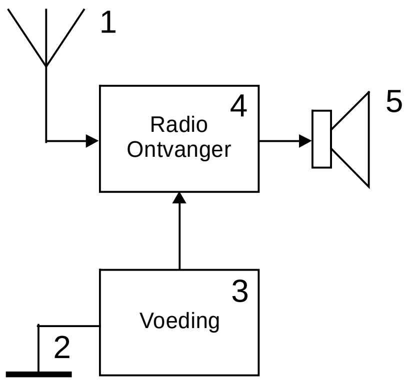
2. NATUURKUNDE EN ELEKTRICITEIT

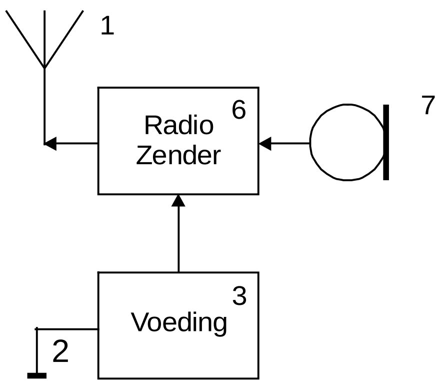
2.1 Oriëntatie

Voordat we verder gaan, zullen we eerst een radio-installatie bekijken om enig idee te krijgen waar we onze studie op moeten richten. Gratis reclame, in de vorm van foto's, voor een of ander merk is er niet bij en ook ondoenlijk. Er is namelijk een enorm grote variatie in de gebruikelijke apparatuur. De een heeft een tuner-versterker combinatie met allerlei toeters en bellen, de ander een high-end HiFi-installatie met alleen een volume regelaar en weer een ander heeft een walkman, discman, mp3-speler of minidiscspeler. In *principe* zijn ze allemaal hetzelfde.

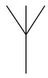
Om nu toch duidelijk te kunnen maken wat er bedoeld wordt, maken we gebruik van een schematische tekening, een *blokschema*. Van blokschema's wordt in de examenopgaven en daarom ook in de cursus vaak gebruik gemaakt. Men kan hiermede eenvoudig, zonder op details in te gaan, aangeven: de werking, de onderlinge verbinding en samenwerking van verschillende delen van een ingewikkeld apparaat.



Figuur 2.1 Blokschema van een radio-ontvanger.



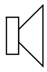
Figuur 2.2 Blokschema van een radiozender.

1 de antenne 

2 massa of aarde 

3 de voeding

4 de radio-ontvanger

5 de luidspreker 

6 de radiozender

7 de microfoon 

Wat in de blokschema's opvalt is, dat in beide schema's een antenne, massa en voeding aanwezig is. Belangrijke delen dus! Voor de antenne, massa en voeding straks in de cursus een apart hoofdstuk.

We starten met het onder de loep nemen van blok 4, de ontvanger. Als we de behuizing open maken en naar binnen kijken zien we:

1. de aansluitpunten voor de antenne;
2. de aansluiting van de voeding;
3. de aansluiting van de luidspreker(s) of koptelefoon;
4. radiobuizen of transistors (combinaties ook mogelijk);
5. printen of bedrading;
6. weerstanden;
7. condensatoren;
8. spoelen en transformatoren;
9. verbindingsdraden en kabeltjes.

Vooral dit laatste punt is vaak aanleiding tot het grapje: "Een radiotoestel is een draadloos apparaat!?" Wij houden ons nu bezig met de nog steeds onzichtbare elektronen.

De antenne zorgt voor de toevoer van het radiosignaal, de luidspreker voor het gewenste geluid en de voeding zorgt ervoor dat het apparaat kan werken. De voeding is dan ook een zeer belangrijk deel van de installatie. Waarmee voeden we het apparaat? *Elektriciteit* is het antwoord. We gaan daarom eerst bestuderen wat elektriciteit is voordat we verder gaan met de andere onderdelen (elektrische componenten) .

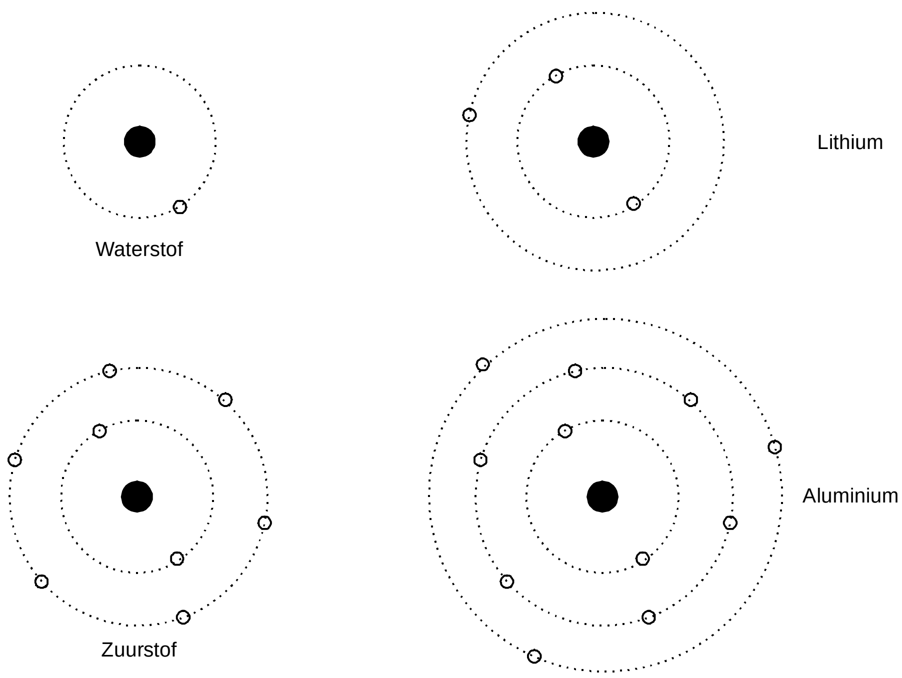
2.2 De bouw van atomen en moleculen

Stoffen worden onderscheiden in verbindingen en elementen. De kleinste deeltjes van een verbinding die nog de eigenschappen van die verbinding hebben heten moleculen. De kleinste deeltjes van een element die nog de eigenschappen van dat element hebben heten atomen.

Moleculen zijn samengesteld uit twee of meerdere atomen die op de één of andere wijze aan elkaar zijn verbonden. Vandaar de naam verbinding voor stoffen die uit moleculen bestaan. De term *moleculaire stoffen* wordt er ook voor gebruikt. Een moleculaire stof heeft andere eigenschappen dan de elementen waaruit hij is opgebouwd.

Een voorbeeld van een moleculaire stof is water. Waterstof en zuurstof gemengd in de verhouding 2:1 vormen samen een zeer explosief gasmengsel! Water, zoals wij het kennen daarentegen, is bij de op aarde meest gebruikelijke temperaturen bepaald niet explosief. De meeste metalen zijn elementen. Er zijn ook elementen die geen metaal zijn, zoals: helium, stikstof, fosfor, chloor, zuurstof en waterstof.

Een atoom kunnen we beschouwen alsof het bestaat uit kleinere deeltjes. Die deeltjes vertonen niet meer de eigenschappen van het element. Ze zijn in het atoom gerangschikt op een manier die enigszins doet denken aan een zonnestelsel met planeten (figuur 2.3). Er is een kern waaromheen deeltjes cirkelen. De kern en de ronddraaiende deeltjes trekken elkaar aan. De deeltjes vallen niet op de kern vanwege hun snelheid, net zoals een planeet niet op de zon valt en de maan niet op de aarde. De om de kern draaiende deeltjes heten *elektronen*, zijn zeer klein, zeer licht en gemakkelijk bij het atoom weg te halen. Elektronen zijn negatief geladen en stoten elkaar af!



Figuur 2.3 Schematische voorbeelden van atoomkernen.

De atoomkern moet iets bevatten dat elektronen aantrekt. De deeltjes in de kern die hiervoor verantwoordelijk zijn noemt men *protonen*. Ze zijn t.o.v.

elektronen vrij groot en zwaar (1800 maal zo zwaar als een elektron) en daardoor meestal aan hun plaats gebonden. Protonen zijn positief geladen. Ook de protonen onderling stoten elkaar af. In een atoomkern met meerdere protonen bevinden zich echter deeltjes van een derde type, *neutronen* genaamd. Die neutronen fungeren in de atoomkern als een soort lijm voor de protonen.

Een atoom bevat evenveel elektronen als protonen. De lading van een proton neutraliseert die van een elektron (en omgekeerd). Een atoom heeft, als geheel gezien, daarom geen lading. Dit noemt men *elektrisch neutraal*. Een atoom dat één of meer elektronen te veel of te weinig heeft, heet een *ion*. Een ion is dus altijd negatief of positief geladen. Ionen kunnen bijzondere en voor de radiotechniek belangrijke eigenschappen hebben. Hierop gaan we hier echter (nog) niet in. De elektronen in een atoom bewegen op vaste afstanden van de kern. Dit hangt samen met het feit dat elke afstand een energieniveau vertegenwoordigt en een elektron niet elke willekeurige hoeveelheid energie kan bezitten maar slechts veelvouden van zijn eigen laagste energieniveau.

Een koperatoom bestaat uit een kern met 29 elektronen. Een ijzeratoom bestaat uit een kern met 26 elektronen. Het verschil tussen koper en ijzer zit dus in het aantal elektronen. Welke stof we ook onderzoeken, steeds komen we op kernen en elektronen. Nu zijn de elektronen van koper, ijzer of alle andere stoffen gelijk en negatief.

Elektronenschil

Elektronen bewegen zich om de kern niet in banen die in een plat vlak liggen zoals in figuur 2.3 (voor het gemak zo getekend), maar in boloppervlakken of ellipsoïden met de kern als middelpunt. Dit boloppervlak heet een *elektronenschil*. Een schil kan meerdere elektronen bevatten. Hoeveel hangt af van de schil. In de binnenste kunnen 2, in de volgende 8, in de daarop volgende 18 elektronen enz. Het aantal elektronen per schil is te berekenen met de formule:

$$2 \cdot n^2$$

Hierbij is dan n het schilnummer, gerekend vanuit de kern. Een naar buiten gelegen schil wordt pas gebruikt als de erbinnen gelegen schillen vol zijn, althans bij de kleinere atomen (bij grotere atomen gaat dat iets anders, maar dat valt buiten deze cursus) . Bij de meeste elementen zal dus de buitenste schil niet vol zijn. Een atoom heeft echter als het ware de neiging om toch zijn buitenste schil vol te maken. Dit kan op enkele manieren. Afstoten van elektronen tot de buitenste schil leeg is en de al volle op één na buitenste schil de buitenste wordt. Aantrekken van elektronen tot de buitenste schil vol is. Met één of meer andere atomen een gezamenlijke wel volle buitenste schil op bouwen. Er ontstaat dan een molecuul.

Atomen met weinig elektronen in hun buitenste schil zullen geneigd zijn de eerste manier te volgen, atomen met veel elektronen in de buitenste schil de tweede. De derde manier kan door alle soorten atomen worden gebruikt. Als een atoom met weinig elektronen in de buitenste schil zijn elektronen overdoet aan een atoom met veel elektronen in de buitenste schil, is het eerste atoom een positief ion en het tweede atoom een negatief ion. Ze zullen elkaar dus aantrekken en aan elkaar vast blijven zitten. Een voorbeeld is keukenzout. Deze stof is een verbinding van natrium dat één elektron in zijn buitenste schil heeft en chloor dat er één te weinig heeft om compleet te zijn.

Kristalrooster

Metalen zijn stoffen met een neiging tot af staan van elektronen. In een metaal zijn de atomen ordelijk gerangschikt. De elektronen, althans die van de buitenste schil, zitten niet erg vast aan de atomen. Deze ordelijke rangschikking heet een *kristalrooster*. Kristalroosters komen voor bij alle soorten stoffen. Het verschil tussen metalen en andere stoffen is de beweeglijkheid van de elektronen in het kristalrooster. Die beweeglijkheid is er alleen bij metalen. De beweeglijkheid wordt veroorzaakt door de losse binding van de elektronen aan het metaalatoom. Dat betekent echter niet dat een stuk metaal plotseling zijn elektronen kan verliezen. In dat geval zou het metaal onmiddellijk positief geladen worden en elektronen aantrekken in plaats van ze kwijt te raken. Daarom is een stuk metaal, ondanks de beweeglijkheid der elektronen, elektrisch neutraal.

Geleiding

Deze beweeglijkheid der elektronen is de oorzaak dat metalen goede geleiders zijn voor de elektrische stroom. De onbeweeglijkheid van de elektronen in een stof, in het bijzonder niet-metalen (glas, rubber, plastic etc.) maken dat de elektrische stroom niet door deze stoffen kan vloeien. Wij noemen ze dan *isolatoren*. Een elektrische stroom is namelijk de verplaatsing van elektronen. De geleiding van sommige niet-metalen berust meestal op bijzondere omstandigheden. Zo is de geleiding door water met opgeloste stoffen gebaseerd op verplaatsing van ionen in het water. Zuiver water is een slechte geleider.

De stroomlevering door al of niet oplaadbare cellen (auto-accu, droge batterij) berust op chemische reacties, waarbij elektronenoverdracht tussen atomen en/of moleculen plaatsvindt. (Een chemische reactie is een proces waarbij uit atomen en/of moleculen andersoortige atomen of moleculen ontstaan.) We hebben dit gedeelte van de cursus zo uitvoerig behandeld omdat deze theorie nodig is voor de hoofdstukken halfgeleiders en transistors.

Wat u goed moet onthouden:

1) Alle stoffen om ons heen zijn opgebouwd uit atomen bestaande uit één of meer protonen (de kern) en negatieve elektronen. Alle elektronen, van welke stof dan ook, zijn daarbij gelijk. De positieve kernen trekken de negatieve elektronen aan.
2) Zoals de stoffen in de natuur voor komen, zijn ze meestal elektrisch neutraal (positieve ladingen te samen met negatieve ladingen heffen elkaar op).
3) Als we van een neutraal atoom één of meer elektronen wegnemen is de rest positief geladen. Brengen we er echter één of meer elektronen bij, dan is het geheel negatief geladen.
4) Elektronen in een stof gemakkelijk verplaatsbaar betekent, de stof is een goede geleider voor de elektriciteit.
5) Elektronen in een stof moeilijk verplaatsbaar betekent, de stof is een isolator.

2.3 Elektrische spanning, stroom en weerstand

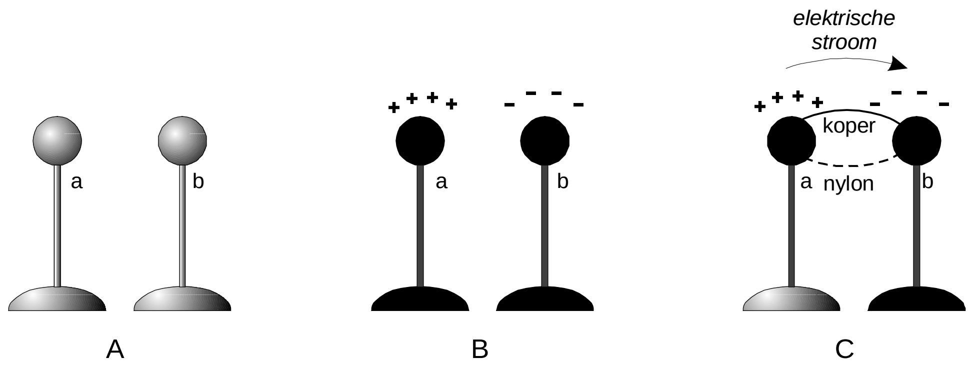
We weten nu dat er stoffen zijn, opgebouwd uit atomen, die:

a) elektronen in de buitenschil bezitten, die op de een of andere manier gemakkelijk te verwijderen zijn of aangevuld kunnen worden;
b) elektronen in de buitenschil bezitten, die zó vastzitten dat zij zéér moeilijk van hun plaats te krijgen zijn. Toevoegen van extra elektronen is er dan ook niet meer bij.

De stoffen genoemd onder a) zijn geleiders (o.a. metalen), dat wil zeggen dat de doorgang van elektriciteit mogelijk is. De stoffen onder b) zijn isolatoren (glas, rubber, kunststoffen, mica etc.), dat wil zeggen dat doorgang van elektriciteit niet mogelijk is.

Als er atomen zijn met een overschot aan elektronen, negatief geladen of zoals men zegt een negatieve potentiaal, samen met atomen met een tekort aan elektronen, positief geladen, of zoals men dan zegt: een positieve of plus potentiaal, dan zal er altijd een vereffening plaats vinden, dat wil zeggen, een elektronenverplaatsing van het overschot naar het tekort om het geheel weer zoveel mogelijk elektrisch neutraal te maken.

Stel dat we twee kleine metalen bolletjes *a* en *b* hebben gemonteerd op een kunststof staafje (zie figuur 2.4).



Figuur 2.4 Elektrische lading.

Figuur 2.4a: Bolletje *a* en bolletje *b* beide elektrisch neutraal.

Figuur 2.4b: Bolletje *a* op één of andere wijze op een positieve potentiaal gebracht (tekort aan elektronen!), bolletje *b* idem op negatieve potentiaal (teveel aan elektronen).

Figuur 2.4c: *a* en *b* met elkaar verbonden eerst met een *nylon vissnoertje.*

Wat gebeurt er? Antwoord: totaal niets! Nylon is een kunststof dus een isolator. Nu wordt het nylon draadje vervangen door een koperen draadje met dezelfde doorsnede. Nu zal conform bovenstaande theorie een verplaatsing van elektronen plaatsvinden van *b* naar *a*. De doorstroming van de elektronen is niet zoals bij de waterleiding. Het atoom met een tekort aan elektronen leent het door hem gewenste aantal van zijn buurman die dit niet zo geslaagd vindt en het door hem gemiste aantal weer van een andere buurman pikt, enz. enz. Dit proces gaat door totdat het geheel weer elektrisch neutraal is geworden. De elektronen springen dus van het ene atoom naar het andere. Het totale resultaat is een doorstroming van de elektronen. Het lijkt dan ook sterk op het alternatieve goedkopere openbare vervoer, d.w.z. elkaars fietsen lenen die onbeheerd ergens gestald staan! Hoe hoger het potentiaal verschil hoe groter de elektronen verplaatsing. Hoe groter de doorsnede van de verbindingsdraad hoe gemakkelijker het hele proces verloopt.

We hebben met dit voorgaande kennis gemaakt met drie steeds bij elkaar behorende begrippen uit de elektriciteitsleer.

1. Een potentiaalverschil tussen twee punten.

Hoe ontstaan of verkregen buiten beschouwing gelaten, voorlopig. Wij noemen dit: de spanning tussen twee punten of de spanning van het ene punt ten opzichte van een ander punt. Afgesproken lettersymbool *U* en uitgedrukt in een getal gevolgd door de eenheid Volt afgekort met V. Voorbeeld: een autoaccu heeft een spanning van *U* = 12 V, gemeten tussen de positieve pluspool en de negatieve minpool .

2. De elektronenverplaatsing per seconde.

Dit noemt men de *stroom*, symbool *I* met als eenheid ampère. (symbool A)

Voorbeeld: de lamp neemt een stroom op van I = 1 A (stroomsterkte) . Bij de elektronenverplaatsing is er sprake van een hoeveelheid elektriciteit welke normaliter wordt aangeduid met *lading,* die door de geleider wordt verplaatst in een bepaalde tijd. Het symbool voor lading is *Q* met als eenheid de coulomb. Het symbool voor tijd is *t*, met als eenheid de seconde.

Er is een verband tussen de stroomsterkte, de hoeveelheid lading en de hoeveelheid tijd. In formule vorm luidt deze:

$$Q = I \cdot t \text{ (C) coulomb}$$

Q = elektrische hoeveelheid in coulomb (symbool C)
I = stroomsterkte in ampère
t = tijd in seconden

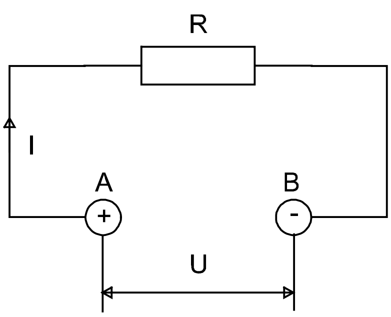
Mogelijke omzettingen van deze formule zijn:

$$I = \frac{Q}{t} \quad \text{en} \quad t = \frac{Q}{I}$$

3. Weerstand

De mate van stroomdoorgang is niet alleen afhankelijk van de grootte van de doorsnede van de geleider, ook lengte, soort materiaal en zelfs de temperatuur spelen hierbij een rol. Dit samengevat zeggen we: de mate van stroomdoorgang is afhankelijk van de *weerstand* in de keten. Het symbool voor weerstand is *R* en de eenheid *ohm*, symbool Ω.

Bekijk het schema van figuur 2.5. Hier kunnen we het volgende uit aflezen. Op de aansluit klemmen *A* en *B*, waartussen een spanningsverschil *U* heerst (of korter: waartussen een spanning *U* staat) is een weerstand *R* geschakeld. Er loopt daardoor een stroom *I* in de keten of kring. Het gemak van werken met schema's is hiermede wel duidelijk gemaakt!

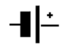


Figuur 2.5 Stroom door een weerstand.

Het verschil in richting van de elektronen stroom in figuur 2.5 en de stroomrichting in figuur 2.4 is geen tekenfout. De elektronen richting in figuur 2.4 klopt met wat behandeld is in de daarbij horende theorie. De stroomrichting van figuur 2.5 was reeds internationaal aangenomen voordat ontdekt werd dat elektronen een negatieve lading hebben. Figuur 2.4 geeft dan ook aan de richting van de elektronenbeweging en figuur 2.5 de zogenaamde *technische stroomrichting*. Als u daar maar rekening mee houdt kunnen er geen moeilijkheden ontstaan.

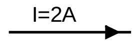
Nieuwe tekensymbolen

Het tekensymbool van een energie bron (mono-cel)

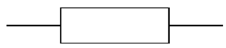


Aansluitklemmen met de daarbij behorende polariteit

Stroom $I = 2\ A$, met de daarbij behorende stroomrichting



Weerstand R = 1 kΩ, 1 MΩ = 10^6 Ω, 1 kΩ = 10^3 Ω



Opgaven

1. Wat is een geleider?
2. Wat is een isolator?
3. Noem enkele geleiders.
4. Noem enkele isolatoren.
5. Wat is spanning? Wat is het symbool en wat is de eenheid?
6. Wat is stroom? Wat is het symbool en wat is de eenheid?
7. Waarvoor dient een blokschema?

Effecten van de elektrische stroom

Een elektrische stroomdoorgang door een geleider kan verschillende effecten hebben.

- Warmte-ontwikkeling. Denk hierbij aan de elektrische straalkachel, een strijkbout, broodrooster en een elektrische gloeilamp (hierbij behalve warmte ook nog licht) .
- Een magnetisch veld. Bijvoorbeeld een elektromagneet, relais, elektrische bel.
- Scheikundige werking (alleen vloeistoffen). Bijvoorbeeld het verzilveren, vergulden etc.

Deze eigenschappen maken het de elektrische stroom mogelijk om arbeid te verrichten. De elektrische stroom is daardoor een vorm van arbeidsvermogen. We kunnen ook zeggen: elektrische energie kan worden omgezet in mechanische, thermische en chemische energie en het omgekeerde is ook mogelijk. Apparaten die een of andere vorm van energie kunnen omzetten in elektrische energie noemen we *generatoren.* Apparaten die elektrische energie omzetten in andere soorten energie brengen we onder bij de groep *verbruikstoestellen.*

Weerstanden

In het vorige hoofdstuk hebben we bij het onderwerp *isolatoren en geleiders* kunnen lezen dat er stoffen zijn met elektronen in de buitenschil die niet zo sterk aan de atoomkern vastzitten. Dergelijke materialen vormden de groep van geleiders. Niet iedere geleider is hetzelfde samen gesteld. Afhankelijk van het materiaal zal in de ene geleider gemakkelijker een verschuiving van elektronen kunnen plaats vinden dan in een andere. Met andere woorden, de ene geleider biedt minder weerstand aan de elektronen dan de andere. Bezit het materiaal van geleider A tweemaal zoveel vrije elektronen als het materiaal van geleider B, dan ondervinden de elektronen in geleider A een tweemaal zo kleine weerstand als in geleider B. Door een geleider tweemaal zo lang te maken, wordt de weerstand vanzelfsprekend ook tweemaal zo groot. We kiezen nu voor een geleider met een tweemaal zo grote doorsnede (oppervlakte) t.o.v. de tweede geleider. Nu zal de doorgang voor de elektronen in de geleider met de grotere doorsnede tweemaal zo gemakkelijk zijn. Met andere woorden, de stroom *I* ondervindt een tweemaal kleinere weerstand in deze geleider.

De berekening van weerstanden

Uit dit bovenstaande blijkt dat de weerstand van een geleider afhankelijk is van de volgende factoren:

1. de soort materiaal van de geleider;
2. de lengte van de geleider;
3. de doorsnede van de geleider.

Behalve de bovenstaande factoren, heeft de temperatuur van de geleider ook invloed op de weerstand. Voor praktisch alle materialen geldt dat bij een hogere temperatuur de weerstand groter wordt. *Koolstof* (ook een geleider) echter gedraagt zich juist andersom: hoe hoger de temperatuur, hoe lager de weerstand. Om gemakkelijk berekeningen te kunnen uitvoeren kunnen we de genoemde factoren samenvatten in een formule:

$$R = \frac{l * \rho}{A}$$

waarbij:

R = De weerstand, welke wordt uitgedrukt in Ohm of Ω (de Griekse letter *Omega*). R is de eerste letter van het Engelse woord resistance.

l = de lengte van de geleider in m (meter).

ρ = De soortelijke of specifieke weerstand van de geleider (spreek uit: *ro*). Deze is bepaald door de soort materiaal, zie tabel.

A = Doorsnede van de geleider in m^2.

Voorbeeld: $A = 4\ mm^2 = 4\ .10^{-6}\ m^2$

N.B. Indien u nog moeite heeft met het begrip 10^{-6}, dan is e.e.a. terug te vinden in hoofdstuk 1.

De soortelijke weerstand van een geleider is de weerstand van die geleider met een lengte van 1 m en een doorsnede van 1 m^2 bij een temperatuur van 15° Celsius, uitgedrukt in Ω m^2/m. In onderstaande tabel vindt u de specifieke of soortelijke weerstand van een aantal materialen:

Materiaal	rho (ρ) in Ω m^2/m bij 15° C
Zilver	$0{,}016 \,.\, 10^{-6}$
Koper	$0{,}0172 \,.\, 10^{-6}$
Aluminium	$0{,}026 \,.\, 10^{-6}$
Messing	$0{,}075 \,.\, 10^{-6}$
Ijzer	$0{,}1 \,.\, 10^{-6}$
Nikkel	$0{,}44 \,.\, 10^{-6}$
Tin	$0{,}445 \,.\, 10^{-6}$
Manganine	$0{,}43 \,.\, 10^{-6}$
Constantaan	$0{,}5 \,.\, 10^{-6}$
Lood	$0{,}208 \,.\, 10^{-6}$

Voorbeeld

Bereken de ohmse weerstand van een 50 m lange installatiedraad van 4 mm^2.

Gegeven: Materiaal van de draad is koper.
Zoek op in de tabel: $r = 0{,}0172 \,.\, 10^{-6}$ Ω m^2/m.
Lengte van de draad $l = 50$ m.
Doorsnede $A = 4$ $mm^2 = 4 \,.\, 10^{-6}$ m^2.

Bereken: R (de weerstand van de draad)

Oplossing: $R = \dfrac{1 \cdot \rho}{A} = \dfrac{50 \cdot 0{,}0172 \cdot 10^{-6}}{4 \cdot 10^{-6}} = 0{,}215\,\Omega$

N.B. Men wil nog wel eens, om de opgave moeilijker te maken, in plaats van de doorsnede A de diameter D van de draad opgeven. U ziet dan staan bijvoorbeeld: 3 mm in plaats van 3 mm^2. U moet dan altijd eerst de doorsnede van de draad berekenen!

Dus: D is 3mm, met $A = \dfrac{\pi}{4} \cdot D^2$, volgt :

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 3^2 = 0{,}785 \cdot 9 = 7{,}065\,\text{mm}^2 = 7 \cdot 10^{-6}\,\text{mm}^2$$

Het kan ook voorkomen dat men in plaats van *R* uit de formule bijv. de lengte van de geleider, of de doorsnede *A* of zelfs het te gebruiken materiaal (dus via de *r*) wil bepalen, vooropgesteld dat de benodigde gegevens bekend zijn. In dergelijke gevallen moet de formule omgezet worden.

$$R = \frac{l * \rho}{A} \text{ is hetzelfde als: } R * A = l * \rho$$

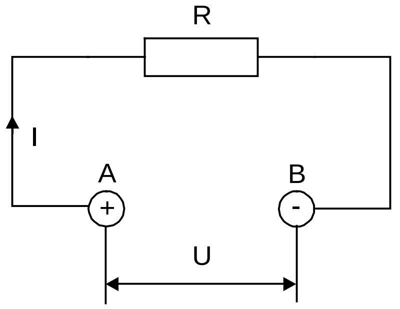
De omzetting van de formule wordt dan:

$$A = \frac{l * \rho}{R} \Leftrightarrow l = \frac{R * A}{\rho} \Leftrightarrow \rho = \frac{R * A}{l}$$

N.B. Aan de hand van deze tekst kunt u zelf bepalen hoe belangrijk het is om het eerste hoofdstuk grondig te bestuderen!

Skin-effect of huid-effect

De weerstand van een geleider is voor gelijkstroom en wisselstroom niet gelijk. Dit komt omdat er bij wisselstroom krachten optreden, die de elektronen dwingen langs de oppervlakte, de huid van de draad, te vloeien. Vandaar de naam *huid-effect*. Vaak wordt ook de Engelse uitdrukking *skin-effect* gebruikt. Als de stroom alleen maar langs de buitenkant van de geleider vloeit, is de effectief benutte doorsnede van de geleider voor de elektronen kleiner geworden. Voor laagfrequente wisselstroom (ons lichtnet) is dit effect niet merkbaar. Voor hoogfrequente wisselstroom (radiotechniek) is dit effect zeer duidelijk. De hoogfrequent-stroom dringt maar een paar duizendste mm in de geleider, zodat dan de wisselstroomweerstand vele malen groter is dan gelijkstroomweerstand, e.e.a. sterk afhankelijk van de hoogte van de frequentie. Op het begrip *frequentie* komen we in het hoofdstuk *wisselstroom* uitgebreid terug. Het *skin-effect* is de reden waarom men bij spoelen van grote zenders, waar sterke hoogfrequente stromen vloeien, vaak het goedkopere buis gebruikt in plaats van de duurdere massieve koperen geleider.



Figuur 2.6 De wet van Ohm.

De Wet van Ohm

Bekijken we figuur 2.6, dan zien we daar twee aansluitklemmen waartussen een spanning *U* staat, zoals we dat zeggen. Op die klemmen is via twee verbindingsdraden de weerstand *R* aangesloten. Er gaat dus nu van de positieve klem een stroom *I* lopen naar de negatieve klem (de technische stroomrichting!). Als we nu de spanning *U* tweemaal zo groot maken, dan zal bij dezelfde *R* de stroom ook tweemaal zo groot worden. De druk op de elektronen waardoor deze zich verplaatsen is immers ook tweemaal zo groot geworden! Stel nu dat we in het volgende voorbeeld de spanning niet wijzigen, maar dat we een andere weerstand monteren die een twee maal zo grote waarde heeft, dan zullen de elektronen een tweemaal zo grote weerstand ondervinden in de keten, m.a.w. de stroom *I* wordt dan tweemaal zo klein. Dit samengevat wordt dan:

- De stroomsterkte is omgekeerd evenredig met de grootte van de weerstand.
- De stroomsterkte is recht evenredig met de grootte van de spanning.

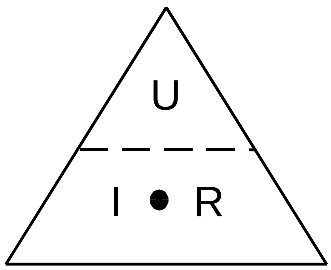
Of in formule vorm:

$$U = I \cdot R \text{ : Wet van Ohm}$$

waarbij:

I = de stroom in ampère (A)
U = de spanning in Volt (V)
R = de weerstand in Ohm (Ω)

Een oud ezelsbruggetje voor personen die moeite hebben om deze belangrijke *Wet van Ohm* te onthouden vindt u in figuur. 2.7) .



Figuur 2.7 Ezelsbrug voor de wet van Ohm.

Men heeft de formule voor *U* nodig:
Dek de letter *U* af met bijv. een vinger. Onder de afgedekte *U* is nu nog te lezen: *I* . *R*, dus is de formule:

$$U = I \cdot R$$

Zelfde procedure voor *I*:

$$I = \frac{U}{R}$$

Idem voor *R*:

$$R = \frac{U}{I}$$

Een toepassing van de Wet van Ohm:

a) Gegeven: I = 2 A; R = 3 Ω
Gevraagd: U
$U = I.R$ = 2 . 3 = 6 V

b) Gegeven: U = 8 V; R = 4 Ω
Gevraagd: I
$$I = \frac{U}{R} = \frac{8}{4} = 2A$$

c) Gegeven: U = 7 V; I = 2 A (zie figuur 2.8)
Gevraagd: R
$$R = \frac{U}{I} = \frac{7}{2} = 3{,}5\Omega$$

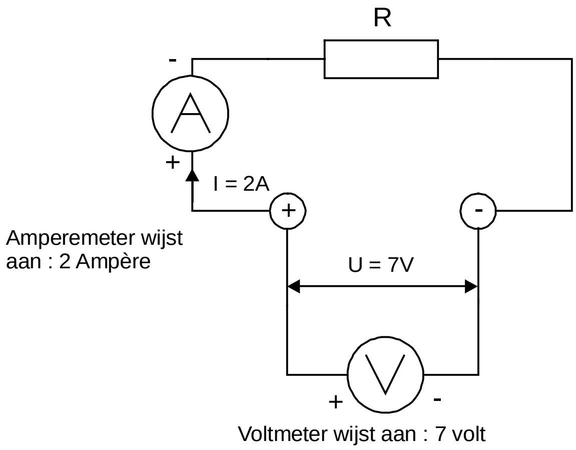
Bij dit laatste voorbeeld is in figuur 2.8 het desbetreffende schema getekend, waarin de gegeven spanning U = 7 V, de gegeven stroom I = 2 A en de stroomrichting, de onbekende weerstand R zijn vermeld. Dit moet u altijd doen, hoe eenvoudig de opgave ook is! Geheel compleet dus. U ziet dan wat u moet berekenen of waar men moet beginnen om tot een oplossing te komen van een ingewikkelde opgave. N.B. De ingetekende V en A meters horen bij de tekst van de meting. Verder stelt dit eenvoudige voorbeeld u in staat uw eerste elektrische meting te doen. Meten is weten!

2.4 Meten van stroom, spanning en weerstand

Elektronen zijn onzichtbaar, dus de elektriciteit ook. Met de juiste meetinstrumenten is zij echter wel aan te tonen. In de cursus straks een hoofdstuk *Meetinstrumenten* waarin een en ander uitgebreid behandeld wordt. Dat houdt echter niet in dat u niet nu al mag starten met experimenteren, mits men daarbij maar bepaalde spelregels goed toepast!

Spelregel 1 : het meten van spanning

Spanning staat altijd tussen twee punten (aansluitklemmen bijvoorbeeld). Spanning meet men met een *Voltmeter*, die altijd geschakeld wordt tussen twee punten (figuur 2.8). Een voltmeter heeft een hoge inwendige weerstand, R_i (komen we later nog wel op terug) . Een voltmeter mag nooit aangesloten worden op een hogere spanning dan waarop hij is ingesteld of voor gemaakt is (kijk naar de schaalverdeling of instelknop van het meetbereik) . Is dat bijv. 10 V, dan wil dit zeggen dat een maximale spanning van 10 V gemeten mag worden! Kies het meetbereik altijd zo dicht mogelijk bij de te verwachten waarde van de spanning. Begin daarom de meter in te stellen op het zo hoogst mogelijke beschikbare meetbereik voor spanning (bijv. 500 V). Geen beweging van de wijzer? Rustig overschakelen naar een lager meetbereik. Steeds de wijzer in de gaten houden. Dit herhalen tot de wijzer de grootst mogelijke uitslag aangeeft. Stel dat dit bereikt werd met de instelknop van het meetbereik op de stand 10 V. Op de schaalverdeling horende bij meetbereik 10 V zal de wijzer de waarde van de gemeten spanning aangeven. In dit geval 7 V.



Figuur 2.8 Het aansluiten van spannings- en stroommeters.

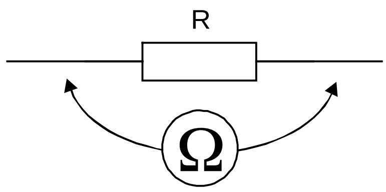
Spelregel 2 : het meten van stromen

Elektrische stromen vloeien altijd door een geleider. Dit houdt dus in dat een meter voor elektrische stromen (ampèremeters), altijd in de geleider gemonteerd moeten worden (dus draadje doorknippen en de verkregen twee uiteinden van de draad aan de aansluitklemmen van de ampèremeter), zie figuur 2.8. Ampèremeters hebben een lage inwendige weerstand R_i, (we komen ook hierop later terug). Voor de instelprocedure zie de voltmeter, met dien verstande dat de spanning uitgeschakeld moet zijn voor dat men de ampèremeter omschakelt (aankweken van een routinehandeling om meterbeschadiging te voorkomen). De ampèremeter zal in dit geval aanwijzen: I = 2 A. Let u wel bij het aansluiten van de meters op juiste polariteit van de meetpennen.

Meteraanwijzingen nu invullen in de formule

$$R = \frac{U}{I} = \frac{7}{2} = 3{,}5\Omega \text{, het resultaat!}$$

Bij weerstanden met grote weerstandswaarden kan men sneller een weerstandsmeter gebruiken (figuur 2.9) .

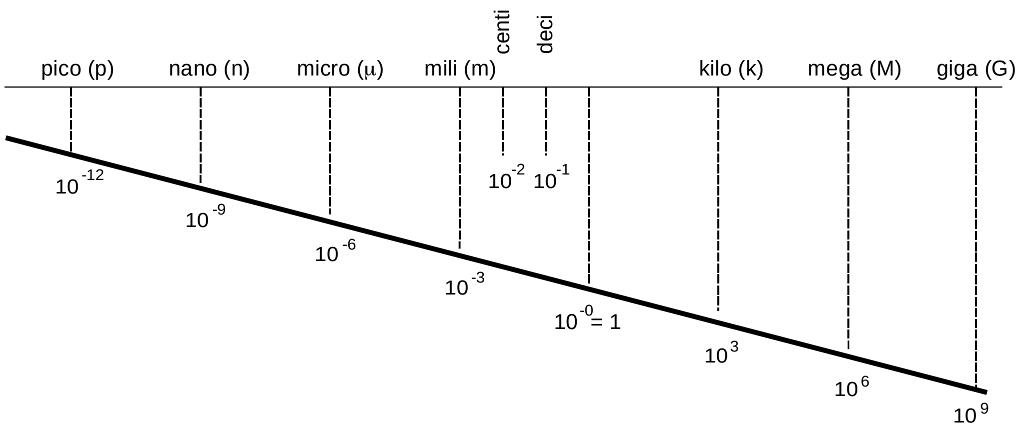


Figuur 2.9 Weerstandsmeeting.

In de radiotechniek krijgen we vaak te maken met heel hoge of heel lage waarden van spanningen, stromen en componenten. In het hoofdstuk over rekenen werd behandeld hoe die kunnen worden omgezet in machten van 10. Een andere veel toegepaste methode is andere eenheden kiezen.

Voorbeeld:

- 1000 m = 1 km,
- 0,000001 km = 10^{-6} km = 1 mm.



Figuur 2.10 De getallenlijn

In figuur 2.10 is een stuk van het positieve deel van de zogenaamde getallenlijn af gebeeld. Hierop zijn uitgezet getallen uitgedrukt in machten van grondtal 10. Op de bovenste lijn staat de bijbehorende benaming die moet worden aangevuld met de bedoelde eenheid.

Voorbeeld:

1 Ω	blijft 1 Ω	
1000 Ω	= 10^3 Ω	wordt 1 kΩ
0,05 A	= 50 . 10^{-3} A	= 50 mA
0,05 mA	= 50 . 10^{-6} A	= 50 μA
1000000 Ω	= 10^6 Ω	= 1 MΩ

(Ziet u het verschil tussen de aanduiding van Mega, milli en micro?)

Soorten weerstanden

Er worden weerstanden gebruikt in verschillende uitvoeringen. Omdat we deze component bij de praktische toepassing in onze hobby vaak zullen tegen komen, gaan we allereerst de verschillende uitvoeringen bespreken. Weerstanden zijn te verdelen in:

a) Vaste weerstanden
b) Variabele weerstanden

Vaste weerstanden

Tot de eerste groep behoren alle *vaste weerstanden*, die een onveranderlijke waarde hebben. Het is voor de fabrikant ondoenlijk om alle waarden van bijvoorbeeld 1Ω t/m 10 MΩ te fabriceren. Men maakt ze daarom oplopend volgens o.a. de E12 en E24-reeks.

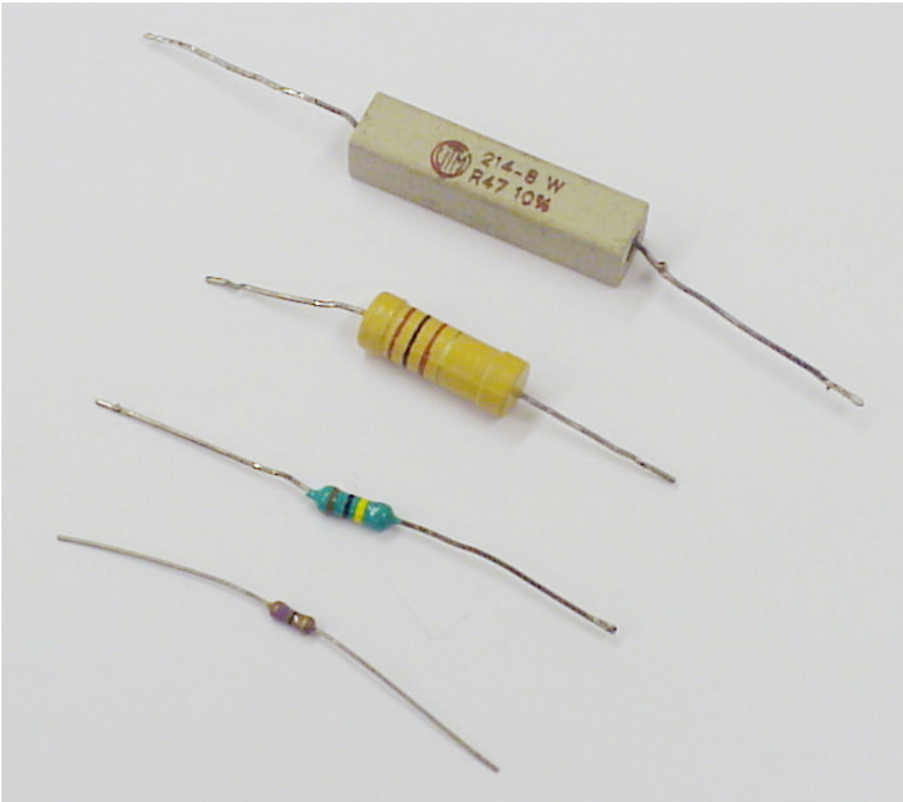


Foto 1 Enkele voorbeelden van vaste weerstanden

Voor de E-12 reeks gelden de volgende getallen:
10, 12, 15, 18, 22, 27, 33, 39, 47, 56, 68, 82 en vervolgens verder dezelfde getallen vermenigvuldigd met 10, daarna idem vermenigvuldigd met 100 en 1000 enz. enz.

Deze weerstanden zijn vaak zo klein dat het niet mogelijk is om de waarde der weerstand in cijfers op de weerstanden te vermelden. Men doet dat dan op een andere wijze. De weerstanden worden voorzien van een *kleurencodering*, o.a. ringen. Iedere kleur stelt daarbij een bepaald cijfer voor.

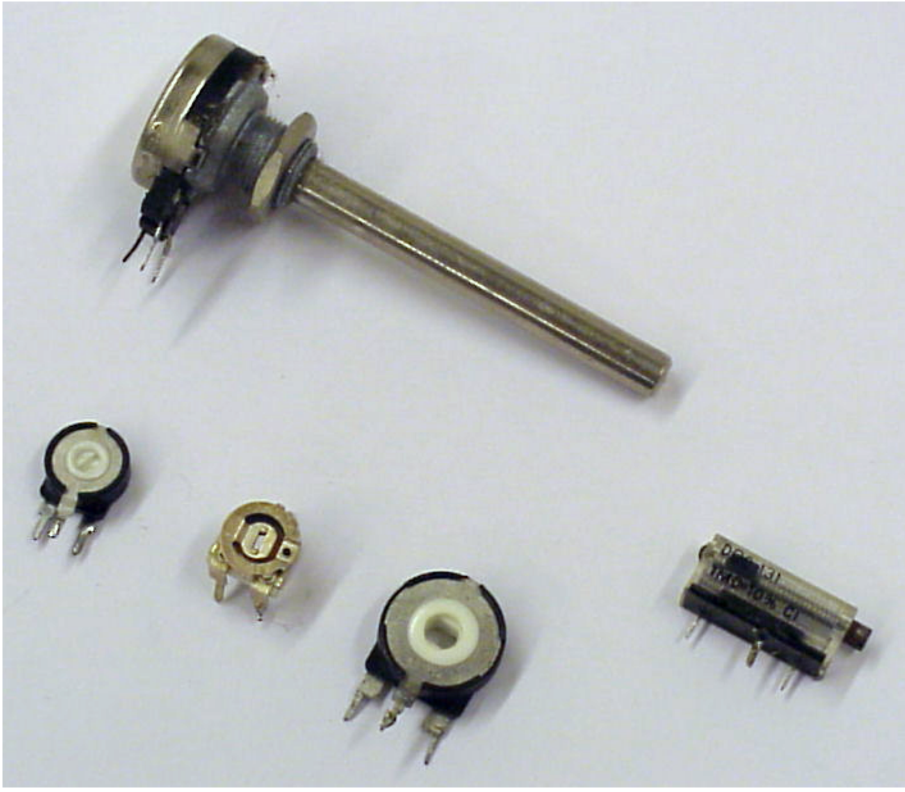


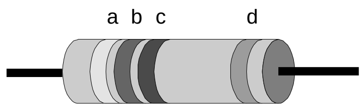
Foto 2 Enkele voorbeelden van variabele weerstanden

Kleurencodering

(ezelsbruggetje en voorbeeld)

Zij	Bracht	Rozen	Op	Gerrits	Graf	Bij	Vies	Grijs	Weer
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

10% tolerantie	zilver
5% tolerantie	goud
9	wit
8	grijs
7	violet
6	blauw
5	groen
4	geel
3	oranje
2	rood
1 (of 1% tolerantie)	bruin
0 (of 1% tolerantie)	zwart



Figuur 2.11 kleurcodering op een weerstand.

eerste band (a)	eerste cijfer
tweede band (b)	tweede cijfer
derde band (c)	aantal nullen
vierde band (d)	de tolerantie

1e band geel	4
2e band violet	7
3e band rood	2 nullen
4e band zilver	tolerantie 10% (betekent dat de waarde van de weerstand 10% groter of kleiner kan zijn)
4e band goud	tolerantie 5%
4e band rood	tolerantie 2%
4e band bruin	tolerantie 1%

De waarde van de weerstand in dit voorbeeld: R = 4700 = 4,7kΩ. De afwijking van deze waarde kan zijn 10% van 4700 = 470 Ω, hoger of lager!

Er bestaat van deze weerstanden een aantal soorten.

a) Koolweerstanden: bestaan uit een keramisch lichaam waarop een laagje kool is aangebracht (keramiek is steen). Deze goedkope weerstand wordt vooral daar toegepast waar geen extreme nauwkeurigheid noodzakelijk is, vandaar de nauwkeurigheid van 5 … 10%.

b) Metaalfilmweerstanden: deze bestaan ook uit een keramisch lichaam waarop een dunne film van nikkelchrome is aangebracht. Deze duurdere weerstanden hebben een grotere precisie (1%). Toepassing zijn te vinden in meetinstrumenten en in de computertechniek.

c) Draadgewonden weerstanden: op een keramisch lichaam is weerstandsdraad gewikkeld, manganine of constantaan, materialen met een hoge weerstand (zie tabel). Met deze techniek kunnen weerstanden gemaakt worden die geschikt zijn voor grote vermogens. Bovendien kunnen draadgewonden weerstanden met zeer grote precisie vervaardigd worden.

Variabele weerstanden

Ook deze groep kunnen we weer onderscheiden in diverse soorten.

a) De instelbare draadgewonden weerstanden: dit is een gewone draadgewonden weerstand waarop echter een aftakclip is aangebracht. Deze aftakclip kan over de draadwikkeling verschoven worden, zodat daarmede een keuze gemaakt kan worden welk deel van de weerstand men wil gebruiken.

b) Potentiometers: vaak afgekort tot potmeter. Dit zijn variabele weerstanden waarbij door verdraaiing van een as de loper (contactveer) over een baantje van koolstof of een wikkeling van weerstandsdraad wordt bewogen. Toepassing: onder andere de volumeregelaar van een radiotoestel. Verkrijgbaar als lineaire potmeter, bijvoorbeeld voor een toonregeling, of als logaritmische potmeter voor bijvoorbeeld een volumeregelaar. Is het niet de bedoeling dat er continu aan de potmeter gedraaid moet worden, dan ontbreekt de as en kan de instelling worden verkregen door instelling van de gewenste waarde met behulp van een schroevendraaier. Dat is de zogenoemde instel-potmeter.

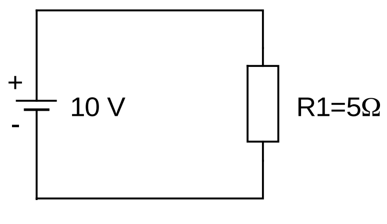
Bijzondere weerstanden

a) NTC-weerstanden (NTC = Negatieve Temperatuur Coëfficiënt) hebben als eigenschap dat hun waarde afneemt naarmate hun temperatuur toeneemt.
b) PTC-weerstanden (PTC = Positieve Temperatuur Coëfficiënt) doen net het om gekeerde, dus de weerstandswaarde neemt toe naarmate hun temperatuur hoger wordt.
c) VDR-weerstanden (VDR = Voltage Dependent Resistor): weerstand afhankelijk van de spanning over op de weerstand. Toepassing: TV-toestellen.
d) LDR-weerstanden (LDR = Light Dependent Resistor): De weerstand daalt zodra er licht op valt. Materiaal: Cadmium. Toepassing: fotografie en beveiligingsinstallaties.

Opgaven

1. De soortelijke weerstand van een geleider hangt af van:
a) de hard- of zachtheid van de geleider
b) de hoeveelheid vrije elektronen in de geleider
c) de dikte van de geleider

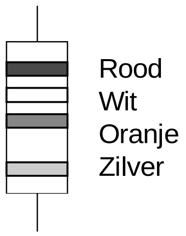
2. Hoe luidt de Wet van Ohm:
a) I= R/U
b) R= U/I
c) U= I/R
d) R=I . U



Figuur 2.12

3. Hoe groot is de stroom door R1 in figuur 2.12:
a) 2 ampère
b) 0,5 ampère
c) 50 ampère
d) 5 ampère

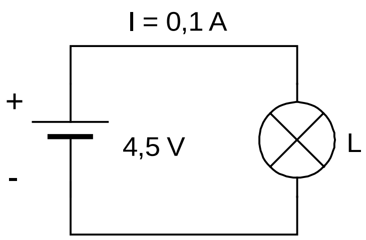
4. Welke van de volgende vier draden heeft de grootste weerstand?
a) draad lang 1 m, ∅1 mm
b) draad lang 1 m, ∅ 0,5 mm
c) draad lang 0,5 m, ∅ 1 mm
d) draad lang 0,5 m, ∅ 0,5 mm



Figuur 2.13

5. Welke waarde hoort bij de weerstand in figuur 2.13:
a) 29000 Ω, 5%
b) 29 kΩ,10%
c) 290 kΩ,10%
d) 2900 Ω, 10%

6. Hoe groot is de weerstand van het lampje L in de schakeling van figuur 2.14
a) 0,02 Ω
b) 45 Ω
c) 4,5 Ω
d) 0,45 Ω

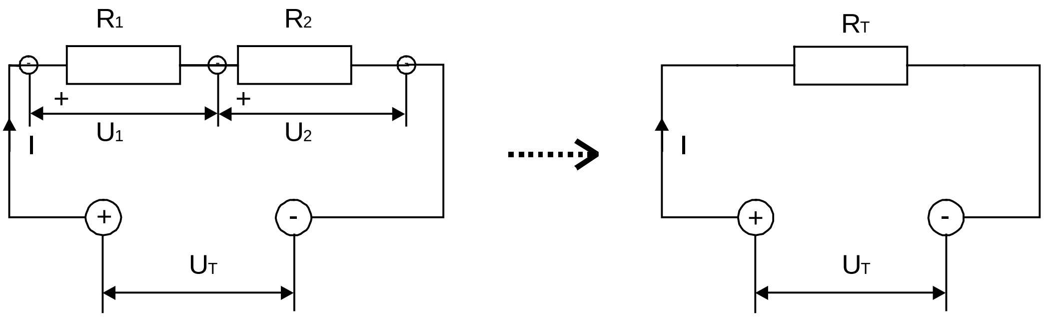


Figuur 2.14

7.Welke is de beste geleider van de vier hierna genoemde materialen:
a) Koper
b) Tin
c) IJzer
d) Messing

2.5 Het schakelen van weerstanden

Heel weinig schakelingen zijn zo eenvoudig als figuur 2.8 uit de voorgaande les. Weerstanden (en/of componenten) zijn vaak op allerlei wijzen tezamen geschakeld. We kennen *serieschakeling*, *parallelschakeling* en een combinatie van beide. Bij de berekening passen we de Wet van Ohm toe. Omdat men bij het toepassen van de genoemde wet altijd slechts te maken heeft met één spanning, één stroom en één weerstand is het zaak de ingewikkelde schakeling éérst terug te brengen tot het eenvoudigste schema, om daarna, na de berekeningen, naar het oorspronkelijke ingewikkelde probleem te kunnen gaan.



Figuur 2.15 Serie schakeling van twee weerstanden.

2.5.1 Serieschakeling

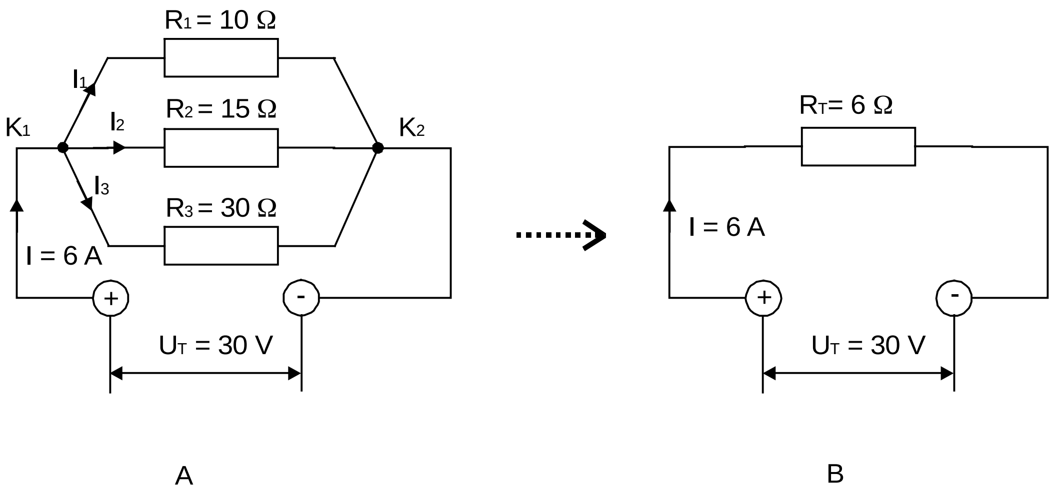
Wanneer enige weerstanden zodanig met elkaar zijn verbonden, dat ze alle door dezelfde stroom worden doorlopen, zijn de weerstanden in serie geschakeld, zie figuur 2.15. Dit is de definitie voor serieschakelen.
De stroom is dan in alle punten van de schakeling gelijk, daar er nergens stroom bijkomt of afgaat! In het schema is ook duidelijk te zien dat de stroom I op zijn weg van positieve naar de negatieve pool steeds meer weerstand ondervindt, dat wil zeggen een totale weerstand: $R_t = R_1 + R_2$. Hierdoor mogen we het oorspronkelijke schema vervangen door een vereenvoudigd schema, en kunnen nu met behulp van de Wet van Ohm de stroom I berekenen welke gelijk is met de stroom I in het oorspronkelijke schema! Ook krijgen we door deze stroomdoorgang door de weerstanden R_1 en R_2 een spanningsval (deelspanning) over genoemde weerstanden, d.w.z.

$$U_1 = I \cdot R_1 \text{ en } U_2 = I \cdot R_2$$

Een tweede eigenschap van de serieschakeling is: de deelspanningen verhouden zich recht evenredig aan de waarde van de betreffende weerstanden. Over de grootste weerstand staat dus altijd de grootste spanning! Een controle of de berekening klopt is: de som van de deelspanningen = de totale spanning op de schakeling!

2.5.2 Parallelschakeling

Wanneer enige weerstanden zo zijn geschakeld, dat hun beginpunten en eindpunten met elkaar zijn doorverbonden en ze op dezelfde spanning staan, dan zijn deze weerstanden parallel geschakeld. In figuur 2.16 zijn de weerstanden $R_1 = 10\Omega$, $R_2 = 15\Omega$ en $R_3 = 30\Omega$, parallel geschakeld en aangesloten op een spanning $U = 30$ V.



Figuur 2.16 Parallel schakeling van weerstanden.

Wij bekijken nu even het getekende schema. Doordat we te maken hebben met een gesloten stroomkring zal er een stroom I_{tot} lopen van de *plus klem* naar de *min klem*. Vanaf het knooppunt K_1 zal deze stroom zich gaan verdelen in de deelstromen I_1 door R_1, I_2 door R_2 en I_3 door R_3 om daarna via het knooppunt K_2 weer samen te komen tot wederom I_{tot}. De deelstromen zijn te berekenen met de Wet van Ohm (weerstandswaarden en de spanning over de weerstanden zijn bekend):

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{30}{10} = 3A$$
$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{30}{15} = 2A$$
$$I_3 = \frac{U}{R_3} = \frac{30}{30} = 1A$$

De som van de deelstromen geeft (zie schema) de waarde van I_{tot}.

$$I_{tot} = I_1+I_2+I_3 = 3 + 2 + 1 = 6\ A.$$

$$\sum I_n = 0$$
Dit is de 1e Wet van Kirchhoff.

Dit betekent: de algebraïsche som van de stromen is gelijk aan nul (hoofdstuk 1). Met andere woorden, de som van de naar het knooppunt toevloeiende stromen is gelijk aan de som van de wegvloeiende stromen. Zie punt K_1 in figuur 2.16. We hadden om in het schema van figuur 2.16 dezelfde stroom I_{tot} te krijgen de parallel geschakelde weerstanden R_1, R_2 en R_3 kunnen vervangen door een vervangende weerstand R_v,

$$R_v = \frac{U}{I_{tot}} = \frac{30}{6} = 5\Omega$$

Belangrijk is ook om te onthouden dat:

1. De vervangende weerstand altijd kleiner is dan de kleinste weerstand in de betreffende stroomkring.
2. De deelstromen verhouden zich omgekeerd evenredig met de waarden van de betreffende weerstanden.

$$I_1 : I_2 : I_3 = \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} : \frac{1}{R_3} = \frac{1}{10} : \frac{1}{15} : \frac{1}{30} = \frac{3}{30} : \frac{2}{30} : \frac{1}{30} = i_1 : i_2 : i_3 = 3{:}2{:}1$$

R_v kan ook op een andere wijze worden berekend. Dit kan nodig zijn in die gevallen als er geen spanningen en/of stromen gegeven dan wel onvoldoende bekend zijn. Bekend is dat R betekent: *weerstand* en het omgekeerde van weerstand dan *het geleidingsvermogen* zal moeten zijn. Het omgekeerde van R is dus het geleidingsvermogen en wordt aangegeven met

$$G = \frac{1}{R}$$

Dit passen we toe op figuur 2.16.

$$I_{tot} = i_1 + i_2 + i_3$$

$$\frac{U}{R_v} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}$$

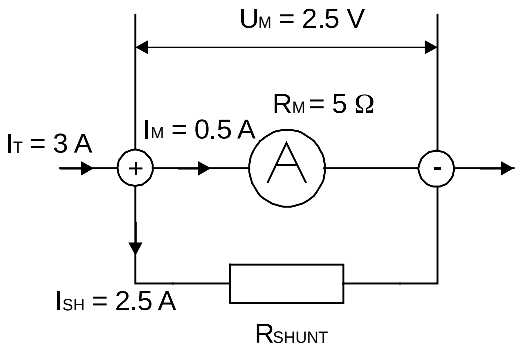
links en rechts van het = teken delen we door U. Dit levert :

$$\frac{1}{R_v} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \text{ of :}$$

$$G_v = G_1 + G_2 + G_3$$

Invullen van de getallen uit het voorbeeld levert :

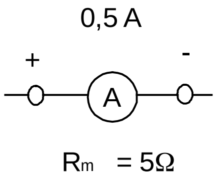
$$G_v = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$
$$= \frac{1}{10} + \frac{1}{15} + \frac{1}{30}$$
$$= \frac{3}{30} + \frac{2}{30} + \frac{1}{30}$$
$$= \frac{6}{30} = \frac{1}{5} \quad \text{dus :}$$
$$R_v = \frac{1}{G_v} = 5\Omega$$



Figuur 2.17 Ampère meter met shunt weerstand.

Toepassing

Het vergroten van het meetbereik van een ampèremeter. Zoals het mogelijk is het meetbereik van een spanningsmeter, de voltmeter, te wijzigen met behulp van een voorgeschakelde weerstand, een *voorschakelweerstand*, zo is dit ook mogelijk voor een stroommeter, de ampèremeter, door middel van een parallel geschakelde weerstand over de meterklemmen, een *shuntweerstand* (zie figuur 2.17).



Figuur 2.18 Ampère meter zonder shunt weerstand.

Stel we hebben een ampèremeter volgens figuur 2.18.
We bekijken eerst de bijgevoegde gegevens:

a) Het meetbereik van de meter is 0,5 A. Bij volle uitslag van de meter is de stroom die door de meter loopt 0,5 A. Dit is dus de maximale stroom die de meter kan verdragen zonder defect te raken.

b) I_m = 0,5 A. De inwendige weerstand van de meter, de weerstand van het meetsysteem, $R_m = 5\ \Omega$.

Met behulp van deze gegevens kunnen we nu berekenen hoe groot de spanning is op de meterklemmen bij volle meteruitslag:

$$U_m = I_m \cdot R_m = 0{,}5 \cdot 5 = 2{,}5\ V$$

We willen nu het meetbereik van de ampèremeter vergroten tot 3 A. We moeten er dus voor zorgen dat slechts 0,5 A van die 3 A door de meter kan gaan om de meter niet te beschadigen en daarbij toch een normale stroomdoorgang kan plaatsvinden. Dit kunnen we bereiken door een weerstand parallel over de meterklemmen te plaatsen, ofwel een shunt (uitspraak: sjunt) monteren, zie figuur 2.17.

$$I_{sh} = I - I_m = 3 - 0{,}5 = 2{,}5\ A$$

De spanning over de shuntweerstand is

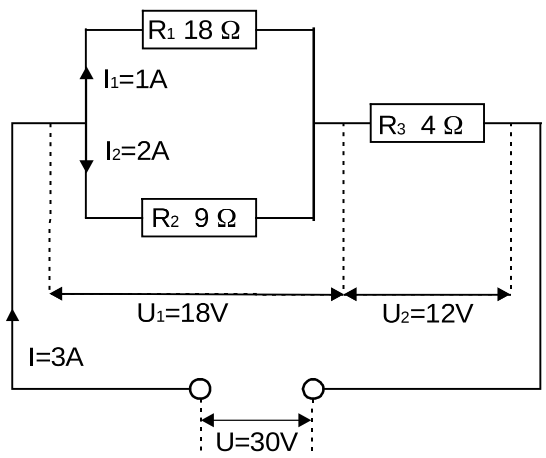
$$U_m = 2{,}5\ V \text{ : dus } R_{sh} \text{ wordt :}$$

$$R_{sh} = \frac{U_m}{I_{sh}} = \frac{2{,}5}{2{,}5} = 1\ \Omega$$

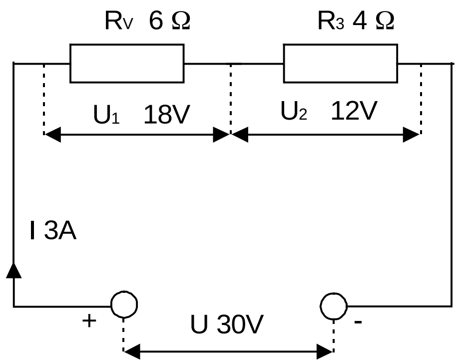
De oorspronkelijke schaalverdeling van de meter hoeft niet te worden veranderd! Het meetbereik was 0,5 A, werd veranderd tot 3 A, en is dus 6 zo groot geworden. Als we de aanwijzing van de nieuwe meter met de factor 6 vermenigvuldigen, kunnen we de juiste stroom aflezen. Deze methode kunnen we vanzelfsprekend ook toepassen op de voltmeter met veranderd meetbereik.

2.5.3 De combinatie serie- en parallelschakeling van weerstanden (gemengde schakelingen)

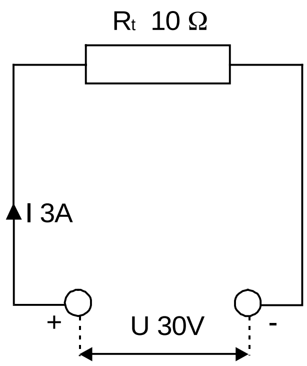
Ook deze vraagstukken moeten worden opgelost met de Wet van Ohm! Men heeft daarbij slechts te maken met één spanning, één stroom en één weerstand. Ingewikkelde schakelingen moeten daarom, stap voor stap, worden vereenvoudigd. Parallelgeschakelde weerstanden worden vervangen door een R_v en seriegeschakelde weerstanden door een R_t al naar gelang in de schakeling nodig is. Het is verstandig voor elke nieuwe situatie een nieuw schema te tekenen. Zie figuur 2.19, 2.20 en 2.21.



Figuur 2.19 Combinatie van parallel en serie weerstanden.



Figuur 2.20 Eerste stap bij het berekenen van een vervangingsweerstand.



Figuur 2.21 Tweede stap bij het berekenen van een vervangingsweerstand.

Toepassing

Twee parallel geschakelde weerstanden R_1 = 18 Ω en R_2 = 9 Ω zijn in serie met weerstand R_3 = 4 Ω aangesloten op een spanning U_t = 30 V. Bereken alle optredende stromen en deelspanningen. We tekenen eerst het schema, zie figuur 2.19. Verder bepalen we eerst R_v voor de parallel geschakelde weerstanden R_1 en R_2, om de schakeling te vereenvoudigen.

$$\frac{1}{R_v} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{18} + \frac{1}{9} = \frac{1}{18} + \frac{2}{18} = \frac{3}{18} = \frac{1}{6}$$

$R_v = 6\ \Omega$. Figuur 2.19 gaat over in figuur 2.20.
R_t vervangt nu de in serie staande R_3 en R_v, zie figuur 2.21.

$$R_t = R_3 + R_v = 4 + 6 = 10\ \Omega.$$

(controleberekening)

$$\begin{array}{ll} U_1 = I_t \times R_v = 3 \times 6 = 18\,V & \\ U_2 = I_t \times R_3 = 3 \times 4 = 12\,V & + \\ \hline U_t = U_1 + U_2 \qquad = 30\,V & \end{array}$$

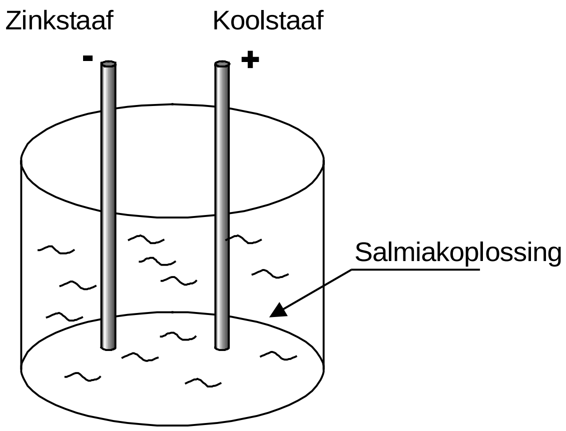
(controleberekening)

2.6 Energiebronnen, schakeling van elementen

In het algemeen geldt dat, als men een elektrische stroom door een geleider wil laten lopen (het verplaatsen van de vrije elektronen in de geleider), men moet beschikken over een kracht of druk op de elektronen, m.a.w. men heeft hiervoor altijd een *Energiebron* nodig. Bedoelde energiebron kan dan worden beschouwd als de veroorzaker van de druk op de vrije elektronen (spanningsbron) of indien dit voor een bepaalde berekening beter uitkomt als de leverancier van de vrije elektronen (stroombron). Deze energiebron, zonder welke geen enkele elektronische schakeling zou kunnen werken, moet daarom in staat zijn elektrische energie op te wekken of om een andere soort energie in elektrische energie om te zetten.

Voorbeelden:

type	principe
galvanische elementen	scheikundige energie wordt omgezet in elektrische energie
accu	idem
dynamo of generator	mechanische energie wordt omgezet in elektrische energie
thermokoppel	warmte wordt omgezet in elektrische energie
zonnecel	licht (fotonen) wordt omgezet in elektrische energie

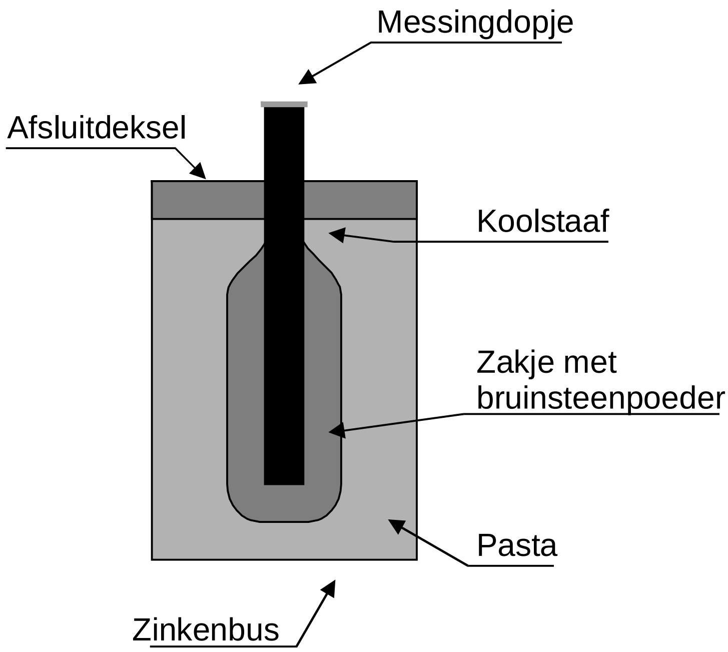


Figuur 2.22 Het element van Leclanché.

Een bekende spanningsbron is het element van Leclanché, welke bestaat uit een zink- en koolstaaf geplaatst in een salmiakoplossing. Door de hierbij optredende chemische reactie wordt de koolstaaf ongeveer 1,5 V positief ten opzichte van de zinkstaaf. Kool en zink in een salmiakoplossing leveren dus een bronspanning van 1,5 V, waarbij de koolstaaf altijd positief en de zinkstaaf altijd negatief is. Dit noemt men een galvanisch element. Om dit element echter ook praktisch bruikbaar te maken voor bijvoorbeeld zaklantaarns en portable radio's, is de uitvoering van dit element enigszins gewijzigd, zie figuur 2.23.

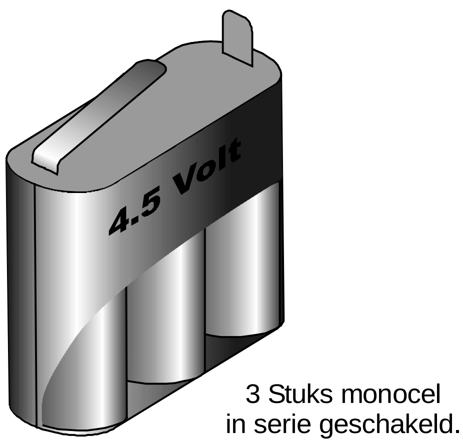
De glazen pot werd vervangen door een zinken busje (de zinkstaaf), de minpool. In dit busje werd aangebracht de koolstaaf welke werd omgeven door bruinsteenpoeder in een vochtdoorlatend zakje. Dit is nodig omdat door de scheikundige werking in het element gasvorming ontstaat welke de goede werking van het element belemmert. Bruinsteen kan dit gas wegwerken. De salmiakoplossing moet dan verder nog op een of andere manier worden verdikt tot een dikke pasta. Om te voorkomen dat deze salmiakpasta ook in horizontale stand van het element niet zal wegvloeien wordt de bus aan het open einde afgesloten door b.v. een houten dekseltje, welke dan weer is afgelakt. De koolstaaf krijgt een messing-dopje (+). Om de zinken bus (−) nog een papieren strook met merknaam en onze mono-cel is klaar.

Heeft men hogere spanning dan 1,5 V nodig, dan kunnen meerdere elementen in serie worden geschakeld. Ook de stroomlevering is bij deze elementen beperkt. Voor grotere stroomlevering worden dan bedoelde elementen parallel geschakeld. Een combinatie van serie- en parallel-schakeling is ook mogelijk. Een samenstelling van gelijke elementen wordt een batterij genoemd

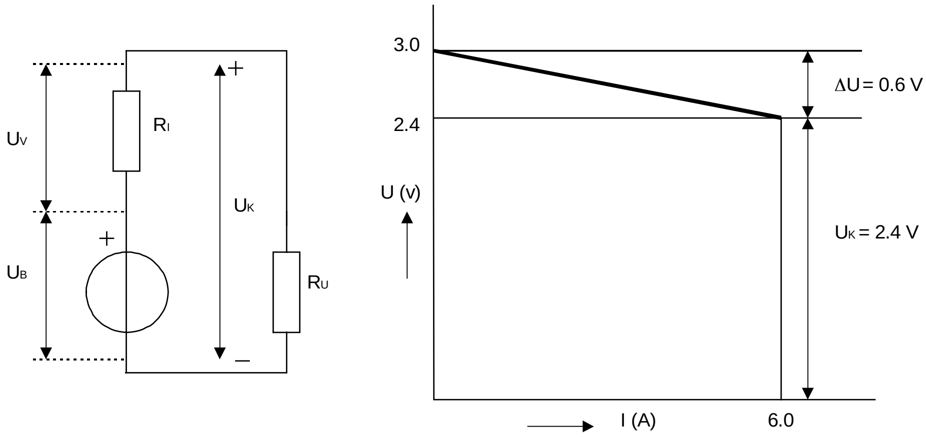


Figuur 2.23 Leclanché element in praktische uitvoering.

In een energiebron wordt inwendig een elektrische spanning opgewekt, deze spanning noemt men: *De Elektrische Bronspanning U*. Verder heeft elke energiebron een zogenaamde inwendige weerstand, aangegeven met: de *Inwendige Weerstand* R_i. Wordt op de energiebron een elektrisch apparaat of elektrische schakeling (belasting) aangesloten dan levert de energiebron een elektrische stroom *I*. Bedoeld elektrisch apparaat of schakeling heeft vanzelfsprekend een eigen weerstand R_i welke dan de belasting vormt voor de energiebron. Doordat deze belastingsweerstand buiten (uitwendig) de energiebron zit wordt deze aangegeven met R_b of R_u. Schematisch is een en ander aangegeven in figuur 2.25.



Figuur 2.24 Een batterij.



Figuur 2.25 De belastinglijn voor een energiebron.

Met behulp van een rekenvoorbeeld kunnen we enkele eigenschappen van een energiebron bekijken. Stel dat we een energiebron met een bronspanning U = 3 V en een inwendige weerstand R_i = 0,1 Ω gaan belasten met een belastingsweerstand R_u = 0,4 Ω (zie figuur 2.25) . We kunnen de stroom met behulp van de formule berekenen:

$$I = \frac{U_B}{R_i + R_u} = \frac{3}{0{,}1 + 0{,}4} = \frac{3}{0{,}5} = 6\ \text{A}$$

Mogelijk is ook de spanning over de belastingsweerstand R_u te bepalen. Omdat deze spanning, wat ook uit het schema blijkt, dezelfde spanning is die op de aansluitklemmen van de spanningsbron staat, wordt deze spanning de klemspanning genoemd. Deze klemspanning wordt vaak aangeven met U_k

$$U_k = I \,.\, R_u = 6 \,.\, 0{,}4 = 2{,}4\ \text{V}$$

We zien dat de klemspanning U_k kleiner is dan de bronspanning U Dit is **altijd** zo bij een belaste spanningsbron! Er treedt in de spanningsbron kennelijk een spanningsverlies op. Oorzaak van dit inwendige spanningsverlies is de inwendige weerstand R_i van de spanningsbron en de stroomdoorgang in de bron van de minpool naar de pluspool.

$$U_v = I \,.\, R_i = 6 \,.\, 0{,}1 = 0{,}6\ \text{V}$$

In het schema is ook te zien dat:

$$U_k = U_B - U_v = U_B - (I.\, R_i) = 3 - (6 \,.\, 0{,}1) = 3 - 0{,}6 = 2{,}4\ \text{V}$$

Alleen als een spanningsbron niet wordt belast (en er dus geen stroom vloeit) is:

$$U_k = U_B$$

Probeer dit zelf eens te beredeneren.

Verder is ook te berekenen de maximale stroom die de spanningsbron kan leveren. Deze maximale stroom, ook wel de kortsluitstroom I_k genoemd, treedt op als R_u = 0 Ω, d.w.z. bij kortsluiting, dus als de klemmen van de bron met elkaar worden doorverbonden (niet aan te bevelen!).

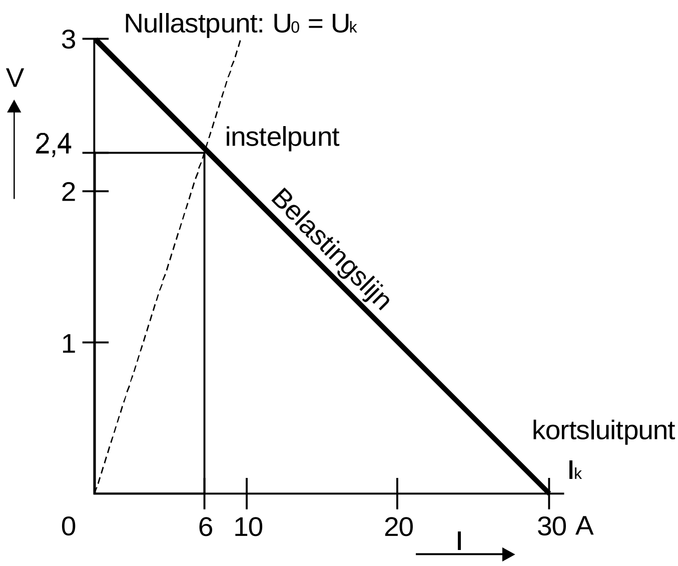
$$I_k = \frac{U_B}{R_i + R_u} = \frac{3}{0{,}1 + 0} = \frac{3}{0{,}1} = 30\text{ A}$$

Met de berekende uitkomsten kan men de *belastingslijn* tekenen. Deze grafiek geeft U_k als functie van de belastingsstroom I weer. Zoals al eerder is vermeld hebben we twee loodrecht op elkaar staande assen nodig. Een horizontale lijn, de X-as, waarop wordt uitgezet de *onafhankelijke veranderlijke*, de stroom I in dit geval. Een verticale lijn, de Y-as, bestemd voor de *afhankelijke veranderlijke*, namelijk de daarbij behorende klemspanning U_k.

Hoe construeren we nu de bedoelde belastingslijn voor deze spanningsbron met een U = 3 V en een R_i = 0,1.
We weten uit het rekenvoorbeeld:

a) Als de spanningsbron onbelast is, is U_k = U_b = 3 V (nullastpunt genoemd), I = 0 A.
b) Bij kortsluiting van de bron is de maximale stroom I = I_k (kortsluitpunt genoemd). I_k = 30 A bij U_k = 0 V.

We hebben nu twee punten van de grafiek. Worden deze twee punten door een rechte lijn met elkaar verbonden, dan is de gevraagde belastinglijn getekend. Dit is gedaan in figuur 2.26.



Figuur 2.26 Voorbeeld van een belastinglijn.

Stel dat we snel willen weten hoe groot U_k is bij een stroomafname van 6 A. Vanuit het punt 6 A op de X-as een verticale lijn naar boven tekenen totdat deze de getekende belastinglijn snijdt. Vanuit dit punt (instelpunt genoemd) een horizontale lijn naar links geeft als snijpunt met de Y-as de spanning U_k = 2,4 V. De lijn vanuit het snijpunt van de X- en Y-as door het instelpunt geeft de waarde van R_u aan. Hoe groter de weerstandswaarde van R_u hoe steiler en hoe kleiner de weerstandswaarde van R_u hoe vlakker de lijn loopt.

Een ander voorbeeld

Hoe groot moet R_u zijn als de spanningsbron een stroom van 10 A moet leveren en hoe groot is daarbij U_k (zelf tekenen!) .

I = 10 A, U_k = 2 V.

$$R_u = \frac{U_k}{I} = \frac{2}{10} = 0{,}2\Omega$$

(merk op: de lijn R_u = 0,2 is minder steil dan de lijn R_u = 0,4)

Verder kennen we nog de *uitgangsweerstand* van een energiebron. Onder deze uitgangsweerstand wordt verstaan: de spanningsverandering gedeeld door de stroomverandering, in formule:

$$R_{uitgang} = \frac{\Delta U}{\Delta I}$$

In dit voorbeeld:
De spanningsverandering is: $U = U_b - U_k = 3 - 2{,}4 = 0{,}6$ V (zie figuur 2.25) .

De hierbij behorende stroomverandering is: I = 6 A.

$$R_{uitgang} = \frac{U}{I} = \frac{0{,}6}{6} = 0{,}1\Omega$$

Bij een energiebron is de uitgangsweerstand dus gelijk aan de inwendige weerstand!

Oplaadbare energie bronnen

Een andere energiebron is de *accu*. In tegenstelling met het Leclanché element kan deze energiebron pas elektrische energie leveren als hij eerst is geladen, d.w.z. eerst elektrische energie is toegevoerd welke dan in de accu wordt opgeslagen. Is de accu daarna door stroomlevering ontladen, dan kan hij opnieuw worden geladen, waarna hij weer bruikbaar is. Tijdens het laden wordt elektrische energie uit een andere spanningsbron, bijvoorbeeld een gelijkstroomdynamo, in de accu gebracht en wel door een gelijkstroom (elektronenstroom) van de pluspool naar de minpool te sturen, zie figuur 2.27, in de accu.

Let op!
Tijdens het ontladen loopt de elektrische stroom uitwendig van de pluspool via de belasting naar de minpool, en in de accu van de minpool naar de pluspool.

De R_i van een loodaccu is vrij laag, per cel is de spanning U = 2 V. Een 6 Volt accu heeft 3 cellen en een 12 Volt accu 6 cellen. De opbouw van een accucel is een gesloten bak van zuurbestendig isolatiemateriaal voorzien van een afschroefbaar vuldopje waarin gemonteerd loden platen (vandaar de benaming *loodaccu*) in accuvloeistof. De accuvloeistof, ook wel elektrolyt genaamd, bestaat uit zwavelzuur verdund met gedistilleerd water. Bij het laden van de accu komt door het chemische proces het gevaarlijk explosieve knalgas vrij! Denk daarom aan goede ventilatie van de ruimte waar de accu geplaatst is en s.v.p. geen vuur in de nabijheid! De positieve platen hebben een bruine en de negatieve platen een grijze kleur.

We kennen accu’s die weinig en accu’s die veel energie kunnen leveren. Dit wordt aangegeven met de capaciteit van de accu. Bijvoorbeeld: een 12 Volts accu met een capaciteit van 60 Ah (Ah = ampère-uur). Dit betekent dat de accu gedurende 20 uur een stroom van 3 A kan leveren (3 · 20 = 60 Ah). Na 20 uur is de accu niet geheel ontladen, maar de U_k van 1 cel is dan van 2 V tot de minimaal toegestane spanning van ca 1,83 V gedaald en moet de accu nodig weer worden opgeladen. De hierbij genoemde tijd van 20 uur is een afgesproken tijdsduur (normalisatie).

$$Ontlaadstroom = \frac{De\ capaciteit\ van\ de\ accu}{20}\ \mathrm{A}$$

Kiest men een belastingsstroom van bijvoorbeeld 4 A, dan kan deze accu

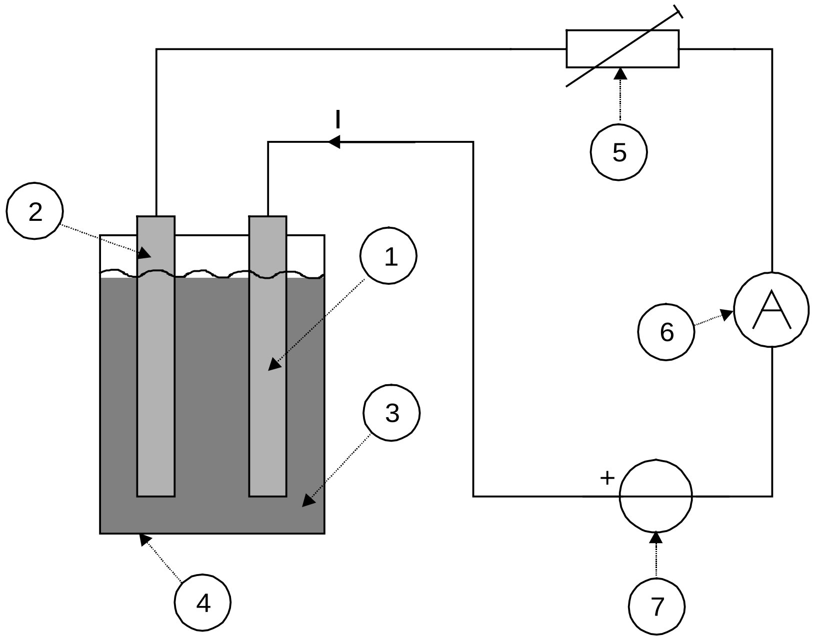
$$\frac{60}{4} = 15\ \mathrm{uur}$$

stroom leveren!

Omdat de inwendige weerstand van de accu zeer klein is, (ca. 0,01Ω) is de kortsluitstroom zeer groot.

$$I_k = \frac{U_B}{R_i} = \frac{2}{0{,}01} = 200\ \mathrm{A}$$

Bij zulke stromen trekken de accuplaten krom, waardoor de accu onherstelbaar wordt beschadigd.



1) Positive plaat (bruin)
2) Negative plaat (grijs)
3) Verdund Zwavelzuur
4) Glazen accubak
5) Regelbare weerstand
6) Amperemeter
7) Gelijkstroombron

Figuur 2.27 Het laden van een lood-zwavelzuur accu.

2.7 Schakelingen van energiebronnen

2.7.1 Serieschakeling

Doel van de schakeling is zoals al eerder is gezegd, het vergroten van de spanning van de spanningsbron. Bij deze schakeling verbinden we de pluspool van een energiebron met de minpool van de volgende bron, etc. De pluspool van het eerste element en de minpool van het laatste element vormen daarbij de aansluitklemmen van de gevormde batterij. Zijn hierbij *n* gelijke elementen in serie geschakeld, dan is de bronspanning van de batterij *n* maal zo groot als van elk element. In formule:

$$U_{bat} = n \cdot U$$

Doordat de elementen in serie geschakeld zijn en elk element zijn eigen inwendige weerstand R_i heeft, zijn dus al deze weerstanden ook in serie geschakeld, waardoor:

$$R_{i(bat)} = n \cdot R_i\,(van\ 1\ element)$$

Voorbeeld

Een batterij bestaat uit drie gelijke in serie geschakelde elementen, elk met een bronspanning van 1,2 V en een inwendige weerstand van 0,1 Ω. Op deze batterij wordt een weerstand van 0,9 Ω aangesloten. Bereken de stroom in de schakeling en de klemspanning van de batterij.

Oplossing

$$U_{bat} = n \cdot U = 3 \cdot 1{,}2 = 3{,}6\,V$$
$$R_{i(bat)} = n \cdot R_i = 3 \cdot 0{,}1 = 0{,}3\,\Omega$$
$$I = \frac{U_{bat}}{R_i + R_u} = \frac{3{,}6}{0{,}3 + 0{,}9} = \frac{3{,}6}{1{,}2} = 3\,A$$
$$U_k = 1 \cdot R_u = 3 \cdot 0{,}9 = 2{,}7\,V \quad of:$$
$$U_v = 1 \cdot R_i = 3 \cdot 0{,}1\,V$$
$$U_k = U_{bat} - U_v = 3{,}6 - 0{,}9 = 2{,}7\text{ V}$$

2.7.2 Parallelschakeling

Doel van de schakeling is om over grotere stroom te beschikken dan een enkel element normaal zou kunnen leveren. Hierbij worden van een aantal gelijke elementen de gelijknamige polen met elkaar verbonden. De bronspanning van een dergelijke batterij is gelijk aan de bronspanning van één element. Zijn er *p* elementen parallel geschakeld, dan is

$$I_{bat} = p \cdot I \;\; (van\ 1\ element)$$

De inwendige weerstanden R_i van de elementen zijn echter ook parallel geschakeld, dus de inwendige weerstand van de batterij bestaat uit de parallelschakeling van de inwendige weerstanden van de afzonderlijke cellen.

$$R_{i(bat)} = \frac{R_i}{p}$$

Opmerking

Worden bij deze schakelingen ongelijke elementen toegepast dan gaan een of meerdere elementen stroom leveren aan de andere elementen. We moeten dan een andere berekening toepassen, waar we straks nog uitgebreid op terugkomen.

2.7.3 Gemengde schakeling

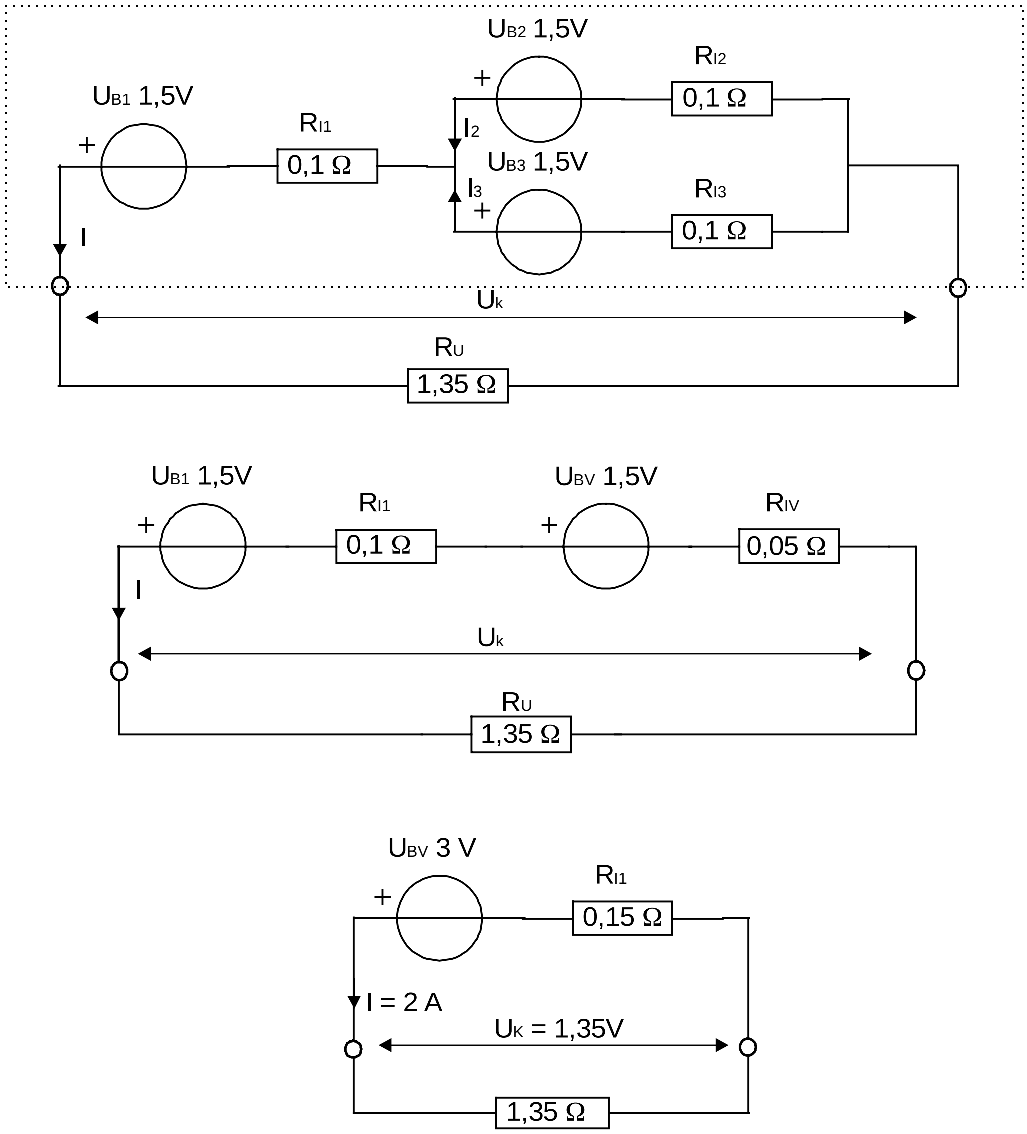
Een gemengde schakeling is een combinatie van de serie- en parallelschakeling (zie figuur 2.28) .

Voorbeeld

Op een batterij, bestaande uit drie gelijke elementen, waarvan het eerste element in serie is geschakeld met de twee andere parallel geschakelde elementen, is een weerstand van 1,35 Ω aangesloten. Hoe groot is de spanning over deze weerstand?

Uitwerking

De spanningsbron is volgens het schema opgebouwd uit een gemengde schakeling van de drie elementen. We moeten de schakeling allereerst zo veel mogelijk vereenvoudigen. Daarom gaan we eerst U_2 en U_3 samenvoegen. Het is een parallel schakeling, dus:



Figuur 2.28 Gemengde schakeling met weerstanden en energiebronnen.

$$U_v = 1{,}5\text{V}$$

$$\frac{1}{\text{R}_{\text{iv}}} = \frac{1}{\text{R}_{\text{i2}}} + \frac{1}{\text{R}_{\text{i3}}} =$$

$$\frac{1}{0{,}1} + \frac{1}{0{,}1} = \frac{2}{0{,}1} = 20 = \frac{1}{R_{iv}}$$

$$R_{iv} = 0{,}05\,\Omega$$

Nu U_1 en U_v samenvoegen (serieschakeling).

$$U_{bat} = U_1 + U_v = 1{,}5 + 1{,}5 = 3\text{ V}$$

$$R_{i(bat)} = R_{i1} + R_{iv} = 0{,}1 + 0{,}05 = 0{,}15\,\Omega$$

$$I = \frac{E}{R_{i(bat)} + R_u} = \frac{3}{0{,}15 + 1{,}35} = \frac{3}{1{,}5} = 2\text{A}$$

De spanning over R_u

$$U_k = I \cdot R_u = 2 \cdot 1{,}35 = 2{,}7\text{ V}$$

2.8 Wetten van Kirchhoff

1^e^ Wet van Kirchhoff

$$\sum I_i = 0$$

Betekenis: de algebraïsche som van de stromen in een knooppunt is nul.
Deze kende u reeds (zie parallelschakelingen van weerstanden) .

2^e^ Wet van Kirchhoff

$$\sum U_i = 0$$

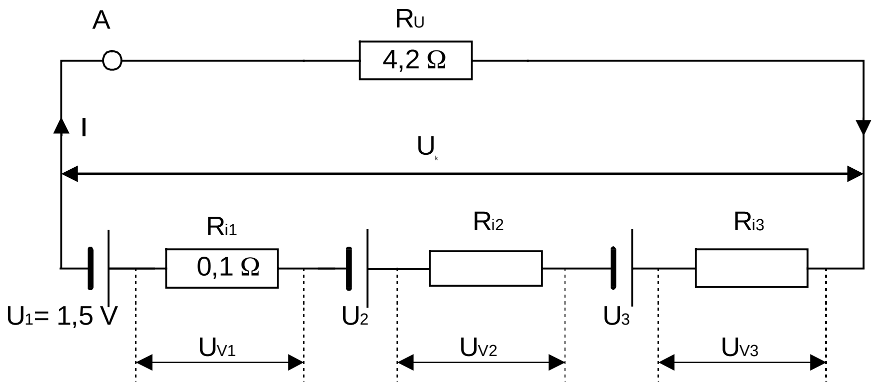
Betekenis: in elke stroomkring is de algebraïsche som van de in de kring aanwezige bronspanningen en spanningen over weerstanden is gelijk aan nul.

De spelregels die we hierbij moeten hanteren zijn als volgt:

e) Gaan we in de stroomkring door een spanningsbron van de minpool naar de pluspool, (een potentiaaltoename), dan noteren we: +U (bijv. +2 V) . Gaan we echter door de spanningsbron van de minpool naar de pluspool, (een potentiaalafname), dan noteren we: −U (bijv. −3 V).

f) Gaan we in de stroomkring met de stroomrichting mee, dan noteren we: +I (bijv. +4 A) . Het ohmse spanningsverlies is dan *positief*! Gaan we echter tegen de stroomrichting in, dan moeten we −I noteren (bijv. −5A) . Het ohmse spanningsverlies wordt dan *negatief*.

Deze spelregels dienen we goed te onthouden en altijd toepassen bij de 2[e] Wet van Kirchhoff Dit laatste lijkt erg ingewikkeld en moeilijk, maar met behulp van voorbeelden zal het best wel meevallen.



Figuur 2.29 Serieschakeling met gelijke elementen.

Als eerste voorbeeld bekijken we de serieschakeling van spanningsbronnen (figuur 2.29). Dat hierbij gebruik werd gemaakt van 3 stuks gelijke elementen is van geen invloed op de uitwerking. In het schema is tevens de stroomrichting van I getekend. We gebruiken nu de 2[e] Wet van Kirchhoff en starten in het punt *A* en gaan dan via R_4 en de elementen de gesloten stroomkring rond. Voor element nr. 3 gaan we van de klem door het element naar de pluspool, dus we mogen noteren U_3 = +1,5 V, en idem U_2 = +1,5 V en U_3 = +1,5 V.

De ohmse spanningsverliezen. Voor R_4 geldt $U_{R4} = I.R_4$, waarbij we met de stroomrichting meegaan, dus I is positief en dus dit product ook. Dit geldt voor alle weerstanden in de kring, dus we noteren:

$$U_{R4} = I \cdot R_4 = 4{,}2 \cdot I$$
$$U_{R3} = I \cdot R_3 = 0{,}1 \cdot I$$
$$U_{R2} = I \cdot R_2 = 0{,}1 \cdot I$$
$$U_{R1} = I \cdot R_1 = 0{,}1 \cdot I$$

De som van al deze spanning dient nul op te leveren, immers:

$$\sum U_i = 0$$

Optellen levert:

$$U_1 + U_2 + U_3 + U_{R1} + U_{R2} + U_{R3} + U_{R4} = 0$$
$$1{,}5 + 1{,}5 + 1{,}5 - 4{,}2 \cdot I - 0{,}1 \cdot I - 0{,}1 \cdot I - 0{,}1 \cdot I =$$
$$4{,}5 - 4{,}5I = 0$$

zodat

$$4{,}5 = 4{,}5I$$
$$I = \frac{4{,}5}{4{,}5} = 1\,\text{A}$$
$$U_k = I \cdot R_4 = 1 \cdot 4{,}2 = 4{,}2\,\text{V}$$

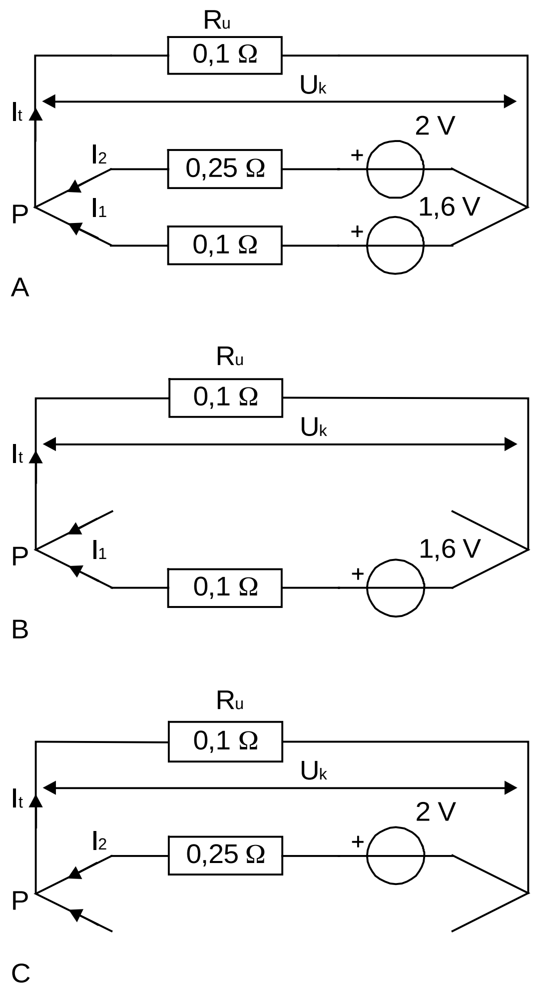
Ongelijke elementen

In het voorbeeld van de parallelschakeling van spanningsbronnen werden twee gelijke elementen parallel geschakeld De bronspanning U_{bat} kon daarbij niet anders dan gelijk zijn aan de bronspanning van elk element afzonderlijk, terwijl elk element ieder de helft van de geleverde stroom aan R_u voor zijn rekening nam. Dit klopt volgens de 1e Wet van Kirchhoff.
$I = I_1 + I_2$ (zie schema, knooppunt *p*)

Zijn de elementen echter niet aan elkaar gelijk, dan gaat deze redenering niet meer op! Wat er nu gaat gebeuren is te berekenen door toepassing van de 1e en 2e Wet van Kirchhoff. Ter verduidelijking enkele voorbeelden.

Voorbeeld

Op een batterij bestaande uit twee parallel geschakelde elementen met respectievelijk:
U_1 = 1,6 V, R_{i1} = 0,1Ω en U_2 = 2 V, R_{i2} = 0,25Ω, wordt een weerstand R_u = 0,1Ω aangesloten. Bereken de optredende stromen en de spanning over R_u (zie figuur 2.30a)



Figuur 2.30 Parallelschakeling met ongelijke elementen.

Oplossing:
We tekenen eerst het schema, compleet met alle stromen.

Volgens de 1e Wet van Kirchhoff is de som van alle stromen die naar het punt P stromen, gelijk aan nul. We hebben echter I_1 en I_2 naar het punt P toestromend gekozen en I_t van het punt P afstromend gekozen. We kunnen nu dus zeggen:

$$I_t = I_1 + I_2$$

We hebben dus te maken met twee onbekenden, namelijk I_1 en I_2. Daarom moeten we trachten twee onafhankelijke vergelijkingen te vinden om deze stromen te kunnen berekenen. We nemen daarvoor figuur 2.30b en passen hierop de 2e Wet van Kirchhoff toe. We gaan daarbij de gesloten stroomkring rond, te beginnen bij punt P. We kunnen dan de volgende vergelijking opschrijven:

$$I_1 \cdot R_1 + I_t \cdot R_u = U_1 \qquad (1)$$

Met behulp van figuur 2.30c kunnen we de tweede vergelijking opschrijven:

$$I_2 \cdot R_2 + I_t \cdot R_u = U_2 \qquad (2)$$

Omdat we al weten dat geldt:

$$I_t = I_1 + I_2$$

Kunnen we de vergelijkingen 1 en 2 schrijven als:

$$I_1 \cdot R_1 + (I_1 + I_2) \cdot R_u = U_1$$
$$I_2 \cdot R_2 + (I_1 + I_2) \cdot R_u = U_2$$

Deze kunnen worden vereenvoudigd tot:

$$I_1 \cdot (R_1 + R_u) + I_2 \cdot (R_2 \quad) = U_1$$
$$I_1 \cdot (R_u) + I_2 \cdot (R_u + R_2 \quad) = U_2$$

De waarden voor de weerstanden R en de spanningen U kennen we uit de figuur 2-29 en kunnen dus ingevuld worden.

$$I_1 \cdot (0{,}1 + 0{,}1) + I_2 \cdot (0{,}1) = 1{,}6$$
$$I_1 \cdot (0{,}1) + I_2 \cdot (0{,}1 + 0{,}25) = 2$$

Uitrekenen levert dan:

$$I_1 \cdot 0{,}2 + I_2 \cdot 0{,}1 = 1{,}6$$
$$I_1 \cdot 0{,}1 + I_2 \cdot 0{,}35 = 2$$

De makkelijkste manier om deze twee vergelijkingen met de twee onbekenden I_1 en I_2 op te lossen is door de onderste formule aan beide zijden met 2 te vermenigvuldigen. De twee vergelijkingen gaan er dan als volgt uit zien.

$$I_1 \cdot 0{,}2 + I_2 \cdot 0{,}1 = 1{,}6$$
$$I_1 \cdot 0{,}2 + I_2 \cdot 0{,}7 = 4$$

Wanneer we nu de onderste vergelijking van de bovenste aftrekken dan vallen de I_1 stukken tegen elkaar weg en blijft alleen de I_2 over:

$$I_2 \cdot (0{,}1 - 0{,}7) = 1{,}6 - 4$$
$$\Downarrow$$
$$I_2 \cdot (-0{,}6) = -2{,}4$$
$$\Downarrow$$
$$I_2 \cdot 0{,}6 = 2{,}4$$
$$\Downarrow$$
$$I_2 = \frac{2{,}4}{0{,}6} = 4 \text{ A}$$

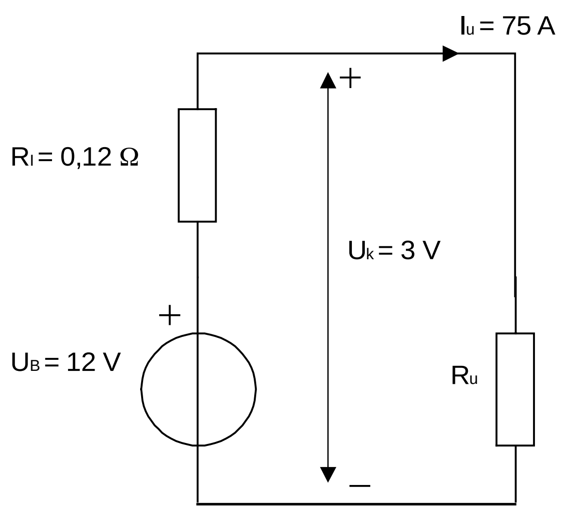
De I_2 is nu bekend. Deze kunnen we invullen in een van de twee vergelijkingen. Pakken we hiervoor de bovensten, dan krijgen we:

$$I_1 \cdot 0{,}2 + 4 \cdot 0{,}1 = 1{,}6$$
$$\Downarrow$$
$$I_1 \cdot 0{,}2 + 0{,}4 = 1{,}6$$
$$\Downarrow$$
$$I_1 \cdot 0{,}2 = 1{,}2$$
$$\Downarrow$$
$$I_1 = \frac{1{,}2}{0{,}2} = 6 \text{ A}$$

We kunnen nu de I_t uitrekenen en daarmee ook de U_k

$$I_t = I_1 + I_2 = 6 + 4 = 10 \text{ A.}$$
$$U_k = I_t \,.\, R_u = 10 \,.\, 0{,}1 = 1 \text{ V}$$

Controleer deze uitkomst door de U_k van de elementen afzonderlijk te berekenen.



Figuur 2.31 Energiebron met interne weerstand en belastingsweerstand.

2.9 Overeenkomst tussen stroom en spanningsbronnen.

Zoals al bij de start van de paragraaf over energiebronnen is gezegd, moeten we voor onze schakelingen altijd de beschikking hebben over een energiebron, zijnde:

a) een spanningsbron, of
b) als dit voor een berekening beter uitkomt, een stroombron.

De ideale of constante spanningsbron is een energiebron waarvan de spanning onafhankelijk is van de aangesloten belasting. De ideale spanningsbron kan men dan ook opvatten als een energiebron zonder inwendige weerstand, R_i = 0 Ω. In de uitwerking van het hoofdstuk is gebleken dat bij belasting van een spanningsbron de klemspanning U_k altijd kleiner is dan de bronspanning U_b, als gevolg van het inwendige spanningsverlies in de bron. D.w.z. dat we dan werken met een niet ideale spanningsbron. Een niet ideale spanningsbron kan men opvatten als een ideale spanningsbron met in serie daarmede de inwendige weerstand R_i (zie figuur 2.31) .

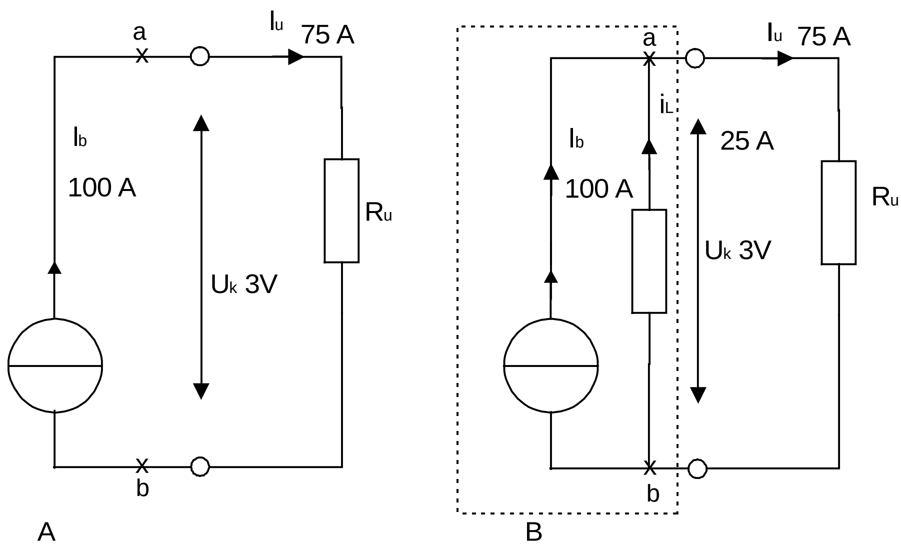
Voorbeeld

Een accu, U_b = 12 V, R_i = 0,12 Ω levert bij een belasting R_u een stroom I_u = 75 A.

$$U_k = U_b - (I_u \cdot R_i) = 12 - (75 \cdot 0{,}12) = 3 \text{ V}$$

$$I_k = \frac{U_b}{R_i} = 100 \text{ A}$$

I_k is de *kortsluitstroom*. Dit is de grootste stroom die deze bron kan leveren! Een ideale of constante stroombron kan men opvatten als een energiebron welke een constante stroom kan leveren onafhankelijk van de belasting. Men kan een stroombron benaderen door een spanningsbron met in serie een grote weerstand aan te sluiten op een R_u. Zolang R_u klein is ten opzichte van de inwendige weerstand, zal de geleverde stroom bijna constant zijn. In het hoofdstuk *transistors* komen wij hierop terug. Een en ander is gebruikelijk om berekeningen te vereenvoudigen. Een rekentruc dus.



Figuur 2.32

Dezelfde accu van voorgaand voorbeeld, nu echter als stroombron beschouwd, wordt wederom belast met dezelfde R_u. De opgenomen stroom door R_u is dan wederom I_u = 75 A bij een U_k = 3 V. De situatie is immers niet veranderd op de soort energiebron na! I_b = 100 A.

We tekenen wederom het schema (figuur 2.32):
Nu blijkt echter, als u het schema goed bekijkt, dat het een en ander niet klopt! Beschouw knooppunt *A*:

- naar *A* stroomt I_b = 100 A toe;
- van *A* stroomt I_u= 75A af.

Dit klopt beslist niet met de 1e Wet van Kirchhoff! Wil men genoemde situatie wel kloppend maken, dan moet er in *A* een 2e stroomweg aanwezig zijn naar *B* om de resterende stroom van 25 A te laten afvloeien met een weerstand van:

$$R = \frac{U_k}{I_i} = \frac{3}{25} = 0{,}12\ \Omega$$

een *R* met dezelfde waarde als R_i.

Conclusie

Een spanningsbron (een ideale spanningsbron met in serie de R_i) is identiek aan een stroombron (een stroombron met parallel daaraan een weerstand $R = R_i$) en eenzelfde I_k. Dit laatste kan voor bepaalde vraagstukken belangrijk zijn, omdat het opstellen en oplossen van een stelsel vergelijkingen wordt voorkomen.

Voorbeeld

Zie figuur 2.33:
Bereken: U_k, I_1 en I_2.
Uitwerking:
De spanningsbronnen in figuur 2.33a worden omgezet in stroombronnen zoals in figuur 2.33b. De bijbehorende waarden van de stroombronnen volgen uit de kortsluitstromen van de spanningsbronnen :

$$I_{k1} = \frac{U_1}{R_{i1}} = \frac{18}{6} = 3\text{ A}$$

$$I_{k2} = \frac{U_2}{R_{i2}} = \frac{8}{4} = 2\text{ A}$$

$$I_t = I_{k1} + I_{k2} = 3 + 2 = 5\text{ A}$$

$$\frac{1}{R_v} = \frac{1}{6} + \frac{1}{12} + \frac{1}{4} = \frac{6}{12}$$

$$R_v = 2\,\Omega$$

$$U_k = I_t \cdot R_v = 5 \cdot 2 = 10\text{ V}$$

Nu terug naar figuur 2-23a :

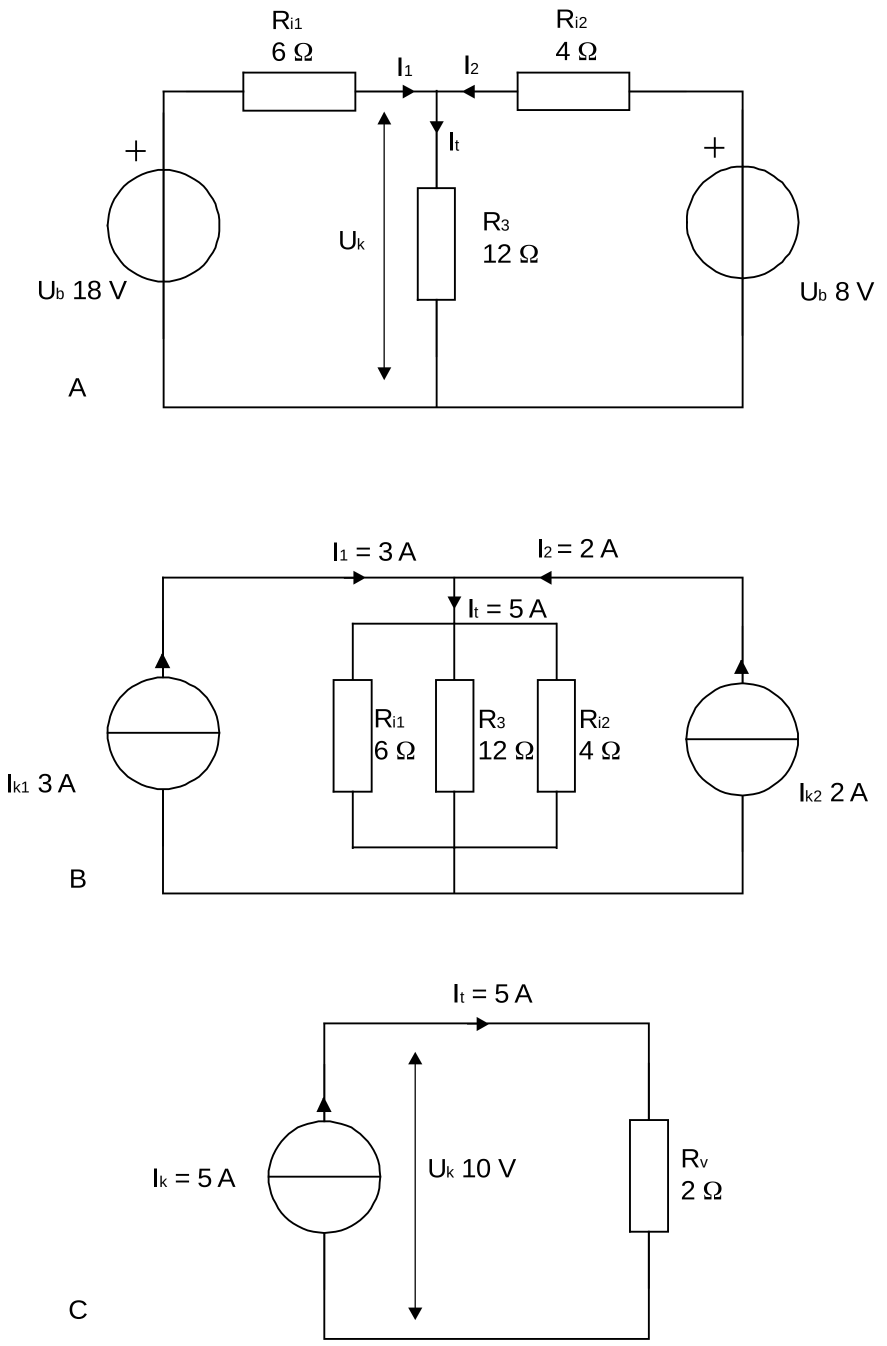
Over R_1 staat 18 − U_k = 18−10 = 8 V, dus

$$I_1 = \frac{8}{6} = 1\frac{1}{3}\ \text{A}$$

Over R_2 staat 8 − U_k = 8−10 = −2 V, dus

$$I_2 = \frac{-2}{4} = -0{,}5\ \text{A}$$

De stroomrichting van I_2 is dus tegen de richting van de pijl in.



Figuur 2.33 Vervanging van spanningsbronnen door stroombronnen.

2.10 Energie (arbeid), vermogen, rendement en dissipatie

Een windmolen, waterturbine, dieselmotor of elektromotor kunnen voor ons arbeid verrichten. De elektromotor bewijst hiermede, dat de elektrische stroom arbeid of energie kan leveren. Deze energie wordt aangegeven met het lettersymbool *W*. We onderscheiden verschillende soorten arbeids- of energiebronnen, onder andere die:

a) mechanische arbeid leveren,
b) elektrische energie leveren,
c) chemische energie leveren,
d) warmte leveren,
e) licht leveren.

Deze verschillende soorten arbeid kunnen gemakkelijk, met daarvoor geschikte machines of apparaten, in elkaar worden omgezet. Denk eens aan mechanische arbeid, omgezet in elektrische energie (dieselmotor - dynamo) of omgekeerd (elektrische motor - stofzuiger). Verder kennen we nog het begrip *vermogen*, aangegeven met het lettersymbool *P*. Dit is de verrichte arbeid per seconde. In formule:

$$P = \frac{W}{t}$$

De hoeveelheid verrichte arbeid *W* wordt aangegeven in Joules. De tijd *t* in seconden en het vermogen *P* in Joule per seconde, ofwel in Watt.

2.10.1 Mechanische arbeid en vermogen

Stel dat we een loodaccu verplaatsen over een afstand van 15 m en dat daarvoor een kracht van 20 N (Newton) nodig is. We hebben ons dan ingespannen, d.w.z. arbeid verricht. Hoeveel arbeid hiervoor nodig was, is te berekenen met de formule

$$W_{mech} = F \cdot S$$

waarbij *F* is de kracht in N (Newton) en *S* is verplaatsing in m (meter)

$$W_{mech} = 20 \,.15 = 300 \text{ Nm (Newtonmeter)}$$

Nu hebben we de tijd (in seconden) waarin dit werd gedaan nog niet in aanmerking genomen. Men kan zich voorstellen dat een volwassen man dit in 100 sec. voor elkaar krijgt, terwijl zijn zoontje hiervoor 200 sec. nodig heeft. De arbeid die beiden verricht hebben is dan wel gelijk, toch is er wel degelijk een verschil in prestatie-vermogen.
Voor de man geldt:

$$W = 300 \text{ Nm in 100 sec.,}$$

geeft een prestatievermogen per seconde

$$P = \frac{300}{100} = 3 \text{ Nm / s of } 3 \text{ W}$$

Voor het kind geldt:

$$W = 300 \text{ Nm in } 200 \text{ sec.},$$

geeft een prestatievermogen per seconde

$$P = \frac{300}{200} = 1{,}5 \text{ Nm / s of } 1{,}5 \text{ W}$$

Samengevat:

$$W = F \,.\, S$$

$$(vermogen)\; P = \frac{W}{t}\left(= \frac{arbeid}{tijd} \right)$$

De eenheid mechanische arbeid

$$W_{mech} = 1 \text{ Nm}$$

De eenheid mechanisch vermogen

$$P_{mech} = 1 \text{ Nm/s}$$

2.10.2 Elektrische arbeid, vermogen en dissipatie

Zoals al gezegd, een elektrische stroom kan ook elektrische arbeid (energie) leveren. Het elektrisch vermogen is afhankelijk van de toegepaste spanning U en de daarbij lopende stroom en is gelijk aan het produkt van de spanning en stroom, in formule

$$P_{el} = U \,.\, I$$

waarbij wij meestal het subscript $_{el}$ weglaten.

Voorbeeld

We laten een 12 V lamp, die een stroom opneemt van 0,5 A gedurende 1 minuut (60 s) branden Het opgenomen vermogen is:

$$P = U \cdot I = 12 \cdot 0{,}5 = 6 \text{ J / s} = 6 \text{ W}$$

en het energie verbruik is

$$W = P \cdot t = U \cdot I \cdot t =$$
$$12 \cdot 0{,}5 \cdot 60 = 6 \cdot 60 = 360 \text{ J} = 360 \text{ W.s}$$

Dit energieverbruik kunnen we schrijven zoals de energie maatschappijen dat doen, namelijk niet in watt-seconden, maar in kilowatt-uur. Onze lamp heeft natuurlijk dezelfde hoeveelheid energie verbruikt, maar we drukken het uit in kilowatten en uren.

$$W = P \cdot t = 0{,}006(kW) \cdot \frac{1}{60}(uur) = 0{,}0001\ kWh$$

Het lijkt vreemd dat bij het vermogen en arbeid de eenheden *Joule* en *Watt* werden gebruikt. Door het gebruik van de moderne eenheden is het heel erg gemakkelijk geworden om voor berekeningen van de ene vorm van energie naar een andere vorm van energie over te gaan. Hiervoor dient u onderstaande tabel in gedachten te houden:

	ARBEID	
Elektrisch	Mechanisch	Thermisch
1 Wattseconde (Ws)	1 Newtonmeter (Nm)	1 Joule (J)

De gebruikte eenheden kunnen bij praktische berekeningen zeer grote getallen kunnen opleveren. Om dit te omzeilen hanteert men in de praktijk grotere eenheden, bijvoorbeeld:
P in kiloWatt (1 kW = 1000 W) of MegaWatt (1 MW = 10^6 W)
t in uren (1 uur = 60 minuten = 3600 seconden) .

Rendement

Voor het omzetten van elektrische energie in een andere vorm van energie moet men een daarvoor geschikt apparaat gebruiken.

a) elektrische energie in warmte (energie): een elektrische kachel (hoe groter de hoeveelheid warmte, hoe groter het vermogen van de kachel moet zijn)
b) elektrische energie in licht (energie) : een elektrische lamp

Als we licht nodig hebben dan schakelen we de lamp in door aan het lichtknopje te draaien. Na een poosje komen we dan tot de ontdekking dat het lampje niet alleen licht geeft maar dat deze, afhankelijk van het vermogen van de lamp, ook nog zeer warm wordt. De elektrische energie wordt niet alleen in lichtenergie omgezet maar ook in thermische energie. Het ging ons om licht, dus de warmte is in dit geval verlies! Stel dat we hierbij te maken hebben met een lamp van 220 V, 100 W en dat we op de een of andere manier hebben kunnen bepalen dat de ontwikkelde warmte 80 J/s bedraagt. Volgens de tabel is 80 J/s = 80 W. 100 − 80 = 20 W wordt dan omgezet in licht. Alleen het licht is nuttig. 100 W toegevoerd vermogen resulteert in 20 W licht en dus nuttig vermogen en 80 W thermisch vermogen. Het thermische vermogen is niet nuttig als we licht willen maken, en dus is het verlies. We krijgen dus minder nuttig vermogen terug dan we hebben toegevoerd. De verhouding tussen het nuttige en het toegevoerde vermogen noemt men het *rendement*, aangegeven met het de griekse letter η (spreek uit: èta). In formule:

$$\eta = \frac{nuttig\ vermogen}{toegevoerd\ vermogen} \text{ of}$$

$$\eta = \frac{P_{uit}}{P_{in}}$$

Het rendement van voorgenoemde lamp is:

$$\eta = \frac{P_{uit}}{P_{in}} = \frac{20}{100} = 0{,}2 = 20\%$$

80 W ofwel 80% van het vermogen wordt daarbij in warmte omgezet, of zoals men zegt: deze warmte wordt door de lamp *gedissipeerd*. Als we in plaats van de verlichtingslamp in het voorbeeld een verwarmingslamp met dezelfde gegevens hadden gebruikt, hoe groot zou dan het rendement van de lamp zijn?

Bij zenders worden in de eindtrap nog vaak buizen (radiolampen zoals ze vroeger werden genoemd) toegepast, waarbij men de *maximale dissipatie* opgeeft, bijvoorbeeld:

P_a = 50 W (waarbij *'a'* dan anode betekent) .

Dit geeft dan aan de maximale warmteontwikkeling die deze buis kan en mag verwerken.

Voorbeeld 1

Een zendbuis, type 6DK6, dissipatie 25 W heeft een anode (plaat) stroom van 100 mA, bij een anodespanning van 750 V. Het rendement in de gebruikte schakeling is 60%.
Mag deze buis zo gebruikt worden?
Oplossing:

$$P_{in} = U_a \,.I_a = 750 \,.\, 0{,}1 = 75 \text{ W}$$

$$P_{uit} = \eta \,.\, P_{in} = 0{,}6 \,.\, 75 = 45 \text{ W}$$

$$P_{verlies} = 75 - 45 = 30 \text{ W}$$

Dit is de warmte die de buis moet dissiperen. De buis mag echter maar 25 W dissiperen, dus deze buis is niet geschikt voor bedoelde schakeling.

Voorbeeld 2

Een zendbuis type 813; U_a = 2000 V en I_a = 250 mA; dissipatie 100 W.
Hoe groot moet het rendement van de schakeling zijn om de dissipatie van de buis niet te overschrijden?
Oplossing:

$$P_{in} = U_a \,.\, I_a = 2000 \,.\, 0{,}25 = 500 \text{ W}$$

De buisdissipatie is 100 W = $P_{verlies}$

$$\eta = \frac{400}{500} = 0{,}8 = 80\%$$

Gebruikt men in de eindtrap van de zenders transistoren dan moet een andere berekeningswijze worden gebruikt, waar we in het daarvoor bestemde hoofdstuk op terugkomen.

Dissipatie in weerstanden

Ook in stroomvoerende weerstanden wordt warmte ontwikkeld, die door de weerstand wordt gedissipeerd. Deze opgenomen warmte mag vanzelfsprekend hierbij weer niet zo groot zijn dat de weerstand onherstelbaar wordt beschadigd! Weerstanden worden daarom ook voor een bepaalde genormaliseerde dissipatie gemaakt, o.a. 0,125 W; 0,25 W; 0,5 W; 1 W; 10 W; etc…

De formule $P = U \,.\, I$ kunnen we met behulp van de Wet van Ohm omzetten in andere formules:

$$U = I \cdot R; \quad I = \frac{U}{R}; \quad R = \frac{U}{I} \text{ (wet van Ohm)}$$

$$P = U \cdot I = (I \cdot R) \cdot I = I^2 \cdot R$$

$$P = U \cdot I = U \cdot \left(\frac{U}{R}\right) = \frac{U^2}{R} \quad \text{of}$$

Samengevat

$$P = U \cdot I = I^2 \cdot R = \frac{U^2}{R}$$

Met behulp van deze formule-omzetting kunnen we de maximale stroom bepalen die een door ons gekozen weerstand in een schakeling mag voeren zonder defect te raken!

Voorbeeld

We hebben een weerstand van 100 Ω, met een maximale dissipatie van 1 W
Welke maximale spanning mag over bedoelde weerstand komen te staan?

Oplossing:
We weten:

a) R is 100 Ω

b) Dissipatie in de weerstand is 1 W

$$P = \frac{U^2}{R} \text{ of}$$

c) $U^2 = P \cdot R$ zodat

$U = \sqrt{P \cdot R}$ dus

$U = \sqrt{1 \cdot 100} = 10 \text{ V}$

We weten uit ervaring dat de materialen waaruit de door ons gemaakte apparaten, toestellen, dingen door temperatuurveranderingen van vorm kunnen veranderen. Het meest spreekt ons aan bijv. het uitzetten (het langer worden) van staal (o.a. treinrails) bij verhitting. Ook krimpen (korter worden) is bij bepaalde materialen mogelijk. Dit wordt aangegeven door de zogenoemde uitzettingscoëfficiënt van het materiaal, de procentuele verlenging of verkorting per graad temperatuurverandering.

Bij weerstanden gebeurt iets dergelijks, namelijk een weerstandstoename of -afname door verhitting. Weerstanden waarvan de ohmse waarde groter wordt zijn weerstanden met een positieve temperatuurcoëfficiënt en weerstanden waarvan de Ohmse waarde kleiner wordt noemt men weerstanden met een negatieve temperatuurcoëfficiënt, resp. PTC en NTC weerstanden. Bij eventuele vraagstukken betreffende de weerstandsverandering door temperatuurverandering geeft men de temperatuurcoëfficiënt α op.

Voor de berekening heeft men de volgende formule nodig:

$$R_w = R_k (1 + \alpha\Delta T_v)$$

waarbij:
R_w = weerstand in warme toestand
R_k = weerstand in koude toestand
α = temperatuurcoëfficiënt (spreek uit: alfa)
ΔT_v = temperatuurverschil in $^\circ$C

Voorbeeld

Hoe groot is de inschakelstroom van een gloeilamp van 220 V, 110 W?
De wolfraam gloeidraad heeft in gloeiende toestand een temperatuur van ongeveer 2515 $^\circ$C. De lamp wordt ingeschakeld bij een temperatuur van 15 $^\circ$C, Verder weten we dat de temperatuurcoëfficiënt α van wolfraam is 0,005.

Oplossing:
Als de lamp brandt, is:

$$R = \frac{U^2}{P} = \frac{48400}{110} = 440 \ \Omega$$

$$t_v = t_{warm} - t_{koud} = 2515 - 15 = 2500\ ^\circ\mathrm{C}$$

$$R_w = R_k\,(1 + \alpha t_v)$$

$$440 = R_k\,(1 + 0{,}005 \,.\, 2500)$$

$$440 = R_k\,(1 + 12{,}5)$$

$$440 = R_k\ 13{,}5$$

$$R_k = \frac{440}{13{,}5} = 32{,}59\ \Omega$$

$$I_{inschakel} = \frac{U}{R_k} = \frac{220}{32{,}59} = 6{,}74\ \mathrm{A}$$

N.B. Na het inschakelen van de lamp zakt de stroom af tot 0,5 A.

Ook energiebronnen hebben een rendement. Daaronder wordt verstaan: de verhouding tussen het uitwendige en het inwendige vermogen. De R_i van de bron veroorzaakt niet alleen een inwendig spanningsverlies maar ook een *inwendig vermogensverlies*, bij stroomafname. Dit verlies is gering als de I door R_u klein is, met andere woorden, hoe groter R_u, hoe kleiner I zal zijn.

$$P_{uitw} = U_k \cdot I \qquad \text{met} \quad U_k = I \cdot R_u$$
$$P_{inw} = U_b \cdot I$$

$$I = \frac{U_b}{R_i + R_u} \qquad \text{zodat} \quad U_b = I\left(R_i + R_u\right)$$
$$P_{uitw} = P_{nuttig} = U_k \cdot I$$

we weten dat:

$$\eta = \frac{P_{nut}}{P_{inw}} = \frac{U_k \cdot I}{U_b \cdot I} = \frac{U_k}{U_b} = \frac{I \cdot R_u}{I \cdot \left(R_i + R_u\right)} = \frac{R_u}{R_i + R_u}$$

Aan deze breuk zien we dat hoe groter R_u is t.o.v. R_i, hoe groter de waarde van de breuk zal worden!

Hieruit volgt:
Een energiebron heeft zijn grootste rendement als de belastingsweerstand veel groter is dan de inwendige weerstand van de bron. Zo kan men ook berekenen wanneer en bij welk rendement en welke belasting een

energiebron zijn maximale vermogen levert. We kunnen een en ander toelichten aan de hand van een voorbeeld:

Stel dat we een spanningsbron hebben met U_b = 2,5 V en R_i = 0,5 en deze bron gaan belasten met resp. R_u = 0,25 Ω, R_u = 0,5 Ω en R_u = 0,75 Ω.
We krijgen dan:
Voor R_u = 0,25 Ω.

$$I = \frac{U_b}{R_i + R_u} = \frac{2{,}5}{0{,}5 + 0{,}25} = 3\frac{1}{3}\ \text{A}$$

$$P_{nut} = I^2 \cdot R_u = \left(3\frac{1}{3}\right)^2 \cdot 0{,}25 = 2\frac{7}{9}\ \text{W}$$

$$\eta = \frac{P_{nut}}{P_{inw}} = \frac{2\frac{7}{9}}{3\frac{1}{3} \cdot 2\frac{1}{2}} = \frac{1}{3} = 33{,}3\ \%$$

Reken zelf bovenstaande uitkomsten uit voor: R_u = 0,5 Ω en R_u = 0,75 Ω.
Voor R_u = 0,5 Ω

$$P_{nut} = 3\frac{1}{8}\ \text{W};\ P_{inw} = 6\frac{1}{4}\ \text{W};\ \eta = 50\ \%$$

Voor R_u = 0,75 Ω

$$P_{nut} = 3\ \text{W};\quad P_{inw} = 5\ \text{W};\quad \eta = 60\ \%$$

Als bovenstaande uitkomsten nader worden bekeken blijkt dus inderdaad dat:

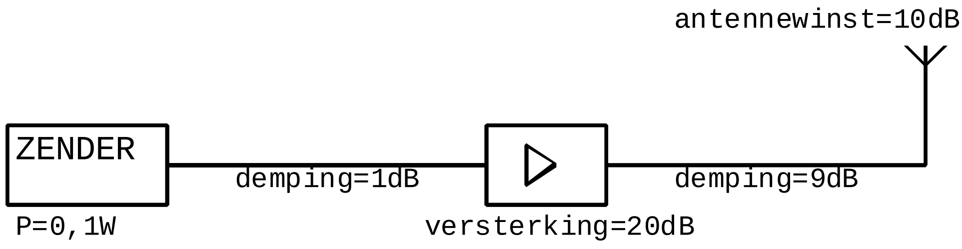
a) Een energiebron zijn grootste rendement heeft als de belastingsweerstand veel groter is dan de inwendige weerstand van de bron.
b) Een energiebron zijn maximale vermogen levert als de belastings-weerstand gelijk is aan de inwendige weerstand (de z.g. uitgangsweerstand) van de energiebron, bij een rendement van 50%.

Onthouden:
Een energiebron levert zijn maximale vermogen indien de belastingsweerstand gelijk is aan de inwendige weerstand (ook wel uitgangsweerstand genoemd) van de energiebron, bij een rendement van 50%

2.11 Vragen

Vraag 1

Het door de antenne effectief uitgestraald vermogen (ERP) is:



A. 1000 W ERP
B. 10 W ERP
C. 1 W ERP
D. 0,1 W ERP

Vraag 2

Twee gelijke accu's worden parallel geschakeld.
Hierdoor ontstaat een batterij met:

A. een hogere toelaatbare stroom
B. gelijke eigenschappen
C. een lagere spanning
D. een hogere spanning

Vraag 3

Hoeveel elektrische energie is verbruikt gedurende 1 minuut bij een stroom van 1 ampère en een gelijkspanning van 12 volt?

A. 12 Ws
B. 5 Ws
C. 720 Ws
D. 8640 Ws

Vraag 4

Aan een apparaat wordt gedurende 15 minuten een elektrische arbeid toegevoerd van 2700 Joules.

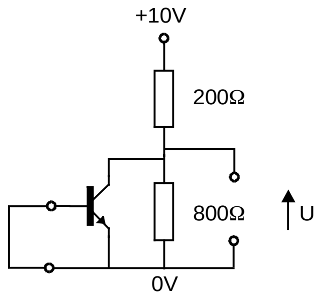
Het opgenomen vermogen van het apparaat is:

A. 3 Watt
B. 180 Watt
C. 675 Watt
D. 2700 Watt

Vraag 5

De spanning U is:

A. 0 V
B. 2 V
C. 8 V
D. 12 V



Vraag 6

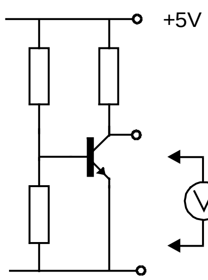
Een batterij heeft een klemspanning (EMK) van 8,4 volt en een inwendige weerstand van 0,3 Ω.
De batterij wordt belast met een weerstand. De klemspanning is nu 7,2 volt.

De belastingweerstand is:

A. 1,5 Ohm
B. 1,8 Ohm
C. 2,1 Ohm
D. 2,4 Ohm

Vraag 7

In de schakeling wordt de collector-emitterspanning van de transistor gemeten. De meter zelf heeft geen afwijking.



Welke meter veroorzaakt de kleinste meetfout:

A. een meter met een gevoeligheid van 10 kΩ/volt
B. een meter met een inwendige weerstand van 0,1 Ω
C. een meter met een inwendige weerstand van 1 MΩ
D. een meter met 0,5 mA volle uitslag

Vraag 8

Over een weerstand staat een spanning van 12 volt.
Als de stroom door deze weerstand vier maal zo groot wordt gemaakt, bedraagt de spanning:

A. 3 V
B. 12 V
C. 24 V
D. 48 V

Vraag 9

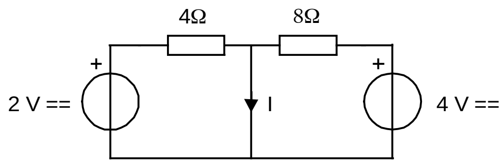
De maximaal toelaatbare stroom die continu door een 10 watt weerstand van 1 kOhm mag vloeien is:

A. 0,01 A
B. 0,1 A
C. 1 A
D. 10 A

Vraag 10

De stroom I is:

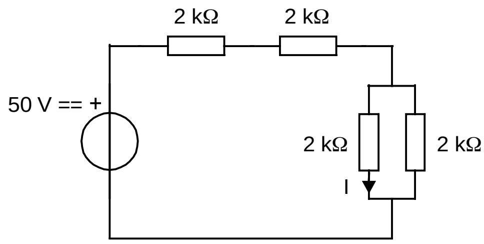
A. 0 A
B. 0,5 A
C. 1 A
D. 2 A



Vraag 11

De stroom I door de weerstand R van de schakeling is:

A. 5 mA
B. 8 mA
C. 10 mA
D. 20 mA



Vraag 12

De uitgang van een zender is aangesloten op een belastingsweerstand van 50 Ohm.
Verder zijn de volgende gegevens beken.

- de voedingsspanning is 12 volt
- de opgenomen stroom is 4 ampère
- de stroom toegevoerd aan de eindtrap is 3 ampère
- de stroom in de belastingsweerstand is 0,5 ampère

Het afgegeven hoogfrequent zendvermogen bedraagt:

A. 12,5 Watt
B. 36 Watt
C. 45 Watt
D. 60 Watt

Vraag 13

Achter een zender met een uitgangsvermogen van 5 watt wordt een versterker geschakeld welke 20 watt afgeeft.

Het zendvermogen zal toenemen met:

A. 3 dB
B. 6 dB
C. 9 dB
D. 12 dB