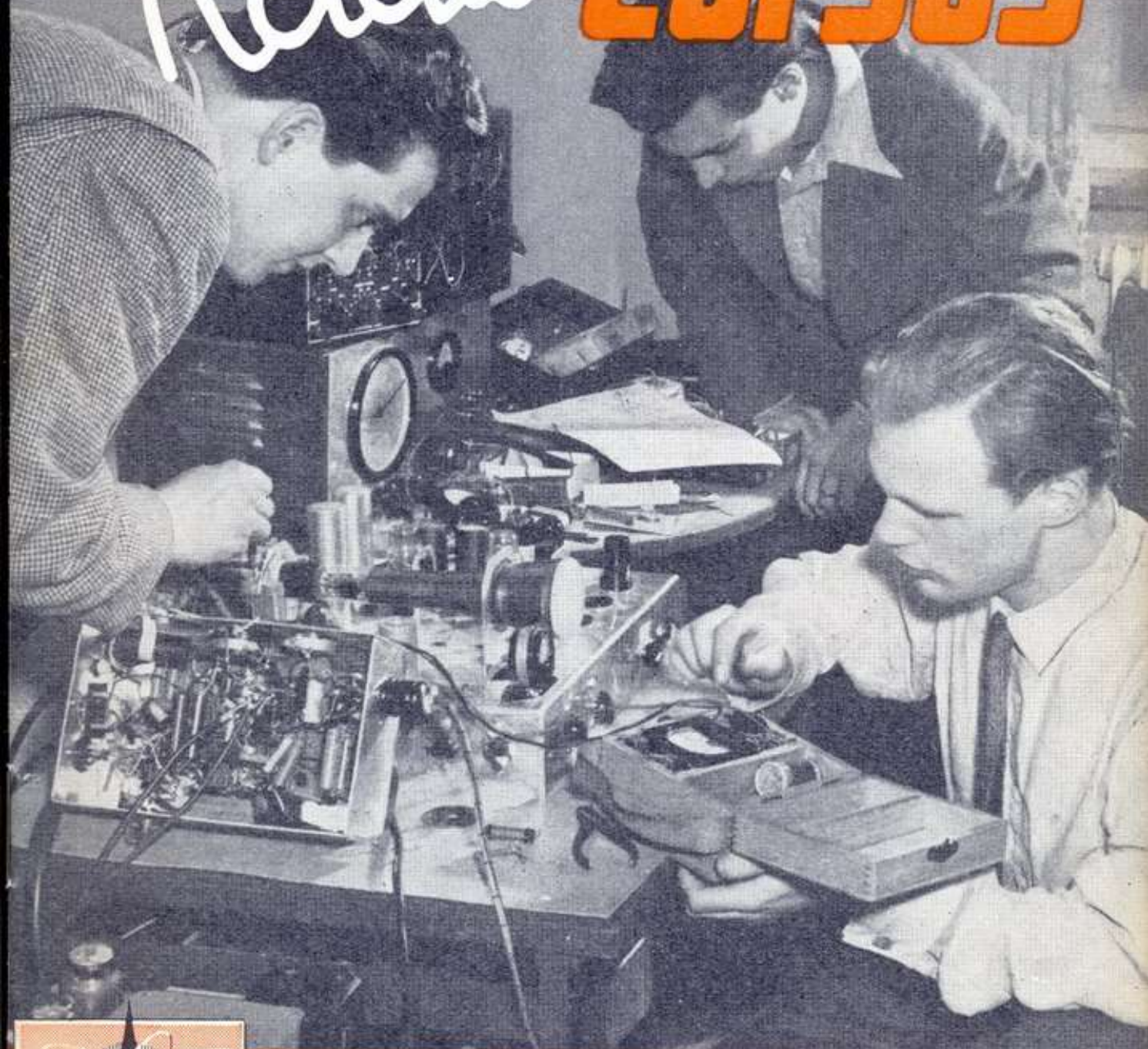


dr. Blan

6

Radio-CURSUS



vormingscentrum voor radio en electronica

INHOUDSOPGAVE

Geluidswaergave	3
Geluidsaleer	4
Laagfrequente trillingen	5
Microfoons	6
Luidsprekers	8
Grammofoon	11
Pickup	12
Versterkers	12
Uitgangstransformator	15
Aanpassing	17
Weerstand-koppeling	19
Ingangsschakeling	21
Sterkteregeling	22
Klankregeling	22
Tegenkoppeling	22
Vervorming	24
Balansversterking	24
Faze-draaiers	25
Voeding en bouw	27

Tegelijk met deze les ontvangt U een bouwschema voor een eenvoudige versterker. We stellen voorop, dat het U geheel vrij staat deze versterker te bouwen of niet; aan de andere kant staat het wel vast, dat het bouwen van deze versterker, gevoegd bij Uw pas verworven kennis omtrent het hoe en het waarom der laagfrequentietechniek de voor U meest vruchtbare combinatie vormen: theorie en praktijk.

Het zojuist gelezene, hoe goed ook begrepen, krijgt leven en relief reeds zodra U de soldeerbout ter hand neemt.

En bedenk, dat deze versterker een bouwsteen vormen kan, die na toevoeging van een ontvanggedeelte (hetzij in „super“-dan wel in „rechtuit“-schakeling) een volledige moderne ontvanger oplevert.

COPYRIGHT DE MUIDERKRING — BUSSUM — NEDERLAND
NADruk, ook GEDEELTELIJK, IS VERBODEN

Wij hebben thans enige grondprincipes van elektriciteit en het magnetisme behandeld; ook de radiobuizen zijn niet vreemd meer voor ons en we moeten nu eens een toepassing van deze wetenschappen behandelen, n.l. de versterkertechniek.

Hierbij maken we in de eerste plaats kennis met de geluidsweergave, dus: het weergeven en zonodig versterken van geluiden (stem, muziek e.d.) en wel op hetzelfde ogenblik dat deze ontstaan (fig. 1) en daarnaast: het opnemen van het geluid, om het, eveneens zonodig versterkt, op elk gewenst ogenblik, desnoods jaren daarna, hoorbaar te maken door middel van een grammofoon of bandrecorder (fig. 2 en 3).



fig. 1

GELUIDSWEERGAVE

De menselijke stem en sommige muziekinstrumenten zijn in vele gevallen te zwak om over grote afstand gehoord te worden, vooral wanneer een grote menigte daarvan genieten wil. Daarom past men geluidsversterking toe; de eenvoudigste vorm is de scheeproeper, die het geluid, dat zich normaal in alle richtingen voortplant, gebundeld naar één bepaalde richting drijft en daardoor versterkt. Na de uitvinding van de elektronenbuizen is deze manier praktisch geheel verlaten. Het geluid bestaat uit luchtrillingen; deze moeten dus eerst in elektrische trillingen worden omgezet, hetgeen in een microfoon (fig. 4) geschiedt. Het weer terugvormen van geluidstrillingen uit de elektrische trillingen doen wij in een telefoon of in een luidspreker (fig. 5 en 6).

Is versterking op zichzelf niet nodig, maar gaat het er om een bepaalde afstand te overbruggen, dan behoeven we de microfoonklemmen slechts via een transformator en een element met de telefoonklemmen te verbinden; tot op honderden kilometers kan men aldus op eenvoudige wijze geluiden overbrengen; de telefoondienst is er een voorbeeld van. Natuurlijk treedt er in de lange leidingen spanningsverlies en daardoor verzwakking van het geluid op (fig. 7).

Om de kostbare leidingen te sparen, gebruikt men slechts twee draden voor heen- en terugspreek; het gevolg is, dat wat we in microfoon A spreken niet alleen in telefoon B gehoord wordt, maar óók in telefoon A; spreekt men in microfoon B, dan komt het geluid gelijktijdig in telefoon B en A



fig. 2. „Handy Disc” platenspeler

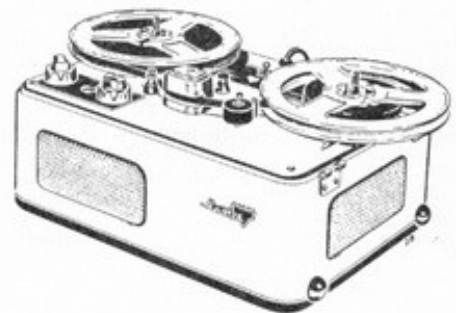


fig. 3. „Handy Sound” bandrecorder.

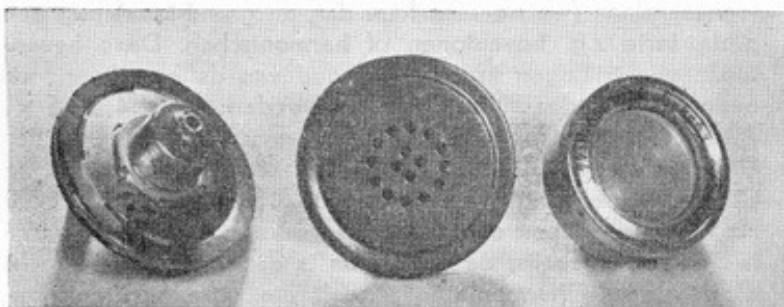


fig. 4. Koolmicrofoon van achteren en van voren gezien.
fig. 4 en 5. Deze onderdelen bevinden zich in de hoorn (telemicrofoon) van onze telefoontoestellen.

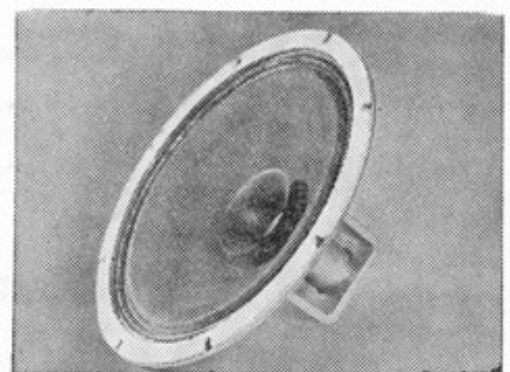


fig. 6. Luidspreker met klankverstrooier.

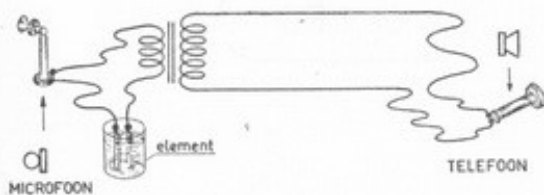


fig. 7

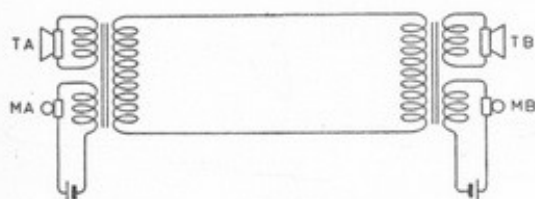


fig. 8



fig. 9

(fig. 8). Bezwaren levert dit niet op; men hoort dit zelfs niet tijdens het spreken. Worden de verliezen te groot, dan moet een versterker geschakeld worden tussen de microfoon en de telefoon.

Daar de telefoon weinig energie vereist zal in hoofdzaak spanningsversterking nodig zijn, die we krijgen in de z.g. lijnversterkers.

Willen we echter een grote menigte mede laten luisteren, dan zullen we in plaats van telefoons de z.g. luidsprekers moeten toepassen; hiervoor zullen de versterkers niet alleen spanning doch tevens energie moeten leveren; die luidsprekers moeten immers een flinke hoeveelheid lucht sterk in trilling brengen. We noemen dit de krachtversterkers. Vóór we deze apparaten bespreken moeten we iets weten van de

GELUIDSLEER

Wanneer we spreken of een muziekinstrument bespelen, geraakt de lucht in trilling en de gevormde trillingen planten zich in alle richtingen voort (fig. 9), in tegenstelling met b.v. een trillend hamertje van de elektrische bel; dat trilt heen en weer, doch slechts in één vlak.

Deze luchttrillingen moeten we zien als een plaatselijke verstoring van de normale luchtdruk, die we nu maar op 1 atmosfeer stellen, circa 1000 microbar.

Om een geluidsbron heen zullen zich dus rondom elkaar liggende lagen vormen met onderling verschillende luchtdruk; afwisselend onder en boven de 1 atm. Men kan zich de situatie voorstellen als bij een uit onze kinderjaren bekende toverbal; elke kleur vertegenwoordigt een andere luchtdruk. Bij die toverbal echter liggen de opvolgende kleuren vast; bij de „geluidsbal” varieert de samenstelling doorlopend als gevolg van de wisselende toonhoogte van de geproduceerde muziek. Nu moeten we ons even met de aard van die geluidstrillingen bezighouden. De voor een normaal menselijk oor waarneembare trillingen liggen in het gunstigste geval binnen een gebied van 20 Hz tot 18000 Hz. Worden we echter ouder, dan wordt dat gebied aan beide kanten, maar het sterkste aan de bovenkant beperkt; boven de 5000 Hz nemen we dan niets meer waar. Voor normaal spraakgebruik is dat niet zo erg; de telefoon gaat thans van circa 200 ... 4000 Hz, doch voor normaal spraakgebruik is 200 ... 2000 Hz reeds voldoende.

Bij muziek is dat heel anders. De middel C op de piano (boven het sleuteltje) heeft een trillingstal van 262 Hz en er is geen twijfel aan, dat deze C bij alle andere instrumenten gelijk is maar ... elk instrument produceert wanneer we zo'n toon aanslaan (we noemen hem dan de grondtoon) nog een grote serie z.g. boventonen of harmonischen. Deze boventonen zijn trillingen in een veelvoud van de grondtoon: we onderscheiden daarbij de EVEN veelvouden: (2 ×, 4 ×, 6 ×, 8 ×, 10 ×, enz.); bij de grondtoon van 2000 Hz zijn dat dus 4000, 8000, 12000, 16000, 20000 Hz enz.; en daarnaast de ONEVEN veelvouden, gevende: 6000, 10000, 14000 en 18000 Hz enz. Men noemt een dergelijke reeks trillingen een harmonische reeks; de grondtoon is de eerste uit die reeks of de „eerste harmonische”; heeft die grondtoon een frequentie van 2000 Hz, dan is de toon van 4000 Hz de tweede harmonische daarvan: de toon van 10.000 Hz is dan de vijfde harmonische.

Feitelijk loopt het aantal harmonischen door tot in 't on-

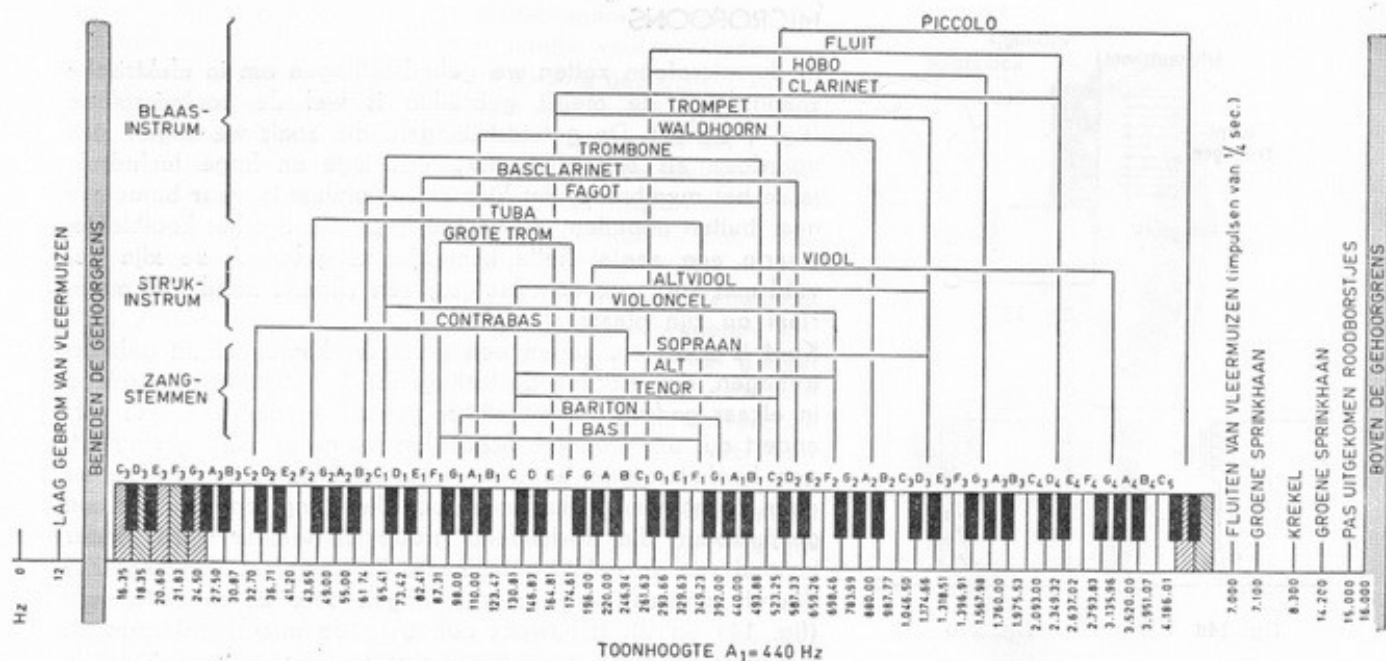


fig. 10

eindige, maar de sterkte van harmonischen is steeds kleiner dan van 't grondgetal en hoe verder we daar vanaf komen, des te zwakker worden ze. Toch bepalen deze harmonischen de klankkleur, het timbre van een muziekinstrument; zij maken het mogelijk om de instrumenten onderling te onderscheiden. Snijden we de boventonen af, zoals bij de moderne, te selectief gemaakte ontvangers maar al te vaak het geval is, dan is het verschil tussen diverse muziekinstrumenten door ons niet meer waarneembaar en klinkt een klarinet b.v. als een viool. Figuur 10 geeft het schema van een pianoklavier, waarbij de frequenties bij de overeenkomstige toetsen zijn aangegeven. De geluidstrillingen hebben, vergeleken met elektriciteitstrillingen, een veel geringer voortplantingssnelheid; in normale droge lucht van 20° C is deze slechts 343 m per seconde, doch in water 1500 m/sec. Ook in vaste stoffen, zoals metalen, hout e.d. planten de geluidstrillingen zich voort; de voortplantingssnelheid in die materialen is groter dan in lucht. Welk trillingstal of frequentie hebben nu de elektrische spanningen, die we aan de microfoonklemmen meten wanneer het microfoon-membraan door dergelijke geluidstrillingen in beweging gebracht wordt? Wel, dezelfde als de geluidstrillingen; ze variëren dus van, laat maar zeggen 20 Hz tot 18000 Hz en we noemen dit in het algemeen

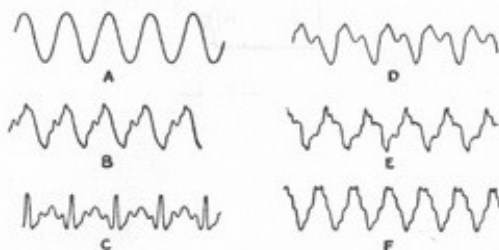


fig. 11

Grafische voorstelling van de middel-C

Voortgebracht door: basfluit D
stemvork A
viool B
hobo C
klarinet E
idem doch minder krachtig gespeeld F

LAAGFREQUENTE OF AUDIOFREQUENTE TRILLINGEN.

Grafisch uitgedrukt zijn het echter zelden zuivere sinusvormige trillingen, maar vaak grillig slingerende lijnen (fig. 11). Gaat men deze echter ontleden, d.w.z. uit elkaar plukken, dan blijkt zo'n grillige lijn toch weer uit zuivere sinuslijnen van verschillende frequentie te zijn samengesteld, zoals in fig. 12 aanschouwelijk wordt voorgesteld. In fig. 11 bevatten de krommen B, C, D, E en F niet alleen de zuiver sinusvormige grondtoon (A) maar tevens verschillende harmonischen, die aan elk instrument zijn specifieke klankkleur verlenen. Wanneer we later de grammofontechniek zullen bezien, komen we meteen een mooie manier tegen om die trillingen te tekenen.

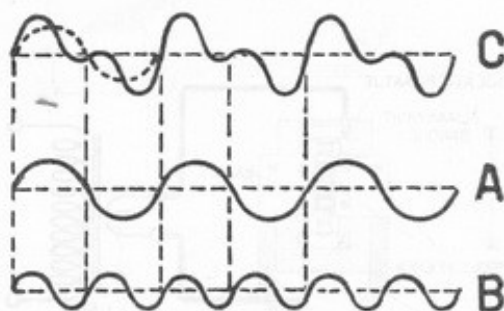


fig. 12

De trilling C is een combinatie van de trillingen A en B

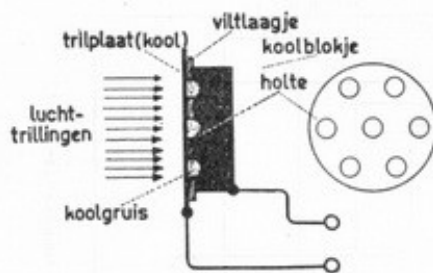


fig. 13

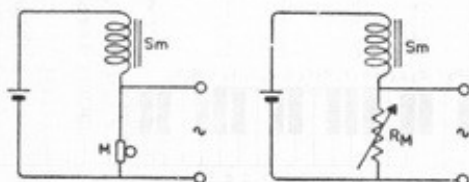


fig. 14a

fig. 14b

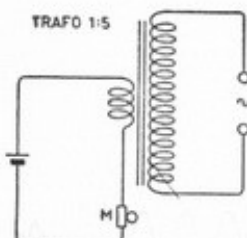


fig. 15

MICROFOONS

In de microfoon zetten we geluidstrillingen om in elektrische spanningen; de meest gebruikte is wel de koolmicrofoon (fig. 4 en 13). De geluidstrillingen, die zoals we zagen zich voordoen als een afwisseling van lage en hoge luchtdruk, laten het membraan, dat hier een koolplaat is, naar binnen of naar buiten uitpuilen; achter die koolplaat ligt het koolblokje, waarin een aantal holle kamertjes is geboord; ze zijn gevuld met koolgruis of korreltjes; een viltrand houdt dat materiaal op zijn plaats.

Kool is zoals we zagen een geleider; komen er nu geluidstrillingen, dan worden de losliggende kooldeeltjes afwisselend in elkaar gedrukt en uit elkaar getrokken; de weerstand verandert dus aanhoudend. Schakelen we nu een droog element, een koolmicrofoon en een smoorspoel in serie, dan zal er geen constante gelijkstroom door die kring lopen, maar een gelijkstroom, die afwisselend groter en kleiner wordt onder invloed van de geluidsgolven, die de koolplaat bereiken. Zodoende ontstaan er wisselspanningen over de spoelklemmen (fig. 14a en b), (trouwens ook over de microfoonklemmen). Als regel zijn die spanningen wat te laag en nemen we in plaats van die smoorspoel een transformator; de verhouding van de windingen op de primaire tot die op de secundaire nemen we 1:5; de spanningen worden hierdoor op ca. $\frac{1}{2}$ volt gebracht (fig. 15). Alleen bij de telefoondienst gebruiken we thans nog de koolmicrofoons; hun voordelen zijn: goedkope en vrij hoge spanning; nadelen: sterke ruis (de werking berust eigenlijk op slecht contact!) en beperkt weer-gegebied.

BANDMICROFOON

Deze berust op het elektro-dynamische principe, dat we ons uit hoofdstuk 3-6 herinneren. We zagen daarbij dat, wanneer we een draadlus in een magnetisch veld bewegen, er een stroom door die geleider gaat lopen.

Omgekeerd zal de draadlus zich willen bewegen, wanneer er een stroom door de geleider gevoerd wordt. De draadlus zal n.l. pogen een zodanige stand in te nemen, dat zoveel mogelijk magnetische krachtlijnen omvat worden. Op dit principe berust niet alleen onze elektro-dynamische luidspreker, maar b.v. ook een elektromotor.

En nu de toepassing hiervan bij de bandmicrofoon.

In een magneetveld is een geleider gespannen: Brengen wij met spraak of muziek de lucht aan het trillen, dan trilt de geleider, als die maar licht en dun genoeg is, mede en geeft dan elektrische spanningen af. Daar deze zeer klein zijn, verhogen we deze eerst door middel van een transformator, waarna verdere versterking met elektronenbuizen moet geschieden; de wikkerverhouding van deze transformator kan 1:500 bedragen.

Het bandje is een strookje aluminium- of goudblad, lang 3 à 4 cm, breed $\frac{1}{2}$ cm en dik 0.004 mm; de lichtspleet moet heel klein zijn; een membraan treffen we hier dus niet aan, omdat het bandje zelf als zodanig dienst doet (fig. 16).

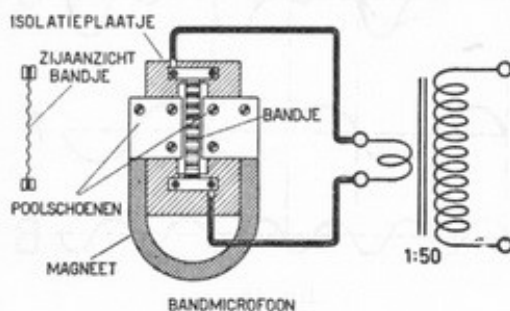


fig. 16

ELEKTRO-DYNAMISCHE MICROFOON

Deze berust op hetzelfde reeds zoëven aangehaalde principe, doch in plaats van een bandje is hier een spoeltje toegepast,

dat conform (fig. 9, blz. 3-7) groter spanning levert. Het spoeltje is in verhouding tot het bandje veel zwaarder en wordt door geluiden moeilijker in beweging gebracht. Daarom vangt men de geluidstrillingen op met een soepel opgehangen membraan; om doorbuiging te ontgaan maakt men het kegelvormig (conus). Conform de later te bespreken elektro-dynamische luidspreker past men magneten met ringvormige luchtspleet toe; in deze ronde luchtspleet beweegt nu het eveneens ringvormig gewonden spoeltje. Door de grote magnetische veldsterkte levert dit soort microfoons een beduidend hogere spanning. Vanzelfsprekend moet het bewegende gedeelte, dus conus + spoeltje zéér licht zijn, wil het geheel gevoelig zijn (fig. 17). Ook hier dient een transformator om de spanning van het spoeltje omhoog te transformeren; de wikkerverhouding is echter lager dan bij de transformator voor de bandmicrofoon.

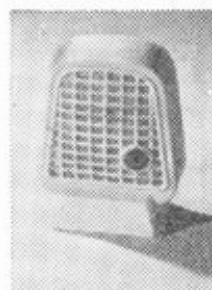
De KRISTALMICROFOON is momenteel, vooral in amateurkringen, het meest toegepast in verband met het geringe gewicht, hoge spanningen, betrekkelijk lage prijs en het ontbreken van hulpspanningen zoals bij de koolmicrofoon. De werking berust op het z.g. piëzo-elektrische principe, ontdekt door het echtpaar Curie: wanneer men een condensator vervaardigt, waarbij de beide elektroden b.v. uit bladtin of zilverpapier bestaan, terwijl het dielektricum — dus de stof tussen de elektroden — bestaat uit een dun plaatje kristal uit Seignette zout, dan zal dit kristal in trilling geraken, als een wisselspanning op de elektroden worden aangesloten. Wanneer dit een laagfrequente spanning is, die in het hoorbare gebied valt, b.v. 5000 Hz, dan zal dit kristalplaatje een duidelijk hoorbare toon van 5000 Hz voortbrengen (fig. 18). Kristalluidsprekers zijn minder goed in staat de lage tonen weer te geven; zij worden dan ook uitsluitend voor weergave van de hoge tonen gebezigd, terwijl kristalelementen door hun geringe gewicht bij uitstek geschikt zijn om door hardhorenden gedragen te worden bij hun gehoorapparaat.

Maar het omgekeerde is ook het geval: als we het kristalplaatje in trilling brengen, door er b.v. aan te tikken of het tegen een gitaar te houden, dan zullen er aan de elektroden elektrische spanningen ontstaan. En deze spanningen kunnen vrij hoog worden: tot $\frac{1}{2}$ volt toe. Voor het opvangen van muziek- of spraaktrillingen moeten we weer een membraan, een trilplaat aanbrengen in de vorm van een conus; meestal maakt men die van bladtin of aluminium met een doorsnede van 3 à 4 cm, dus zeer licht (fig. 18). De kristallen laat men in een oplossing van Seignette-zout „groeien” tot blokken van $5 \times 5 \times 10$ cm; op een zeer bepaalde manier snijdt men hier plakjes uit: ca. 0,5 mm dik, $1 \times 1,5$ cm groot; de elektroden plaat men er aan beide kanten op. Eén kant van het kristalplaatje wordt ingeklemd; de conus wordt met het vrije eind verbonden. In de praktijk gebruikt men uitsluitend kristal-elementen, opgebouwd uit twee kristalblaadjes, gescheiden door een elektrode die de éne, en van buiten beplakt met twee elektroden, die, onderling doorverbonden, de andere aansluiting vormen (fig. 19).

De condensatormicrofoon heeft zeer goede eigenschappen en wordt door de Omroep veelvuldig toegepast. Daar deze microfoons het echter noodzakelijk maken, dat de afstand tussen microfoon en 1e versterkerbuis zeer kort is, moet de z.g. voorversterker tot een geheel samengebouwd worden met die microfoon. Voor amateurs is de bouw op



fig. 17. Bovenste afbeelding: bandmicrofoon; onder: dynamische microfoon



Kristalmicrofoon

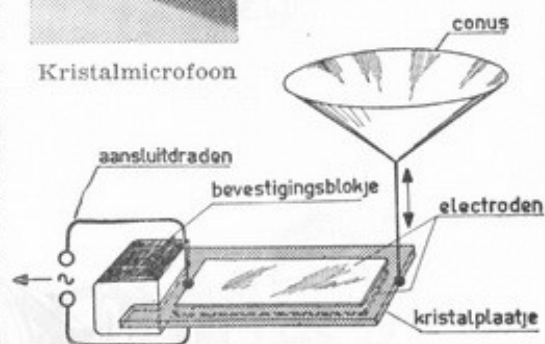


fig. 18

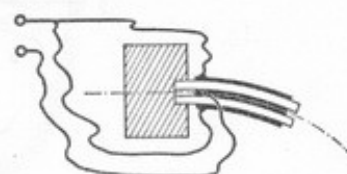


fig. 19

deze wijze wel bezwaarlijk. In principe echter is deze microfoon gelijk aan de condensator- (of elektrostatische-) luidspreker, die we echter hier niet bespreken zullen. Dit zijn dan de voornaamste microfoons; we gaan nu naar het tegengestelde begrip:

DE LUIDSPREKERS

Deze worden dus gevoed met een laagfrequente spanning (toon-frequente of audiofrequente spanning zeggen we vaak; afgekort wordt het aangegeven door l.f. of a.f.) en geven geluidstrillingen af aan de omgeving. Allereerst ontmoeten we hier de normale telefoon. Wanneer we om een stukje weekijzer (de tegenstelling van staal) een draadspoeltje leggen en daar een toonfrequente spanning op aansluiten, dan zal dat ijzer gemagnetiseerd worden in het ritme van deze spanningen; houden we nu een ijzeren plaatje bij die kern, dan zal dat plaatje beurtelings aangetrokken en afgestoten worden en... we horen geluid! (fig. 20). Reeds lang geleden ging men er toe over een stukje magneetstaal als kern te nemen in plaats van weekijzer en hieromheen de spoel te wikkelen; de trilplaat bleef dezelfde, doch ontvangt nu, ook als er géén geluid is, een magnetische vóórspanning. Brengen we nu een toonfrequente spanning op het spoeltje, dan zal het plaatje óf nog verder doorbuigen óf vlak worden (fig. 21).

Wat is nu de reden geweest om die weekijzeren kerntjes te vervangen door magneetstaal? Wel, wanneer één gehele periode van een zuiver sinusvormige wisselstroom door de spoeltjes loopt, zal de trilplaat tweemaal aangetrokken worden; de naar de trilplaat gerichte zijde van het kerntje zal n.l. éénmaal noord- en éénmaal zuid-magnetisch worden en in beide gevallen zal het trilplaatje aangetrokken worden. Is het kerntje echter magnetisch dan zal gedurende de pos. sinustop het magnetisme b.v. sterker en gedurende de neg. sinustop zwakker worden. Gedurende de gehele periode zal dus het trilplaatje slechts éénmaal aangetrokken en éénmaal losgelaten worden. Het komt dus hierop neer, dat bij een telefoon zonder magnetische kerntjes de trilplaat tweemaal zoveel bewegingen maakt als de frequentie van de wisselstroom bedraagt; we horen het geluid dus een octaaf hoger, het z.g. doubling. Wanneer magnetische kernen aanwezig zijn bestaat dit bezwaar niet.

De constructie van telefoons blijkt uit de figuren 5 en 22 en 23. Door een trompetachtige buis boven de telefoon te bevestigen kreeg men de eerste luidspreker.

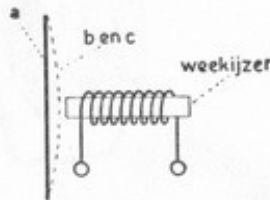


fig. 20

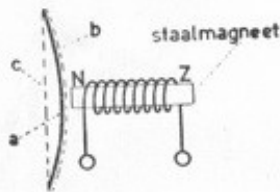


fig. 21

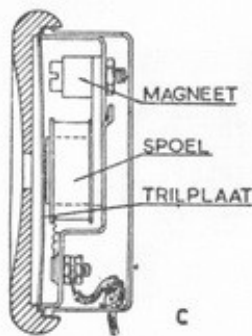


fig. 22

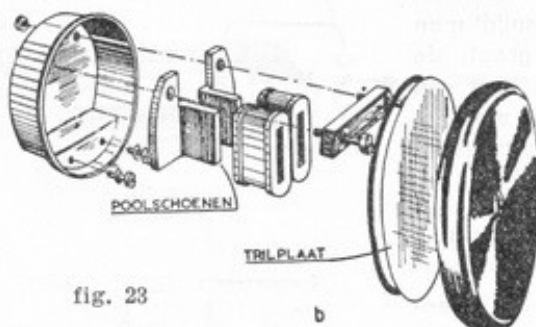


fig. 23

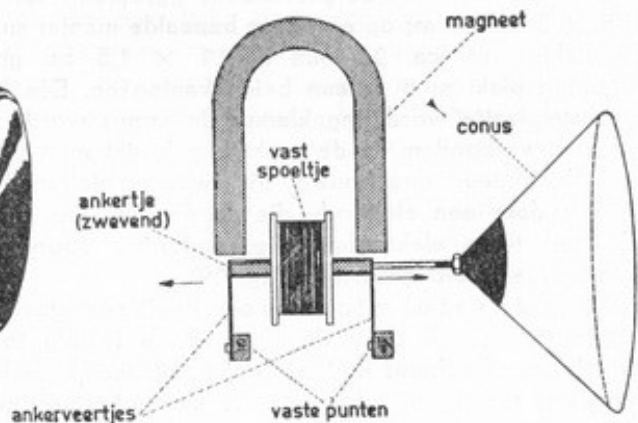


fig. 24

De tweede fase was: de toeter te vervangen door een conus, met een staafje aangedreven door de trilplaat; de weergave van de lage tonen ging hierdoor vooruit, maar het klirren van de trilplaat tegen de magneetpooltjes was moeilijk te ontgaan. Toen kwam de „Freischwinger” in de mode (1929). Het „ankertje” zweefde inderdaad en werd òf door de éne òf door de andere magneetspoel aangetrokken, zonder die te kunnen raken (fig. 24). Tegenwoordig gebruiken we uitsluitend de

ELEKTRO-DYNAMISCHE LUIDSPREKERS.

Het principe behandelden we reeds bij de ED-microfoons, waarvan hij in wezen niet verschilt; zonder bezwaar kunnen we de ED-luidspreker als microfoon en de microfoon als luidspreker(tje) gebruiken.

Bij dit soort luidsprekers onderscheiden we twee hoofdvormen, n.l. met een elektromagneet, die door middel van elektrische stroom bekrachtigd moet worden en met een permanente staalmagneet (fig. 25 en 26).

Het eerstgenoemde type is het oudste; indertijd beschikte men niet over staalmagneten van de gewenste sterkte. Het bezwaar van bekrachtigde luidsprekers ligt voor de hand: twee extra draden voor de bekrachtiging en stroomverbruik, dat tot 12 watt = kan bedragen. Overigens kan de magneetwikkeling gevoed worden met een lage spanning, b.v. 8 volt bij 1,5 A =, of met hoogspanning b.v. 180 V bij 65 mA; dat hangt af van de gebruikte draaddikte en beschikbare voedingsbron.

Is de wikkeling bestemd voor aansluiting op hoge gelijkgerichte spanning, dan kan het afvlakfilter eenvoudig zijn; een grote C, b.v. 16 μ F geschakeld over de spoel is voldoende. Gebruiken we echter een laagspanningswikkeling, b.v. voor 6 of 8 volt, dan moet de filter-C minstens 4000 μ F zijn, een lastig te verkrijgen artikel. Een accu levert in dit opzicht een ideale bekrachtigingsstroom.

Vaak liet men de bekrachtigingsspoel de plaats innemen van de afvlakmoorspoel in ons anodevoedingsapparaat. Op deze manier had men dus geen afzonderlijke „bekrachtiging” nodig voor het luidsprekerveld; daar echter de spanningsval in een dergelijke bekrachtigingsspoel groter is dan van een normale afvlakmoorspoel, moest men bij het ontwerpen van een dergelijke anode-voedingsapparaat van hogere wisselspanning uitgaan. Omdat de ijzerkern van de bekrachtigingsspoel in de

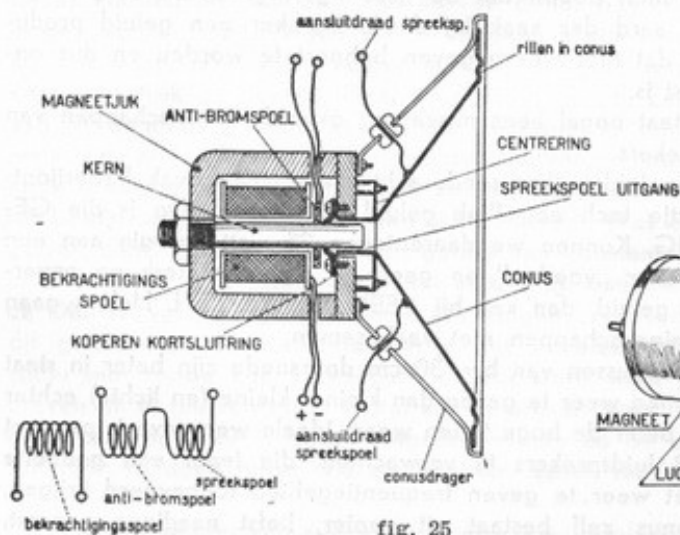


fig. 25

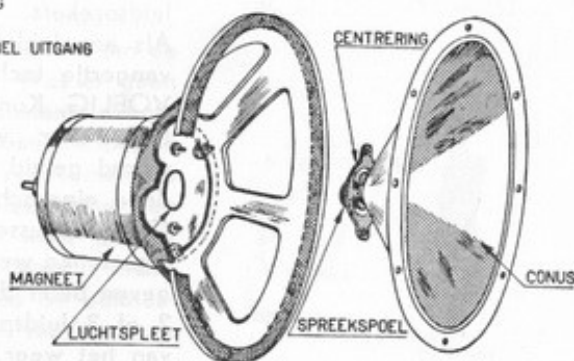


fig. 26

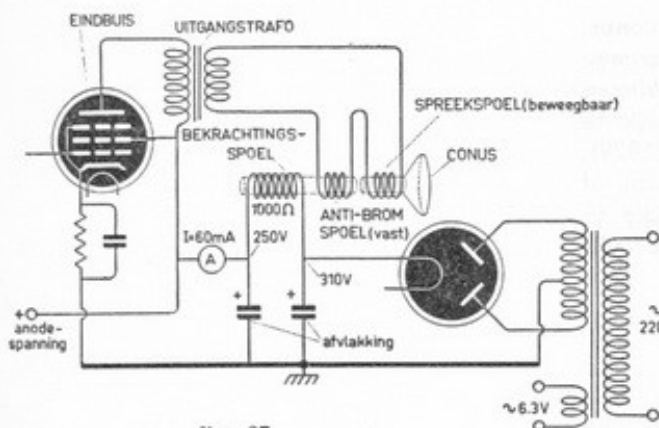


fig. 27

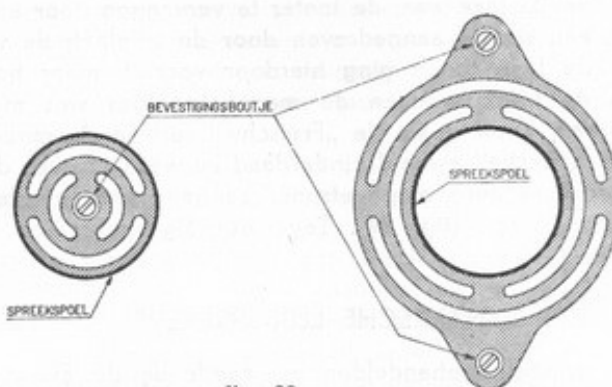


fig. 28

regel sterk verzaaid werd op deze manier, bleef het brompeil van de anode-voedingsspanning te hoog.

Daarnaast induceert deze bekrachtigings- of veldspoel een brom in het spreekspoeltje.

Een antibrom-spoel, in serie geschakeld met de spreekspoel en naast de bekrachtigingsspoel vast op de kern geschoven, heft de in de spreekspoel geïnduceerde bromspanning op (fig. 27).

Bij de permanente magneten heeft men geen last van brom; een zeer sterk veld kan worden verkregen door toepassing van moderne legeringen, of materialen, zoals alnico (ijzer met toevoeging van aluminium, nikkel en cobalt), ticonal I en II, terwijl Philips thans gebruik maakt van een keramisch magnetisch materiaal, het ferroxdure, dat meer op aardewerk dan op staal lijkt doch superieure magnetische eigenschappen bezit.

De spreekspoel, die in dit veld zich beweegt, is met kit aan de conus bevestigd: natuurlijk moet die spoel vrij zweven en daarom passen we centrering toe, binnen- of buiten-centrering, die zich in of om de spreekspoel bevindt; deze centreringen laten toe, dat de spoel zich in en uit de luchtspleet kan bewegen, doch verhinderen elke zijdelingse beweging van de spoel (fig. 28).

De conus is soepel aan de buitenrand bevestigd.

Tenslotte is nabij de luchtspleet een roodkoperen kortsluitring aangebracht; deze werkt als kortsluitring op de spreekspoel en dempt de bewegingen. Want een conus heeft, evenals elk ander bewegend onderdeel de neiging om niet onmiddellijk stil te staan als de aandrijvende stroom nul wordt; men noemt dat de „uitslingeringsverschijnselen", die uit de aard der zaak bij de luidspreker een geluid produceren, dat niet weergegeven behoort te worden en dus ongewenst is.

Er bestaat nogal eens misvatting over de eigenschappen van luidsprekers.

Als een luidspreker reeds achter een zéér zwak batterijontvangertje toch een flink geluid laat horen, dan is die GEVOELIG. Kunnen we daarentegen 25 watt energie aan een luidspreker „voeden" en geeft hij dan een sterk en onvervormd geluid, dan kan hij VEEL VERWERKEN. Helaas gaan deze eigenschappen niet vaak samen.

Grote conussen van b.v. 30 cm doorsnede zijn beter in staat lage tonen weer te geven dan kleine: kleine (en lichte) echter geven beter de hoge tonen weer: ideale weergave is pas met 2 of 3 luidsprekers te verwachten, die ieder een gedeelte van het weer te geven frequentiegebied toegevoerd krijgen. De conus zelf bestaat uit papier, liefst naadloos geperst.

De spreekspoel bestaat uit 2 à 4 lagen koperdraad, gewikkeld op een zéér dunwandig spoelkokertje; de gelijkstroomweerstand bedraagt circa 3 tot 15 Ω ; de wisselstroomweerstand is niet voor alle frequenties gelijk; fabrikanten geven die meestal op bij 400 Hz; we vinden dan een waarde die ca 25 % meer bedraagt dan de gelijkstroomweerstand.

In verband met de geringere zelfinductie loopt de impedantie voor de hogere frequenties niet abnormaal op; voor de reeds eerder genoemde Freischwingers e.d. is dat wel het geval, vandaar de overdreven weergave van het middel en hoge toonregister bij die ouderwetse luidsprekers.

Een luidspreker-conus werkt als een luchtpomp; wanneer de lucht vóór de conus nu gemakkelijk om de rand naar achteren kan „weglekken”, is er van weergave van lage tonen geen sprake. De conus heeft dan geen „vat” op de lucht (fig. 29). We moeten daarom steeds een klankbord (baffle) van voldoende grootte en dikte toepassen, zo mogelijk 75 x 75 cm, dik 2 cm, waarbij de luidspreker niet precies in het midden gemonteerd dient te worden. In onze kleine woningen is een dergelijk scherm wat onhandig door zijn afmetingen; een gat in de muur is echter prima. Bij radiokasten moeten wij het in de breedte en hoogte, maar niet in de diepte zoeken; anders treden voor bepaalde lage tonen resonanties op, die onaangename boem-boem-geluiden veroorzaken*). Bovendien is het ontoelaatbaar om de kast dicht tegen de muur te plaatsen; de reeds beschreven moeilijkheden worden hierdoor maar vergroot. De gunstigste opstelling is in een hoek van de kamer. Een goede vondst zijn de z.g. basreflex-kasten, waarbij alle boem-boem-geluiden worden vermeden en toch een voldoende belasting voor de conus wordt verkregen bij het weergeven van de lage tonen (fig. 30).

Omdat hoge tonen slechts binnen een nauwe hoek worden uitgestraald, past men klankverspreiders van bakeliet of een ander hard materiaal toe, waardoor de uitstralingshoek groter wordt (fig. 31). Overigens moeten we met het oog hierop een luidspreker steeds op „oorhoogte” monteren.

Bij werken in open lucht zijn klankborden onpraktisch en past men richtluidsprekers toe met metalen geluidstrechters. (Zie fig. 1).

GRAMMOFOON

Reeds voordat de radiobuis zijn intrede deed, was Edison er in geslaagd geluidstrillingen vast te leggen: in blik te stoppen als het ware. Via een trechter werden de geluidstrillingen naar een strak gespannen vlies, membraan, geleid. Een daaraan verbonden beiteltje kerfde de trillingen in een zacht materiaal, een cilindrische wasrol, die langzaam ronddraaide en al draaiend opgeschoven werd, zodat er een spiraal om de rol beschreven werd, net als een schroefdraad. Was er geen geluid, dan kerfde de beitel een gootje van constante diepte in de rol (fig. 32); kwam de beitel in trilling, dan vertoonde de DIEPTE van dat gootje echter afwijkingen. Wilde men nu dit geluid reproduceren, dan werd het beiteltje door een stiftje met ronde kop vervangen, de rol werd weer aangedreven en in plaats van de beitel aan te drijven werd 't membraan zelf nu door 't stiftje aangedreven om zo de geluidstrillingen te doen horen via de trechter. Later verving men

*) Wat resonanties zijn zullen we in een later hoofdstuk zien.

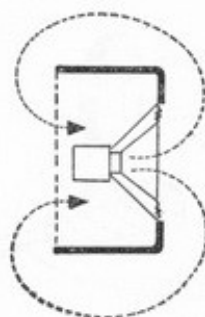


fig. 29

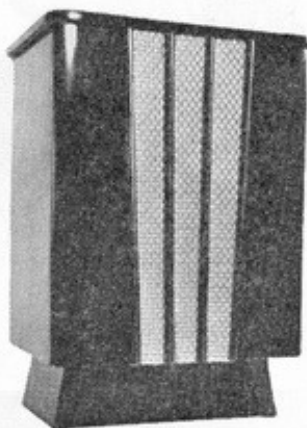


fig. 30
Basreflex-kast type Verdi



fig. 31 (zie ook fig. 6)



fig. 32

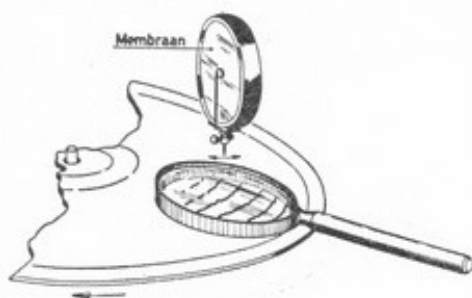


fig. 33

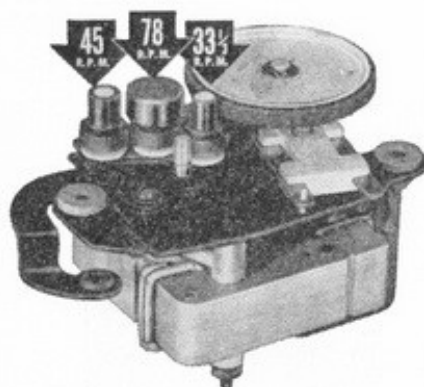


fig. 34

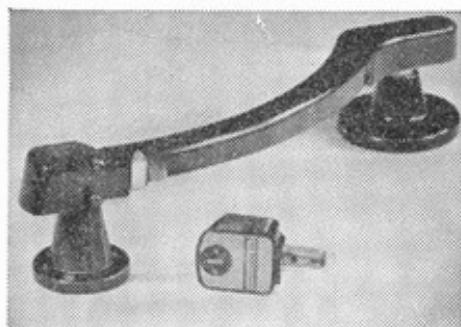


fig. 35

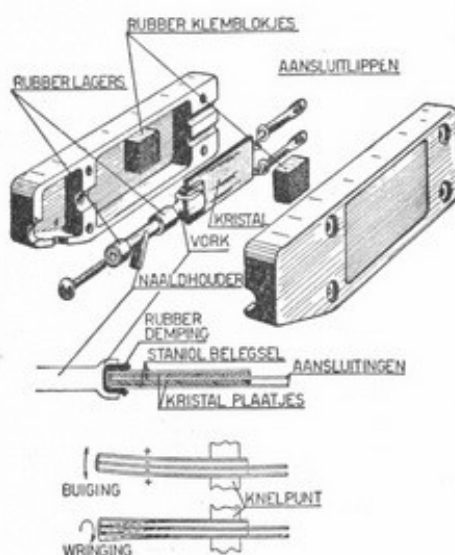


fig. 36

de rol door een vlakke plaat, terwijl de geluidsindrukken (de modulatie) nu niet in de DIEPTE maar in de BREEDTE worden „geschreven”, dus als een zijdelingse afwijking van de op de plaat beschreven spiraal; de goot-diepte blijft hierbij dus constant (z.g. Berliner-schrift) (fig. 33).

Het afspelen ging weer op dezelfde manier. We hebben nu meteen een grafische voorstelling van de geluidstrillingen: inderdaad zijn het grillige lijnen, die in de grond van de zaak samenstellingen zijn van sinuslijnen van verschillende frequentie (trillingsgetal) en amplitude (uitwijking).

Bij het opname-procedé worden de luchttrillingen door een microfoon in elektrische trillingen veranderd en dan in versterkers versterkt; het graveren van de groef geschiedt b.v. met een elektro-dynamisch systeem, waarbij de conus vervangen is door een snijdiamant op de beweegbare arm. De grammofoonplaten zijn in hoofdzaak ontwikkeld voor 78 omw. per minuut; om de speeltijd te verlengen heeft men: a) de groeven fijner gemaakt en dichter op één gelegd en b) de draaisnelheid verlaagd o.a. op $33\frac{1}{3}$ omw./min. en 45 omw./min.; de verschillende grote firma's zitten elkaar hier danig mee dwars, en wij ondervinden de last: motoren met verschillende draaisnelheden en verschillende saffiersoorten hebben we nodig (fig. 34). Om echter deze z.g. micro-groefplaten mogelijk te maken, moest men de amplitude (uitwijking) van de lage tonen flink besnoeien; om de hoge tonen niet in het geruis te doen verdrinken past men zeer fijn korrelig plaatmateriaal toe. Naast tooncorrectie kan deze „overdrijving” van de hoge tonen en het tekort aan lage tonen met behulp van z.g. tooncorrectiefilters weer opgeheven worden bij het afspelen.

AFSPEEL-PICKUP

Om de in de groef vastgelegde trillingen weer in geluid om te zetten gebruiken we de z.g. pickup (fig. 35).

Dit kan een piëzo-elektrische zijn met het reeds bij de kristal-microfoon genoemde kristalplaatje, dat door de naaldbe-weging in trilling wordt gebracht en spanningen afgeeft, soms wel van $\frac{1}{2}$ volt (fig. 36). Om een behoorlijke weergave van hoge tonen te verkrijgen streeft men er naar alles licht te houden; de vrij zware naald, die bovendien een flinke plaat-slijtage veroorzaakt, is vervangen door een klein saffier- of diamantpuntje, dat lang meegaat. De druk op de plaat is verminderd door de pickup met een veer te ontlasten. Om eigen-resonanties te ontgaan zijn de afmetingen van het kristalelementje verkleind; de spanningen dalen helaas daardoor óók. De pickup-arm mag niet te kort zijn anders „vreest” de naald of saffier in de plaat, doordat hij scheef op de groef komt te staan.

Een andere pickup-vorm is de elektromagnetische, waarbij een ijzeren ankertje, dat tussen twee magneet-polen kan be-wegen; om het ankertje zit een spoeltje en aan het eind er van een naald of saffierpunt (fig. 35 en 37). Door de be-wegende delen maar licht te houden heeft men de op dit principe berustende pickup geperfectionneerd. Tenslotte komt de elektro-dynamische pickup, maar nu van ultra lichte con-structie weer bij verschillende firma's in de gunst.

VERSTERKERS

Nadat we de kop en de staart van de geluidstechniek gezien

hebben, blijft de eigenlijke versterker nog over; wij zullen eens even resumeren waarom 't hierbij gaat: We beschikken over een ingangsspanning, afkomstig uit microfoon, pickup of radio, van resp. 0,008 V, 0,1 V, of circa 1 volt.

Wij willen één of meer luidsprekers laten werken. Zitten we in een rustige kamer zonder straatruis, dan is 50 milli-watt geluidsenergie reeds voldoende, maar voor huiskamergebruik is 2 à 3 watt wisselstroomvermogen niet te veel in de zware passages; vooral de lage tonen vragen veel energie.

In een grote zaal met veel mensen is 25 watt geen luxe; mensen en beklede stoelen absorberen veel geluid. En buiten, ja buiten verdwijnt het geluid als sneeuw voor de zon en is per luidspreker een vermogen van 10 watt heel gewoon.

Het berekenen van versterkers valt buiten het kader van deze cursus: we zullen echter eens kritisch een eenvoudige versterker de revue laten passeren; we kiezen hiervoor een beproefd ontwerp uit Jongens Radio 4 en wel de UN2 (fig. 38).

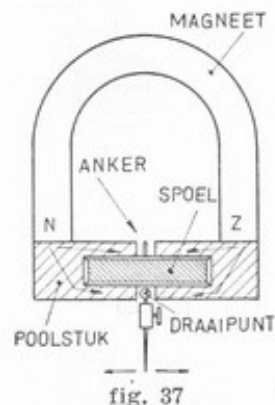


fig. 37



Een voorbeeld van een bouwmap voor een versterker, zoals die door de Muiderkring worden uitgegeven.

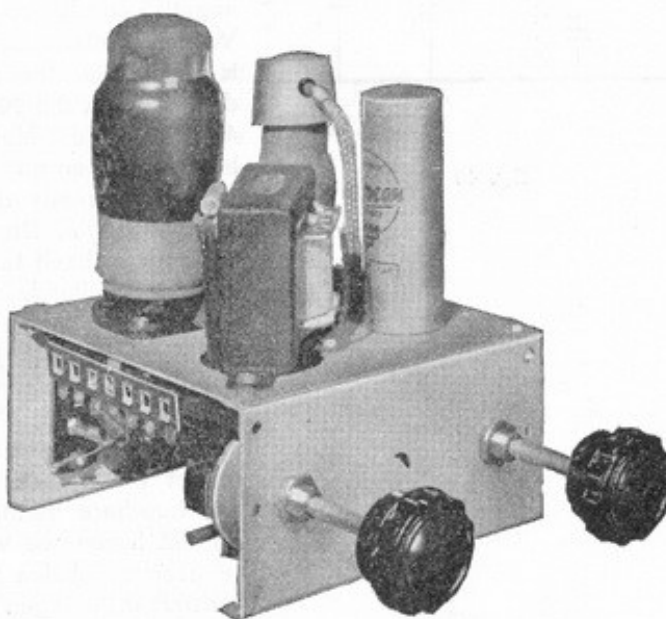


fig. 38

Naar de toegepaste schakeling worden versterkers in klassen A, A-B en B verdeeld; we beginnen in dit schema met de A-klasse.

Dit is een vrij eenvoudige versterker die feitelijk weinig of niets afwijkt van het laagfrequent-gedeelte van een normaal huiskamer-radiotoestel. We geven in fig. 38 het aanzicht van de complete versterker en in fig. 41 het schema, ontdaan van de franje.

De eindbuis is een EL3, met zijcontact — of P-huls dus. In het MK-buizenboek lezen we dat de gloeispanning $6.3 V_{\infty}$ is en de anodespanning $V_a 250 V_{\infty}$, bij een anodestroom I_a van 36 mA; de schermroosterspanning V_s en schermroosterstroom I_s zijn resp. $250 V_{\infty}$ en 4 mA. Als gunstigste belastingweerstand wordt 7000 ohm opgegeven; max. opgenomen gelijkstroomenergie (van anode + schermrooster) = 9 watt en met maximaal af te geven wisselstroomvermogen is 4,5 watt. De vervorming wordt niet vermeld, maar zal bij de 7 % liggen. De steilheid is hoog n.l. 9 mA/V.

De negatieve roosterspanning bedraagt —6 volt; om automati-

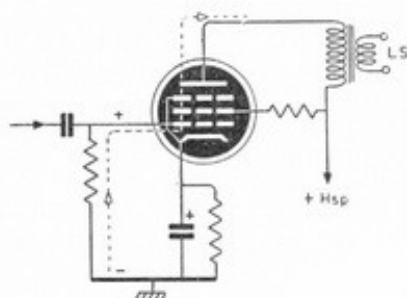


fig. 39

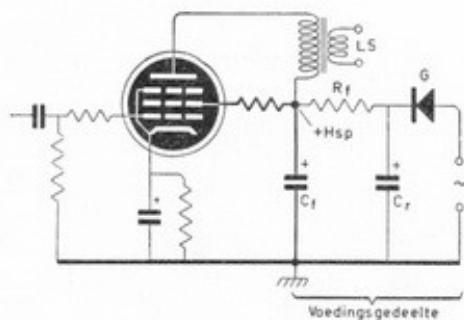


fig. 40

sche neg. roosterspanning te verkrijgen passen we in de toevoerleiding naar de katode een weerstand toe, berekend volgens de wet van Ohm. ($E = I \times R$).

$I_a + I_s = 36 + 4 = 40 \text{ mA (0.04 A.)}$ $E = V_g = 6 \text{ V}$;

$$R = \frac{V_g}{I_a + I_s} = \frac{6}{0.04} = \frac{600}{4} = 150 \Omega$$

Dit is R11 in figuur 41.

Bij eindbuizen mogen wij de roosterweerstand naar aarde, R 10 nooit groter maken dan $0.5 \text{ m}\Omega = 500000 \Omega = 500$ kilohm in verband met z.g. omgekeerde roosterstroom. Deze omgekeerde roosterstroom loopt o.a., wanneer er emitterend materiaal op het rooster gekomen is; het rooster, dat door de stralingswarmte van de katode verhit wordt, gaat dan als katode fungeren en er loopt dan een stroom van aarde, via roosterweerstand en rooster naar de anode van de buis, waardoor het rooster méér positief en dus minder negatief wordt dan het behoort te zijn (fig. 39).

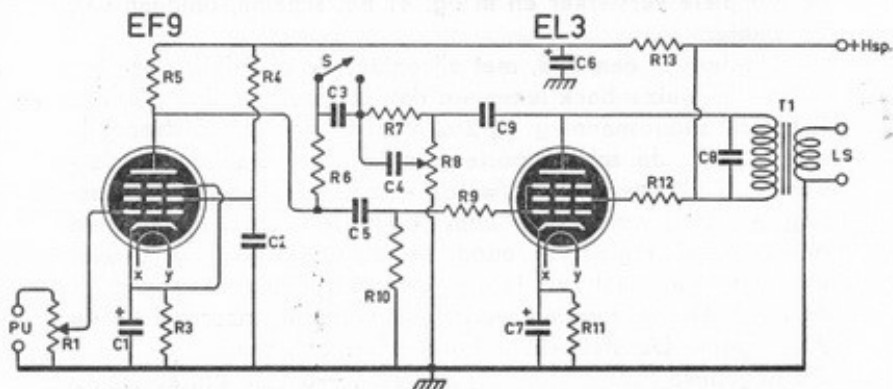
Vooral bij steile eindbuizen kan dit verschijnsel optreden; het is zaak de roosterweerstand beneden de hier toegepaste waarde van circa $0.5 \text{ M}\Omega$ te houden. Volgens de stuklijst is deze 470 kilohm, dat klopt dus.

Maar wat doen nu die weerstanden R9 en R12 in het schema? We zagen reeds, dat we met een steile buis te maken hebben: 9 mA/V. Dergelijke buizen hebben de aardigheid zo maar uit zichzelf te gaan genereren, d.w.z. het systeem raakt door verschillende, vaak willekeurige omstandigheden in een elektrische trilling; hij genereert dus; hierbij spelen vaak op het oog onbelangrijke eindjes draadverbinding en inwendige buiscapaciteiten een rol. De frequentie ligt als regel in 't onhoorbare gebied, 40 à 50000 Hz; we noemen dat *parasitair genereren*. Denk echter niet dat het niet hindert, omdat we 't toch niet horen! Neen, als daarbij nog onze wel hoorbare trillingen komen, raakt de buis flink overbelast en dat horen we wel degelijk. Om dit genereren nu tegen te gaan schakelen we vlak voor de rooster- en de schermroosteraansluitingen een z.g. stopweerstand. Aan de roosterkant mag dit wel 1000Ω zijn, want we weten dat er tóch geen stroom door die weerstand loopt. Maar gróter mag ook weer niet, want dan vormt die weerstand R9 met de inwendige buiscapaciteiten weer een filter, dat onze hoge tonen afsnijdt! Aan de schermroosterkant is 100Ω al veel: elektrisch gesproken ligt het schermrooster aan $+250 \text{ V}$, maar voor wisselspanningen behoort het absoluut aan aarde te liggen, daar het anders zijn taak als „Scherm” niet zou kunnen vervullen. Via de afvlakcondensator in de voeding ligt het inderdaad voor wisselspanning aan aarde (fig. 40), mits die R12

fig. 41

R5, R6, R7, R8 met C3 en C4 vormen in dit schema het tegenkoppeling circuit; zie hiervoor fig. 59b.

R1 =	470 kilohm
R3 =	1 kilohm
R4 =	390 kilohm
R5 =	100 kilohm
R6 =	820 kilohm
R7 =	470 kilohm
R8 =	220 kilohm
R9 =	1 kilohm
R10 =	470 kilohm
R11 =	150 kilohm
R12 =	100 ohm
R13 =	3.3 kilohm
C1 =	100 $\mu\text{F}/12 \text{ volt}$
C2 =	0.1 μF
C3 =	330 pF
C4 =	470 pF
C5 =	0.02 μF
C6 =	32 μF
C7 =	100 $\mu\text{F}/12 \text{ volt}$
C8 =	1000 pF
C9 =	0.1 μF
T1 =	uitgangstransformator



maar niet groter is dan 100Ω .

We hebben in een vorige les gezien, dat het ongewenst is om in de anodekring van de eindbuis een weerstand op te nemen; de spanning op de anode zou door de grote stroom te laag worden.

Een laagfrequente smoorspoel heeft dit bezwaar niet; we zouden dus een smoorspoel in de anodekring kunnen opnemen, zoals we in fig. 50 en 51 van les 5 zagen en dan, eventueel via een condensator, de wisselstroom toevoeren aan de spreekspoel van de ED-luidspreker.

Nu is het constructief onmogelijk om die spreekspoel te vervaardigen met een wisselstroomweerstand van 7000Ω ; dat zou héél veel en dun draad betekenen. Maar volgens het buizenboek heeft die EL3 toch wel degelijk een belastingsweerstand nodig met een waarde van $R_a = 7000 \Omega$, daaraan valt niet te tornen. We moeten dus helemaal afstappen van 't denkbeeld om een smoorspoel met koppelcondensator te gebruiken; bovendien is er een véél eleganter oplossing en wel de uitgangstransformator, zie T in fig. 41 en 42. Hierbij kunnen we dan gebruik maken van een luidspreker, waarop een laagohmige spreekspoel gewikkeld is; meestal is de waarde 3 of 5Ω , maar 15 ohm komt óók voor. Die transformator slaat dus de brug tussen de vereiste belastingweerstand, die voor de EL3 7000Ω bedraagt en de spreekspoelweerstand, die b.v. 5Ω bedraagt. Hóe, dat zullen we nu gaan zien.

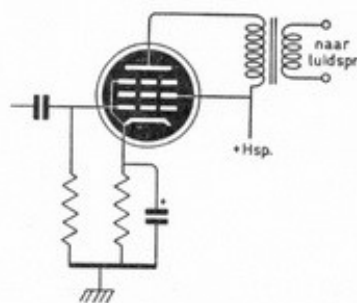


fig. 42

UITGANGSTRANSFORMATOR

Op vele punten wijkt een uitgangstransformator sterk van een net-transformator af: deze moet op de netfrequentie, 50 perioden goed kunnen werken en daarmee uit.

Onze uitgangstransformator moet echter niet alleen frequenties van 30 Hz kunnen overdragen, maar óók nog van 7000 Hz; liefst nóg hoger.

Voor de lage frequenties is een hoge zelfinductie nodig, dus: grote kern, veel windingen. En omdat de primaire door een vrij grote gelijkstroom wordt doorlopen, moet een luchtspleet worden toegepast; ook een laagfrequent smoorspoel zou op deze plaats trouwens van een luchtspleet voorzien moeten zijn, dus: nog meer windingen. Maar voor de hoge tonen moeten we juist een zo laag mogelijke eigencapaciteit zien te verkrijgen, dus: weinig windingen.

Want die eigencapaciteit is niets anders dan de condensatorwerking van de draadwindingen onderling; in fig. 43 is die eigencapaciteit gestippeld getekend. Hoe minder windingen, des te lager de eigencapaciteit.

Uiteindelijk is onze laagfrequenttransformator een compromis, een middenweg tussen twee kwade zaken; het is het verstandigst er een van een goede fabrikant te kopen; er zijn verschillende typen met uitstekende eigenschappen aan de markt.

Overigens moeten we nog even nagaan welke WIKKELVERHOUDINGEN zo'n transformator moet bezitten. Om redenen als hierboven opgesomd (gelijkstroomvoormagnetisering, zelfinductie, over te dragen wisselstroomvermogen) is voor een bepaalde kernafmeting een primaire wikkeling van b.v. 5000 windingen nodig; dat is ons punt van uitgang. We moeten maar aannemen dat dit zo is; de berekening is ingewikkeld.

We schrijven dit zo: $n_{prim} = 5000$.

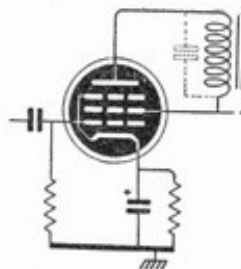
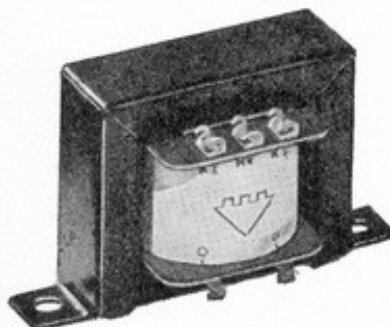


fig. 43



Een type uitgangstransformator zoals dat wordt gebruikt in kleine versterkers en radio-toestellen

Maximaal wisselstroomvermogen krijgen we pas uit onze EL3 als de belastingweerstand $R_u = 7000 \Omega$. En onze spreekspoel is maar b.v. 5Ω !

We moeten het secundaire windingtal n_{sec} van de transformator dus zó kiezen, dat de spreekspoelweerstand van 5Ω „opgetransformeerd” wordt tot 7000Ω .

Ook in dit opzicht verschilt de uitgangstransformator van een net-transformator: daar gaan we van spanningen uit en bepalen daarnaar de wikkilverhoudingen. Hier zijn het echter **WEERSTANDEN** waardoor een maximale wisselstroom wordt verlangd: dán pas hebben we maximale output!

Welnu, met een transformator „transformeert” men een weerstand van de secundaire naar de primaire zijde, door hem met de wikkilverhouding in het kwadraat te vermenigvuldigen of, in formule uitgedrukt:

$$R_{prim} = R_{sec} \times \left\{ \frac{n_{prim}}{n_{sec}} \right\}^2$$

n_{prim} betekent hier dus het aantal windingen op de primaire; n_{sec} het aantal op de secundaire. Dit lijkt misschien moeilijk maar wanneer we het op een andere manier bekijken, zien we dat het doodeenvoudig is.

Stel, dat we een transformator hebben met een wikkilver-

$$\text{houding } \frac{n_{prim}}{n_{sec}} = \frac{1000}{500} = 2 \text{ (fig. 44); als we die op } 10 \text{ V}$$

wisselspanning aansluiten is de secundaire spanning dus 5 volt. Sluiten we hierop een weerstand A_{sec} van 2Ω aan, dan loopt er door die weerstand en de secundaire wikkeling volgens Ohm: $I_{sec} = \frac{5}{2} = 2\frac{1}{2} \text{ A}$ en het secundaire vermogen is dan $W_{sec} = 5 \times 2\frac{1}{2} = 12\frac{1}{2} \text{ watt}$; het primaire vermogen is, afgezien van transformatorverliezen, even groot, dus $W_{prim} = 12\frac{1}{2} \text{ watt}$.

Via de transformator neemt onze weerstand van 2Ω een vermogen van $12\frac{1}{2} \text{ watt}$ uit de wisselspanningsbron van 10 V op.

De vraag is nu: hoe groot is nu de weerstand, die zonder transformator, óók $12\frac{1}{2} \text{ watt}$ opneemt bij aansluiting op 10 V $\sim$?

In les 1 op pag. 19 leerden we dat $W = I \times E$. We kunnen dus I berekenen:

$$I = \frac{W}{E} = \frac{12\frac{1}{2}}{10} = \frac{125}{100} = 1.25 \text{ A}$$

Om nu te weten hoe groot die weerstand is passen we de wet van Ohm toe:

$$E = I \times R \text{ of: } R = \frac{E}{I} = \frac{10}{1.25} = 8 \Omega$$

We noemen deze 8Ω nu R_{prim} .

We zien nu, dat een weerstand van 8Ω , rechtstreeks op de spanningbron van 10 V aangesloten, hetzelfde vermogen ($12\frac{1}{2} \text{ watt}$) opneemt als een weerstand van 2Ω , die via een transformator met een verhouding van 2:1 op diezelfde spanningbron wordt aangesloten.

Nu gaan we ter controle eens de formule toepassen:

Volgens de formule is $R_{prim} = R_{sec} \times \left\{ \frac{n_{prim}}{n_{sec}} \right\}^2$ of inge-

$$\text{vuld: } R_{prim} = 2 \times \left\{ \frac{2}{1} \right\}^2 = 2 \times 2^2 = 2 \times 4 = 8 \Omega.$$

Inderdaad verkrijgen we dezelfde uitkomst (fig. 44) en we zien hieruit, dat we op eenvoudige wijze de „opgetransformeerde” waarde van een weerstand kunnen berekenen; uit de aard der zaak kunnen we met behulp van deze formule even gemakkelijk de „neergetransformeerde” waarde R_{sec} berekenen, wanneer we van een gegeven waarde van R_{prim} moeten uitgaan.

Met onze uitgangstransformator gaat 't net zo. De weerstand van de spreekspoel van 5Ω , op de secundaire van de transformator aangesloten, moet dezelfde uitwerking hebben als een weerstand van 7000Ω , de voorgeschreven R_a van de eindbuis EL3.

$$R_{prim} = R_{sec} \times \left\{ \frac{n_{prim}}{n_{sec}} \right\}^2 \text{ of: } 7000 = 5 \times \left\{ \frac{n_{prim}}{n_{sec}} \right\}^2$$

N_{prim} was reeds bekend als 5000 windingen (denk er om, dat dit aantal windingen als voorbeeld gekozen is en slechts geldt voor een bepaalde transformator!).

$$7000 = 5 \times \left\{ \frac{5000}{n_{sec}} \right\}^2$$

$$\frac{7000}{5} = \left\{ \frac{5000}{n_{sec}} \right\}^2 \text{ of: } 1400 = \left\{ \frac{5000}{n_{sec}} \right\}^2$$

Uit beide leden van deze vergelijking moeten we nu de wortel trekken:

$$\sqrt{1400} = \frac{5000}{n_{sec}} \text{ of:}$$

$$n_{sec} = \frac{5000}{\sqrt{1400}} = \frac{5000}{37,4} = 134 \text{ windingen.}$$

Een uitgangstransformator met primair 5000 windingen en secundair 134 windingen vormt voor onze spreekspoel van 5Ω de juiste belasting voor de EL3 eindbuis! Overigens moeten we niet denken, dat dat aantal van 5000 windingen uit de lucht gegrepen is; dit hangt nauw samen met de kerndoorsnede, het gebruikte transformatorblik en het over te brengen vermogen. Meestal hebben deze transformatoren nog vrij veel verliezen; een rendement voor de transformator alléén van 70 % is al héél mooi. Die manipulatie met de uitgangstransformator en de spreekspoel noemen we de

AANPASSING

Die aanpassing is een belangrijke zaak. Klopt deze n.l. niet helemaal, dan zullen we nimmer de maximale wisselstroomoverdracht van buis op spreekspoel kunnen bereiken. In het algemeen mogen we zeggen, dat de aanpassing slechts dan kritisch is, wanneer we de maximale output verlangen.

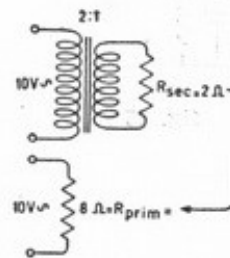


fig. 44

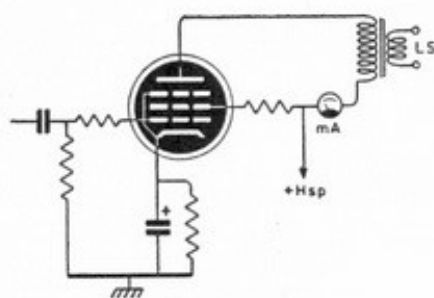


fig. 45

Een simpele methode om te zien of de aanpassing juist is, is wel de volgende: In de anodekring van de eindbuis nemen we een milli-ampèremeter op (fig. 45). Deze meter zal de ruststroom van de buis aanwijzen. Of de versterker nu werkt of niet, de wijzer mag niet schommelen, wat hij bij geringe output ook niet doen zal. Draaien we de volumeregeling nu verder open, dan zal de output toenemen en bij mis-aanpassing zal de wijzer bij sterker passages of een hogere of een lagere waarde aanwijzen. Welnu, in het eerste geval is er van onderaanpassing sprake en is dus de spreekspoelweerstand te laag ofwel de wikkilverhouding te klein; in het tweede geval hebben we met overaanpassing te maken en is de spreekspoelweerstand te hoog resp. de wikkilverhouding van de transformator te groot. Daar aan de spreekspoel niets te dokteren valt, dienen we in zulke gevallen de wikkilverhouding van de transformator te herzien.

Als regel zullen we zelf geen uitgangstransformator gaan fabriceren, maar het kan voorkomen dat we b.v. een transformator bezitten die berekend is op een spreekspoelweerstand van 5Ω en in 't bezit komen van een speaker met een spreekspoelweerstand van 15Ω . Uit het bovenstaande weten we hoe we de secundaire kunnen „omrekenen”. Hoeveel windingen er dan op de primaire liggen kan ons niet schelen, omdat het getal toch buiten de berekening valt. Maar tel goed het aantal secundaire windingen en bepaal de wikkilverhouding, die nodig is om b.v. van 5Ω op 15Ω te komen. Hoe hoger de weerstand, des te dunner mag de draad worden! Wordt b.v. het aantal windingen verdubbeld, dan moet de draad doorsnede dus gehalveerd worden! Dit is belangrijk met het oog op de beschikbare wikkeldruimte.

Over de primaire is nog een cond. C8 (fig. 41) van 1000 pF geschakeld om een overmaat van hoge tonen „af” te leiden naar aarde; wanneer radio-ontvangst wordt versterkt, worden op deze wijze tevens de eventueel nog aanwezige resten van hoogfrequente of radiofrequente trillingen (afgekort h.f. of r.f.) weggewerkt.

Overigens bestaat er een aardig kunstje om te weten te komen, welke verhoudingen een uitgangstransformator bezit: we verwijderen het strookje papier uit de luchtspleet, zodat we een transformator zonder luchtspleet krijgen, en sluiten de secundaire aan op een transformator, die b.v. 4 volt levert; op de primaire klemmen van onze transformator meten we de spanning met een wisselspanning-voltmeter. Is deze nu b.v. 160 V, dan is de verhouding $n_{\text{prim}} : n_{\text{sec}} = 160 : 4 = 40 : 1$ of: 40 op één.

Om de eindbuis EL3 uit te sturen, zoals dat heet, is een roosterwisselspanning van circa 5 V nodig. Deze wordt hem toegediend via de roostercondensator C5 (fig. 46) en dat is maar

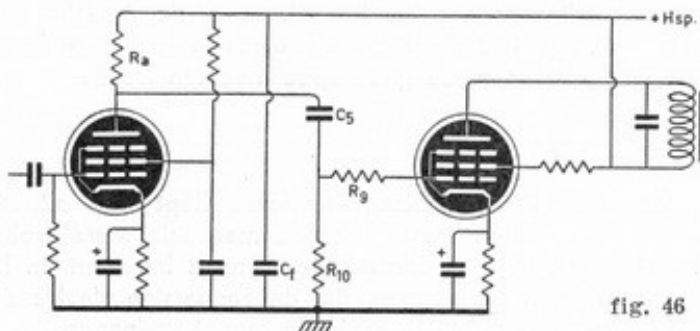


fig. 46

goed ook, want deze vormt een „isolatie” voor de hoge gelijkspanning op de anode van de voorversterkerbuis (pentode). Deze condensator moet van zéér goede kwaliteit zijn; hij behoeft heus niet eens erg slecht te zijn om een positieve spanning op het rooster van de eindbuis te brengen in plaats van een negatieve en dan is het zéér snel gedaan met onze eindbuis.

Nu zullen we de voorversterkerbuis met zijn omgeving eens bezien. Ook deze is indirect verhit en werkt op 6.3 V $\sim$. Automatische negatieve roosterspanning wordt op de gebruikelijke manier verkregen: daar het ook hier om laagfrequente trillingen gaat, is een elektrolytische condensator gebruikt, 100 μ F, werkspanning 12 V (fig. 47).

Een aardige schakeling, die thans vrij veel wordt toegepast en waarbij de weerstand voor de automatische negatieve roosterspanning met de elektrolytische condensator geheel kan vervallen, is die in fig. 48. De roosterweerstand is hier 10 à 12 M Ω . De werking van de schakeling berust op het z.g. contact potentiaal: door deze zeer hoge weerstand loopt een zeer klein elektronenstroompje (zie les 5); hier is dus geen sprake van omgekeerde roosterstroom zoals in fig. 39 werd getekend, maar een stroom die van de katode via het rooster en de roosterweerstand naar aarde loopt. Dit stroompje is echter zeer klein, circa $\frac{1}{4}$ micro-ampère, 0.0000025 A. Wanneer nu de roosterweerstand een waarde heeft van 10 M Ω , 10.000.000 Ω , dan zal volgens Ohm de spanningsval in die weerstand 2,5 volt bedragen en heeft het rooster een negatieve spanning van 2½ volt t.o.v. aarde, en dus ook t.o.v. de katode. Dit geldt niet alleen voor pentoden doch ook voor trioden.

De roostercondensator C moet hier zéér lekvrij zijn. Voor buizen, die een grotere negatieve roosterspanning nodig hebben is deze schakeling natuurlijk niet te gebruiken.

De schermroosterspanning is belangrijk lager dan de anodespanning; als regel kiest men de serieweerstand 3 à 4 $\times$ zo groot als de anode-belastingweerstand, die in dit geval 100000 Ω = 100 k Ω is. Hier is dus een serieweerstand van 390000 Ω of 390 k Ω gebruikt (R4 — fig. 47). Als vuistregel kan men zeggen, dat de schermroosterstroom ca. $\frac{1}{3}$ van de anodestroom moet bedragen.

De gelijkspanning op het schermrooster zal ca 20 à 30 volt = bedragen; voor wisselspanningen moet het echter weer aan aarde liggen, vandaar de condensator C2 van 0.1 μ F (fig. 47).

WEERSTANDKOPPELING

Nu de anodeweerstand; de uitwendige belastingsweerstand R5, zoals we zagen is deze 100000 Ω , d.w.z. voor gelijkstroom.

Voor wisselstroom hebben we n.l. ook met de roosterweerstand van de eindbuis te maken, omdat die door de condensator C5 gewoon parallel geschakeld is! En nu zien we ook, dat het vaak veel uitmaakt hoe groot die condensator C5 is. Want we leerden, dat de weerstand van die C5 voor wisselstroom toeneemt als de frequentie afneemt. We geven even een paar voorbeeldjes. We nemen C5 2000 pF = 0.002 μ F.

Voor een frequentie van 200 Hz is de impedantie

$$Z_c = \frac{160000}{f \times C} = \frac{160000}{200 \times 0.002} = \frac{160000}{2 \times 0.2} = \frac{160000}{0.4} = \frac{1600000}{4} = 400000 \Omega.$$

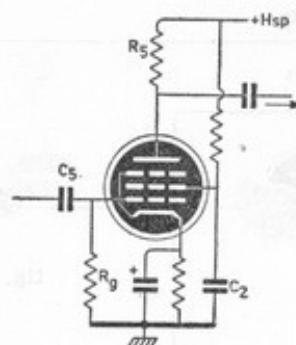


fig. 47

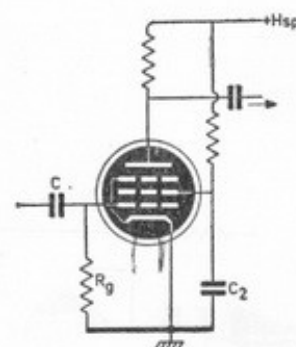


fig. 48

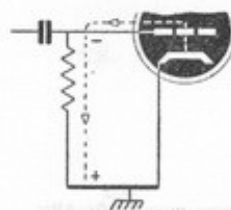


fig. 49

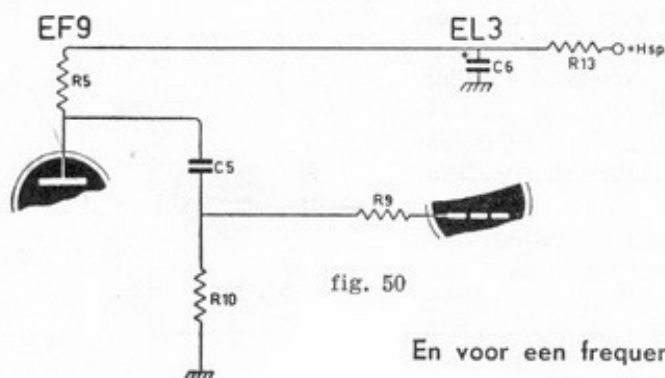


fig. 50

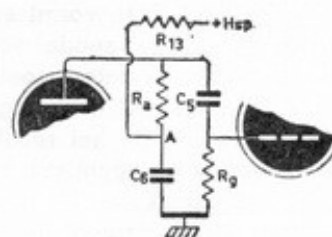


fig. 51

En voor een frequentie van 6000 Hz wordt dat

$$Z_c = \frac{160000}{6000 \times 0.002} = \frac{160000}{6 \times 2} = \frac{160000}{12} = 13400 \Omega.$$

Nemen we nu een condensator van $0.1 \mu\text{F}$ voor C_5 , dan is de weerstand voor 200 Hz:

$$Z_c = \frac{160000}{6000 \times 0.1} = \frac{160000}{600} = 8000 \Omega$$

en voor 6000 Hz is dat dan:

$$Z_c = \frac{160000}{6000 \times 0.1} = \frac{160000}{600} = 267 \Omega$$

Het is wel aardig om de anodekring van de voorversterker en de roosterkring van de eindbuis samen eens apart te tekenen (fig. 50), ontdaan van het klankregel- en tegenkoppelingscircuit.

C_6 is de ont koppel-condensator voor de anodevoeding. Voor wisselspanningen ligt punt A aan aarde, want C_6 is heel groot, $32 \mu\text{F}$. We mogen deze zaak dus ook voorstellen als in fig. 51. Duidelijk zien we de parallelschakeling van R_a en R_g via de koppelcondensator C_5 . Zie hierbij ook nog eens fig. 41 uit les 5.

Maar deze C kunnen we door de zoëven berekende wisselstroomweerstand R_c vervangen en nu krijgen we fig. 52. We zien dat R_c en R_a een spanningsdeler of potentiometer vormen en dat de spanning op het rooster van de eindbuis steeds lager zal zijn dan op de anode van de voorversterker en dat voor verschillende frequenties de waarde van R_c en dus ook de spanning op dat rooster verandert! Bovendien zien we, dat we in een bepaald schema nooit ongestraft C_5 of R_9 groter of kleiner mogen maken, want dan veranderen we de verhouding van een of twee weerstanden in een potentiometerschakeling en dus de signaalspanning op het rooster!

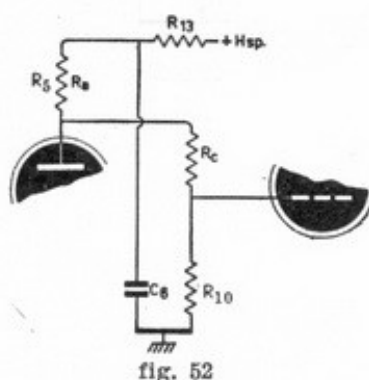


fig. 52

De z.g. stopweerstand R_9 (zie fig. 50) kunnen we gerust in deze beschouwing weglaten: hij levert slechts spanning aan het rooster en zoals we weten loopt er géén roosterstroom. Deze weerstand veroorzaakt dus géén spanningsval maar daar het rooster een zekere capaciteit t.o.v. de andere elektroden bezit, zal deze capaciteit in combinatie met de stopweerstand een filter werking voor hoge frequenties bezitten. Te hoog mag deze weerstand dus stellig niet zijn.

Het kiezen van de koppelcondensator C_5 is dus altijd een compromis, een combinatie van uiteenlopende eisen: de waarde van $0.02 \mu\text{F}$ (20000 pF) is een goede keuze. Omdat eventuele bromrimpels uit onze anodevoeding via deze koppel-

weerstand op 't rooster van de eindbuis belanden en daar rustig versterkt worden om via de luidspreker ons oor te bereiken, passen we een extra afvlakfiltertrap toe, R13—C6 (zie fig. 50 en 41).

Natuurlijk mogen we, wanneer we serieschakelingen van weerstanden en condensatoren beschouwen, niet vergeten, dat fazedraaiing optreedt en dat we dus de weerstand en de reactantie niet zomaar bij elkaar op mogen tellen bij het berekenen.

Zoals gezegd noemt men deze vorm van anodekoppeling weerstandkoppeling: in principe kan R5 door een smoorspoel met ijzerkern vervangen worden (fig. 53) en zelfs door een transformator (fig. 54); we spreken dan van SMOORSPOELKOPPELING en TRANSFORMATORKOPPELING.

Door een verhouding van 1:3 te nemen kunnen we een grotere versterking verkrijgen en toen de buizen vroeger nog een lage inwendige weerstand en lage versterking-cijfers toonden was de laagfrequente koppeltransformator in de mode. Omdat de primaire een behoorlijke zelfinductie moet bezitten (voor de lage tonen), moet de secundaire uit nog véél meer windingen bestaan, waardoor de eigen capaciteit tussen de windingen onderling toenam met als gevolg weinig hoge tonen; een l.f. koppeltransformator is uit kwaliteitsoogpunt verwerpelijk.

Nu blijft alleen nog maar over de:

INGANGSSCHAKELING

We dienen om te beginnen het begrip: ingangsimpedantie van de versterker te bezien. De feitelijke „ingang” van de versterker is het rooster en voor laagfrequent wisselspanningen mogen we de impedantie hiervan rustig op enige meg-ohms stellen.

De spanningsversterking van de EF9 in deze schakeling kunnen we op circa 100 stellen en wanneer we nu een pickup gebruiken die b.v. 0.5 V levert, ja, dan is de output aan de anode minstens 50 volt. Dat is dus rijkelijk veel, want de eindbuis heeft maar 6 V l.f. wisselspanning op zijn rooster nodig om „uitgestuurd” te worden. We moeten dus uitzien naar een middel om de input te „doseren” en dit doen we met een instelbare spanningsdeler of POTENTIOMETER R, ook wel volumeregelaar genoemd. We geven de schakeling even apart weer en stellen de pickup even als een dynamo voor, want dat is hij toch eigenlijk (fig. 55).

Op de ingangsklemmen staat dan de volle spanning en we brengen, door de contactarm (of slider) te verdraaien, net zoveel spanning op het rooster als voor ons doel nodig is. Natuurlijk is deze weerstand R1 van de potentiometer als de belasting van de pickup te beschouwen en nu stuiten we op een moeilijkheid. Een kristalpickup heeft een zeer hoge impedantie; zouden we die nu met een potentiometer van lage waarde belasten, dan zakt niet alleen de spanning in elkaar, doch tevens komen de lage tonen in 't gedrang. Een waarde van $470000\ \Omega$ (470 k Ω) is hier dus geboden.

Elektromagnetische pickups hebben een véél lagere impedantie; een potentiometer van $50000\ \Omega$ is hier reeds uitstekend bruikbaar. Meestal echter hebben elektromagnetische pickups „pieken” in hun weergavekarakteristiek. Door nu een bepaalde waarde te kiezen voor R1 kan de fabrikant de karakteristiek van zijn pickup verbeteren; gebruik bij kwaliteitspickups daarom steeds de voorgeschreven potentiometer!

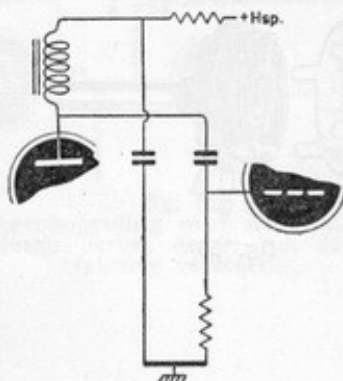


fig. 53

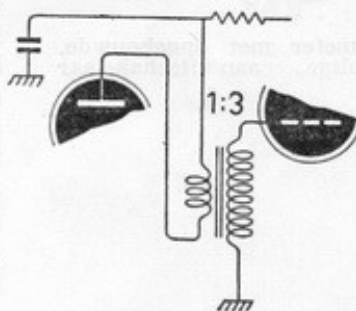


fig. 54

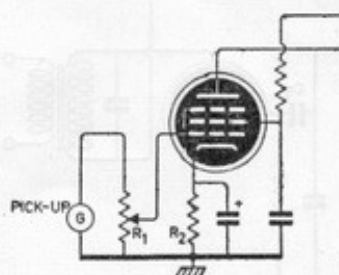


fig. 55

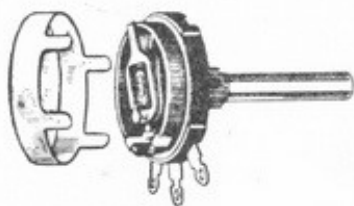
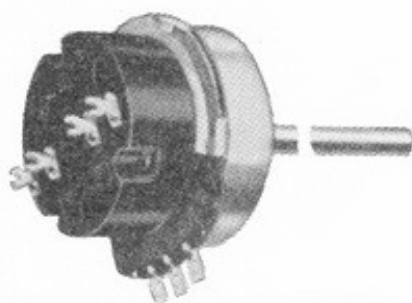


fig. 56



Potentiometer met opgebouwde, dubbelpolige, aan/uitschakelaar

STERKTEREGELING

Een potentiometer van deze grootte is niet met gewonden weerstandsdraad te verwezenlijken; in de plaats hiervan laten wij het glijcontact over een ringvormig kool-laagje lopen (fig. 56). Dit kool-laagje is op isolatiemateriaal „neergeslagen”, zoals men dat noemt.

Nu is het met die sterkteregeling niet zo: $2 \times$ zoveel spanning op het rooster, muziek $2 \times$ zo luid, neen, ons oor is beveiligd tegen „overbelasting”.

Om iets werkelijk $2 \times$ zo luid te „horen” moet de spanning héél wat meer dan $2 \times$ zo groot zijn. Zouden we nu de weerstandlaag gelijkmatig „uitsmeren”, zodat elke verdraaiing van de knop van b.v. 20° evenredig de spanning doet dalen, dan bleek dat voor de overgang van zéér luid op zéér zacht maar een onhandig kleine verdraaiing van de knop nodig was. Thans maken we die potentiometer z.g. logaritmisch, d.w.z. bij de rechter stuitnok betekent 20° verdraaiing een veel grotere weerstandverandering dan in de omgeving van de linker stuitnok!

Het is om deze reden, dat we in de versterkertechniek nimmer zeggen: de output is $2 \times$ zo groot of: de input moet $3 \times$ zo klein zijn. Neen, men gebruikt hiervoor het begrip DECIBEL (db), dat $\frac{1}{10}$ Bell voorstelt. Men werkt hierbij met de logaritmische van de sterkteverhouding, hetgeen medebrengt dat we verschillende versterkingen of verzwakkingen bij elkaar kunnen optellen, zoals dat bij de logaritmen gebruikelijk is. Daar logaritmen voor velen een begrip op zichzelf vormen, zal hier niet verder op ingegaan worden; vermeld wordt nog, dat men naast de decibel ook nog de Neper (Np) kent, die precies dezelfde rol vervult, doch uitsluitend in de telefoontechniek toegepast wordt; hierbij gebruikt men de natuurlijke logaritmen, terwijl men bij de decibel op de Briggsse logaritmen gebaseerd is.

KLANKREGELING

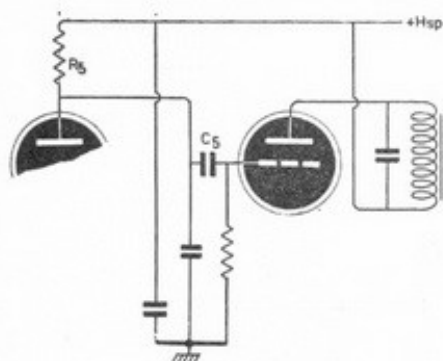


fig. 57

Om praktische redenen worden bij de fabricage van grammofoonplaten de lage tonen afgezwakt en de hoge overdreven; bij radio-ontvangst zijn de hoge tonen (boven 4000) als regel afwezig, kortom al deze redenen en daarnaast de persoonlijke smaak maken het gewenst de klank regelbaar te maken. We kunnen nu de lage tonen radicaal verzwakken door C_5 maar klein te maken: de hoge kunnen we vernietigen door parallel met R_5 een condensator te plaatsen, waardoor de hoge frequenties naar aarde afvloeien (fig. 57).

Hetzelfde gaat door over de primaire van de uitgangstransformator een flinke condensator te schakelen; hoe groter, hoe minder hoge tonen, we krijgen dan een boem-boem-geluid; spraak wordt onverstaanbaar, maar om duistere redenen zijn velen hiervan gecharmeerd. We zien wel, verzwakken van hoog en laag gaat prima, maar verzwakken van 't middenregister is moeilijker. Maar in het volgende gedeelte zullen we zien hoe de gehele klankregeling door middel van tegenkoppeling verkregen kan worden.

TEGENKOPPELING

We zagen reeds, dat de versterking in dit versterkertje ruim voldoende is. Nu heeft men ontdekt, dat wanneer we een klein deel van de uitgangsenergie in tegenfase terug-

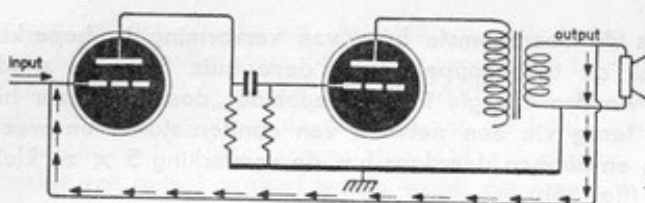


fig. 58a
Tegenkoppeling over 2 trappen.

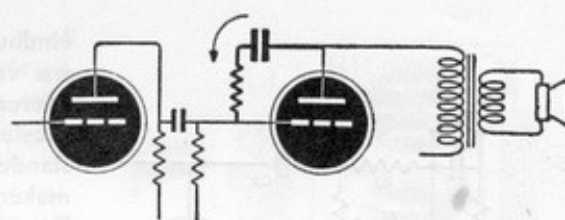


fig. 58b
Tegenkoppeling over de eindbuis.
Hierop berust de in fig. 41 ge-
tekende versterker.

voeren naar de ingang van de versterker, de versterking weliswaar afneemt, maar het vervormingspercentage belangrijk daalt (fig. 58a). We kunnen de tegenkoppeling het beste als volgt beschouwen (zie fig. 59).

Stel nu eens voor dat we een kleine wisselspanning A_1 in de versterker brengen; de amplitude van het uitgangssignaal, zien we in A_2 .

Neem nu eens aan, dat we over een nóg kleinere spanning van dezelfde frequentie beschikken, doch van tegengestelde faze, B_1 . En nu brengen we deze spanning in dezelfde versterker; het resultaat hiervan zien we als B_2 .

Het zal wel duidelijk zijn, dat wanneer we beide signalen tegelijkertijd in diezelfde versterker brengen, de kromme C het resultaat zal zijn, met een amplitude C , zijnde het verschil van A_2 en B_2 .

Welnu, in geval A en B hebben we over verschillende spanningsbronnen beschikt, maar ook wanneer we spanning B_1 afnemen van spanning A_2 , de faze ervan omdraaien (b.v. door transformator-aansluitingen te verwisselen), dan zal toch spanning C in de output het resultaat zijn.

De kromme-vorm van A_2 zal géén gekromde afspiegeling zijn van de ingangsspanning A_1 , als gevolg van onvolmaaktheden in de versterker; dit geldt trouwens óók voor B_2 t.o.v. B_1 . Daar A_2 en B_2 in tegenfaze zijn, evenals A_1 en B_1 , zal C , zijnde het verschil van A_2 en B_2 , aanmerkelijk minder vervorming bevatten; de amplitude van C dus de totale versterking is helaas veel kleiner dan die van A_2 .

De totale versterking van A_1 tot C is dus wat minder dan van A_1 tot A_2 . Voor wat hoort wat!

Bovendien daalt de bromspanning, die er altijd nog in de voeding overblijft. Zoals gezegd moet die energie in tegenfaze teruggevoerd worden, anders zou geen VERZWAKKING maar VERSTERKING optreden met nog groter vervorming en genereren, dat zich in onaangename giltonen demonstreert en dus ongewenst is. We noemen dit „veredelings”-proces tegenkoppeling en kunnen het over de gehele versterker van de output naar de input doen, maar omdat de

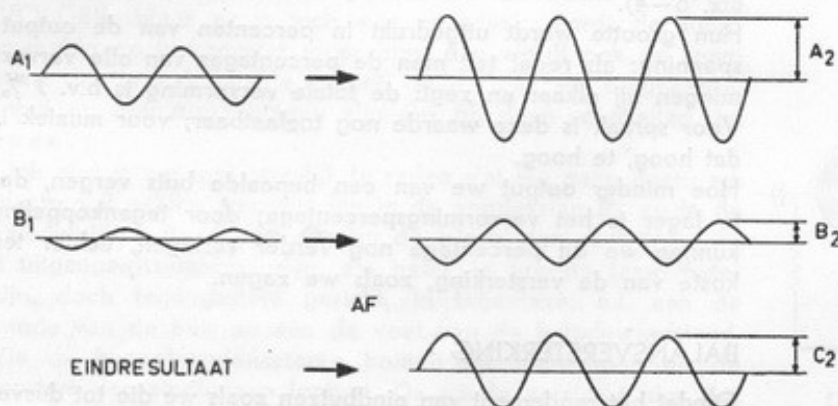


fig. 59a
Tegenkoppeling in beeld

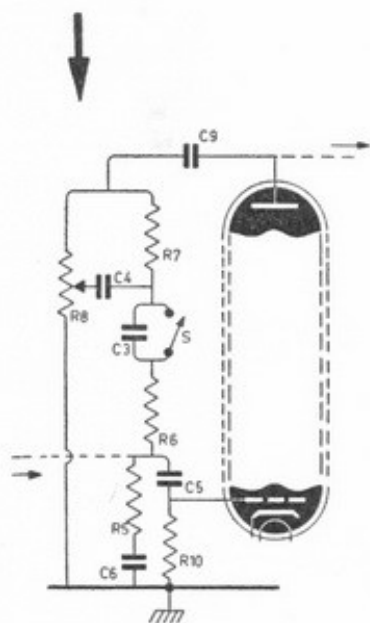
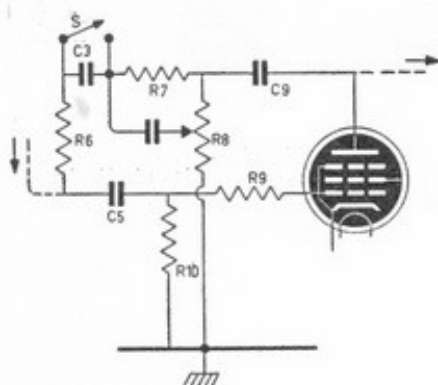


fig. 59b

R5, R6, R7, R8, C3, C4 en C9 vormen het tegenkoppelingcircuit, dat zich bepaalt tot de eindbuis en wel van anode naar rooster. S is de spraakmuziekschakelaar, die in gesloten stand de weergave van de lage tonen **verzwakt** (= tegenkoppeling voor lage tonen **vergroet**). Door C4 via R8 naar „aarde” te schuiven vloeien de hoge frequentier naar aarde af en **verzwakken** we de tegenkoppeling voor deze tonen; de weergave hiervan wordt dus **sterker**. C9 dient slechts om het tegenkoppelingcircuit vrij van gelijkstroom te houden.

eindbuis de voornaamste bron van vervorming is, beperken we vaak de tegenkoppeling tot deze buis. Van de anode voeren we dan energie in een bepaalde „doserings” naar het rooster terug via een netwerk van condensatoren en weerstanden en kunnen daardoor b.v. de versterking $5 \times$ zo klein maken (fig. 58b).

En nu zien we meteen een methode om een ideale klankregeling toe te passen; we kunnen nu die weerstanden en condensatoren zó kiezen, dat voor de hoge en lage tonen de tegenkoppeling minder sterk wordt dan voor 't middenregister, hetgeen er uiteindelijk op neerkomt, dat in de output hoog en laag sterker worden dan het middenregister, al blijft de gehele versterking als gevolg van de tegenkoppeling beneden de oorspronkelijke, doch de geluidskwaliteit en de bromvrijheid zijn in gelijke mate verhoogd.

Omdat we nu eenmaal graag aan alles willen draaien, zijn hoog en laag naar believen in te stellen, kortom, we kunnen de „klankkleur” regelen. Er zijn overigens vele wegen die naar dit doel leiden, maar we laten die hier onbesproken. Een groot voordeel van de tegenkoppeling is wel, dat de inwendige weerstand van eindbuizen schijnbaar véél lager wordt, hetgeen ons vooral bij eindpentoden zeer te pas komt. Bovendien wordt de aanpassing véél minder kritisch. Doordat we een deel van de uitgangsenergie terugvoeren zal de maximale output iets teruglopen. Verder neemt de versterking af, hetgeen hierop neerkomt, dat de voorversterkerbuis groter spanningen moet leveren, willen wij dezelfde output uit onze eindbuis halen. En deze grotere versterking door de vóór-buis gaat helaas vaak met vervorming gepaard!

VERVORMING

Lineaire vervorming. Deze treedt op als b.v. de lage tonen veel meer versterkt worden dan de hoge of omgekeerd. Bij een goed ontwerp kan deze vervorming vermeden worden door de juiste keuze van de koppelweerstand en condensatoren.

Niet-lineaire vervorming. Deze is onvermijdelijk verbonden aan de kromming in de karakteristiek van de buizen; het kenmerkende van deze soort vervorming is, dat we trillingen in de output aantreffen van een frequentie, die niet in de input aanwezig was; deze nieuwe (ongewenste) frequenties zijn mengproducten van wél aanwezige frequenties; verder komen in de output vaak harmonischen van in de input aanwezige trillingen te voorschijn.

Bij trioden overheersen de even harmonischen; bij de pentoden zijn het voornamelijk de oneven harmonischen (zie blz. 6-4).

Hun grootte wordt uitgedrukt in percenten van de outputspanning: als regel telt men de percentages van alle vervormingen bij elkaar en zegt: de totale vervorming is b.v. 7%. Voor spraak is deze waarde nog toelaatbaar; voor muziek is dat hoog, te hoog.

Hoe minder output we van een bepaalde buis vergen, des te lager is het vervormingspercentage; door tegenkoppeling kunnen we dit percentage nog verder verlagen, echter ten koste van de versterking, zoals we zagen.

BALANSVERSTERKING

Omdat het rendement van eindbuizen zoals we die tot dusver

gezien hebben (in de z.g. A-instelling), vrij gering is, heeft men naar methoden gezocht om het rendement te verbeteren. Men bereikte dit in de **BALANSSCHAKELING**. In deze schakeling (fig. 60) worden de roosters van de beide eindbuizen in tegengestelde fase aangesloten. Dit wil zeggen: als het rooster van buis 1 positief wordt, wordt dat van buis 2 negatief en omgekeerd. Dienovereenkomstig wordt de anode van buis 1 negatief op het ogenblik dat de anode van buis 2 positief wordt, hetgeen de naam balansversterking verklaart. Overigens werkt elk der beide buizen in de A-instelling, d.w.z. met normale negatieve roosterspanning; men spreekt hier van A-balans.

In de uitgangstransformator blijken reeds aanstonds de gunstige gevolgen: Doordat de gelijkstroom-ruststroom van de beide buizen in tegengestelde zin om de kern vloeien is er geen sprake meer van gelijkstroomvóórmagnetisatie of kernverzadiging: de luchtspleet kan vervallen en de zelfinductie wordt daardoor groter, dus: beter weergave der lage tonen. De vervorming door alle even harmonischen in beide buizen is opgeheven. Ook de bromrimpels uit de voeding, in beide buizen even sterk aanwezig, vallen tegen elkaar weg.

FAZE-DRAAIERS

Om de ingangsspanningen voor beide buizen in tegenfase te verkrijgen, paste men oorspronkelijk een balansingangs-transformator toe, met een aftakking in 't midden, die aan negatieve roosterspanning komt. Omdat de transformatorversterking in kwaliteit achterstaat bij weerstandversterking, zijn talloze faze-omkeerschakelingen met buizen ontworpen, waarvan de eenvoudigste die van de zwevende triode is. Normaal heeft een triode slechts een koppelweerstand in de anodekring: in de katode-leiding bevindt zich de weerstand voor de negatieve roosterspanning (fig. 62). We zagen in de theorie van de triode, dat wanneer de stuurspanning op het rooster meer negatief maken, de spanning op de anode omhoog gaat, dus meer positief wordt; rooster- en anodespanning zijn dus in tegenfase, zoals we dat noemen. In feite kunnen we echter die koppelweerstand ook wel in het katode-circuit aanbrengen, natuurlijk met behoud van de weerstand voor de negatieve roosterspanning (fig. 63). We noemen dat een anodebasis-schakeling: het nare is, dat de buis dan zó sterk tegengekoppeld is, dat de versterking = 1 wordt, zodat de toonfrequente spanning op de uitgangscapacitor even groot als die op het rooster wordt en deze als 't ware op de voet volgt, vandaar de naam **KATODEVOLGER**. Maar er is toch een voordeel: wordt de stuurspanning op het rooster meer plus, dan wordt ook de spanning op de katode (de output) meer plus en omgekeerd; input en output-spanningen zijn dus bij deze schakeling in fase.

Ook hier is het niet moeilijk te raden wat we gaan doen: we plaatsen 2 gelijke weerstanden in de anodekring R_a en in de katodeleiding R_k . Sturen we nu de triode dan verkrijgen we 2 uitgangswisselspanningen, die gelijk in grootte (amplitude) zijn, doch tegengesteld gericht, in tegenfase, n.l. aan de anode van de buis en aan de voet van de katodeweerstand. Via de koppelcondensatoren komen de spanningen op de roosters der eindbuizen terecht. De triode versterkt hier dus

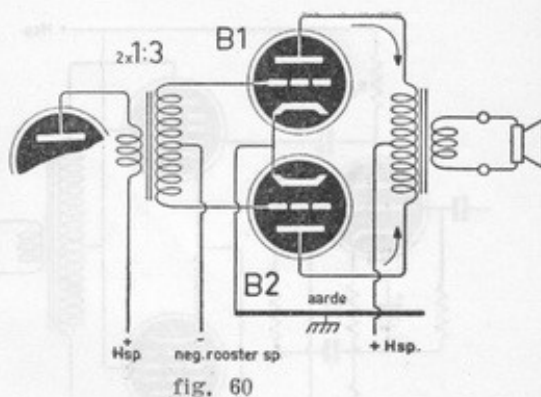


fig. 60



fig. 61
Uitgangstransformator voor
balansversterking

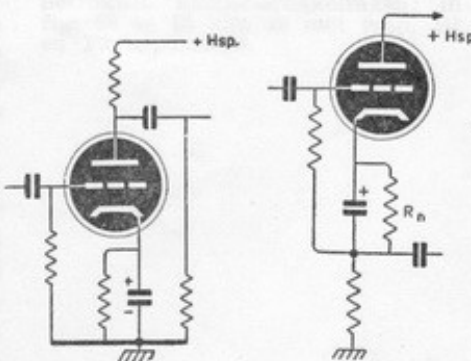


fig. 62

fig. 63

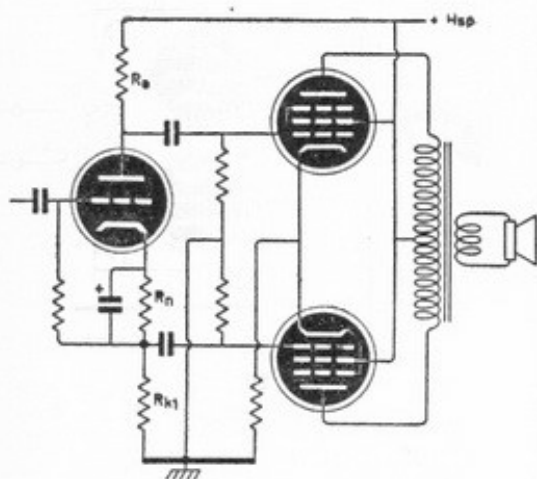


fig. 64

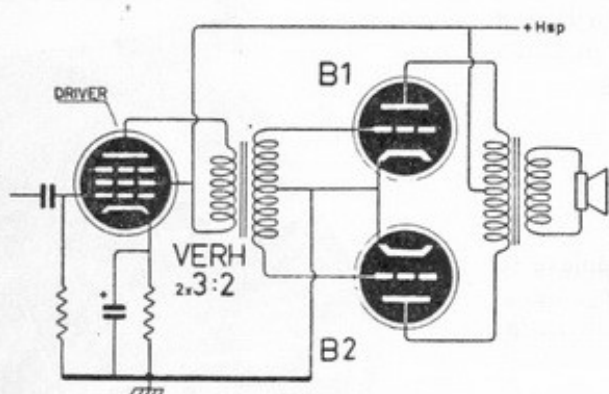


fig. 65

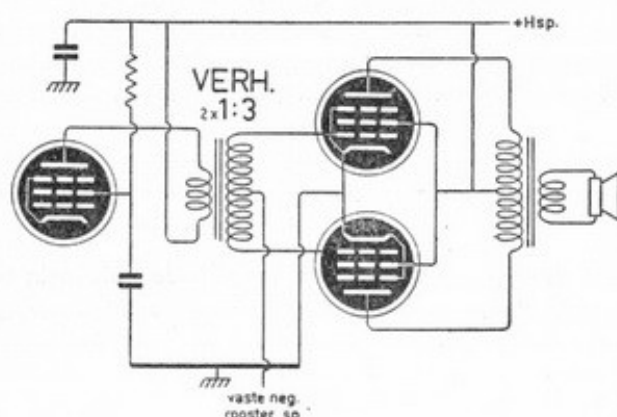


fig. 66

niet, maar doet slechts dienst als FAZEDRAAIER (fig. 64). Een conditie voor goede balanswerking is onderlinge gelijkheid van de eindbuizen. Als regel past men een gemeenschappelijke katodeweerstand R_k toe, die door de anodestroom van BEIDE buizen wordt doorlopen. Bovendien lopen de l.f.-wisselstromen die de beide buizen doorlopen hier door één gemeenschappelijke weerstand; daar deze stromen steeds in tegenfase zijn zal er door de gemeenschappelijke katode-weerstand in 't geheel geen l.f.-wisselstroom lopen, omdat ze elkaar uiteindelijk opheffen. Een ont koppelcondensator is hier dus overbodig.

Andere vormen van balansschakeling zijn: Klasse B-balansschakeling, waarbij trioden worden gebruikt: zij krijgen géén negatieve roosterspanning, doch door de roosterconstructie nemen zij een vrij geringe ruststroom op (fig. 65). Worden zij nu met een wisselspanning gestuurd, dan loopt er beurtelings in de buis 1 en in buis 2 roosterstroom en nemen de anode-

stromen dienovereenkomstig beurtelings in buis 1 en buis 2 toe: ze werken dus nooit tegelijk. Dit is in de buizentechniek de enige plaats waar roosterstroom toegelaten is: de stuurspanningen moeten hier werkelijk enige energie leveren. Daarom kunnen we de eind-buizen in een dergelijke balans-transformator niet sturen met een faze-draaibuis of een andere schakeling, waarin van weerstandkoppeling gebruik gemaakt wordt. Neen, de spanningen kunnen slechts door een balans-ingangstransformator toegediend worden, terwijl de voorlaatste buis die energie moet leveren, zodat het een krachtbuisje moet zijn (Eng. Driver). Vanzelfsprekend moeten, nu er stroom doorloopt, de secundaire wikkelingen van die ingangstransformator met dikker draad worden gewonden. De wikkilverhouding van de primaire wikkeling tot ieder van de beide secundaire wikkelingen bedraagt meestal $1:3/4$ bij dergelijke, meestal vrij kostbare transformatoren. Het rendement van een dergelijke eindtrap is zeer groot, wel 80 %, maar de vervorming is vooral bij geringe geluidsterkte aanzienlijk.

Een andere vorm van B-versterking is de dichtgedrukte B-balansversterking oftewel klasse B' (fig. 66).

Hier worden weer krachtpentoden of -tetroden gebruikt met een zeer grote negatieve roosterspanning, zodat er tijdens de rust nagenoeg géén anodestroom loopt. Komt er nu stuurspanning op de roosters, dan vloeit er weer beurtelings anodestroom door beide buizen: telkens als dus de stuurspanning van richting verandert begint er een buis te werken en stopt de andere, omdat die nog meer dichtgedrukt wordt.

Bij deze schakeling loopt er nooit roosterstroom: voortrappen kunnen dus normaal zijn. Ook hier groot rendement doch minder vervorming dan bij de normale B-versterker. Automatische negatieve rooster spanning kan NIET worden toegepast; in feite moet men hiervoor een afzonderlijke, vrij hoge gelijkspanningsbron toepassen; deze behoeft echter slechts gering vermogen te leveren.

De klasse AB-SCHAKELING ligt tussen de normale balansschakeling (A) en de dichtgedrukte B-balans.

Deze wordt vaak toegepast. Bij geringe stuurspanning werken de buizen in A-instelling, dus: weinig vervorming; wordt de sturing groter, dan neemt daardoor de negatieve rooster spanning automatisch toe en komen we in het B'-gebied, waar zoals we zagen voor grote stuurspanningen weinig vervorming ontstaat.

De graf van balans B-schakelingen bestaat dus daaruit, dat de buizen beurtelingswerken, waardoor de anoden slechts gedurende de helft van de tijd gebruikt worden en daardoor groter anodestroom kunnen verdragen zonder overbelast te raken. Bovendien wordt er minder anodestroom verbruikt. B-versterkers met roosterstroom worden bij batterij-ontvangers wel toegepast met een dubbeltriode (DDD 11 of KDD 1). Het bezwaar van deze B-versterkers is echter dat zij bij geringe geluidsterkte aan vrij sterke vervorming onderhevig zijn. Wanneer zij echter voluit gestuurd worden is het vervormingspercentage véél lager, hoe wonderlijk dit ook moge lijken.

Alle balansversterkers hebben dit gemeen: de vervorming, veroorzaakt door de 2e en andere even harmonischen valt weg, die door de 3e, die normaal steeds geringer is dan de 2e, wordt helaas iets groter, evenals de hogere oneven harmonischen. Ook het rendement wordt groter, d.w.z. uit een bepaald gelijkstroomvermogen dat we als anodevoeding aan de buizen toedienen, halen we meer nuttige output aan wisselstroom dan bij enkelvoudige buizen in A-instelling.

In fig. 66a en b zien we de gecombineerde krommen van twee in balans geschakelde buizen (fig. 66a is van een A-B-schakeling, fig. 66b is van een B'-schakeling).

VOEDING EN BOUW

De voedingen voor klasse A-versterkers zijn normaal geconstrueerd, zoals in het hoofdstuk „voedingen” werd besproken: de schakelingen volgens de B-klasse eisen echter zéér constante gelijkspanningen, die verkregen worden door geringe weerstand van de draadwindingen, in transformatoren en smoorspoelen, dus: dik draad. Ofschoon er in de les over de voedingsapparatuur niet over gesproken is moet hier vastgesteld worden, dat elke normale hoogvacuum gelijkrichtbuis een zekere inwendige weerstand bezit, die tijdens zijn levensduur hoger wordt, hetgeen echter voor normale anodevoedingen geen bezwaar oplevert. Voor B-versterkers is echter de inwendige weerstand van de normale gelijkrichtbuizen AZ1, AZ4, AZ41 en 80 te groot: men past dan z.g. kwikdampgelijkrichters toe (Am. type 83) met de karakteristieke blauwe gloed. Het vacuum is vervangen door kwikdamp en de inwendige spanningsval in de gelijkrichtbuis is slechts 15 V, onverschillig hoe groot de gelijkgerichte stroom is. Bovendien moet de weerstand van zowel de wikkelingen op de voedingstransformator en van de afvlaksmoorspoelen laag zijn, zodat de gehele voeding een lage inwendige weerstand krijgt.

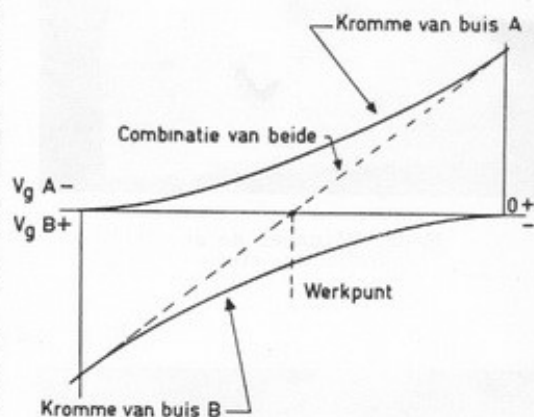


fig. 66a

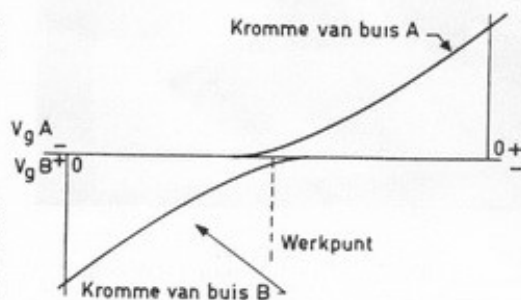
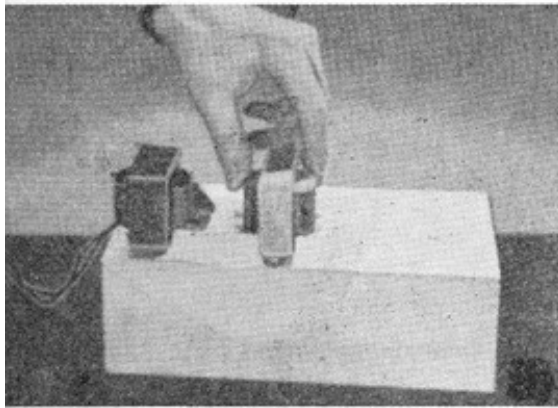


fig. 66b

A en B zijn de beide buizen in de betrokken balans-schakelingen; in fig. 60 en 65 zijn ze met resp. B1 en B2 aangeduid.



Fout: Wanneer de spoelkokers parallel op elkaar staan.

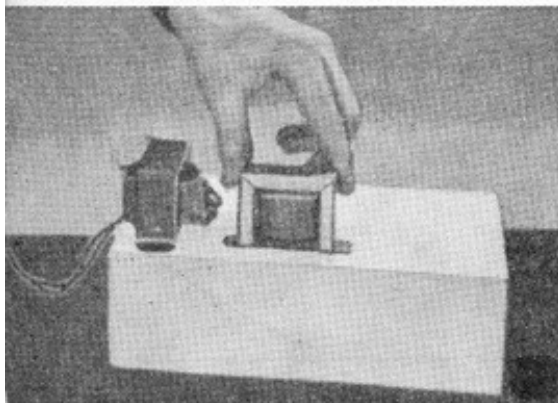


fig. 67
De hartlijnen staan loodrecht op elkaar.

Wanneer een anodevoedingsapparaat n.l. een hoge inwendige weerstand bezit, zal de spanning sterk fluctueren, wanneer er een klasse-B-versterker op aangesloten is, omdat die nu eenmaal sterk wisselende stroomafname veroorzaakt.

En die wisselende spanning veroorzaakt weer vervorming. Dus: streven naar lage inw. weerstand, streven naar constante spanning, dus naar lage inwendige weerstand van ons voedingsapparaat. We zeggen dan, dat het een goede regulatie bezit.

De voeding van deze versterkers kan op een apart chassis of op het versterkerchassis worden gebouwd. De voedingstransformator echter vormt om zich heen „een bromveld”, dat niet zal nalaten op onze uitgangstransformator te werken en stellig op een eventuele ingangstransformator of elektromagnetische pickup. Met die uitgangstransformator klaren we het zo: de transformatoren kunnen vlak naast elkaar staan, mits de hartlijnen van spoelkokers loodrecht op elkaar staan: de inductie is dan het geringst (fig. 67).

Ingangs- en tussentransformatoren plaatsen we in doosjes van zogenaamd Mu-metaal, dat een afscherming voor magnetische krachtlijnen vormt.

De pickup moeten we maar een eind uit de buurt houden. Een afgeschermd en met aarde verbonden leiding naar de versterker voorkomt het „oppikken” van brom.

Bij elektromagnetische pickups moeten we nog rekening houden met het brom-veld van de motor; na enig zoeken is wel een bromvrije plaats te vinden voor onze pickup, n.l. als hij zo ver mogelijk van de motor af staat en zijn juiste positie t.o.v. draaiplateau niet in het gedrang komt.

Eén der beide toevoerdraden van de gloeistroom naar de buizen is als regel ergens op één punt met 't chassis verbonden. Om brominductie te ontgaan draait men beide draden in elkaar.

Tenslotte moet er nog op gewezen worden, dat men alle weerstanden en condensatoren, die met „aarde” verbonden moeten worden, rechtstreeks op 't chassis geaard dienen te worden met korte verbindingen. De voorheen toegepaste methode om een „aardrail” onder 't chassis te leggen en daarop alle aardpunten te solderen, moet als onjuist beoordeeld worden.

We weten van radio-ontvangers, dat hieraan meestal naast een aansluiting voor een antenne tevens nog de mogelijkheid bestaat om het chassis met „aarde” te verbinden, dus met de waterleiding of in geval van nood, met een gasbuis. Maar vrijwel niemand brengt deze verbinding tegenwoordig aan.

Is voor een versterker deze verbinding ook nog noodzakelijk? Nu, in principe moet het mogelijk zijn een versterker zodanig bromvrij te construeren, dat een aardverbinding overbodig is; slechts in zeer gevoelige schakelingen, waarin dus hoge versterking vereist wordt kan het zin hebben een aardverbinding te maken. Maar dan ook een goede, anders heeft 't geen zin. En de aansluitkabels voor microfoons en pickups dienen steeds goed afgeschermd te zijn, het liefst met z.g. coaxiale plugs.

Soms gebruikt men een één-aderige afgeschermd kabel, waarbij de metaalmantel als 2e draad dienst doet; in principe is het echter juister een 2-aderige kabel te nemen. De afscherming wordt dan aan het versterkerchassis geaard en één der beide draden eveneens.

VRAGEN BIJ DE ZESDE LES

1. Hoe planten geluidstrillingen zich voort?
2. Welke frequentie heeft de 5e harmonische van een grondtoon van 3000 Hz?
3. Welke is de voortplantingssnelheid van geluidstrillingen in normale droge lucht?
4. Op welk principe berust de kristalmicrofoon of kristal-pickup?
5. Wanneer we een goede weergave van lage tonen verlangen, zal onze keus dan op een luidspreker met kleine of grote conus vallen?
Vertel nog iets over de afmetingen van een klankscherm of luidsprekerkast in verband met de weergave van lage tonen.
6. Welk type luidspreker wordt tegenwoordig het meest gebruikt?
7. Waarom en waar worden stopweerstand gebruikt en waar monteren we ze?
8. We bezitten een uitgangstransformator, die volgens de gegevens bestemd is voor de aanpassing van $6400\ \Omega$ (R_{prim}) op $4\ \Omega$ (R_{sec}). Welke wikkolverhouding bezit deze transformator nu?
9. Teken eens de moderne schakeling, waarbij we een buis voor laagfrequent versterking van negatieve roosterspanning voorzien zonder weerstand in de katodeleiding.
10. Als van een eindbuis gegeven zijn: anodestroom $I_a = 40\text{ mA}$; schermroosterstroom $I_s = 7\text{ mA}$ en de vereiste negatieve roosterspanning $V_g = 20\text{ volt}$, hoe groot moet dan de katodeweerstand zijn ter verkrijging van negatieve roosterspanning?
11. Vertel eens waarom tegenkoppeling wordt toegepast; beschrijf vóór- en nadelen.
12. Wat is een balans-eindtrap; noem eens de voordelen van deze balans-schakeling en teken een eenvoudig schema van zo'n eindtrap met een fazedraaier.
13. Zouden we de weerstand van aarde naar het rooster van een eindbuis $2\text{ M}\Omega$ mogen maken?
Vertel waarom dat wel of niet zou mogen.
14. Mogen we een uitgangstransformator en een voedings-transformator dicht bij elkaar plaatsen?
Vertel waarom wel (of niet).
15. Als we een kristalpickup gebruiken, kunnen we dan in de ingangschakeling van onze versterker een potentiometer van $20.000\ \Omega$ toepassen?
Waarom wel (of niet)?

