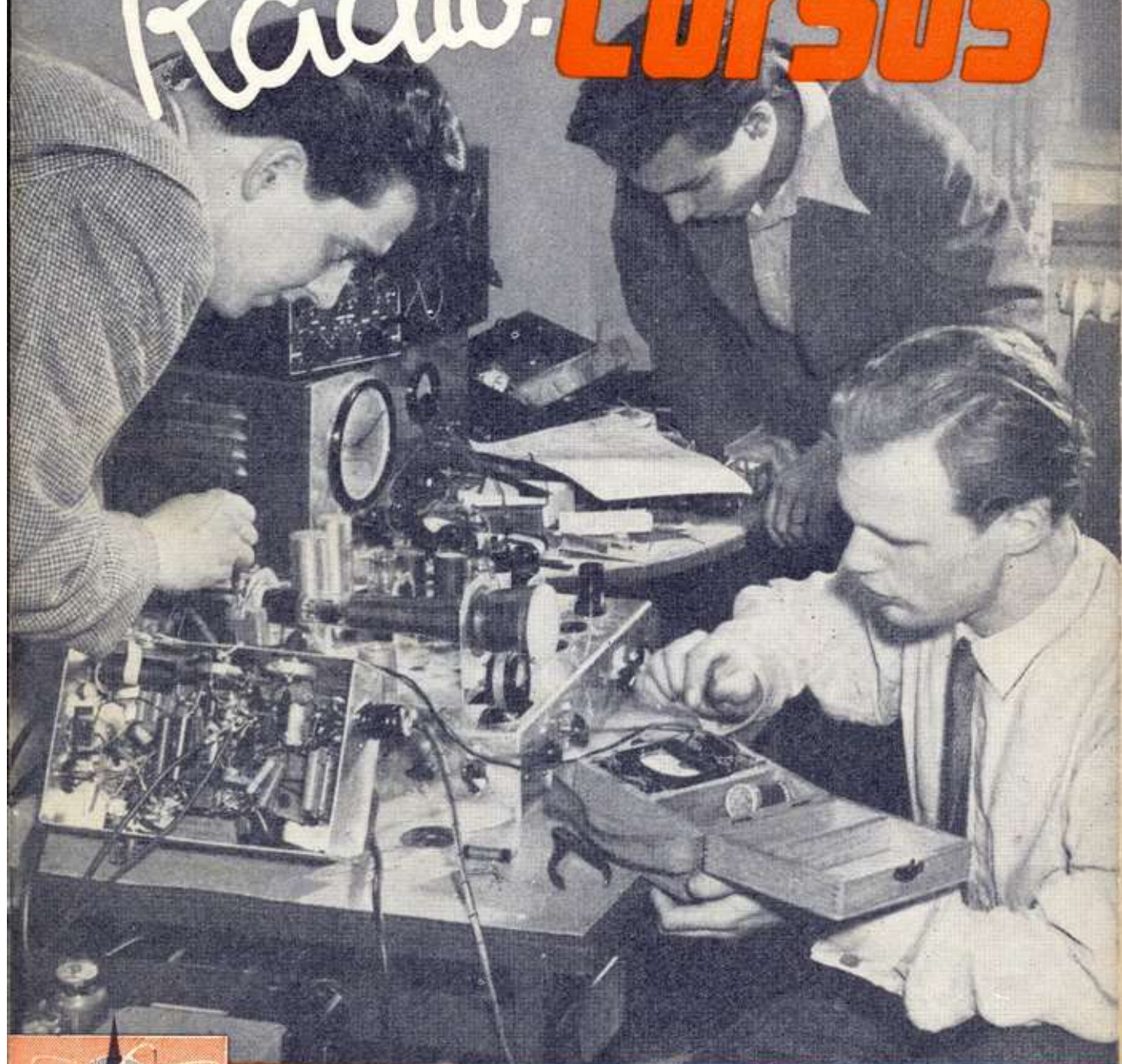


dr. Blan

1

Radio-CURSUS



vormingscentrum voor radio en electronica

VOORWOORD BIJ DE EERSTE DRUK

„Niets zonder moeite” is een oud Nederlands gezegde en dit gezegde geldt stellig ook voor degenen die zich op deze cursus hebben laten inschrijven en als gevolg daarvan thans dit blad voor zich hebben. Voor degenen die zich nooit eerder aan een studie waagden, om welke reden dan ook, is het misschien goed „gebruiksaanwijzingen” te geven voor het volgen van deze lessen; overigens kunnen deze zonder bezwaren ook ter harte genomen worden door cursisten, die al eerder enige studie volbrachten, hetzij mondeling of schriftelijk. Beschouw ze maar als spelregels. Welnu: lees de les na ontvangst kalm door. Zoek er een rustig plekje voor uit. Begrijpt U bij deze eerste lezing iets niet: bijt er niet in vast maar lees door: bekijk de schema's en plaatjes en krijg op die manier een indruk van 't geheel. U hebt een maand de tijd om „er achter” te komen. Maak, al naar Uw beschikbare tijd, eens een indeling, b.v. in 3 stukken voor de eerste 3 weken van de maand. De vierde week wordt dan b.v. benut om de vraagstukken te maken en eventuele vragen aan mij te formuleren. Voor elke week is er dus een taak. Voer die uit, laat de zaak niet tot de laatste dag liggen. Lees en herlees, probeer schema's zelf na te tekenen uit het geheugen: cursus dus dichtgeklapt. Reken de voorbeelden zelf ook eens na, maak zelf nieuwe voorbeelden.

In de laatste week maakt U dus het „huiswerk”. Bedrieg Uzelf niet; klap de cursus dicht als U hiermee bezig is. Maak liever een fout, dan dat U 't goed overpent. En zijn er punten in de les die U niet begrijpt: leg ze mij voor maar... wees zakelijk en zeg precies waar 't om gaat. En schrijf alléén over de cursus; alle andere MK-correspondentie moet hier buiten gehouden worden. Maak gebruik van de gekleurde terugzend-enveloppen en vul Uw naam goed in op het antwoordformulier. Speel geen struisvogeltje maar zend trouw en regelmatig Uw werk in vóór de eerste van de maand. Afgesproken? In ca. een week hoop ik Uw huiswerk gecorrigeerd terug te zenden; bekijk de zaak dan nog eens en: leer van Uw fouten. En valt het soms wat zwaar naast Uw andere werkzaamheden, denk dan maar aan de spreuk waarmee ik dit voorwoord begon: „Niets zonder moeite”.

Dr. BLAN



VOORWOORD BIJ DE TWEEDE DRUK

Veel eerder dan ik durfde voorspellen is deze tweede druk noodzakelijk geworden. Een goed teken!

Slechts wijzigingen van ondergeschikte aard zijn aangebracht; bewust wordt vermeden deze cursus een „wetenschappelijk” aanzien te geven; vóór alles gaat het om een klare begripsvorming op praktische basis in bevattelijke termen.

Als zodanig is deze cursus als een afgerond geheel te beschouwen; hij geeft de amateur steun bij verdere zelfstudie en experimenten en verschaft de aanstaande vakman de zo nodig gebleken basis voor de drogere en exacte studie ter verkrijging van een officieel vakdiploma.

Ofschoon het overbodig lijkt vestig ik er de aandacht op dat slechts cursisten die regelmatig hun werk ter correctie inzenden, dus geen lessen overslaan, voor het Diploma in aanmerking komen.



VOORWOORD BIJ DE DERDE DRUK

Ook de derde druk is, op enkele punten na, ongewijzigd gebleven.

Steeds tot Uw dienst,

Dr. Blan

GRONDSLAGEN VAN DE ELEKTRO-TECHNIEK

MOLECULEN, ATOMEN, ELEKTRONEN. STROOM IN ELEKTRISCHE KRINGEN. STROOMBRONNEN SPANNING, STROOMSTERKTE EN WEERSTAND

1e LES

De eerste vraag die bij ons opkomt is natuurlijk: „Wat is elektriciteit”? Die vraag is niet zo eenvoudig te beantwoorden. Elektriciteit is n.l. niet iets „grijpbaars”, iets wat we kunnen waarnemen; wel is te zien wát we ermee kunnen doen en voor ons is dat genoeg.

De oude Grieken kenden het verschijnsel, dat een stuk barnsteen door het te wrijven lichte voorwerpen als houtvezels aantrekt; de Griekse naam voor barnsteen is elektron en sindsdien noemen we alle verschijnselen op dat gebied elektriciteit.

We zullen proberen een (zeer eenvoudige) verklaring te geven van de grondslagen waarop, volgens de huidige stand van de wetenschap, elektriciteit berust en maken hierbij gebruik van de atoomtheorie.

Elke stof die we in de natuur tegenkomen kunnen we tot in zeer kleine stukjes verdelen die toch ná de deling de eigenschappen van de stof behouden hebben; we noemen die deeltjes moleculen. Bij nagenoeg iedere stof bestaat zo'n molecule uit de samenvoeging van nog kleinere deeltjes; de atomen. Zo bestaat b.v. een molecule water uit 2 atomen waterstof en één atoom zuurstof; één molecule zwavelzuur is 2 atomen waterstof, één atoom zwavel en vier atomen zuurstof. De scheikundigen schrijven dat op in een soort stenografie: H_2SO_4 .

Er bestaan dus blijkbaar verschillende soorten atomen; in feite zijn tot op heden 98 verschillende atoomsoorten bekend, die we de elementen noemen.

ATOOM

Ook dit atoom bleek bij nader onderzoek niet meer ondeelbaar te zijn, zoals de naam zou doen vermoeden (atmos = niet deelbaar). Iedere atoom bestaat n.l. uit een atoomkern en een omhulsel, waarin één of meer elektronen grotere of kleine cirkels beschrijven, zo ongeveer als de planeten om de zon. Nu blijkt ook die atoomkern weer niet ondeelbaar te zijn; deze is n.l. samengesteld uit een aantal neutronen en protonen en wanneer een atoom nu „in rust” verkeert, dan blijkt het aantal protonen precies overeen te stemmen met het aantal elektronen dat om de kern cirkelt. Een waterstofkern wordt b.v. door één, een goud-kern echter door 79 elektronen omzwermd, terwijl b.v. een aluminiumatoom naast 14 neutronen 13 protonen en 13 elektronen bevat.

Het is nu het aantal protonen, dat dus zegt met welk element we te maken hebben. De neutronen laten we maar buiten beschouwing: ze bestaan elk uit een kern-elektron en een proton die elkaar zodanig binden, dat ze geen tijd hebben om zich met de buitenwereld te bemoeien. Hun aantal is verschillend bij de diverse elementen.

We weten wel wat de gevolgen zijn als we die atomen gaan splitsen en zullen ze daarom maar héél laten.

Toch is het wel interessant even na te gaan, waarom die

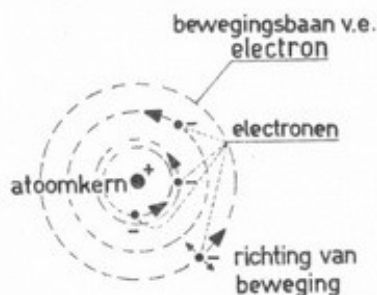


fig. 1

Om een indruk van de afmetingen te geven: een atoom is ruim $10.000 \times$ zo groot als zijn kern, terwijl deze kern weer $10 \times$ zo groot is als een elektron; het atoom zelf heeft een doorsnede van een honderdmiljoenste cm. Een atoom is dus in feite zeer „ijl”; tussen kern en elektronen is de ruimte geheel ledig.

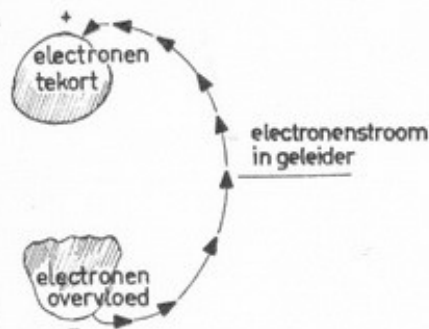


fig. 2

De stroomloop ter vereffening van een z.g. potentiaal-verschil zal steeds via een geleider, de z.g. uitwendige stroomkring plaats vinden. Is het elektronentekort, resp. -overschot vereffend, dan loopt er géén stroom meer. Deze toestand vinden wij b.v. bij een geladen condensator die ontladen wordt.

elektronen in hun baan blijven. Het is hiermee net als de aarde en de zon; er werken tegelijkertijd twee krachten op zo'n elektron: de middelpuntvliedende kracht die het van de kern afdrijft en de onderlinge aantrekkingskracht, die het naar de kern toedrijft. De kern is n.l. steeds positief geladen als gevolg van de positieve lading van de protonen en elk elektron daarentegen negatief. Deze z.g. ongelijknamige polen trekken elkaar aan, zoals we ook bij het magnetisme zullen zien (fig. 1). Daar de elektronen alle negatief zijn geladen stoten ze elkaar onderling af.

Die atomen zijn onmogelijk klein; zelfs met de beste elektronenmicroscoop kunnen we ze niet zien. Toch is men er op één of andere schrandere manier achtergekomen, dat een waterstofatoom $0.000.000.01$ cm in doorsnee is. En per seconde vliegt zo'n elektron ca. 400 tot 800 miljoen keer om de kern heen!

In rusttoestand is het atoom ten opzichte van de buitenwereld neutraal. Wordt dit evenwicht echter van buitenaf verstoord, b.v. doordat er enige elektronen weggenomen worden, dan wordt het restant positief, want dan overheerst de kern met zijn positieve protonen; worden daarentegen van buitenaf elektronen toegevoerd, dan zijn de elektronen in de meerderheid en is het atoom negatief. Hiermede is tevens verklaard waarom we hierbij van + en - spreken, maar ook dat lost zichzelf op als we het zó stellen: zijn er elektronen over, dan spreken we van negatief; ontbreken ze, dan spreken we van positief. Een positief lichaam kan dus nog elektronen opnemen.

We zullen verderop zien, dat niet alle atoom-soorten het vermogen bezitten elektronen af te staan of op te nemen.

ELEKTRONEN

De hierboven besproken elektronen nu zijn de eigenlijke dragers van de elektriciteit en een elektrische stroom nu is in feite een verplaatsing van elektronen van een plaats waar overvloed aan elektronen heerst naar een plaats waar een tekort is (fig. 2), mits er een weg is waarlangs ze zich verplaatsen kunnen. Een elektronenstroom zal steeds van — naar + lopen; vroeger, toen men van die elektronen nog geen laars wist (dat is nog niet zo lang geleden), zei men: de stroom loopt van + naar —. We laten dat nu maar zo om geen verwarring te krijgen, maar eigenlijk is 't verkeer. Alleen als we de elektronen zelf in 't verhaal betrekken, houden de we juiste gang van zaken aan, b.v. bij de stroomloop in de elektronenbuizen.

Al zijn de elektronen zelf niet zo vlug ter been, toch wordt een lading in een geleider verplaatst met een snelheid van ca. 300.000 km/sec. We moeten dit zó zien: stel dat een zaal volgepropt is met mensen en dat iemand aan 't éne eind plotseling zijn doodsvijand aan 't andere eind ziet. Zelf bij hem komen gaat niet, maar wel kan hij zijn buurman een por in de rug geven en zeggen: „doorgeven”. In no time zal nu de man aan 't andere eind zijn opstopper te pakken hebben zonder dat iemand een stap verzet heeft. De mensen zijn hier met de atoomkernen te vergelijken; hun armen zijn de elektronen.

GELEIDERS EN ISOLATOREN EN HALFGELEIDERS

Uit het bovenstaande moeten we echter niet concluderen,

dat de atomen van alle stoffen zo maar in staat zijn elektronen af te geven of aan te nemen. Dit is met name stellig niet het geval met de stoffen die we de isolatoren noemen. Zeker, de elektronen vliegen wel om die kern, maar ze vormen toch een onverbrekkelijk geheel daarmee. In figuur 1 zien we, helaas gebrekkig, hoe diverse elektronen op verschillende afstanden van de kern hun cirkelbaan om de kern beschrijven; men spreekt wel van „schillen”. De materialen die wel elektronen kunnen afgeven of aannemen en die we geleiders noemen, verschillen maar weinig van isolatoren; ook hier is het merendeel van de elektronen op bovengeschetste manieren geordend en gebonden; zij bezitten echter bovendien een aantal z.g. vrije elektronen. Deze vrije elektronen nu bevinden zich uitsluitend in de buitenste „schil”; hun aantal komt overeen met de z.g. valentie (scheikundig begrip) van het betrokken element.

Welke stoffen geleiden nu elektriciteit, m.a.w. welke laten nu een elektronenbeweging toe? Alle metalen geleiden een elektronenstroom evenals verschillende vloeistoffen en kool; dit zijn dus geleiders. Overigens is er nog wel een groot verschil in het geleidingsvermogen van die metalen onderling.

Zilver slaat een prachtig figuur, koper is ook een uitstekende geleider evenals goud en aluminium, terwijl ijzer een pover figuur slaat. Om praktische redenen gebruiken we veel koper. Sinds we aluminium kunnen solderen (met ultra sonore *) trillingen), gebruiken we ook dat metaal veel. In de hoogfrequent-techniek lopen de stromen meer langs het oppervlak van de metalen dan dóór die metalen. We kunnen daar dus met verzilveren van minder kostbare metalen volstaan.

Niet-geleiders of isolatoren zijn o.m. glas, mica, steen, porcelein, gummi, plastic enz.

Naast deze geleiders en niet-geleiders of isolatoren zijn in de laatste 5 jaren de z.g. halfgeleiders naar voren gekomen. Dit zijn stoffen, die onder normale omstandigheden isolatoren zijn, maar door inwerking van uitwendige invloeden als: elektrische velden, temperatuur, licht of magnetische krachten geleidend worden; de bekendste materialen zijn germanium en silicium. Bekend door toepassing als transistoren en gelijkrichters.

ELEKTRISCHE SPANNING EN STROOM

Hoe krijgen we nu een elektrische stroom of, hoe krijgen we de elektronen in beweging?

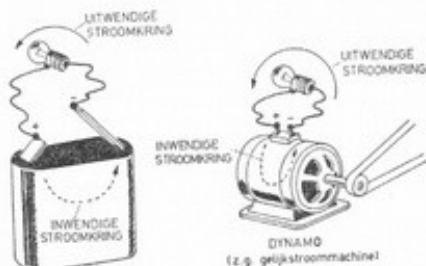
Het is dus zaak aan de ene kant van een geleider een elektronenoverschot te krijgen en aan de andere kant een tekort. We kunnen veel elektrische verschijnselen gemakkelijk verklaren met de waterleiding en zullen dat ook hier doen.

In het pompstation pompen we het water naar de tank boven in de watertoren. (Daar is dus een waterovervloed.) De waterleiding brengt het water naar de gebruiker (watertekort). Doordat er een hoogteverschil is tussen die tank in de toren en onze kraan, ontstaat er druk en daardoor loopt er water uit die kraan (fig. 3). Hoe groter het hoogteverschil, hoe meer water er uitkomt. Overeenkomstig dit voorbeeld verstaat men onder elektrische spanning het spanningsverschil tussen 2 plaatsen waar resp. een te-



fig. 3

*) Ultra sonore trillingen zijn trillingen die we niet met het gehoor kunnen waarnemen, dus boven 15.000 Hz.



Elektrische stroombronnen

fig. 2a

fig. 2b

In feite probeert de elektronenstroom in de **uitwendige** stroomkring het spanningsverschil te **verkleinen**, d.w.z. het elektronentekort geheel op te heffen. Het is echter de taak van de **stroombron** het spanningsverschil (of potentiaalverschil) te handhaven, dus er voor te zorgen dat aan de — klem steeds weer een elektronentekort en aan de + klem een elektronenoverschot blijft bestaan. Dit kan alleen maar door een **intern** elektronen-transport van de + klem naar de — klem, dus in tegenovergestelde richting, welk transport door chemische of mechanische werking wordt verkregen!

kort en een overvloed aan elektronen heerst.

Later zullen we zien, op welke manier we een dergelijk elektrisch spanningsverschil kunnen veroorzaken; we doen dit langs scheikundige weg in een galvanische batterij waarbij chemische energie wordt omgezet in elektriciteit of met behulp van een dynamo, waar we kracht omzetten in een elektrisch spanningsverschil (fig. 2a en 2b). In de **uitwendige** stroomkring is de beweging der elektronen en dus óók van de stroom gericht van de minpool naar de pluspool; binnen in de stroombron is de elektronenstroom gericht van + naar —. De eenheid van spanning is het

VOLT

afgekort V, genoemd naar de Italiaanse onderzoeker A. Volta. Zo gauw dus de elektronen in beweging komen spreken we van een „stroom”; hoe hoger de spanning hoe sterker de stroom, net als bij water. Natuurlijk kan er slechts dan van stroom gesproken worden als een kringloop mogelijk is. Men spreekt dan van een elektrische kring; ook bij water is er zo'n kringloop (fig. 4): pompstation, watertoren, kraan in onze woning, waterafvoer (gootsteen, closet), riool, rivier, zee; door de zonnewarmte verdampt het water, komt in de wolken, regent, wordt opgevangen en komt weer in het pompstation.

We meten de elektrische stroom met de eenheid

AMPÈRE,

afgekort A, naar de franse natuurkundige van die naam. Voor degene, die nu eens precies wil weten hóéveel stroom 1 ampère is, het volgende: wanneer we de beide draden van een stroombron aansluiten op twee metalen strippen, die

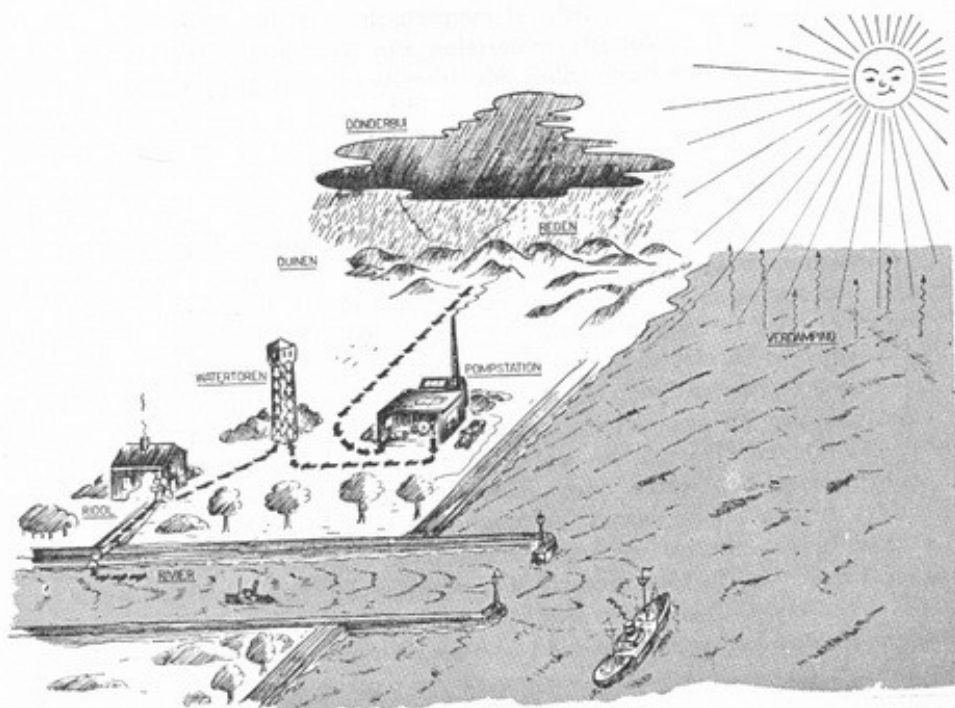


fig. 4

hangen in een bak, gevuld met een zilvernitraat-oplossing, dan zal er een elektrische stroom lopen.

Als gevolg van deze stroom zal er op de negatieve strip zilver neerslaan, aanslibben als 't ware. Dat zilver is afkomstig uit de oplossing, die we het elektrolyt noemen en die dus als „tussenstof” dienst doet; de strippen noemt men elektroden (fig. 5). De positieve strip moet in dit geval uit zuiver zilver bestaan.

Welnu, als er per seconde 0,001118 gram zilver neerslaat, is de stroom juist 1 A. In veel gevallen is een ampère een te grote eenheid; we nemen dan b.v. een duizendste daarvan, 1 mA (milli-ampère) en als dat nog te groot blijkt, een micro-ampère, μA , hetgeen een miljoenste ampère betekent.

Wanneer men een metaal of een geleider in het algemeen met een ander metaal wil bekleden, b.v. verkoperen of verzilveren, gaat men op vrijwel dezelfde manier te werk; men noemt de bewerking dan galvaniseren.

De pijl in fig. 5 geeft de richting aan van het zilvertransport, welke richting tegengesteld is aan die van de elektronen.

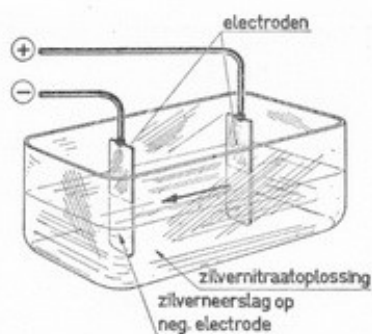


fig. 5

SPANNINGSBRONNEN

De wrijverij van barnsteen en van een glasstaaf met kattevel uit de oudheid komt als stroombron niet in aanmerking. Ook het voorbeeld van Galvani, waarnaar de galvanische elektriciteit genoemd is en die bij toeval ontdekte dat een aan 2 koperdraden opgehangen kikker elektrische stroom af kan geven, is niet aanlokkelijk. Maar we hebben nu de galvanische elementen, die als gevolg van een chemische omzetting elektriciteit leveren en daarnaast de accumulatoren, die door een chemische werking elektriciteit voor ons kunnen bewaren. Tussen beide zaken is een groot verschil; de galvanische elementen noemen we *primaire elementen*, de accumulatoren (= opzamelaars) *secundaire elementen*.

GALVANISCHE ELEMENTEN

Een galvanisch element bestaat in zijn eenvoudigste vorm uit een isolerende bak, waarin 2 verschillende metalen, de z.g. elektroden of polen gedompeld zijn in een vloeistof, het elektrolyt; meerdere elementen (of accumulatoren) tezamen gevoegd tot één spanningsbron noemen de een batterij.

Wanneer we als elektroden koper en zink nemen en als elektrolyt verdund zwavelzuur, dan komen er in het zink elektronen vrij. Verbinden we nu beide polen, waaraan we klemschroeven hebben gemaakt via een koperdraad met een lampje, dan blijft dat branden totdat het element „uitgewerkt” is. We gebruiken tegenwoordig praktisch alleen nog maar elementen in draagbare apparaten, zoals zaklantaarns en kofferradio's, zodat we een „nat” element niet kunnen gebruiken. De huidige gedaante is dan ook een zinken bekertje, met in 't midden een koolstaaf (de beide elektroden). Het elektrolyt is hier geen zuur, maar een zoutoplossing, b.v. salmiak, die in een geleachtige niet vloeibare toestand is gebracht. Dit is het z.g. Leclanché-element. Om de koolstaaf blijkt zich een hoeveelheid koolachtige massa te bevinden; dit is bruinsteen, een z.g. depolarisator (fig. 6).

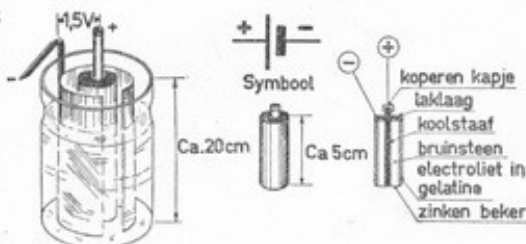


fig. 6



fig. 7



fig. 8
hardgummibak voor accumulator
van $2 \times 2,1 \text{ V}$

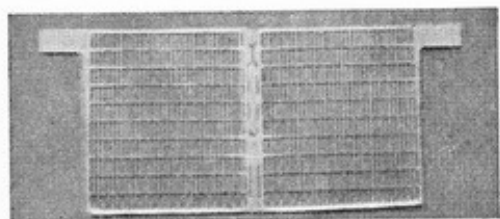


fig. 9a loodraster na het gieten

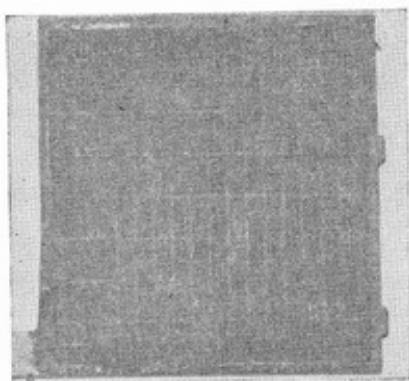


fig. 9b „gesmeerde” accuplaat

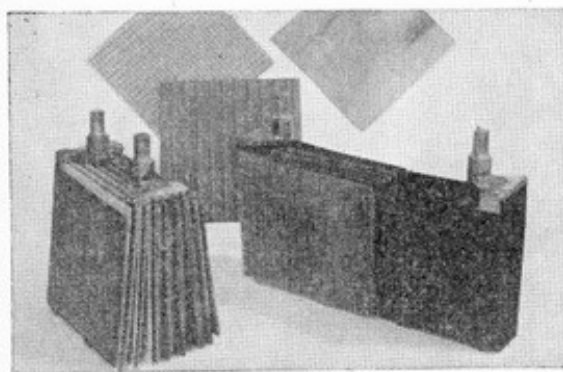


fig. 10 accuplatten met separatieschotjes

Wat is n.l. het geval bij stroomdoorgang? Er vormt zich op de koolstaaf een laag gasbelletjes, waterstofgas, die het werkzame oppervlak steeds kleiner maken waardoor de spanning daalt. In de bruinsteen nu verbindt dit waterstofgas zich met zuurstof tot water, waardoor de koolstaaf werkzaam blijft; dit water is onschadelijk. In deze uitvoering levert het element of de droge cel ca. 1,5 volt. Bij de behandeling van batterij-ontvangers komen wij op de moderne uitvoeringsvormen van droge batterijen terug.

ACCUMULATOREN

Bij accumulatoren kennen we verschillende combinaties van elektroden met elektrolyt, die alle voor een bepaald doel hun speciale voordelen en redenen van bestaan hebben. Bij de loodaccu bevinden zich 2 loodplaten in een bak van isolatiemateriaal (glas, eboniet of hardgummi) gevuld met verdund zwavelzuur. Het soortelijk gewicht hiervan is 1.16 tot 1.18; de zuurgraad is dan $19^\circ \dots 22^\circ$ Baumé, hetgeen we met de z.g. zuurweger kunnen controleren (een glazen buis met rubberbal en in de buis een drijvertje met schaalverdeling (fig. 7) *).

Onder de invloed van zwavelzuur vormt zich op beide loodplaten loodsulfaat. Wanneer we nu een elektrische stroom door de accu voeren zal aan de +pool het loodsulfaat veranderen in het bruinrijze loodsuperoxyd, terwijl het loodsulfaat aan de - pool verandert in heldergrijs zuiver lood. Onder gasontwikkeling zal de zuurdichtheid stijgen tot 24° Baumé. Door de zuurgraad te meten kunnen we dus de ladingstoestand van de cel controleren. Tijdens het laden loopt de spanning op tot 2.6 V per cel, na het laden zakt deze weer tot 2.2 V.

Onder het ontladen keren beide polen weer terug naar hun oorspronkelijke samenstelling, loodsulfaat. Men mag hierbij niet verder gaan dan 1.8 volt. De reden hiervan is de volgende: wanneer we meer willen opzamelen in de accu kunnen we dit doen door meer platen in het zuur te plaatsen doch ook door groter oppervlak aan de platen te geven (fig. 8). Dit doet men door geen massieve loodplaten te gebruiken, maar voor de minpool geperste loodkrullen in een loodraam (fig. 9a) en een z.g. gesmeerde loodpasta plaat voor de + pool (loodpasta = hoofdzakelijk loodmenie) (fig. 9b). Gaat men nu te ver met de ontlading, dan vallen deze platen uiteen en vormen het bekende slib op de bodem, dat op den duur sluiting tussen de platen veroorzaakt. Omdat de platen mechanisch niet zo sterk zijn, vult men de ruimten tussen de platen op met dunne houtschotjes en chemisch onwerkzaam materiaal (fig. 10). Daar op den duur water verdampst, is bijvullen met gedestilleerd water noodzakelijk; de platen moeten minstens 1 cm „onder” staan (fig. 8, 9a, 9b en 10). De accu mag echter nooit met zwavelzuur worden bijgevoerd.

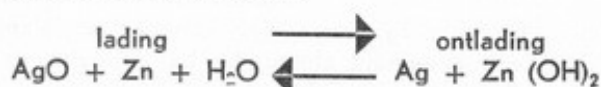
Evenals bij het droge element heeft men bij de loodaccu geprobeerd de „nattigheid” binnen de perken te houden. Eén uitvoeringsvorm voor draagbaar gebruik zoekt de oplossing in een goede vocht-dichte afsluiting, waaruit toch gas moet kunnen ontsnappen. Een andere oplossing is de Varley

*) Slechts met de zuurweger kunnen we de ladingstoestand van een accu beoordelen; een voltmeter (spanningsmeter) is hiervoor niet geëigend.

unspillable accu, waarbij chemisch neutrale glaswol de vloeistof als een spons vasthoudt (fig. 11). De spanning hiervan is 2 volt. Bezwaren van loodaccu's zijn het gewicht en de schadelijke dampen die bij de lading en ontlading opstijgen en bijna alle stoffen in de omgeving aantasten en vernielen. Verder treedt een kleine zelfontlading op, zodat bij niet-gebruik de accu toch regelmatig moet worden opgeladen. Doet men dit niet, dan bedekken de platen zich met een onoplosbaar en onwerkbaar loodsulfaat en wordt de accu onbruikbaar.

Een andere veel gebruikte accumulatur is de Nife (Nikkel-ijzer) accu, een van de vele uitvindingen van Edison (fig. 12). Hierbij gebruikt men nikkel-ijzer-elektroden, gevormd uit gaas van die materialen, gevuld met ijzerkrullen, resp. nikkelkrullen. Als elektrolyt fungeert kaliloog, een 20 % oplossing van kaliumhydroxyde in water, met een soortelijk gewicht van 1.2, terwijl de spanning 1.2 volt is. In tegenstelling met de loodaccu kan hier de accubak ook wel van ijzer zijn; de accu is ongevoelig voor overlading of volkomen ontlading. Voor radiogebruik is het een bezwaar, dat in geladen toestand de spanning dicht bij 1.8 volt ligt en tijdens gebruik terugloopt tot 1.2 V. Overigens is het gewicht zeer veel gunstiger dan van de loodaccu. Ook beschadigt de accu niet, wanneer hij in ongeladen toestand wordt weggezet.

Een nog veel gunstiger accu is de zilver-zink accu, die al in 1860 werd uitgevonden, maar eerst onlangs in Duitsland en Engeland op de markt is verschenen. Tijdens de ontladen toestand gaat men uit van zinkhydroxyd en zilver, welke stoffen na de lading veranderen in zilveroxyd en zink en water, of in het steno van de chemie:



Het hierbij toegepaste elektrolyt is KOH, kalium hydroxyd ofwel kaliloog.

De spanning is 1.4 V, doch loopt tijdens lading op tot 2.1 V. Bij gelijk „bewaarend” vermogen of capaciteit als een loodaccu is het gewicht maar $\frac{1}{6}$ daarvan en de inhoud $\frac{1}{8}$, dat is dus veelbelovend. Alle accu's hebben dit gemeen dat er meer ingestopt moet worden dan men er uit kan halen; ook dit punt is bij de zilver-zink-accu heel gunstig. Deze levert n.l. 85 % van de ontvangen energie weer af; ook de dampen zijn onschadelijk, hetgeen van zwavelzuur helaas niet gezegd kan worden. Helaas dient het laden van de zilver-zink accu met buitengewone zorg te geschieden, waarbij de spanning nimmer boven de 2.1 volt mag komen; „foolproof” is dit artikel dus nog niet.

De aanduiding 20 Ah. op een accu betekent: 20 ampère-uren, dus 20 is in dit geval het aantal ampère $\times$ het aantal uren. Dat kan dus zijn 10×2 of 1×20 of $40 \times \frac{1}{2}$. Staat er dus 10 Ah., dan kan dat zijn: levert gedurende 8 uur $1\frac{1}{4}$ A., want $8 \times 1\frac{1}{4} = 10$.

HOGERE SPANNING

Deze is te verkrijgen zowel bij droge elementen als bij accumulatoren door ze z.g. in serie te schakelen (fig. 13). Men verbindt ze dan kop aan staart, zoals we dat allen kennen uit de zaklantaarnbatterij van $4\frac{1}{2}$ volt. Zink van het ene element komt aan kool van het andere, en de uiteindelijke



fig. 11



fig. 12

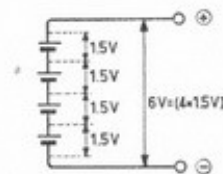


fig. 13
serieschakeling van elementen

spanning krijgen we door de spanningen van elk der elementen gewoon bij elkaar op te tellen. Overigens doet het er wat de spanning betreft volstrekt niet toe wat voor elementen of accumulatoren we in serie schakelen, mits we maar onthouden: + komt aan - van 't volgende element. We zouden hiermee aan zeer hoge spanningen kunnen komen, wanneer we maar voor goede isolatie zorgen tussen de cellen onderling (isolatie = scheiding). Meerdere cellen of elementen noemt men een batterij; men duidt ze aan met een dikke naast een dunne streep. Dun is de pluspool, dik is de min. Dit is de stenografie van de elektrotechnici. (Zie fig. 6).

GROTER STROOM

Wanneer er geen behoefte bestaat aan hoge spanning maar wel aan een groter stroom, dan plaatsen we de cellen parallel (fig. 14) mits deze van dezelfde soort zijn en dus dezelfde spanning hebben. Als regel wordt dit echter afgeraden, omdat de samenstelling van de cellen zelden absoluut gelijk is en dan loopt de ene cel in de andere leeg. Als we het toch doen verbinden we alle - polen aan elkaar en alle + polen eveneens. Hier mogen we de toelaatbare stromen van elk der elementen bij elkaar optellen, dus bijvoorbeeld $20 \text{ Ah} + 30 \text{ Ah} = 50 \text{ Ah}$.

Door een dergelijke parallelschakeling wordt de belastbaarheid van de batterij groter, d.w.z. er kan en mag een grotere stroom afgenomen worden, b.v. wanneer we R verkleinen.

INWENDIGE WEERSTAND

Bij velen komt de vraag naar voren: wanneer een element nu een bepaalde hoeveelheid chemische bestanddelen bevat en deze hoeveelheid is voldoende om een stroom van 0,1 amp. te leveren gedurende b.v. 100 uur, bij een spanning van 1,5 volt, hoe komt het dan dat we die hoeveelheid elektriciteit er niet in veel korter tijd kunnen uithalen, dus door een groter stroom af te nemen? Bijvoorbeeld 10 ampère gedurende 1 uur (óók 10 Ah.) Welnu, het is de inwendige weerstand van de stroombron die de grenzen van de stroomafname of de belastbaarheid stelt, want deze inwendige weerstand komt steeds in serie te staan met de belasting, die we de uitwendige weerstand noemen (fig. 14a).

Bij het wisselspanningsnet is deze weerstand onmeetbaar klein maar bij batterijen (zowel accu's als galvanische elementen) kunnen deze inwendige weerstanden ons parten spelen, want deze R_i komt in serie te staan met de uitwendige belasting R_u en wordt óók door de stroom doorlopen. Het mooie voorbeeld hiervan is een starteraccu van een auto. Is die accu van te kleine capaciteit, te oud of slecht geladen, dan is de inwendige weerstand hoog. Meten we met een voltmeter op de klemmen, dan meten we 6,3 volt. Mooi dus. Maar nu gaan we starten; de accu wordt zwaar belast en plots zakt de spanning op bijvoorbeeld 4 volt. Laten we de startknop los dan is de accu weer een hele piet. In die accu zit dus ergens een voor ons ook onzichtbare weerstand en dat is de R_i , die zich overigens geheel als een in serie geschakelde weerstand gedraagt; de spanningsval over een dergelijke weerstand leren we verderop berekenen; meten kunnen we hem niet, omdat het denkbeeldige punt

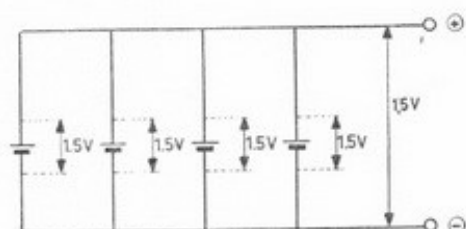


fig. 14
parallelschakeling van elementen

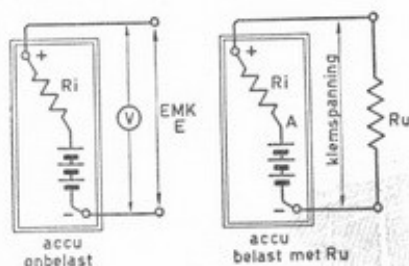


fig. 14a

A in de accu verstopt zit en voor ons onbereikbaar is. Men heeft de gewoonte de spanning op de accu in onbelaste toestand de EMK, de elektro-motorische kracht te noemen (E), terwijl de spanning op dezelfde klemmen tijdens belasting de klemspanning heet.

Het zal ons streven zijn de R_i laag te houden; bij accu of elementen door meerdere cellen parallel te schakelen, bij elementen tevens door de polarisatie op de koolstaaf tegen te gaan (pag. 1-7).

Tot goed begrip moet worden vastgesteld, dat we dus in kortere tijd wel een grotere stroom kunnen afnemen, maar dan is de spanning tevens sterk verlaagd als gevolg van de R_i en dat kan onze bedoeling nooit zijn.

Om nog even goed vast te stellen waar die inwendige weerstand van een spanningsbron zetelt verwijs ik naar fig. 4: wanneer het pompstation een te kleine pomp bevat zal deze het reservoir boven in de watertoren niet gevuld kunnen houden bij een te grote waterafname: de R_i is dan te groot. Evenzeer loopt de zaak spaak wanneer de buis van pompstation naar het reservoir te dun is; ook dat is een deel van de R_i .

DYNAMO'S VOOR GELIJK- EN WISSELSpanning

Andere vormen van elektriciteitsbronnen zijn z.g. dynamo's apparaten, waarbij elektriciteit verkregen wordt uit kracht die afkomstig kan zijn uit stoom, wind, benzine, water of zelfs van hand of voet (slinger- of trap-apparaat). In feite wordt hierbij een draadwinding om een stuk weekijzer, z.g. anker gewikkeld en dit anker tussen de polen van een magneet gewenteld (fig. 15). De aldus verkregen spanning is wisselspanning (fig. 16), waar bij de elektronen niet altijd naar één richting lopen, doch vele malen per seconde heen en terug lopen. Bij onze wisselstroomnetten geschiedt dit $50 \times$ per sec. Door een vernuftige inrichting, de z.g. poolwisselaar of commutator, die op dezelfde as bevestigd is, kan deze „gelijk” gericht worden tot gelijkspanning (fig. 17). De spanning, die deze machines afgeven, hangt af van de draaisnelheid en de bewikkeling van het anker. Veel draadwindingen van dun draad geven een hoge spanning bij kleine stroom, weinig windingen van dikke draad een lage spanning bij grote stroom.

Als regel fabrieken we niet zelf de spanning op één dezer moeizame manieren, doch gebruiken wij het distributienet van de Centrale, die tegenwoordig vrijwel uitsluitend wisselspanning levert; voorlopig gaan we er van uit, dat berekeningen van stroom, spanning en weerstand ook voor wisselstroom gelden; later zullen we wel zien wanneer en in hoeverre dit niet het geval is.

WEERSTAND

Als we nu een draadverbinding tot stand brengen tussen een + -pool en een - pool, dan zal daardoor een stroom lopen, afhankelijk van de weerstand die de draad bezit, evenals bij de waterleiding de wijde van de buis de hoeveelheid doorstromend water bepaalt.

We noemen dit een uitwendige stroomkring, de z.g. belasting. De grootte van deze weerstand drukken we uit in

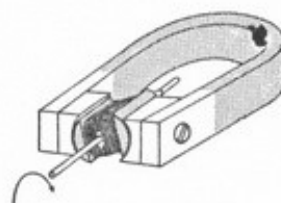
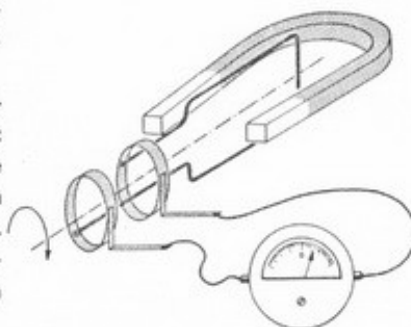


fig. 15
anker in magnetisch veld



draadlus in magnetisch veld

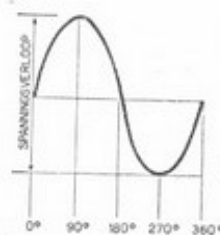


fig. 16
één omwenteling van de draad-
lus in 't magnetisch veld
grafisch voorgesteld

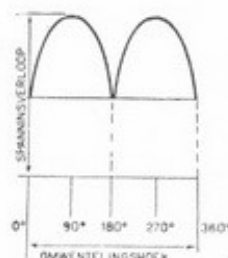
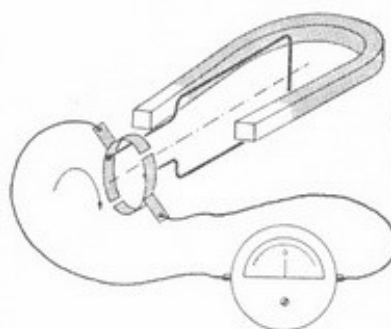


fig. 17
als fig. 16,
doch nu met poolwisselaar

OHM,

naar de Duitse natuurkundige Ohm,; we korten dit af met Ω , om geen verwarring met de nul te krijgen.

In formules noemen we de weerstand R. In radiokringen gebruiken we vaak grote weerstanden; een miljoen ohm schrijven we (Mega) Ω ; 1000 Ω is kilo ohm = $k\Omega$. In onze tekeningen van schakelingen, die we schema's noemen, tekenen we een weerstand als een zig-zag lijntje of een rechthoekje.

Waarvan hangt de weerstand nu eigenlijk af?

Om even bij het voorbeeld met water terug te komen: hoe wijder de buis hoe minder de weerstand, maar ook hoe langer de buis hoe meer weerstand het water ondervindt bij het doorstromen. Met geleiders is het al net zo: hoe dikker de draad, hoe lager de weerstand; hoe langer de draad, hoe hoger de weerstand. Bovendien blijkt een ijzerdraad, die even lang en dik is als een koperdraad, een veel hogere weerstand te bezitten dan die koperdraad; er bestaat dus ook nog onderling verschil in de metalen wat betreft de weerstand!

Om nu van de verschillende metalen de weerstanden onder gelijke omstandigheden te kunnen vergelijken, geeft men in onderstaande tabel de z.g. soortelijke weerstand, dat is de weerstand van een draad van 1 meter lengte en 1 vierkante millimeter doorsnede, ρ genoemd, bij 15° C. (ρ spreek uit: rho).

Aluminium	0.03	IJzer	0.14
Koper	0.0175	Nikkel	0.132
Zilver	0.016	Nikkeline	0.4
Brons	0.028	Constantaan	0.5
Messing	0.08	Zink	0.062

Wanneer we nu de weerstand willen weten van een draad, passen we de volgende formule toe:

$$R = \frac{\rho \times \text{lengte in meters}}{\text{doorsnede in millimeters}^2} \Omega$$

Nu drukken we in 't algemeen die lengte uit met de letter l en de oppervlakte van de doorsnede met q; wanneer we dit nu invullen gaat de formule er zó uitzien:

$$R = \frac{\rho \times l}{q}$$

Denk er echter om: lengte (l) in meters en doorsnede in vierkante millimeters, dus mm^2 .

Voorbeeld:

We nemen nu een nikkeline draad (voor el. kacheltje) van 8 m lengte en 0.4 mm dikte. Eerst moeten we de doorsnee q

weten. Als d de dikte is, is de doorsnede $q = \frac{\pi}{4} \times d^2$; we

$$\text{krijgen dus } \frac{\pi}{4} \times d^2 = \frac{\pi}{4} \times 0.4^2 = \frac{\pi}{4} \times 0.16 \quad (\pi \text{ betekent}$$

3.14159, afgekort 3.14; omdat dit getal bij deze soort berekeningen steeds terugkomt, schrijven we in steno: π en spreken uit: pi).

$$q \text{ is dus } \frac{\pi}{4} \times 0.16 = 0.1257 \text{ mm}^2.$$

$$\text{De weerstand is dus } \frac{\rho \times l}{q} = \frac{0.4 \times 8}{0.1257} = 25.4 \Omega.$$

Een ander voorbeeld:

We hebben een transformator gewikkeld en er zitten op de secundaire (later zien we wel wat dat is) 2200 windingen van koperdraad; elke winding is gemiddeld 16 cm lang (de buitenste wat langer, de binnenste, vlak om de kern, wat korter), draaddikte is 0.20 mm.

Hoe groot is de gelijkstroomweerstand van die wikkeling? Totale lengte van de draadwindingen is $2200 \times 16 \text{ cm} = 35200 \text{ cm} = 352 \text{ meter}$.

Dikte is 0.20 mm. Oppervlak van de draaddoorsnede is dus:

$$\frac{\pi}{4} \times 0.20^2 = \frac{\pi}{4} \times 0.04 = 0.785 \times 0.04 = 0.0314 \text{ mm}^2.$$

We krijgen nu:

$$\frac{\rho \times l}{q} = \frac{0.0175 \times 352}{0.0314} = \frac{175 \times 352}{314} = \text{ca. } 196 \Omega.$$

Maar let op: de aldus berekende weerstanden gelden slechts bij een temperatuur van 15°C .; wordt deze temperatuur door belasting, dus als er stroom doorloopt, hoger, dan stijgt de weerstand! Niet alle weerstanden zijn zo, wij gaan hierover later verder praten.

WET VAN OHM

We weten nu, dat de spanning de elektrische stroom door de geleider drijft, maar dat de stroom weer afhangt van de weerstand van de geleider. Natuurlijk bestaat er een verband tussen deze verschijnselen en dat is door Ohm vastgelegd in een wet, die naar hem de wet van Ohm genoemd is. Die wet luidt: Spanning in volts = de stroomsterkte in ampères $\times$ de weerstand in ohms.

In formules noemden we echter, om lange woorden te vermijden, de spanning E , de stroom I en de weerstand R ; de wet van Ohm ziet er in de formule aldus uit:

$$E = I \times R, \text{ of } I = \frac{E}{R}, \text{ of } R = \frac{E}{I}.$$

Om maar weer tot het water terug te keren, betekent dit dus: bij een bepaalde waterdruk en een bepaalde weerstand in de pijp zal er een zekere waterstroom lopen (fig. 18). Verlagen we de druk door hem $2 \times$ zo klein te maken maar gebruiken we dezelfde lengte pijp, met dezelfde weerstand, dan moet de stroom vanzelf wel $2 \times$ zo klein worden (fig. 19).

Laten we echter de druk onveranderd, maar willen we $2 \times$ zoveel water hebben, dan zit er niets anders op dan de pijp $2 \times$ zo grote doorsnede te geven, waardoor de weerstand $2 \times$ zo klein wordt (fig. 20).

Maken we de spanning $3 \times$ zo groot door de toren $3 \times$ zo hoog te maken, maar hebben we slechts één soort buis beschikbaar, dan zal door de grotere buislengte de weerstand $3 \times$ zo groot worden en onze waterstroom helaas niet veranderen (fig. 21).

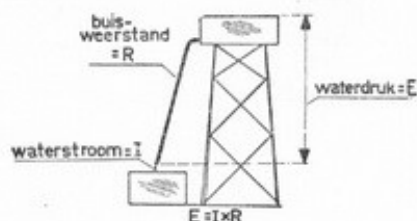


fig. 18

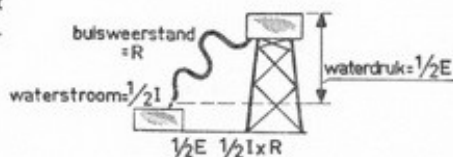


fig. 19

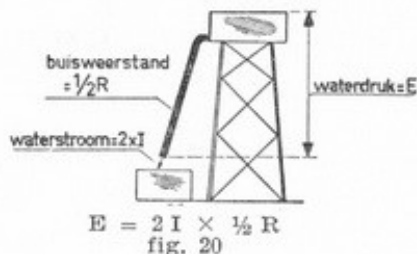


fig. 20

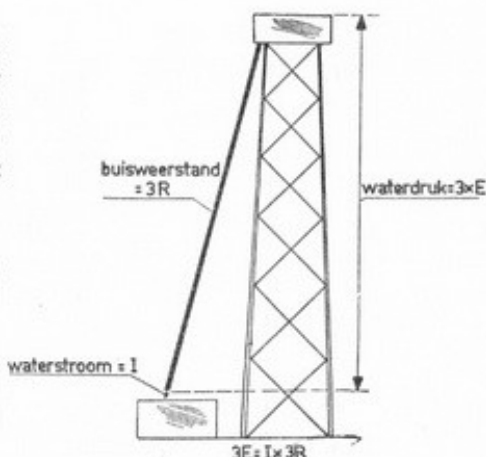


fig. 21

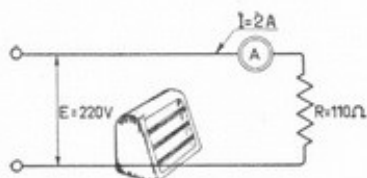


fig. 22a



fig. 22b

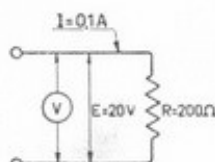


fig. 22c

We bespreken dit chapter nogal uitvoerig, omdat deze wet van Ohm de eenvoudigste en toch de meest gebruikte wet is in elektro- en radiotechniek.

Voorbeeld.

Nu een elektrisch voorbeeld: we hebben een gelijkspannings-net van 220 V en een kacheltje, waarvan we de weerstand weten, n.l. 110 Ω. Hoe groot is nu de stroom? (fig. 22a).

Gegeven: $E = 220 \text{ V}$. $R = 110 \Omega$.

$$I = \frac{E}{R} = \frac{220}{110} = 2 \text{ ampère.}$$

Nog een voorbeeld: we hebben in een radiobuis een gloei-draad met een weerstand van 200 Ω. Op de buis staat: 100 mA. Voor welke spanning is deze bestemd? fig. 22b en 22c).

Van die milli-ampères maken we eerst ampères: 100 mA = 0.1 A.

$$E = I \times R = 0.1 \times 200 = 20 \text{ volt.}$$

SERIESCHAKELING VAN WEERSTANDEN

Nu komt het in de praktijk voor, dat we weerstanden in serie of parallel moeten schakelen, net zoals we dat met accucellen gedaan hebben. Dit moet b.v. als we een accu van 32 volt hebben en toch die radiolamp van 20 volt willen gebruiken. In serie met die lamp moeten we dus nog een weerstand schakelen, anders zou de stroom te groot worden.

Welnu, als we 2 of meer weerstanden in serie moeten schakelen, is de totale weerstand de optelsom van de afzonderlijke weerstanden. In een formule zeggen we dan:

$R_{\text{totaal}} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$ (we zeggen ook wel: R_v (vervangingsweerstand)).

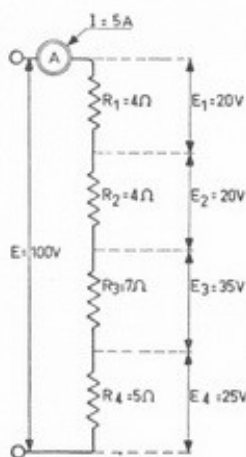


fig. 24

Voorbeeld: vier weerstanden van resp. 4, 4, 7 en 5 Ω schakelen we in serie. Hoe groot is de totaalweerstand? (fig. 24). $R_{\text{tot.}} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = 4 + 4 + 7 + 5 = 20 \Omega$.

De „vervangingsweerstand” van de vier weerstanden is dus 20 Ω (fig. 25). Omgekeerd kunnen we, als we een weerstand van 20 Ω nodig hebben, ook een aantal afzonderlijke weerstanden aan elkaar knopen totdat we 20 ohm hebben; sluiten we die 4 in serie geschakelde weerstanden uit dit voorbeeld nu eens op 100 volt aan, dan is de stroom:

$$I = \frac{E}{R} = \frac{100}{20} = 5 \text{ A (fig. 26).}$$

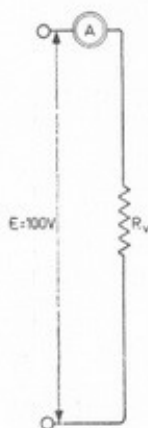


fig. 25

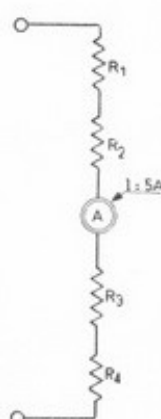


fig. 26

Wanneer we dit niet zouden geloven, kunnen we in serie met die weerstanden een ampère-meter opnemen (ampère-meters, dus stroommeters steeds in serie!) Die wijst prompt 5 A aan! Natuurlijk blijft het hetzelfde op welke plaats we de meter in de stroomkring (of circuit) opnemen; overal loopt een stroom van 5 A! I is dus voor alle weerstanden gelijk. Nu gaan we de proef op de som nemen: we gaan eens berekenen welke spanning er over elke weerstand afzonderlijk staat, weer met de wet van Ohm (fig. 24). We noemen die over de weerstand gemeten spanning de spanningsval over die weerstand.

$$\begin{aligned}
 E_1 &= R_1 \times I = 4 \times 5 = 20 \text{ V} \\
 E_2 &= R_2 \times I = 4 \times 5 = 20 \text{ V} \\
 E_3 &= R_3 \times I = 7 \times 5 = 35 \text{ V} \\
 E_4 &= R_4 \times I = 5 \times 5 = 25 \text{ V}
 \end{aligned}$$

Het totaal = 100 V

We zien dus, dat over elk der afzonderlijke weerstanden een spanningsval optreedt en dat de som hiervan weer de totale spanning is. (De som betekent de optelling.)

POTENTIOMETERSCHAKELING

Een serieschakeling van meerdere weerstanden noemt men een potentiometerschakeling.

Men kan gemakkelijk de spanning berekenen, die over één of meerdere weerstanden komt te staan:

De stroom door de in serie geschakelde weerstanden berekent men door alle weerstanden bij elkaar op te tellen; de aldus verkregen waarde R_v behandelen we weer met de wet van Ohm om de gemeenschappelijke stroom in die kring te

weten te komen: $I = \frac{E}{R_v}$.

De spanningsval E over een weerstand is $I \times R$; de spanningsval over twee weerstanden, b.v. $R_1 + R_2$ bedraagt:

$$I \times (R_1 + R_2)$$

Voorbeeld:

Wanneer de spanning E over de 4 weerstanden 100 volt is, willen wij eens nagaan hoe groot de spanning is, gemeten over weerstand R_4 ($= 5 \Omega$), dus tussen de punten D en E. We noemen die spanning E_{DE} (zie fig. 27).

Vóór alles moeten we de totale stroom weten: we moeten dus de vervangingsweerstand R_v van de 4 weerstanden ken-

nen om de formule $I = \frac{E}{R_v}$ te kunnen toepassen:

$$R_v = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = 4 + 4 + 7 + 5 = 20 \Omega.$$

$$I \text{ is dan } \frac{E}{R_v} = \frac{100}{20} = 5 \text{ A.}$$

Spanningsval over R_4 is $E_{DE} = I \times R_4 = 5 \times 5 = 25 \text{ V}$. En willen we nu de spanningsval weten over de drie weerstanden R_2 , R_3 en R_4 , dus E , dan berekenen we dit als volgt:

$$\begin{aligned}
 E &= I \times (R_2 + R_3 + R_4) = 5 \times (4 + 7 + 5) = \\
 &5 \times 16 = 80 \text{ volt.}
 \end{aligned}$$

Het is ook duidelijk, dat wanneer in zo'n stroomkring tussen verschillende andere weerstanden er zich 2 van gelijke waarden bevinden, de spanningsvallen over deze twee weerstanden aan elkaar gelijk moeten zijn. Inderdaad hebben beide weerstanden van 4Ω een spanningsval van 20 V.

Als nieuw voorbeeld nemen we nu weer die radiobuis uit een vorig voorbeeld. We wisten, dat die een weerstand had van 200Ω en dat de stroomsterkte 100 mA of 0.1 A was. We berekenden, dat die buis dus bestemd was voor een spanning van 20 volt. Als die buis nu op een accu van 32 volt moet werken, moeten we een serieweerstand R_{serie} toepassen.

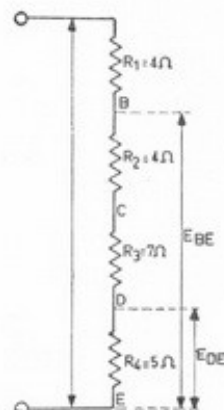


fig. 27

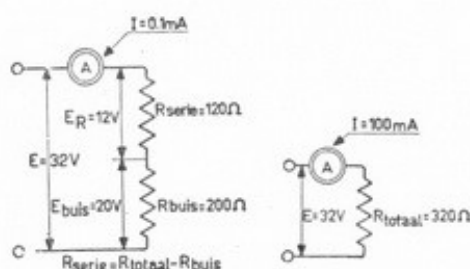
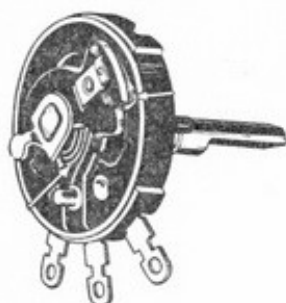


fig. 28



De potentiometer

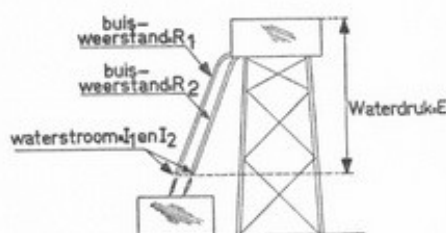


fig. 29a

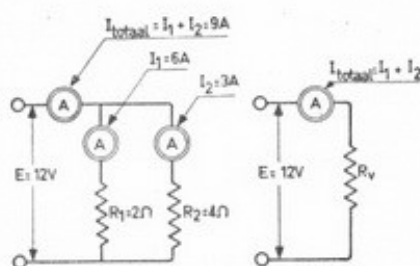


fig. 29b

Eerst berekenen we de totale weerstand $R_{tot.}$ (fig. 28), die in feite hier de vervangingsweerstand R_v voorstelt.

$$R_{tot.} = \frac{E}{I} = \frac{32}{0,1} = 320 \, \Omega, \text{ maar } R_{tot.} = R_{buis} + R_{serie}.$$

We mogen ook zeggen: $R_{serie} = R_{tot.} - R_{buis}$. (Even een getallenvoorbeeld: $8 = 3 + 5$, maar $5 = 8 - 3$). $R_{serie} = R_{tot.} - R_{buis} = 320 \, \Omega - 200 \, \Omega = 120 \, \Omega$.

Rekenen we nu de spanningsval over de serieweerstand R_{serie} uit, dan vinden we, weer met de wet van Ohm:

$$E = I \times R_s = 0,1 \times 120 \, \Omega = 12 \, \text{V}.$$

De buis krijgt dus $32 \, \text{V} - 12 \, \text{V} = 20 \, \text{V}$ en de zaak klopt.

Er bestaat een aardige formule om de spanning over een bepaalde weerstand in een potentiometerschakeling te vinden zonder veel rekenen. We grijpen maar even naar fig. 27. Stel maar weer, dat E 100 volt is. Gevraagd wordt de spanning over b.v. weerstand R_3 ($= 7 \, \Omega$), terwijl we kunnen optellen, dat de totaal-weerstand R_t $20 \, \Omega$ bedraagt. Welnu, de

$$\text{spanning over } R_3 = \frac{7}{20} \times 100 \, \text{V} = 35 \, \text{volt!}$$

Een bijzondere vorm van een potentiometerschakeling vinden we in de z.g. potentiometer, een weerstand waarlangs een schuifcontact zich kan bewegen. We komen later in de lessen een bijzondere uitvoering hiervan tegen; hierbij is de weerstand cirkelvormig gebogen en kan de aftakking daarop worden veresteld door het verdraaien van een as in het middelpunt van de cirkel.

PARALLELGESCHAKELDE WEERSTANDEN

Ook dit is natuurlijk mogelijk. Wanneer we even naar 't wattervoorbeeld teruggrijpen, krijgen we dus 2 afvoerpijpen in plaats van één. Het is ook wel duidelijk, dat al is één van die 2 buizen nu nog zo wijd, dat de weerstand van die 2 parallelbuizen steeds geringer is dan van één van hen afzonderlijk (fig. 29a). En hoe meer afvoerpijpen er parallel geschakeld zijn, des te groter zal de totale stroom en dus des te lager moet de totale weerstand zijn.

Met parallelgeschakelde elektrische weerstanden is 't al weer net zo. Als we op een accu van b.v. 12 V, 2 weerstanden parallel aansluiten van resp. 2 en 4 Ω en berekenen we de stroom door elk afzonderlijk, dan krijgen we: (fig. 29b)

$$I_1 = \frac{E}{R_1} = \frac{12}{2} = 6 \, \text{A} \quad I_2 = \frac{E}{R_2} = \frac{12}{4} = 3 \, \text{A}$$

Omdat die stromen tegelijkertijd door afzonderlijke kanalen lopen, mogen we ze bij elkaar optellen:

$$I_{totaal} = I_1 + I_2 = 6 \, \text{A} + 3 \, \text{A} = 9 \, \text{A}$$

Als we nu een accu van 12 volt hebben en weten dat er een stroom $I_{tot.}$ van 9 A loopt, hoe groot is dan de weerstand $R_{verv.}$?

Volgens de wet van Ohm krijgen we:

$$R_{verv.} = \frac{E}{I_{tot.}} = \frac{12}{9} = 1\frac{1}{3} \, \Omega. \text{ Dit is nu de vervangings-}$$

weerstand $R_{verv.}$ en inderdaad zien we nu, dat deze vervangingsweerstand kleiner is dan zowel R_1 (2 Ω) als R_2 (4 Ω).

Nu is deze manier om achter de vervangingswaarde te komen nogal omslachtig; gelukkig is er een andere manier. Het heeft geen zin om het waarom hiervan te bespreken, we moeten er alleen maar als een foefje gebruik van maken. In formule ziet het er zó uit:

Voor twee parallelgeschakelde weerstanden geldt:

$$R_{\text{verv.}} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} \quad (\text{fig. 29b})$$

Rekenen we ons voorbeeld met deze formule na, dan krijgen we:

$$R_{\text{verv.}} = \frac{2 \times 4}{2 + 4} = \frac{8}{6} = 1\frac{1}{3} \Omega. \text{ Dat klopt dus.}$$

Voor meerdere parallelgeschakelde weerstanden gaat dit niet op. Stel eens, dat er 4 weerstanden parallelgeschakeld zijn: R_1 , R_2 , R_3 en R_4 . We doen dan verstandig voor elk der weerstanden afzonderlijk de stroom te berekenen. E is dan voor allen gelijk.

$$I_1 = \frac{E}{R_1}; \quad I_2 = \frac{E}{R_2}; \quad I_3 = \frac{E}{R_3}; \quad I_4 = \frac{E}{R_4}.$$

De totale stroom is dan: $I_{\text{tot.}} = I_1 + I_2 + I_3 + I_4$ en de gevraagde vervangingsweerstand berekenen we daarna als volgt:

$$R_v = \frac{E}{I_{\text{tot.}}} = \frac{E}{I_1 + I_2 + I_3 + I_4}$$

Nu kunnen we deze moeizame berekeningen wel gaan verrichten, maar 't kan ook gemakkelijker. We stellen E voor 't gemak op 1 volt. Wij krijgen dan voor de vervan-

gingsweerstand: $R_v = \frac{E}{I_{\text{tot.}}}$, waarvoor we ook schrij-

$$\text{ven mogen: } R_v = \frac{E}{I_1 + I_2 + I_3 + I_4} = \frac{1}{I_1 + I_2 + I_3 + I_4}.$$

Voor de stromen I_1 , I_2 , I_3 en I_4 mogen we, nu $E = 1$ volt, ook schrijven:

$$I_1 = \frac{1}{R_1}; \quad I_2 = \frac{1}{R_2}; \quad I_3 = \frac{1}{R_3} \text{ en } I_4 = \frac{1}{R_4}. \text{ Ingevuld geeft dat:}$$

$$R_v = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}}$$

waarvoor we weer mogen schrijven:

$$\frac{1}{R_v} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}.$$

Dit is een gemakkelijke formule, die ook voor meer dan 4 weerstanden parallel bruikbaar blijft. Even een voorbeeld:

Gegeven 5 weerstanden: 3, 6, 2, 4 en 5 Ω . Bepaal R_v .

$$\frac{1}{R_v} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6} + \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{5}$$

Dit kunnen we zonder meer niet optellen; eerst 't kleinste gemene veelvoud zoeken. Dat is hier 60.

$$\frac{1}{R_v} = \frac{20}{60} + \frac{10}{60} + \frac{30}{60} + \frac{15}{60} + \frac{12}{60} = \frac{87}{60}$$

$$R_v = \frac{60}{87} \Omega = 0,689 \Omega.$$

De grote fout die hierbij vaak gemaakt wordt is, dat men

vergeet de vorm $\frac{87}{60}$ op zijn kop te zetten.

Zijn 2 parallelgeschakelde weerstanden gelijk, dan is het duidelijk, dat voor ieder de helft van de stroom gaat en dat de vervangingsweerstand de helft van één dezer weerstanden is.

WET VAN KIRCHHOFF

We komen nu aan de 1e wet van Kirchhoff, die zegt, dat wanneer we een aftakpunt of knooppunt van geleiders of weerstanden (die toch ook geleiders zijn) beschouwen, de som van alle toevloeiende stromen gelijk is aan de som van alle afvloeiende stromen (fig. 30). Dat moet ook wel, want

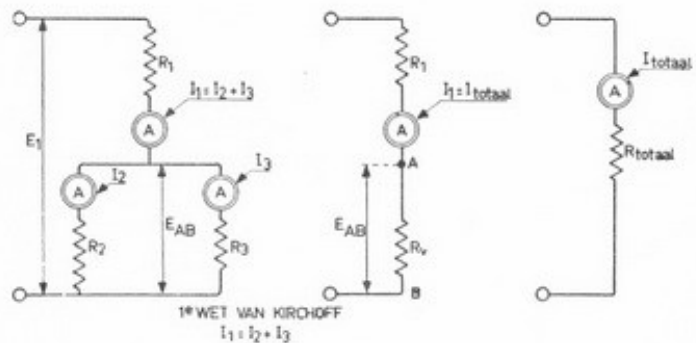


fig. 30

anders zou er onderweg stroom moeten bijkomen of verdwijnen en dat is niet het geval.

Voorbeeld.

Twee weerstanden $R_2 = 4 \Omega$ en $R_3 = 6 \Omega$ staan parallel geschakeld; samen staan ze in serie met $R_1 = 7,6 \Omega$. De spanning E is hier weer 100 volt.

Eerst berekenen we de vervanging voor R_2 en R_3 :

$$R_v = \frac{4 \times 6}{4 + 6} = \frac{24}{10} = 2,4 \Omega$$

R_1 en R_v in serie geven $R_{tot} = 7,6 + 2,4 = 10 \Omega$.

De stroom door $R_{tot.} = I_{tot.} = \frac{E}{R} = \frac{100}{10} = 10 \text{ A.}$

Spanningsval over $R_{verv.}$ dus:

$$E_{AB} = I_{tot.} \times R_{verv.} = 10 \times 2.4 = 24 \text{ V.}$$

$$I_2 = \frac{E_{AB}}{R_2} = \frac{24}{4} = 6 \text{ A.}$$

$$I_3 = \frac{E_{AB}}{R_3} = \frac{24}{6} = 4 \text{ A.}$$

I_1 is gelijk aan de hoofdsom $I_{tot.}$; we zien nu dat:

$$I_1 \text{ is gelijk aan } I_2 + I_3 = 6 \text{ A} + 4 \text{ A} = 10 \text{ A.}$$

VERMOGEN

Wanneer we een weerstand op het net of een andere spanningsbron aansluiten, levert dat net een prestatie en het blijft voor dat net hetzelfde of we nu een weerstand tot verwarming brengen, een motor laten lopen of een lamp gebruiken. We nemen een bepaald vermogen op en de lamp of motor gedraagt zich dus als een weerstand wat betreft het stroomverbruik.

Ter ere van de uitvinder van de stoommachine is de eenheid van het Vermogen een watt genoemd, afgekort W.

Het vermogen in watts = spanning in volts $\times$ stroomsterkte in ampères of in formule $W = E \times I$.

Bij grote verbruiksapparaten spreken we van kilowatt d.i. 1000 watt, terwijl we bij kleine vermogens, b.v. van eindbuisje van batterij-ontvangers van milli-watt = mW =

$$\frac{1}{1000} \text{ watt spreken.}$$

In plaats van watt zeggen we ook wel VA, volt-ampère. Het door een net of batterij gedurende een bepaalde tijd geleverde vermogen noemen we „arbeid”. Wij duiden deze aan met watt-uren (Wh; h = hora = uur (lat.) of ook wel kilowatt-uren (kWh). In de elektrische meters wordt ons verbruik genoteerd met een telwerk (fig. 31).

We moeten ons goed voor ogen stellen, dat we, om aan een bepaald vermogen te komen, niet gebonden zijn aan een bepaalde spanning.

Wel springt het dadelijk in het oog, dat een 32 volt net van veel dikker draden moet worden aangelegd, terwijl bij het 220 V net de isolatie-eisen weer hoger zijn. Daarbij komt het persoonlijk gevaar; spanningen boven 80 V kunnen dodelijk zijn voor mensen; is onze lichamelijke weerstand laag tengevolge van transpireren, ziekte, tabak- of drankmisbruik, dan loopt er spoedig te veel stroom door ons lichaam en treedt de dood in.

Wij zullen nu eens 2 kacheltjes van 1 kW, dus 1000 watt bezien, een bestemd voor 220 V en een voor 32 V, een spanning die in boerderijen met eigen stroomvoorziening vaak wordt toegepast.

De stroomsterkte is voor de 220 V kachel:

$$I = \frac{W}{E} = \frac{1000}{220} = 4.54 \text{ A}$$

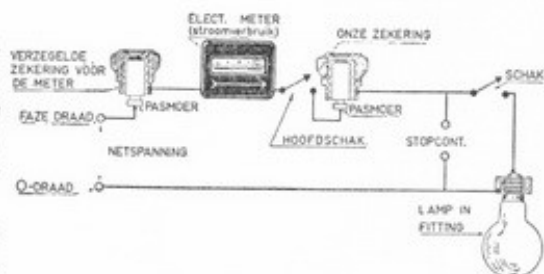


fig. 31

Schakelschema van een huisaansluiting op één fase van een draaistroomnet, wanneer één draad, de 0-draad geaard is. (Draaistroomnet wordt later behandeld.)

De stroomsterkte voor de 32 V kachel:

$$I = \frac{1000}{32} = 31.2 \text{ A}$$

Nu nog even de weerstand van beide kacheltjes vergelijken.

$$\text{Bij 220 V kachel } R = \frac{E}{I} = \frac{220}{4.54} = 48.5 \, \Omega$$

$$\text{Bij 32 V kachel } R = \frac{E}{I} = \frac{32}{31.2} = 1.03 \, \Omega$$

Sluiten we nu de 220 V kachel op de 32 V aan, dan krijgen we als stroom:

$$I = \frac{E}{R} = \frac{32}{48.5} = 0.66 \text{ A}$$

en het vermogen is $W = E \times I = 32 \times 0.66 = 21.2 \text{ W}$. Dat is dus wel héél pover.

Sluiten we echter de 32 V kachel op 220 V aan, dan komt uit de bus:

$$I = \frac{E}{R} = \frac{220}{1.03} = 215 \text{ A}$$

en het vermogen is $W = E \times I = 220 \times 215 = 47300 \text{ W}$, dus 47.3 kW!

Natuurlijk kan het 32 V kacheltje dit niet hebben, want zijn gloeispiraal is berekend op een stroom van 31.2 A en nu loopt er liefst 215 A door. De draad wordt te sterk verhit en smelt ergens door.

Wij kunnen dus zonder enig gevaar van beschadiging een apparaat wel op een lágere spanning aansluiten dan waarvoor het bestemd is, maar nimmer op een hógere.

BELASTBAARHEID VAN WEERSTANDEN

In de radiotechniek maakt men veel van weerstanden gebruik. De waarden variëren van ca. $10 \, \Omega$ tot $10 \text{ M}\Omega$, terwijl men ze maakt van een belastbaar vermogen van 25 watt tot $\frac{1}{4}$ watt. Voor lagere waarden bij groot vermogen, dus b.v. $100 \, \Omega$, 10 W wikkelt men die draad op een porceleinen (keramisch) buisje. Voor de hogere waarden brengt men een dun koollaagje op een dergelijk stenen buisje aan; soms omhult men het gehele weerstandslichaam met bakeliet. Sommige fabrieken zetten de weerstandswaarde in cijfers op de weerstand; thans wordt naar Amerikaans voorbeeld veelal de kleurcode toegepast.

Weerstanden en weerstanden zijn twee!

Om in te zien waarin dit zit moeten we de weerstandsformule er meer weer bijhalen:

$$R = \frac{\rho \times l}{q} = \frac{\rho \times l}{\frac{\pi}{4} \times d^2}$$

We zullen eens een weerstand berekenen van een stuk ijzerdraad van 10 m lengte en een dikte van 3 mm.

$$R = \frac{0.14 \times 10}{\frac{\pi}{4} \times 3^2} = \frac{0.14 \times 10}{3.14 \times \frac{1}{4} \times 9} = \frac{1.4}{7.065} = 0.198 \Omega$$

Nu berekenen we eens de weerstand van een stuk ijzerdraad van 10 cm lengte en 0.3 mm dikte:

$$R = \frac{0.14 \times 0.1}{\frac{\pi}{4} \times 0.3^2} = \frac{0.14 \times 0.1}{3.14 \times \frac{1}{4} \times 0.09} = \frac{0.014}{0.07065} = \frac{1.4}{7.08} = 0.198 \Omega$$

Daar blijkt die dikke draad n.b. dezelfde weerstand te hebben als de dunne, maar dat komt door het grote lengteverschil. Wij kunnen dit in de formule ook duidelijk zien, als we het gedeelte links van de stippellijn beschouwen: wanneer we eenmaal de soortelijke weerstand voor ijzer hebben ingevuld verandert hieraan niets meer, welke de afmetingen van de draad ook mogen worden. Het gedeelte rechts van de stippellijn wordt geheel beheerst door de lengte, gedeeld door de oppervlakte van de draad.

Van beide draden bedraagt de weerstand 0.198Ω ; beide draden zullen door de stroom verwarmd worden en nu hangt het o.m. van de ventilatie af hoeveel stroom een draad verdragen kan voor hij smelt. Het ligt voor de hand, dat een dikke lange draad meer verdragen kan dan een dunne korte. Het is dus niet voldoende als we de weerstandswaarde van een weerstand vermelden; ook het maximaal toelaatbare vermogen moet worden vermeld.

Voorbeeld.

Als we nu in een schermroosterleiding een weerstand moeten hebben en de hoogspanning is 200 V, de schermrooster-spanning 40 V en de schermroosterstroom volgens opgave 0.2 mA, dan berekenen we de gezochte waarde als volgt: Spanningsval in de weerstand = $200 \text{ V} - 40 \text{ V} = 160 \text{ V}$. $I = 0.2 \text{ mA} = 0.0002 \text{ A}$.

$$\text{De weerstand } R = \frac{E}{I} = \frac{160}{0.0002} = \frac{1.600.000}{2} = 800.000 \Omega.$$

Nu nog even het vermogen berekenen:

$$W = E \times I = 160 \times 0.0002 = 0.032 \text{ W}.$$

Hier moet dus een weerstand van $\frac{1}{4}$ watt gebruikt worden. Kleiner typen zijn n.l. niet in de handel.

Nog een voorbeeld:

Een radiobuis (triode) heeft een anodestroom van 25 mA en moet een negatieve rooster spanning hebben van 8 volt. Hoe groot en welk vermogen moet de weerstand R_k in de katodeleiding kunnen verdragen? (fig. 33). (Het hoe en waarom van deze schakeling wordt later uitvoerig behandeld.)

De spanningsval $E = 8 \text{ V}$. $I = 25 \text{ mA} = 0.025 \text{ A}$; de weerstand is dus:

$$R = \frac{E}{I} = \frac{8}{0.025} = 320 \Omega.$$

Vermogen is $W = E \times I = 8 \times 0.025 = 0.2 \text{ watt}$.

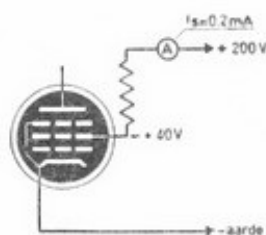


fig. 32

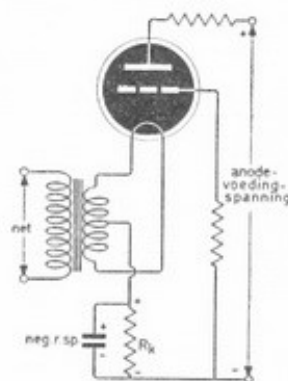


fig. 33

Een $\frac{1}{4}$ W type is dus voldoende. (Voor wie nog niets van radio weet, heeft bovenstaand voorbeeld (nog) geen waarde; later zal hij echter dergelijke voorbeelden begrijpen en gebruiken.)

KLEURCODE VOOR WEERSTANDEN

Oude uitvoering

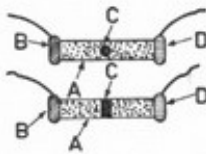


fig. 34a

Reeds in 1930 begonnen de Amerikanen met de methode van de waarde in kleuren uit te drukken: de kleur van de gehele weerstand was kleur A: een der einden van de weerstand is kleur B en een stip midden op 't lichaam is kleur C. En met die 3 kleuren kunnen we zeggen: Kleur A is 't linker cijfer van een getal; kleur B is het daarop volgende cijfer en kleur C geeft 't aantal nullen aan, dat achter de genoemde 2 cijfers komt te staan (fig. 34a, boven).

En hier is de sleutel van de kleuren:

	A	B	C
oudste uitvoering:	lichaam	eind	stip
nieuwere uitvoering:	lichaam	eind	ring
huidige codering:	1e ring	2e ring	3e ring
zwart	0	0	geen nullen
bruin	1	1	0
rood	2	2	00
oranje	3	3	000
geel	4	4	0000
groen	5	5	00000
blauw	6	6	000000
violet	7	7	0000000
grijs	8	8	00000000
wit	9	9	000000000

Is de weerstand zelf nu oranje, het eind zwart en de stip groen, dan is het cijfer 3—0—00.000 en de weerstand 3.000.000 Ω . En vinden we een weerstand die rood is, terwijl het eind grijs en de stip bruin is, dan krijgen we 2—8—0 = 280 Ω .

Natuurlijk zat die kleurstip ook wel eens van ons afgedraaid; daarom verving men de stip door een kleurring (Vitrohm) rondom de weerstand om deze van alle kanten herkenbaar te maken (fig. 34a, beneden).

TEGENWOORDIGE CODERING

Toen de Amerikaanse weerstanden, die eigenlijk op knotsjes leken, vervangen werden door de kleinere bakelieten of keramische buisjes ging men er toe over uitsluitend kleurringen toe te passen. De kleur van de eerste ring (bij 't eind) geeft 't linkse cijfer aan, de 2e ring 't 2e cijfer, en de derde het aantal nullen; de betekenis van de kleuren bleef hierbij onveranderd. Geeft men de tolerantie aan, dan volgt ring D, weer daarnaast (goud of zilver). Natuurlijk leveren die kleuren ook nog wel eens moeilijkheden op; is de ondergrond wit, dan zijn alle kleuren duidelijk, is de ondergrond bruin bakeliet, dan wordt 't vaak onzeker. Verder lijkt het

oranje van de ene fabrikant veel op 't geel van de andere. En wat we nooit zien, is het vermogen dat de weerstand veilig kan verwerken; dat moeten we maar aan de afmetingen zien (fig. 34b).



fig. 34b

TOLERANTIE

Nu komt er bij een weerstand nog meer kijken dan de weerstandswaarde; bij de fabricage is het n.l. onmogelijk alle weerstanden precies op de vereiste waarde te brengen en in 't algemeen is 't ook niet zo erg als er afwijkingen zijn, mits men maar weet hoe groot die afwijking is; men kan dan beoordelen, wáár afwijkende waarden wél of niet gebruikt mogen worden.

Afwijkingen binnen 5 % onderscheidt men door 't andere (ongekleurde) eind van de weerstand goud te kleuren, zilver betekent binnen 10 % nauwkeurig en is 't eind niet goud of zilver dan valt de grens, tolerantie zegt men, binnen 20 % van de nominale waarde. In dat geval mag een weerstand, die volgens de codering 500 Ω zou zijn, een waarde van 500 Ω + of - 20 %, dat is dus 600 Ω of 400 Ω bezitten, zonder dat we boos mogen worden.

De eventuele tolerantiekleur vindt men dus op de met D aangegeven plaats.

CODERING PHILIPS WEERSTANDEN

1. Het getal geeft de waarde aan in ohm; wordt het door een K gevolgd, dan worden kilo-ohms bedoeld, wordt het door een M gevolgd, dan zijn mega-ohms bedoeld.
2. Tolerantie:

P = 20 %
B = 5 %

A = 10 %
C = 2 %

D = 1 %

Voorbeelden: 220 A = 220 Ω 10 %
4M7P = 4.7 M Ω 20 %
6K8B = 6.8 k Ω 5 %

1. Welke zijn de elektriciteitsvervoerders?
2. Hoe gedragen elektronen zich tegenover elkaar en hoe tegenover de atoomkern?
3. Wat zijn elektrische geleiders? Noem eens enige voorbeelden.
4. Waarom kunnen isolatoren een stroom niet geleiden?
5. Onder welke omstandigheden komen elektronen in beweging?
6. Wat is het principiële verschil tussen een primair en een secundair element?
7. Waarom schakelen we elementen in serie?
8. Bereken de weerstand van een nikkelinedraad van 22 m lengte en een doorsnede q van 0.5 mm^2 (soortelijke weerstand staat in tabel blz. 12).
9. Teken 4 elementen, parallel geschakeld. De spanning van elk der elementen is 1.3 V; hoe groot is de totale spanning?
10. Hoe groot is de soortelijke weerstand van een draad, die een lengte van 30 m heeft, een doorsnede van 0.28 mm^2 en waarvan de weerstand 15Ω blijkt te zijn?
11. Hoe lang moet een ijzerdraad van 1 mm^2 doorsnede zijn, om een weerstand van 3Ω te bereiken?
12. Hoe groot is de vervangingsweerstand van de navolgende in serie geschakelde weerstanden: 8, 7, 26, 31 en 23Ω ?
13. Hoe groot is de vervangingsweerstand van 2 parallelgeschakelde weerstanden van 8 en 22Ω ?
14. Hoe groot is de vervangingsweerstand van 4 parallelgeschakelde weerstanden van resp. 4, 8, 16 en 32Ω ?
15. Over een spanningsbron van 12 V zijn 3 weerstanden in serie geschakeld van resp. 6, 14 en 4Ω . Hoe groot is de spanning, gemeten over elk der weerstanden afzonderlijk?
16. Een weerstandje toont van links naar rechts de volgende kleuren: groen, blauw, rood. Hoe groot is de weerstandswaarde en hoe groot is de tolerantie?

INHOUDSOPGAVE

Atoom	3
Elektronen	4
Geleiders, isolatoren en halfgeleiders	4
Elektrische spanning en stroom	5
Volt	6
Ampère	6
Spanningsbronnen	7
Galvanische elementen	7
Accumulatoren	8
Hogere spanning	9
Groter stroom	10
Inwendige weerstand	10
Dynamo's voor gelijk- en wisselspanning	11
Weerstand	11
Ohm	12
Wet van Ohm	13
Serieschakeling van weerstanden	14
Potentiometerschakeling	15
Parallel geschakelde weerstanden	16
Wet van Kirchhoff	18
Vermogen	19
Belastbaarheid aan weerstanden	20
Kleurcode voor weerstanden	22
Tolerantie	23
Codering Philips weerstanden	23
Vraagstukken over de eerste les	24

