

1 Elektriciteit

Elektrische schakelingen en energiegebruik | vwo



Uitwerkingen opgaven leerboek

1.1 INTRODUCTIE

Opgave 1

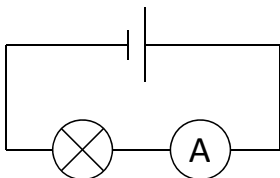
- a Niet waar: Elektronen zijn negatief geladen en stoten andere elektronen af.
- b Waar
- c Niet waar: De eenheid van stroomsterkte is ampère.
- d Waar

Opgave 2

- Het lampje geeft licht in situatie **C**.
- Er is sprake van een elektrische stroom in situatie **C**.
- Er is sprake van een spanning in situaties **A, B en C**.

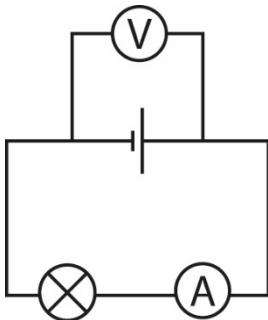
Opgave 3

a



- b Het maakt bij een lamp niet uit vanaf welke kant de stroom komt, dus als je de spanningsbron omdraait brandt de lamp ook.

c



1.2 ENERGIE EN VERMOGEN

Opgave 4

- a Waar
- b Niet waar: Apparaten met een hoog energieverbruik per jaar hebben een hoog vermogen en/of ze staan heel lang aan.
- c Niet waar: Een windmolen zet een deel van de bewegingsenergie om in elektrische energie.
- d Niet waar: Een 25 W ledlamp geeft meer licht dan een 60 W gloeilamp (omdat het rendement meer dan $2,4 \times$ zo groot is).
- e Niet waar: Een apparaat dat veel elektrische energie gebruikt heeft een hoog vermogen of staat lang aan.

Opgave 5

Een jacuzzi wordt maar weinig gebruikt, een tv staat vele uren aan.



Opgave 6

- a In 10 minuten verbruikt de televisie $150 \times 600 = 9,0 \cdot 10^4 \text{ J} = 90 \text{ kJ}$.
 b In drie uur verbruikt de televisie $0,15 \times 3 = 0,45 \text{ kWh}$.

Opgave 7

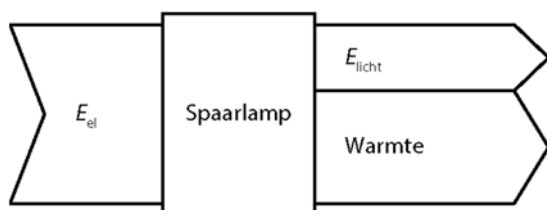
- a De autolamp verbruikt per seconde meer energie.
 b Vermogen is de energie die een apparaat per seconde gebruikt.

Opgave 8

Gloeilampen worden vervangen door spaarlampen, want spaarlampen hebben een *lager vermogen* terwijl ze evenveel licht produceren.
 Dat komt doordat spaarlampen een hoger rendement hebben.

Opgave 9

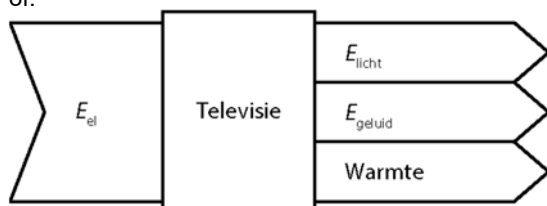
a



b Bijvoorbeeld:



of:



Opgave 10

Eigen antwoord.

Opgave 11

- a $P = \frac{E}{t} = \frac{30 \cdot 10^3}{1,0 \times 3600} = 8,3 \text{ W}$
 b In 2,0 uur zal de lamp $2,0 \times 30 = 60 \text{ kJ}$ gebruiken.
 c 30 kJ wordt gebruikt in 1,0 uur dus $0,30 \text{ MJ} = 300 \text{ kJ}$ wordt in 10 uur gebruikt.

Opgave 12

- a Lamp A brandt het kortst op 1,0 kWh en heeft het grootste vermogen. Lamp B kan $2,5 \times$ langer branden op 1,0 kWh, dus het vermogen van lamp A is $2,5 \times$ zo groot als dat van lamp B.
 b Nee, je weet alleen hoeveel energie erin gaat, niet hoeveel nuttige (licht)energie eruit komt.



Opgave 13

a De helft van de gebruikte energie wordt omgezet in licht, dus het rendement is 50%.

b $P_{el} = \frac{E_{el}}{t} = \frac{180}{60} = 3,0 \text{ W}$

c $P_{nut} = \frac{E_{nut}}{t} = \frac{90}{60} = 1,5 \text{ W}$

Opgave 14

a $E = P \cdot t = 0,0080 \times 5000 = 40 \text{ kWh}$

$E = P \cdot t = 8,0 \times 5000 \times 3600 = 1,4 \cdot 10^8 \text{ J}$

b $E = P \cdot t = 0,0080 \times 5,0 \times 365 = 14,6 = 15 \text{ kWh} \rightarrow \text{kosten: } 14,6 \times \text{€ } 0,23 = \text{€ } 3,36$

c Het energiegebruik is vijf keer zo groot, dus zullen de kosten per jaar voor de gloeilamp ook vijf keer zo hoog zijn:
 $14,6 \times \text{€ } 0,23 \times 5 = \text{€ } 16,79$. De gloeilamp kost dus € 13,43 meer per jaar.

Opgave 15

$P_{tot} = 7,5 + 6,8 + 3,3 + 2,9 + 1,7 = 22,2 \text{ W} = 0,0222 \text{ kW} \rightarrow E = P \cdot t = 0,0222 \times 24 = 0,533 \text{ kWh}$

De kosten per dag zijn: $0,533 \times \text{€ } 0,23 = \text{€ } 0,12$.

Opgave 16

a $820 \text{ MW} = 820 \text{ duizend kW} = 820 \text{ miljoen W}$

b Per seconde wordt 820 MJ elektriciteit geleverd uit steenkool, waarbij het rendement 40% is. Dus is 40% van de geproduceerde warmte gelijk aan 820 MJ. De warmte die geproduceerd wordt door verbranding van de steenkool is dus $\frac{820}{0,40} = 2,1 \cdot 10^3 \text{ MJ} = 2,1 \text{ GJ}$ per seconde.

Opgave 17

a De wasmachine zal niet de hele tijd het maximale vermogen omzetten. Dit zal alleen gebeuren bij het verwarmen van het water. De rest van de tijd is het vermogen lager, dus is het gemiddelde vermogen tijdens het hele wasprogramma lager dan het maximale vermogen.

b $E = P_{gem} \cdot t = 2,1 \times \frac{100}{60} = 3,5 \text{ kWh} \rightarrow \text{kosten: } 3,5 \times \text{€ } 0,23 = \text{€ } 0,81$

Opgave 18

a De gloeilamp wordt erg heet en kun je niet aanraken, de spaarlamp kun je wel aanraken als hij brandt.

b Het rendement gaat van 5% naar 50% dus met een factor 10 omhoog. Als de nuttige energie (E_{nuttig}) gelijk blijft gaat de gebruikte energie (E_{in}) met een factor 10 omlaag ($\eta = \frac{E_{nuttig}}{E_{in}}$).

Het energiegebruik wordt: $\frac{2,0}{10} = 0,2 \text{ GJ}$ dus de besparing is $2,0 - 0,2 = 1,8 \text{ GJ}$.

c De lampen verwarmen ook de kamer. Als de gloeilampen vervangen worden door ledlampen, wordt het huis minder verwarmd door de lampen en is er dus meer energie nodig voor de verwarming van het huis in de winter.

1.3 SPANNING EN STROOMSTERKTE

Opgave 19

a Waar

b Waar

c Waar

d Waar

e Niet waar: Voor hetzelfde vermogen gaat er door een apparaat dat werkt op een lage spanning, bijvoorbeeld 12 V, een grotere stroomsterkte.

f Waar



Opgave 20

- a Er loopt alleen stroom als een spanningsbron elektronen kan rondpompen, dus als de kring gesloten is en een spanningsbron bevat.
- b De vrije elektronen bewegen van de minpool naar de pluspool.
- c De elektrische stroom loopt van de pluspool naar de minpool.
- d Als de spanning groter wordt gemaakt, krijgt elk vrij elektron bij de bron meer energie en geeft meer energie af in het apparaat.
- e Als de stroomsterkte groter wordt, stromen er per seconde meer vrije elektronen door het apparaat.

Opgave 21

Stopcontact en dynamo.

Opgave 22

- a In het verwarmingselement geeft elk elektron de meeste energie af, want dit werkt op de grootste spanning.
- b Het vermogen is even groot, dus door het apparaat met de kleinste spanning gaat de grootste stroomsterkte. Door de achtruitverwarming stromen per seconde de meeste elektronen.
- c In beide apparaten wordt evenveel energie per seconde omgezet, want het vermogen is even groot.

Opgave 23

A is niet waar (zie antwoord bij B).

B is waar, in een stroomkring is de stroomsterkte overal even groot.

C is dus ook niet waar.

D is niet waar, want in een gesloten stroomkring met een spanningsbron loopt altijd een elektrische stroom.

Opgave 24

- a In zuiver water zitten geen ionen of vrije elektronen. Deze zijn nodig om de stroom te geleiden.
- b Door ionen toe te voegen aan het water zal het water wel stroom geleiden. Dit kan bijvoorbeeld door er wat keukenzout in op te lossen.

Opgave 25

- a De totale lading Q die door het lampje is gestroomd, is evenredig met de stroomsterkte I en met de tijd t .
- b De totale lading Q is dus te berekenen met $Q = I \cdot t$.
- c De energie E is evenredig met de spanning U , met de stroomsterkte I en met de tijd t .
- d De energie E is dus te berekenen met $E = U \cdot I \cdot t$.

Opgave 26

Eigen antwoord.

Opgave 27

$12 \text{ V} = 12 \text{ joule per coulomb}$, $3,0 \text{ A} = 3,0 \text{ coulomb per seconde}$.

Dus is het vermogen van de accu: $12 \text{ J/C} \times 3 \text{ C/s} = 36 \text{ J/s}$ of $P = U \cdot I = 12 \times 3,0 = 36 \text{ W}$.

Opgave 28

- a $U = \frac{P}{I} = \frac{55}{4,6} = 12 \text{ V}$
- b $4,6 \text{ A} = 4,6 \text{ C/s}$ en $Q_{\text{elektron}} = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$. Per seconde stromen $\frac{4,6}{1,60 \cdot 10^{-19}} = 2,9 \cdot 10^{19}$ elektronen door de lamp.
- c $I = \frac{P}{U} = \frac{55}{230} = 0,24 \text{ A}$

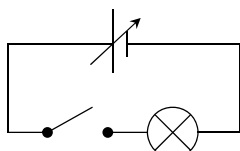


Opgave 29

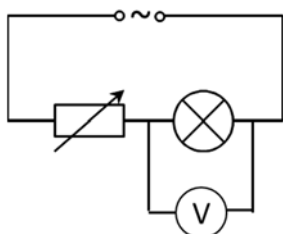
De draden zitten vol met vrije elektronen. Als de schakelaar wordt omgezet, is de kring gesloten en stoten de elektronen bij de bron de vrije elektronen in de draad af, die hun 'buren' afstoten, enzovoort. Zo schuiven alle elektronen door. In de lamp bewegen de vrije elektronen daardoor meteen, waardoor de lamp onmiddellijk licht geeft.

Opgave 30

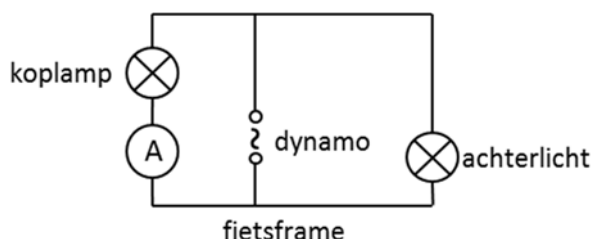
a



b



c



Opgave 31

- a Alleen bij schakeling E brandt het lampje. De draden zijn daar goed aangesloten, zodat de stroomkring via de gloeidraad in het lampje gesloten is (en niet via het glas, dat geleidt de stroom niet).
- b In de schakelingen A en E levert de batterij een stroom, omdat daar een gesloten stroomkring met daarin ook de batterij is.
- c Bij schakeling A wordt kortsluiting gemaakt, bij schakeling E gaat de stroom door het lampje. Bij schakeling A is de batterij dus snel leeg.

Opgave 32

- a $Q = I \cdot t = 0,15 \times 90 \times 60 = 8,1 \cdot 10^2 \text{ C}$
- b $P = U \cdot I = 230 \times 0,15 = 34,5 \text{ W} = 35 \text{ W}$
- c Elke dag 90 minuten = 1,5 uur opladen, dat is een jaarlijks energiegebruik van $E = P \cdot t = 0,0345 \times 1,5 \times 365 = 18,9 \text{ kWh}$. Dat kost $18,9 \times € 0,23 = € 4,34$.

Opgave 33

- a $I = \frac{Q}{t} = \frac{0,64}{0,010} = 64 \text{ A}$
- b $E = P \cdot t = U \cdot I \cdot t = 80 \cdot 10^6 \times 64 \times 0,010 = 5,1 \cdot 10^7 \text{ J} = 51 \text{ MJ}$
- c $P = U \cdot I = 80 \cdot 10^6 \times 64 = 5,1 \cdot 10^9 \text{ W} = 5,1 \text{ GW}$



Opgave 34

- a 2100 mAh is het product van *stroomsterkte* keer *tijd*.
- b $\frac{2100}{150} = 14,0$ uur

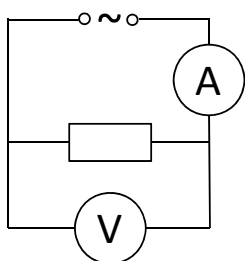
1.4 WEERSTAND EN GELEIDBAARHEID

Opgave 35

- a Waar
- b Waar
- c Waar
- d Waar
- e Niet waar: Bij een NTC wordt de weerstand kleiner als de temperatuur stijgt.
- f Waar
- g Waar
- h Waar
- i Waar
- j Niet waar: Als het aantal vrije elektronen in een halfgeleider toeneemt, wordt de weerstand kleiner.
- k Waar

Opgave 36

- a Een apparaat met een grote stroomsterkte heeft het grootste vermogen.
- b Een apparaat met een kleine stroomsterkte heeft de grootste weerstand.
- c Sluit het apparaat aan op de spanningsbron. Neem een ampèremeter op in de stroomkring en sluit een voltmeter aan, parallel aan het apparaat. Meet de spanning en de stroomsterkte en bereken de weerstand door de spanning te delen door de stroomsterkte.



Opgave 37

- a Het verwarmingselement van de broodrooster heeft de grootste weerstand, want daar is de stroomsterkte kleiner, omdat het vermogen kleiner is.
- b Bij gelijke lengte is de draad van de waterkoker het dikst, want daar gaat de grootste stroom doorheen.
- c Bij gelijke dikte is de draad van de broodrooster het langst, want een langere (even dikke) draad heeft een grotere weerstand (en dus gaat daar een kleinere stroom doorheen).

Opgave 38

- a Direct na het inschakelen is de weerstand iets kleiner dan normaal, want dan is de stroomsterkte iets groter, maar de spanning is constant.
- b Direct na het inschakelen is de gloeidraad nog koud, waardoor de weerstand iets kleiner is en de stroomsterkte dus iets groter dan bij normaal branden. Vervolgens stijgt de temperatuur van de draad, waardoor de weerstand toeneemt en de stroomsterkte afneemt.



Opgave 39

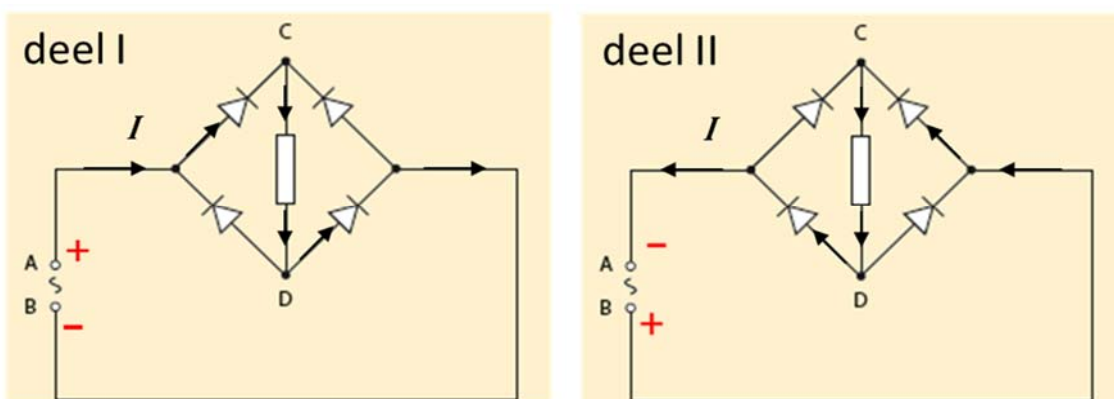
- a Het aantal vrije elektronen wordt groter als er meer licht op de LDR valt.
- b De weerstand wordt dan kleiner.
- c (NTC staat voor Negatieve Temperatuur Coëfficiënt, dat wil zeggen dat de weerstand afneemt met de temperatuur)
Het aantal vrije elektronen wordt dus groter als de temperatuur van een NTC stijgt.
- d De weerstand wordt dan kleiner.

Opgave 40

- a De spanning die nodig is om een diode te laten geleiden, is de spanning waarbij de stroomsterkte ineens heel veel toeneemt vanaf nul (in het I, U -diagram loopt de lijn daar vrijwel verticaal).
- b Schakeling A: De lange kant van de gelijkspanningsbron is de pluspool. Als er stroom loopt, is dat van plus naar min, dus van links naar rechts door de diode. Maar dat is tegen de voorwaartse stroomrichting van de diode in. Er loopt dus geen stroom en de lamp zal niet branden.
Schakeling B: Het is een wisselspanningsbron. De spanning is dus afwisselend in de voorwaartse en in de tegenwaartse richting van de diode aangesloten. Alleen in die helft van de tijd dat de spanning in de voorwaartse richting positief is, loopt er stroom. De lamp brandt daardoor minder fel. (N.B.: de lamp zendt licht uit doordat de gloeidraad heet is. De frequentie van een wisselspanning is zo hoog dat de temperatuur maar weinig daalt in de periode dat er geen stroom loopt. De lamp knippert niet zichtbaar voor het blote oog (maar je ziet het wel als je het met een snelle lichtsensor meet en registreert)).
Schakeling C: Nu zal de (wissel)stroom afwisselend door de bovenste diode en door de onderste diode lopen. De lamp zal fel branden.
- c De batterij levert gelijkspanning dus moet je erop letten dat hij in de voorwaartse richting op de led is aangesloten.
- d Bij aansluiting op een dynamo is er een wisselspanning. De led in de fietslamp zal dan afwisselend aan en uit gaan en maar de helft van de tijd licht geven. Bij fietsen met normale snelheid is de frequentie is zo hoog dat je het knipperen niet ziet).
- e Bij gebruik van een graetzschakeling loopt er aldoor stroom door de led, doordat hij voortdurend goed is aangesloten via de graetzschakeling. Dus zal de moderne fietslamp meer licht geven met dan zonder graetzschakeling.

Opgave 41

- a De stroom loopt door diode 1 en 3.
- b De stroom loopt door diode 2 en 4.
- c



- d Zowel bij een positieve als een negatieve spanning van punt A ten opzichte van punt B loopt er een stroom van boven naar beneden door de weerstand. Punt C heeft dus altijd een positieve spanning ten opzichte van punt D en de spanning U_{CD} is nooit kleiner dan nul.

Opgave 42

Eigen antwoord.



Opgave 43

- a Als de spanning over een ohmse weerstand drie keer zo groot wordt, wordt de stroomsterkte *ook drie keer zo groot*.
- b Het I, U -diagram van een ohmse weerstand is een rechte lijn door de oorsprong.
- c Als de geleidbaarheid drie keer zo groot is, dan is de lijn in het I, U -diagram drie keer zo steil.

Opgave 44

- a $R = \frac{U}{I} = \frac{6,0}{0,12} = 50 \, \Omega$ en $G = \frac{I}{U} = \frac{1}{R} = \frac{1}{50} = 0,020 \, \text{S}$
- b $I = G \cdot U = 0,020 \times 10,0 = 0,20 \, \text{A}$
- c $U = I \cdot R = 0,17 \times 50 = 8,5 \, \text{V}$

Opgave 45

- a Het broodrooster heeft de grootste weerstand, want hierdoor gaat de kleinste stroom.
- b $P = U \cdot I \rightarrow I = \frac{P}{U} = \frac{1,5 \cdot 10^3}{230} = 6,52 \, \text{A} \rightarrow R = \frac{U}{I} = \frac{230}{6,52} = 35,3 = 35 \, \Omega$
- c Het vermogen van het broodrooster is drie keer zo klein, dus is de stroomsterkte drie keer zo klein en de weerstand drie keer zo groot: $3 \times 35,3 = 106 \, \Omega$.

Opgave 46

- a $G = \frac{I}{U} = \frac{0,050}{6,0} = 0,0082 \, \text{S} = 8,3 \, \text{mS}$
- b De stroomsterkte door de koplamp is tien keer zo groot als door de achterlamp, dus is de geleidbaarheid ook tien keer zo groot: $83 \, \text{mS}$.
- c $I_{\text{tot}} = I_{\text{koplamp}} + I_{\text{achterlicht}} = 0,50 + 0,050 = 0,55 \, \text{A} \rightarrow P = U \cdot I = 6,0 \times 0,55 = 3,3 \, \text{W}$

Opgave 47

- a Beweringen **A** en **C** zijn juist.
- b De weerstand van draad 2 is groter en de lengte is kleiner. Met $\rho = \frac{R \cdot A}{l}$ zie je dat de soortelijke weerstand dan groter is.
- c De weerstand van draad 2 is twee keer zo groot (want de lijn in het I, U -diagram van draad 1 is twee keer zo steil) en de lengte is twee keer zo klein. Met $\rho = \frac{R \cdot A}{l}$ zie je dat de soortelijke weerstand dan vier keer zo groot is.

Opgave 48

- a **C**, want de gloeidraad was eerst niet zo heet en nu wel, waardoor de weerstand (iets) groter is geworden.
- b **A**, als de weerstand niet verandert en de spanning twee keer zo groot wordt, wordt de stroomsterkte ook twee keer zo groot en het vermogen vier keer zo groot. De weerstand wordt wel iets groter en de stroomsterkte iets minder dan twee keer zo groot en dus wordt het vermogen meer dan twee keer zo groot (maar minder dan vier keer zo groot).

Opgave 49

- a De oppervlakte van de doorsnede is twee keer zo groot geworden.
- b De weerstand is kleiner geworden, want de draad is korter en dikker geworden.
- c De oppervlakte van de doorsnede is twee keer zo groot en de lengte is twee keer zo klein, dus is de weerstand vier keer zo klein.

Opgave 50

- a $l = 0,80 \, \text{m}$, $A = 1,5 \cdot 10^{-6} \, \text{m}^2$ en $R = 9,1 \cdot 10^{-3} \, \Omega \rightarrow \rho = R \cdot \frac{A}{l} = 9,1 \cdot 10^{-3} \times \frac{1,5 \cdot 10^{-6}}{0,80} = 1,7 \cdot 10^{-8} \, \Omega \cdot \text{m}$
- b Vergelijk met de tabel in figuur 33: het is koper.



Opgave 51

- a $I = \frac{P}{U} = \frac{1200}{230} = 5,22 \text{ A}$
- b $R = \frac{U}{I} = \frac{230}{5,22} = 44,1 \Omega$
- c De soortelijke weerstand ρ van roestvrijstaal is $0,72 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$.
 $A = \rho \cdot \frac{l}{R} = 0,72 \cdot 10^{-6} \times \frac{0,124}{44,1} = 2,03 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2$
 $A = \pi \cdot r^2 \rightarrow r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{2,03 \cdot 10^{-9}}{\pi}} = 2,54 \cdot 10^{-5} \text{ m}$
 $d = 2 \cdot r = 2 \times 2,54 \cdot 10^{-5} = 5,08 \cdot 10^{-5} \text{ m} = 0,051 \text{ mm}$

1.5 SCHAKELINGEN IN HUIS

Opgave 52

- a Niet waar: Als je thuis meer lampen aan doet, blijft de stroom door elke lamp gelijk.
- b Waar
- c Niet waar: Elke groep in huis heeft een eigen zekering. In elke groep zijn meerdere stopcontacten parallel aangesloten.
- d Niet waar: In een *parallelschakeling* wordt de stroom verdeeld over alle apparaten. In een serieschakeling wordt de spanning verdeeld over de aangesloten apparaten.
- e Waar
- f Waar
- g Niet waar: Een aardlekschakelaar beveiligd tegen stroom door je lichaam.
- h Niet waar: Een zekering beveiligd tegen brand in huis.
- i Waar

Opgave 53

Bewering **A** is waar.

Opgave 54

- a De lampjes branden *even fel* als eerst, want over elk lampje staat dezelfde spanning van de bron.
- b Door de spanningsbron gaat nu een grotere stroom.
- c De geleidbaarheid van de schakeling is groter geworden (en de weerstand kleiner).

Opgave 55

- a De spanning wordt nu verdeeld over drie lampjes in plaats van twee. De spanning over elk lampje wordt dus kleiner. De lampjes branden daardoor *minder fel*.
- b De spanning van de bron moet bij drie lampjes in serie groter zijn dan bij één lampje, want de totale weerstand is met drie lampjes in serie drie keer zo groot en de stroomsterkte is even groot.
- c De spanning moet *anderhalf keer zo groot* worden bij drie lampjes.
- d Als de lampjes alle drie normaal branden, is de stroomsterkte *even groot* als door één lampje dat normaal brandt.
- e De weerstand van de schakeling is groter geworden (en de geleidbaarheid kleiner).
- f Er is sprake van spanningsdeling bij deze schakeling.

Opgave 56

- a Schakeling B (van figuur 46) is minder goed. Als de schakelaar gesloten wordt, krijg je een kortsluitstroom door de schakelaar. De weerstand is daar dan zo laag dat er nauwelijks nog stroom door het lampje gaat.
- b Door de kortsluitstroom zal de batterij heel snel leeg zijn. Bovendien wordt de batterij heet.



Opgave 57

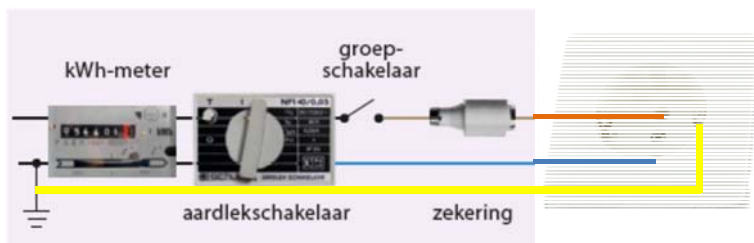
- a Als de stroom van de spanningsdraad via jou naar de nuldraad loopt, zal er geen verschil zijn tussen de stroom die het huis ingaat en de stroom die het huis uitgaat. De aardlekschakelaar schakelt de stroom dan ook niet uit.
- b In de eerste situatie loopt de stroom alleen door je hand. Maar als je met één hand de spanningsdraad aanraakt en met de andere hand de nuldraad, zal de stroom door je lichaam lopen en ook door je hart kunnen gaan en dat is dodelijk.

Opgave 58

- a De zekering beveiligt tegen brand die kan ontstaan als de stroomsterkte door de aansluitdraden van de groep te groot wordt.
- b De aardlekschakelaar beveiligt tegen stroom door je lichaam. Er 'lekt' dan stroom via jouw lichaam naar de aarde in plaats van dat de stroom terug naar de meterkast loopt.
- c De aardlekschakelaar vergelijkt de grootte van de stroom die het huis ingaat met de grootte van de stroom die het huis uitgaat. Als het verschil tussen ingaande en uitgaande stroom groter is dan 30 mA, schakelt de aardlekschakelaar de stroom uit.

Opgave 59

- a Als de metalen buitenkant 'onder stroom' komt te staan, wil dat zeggen dat er elektrisch contact ontstaat met de bruine spanningsdraad in de wasmachine. In dat geval zal er via de derde (gele) draad stroom weglekken naar de aarde. De aardlekschakelaar merkt dan een verschil tussen ingaande en uitgaande stroom en schakelt de hele groep uit.
- b Rondom de koffiekan op de warmhoudplaat van een koffiezetapparaat kan nog wel eens wat water staan. Als daar wat water naar binnen lekt, kan de spanningsdraad in het koffiezetapparaat via dat water contact maken met de aarddraad en lekt er stroom naar de aarde. Hierop reageert de aardlekschakelaar door de hele groep uit te schakelen.



Opgave 60

- a In een parallelschakeling geldt: $I_{\text{tot}} = I_1 + I_2$.
- b Vul in dat $I = G \cdot U \rightarrow G_{\text{tot}} \cdot U_{\text{tot}} = G_1 \cdot U_1 + G_2 \cdot U_2$ en met $U_{\text{tot}} = U_1 = U_2 = U$ geeft dat:
 $G_{\text{tot}} \cdot U = G_1 \cdot U + G_2 \cdot U = (G_1 + G_2) \cdot U$ dus $G_{\text{tot}} = G_1 + G_2$.
- c In een serieschakeling geldt: $U_{\text{tot}} = U_1 + U_2$.
- d Vul in dat $U = I \cdot R \rightarrow I_{\text{tot}} \cdot R_{\text{tot}} = I_1 \cdot R_1 + I_2 \cdot R_2$ met $I_{\text{tot}} = I_1 = I_2 = I$ geeft dat:
 $I \cdot R_{\text{tot}} = I \cdot R_1 + I \cdot R_2 = I \cdot (R_1 + R_2)$ dus $R_{\text{tot}} = R_1 + R_2$.

Opgave 61

Eigen antwoord.

Opgave 62

- a Als één lamp in een parallelschakeling doorbrandt, verandert de stroomsterkte door de andere lampen niet.
- b Als er meer lampen aan de parallelschakeling worden toegevoegd, verandert de lichtsterkte van elke lamp niet. Dan moet wel de spanning over de parallelschakeling gelijk blijven.
- c In een parallelschakeling is de spanning over alle lampen gelijk. Over de andere lampen staat dus ook 6 V.
- d Als de weerstand tweemaal zo groot is, zal de stroomsterkte tweemaal zo klein zijn. De stroomsterkte door de andere lamp is dus 1 A. De stroomsterkte die de spanningsbron levert is 2 A + 1 A = 3 A.

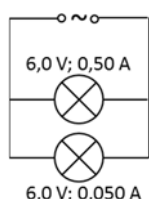


Opgave 63

- a Als één lamp in een serieschakeling doorbrandt, is de stroomkring verbroken en loopt er door de andere lampen ook geen stroom meer.
- b Als er meer lampen worden toegevoegd aan een serieschakeling, neemt de lichtsterkte van elke lamp af doordat de totale spanning over meer lampjes verdeeld wordt.
- c In een serieschakeling is de stroomsterkte door alle lampen gelijk. De stroomsterkte door de andere lamp is ook 1 A.
- d De twee lampen delen samen de spanning van 6 V. Als over de ene lamp een spanning van 2 V staat, zal er over de andere lamp een spanning van $6\text{ V} - 2\text{ V} = 4\text{ V}$ staan.

Opgave 64

- a Het is een parallelschakeling, want over beide lampjes staat dezelfde spanning terwijl de stroomsterkte verschilt.



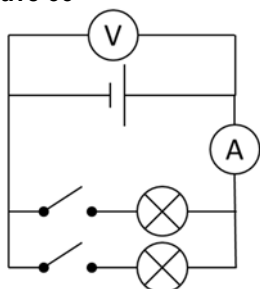
- b $I_{\text{tot}} = I_{\text{voor}} + I_{\text{achter}} = 0,50 + 0,050 = 0,55\text{ A}$
- c $G_{\text{tot}} = \frac{I_{\text{tot}}}{U} = \frac{0,55}{6,0} = 0,092\text{ S} = 92\text{ mS}$
- d In een serieschakeling gaat door beide lampjes dezelfde stroomsterkte. Door beide lampjes kan dus nooit tegelijk de goede stroomsterkte lopen.
- e De spanning wordt vergroot totdat het achterlampje goed brandt, dat is zo als de stroomsterkte 0,050 A is. Door de koplamp gaat dan nog maar 10% van de vereiste stroomsterkte en dus brandt hij nog lang niet 'normaal'. Bij verder vergroten van de spanning zal het achterlampje stuk gaan, voordat de koplamp 'normaal' brandt.
- f Zodra de achterlamp 'normaal' brandt is de stroomsterkte 0,050 A en de spanning over de lamp 6,0 V. Door de koplamp gaat dan een $10 \times$ zo kleine stroom als vereist voor 'normaal' branden, dus is de spanning over de koplamp 0,60 V in plaats van 6,0 V. De spanning van de bron is dan: $U_{\text{tot}} = U_{\text{voor}} + U_{\text{achter}} = 0,60 + 6,0 = 6,6\text{ V}$.

Opgave 65

- a Het is een serieschakeling, dus wordt de spanning van 230 V gedeeld over de 50 lampjes $\rightarrow U_{\text{lampje}} = \frac{230}{50} = 4,6\text{ V}$
- b $P_{\text{lampje}} = U_{\text{lampje}} \cdot I_{\text{lampje}} = 4,6 \times 0,20 = 0,92\text{ W}$
- c Bij het doorbranden van een gloeidraadje is de stroomkring ter plaatse van het draadje onderbroken. Er loopt dan geen stroom en alle spanning staat over de twee toevoerdradjes in dat lampje. Deze hoge spanning veroorzaakt een vonkje waarbij zoveel warmte vrijkomt dat de draadjes aan elkaar smelten.
- d $R_{\text{lampje}} = \frac{U_{\text{lampje}}}{I_{\text{lampje}}} = \frac{4,6}{0,20} = 23\ \Omega$
 Als $I_{\text{lampje}} = 0,28\text{ A}$ dan is: $U_{\text{lampje}} = I_{\text{lampje}} \cdot R_{\text{lampje}} = 0,28 \times 23 = 6,44\text{ V}$
 Het aantal brandende lampjes in het snoer is dan $\frac{230}{6,44} = 36$. Het snoer heeft 50 lampjes dus er zijn 14 lampjes stuk gegaan.



Opgave 66



Opgave 67

- Er loopt nu ook stroom door lampje 3, dus de stroom door lampje 1 wordt groter, waardoor het lampje feller gaat branden.
- De spanning over lampje 1 wordt groter, doordat er meer stroom door loopt. Dan blijft er minder spanning over voor lampje 2 (en 3) en zal lampje 2 minder fel branden.
- De stroom door lampje 1 is toegenomen dus ook de stroomsterkte door de spanningsbron. (Je kunt ook zeggen dat de geleidbaarheid van de totale schakeling is toegenomen, waardoor de stroomsterkte door de spanningsbron is toegenomen.)

Opgave 68

- De spanning over de spanningsbron wordt negatief genomen.
- Door de spanning over de spanningsbron met een minteken op te schrijven krijg je:

$$U_1 + U_2 - U_{\text{bron}} = 0 \rightarrow U_{\text{bron}} = U_1 + U_2$$
- I_1 is hier negatief, want deze beweegt van het knooppunt af.
- Door voor punt B I_1 met een minteken op te schrijven krijg je:

$$-I_1 + I_2 + I_3 = 0 \rightarrow I_1 = I_2 + I_3$$
 En voor punt A geldt:

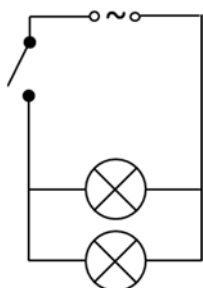
$$I_1 - I_2 - I_3 = 0 \rightarrow I_1 = I_2 + I_3$$

Opgave 69

- De soortelijke weerstand van koper is $17 \cdot 10^{-9} \Omega \cdot \text{m} \rightarrow R = \rho \cdot \frac{l}{A} = 17 \cdot 10^{-9} \times \frac{10}{2,5 \cdot 10^{-6}} = 0,068 \Omega$
- Voor de twee draden geldt: $R_{\text{tot}} = 2 \times 0,068 = 0,136 \Omega$
 Daaruit volgt voor de stroomsterkte: $I = \frac{U}{R_{\text{tot}}} = \frac{230}{0,136} = 1,7 \cdot 10^3 \text{ A} = 1,7 \text{ kA}$

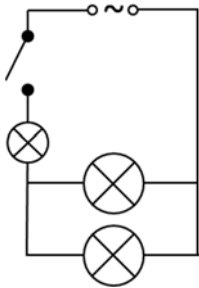
Opgave 70

- De gloeilampen moet je parallel aansluiten op het stopcontact want die hebben allemaal netspanning nodig.





b

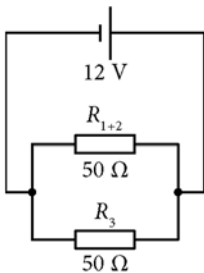


- c Het lampje komt in serie te staan met de spaarlampen. De 230 V netspanning moet dus gedeeld worden met de spaarlampen. Dan is 230 V voor het verklikkerlampje geen goede keuze, want het lampje moet juist op een lage spanning goed branden zodat er voldoende spanning over is voor de spaarlampen. De stroomsterkte door de spaarlampen samen is 0,10 A = 100 mA. Die stroom moet ook door het verklikkerlampje gaan. De juiste keuze is dus **B**: 2,0 V; 100 mA.

Opgave 71

- a Je kunt R_1 en R_2 vervangen door één weerstand: $R_{1+2} = 20 + 30 = 50 \Omega$

b



- c Door elke weerstand van 50Ω gaat een stroomsterkte van $I = \frac{U}{R} = \frac{12}{50} = 0,24 \text{ A}$
- De totale stroomsterkte is dan $2 \times 0,24 = 0,48 \text{ A} \rightarrow R_{\text{tot}} = \frac{U}{I_{\text{tot}}} = \frac{12}{0,48} = 25 \Omega$
- Of met behulp van de geleidbaarheden: $G_{1+2} = G_3 = \frac{1}{50} = 0,020 \text{ S} \rightarrow$
- $G_{\text{tot}} = G_{1+2} + G_3 = 0,020 + 0,020 = 0,040 \text{ S} \rightarrow R_{\text{tot}} = \frac{1}{G_{\text{tot}}} = \frac{1}{0,040} = 25 \Omega$

Opgave 72

- a R_2 is $1,5 \times$ groot als R_1 dus loopt er $1,5 \times$ zo weinig stroom door R_2 : $I_2 = \frac{90}{1,5} = 60 \text{ mA}$
- Berekenen via de spanning over R_1 kan ook: $U_1 = I_1 \cdot R_1 = 0,090 \times 20 = 1,8 \text{ V}$ en omdat R_1 en R_2 parallel geschakeld zijn geldt $U_2 = U_1 = 1,8 \text{ V} \rightarrow I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{1,8}{30} = 0,060 \text{ A} = 60 \text{ mA}$
- b Voor het knooppunt tussen R_3 en R_1 en R_2 luidt de eerste wet van Kirchhoff:
- $\sum I_i = 0 \rightarrow I_1 + I_2 + I_3 = 0 \rightarrow -90 - 60 + I_3 = 0 \rightarrow I_3 = 150 \text{ mA}$
- c Voor de kring bestaande uit de bron, R_3 en R_1 (of: de bron, R_3 en R_2) luidt de tweede wet van Kirchhoff:
- $\sum U_i = 0 \rightarrow U_3 + U_1 + U_{\text{bron}} = 0 \rightarrow I_3 \cdot R_3 + I_1 \cdot R_1 + U_{\text{bron}} = 0 \rightarrow 0,150 \cdot R_3 + 0,090 \times 20 - 9,0 = 0 \rightarrow$
- $0,150 \cdot R_3 = 7,2 \rightarrow R_3 = 48 \Omega$



1.6 VERDIEPING

Opgave 73

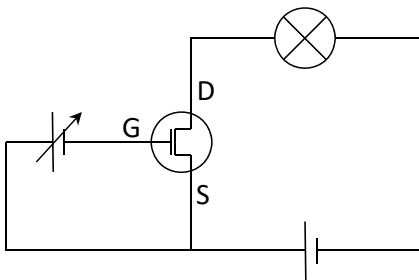
- a De Nissan Leaf wordt opgeladen met elektrische energie die vaak nog door een conventionele elektriciteitscentrale wordt geleverd. De CO₂-uitstoot vindt nu dus niet bij de auto plaats, maar mogelijk nog wel bij de elektriciteitscentrale.
- b $t = \frac{E}{P} = \frac{24 \text{ kWh}}{3,0 \text{ kW}} = 8,0 \text{ h}$
- c De auto's van honderd jaar geleden reden veel minder hard, waardoor er minder energie per km nodig was.

Opgave 74

- a De energie van 1,0 kg waterstof is 120 MJ, dus in 5,6 kg waterstof zit $E = 5,6 \times 120 = 672 \text{ MJ}$. Evenveel energie zit in $\frac{672}{33} = 20 \text{ L}$ benzine.
- b Het rendement van een benzineauto is veel lager dan van een waterstofauto. Als je rekening houdt met dit lagere rendement, zal de benzineauto met de berekende 20 L benzine veel minder ver komen dan de waterstofauto.

Opgave 75

- a Zie figuur (rechter gedeelte), de stroom loopt van de source (S) naar de drain (D).



- b Zie figuur (linker gedeelte).
- c Zie figuur (linker gedeelte).
- d Bij een grote positieve gatespanning (G is dan positief) worden de elektronen uit het silicium het kanaal ingetrokken en kan er een stroom lopen van de source naar de drain. De lamp brandt.
- e Bij een grote negatieve gatespanning (G is dan negatief) worden de elektronen uit het kanaal weggeduwd naar het silicium en is de weerstand van het kanaal heel hoog. Er loopt vrijwel geen stroom van de source naar de drain en de lamp brandt niet.

Opgave 76

Bij de meest positieve gatespanning is de weerstand van de MOSFET het laagst en zal er dus een grote stroom door de MOSFET lopen. Hier hoort dus de bovenste curve bij.

Opgave 77

- a De oppervlakte van één transistor is $14^2 = 196 \text{ nm}^2 = 196 \cdot 10^{-12} \text{ mm}^2$ ($1 \text{ nm} = 10^{-6} \text{ mm}$). Dus passen er $\frac{1,0}{196 \cdot 10^{-12}} = 5,1 \cdot 10^9$ transistors op een chip van $1,0 \text{ mm}^2$.
- b $2^{10} = 1024$ dus een factor 1000 is ongeveer 10 verdubbelingen. Elke 2 jaar een verdubbeling dus 20 jaar eerder bevatte een chip ongeveer 1000 keer zo weinig transistors als nu.



Opgave 78

- a Als de projectielamp zich als een ohmse weerstand gedraagt is $R_{\text{lamp}} = \frac{U}{I} = \frac{24}{12} = 2,0 \, \Omega$.

Als de schuifweerstand geheel ingeschakeld staat, is de weerstand $R_{\text{schuif}} = 16 \, \Omega$.

De totale weerstand is dan $R_{\text{tot}} = 16 + 2,0 = 18 \, \Omega \rightarrow I_{\text{bron}} = \frac{U_{\text{bron}}}{R_{\text{tot}}} = \frac{36}{18} = 2,0 \, \text{A}$

$\rightarrow U_{\text{lamp}} = I_{\text{bron}} \cdot R_{\text{lamp}} = 2,0 \times 2,0 = 4,0 \, \text{V}$.

- b De spanning is zoveel lager dan de spanning waarbij de lamp normaal brandt, dat de gloeidraad niet merkbaar zal gloeien. De lamp zendt dus geen licht uit.
- c De lamp brandt normaal als $U_{\text{lamp}} = 24 \, \text{V}$ en $I = 12 \, \text{A}$.
Dan geldt: $U_{\text{schuif}} = U_{\text{tot}} - U_{\text{lamp}} = 36 - 24 = 12 \, \text{V} \rightarrow R_{\text{schuif}} = \frac{U_{\text{schuif}}}{I} = \frac{12}{12} = 1,0 \, \Omega$.

Opgave 79

- a De uitgangsspanning U_{PQ} is gelijk aan de spanning over de vaste weerstand van $10 \, \text{k}\Omega$.

$R_{\text{tot}} = 20 + 10 = 30 \, \text{k}\Omega \rightarrow I_{\text{bron}} = \frac{U_{\text{bron}}}{R_{\text{tot}}} = \frac{9,0}{30 \cdot 10^3} = 0,30 \cdot 10^{-3} \, \text{A} = 0,30 \, \text{mA}$

$\rightarrow U_{\text{PQ}} = I_{\text{bron}} \cdot R_{\text{vast}} = 0,30 \cdot 10^{-3} \times 10 \cdot 10^3 = 3,0 \, \text{V}$

- b De spanning verdeelt zich over beide weerstanden. Als de variabele weerstand groter wordt, wordt de totale weerstand groter en de stroom kleiner. Over de vaste weerstand wordt de spanning dan kleiner en dit is de uitgangsspanning, die dus kleiner wordt.
- c Als $R_{\text{var}} = 0 \, \Omega$ is de uitgangsspanning gelijk aan de spanning van de bron: $9,0 \, \text{V}$.
Als $R_{\text{var}} = 30 \, \text{k}\Omega$ is, is $R_{\text{tot}} = 40 \, \text{k}\Omega$ en $I_{\text{bron}} = \frac{9,0}{40 \cdot 10^3} = 0,225 \cdot 10^{-3} \, \text{A}$.
De uitgangsspanning is dan: $I_{\text{bron}} \cdot R_{\text{vast}} = 0,225 \cdot 10^{-3} \times 10 \cdot 10^3 = 2,3 \, \text{V}$.
De uitgangsspanning varieert dus tussen de $2,3 \, \text{V}$ en de $9,0 \, \text{V}$.

1.7 AFSLUITING

Opgave 80

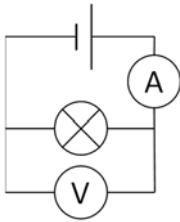
Eigen antwoord.

Opgave 81

- a De elektrische energie E is evenredig met het elektrisch vermogen, en met de tijd t dat het apparaat aan staat:
 $E = P \cdot t$.
- b Eén kWh is 1 uur maal 1 kW dus $3,6 \cdot 10^6 \, \text{J}$. Om energie in kWh om te rekenen in J vermenigvuldig je deze dus met $3,6 \cdot 10^6$.
- c Het rendement van een elektrische apparaat geeft aan welk percentage van de ingaande elektrische energie wordt omgezet in nuttige uitgaande energie: $\eta = \frac{E_{\text{nuttig}}}{E_{\text{in}}} \times 100\%$ of $\eta = \frac{P_{\text{nuttig}}}{P_{\text{in}}} \times 100\%$.
- d In een generator wordt bewegingsenergie van de turbine omgezet in elektrische energie.
- e Als er stroom loopt door een stroomdraad, bewegen de vrije elektronen in het metaal.
- f Als, bij gelijkblijvende spanning, de stroomsterkte tweemaal zo groot wordt, wordt het vermogen ook tweemaal zo groot.
- g Als, bij gelijkblijvende stroomsterkte, de spanning tweemaal zo groot wordt, wordt het vermogen ook tweemaal zo groot.
- h Als de hoeveelheid lading die per seconde door een stroomdraad gaat tweemaal zo groot wordt, wordt de stroomsterkte tweemaal zo groot. Want dat is hetzelfde met andere woorden.

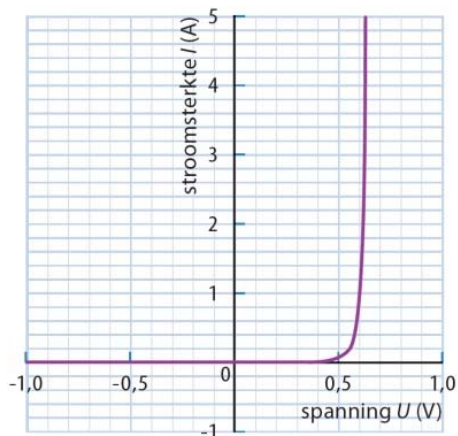


i



- j Bij een ohmse weerstand is de stroomsterkte door de weerstand evenredig met de spanning over de weerstand.
- k Van een PTC stijgt de weerstand als de temperatuur stijgt en van een NTC neemt de weerstand af als de temperatuur stijgt.
- l Als er meer licht op een LDR valt, neemt de weerstand van een LDR af.

m

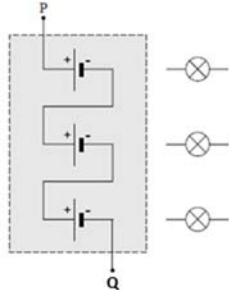


- n De weerstand R is het omgekeerde van de geleidbaarheid G : $R = \frac{1}{G}$.
- o Bij gelijkblijvende spanning U is de stroomsterkte I omgekeerd evenredig met de weerstand R : $I = \frac{U}{R}$.
- p De weerstand R van een stroomdraad wordt bepaald door de soortelijke weerstand ρ van het materiaal van de draad, de lengte l van de draad en de oppervlakte A van de doorsnede van de draad volgens: $R = \rho \cdot \frac{l}{A}$.
- q De eenheid van weerstand is ohm (Ω), de eenheid van geleidbaarheid is siemens (S) en de eenheid van soortelijke weerstand is ohmmeter ($\Omega \cdot m$).
- r De spanning over twee parallel geschakelde apparaten is gelijk.
- s De totale geleidbaarheid van twee parallel geschakelde apparaten bereken je door de geleidbaarheden van de twee apparaten bij elkaar op te tellen: $G_{\text{tot}} = G_1 + G_2$.
- t De stroomsterkte door twee in serie geschakelde apparaten is gelijk.
- u De totale weerstand van twee in serie geschakelde apparaten bereken je door de weerstanden van de twee apparaten bij elkaar op te tellen: $R_{\text{tot}} = R_1 + R_2$.
- v Volgens de eerste wet van Kirchhoff is in elk punt van een schakeling de som van alle stromen die in dat punt samenkomen gelijk aan nul: $\sum I_i = 0$.
Volgens de tweede wet van Kirchhoff is rondgaande in een gesloten stroomkring de som van de spanningen gelijk aan nul: $\sum U_i = 0$. Daarbij moet je de spanning over de spanningsbron negatief nemen.

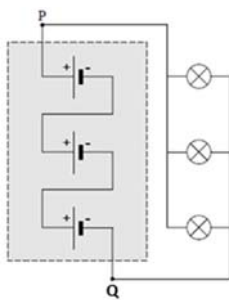


Opgave 82

a



b



c Oriëntatie:

Bereken het geleverde vermogen met $P = U \cdot I$.

De tijd is te berekenen uit het vermogen en de energie met $E = P \cdot t$.

Uitwerking:

$$P = U \cdot I = 4,5 \times 0,028 = 0,126 \text{ W}$$

$$t = \frac{E}{P} = \frac{50 \cdot 10^3}{0,126} = 3,97 \cdot 10^5 \text{ s} = \frac{3,97 \cdot 10^5}{3600} = 1,1 \cdot 10^2 \text{ uur}$$

d De stroom door het kapotte lampje valt weg en de stroom door de andere lampjes verandert niet, doordat de spanning over deze lampjes gelijk blijft. De stroom door de spanningsbron wordt dus kleiner.

Opgave 83

a De spanning over AD is voor tak ABD en tak ACD gelijk. De weerstanden R_1 en R_2 zijn gelijk en de weerstand van de LDR's is ook gelijk. De spanning in beide takken wordt dus op dezelfde manier verdeeld over de weerstand en de LDR. Er staat dan geen spanning over de motor en dus loopt er ook geen stroom door de motor.

b De stroom is hetzelfde door de takken ABD en ACD $\rightarrow I_{BD} = \frac{0,080}{2} = 0,040 \text{ A}$

$$U_{AB} = I_{BD} \cdot R_1 = 0,040 \times 50 = 2,0 \text{ V} \rightarrow U_{AD} = U_{AB} + U_{BD} \rightarrow U_{BD} = U_{AD} - U_{AB} = 7,5 - 2,0 = 5,5 \text{ V}$$

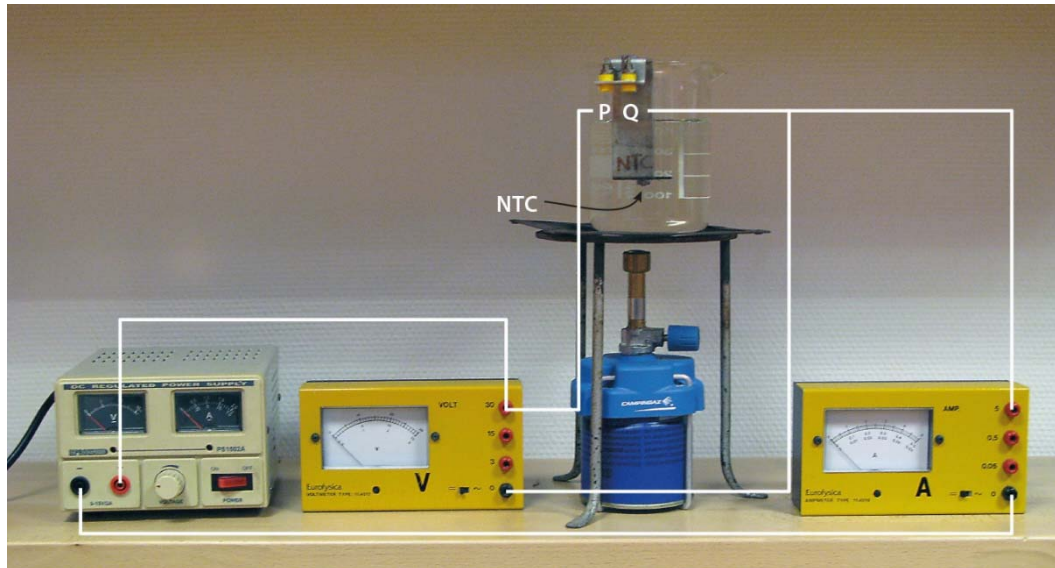
$$R_{LDR_1} = \frac{U_{BD}}{I_{BD}} = \frac{5,5}{0,040} = 1,4 \cdot 10^2 \Omega \text{ en } R_{LDR_2} = R_{LDR_1} = 1,4 \cdot 10^2 \Omega$$

c Als LDR₂ minder fel beschenen wordt, neemt de geleidbaarheid van LDR₂ af, dus de weerstand toe. Voor de kring BCDB geldt: $U_{BC} + U_{LDR_2} - U_{LDR_1} = 0$ (U_{LDR_1} is hierbij tegen de klok in, dus een minteken ervoor). Aangezien nu geldt: $|U_{LDR_1}| < |U_{LDR_2}|$, geldt $U_{BC} < 0$. Dus loopt de stroom door de motor ook tegen de klok in: van punt C naar punt B.



Opgave 84

a



- b Als de led brandt, loopt er stroom door de NTC die zich verdeelt over de variabele weerstand en de led. Daalt de temperatuur van de NTC, dan laat hij minder stroom door en gaat er dus minder stroom door de variabele weerstand (en ook door de led). De spanning over de variabele weerstand neemt daardoor af en dus ook de spanning over de led. Als de spanning over de led kleiner is dan 1,5 V, brandt de led niet (zie figuur 67). Bij een hogere temperatuur brandt de led dus wel.

- c Eerste wet van Kirchhoff in het punt tussen de NTC, de led en de weerstand R (zie figuur 68):

$$\sum I_i = 0 \rightarrow I_{\text{NTC}} - I_R - I_{\text{led}} = 0 \rightarrow I_R = I_{\text{NTC}} - I_{\text{led}}$$

Tweede wet van Kirchhoff in de stroomkring met de variabele weerstand:

$$\sum U_i = 0 \text{ V} \rightarrow -U_{\text{bron}} + U_{\text{NTC}} + U_R = 0 \rightarrow U_R = U_{\text{bron}} - U_{\text{NTC}}$$

- d Figuur 66: bij 20 °C geldt $R_{\text{NTC}} = 0,58 \cdot 10^3 \Omega$.

De led geeft licht vanaf 1,0 mA. Figuur 67: bij 1,0 mA geldt $U_{\text{led}} = 1,5 \text{ V}$.

$$U_R = U_{\text{led}} = 1,5 \text{ V in de tweede wet van Kirchhoff: } 1,5 = 5,0 - U_{\text{NTC}} \rightarrow U_{\text{NTC}} = 3,5 \text{ V.}$$

$$I_{\text{NTC}} = \frac{U_{\text{NTC}}}{R_{\text{NTC}}} = \frac{3,5}{0,58 \cdot 10^3} = 6,0 \cdot 10^{-3} \text{ A} = 6,0 \text{ mA}$$

Invullen in de eerste wet van Kirchhoff: $I_R = 6,0 - 1,0 = 5,0 \text{ mA} \rightarrow$

$$R = \frac{U_R}{I_R} = \frac{1,5}{5,0 \cdot 10^{-3}} = 3,0 \cdot 10^2 \Omega$$



Opgave 85

a Oriëntatie:

De weerstand van de bovenleiding is te berekenen met $R_{\text{draad}} = \rho \cdot \frac{l}{A}$.

Zoek de soortelijke weerstand van koper op.

De spanning over de bovenleiding en de rails is uit te rekenen met $U = I \cdot R$.

Het totale vermogen en het vermogen dat verloren gaat zijn uit te rekenen met $P = U \cdot I$.

Bereken vervolgens welk deel van het totale vermogen verloren gaat.

Uitwerking:

$$\rho_{\text{koper}} = 17 \cdot 10^{-9} \Omega \cdot \text{m} \rightarrow R_{\text{draad}} = 17 \cdot 10^{-9} \times \frac{2600}{3,1 \cdot 10^{-4}} = 0,143 \Omega$$

$$R_{\text{verlies}} = R_{\text{draad}} + R_{\text{rails}} = 0,143 + 0,044 = 0,187 \Omega$$

$$U_{\text{verlies}} = I \cdot R_{\text{verlies}} = 300 \times 0,187 = 56,0 \text{ V}$$

$$P_{\text{verlies}} = U_{\text{verlies}} \cdot I = 56,0 \times 300 = 1,68 \cdot 10^4 \text{ W}$$

$$P_{\text{totaal}} = U_{\text{totaal}} \cdot I = 1500 \times 300 = 4,50 \cdot 10^5 \text{ W}$$

$$\text{Het deel dat verloren gaat is } \frac{1,68 \cdot 10^4}{4,50 \cdot 10^5} = 0,037, \text{ dus } 3,7\%.$$

- b Ja, door het parallel schakelen van de draad (AP) met de draad ABP (PB + parallelbovenleiding) wordt de totale weerstand van de bovenleiding verlaagd. Als de weerstand van de bovenleiding kleiner is, is ook het spanningsverlies kleiner en dus ook het vermogensverlies. Het deel dat verloren gaat is dan kleiner.

Je kunt dit ook berekenen:

Oriëntatie:

Het linkerstuk van de bovenleiding van traject (AP) is nu parallel geschakeld met (de serieschakeling van) het rechterstuk (PB) en de parallelbovenleiding.

Bereken de (vervangings)weerstand van het stuk AP en het stuk PB met parallelbovenleiding:

De geleidbaarheden zijn te berekenen met $G = \frac{1}{R}$.

De totale geleidbaarheid is de som van de afzonderlijke geleidbaarheden.

De totale weerstand van de bovenleiding is weer te berekenen met $R = \frac{1}{G}$.

Bereken vervolgens weer het spanningsverlies met $U = I \cdot R$ en het totale vermogen en het verliesvermogen met $P = U \cdot I$. Hiermee is het verliespercentage te berekenen.

Uitwerking:

$$R_{\text{AP}} = 17 \cdot 10^{-9} \times \frac{2600}{3,1 \cdot 10^{-4}} = 0,143 \Omega \rightarrow G_{\text{AP}} = \frac{1}{0,143} = 7,01 \text{ S}$$

$$R_{\text{PB+parallel}} = 17 \cdot 10^{-9} \times \frac{1900 + 4500}{3,1 \cdot 10^{-4}} = 0,351 \Omega \rightarrow G_{\text{PB+parallel}} = \frac{1}{0,351} = 2,85 \text{ S}$$

$$G_{\text{tot}} = 7,01 + 2,85 = 9,86 \text{ S} \rightarrow R_{\text{tot}} = \frac{1}{9,86} = 0,101 \Omega$$

$$R_{\text{verlies}} = R_{\text{tot}} + R_{\text{rails}} = 0,101 + 0,044 = 0,145 \Omega \rightarrow U_{\text{verlies}} = I \cdot R_{\text{verlies}} = 300 \times 0,145 = 43,6 \text{ V}$$

$$P_{\text{verlies}} = U_{\text{verlies}} \cdot I = 43,6 \times 300 = 1,31 \cdot 10^4 \text{ W en } P_{\text{totaal}} = U_{\text{totaal}} \cdot I = 1500 \times 300 = 4,50 \cdot 10^5 \text{ W}$$

$$\text{Het deel dat verloren gaat is } \frac{1,3 \cdot 10^4}{4,5 \cdot 10^5} = 0,029, \text{ dus } 2,9\%.$$