

Elektriciteit (deel 2)

- § 1 Elektrische lading
- § 2 Eenvoudige stroomkring
- § 3 Stroomsterkte en spanning
- § 4 Serie- en parallelschakeling
- § 5 Stroomsterkte en spanning meten
- § 6 Weerstand, wet van Ohm
- § 7 Energie en vermogen
- § 8 Vervangingsweerstand
- § 9 Opgaven in een context

§ 1 Elektrische lading

Het opladen van een voorwerp

Als je met een wollen doek over een PVC-buis wrijft, wordt deze buis negatief geladen.

Als je met een wollen doek over een perspex staaf wrijft, wordt deze staaf positief geladen. Zie de figuren hiernaast.

Als je twee geladen PVC-buizen bij elkaar in de buurt houdt, stoten ze elkaar af.

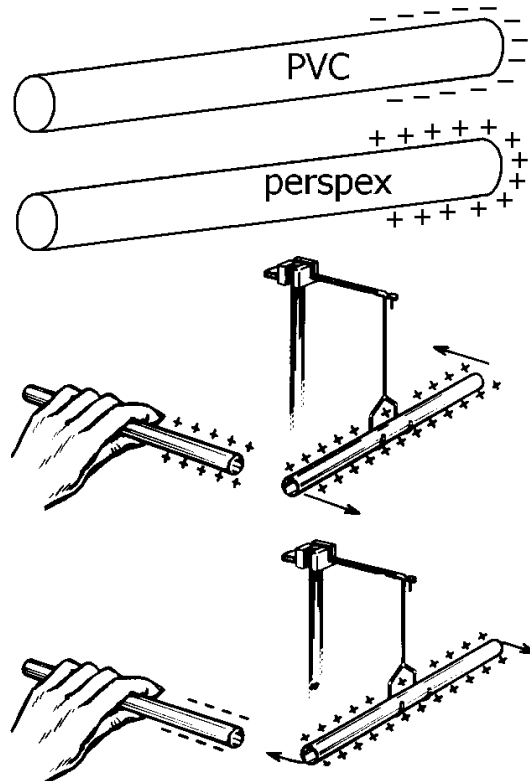
Als je twee geladen perspex-staven bij elkaar in de buurt houdt, stoten ze elkaar af.

Als je een geladen PVC-buis en een geladen perspex-staaf bij elkaar in de buurt houdt, trekken ze elkaar aan.

De figuren hiernaast tonen experimenten waarmee je dit kunt aantonen.

Samenvattend geldt:

- twee positieve ladingen stoten elkaar af;
- twee negatieve ladingen stoten elkaar af;
- een positieve lading en een negatieve lading trekken elkaar aan.



Elektronen

Wat gebeurt er nou eigenlijk bij het opladen van een voorwerp? Onderzoek wijst uit dat er dan zeer kleine deeltjes, 'elektronen' genaamd, op dat voorwerp gebracht worden of juist van dat voorwerp afgehaald worden. Deze elektronen hebben een (kleine) negatieve lading en een zeer kleine massa. Dat de massa van een elektron zo klein is, blijkt wel uit het feit dat een voorwerp (bijna) even zwaar blijft als er elektronen naar of van dat voorwerp overspringen.

Tijdens het opladen van een PVC-buis met een wollen doek springen er elektronen over van de doek naar de PVC-buis. Deze elektronen geven de PVC-buis de negatieve lading terwijl de wollen doek zelf een positieve lading krijgt. Tijdens het opladen van een perspex-staaf springen er elektronen van de perspex-staaf naar de wollen doek. De perspex-staaf wordt positief geladen en de doek negatief geladen.

Elektronen en protonen

Elke stof is opgebouwd uit atomen. Binnen het atoom zitten zowel positief geladen deeltjes als negatief geladen deeltjes. De positief geladen deeltjes heten protonen en de negatief geladen deeltjes heten elektronen. Als het aantal protonen gelijk is aan het aantal elektronen, dan is het voorwerp ongeladen.

Als er nu elektronen het voorwerp verlaten, dan wordt de negatieve lading (van de nog resterende elektronen) kleiner en wint de positieve lading (van de protonen) het hiervan. De netto lading is dan positief. Als er omgekeerd elektronen naar het voorwerp toe gaan wordt de negatieve lading (van de elektronen) groter dan de positieve lading (van de protonen) en is de netto lading negatief.

Protonen zijn veel zwaarder dan elektronen en kunnen niet overspringen van het ene naar het andere voorwerp. Zij zitten namelijk vast in de stof. Het zijn dus alleen de elektronen die overspringen.

Samengevat geldt:

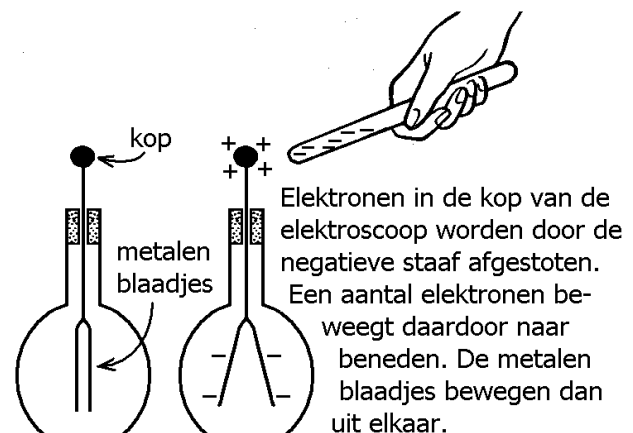
Een overschot aan elektronen op een voorwerp geeft een negatieve lading.

Een tekort aan elektronen op een voorwerp geeft een positieve lading.

In de praktijk is het overschot of tekort aan elektronen in verhouding trouwens zeer klein. Neem het volgende voorbeeld. Als twee personen op armlengte afstand van elkaar staan en beiden een elektronenoverschot hebben, dan stoten deze personen elkaar af. Stel nu dat er in beide personen één procent meer elektronen dan protonen zouden zitten. Deze afstotende kracht is dan groot genoeg om een gewicht met dezelfde massa als de aarde op te kunnen tillen. Kortom: in de praktijk zijn overschotten of tekorten veel kleiner dan één procent.

Elektroscoop

Elektrische ladingen kunnen met een elektroscoop zichtbaar gemaakt worden. Een eenvoudige elektroscoop is hiernaast afgebeeld. Hij bestaat uit een metalen stangetje met bovenaan een bolvormige metalen kop en onderaan twee lichte metalen blaadjes. Als bijvoorbeeld een negatief geladen staaf in de buurt van de kop gehouden wordt, bewegen de metalen blaadjes uit elkaar.



Geleiders en isolatoren

Geleiders zijn stoffen die de elektrische stroom goed geleiden.

Voorbeelden zijn metalen (denk aan koper) en zout water.

De oorzaak van een goede stroomgeleiding zit 'm in het feit dat zich in de stof kleine geladen deeltjes bevinden die vrij en zeer gemakkelijk door de stof kunnen bewegen. In metalen zijn dit de elektronen, in zout water zijn het de 'ionen'. Op het begrip ionen wordt verder niet ingegaan.

Isolatoren zijn stoffen die de elektrische stroom niet of zeer slecht geleiden.

Voorbeelden zijn plastic, rubber, glas en droog hout.

In isolatoren bevinden zich geen geladen deeltjes die door de stof kunnen zwerven.

Opgaven bij § 1

Opgave 1

Hoeveel soorten lading bestaan er? Noem ze.

Opgave 2

a.

Wat is het kenmerk van een geleider?

b.

Geef drie voorbeelden van geleiders.

c.

Wat is het kenmerk van isolatoren?

d.

Geef drie voorbeelden van isolatoren.

Opgave 3

Een voorwerp wordt negatief geladen.

Leg uit welke van de volgende uitspraken waar is.

A. Het voorwerp wordt hierdoor een heel klein beetje zwaarder.

B. Het voorwerp wordt hierdoor een heel klein beetje lichter.

C. Het voorwerp blijft exact even zwaar.

Opgave 4

Een elektrisch neutraal voorwerp wordt vaak een ongeladen voorwerp genoemd.

Het woord ongeladen is hier ongelukkig gekozen. Leg dat uit.

Opgave 5

Als je bij droog weer je haar kamt, kunnen je haar en je kam 'statisch' worden.

Je haar gaat dan uit elkaar staan. Leg uit welke van de volgende uitspraken waar is.

A. Je haar en de kam trekken elkaar aan.

B. Je haar en de kam stoten elkaar af.

C. Je haar en de kam oefenen geen krachten op elkaar uit.

Opgave 6 (deze opgave sluit aan bij de vorige opgave)

Je wrijft een stuk PVC-buis op en hangt deze vervolgens draaibaar op. Je kamt je haar en houdt de kam daarna vlak bij de PVC-buis. De buis draait weg van de kam.

a.

Leg uit waarom dat gebeurt.

b.

Wat voor soort lading heeft de kam?

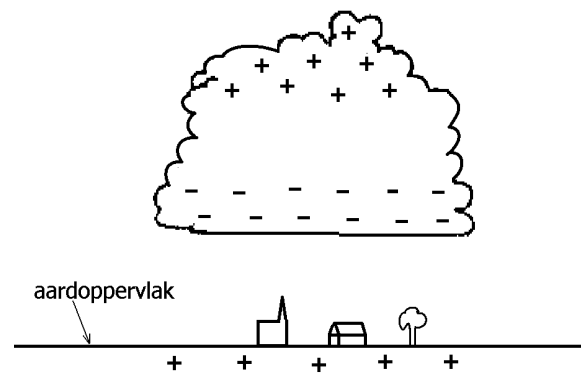
c.

Wat voor soort lading heeft je haar?

Opgave 7

Een wolk hangt boven het aardoppervlak. De onderkant van de wolk is negatief geladen; de bovenkant is positief geladen. Zie de figuur hiernaast.

Leg uit dat de grond onder de wolk hierdoor positief geladen wordt.



Opgave 8

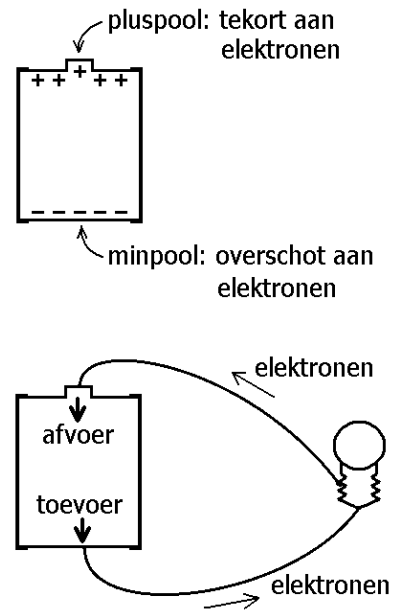
Een geladen geleider (zoals een koperen staaf) is veel makkelijker te ontladen dan een geladen isolator (zoals een PVC-buis). Leg dat uit.

§ 2 Eenvoudige stroomkring

Elektronenstroom

Een spanningsbron zoals een batterij of een accu heeft altijd twee "polen": een pluspool en een minpool. Zie de figuur hiernaast in het geval van een batterij. Op de pluspool is er een tekort aan elektronen. Op de minpool is er een overschot aan elektronen. Uitgaande van de neutrale (ongeladen) situatie is dit tekort en overschot ontstaan doordat de spanningsbron een groot aantal (miljoenen) elektronen uit de pluspool heeft weggehaald en hetzelfde aantal elektronen aan de minpool heeft toegevoerd.

Als een lampje op de spanningsbron wordt aangesloten, dan ontstaat er voor de elektronen een "weg" tussen de minpool en de pluspool. De elektronen bewegen dan van de minpool naar de pluspool omdat ze altijd van een gebied met een overschot naar een gebied met een tekort gaan. Zie de figuur hiernaast.



De elektronen die bij de pluspool aankomen worden door de spanningsbron afgevoerd. Aan de minpool worden juist elektronen aangevoerd. Op deze manier blijft het elektronenoverschot op de minpool en het elektronentekort op de pluspool bestaan. Daardoor blijft ook de elektronenstroom lopen.

Elektrische stroom

In de bovenstaande schakeling worden de elektronen door de batterij rondgepompt. We spreken in zo'n geval over een elektrische stroom. Toch zijn de elektronenstroom en de elektrische stroom niet precies hetzelfde. Meer dan honderd jaar geleden was er namelijk afgesproken dat de elektrische stroom van de pluspool naar de minpool loopt. Tegenwoordig weten we dat de elektronen juist van de minpool naar de pluspool gaan. Maar in die tijd waren elektronen nog onbekend. Men ging er toen vanuit dat er "iets" stroomde van de pluspool naar de minpool. Daarna heeft men deze afspraak niet meer willen veranderen.

Samengevat:

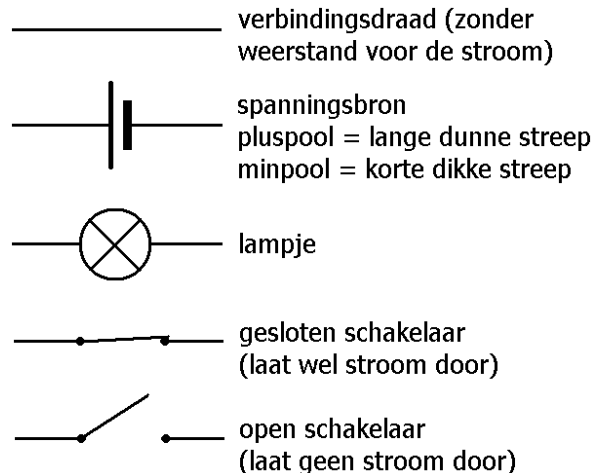
Een elektrische stroom is het verplaatsen van elektronen (meer algemeen: geladen deeltjes) in een bepaalde richting.

De elektronen bewegen buiten de spanningsbron van de minpool naar de pluspool.

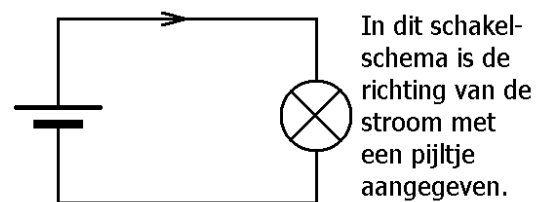
De elektrische stroom loopt buiten de spanningsbron van de pluspool naar de minpool (per definitie).

Schakelschema's

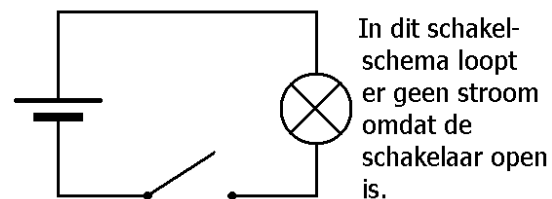
Om elektrische schakelingen eenvoudig en overzichtelijk te tekenen geven we elektrische bouwstenen een apart symbool. Zie het overzicht hiernaast.



In het begin van deze paragraaf was een lampje op een batterij aangesloten. Het bijbehorende schakelschema is hiernaast afgebeeld. Let op het pijltje. Deze geeft altijd de richting van de elektrische stroom (en dus niet de elektronenstroom!) weer. De elektronen bewegen juist in tegengestelde richting.



In het schakelschema hiernaast is een schakelaar opgenomen. Omdat de schakelaar open is, kan er geen stroom lopen. Het heeft dan ook geen zin om een pijltje te tekenen dat de richting van de stroom aangeeft.



Voorwaarde voor een elektrische stroom

Op het moment dat de schakelaar in de laatste schakeling open gezet wordt zal de lamp **direct** uitgaan. *Nergens* in de schakeling zal dan nog stroom lopen.

Ook als de schakelaar in de bovenste (in plaats van de onderste) verbindingdraad is opgenomen zal de lamp direct uitgaan bij het openen van de schakelaar. Het is dus niet zo dat elektronen nog een stukje kunnen "opschuiven" als de "weg verderop open ligt". Samengevat geldt:

Er kan alleen een elektrische stroom lopen als de stroomkring GESLOTEN is.

Opgaven bij § 2

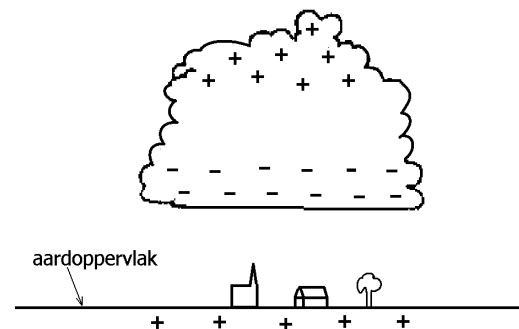
Opgave 1

In deze opgave is een lampje op een batterij aangesloten. De onderstaande beweringen gaan over de elektrische stroom door het lampje en de aansluitdraden. Geef aan of deze beweringen waar of niet waar zijn.

- De elektrische stroom is tegengesteld gericht aan de elektronenstroom.
- De elektrische stroom loopt van de pluspool naar de minpool.
- Elektronen bewegen van een elektronenoverschot naar een elektronentekort.
- De elektronen komen bij de pluspool uit de batterij.

Opgave 2

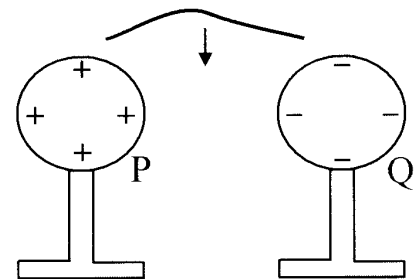
In de figuur hiernaast hangt een wolk boven het aardoppervlak. Hierdoor wordt de grond positief geladen. Bewegen de elektronen tijdens de bliksem van de grond naar de wolk of juist van de wolk naar de grond? Licht je antwoord kort toe.



Opgave 3

In de figuur hiernaast staan twee even grote metalen bollen P en Q opgesteld op geïsoleerde voetstukken. Bol P is positief geladen, bol Q negatief. Piet verbindt de bollen P en Q door middel van een koperdraad.

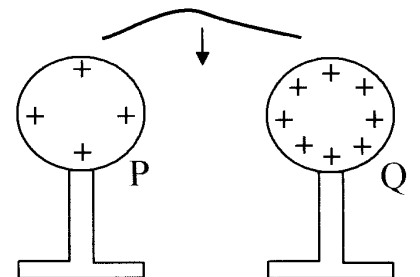
- Welke deeltjes stromen er dan door de geleider?
- In welke richting stromen die deeltjes (van P naar Q of van Q naar P)?
- In welke richting gaat de elektrische stroom?
- Welke van de onderstaande stoffen kan men het beste voor de voetstukken gebruiken?
A. glas B. koolstof C. lood



Opgave 4

In de figuur hiernaast zijn de bollen uit opgave 3 anders geladen. Bol P heeft een positieve lading; bol Q heeft een nog grotere positieve lading. Piet verbindt de bollen P en Q weer door middel van een koperdraad.

- Welke deeltjes stromen er dan door de geleider?
- In welke richting stromen die deeltjes?
- In welke richting gaat de elektrische stroom?
- Wanneer houdt de stroom op te lopen?

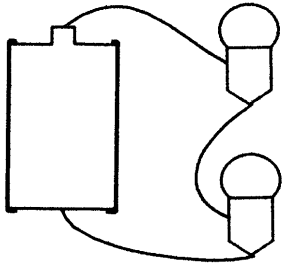


Opgave 5

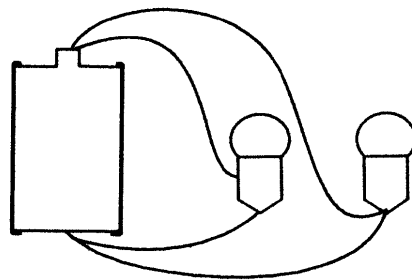
Teken het schakelschema van elk van de volgende situaties.

Geef hierbij in elke verbindingdraad ook de richting van de elektrische stroom aan.

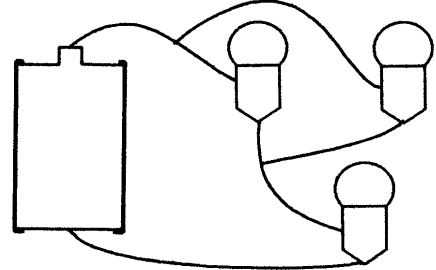
a. serieschakeling van twee lampjes



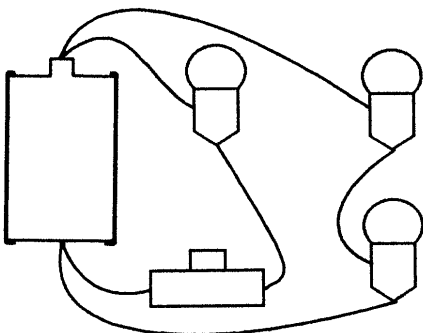
b. parallelschakeling van twee lampjes



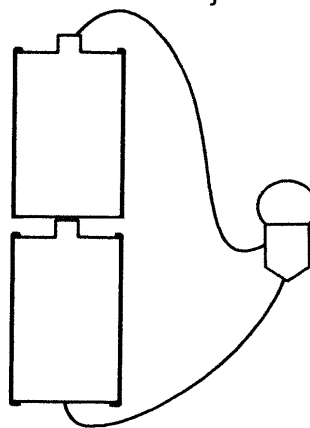
c. combinatie van serie en parallel



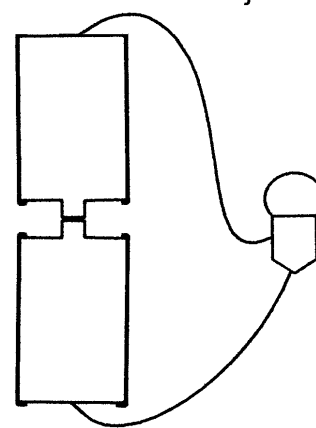
d. schakeling met een open schakelaar



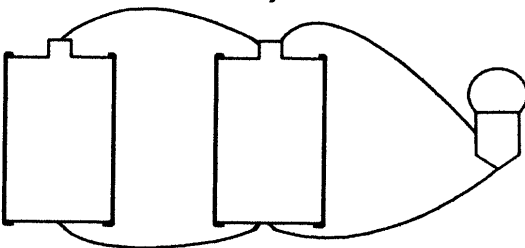
e. serieschakeling van twee batterijen



f. serieschakeling van twee batterijen



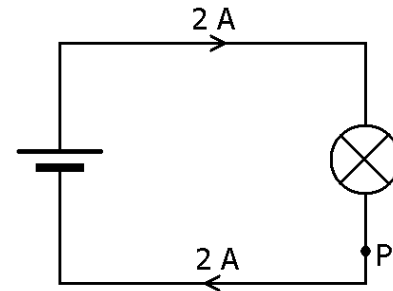
g. parallelschakeling van twee batterijen



§ 3 Stroomsterkte en spanning

Stroomsterkte

In de figuur hiernaast is een lampje op een spanningsbron aangesloten. In de stroomkring loopt een elektrische stroom. De grootte 'stroomsterkte' geeft aan hoe groot deze stroom is. Dit heeft te maken met het aantal elektronen dat in één seconde een willekeurig gekozen punt van de stroomkring passeert. Je telt bijvoorbeeld hoeveel elektronen er in één seconde punt P passeren.



Omdat dit aantal elektronen in de meeste gevallen verschrikkelijk groot is, worden niet de afzonderlijke elektronen geteld maar groepjes van $624 \cdot 10^{16}$ elektronen. Als er per seconde $624 \cdot 10^{16}$ elektronen punt P passeren, dan spreken we over een stroomsterkte van één 'ampère'. Dit schrijft men kort op als: $I = 1 \text{ A}$. De hoofdletter I stamt af van het woord 'Intensiteit' of van het Latijnse woord 'Influere' wat vloeien of stromen betekent. Als er bijvoorbeeld twee keer zoveel elektronen per seconde punt P zouden passeren (dus $1248 \cdot 10^{16}$ elektronen), zou de stroomsterkte twee ampère bedragen. De korte notatie hiervan is: $I = 2 \text{ A}$. De symbolen I en A zijn ook in de volgende tabel weergegeven.

Grootte	Eenheid
$I =$ de stroomsterkte	A (van ampère)

De stroomsterkte is in elk punt van de schakeling gelijk

In de bovenstaande schakeling is de stroomsterkte in elk punt gelijk. In de figuur is dat 2 ampère. Dit is eenvoudig te begrijpen. Stel bijvoorbeeld dat er per seconde meer elektronen het lampje ingaan dan eruit gaan. Er zou dan een ophoping van elektronen in het lampje ontstaan. In werkelijkheid gebeurt dit niet omdat elektronen elkaar afstoten en er dus nooit "zomaar" een elektronenoverschot ontstaat.

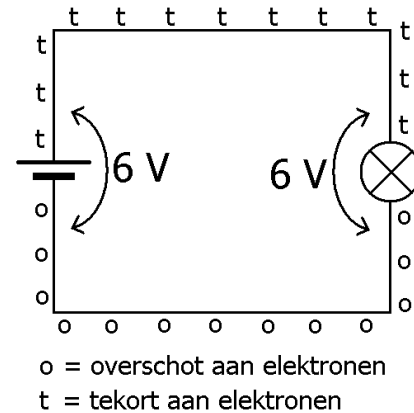
Vaak denkt men dat elektronen met een grote snelheid door de stroomdraden bewegen van de minpool naar de pluspool. Dit is echter niet juist. Neem bijvoorbeeld een stroom van één ampère door een koperdraad met een doorsnede van één vierkante millimeter. De gemiddelde snelheid in de draadrichting (de zogenaamde 'driftsnelheid') is dan slechts 0,07 millimeter per seconde.

Samengevat geldt het volgende.

De stroomsterkte is een maat voor het aantal elektronen dat per tijdseenheid (seconde) een punt passeert. Stroomsterkte wordt uitgedrukt in ampère. In een schakeling waarin de stroom maar één weg kan volgen, is de stroomsterkte in elk punt gelijk.

Spanning

In de figuur hiernaast is een lampje op een spanningsbron aangesloten. In de verbindingsdraad die op de minpool is aangesloten, heerst een overschot van elektronen (zie de letter o in de figuur). In de verbindingsdraad die op de pluspool is aangesloten, heerst een tekort aan elektronen (zie de letter t in de figuur). De elektronen zullen door het lampje bewegen in de richting van het overschot naar het tekort. De grootte 'spanning' hangt nauw met overschotten en tekorten van elektronen samen en kan als volgt omschreven worden.



De spanning tussen twee punten geeft aan hoe groot het verschil is tussen het elektronenoverschot of -tekort in het ene punt in vergelijking met dat in het andere punt.

De spanning wordt in een getal uitgedrukt met als eenheid 'volt'. In de bovenstaande figuur geldt bijvoorbeeld: spanning = 6 volt. Of in symbolen: $U = 6 \text{ V}$. Zie het volgende schema. Overigens stamt de hoofdletter U af van het Latijnse woord "Urgere" wat duwen, stuwen of dwingen betekent.

Grootheid	Eenheid
$U =$ de spanning	V (van volt)

Let op het taalgebruik. Er is sprake van:

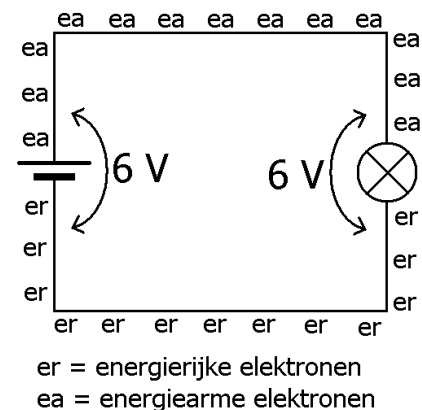
- * de spanning OVER het lampje (bijv. 6 volt);
- * de stroom DOOR het lampje (bijv. 2 ampère).

Uit het bovenstaande volgt dat er alleen een elektrische stroom door een lampje gaat, als er een spanning over het lampje staat. Dit kan als volgt worden samengevat.

Spanning is de oorzaak van stroom.

Spanning en elektrische energie

In de bovenstaande schakeling komen de elektronen uit de minpool en bewegen via de verbindingsdraden en het lampje naar de pluspool. Elk elektron bezit hierbij een hoeveelheid energie, 'elektrische energie' genaamd. Deze energie is niet voor elk elektron gelijk. De elektronen in de onderste aansluitdraad bevatten namelijk meer energie dan de elektronen in de bovenste aansluitdraad. In de figuur is dit aangegeven met er (energierijk) en ea (energiearm).



Ieder elektron heeft bij wijze van spreken een 'rugzakje' dat gevuld kan worden met elektrische energie. De elektronen in de onderste verbindingdraad hebben een voller rugzakje dan de elektronen in de bovenste verbindingdraad. Tijdens het passeren van het lampje verdwijnt er energie uit de rugzakjes. Deze energie wordt omgezet in stralingsenergie (licht) en warmte. Uiteindelijk gaan de elektronen met lege rugzakjes (bij de pluspool) de spanningsbron binnen. Bij de minpool komen elektronen met volle rugzakjes de spanningsbron weer uit.

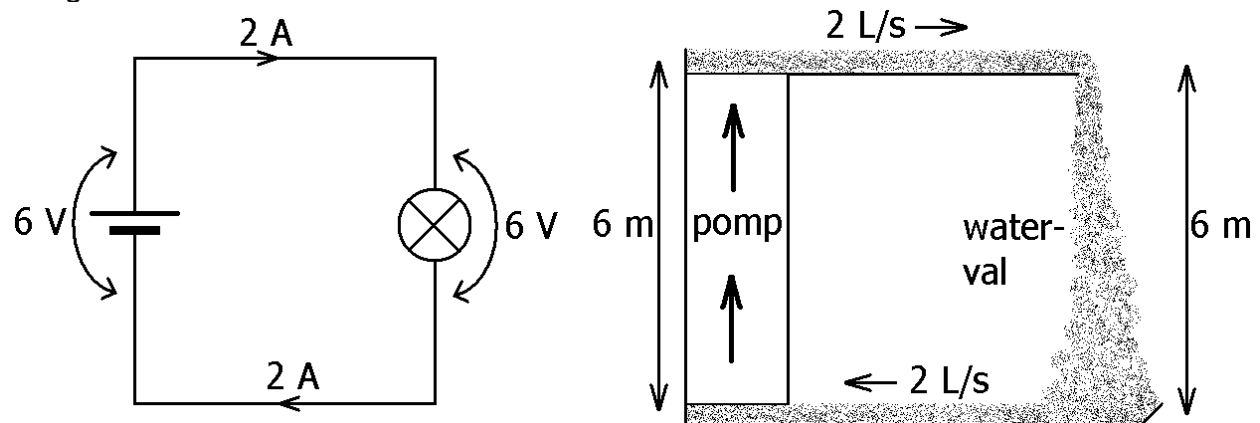
Bij het doorlopen van de verbindingdraden verliezen elektronen nauwelijks energie. Dit komt door het feit dat verbindingdraden (vergeleken met de gloeispiraal in een gloeilampje) zeer dik en goed geleidend zijn. Ze zijn meestal van koper gemaakt. Hierdoor kunnen elektronen erg makkelijk door de verbindingdraden bewegen.

Samengevat geldt het volgende.

De spanning tussen twee punten van een schakeling geeft aan hoe groot het verschil is tussen de energie van de elektronen in het ene punt in vergelijking met de energie van de elektronen in het andere punt. De spanning wordt uitgedrukt in volt.

Elektrische schakeling vergelijken met een waterstroom

Als je naar de energieën in de schakeling van hiervoor kijkt, kun je een vergelijking met een waterstroom met hoogteverschillen maken. Zie de onderstaande figuur. De spanningsbron komt dan overeen met een pomp die het water omhoog pompt en de lamp komt overeen met een waterval. De stroomsterkte van 2 ampère kun je vertalen als een waterstroom van 2 liter per seconde en een spanning van 6 volt als een hoogteverschil van 6 meter.



De spanningsbron geeft elektrische energie aan de elektronen. Deze elektrische energie gaat in de lamp weer verloren. Op dezelfde manier geeft de pomp hoogte-energie (ook wel zwaarte-energie genoemd) aan het water. In de waterval verliest het water deze hoogte-energie weer en wordt in warmte omgezet. Overigens is de temperatuurstijging van het water zo klein, dat deze voor de mens niet voelbaar is.

Opgaven bij § 3

Opgave 1

Waar hebben elektronen meer elektrische energie; bij de minpool of bij de pluspool?

Opgave 2

Je sluit een lampje op een batterij aan. Het lampje gaat branden. Leg uit waarom de stroomsterkte aan beide kanten van het lampje gelijk moet zijn.

Opgave 3

Je verbindt de plus- en minpool van een batterij met een koperdraad. Je maakt dus kortsluiting tussen beide polen. Welke van de onderstaande situaties krijg je dan? Kies A of B.

- A. Een grote spanning tussen de polen en een kleine stroomsterkte door de draad.
- B. Een kleine spanning tussen de polen en een grote stroomsterkte door de draad.

Opgave 4

Jan sluit een lampje op een batterij aan. De stroomsterkte door het lampje is 0,3 A en de spanning over het lampje is 1,5 V. Piet sluit ook een lampje op een batterij aan.

Bij Piet passeren er per seconde twee keer zoveel elektronen een willekeurig punt van de schakeling als bij Jan.

Hieruit volgt het volgende.

In Piets schakeling is de _____ (vul in: 'stroomsterkte door' of 'spanning over') het lampje _____

Bij Piet verliezen de elektronen in het lampje drie keer zoveel energie als bij Jan.

Hieruit volgt het volgende.

In Piets schakeling is de _____ (vul in: 'stroomsterkte door' of 'spanning over') het lampje _____

Opgave 5

Een haspel is een apparaat waarmee bijvoorbeeld een kabel, verlengsnoer, tuinslang of brandslang gemakkelijk opgerold kan worden. Op deze wijze raken snoeren of kabels niet in de war en komt er bij een slang geen knik in.

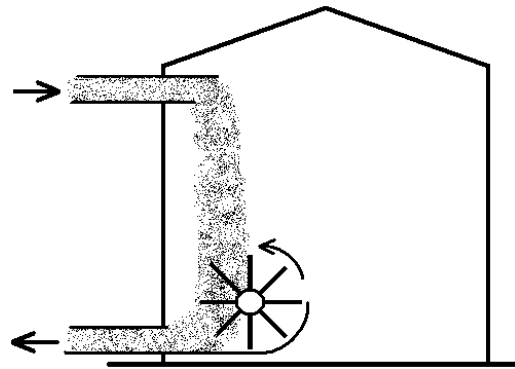
Als er een flinke stroom door het verlengsnoer loopt, is het belangrijk dat het verlengsnoer op de haspel helemaal uitgerold wordt. Leg uit waarom.

Opgave 6

Iris zegt: "Als ik een lamp op een stopcontact aansluit moet ik geld aan het energiebedrijf betalen. Eigenlijk is dit niet eerlijk! Want het aantal elektronen dat het stopcontact verlaat (bij de minpool) is even groot als het aantal elektronen dat het stopcontact binnengaat (bij de pluspool). Eigenlijk levert het stopcontact dus niets." Welke denkfout maakt Iris? (laat het begrip wisselstroom buiten beschouwing).

Opgave 7

Deze opgave sluit aan bij de vorige opgave. Op planeet X vindt de energievoorziening van huizen plaats door middel van water. Elk huis heeft een buitenmuur waar twee waterbuizen doorheen steken. De ene waterbuis zit vlak onder het dak en de andere waterbuis zit vlak boven de grond. Zie de figuur hiernaast. Door de hoogste buis stroomt water naar binnen en valt naar beneden. Het vallende water laat een schoepenrad draaien waarmee weer een dynamo wordt aangedreven. Onderaan wordt het water weer opgevangen en door de onderste buis afgevoerd.



De bewoners die in zo'n huis wonen, moeten regelmatig geld betalen voor deze energievoorziening. Natuurlijk betalen ze niet voor het water zelf, want al het binnenkomende water verlaat het huis ook weer. Ze betalen echter wel voor de hoogte-energie van het binnenkomende water.

Je kunt de energievoorziening op planeet X vergelijken met de energievoorziening op aarde met behulp van elektriciteit.

a.

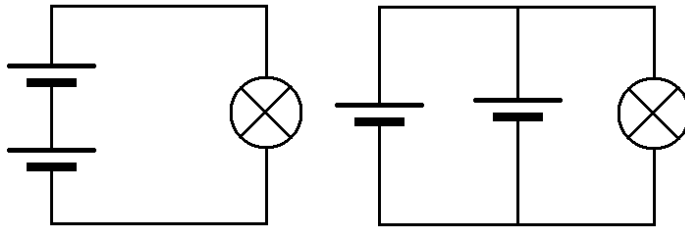
Het stromende water komt dan overeen met: _____.

b.

De hoogte-energie van het water komt dan overeen met: _____.

Opgave 8

Je kunt twee batterijen in serie of parallel aansluiten. Zie de figuren hieronder (links: serie, rechts: parallel). In de volgende vragen wordt uitgegaan van vier gelijke batterijen.



a.

Teken hiernaast van beide schakelingen het vergelijkbare waterstroomschema (dit kan je helpen bij de beantwoording van de volgende vragen).

b.

We vergelijken een elektron dat in de serieschakeling het lampje doorloopt met een elektron dat in de parallelschakeling het lampje doorloopt.

Vul hieronder één van de getallen 4, 2, 1, $\frac{1}{2}$ of $\frac{1}{4}$ in.

Het elektron in de serieschakeling verliest _____ keer zoveel elektrische energie als het elektron in de parallelschakeling. Licht je antwoord toe.

c.

Ga er bij de onderstaande vragen vanuit dat de stroomsterkte door beide lampjes gelijk is. Dit is overigens alleen mogelijk bij een bepaalde keuze van de lampjes.

Welk lampje brandt dan feller? Licht je antwoord toe.

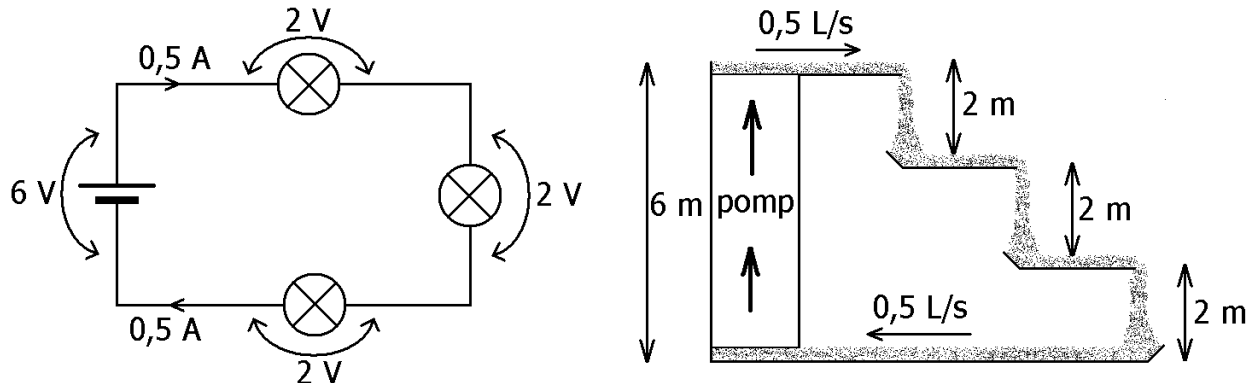
d.

Welke batterijen zijn eerder leeg? Licht je antwoord toe.

§ 4 Serie- en parallelschakeling

Serieschakeling van lampjes

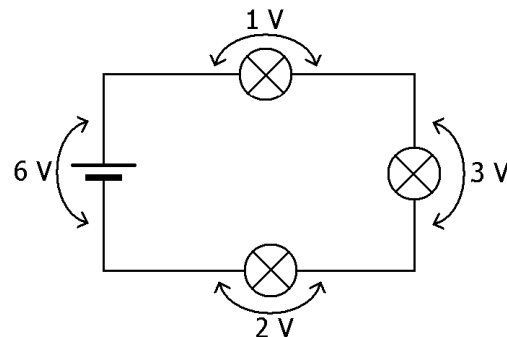
Kenmerkend voor een serieschakeling is dat er slechts één stroomkring is. De stroom kan maar één weg volgen. In de onderstaande figuur is een serieschakeling met drie lampjes afgebeeld. Naast de schakeling is het overeenkomstige waterstroomschema getekend.



Omdat de elektronen maar één weg kunnen volgen, is de stroomsterkte in elk punt van de schakeling gelijk. In de getekende schakeling is dat 0,5 ampère. In het overeenkomstige waterstroomschema stroomt er langs elk punt 0,5 liter water per seconde.

In de schakeling is de spanning tussen de polen van de spanningsbron 6 volt en de spanning over elk lampje 2 volt. In het waterstroomschema pompt de pomp het water 6 meter omhoog en valt het water bij elke waterval 2 meter omlaag.

In het bovenstaande voorbeeld zijn de drie lampjes gelijk aan elkaar. Daarom staat er over elk lampje dezelfde spanning, namelijk 2 V. Als de lampjes echter verschillend zijn, wordt de spanning van de spanningsbron meestal ongelijk verdeeld over de lampjes. Dat is bijvoorbeeld in de schakeling hiernaast het geval.

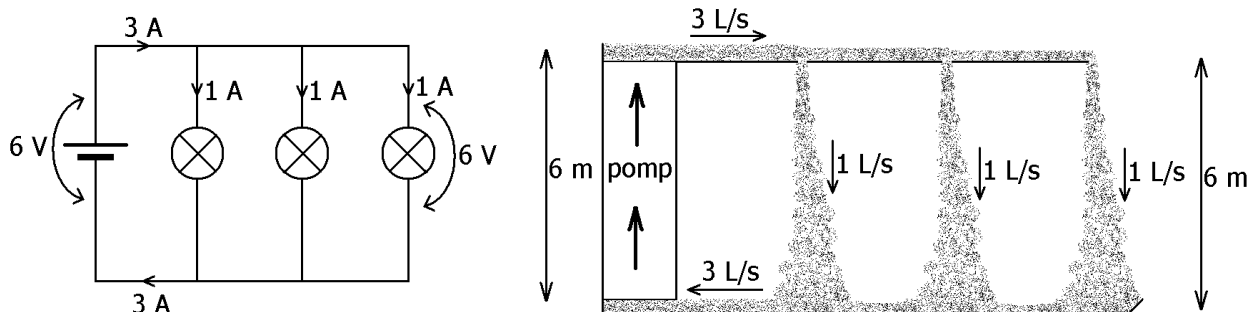


In het algemeen kan het volgende over een serieschakeling gezegd worden.

1. De stroomsterkte is in elk punt van de schakeling gelijk.
2. De spanning van de spanningsbron (zoals een batterij) is gelijk aan de som van de 'deelspanningen' van de kring.

Parallelschakeling van lampjes

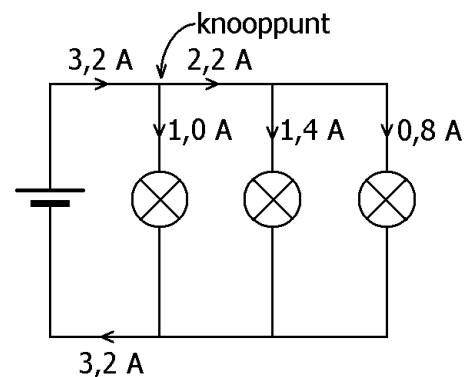
Kenmerkend voor een parallelschakeling is dat de elektrische stroom (en dus ook de elektronenstroom) zich opsplijst in meerdere takken die verderop in de schakeling weer samenkomen. In de onderstaande figuur is een parallelschakeling met drie lampjes afgebeeld. Naast de schakeling is het overeenkomstige waterstroomschema getekend.



In de getekende schakeling bedraagt de stroomsterkte door elk lampje 1 ampère. De stroomsterkte die de spanningsbron moet leveren, bedraagt dan 3 ampère. In het waterstroomschema valt er bij elke waterval per seconde 1 liter water naar beneden. De pomp moet dan dus per seconde 3 liter water omhoog pompen.

Elk lampje is rechtstreeks op de spanningsbron aangesloten. De spanning over elk lampje is dus gelijk aan de spanning van de spanningsbron. In de figuur is dat 6 V. In het waterstroomschema valt het water bij elke waterval 6 meter naar beneden. Dit is gelijk aan de 6 m die de pomp het water omhoog pompt.

In het bovenstaande voorbeeld zijn de drie lampjes gelijk aan elkaar. Daarom gaat er door elk lampje dezelfde stroom, namelijk 1 A. Als de lampjes verschillend zijn, is de stroomsterkte door de lampjes meestal ook verschillend. Dat is bijvoorbeeld in de schakeling hiernaast het geval. Bij elk knooppunt van verbindingsdraden geldt dat de som van de ingaande stromen gelijk is aan de som van de uitgaande stromen. Zo geldt bij het in de figuur aangegeven knooppunt:
 $3,2 \text{ A} = 2,2 \text{ A} + 1,0 \text{ A}$.

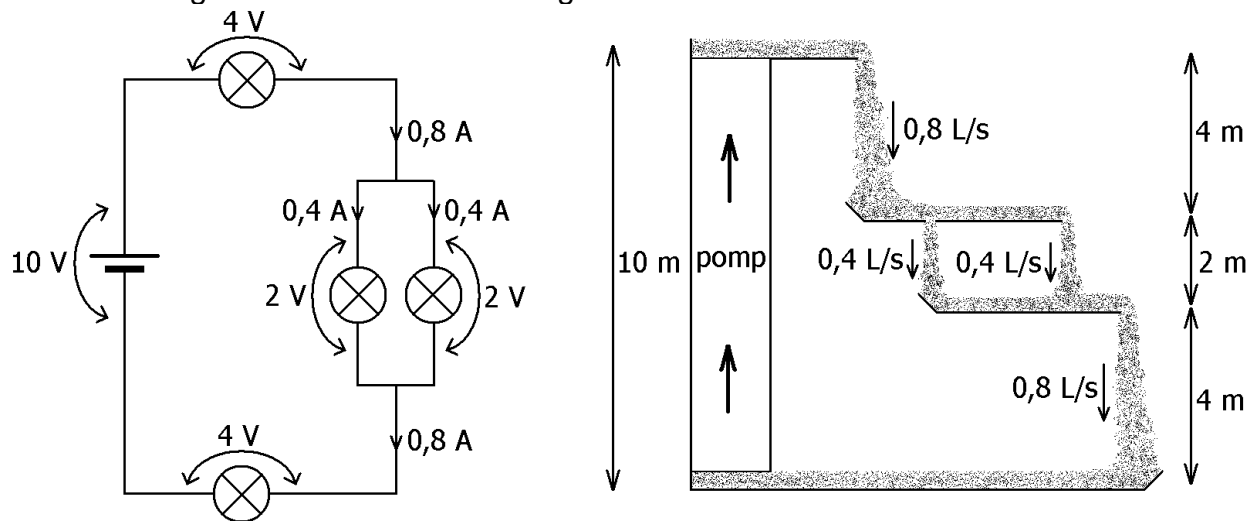


In het algemeen kan het volgende over een parallelschakeling gezegd worden.

1. De hoofdstroom (door de spanningsbron) is gelijk aan de som van de takstromen.
2. De spanning van de spanningsbron is gelijk aan de spanning over elke tak.

Combinatie van serie en parallel

De onderstaande schakeling bevat vier lampjes. Twee van deze lampjes zijn parallel geschakeld. Deze parallelschakeling staat in serie met de twee andere lampjes. Naast de schakeling staat het overeenkomstige waterstroomschema.



De stroomsterkte door de parallel geschakelde lampjes (0,4 A) is de helft van de stroom door de andere twee lampjes (0,8 A). Let ook op het volgende. Stel dat de spanning van de spanningsbron bepaald zou moeten worden uit de spanningen over de lampjes. Dan geldt niet:

$U(\text{bron}) = 4 \text{ V} + 2 \text{ V} + 2 \text{ V} + 4 \text{ V}$. Wel geldt: $U(\text{bron}) = 4 \text{ V} + 2 \text{ V} + 4 \text{ V}$. De spanningen over de parallel geschakelde lampjes mogen dus niet dubbel geteld worden!

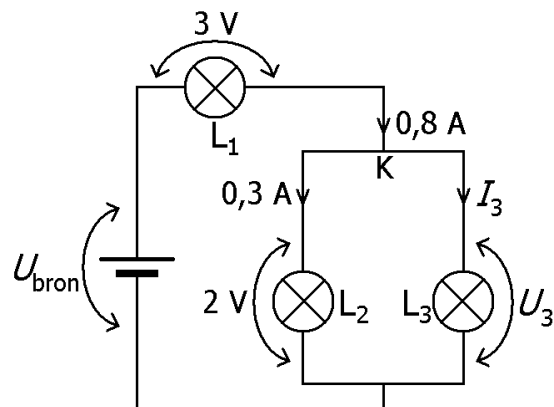
Voorbeeld van een opgave

In de schakeling hiernaast zijn drie ongelijke lampjes L_1 , L_2 en L_3 op een spanningsbron aangesloten. Beantwoord de volgende vragen.

Hoe groot is de stroomsterkte I_3 door lampje L_3 ?

Hoe groot is de spanning U_3 over lampje L_3 ?

Hoe groot is de spanning U_{bron} van de spanningsbron?



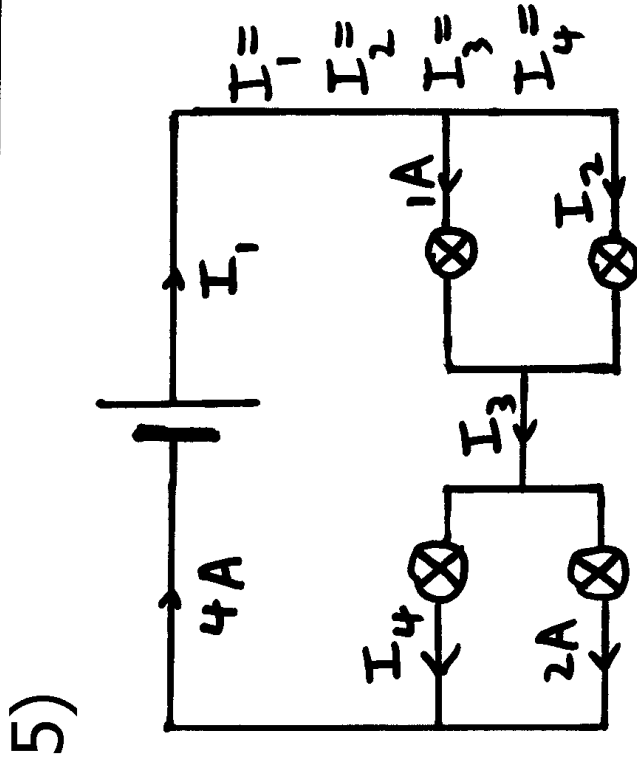
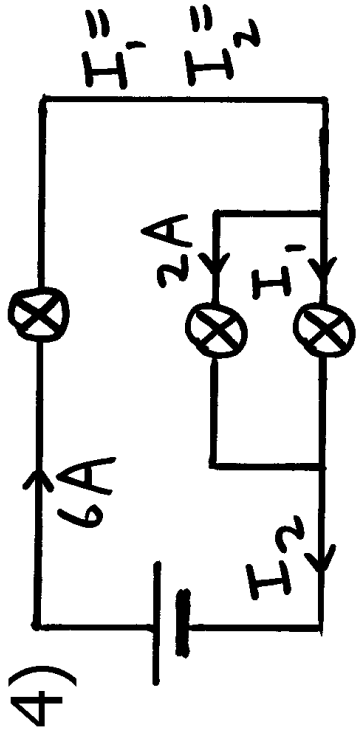
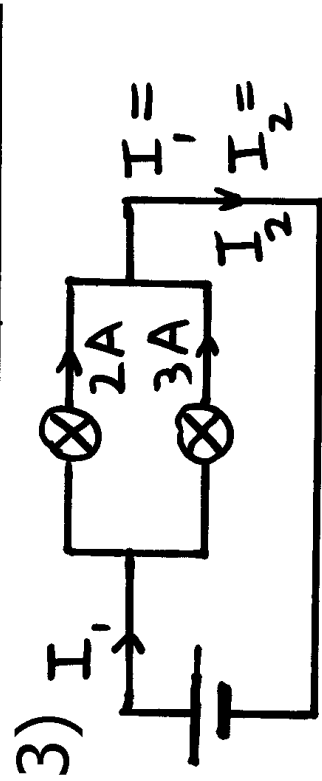
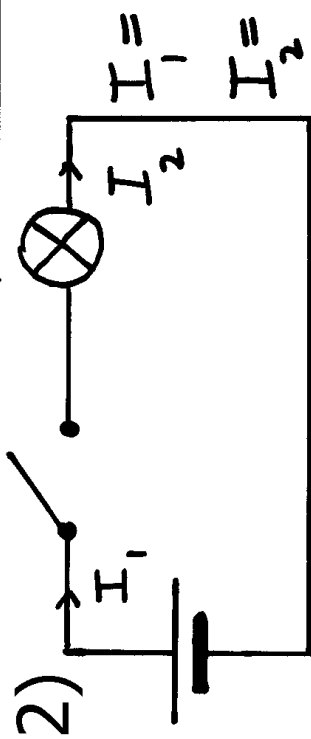
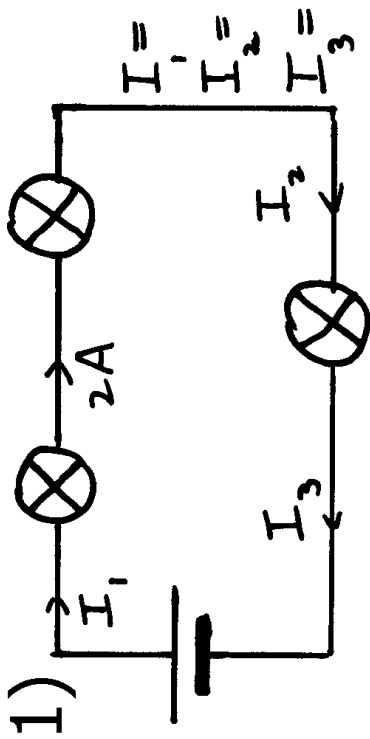
Oplossing

Stroomsterkte I_3 vind je door naar de ingaande en uitgaande stromen bij knooppunt K te kijken. Er geldt: $0,8 \text{ A} = 0,3 \text{ A} + I_3$. Hieruit volgt: $I_3 = 0,5 \text{ A}$.

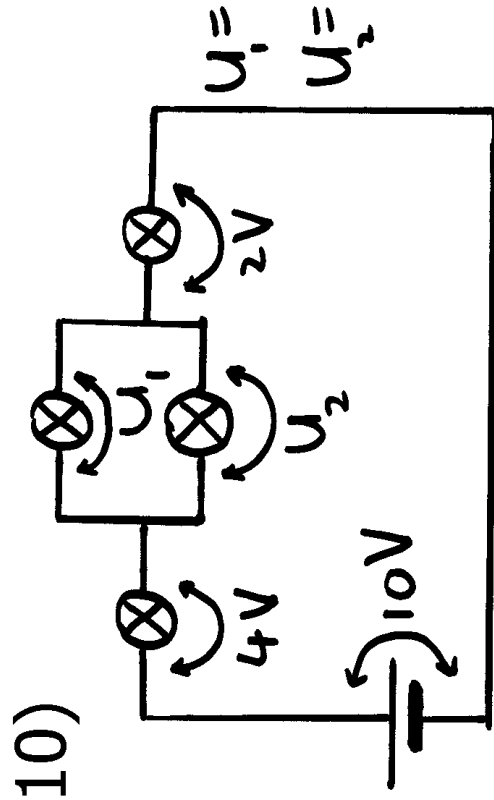
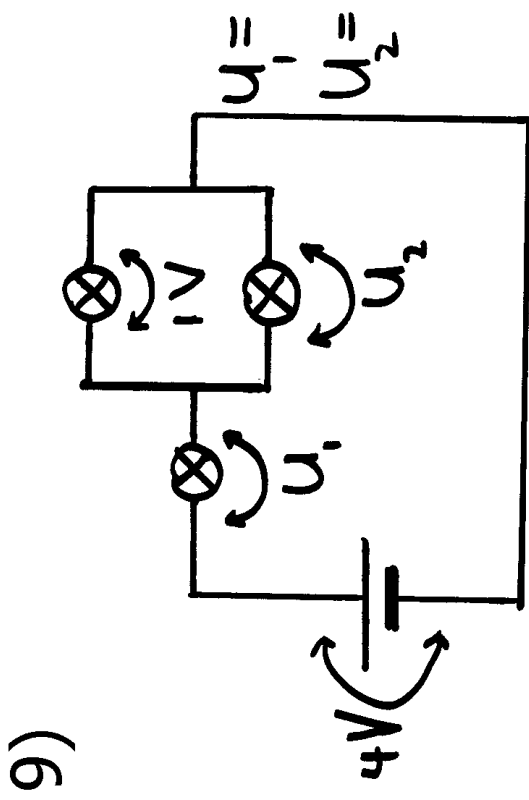
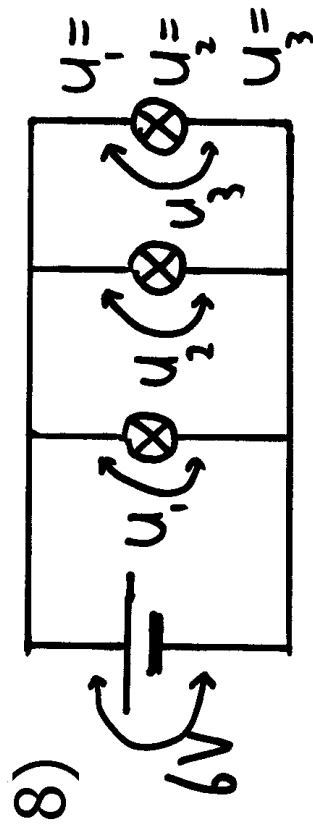
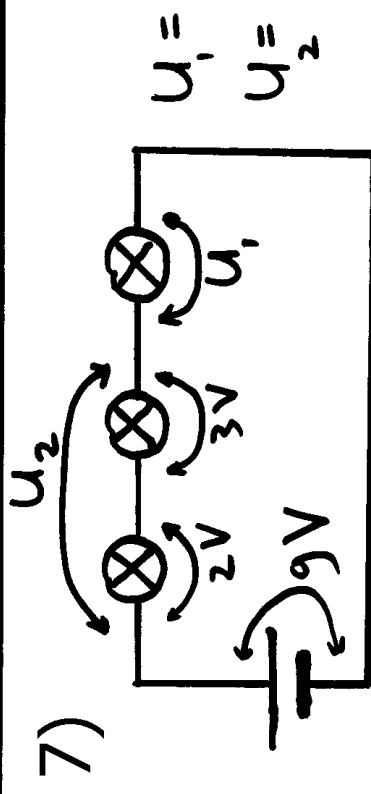
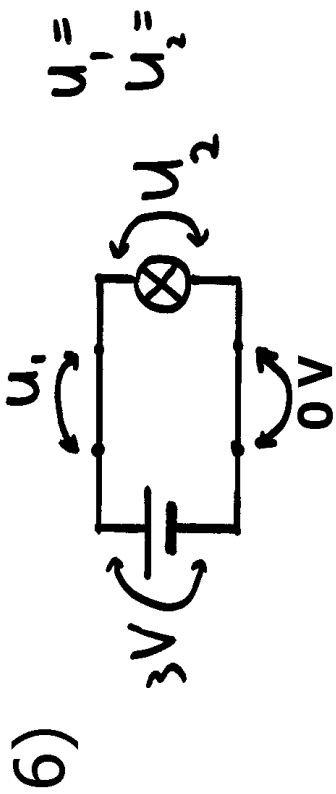
Spanning U_3 is 2 V want L_3 staat parallel aan L_2 en hierover staat ook 2 V.

Spanning U_{bron} is 5 V want $2 \text{ V} + 3 \text{ V} = 5 \text{ V}$. Let op: de spanning over de parallel geschakelde lampjes mag niet dubbel geteld worden.

Opgaven par. 4



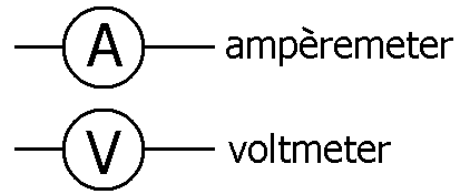
Vervolg opgaven par. 4



§ 5 Stroomsterkte en spanning meten

Symbolen voor ampèremeter- en voltmeter

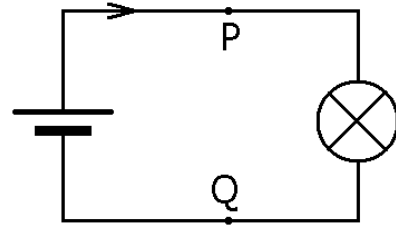
De stroomsterkte die in een bepaald punt van een schakeling loopt, wordt gemeten met een ampèremeter. De spanning tussen twee punten wordt gemeten met een voltmeter. De symbolen van beide meters zijn hiernaast gegeven.



Uit de voorgaande theorie volgt dat de stroomsterkte altijd betrekking heeft op **één** punt van de schakeling (bijvoorbeeld punt P OF punt Q in de figuur hiernaast).

De spanning heeft altijd betrekking op **twee** punten van de schakeling (bijvoorbeeld de punten P EN Q in de figuur hiernaast).

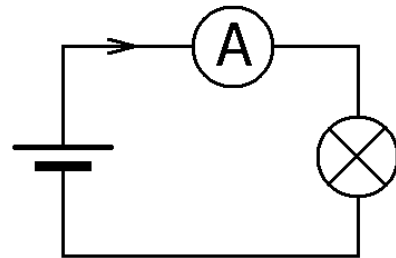
Deze regels hebben gevolgen voor de manier waarop de ampèremeter en de voltmeter moeten worden aangesloten.



Het meten van de stroomsterkte

Als de stroomsterkte door het lampje in de bovenstaande schakeling gemeten moet worden, moet een ampèremeter in de stroomkring opgenomen worden.

De te meten stroom moet echt door de ampèremeter lopen. Zie de figuur hiernaast.



Het maakt hierbij niet uit of de ampèremeter in punt P of in punt Q van de bovenstaande schakeling wordt opgenomen. Immers, in een onvertakte schakeling is de stroomsterkte overal gelijk.

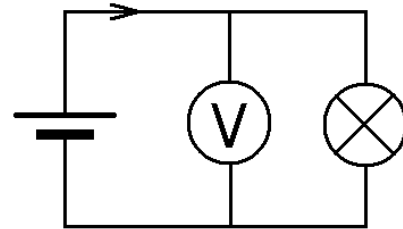
Algemeen geldt dat als je de stroomsterkte door een apparaat wilt meten, je een AMPEREMETER IN SERIE met dat apparaat moet schakelen.

Een ampèremeter is zodanig gemaakt, dat deze een zeer kleine weerstand voor de elektrische stroom heeft. Met andere woorden: de elektronen gaan erg gemakkelijk door de ampèremeter heen. Deze eis voor een ampèremeter is logisch want het opnemen van een ampèremeter in de schakeling mag de oorspronkelijke stroomsterkte natuurlijk niet verkleinen. Onder een ideale ampèremeter verstaat men een ampèremeter die helemaal geen elektrische weerstand heeft.

Het meten van de spanning

Als de spanning over een lampje gemeten moet worden, gaat het om de spanning tussen de twee aansluitpunten van het lampje. De voltmeter moet op beide punten worden aangesloten. Zie de figuur hiernaast.

Algemener: als je de spanning over een apparaat wilt meten moet je een VOLTMETER PARALLEL aan dat apparaat schakelen.



Een voltmeter is zodanig gemaakt dat deze een zeer grote weerstand voor de elektrische stroom heeft. Met andere woorden: de elektronen gaan erg moeilijk door de voltmeter heen. Deze eis voor een voltmeter is logisch want het opnemen van een voltmeter in de schakeling mag natuurlijk niet tot gevolg hebben dat er een extra elektrische stroom gaat lopen. Onder een ideale voltmeter verstaat men een voltmeter die een oneindig grote elektrische weerstand heeft.

Vuistregels van spanning en stroomsterkte bij meters

Omdat een ampèremeter praktisch geen weerstand voor de elektrische stroom heeft en een voltmeter juist een zeer grote weerstand, gaan we in het vervolg van deze cursus uit van de volgende vuistregels.

De spanning over een ampèremeter is nul volt.

De stroomsterkte door een voltmeter is nul ampère.

Het bouwen van schakelingen

Een aantal adviezen die handig zijn bij het bouwen van een schakeling. Hieronder volgen er enkele.

1. Bouw de schakeling onderdeel voor onderdeel op.
Bij de volgorde van de onderdelen volg je de richting waarin de elektrische stroom loopt. Dus van de pluspool naar de minpool.
2. Een ampèremeter maakt deel uit van de hoofdstroomkring.
Je kunt het opnemen van de ampèremeter in de schakeling niet uitstellen.
3. Een voltmeter maakt geen deel uit van de hoofdstroomkring.
Je kunt het opnemen van de voltmeter in de schakeling het beste uitstellen tot het laatste moment.
4. Verbind de uiteinden van een ampèremeter nooit rechtstreeks met de polen van een spanningsbron. Dan ontstaat er een kortsluitstroom en gaat de ampèremeter kapot.
5. Zet de ampèremeter en/of voltmeter op het *grootste* bereik voordat de meting begint. Het risico dat de wijzer daarna (tijdens de meting) uit de schaal loopt (en de meter beschadigd raakt) is hierdoor het kleinst. Vervolgens moet overgeschakeld worden naar het kleinst mogelijke bereik waarbij de wijzer nog wel binnen de schaal blijft. Dit levert de nauwkeurigste meetwaarden op.

Opgaven bij § 5

Opgave 1

Verbeter de volgende uitspraken.

- "Hoeveel volt gaat er door dat lampje?"
- "Hoeveel ampère staat er over dat lampje?"
- "Kees kreeg stroomstoten van 80 volt."
- "Een stopcontact staat onder stroom."
- "Er loopt spanning door een brandend lampje."
- "Een koelkast verbruikt stroom."
- "Wat is de volt van die accu?"

Opgave 2

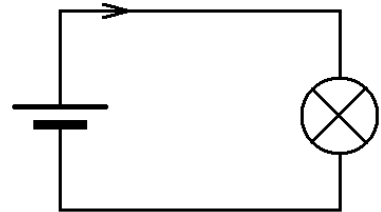
Wat meet een voltmeter? En wat meet een ampèremeter?

Opgave 3

Een lampje is aangesloten op een batterij. Zie de figuren hiernaast.

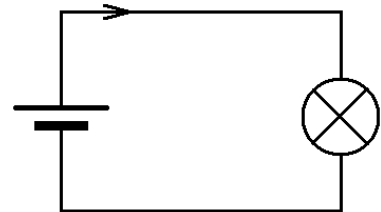
De stroomsterkte door het lampje en de spanning over het lampje moeten tegelijkertijd worden gemeten.

Welke meters zijn hiervoor nodig?



Er zijn twee manieren om deze meters te schakelen.

Teken in de bovenste figuur hoe de meters op de eerste manier geschakeld kunnen worden.



Teken in de onderste figuur hoe de meters op de tweede manier geschakeld kunnen worden.

Opgave 4

Een lampje is op een spanningsbron aangesloten. De stroomsterkte door het lampje en de spanning over het lampje worden gemeten.

a.
Moet de voltmeter in serie of parallel met het lampje staan? Licht je antwoord toe.

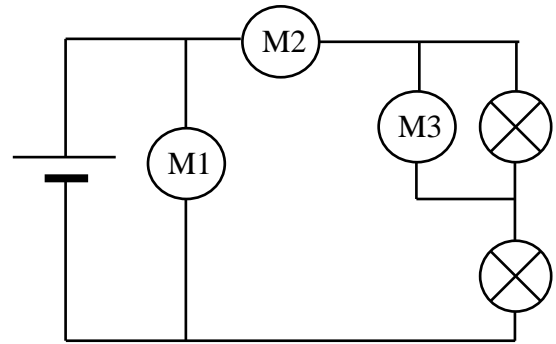
b.
Moet de ampèremeter in serie of parallel met het lampje staan? Licht je antwoord toe.

Opgave 5

Leg uit waarom een ampèremeter nooit rechtstreeks op de polen van een spanningsbron aangesloten mag worden.

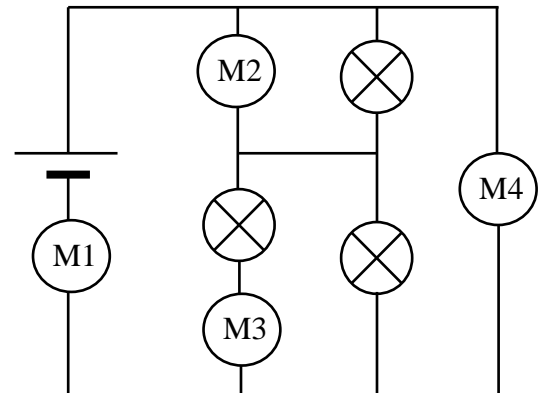
Opgave 6

In de schakeling hiernaast zijn twee lampjes in serie geschakeld. Beide lampjes branden. De schakeling bevat drie meters: M1, M2 en M3. Geef van alle meters aan of het een volt- of ampèremeter is.



Opgave 7

In de schakeling hiernaast branden alle drie de lampjes. De schakeling bevat vier meters: M1, M2, M3 en M4. Deze wijzen de volgende waarden aan: 0,8 A, 0,3 A, 12 V en 4 V (niet in dezelfde volgorde). Geef van alle meters aan welke van deze waarden ze aanwijzen.

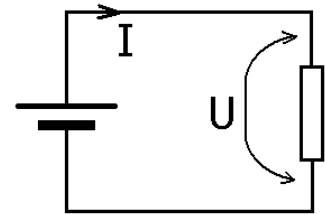


§ 6 Weerstand, wet van Ohm

De weerstand van een apparaat

De stroomsterkte I door een elektrisch apparaat (lamp, strijkijzer etc.) hangt af van de spanning U die over dat apparaat staat. Spanning is immers de drijvende kracht achter de stroom. Verhoog je de spanning, dan zal ook de stroomsterkte toenemen.

De stroomsterkte hangt echter ook van het apparaat zelf af. De elektrische stroom ondervindt namelijk een *weerstand* in het apparaat. Hoe groter de weerstand is, des te kleiner de stroomsterkte wordt. In een schakelschema wordt een weerstand schematisch weergegeven als een rechthoekig blokje. Zie de figuur hiernaast.



De weerstand van een apparaat wordt in de eenheid “ohm” uitgedrukt. Zo heeft een 100 watt gloeilamp in huis bijvoorbeeld een weerstand van 529 ohm. Dit wordt kort opgeschreven als: $R = 529 \Omega$.

De letter R is een afkorting voor het Engelse woord resistance dat weerstand betekent. De Griekse letter Ω (omega) is een korte schrijfwijze voor ohm.

Definitie van weerstand

Om de weerstand van een apparaat uit te kunnen rekenen, hebben we de grootheden en eenheden nodig die in het volgende overzicht staan.

grootheden	eenheden
$U = \text{spanning}$	$V = \text{volt}$
$I = \text{stroomsterkte}$	$A = \text{ampère}$
$R = \text{weerstand}$	$\Omega = \text{ohm}$

De weerstand R van het apparaat kan worden uitgerekend door de spanning U te delen door de stroomsterkte I . In formulevorm:

$$R = \frac{U}{I} \quad (\text{definitie van weerstand})$$

Deze formule kan in twee andere vormen geschreven worden namelijk:

$$U = I \times R \quad \text{en} \quad I = \frac{U}{R}$$

Als er bijvoorbeeld een spanning van 10 V over een lampje staat en dit een stroomsterkte van 2 A tot gevolg heeft, dan is de weerstand van het lampje:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{10 \text{ V}}{2 \text{ A}} = 5 \text{ V/A} = 5 \Omega$$

Blijkbaar is ohm gelijk aan volt gedeeld door ampère.

De definitie van R wordt begrijpelijk als je apparaat X met een grote weerstand vergelijkt met apparaat Y met een kleine weerstand. Als je dezelfde stroomsterkte door X en Y wilt laten lopen, moet je de spanning over X groter maken dan de spanning over Y. De uitkomst van U / I is dan het grootst bij apparaat X. Omgekeerd kun je dezelfde spanning over X en over Y zetten. De stroomsterkte door X is dan kleiner dan de stroomsterkte door Y. De uitkomst van U / I is dan wederom het grootst bij apparaat X.

Rekenvoorbeeld

Opdracht

In de schakeling hiernaast zijn drie weerstanden R_1 , R_2 en R_3 opgenomen. Alle gegevens staan in de figuur. De opdracht is om de weerstanden R_1 en R_2 uit te rekenen.

Uitwerking

Hierna wordt met U_x en I_x de spanning over en de stroom door weerstand x bedoeld.

Weerstand R_1 is het makkelijkst uit te rekenen.

$$R_1 = \frac{U_1}{I_1} = \frac{4 \text{ V}}{3 \text{ A}} = 1,33 \Omega$$

Voorwerk voor het berekenen van weerstand R_2 .

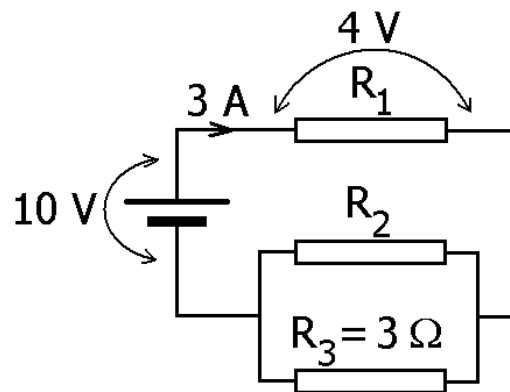
$$U_2 = 10 \text{ V} - 4 \text{ V} = 6 \text{ V}$$

$$I_3 = \frac{U_3}{R_3} = \frac{6 \text{ V}}{3 \Omega} = 2 \text{ A}$$

$$I_2 = 3 \text{ A} - I_3 = 3 \text{ A} - 2 \text{ A} = 1 \text{ A}$$

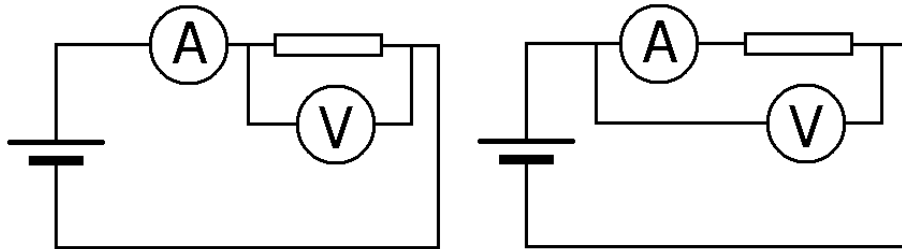
Nu kan eindelijk weerstand R_2 berekend worden.

$$R_2 = \frac{U_2}{I_2} = \frac{6 \text{ V}}{1 \text{ A}} = 6 \Omega$$



Het meten van een weerstand

Om de weerstand van een apparaat te weten te komen moeten de spanning over en stroomsterkte door het apparaat gemeten worden. Dit kan met de twee onderstaande schakelingen gebeuren.

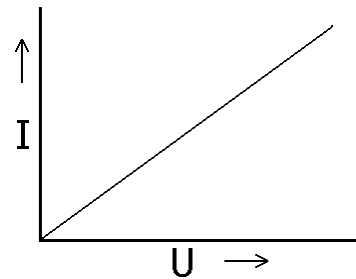


In de linker schakeling is de gemeten stroomsterkte iets te hoog omdat de voltmeter ook een heel klein beetje stroom doorlaat. In de rechter schakeling is de gemeten spanning iets te hoog omdat er ook een heel kleine spanning over de ampèremeter staat. In de praktijk zijn de meetfouten meestal verwaarloosbaar klein. Alleen bij gebruik van een ideale volt- en ampèremeter geven beide schakelingen exact hetzelfde resultaat.

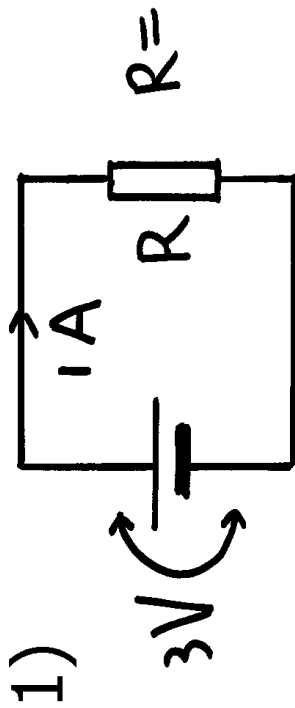
Wet van Ohm

Zoals bekend is, wordt de elektrische stroom door een apparaat veroorzaakt door de spanning over het apparaat. In het algemeen neemt de stroomsterkte toe als de spanning toeneemt. Bij veel apparaten is de stroomsterkte echter niet evenredig met de spanning. Bij een gloeilamp bijvoorbeeld zal de stroomsterkte **minder** dan verdubbelen als de spanning verdubbelt.

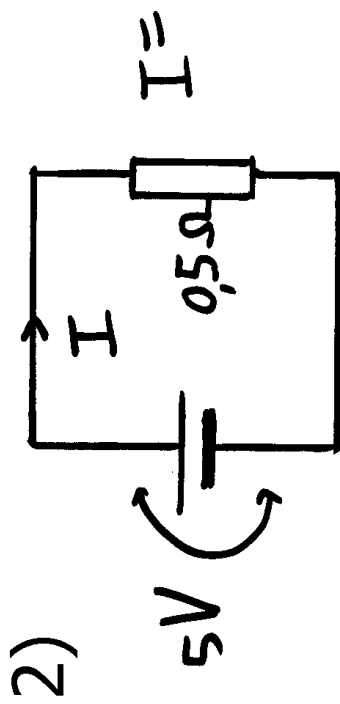
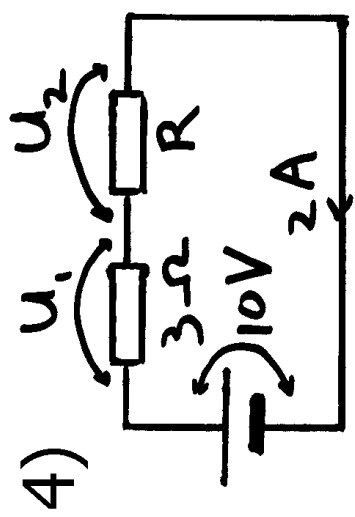
Als de stroomsterkte wél evenredig is met de spanning, dan is de (I,U)-grafiek een rechte lijn die door de oorsprong loopt. Zie de figuur hiernaast. De weerstand van het apparaat is dan gelijk voor alle spanningen. We zeggen dan dat de **wet van Ohm** geldt.



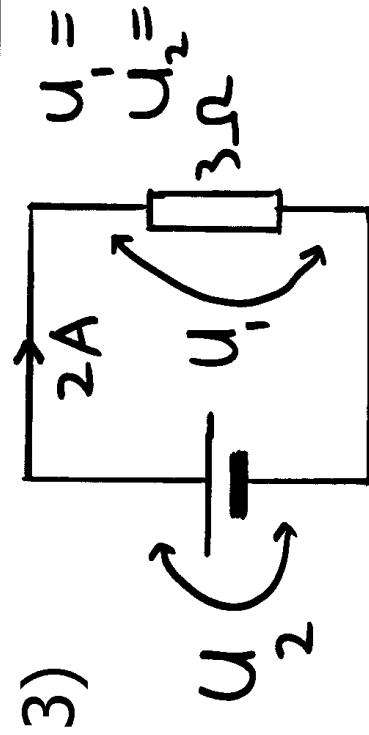
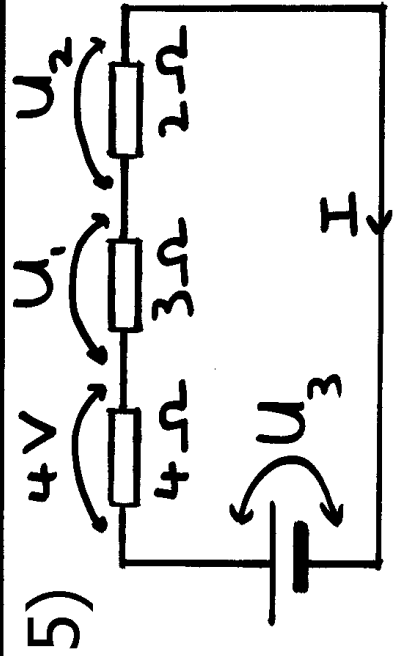
Opgaven par. 6



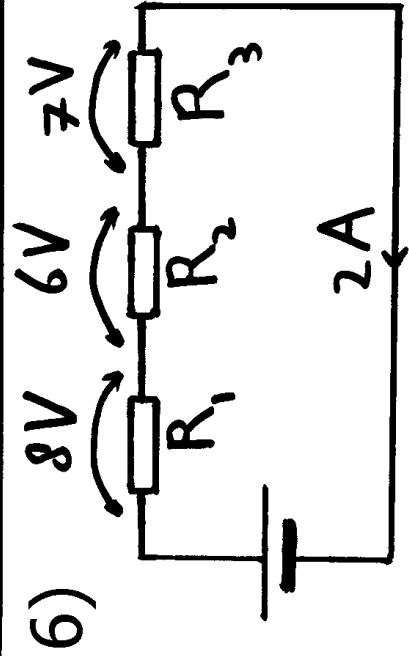
$U =$
 $U_1 =$
 $U_2 =$
 $R =$



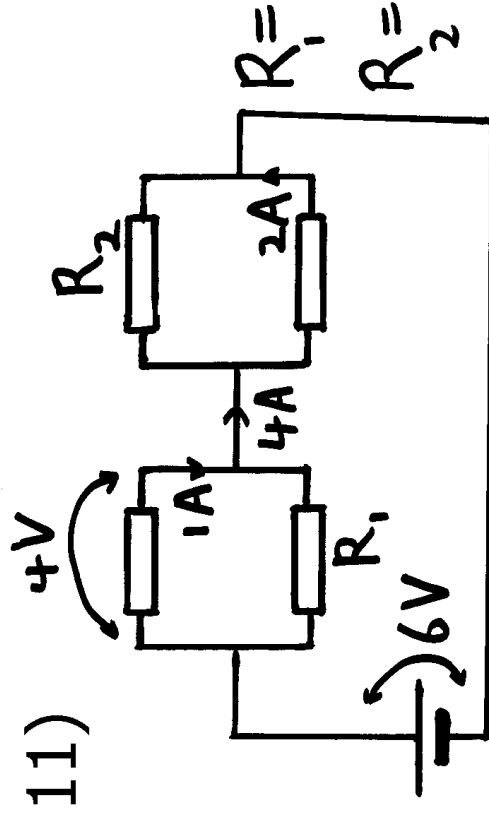
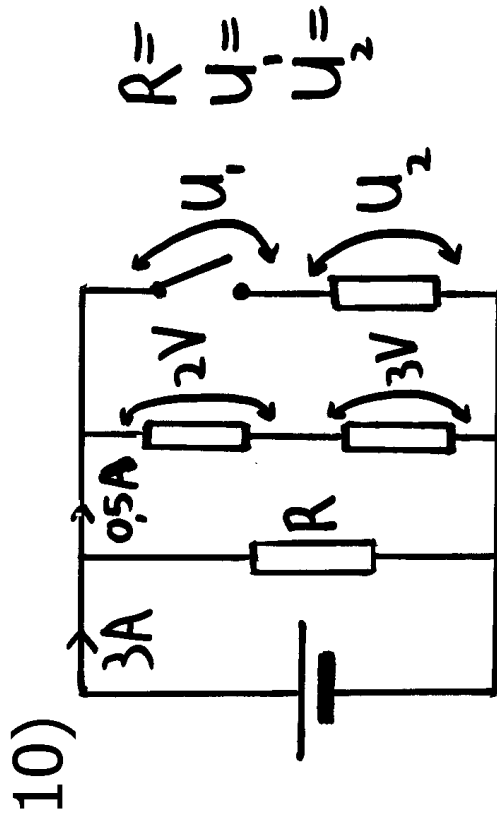
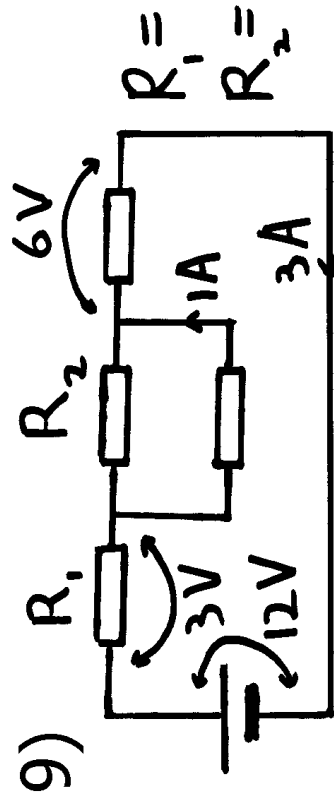
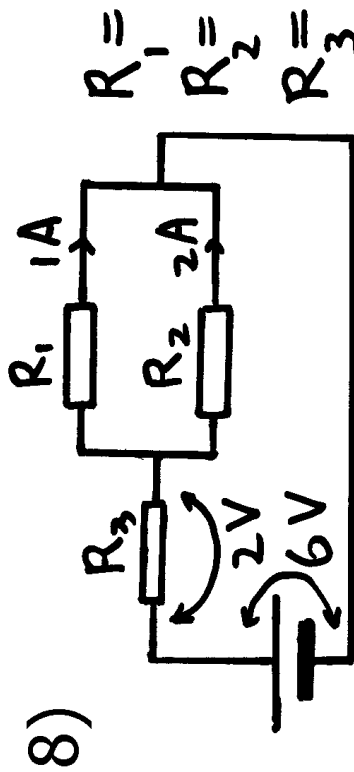
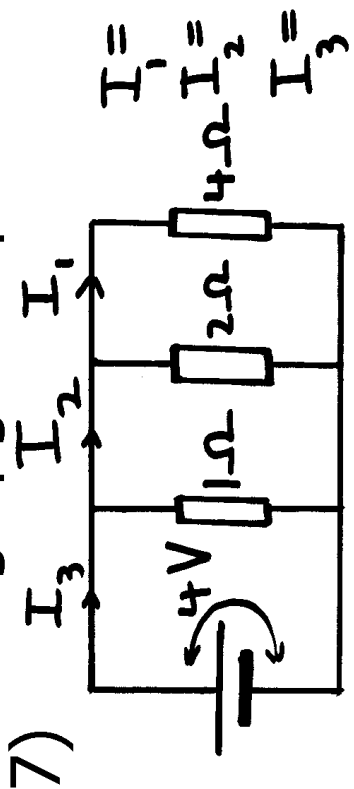
$I =$
 $U_1 =$
 $U_2 =$
 $U_3 =$



$R_1 =$
 $R_2 =$
 $R_3 =$



Vervolg opgaven par. 6



§ 7 Energie en vermogen

Overzicht van de grootheden en eenheden in deze paragraaf

In de onderstaande tabel staan de grootheden en eenheden die in deze paragraaf een rol spelen.

Grootheden	Eenheden binnen S.I.	Eenheden van energiebedrijf
E = energie	J = joule	kWh = kilowattuur
P = vermogen	W = watt	kW = kilowatt
t = tijdsduur	s = seconde	h = uur
U = spanning	V = volt	
I = stroomsterkte	A = ampère	

In de tabel wordt onderscheid gemaakt tussen S.I.-eenheden en eenheden van het energiebedrijf. Het S.I. (afkorting van "Système International d'Unités") is een eenhedenstelsel dat over de hele wereld bekend is en dat door heel veel natuurkundigen wordt gebruikt. Vele bekende eenheden, zoals de meter, seconde, kilogram, volt en ampère, horen hiertoe.

In het dagelijks leven worden er vaak eenheden gebruikt die **niet** tot het S.I. horen. Voorbeelden zijn de 'minuut' en het 'uur'. Ook de 'kilowattuur' (afgekort kWh) als eenheid van energie is geen S.I.-eenheid. Toch gebruikt het energiebedrijf deze eenheid in plaats van de joule (afgekort J). De joule is namelijk een te kleine eenheid voor het grote energiegebruik door huishoudens. In één kWh gaan maar liefst 3.600.000 J.

Verband tussen energie, vermogen en tijdsduur

In elektrische apparaten in de huishouding wordt elektrische energie omgezet in andere vormen van energie. Bij een lamp bijvoorbeeld wordt elektrische energie omgezet in stralingsenergie en warmte. Bij een radio wordt de elektrische energie omgezet in geluidsenergie en warmte. De hoeveelheid elektrische energie die door een apparaat is omgezet in andere energievormen, wordt met E aangeduid. Zoals hierboven reeds is gezegd, wordt energie uitgedrukt in joule of in kilowattuur. Per kWh moet ongeveer €0,21 (= 21 eurocent) aan het energiebedrijf betaald worden (in 2011).

Hoeveel elektrische energie wordt omgezet, hangt onder andere af van de tijdsduur waarin het apparaat in werking is. Het symbool voor tijdsduur is t . De tijdsduur kan worden uitgedrukt in seconde (afgekort s) en in uur (afgekort h).

Het apparaat zelf speelt natuurlijk ook een belangrijke rol bij de energieomzetting. Een straalkachel zet bijvoorbeeld in dezelfde tijd meer elektrische energie om dan een schemerlamp. We zeggen dan dat het *vermogen* van de straalkachel groter is. Onder het vermogen verstaan we de hoeveelheid elektrische energie die het apparaat per eenheid van tijd omzet. Het symbool van vermogen is P van 'power'. Het vermogen kan worden uitgedrukt in watt (afgekort W) of in kilowatt (afgekort kW).

De volgende formule geeft het verband tussen het vermogen, de energie en de tijdsduur.

$$P = \frac{E}{t} \quad (\text{definitie van vermogen})$$

Deze formule kan in twee andere vormen geschreven worden namelijk:

$$E = P \times t \quad \text{en} \quad t = \frac{E}{P}$$

De volgende rekenvoorbeelden laten zien hoe deze formule gebruikt wordt.

Rekenvoorbeelden

Het eerste voorbeeld gaat over een lamp die 10 seconde brandt. De lamp zet in totaal 500 joule aan elektrische energie om. Het vermogen van de lamp kan dan als volgt berekend worden.

$$P = \frac{E}{t} = \frac{500 \text{ J}}{10 \text{ s}} = 50 \text{ J/s} = 50 \text{ W}$$

Uit dit voorbeeld blijkt dat de eenheid watt gelijk is aan joule per seconde.

Het tweede voorbeeld gaat over een straalkachel met een vermogen van 2000 W. De straalkachel is 3 uur ingeschakeld. Als de prijs per kWh 21 eurocent bedraagt, kunnen de energiekosten als volgt berekend worden.

$$E = P \cdot t = 2 \text{ kW} \cdot 3 \text{ h} = 6 \text{ kWh}$$

$$\text{Energiekosten} = 6 \text{ kWh} \times 0,21 \text{ €/kWh} = \text{€ } 1,26$$

Uit dit voorbeeld blijkt dat kilowattuur een samenvoeging is van kilowatt en uur.

Verband tussen elektrisch vermogen, spanning en stroomsterkte

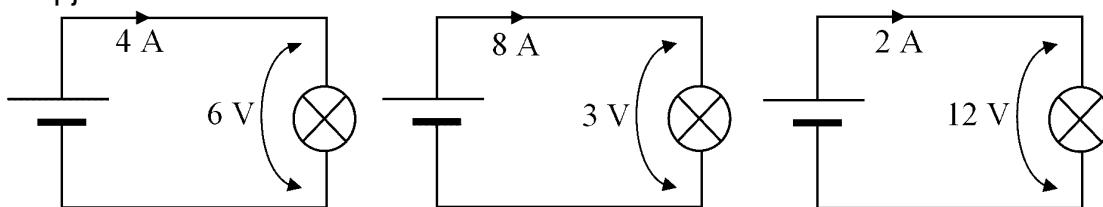
Het vermogen van een elektrisch apparaat hangt af van de spanning U over en de stroomsterkte I door het apparaat. De volgende formule geeft het verband tussen deze grootheden.

$$P = U \times I$$

Deze formule kan in twee andere vormen geschreven worden, namelijk:

$$U = \frac{P}{I} \quad \text{en} \quad I = \frac{P}{U}$$

De bovenstaande formule komt tot uiting in de onderstaande schakelingen. De drie lampjes branden even fel.



Het vermogen van alle drie de lampjes is dan ook gelijk. Er geldt namelijk:

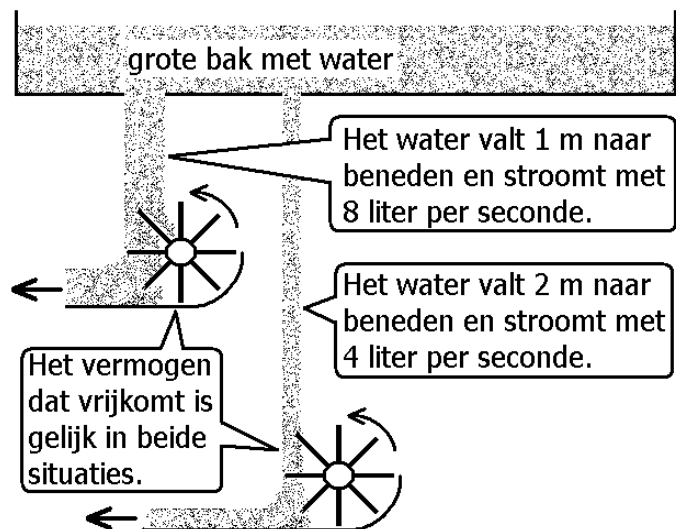
$$6 \text{ V} \times 4 \text{ A} = 3 \text{ V} \times 8 \text{ A} = 12 \text{ V} \times 2 \text{ A} = 24 \text{ W}.$$

De lampjes zetten per seconde dus evenveel elektrische energie om in straling en in warmte.

Vergelijking met water dat naar beneden valt

Uit de formule $P=U \cdot I$ volgt dat een lamp met een spanning van 1 volt en een stroomsterkte van 8 ampère hetzelfde vermogen heeft als een lamp met een spanning van 2 volt en een stroomsterkte van 4 ampère.

Dit kan inzichtelijk gemaakt worden door de stroom door elke lamp te vergelijken met een waterval. Zie de figuur hiernaast. De hoogte van elke waterval volgt uit de spanning over de lamp. De stroomsterkte van de waterval volgt uit de stroomsterkte door de lamp. Op deze manier zijn er dus twee verschillende watervallen. Bij beide watervallen komt er evenveel hoogte-energie per seconde vrij. Beide schoepenraden leveren dan ook hetzelfde vermogen.

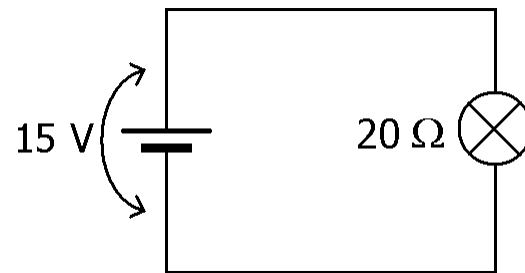


Rekenvoorbeeld

In de schakeling hiernaast is een lamp aangesloten op een spanningsbron. Het vermogen van de lamp wordt als volgt berekend.

$$I = \frac{U}{R} = \frac{15 \text{ V}}{20 \Omega} = 0,75 \text{ A}$$

$$P = U \cdot I = 15 \text{ V} \cdot 0,75 \text{ A} = 11,3 \text{ W}$$



Het aantal joule dat in 1 minuut wordt omgezet, wordt als volgt berekend.

$$E = P \cdot t = 11,3 \text{ W} \cdot 60 \text{ s} = 675 \text{ J}$$

Het aantal kilowattuur dat in 1 minuut wordt omgezet, wordt als volgt berekend.

$$E = P \cdot t = 0,0113 \text{ kW} \cdot \frac{1}{60} \text{ h} = 0,00019 \text{ kWh}$$

Opgaven bij § 7

Opgave 1

Geef de twee in de tekst behandelde formules voor het vermogen.

Opgave 2

Over een lampje staat een spanning van 10 V.

Door het lampje gaat een stroomsterkte van 0,8 A.

Het lampje brandt 2 s.

a.

Bereken het vermogen (in W) van de lamp.

b.

Bereken hoeveel energie (in J) hierbij wordt omgezet.

Opgave 3

Een verwarmingselement wordt op een spanningsbron aangesloten.

De stroomsterkte die er doorheen gaat is 16 A.

Na 24 s is er 950 J aan warmte geleverd.

a.

Bereken het vermogen van het verwarmingselement.

b.

Bereken de spanning over het verwarmingselement.

Opgave 4

Een straalkachel is aangesloten op het lichtnet (230 V). De stroomsterkte door de straalkachel is 8,0 A. De straalkachel staat 3 h (= uur) aan.

Bereken hoeveel energie (in kWh) hierbij wordt omgezet.

Opgave 5

Een wasdroger is aangesloten op het lichtnet en zet 3,2 kWh aan energie om in 1,3 uur. Bereken de stroomsterkte door de droger.

Opgave 6

De spanning over en de stroom door een vaatwasser zijn respectievelijk 230 V en 9,1 A. Bereken hoeveel minuten de machine heeft aangestaan als er 1,26 kWh aan elektrische energie is gebruikt.

Opgave 7

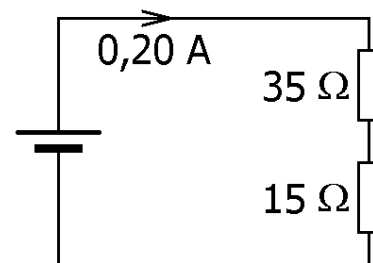
Een stofzuiger wordt op het lichtnet aangesloten. De stroomsterkte door de stofzuiger is 8,0 A. De stofzuiger is 13 minuten in gebruik. Een kilowattuur kost 21 eurocent. Bereken hoeveel het energiegebruik kost.

Opgave 8

De stroom door een wasmachine (aangesloten op het lichtnet) bedraagt 10 A. Na 35 minuten kost dit 33 cent aan elektrische energie. Bereken de prijs die betaald moet worden voor 1 kWh.

Opgave 9

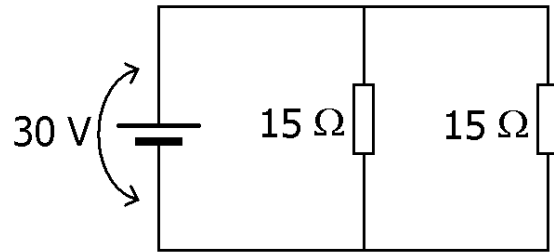
In de figuur hiernaast zijn twee weerstanden op een spanningsbron aangesloten. Bereken hoeveel energie (in J) door de spanningsbron is geleverd in een halve minuut.



Opgave 10

In de figuur hiernaast zijn twee weerstanden op een spanningsbron aangesloten.

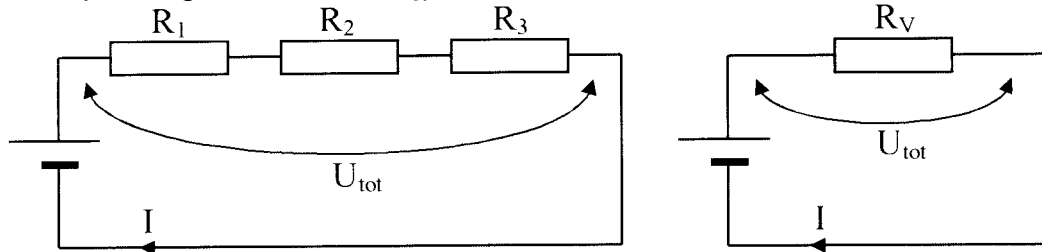
Bereken hoeveel energie (in J) door de spanningsbron is geleverd in een halve minuut.



§ 8 Vervangingsweerstand

Serieschakeling van weerstanden

In de onderstaande linker figuur staan drie weerstanden R_1 , R_2 en R_3 in serie met elkaar. De totale spanning over de drie weerstanden is U_{tot} (= som van de deelspanningen U_1 , U_2 en U_3) en de stroomsterkte door de weerstanden is I .



De drie weerstanden R_1 , R_2 en R_3 worden nu vervangen door één weerstand. Zie de rechter figuur. Deze weerstand wordt zo groot gekozen dat de stroomsterkte I even groot is als die in de oorspronkelijke schakeling (bij gelijkblijvende spanning U_{tot}). Deze weerstand wordt de vervangingsweerstand R_V genoemd.

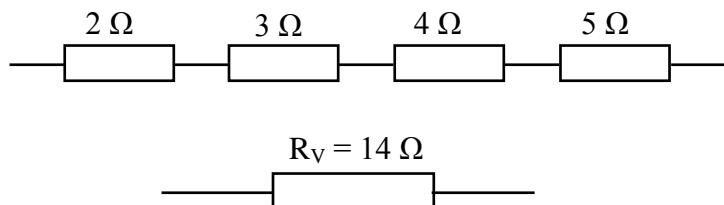
Voor R_V geldt:

$$R_V = R_1 + R_2 + R_3$$

Deze formule geldt niet alleen voor drie serieweerstanden, maar ook voor twee, vier of meer weerstanden.

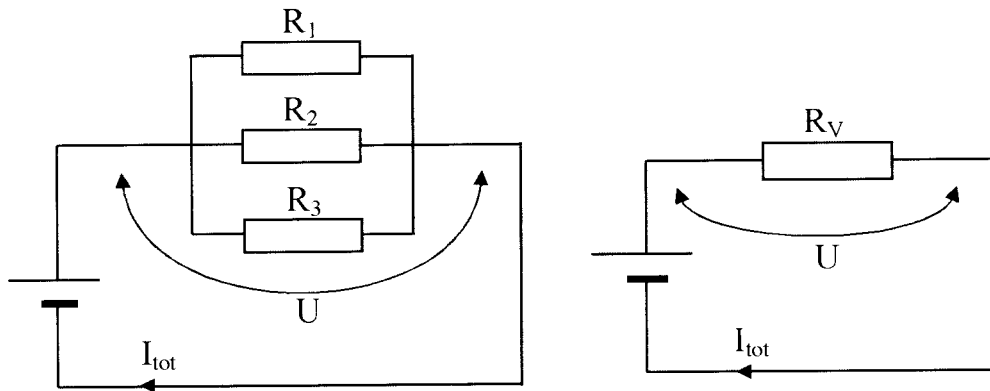
Bij een serieschakeling van weerstanden is de vervangingsweerstand dus gelijk aan de som van de afzonderlijke weerstanden. Hieruit volgt dat de vervangingsweerstand altijd groter is dan de grootste van de afzonderlijke weerstanden.

Als bijvoorbeeld 2Ω , 3Ω , 4Ω en 5Ω in serie worden gezet, dan is de vervangingsweerstand gelijk aan:
 $R_V = 2 \Omega + 3 \Omega + 4 \Omega + 5 \Omega = 14 \Omega$.
Zie de figuur hiernaast.



Parallelschakeling van weerstanden

In de onderstaande linker figuur staan drie weerstanden R_1 , R_2 en R_3 parallel met elkaar. De spanning over de drie weerstanden is U en de stroomsterkte door de weerstanden is I_{tot} (= som van de deelstromen I_1 , I_2 en I_3).



De drie weerstanden R_1 , R_2 en R_3 worden nu vervangen door één weerstand. Zie de rechter figuur. Deze weerstand wordt zo groot gekozen dat de stroomsterkte even groot is als de totale stroom in de oorspronkelijke schakeling (bij gelijkblijvende spanning U). Deze weerstand wordt de vervangingsweerstand R_V genoemd.

Voor R_V geldt:

$$\frac{1}{R_V} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Deze formule geldt niet alleen voor drie parallelweerstand, maar ook voor twee, vier of meer weerstanden. Uit deze formule blijkt het volgende.

Bij een parallelschakeling is de vervangingsweerstand altijd kleiner dan de kleinste van de afzonderlijke weerstanden.

Als bijvoorbeeld 2Ω , 3Ω , 4Ω en 5Ω parallel worden gezet geldt:

$$\frac{1}{R_V} = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \frac{1}{5} = 1,28$$

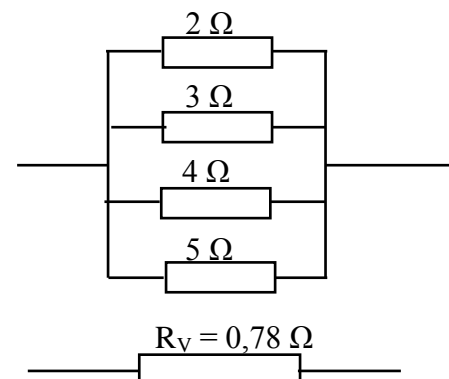
Dus geldt:

$$R_V = \frac{1}{1,28} = 0,78 \Omega$$

Zie de figuur hiernaast.

Een korte en handige schrijfwijze hiervoor is:

$$R_V = 2 \Omega // 3 \Omega // 4 \Omega // 5 \Omega = 0,78 \Omega.$$



Het gebruik van een rekenmachine bij een parallelschakeling

In de schakeling hiernaast geldt:

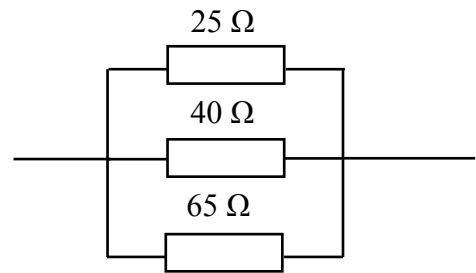
$$R_V = 25 \Omega // 40 \Omega // 65 \Omega = 12 \Omega.$$

Het voordeel van deze schrijfwijze is dat het kort en overzichtelijk is. De wiskundige bewerkingen om tot het eindresultaat (12Ω) te komen worden alléén op de rekenmachine uitgevoerd (en dus niet opgeschreven). De tien toetsen die achtereenvolgens moeten worden ingedrukt zijn:

$$25, 1/x, +, 40, 1/x, +, 65, 1/x, =, 1/x$$

Daarna verschijnt de 12 op het display.

Opmerking: bij sommige rekenmachines staat er x^{-1} in plaats van $1/x$ en moet er voortijdig "2nd" of "shift" worden ingetoetst.



Voorbeeld van een toepassing van vervangingsweerstand

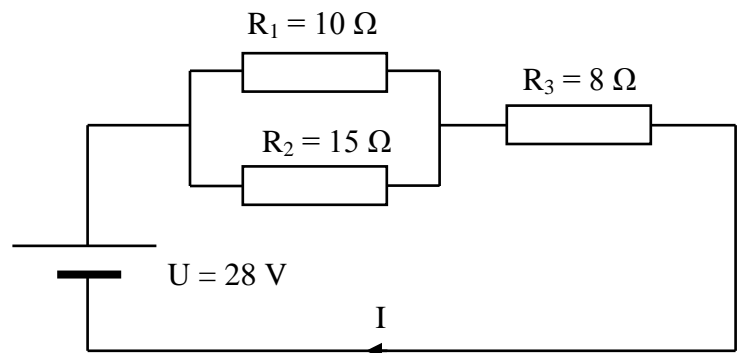
In de schakeling hiernaast moet de spanning over R_3 worden uitgerekend bij gegeven weerstandswaarden en bronspanning.

Uitwerking

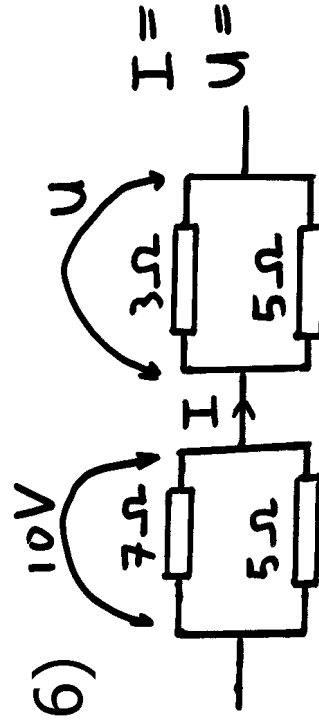
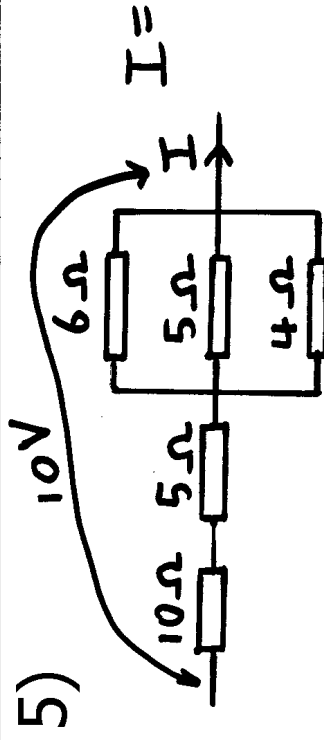
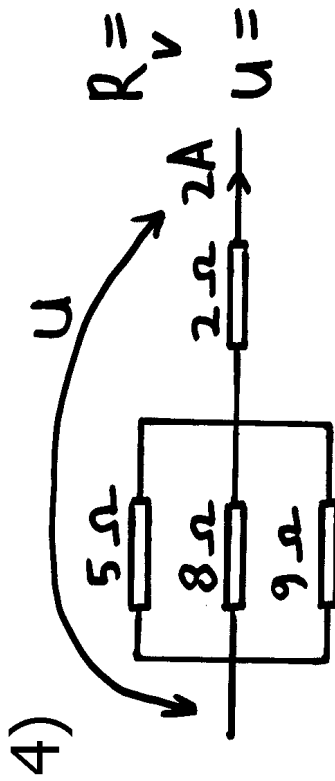
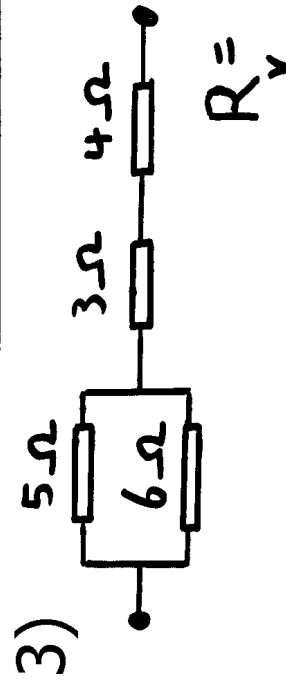
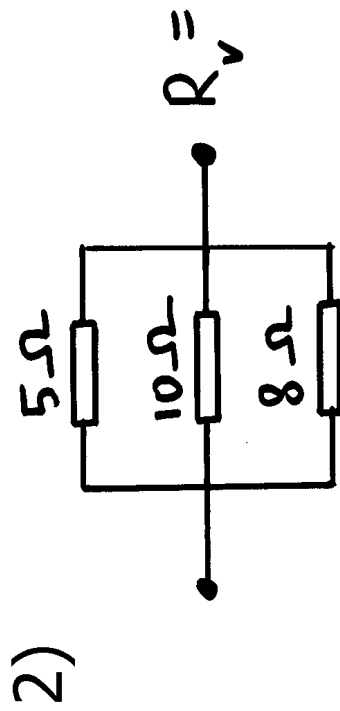
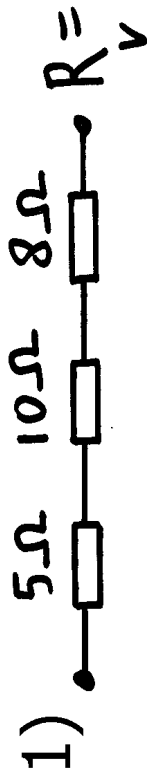
$$\begin{aligned} R_V &= R_1 // R_2 + R_3 \\ &= 10 \Omega // 15 \Omega + 8 \Omega \\ &= 6 \Omega + 8 \Omega = 14 \Omega \end{aligned}$$

$$I = \frac{U}{R_V} = \frac{28 \text{ V}}{14 \Omega} = 2 \text{ A}$$

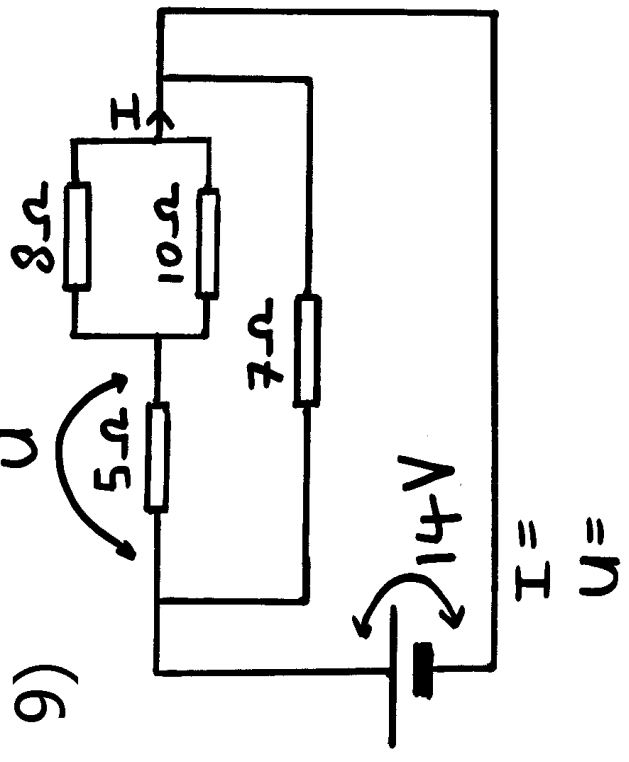
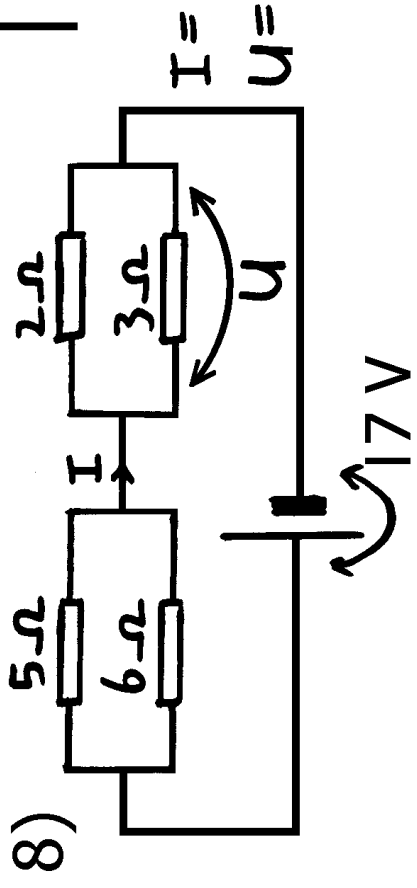
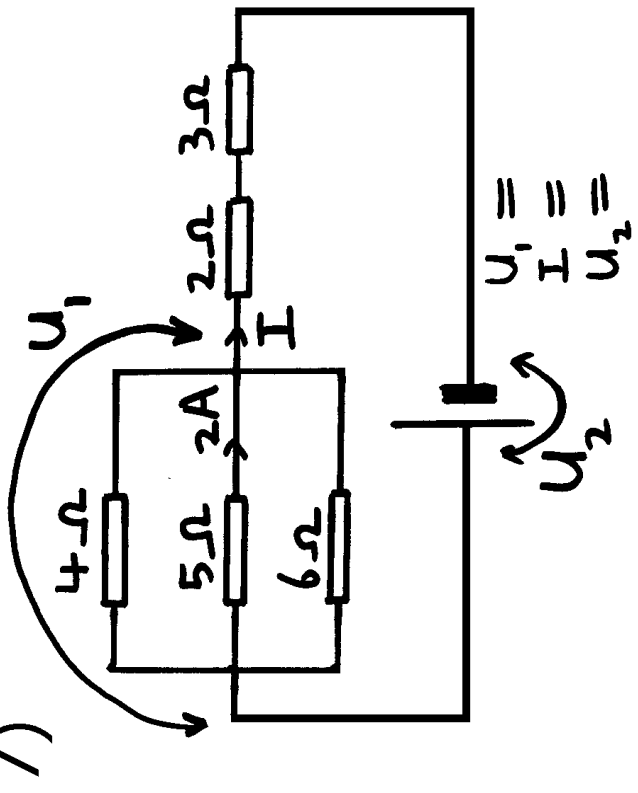
$$U_3 = I \cdot R_3 = 2 \text{ A} \cdot 8 \Omega = 16 \text{ V}$$



Opgaven par. 8



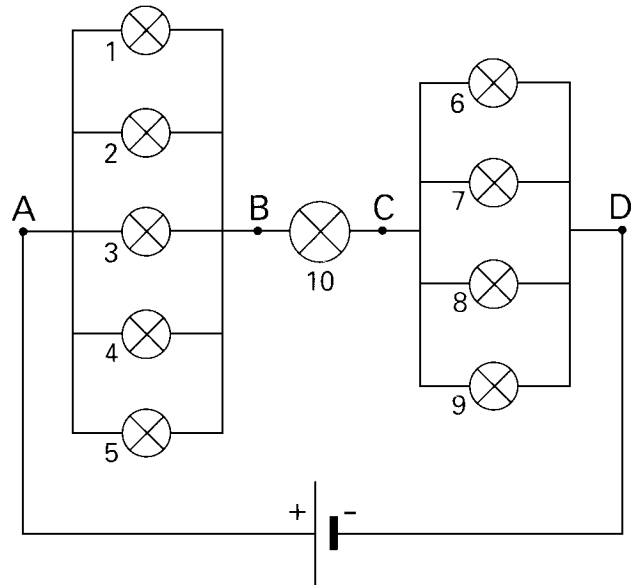
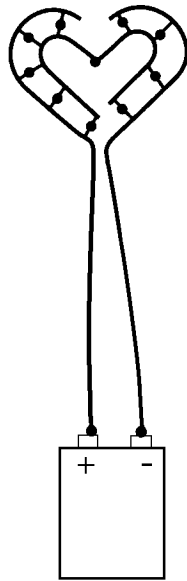
7) Vervolg opgaven par. 8



§ 9 Opgaven in een context

Valentijnshart (uit HAVO-examen 2004 tijdvak 1)

Cadeauwinkels verkopen voor Valentijnsdag cadeautjes waarmee je een geheime geliefde kunt verrassen. In de figuur hiernaast is zo'n cadeautje getekend, namelijk een valentijnshart. Het bestaat uit tien lampjes in een frame van metaaldraad. Dit frame dient voor de geleiding van de stroom. Zie ook het getekende schakelschema van het hart.



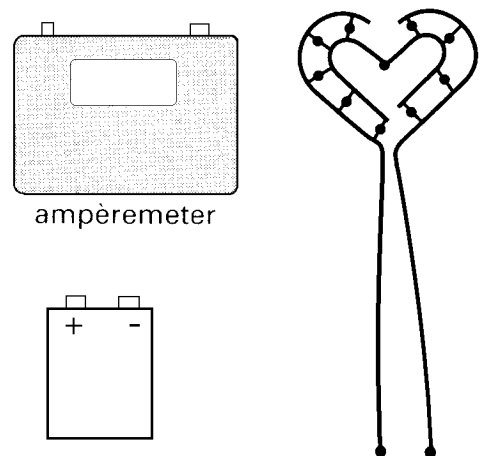
De negen lampjes in de omtrek van het hart zijn identiek. Het lampje in het midden van het hart is anders. Het valentijnshart kan worden vastgeklikt op een batterij die tevens dienst doet als voetstuk voor het hart.

Tineke wil het hart onderzoeken. Ze meet met een spanningsmeter de spanning tussen de punten A en B, B en C en tussen C en D. De resultaten van haar metingen zijn:
 $U_{AB} = 3,0 \text{ V}$, $U_{BC} = 1,5 \text{ V}$, $U_{CD} = 4,0 \text{ V}$

- a.
Bereken de spanning tussen de polen van de batterij.

Tineke wil de stroom meten die de batterij levert als het valentijnshart brandt. In de figuur hiernaast zijn het valentijnshart, de batterij en de stroommeter schematisch weergegeven.

- b.
Teken in deze figuur de verbindingsdraden die nodig zijn om deze stroomsterkte te meten.



Tineke meet dat de batterij een stroomsterkte levert van 225 mA.

c.

Bereken bij deze stroomsterkte het elektrisch vermogen van lampje 10.

d.

Vul op de onderstaande open plekken "groter" of "kleiner" in.

De stroomsterkte door lampje 1 is _____ dan de stroomsterkte door lampje 10.

De spanning over lampje 1 is _____ dan de spanning over lampje 10.

De weerstand van lampje 1 is dus _____ dan de weerstand van lampje 10.

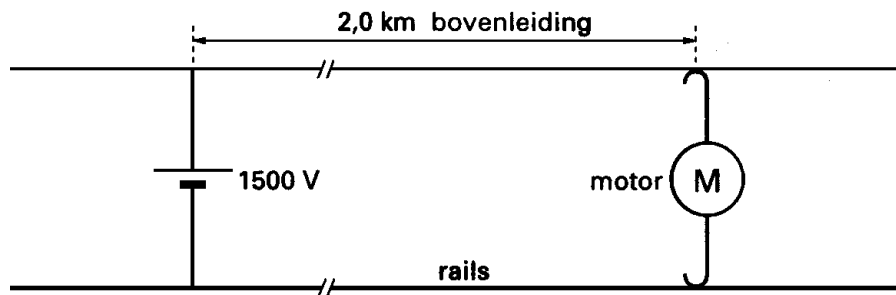
Tineke maakt de lampjes 1, 2, 3, 4 en 6, 7, 8 los. Daardoor ontstaat er een serieschakeling van de lampjes 5, 10 en 9.

e.

Leg met behulp van de vervangingsweerstand van de schakeling uit of lampje 10 nu feller of minder fel brandt.

Naar 25 kV (uit HAVO-examen 1996 tijdvak 2)

De motoren van elektrische treinen in Nederland krijgen hun stroom via een koperen bovenleiding. De weerstand van 2,0 km bovenleiding is $0,068 \Omega$. In de onderstaande figuur is een schakeling getekend die de stroomvoorziening vereenvoudigd weergeeft.



De spanningsbron levert 1500 V. Op een bepaald moment is de stroom door de motor van de trein 4,00 kA. De weerstand van de rails en van de toe- en afvoerdraden van de motor zijn te verwaarlozen ten opzichte van die van de bovenleiding. De trein bevindt zich op 2,0 km van de spanningsbron.

a.

Bereken de spanning over de motor.

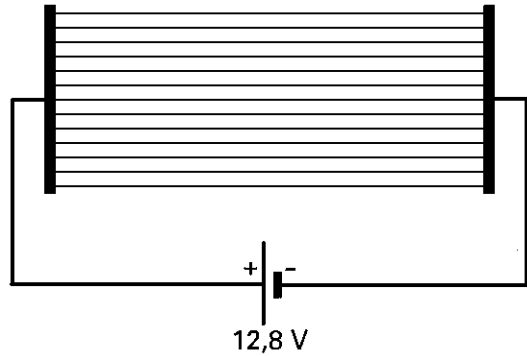
De Nederlandse Spoorwegen wil in de toekomst overschakelen op een bovenleidingsspanning van 25 kV. Wanneer de motor van een toekomstige trein hetzelfde vermogen afneemt en men dezelfde bovenleiding blijft gebruiken, is het energieverlies in de bovenleiding minder.

b.

Leg dat stapsgewijs uit.

Achterrautverwarming (uit HAVO-examen 2006 tijdvak 2)

De meeste auto's hebben een achterrautverwarming zoals in de figuur hiernaast schematisch is getekend. Een aantal parallel geschakelde dunne draden in de achterraut zijn verbonden met de accu.



Het vermogen van de achterrautverwarming van een bepaalde auto is 180 W.

Op de achterraut heeft zich een laagje ijs gevormd. Voor het smelten van dit ijs is $74 \cdot 10^3$ J nodig.

a.

Bereken hoe lang het minimaal duurt om dit ijs te laten smelten.

De achterrautverwarming bestaat uit dertien draden. De weerstand van de kabels die de achterrautverwarming met de accu verbinden, is te verwaarlozen. De spanning tussen de polen van de accu is 12,8 V.

b.

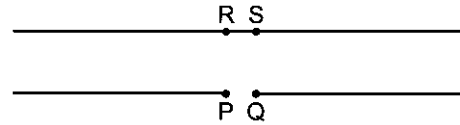
Bereken de weerstand van één verwarmingsdraad.

Een van de verwarmingsdraden is doorgebrand.

c.

Leg uit of de stroom die de accu dan aan de achterrautverwarming levert kleiner of groter is dan ervoor of even groot blijft.

In de figuur hiernaast zijn een deel van de kapotte draad en een deel van de draad die erboven ligt, vergroot weergegeven. De uiteinden P en Q van de kapotte draden liggen op korte afstand van elkaar (een paar mm).



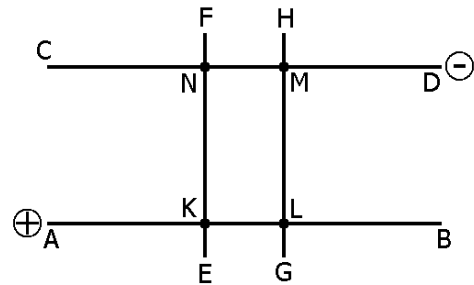
d.

Wat kun je zeggen van de spanning tussen de punten P en Q en van de spanning tussen de punten R en S? Zet daartoe in de tabel hiernaast op de juiste plaatsen een kruisje.

	(vrijwel) 0 V	(vrijwel) 12,8 V
U_{PQ}		
U_{RS}		

Weerstandsdraad (uit HAVO-examen 1989 tijdvak 2)

We knippen een stuk blanke metaaldraad, dat wil zeggen een draad zonder isolatie, in vier stukken: twee stukken van 50 cm en twee stukken van 30 cm lengte. Een stuk van 50 cm heeft een weerstand van $5,0 \Omega$. De vier stukken worden nu aan elkaar gesoldeerd zoals in de figuur hiernaast is weergegeven. Onder de figuur staan de van belang zijnde afstanden.



$$AB = CD = 50 \text{ cm}$$

$$EF = GH = 30 \text{ cm}$$

$$AK = LB = CN = MD = KN = LM = 20 \text{ cm}$$

We verbinden punt A met de positieve pool en punt D met de negatieve pool van een gelijkspanningsbron. Deze bron levert een spanning van $1,5 \text{ V}$.

a.

Teken hieronder het schakelschema. Geef in dit schema aan: de spanningsbron, de weerstanden waar een stroom doorheen loopt en de punten A, K, L, M, N en D.

b.

Bereken de stroomsterkte die de spanningsbron levert.

c.

Bereken de spanning tussen de punten C en D in de figuur.