ervoor worden gezorgd, dat de stroom wordt begrensd. Bij toepassing van een regulatorbuis wordt de stroomstoot bij het inschakelen reeds aanmerkelijk verkort, zoodat het risico van doorbranden dan kleiner is. Voor een stroombegrenzing van langeren duur kunnen regulatorbuizen met een begrenzingsweerstand worden toegepast. Een dergelijke weerstand heeft een negatieve weerstandscharakteristiek, d.w.z. de weerstand ervan neemt af, als de temperatuur stijgt. De weerstand in kouden toestand is zeer hoog en in warmen toestand laag. Bij het inschakelen van de koude buizen wordt de gloeistroomketen voornamelijk door den begrenzingsweerstand gevormd en het electrische vermogen hierin in warmte omgezet. Hierdoor neemt de weerstand ervan af, maar de tijd, dien de begrenzingsweerstand noodig heeft om op temperatuur te komen, is voldoende om den weerstandsdraad van de regulatorbuis te verwarmen, zoodat hij de geheele overspanning ten gevolge van de nog te koude buizen opneemt, als de weerstand van den begrenzingsweerstand laag is geworden. Een schaalverlichtingslampje in de gloeistroomketen zal dan niet zoo spoedig worden overbelast, en het is in dat geval niet beslist noodzakelijk, een bijzonder verlichtingslampje toe te passen, dat grote stroomstooten kan verdragen.

b) Anodespanning

Voor de anodevoeding van gelijkstroomtoestellen is uiteraard geen gelijkrichtbuis noodzakelijk. Men kan de gelijkspanning van het net dan rechtstreeks voor voeding van de anoden gebruiken. Het verdient echter aanbeveling, de gelijkspanning van het net in dit geval toch door een afvlakketen af te vlakken, daar hierop dikwijls nog storende wisselspanningen zijn gesuperponeerd. Voor de afvlakking kunnen geen electrolytische condensatoren worden toegepast, daar deze bij verkeerde

aansluiting van het net (verwisseling van den positieven en den negatieveen pool) zouden worden beschadigd.

Toestellen voor gelijk- en wisselstroomaansluiting moeten uiteraard van een gelijkrichter zijn voorzien. Als gelijkrichter komt alleen een enkelfasige buis in aanmerking, die indirect verhit dient te zijn, daar haar gloeidraad in serie met de gloeidraden van de ontvangbuizen wordt geschakeld. Bij voeding met wisselstroom wordt deze door de buis gelijkgericht. Deze gelijkgerichte stroom kan op de gebruikelijke wijze door twee electrolytische condensatoren en een smoorspoel worden afgelakt. Bij gelijkstroomvoeding werkt de gelijkrichtbuis als ventiel. Indien de netpool van fig. 351, die met de anode van de gelijkrichtbuis is verbonden, positief is, vloeit stroom door de buis; is hij negatief, dan wordt de stroom door de buis versperd. Het is in dit geval wel mogelijk electrolytische condensatoren toe te passen, daar deze door de ventielwerking van de gelijkrichtbuis niet foutief gepolariseerd kunnen worden.

Door het ontbreken van een nettransformator kunnen storingen uit het net veel gemakkelijker in het toestel doordringen. Deze moeten eventueel door smoorspoelen in de toevoerleiding van het net worden tegengehouden. Verder dient voor een doelmatige afgvlakking van de anodespanning te worden gezorgd. De spanningsval hierin mag slechts uiterst klein zijn, opdat bij netten met een lage spanning een zoo hoog mogelijke anodespanning ter beschikking staat.

De afgvlaksmoorspoel dient in de positieve leiding te worden opgenomen. Indien zij in de negatieve leiding zou worden geschakeld, zouden de kathoden van alle buizen en het chassis niet meer rechtstreeks met een pool van het net zijn verbonden, hetgeen aanleiding kan geven tot het ontstaan van brom.

Bij gelijkstroomvoeding is de gelijkspanning, die ter beschikking staat, doorgaans lager dan bij wisselstroomvoeding uit een net met dezelfde spanning. Bij wisselstroom wordt de reservoircondensator van den gelijkrichter tot iets minder dan de topwaarde van de wisselspanning opgeladen, zoodat de gemiddelde waarde van de spanning op dezen condensator hooger kan liggen dan bij gelijkstroom.

De gelijkrichtbuizen voor gelijkstroom-wisselstroomtoestellen hebben een lagen inwendigen weerstand, ten einde bij een lage netspanning een zoo hoog mogelijke anodespanning te verkrijgen. Indien de inwendige weerstand van de gelijkrichtbuis hoog zou zijn, zou de spanning, tot welke de reservoircondensator van den gelijkrichter wordt opgeladen, en zodoende ook de geleverde gelijkspanning, laag zijn. Volgens het bovenstaande kan bij een hooge netspanning (bijv. 220 V) de gemiddelde gelijkspanning op den reservoircondensator bij wisselstroomvoeding

hooger zijn dan bij gelijkstroomvoeding. In verband hiermee is het dikwijls gewenscht, in serie met den gelijkrichter een weerstand op te nemen (R_1 in fig. 351). Deze weerstand veroorzaakt bij aansluiting op gelijkspanning een veel lageren spanningsval dan bij aansluiting van den gelijkrichter op wisselspanning, daar de gelijkstroom bij aansluiting op gelijkspanning gelijkmataig blijft vloeien en de stroomstooten voor het opladen van den condensator komen te vervallen. Daardoor kan de anodespanning van de buizen bij gelijk- en wisselstroomvoeding beter dezelfde waarde hebben. Verder kan deze weerstand uit een ander oogpunt beslist noodzakelijk zijn, namelijk ten einde de stroomstooten voor het opladen van den condensator te begrenzen, daar deze anders de kathode van den gelijkrichter kunnen beschadigen, vooral bij toepassing van groote reservoircondensatoren en hooge netspanningen. De uit dit oogpunt onder verschillende omstandigheden vereischte serie-weerstanden worden in de publicatiegegevens van de gelijkrichtbuizen vermeld.

c) Omschakeling bij verandering van netspanning

Daar de netten, waarop de gelijkstroom-wisselstroomtoestellen worden aangesloten, niet alleen wat betreft de stroomsoort (gelijkstroom of wisselstroom) verschillen, maar ook wat betreft de spanningen, dient in vele gevallen te worden voorzien in de mogelijkheid van aansluiting op verschillende netspanningen. Bij wisselstroomtoestellen met transformator kan de omschakeling voor aansluiting op verschillende netspanningen door aftakkingen van de primaire worden verwezenlijkt. Bij gelijkstroom-wisselstroomtoestellen is deze mogelijkheid niet aanwezig, daar bij deze toestellen de nettransformator ontbreekt. Een eenvoudige aanpassing van het toestel aan verschillende waarden van de netspanning bestaat hierin, dat men het toestel voor bijv. 110 V construeert en bij een hogere spanning een voorschakelweerstand in de netleiding opneemt. Hierdoor wordt echter vrij veel vermogen verspild (in warmte omgezet), en daar netten met hogere spanning bovenbien belangrijk meer voorkomen dan netten met lage spanning, wordt deze methode weinig toegepast.

De verandering van de netspanning heeft twee gevolgen:

- 1) de spanning over de gloeistroomketen verandert;
- 2) de anodegelijkspanning krijgt een andere waarde.

Ten gevolge van punt 1) is het noodzakelijk een anderen voorschakel-

weerstand in de gloeistroomketen op te nemen. Indien een stroomregulatorbuis in de gloeistroomketen is opgenomen, zal deze buis, ook bij een groote verandering van de spanning door aansluiting op een ander net, den gloeistroom in enkele gevallen nog op de juiste waarde regelen. Doorgaans is de verandering van de spanning echter zoo groot en worden zoodanige buizen toegepast, dat de regulatorbuis moet worden verwisseld.

Het gevolg van punt 2) is, dat de spanningen aan de electroden van de buizen veranderen. De buizen van de C-serie en ook die van de E-serie, die voor gelijk- en wisselstroomtoestellen geschikt zijn, worden in omschakelbare toestellen meestal zoo geschakeld, dat bij hooge anodespanning serieweerstanden of spanningsdeelers de schermroosterspanningen tot de vereischte waarden reduceeren (voor H.F. pentoden meestal 100 V). Bij lage anodespanning worden deze serieweerstanden dan of kortgesloten of gereduceerd, zoodat dan weer dezelfde schermroosterspanningen aanwezig zijn. Er zijn ook eindbuizen geconstrueerd voor een lage schermroosterspanning, zooals de CL2 en de CL6, die bij lage anodespanning een betrekkelijk groot uitgangsvermogen leveren (ongeveer 2 W). Zoo zullen bij een netspanning van 110 V de schermrooster- en de anodespanning gelijk zijn aan 90 V, terwijl bij een netspanning van 220 V de anodespanning 180 V zal bedragen en de schermroosterspanning door een voorschakelweerstand op ongeveer 100 V wordt gereduceerd. Daarbij moet, bij het omschakelen van 220 V op 110 V of omgekeerd, de luidsprekeraanpassing gewijzigd worden, en wel door de primaire of de secundaire van den uitgangstransformator anders te schakelen. De uitgangstransformator moet dus van een aftakking worden voorzien, met behulp waarvan 2 verschillende transformatieverhoudingen kunnen worden verkregen, en wel een voor de gunstigste aanpassing bij de desbetreffende anodespanning. Het verwisselen van de regulatorbuis in de gloeistroomketen bij het overgaan van de eene netspanning op de andere heeft er toe geleid, dit verwisselen tevens met het omschakelen van de electrodespanningen der ontvangbuizen te combineeren. Dit kan geschieden door in het lampvoetje van de regulatorbuizen voor hooge netspanningen andere verbindingen tusschen voor den regulatorweerstand niet gebruikte contacten aan te brengen dan in het voetje van regulatorbuizen voor lage netspanningen. Met behulp van deze verbindingen kan men bijv. den gemeenschappelijken voorschakelweerstand voor de schermroosters kortsluiten en de primaire van den uitgangstransformator omschakelen. Bij het ontwikkelen van nieuwe series van buizen voor gelijkstroom-wisselstroomtoestellen, met name de U-serie, kwam men tot het inzicht, dat de omschakeling van toestellen veel eenvoudiger kon geschieden,

en wel door de buizen zoodanig te construeeren, dat geen omschakeling van schermroosterserie weerstanden, kathodeweerstanden en van den uitgangstransformator meer noodig is. Daartoe was het o.a. noodzakelijk een eindbuis met grotere toelaatbare anodedissipatie te construeren (11 W). Bij lage anode- en schermroosterspanning kan daarmede een behoorlijk uitgangsvermogen (ca. 1 W) worden afgegeven; bij hoge spanning (185 V — op deze waarde stelt zich bij 220 V netspanning de anodegelijkspanning ongeveer in) stijgt de anodedissipatie, zonder omschakeling van den schermroosterserie weerstand en den kathodeweerstand, tot de grenswaarde van 11 W, terwijl de anodeaanpassingsimpedantie behouden kan blijven. Bij de H.F. pentoden kan men eveneens denzelfden schermroosterserie weerstand en kathodeweerstand aanhouden. De steilheid is dan bij lage anodespanning ongeveer 10% lager dan bij hoge anodespanning. Weliswaar zullen de eigenschappen van een toestel zonder een bijzondere omschakelinrichting voor de electrodenvoeding, bij lage netspanning iets minder goed zijn dan die van een toestel met omschakelinrichting, maar de prestaties zullen nog zeer bevredigend uitvallen.

Bij wisselstroomnetten met een lage spanning is het ook mogelijk, spanningsverdubbeling toe te passen (zie hoofdtuk XVIII, § 4) en op deze wijze een hogere anodespanning voor de ontvangbuizen te verkrijgen (buis CY 2 voor spanningsverdubbeling).

§ 4. Voeding van automobielontvangers

Voor de voeding van autoradio-ontvangtoestellen heeft men slechts de beschikking over een accumulator met een nominale spanning van 6 of 12 V¹⁾. Hierop kunnen de gloeidraden van de ontvangbuizen met de overeenkomstige spanning parallel worden aangesloten. De anodespanning moet worden verkregen door de lage gelijkspanning van de batterij op te transformeeren. Hiertoe maakt men gebruik van trilleromvormers, die den gelijkstroom van de batterij via de primaire van een transformator in een bepaalde frequentie onderbreken. De op deze wijze afwisselend onderbroken gelijkstroom bevat een wisselstroomcomponent en deze wekt in de secundaire van den transformator een wisselspanning op, waarvan de grootte door de transformatieverhouding wordt bepaald.

¹⁾ De gemiddelde spanning van dergelijke accumulatoren is ongeveer 6,3 of 13 V, hetgeen er toe geleid heeft buizen voor deze waarden van de gloeispanning te maken.

Deze wisselspanning kan, evenals dit bij wisselstroomtoestellen het geval is, door een buis worden gelijkgericht, waarna de gelijkgerichte spanning op de gebruikelijke wijze wordt afgevlakt. In fig. 356 wordt de principieele schakeling van de voeding van een autoradio-ontvangtoestel gegeven. Tusschen den accumulator en het toestel is een filter opgenomen, ten einde te voorkomen, dat storingen van den motor in het toestel doordringen. Op dit filter volgt een smoorspoel S_2 , die, evenals de smoorspoel S_3 , ten doel heeft de storingen van den trilleromvormer den weg naar het toestel te versperren.

De stroomstooten door de contacten I en II van den triller worden door de weerstanden R_1 en R_2 gedempt.

Voor autoradio-ontvangtoestellen worden speciale trilleromvormers vervaardigd, die voldoen aan de hooge eischen, welke er voor dit doel aan worden gesteld. Er zijn verschillende typen, waarvan enkele in een hoogvacuum werken en uiterlijk groote overeenkomst vertoonen met een radiobuis. Aan de contacten worden bijzonder zware eischen gesteld, daar deze betrekkelijk groote stroomen moeten verbreken. Doorgaans worden de trillers dubbelfasig uitgevoerd, zoodat bij het openen van de ene stroomketen, de andere worden gesloten (zie ook fig. 356). Voor de gelijkrichting past men dubbelfasige gelijkrichtbuizen met indirect verhitte kathode toe. Daar deze laatste een positieve spanning

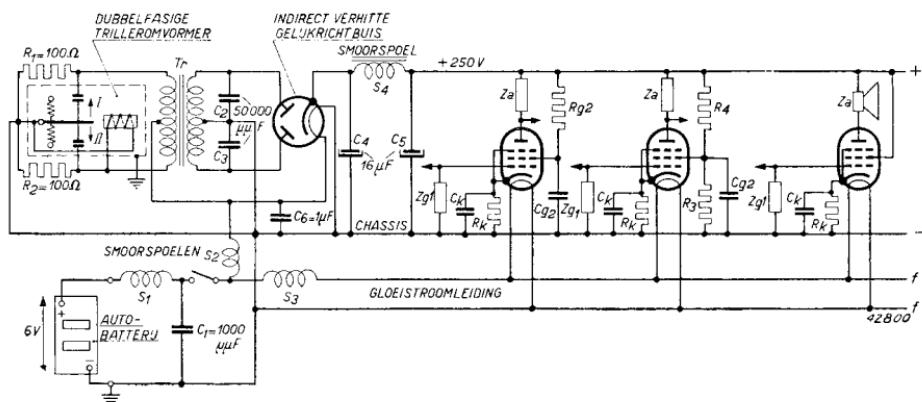


Fig. 356

Principieele schakeling van de voeding van een autoradiotoestel met triller. Door den triller wordt de gelijkstroom, die door de beide helften van de primaire van den transformator Tr vloeit, afwisselend verbroken. In de secundaire wordt een hooge wisselspanning opgewekt, die, na gelijkrichting door een dubbelfasige gelijkrichtbuis, een gelijkspanning van ca. 250 V geeft.

heeft ten opzichte van het chassis en de gloeidraad door den accumulator van de auto wordt gevoed, die aan één zijde met het chassis is verbonden, komt een hooge spanning tusschen kathode en gloeidraad te staan. De kathode van de gelijkrichtbuis voor autoradio-toestellen moet dus bijzonder goed geïsoleerd zijn.

De ontvangstbuizen worden op de normale wijze, zooals in wisselstroomtoestellen, geschakeld.

§ 5. Voeding van batterijtoestellen

De schakeling van de voeding van een toestel voor batterijvoeding is uiterst eenvoudig en wordt in fig. 357 gegeven.

Drie batterijen zijn noodig: een anodebatterij, een gloestroombatterij en een batterij voor

de negatieve roosterspanning. Deze laatste kan men dikwijls ook laten vervallen, door een gedeelte van de anodebatterij hiervoor te gebruiken.

Doorgaans wordt de negatieve zijde van den accumula-

tor met aarde verbonden. De electrodespanningen, die voor de Philips batterijbuizen worden aangegeven, hebben dan ook steeds betrekking op de negatieve pool van den gloeidraad.

Meestal hecht men zeer veel waarde eraan, het aantal verbindingen met de batterijen zoo gering mogelijk te houden, zoodat de aansluitingen worden beperkt tot twee draden voor de anode- en twee voor de gloestroombatterij. In verband hiermee zijn de nieuwe Philips buizen voor batterijvoeding dan ook, hetzij voor gelijke anode- en schermroosterspanningen, dan wel voor voeding van de schermroosters via serie-weerstanden ontworpen, zoodat geen aansluiting op een aftakking van de anodebatterij voor een lagere positieve electrodenspanning noodzakelijk is. Bij buizen met gelijke anode- en schermroosterspanning kan men het schermrooster nu rechtstreeks met de anodevoedingsleiding verbinden, of, zooals in fig. 357 wordt voorgesteld, nog door een RC-keten ontkoppelen.

Om de roosterbatterij te laten vervallen en het aantal aansluitingen zodoende tot het uiterste te beperken, kan men de negatieve rooster-

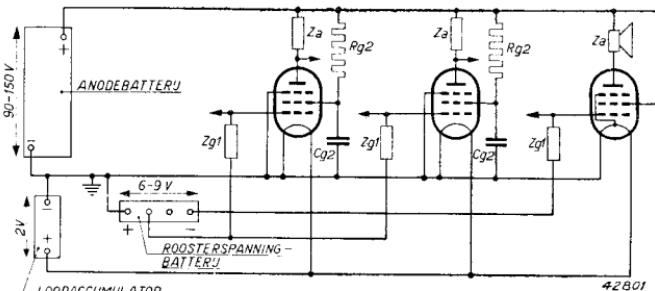


Fig. 357

Principieele schakeling van de voeding van een batterijtoestel.

42801

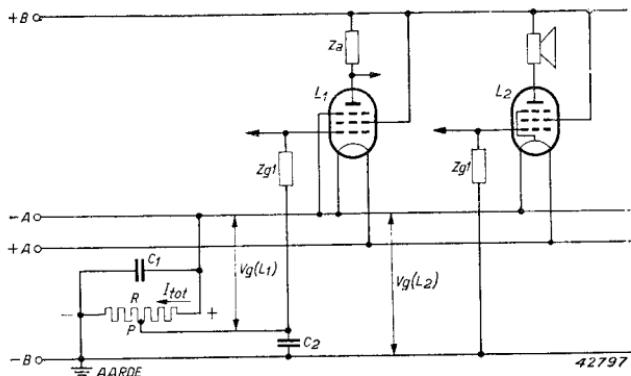


Fig. 358

Het opwekken van automatische negatieve roosterspanning in een batterijtoestel.

spanning voor de eindbuis automatisch opwekken door den spanningsval in een weerstand R (zie fig. 358), die tus-schen de negatieve pool -A van de gloeistroombatterij en de negatieve pool -B van de anodebatterij wordt opgenomen. In dat geval wordt de

pool -B doorgaans met aarde verbonden en de weerstand R door een groote capaciteit C_1 voor hooge en lage frequenties overbrugd. De gloeidraad van de buis L_2 is dus positief ten opzichte van -B en, indien het rooster via de roosterimpedantie Z_{g1} met -B wordt verbonden, is dit negatief ten opzichte van den gloeidraad. Daar de negatieve roosterringving voor de eindbuis doorgaans grooter is dan die voor de voorafgaande buizen, moeten de roosters daarvan niet met -B, maar met aftakkingen van den weerstand R worden verbonden, wil deze spanning de juiste waarde hebben.

Bij toepassing van uitgestelde automatische volumeregeling moet op het volgende worden gelet. Normalerwijze kan geen belangrijk grootere uitstelspanning verkregen worden dan de negatieve roosterspanning van de voorversterkingsbuizen in den niet geregelden toestand bedraagt. Fig. 359 illustreert dit geval voor een direct verhitte duodiode-triode als detector en gelijkrichter voor de automatische volumeregeling. De lekweerstand R_5 van de diode voor de automatische volumeregeling van buis L_2 wordt niet, zooals dit bij wisselstroomtoestellen het geval is, met aarde verbonden, maar met het punt P van de aftakking op den weerstand, die voor het opwekken van de negatieve roosterspanning van de eindbuis dient.

De weerstand R_3 heeft een zoodanige waarde, dat de spanningsval, die hierin optreedt, nauwkeurig overeenkomt met de roosterspanning, die voor de geregelde buizen in niet-geregelde toestand noodzakelijk is. Deze spanning wordt in fig. 359 via R_5 , den afvlakweerstand R_4 en Z_{g1} aan het rooster van de M.F. buis L_1 gelegd. Daar de diodeanode d_2 tegenover het positieve einde van den gloeidraad ligt, heeft zij t.o.v. het door haar benutte deel van den gloeidraad reeds een negatieve

voerspanning van 1,4 of 2 V, indien de anode d_2 aan $-A$ ligt. De uitstelspanning is in dit geval dus gelijk aan $2 \text{ V} + V_{g(L1)}$, indien aangenomen wordt, dat de gloeispanning 2 V bedraagt.

Indien het noodzakelijk zou zijn, een grotere uitstelspanning toe te passen, dienen bijzondere maatregelen te worden getroffen.

In fig. 360 wordt de schakeling gegeven, die dan kan worden gekozen. De negatieve roosterspanning van de eindbuis V'_{g1} wordt via den spanningsdeeler $R_3-R_4-R_5$ aan de diode d_2 gelegd. R_5 ligt aan $+A$, zoodat de negatieve spanning aan d_2 ten opzichte van het positieve einde van

den gloeidraad gelijk is aan

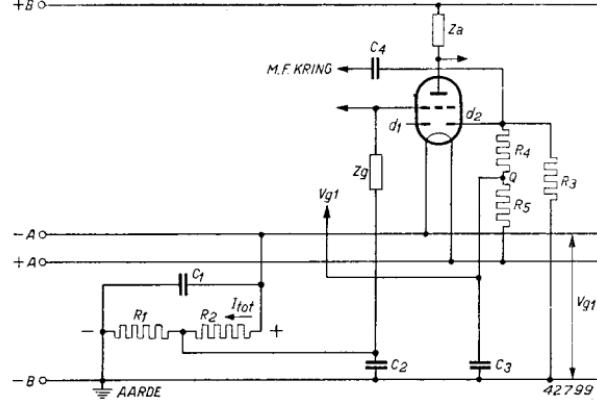


Fig. 360

Schakeling van de direct verhitte duodiode-triode voor een grotere uitstelspanning van de automatische volumeregeling.

roosterspanning van de automatisch geregelde voorversterkingsbuizen in niet-geregelde toestand. Het is duidelijk, dat de regelspanning voor de automatische volumeregeling, die aan d_2 ontstaat, door den spanningsdeeler R_4-R_5 eveneens wordt verminderd en de automatische

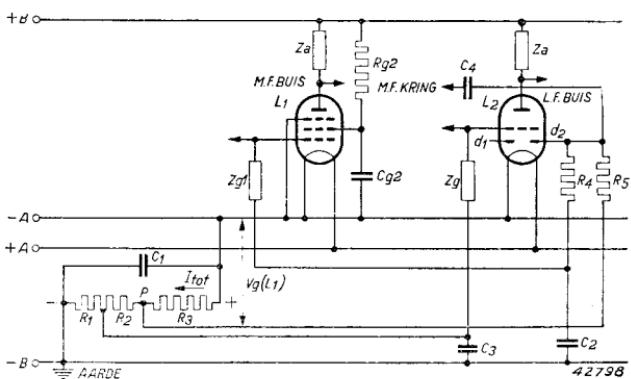


Fig. 359

Uitgestelde automatische volumeregeling bij toepassing van automatische negatieve roosterspanning in een batterijtoestel. Deze schakeling kan ook worden toegepast, indien een vaste negatieve roosterspanning wordt aangelegd.

$$\frac{R_4 + R_5}{R_3 + R_4 + R_5} \times (V'_{g1} + 2) \text{ V.}$$

Door den spanningsdeeler R_4-R_5 wordt de negatieve spanning van d_2 ten opzichte van $-A$ zoo sterk verlaagd, dat de negatieve spanning van het punt Q ten opzichte van $-A$ juist overeenkomt met de vereischte negatieve

volumeregeling dus minder effectief is. Indien bijvoorbeeld $R_3 = 1 \text{ M}\Omega$, $R_4 = 0,5 \text{ M}\Omega$ en $R_5 = 1 \text{ M}\Omega$, zal de uitstelspanning bij een negatieve roosterspanning van de eindbuis van 5 V gelijk zijn aan $3/5 \times 7 \text{ V} = 4,2 \text{ V}$. De negatieve roosterspanning van de automatisch geregelde buizen is dan gelijk aan 0,8 V, wanneer de automatische volumeregeling nog niet werkt, en slechts $2/3$ van de regelspanning aan d_2 wordt naar de roosters van deze buizen gevoerd. Indien R_5 op een hogere positieve spanning in het toestel wordt aangesloten en V'_{g1} betrekkelijk groot is, kan een effectiever werkende automatische volumeregeling worden verkregen.

Sommige voorversterkersbuizen van de nieuwe D-serie voor batterijvoeding zijn zoo geconstrueerd, dat men ze zonder negatieve voorspanning kan gebruiken. De spanningsval over den gloeidraad geeft dan voldoende voorspanning, om met kleine signalen nog geen roosterstroom te hebben (zie bijv. de H.F. pentode DF 21 en de octode DK 21). Ook de diode-triode DAC 21 van deze serie kan zonder negatieve voorspanning aan het rooster van het triodedeel gebruikt worden. De diode gebruikt nl. een gedeelte van het negatieve einde van den gemeenschappelijken gloeidraad, zoodat het gloeidraadgeleerdeel, dat voor de triode gebruikt wordt, een positieve potentiaal heeft ten opzichte van de negatieve gloeidraadaansluiting. Wanneer nu het rooster de potentiaal van de negatieve aansluiting krijgt, is de negatieve voorspanning van het rooster ten opzichte van het gloeidraadgeleerdeel van de triode voldoende, om zonder roosterstroom te kunnen versterken.

§ 6. Voeding van batterij-, gelijkstroom- en wisselstroomtoestellen

In den laatsten tijd is er ook behoefte ontstaan aan batterijtoestellen, die men bovendien nog aan kan sluiten op een wisselstroom- of gelijkstroomnet. Het is zeer natuurlijk, dat men een kofferontvanger, indien men dezen in een woning gebruikt, gaarne door het aanwezige net wil voeden om de batterijen uit te kunnen schakelen, deze aldus te sparen en ze alleen te gebruiken, wanneer geen netaansluiting ter beschikking staat. Zodoende zijn er ontvangers voor batterij, gelijk- en wisselstroom ontstaan, die men B.G.W.- of A.B.C.-ontvangers noemt. Deze ontvangtoestellen maken gebruik van direct verhitte batterijbuizen, en hiervoor leenen zich buitengewoon goed de 1,4 V batterijbuizen van de nieuwe Philips D-serie.

Ten gevolge van het brommen bij wisselstroomvoeding is het niet mogelijk zonder meer de gloeidraden door het net te voeden. Men maakt bij voeding door het net gebruik van de gelijkrichtbuis, die men bezigt ten einde de benodigde anodegelijkspanning te verkrijgen, om

ook de gloeidraden met gelijkgericht stroom te voeden. Bijzonder gunstig is het dus buizen te gebruiken, die een geringen gloeistroom vergisen, daar de gelijkrichterschakeling hierdoor weinig belast zal worden. De buizen van de D-serie hebben een zeer geringen gloeistroom en zijn dus voor dergelijke doeleinden bijzonder gunstig. Door de gloeidraden van de buizen in serie te schakelen, behoeft de gelijkrichter voor de gloeidraadvoeding alleen een stroom te leveren, die met de

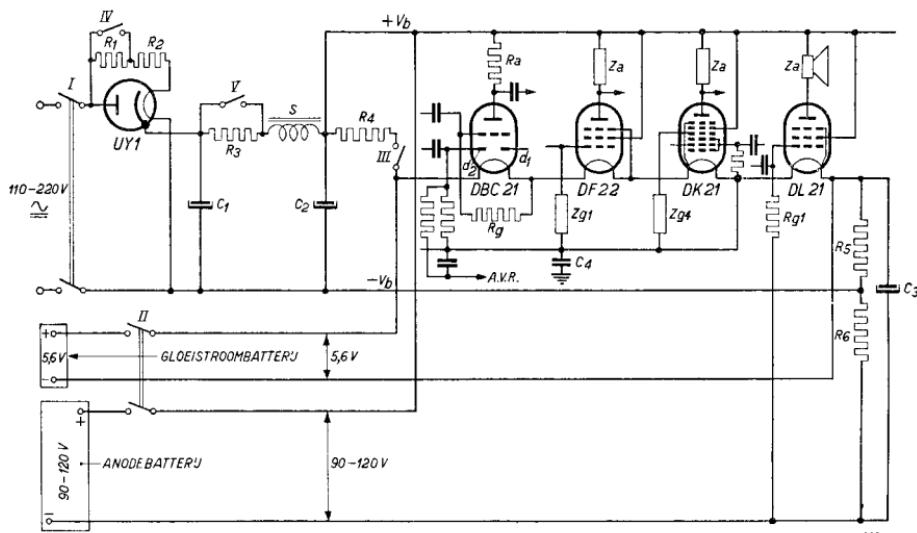


Fig. 361

Principieele schakeling van het voedingsgedeelte van een ontvangsttoestel met batterij-, gelijkstroom- of wisselstroomvoeding (B.G.W.- of A.B.C.-ontvanger).

hoogste waarde van den gloeistroom der gebruikte buizen overeenkomt. De totale stroom, dien de gelijkrichter moet afgeven, bedraagt, indien buizen met een gloeispanning van 1,4 V en een gloeistroom van 50 mA, zooals de DK 21, DF 22, DBC 21 en DL 21 worden gebruikt, ongeveer 65 mA (gloeistroom 50 mA, voeding van de anoden en schermroosters ongeveer 15 mA). Men kan dan voor den gelijkrichter de buis UY 1 of UY 21 gebruiken.

Fig. 361 geeft de principieele schakeling van de voeding van een dergelijk apparaat weer, waarin de buizen DK 21, DF 22, DBC 21 en DL 21 als ontvangstbuizen en de buis UY 1 als gelijkrichter worden gebruikt. De gloeidraden van de ontvangstbuizen worden hierbij in de in het schema aangegeven volgorde aangesloten. De gloeidraad van de eindbuis wordt dus via R_5 aangesloten aan de negatieve pool van de gloeidraadvoedingsketen, die tevens de negatieve pool van de anodevoedingsketen is. Zodoende is bereikt, dat de anode- en schermrooster-

stroom van de eindbuis direct (via R_5) naar de negatieve pool van de anodevoedingsketen en niet door de gloeidraden van andere buizen vloeit. De volgorde van de gloeidraden van de overige buizen is zóó gekozen, dat de spanningsval in de gloeidraden van de mengbuis DK 21, de M.F. buis DF 22 en de laagfrequent- en detectorbuis DBC 21 als uitstelspanning voor de automatische volumeregeling gebruikt kan worden. De DF 22 heeft als beginvoorspanning voor het stuurrooster den spanningsval in den gloeidraad van de mengbuis DK 21; het stuurrooster van deze laatste buis krijgt geen beginvoorspanning.

De voorspanning van de eindbuis wordt, bij voeding door het net, door den spanningsval in R_5 verkregen. Door dezen weerstand vloeit dan de gloestroom en de totale electronenstroom van het toestel, hetgeen de gewenschte voorspanning te weeg brengt. Bij batterijvoeding loopt de gloestroom echter niet door R_5 . Daarom wordt de negatieve pool van de anodebatterij over R_6 met de negatieve pool van de anodevoedingsketen verbonden. In dat geval levert de spanningsval in de weerstanden $R_5 + R_6$ vereischte negatieve voorspanning voor de eindbuis. Bij voeding van het toestel volgens het schema van fig. 361 door een gelijk- of wisselstroomnet, zijn de schakelaars I en III gesloten en is schakelaar II geopend. Deze laatste zorgt ervoor, dat de batterijen afgeschakeld zijn. De gloeidraad van de gelijkrichtbuis UY 1 wordt door het net gevoed. Daar de gloeispanning van deze buis 50 V bedraagt, wordt een voorschakelweerstand in de gloestroomketen van deze buis opgenomen (R_1 en R_2 in fig. 361). De waarde van dezen weerstand moet vanzelfsprekend aan de netspanning worden aangepast. De schakelaar IV sluit R_1 kort, wanneer men het toestel op een net van 110 V wil aansluiten. Wanneer deze schakelaar open staat, heeft de voorschakelweerstand $R_1 + R_2$ bijv. de juiste waarde voor een netspanning van 220 V. De door den gelijkrichter gelijkgerichte stroom vloeit door een weerstand R_3 en een smoorspoel S. De ohmsche weerstand van $R_3 + S$ moet zoodanig gekozen worden, dat de spanning aan den tweeden afvlakcondensator C_2 gelijk is aan de spanning van de voor batterijvoeding toegepaste anodebatterij. Met behulp van schakelaar V kan men deze spanning bij hoge en bij lage netspanning op de juiste waarde houden.

De gloeidraden van de vier ontvangstbuizen zijn in serie geschakeld en hebben dus gezamenlijk een gloeispanning van $4 \times 1,4 = 5,6$ V noodig. Daar de gloestroom bij netvoeding door den gelijkrichter wordt geleverd, moet de gelijkgerichte spanning aan C_2 door een voorschakelweerstand (R_4 in fig. 361) op 5,6 V worden gereduceerd.

Bij batterijvoeding worden de schakelaars I en III geopend en wordt de schakelaar II gesloten. De open schakelaar III zorgt er dan voor, dat

de anodebatterij zich niet over R_1 en de gloeidraden kan ontladen. De gloeidraden worden dan in serie gevoed door een droge batterij van 5,6 V (men kan hiervoor natuurlijk ook een accumulator van 6,3 V met voorschakelweerstand gebruiken).

Vanzelfsprekend kan men ook andere buizencombinaties als die van fig. 361 gebruiken en de schakeling aan deze buizen aanpassen. Hierbij valt op te merken, dat het minder gewenscht is, gloeidraden van buizen twee aan twee parallel te schakelen, daar dan het uitnemen van een buis een sterke overbelasting van den gloeidraad van de buis, die daarmede parallel geschakeld was, ten gevolge heeft.

De gevoeligheid van een ontvanger of van een versterker

Dikwijls wordt voor een ontvangsttoestel of versterker de term „gevoeligheid” gebezigd. Onder „gevoeligheid” verstaat men het zwakste signaal, dat het toestel nog met een min of meer groote geluidssterkte weer kan geven. Een gevoelig toestel zal zwakke signalen beter hoorbaar kunnen maken dan een ongevoelig. Om vergelijkbare opgaven te kunnen doen, werd de volgende definitie aangenomen: de gevoeligheid is de effectieve waarde van de signaalspanning, welke voor het bereiken van een wisselstroomvermogen van 50 mW aan den uitgang van het toestel wordt vereischt. (Hierbij wordt uitgegaan van een betrekkelijk gering geluidsvolume in een huiskamer, dat met vrijwel elke eindbuis kan worden bereikt.) Voor bepaalde eindbuizen wordt bijvoorbeeld aangegeven, dat de gevoeligheid 0,3 V bedraagt. Dit betekent, dat voor een wisselstroomvermogen van 50 mW een roostersignaal van 0,3 V noodig is. Indien aan deze buis een L.F. versterkingsbuis met een versterking van 100 voorafgaat, zal het vereischte signaal aan het rooster van deze buis, voor het verkrijgen van het eindvermogen van 50 mW, 100 keer zoo klein zijn. De gevoeligheid van een L.F. versterker met deze beide buizen bedraagt dus 3 mV. Bij ontvangsttoestellen met H.F., meng- en M.F. versterking is het eveneens doelmatig, de gevoeligheid aan de roosters van de verschillende buizen te kennen. Zoo zou het van belang kunnen zijn, de gevoeligheid aan het rooster van de M.F. buis van een superheterodyne ontvangsttoestel te kennen. Daar aan dit rooster een gemoduleerde M.F. wisselspanning ligt, is het niet voldoende, de waarde van de M.F. wisselspanning aan dit rooster aan te geven, maar moet de modulatiediepte eveneens bekend zijn. Het is gewoonte, hiertoe een modulatiediepte van 30% als norm aan te nemen. Onder „gevoeligheid aan het rooster van de M.F. buis” verstaat men dus de 30% gemoduleerde M.F. spanning, die noodig is om in de anodeketen van de eindbuis een vermogen van 50 mW te verkrijgen. Op dezelfde wijze kan de gevoeligheid aan het rooster van de mengbuis of aan het rooster der H.F. voorversterkingsbuis worden gedefinieerd. Het betreft dan steeds het 30% gemoduleerde H.F. signaal ter verkrijging van een eindvermogen van 50 mW. Hetzelfde geldt eveneens voor de detectorbuis.

Indien de versterking van elken trap bekend is, is het ook mogelijk, om — uitgaande van de eindbuis — de gevoeligheid op elke plaats van het toestel te berekenen. De versterking van de detectiediode kan met be-

hulp van de kromme V_{LF} van fig. 205 op eenvoudige wijze worden bepaald. Indien men het vereischte L.F. signaal aan den lekweerstand van de detectiediode voor het verkrijgen van een vermogen van 50 mW heeft berekend, kan men met behulp van deze kromme het 30% ge-moduleerde H.F. signaal, dat hiervoor noodig is, gemakkelijk aflezen. In de meeste gevallen is de gevoeligheid aan den ingang van het ontvangoestel van belang. Doordat de eigenschappen van de antenne grooten invloed hebben op de gevoeligheid, werd ook een algemeene norm voor de antenne aangenomen, en wel wordt de gevoeligheid bepaald voor een aangesloten kunstantenne met een capaciteit van $200 \mu\mu F$ tegen aarde, een zelfinductie van $20 \mu H$ en een weerstand van 25Ω . Ook de frequentie van de modulatie is van invloed op de gevoeligheid, daar de selectiviteit van de kringen en de frequentiekarakteristiek van den L.F. versterker hierop eveneens van invloed zijn. Daarom wordt doorgaans uitgegaan van een modulatie met een frequentie van 400 Hz. Daar de impedantie van den luidspreker afhankelijk is van de frequentie, wordt de luidspreker bij een gevoelighedsbepaling vervangen door een weerstand, die met de juiste aanpassing overeenkomt. De anode van de eindbuis wordt dan gevoed via een smoorspoel, die voor de frequentie van 400 Hz een zeer hoge impedantie heeft.

Aanhangsel

Definities, formules en tabellen

I. EENHEDEN

A. De definitie van en het verband tusschen de verschillende eenhedenstelsels

Men maakt bij de eenheden een onderscheid tusschen grondeenheden en afgeleide eenheden. Als grondeenheden zijn gekozen:

- 1) **de eenheid van lengte**, waarvan de dimensie door L wordt aangeduid,
- 2) **de eenheid van massa**, waarvan de dimensie door M wordt aangeduid en
- 3) **de eenheid van tijd**, waarvan de dimensie door T wordt aangeduid.

De eenheden van alle overige grootheden kunnen door geometrische of physische betrekkingen van deze grondeenheden worden afgeleid; bijv. is snelheid bepaald door weg gedeeld door tijd; de dimensie hiervan is $L T^{-1}$.

Als grondeenheden zijn internationaal gekozen de centimeter (cm), de gram (g) en de secunde (sec); ze stellen de grondeenheden van het absolute maatsysteem of cgs-systeem voor (centimeter-gram-secunde-systeem).

Alle andere eenheden, zoowel van mechanische, electrische als magnetische grootheden, zijn afgeleide eenheden. Vele afgeleide eenheden in het absolute systeem zijn voor praktisch gebruik of te groot of te klein. Daarom maakt men in de praktijk gebruik van het zoogenaamde praktische of technische eenhedenstelsel.

In de electrotechniek maakt men onderscheid tusschen electromagnetische en electrostatische eenheden. De eerste geeft men aan door e.m.e. en de laatste door e.s.e.; beide zijn afgeleide eenheden. Electromagnetische en electrostatische eenheden staan in een bepaald onderling verband.

De onderstaande tabel geeft het verband tusschen de praktische eenheden, de electromagnetische eenheden (e.m.e.) en de electrostatische eenheden (e.s.e.).

TABEL

Het verband tusschen praktische, electromagnetische en electrostatische eenheden

Benaming	Symbol	Practische eenheid	1 praktische eenheid is gelijk aan			
			electromagnetische eenheden		electrostatische eenheden	
Electrische lading	Q	1 coulomb	10^{-1} e.m.e.	$\dim Q = L^{1/2} M^{1/2}$	$3 \cdot 10^9$ e.s.e. ¹⁾	$\dim Q = L^{3/2} M^{1/2} T^{-1}$
Stroomsterkte	I	1 ampère	10^{-1} e.m.e.	$\dim I = L^{1/2} M^{1/2} T^{-1}$	$3 \cdot 10^9$ e.s.e. ¹⁾	$\dim I = L^{3/2} M^{1/2} T^{-2}$
Potentiaal, EMK	V	1 volt	10^8 e.m.e.	$\dim V = L^{3/2} M^{1/2} T^{-2}$	$1/300$ e.s.e. ¹⁾	$\dim V = L^{1/2} M^{1/2} T^{-1}$
Weerstand	R	1 ohm (Ω)	10^9 e.m.e.	$\dim R = LT^{-1}$	$1/9 \cdot 10^{-11}$ e.s.e.	$\dim R = L^{-1} T$
Capaciteit	C	1 farad	10^{-9} e.m.e.	$\dim C = L^{-1} T^2$	$9 \cdot 10^{11}$ e.s.e.	$\dim C = L$
Zelfinductie	L	1 henry	10^9 e.m.e.	$\dim L = L$	$1/9 \cdot 10^{-11}$ e.s.e.	$\dim L = L^{-1} T^2$
Arbeid	A	1 joule = 10^7 erg, $\dim A = L^2 MT^{-2}$				
Vermogen	W	1 watt = 10^7 erg/sec, $\dim W = L^2 MT^{-3}$				

¹⁾ Het hier gegeven getal $3 \cdot 10^{10}$, als verhouding tusschen de electrostatische en de electromagnetische eenheden voor lading, en stroom is slechts bij benadering juist. Het nauwkeurige getal van de lichtsnelheid $c = 2,99776 \cdot 10^{10}$ cm/sec.

B. De definitie en de eenheden van capaciteit en zelfinductie

Capaciteit (farad en microfarad). Indien een condensator een capaciteit C heeft en door een hoeveelheid electriciteit Q tot een spanningsverschil V tusschen de platen wordt opgeladen, bestaat tusschen deze drie grootheden de betrekking $Q = C \cdot V$.

Een condensator heeft een capaciteit van 1 farad (1 F), indien hij door een hoeveelheid electriciteit van 1 coulomb tot een spanningsverschil van 1 V tusschen de platen wordt opladen. Daar de eenheid farad voor de gebruikelijke doeleinden te groot is, past men meestal een miljoenste farad = microfarad (μF) als eenheid toe. Ook wordt als eenheid toegepast micromicrofarad ($\mu\mu\text{F}$) of picofarad (pF). Vroeger werd als eenheid ook de centimeter (cm) gebruikt. $1 \mu\mu\text{F} = 1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F} = 0,9 \text{ cm}$. Nauwkeurig is:

$1 \text{ cm} = 1,1126 \text{ pF}$ (absolute waarde), of

1 cm = 1,11315 pF (internationale waarde).

Coëfficiënt van zelfinductie (henry). De EMK, die in een draadlus wordt geïnduceerd, is gelijk aan de verandering per seconde van het aantal omvatte magnetische krachtlijnen. Elke geleider, waardoor een elektrische stroom vloeit, wekt een magnetisch veld op; een verandering van de stroomsterkte in dezen geleider heeft ten gevolge, dat de sterkte van het magnetisch veld, d.wz. het aantal omvatte krachtlijnen, door de lus, die door den geleider wordt gevormd, verandert; hierdoor wordt in den geleider een EMK geïnduceerd. Deze inductie in den geleider zelf noemt men de zelfinductie.

Een toeneming van den oorspronkelijken stroom induceert een zelfinductiespanning van tegengestelde richting; neemt de oorspronkelijke stroom af, dan zal de richting van de geïnduceerde spanning gelijk zijn aan die van den oorspronkelijken stroom. Indien de momenteele waarde van de EMK der zelfinductie e_z en de momenteele waarde van den stroom i is, geldt de betrekking:

$$e_z = -L \frac{di}{dt} .$$

De praktische eenheid van den coëfficiënt van zelfinductie is de henry (H). Een geleider heeft een zelfinductiecoëfficiënt van 1 H, indien hierin, ten gevolge van een ceerd. Een millihenry = $1 \text{ mH} = 10^{-3} \text{ H}$; 1 microhenry = $1 \mu\text{H} = 10^{-6} \text{ H}$; 1 H = 10^9 cm verandering der stroomsterkte van 1 A per secunde, een EMK van 1 V wordt geïnduceerd (cgs-eenheid).

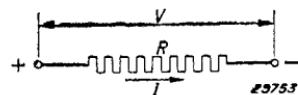
C. De waarden van enige natuurconstanten¹⁾

Benaming	Symbol	Waarde	Eenheid
Lading van het electron	e	$4,8025 \cdot 10^{-10}$	e.s.e.
" " " lading van het electron	"	$1,60225 \cdot 10^{-19}$	int. coul.
Specifieke lading van het electron	e/m _e	$1,759 \cdot 10^7$	e.m.e./g
" " " " " " "	"	$5,2731 \cdot 10^{17}$	e.s.e./g
Massa van het electron "	m _e	$9,1076 \cdot 10^{-28}$	g
Electronvolt (abs)	—	$1,60203 \cdot 10^{-12}$	erg
Snelheid van het electron bij 1 int. V	—	$5,9323 \cdot 10^7$	cm/sec
Lichtsnelheid	c	$2,99776 \cdot 10^{10}$	cm/sec
Verhouding tusschen electrostatische en electromagneticische eenheden	c	$2,99776 \cdot 10^{10}$	cm/sec
Mechanisch warmteaequivalent	A	$4,184 \cdot 10^7$	erg/cal
Warmteaequivalent van de joule	—	0,23902	cal/joule
Constante van Boltzmann	k	$1,3805 \cdot 10^{-16}$	erg/ ^o K

1) Zie ook W. de Groot, Ned. Tijdschr. v. Natuurk., 9, December 1942, blz. 497-505.

II. GELIJKSTROOMKETENS

- 1) De wet van ohm (fig. 1): $I = \frac{V}{R}$; $V = I \cdot R$; $R = \frac{V}{I}$;



R in ohm, V in volt en I in ampère uitgedrukt.

Fig. 1

- 2) Vermogen: $W = V \times I$; $W = I^2 \cdot R$; $W = \frac{V^2}{R}$;

W in watt, V in volt, I in ampère en R in ohm uitgedrukt.

- 3) Weerstanden in serie: $R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$

- 4) Parallel geschakelde weerstanden: $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$

Twee weerstanden parallel geschakeld (fig. 2):

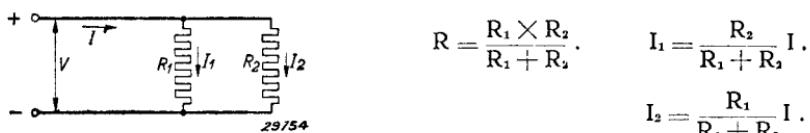


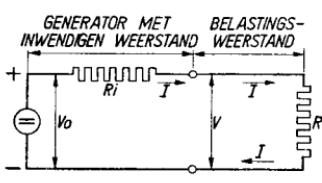
Fig. 2

Bij benadering:

Indien $R_2 =$	1	1,5	2	3	4	5	10	20	$\times R_1$,
is $R =$	0,5	0,6	0,67	0,75	0,8	0,84	0,9	0,95	$\times R_1$.

Indien R_2 groter is dan $10 \times R_1$, wordt een voldoend nauwkeurige benadering verkregen door de weerstandswaarde van R_1 met het percentage $\frac{R_1}{R_2} \times 100$ te verminderen.
Indien bijvoorbeeld $R_2 = 20 R_1$, geldt bij benadering $R = R_1 - 5\%$.

- 5) Generator met inwendigen weerstand (fig. 3):



$$V = V_o - I \cdot R_i = V_o \frac{R}{R + R_i}.$$

$$I = \frac{V_o - V}{R_i} = \frac{V_o}{R + R_i}.$$

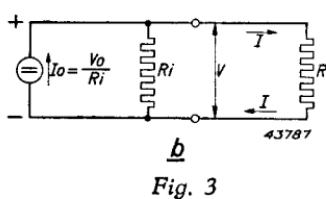
$$V_o = I_o \cdot R_i.$$

Vervangingsketen met dezelfde eigenschappen:

$$I = I_o - \frac{V}{R_i} = I_o \frac{R_i}{R_i + R}.$$

$$V = (I_o - I) R_i = I_o \frac{R_i \cdot R}{R_i + R}.$$

$$I_o = \frac{V_o}{R_i}.$$



6) Vermogen en rendement bij een generator met inwendigen weerstand (fig. 3):

a) Vermogen in den belastingsweerstand

$$W_R = I \cdot V = V_o \cdot I - I^2 \cdot R_i \text{ of } W_R = I_o \cdot V = \frac{V^2}{R_i} \text{ of}$$

$$W_R = \frac{V_o \cdot V - V^2}{R_i} \text{ of } W_R = (I_o \cdot I - I^2) R_i \text{ of}$$

$$W_R = \frac{V_o^2 \cdot R}{(R_i + R)^2} \text{ of } W_R = \frac{I_o^2 \cdot R_i^2 \cdot R}{(R_i + R)^2}.$$

b) Rendement

$$\eta = \frac{W_R}{W_{\text{tot}}} = \frac{R}{R_i + R}.$$

7) Maximum vermogen:

Dit wordt bereikt, indien $R = R_i$.

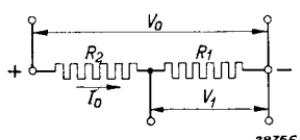
Het vermogen in den belastingsweerstand is dan gelijk aan:

$$W_R = \frac{1/4 V_o^2}{R_i} \text{ of } W_R = 1/4 I_o^2 \cdot R_i.$$

Het rendement is in dit geval:

$$\eta = \frac{W_R}{W_{\text{tot}}} = 0,50.$$

8) Spanningsdeeler onbelast (fig. 4):



$$V_1 = V_o \frac{R_1}{R_1 + R_2}.$$

$$I_o = \frac{V_o}{R_1 + R_2}.$$

Fig. 4

9) Spanningsdeeler belast (fig. 5):

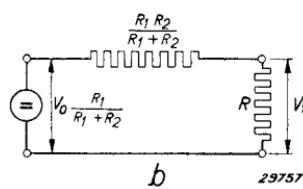
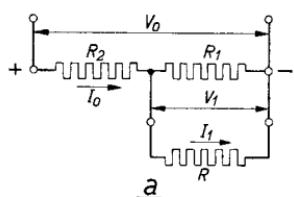


Fig. 5

$$V_1 = V_o \frac{R_1}{R_1 + R_2} - I_f \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2},$$

$$I_f = \frac{V_o \frac{R_1}{R_1 + R_2} - V_1}{\frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}}.$$

Vervangingsketen met dezelfde eigenschappen (fig. 5 b):

$$I_o = \frac{V_o}{R_1 + R_2} + I_f \frac{R_1}{R_1 + R_2},$$

$$I_o = \frac{V_o - V_1}{R_2}.$$

- 10) Spanningsdeeler met twee verschillende afgetakte spanningen en belastingen (fig. 6):

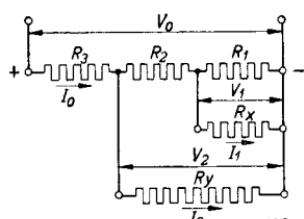


Fig. 6

$$V_1 = V_o \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3} - I_1 \frac{R_1 (R_2 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3} - I_2 \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3}.$$

$$V_2 = V_o \frac{R_1 + R_2}{R_1 + R_2 + R_3} - I_1 \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3} - I_2 \frac{R_3 (R_1 + R_2)}{R_1 + R_2 + R_3}.$$

Toepassing: voeding van een schermroosterbus.

- 11) Aequivalente van een ster- en een driehoekschakeling (fig. 7).

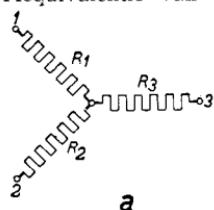


Fig. 7a is aequivalent aan fig. 7b, indien:

$$R_{12} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_3} + R_1 + R_2,$$

of

$$R_1 = \frac{R_{12} \cdot R_{13}}{R_{12} + R_{13} + R_{23}}.$$

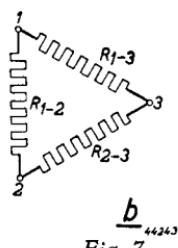


Fig. 7

- 12) Schakeling van de brug van Wheatstone (fig. 8):

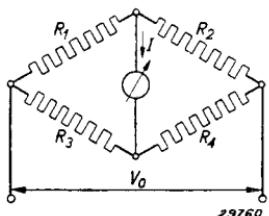


Fig. 8

De evenwichtstoestand ($I = 0$) wordt bereikt, indien:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}, \text{ of } \frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4}, \text{ of}$$

$$R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3;$$

$$R_1 = R_2 \frac{R_3}{R_4}.$$

III. WISSELSTROOMKETENS

- 1) Wisselstroom en wisselspanning:

$$e = E_0 \sin \omega t;$$

$$i = I_0 \sin (\omega t + \varphi);$$

$$\omega = 2\pi f = \text{hoekfrequentie } (\pi = 3.14 \dots);$$

$$\lambda = \text{golflengte } (\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{f}, \text{ } \lambda \text{ in m en } f \text{ in Hz, } f = \frac{3 \cdot 10^8}{\lambda});$$

$$\varphi = \text{fasehoek};$$

$f = \frac{1}{T}$ = frequentie in hertz (aantal perioden per secunde) ;

t = tijd ;

T = duur van een periode ;

e = momentele waarde van de spanning ;

E_0 = amplitude van de spanning ;

i = momentele waarde van den stroom ;

I_0 = amplitude van den stroom.

2) Effectieve waarden:

$$E = \frac{E_0}{\sqrt{2}}; I = \frac{I_0}{\sqrt{2}}.$$

3) Impedantie:

$$Z = \frac{E}{I}; E = \frac{E}{Z}; E = I \cdot Z.$$

4) Vermogen:

$$W = EI \cos \varphi; W = I^2 Z \cos \varphi; W = \frac{E^2}{Z} \cos \varphi.$$

5) Wisselstroomketen met een weerstand (fig. 9):

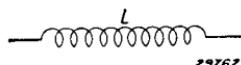


$$Z = R; \cos \varphi = 1.$$

R in ohm uitgedrukt.

Fig. 9

6) Wisselstroomketen met een zelfinductie (fig. 10):



$$Z = \omega L; \cos \varphi = 0;$$

L in henry uitgedrukt.

Fig. 10

7) Wisselstroomketen met twee in serie geschakelde zelfinducties (fig. 11):



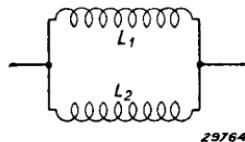
$$L = L_1 + L_2.$$

Fig. 11

Indien tusschen de spoelen L_1 en L_2 een wederzijdsche inductie M aanwezig is:

$$L = L_1 + L_2 \pm 2M.$$

8) Wisselstroomketen met twee parallel geschakelde zelfinducties (fig. 12):



$$L = \frac{L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2}.$$

Fig. 12

Indien tusschen de spoelen L_1 en L_2 een wederzijdsche inductie M aanwezig is:

$$L = \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 + L_2 \pm 2M}.$$

- 9) Wisselstroomketen met een capaciteit (fig. 13):

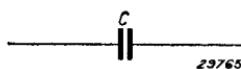


Fig. 13

$$Z = \frac{1}{\omega C}; \cos \varphi = 0;$$

C in farad uitgedrukt.

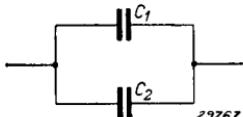
- 10) Wisselstroomketen met twee in serie geschakelde capaciteiten (fig. 14):



$$C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}.$$

Fig. 14

- 11) Wisselstroomketen met twee parallel geschakelde capaciteiten (fig. 15):



$$C = C_1 + C_2.$$

Fig. 15

- 12) Wisselstroomketen met een zelfinductie en een weerstand in serie (fig. 16):

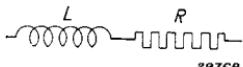


Fig. 16

$$Z = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}.$$

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z}.$$

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{R}{\omega L}.$$

$$Q = \frac{\omega L}{R} = \text{kwaliteit van de spoel}.$$

$\delta = 90^\circ - \varphi$ = verlieshoek en kan ter berekening van den wattlozen stroom en van het vermogen dienen; het vermogen $W = EI \sin \delta$. In de praktijk biedt het voordeelen om met $\operatorname{tg} \delta$ te werken. Indien $R \ll \omega L$, mag men $\operatorname{tg} \delta$ gelijk stellen aan $\sin \delta$, zoodat het verlies aan vermogen in den weerstand dan gelijk is aan $W = EI \operatorname{tg} \delta$. Indien R den verliesweerstand van een spoel of van een condensator voorstelt, is $\operatorname{tg} \delta$ doorgaans ongeveer constant voor een veranderlijke ω .

- 13) Wisselstroomketen met een zelfinductie en een weerstand parallel (fig. 17):

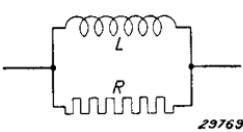


Fig. 17

$$Z = \frac{R \omega L}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}}.$$

$$\cos \varphi = \frac{Z}{R}.$$

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\omega L}{R}.$$

$$Q = \frac{R}{\omega L}.$$

- 14) Vervanging van een keten met een zelfinductie en een weerstand in serie, door een keten met een zelfinductie en een weerstand parallel en omgekeerd (fig. 18):

Fig. 18a kan worden vervangen door fig. 18b, indien:

$$L' = L (1 + 1/Q^2).$$

$$R' = R (1 + Q^2).$$

$$Q = 1/\tan \delta = \frac{\omega L}{R}.$$

Fig. 18b kan worden vervangen door fig. 18a, indien:

$$L = L' \frac{1}{1 + 1/Q^2}.$$

$$R = R' \frac{1}{1 + Q^2}.$$

$$Q = 1/\tan \delta = \frac{R'}{\omega L'}.$$

Indien R veel kleiner is dan ωL , geldt bij benadering dat:

$$R' = \frac{\omega L^2}{R} \text{ en } L' = L.$$

Indien R veel groter is dan ωL , geldt bij benadering, dat:

$$R' = R \text{ en } L' = \frac{R^2}{\omega L}.$$

- 15) Wisselstroomketen met een capaciteit en een weerstand in serie (fig. 19):



Fig. 19

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}.$$

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z}.$$

$$\tan \delta = \omega RC.$$

In de praktijk stelt dit bijv. een condensator voor met een serieverliesweerstand.

- 16) Wisselstroomketen met een capaciteit en een weerstand parallel (fig. 20):

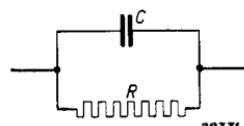


Fig. 20

$$Z = \frac{R}{\sqrt{1 + \omega^2 R^2 C^2}}.$$

$$\cos \varphi = \frac{Z}{R}.$$

$$\tan \delta = \frac{1}{\omega RC}.$$

In de praktijk stelt dit bijv. een condensator voor met een parallelverliesweerstand.

- 17) Vervanging van een keten met een capaciteit en een weerstand in serie, door een keten met een capaciteit en een weerstand parallel (fig. 21):

Fig. 21a kan worden vervangen door fig. 21b, indien:

$$R' = \frac{1 + \omega^2 R^2 C^2}{\omega^2 R C^2} = R (1 + Q^2).$$

$$C' = \frac{C}{1 + \omega^2 R^2 C^2} = C \frac{1}{1 + 1/Q^2}.$$

$$Q = 1/\tan \delta = \frac{1}{\omega R C}.$$

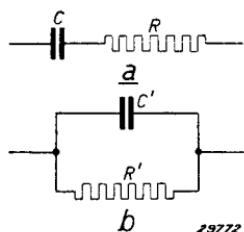


Fig. 21

Fig. 21b kan worden vervangen door fig. 21a, indien:

$$R = \frac{R'}{1 + \omega^2 R'^2 C'^2} = R' \frac{1}{1 + Q^2},$$

$$C = \frac{1 + \omega^2 R'^2 C'^2}{\omega^2 R'^2 C'} = C' \left(1 + \frac{1}{Q^2}\right).$$

$$Q = 1/\tan \delta = \omega R' C'.$$

Indien R veel kleiner is dan $\frac{1}{\omega C}$, geldt bij benadering, dat:

$$R' = \frac{1}{\omega^2 R C^2} \text{ en } C' = C.$$

Indien R veel groter is dan $\frac{1}{\omega C}$, geldt bij benadering, dat:

$$R' = R \text{ en } C' = \frac{1}{\omega^2 R^2 C^2}.$$

18) Wisselstroomketen met een capaciteit, zelfinductie en weerstand in serie (fig. 22):



Fig. 22

$$Z = \sqrt{\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2 + R^2}.$$

$$\tan \varphi = -\frac{\omega L - 1/\omega C}{R}.$$

19) Wisselstroomketen met een parallelenschakeling van een capaciteit, zelfinductie en weerstand (fig. 23):

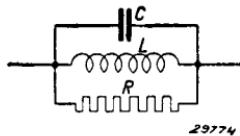


Fig. 23

$$Z = \frac{R}{\sqrt{R^2 \left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)^2 + 1}}.$$

20) Wisselstroomketen met een zelfinductie en weerstand in serie, parallel geschakeld aan een capaciteit (fig. 24):

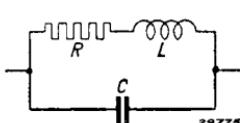


Fig. 24

Bij benadering geldt voor $R \ll \omega L$:

$$Z = \frac{\omega L}{\sqrt{(1 - \omega^2 LC)^2 + (R \omega C)^2}}.$$

21) Wisselstroomketen met een capaciteit en weerstand in serie, parallel geschakeld aan een zelfinductie (fig. 25):

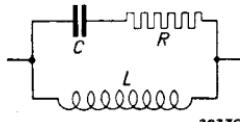


Fig. 25

Bij benadering geldt voor $R \ll \frac{1}{\omega C}$:

$$Z = \frac{\omega L}{\sqrt{(1 - \omega^2 LC)^2 + (R \omega C)^2}}.$$

IV. TRILLINGSKRINGEN

1) Vrije trillingen (fig. 26)

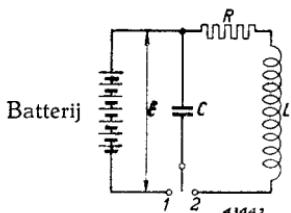


Fig. 26

Wordt van een kring, bestaande uit L , C en R in serie, de capaciteit C geladen door bijv. den schakelaar in fig. 26 in stand 1 te zetten, en wordt de kring daarna gesloten en aan zichzelf overgelaten door den schakelaar van fig. 26 in stand 2 te brengen, dan kan in den kring (L , C en R) alleen een gedempte „vrije” trilling ontstaan, indien

$$R^2 < \frac{4L}{C}.$$

Onder deze omstandigheden is de hoekfrequentie van de gedempte trilling:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}.$$

De natuurlijke logarithme van de constante verhouding van twee opeenvolgende amplituden met hetzelfde teken is gelijk aan:

$$\frac{\pi R}{\omega L} = \frac{R}{2L} T.$$

Hierin is T de duur van de periode.

Het zoogenaamde logarithmische decrement is:

$$\delta = \frac{R}{2L}.$$

Indien E de spanning is, waarmee de condensator wordt geladen, dan is, als $R^2 \ll L/C$, de eerste stroomamplitude:

$$I_1 = E \sqrt{\frac{C}{L}}.$$

De volgende stroomamplituden met hetzelfde teken als de eerste zijn gegeven door:

$$I_n = I_1 e^{-n \delta T}.$$

2) Gedwongen trillingen

A. Serieschakeling van C , L en R (fig. 27)

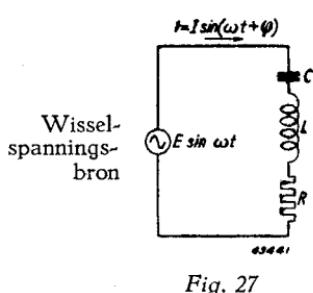


Fig. 27

De impedantie van de serieschakeling van C , L en R is:

$$Z = \sqrt{\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2 + R^2}.$$

De amplitude van den stroom in den trillingskring is:

$$I = \frac{E}{Z} = \frac{E}{\sqrt{\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2 + R^2}}.$$

De oogenblikswaarde van den stroom is: $i = I \sin(\omega t + \varphi)$.

Hierin is φ de fasehoek tusschen stroom en spanning, gegeven door:

$$\operatorname{tg} \varphi = - \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}.$$

Bij resonantie is voor den kring van fig. 27 de impedantie minimaal en de stroom maximaal. Resonantie treedt op, indien:

$$\omega L = \frac{1}{\omega C} \quad \text{of} \quad \omega L - \frac{1}{\omega C} = 0 \quad \text{of} \quad \omega^2 LC = 1.$$

De resonantiehoekfrequentie ω_0 is dus gelijk aan:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

Bij resonantie is $\tan \varphi = 0$ en $Z = Z_0 = R$. De amplitude I van den stroom is dan gelijk aan:

$$I_0 = \frac{E}{R}.$$

De amplitude van de spanning over den condensator en over de zelfinductie is bij resonantie gelijk aan:

$$E_C = E_L = \frac{I_0}{\omega_0 C} = I_0 \omega_0 L = \frac{E}{\omega_0 CR} = \frac{E \omega_0 L}{R}.$$

Er vindt „opslingerig” plaats, indien:

$$\omega_0 CR < 1 \quad \text{of} \quad \frac{R}{\omega_0 L} < 1.$$

Bij $\omega < \omega_0$ ijlt de stroom voor t.o.v. de spanning; bij $\omega > \omega_0$ ijlt de stroom na.

B. Parallelenschakeling van C aan L en R in serie (fig. 28)

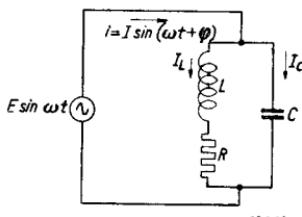


Fig. 28

Aangenomen wordt, dat $R \ll \omega L$.

De impedantie van de parallelenschakeling van C aan L en R in serie is dan:

$$Z = \frac{L/C}{\sqrt{(\omega L - 1/\omega C)^2 + R^2}} = \frac{\omega L}{\sqrt{(1 - \omega^2 LC)^2 + (R \omega C)^2}}.$$

De amplitude I van den totalen stroom i door den trillingskring is:

$$I = \frac{E}{Z} = \frac{E}{\omega L} \sqrt{(1 - \omega^2 LC)^2 + (R \omega C)^2} = E \frac{C}{L} \sqrt{\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2 + R^2}.$$

De oogenblikswaarde van den stroom is:

$$i = I \sin(\omega t + \varphi),$$

waarbij φ de fasehoek is tusschen stroom en spanning, welke is gegeven door:

$$\tan \varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}.$$

Bij resonantie is voor den kring van fig. 28 de impedantie maximaal en de stroom minimaal. Resonantie treedt op, als ongeveer:

$$\omega L = \frac{1}{\omega C} \quad \text{of} \quad \omega L - \frac{1}{\omega C} = 0 \quad \text{of} \quad \omega^2 LC = 1.$$

De resonantiehoekfrequentie ω_0 is dus gelijk aan:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

Bij resonantie is $\tan \varphi = 0$ en $Z = Z_0 = L/CR$. De amplitude I van den stroom is dan gelijk aan:

$$I_0 = \frac{E_{CR}}{L}.$$

De amplitude van den stroom door den condensator is:

$$I_C = E\omega C.$$

De amplitude van den stroom door de zelfinductie L is ($R \ll \omega L$):

$$I_L = \frac{E}{\omega L}.$$

C. Parallelschakeling van L, C en R (fig. 29)

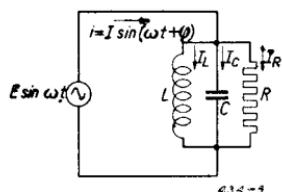


Fig. 29

De impedantie van de parallelschakeling van L, C en R is:

$$Z = \frac{L/C}{\sqrt{\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2 + \left(\frac{L}{CR}\right)^2}} = \frac{\omega L}{\sqrt{(1 - \omega^2 LC)^2 + \left(\frac{\omega L}{R}\right)^2}}.$$

De amplitude I van den totalen stroom i door den trilingskring is:

$$I = \frac{E}{Z} = E \frac{C}{L} \sqrt{\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2 + \left(\frac{L}{CR}\right)^2} = \frac{E}{\omega L} \sqrt{(1 - \omega^2 LC)^2 + \left(\frac{\omega L}{R}\right)^2}.$$

De oogenblikswaarde van den stroom is:

$$i = I \sin (\omega t + \varphi),$$

waarbij φ de fasehoek is tusschen stroom en spanning, welke is gegeven door:

$$\tan \varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{\frac{L}{CR}}.$$

Bij resonantie is voor den kring van fig. 29 de impedantie maximaal en de stroom minimaal. Resonantie treedt op, als:

$$\omega L - \frac{1}{\omega C} \quad \text{of} \quad \omega L - \frac{1}{\omega C} = 0 \quad \text{of} \quad \omega^2 LC = 1.$$

De resonantiehoekfrequentie ω_0 is dus gelijk aan:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

Bij resonantie is $\operatorname{tg} \varphi = 0$ en $Z = Z_o = R$. De amplitude I van den stroom is dan gelijk aan die van den stroom door den weerstand en dus gelijk aan:

$$I_o = \frac{E}{R} = I_R.$$

De amplitude van den stroom door den condensator is:

$$I_C = E \omega C.$$

De amplitude van den stroom door de zelfinductie is:

$$I_L = \frac{E}{\omega L}.$$

3) Selectiviteit en kwaliteit van trillingskringen

A. De selectiviteit van een trillingskring (fig. 28 en 29)

De hoekfrequentie van een signaal bij resonantie is:

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \text{of} \quad \omega_o^2 LC = 1 \quad (\text{L in henry en C in farad}).$$

De frequentie van een signaal bij resonantie is:

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (\text{L in henry en C in farad}).$$

De golflengte van een signaal bij resonantie is:

$$\lambda_o = 1885.10^6 \sqrt{LC} \quad (\lambda_o \text{ in m}, \text{L in henry en C in farad}).$$

De afwijking $\Delta\omega$ van de resonantiefrequentie ω_o is, voor een willekeurige frequentie ω :

$$\Delta\omega = \omega - \omega_o.$$

De selectiviteit voor een signaal met een frequentie, die een bedrag $\Delta\omega$ van de resonantiefrequentie ω_o verschilt, is gedefinieerd als de verhouding tusschen de amplitude E_o van het signaal met de resonantiefrequentie en die van het signaal E , waarvan de frequentie een bedrag $\Delta\omega$ van de resonantiefrequentie verschilt, voor gelijke stroomamplituden I .

In het geval van fig. 28 is deze verhouding bij benadering (voor kleine waarden van $\Delta\omega$):

$$\frac{E_o}{E} = \frac{Z_o}{Z} = \sqrt{\left(\frac{2\Delta\omega}{R/L}\right)^2 + 1}.$$

In het geval van fig. 29 is deze verhouding bij benadering (voor kleine waarden van $\Delta\omega$):

$$\frac{E_o}{E} = \frac{Z_o}{Z} = \sqrt{(2\Delta\omega RC)^2 + 1}.$$

In het geval van fig. 28 wordt de selectiviteit bepaald door de verhouding R/L tusschen weerstand en zelfinductie van de spoel, in het geval van fig. 29 door het product RC van den parallel liggenden weerstand en de capaciteit.

B. Parallelschakeling van een weerstand aan een trillingskring

Het parallelschakelen van een weerstand R' aan een trillingskring komt overeen met een vergroting van den factor R/L met $\Delta R/L$:

$$\Delta R/L = \frac{1}{R'C}.$$

C. Serieschakeling van een weerstand met de spoel of den condensator van een trillingskring

Indien een weerstand R in een trillingskring wordt opgenomen, en wel in serie met de spoel of den condensator, komt dit overeen met het parallelschakelen van een weerstand R' aan den kring:

$$\frac{1}{R'C} = \frac{R}{L}.$$

D. Bepaling van de grootte van den kwaliteitsfactor R/L of $1/R'C$ van den kring

Deze factor kan worden bepaald door meting van de spanning E_o over den kring in resonantie en van de spanning E bij een frequentie, die $\Delta\omega$ van de resonantiefrequentie verschilt, bij gelijke stroomamplituden I :

$$\frac{R}{L} = \frac{1}{R'C} = \frac{2\Delta\omega}{\sqrt{\left(\frac{E_o}{E}\right)^2 - 1}}.$$

Voor $\frac{E_o}{E} = \sqrt{2}$, is $R/L = 1/R'C = 2\Delta\omega$.

Deze formules zijn niet van toepassing voor groote waarden van $\Delta\omega$. De onderstaande formules zijn algemeen geldig:

E. Algemeene formules voor de selectiviteit en de kwaliteit van trillingskringen

a. Definities

Relatieve verstemming: $\beta = \frac{\omega}{\omega_o} - \frac{\omega_o}{\omega} \approx \frac{2\Delta\omega}{\omega_o}$.

Kringkwaliteitsfactor: $\operatorname{tg} \delta = d = 1/Q = \frac{R}{\omega_o L} = \frac{1}{R\omega_o C}$.

b. Formules

Impedantie bij een willekeurige frequentie ω : $Z = \sqrt{\frac{L/C}{\beta^2 + d^2}}$.

Impedantie bij de resonantiefrequentie ω_o : $Z_o = \frac{\sqrt{L/C}}{d}$.

Selectiviteit: $\frac{Z_o}{Z} = \sqrt{\left(\frac{\beta}{d}\right)^2 + 1}$.

c. **Bepaling van den kwaliteitsfactor d** ($= \operatorname{tg} \delta = 1/Q$)

$$d = \frac{\beta}{\sqrt{\left(\frac{E_o}{E}\right)^2 - 1}}.$$

E_o stelt hier weer de spanning over den kring in resonantie voor en E de spanning bij een frequentie, die $\Delta\omega$ van de resonantiefrequentie ω_o verschilt, bij gelijke stroomamplituden I . Indien $\frac{E_o}{E} = \sqrt{2}$, is $d = \operatorname{tg} \delta = \beta$ of $Q = 1/\beta$.

d. **Invloed van de vergroting van den serieweerstand in of van de parallelshakeling van een weerstand aan den kring op den kwaliteitsfactor**

Iedere vergroting ΔR van den serieweerstand in den kring, resp. iedere weerstand R' , die parallel aan den kring wordt geschakeld, komt overeen met een vergroting van d met Δd :

$$\Delta d = \frac{\Delta R}{\omega_o L},$$

resp:

$$\Delta d = \frac{1}{R' \omega_o C}.$$

V. BANDFILTERS

1) Hoofdformules, zie fig. 30a, b en c:

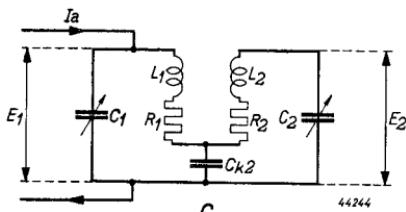
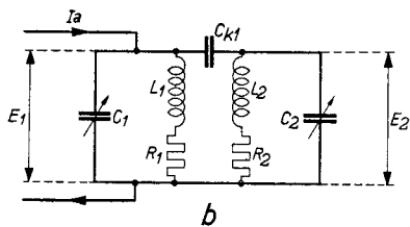
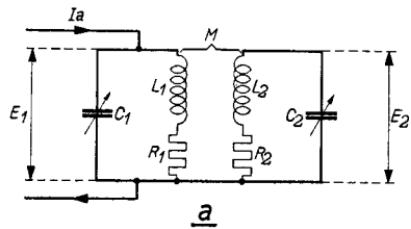


Fig. 30

- a. Met koppeling door een wederzijdsche inductie.
- b. Met capacitieve koppeling aan de bovenzijde.
- c. Met capacitieve koppeling aan de onderzijde.

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}} = \frac{1}{\sqrt{L_2 C_2}}$$

Spanning over den secundairen kring van het bandfilter:

$$E_2 = I_a \frac{K/d}{1 + K^2/d^2} Z.$$

Hierin is K een koppelingsfactor.

Gemiddelde waarde van de kringimpedantie:

$$Z = \sqrt{Z_1 \cdot Z_2},$$

$$Z_1 = \frac{L_1}{R_1 C_1},$$

$$Z_2 = \frac{L_2}{R_2 C_2}.$$

Verlieshoek:

$$\operatorname{tg} \delta = d = \sqrt{d_1 d_2}, \quad d_1 = \frac{R_1}{\omega_o L_1}, \quad d_2 = \frac{R_2}{\omega_o L_2}.$$

- a) Koppeling door een wederzijdsche inductie (fig. 30a):

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}.$$

b) Capacitieve koppeling aan de bovenzijde (fig. 30b):

$$K = \frac{C_{k1}}{\sqrt{C_1 C_2}}.$$

c) Capacitieve koppeling aan de onderzijde (fig. 30c):

$$K = \frac{\sqrt{C_1 C_2}}{C_{k2}}.$$

2) Critische koppeling $K = d$:

$$E_2 = \frac{1}{2} I_a Z.$$

3) Ingangsimpedantie van het bandfilter:

$$\frac{E_1}{I_a} = Z_1 \frac{1}{1 + K^2/d^2}.$$

Ingangsimpedantie bij de critische koppeling:

$$\frac{E_1}{I_a} = \frac{1}{2} Z_1.$$

4) Verhouding tusschen ingangs- en uitgangsspanning:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{d}{K} \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}}.$$

5) Vergelijking van de resonantiekromme:

$$a = \text{verzwakking} =$$

spanning over den secundairen kring bij de resonantiefrequentie ($= E_{20}$)
spanning over den secundairen kring bij de beschouwde frequentie ($= E_2$)

$$a = \frac{E_{20}}{E_2} = \frac{\sqrt{(K^2/d^2 + 1)^2 - 2 \beta^2/d^2 (K^2/d^2 - 1) + \beta^4/d^4}}{K^2/d^2 + 1}.$$

$$\beta = \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \approx \frac{2 \Delta \omega}{\omega_0} \text{ (zie IV, 3Ea).}$$

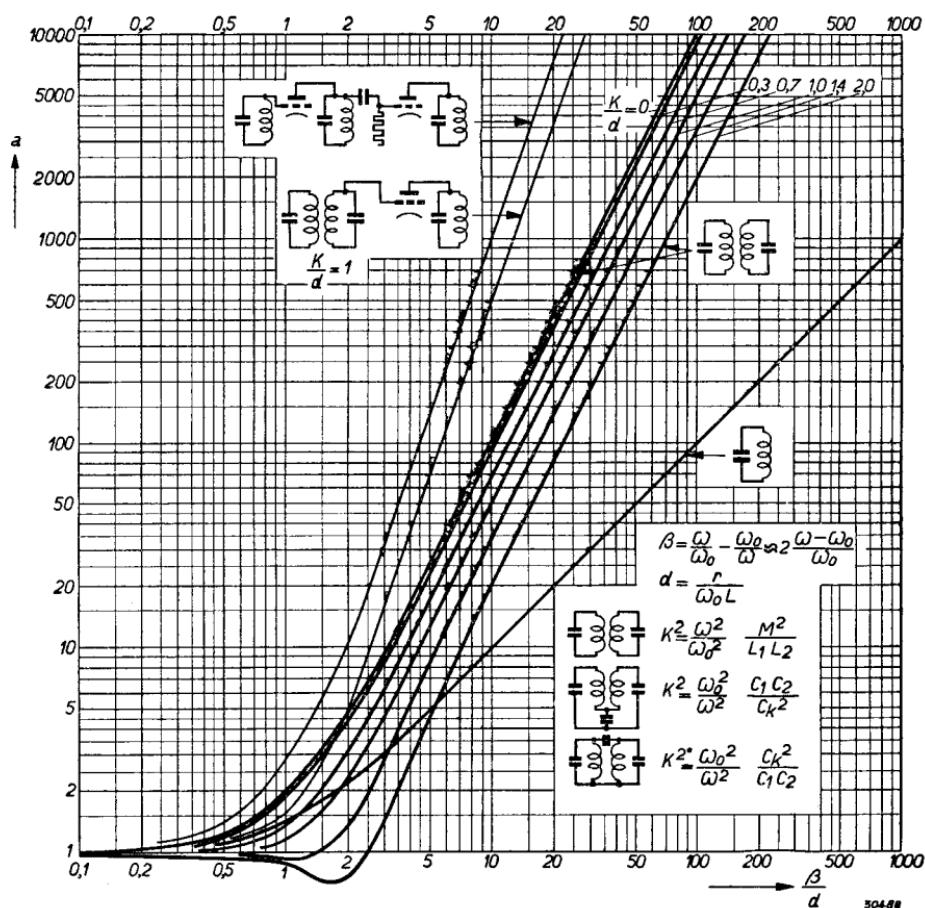
Bij de critische koppeling ($K = d$):

$$a = \frac{\sqrt{\beta^4/d^4 + 4}}{2}.$$

Deze formules gelden alleen in de omgeving van de resonantiefrequentie ω_0 , dus zoolang $\frac{\omega}{\omega_0}$ niet veel van 1 verschilt, en als d_1 en d_2 niet veel van elkaar afwijken.

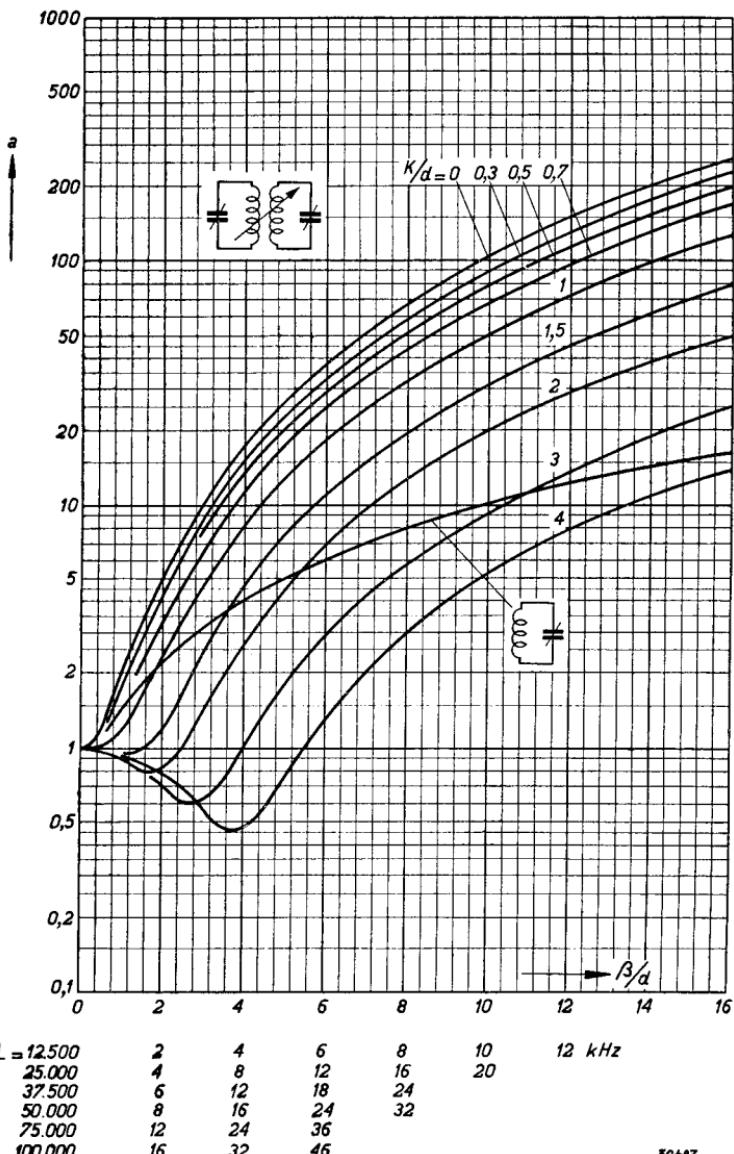
Bandfilterkrommenblad I

Verzwakking a als functie van β/d met K/d als parameter voor alle soorten bandfilters en voor trillingskringen, die door buizen zijn gekoppeld



Bandfilterkrommenblad II

Verzwakking a voor bandfilters als functie van β/d met K/d als parameter.



De krommen, die voor inductief gekoppelde kringen zijn gegeven, gelden tevens voor capacitief gekoppelde kringen. Voor kringen met een $R/L = 12\ 500$, geldt op de horizontale schaal, voor de frequentieafwijking β/d , de indeeling van 0 tot 12 kHz; voor kringen met een $R/L = 25\ 000$, geldt op de horizontale schaal de indeeling van 0 tot 20 kHz, enz. Ook hier geldt de restrictie, dat de frequentie relatief niet te veel van ω_0 mag afwijken, dus dat $\frac{\omega}{\omega_0}$ niet belangrijk van 1 mag verschillen. Daarom zijn de schalen voor β/d voor verschillende waarden van R/L niet verder uitgezet dan de in de figuur hoogste aangegeven waarden (voor $R/L = 100\ 000$ moet als eindwaarde voor β/d in de figuur 48 in plaats van 46 worden gelezen).

VI. DE FREQUENTIEKARAKTERISTIEK VAN RC-KOPPELINGEN IN LAAGFREQUENT VERSTERKINGSTRAPPEN

1) Weerstandskoppeling tusschen twee buizen

Een weerstandskoppeling tusschen twee buizen kan worden voorgesteld door het schema van fig. 31:

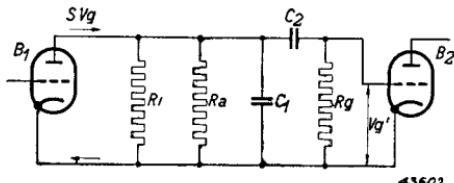


Fig. 31

Hierin is:

- SV_g = stroombron gevormd door buis B_1 ;
- R_i = de inwendige weerstand van buis B_1 ;
- R_a = de anodeserierestand van buis B_1 ;
- R_g = de roosterlekweerstand van buis B_2 ;
- C_1 = een parallel condensator voor het filteren van de hoogfrequentie of de bedradingscapaciteit;
- C_2 = de koppelcondensator.

A. De frequentiekarakteristiek voor hoge frequenties

Voor hoge frequenties is de impedantie van den condensator C_2 klein t.o.v. R_g en kan het schema van fig. 31 vereenvoudigd worden tot het schema van fig. 32. Hierin is:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_a} + \frac{1}{R_g} \quad \text{en} \quad C = C_1.$$

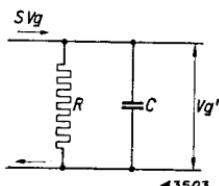


Fig. 32

De impedantie van R en C parallel is:

$$Z = \frac{R}{\sqrt{1 + \omega^2 R^2 C^2}}.$$

De roosterwisselspanning V_g' is:

$$V_g' = SV_g Z = \frac{SV_g R}{\sqrt{1 + \omega^2 R^2 C^2}}.$$

De verhouding $a_{(\omega)}$ van de V_g' voor de frequentie ω tot de V_g' bij een zeer kleine waarde van ω ($\omega RC \ll 1$) is:

$$a_{(\omega)} = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 R^2 C^2}}.$$

In fig. 33 is deze $a_{(\omega)}$ als functie van de frequentie voor verschillende waarden van het product RC aangegeven in %.

Bij kleine waarden van ω nadert de roosterwisselspanning V_g' tot:

$$V_g' = SV_g R.$$

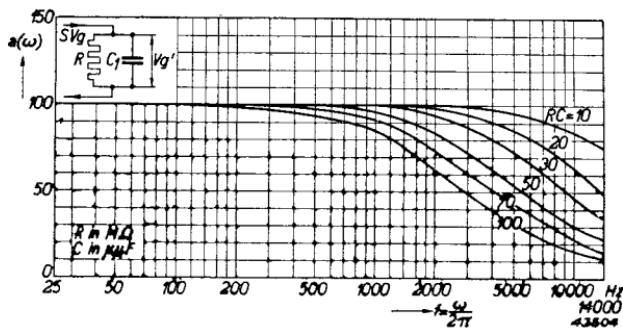


Fig. 33

B. De frequentiekarakteristiek voor lage frequenties

Voor lage frequenties is de impedantie van den condensator C_1 in fig. 31 zeer groot t.o.v. de waarde van de weerstanden en kan haar invloed verwaarloosd worden. De impedantie van C_2 is dan niet meer oneindig klein t.o.v. R_g en er ontstaat spanningsdeeling. Het schema van fig. 31 kan in dit geval vereenvoudigd worden tot het schema van fig. 34a.

Hierin is:

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_g},$$

Men kan in fig. 34 de stroombron SV_g met den hieraan parallel geschakelden weerstand R' vervangen door een spanningsbron $SV_g R'$ met een hiermede in serie geschakelden weerstand R' . Dit levert het schema van fig. 34b op.

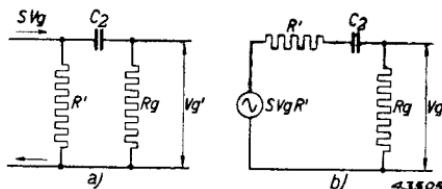


Fig. 34

De roosterwisselspanning V_g' is:

$$V_g' = SV_g \frac{R' R_g}{R' + R_g} \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{1}{\omega^2 (R' + R_g)^2 C_2^2}}}.$$

Bij groote waarden van ω is

$$V_g' = SV_g \frac{R' R_g}{R' + R_g} = SV_g R.$$

De verhouding $a_{(\omega)}$ van V_g' voor de frequentie ω tot de V_g' bij een zeer groote waarde van ω [$\omega(R' + R_g) C_2 \gg 1$] is:

$$a_{(\omega)} = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{1}{\omega^2 (R' + R_g)^2 C_2^2}}}.$$

In fig. 35 is deze $a_{(\omega)}$ als functie van de frequentie voor verschillende waarden van het product $(R' + R_g)C_2$ aangegeven in %.

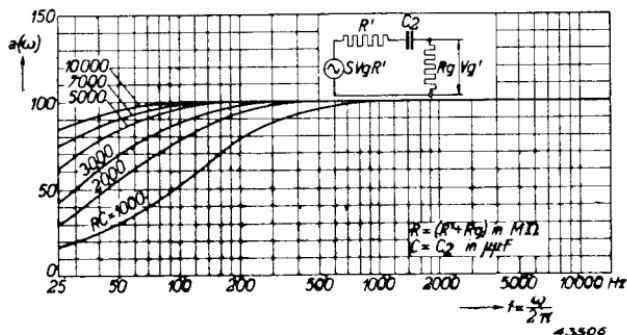


Fig. 35

2) Automatische negatieve roostervoorspanning

Fig. 36 geeft een schema aan voor automatische negatieve roostervoorspanning van een buis. Bij een extreem lage frequentie is de impedantie van den condensator C zeer groot t.o.v. R en kan de condensator C als niet aanwezig worden beschouwd (fig. 36b). Wanneer in fig. 36a de dynamische steilheid van de buis S_d is, is in fig. 36b de dynamische steilheid:

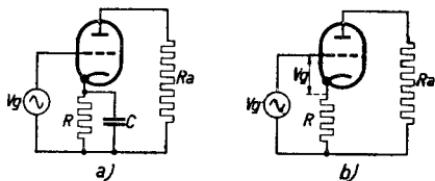


Fig. 36

$$S_d' = \frac{S_d}{1 + RS_d}.$$

Het RC-element in de kathodeleiding van de buis veroorzaakt een vermindering $a_{(\omega)}$ van de dynamische steilheid S_d van de buis bij de frequentie ω t.o.v. de dynamische steilheid bij een zeer hoge frequentie ($\omega RC \gg 1$):

$$a_{(\omega)} = \frac{S_d'}{S_d} = \sqrt{\frac{1 + \omega^2 R^2 C^2}{(1 + RS_d)^2 + \omega^2 R^2 C^2}}.$$

De vermindering $a_{(\omega)}$ van de dynamische steilheid hangt niet alleen af van RC , doch ook van RS_d , en het is daarom niet mogelijk om, met behulp van een enkelvoudige schaar van krommen, de afhankelijkheid van $a_{(\omega)}$ van de frequentie voor te stellen.

3) Ontkoppeling door een RC-filter

De ontkoppeling door een RC-filter (zie fig. 37) wordt bepaald door de verhouding tusschen de spanning V_2 over den condensator en de spanning V_1 aan den ingang van het filter:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{1}{\sqrt{\omega^2 R^2 C^2 + 1}},$$

of in procenten:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{100}{\sqrt{\omega^2 R^2 C^2 + 1}} \text{ %.}$$

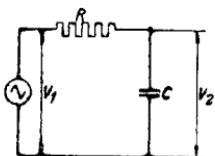


Fig. 37

Met behulp van de volgende eenvoudige formule kan men snel en met tamelijk grote nauwkeurigheid de voor $n\%$ ontkoppeling benodigde waarde van het product RC voor een gegeven frequentie berekenen, indien $n < 30$:

$$RC = \frac{16 \cdot 10^6}{n \cdot f}.$$

Hierin is:

R = de weerstand in Ω ;

C = de capaciteit in μF ;

f = de frequentie in Hz.

4) Koppeling door een CR-element

Wanneer een koppeling aan een spanningsbron V_1 door middel van een CR-element plaats heeft (zie fig. 38), dan is de spanning V_2 over den weerstand R gegeven door:

$$\begin{aligned} V_2 &= \frac{R}{\sqrt{R^2 + 1/\omega^2 C^2}} V_1 = \\ &= \frac{\omega RC}{\sqrt{\omega^2 R^2 C^2 + 1}} V_1. \end{aligned}$$

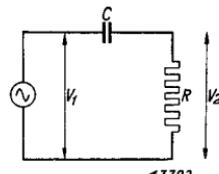


Fig. 38

VII. DE H.F. WEERSTAND VAN ROND DRAAD TEN GEVOLGE VAN HET SKINEFFECT

Ten gevolge van het zoogenaamde huid- of skineffect is de weerstand van een draad voor stroomen van hoge frequenties groter dan de gelijkstroomweerstand. De H.F. weerstand van rond draad hangt af van een grootheid x_1 . Noemen we den weerstand voor hoge frequenties R en den gelijkstroomweerstand R_o , dan is de verhouding R/R_o tusschen deze grootheden een functie van x_1 . De grootheid x_1 is gegeven door:

$$x_1 = \pi r_1 \sqrt{\mu \kappa \nu} 10^{-9}.$$

Hierin is:

r_1 = straal van de draaddoorsnede in cm;

μ = permeabiliteit;

κ = soortelijk geleidingsvermogen in $\frac{1}{\Omega \text{ cm}}$;

ν = frequentie van den wisselstroom in Hz.

Heeft men x_1 voor een gegeven doorsnede van een draad bepaald, dan kan men de verhouding R/R_o vinden met behulp van:

a) $R/R_o = 1 + \frac{x_1^4}{3} - \frac{4}{45} x_1^8$ voor $0 < x_1 < 0,8$;

b) $R/R_o = 0,997 x_1 + 0,277$ voor $1,5 < x_1 < 2$;

c) $R/R_o = x_1 + 0,25 + \frac{3}{64 x_1}$ voor $x_1 > 2$.

Voor waarden van x_1 , die tusschen 0,8 en 1,5 liggen, kan men R/R_o bepalen met behulp van de onderstaande tabel:

TABEL I

x_1	R/R_o	x_1	R/R_o	x_1	R/R_o
0,80	1,11	1,05	1,31	1,30	1,56
0,85	1,14	1,10	1,35	1,35	1,61
0,90	1,18	1,15	1,40	1,40	1,66
0,95	1,22	1,20	1,45	1,45	1,72
1,0	1,26	1,25	1,50		

Hieronder volgen eenige waarden voor het soortelijk geleidingsvermogen in $\frac{1}{\Omega \text{ cm}}$ en de permeabiliteit.

TABEL II

Soortelijk geleidingsvermogen en permeabiliteit voor enige materialen

Materiaal	Soortelijk geleidingsvermogen κ in $\frac{1}{\Omega \text{ cm}}$	Permeabiliteit μ
Koper	$58,2 \cdot 10^4$	1
Messing	$14,3 \cdot 10^4$	1
Tin	$8,7 \cdot 10^4$	1
Constantaan	$2,0 \cdot 10^4$	1
IJzer	$1,0 \cdot 10^4$	1000^{-1}
Chroomnikkel	$0,9 \cdot 10^4$	1

In de onderstaande tabel is de verhoging van den weerstand (R/R_o) voor koperdraad ten gevolge van het skineffect voor enige draaddiameters en frequenties opgegeven:

TABEL III

Verhoging van den weerstand van koperdraad door het skineffect

Draad-diameter mm	R/R _o bij een frequentie ν van:				
	100 kHz ($\lambda = 3000$ m)	500 kHz ($\lambda = 600$ m)	1000 kHz ($\lambda = 300$ m)	3000 kHz ($\lambda = 100$ m)	10 MHz ($\lambda = 30$ m)
0,05	1,00	1,00	1,00	1,0	1,2
0,1	1,00	1,00	1,01	1,2	1,5
0,2	1,03	1,04	1,1	1,5	2,6
0,3	1,04	1,06	1,4	2,2	3,8
0,5	1,05	1,4	2,2	3,2	6,1
0,7	1,13	1,9	2,8	4,5	8,8
0,9	1,37	2,6	3,6	6,2	11,1
1,0	1,50	2,8	4,2	6,9	14,3
2,0	2,76	5,4	8,1	9	50

Deze waarden gelden alleen voor een rechten draad.

¹⁾ Bij hoge frequenties (10–100 MHz) is de permeabiliteit voor ijzer ongeveer 200.

Hieronder worden nog voor eenige materialen opgegeven de draaddiameters, waarbij, bij een frequentie van 30 MHz, de weerstandstoename ten gevolge van het skineffect 1% bedraagt:

Koper:	20 μ	Constantaan:	108 μ
Messing:	40,4 μ	Chroomnikkel:	161 μ

VIII. BEREKENING VAN ZELFINDUCTIES

1) De zelfinductie van een cirkelvormige winding van een ronden draad (fig. 39)

De zelfinductie van een cirkelvormige winding van een ronden draad, zoals in fig. 39 is aangegeven, kan worden berekend met behulp van de formule:

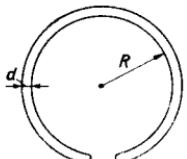


Fig. 39

$$L = 4\pi R \left(\ln \frac{2R}{d} + 0,33 \right) 10^{-9} \text{ henry.}$$

Hierin is:

R = de straal van de cirkelvormige winding in cm,

d = diameter van den draad in cm.

Deze formule geldt voor het geval, dat d veel kleiner is dan R. De bijdrage van het veld binnен in den draad tot de zelfinductie, de z.g. inwendige zelfinductie, is in de formule begrepen. Deze is steeds evenredig met de draaddikte en bedraagt $0,5 \cdot 10^{-9}$ henry/cm. Bij hooge frequenties, waarbij, ten gevolge van het skineffect de stroom langs de oppervlakte van den draad vloeit, verdwijnt deze inwendige zelfinductie. De term 0,33 verandert dan in 0,08.

2) De wederzijdsche inductie tusschen twee gelijke, evenwijdige, cirkelvormige windingen van een ronden draad

De wederzijdsche inductie tusschen twee gelijke, evenwijdige, cirkelvormige windingen van een ronden draad kan worden berekend met behulp van de formule:

$$M = 4\pi R \left(\ln \frac{R}{a} + 0,08 \right) 10^{-9} \text{ henry.}$$

Hierin is:

R = de straal van de cirkelvormige windingen in cm,

a = afstand tusschen de draden hart op hart, in cm.

3) De zelfinductie van een vierkante winding (fig. 40)

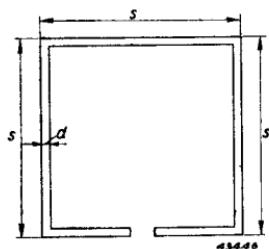


Fig. 40

De zelfinductie van een vierkante winding, zoals in fig. 40 is aangegeven, kan worden berekend met behulp van de formule:

$$L = 8s \left(\ln \frac{2s}{d} - 0,524 \right) 10^{-9} \text{ henry.}$$

Hierin is:

s = lengte van een van de zijden van het vierkant in cm,

d = diameter van den draad in cm.

Deze formule geldt voor het geval, dat d veel kleiner is dan s , en omvat ook de bijdrage van de inwendige zelfinductie. Zonder deze laatste verandert de term $-0,524$ in $-0,774$.

4) De zelfinductie van luchtspoelen (fig. 41)

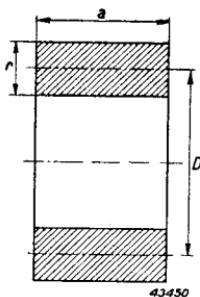


Fig. 41

De zelfinductie van een cylindrische luchtspoel met rechthoekige wikkellingsdoorsnede (zie fig. 41) kan worden berekend met behulp van de formule:

$$L = n^2 D \Phi 10^{-9} \text{ henry.}$$

Hierin is:

n = aantal windingen,

D = gemiddelde diameter van de windingen in cm,
(zie fig. 41).

De waarde van Φ kan voor een eerste benadering van de zelfinductie worden berekend met behulp van:

$$\Phi = 20 \frac{1 - 2r/D}{1 + 2a/D}.$$

Hierin is:

r = dikte van de spoel in cm,

a = lengte van de spoel in cm.

De nauwkeurige waarde van Φ vindt men door gebruik te maken van de krommenscharen van de fig. 42, 43 en 44 (overgenomen uit J. Hak, Eisenlose Drosselspulen, uitgave van K. F. Koehler, Leipzig, 1938). In deze figuren is $\alpha = a/D$ en $\rho = r/D$. De inwendige zelfinductie is in deze formules begrepen.

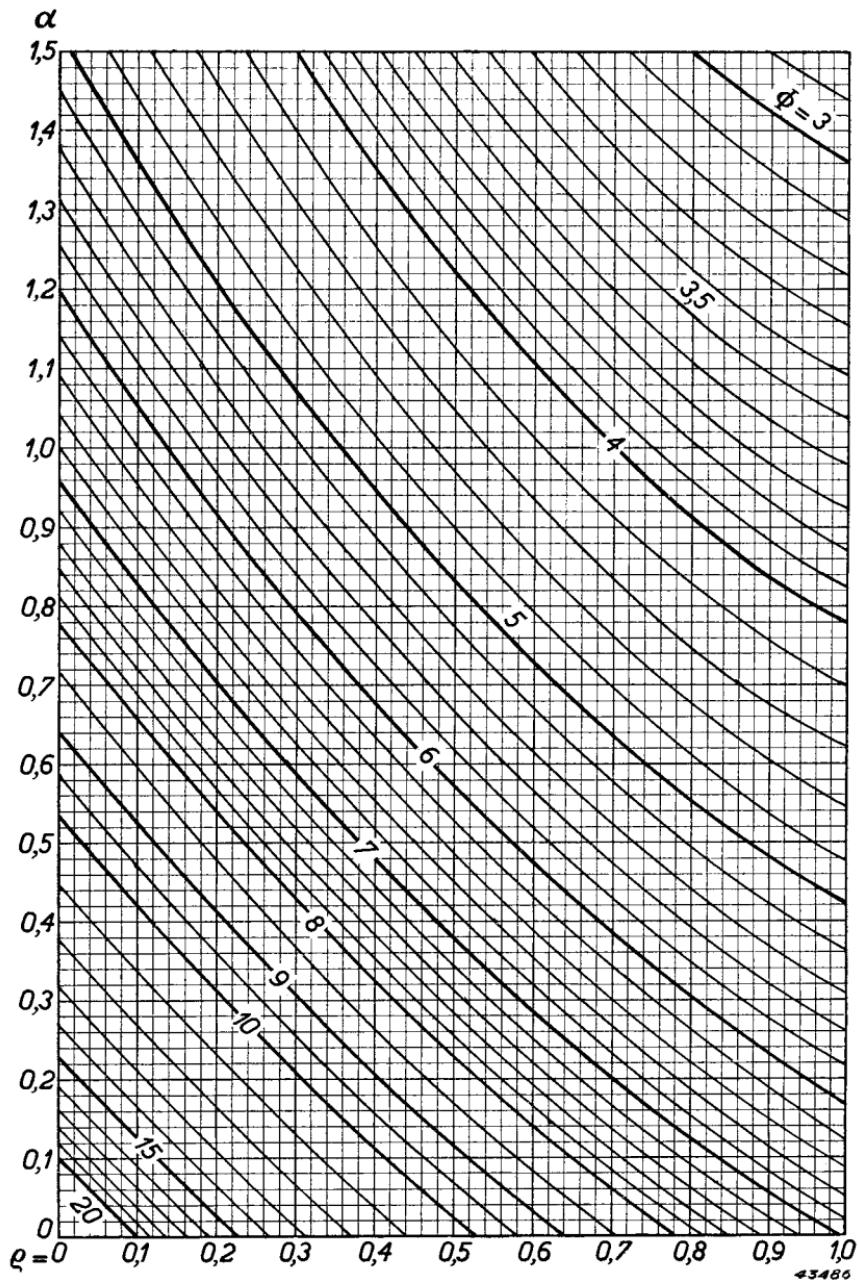


Fig. 42

De waarde van Φ als functie van $\alpha = a/D$ en $\rho = r/D$, ter bepaling van de zelfinductie van een cilindrische luchtpool met rechthoekige wikkelingsdoorsnede met behulp van de formule $L = n^2 D \Phi \cdot 10^{-9}$ henry. Waarden van ρ van 0 tot 1 en van α van 0 tot 1,5.

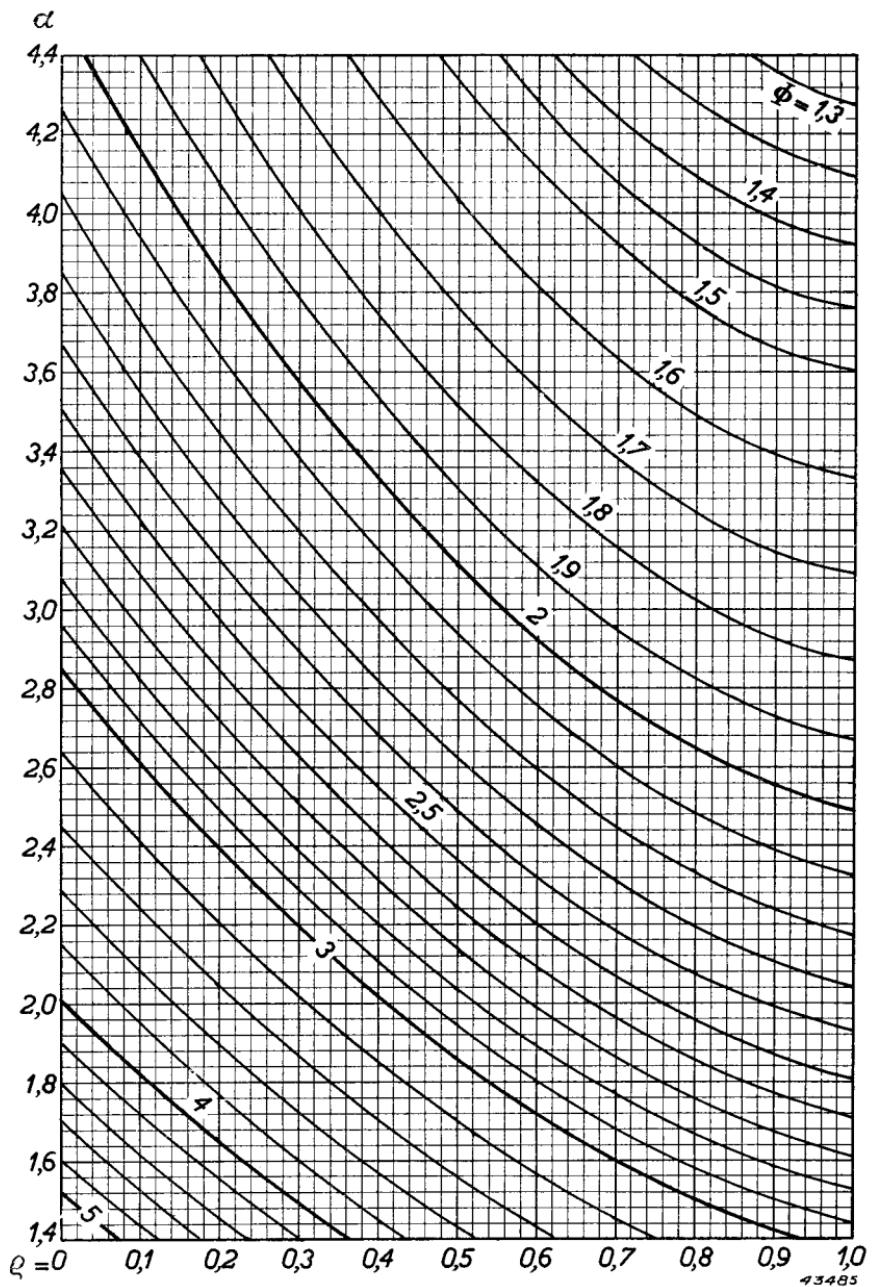


Fig. 43

De waarde van Φ als functie van $\alpha = a/D$ en $\rho = r/D$, ter bepaling van de zelfinductie van een cilindrische luchtspoel met rechthoekige wikkellingsdoorsnede met behulp van formule $L = n^2 D \Phi \cdot 10^{-9}$ henry. Waarden van ρ van 0 tot 1 en van α van 1,4 tot 4,4.

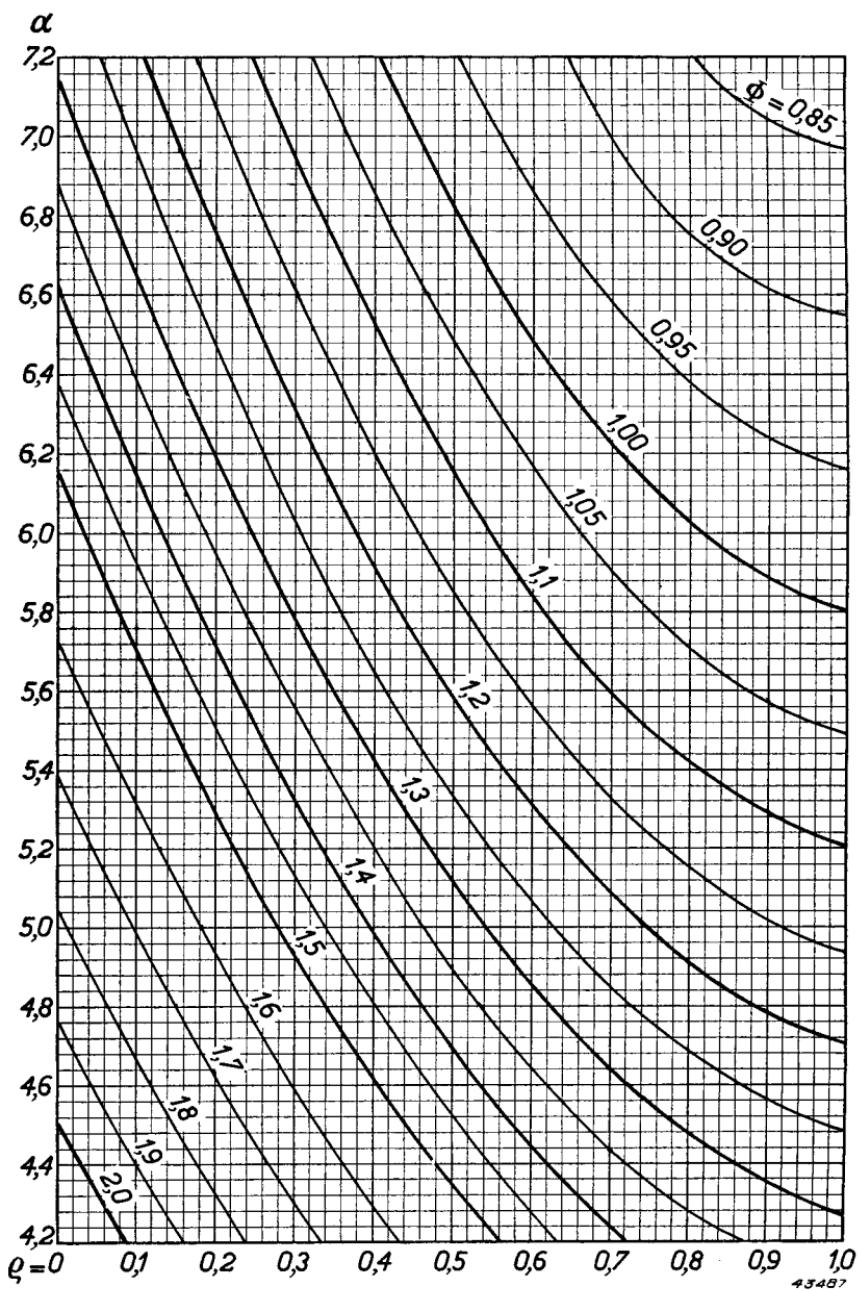


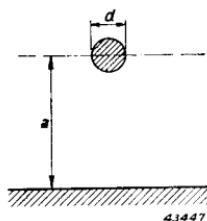
Fig. 44

De waarde van Φ als functie van $\alpha = a/D$ en $\rho = r/D$, ter bepaling van de zelfinductie van een cilindrische luchtspoel met rechthoekige wikkellingsdoorsnede met behulp van formule $L = n^2 D \Phi \cdot 10^{-9}$ henry. Waarden van ρ van 0 tot 1 en van α van 4,2 tot 7,2.

IX. EIGENSCHAPPEN VAN LANGE LEIDINGEN

In de hiernavolgende uitdrukkingen voor de zelfinducties zijn de inwendige zelfinducties niet begrepen.

1) Rechte, ronde draad parallel aan aarde (fig. 45)



a) Capaciteit per centimeter lengte:

$$C = \frac{\epsilon}{1,8 \ln \frac{4a}{d}} 10^{-12} \text{ F/cm.}$$

b) Zelfinductie per centimeter lengte:

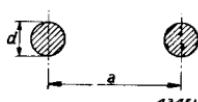
$$L = 2\mu \ln \frac{4a}{d} 10^{-9} \text{ H/cm.}$$

Fig. 45

a en d in cm, ϵ = diëlectriciteitsconstante (voor lucht $\epsilon = 1$), μ = permeabiliteit (voor lucht $\mu = 1$).

Deze formules gelden voor het geval, dat d veel kleiner is dan a.

2) Twee parallele draden in lucht opgehangen (fig. 46)



a) Capaciteit per centimeter lengte:

$$C = \frac{\epsilon}{3,6 \ln \frac{2a}{d}} 10^{-12} \text{ F/cm.}$$

Fig. 46

b) Zelfinductie per centimeter lengte:

$$L = 4\mu \ln \frac{2a}{d} 10^{-9} \text{ H/cm.}$$

c) Golfweerstand:

$$Z_o = \sqrt{\frac{L}{C}} = 120 \ln \frac{2a}{d} \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \Omega.$$

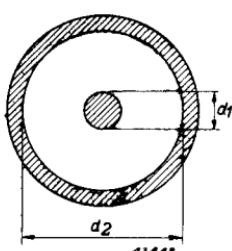
a en d in cm, ϵ = diëlectriciteitsconstante, μ = permeabiliteit.

Deze formules gelden voor het geval, dat d veel kleiner is dan a.

3) Concentrische leiding of kabel (fig. 47)

a) Capaciteit per centimeter lengte:

$$C = \frac{\epsilon}{1,8 \ln \frac{d_2}{d_1}} 10^{-12} \text{ F/cm.}$$



b) Zelfinductie per centimeter lengte:

$$L = 2\mu \ln \frac{d_2}{d_1} 10^{-9} \text{ H/cm.}$$

c) Golfweerstand:

$$Z_o = \sqrt{\frac{L}{C}} = 60 \ln \frac{d_2}{d_1} \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \Omega.$$

d₂ en d₁ in cm, ϵ = diëlectriciteitsconstante, μ = permeabiliteit.

X. BEREKENING VAN CAPACITEITEN

De capaciteit van een condensator bestaande uit twee evenwijdige vlakke platen (fig. 48)

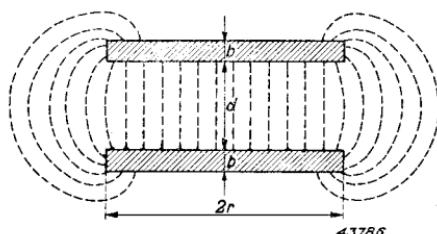


Fig. 48

De capaciteit van twee gelijke, evenwijdige, vlakke, geleidende platen wordt, bij verwaarlozing van de randeffecten, gegeven door:

$$C = \frac{\epsilon O}{4\pi d} \text{ cm} = \frac{\epsilon O}{3.6\pi d} 10^{-12} \text{ farad.}$$

Hierin is:

O = oppervlakte van de platen in cm^2 ;

d = afstand tusschen de platen in cm;

ϵ = diëlectriciteitsconstante van het isolatiemateriaal tusschen de platen.

De capaciteit van twee gelijke, evenwijdige, vlakke cirkelvormige platen, wordt, de randeffecten in aanmerking genomen, gegeven door:

$$C = \frac{\epsilon r^2}{4d} + \frac{\epsilon r}{4\pi} \left[\ln \frac{16\pi r(d+b)}{d^2} + \frac{b}{d} \ln \frac{d+b}{b} + 1 \right] \text{ cm.}$$

Hierin is:

r = straal van de cirkelvormige platen in cm;

d = afstand tusschen de platen in cm;

b = dikte van de platen in cm;

ϵ = diëlectriciteitsconstante van het isolatiemateriaal.

XI. TABELLEN EN GRAFIEKEN

Decibel en Neper

Definities

Onder een bel verstaat men de logarithme, met het grondtal 10, van de verhouding van twee vermogens, dus het tweevoud van de logarithme van de verhoudingen der overeenkomstige amplituden van spanningen, stroomen, drukken of snelheden.

Een decibel (dB) is het tiende gedeelte van een bel, zodat versterking of verwakking als volgt kan worden uitgedrukt in dB:

$$(1) \quad \text{aantal dB} = 10^{\log_{10}} \frac{W_2}{W_1} = 20^{\log_{10}} \frac{V_2}{V_1} = 20^{\log_{10}} \frac{I_2}{I_1}.$$

De neper (N) is de logarithme van de verhouding van twee amplituden van spanningen, stroomen, drukken of snelheden, met $\varepsilon = 2,718$ als grondtal, zodat versterking of verwakking als volgt kan worden uitgedrukt in de eenheid neper:

$$(2) \quad \text{aantal N} = \varepsilon \log \frac{V_2}{V_1} = \varepsilon \log \frac{I_2}{I_1}.$$

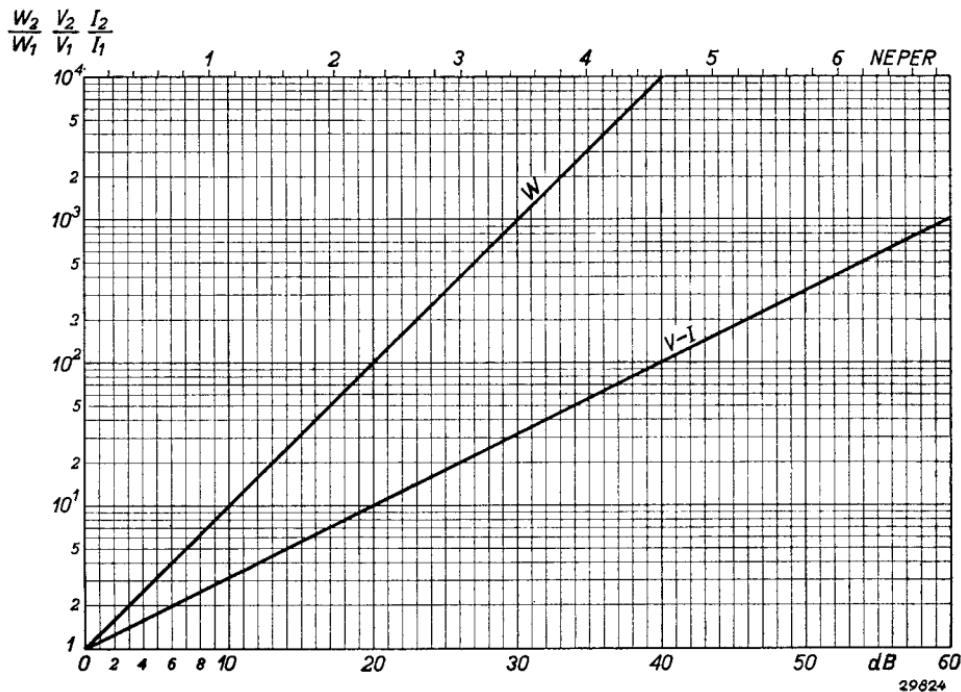
Het is mogelijk, nepers in decibels en omgekeerd om te rekenen met behulp van de formules (3) en (4):

$$(3) \quad 1 \text{ dB} = 0,1151 \text{ N en}$$

$$(4) \quad 1 \text{ N} = 8,686 \text{ dB.}$$

Met behulp van de onderstaande grafiek is het mogelijk, decibels en nepers in verhoudingen van vermogens en van de daarmee overeenkomende spanningen en stroomen af te lezen.

GRAFIEK



TABEL
voor het omrekenen van golflengten in frequenties en omgekeerd

$$\lambda(m) = \frac{3.10^5}{f(\text{kHz})} = \frac{300}{f(\text{MHz})}$$

kHz	m	kHz	m	kHz	m	kHz	m	kHz	m	kHz	m	kHz	m	kHz	m	
100	3000	200	1500	300	1000.0	400	750.0	500	600	300.0	700	428.6	800	375.0	900	
101	2970	201	1493	301	996.7	401	748.1	501	598.8	601	499.2	701	428.0	801	374.5	901
102	2940	202	1485	302	983.4	402	735.8	502	597.5	602	497.9	702	427.4	802	373.9	902
103	2913	203	1478	303	990.1	403	744.4	503	596.6	603	497.5	703	426.7	803	373.6	903
104	2885	204	1471	304	986.8	404	742.6	504	595.2	604	496.7	704	426.1	804	373.1	904
105	2857	205	1463	305	983.6	405	740.7	505	594.1	605	495.9	705	425.5	805	372.7	905
106	2830	206	1456	306	980.4	406	738.9	506	592.9	606	495.0	706	424.9	806	372.2	906
107	2804	207	1449	307	977.2	407	737.1	507	591.7	607	494.2	707	424.3	807	371.7	907
108	2778	208	1442	308	974.0	408	735.3	508	590.6	608	493.3	708	423.7	808	371.3	908
109	2752	209	1435	309	970.9	409	733.5	509	589.4	609	492.6	709	423.1	809	370.8	909
110	2727	210	1429	310	967.7	410	731.7	510	588.2	610	491.8	710	422.5	810	370.4	910
111	2703	211	1422	311	964.6	411	729.9	511	587.1	611	491.0	711	421.9	811	369.9	911
112	2679	212	1415	312	961.5	412	728.2	512	585.9	612	490.2	712	421.3	812	369.5	912
113	2655	213	1408	313	958.4	413	726.5	513	584.7	613	489.4	713	420.8	813	369.1	913
114	2632	214	1402	314	955.4	414	724.6	514	583.7	614	488.6	714	420.2	814	368.6	914
115	2609	215	1395	315	952.4	415	722.9	515	582.5	615	487.8	715	419.6	815	368.1	915
116	2586	216	1389	316	949.4	416	721.2	516	581.4	616	487.0	716	419.0	816	367.6	916
117	2564	217	1382	317	946.4	417	719.4	517	580.3	617	486.2	717	418.4	817	367.2	917
118	2542	218	1376	318	943.4	418	717.7	518	579.2	618	485.4	718	417.8	818	366.7	918
119	2521	219	1370	319	940.4	419	716.0	519	578.0	619	484.7	719	417.2	819	366.3	919
120	2500	220	1364	320	937.5	420	714.3	520	576.9	620	483.9	720	416.7	820	365.9	920
121	2479	221	1357	321	934.6	421	712.6	521	575.8	621	483.1	721	416.1	821	365.4	921
122	2459	222	1351	322	931.7	422	710.9	522	574.7	622	482.5	722	415.5	822	365.0	922
123	2439	223	1344	323	928.8	423	709.2	523	573.6	623	481.5	723	414.9	823	364.6	923
124	2419	224	1338	324	925.9	424	707.5	524	572.5	624	480.7	724	414.3	824	364.1	924
125	2400	225	1333	325	923.1	425	705.9	525	571.4	625	480.0	725	413.8	825	363.6	925
126	2381	226	1327	326	920.2	426	704.2	526	570.3	626	479.2	726	413.2	826	363.2	926
127	2362	227	1322	327	917.4	427	702.6	527	569.3	627	478.5	727	412.7	827	362.8	927
128	2344	228	1316	328	914.6	428	700.9	528	568.2	628	477.7	728	412.1	828	362.3	928
129	2324	229	1310	329	911.9	429	699.3	529	567.1	629	476.9	729	411.5	829	361.9	929
130	2308	230	1304	330	909.1	430	697.7	530	566.0	630	476.2	730	411.0	830	361.4	930
131	2290	231	1299	331	906.3	431	696.1	531	565.0	631	475.4	731	410.4	831	361.0	931
132	2273	232	1293	332	903.6	432	694.4	532	563.9	632	474.7	732	409.8	832	360.6	932
133	2256	233	1287	333	900.8	433	692.8	533	562.8	633	474.0	733	409.2	833	360.1	933
134	2239	234	1281	334	898.0	434	691.1	534	561.7	634	473.3	734	408.7	834	359.7	934
135	2222	235	1277	335	895.3	435	689.7	535	560.7	635	472.6	735	408.2	835	359.3	935
136	2206	236	1271	336	892.9	436	688.1	536	559.7	636	471.7	736	407.6	836	358.9	936
137	2190	237	1266	337	890.4	437	686.5	537	558.7	637	470.9	737	407.1	837	358.4	937
138	2174	238	1261	338	887.6	438	684.9	538	557.6	638	470.2	738	406.5	838	358.0	938
139	2158	239	1255	339	885.0	439	683.4	539	556.6	639	469.5	739	406.0	839	357.6	939
140	2143	240	1250	340	882.4	440	681.8	540	555.5	640	468.8	740	405.4	840	357.1	940
141	2128	241	1245	341	879.8	441	680.3	541	554.5	641	468.0	741	404.9	841	356.7	941
142	2113	242	1240	342	877.2	442	678.7	542	553.5	642	467.3	742	404.3	842	356.3	942
143	2098	243	1235	343	874.6	443	677.2	543	552.5	643	466.6	743	403.8	843	355.9	943
144	2082	244	1230	344	872.0	444	675.6	544	551.5	644	465.9	744	403.2	844	355.4	944
145	2069	245	1224	345	869.6	445	674.2	545	550.5	645	465.1	745	402.7	845	355.0	945
146	2055	246	1220	346	867.1	446	672.6	546	549.5	646	464.4	746	402.1	846	354.6	946
147	2041	247	1215	347	864.6	447	671.1	547	548.4	647	463.7	747	401.6	847	354.2	947
148	2027	248	1210	348	862.1	448	669.6	548	547.4	648	463.0	748	401.1	848	353.8	948
149	2013	249	1205	349	859.6	449	668.2	549	546.4	649	462.2	749	400.5	849	353.4	949
150	2000	250	1200	350	857.1	450	666.7	550	545.5	650	461.5	750	399.8	850	352.9	950
151	1987	251	1195	351	854.7	451	664.2	551	544.5	651	460.8	751	399.5	851	352.5	951
152	1974	252	1191	352	852.3	452	663.7	552	543.5	652	460.1	752	398.9	852	352.1	952
153	1961	253	1186	353	850.8	453	662.3	553	542.5	653	459.4	753	398.4	853	351.8	953
154	1948	254	1181	354	848.4	454	660.8	554	541.5	654	458.7	754	397.9	854	351.4	954
155	1935	255	1176	355	846.0	455	659.3	555	540.5	655	458.0	755	397.4	855	351.0	955
156	1923	256	1172	356	842.7	456	657.9	556	539.6	656	457.3	756	396.8	856	350.6	956
157	1911	257	1167	357	840.3	457	656.4	557	538.5	657	456.7	757	396.3	857	350.1	957
158	1899	258	1163	358	838.0	458	655.0	558	537.6	658	455.9	758	395.8	858	349.7	958
159	1887	259	1158	359	835.7	459	653.6	559	536.7	659	455.2	759	395.4	859	349.2	959
160	1875	260	1154	360	833.3	460	652.2	560	535.7	660	454.5	760	394.7	860	348.8	960
161	1863	261	1149	361	831.0	461	650.8	561	534.8	661	453.9	761	394.2	861	348.4	961
162	1852	262	1145	362	828.7	462	649.4	562	533.8	662	453.2	762	393.7	862	348.0	962
163	1840	263	1141	363	826.4	463	647.9	563	532.9	663	452.5	763	393.2	863	347.6	963
164	1828	264	1136	364	824.2	464	646.6	564	531.9	664	451.8	764	392.7	864	347.1	964
165	1815	265	1132	365	821.9	465	645.2	565	530.9	665	451.1	765	392.2	865	346.6	965
166	1802	266	1128	366	819.5	466	643.8	566	529.8	666	450.4	766	391.6	866	346.1	966
167	1786	267	1124	367	817.4	467	642.4	567	528.9	667	449.8	767	391.1	867	345.6	967
168	1765	268	1120	368	815.2	468	641.0	568	528.2	668	449.1	768	390.6	868	345.1	968
169	1745	269	1115	369	813.0	469	639.7	569	527.2	669	448.4	769	390.1	869	345.2	969
170	1727	270	1111	370	810.8	470	638.3	570	526.3	670	447.8	770	389.6	870	344.8	970
171	1704	271	1107	371	808.6	471	636.9	571	525.4	671	447.1	771	389.1	871	344.4	971
172	1684	272	1103	372	806.5	472	635.6	572	524.5	672	446.4	772	388.6	872	344.0	972
173	1664	273	1109	373	804.3	473	634.2	573	523.6	673	445.8	773	388.1	873	343.6	973
174	1644	274	1105	374	802.1	474	632.9	574	522.6	674	445.1	774	387.6	874	343.2	974
175	1624	275	1101	375	800.0	475	631.6	575	521.7	675	444.4	775	387.1	875	342.8	975
176	1604	276	1097	376	797.8	476	629.2	576	520.8	676	443.7	776	386.6	876		

DE DOORSLAGVELDSTERKTE VAN ENKELE ISOLATIEMATERIALEN

Materiaal	Max. veldsterkte kV/mm ¹⁾	Materiaal	Max. veldsterkte kV/mm ¹⁾
Bakelite	32,5	Mica	24÷41
Calan	50÷64	Papier (geolied)	28÷42
Calit	50÷64	Papier (gelakt)	42÷85
Celluloid	42	Parafine	17
Condensa C	21	Porselein (hard)	14÷28
Condensa F	21÷28	Presspaan	17
Condensa N	21÷28	Rubber (zacht)	27
Frequenta	42÷50	Transformatorolie	17
Glas (gewoon)	11÷12,5	Was	17
Lucht	3,2		

¹⁾ Gelijkspanning of topwaarde van de wisselspanning van 50 Hz.

DE DIËLECTRICITEITSCONSTANTE EN DE VERLIESFACTOR VAN ISOLATIEMATERIALEN BIJ KAMERTEMPERATUUR

Materiaal	Diëlectriciteitsconstante ϵ	Verliesfactor $\operatorname{tg}\delta \cdot 10^4$		
		bij 1000 Hz	bij 1000 kHz (300 m)	bij 10 MHz (30 m)
Bakelite	3÷5	50÷200	160	220
Barnsteen	2,9	—	300	300
Calan	6,6	—	2,1	2,2
Calit	6,5	5	4÷5	3÷4
Celluloid	3,3÷3,5	—	490	480
Condensa C	80	300÷500	6,0	3,2
Condensa F	65	—	4,0	3,6
Condensa N	40	—	6,9	4,6
Eboniet	3	25÷230	65÷110	60÷110
Emaillek (isolatie van koperdraad)	—	180	—	—
Frequenta	5,5÷6,5	7	4,2	3,4
Glas (verschillende soorten)	5÷16,5	20÷30	4÷75	—
Kwarts	4,3÷4,7	1	1,1	1,1
Lucht	1,0	0	0	0
Mica	6÷8	1	< 1	—
Mycalex	6÷9	—	15÷20	18
Novotex	5,5	100	—	—
Papier, droog	1,6÷2,5	15÷30	150÷300	—
Papier, geïmpregneerd	3,5÷6	15÷100	300÷600	—
Parafine	2÷2,3	5	3	—
Pertinax	4,5÷5,5	250	300	700
Porselein	5÷6	100÷200	70÷120	60÷110
Presspaan	3,4	—	240	580
Rubber	2,5÷2,8	150	—	—
Schellak	3÷4	100÷200	100	110
Trolitul	2,2÷2,5	—	1,0	1,0
Turmaline	5,0	—	5,1	3,6
Water	80	—	—	—
Zijde (isolatie van koperdraad)	—	400	—	—

**SOORTELIJKE WEERSTAND, SOORTELIJK GELEIDINGSVERMOGEN,
SOORTELIJK GEWICHT EN TEMPERATUURCOËFFICIËNT
VAN MATERIALEN**

Materiaal	Soortelijke weerstand $\rho \left(\frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}} \right)$	Soortelijk geleidingsvermogen $\kappa \left(\frac{\text{m}}{\Omega \text{mm}^2} \right)$	Temperatuurcoëfficiënt $\alpha (1/\text{ }^\circ\text{C})$	Soortelijk gewicht (g/cm ³)
Zilver	0,0147	68	0,0038	10,5
Koper	0,01718	58,2	0,00393	8,9
Aluminium	0,0262	38	0,0039	2,7
Duraluminium	0,05	20	0,0041	2,8
Zink	0,0575	17,4	0,0037	7,1
Nikkel	0,0693	14,4	0,0043	8,8
Messing	0,07	14,3	0,002	8,2 ÷ 8,7
IJzer	0,10	10	0,005	7,6 ÷ 7,9
Platina	0,10 ÷ 0,11	10 ÷ 9	0,003	21,4
Tin	0,115	8,7	0,0043	7,3
Nieuw zilver	0,30	3,33	0,00025	8,3 ÷ 8,7
Nickelin	0,40	2,5	0,011	8,9
Manganin	0,43	2,33	0,00002	8,4
Constantaan	0,50	2,0	0,00004	8,9
Isabellin	0,52	1,92	—0,00002	8,0
Chroomijzer	0,6	1,66	0,0016	7,6
Invar	0,75	1,33	0,002	—
Kwikzilver	0,95	1,05	0,0009	13,6
Chroomnikkel	1,1	0,9	0,00011	8,3
Kool	30	0,33	—0,0002 ÷ —0,0008	2,25

Wil men den soortelijken weerstand in $\Omega \text{ cm} \left(\Omega \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}} \right)$ opgeven, dan moet men de boven aangegeven getallen met 10^{-4} vermenigvuldigen.

De bepaling van de temperatuurverhoging door middel van den temperatuurcoëfficiënt

Men kan uit de weerstandstoename van een draad van een bekend materiaal, bijv. van een koperwikkeling van een transformator of smoorspoel, met behulp van den temperatuurcoëfficiënt de temperatuurstijging berekenen. Is de weerstand van den draad, vooraleer stroomdoorgang plaats gehad heeft, R_1 (overeenkomen met de omgevingstemperatuur, welke meestal 20°C bedraagt) en de weerstand, na een bepaalden bedrijfsduur, R_2 , dan is de temperatuurstijging ΔT gelijk aan:

$$\Delta T = \frac{R_2 - R_1}{R_1 \cdot \alpha} \text{ } ^\circ\text{C.}$$

WEERSTAND
van geëmailleerd zacht electrolytisch koperdraad (rond)

Diameter v.d.draad mm	Doorsnede v.d.draad mm ²	Weerstand Ω/m ¹⁾	Gewicht g/m of kg/1000 m	Diameter v.d.draad mm	Doorsnede v.d.draad mm ²	Weerstand Ω/m ¹⁾	Gewicht g/m of kg/1000 m
0,020	0,00031	55,20	0,0031	0,40	0,1257	0,1383	1,14
0,025	0,00049	35,40	0,0048	0,45	0,1590	0,1092	1,45
0,030	0,00071	24,60	0,0069	0,50	0,1964	0,0885	1,78
0,035	0,00096	18,06	0,0093	0,55	0,2376	0,0731	2,16
0,040	0,00126	13,83	0,012	0,60	0,2827	0,0615	2,56
0,045	0,00159	10,92	0,015	0,65	0,3318	0,0524	2,99
0,050	0,00196	8,85	0,019	0,70	0,3848	0,0452	3,48
0,060	0,00283	6,15	0,027	0,80	0,5027	0,0346	4,54
0,070	0,00385	4,52	0,036	0,90	0,6362	0,0274	5,73
0,080	0,00503	3,46	0,047	1,0	0,7854	0,0221	7,08
0,090	0,00636	2,73	0,059	1,1	0,9503	0,01829	8,57
0,10	0,00785	2,21	0,073	1,2	1,131	0,01536	10,19
0,12	0,01131	1,537	0,105	1,3	1,327	0,01310	11,94
0,15	0,01767	0,983	0,162	1,4	1,539	0,01129	13,83
0,18	0,02545	0,682	0,232	1,5	1,767	0,00984	15,87
0,20	0,03142	0,552	0,287	1,6	2,011	0,00865	18,05
0,22	0,03801	0,457	0,347	1,8	2,545	0,00683	22,8
0,25	0,04909	0,354	0,447	2,0	3,142	0,00556	28,2
0,28	0,06158	0,282	0,559	2,2	3,801	0,00456	34,6
0,30	0,07069	0,246	0,641	2,5	4,906	0,00354	44,0
0,35	0,09621	0,1806	0,873	3,0	7,069	0,00246	63,2

¹⁾ Voor een temperatuur van 20 °C en een soortgelijken weerstand van $0,01736 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}$.

OVERZICHT VAN PHILIPS PUBLICATIES

op het gebied van radiobuizen, radio-ontvangst en aanverwante gebieden

- Alexander, J. W.: Een vibrator voor het aansluiten van wisselstroom-ontvanger-toestellen op het gelijkstroomnet, Philips Technisch Tijdschr. 2 (1937), blz. 346—349.
- Alexander, J. W.: Autoradio, Philips Technisch Tijdschr. 3 (1938), blz. 113—119.
- Bakker, C. J. en G. de Vries: Amplification of small alternating tensions by an inductive action of the electrons in a radio valve with negative anode, Physica 1 (1934), blz. 1045—1054.
- Bakker, C. J.: On vacuum tube electronics, Physica 2 (1935), blz. 683—697.
- Bakker, C. J.: Eenige eigenschappen van ontvanglampen bij korte golven, Philips Technisch Tijdschr. 1 (1936), blz. 171—178.
- Bakker, C. J. en C. J. Boers: On the influence of the non-linearity of the characteristics on the frequency of dynatron and triode oscillators. Physica 3 (1936), blz. 649—665.
- Bakker, C. J.: Current distribution fluctuations in multi-electrode radio valves, Physica 5 (1938), blz. 581—592.
- Bakker, C. J. en B. vander Pol: Report on spontaneous fluctuations of current and potential, C. R. Union radiosci. int., Venetië, 5e jaargang (1939), blz. 217—227.
- Bakker, C. J. en G. Heller: On the Brownian motion in electric resistances, Physica 6 (1939), blz. 262—274.
- Bakker, C. J.: Fluctuations and electron inertia, Physica 8 (1941), blz. 23—43.
- Bakker, C. J.: Oorzaken van spannings- en stroomfluctuaties, Philips Technisch Tijdschr. 6 (1941), blz. 129—138.
- Bakker, C. J.: Het radio-onderzoek der ionosfeer, Philips Technisch Tijdschr. 7 (1942), blz. 239—248.
- Bakker, C. J.: Resultaten van het radio-onderzoek der ionosfeer, Ned. Tijdschr. v. Natuurkunde 9 (1943), blz. 212—220.
- Beek, M. vande: Luchtgekoelde zendbuizen, Philips Technisch Tijdschr. 4 (1939), blz. 129—135.
- Beek, M. vande: Een experimentele televisiezender van 9 kW, Philips Technisch Tijdschr. 7 (1942), blz. 129—137.
- Boer, J. de: Klankverstrooiers in luidsprekers, Philips Technisch Tijdschr. 4 (1939), blz. 144—148.
- Boer, J. de: Het rendement van luidsprekers, Philips Technisch Tijdschr. 4 (1939), blz. 313—319.
- Boer, J. H. de en H. Bruining: Secondary electron emission. VI. The influence of externally absorbed ions and atoms on the secondary emission of metals. Physica 6 (1939), blz. 941—950.
- Blok, L.: Radiostoringen, Philips Technisch Tijdschr. 3 (1938), blz. 251—256.
- Blok, L.: Bestrijding van radiostoringen, Philips Technisch Tijdschr. 4 (1939), blz. 249—256.

- Blok, L.: Een toongenerator, Philips Technisch Tijdschr. 5 (1940), blz. 276—282.
- Boumeester, H. G.: De ontwikkeling en fabricage der moderne zendlampen, Philips Technisch Tijdschr. 2 (1937), blz. 115—121.
- Bruining, H.: Secundaire electronenemissie, Handel. 25e Ned. natuur- en geneesk. Congres 1935, blz. 119—120.
- Bruining, H., J. H. de Boer en W. G. Burgers: Secondary electron emission of soot in valves with oxide cathode, Physica 4 (1937), blz. 267—275.
- Bruining, H. en J. H. de Boer: Secondary emission of metals with a low work function, Physica 4 (1937), blz. 473—477.
- Bruining, H.: Secundaire electronenemissie, Philips Technisch Tijdschr. 3 (1938), blz. 80—87.
- Bruining, H. en J. H. de Boer: Secondary electron emission. I. Secondary electron emission of metals, Physica 5 (1938), blz. 17—30.
- Bruining, H.: Secondary electron emission. II. Absorption of secondary electrons. III. Secondary electron emission caused by bombardment with slow primary electrons. Physica 5 (1938), blz. 913—917.
- Bruining, H. en J. H. de Boer: Secondary electron emission. IV. Compounds with a high capacity for secondary electron emission. V. The mechanism of secondary electron emission. Physica 6 (1939), blz. 823—833 en blz. 834—839.
- Bruining, H.: Over de emissie van secundaire elektronen door vaste stoffen, Dissertatie Leiden 1938, 119 blz.
- Bruining, H.: Secondary emission from metals with a low work function, Physica 8 (1941), blz. 1161—1164.
- Bruining, H.: Secundaire electronenemissie, Ned. Tijdschr. v. Natuurkunde 9 (1942), blz. 1—14.
- Cath, P. G.: Een eenvoudige elektrische meetbrug, Philips Technisch Tijdschr. 2 (1937), blz. 270—275.
- Cath, P. G.: Radiobuizen van nieuwe constructie, Philips Technisch Tijdschr. 4 (1939), blz. 170—175.
- Cohen Henriquez, V.: Compressie en expansie bij geluidsoverdracht, Philips Technisch Tijdschr. 3, blz. 209—215.
- Cohen Henriquez, V.: De weergave van hoge en lage tonen bij radio-ontvangtoestellen, Philips Technisch Tijdschr. 5 (1940), blz. 120—126.
- Cornelius, P.: De gevoeligheid van antennes voor plaatselijke storingen, Philips Technisch Tijdschr. 6 (1941), blz. 307—313.
- Cornelius, P.: Het antenne-effect bij ontvangsttoestellen met raamantenne, Philips Technisch Tijdschr. 7 (1942), blz. 65—73.
- Dorgelo, E. G.: Eénige technologische problemen bij de ontwikkeling van een nieuwe serie zendbuizen, Philips Technisch Tijdschr. 6 (1941), blz. 257—262.
- Douma, Tj. en P. Zijlstra: Het opnemen van zendbuiskarakteristieken, Philips Technisch Tijdschr. 4 (1939), blz. 52—56.
- Dorsman, C. en S. L. de Bruin: Een electronenschakelaar, Philips Technisch Tijdschr. 4 (1939), blz. 280—284.
- Duinker, D. M.: Het gebruik van seleenventielen in gelijkrichters, Philips Technisch Tijdschr. 5 (1940), blz. 200—209.
- Dijksterhuis, P. R. en Y. B. F. J. Groeneveld: Laagfrequentversterking met transformatoren, Radio Nieuws 11 (1928), blz. 222—242.
- Dijksterhuis, P. R. en Y. B. F. J. Groeneveld: L'amplification basse fréquence par transformateurs, Q.S.T. franç. 10 (1929), blz. 55—59.

- Dijksterhuis, P. R. en Y. B. F. J. Groeneveld: Low-frequency amplification with transformers, Experimental Wireless **6** (1929), blz. 374—379.
- Elias, G. J., B. van der Pol en B. D. H. Tellegen: Das elektrostatische Feld einer Triode, Annalen der Physik **78** (1925), blz. 370—406.
- Eringa, D.: Een universeel meetapparaat voor radiolampen, Philips Technisch Tijdschr. **2** (1937), blz. 57—63.
- Geel, W. Ch. van: Sperlaaggelykrichters, Philips Technisch Tijdschr. **4** (1939), blz. 104—110.
- Geel, W. Ch. van en J. H. de Boer: Cellules photoélectriques à couche de barrage déposée artificiellement, Physica **2** (1935), blz. 892—900.
- Gier, J. de: Een kathodestraalbuis met naversneling, Philips Technisch Tijdschr. **5** (1940), blz. 257—264.
- Gradstein, S.: Radio-ontvangtoestellen met schuifcondensatoren, Philips Technisch Tijdschr. **4** (1939), blz. 289—295.
- Groeneveld, Y. B. F. J. en Balth. van der Pol en K. Posthumus: Roosterdetectie, Tijdschr. v. h. Ned. Radio-Genootsch. **3** (1937), blz. 67—89.
- Groeneveld, Y. B. F. J., B. van der Pol en K. Posthumus: Gittergleichrichtung, Jahrb. d. drahtl. Telegr. u. Teleph. **29** (1927), blz. 139—147.
- Haantjes, J.: Het beoordeelen van een versterker door middel van de sprongkarakteristiek, Philips Technisch Tijdschr. **6** (1941), blz. 193—201.
- Haantjes, J. en B. D. H. Tellegen: De diode als mengbuis en als detector, Tijdschr. v. h. Ned. Radio-Genootsch. **10** (1943), blz. 237—260.
- Heins van der Ven, A. J.: Vervorming en afgegeven vermogen bij eindlampen, Radio Nieuws **16** (1933), blz. 83—93.
- Heins van der Ven, A. J.: Modulatiebrom, modulatieverdieping, vervorming der modulatie en kruismodulatie, Radio Nieuws **17** (1934), blz. 29—52.
- Heins van der Ven, A. J.: Het onderzoek van eindversterkerbuizen met behulp van de kathodestraalbuis, Philips Technisch Tijdschr. **5** (1940), blz. 65—73.
- Heins van der Ven, A. J.: Afgegeven vermogen en vervorming van eindversterkerbuizen bij verschillende belasting, Philips Technisch Tijdschr. **5** (1940), blz. 193—199.
- Heins van der Ven, A. J.: Output stage distortion: some measurements on different types of output valves, Wireless Engineer **16** (1939), blz. 383—390 en 444—452.
- Heller, G.: Het magnetron als generator voor ultrakorte golven, Philips Technisch Tijdschr. **4** (1939), blz. 201—209.
- Heller, G.: Ontvangtoestellen met geijkte stationsschaal voor korte golven, Philips Technisch Tijdschr. **4** (1939), blz. 296—301.
- Heller, G.: Televisie-ontvangapparaten, Philips Technisch Tijdschr. **4** (1939), blz. 358—367.
- Hepp, G.: Potentiaalmetingen met behulp van de electrolytische trog, Philips Technisch Tijdschr. **4** (1939), blz. 235—242.
- Heyboer, J. P.: Zendpentoden, Philips Technisch Tijdschr. **2** (1937), blz. 257—265.
- Heyboer, J. P.: Een ontladingsverschijnsel in grote zendbuizen, Philips Technisch Tijdschr. **6** (1941), blz. 208—214.
- Horowitz, A. en J. A. van Lammereen: Radio-ontvangtoestellen met drukknop-afstemming, Philips Technisch Tijdschr. **3** (1938), blz. 257—263.
- Ittmann, G. P.: Het verkrijgen van een scherpe fluorescentievlek in kathodestraalbuizen, Philips Technisch Tijdschr. **1** (1936), blz. 33—38.
- Ittmann, G. P.: De regeling der intensiteit in kathodestraalbuizen, Philips Technisch Tijdschr. **1** (1936), blz. 91—95.

- I t t m a n n, G. P.: Een oscillograafapparaat, Philips Technisch Tijdschr. 1 (1936), blz. 147—151.
- J o n k e r, J. L. H. en A. J. W. M. v a n O v e r b e e k: The application of secondary emission in amplifying valves, Wireless Engineer 15 (1938), blz. 150—156.
- J o n k e r, J. L. H. en M. C. T e v e s: Technische toepassingen van de secundaire emissie, Philips Technisch Tijdschr. 3 (1938), blz. 137—143.
- J o n k e r, J. L. H.: Verschijnselen in versterkerlampen, veroorzaakt door secundaire emissie, Philips Technisch Tijdschr. 3 (1938), blz. 215—220.
- J o n k e r, J. L. H. en A. J. W. M. v a n O v e r b e e k: A new converter valve, Wireless Engineer 15 (1938), blz. 423—431.
- J o n k e r, J. L. H. en A. J. W. M. v a n O v e r b e e k: Een nieuwe menglamp, Philips Technisch Tijdschr. 3 (1938), blz. 271—276.
- J o n k e r, J. L. H.: Pentode and tetrode output valves, Wireless Engineer 16 (1939), blz. 274—286 en blz. 344—349.
- J o n k e r, J. L. H.: De banen der electronen in meerroosterbuizen, Philips Technisch Tijdschr. 5 (1940), blz. 135—144.
- J o n k e r, J. L. H.: Stroomverdeeling in versterkerbuizen, Dissertatie Delft 1942, 184 blz.
- J o n k e r, J. L. H.: Stroomverdeeling in electronenbuizen, Tijdschr. v. h. Ned. Radio-Genootsch. 10 (1943), blz. 113—128.
- K a p l a n, S.: Break-in telephony with carrier suppression, Q.S.T. (U.S.A.) 23 (1939), blz. 36—39.
- K l e y n e n, P. H. J. A.: De beweging van een electron in tweedimensionale electrostatische velden, Philips Techn. Tijdschr. 2 (1937), blz. 338—345.
- K l e y n e n, P. H. J. A.: Model voor het onderzoek van de electronenbeweging in tweedimensionale electrostatische velden, Ned. Tijdschr. v. Natuurkunde 5 (1938), blz. 222—224.
- K n o l, K. S., M. J. O. S t r u t t en A. v a n d e r Z i e l: On the motion of electrons in an alternating electric field, Physica 5 (1938), blz. 325—334.
- K n o l, K. S. en M. J. O. S t r u t t: Über ein Verfahren zur Messung komplexer Leitwerte im Dezimeterwellengebiet, Physica 9 (1942), blz. 577—590.
- K u p e r u s, J.: Over de constructie van vibratoren voor radio-apparaten, Philips Techn. Tijdschr. 6 (1941), blz. 346—350.
- L i n d e n h o v i u s, H. J. en H. R i n i a: Een gelijkstroomvoedingsapparaat met gestabiliseerde spanning, Philips Techn. Tijdschr. 6 (1941), blz. 54—61.
- L i n d e n h o v i u s, H. J.: Over het stabiliseren van gelijkspanningen, Tijdschr. v. h. Ned. Radio-Genootsch. 9 (1942), blz. 259—270.
- L i n d e r n, C. G. A. v o n: Magnetrons, Handel. 25e Ned. natuur- en geneesk. Congres 1935, blz. 118—119.
- L i n d e r n, C. G. A. v o n: Het draadloos telefoneren met rijdende auto's, Philips Technisch Tijdschr. 5 (1940), blz. 327—333.
- L i n d e r n, C. G. A. v o n: Een telefonie-installatie op ultrakorte golf voor de tropen, Philips Technisch Tijdschr. 6 (1941), blz. 120—127.
- L i n d e r n, C. G. A. v o n en G. de V r i e s: Resonantiekringen voor zeer hoge frequenties, Philips Techn. Tijdschr. 6 (1941), blz. 217—224.
- L i n d e r n, C. G. A. v o n en G. de V r i e s: Lechersystemen, Philips Technisch Tijdschr. 6 (1941), blz. 241—250.
- L i n d e r n, C. G. A. v o n en G. de V r i e s: Platte trilholten als electrische resonatoren, Philips Technisch Tijdschr. 7 (1942), blz. 197—208.
- L o o n, C. J. v a n: Verbeteringen aan radio-ontvangoestellen, Philips Technisch Tijdschr. 1 (1938), blz. 264—269.

- Loon, C. J. van: Een eenvoudig systeem van bandspreiding bij kortegolfontvangst, Philips Techn. Tijdschr. 6 (1941), blz. 269—273.
- Lussanet de la Sablonière, C. J. de: Over de werking van schermroosterzendlampen, Radio Nieuws 15 (1932), blz. 65—74.
- Lussanet de la Sablonière, C. J. de: Über die Arbeitsweise von Schirmgittersenderöhren, Hochfrequenztechn. u. Elektroakust. 39 (1932), blz. 191—199.
- Lussanet de la Sablonière, C. J. de: Die Sekundäremission in Elektronenröhren, namentlich Schirmgitterröhren, Hochfrequenztechn. u. Elektroakust. 41 (1933), blz. 195—202.
- Lussanet de la Sablonière, C. J. de: Die Bestimmung des Schirmgitterverlustes einer gesteuerten Schirmgitter-Senderöhre, Hochfrequenztechn. u. Elektroakust. 41 (1933), 202—203.
- Lussanet de la Sablonière, C. J. de: Der innere Widerstand von Schirmgitterröhren, Hochfrequenztechn. u. Elektroakust. 41 (1933), blz. 204—205.
- Lussanet de la Sablonière, C. J. de: Le fonctionnement des lampes d'émission à grille-écran, Onde électrique 12 (1933), blz. 415—440.
- Lussanet de la Sablonière, C. J. de: The design of class-B amplifiers, Wireless Engineer 12 (1935), blz. 133—141.
- Mark, J. van der: Een experimentele televisiezender en -ontvanger, De Ingenieur 51 (1936), blz. E 37—40.
- Mark, J. van der: Televisie met behulp van den iconoscoop, Handel. 26e Ned. natuur- en geneesk. Congres 1937, blz. 63—68.
- Mulder, J. G. W.: Stroomregulatorbuizen, Philips Technisch Tijdschr. 3 (1938), blz. 74—77.
- Niessen, K. F. en G. de Vries: Über die Empfangsimpedanz einer Empfangsanenne. I. Strahlungswiderstand, II. Reaktanz und Abbildungen, Physica 6 (1939), blz. 601—616 en 617—627.
- Nijenhuis, W.: Meting van faselhoeken met behulp van de kathodestraalbuis, Philips Techn. Tijdschr. 5 (1940), blz. 210—216.
- Pol, B. van der: Over de secundaire electronen in trioden, Handel. 19e Ned. natuur- en geneesk. Congres 1923, blz. 108—110.
- Pol, B. van der: Over electronenbewegingen in trioden, Physica 3 (1923), blz. 253—275.
- Pol, B. van der: Het electrostatische veld van een triode, Tijdschr. v. h. Ned. Radio-Genootsch. 2 (1924), blz. 53—56.
- Pol, B. van der: Über Elektronenbahnen in Trioden Jahrb. d. drahtl. Telegr. u. Teleph. 25 (1925), blz. 121—131.
- Pol, B. van der: The non-linear theory of electric oscillations, Proc. Inst. Radio Engineers 22 (1934), blz. 1051—1086.
- Pol, B. van der en Th. J. Wevers: Fine structure of triode characteristics, Physica 1 (1934), blz. 481—496.
- Pol, B. van der: Discontinuous Phenomena in Radio Communication, Journ. Inst. Electr. Engr. Londen, 81 (1937), blz. 381—398.
- Pol, B. van der en J. van der Mark: Interaction of radio waves, Tijdschr. v. h. Ned. Radio-Genootsch. 7 (1935), blz. 12—17.
- Pol, B. van der en H. Bremmer: The propagation of radio waves over a finitely conducting spherical earth, Phil. Mag. 25 (1938), blz. 817—834.
- Pol, B. van der en H. Bremmer: De voortplanting van radiogolven over de aarde, Philips Techn. Tijdschr. 4 (1939), blz. 257—266.
- Pol, B. van der en H. Bremmer: Further note on the propagation of radiowaves over a finitely conducting spherical earth, Phil. Mag. 27 (1939), blz. 261—275.

- P o l, B. v a n d e r: Propagation of short waves over a spherical finitely conducting earth, Ref. u. Mitt. int. Kongr. Kurzwellen, Wien 1937, blz. 34—35.
- P o l, B. v a n d e r en H. B r e m m e r: Ergebnisse einer Theorie über die Fortpflanzung elektromagnetischer Wellen über eine Kugel endlicher Leitfähigkeit, Hochfrequenztechn. u. Elektroakust. **51** (1938), blz. 181—188.
- P o s t h u m u s, K.: Kurzwellenröhren, Ref. u. Mitt. int. Kongr. Kurzwellen, Wien 1937, blz. 78—88.
- P o s t h u m u s, K.: Het brommen tengevolge van het magnetische veld der gloeidraden in zendbuizen, Philips Techn. Tijdschr. **5** (1940), blz. 104—111.
- P r a k k e, F., J. L. H. J o n k e r en M. J. O. S t r u t t: A new „all-glass“ valve construction, Wireless Engineer **16** (1939), blz. 224—230.
- S c h o u t e n, J. F.: De toonhoogtegeawaording, Philips Technisch Tijdschr. **5** (1940), blz. 294—302.
- S l o o t e n, J. v a n: Over de met terugkoppeling bereikbare versterking, Radio Nieuws **15** (1932), blz. 33—38.
- S l o o t e n, J. v a n: Een half-aperiodische versterker voor antenne-distributie, Radio Nieuws **17** (1934), blz. 77—85.
- S l o o t e n, J. v a n: Een gemeenschappelijk antennesysteem, Philips Technisch Tijdschr. **1** (1936), blz. 245—250.
- S l o o t e n, J. v a n: The stability of a triode oscillator with grid-condenser and leak, Wireless Engineer **16** (1939), blz. 16—19.
- S l o o t e n, J. v a n: Input capacitance of a triode oscillator, Wireless Engineer **17** (1940), blz. 13—15.
- S l o o t e n, J. v a n: Ontvangantennes, Philips Technisch Tijdschr. **4** (1939), blz. 333—337.
- S l o o t e n, J. v a n: De werkingswijze van triode-oscillatoren met roostercondensator en roosterweerstand, Philips Techn. Tijdschr. **7** (1942), blz. 40—45.
- S l o o t e n, J. v a n: Stabiliteit en instabiliteit bij triode oscillatoren, Philips Technisch Tijdschr. **7** (1942), blz. 171—177.
- S m e l t, J.: Het glas in de moderne lampen, Philips Techn. Tijdschr. **2** (1937), blz. 87—93.
- S t e t t l e r, O.: The octode, a new mixing valve for superheterodyne receivers, Bull. Assoc. Suisse des Electr. **25** (1934), blz. 441—443.
- S t r u t t, M. J. O.: Gleichrichtung, Hochfrequenztechn. u. Elektroakust. **42** (1933), blz. 206—208.
- S t r u t t, M. J. O.: Radioempfangsröhren mit grossem innerem Widerstand, Hochfrequenztechn. u. Elektroakustik **43** (1934), blz. 18—22.
- S t r u t t, M. J. O.: On conversion detectors, Proc. Inst. Radio Engr. **22** (1934), blz. 981—1008.
- S t r u t t, M. J. O.: Anode bend detection, Proc. Inst. Radio Engr. **23** (1935), blz. 945—958.
- S t r u t t, M. J. O.: Mixing valves, Wireless Engineer **12** (1935), blz. 59—64.
- S t r u t t, M. J. O.: Whistling notes in superheterodyne receivers, Wireless Engineer **12** (1935), blz. 194—197.
- S t r u t t, M. J. O. en A. v a n d e r Z i e l: Messungen der charakteristischen Eigenschaften von Hochfrequenz-Empfangsröhren zwischen 1,5 und 60 Megahertz, Elektr. Nachr. Techn. **12** (1935), blz. 347—354.
- S t r u t t, M. J. O.: Diode frequency changers, Wireless Engineer **13** (1936), blz. 73—80.
- S t r u t t, M. J. O.: Performance of some types of frequency changers in allwave receivers, Wireless Engineer **14** (1937), blz. 184—192.

Strutt, M. J. O. en A. van der Ziel: Einfache Schaltmassnamen zur Verbesserung der Eigenschaften von Hochfrequenzverstärkerröhren im Kurzwellengebiet, Elektr. Nachr. Techn. **13** (1936), blz. 260—268.

Strutt, M. J. O. en A. van der Ziel: Erweiterung der bisherigen Messungen der Admittanzen von Hochfrequenzverstärkerröhren bis 300 Megahertz, Elektr. Nachr. Techn. **14** (1937), blz. 75—80.

Strutt, M. J. O.: Moderne Mehrgitterelektronenröhren, Schweiz. Arch. angew. Wiss. und Techn. **2** (1936), blz. 183—199, 230.

Strutt, M. J. O.: Les performances de certains types de lampes changeuses de fréquence dans les récepteurs toutes ondes, Onde Electrique **16** (1937), blz. 29—44.

Strutt, M. J. O.: Verzerrungseffekte bei Mischröhren, Hochfrequenztechn. u. Elektroakustik **49** (1937), blz. 20—23.

Strutt, M. J. O. en A. van der Ziel: Die Ursachen für die Zunahme der Admittanzen moderner Hochfrequenz-Verstärkerröhren im Kurzwellengebiet, Elektr. Nachr. Techn. **14** (1937), blz. 281—293.

Strutt, M. J. O.: Characteristic constants of h.f. pentodes. Measurements at frequencies between 1.5 and 300 Mc/s, Wireless Engineer **14** (1937), blz. 478—488.

Strutt, M. J. O.: Mesures des constantes caractéristiques de quelques pentodes haute fréquence pour des fréquences de 1.5 à 300 mégacycles par seconde, Onde Electrique **16** (1937), blz. 553—577.

Strutt, M. J. O.: Die charakteristischen Admittanzen von Mischröhren für Frequenzen bis 70 MHz, Elektr. Nachr. Techn. **15** (1938), blz. 10—17.

Strutt, M. J. O. en A. van der Ziel: Messungen der komplexen Steilheit moderner Mehrgitterröhren im Kurzwellengebiet, Elektr. Nachr. Techn. **15** (1938), blz. 103—111.

Strutt, M. J. O. en A. van der Ziel: Einige dynamische Messungen der Elektronenbewegung in Mehrgitterröhren, Elektr. Nachr. Techn. **15** (1938), blz. 277—283.

Strutt, M. J. O.: Electron transit time effects in multi-grid valves. Wireless Engineer **15** (1938), blz. 315—321.

Strutt, M. J. O. en A. van der Ziel: On electronic space charge with homogeneous initial electron velocity between plane electrodes, Physica **5** (1938), blz. 705—717.

Strutt, M. J. O. en A. van der Ziel: The causes for the increase of the admittances of modern high-frequency amplifier tubes on short waves, Proc. Inst. Radio Engrs. **26** (1938), blz. 1011—1032.

Strutt, M. J. O. en A. van der Ziel: Some dynamic measurements of electronic motion in multigrid valves, Proc. Inst. Radio Engrs. **27** (1939), blz. 218—225.

Strutt, M. J. O. en A. van der Ziel: Het gedrag van versterkerbuizen bij zeer hoge frequenties, Philips Technisch Tijdschr. **3** (1938), blz. 104—112.

Strutt, M. J. O.: Etages à haute fréquence, étages changeur de fréquence et détecteur des récepteurs de télévision, Onde Electrique **18** (1939), blz. 14—26 en blz. 83—91.

Strutt, M. J. O.: High-frequency, mixing and detection stages of television receivers, Wireless Engineer **16** (1939), blz. 174—187.

Strutt, M. J. O. en K. S. Knol: Messungen von Strömen, Spannungen und Impedanzen bis herab zu 20 cm Wellenlänge, Hochfrequenztechn. u. Elektroakustik **53** (1939), blz. 187—195.

Strutt, M. J. O.: Hochfrequenz-, Misch- und Gleichrichterstufen von Fernsehempfängern, Schweiz. Arch. angew. Wiss. und Techn., Sonderheft, Vortr. und Disk. — Ber. Fernseh-Tagung, Zürich 1938, blz. 26—36.

Strutt, M. J. O. en A. van der Ziel: Über die Elektronenraumladung zwischen ebenen Elektroden, unter Berücksichtigung der Anfangsgeschwindigkeit und Geschwindigkeitsverteilung der Elektronen, Physica **6** (1939), blz. 977—996.

- Strutt, M. J. O. en A. van der Ziel: Kurzwellen-Breitband-Verstärkung, Elektr. Nachr. Techn. **16** (1939), blz. 229—240.
- Strutt, M. J. O. en A. van der Ziel: Een nieuwe balansversterkerbuis voor decimetergolven, Philips Technisch Tijdschr. **5** (1940), blz. 171—181.
- Strutt, M. J. O. en A. van der Ziel: Een regelbare versterkerbuis met dubbele kathodeleiding geschikt voor metergolven, Philips Technisch Tijdschr. **5** (1940), blz. 369—374.
- Strutt, M. J. O. en A. van der Ziel: Het ruischen van ontvangsttoestellen bij zeer hooge frequenties, Philips Technisch Tijdschr. **6** (1941), blz. 178—185.
- Strutt, M. J. O. en A. van der Ziel: De diode als mengbuis, speciaal bij decimetergolven, Philips Technisch Tijdschr. **6** (1941), blz. 289—298.
- Strutt, M. J. O. en A. van der Ziel: Die Folgen einiger Elektronenträgheits-effekte in Elektronenröhren I, Theoretische Erläuterungen, Physica **8** (1941), blz. 81—108.
- Strutt, M. J. O. en A. van der Ziel: Die Folgen einiger Elektronenträgheits-effekte in Elektronenröhren II, Anwendungen und numerische Ergebnisse, Physica **9** (1942), blz. 65—83.
- Strutt, M. J. O. en A. van der Ziel: Verringerung der Wirkung spontaner Schwankungen in Verstärkern für Meter- und Dezimeterwellen, Physica **9** (1942), blz. 1003—1012.
- Strutt, M. J. O.: Grenzen der energieversterking met electronenbuizen, Tijdschr. v. h. Ned. Radio-Genootsch. **10** (1943), blz. 99—111.
- Suchtelen, H. van: Toepassingen van kathodestraalbuizen I, Philips Technisch Tijdschr. **3** (1938), blz. 50—52.
- Suchtelen, H. van: Toepassingen van kathodestraalbuizen II, Philips Technisch Tijdschr. **3** (1938), blz. 153—157.
- Suchtelen, H. van: Toepassingen van kathodestraalbuizen III, Philips Technisch Tijdschr. **3** (1938), blz. 252—255.
- Suchtelen, H. van: Toepassingen van kathodestraalbuizen IV, Philips Technisch Tijdschr. **3** (1938), blz. 347—352.
- Suchtelen, H. van: Toepassingen van kathodestraalbuizen in de massafabricage, Philips Technisch Tijdschr. **4** (1939), blz. 90—94.
- Suchtelen, H. van: De electrometertriode en haar toepassingen, Philips Technisch Tijdschr. **5** (1940), blz. 59—64.
- Tellegen, B. D. H.: De grootte van den emissiestroom in een triode, Physica **5** (1925), blz. 301—315.
- Tellegen, B. D. H.: Het electrostatische veld van een triode, Tijdschr. v. h. Ned. Radio-Genootsch. **2** (1925), blz. 95—114.
- Tellegen, B. D. H.: De grootte van den roosterstroom in een triode, Physica **6** (1926), blz. 113—116.
- Tellegen, B. D. H.: Eindversterkerproblemen, Tijdschr. v. h. Ned. Radio-Genootsch. **3** (1928), blz. 141—160.
- Tellegen, B. D. H.: De Philips penthode B 443, een nieuwe eindlamp voor radio-ontvangtoestellen, Electrotechniek **6** (1928), blz. 196—198.
- Tellegen, B. D. H.: Endverstärkerprobleme, Jahrb. d. drahtl. Telegr. u. Teleph. **31** (1928), blz. 183—190.
- Tellegen, B. D. H.: Die Endröhre, Funkmagasin **2** (1929), blz. 689—692.
- Tellegen, B. D. H.: Nieuwere ontwikkeling op het gebied van radio-ontvanglampen, Tijdschr. v. h. Ned. Radio-Genootsch. **6** (1934), blz. 93—107.

- Tellegen, B. D. H.: Tegenkoppeling, Philips Technisch Tijdschr. 2 (1937), blz. 289—294.
- Tellegen, B. D. H. en V. Cohen Henriquez: Inverse feed-back, its application to receivers and amplifiers, Wireless Engineer 14 (1937), blz. 409—413.
- Tellegen, B. D. H. en J. Haantjes: Gegenkopplung, Elektr. Nachr. Techn. 15 (1938), blz. 353—358.
- Tellegen, B. D. H.: Eenige beschouwingen over gekoppelde kringen, Tijdschr. v. h. Ned. Radio-Genootsch. 10 (1943), blz. 147—173.
- Teves, M. C.: Een fotocel met versterking door secundaire emissie, Philips Technisch Tijdschr. 5 (1940), blz. 265—269.
- Tromp, Th. P.: Technologische problemen bij de constructie van radiobuizen, Philips Technisch Tijdschr. 6 (1941), blz. 346—350.
- Veegens, J. D.: Een kathodestraaloscillograaf, Philips Technisch Tijdschr. 4 (1939), blz. 210—216.
- Veegens, J. D. en M. K. de Vries: Een eenvoudige hoogfrequentie-oscillator voor het onderzoek van radio-ontvangtoestellen, Philips Technisch Tijdschr. 6 (1941), blz. 153—160.
- Veenemans, C. F.: De electronenemissie van oxydkathoden, Ned.-Tijdschr. v. Natuurkunde 10 (1943), blz. 1—16.
- Vermeulen, R.: Octaaf en decibel, Philips Technisch Tijdschr. 2 (1937), blz. 47—56.
- Vermeulen, R.: De verhouding van fortissimo en pianissimo, Philips Technisch Tijdschr. 2 (1937), blz. 266—269.
- Vermeulen, R.: Het onderzoek van luidsprekers, Philips Technisch Tijdschr. 4 (1939), blz. 371—380.
- Weel, A. van: De natuurlijke gevoeligheidsgrens van radio-ontvangers voor zeer korte golflengten, Dissertatie Delft 1943, 112 blz.
- Weyers, Th. J.: Selectiviteitsmetingen aan radio-omroep ontvangstapparaten, Tijdschr. v. h. Ned. Radio-Genootsch. 7 (1937), blz. 156—172.
- Weyers, Th. J.: Recente ontwikkelingen betreffende frequentiemodulatie, Tijdschr. v. h. Ned. Radio-Genootsch. 8 (1940) blz. 315—364.
- Ziegler, M.: Space charge depression of shot effect, Physica 2 (1935), blz. 413—414.
- Ziegler, M.: Shot effect of secondary emission, Physica 2 (1935), blz. 415—416.
- Ziegler, M.: Shot effect of secondary emission I, Physica 3 (1936), blz. 1—11.
- Ziegler, M.: Shot effect of secondary emission II, Physica 3 (1936), blz. 307—316.
- Ziegler, M.: De oorzaken van het ruischen in versterkers, Philips Technisch Tijdschr. 2 (1937), blz. 136—141.
- Ziegler, M.: Een gevoelige registrerende veldsterktemeter, Philips Technisch Tijdschr. 2 (1937), blz. 216—223.
- Ziegler, M.: De bijdrage van de versterkerbuizen tot het ruischen van versterkers, Philips Technisch Tijdschr. 2 (1937), blz. 329—334.
- Ziegler, M.: Het ruischen van ontvangsttoestellen, Philips Technisch Tijdschr. 3 (1938), blz. 193—201.
- Ziel, A. van der: Fluctuations in electrometer triode circuits, Physica 9 (1942), blz. 177—192.

Eenige boekwerken op het gebied van electronenbuizen en hun toepassingen

Alberti, E.: Braunsche Kathodenstrahlröhren und ihre Anwendung, 214 blz., Verlag von Julius Springer, Berlin, 1932.

Ardenne, Manfred von: Die Kathodenstrahlröhren, Verlag von Julius Springer, Berlin, 1934.

Barkhausen, H.: Lehrbuch der Elektronenröhren.

1. Band: Allgemeine Grundlagen, 171 blz., 118 fig., 1936.

2. Band: Verstärker, 289 blz., 127 fig., 1933.

3. Band: Rückkoppelung, 174 blz., 85 fig., 1935.

4. Band: Gleichrichter und Empfänger, 294 blz., 147 fig., 1937.

Uitgave van S. Hirzel, Leipzig.

Bergtold, F.: Röhrenbuch für Rundfunk- und Verstärkertechnik, 202 blz., 189 fig., Weidmannsche Buchhandlung, Berlin, 1936.

Brüche, E. en A. Recknagel: Elektronengeräte, 447 blz., Springer-Verlag, Berlin, 1941.

Campbell, N. R. en D. Ritchie: Photoelectric cells, Isaac Pitman & Sons, New York, 1934.

Chaffee, E. L.: Theory of Thermionic Vacuum Tubes, McGraw-Hill Book Co., New York, 1933.

Dow, William G.: Fundamentals of Engineering Electronics, 604 blz., John Wiley & Sons, New York, en Chapman & Hall, London, 1937.

Henney, Keith: Radio Engineering Handbook, McGraw-Hill Book Co., New York, 1935.

Henney, Keith: Electron Tubes in Industry, 2e druk, McGraw-Hill Book Co., New York, 1937.

Kammerloher, J.: Elektronenröhren und Verstärker, 326 blz., 290 fig., (deel II van de serie „Hochfrequenztechnik”), C. F. Winter'sche Verlagshandlung, Leipzig, 1939.

Kammerloher, J.: Gleichrichter, 386 blz., 284 fig., (deel III van de serie „Hochfrequenztechnik”), C. F. Winter'sche Verlagshandlung, Leipzig, 1942.

Koller, L. R.: The Physics of Electron Tubes, 2e druk McGraw-Hill Book Co., New York, 1937.

Ladner, A. W., en C. R. Stoner: Short Wave Wireless Communication, 452 blz., 248 fig., Chapman & Hall, London, 1936.

Mc Arthur, E. D.: Electronics and Electron Tubes, John Wiley & Sons, New York, 1936.

Morecroft, John H.: Electron Tubes and Their Application, 458 blz., 537 fig., Chapman & Hall, London.

Rathaiser, L.: Rundfunkröhren — Eigenschaften und Anwendung, 276 blz., 549 fig., Union Deutsche Verlagsgesellschaft Roth & Co., Berlin 1938.

Reimann, A. L.: Thermionic Emission, John Wiley & Sons, New York, 1934.

Rens, H.: Leerboek der Radio-Techniek, speciaal ten dienste van hen, die zich voorbereiden voor de examens voor radiomonteur, radiotechnicus en radiotelegrafist.

Deel I: Algemeene Grondslagen, 195 blz., 235 fig., 2e druk, 1943.

Deel II: Radio-Ontvangtechniek, 287 blz., 191 fig., 1941.

Uitgave van Æ. E. Kluwer, Deventer.

- R o o r d a, J.: Radiotechniek, Handboek voor de studie van radiozend- en ontvangsttechniek, 3e druk, 410 blz., 209 fig., Uitgevers Mij. „Kosmos”, Amsterdam, 1942
- R o t h e, H. en W. K l e e n: Grundlagen und Kennlinien der Elektronenröhren, 325 blz., 196 fig., 2e deel van de serie: Bücherei der Hochfrequenztechnik, uitgegeven door Prof. Dr. J. Zenneck. Akademische Verlagsgesellschaft Becker & Erler, Leipzig, 1940.
- R o t h e, H. en W. K l e e n: Elektronenröhren als Anfangsstufenverstärker, 303 blz., 197 fig., 3e deel van de serie: Bücherei der Hochfrequenztechnik, uitgegeven door Prof. Dr. J. Zenneck. Akademische Verlagsgesellschaft Becker & Erler, Leipzig, 1940.
- R o t h e, H. en W. K l e e n: Elektronenröhren als End- und Sendeverstärker, 141 blz., 118 fig., 3e deel van de serie: Bücherei der Hochfrequenztechnik, uitgegeven door Prof. Dr. J. Zenneck. Akademische Verlagsgesellschaft Becker & Erler, Leipzig, 1940.
- R o t h e, H. en W. K l e e n: Elektronenröhren als Schwingungs erzeuger und Gleichrichter, 4e deel van de serie: Bücherei der Hochfrequenztechnik, uitgegeven door Prof. Dr. J. Zenneck. Akademische Verlagsgesellschaft Becker & Erler, Leipzig, 1941.
- S c h i n t l m e i s t e r, J.: Die Elektronenröhre als physikalisches Messgerät, 179 blz., 119 fig., Springer-Verlag, Wien, 1942.
- S t r u t t, M. J. O.: Moderne Mehrgitterelektronenröhren, Bau - Arbeitsweise - Eigenschaften - Elektrophysikalische Grundlagen, 2e druk, 283 blz., Verlag von Julius Springer, Berlin, 1940.
- S t r u t t, M. J. O.: Moderne Kurzwellenempfangstechnik, 245 blz., Verlag von Julius Springer, Berlin, 1939.
- S t r u t t, M. J. O.: Verstärker und Empfänger, 384 blz., 4e deel van de serie: Lehrbuch der drahtlosen Nachrichtentechnik, uitgegeven door N. von Korshenowsky en W. T. Runge, Springer-Verlag, Berlin, 1943.
- S w i e r s t r a, R.: Radio-ontvangst in theorie en practijk.
1e deel: 246 blz., 144 fig.
2e deel: 431 blz., 245 fig., met een aanhangsel.
Uitgave van Jacob van Campen, Amsterdam, 1937.
- T e r m a n, F. E.: Radio Engineering, McGraw-Hill Book Co., New York en Londen, 1932.
- T e r m a n, F. E.: Fundamentals of Radio, 458 blz., 278 fig., McGraw-Hill Book Co., New York en Londen, 1938.
- T e r m a n, F. E.: Measurements in Radio Engineering, 400 blz., 210 fig., McGraw-Hill Book Co., New York en Londen, 1935.
- V i l b i g, F.: Lehrbuch der Hochfrequenztechnik, 3e verbeterde en uitgebreide druk, deel I 650 blz., 766 fig., deel II 616 blz., 891 fig. en 2 tabellen, Akademische Verlagsgesellschaft Becker u. Erler, Leipzig, 1942.
- V o r m e r, J. J. en H. C. A. v a n D u u r e n: Grondslagen van de Radio-ontvangstechniek, 199 blz., 127 fig., A. E. E. Kluwer, Deventer, 1933.
- Z i n k e, O.: Hochfrequenz-Messtechnik, 223 blz. 221 fig., uitgave van S. Hirzel, Leipzig, 1938.
- Z w o r y k i n, V. K. en E. D. W i l s o n: Photocells and Their Application, John Wiley & Sons, New York, 1932.

Symbolen en aanduidingen

1. Aanduiding van de electroden

Anode	a
Anode van de diode	d
Bij dubbele en meervoudige dioden	$d_1, d_2, \text{enz.}$
Het cijfer duidt op de plaats van het diodeplaatje t.o.v. den kathode-invoer. De diode-anode d_1 is die, welke zich het dichtst bij de kneep bevindt. Is er slechts één diodeplaatje, dan wordt het cijfer 1 weggelaten.	
Verhittingselement (gloeidraad)	f
Rooster	g
Bij buizen met meer dan één rooster: $g_1, g_2, \text{enz.}$ Het cijfer geeft de plaats van het rooster aan t.o.v. de kathode (g_1 het dichtst bij de kathode). Is er slechts één rooster, dan wordt het cijfer 1 weggelaten.	
Indirect verhitte kathode	k
Metalliseering	m
Inwendige afschermingen in de buis	s
Fluorescentiescherm van een electronenstraalindicator	1
Afbuigplaatje van een kathodestraalbuis	D
Voor het aangeven van gelijkwaardige electroden worden accenten gebruikt, bijv.	a, a', a''
Bij secundaire emissiebuizen wordt de primaire kathode gekenmerkt met k_1 en de secundaire kathode met k_2 .	

2. Aanduiding van de buissystemen

Bij combinatiebuizen zijn de electroden der afzonderlijke buissystemen als volgt aangeduid:

bij een diode, door	D
bij een triode, door	T
bij een tetrode, door	Q
bij een pentode, door	P
bij een hexode en heptode, door	H
bij een octode, door	O
bij een gelijkrichtbuis, door	R

3. Aanduiding van de spanningen, stroomen, capaciteiten, enz.

Spanning (V)

Anodespanning	V_a
Anodespanning in kouden toestand, of bij $I_a = 0$	V_{ao}
Diodespanning	V_d
Bij meer dan één diode, $V_{d1}, V_{d2}, \text{enz.}$	
Gloeispanning	V_z
Spanning tusschen gloeidraad en kathode	V_{rk}
Roosterspanning	V_g
Bij meer dan één rooster, $V_{g1}, V_{g2}, \text{enz.}$	
Effectieve waarde van de roosterwisselspanning	$V_{g\text{ eff}}$
Roosterspanning in kouden toestand, of bij $I_a = 0$	V_{go}
Ingangswisselspanning	$V_i \text{ of } V_{i\text{ eff}}$
Uitgangswisselspanning	$V_o \text{ of } V_{o\text{ eff}}$
Spanning van de voedingsbron, of batterijspanning	V_b

Stroom (I)

Anodestroom	I_a
Anoderuststroom (in balanstrappen of bij oscillatorbuizen)	I_{ao}

Anodestroom bij max. sturing	I _a max
Diodestroom	I _d
Bij meer dan één diode, I _{d1} , I _{d2} , enz.	
Gloeistroom	I _f
Roosterstroom	I _g
Bij meer dan één rooster, I _{g1} , I _{g2} , enz.	
Kathodestroom (=I _a + I _{g1} + I _{g2} , enz.)	I _k

Vermogen (W of P)

Anodedissipatie	W _a
Roosterdissipatie	W _g
Bij meer dan één rooster, W _{g1} , W _{g2} , enz.	
Geleverd vermogen bij een max. sturing, waarbij een vervorming van n% of roosterstroom optreedt	W _o (n%)

Capaciteit (C)

Capaciteit van de anode t.o.v. alle andere electroden	C _a
Capaciteit van het rooster t.o.v. alle andere electroden	C _g
Bij meer dan één rooster, C _{g1} , C _{g2} , enz.	
Capaciteit tusschen anode en rooster 1	C _{ag1}
Capaciteit tusschen rooster 1 en rooster 3	C _{g1g2}
Capaciteit tusschen rooster 1 en rooster 4	C _{g1g4}
Capaciteit tusschen rooster 2 en rooster 4	C _{g2g4}
Capaciteit tusschen de diodeplaatjes d ₁ en d ₂	C _{d1d2}
Capaciteit tusschen kathode en diodeplaatje d ₁	C _{kd1}
Capaciteit tusschen rooster en kathode	C _{gk}
Capaciteit tusschen anode en kathode	C _{ak}
Capaciteit tusschen anode en rooster 4	C _{ag4}

Weerstand (R)

Uitwendige weerstand (in de anodeketen)	R _a
Weerstand in de kathodeleiding	R _k
Uitwendige weerstand tusschen gloeidraad en kathode	R _{fk}
Uitwendige weerstand in de roosterketen	R _{gk}
Bij meer dan één rooster, R _{g1k} , R _{g2k} , enz.	
Inwendige weerstand (van de anode)	R ₁

Versterkingsfactor

Versterkingsfactor (stuurrooster t.o.v. de anode)	μ
Versterkingsfactor van het stuurrooster t.o.v. het schermrooster	μ_{g1g2}
De spanningsversterking van een buis in een bepaalde schakeling wordt aangegeven door het quotiënt van de uitgangsspanning gedeeld door de ingangsspanning (V_o/V_i).	

Steilheid

Steilheid	S
Steilheid bij het inzetten van het oscilleren	S _o
Mengingssteilheid of conversiesteilheid	S _e

Rendement

Rendement	η
---------------------	--------