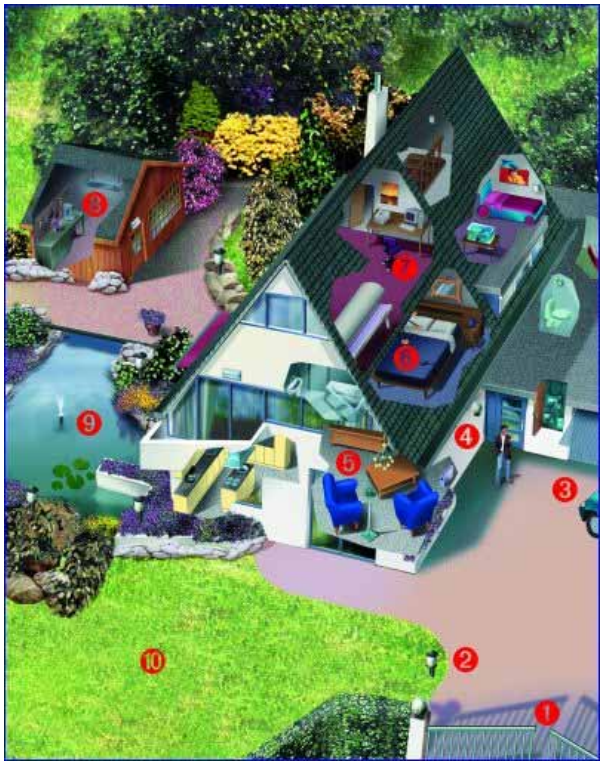
Elektriciteit
en
Automatisering in huis



KLAS 4 HAVO

ELEKTRICITEIT EN AUTOMATISERING IN HUIS

Over deze lessenserie

Deze module behandelt elektriciteit en automatisering in huis. Bij de elektriciteitsleer ligt de nadruk op een gedegen behandeling van stroom en spanning, en het gebruik van elektriciteit in huis; bij de automatisering op intelligente systemen in huis.

Je kunt elektrische schakelingen op de computer simuleren, ook thuis. Het simulatieprogramma ElektriX kun je gratis downloaden en thuis installeren van: www.cma.science.uva.nl/Software/ElektriXThuis/index.html
Er is ook een gratis programma dat je zowel op het internet kunt gebruiken als downloaden: phet.colorado.edu/simulations/.
Wanneer je een schakeling of huiswerkopgave simuleert, voorspel of bereken dan eerst de uitkomsten en controleer dan door simulatie.

Colofon

Project	Nieuwe Natuurkunde
Auteurs	Onne van Buuren en Marten van der Lee
M.m.v.	Ed van den Berg, Cor de Beurs, Hans van Dijk, Kees van Loon, Piet Molenaar, Peter Over, Loran de Vries en Henk Vroon
Vormgeving	Loran de Vries
NiNa Redactie	Harrie Eijkelhof, Koos Kortland, Guus Mulder, Maarten Pieters, Chris van Weert, Fleur Zeldenrust
Versie	juli 2010

Copyright

©Stichting natuurkunde.nl, Enschede 2010

Alle rechten voorbehouden. Geen enkele openbaarmaking of verveelvoudiging is toegestaan, zoals verspreiden, verzenden, opnemen in een ander werk, netwerk of website, tijdelijke of permanente reproductie, vertalen of bewerken of anderszins al of niet commercieel hergebruik.
Als uitzondering hierop is openbaarmaking of verveelvoudiging toegestaan:

- voor eigen gebruik of voor gebruik in het eigen onderwijs aan leerlingen of studenten,
- als onderdeel van een ander werk, netwerk of website, tijdelijke of permanente reproductie, vertaald en/of bewerkt, voor al of niet commercieel hergebruik, mits hierbij voldaan is aan de volgende condities:
- schriftelijke toestemming is verkregen van de Stichting natuurkunde.nl, voor dit materiaal vertegenwoordigd door de Universiteit van Amsterdam (via info@nieuwenatuurkunde.nl),
- bij hergebruik of verspreiding dient de gebruiker de bron correct te vermelden, en de licentievoorwaarden van dit werk kenbaar te maken.

Voor zover wij gebruik maken van extern materiaal proberen wij toestemming te verkrijgen van eventuele rechthebbenden. Mocht u desondanks van mening zijn dat u rechten kunt laten gelden op materiaal dat in deze reeks is gebruikt dan verzoeken wij u contact met ons op te nemen:
info@nieuwenatuurkunde.nl

De module is met zorg samengesteld en getest. De Stichting natuurkunde.nl, resp. Commissie Vernieuwing Natuurkundeonderwijs havo/vwo, Universiteit van Amsterdam en auteurs aanvaarden geen enkele aansprakelijkheid voor onjuistheden en/of onvolledigheden in de module, noch enige aansprakelijkheid voor enige schade, voortkomend uit (het gebruik van) deze module.

Op de omslag:

1. Hek, te bedienen vanuit de auto. Het hek gaat ook automatisch open wanneer de garagedeur opent om de auto eruit te laten.
2. Tuinverlichting, kan zo ingesteld worden dat die 's avonds aan gaat zodra er iemand naar buiten gaat, of als er iemand aanbelt, maar gaat niet aan voor de kat van de buren.
3. Garagedeur: gaat open als de auto het hek binnen komt.
4. Licht bij de deur: 's avonds altijd aan, of alleen als er iemand in de buurt is. Misschien is er zelfs een persoonsherkenningsysteem, zie www.marmitek.nl. Wanneer iemand van het gezin thuiskomt, gaat de deur automatisch van het slot.
5. Zitkamer met programma voor verlichting, muziek, verwarming, etc.
6. Slaapkamer die een uur voor bedtijd verwarmd wordt en waar 's ochtends dromen voorzichtig gedoofd worden door sluimermuziek.
7. Werkkamer waar computer en andere apparatuur zich geleidelijk aanpassen aan werkgewoonten van bewoners door op de juiste tijden op stand-by of aan te gaan.
8. Tuinhuisje, inbraakalarm.
9. De fontein is alleen aan op verjaardagen en dan alleen als er mensen in de buurt zijn.
10. Grasveld, als het gras te droog is volgens een sensor dan wordt het automatisch sproeisysteem rond zonsondergang geactiveerd.

INHOUDSOPGAVE

1 Elektrische Schakelingen 6

1.1 Stroom 8

Opgaven 12

1.2 Lading en elektrische stroom 15

Opgaven 18

1.3 Lading en spanning 19

Opgaven 24

1.4 Spanningen in schakelingen 27

Opgaven 29

1.5 Elektrisch vermogen 33

Opgaven 37

1.6 Weerstand en geleidingsvermogen 41

Opgaven 47

1.7 Redeneren en rekenen met uitgebreide schakelingen 51

Opgaven 57

2 Slimme schakelingenontwerpen 60

2.1 Componenten van een slim systeem 65

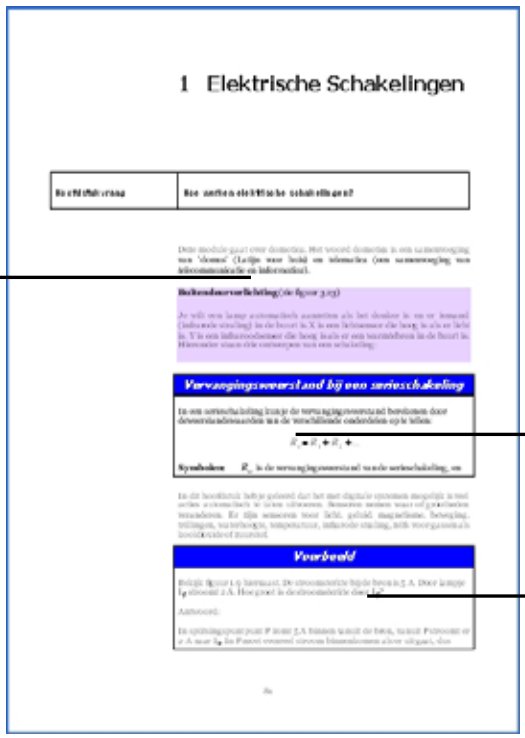
2.2 Verwerking van digitale signalen 68

2.3 Oefenen met het systeembord 73

GLOBALE OPBOUW VAN HET LESMATERIAAL

In het lesmateriaal is een aantal stijlen gebruikt. De *belangrijkste leerstof* is weergeven in *blauwe* tekstvakken. De betekenis van de andere kleuren en stijlen is hieronder aangegeven.

In de **paarse** tekstvakken staan **theorieopdrachten** die essentiële stappen markeren in de lesstof. Ze dienen direct na het lezen van de tekst te worden gedaan. Deze opdrachten horen dus ook bij de tekst.


1 Elektrische Schakelingen

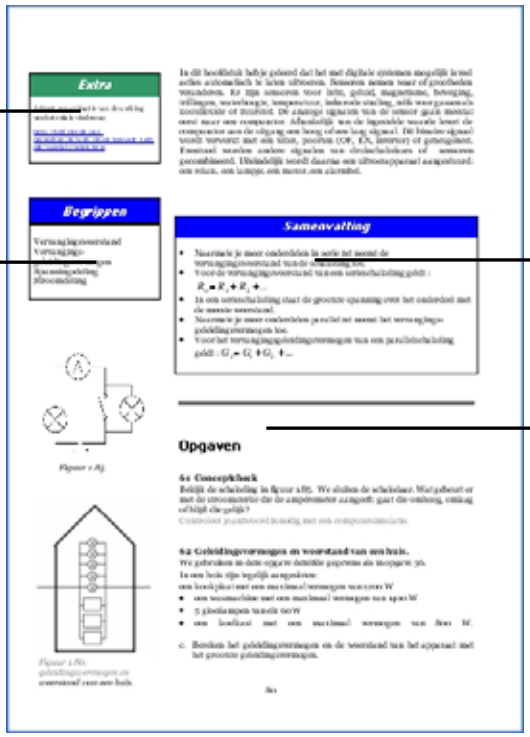
Vervangingsweerstand bij een serieschakeling

Voorbeeld

Belangrijke nieuwe **vergelijkingen** uit de natuurkunde zijn aangegeven in **blauwe** tekstvakken. Deze heb je nodig om rekenwerk mee te kunnen verrichten.

In de **blauwe** tekstvakken **"voorbeeld"** staan uitgewerkte berekeningen van behandelde formules

In het **groene** tekstvak box "**Extra**" staat informatie die niet tot de leerstof behoort.


Extra

Begrippen

Samenvatting

Opgaven

In het **blauwe** tekstvak **"Samenvatting"** staat de minimale kennis die je paraat moet hebben.

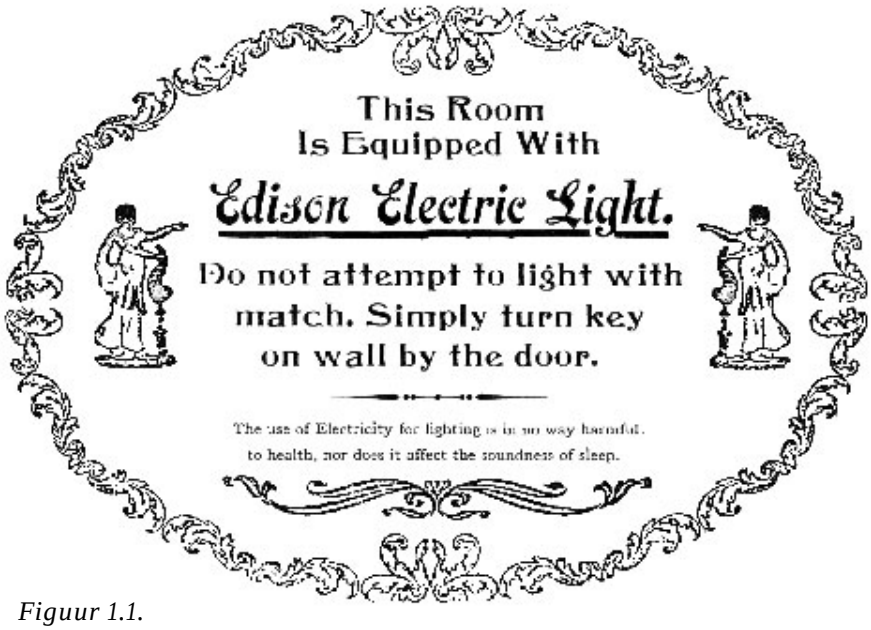
In het **blauwe** tekstvak "**Begrippen**" staan belangrijkste termen uit de tekst.

Opgaven staan bij elkaar aan het einde van een hoofdstuk. De opgaven zijn gegroepeerd per paragraaf.

1 Elektrische Schakelingen

Hoofdstukvraag	Hoe werken elektrische schakelingen?

In deze module onderzoek je wat elektriciteit eigenlijk is. Omdat je stroom niet kunt zien moet je uit proeven en metingen afleiden hoe elektriciteit werkt. Je maakt er een voorstelling van. Je noemt zo'n voorstelling een model voor elektriciteit.



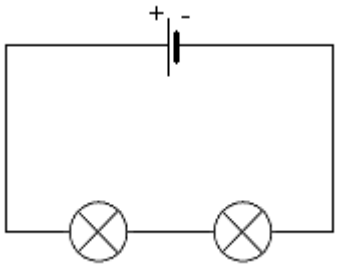
Figuur 1.1.



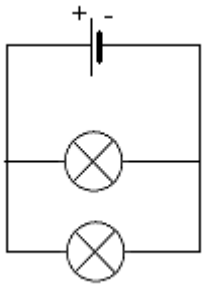
Figuur 1.2: Schakelbord bij een 'intelligente' kamer.

In de loop van de vorige eeuw is de inrichting van huizen enorm veranderd door de komst van elektriciteit. Hiermee werd er een belangrijke stap gezet in de richting van automatisering. Maar in een klassieke elektrische installatie werken alle toestellen nog 'op zichzelf' In een geautomatiseerde woning kunnen elektrische toestellen juist met elkaar communiceren. Het is de technologie die elektronicatoepassingen en automatisering in de woning integreert.

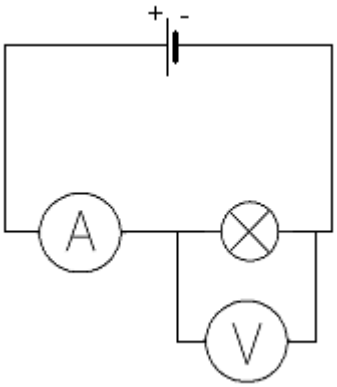
Voordat je met die automatisering aan de slag kunt, moet je eerst meer weten over elektriciteit. Daarom gaat dit hoofdstuk vooral over elektrische basisbegrippen: stroom, spanning, lading, weerstand, geleidingsvermogen, vermogen en energie. Als het goed is, weet je het volgende nog uit de onderbouw:



Figuur 1.3: Serieschakeling van een spanningsbron en twee lampjes.



Figuur 1.4: Parallel-schakeling van een spanningsbron en



Figuur 1.5: ampèremeter en voltmeter aansluiten.

Voorkennis

- Elektrische stroom is bewegende lading.
- Een geleider is een stof waar een elektrische stroom goed doorheen gaat.
- Een isolator is een stof die elektrische stroom slecht doorlaat.
- In metalen bestaat de stroom uit bewegende elektronen.
- Metalen zijn goede geleiders doordat er veel vrije elektronen beschikbaar zijn. In een isolator zijn vrijwel geen vrije elektronen beschikbaar.
- Een elektrische schakeling bestaat tenminste uit een spanningsbron, een elektrisch apparaat en stroomdraden.
- Een spanningsbron heeft twee aansluitpunten. Bij een gelijkspannings-bron zijn dat de plus- en de minpool.
- Volgens afspraak is de stroomrichting in een schakeling van de pluspool naar de minpool.
- Er kan alleen een elektrische stroom lopen als er een gesloten stroom-kring is. Er is dan een weg voor de stroom van de ene pool van de bron naar de andere pool van de bron.
- Je kent de symbolen voor een gelijkspanningsbron, een lampje, een schakelaar, een voltmeter en een ampèremeter.
- In een serieschakeling (zie figuur 1.3) gaat door alle onderdelen dezelfde stroom.
- In parallelschakelingen (zie figuur 1.4) vertakt de stroom zich.
- De stroomsterkte *I* meet je met een ampèremeter. Een ampèremeter schakel je in serie met het onderdeel waardoor je de stroom wilt meten (zie figuur 1.5).
- De eenheid van de stroomsterkte is de ampère (A).
- Spanning *U* meet je met een voltmeter. Een voltmeter schakel je parallel aan een onderdeel (zie figuur 1.5).
- De eenheid van spanning is volt (V).



Figuur 1.6: tuinverlich-ting: serie of parallel?

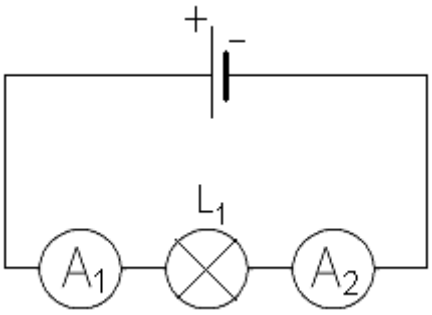
In dit hoofdstuk herhalen we stof en gaan er dieper op in. Er komt een aantal nieuwe begrippen aan de orde.

1.1 Stroom

Paragraafvraag	Hoe verdeelt zich de stroom in een schakeling?

Om elektrische stroom te krijgen heb je een **spanningsbron** nodig, en iets, een apparaat, waar de stroom doorheen kan lopen, een **geleider**.
Hoeveel stroom er gaat lopen hangt van twee factoren af:

1. De sterkte van de bron: de spanning van de bron, het aantal Volt. In het algemeen gaat er meer stroom lopen als de spanning groter wordt gemaakt. Op het begrip spanning komen we later terug.
2. De eigenschappen van de geleider. Hoe gemakkelijk laat hij stroom door? Als een apparaat gemakkelijk stroom door laat, zeggen we dat het een groot **geleidingsvermogen** en een lage **weerstand** heeft. Omgekeerd, als een apparaat juist weinig stroom doorlaat heeft het, een laag geleidingsvermogen en een hoge weerstand. Geleidingsvermogen en weerstand zijn elkaars omgekeerde. We komen er later op terug.



Figuur 1.6: stroomsterkte

We gaan onderzoeken hoe in verschillende schakelingen de stroom zich gedraagt. Daarvoor gaan we stroomsterktes meten. **Stroomsterkte** geven we aan met een letter I, de eenheid van stroomsterkte is ampère (A).

Voordat we gaan meten ga je een aantal voorspellingen doen. Misschien kun je je kennis uit de onderbouw toepassen.

Opdracht 1– Stroomsterkte voorspellen

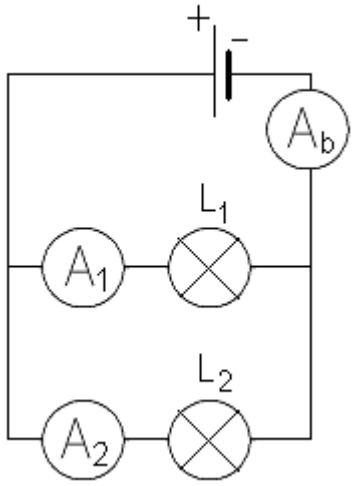
In figuur 1.6 is een lampje L_1 aangesloten op een spanningsbron. Het lampje brandt. Met twee ampèremeters, A_1 en A_2, meten we de stroomsterkte I_1 links, en I_2 rechts van het lampje.

a. Welke meter zal de grootste stroomsterkte aanwijzen? Of zijn beide stroomsterktes even groot?

In figuur 1.7 is een tweede lampje, L_2, toegevoegd, parallel aan L_1. Lampje L_2 is hetzelfde als lampje L_1. De meters A_1 en A_2 meten de stroomsterktes door L_1 en L_2, L_2, meter A_b sluiten we aan vlakbij de bron. De spanningsbron houden we in dezelfde stand als bij opdracht a.

b. Door welk lampje zal de meeste stroom lopen, L_1 of L_2? Of zullen die stroomsterktes even groot zijn?

c. Vergelijk de stromen door A_1, A_2 en A_b. Wat verwacht je?



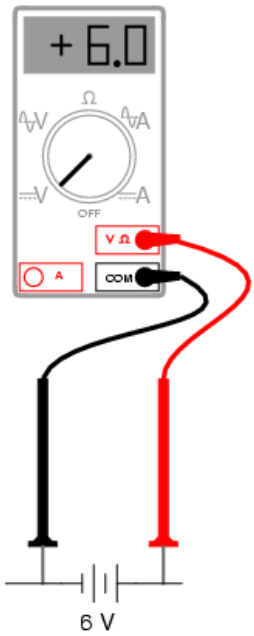
Figuur 1.7: verdeling van stroom bij lampjes die parallel staan.

Een ampèremeter aansluiten

Bij de volgende opdracht worden de schakelingen echt gebouwd. Daarvoor moet je weten hoe je een ampèremeter aansluit. Bekijk daarvoor figuur 1.8.



Figuur 1.8: een ampèremeter aansluiten.



Er bestaan veel verschillende meters, lampjes en bronnen. Een aantal dingen is altijd hetzelfde:

- elke gelijkspanningsbron heeft een plus- en een minpool.
- Ampèremeters hebben vaak verschillende schalen. Elke schaal heeft zijn eigen **bereik**. In de meter hierboven heeft de bovenste schaal een bereik van 5 A, en de onderste een bereik van 0,05 A. Als je begint met meten gebruik je altijd het grootst mogelijke bereik. Pas als je ziet dat de stroomsterkte klein genoeg is, schakel je over op een kleiner, dus **gevoeliger** bereik.
- De meter wordt aangesloten in serie met het apparaat waardoor je de stroom wilt meten, en de stroom moet door de meter heen lopen. In de figuur hierboven loopt de stroom vanuit de plus-ingang van de bron naar de rode ‘5 A’ –ingang van de meter, loopt door de meter naar de zwarte “0”-ingang, en loopt weer verder naar het lampje en de minpool van de bron.
- Een eenvoudige multimeter heeft een draaiknop voor het instellen van een meting van stroomsterkte (A) of spanning (V), al of niet met de tekens = (gelijkspanning/stroom) of ≈ (wisselspanning/stroom) Sluit de draden aan op COM en V voor spanning of COM en A voor stroomsterkte.

Opdracht 2: Meten

Deze opdrachten worden gedemonstreerd, of je doet ze zelf, met practicummateriaal of met een computersimulatie. Daarvoor kun je bijvoorbeeld Elektrix gebruiken, of Crocodile Clips.

- Bouw de schakelingen uit opdracht 1. Noteer de stroomsterktes door de verschillende meters. Vergelijk de resultaten met je voorspellingen. Als het resultaat niet klopt met je voorspelling, probeer dan een verklaring te geven voor de verschillen.
- Gebruik de schakeling van figuur 1.7, maar vervang lampje L_2 door een ander lampje, dat niet gelijk is aan L_1. Noteer de stroomsterktes I_1, I_2 en I_b die de drie meters meten. Wat valt je op?

Stroomwet.

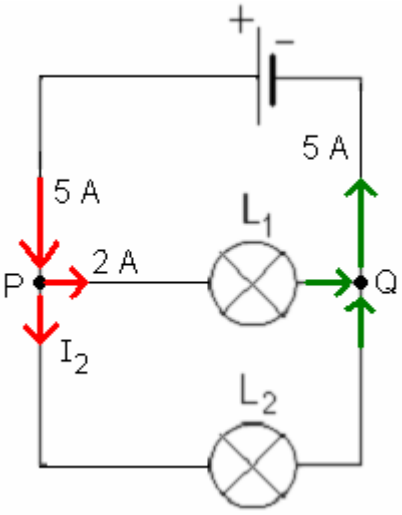
Bij de meting aan de schakeling van figuur 1.6 zag je dat de stroomsterkte aan beide kanten van een lampje even groot is. Dit geldt algemeen, voor elk apparaat en in elk punt van een schakeling:

In elk punt van een elektrische schakeling komt altijd evenveel stroom binnen als er uit gaat.

We noemen dit de eerste wet van Kirchhoff.

Ga na dat hieruit volgt dat in een serieschakeling de stroomsterkte overal hetzelfde is.

Bij de parallelschakeling, figuur 1.7, zag je dat de stroomsterkte I_b bij de bron gelijk is aan de som van de stroomsterktes I_1 en I_2 door de lampjes:
$I_b = I_1 + I_2$.
Als we in figuur 1.7 gelijke lampjes gebruiken, zijn I_1 en I_2 even groot. Elk lampje krijgt dan de helft van de stroom bij de bron. Zijn de lampjes verschillend, dan is de verdeling anders. Maar altijd gaat de eerste wet van Kirchhoff op.



Figuur 1.9: stromen splitsen en komen weer samen.

Voorbeeld

Bekijk figuur 1.9 hiernaast. De stroomsterkte bij de bron is 5 A. Door lampje L_1 stroomt 2 A. Hoe groot is de stroomsterkte door L_2?

Antwoord:

In splitsingspunt punt P komt 5 A binnen vanuit de bron, vanuit P stroomt er 2 A naar L_1. In P moet evenveel stroom binnenkomen als er uit gaat, dus $I_2 = 5 - 2 = 3$ A. In punt Q komen de twee stromen weer samen, en vanuit Q stroomt er 5 A in de richting van de bron.

In het rekenvoorbeeld hierboven werd gevraagd naar de stroom door een lampje, L_2. Om de vraag te beantwoorden kijk je niet naar het lampje zelf, maar naar het punt P waar de stroomdraden splitsen.

Kijk bij rekenproblemen met elektrische stromen naar wat er gebeurt in de punten waar draden splitsen of weer samenkomen.

Wat verbruikt een lampje?

Vaak wordt gezegd dat een apparaat 'stroom verbruikt'. Maar de stroom is aan beide kanten van het apparaat hetzelfde. Stroom wordt dus niet 'verbruikt'.

Het lampje verbruikt ook geen spanning. De spanning stel je in op een aantal Volt, en die verandert daarna bij een ideale bron niet.

Wat het lampje wel 'verbruikt' is **energie**. Het lampje levert licht en warmte. De energie daarvoor wordt geleverd door de spanningsbron. We komen nog terug op de vraag hoe de energie van de bron op het lampje wordt overgedragen.
Merk tenslotte op dat 'verbruiken' hier ook geen juist woord is. De energie uit de bron wordt verdwijnt niet, maar wordt omgezet in andere vormen van energie, zoals licht en warmte.

Begrippen

Stroomsterkte
Spanningsbron
Geleider
Geleidingsvermogen
Weerstand
Bereik van een meter
Gevoeligheid van een meter

Samenvatting

- Om elektrische stroom te laten lopen heb je een **bron** nodig en een **geleider**.
- De eenheid van **stroomsterkte** is Ampère (A), de afkorting van stroomsterkte is *I*.
- De stroomsterkte door een apparaat hangt af van de **spanning** over het apparaat en het **geleidingsvermogen** (of de weerstand) van het apparaat.
- Geleidingsvermogen en **weerstand** zijn elkaars omgekeerde.
- Bij rekenproblemen met elektrische stromen is het handig om te kijken naar wat er gebeurt in de punten waar draden splitsen of weer samenkomen.

Opgaven

1 Veel of weinig stroom

Bekijk de volgende vier situaties:

1. Je sluit een zwakke gloeilamp van 15 W aan op een stopcontact.
2. Je sluit een breedbeeldtelevisie aan op een stopcontact en zet het toestel aan.
3. Een gevaarlijke gek verbindt de polen van een stopcontact met elkaar met een stuk koperdraad.
4. Je sluit niets aan op een stopcontact; tussen de polen bevindt zich dan lucht.

a. Wat kun je zeggen van de spanning van het stopcontact in deze vier situaties?
b. Orden de vier situaties naar toenemende stroomsterkte.
c. Orden de vier situaties naar toenemende weerstand.

2 Fietsverlichting

Bij fietsverlichting loopt er vaak maar één draad van de dynamo naar het voorlicht. Het lijkt dus alsof er geen stroomkring is. Toch is die er wel. Hoe wordt bij fietsverlichting de kring gesloten?

3 Ampèremeter



Figuur 1.10: ampèremeter.

Hoeveel ampère wijst de meter hierboven aan?

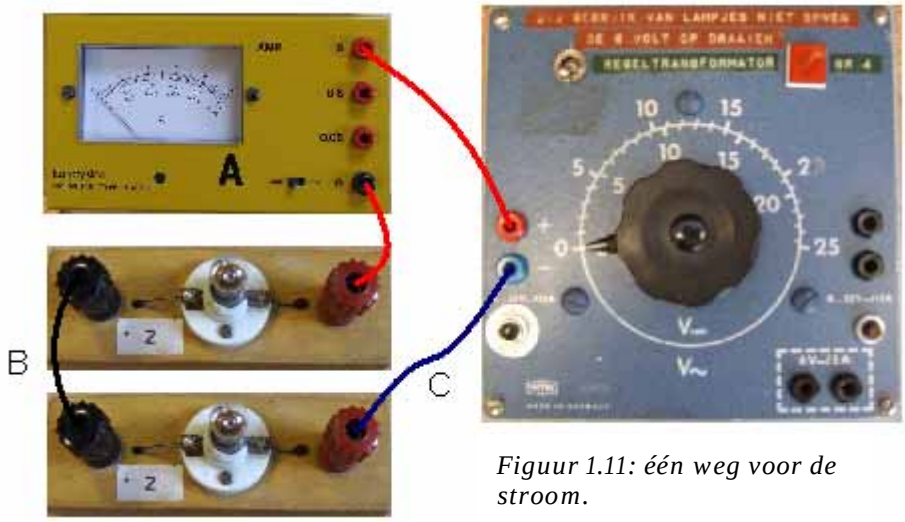
4 Tekenen van een schakelschema

a. Teken een schakeling met een spanningsbron en twee lampjes. Onafhankelijk van elkaar moeten de lampjes aan en uit gezet kunnen worden met twee schakelaars.

b. Teken weer een schakeling met een spanningsbron en twee lampjes. Ditmaal moeten ze met één schakelaar aan en uit gezet kunnen worden.

5 Schakeling

Bekijk de schakeling in figuur 1.11 hieronder.



Figuur 1.11: één weg voor de stroom.

Ga na dat er maar één weg is voor de stroom: vanaf de pluspool van de bron door de meter, dan door het eerste lampje, daarna door het tweede lampje en tenslotte weer terug naar de minpool van de bron.

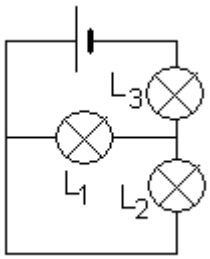
Als de spanningsbron aan wordt gezet op 7 V blijken de lampjes te branden. De stroommeter wijst dan 0,15 A aan.

a. Hoe heet dit type schakeling?

b. Teken het schakelschema.

c. Hoe groot is de stroomsterkte bij punt B, tussen de lampjes in?

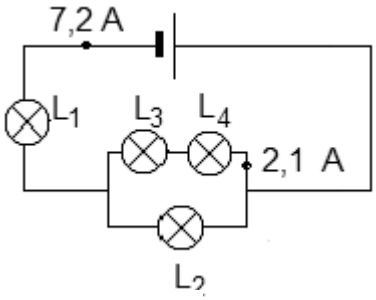
d. Hoe groot is de stroomsterkte bij punt C?



Figuur 1.12.

Een leerling merkt op, dat als door beide lampjes evenveel stroom loopt, dat dan de lampjes gelijk moeten zijn.

e. Leg uit of deze leerling gelijk heeft.



Figuur 1.13.

6 Stroomsterktes in schakelingen.

a. Zie de schakeling in figuur 1.12. De bron geeft een spanning van 7 V.
Door L_1 loopt een stroom van 2,3 A, door L_3 loopt 5,0 A.
Hoe groot is de stroomsterkte door L_2?

b. Bekijk de schakeling in figuur 1.13. De lampjes zijn niet gelijk. De stroomsterkte in twee punten is aangegeven.
Hoe groot is de stroomsterkte in de verschillende lampjes, en hoe groot is de stroomsterkte bij de bron?

7 Huis.

Iemand heeft thuis vier apparaten tegelijk aan staan. Door de koelkast loopt een stroom van 7 A, door de magnetron loopt 3,2 A, door de televisie loopt 4,2 A en door een gloeilamp loopt 0,3 A.

Al deze apparaten zitten op één groep. Dat wil zeggen dat alle kabels van deze apparaten samen komen in de meterkast. De groep is aangesloten op een zekering, die doorsmelt als de stroom groter wordt dan 16 A. Dan wordt de elektriciteit in huis uitgeschakeld.

a. Leg uit waarom deze apparaten parallel geschakeld zijn.
b. Ga na of de zekering doorsmelt.

8 Kerstboomverlichting

Bij een bepaalde kerstboomverlichting zijn 50 lampjes in serie geschakeld.
Door het eerste lampje loopt een stroom van 0,25 A.
Hoeveel stroom loopt er dan door het laatste lampje?

1.2 Lading en elektrische stroom

Paragraafvraag	Wat heeft lading te maken met elektrische stroom?



Figuur 1.14: vd Graaff-generator

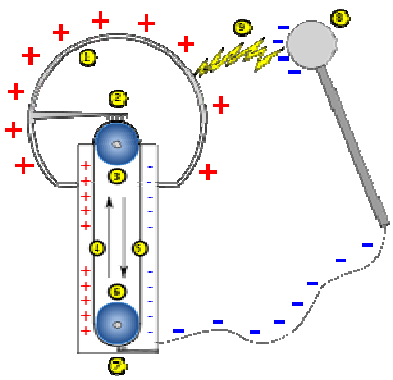
Isolatoren en geleiders opladen

In de onderbouw heb je gekeken naar statische elektriciteit. Sommige stoffen kun je 'statisch' maken door ze stevig te wrijven met een doek. Er komt elektrische lading op die stoffen te zitten. Dat gebeurt bij elektrische isolatoren, zoals PVC, perspex en rubber.
Dit 'statisch maken' noemen we hier 'opladen'. Dat is niet hetzelfde als het 'opladen' van een accu of een oplaadbare batterij.

Goede elektrische geleiders, zoals metalen, kun je niet door wrijving opladen. Je kunt ze wel laden door ze geïsoleerd op te hangen, en ze daarna aan te raken met een statisch geladen voorwerp, zoals een stuk PVC-buis, of door er een rubber band langs te laten schuren. Een voorbeeld waarbij je dat laatste doet is een Van der Graaff generator. Zie figuur 1.14 hiernaast. De metalen bol bovenop wordt opgeladen door een draaiende rubberband. De bol is geisoleerd van de rest opgehangen, met een isolerend materiaal zoals perspex.

Positieve en negatieve lading, krachten

Isolatoren kun je op hun beurt ook verdelen in twee groepen. Sommige worden door wrijving 'positief' geladen, andere juist 'negatief'. Er bestaan dus twee soorten lading, positieve ('+') en negatieve ('-') . Ladingen van dezelfde soort stoten elkaar af, ladingen van verschillende soort trekken elkaar aan. De grootte van de afstotende en aantrekkende krachten hangt af van de afstand tussen de ladingen. Hoe dichter de ladingen bij elkaar zitten, hoe groter de kracht.

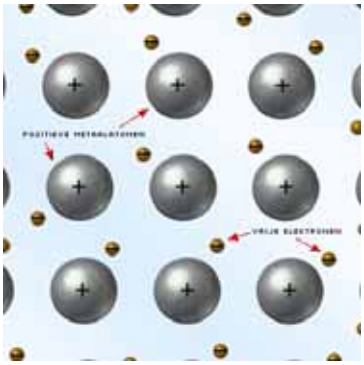


Figuur 1.15:
geladen vd Graaffgenerator.

Als een pluslading en een minlading bij elkaar komen, neutraliseren ze elkaar; je merkt daarom niet meer dat ze er zijn. We weten nu dat materie zeer veel lading bevat. In de kop van een lucifer zitten bijvoorbeeld ongeveer 18 triljard ladingen.

Bewegende lading

Bij een opgeladen van der Graaff generator kan de positieve lading op de bol heel groot worden. Het lijkt alsof er lading wordt gemaakt, maar de rubberband doet niets anders dan de plus- en minlading die in alle stoffen zit scheiden. De min-lading komt op de kleine bol, de plus-lading gaat op de grote bol zitten. Als je de kleine bol vlakbij de grote zet trekken de ladingen elkaar heel sterk aan. Op een bepaalt moment springt de min-lading door de lucht naar de plus-lading. Je ziet een vonk overspringen. Er loopt dan eventjes een stroom.

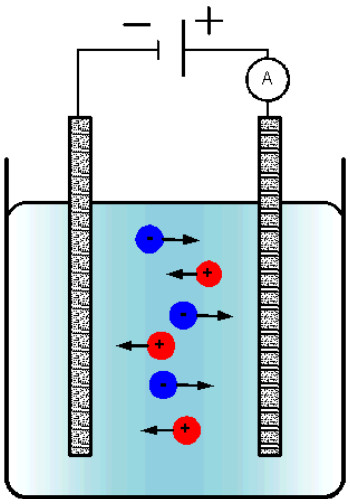


Figuur 1.16: stroomgeleiding in een metaal door elektronen.

Als lading gaat bewegen noemen we dat stroom. In een isolator kunnen de ladingen niet goed bewegen. Daarom kun je een isolator door wrijving opladen. De lading kan immers niet wegstromen.
Een geleider, zoals een metaal, bevat ladingen die vrij kunnen bewegen. Daarom kan er stroom lopen door een geleider. Maar dat is ook de reden waarom je een geleider niet kunt opladen door te wrijven. De lading stroomt onmiddellijk weg.

In vloeistoffen bewegen zowel positief geladen deeltjes als negatief geladen deeltjes (**ionen**). In vaste stoffen, zoals een elektrische stroomdraad, bewegen alleen negatief geladen deeltjes. Deze deeltjes noemt men elektronen. Zij bezitten een vaste lading en kunnen vrij door de geleider bewegen. De positieve deeltjes blijven op hun plaats.

Voordat we dit wisten dacht men dat positieve ladingen bewegen en dat de stroom van plus naar min loopt. Later kwamen we er pas achter dat in werkelijkheid de elektronen de tegenovergestelde richting op gaan. Toch tekenen we de stroomrichting nog steeds van plus naar min, dus alsof er positieve lading stroomt.



Figuur 1.17: stroomgeleiding in een vloeistof door ionen.

De eenheid van lading q[1] is de Coulomb (C). Stroomsterkte I wordt in ampère (A) uitgedrukt. 1 Ampère is de stroomsterkte waarbij in 1 seconde 1 Coulomb lading een doorsnede van de draad passeert.

Stroomsterkte is de hoeveelheid lading die per seconde door een doorsnede van de draad stroomt; 1 Ampère is 1 Coulomb per seconde.

Lading en stroomsterkte

In formulevorm:

$$stroomsterkte = \frac{lading}{tijd}$$

Of in symbolen:

$$I = \frac{q}{t}$$

Symbolen: I is de stroomsterkte in Ampère (A), q is de lading in Coulomb (C) en t is de tijd in seconden (s).

Uit het formuleblok volgt, dat de lading q die in een tijdje t door een draad stroomt gelijk is aan $I \cdot t$.

Elektronen zijn te klein om gezien te worden. We bemerken wel hun beweging door een stof in de vorm van een elektrische stroom.
Het aantal elektronen dat in een stroom beweegt is enorm, bij 1 A gaan er 6.250.000.000.000.000.000 (6,25 x 10^{18}) elektronen per seconde door een draad.

---

[1] Let op, de hoofdletter Q wordt in de natuurkunde ook voor andere grootheden gebruikt (BINAS, tabel 4).

De Amerikaanse onderzoeker Robert Millikan heeft als eerste de lading van het elektron bepaald, hij vond een waarde van $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C. In tabel 7 in BINAS staat dit getal genoteerd als *e* ('elementair ladingskwantum')

Begrippen

Coulomb
Ampère
Elektron
Ion
Geleider
Isolator
Stroomrichting

Samenvatting

- Er bestaan twee soorten lading. We noemen ze '**positief**' en '**negatief**'.
- Ladingen van dezelfde soort **stoten elkaar af**, ladingen van verschillende soort **trekken elkaar aan**.
- Hoe groter de **afstand tussen ladingen**, des te kleiner is de kracht tussen die ladingen.
- De eenheid van lading is **Coulomb** (C), het symbool voor lading is q.
- De **stroomsterkte** in een draad is de hoeveelheid lading die per seconde door een doorsnede van de draad stroomt.

  In formulevorm: $I = \frac{q}{t}$
- 1 **Ampère** is 1 Coulomb per seconde.
- In een vaste stof bewegen de negatieve deeltjes. Die heten **elektronen**.
- In een **geleider** kunnen elektronen vrij bewegen, in een **isolator** kunnen ze niet vrij bewegen.
- De **stroomrichting** in een stroomkring is van de plus-pool naar de min-pool van de spanningsbron, hoewel de stromende elektronen andersom stromen.



Figuur 1.16: Van de Graaff-generator.

Opgaven

9 Geladen bol

Je laadt een metalen bol op met negatieve lading. Leg met behulp van een tekening uit waar de lading vooral zal gaan zitten.

10 Haren

Als je jezelf aansluit op een opgeladen Van de Graaff-generator (zie figuur 1.16) gaan je haren overeind staan. Maak een tekening van een hoofd met lang haar waarin je aangeeft waar de lading komt te zitten en leg uit waarom je haren overeind gaan staan.

11 Hoeveel elektronen?

Hoeveel elektronen passeren per seconde bij een stroomsterkte van 1,0 mA door een doorsnede van een draad?

12 Bliksem

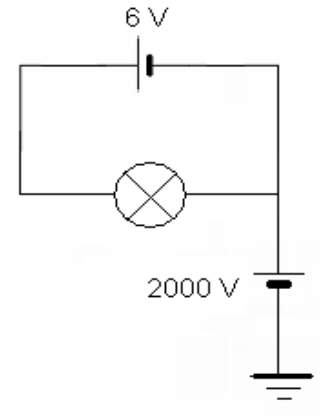
Bij een bliksemontlading verplaatst zich 20 C (negatief) in 2 ms (milliseconde) van de onweerswolken naar de aarde. Bereken de gemiddelde stroomsterkte bij deze bliksemschicht. Een simulatie van bliksem is te vinden op: regentsprep.org/Regents/physics/phys03/alightnin/



Figuur 1.17.

1.3 Lading en spanning

Paragraafvraag	Wat is elektrische spanning?



Figuur 1.18: fietslampje en 2000 V...

Opdracht 3, introductie: een fietslampje en 2000 V.

Bekijk de schakeling in figuur 1.18 hiernaast. Een fietslampje is aangesloten op een batterij van 6 V. Bij een spanning van 6 V brandt het lampje normaal. Door een foutje is de hele schakeling aangesloten op een gelijkspanningsbron die een spanning geeft van 2000 V. Die bron is aan de andere kant geaard: hij is verbonden met de aarde.

Voorspel wat er met dit lampje gaat gebeuren.

Aan het eind van deze paragraaf komen we op deze opdracht terug. Om de vraag goed te kunnen beantwoorden moeten we eerst beter begrijpen wat spanning is. We kijken daarvoor naar het verband tussen spanning en lading en doen nog wat proefjes met statische elektriciteit.



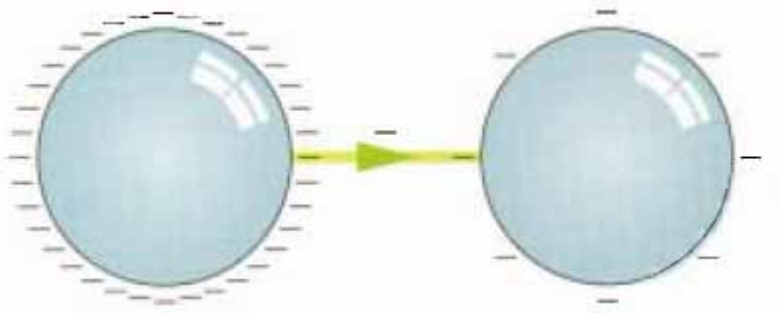
Figuur 1.19: Wimshurst-machine.

Je kunt twee metalen bollen een verschillende lading geven, bijvoorbeeld met behulp van een Wimshurst-machine of een vd Graaff generator. Als je zulke bollen dicht bij elkaar brengt, kan er een vonk overspringen (figuur 1.20). Er loopt op dat moment even stroom.
Je kunt ook voor een heel korte tijd stroom laten lopen door de bollen met behulp van een geleider met elkaar te verbinden.

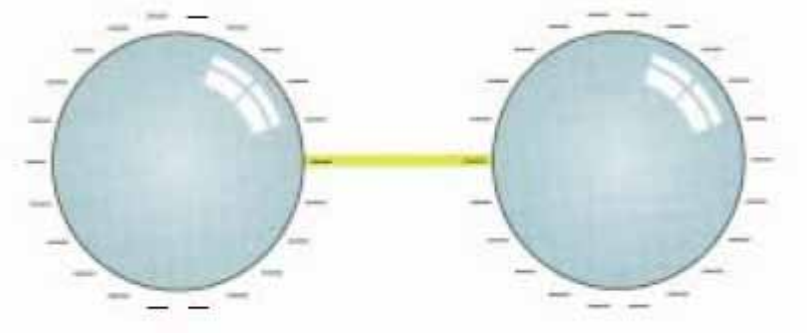
Ook als op beide bollen dezelfde soort lading zit kan er een elektrische stroom lopen. Dat gebeurt als er op het ene voorwerp veel meer lading zit dan op het andere (even grote) voorwerp. De ladingen gaan dan bewegen doordat ze op het ene voorwerp dichter op elkaar zitten en elkaar daardoor meer afstoten dan op het andere voorwerp (figuur 1.21a). Direct na het lopen van de stroom hebben beide bollen dezelfde lading (figuur 1.21b). Er loopt dan geen stroom meer. Er is weer evenwicht.



Figuur 1.20: een vonk springt over tussen twee geladen bollen van een Wimshurst-machine.



Figuur 1.21a: er wordt verbinding gemaakt en er gaat stroom lopen.



Figuur 1.21b: Na korte tijd zit op beide bollen evenveel lading. Er loopt dan geen stroom meer.

Wat heeft dit te maken met spanning? Om stroom te laten lopen heb je een geleider nodig, en een ladingsverschil. Bij deze bollen loopt er alleen stroom als de bollen verschillend geladen zijn. Men zegt dat er dan **spanning** staat tussen de twee bollen.

Spanning heeft dus te maken met verschil in lading.

In de praktijk wordt nog wel eens het begrip spanningsverschil gebruikt. Dit is echter onjuist taalgebruik. Het begrip spanning zelf is gedefinieerd als een verschil. Als je een batterij koopt met een spanning van 1,5V betekent dat dat er een spanning tussen de plus- en minpool staat van 1,5V. In dit boekje wordt daarom steeds het woord spanning gebruikt.

Binnen één goede geleider, dus binnen één metalen bol, is er geen spanning. Zodra er tussen twee delen van de geleider een klein ladingsverschil zou ontstaan dat spanning veroorzaakt, kan die lading onmiddellijk gaan stromen en zich zo verdelen dat er geen spanning meer is. Je kunt ook zeggen:

Tussen de uiteinden van een geleider is de spanning altijd nul volt.

Spanningsbronnen.



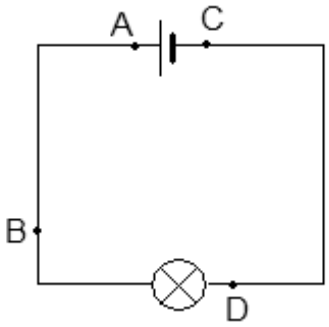
Figuur 1.23: citroenbatterij.

Bij de proefjes met statische elektriciteit kunnen we maar voor korte tijd stroom laten lopen. Terwijl de lading oversteekt, veranderen de ladingen op de voorwerpen. Al snel zijn ze gelijk, en loopt er geen stroom meer.

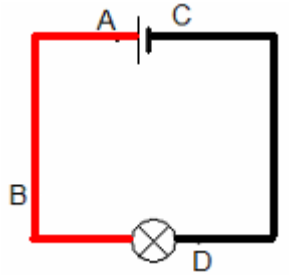
Voor de uitvinding van de batterij, door Volta in 1800, was dit een onoverkomelijk probleem. Er waren geen spanningsbronnen die een constante spanning konden geven.

In een **batterij** wordt de lading langs chemische weg 'gemaakt'. Als de batterij stroom levert, stroomt er lading van de polen weg, maar de batterij vult de lading op zijn polen voortdurend aan. Hierdoor blijft de spanning redelijk constant. Dat gaat goed totdat de batterij uitgeput is. De stoffen die nodig zijn voor de reactie zijn dan opgereageerd.

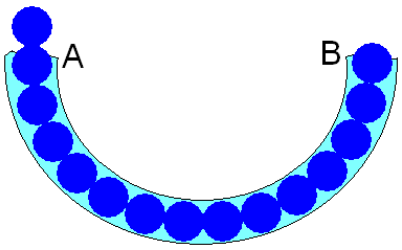
Bij oplaadbare batterijen kun je de chemische reactie met behulp van elektriciteit omdraaien, zodat de oorspronkelijke stoffen weer worden teruggevormd. Maar dat lukt alleen bij bepaalde stoffen. Een eenvoudige batterij kun je al maken met een citroen, waarin je een staafje zink en een staafje koper steekt. Na de tijd van Volta zijn er ook andere soorten spanningsbronnen ontwikkeld.



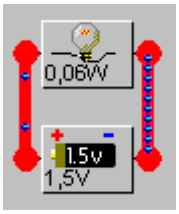
Figuur 1.24.



Figuur 1.25: punten met dezelfde spanning hebben dezelfde kleur.



Figuur 1.27a: de knikkers in een tuinslang oefenen krachten op elkaar uit doordat ze tegen elkaar aan liggen. Als er bij A een nieuwe knikker in de slang wordt gestopt zal er vrijwel direct bij B een knikker uitgaan.



Figuur 1.27c: momentopname van een simulatie met ElektriX.

Een spanningsbron die de spanning tussen zijn plus- en zijn minpool perfect constant houdt, hoeveel we er ook op aansluiten, noemen we **ideaal**.

Spanning in schakelingen.

In de volgende opdracht gaan we het begrip spanning toepassen bij schakelingen.

Opdracht 4: Spanningen in een eenvoudige schakeling voorspellen.

In figuur 1.24 zie je een lampje dat door middel van stroomdraden is aangesloten op een batterij van 6 V. Stroomdraden zijn zeer goede geleiders, hierover is de spanning 0 Volt. Lampjes zijn matige geleiders, ze hebben weerstand. De batterij zorgt voor een spanning, dus voor een spanning, van 6 V tussen zijn polen.

- Hoe groot is de spanning tussen punt A en punt B?
- Hoe groot is de spanning tussen punt A en punt C?
- Hoe groot is de spanning tussen punt A en punt D?
- Hoe groot is de spanning tussen punt C en punt D?

In figuur 1.25 zie je dezelfde schakeling, maar we hebben door middel van kleuren aangegeven over welke delen van de schakeling geen spanning staat. Tussen twee punten van een schakeling is alleen spanning als er een spanning is. In de tekening kun je daarom aan kleurverschillen zien of er spanning is tussen twee punten.

Tussen A en B is geen kleurverschil, dus de spanning is 0 V.

Tussen A en C, en tussen A en D is er wel kleurverschil. De spanning is in beide gevallen 6 V. Maar tussen C en D is de spanning weer 0 V.

Model: knikkers in een tuinslang

Het gedrag van elektronen in een elektriciteitsdraad kun je in dit opzicht vergelijken met een tuinslang gevuld met knikkers. De knikkers liggen tegen elkaar aan. Zie figuur 1.27. Als we aan het ene uiteinde een nieuwe knikker in de slang stoppen, zal op vrijwel hetzelfde moment aan het andere uiteinde er een knikker uit de slang geduwd worden. De knikkers zelf hebben geen hoge snelheid, het signaal ('beweeg') gaat wel zeer snel.

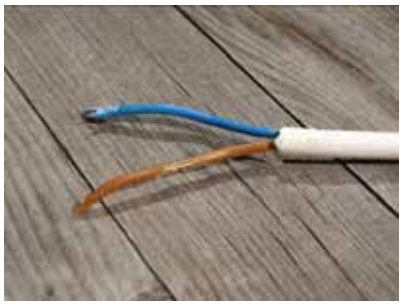
Dit model is geschikt om uit te leggen waarom het signaal zich zeer snel kan voortplanten, terwijl de elektronen zelf niet zo snel gaan. Maar zoals elk model heeft ook dit model zijn beperkingen.

Bedenk minstens vijf punten waarop het knikkermodel verschilt van de werkelijkheid.



Figuur 1.27b: knikkers in tuinslang

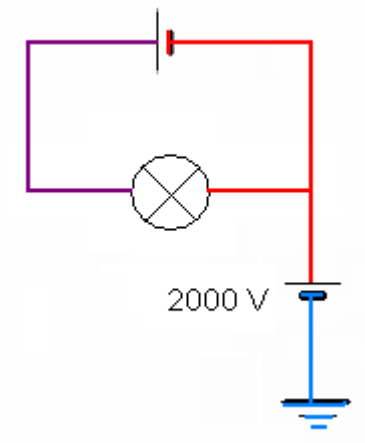
De beweging van de elektronen wordt gesimuleerd in het computerprogramma ElektriX (figuur 1.27c). Bedenk wel dat ook ElektriX niet meer maar dan een model is, met goede, maar ook slechte eigenschappen.



Figuur 1.28: elektriciteitssnoer met fasedraad en nuldraad.



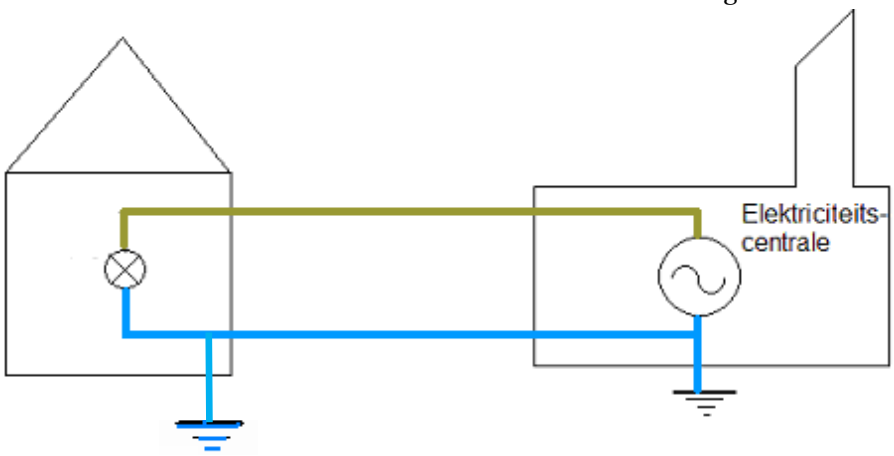
Figuur 1.29b : meterkast met kWh-meter, hoofd-schakelaar, aardlek-schakelaar en groepsze-keringen.



Figuur 1.30: de spanning over het lampje is 6 V.

Fasedraad en nuldraad.

Bekijk figuur 1.29 hieronder. Een lamp in een huis is verbonden met een elektriciteitscentrale. We hebben de situatie sterk vereenvoudigd.



Figuur 1.29: een lamp is door middel van een fasedraad en nuldraad verbonden met de bron in de centrale.

In de **elektriciteitscentrale** wordt de wisselspanning opgewekt die je thuis gebruikt. In de centrale wordt één pool van de wisselspanningbron geaard. Hij wordt letterlijk verbonden met de aarde. De aarde is erg groot en daardoor heel moeilijk op te laden. We stellen de lading van de aarde daarom op nul. Hierdoor zal één van de twee draden altijd een soort nulpunt voor spanning zijn. Deze draad heet de **nuldraad**. Deze draden zijn bij je thuis makkelijk te vinden. Als alles goed is aangelegd is het isolatiemateriaal van de nuldraden blauw. In figuur 1.29 hebben we hem daarom blauw gekleurd.

De andere draad zal dan een voortdurend wisselende spanning hebben. Die draad heet de **fasedraad.** Hij is meestal bruin. De spanning tussen de fasedraad en de nuldraad is in de Europese Unie 230 V. Bij wisselspanning wisselt de spanning tussen fase- en nuldraad 50 keer per seconde van +230V naar -230V en weer terug.

Normaal verloopt het contact tussen fasedraad en nuldraad via weerstanden in een lamp, TV, ijskast, etc. Wanneer er door een fout of slechte isolatie rechtstreeks contact is tussen fasedraad en nuldraad, dan is er direct een hele grote stroom. We noemen dat **kortsluiting** en dit kan brand veroorzaken. Zekeringen beschermen ons tegen de gevolgen van kortsluiting.

Fietslampje en 2000 V.

We komen nu terug op de opdracht uit het begin van deze paragraaf. Bekijk figuur 1.30. We hebben de draden nu gekleurd, zodat je goed kunt zien over welke draden geen spanning staat.

De batterij zorgt voor een spanning van 6 V tussen zijn polen. Tussen de rode en de paarse draad bestaat er dus een spanning van 6 V. Het lampje bevindt zich tussen die draden, dus de spanning over het lampje is 6 V, en niets meer. Het lampje zal daarom gewoon branden.

Van de 2000 V van de andere spanningsbron merken we niets. Er is bij die bron geen gesloten kring.



Figuur 1.31: snoer met fasedraad, nuldraad en aarddraad.

Veiligheid

Door een fout of slijtage kan het gebeuren dat de fasedraad in contact komt met het metalen omhulsel van een apparaat. Als je zo'n apparaat aanraakt komt er een mogelijk dodelijke spanning van 230 V over je te staan. Om dat gevaar tegen te gaan moeten apparaten met een groot vermogen of in natte omgeving altijd geaard zijn. In principe betekent dat, dat er een metaaldraad met de buitenkant van het apparaat verbonden wordt. Het andere uiteinde van die draad gaat vervolgens diep de grond in. Op die manier houdt de draad de spanning tussen jou en de buitenkant van het apparaat altijd op 0 V.

In veel snoeren is die aarddraad al opgenomen (figuur 1.31). Hij is groengeel. De stekker van zo'n snoer moet in een geaard stopcontact worden gestoken. In zo'n stopcontact zitten twee geaarde metalen klemmen (figuur 1.32).

Met de randaarde is het probleem nog niet helemaal opgelost. Op de een of andere manier zou iemand in contact kunnen komen met de fasedraad en dan gaat de stroom via de persoon naar aarde i.p.v. via de nuldraad. Daarom heeft elk nieuw huis tegenwoordig een aardlekschakelaar. Die vergelijkt voortdurend de stroomsterktes door de fasedraad en de nuldraad met elkaar. Als die stroomsterktes niet gelijk zijn is er een lek. De aardlekschakelaar schakelt dan de elektriciteit in huis uit. (Zie figuur 1.29 b of bekijk je eigen meterkast thuis)



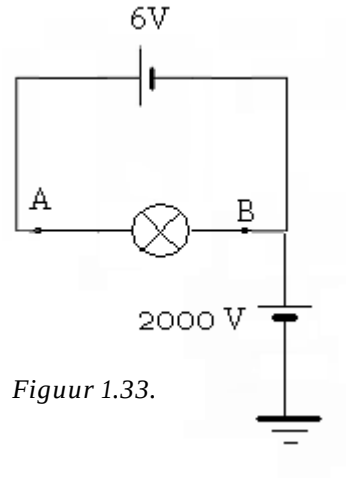
Figuur 1.32: stopcontact met randaarde.

Begrippen

Aarden
Ladingsdichtheid
Batterij
Ideale spanningsbron
Elektriciteitscentrale
Fasedraad
Nuldraad
Kortsluiting

Samenvatting

- Spanning is ontstaat door **ladingsverschil.**
- Over een **goede geleider** is de spanning nul volt.
- Een **ideale spanningsbron** zorgt voor een constante spanning tussen zijn polen, onafhankelijk van de stroom die geleverd wordt.
- Je kunt een elektrisch onderdeel '**aarden**' door het met de aarde te verbinden.
- Het voltage van een **geaard onderdeel** wordt altijd op nul gesteld.
- Bij een elektrische huisinstallatie is de **nuldraad** geaard, en de **fasedraad** niet.



Figuur 1.33.



Figuur 1.34: kooi van Faraday.



Figuur 1.35: batterijvakje grafische rekenmachine

Opgaven

13 Tweeduizend Volt bij een fietslampje.

In figuur 1.33 zie je opnieuw de schakeling uit opdracht 3. De elektriciteitsdraden zijn niet geïsoleerd. Zelf sta je op de grond ('aarde'). Wat gebeurt er met jou, de batterij en het lampje als je:

a. Punt A aanraakt?
b. Punt B aanraakt?

14 Gevangene van Faraday

Een man zit opgesloten in een grote metalen kooi. De kooi wordt verbonden met een gelijkspanningsbron met een spanning van 2000 V.

a. Gaat er een dodelijke stroom door hem heen, of overleeft hij dit?
b. Leg je antwoord uit.

15 Elektronische apparatuur

De meeste kleinere elektrische ontladingen zijn niet gevaarlijk voor mensen. Voor elektronische apparatuur kunnen ze wel schadelijk zijn. Denk aan computers, telefoons, MP3-spelers, enzovoorts.

a. Hoe zou je elektronische apparatuur kunnen beschermen tegen elektrische ontladingen?

16 Batterijenplaatsing

Een grafische rekenmachine werkt op een spanning van 6 V.

a. Hoe plaats je de vier AA- batterijen van 1,5 V in de voeding (figuur 1.35)?

Maak een schakelschema waarin duidelijk is hoe de batterijen geschakeld zijn.

17 Coaxkabels

Coaxkabels zijn zeer goede geleiders voor elektrische signalen. De kabel-TV maakt er bijvoorbeeld gebruik van.

Bij een bepaald type coaxkabel is de snelheid waarmee het elektrische signaal wordt doorgegeven 79% van de lichtsnelheid. De lichtsnelheid bedraagt $3{,}00 \cdot 10^8$ m/s (300 000 000 m/s).

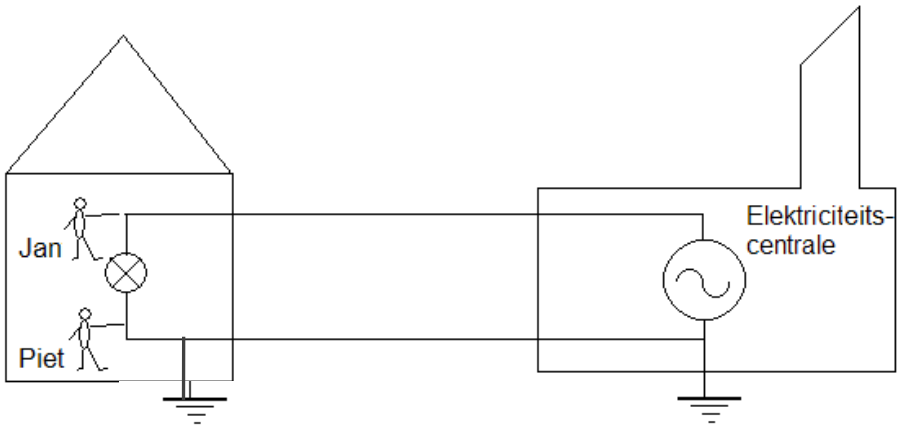
a. Bereken de afstand in km die een elektrisch signaal in 1 ms (1 milliseconde) door zo'n kabel aflegt.



Figuur 1.36: coaxkabels.

18 Huisinstallatie

Jan en Piet komen per vergissing elk in contact met één van de twee draden naar de lamp in het huis. Zie figuur 1.37. Dat zou kunnen gebeuren als je een lamp zeer onvoorzichtig verwisselt. Jan en Piet staan allebei met hun voeten in verbinding met de aarde.



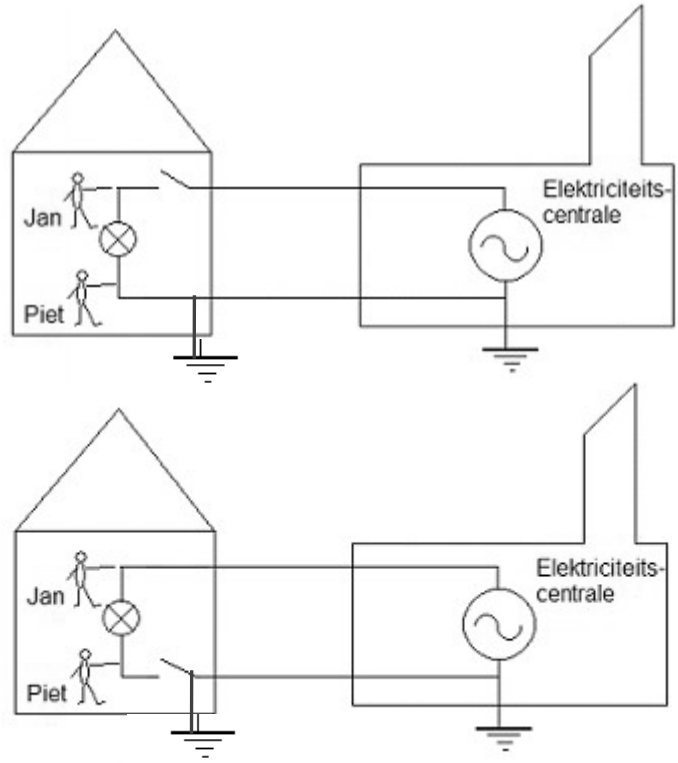
Figuur 1.37: in contact met fasedraad of nuldraad.

a Hoe groot is de spanning over Jan?

b Hoe groot is de spanning over Piet?

Als het goed is, is er alleen gevaar als je in contact komt met de fasedraad. Toch moet je het risico niet nemen. Je weet nooit zeker of de bedrading goed is aangelegd.

In het huis ontbreekt nog een schakelaar voor het licht. Zo'n schakelaar zit vaak op maar één van de twee draden gemonteerd. Je gaat nu uitzoeken op welke draad hij het beste kan worden gemonteerd.



Figuur 1.38: schakelaar op fasedraad of nuldraad?

Beide mogelijkheden zijn getekend in figuur 1.38. Het licht is uit.

b. Neem de figuren over en kleur de draden met een spanning van 0 V blauw, en alle draden met dezelfde spanning als de fasedraad rood.
c. In welke van de twee situaties zal Jan onder spanning staan?
d. In welke van de twee situaties zal Piet onder spanning staan?
e. Op welke draad moet de schakelaar dus gemonteerd worden?

Bij een vaste lamp, die je met een lichtknopje aan- en uitzet, is de schakelaar meestal goed aangelegd. Bij een lamp met een stekker hangt het er van af hoe je de stekker in het stopcontact steekt. In Nederland kan dat op twee manieren. In sommige andere landen kan een stekker maar op één manier in een stopcontact worden gestoken.



Figuur 1.39: vogels op hoogspanningsleidingen?

Hoogspanningsleiding

Je zou kunnen denken dat je veilig een fasedraad kunt aanraken, zolang je maar niets anders aanraakt, zoals een vogel op de fasedraad van een hoogspanningsleiding. Toch is dat niet zo.

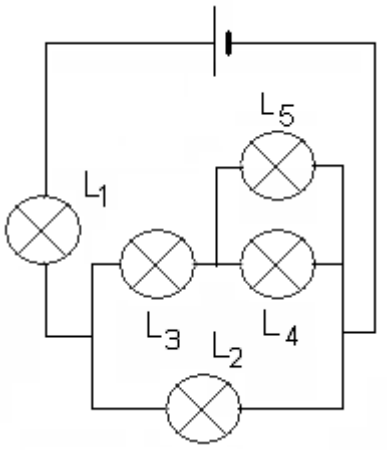
In de eerste plaats kan ook de lucht geleiden, als de spanning maar hoog genoeg is, zoals bij onweer. De afstand tot andere voorwerpen speelt daarbij ook een rol. Je kunt gaan “sproeien”.

In de tweede plaats voeren hoogspanningsleidingen wisselspanning. Hierdoor zou je lichaam elke seconde 50 maal worden opgeladen en ontladen. Bij hoogspanning gaat het om grote hoeveelheden lading. De hiervoor benodigde stroom is wel degelijk dodelijk.

In de praktijk blijken vogels het op leidingen tot en met 50 kV uit te kunnen houden.

1.4 Spanningen in schakelingen

Paragraafvraag	Hoe wordt in een complexe schakeling de spanning verdeeld?



Figuur 1.40.

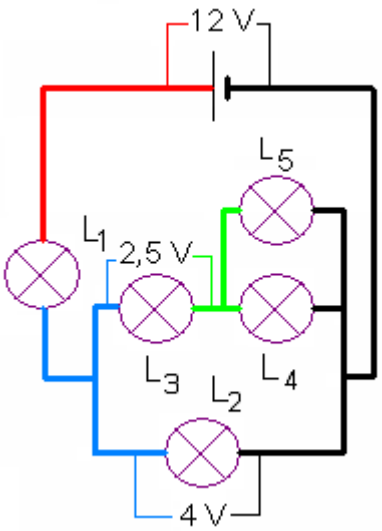
In deze paragraaf bekijken we hoe je problemen over spanningen in meer complexe schakelingen op kunt lossen.
We gebruiken daarvoor een schakeling die op het eerste gezicht ingewikkeld lijkt, maar is wel geschikt is om te laten zien hoe je dit systematisch kunt aanpakken.

Opdracht 5: Spanningen in een meer complexe schakeling.

In figuur 1.40 hiernaast zie je een schakeling van vijf verschillende lampjes en een spanningsbron. De bron levert een spanning van 12 V. Over L_2 staat een spanning van 4 V. Over L_3 staat een spanning van 2,5 V.

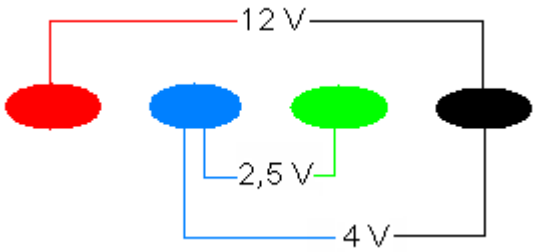
Voorspel hoe groot de spanningen over L_1, L_4 en L_5 zullen zijn.

Het is handig om in de figuur stukken draad waarover geen spanning staat dezelfde kleur te geven. In figuur 1.41 hebben we dat gedaan. In de figuur ontstaan zo vier verschillende kleuren.
De bekende spanningen uit de opgave zijn aangegeven. Twee draden links en rechts van een component (weerstand, lamp, apparaat) hebben altijd een verschillende kleur. Draden aan elkaar hebben altijd dezelfde kleur.



Figuur 1.41: draden waarover geen spanning staat geef je dezelfde kleur.

In figuur 1.42 hieronder hebben we de vier gebieden schematisch op een rij gezet, vanaf de pluskant van de bron naar de minkant. Ook hier hebben we de spanningen aangegeven.



Figuur 1.42: de spanningen uit figuur 1.41 op een rij.

In figuur 1.42 zie je direct:

- tussen 'rood' en 'zwart' is de spanning 12 V, tussen blauw en zwart is dat 4 V. De spanning tussen 'rood' en 'blauw' moet dan 12 – 4 = 8 V zijn. Lampje L1 zit tussen 'rood' en 'blauw' in, dus de spanning over L1 is 8 V.

- tussen ‘blauw’ en ‘zwart’ is de spanning 4 V, tussen ‘blauw’ en ‘groen’ is het verschil 2,5 V. De spanning tussen ‘groen’ en ‘zwart’ moet dus 4 – 2,5 = 1,5 V zijn. Lampje L4 zit tussen ‘groen’ en ‘zwart’ in, dus de spanning over L4 is 1,5 V. Lampje L5 zit óók tussen ‘groen’ en ‘zwart’ in. De spanning over L5 is dus ook 1,5 V.

Valkuil

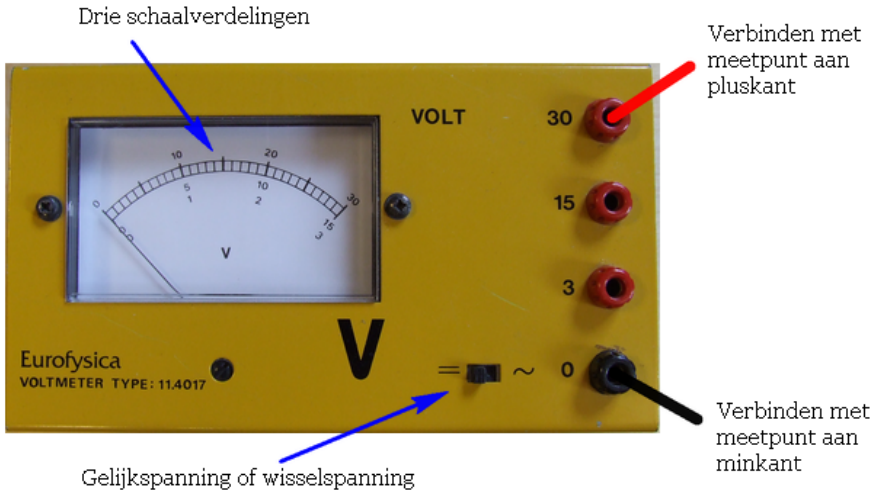
Sommige mensen denken, dat de spanning van de bron verdeeld wordt over alle lampjes. Dat klopt voor een pure serie schakeling maar niet voor een schakeling met parallel componenten. Als je de spanningen over de 5 lampjes in figuur 1.41 optelt, kom je in totaal op 17,5 V en niet op 12 V.

Een ander tegenvoorbeeld: bij jou thuis zijn bijna alle apparaten parallel geschakeld. Elk apparaat werkt op 230 V. Als je thuis twee lampen tegelijk laat branden, heb je ook niet opeens 460 V over je stopcontact staan. Of, als je een tweede lamp aan doet, dan wordt de spanning over de eerste niet ineens 115V.

In paragraaf 1.1 heb je gezien hoe stroom zich gedraagt in schakelingen. Daarbij moest je vooral kijken naar de punten waar de stroomdraden splitsten en weer samenkwamen.
Nu hebben we gekeken naar spanningen. Ook bij spanning moet je in de eerste plaats naar de bedrading kijken. Kleuren en tekeningen zoals figuur 1.42 maken het je daarbij een stuk gemakkelijker. Algemeen geldt de regel dat spanningen over onderdelen in een serieschakeling worden opgeteld en dat de totale spanning gelijk is aan die van de spanningsbron.

Spanning meten

Spanning meet je met een Voltmeter. Een voltmeter moet parallel aan het apparaat waarover je wilt meten worden aangesloten. De reden daarvoor is nu duidelijk. Een voltmeter meet een spanning tussen twee punten.



Figuur 1.43: voltmeter.

In figuur 1.43 zie je een afbeelding van een voltmeter. Ook hiervan bestaan veel verschillende types. Maar altijd zal één ingang met het ene meetpunt, en een andere ingang met het andere meetpunt verbonden moeten worden.

Bij de afgebeelde meter moet één van de rode ingangen met het meetpunt dat het meest aan de pluskant ligt verbonden worden. Als je van te voren geen idee van de spanning hebt, moet je de schaal met het grootste bereik gebruiken. Dat is hier de schaal tot 30 V.
De zwarte ingang moet verbonden worden met het meetpunt dat het meest aan de minkant ligt.
In figuur 1.44 zie je een schematische symbool voor een voltmeter.



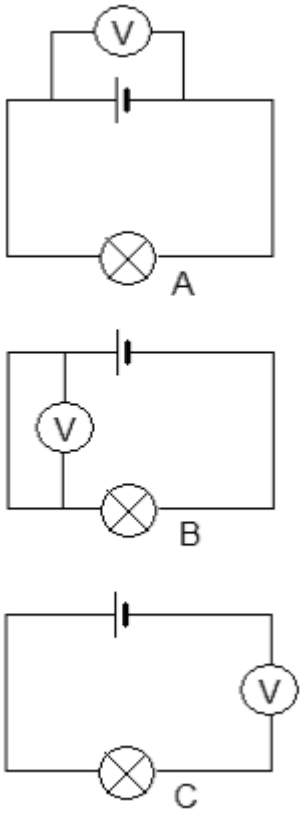
Figuur 1.44: symbool voor een voltmeter.

Begrippen

Schakeling
Spanning
Volmeter

Samenvatting

- Je kunt met **kleuren** aangeven over welke draden in een schakeling geen **spanning** staat. De kleuren helpen om te zien waar wel spanningen zijn en hoe groot die zijn.
- Een **voltmeter** moet parallel aan het apparaat worden aangesloten waarover je de spanning wilt meten.



Figuur 1.45.

Opgaven

19 Voltmeters plaatsen

In figuur 1.45 hiernaast zie je drie schakelingen.

a. In welke schakelingen meet de voltmeter de spanning over het lampje?

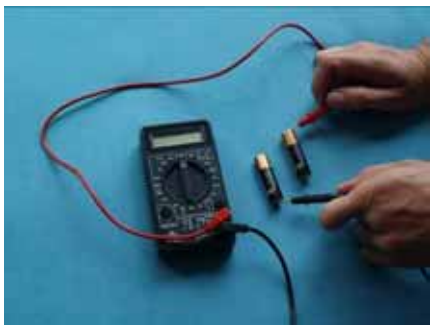
De bron geeft een spanning van 6 V.

b. Hoeveel Volt wijzen de meters in elke opgave aan?

De lampjes zijn gebouwd om te branden bij een spanning van 6 V.

c. Welke lampjes branden?

20 Batterijen en een voltmeter.



Figuur 1.46: de spanning tussen de minpool van de ene, en de pluspool van de andere batterij meten.

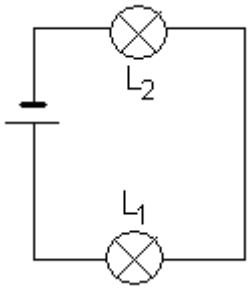
Je neemt twee batterijen van elk 1,5 V en een voltmeter. Met de voltmeter meet je de spanning tussen de pluspool van de ene batterij, en de minpool van de andere batterij, zoals in figuur 1.46. Voorspel wat je zult vinden.

Je kunt je antwoord controleren door de meting te doen.

Leg uit waarom je meet wat je meet.

21 Oefenen met spanning en stroom in schakelingen

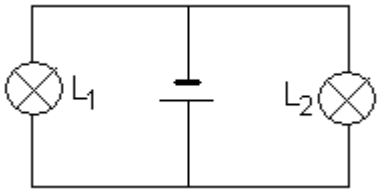
Zie de schakeling in figuur 1.47. De bron geeft een spanning van 12 V. Je wilt de spanning meten over L_1. Je wilt ook de stroomsterkte meten door L_1.



Figuur 1.47.

a. Neem de schakeling over en teken de meters in de schakeling.
b. Gebruik kleuren om de draden waarover geen spanning staat aan te geven.

Je meet bij L_1 een spanning van 5,6 V en een stroomsterkte van 1,2 A.
c. Hoe groot is de stroomsterkte bij de bron?
d. Hoe groot is de spanning over L_2?
e. Hoe groot is de stroomsterkte door L_2?
f. Zijn L_1 en L_2 verschillende of gelijke lampjes?

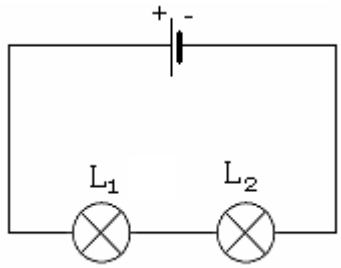


Figuur 1.48.

22 Meer oefenen met spanning en stroom in schakelingen

Zie figuur 1.48. Je wilt de spanning meten over L_1. Je wilt ook de stroomsterkte meten door L_1.
a. Teken de meters in de schakeling.
b. Gebruik kleuren voor de de draden waarover geen spanning staat.

Je meet bij L_1 een spanning van 5,8 V en een stroomsterkte van 1,2 A.
Bij de bron meet je een stroomsterkte van 3,6 A.
c. Hoe groot is de spanning over de bron?
d. Hoe groot is de spanning over L_2?
e. Hoe groot is de sterkte van de stroom door L_2?

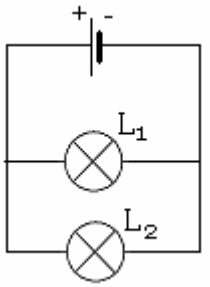


Figuur 1.49: serieschakeling.

23 Stroom, spanning, serie, parallel

Je ziet in figuur 1.49 een serieschakeling en in figuur 1.50 een parallelschakeling van twee lampjes, L1 en L2. De stroomsterktes bij de bron en de lampjes noemen we Ib, I1 en I2. De spanningen heten Ub, U1 en U2. In de tabel hieronder zijn de regels, die gelden voor de stroomsterktes ingevuld. De regels voor de spanningen moeten nog worden ingevuld.

a. Neem de tabel over en maak hem af door de regels voor spanning in te vullen.



Figuur 1.50: parallelschakeling.

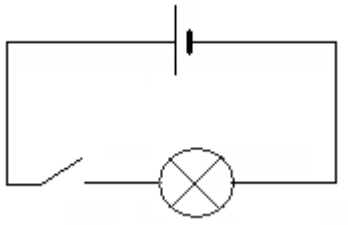
	Serie	**Parallel**
Stroom	$I_b = I_1 = I_2$	$I_b = I_1 + I_2$
Spanning	U_b = ...	U_b = ...

b. Wat valt je op?

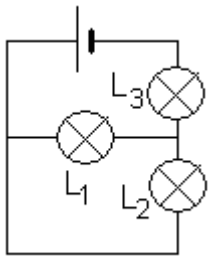
24 Lampje en schakelaar

Een lampje is in serie met een schakelaar verbonden met een spanningsbron van 230 V (figuur 1.51). De schakelaar laat geen stroom door.

a. Hoe groot is de spanning over het lampje?
b. Hoe groot is de spanning over de schakelaar?



Figuur 1.51: lampje met schakelaar.



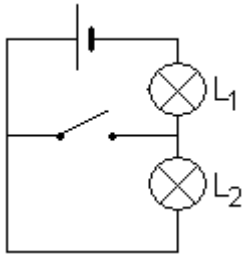
Figuur 1.52.

25 Nog meer oefenen met spanning en stroom in schakelingen

Zie figuur 1.52. De bron geeft een spanning van 7 V. Over L_1 staat een spanning van 2 V. Door L_1 loopt een stroom van 2,3 A. Door L_3 loopt een stroom van 5,0 A.

a. Hoe groot is de spanning over L_2?
b. Hoe groot is de stroom door L_2?
c. Hoe groot is de spanning over L_3?

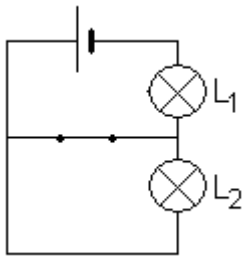
26 Kortsluiten van een elektrisch onderdeel



Figuur 1.53.

Zie de schakeling in figuur 1.53. De bron geeft een spanning van 7 V.
De lampjes zijn gelijk. De stroom bij de bron heeft een sterkte van 2,4 A.

a. Hoe groot is de spanning over L_1?
b. Hoe groot is de stroomsterkte door L_1?
c. Hoe groot is de spanning over L_2?
d. Hoe groot is de stroomstroomsterkte door L_2?
e. Hoe groot is de spanning over de schakelaar?



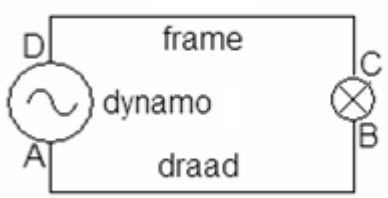
Figuur 1.54.

We sluiten nu de schakelaar. Zie figuur 1.54.
De spanning van de bron blijft hetzelfde.

f. Wordt de stroom die uit de bron komt nu groter, kleiner of blijft hij gelijk?
g. Hoe groot is nu de spanning over L_1?
h. Hoe groot is nu de spanning over L_2?
i. Wat kun je nu zeggen over de stroom door L_2?

We zeggen wel, dat we lampje L_2 hebben **kortgesloten**.

27 Kapotte fietsverlichting



Figuur 1.55: schakelschema van een fietslampje.

a. Hoe zijn bij een fiets het voor- en achterlicht geschakeld, parallel of in serie? Leg uit hoe je dat kunt weten.

Je achterlicht doet het niet. Het eerste wat je bekijkt is het lampje. Dat blijkt nog heel te zijn. Het voorlicht brandt gewoon, dus de dynamo doet het goed. Je meet de wisselspanning die de dynamo geeft. Je meet U_{AD} = 6 V.
Over de draad naar het achterlicht meet je een spanning U_{AB} van 0 V. Tussen punt C en D meet je 6 V.

b. Leg uit waar het probleem moet zitten: in het frame, of in de draad.

28 Kerstboomverlichting



Figuur 1.56: kerstboomverlichting.

Afra heeft een nieuwe kerstboomverlichting met 50 lampjes gekocht. Op de verpakking staan de volgende aanwijzingen:

- Alle lampjes dienen goed ingeschoven te zijn; wanneer er één los zit, werkt de verlichting niet.
- De lampjes mogen niet verwijderd of ingeschoven worden wanneer de verlichting is aangesloten op het lichtnet.
- Vervang onmiddellijk een defect lampje door een nieuw.

a. Hoe zijn de lampjes geschakeld, parallel of in serie? Hoe volgt dat uit één van de aanwijzingen op de verpakking?

Afra sluit de kerstboomverlichting aan op de netspanning van 230 V. Alle lampjes branden normaal.

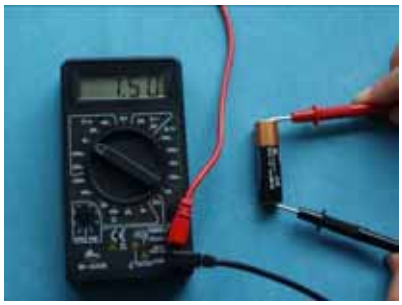
b. Bereken de spanning over één brandend lampje.

Op een bepaald moment gaat er een lampje kapot. Afra volgt aanwijzing 2 niet op en trekt dit lampje uit de fitting. Vanaf dat moment is de stroomkring daar onderbroken.

c. Hoe groot is de spanning die nu over deze fitting staat?

Voordat Afra het kapotte lampje uit de fitting trok, bleken alle andere lampjes nog te branden. Dit komt doordat bij dit type lampje de toe- en de afvoerdraad binnen het lampje contact maken als het lampje kapot gaat. Er ontstaat dan een serieschakeling van 49 lampjes. Het is raadzaam om aanwijzing 3 op te volgen, zeker als er meer lampjes kapot gaan.

d. Leg uit dat alle lampjes kapot kunnen gaan als aanwijzing 3 niet wordt opgevolgd.



Figuur 1.57: spanning tussen de pluspool en de minpool van één batterij.



Figuur 1.58: spanning tussen de pluspool van de ene, en de minpool van een andere batterij.

1.5 Elektrisch vermogen

Paragraafvraag	Wat heeft elektrisch vermogen te maken met stroom en spanning?

Energie en vermogen

In de onderbouw ben je de begrippen energie en vermogen tegengekomen. Het begrip energie speelt een centrale rol in de natuurkunde én in de maatschappij.

Aan het eind van het jaar krijgt ieder huishouden een rekening voor zijn energieverbruik. De hoeveelheid energie die een huishouden in een jaar verbruikt hangt af van twee factoren:

- de tijd dat je de apparaten aan hebt staan, en
- de 'sterkte' van de apparaten die je in huis hebt.

Met de 'sterkte' bedoelen we: het vermogen, het aantal Watt. Het vermogen van een apparaat is de energie die het apparaat per seconde omzet.

Energie en vermogen

Het vermogen van een apparaat is de hoeveelheid energie die het apparaat per seconde omzet. In formulevorm:

$$Vermogen = \frac{Energie}{tijd}$$

of in symbolen:

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

Symbolen: E is de energie in Joule (J), t is de tijd in seconden, en P is het vermogen ('Power') in Watt (W). 1 Watt is 1 Joule per seconde



Figuur 1.59: fabrikantgegevens op de achterkant van een televisie.

Een fabrikant zet meestal op een plaatje op het apparaat bij welke spanning het apparaat het beste werkt en welk vermogen het bij die spanning heeft. Bij adapters (denk aan een gsm) die een batterij opladen is het bijvoorbeeld zeer belangrijk dat de telefoon op een passende adapter wordt aangesloten die de correcte spanning geeft. Bij een te hoge spanning, kan het apparaat in brand vliegen.

Als je het vermogen van een apparaat weet en ook weet hoe lang het apparaat aanstaat, kun je het energieverbruik berekenen. Het is dan handig om de formule hierboven om te werken tot $E = P \cdot t$.

Voorbeeld

Een gloeilamp heeft een vermogen van 60 W. De gloeilamp brandt elke dag 4 uur. Bereken hoeveel energie de gloeilamp in een jaar omzet.

Antwoord:
t = 365 (dagen) · 4 uur = 1460 uur = 1460 · 3600 = 5256000 seconden
$E = P \cdot t$ = 60·5256000 = 315360000 = $3{,}2 \cdot 10^8$ J

Joule en kilowattuur

Zoals je bij het rekenvoorbeeld hebt kunnen zien is de **Joule** een nogal kleine eenheid van energie. Voor de energierekening thuis is een wat grotere eenheid handiger. Het beste zouden we daarvoor de Gigajoule of Terajoule kunnen gebruiken. Om historische redenen wordt helaas een andere eenheid gebruikt.

Bij deze eenheid wordt de tijd in uren (h) gezet en het vermogen in kiloWatt (kW). Er wordt gerekend met dezelfde formule –de natuur verandert niet als wij andere eenheden gebruiken-, maar de Joule kan dan niet meer gebruikt worden. In plaats daarvan wordt de eenheid 'kiloWattuur' gebruikt, afgekort kWh.



Figuur 1.60: kWh-meter.

N.B.: aan deze eenheid kun je zien wat je bij de berekening gedaan hebt: je hebt het aantal kW vermenigvuldigd met het aantal uren. Je krijgt dan kW·h. Het keerteken ('·') laten we vervolgens weg, zoals je dat bij wiskunde ook doet.

Net zo iets zie je bij andere eenheden, zoals bij de eenheid van snelheid, m/s. Hier staat echter een deelstreep, omdat je het aantal meter hebt gedeeld door het aantal seconden.

Je hebt dus twee sets van eenheden. In schema:

Energie E	**Vermogen P**	**Tijd t**
Joule (J)	Watt (W)	seconde (s)
kiloWattuur (kWh)	kiloWatt (kW)	uur (h)

Figuur 1.61: eenheden voor energie en vermogen

Vermogen, spanning, stroom

Als je een lampje aansluit op een spanningsbron gaat het feller branden als je de spanning opvoert. Het vermogen wordt dan groter.

Door de grotere spanning zal er ook meer stroom gaan lopen.

De vraag is nu of het grotere vermogen afhangt van de spanning, de stroom of van beiden.

Dit gaat we onderzoeken met behulp van een spanningsbron, een voltmeter, een ampèremeter en twee lampjes. De lampjes moeten verschillend zijn.

De kunst is, om een schakeling te bedenken, waarin de stroomsterkte door beide lampjes hetzelfde is terwijl de spanning kan verschillen. We zien dan of het vermogen van de spanning afhangt.
Daarnaast moeten we een schakeling proberen te bedenken, waarbij de spanning hetzelfde is, maar de stroomsterkte kan verschillen.

Opdracht 6: Spanning, stroom en vermogen.

a. Bedenk en teken een schakeling van twee verschillende lampjes en één spanningsbron, waarbij de stroomsterkte door beide lampjes hetzelfde is.
b. Bedenk en teken een schakeling van twee verschillende lampjes en één spanningsbron, waarbij de spanning over beide lampjes hetzelfde is.
c. Bespreek je antwoorden in de klas.

In het onderstaande paarse tekstblok staan opdrachten die met behulp van practicummateriaal gedaan kunnen worden, maar ook met behulp van simulatiesoftware, zoals Elektrix, of Crocodile Clips, of PhET (phet.colorado.edu/simulations/)

Opdracht 7: Practicum of simulatie: spanning, stroom en vermogen.

De meetresultaten bij dit practicum heb je later nog nodig. Dat is een extra reden om zorgvuldig te werken en je resultaten zorgvuldig op te schrijven.
a. Bouw de schakeling uit opdracht 6a. Voer de spanning op tot beide lampjes branden. Pas op, dat het felste lampje niet doorbrandt.

Meet en noteer nu:
- de sterkte van de stroom door de lampjes en de bron,
- de spanning van de bron,
- de spanning over het felste lampje, en
- de spanning over het zwakste lampje.

Trek je conclusie: hangt het vermogen van een lampje af van de spanning?

b. Bouw de schakeling uit opdracht 6b. Voer de spanning op tot beide lampjes branden. Pas op dat het felste lampje niet doorbrandt.

Meet nu:
- de spanning over de lampjes en de bron,
- de stroomsterkte bij de bron,
- de stroomsterkte bij het felste lampje, en
- de stroomsterkte bij het zwakste lampje.

Trek je conclusie: hangt het vermogen van een lampje af van de stroomsterkte?
c. Is het lampje dat bij a het felste brandde ook bij b het felste?

Uit opdracht 7a kun je concluderen, dat het elektrische vermogen van een apparaat afhangt van de spanning, maar uit 6b bleek dat, bij dezelfde spanning, het vermogen bepaald werd door de stroomsterkte.

Elektrisch vermogen hangt dus af van spanning én van stroomsterkte.
Als je probeert te meten hoe het precies zit vind je het volgende verband:

Elektrisch vermogen

Het verband tussen spanning, stroomsterkte en elektrisch vermogen van een apparaat wordt gegeven door:

$$P = U \cdot I$$

Symbolen: P is het elektrisch vermogen in Watt (W),
U is de spanning over het apparaat in Volt (V), en
I is de stroomsterkte door het apparaat in Ampère (A).

Zoals je in de bovenste formule ziet komen de spanning U en de stroomsterkte I op dezelfde manier in de formule voor. Beide zijn even belangrijk.

De vraag kan bij je opkomen waarom het verband $P = U \cdot I$ moet zijn en niet $P = \sqrt{U \cdot I}$, of iets dergelijks. We komen hier in de opgaven op terug.

Begrippen

Vermogen
Energie
Watt
kiloWattuur
Joule

Samenvatting

- Het **vermogen** P van een apparaat is de hoeveelheid energie die per seconde wordt omzet of overgedragen. Het verband tussen vermogen, energie en tijd wordt gegeven door de formule:
$$P = \frac{E}{t} .$$
- Bij de formule hierboven kun je werken met twee verschillende sets van eenheden: Watt, seconde en Joule, of **kiloWatt**, **uur** en **kiloWattuur**.
- De formule voor het verband tussen **elektrisch vermogen**, spanning en stroomsterkte is:
$$P = U \cdot I .$$

Opgaven

29 Grootheden, eenheden, getallen…

Bedenk wat er op de opengelaten plaatsen moet staan.

Een magnetron heeft een …(a)… van ongeveer 1100 W en werkt op een …(b)… van 230 …(c)… . Als de magnetron aan staat, loopt er een …(d)… door de magnetron van …(e)… …(f)… . Bij de familie Jansen staat de magnetron 45 minuten per dag aan. Per dag zet die magnetron dus 0,825 kWh aan …(g)… om.

30 Jaarverbruik van een gloeilamp

a. Maak de opgave uit het rekenvoorbeeld over de gloeilamp van 60 W opnieuw, maar bereken nu je antwoord in kWh.

b. Bereken hoeveel Joule gelijk is aan 1 kWh.

31 De elektriciteitsrekening.

Drie leerlingen praten over de elektriciteitsrekening.

Leerling 1: '*Kilowattuur…Dat is de stroom die we in een hele maand verbruiken.*'

Leerling 2: '*Nee, De kilowattuur is de hoeveelheid elektriciteit die we verbruiken.*'

Leerling 3: '*Nee, kilowattuur is het vermogen dat we verbruiken.*'

Bekritiseer elk van deze uitspraken en formuleer een betere.

32 Consumentenbond

In het volgende stukje van de Consumentenbond staat een grove fout, welke?



Figuur 1.62: foutje in de consumentengids.

33 Energiebehoud bij het practicum?

a. Bereken voor opdracht 7a:

- het vermogen van de bron,
- het vermogen van het felste lampje, en
- het vermogen van het zwakste lampje.

b. Geldt de wet van behoud van energie? Als er afwijkingen zijn, probeer die dan te verklaren.

c. Doe hetzelfde voor opdracht 7b.

Als het goed is, zie je bij a én b dat het vermogen P_b dat de bron heeft geleverd gelijk is aan het vermogen P_1, dat het ene lampje heeft omgezet plus het vermogen P_2, dat het andere lampje heeft omgezet: $P_b = P_1 + P_2$.

De vraag in de tekst was, of de formule voor elektrisch vermogen niet net zo goed $P = \sqrt{U \cdot I}$ zou kunnen zijn. Maar deze formule kan niet kloppen, want als je de vermogens van de bron en beide lampjes bij vraag a en b volgens deze formule probeert uit te rekenen, kom je niet uit op $P_b = P_1 + P_2$.

d. Ga dit na.

De berekeningen in opgave b en c zijn nog geen sluitend bewijs van de formule $P = U \cdot I$. Een bewijs moet meer algemeen zijn, het mag niet afhangen van een paar toevallige getallen. Een meer algemeen bewijs kun je voor serieschakelingen en parallelschakelingen geven op basis van de wet van behoud van energie en de regels voor spanning en stroom. Op het niveau van 4 Vwo is dat een moeilijke opgave. Probeer dit als je een uitdaging zoekt.



Figuur 1.63.

34 Geen vermogen...

Als ergens wel spanning is maar geen stroom loopt is het vermogen dat daar wordt omgezet 0 W.

a. Bedenk een situatie waar je wel spanning, maar geen stroom hebt.

Door een bepaald onderdeel van een schakeling loopt wel stroom, zonder dat er spanning over staat.

b. Bedenk een onderdeel waarvoor dat geldt.

c. Geeft dat onderdeel licht, of wordt het warm?

35 Gloeilamp

Op een gloeilamp staat geschreven: “230 V, 75 W”

a. Leg uit wat dit betekent.

b. Bereken de stroomsterkte door deze lamp als je hem aansluit op de juiste spanning.

Het elektriciteitsbedrijf levert zijn energie bij een spanning van 230 V, maar soms is de spanning wat lager, bijvoorbeeld als een huis ver van een transformatorhuisje staat, of bij fluctuaties door een grote vraag naar elektriciteit.

In een huis is de spanning op gegeven moment 225 V. Je sluit de gloeilamp in dit huis aan.

c. Is de stroomsterkte nu groter, kleiner of even groot als bij vraag b? Leg je antwoord uit.

36 Huis

In een huis zijn tegelijk aangesloten:

- een kookplaat met een maximaal vermogen van 1200 W
- een wasmachine met een maximaal vermogen van 1400 W
- 5 gloeilampen van elk 60 W
- een koelkast met een maximaal vermogen van 800 W.

a. Waarom staat bij sommige apparaten het woord “maximaal”?

Alle apparaten zijn aangesloten op één groep, met een zekering (een “stop”) van 16 A. De zekering sluit de elektriciteit in de groep af als de stroom groter wordt dan 16 A. Hij doet dat door door te smelten of door een schakelaar om te zetten (duurdere types).

b. Geef twee redenen waarom de stroom groter zou kunnen worden dan 16 A.

c. Waarom is een stroom van meer dan 16 A gevaarlijk?

d. Ga door middel van een berekening na of de zekering doorsmelt als alle apparaten in huis tegelijk maximaal aanstaan.

37 Pizza bakken

Als je pizza wilt bakken, moet een elektrische oven eerst 10 minuten op vol vermogen voorverwarmd worden, het vermogen is dan 3,0 kW.

Tijdens het bakken zelf, staat de oven niet voortdurend aan. Gemiddeld verwarmt de oven slechts 10 minuten van de totale baktijd (op vol vermogen).

Elektrische energie kost 0,15 € per kWh.

Bereken wat het bakken van de pizza kost.

38 Randapparatuur van de computer

Bij een thuisnetwerk zijn er nogal wat onderdelen met sluipverbruik. Bij het netwerk hoort vaak een router (7,5 W), modem (6,8 W), printer (3,3 W), computer (2,9 W), luidsprekerset (1,7 W), alle in slaapstand.

Hoeveel kost dit sluipverbruik per dag? Ga uit van 0,15 € per kWh.

39 GSM

Op de adapter die bij een gsm geleverd wordt, staat:

Input 230 VAC 50 Hz 0.08 A

Output 4.8 VDC 350 mA

a. Wat betekenen deze getallen?

b. Is het vermogen van input en output gelijk? Hoe komt dat?.

Het opladen van de batterij van de gsm duurt 90 minuten.

c. Hoeveel energie heeft de adapter aan het lichtnet onttrokken? Neem aan dat de stroomsterkte constant blijft.

d. Bereken hoeveel energie de adapter daarbij aan de batterij heeft geleverd.

e. In de stand-by stand kan de gsm 230 uur werken. Bereken het vermogen dat de gsm levert in de stand-by stand.



Figuur 1.64: Cost Control.

40 Kosten van stand-by

Met een (wisselstroom)ampèremeter kun je zelf het vermogen van een tv bepalen als deze in de stand-by staat.

a. Teken het schakelschema met netspanning en stekker van de tv.
b. Bereken het vermogen als de ampèremeter 55 mA aanwijst.
c. Er is ook een Cost Control (figuur 1.64) te koop die dit allemaal voor je uitrekent. Op welke wijze zet dit apparaat de ampères om in stroomkosten?

41 kWh-prijs van een batterij

Een penlite-batterij kost € 0,50 en bezit bij 1,5 V 2400 mAh. Wat is de prijs van 1kWh uit dit type batterijen? Geef de berekening erbij.

42 Schrikdraad

Normaal gesproken is een stroomsterkte van 25 mA al levensgevaarlijk. Als je in aanraking komt met schrikdraad komt er een zeer hoge spanning over je lijf te staan en kan de stroomsterkte veel hoger worden dan 25 mA. Dat gaat alleen goed als de stroomstoot heel kort duurt.

Bij een spanning van 4000 V kan de stroomsterkte door je lichaam onder vochtige omstandigheden 8 A worden. De duur van de stroomstoot is echter slechts 10 μs (10 microseconden = 0,010 ms).

a. Bereken de energie die er tijdens de stroomstoot in jouw lichaam wordt omgezet.



Figuur 1.65.

Een kogel met een massa van 1,2 gram en een snelheid van 282 m/s uit een geweer heeft een energie van 48 J.

b. Bereken hoe lang de stroomstoot zou moeten duren totdat er 48 J aan energie in je lijf is omgezet.

1.6 Weerstand en geleidingsvermogen

Paragraafvraag	Hoe hangt bij verschillende elektrische onderdelen de stroomsterkte af van de spanning?

Spanning, stroom-karakteristieken

In paragraaf 1.2 hebben we gezegd dat de stroomsterkte door een elektrisch onderdeel wordt bepaald door twee factoren:

- de spanning over het onderdeel, en
- de eigenschappen van het elektrische onderdeel.

We kijken nu naar die eigenschappen. De meest eenvoudige manier om de eigenschappen van een onderdeel te bepalen, is door ze te meten.



Figuur 1.66: weerstanden.



Figuur 1.67: symbool van een weerstand.

Opdracht 8: Spanning, stroom-karakteristieken meten.

De meetresultaten bij dit practicum heb je later nog nodig.

In dit practicum ga je van een elektrisch onderdeel meten hoe de stroom door het onderdeel afhangt van de spanning.

Je kunt meten aan een gloeilampje, een LED en een weerstandje. Het is handig als verschillende practicumgroepjes in de klas aan verschillende onderdelen gaan meten, dan kun je resultaten vergelijken.

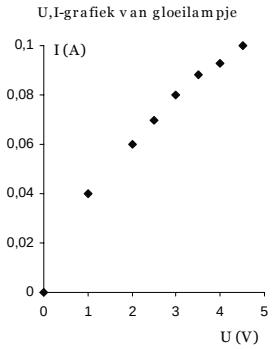
a. Ontwerp op papier een schakeling waarmee je kunt meten hoe de stroom door jouw onderdeel afhangt van de spanning. Laat de schakeling goedkeuren, en bouw hem daarna echt.

Voordat je gaat meten moet je beseffen dat je onderdeel stuk gaat als je er te veel spanning over zet. Vraag hoe hoog de spanning in jouw geval maximaal mag worden. Voel bovendien tijdens het meten voorzichtig aan het onderdeel. Als het te warm wordt kan het stuk gaan. Vooral een LED kan maar weinig spanning hebben.

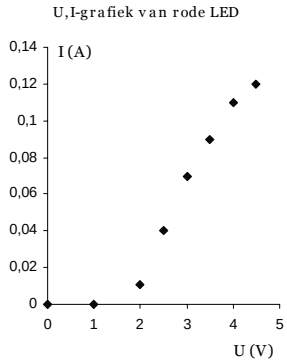
b. Stel de spanning achtereenvolgends in op 0 V, 0,5 V, 1,0 V .... en meet elke keer de stroom. Noteer je resultaten in een tabel.

c. Maak een grafiek bij je metingen. Zet de spanning langs de horizontale as, en de stroomsterkte langs de verticale as.

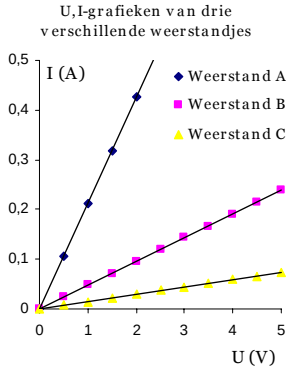
De grafiek die je nu gekregen hebt, noemen we de spanning-stroom karakteristiek van je onderdeel.



Figuur 1.68.



Figuur 1.69.



Figuur 1.70

Als je de spanning, stroom-karakteristiek van een onderdeel eenmaal hebt weet je voortaan voor dat onderdeel bij welke spanning welke stroomsterkte hoort, en andersom.

Weerstand

In de figuren 1.68 tot en met 1.70 zie je enkele spanning, stroom-karakteristieken. De meest eenvoudige grafieken zijn de grafieken van de weerstandjes, in figuur 1.70. Dat zijn rechte lijnen. Zo'n rechte lijn kun je beschrijven met een lineair verband:

$$U = const \cdot I$$

Voor de gloeilamp en de LED kan dat niet. Voor elk weerstandje kun je de constante uitrekenen door de coördinaten van een punt uit de grafiek in de formule hierboven in te vullen. Voor grafiek A in figuur 1.70 is de constante het kleinst en voor grafiek C is hij het grootst. Ga dit na.

We kijken nu of we een betekenis kunnen geven aan dat getal. Als je de drie grafieken vergelijkt, zie je dat bij één bepaalde spanning (bijvoorbeeld 1 V) er in weerstandje A veel meer stroom loopt dan bij weerstandje C.
Weerstandje A heeft dus een groter **geleidingsvermogen** en een kleinere **weerstand**, het laat gemakkelijker stroom door dan weerstandje B of C.
Weerstandje C laat de stroom het slechtst door. Weerstandje C heeft dus een grotere weerstand (en een kleiner geleidingsvermogen) dan weerstandje A of B.

De constante in de vergelijking hierboven heeft dus de betekenis van **weerstand.** C heeft de kleinste weerstand, A heeft de grootste weerstand van de drie.

Weerstand kort je af met een letter R (Resistance). De eenheid van weerstand is de Ohm (Ω). We kunnen nu de formule hierboven schrijven als de definitie voor weerstand.

Definitie van Weerstand, Wet van Ohm

Weerstand wordt gedefinieerd door de formule:

$$U = I \cdot R$$

of

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

Wanneer de weerstand een constante is, dus niet verandert als U verandert, dan noemen we deze formule de wet van Ohm.

Symbolen: U is de spanning in Volt (V),
I is de stroomsterkte in Ampère (A), en
R is de weerstand in Ohm (Ω).

1 Ohm is 1 Volt per Ampère.

De wet van Ohm geldt voor weerstandjes. Als de wet voor een apparaat geldt, noemen we de weerstand van het apparaat 'ohms'. Een **'ohmse' weerstand** is constant.
N.B.: het woord 'weerstand' heeft bij elektriciteit dus twee betekenissen. We geven er de uitkomst van U / I mee aan, maar we bedoelen er ook een 'weerstandje' mee, een speciaal elektrisch onderdeel. Voor de duidelijkheid gebruiken we af en toe het woord 'weerstand**je**'. In figuur 1.67 zie je een schematische tekening van een weerstand(je).

Geleidingsvermogen

Weerstand en geleidingsvermogen zijn elkaars omgekeerde. Een groot geleidingsvermogen betekent een lage weerstand, en omgekeerd.
Omdat ze elkaars omgekeerde zijn, is één van beide begrippen eigenlijk overbodig. Veel natuurkundigen werken daarom alleen met het begrip weerstand. Toch kan het begrip geleidingsvermogen heel handig zijn. Geleidingsvermogen wordt ook wel geleidbaarheid genoemd.

Geleidingsvermogen

Het geleidingsvermogen van een elektrisch onderdeel is het 'omgekeerde' van zijn weerstand:

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

of

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

Symbolen: R is de weerstand in Ohm (Ω).
G is het geleidingsvermogen in Siemens (S).

Valkuil

Let op het verschil tussen 'l' en 'I'.

1 Siemens is 1 Ampère per Volt.

Leid uit de definitie van G af dat $G = I / U$ en $I = G \cdot U$.

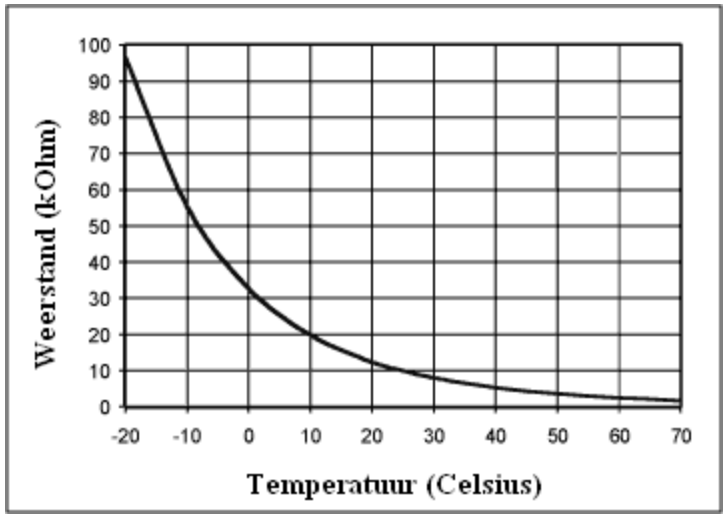
Weerstand is niet altijd constant

De definitie van weerstand is altijd $R = U / I$, maar U / I is niet altijd constant als we U veranderen. Als we bijvoorbeeld de spanning over een gloeilamp verhogen zal de lamp heter worden. De weerstand neemt daardoor toe. Het wordt daardoor moeilijker voor de elektronen om de gloeidraad te passeren. Indirect hangt daardoor de weerstand af van de spanning. Bij zeer veel stoffen is het zo dat de weerstand toeneemt met de temperatuur.

De weerstand van een gloeilamp is dus niet 'ohms'. Je kunt wel de weerstand op een bepaald moment uitrekenen met $R = U / I$, als je maar bedenkt dat de weerstand verandert zodra de spanning of stroom verandert.

Er bestaan ook materialen waar dat andersom is. Een **NTC-weerstand** is een weerstand met een **N**egatieve **T**emperatuur **C**oëfficiënt. Dit betekent dat de elektrische weerstand juist afneemt als de temperatuur toeneemt (zie

bijvoorbeeld figuur 1.71). Bij een hogere temperatuur wordt de weerstand dus kleiner. Door de hogere temperatuur worden er meer elektronen vrij gemaakt voor geleiding.



Figuur 1.71: weerstand van een NTC als functie van de temperatuur.

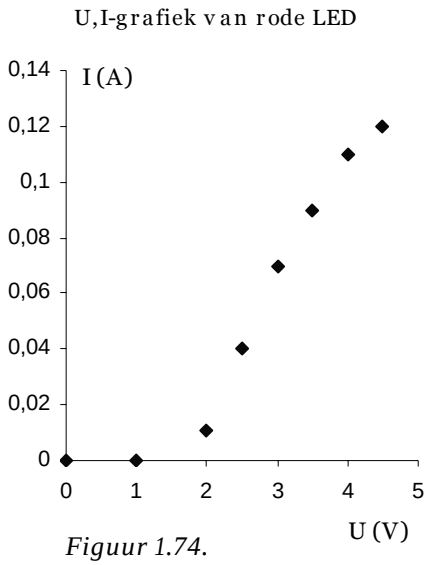
Als we precies weten hoe de weerstand van een NTC-weerstand van de temperatuur afhangt, dan kunnen we zo'n NTC met bijbehorende meetschakeling gebruiken als thermometer. We meten de weerstandswaarde van de NTC en lezen de bijbehorende temperatuur af in de grafiek. Een NTC kan ook een verwarmingsapparaat aansturen. Hoe dat werkt, zien we later.

Een **PTC-weerstand** is een weerstand met een **P**ositieve **T**emperatuur **C**oëfficiënt. Dit betekent dat de weerstand toeneemt als de temperatuur stijgt. Net andersom als bij de NTC. Bij metalen neemt de weerstand toe met de temperatuur, bijvoorbeeld in de gloeidraad van lampen. De *R(T)* grafiek loopt dan omhoog en heeft een positieve richtingscoëfficiënt, vandaar **P**TC.



Figuur 1.73: verschillende LED's.

Bij een **LDR** hangt de weerstandswaarde af van de hoeveelheid licht die er op de LDR valt. De naam LDR is een afkorting voor **L**ight **D**ependent **R**esistor. In het donker heeft een LDR een hoge weerstand, in het licht een lage weerstand. Door de het licht worden de elektronen als het ware vrijgemaakt. Een LDR kun je gebruiken in een lichtmeter.



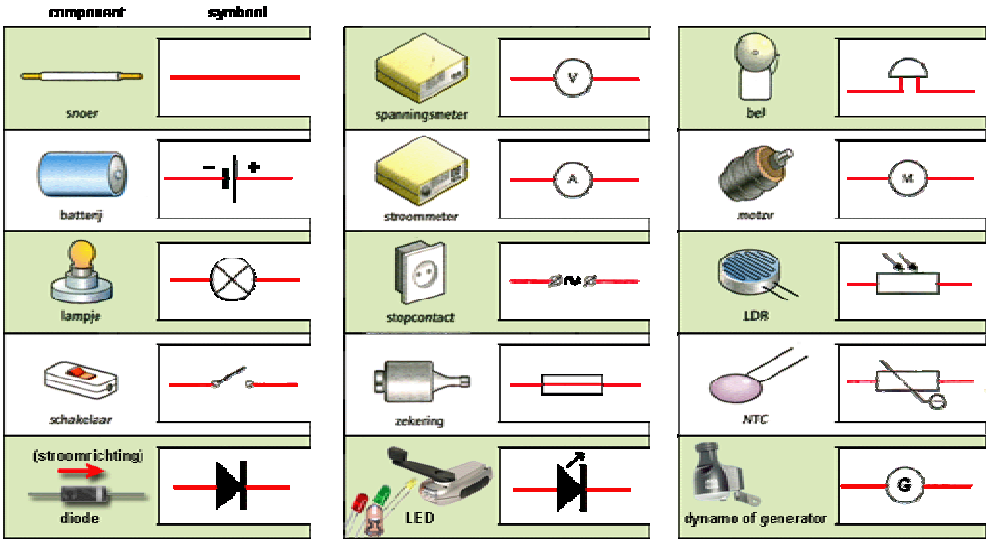
Figuur 1.74.

De naam LED is een afkorting van **L**ight **E**mitting **D**iode. Er bestaan verschillende soorten leds. Bij een LED hangt de weerstand af van de spanning. Een LED laat pas stroom door vanaf een bepaalde spanning, de **drempelspanning**. Bij spanningen die lager zijn dan de drempelspanning zijn er geen vrije elektronen.
LED-verlichting zal in de toekomst steeds meer gebruikt gaan worden omdat het een zuinige vorm van verlichting is. Stoplichten worden tegenwoordig bijvoorbeeld gemaakt van LED's, evenals achterlichten en koplampen van auto's, en er is al LED huisverlichting op de markt.

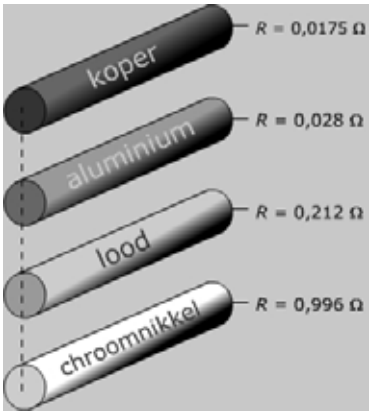
NTC's, LDR's en LED's zijn voorbeelden van **halfgeleiders**: ze geleiden alleen onder bepaalde omstandigheden. In alle gevallen moet er voor de werking energie worden toegevoerd om elektronen vrij te maken. Bij een NTC wordt die energie toegevoegd door warmte en bij een LDR door licht en bij de LED door de aangelegde spanning.
Wij zeggen bij halfgeleiders dat deze vrije elektronen in de **geleidingsband** zitten. Dat wil zeggen dat ze voldoende energie hebben om zich los te maken

van een bepaald atoom en door het materiaal te zwerven en zodoende bij te dragen tot geleiding.

Hieronder een overzicht van de meest gebruikte symbolen voor elektrische componenten.



Weerstanden van draden



Figuur 1.75: De weerstanden van draden van 1 mm² doorsnede en 1 m lengte van verschillende stoffen

Tot nu toe zijn we er van uit gegaan dat de toevoer- en afvoerdraden in elektrische schakelingen perfecte geleiders zijn. In werkelijkheid is dat niet helemaal waar, maar je merkt dat pas als draden heel lang of heel dun zijn, of als je een heel erg grote stroom door een draad laat lopen, zoals bij kortsluiting. In dat laatste geval merk je dat de draad gloeiend heet wordt. Er wordt dan toch elektrische energie omgezet in warmte.

De weerstand van een draad hangt ook af van het materiaal waarvan de draad gemaakt is. Als we twee even lange en even dunne draden van verschillende metalen met elkaar vergelijken, zal blijken dat de ene draad een iets hogere weerstand heeft dan de andere. We zeggen dan dat het ene materiaal een hogere **soortelijke weerstand** heeft dan het andere.

Waardes van soortelijke weerstanden van materialen kun je vinden in tabellenboeken zoals BINAS.

Tenzij anders vermeld zullen we er steeds van uit gaan dat toevoer- en afvoerdraden ideale geleiders zijn, met een weerstand van nul Ohm.

Begrippen

Weerstand (2 betekenissen)
Geleidingsvermogen
LED
Doorlaatspanning
Wet van Ohm
Ohmse weerstand
NTC-weerstand
PTC-weerstand
LDR
Halfgeleider
Soortelijke weerstand
Ideale geleider

Samenvatting

- De **spanning, stroom-karakteristiek** van een elektrisch onderdeel geeft het verband tussen spanning en stroomsterkte bij dat onderdeel.
- Als de spanning, stroom-karakteristiek een rechte lijn is, geldt de **wet van Ohm**:
  $$U = I \cdot R$$
  waarbij R constant is.
- **Geleidingsvermogen** is een maat voor het vermogen van een stof om elektrische stroom te geleiden. Geleidingsvermogen is het omgekeerde van weerstand: $G = \frac{1}{R}$. Dit is ook te schrijven als $G = \frac{I}{U}$.
- **Geleiders** zijn materialen met een groot geleidingsvermogen, zoals de meeste metalen. Materialen die zeer slecht geleiden, en dus een zeer hoge weerstand hebben, worden als **isolator** aangeduid.
- In veel gevallen is de weerstand niet constant. Ook **niet-ohmse weerstand** wordt gedefinieerd door de formule $R = \frac{U}{I}$
- Bij een **NTC-weerstand** neemt R af bij toenemende temperatuur.
- Bij een **PTC-weerstand** neemt R toe bij toenemende temperatuur.
- Bij een **LDR** hangt de weerstand af van de hoeveelheid licht op de LDR.
- Een **LED** geleidt bij spanningen hoger dan de drempelspanning.
- De weerstand van een **stroomdraad** hangt af van zijn lengte, doorsnede en het soort materiaal.
- De **soortelijke weerstand** ρ van een materiaal geeft aan hoe goed dat materiaal stroom geleidt.
- In veel problemen is het een goede benadering ervan uit te gaan dat toevoer- en afvoerdraden **ideale geleiders** zijn, met een weerstand van nul Ohm.

Opgaven

43 Gekoelde gloeilamp

De weerstand van een gloeilamp neemt toe met de temperatuur**.** Je zou gloeilampen kunnen koelen, dan blijft de weerstand laag.

a. Waarom doen we dat niet?

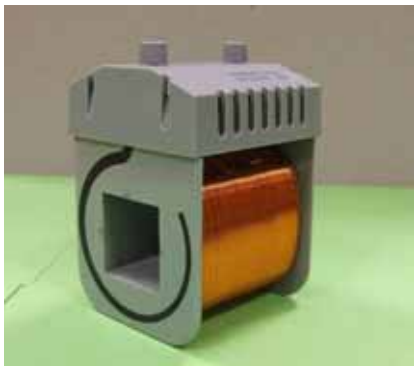
Als gloeilampen kapot gaan gebeurt dat meestal als je de lamp nét aan zet.

b. Leg uit waarom dat juist op zo'n moment gebeurt.

44 Altijd prijs

Over een fietslampje staat een spanning van 6 V. Door het lampje loopt dan een stroom van 0,3 A. Drie leerlingen krijgen de opdracht het geleidingsvermogen van het fietslampje te berekenen. Alle drie de leerlingen zijn slordig en vergeten hun eenheden. Hieronder zie je hun berekeningen:

- Leerling A: $6 \times 0{,}3 = 1{,}8$
- Leerling B: $6 / 0{,}3 = 20$
- Leerling C: $0{,}3 / 6 = 0{,}05$



Figuur 1.76: stroomspoel.

a. Welke leerling heeft de juiste berekening gemaakt?

b. Wat hebben de twee andere leerlingen eigenlijk berekend? Welke eenheden moeten er dus eigenlijk achter de drie antwoorden staan?

45 Maximale spanning

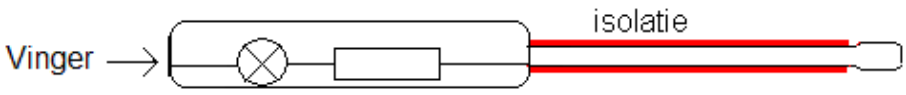
Een stroomspoel heeft een weerstand van 0,8 Ω. De sterkte van de stroom door de spoel mag niet groter zijn dan 4 A.

a. Bereken de spanning die maximaal over deze spoel mag staan.

b. Bereken het geleidingsvermogen van deze spoel.

46 Fittingschroevendraaier

Er bestaan speciale schroevendraaiers die je kunt gebruiken bij elektrische installaties. Je wordt gewaarschuwd voor spanningen van 230 V doordat er een lampje gaat branden.



Figuur 1.77a: schematische tekening van een fittingschroevendraaier.

In de schroevendraaier zitten een lampje en een grote weerstand. Je houdt je vinger tegen de achterkant van de schroevendraaier. De punt van de schroevendraaier houd je tegen een punt waar misschien spanning op staat.



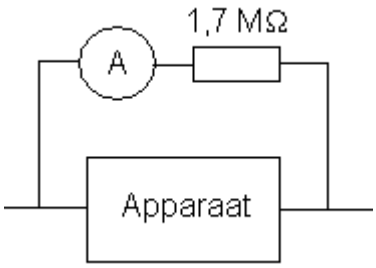
Figuur 1.77b: fittingschroevendraaier.

Als dat zo is, gaat er een klein stroompje lopen waardoor het lampje gaat branden. Door de weerstand kan dat stroompje niet te groot worden. De weerstand heeft een grootte van 2 MΩ (M staat voor mega: miljoen). De weerstand van je vinger en het lampje zijn daarbij vergeleken te verwaarlozen.

a. Bereken het geleidingsvermogen van de weerstand.
b. Bereken hoe groot de stroom maximaal wordt.

Er zijn ook installaties waarbij de spanning hoger kan zijn dan 230 V. Voor de veiligheid mag de stroom door de schroevendraaier –en door jou- beslist niet groter worden dan 15 mA (dit is al vrij veel).

c. Bereken tot welke spanning je deze schroevendraaier maximaal zou mogen gebruiken.



Figuur 1.78: spanning meten met een ampèremeter en een grote bekende weerstand.

47 Voltmeter en ampèremeter

a. Wat kun je zeggen over de weerstand en over het geleidingsvermogen van een goede voltmeter?
b. Wat kun je zeggen over de weerstand en over het geleidingsvermogen van een goede ampèremeter?
c. Wat kun je zeggen over de spanning over een ideale ampèremeter?

Als je spanning wilt meten kun je in plaats van een voltmeter ook een gevoelige ampèremeter in combinatie met een bekende grote weerstand gebruiken. Bekijk figuur 1.78. De weerstand heeft een waarde van 17 kΩ. De ampèremeter meet een stroomsterkte van 0,7 mA.

d. Bereken de spanning over het apparaat.

Je kunt de weerstand van 1,7 MΩ vervangen door een grotere weerstand.

e. Wat is hiervan het voordeel?
f. Wat is hiervan een nadeel?

48 Weerstand bij een LED

Een LED gaat pas stroom geleiden bij spanningen die groter zijn dan de doorlaatspanning.

a. Schat de drempelspanning van de rode LED uit de grafiek van figuur 1.74.

b. Wordt de weerstand van deze LED groter of kleiner als de spanning toeneemt? Leg je antwoord uit.

c. Wordt het geleidingsvermogen van de LED groter of kleiner als de spanning toeneemt? Leg je antwoord uit.

d. Hoe groot is de weerstand en hoe groot is het geleidingsvermogen van de LED bij een spanning van 1 V?

U (V)	I (A)
0	0
1	0
2	0,011
2,5	0,04
3	0,07
3,5	0,09
4	0,11
4,5	0,12
5	0,13

Figuur 1.79: tabel met meetwaarden van de rode LED.

In tabel 1.79 hiernaast zie je de meetwaarden die horen bij de grafiek.

e. Bereken de weerstand van de LED bij 2, 3, 4 en 5 V.

f. Teken de grafiek van de weerstand R tegen de spanning U. Wat valt je op?

Bij hogere spanningen nadert de grafiek van R tegen U dus naar een –bijna- constante waarde voor R (boven 4 V neemt de weerstand zelfs een klein beetje toe). Als er eenmaal genoeg vrije elektronen zijn gaat de LED zich kennelijk gedragen als een weerstandje.

Dat de weerstand van deze LED (vrijwel) constant wordt bij hogere spanningen had je zonder te rekenen kunnen zien aan de grafiek van spanning tegen stroomsterkte.

g. Leg uit hoe je dat kunt zien aan de grafiek van spanning tegen stroomsterkte.

49 Gloeilamp

In een gloeilamp wordt de draad enorm heet, zo heet dat er ook licht vrijkomt. In de allereerste lampen was de gloeidraad van koolstof, tegenwoordig van wolfraam.

a. Waarom wordt de gloeidraad zo heet en de toe- en afvoerdraad nauwelijks?

b. Waarom gebruikt men voor de gloeidraad wolfraam en geen ander, goedkoper metaal, zoals koper of ijzer (zie BINAS)?

50 Gloeilampen



Figuur 1.80: twee verschillende gloeilampen bij dezelfde (lage) spanning.

Je hebt twee gloeilampen, één van 25 W en één van 75 W. Beide moeten worden aangesloten op een spanning van 230 V.

a. Leg uit welke van de twee lampen dan de grootste weerstand heeft.

b. Bereken de weerstanden van de twee lampen bij 230 V.

Vergelijk nu eens de gloeidraden van beide lampen. Neem aan dat de gloeidraden even lang zijn.

c. Welke lamp heeft de dunste gloeidraad? Leg je antwoord uit.

51 Schakelingen van twee lampjes

Sjors beweert dat in een schakeling van twee verschillende lampjes het lampje met de kleinste weerstand altijd het grootste vermogen levert.

Laat zien dat dat niet altijd waar is.

52 Strijkijzer

Een 230V – 1200W Europees strijkijzer wordt in de VS in een 110V stopcontact gedaan. Maak een schatting van het vermogen in deze situatie.

53 Handige formules

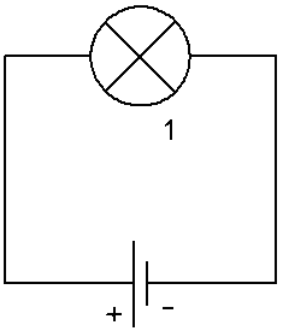
Wanneer de weerstand constant is, dan kunnen we de formule $P = U \cdot I$ ook anders schrijven.

a. Leid af dat P geschreven kan worden als $P = I^2 \cdot R$. Dit blijkt vooral handig te zijn in serieschakelingen omdat daar I overal gelijk is.

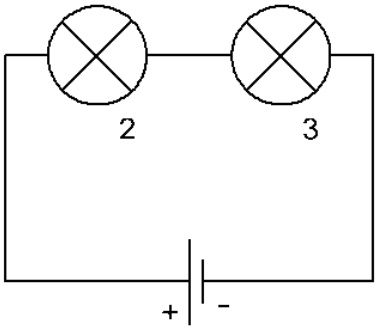
b. Leid af dat P ook geschreven kan worden als $P = \frac{U^2}{R}$. Dit blijkt vooral handig te zijn in parallelschakelingen, omdat de spanning over parallelle onderdelen gelijk is.

1.7 Redeneren en rekenen met uitgebreide schakelingen

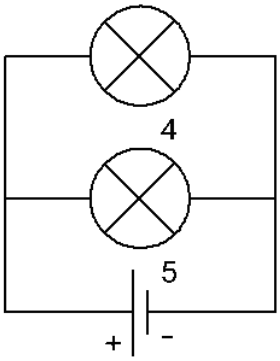
Paragraafvraag	Hoe hangt bij verschillende elektrische onderdelen de stroomsterkte af van de spanning?



Kring A



Kring B



Kring C

Figuur 1.82: drie stroomkringen met gelijke spanningsbronnen en identieke lampjes.

Redeneren in schakelingen met meerdere onderdelen.

Opdracht 9: Begripsvragen door discussie in twee- of drietallen

In figuur 1.82 hiernaast zie je drie verschillende schakelingen. De drie spanningsbronnen geven dezelfde spanning (bijvoorbeeld 6 V). De lampjes zijn genummerd 1 tot en met 5 en zijn identiek. We gaan bekijken wat er geldt voor alle belangrijke grootheden –spanning, stroom, vermogen, weerstand en geleidingsvermogen- bij de verschillende onderdelen van de verschillende schakelingen.

a. Spanning

Wat kun je zeggen over de spanningen over de verschillende lampjes? Vergelijk ze met elkaar. Leg je conclusies uit.

b. Stroom

Vergelijk de stroomsterktes door de vijf lampjes en de drie batterijen met elkaar. Welke batterij levert de grootste stroom, en welke de kleinste? Leg je conclusies uit.

c. Vermogen

Vergelijk de vermogens van de vijf lampjes met elkaar. Welke branden het felste? Welke branden het minst fel?
Vergelijk ook de vermogens die de drie spanningsbronnen leveren met elkaar en met de lampjes. Welke bron levert het hoogste vermogen, en welke het laagste?

d. Weerstand en geleidingsvermogen

Als je de stroomsterkte en spanning bij een lampje kent, kun je de weerstand en het geleidingsvermogen uitrekenen. Ook bij de bron is er sprake van spanning en stroom. Je zou dus ook bij de bron weerstand en geleidingsvermogen kunnen berekenen. Wat je dan berekent, is niet de weerstand of het geleidingsvermogen van de bron zelf, maar van de kring die op de bron is aangesloten.

Welke van de drie kringen heeft de grootste weerstand? En welke heeft het grootste geleidingsvermogen? Vergelijk de weerstanden en de geleidingsvermogens van de kringen B en C met die van kring A.

Vervangingsweerstand en vervangingsgeleidingsvermogen

Twee van de belangrijkste conclusies zijn de volgende:

- als je kring A, met één lampje, vergelijkt met kring B, met twee lampjes in serie, dan is de weerstand van de kring als geheel toegenomen. Hij is bijna verdubbeld. Dat is ook wel logisch: er is maar één weg voor de stroom. Hoe meer hindernissen op die weg, hoe groter de weerstand wordt. Algemeen kun je zeggen:

Hoe meer elektrische onderdelen je in serie zet, hoe groter de weerstand van het geheel wordt.

- als je kring A vergelijkt met kring C, met twee lampjes parallel, dan blijkt juist het geleidingsvermogen te zijn verdubbeld. Ook dat is logisch: bij schakeling C zijn er twee wegen voor de stroom, bij schakeling A is er maar één. Hoe meer wegen er zijn voor de stroom, hoe groter het geleidingsvermogen zal zijn. Algemeen kun je zeggen:

Hoe meer elektrische onderdelen je parallel schakelt, hoe groter het geleidingsvermogen van het geheel wordt.

De weerstand een kring in zijn geheel noemen we de **vervangingsweerstand** van de kring. Vanuit de bron gezien zou je immers de kring kunnen vervangen door één weerstand met de juiste waarde. Op dezelfde manier kunnen we het hebben over **vervangingsgeleidingsvermogen.**

Deze begrippen kun je ook gebruiken bij delen van schakelingen. Hieronder gaan we er wat dieper op in.

Rekenen in meer complexe schakelingen: kruiswoordpuzzelen…

Bij meer ingewikkelde schakelingen moet je de regels voor stroom en spanning vaak combineren met de wet van Ohm en/of de wet van behoud van energie.
Het kan bij berekeningen wel eens lastig zijn om voldoende overzicht te houden. Bij elk onderdeel van een elektrische schakeling hoort een spanning, een stroomsterkte, een weerstand en een geleidingsvermogen. Dat zijn vijf grootheden. Bij een schakeling van een spanningsbron en twee apparaten heb je dan te maken met vijftien verschillende zaken.

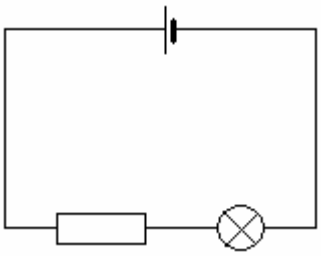
Het is dan belangrijk dat je je gegevens en berekeningen overzichtelijk opschrijft. Het is dan handig om een tabel te maken waarin je alles op een rij zet. Voor een schakeling van een spanningsbron, een lampje en een weerstandje komt zo'n tabel er als volgt uit te zien:

	***U* (V)**	***I* (A)**	***R* (Ω)**	***G* (S)**	***P* (W)**
Bron					
Lampje					
Weerstandje					

De volgende stap is het invullen van de gegevens. Daarna ga je werken met de wetten die je kent: $U = I \cdot R$, $P = U \cdot I$, $G = 1 / R$, de wet van Kirchhoff voor stroom, de regel voor optellen van spanningen bij serieschakelingen; bij vermogens de wet van behoud van energie:

$$P_{\text{bron}} = P_{\text{lamp}} + P_{\text{weerstand}} .$$

We werken als voorbeeld een serieschakeling in detail voor je uit. Daarna ga je zelf aan de slag met een parallelschakeling.



Figuur 1.83: serieschakeling van een weerstand en een lampje.

Voorbeeld: serieschakeling

De schakeling is getekend in figuur 1.83. We beperken ons in dit voorbeeld tot spanning, stroomsterkte en weerstand. De tabel komt er dan als volgt uit te zien:

	U (V)	I (A)	R (Ω)	
Bron				← U = I R
Lampje				← U = I R
Weerstand				← U = I R
	↑	↑		

Voor we gegevens invullen merken we drie dingen op:

1. Zodra je op een rij twee grootheden weet, kun je de derde uitrekenen met U = I R.
2. Er is maar één weg voor de stroom. Alle stroomsterktes moeten gelijk zijn.
3. Er zijn drie spanningen. Er moet gelden: $U_b = U_L + U_R$. Zodra je twee spanningen kent, ken je de derde ook.

Gegeven: de weerstand heeft een waarde van 50 Ω, de bron geeft een spanning van 230 V, door het lampje loopt een stroom van 1,3 A.

Gevraagd: hoe groot is de weerstand van het lampje in deze situatie.

Antwoord: als je het antwoord niet direct ziet kun je het beste alles berekenen wat je maar kunt vinden. De gegevens zetten we in de tabel:

	U (V)	I (A)	R (Ω)	
Bron	230			← U = I R
Lampje		1,3		← U = I R
Weerstand			50	← U = I R
	↑	↑		

Horizontaal en met de spanning kunnen we nu nog niets, maar de stroomsterkte moet overal gelijk zijn, dus:

Voorbeeld (vervolg)

	U (V)	I (A)	R (Ω)	
Bron	**230**	1,3		← U = I R
Lampje		**1,3**		← U = I R
Weerstand		1,3	**50**	← U = I R

Met behulp van $U = I \cdot R$ kunnen we nu de weerstand van de bron (de kring) én de spanning over de weerstand berekenen:

$R_{bron} = \frac{230}{1{,}3} = 177\Omega$ en $U_R = 1{,}3 \cdot 50 = 65V$. De tabel wordt nu:

	U (V)	I (A)	R (Ω)	
Bron	**230**	1,3	177	← U = I R
Lampje		**1,3**		← U = I R
Weerstand	65	1,3	**50**	← U = I R

Verder met spanning, verticaal: $U_L = 230 - 65 = 165V$.

Uiteindelijk volgt de weerstand van het lampje: $R_L = \frac{165}{1{,}3} = 127\Omega$.

De tabel ziet er nu zo uit:

	U (V)	I (A)	R (Ω)	
Bron	**230**	1,3	177	← U = I R
Lampje	165	**1,3**	127	← U = I R
Weerstand	65	1,3	**50**	← U = I R

N.B.: We hebben één berekening 'te veel' gemaakt. Ga zelf na welke.

Bekijk de eindtabel uit het rekenvoorbeeld nog eens. Je wist al, dat de vervangingsweerstand van een kring groter wordt naarmate je meer onderdelen in serie schakelt. Je ziet nu dat de vervangingsweerstand de som is van de verschillende weerstanden.

Vervangingsweerstand bij een serieschakeling

In een serieschakeling kun je de vervangingsweerstand berekenen door de weerstandswaarden van de verschillende onderdelen op te tellen:

$$R_v = R_1 + R_2 + \ldots$$

Symbolen: R_v is de vervangingsweerstand van de serieschakeling, en $R_1, R_2, \ldots$ zijn de weerstanden van de onderdelen. Alle weerstanden in Ohm (Ω).

Als je de weerstandswaarden van het lampje en de weerstand uit de tabel vergelijkt met de spanningen over die onderdelen, valt er nog iets anders op: over het onderdeel met de grootste weerstand staat de grootste spanning. We noemen dit het principe van **spanningsdeling**.

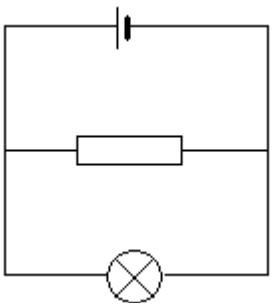
Als je de verhouding van de spanningen vergelijkt met de verhouding van de weerstandswaarden zie je, dat die verhoudingen zelfs gelijk zijn:

$\frac{U_L}{U_R} = \frac{R_L}{R_R}$. We hoeven met deze formule niet te rekenen, maar zullen het principe later wel gebruiken als we kijken naar de bouw van sensoren.

In een serieschakeling geldt het principe van spanningsdeling: over het onderdeel met de grootste weerstand staat de grootste spanning.

Opdracht 10: een parallelschakeling doorrekenen

In figuur 1.84 zie je een parallelschakeling van een weerstand en een lampje.



Figuur 1.84: parallelschakeling van een lampje en een weerstand.

Gegeven: de weerstand heeft een waarde van 5 Ω.
De bron levert een stroom van 3 A, door het lampje loopt 1,8 A.

a. Gevraagd: bereken de geleidingsvermogens van de weerstand, het lampje en de kring in deze situatie. Of beter: bereken alles wat je kunt vinden. Maak daarbij gebruik van een tabel, waarin je behalve de kolommen voor spanning, stroom en weerstand ook een kolom voor geleidingsvermogen maakt.

b. Vergelijk de drie weerstandswaarden. Geldt hier net zo'n eenvoudig verband als bij de serieschakeling?

c. Vergelijk de drie geleidingsvermogens. Wat valt je op?

Bij opdracht 10b heb je gezien dat je bij een parallelschakeling de weerstandswaarden niet mag optellen. Dat is logisch: de weerstand van een kring neemt immers af als je meer onderdelen parallel toevoegt.

Bij opdracht 10c zie je, dat je wel het vervangingsgeleidingsvermogen kunt berekenen door de geleidingsvermogens van de onderdelen op te tellen. Ook

dat is logisch: het geleidingsvermogen van de kring neemt toe als je meer onderdelen parallel toevoegt.

Vervangingsgeleidingsvermogen bij een parallelschakeling

In een parallelschakeling kun je het vervangingsgeleidingsvermogen berekenen door de geleidingsvermogens van de verschillende onderdelen op te tellen:

$$G_v = G_1 + G_2 + \ldots$$

Symbolen: G_v is het vervangingsgeleidingsvermogen, en
$G_1, G_2, \ldots$ zijn de geleidingsvermogens van de onderdelen.
Alle geleidingsvermogens in Siemens (S).

Als je deze formule combineert met het verband $G = \frac{1}{R}$ krijg je:

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

Dit is de formule voor de vervangingsweerstand van een parallelschakeling. Je komt deze formule nog al eens tegen in natuurkundeboeken. Hij kan handig zijn, maar je kunt ook alles zonder deze formule berekenen.

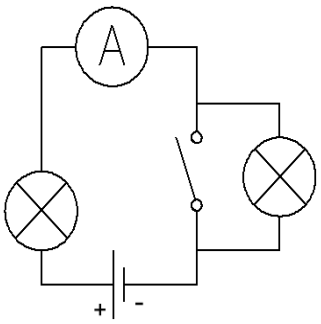
Zoals bij serieschakelingen het principe van spanningsdeling geldt, geldt voor parallelschakelingen het principe van **stroomdeling**: $\frac{I_L}{I_R} = \frac{G_L}{G_R}$.

Begrippen

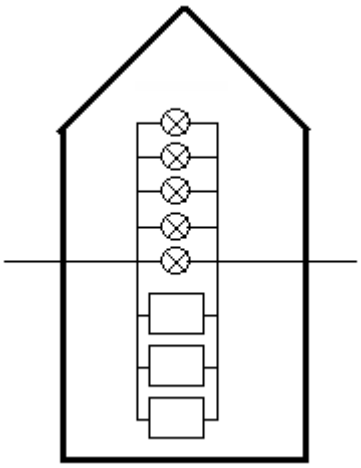
Vervangingsweerstand
Vervangings-geleidingsvermogen
Spanningsdeling
Stroomdeling

Samenvatting

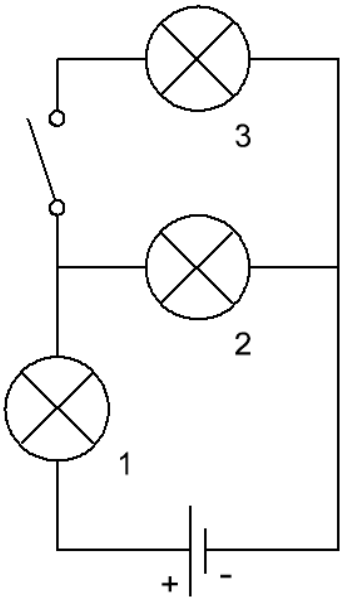
- Naarmate je meer onderdelen in serie zet neemt de **vervangingsweerstand** van de schakeling toe.
- Voor de vervangingsweerstand van een **serieschakeling** geldt: $R_v = R_1 + R_2 + \ldots$
- In een serieschakeling staat de grootste **spanning** over het onderdeel met de meeste weerstand.
- Naarmate je meer onderdelen parallel zet neemt het **vervangings-geleidingsvermogen** toe.
- Voor het vervangingsgeleidingsvermogen van een **parallelschakeling** geldt: $G_v = G_1 + G_2 + \ldots$



Figuur 1.85.



Figuur 1.86: geleidingsvermogen en weerstand van een huis.



Figuur 1.87: drie lampjes.

Opgaven

54 Conceptcheck

Bekijk de schakeling in figuur 1.85. We sluiten de schakelaar. Wat gebeurt er met de stroomsterke die de ampèremeter aangeeft: gaat die omhoog, omlaag of blijft die gelijk?

Controleer je antwoord zonodig met een computersimulatie.

55 Geleidingsvermogen en weerstand van een huis.

We gebruiken in deze opgave dezelfde gegevens als in opgave 35.

In een huis zijn tegelijk aangesloten:

een kookplaat met een maximaal vermogen van 1200 W

- een wasmachine met een maximaal vermogen van 1400 W
- 5 gloeilampen van elk 60 W
- een koelkast met een maximaal vermogen van 800 W.

a. Bereken het geleidingsvermogen en de weerstand van het apparaat met het grootste geleidingsvermogen.
b. Bereken het geleidingsvermogen en de weerstand van het huis als alle apparaten tegelijk aan staan.

56 Drie lampjes

Zie figuur 1.87. Drie dezelfde lampjes zijn aangesloten op een ideale spanningsbron. Eerst branden alleen lampjes 1 en 2. Vervolgens wordt de schakelaar gesloten zodat lampje 3 ook brandt. Kies bij het beantwoorden van de vragen a t/m d straks uit de volgende antwoorden:

A. neemt toe B. neemt af C. blijft gelijk

en licht je antwoorden toe.

Wat gebeurt er zodra de schakelaar gesloten wordt met:

a. de helderheid van lampje 1?
b. de helderheid van lampje 2?
c. de spanning over lampje 1?
d. de spanning over lampje 2?

57 Kabelhaspel



Figuur 1.88: kabelhaspel.

Er zijn verlengsnoeren te koop die op een haspel gewikkeld zijn. Zie figuur 1.88. Op een bepaalde kabelhaspel staan de volgende gegevens:

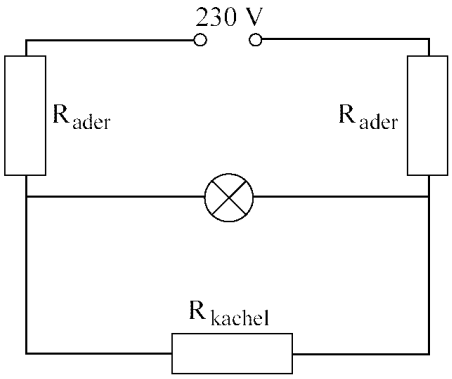
Lengte kabel	40 m
Spanning	230 V
Maximaal aan te sluiten vermogen:	
opgerold	1000 W
afgerold	3500 W

a. Leg uit waarom op de opgerolde kabel veel minder vermogen mag worden aangesloten dan op de afgerolde kabel.

In de kabel zitten twee koperen aders. Deze hebben een kleine weerstand.
Elke ader heeft een cirkelvormige doorsnede met een diameter van 1,0 mm.

b. Bereken de weerstand van één ader.

Een lamp is aangesloten op de haspel. De lamp brandt.



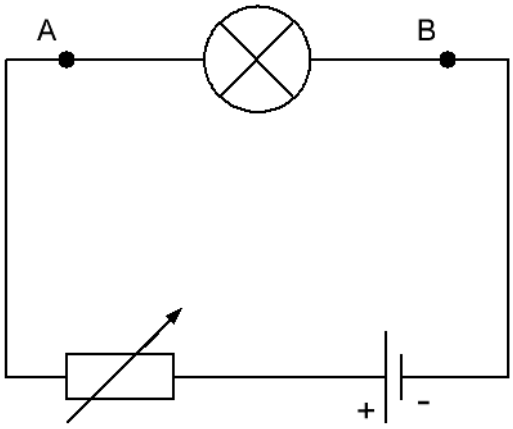
Figuur 1.89: schakelschema van een lamp en een straalkachel, die door middel van een twee-aderig snoer zijn verbonden met een spanningsbron.

Nu wordt, parallel aan de lamp, ook een straalkachel aangesloten op de haspel. In figuur 1.89 is deze situatie schematisch weergegeven.
Na het aansluiten van de kachel blijkt de lamp minder fel te branden.

c. Leg uit waarom. Bespreek daartoe achtereenvolgens hoe door het aansluiten van de straalkachel de volgende grootheden veranderen:

- het geleidingsvermogen van de kring,
- de stroomsterkte door de aders van de kabel,
- de spanning over de aders van de kabel,
- de spanning over de lamp.

58 Regelbare weerstand en spanning.



Figuur 1.90. schakeling met een regelbare weerstand

Een spanningsbron staat in serie met een regelbare weerstand en een lampje (Figuur 1.90).

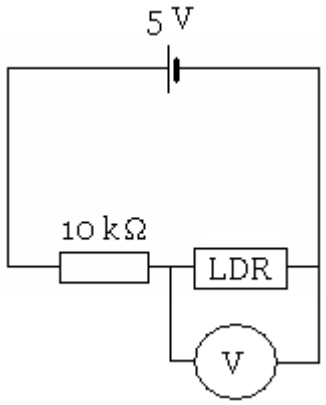
a. Wat gebeurt er met de spanning U_{AB} tussen de punten A en B als we de weerstand groter maken? Leg uit.

b. Wat gebeurt er met de stroomsterkte? Leg uit waarom.

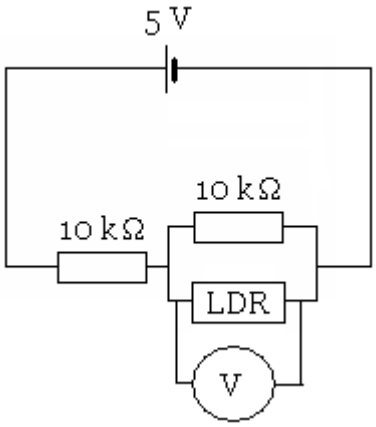
Een ideale spanningsbron geeft altijd dezelfde spanning, hoeveel je er ook op aansluit. Oudere batterijen zijn allesbehalve ideaal. Als je er iets op aansluit zakt de spanning over de batterij in.
Je kunt dit begrijpen door te doen of de batterij bestaat uit een ideale bron in serie met een 'inwendige weerstand'. Je kunt zo'n batterij vergelijken met de schakeling van figuur 1.90. U_{AB} kun je dan zien als de spanning tussen de polen van de batterij.

We vervangen het lampje in figuur 1.90 door een lampje met een kleinere weerstand. De stroomsterkte neemt daardoor toe.

c. Leg uit waarom U_{AB} kleiner wordt als de stroomsterkte toeneemt.



Figuur 1.91: serieschakeling van een LDR en een weerstand.



Figuur 1.92: er is een tweede weerstand toegevoegd.

59 Lichtsensor

Een 'lichtsensor' is in feite een lichtmeter. Een lichtsensor kun je maken met een LDR in serie met een weerstand. Je hebt de beschikking over een weerstand van 10 kΩ en een spanningsbron van 5 V. De weerstand van de LDR varieert van 100 Ω in het volle licht tot 1 MΩ in het donker. Je bouwt de schakeling van figuur 1.91.

a. Beredeneer wat de hoogste mogelijke spanning (afgerond op één cijfer achter de komma) zal zijn die de voltmeter zal aanwijzen. Is dat in het licht, of in het donker?
b. Beredeneer ook wat de laagst mogelijke spanning (afgerond op één cijfer achter de komma) zal zijn.
c. Welke van je antwoorden bij a en b zou het meeste veranderen als we in plaats van een weerstand van 10 kΩ een weerstand van 500 Ω zouden gebruiken?

Je wilt een sensor hebben waarbij de voltmeter een hoge spanning (bijna 5 V) geeft in het volle licht, en een lage spanning (bijna 0 V) in het donker.

d. Wat zou je dan veranderen in figuur 1.91?

Bekijk nu de schakeling van figuur 1.92. We hebben hier een tweede weerstand van 10 kΩ parallel aan de LDR geschakeld.

e. Wat wordt nu de hoogste mogelijke spanning over de LDR?
f. Wat wordt nu de laagst mogelijke spanning over de LDR?

60 Poppenhuiskachel

In een poppenhuis zit een namaakkachel. Om die kachel echter te laten lijken wil je er een rode LED in stoppen. Als de LED brandt lijkt de kachel echt te gloeien. Als spanningsbron gebruik je twee batterijen van 1,5 V. Om goed te gloeien heeft deze LED een spanning nodig van 2,4 V. Het vermogen van de LED is dan 0,12 W.
Om de LED op de juiste spanning te laten werken sluit je de LED in serie met een weerstand aan op de batterijen.

a. Teken het schakelschema van de schakeling die je moet maken.
b. Bereken hoe groot de weerstandswaarde van die weerstand moet zijn. Maak gebruik van een tabel!

2 Slimme schakelingen-ontwerpen

Hoofdstukvraag	**Hoe kun je slimme elektrische schakelingen ontwerpen voor gebruik in huis?**

Slimme schakelingen

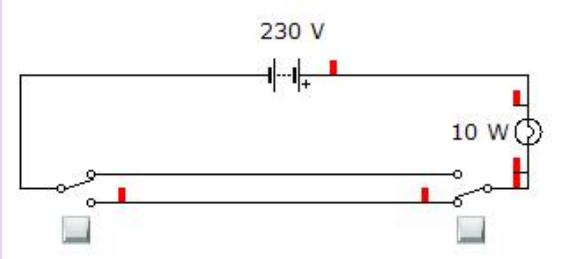
Veel huizen hebben tegenwoordig al slimme dingen ingebouwd, al sta je er meestal niet bij stil. Automatisch werkende buitenlampen bijvoorbeeld, of een CV-thermostaat die de hele dag de temperatuur regelt, en automatisch de kachel aan en uit zet. Sommige mensen gebruiken zelfs een afstandsbediening voor de lampen in huis. Dat is nog niet zo bekend, maar een televisie bedient iedereen met z'n afstandsbediening. Het is maar waaraan je gewend bent.

Voor dit soort acties zijn speciaal ontworpen apparaten nodig, waarin elektronica is ingebouwd. Dat zijn kleine, slim ontworpen schakelingen die vaak via infrarood-straling of via blue-tooth signalen overbrengen.

Toch bestaan er ook slimme schakelingen zonder elektronica, die iedereen kent en gebruikt. Een hotelschakeling bijvoorbeeld kent iedereen

68 Een hotelschakeling

Als je 's avonds naar boven gaat kun je beneden het licht aandoen, en het boven weer uitdoen. Dat is een simpele vorm van Domotica, techniek die het comfort en de veiligheid verhoogt. De schakeling die dat doet heet een hotelschakeling, en is al heel lang in gebruik. Vaak hebben hotelkamers dezelfde schakeling: licht in de kamer doe je bij de deur aan en kun je bij het bed weer uitdoen. Daarvoor worden wisselschakelaars gebruikt.

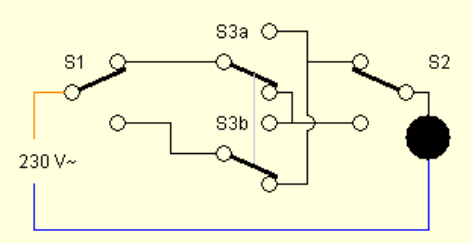


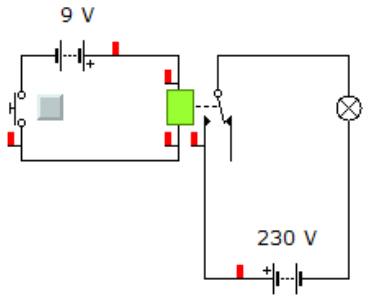
Je ziet de hotelschakeling hierboven getekend.

- Ga na hoe de stroom loopt wanneer je de schakelaars links en rechts omschakelt. Kun je een praktisch nadeel noemen van deze schakeling? (denk aan de manier waarop de schakeling moet worden geïnstalleerd).

Hieronder zie je vier wisselschakelaars in een schakeling. S1 en S2 zijn enkelvoudige schakelaars, S3a en S3b vormen samen een dubbele wisselschakelaar, maar zijn gekoppeld: ze kunnen alleen maar beiden tegelijk omschakelen. Het zwarte bolletje stelt een lamp voor. Die brandt op dat moment niet.

- Leg aan elkaar uit wat die schakeling doet, en waarvoor hij bedoeld is.





Figuur 2.1

Animatie

Je kunt een animatie van de werking van het relais vinden op

leifi.physik.uni-muechen.de/web_ph08/umwelt_technik/02relais/relais.htm

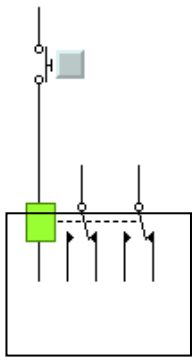
Relais

Als je binnenshuis met een druk op de knop een zwaar hek buiten dicht doet, dan staat er geen hoge spanning op de drukknop. Je maakt dan gebruik van een op afstand bedienbare elektrische schakelaar: een relais. Een relais is een verbinding tussen twee verschillende stroomkringen, de eerste kan met laagspanning werken en het relais openen of sluiten. De andere schakeling kan met de netspanning werken om het hek te sluiten. Bij een relais schakelt een elektromagneet de andere kring aan of uit. Bij dat schakelen hoor je vaak een korte tik van het maken of verbreken van het contact.

In figuur 2.4 is een schakeling met een relais weergegeven: de 9 volt batterij verbind je via een drukschakelaar met de spoel (donkere rechthoekje) Die wordt magnetisch en trekt daardoor een tweede schakelaar aan die nu wisselt van contact: eerst is hij verbonden met het rechtercontact (is niet aangesloten). Na wisselen is de schakelaar verbonden met het linkercontact. De lamp in de rechter-stroomkring gaat nu aan.

69 Maak de schakeling praktischer...

Ontwerp en teken nu een schakeling waarbij je gebruik maakt van een relais om het hek van jouw oprit open en dicht te doen, en waarbij een groen licht brand bij hek dicht en een rood licht bij hek open.



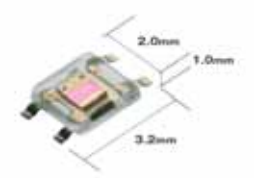
Relais met dubbele contacten

Figuur 2.2

Je hebt nu een hek dat met een druk op een knop open en dicht kan worden gedaan. Maar het systeem kan nog stukken beter. Het zou b.v moeten reageren op de nadering van je auto, waarna het automatisch opengaat. Voor het “waarnemen”van je auto gebruiken we sensoren. Dat zijn vaak weerstanden die gevoelig zijn voor straling, temperatuur, geluid en die met andere componenten zoals weerstanden, chip, condensator samen een schakeling vormen die iets kan aanzetten, zoals dit hek, of een alarm, een pomp, etc.

Sensoren, soorten, ijkgrafiek en gevoeligheid.

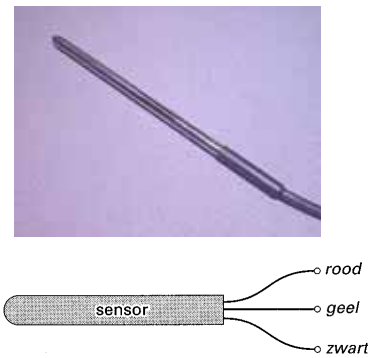
Een sensor bestaat vaak uit een serieschakeling van twee weerstanden, waarbij één weerstand gevoelig is voor de grootheid die je wilt meten. Dat kan zijn de hoeveelheid licht, de temperatuur, de vochtigheid of nog andere grootheden.



Figuur 2.7 Een lichtgevoelig IC



Figuur 2.8 Temperatuursensor



Figuur 2.9

Als die grootheid verandert, verandert ook de waarde van de weerstand. En dat betekent dat ook de spanning over elk van beide serieweerstanden verandert. (zie §1.7) Tegenwoordig is zo'n schakeling meestal geïntegreerd in een chip (IC: Integrated Circuit).

Je gaat nu een temperatuursensor onderzoeken.

70 Temperatuursensor: hoe werkt die precies? (extra)

Een temperatuursensor (bv. van CMA, nr B016T, zie figuur 2.8) heeft drie aansluitingen. Aan elke aansluiting is een aansluitdraad met een andere kleur bevestigd.

Rood = 5Volt, zwart = 0V, geel = uitgangssignaal van de sensor dat afhangt van de temperatuur.

In de sensor bevinden zich een IC (= geïntegreerde schakeling) die temperatuurafhankelijk is. Door middel van warmtegeleidende pasta maakt de IC contact met de metalen buitenhuls, die in de warme vloeistof staat.

Je gaat een meetplan opstellen voor een eenvoudig experiment. Het experiment moet twee vragen beantwoorden:

- Is de spanning die de sensor geeft evenredig met de temperatuur?
- Hoe groot is de gevoeligheid van de sensor (= het aantal V dat de sensor stijgt als de temperatuur 1˚C stijgt)

Je hebt de beschikking over een voeding (evt van een systeembord), een multimeter, een warmtebron en aansluitdraden.

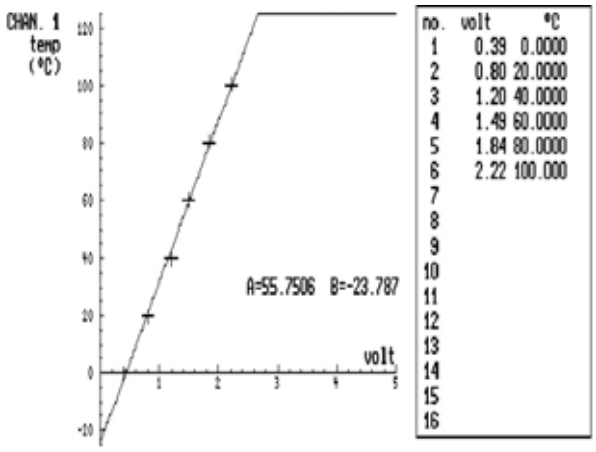
Bedenk je meetplan waarin je beschrijft:

- welke metingen je achtereenvolgens moet doen;
- welke schakelingen je daarbij moet gebruiken;
- welke gegevens je noteert, en of dat in tabellen moet (maken!)
- hoe je op basis van de meetresultaten de twee vragen kunt beantwoorden.

Laat je meetplan controleren en voer het experiment uit. Geef op één A4 aan wat je hebt gedaan, wat de uitkomsten waren en wat op grond van de uitkomsten de antwoorden op de twee vragen zijn.

Als je een sensor koopt is het gebruikelijk dat er in de specificaties een grafiek wordt meegeleverd. Verticaal is de temperatuur van de sensor uitgezet, horizontaal staat de spanning die de sensor levert. Dat heet een ijkgrafiek. In figuur 2.10 staat het verloop van temperatuur en spanning voor de door jou gebruikte sensor (in dit geval CMA sensor B016BT.)

Deze ijklijn kan per sensor van hetzelfde type maximaal 2 °C omhoog of omlaag zijn verschoven. De helling is wel steeds gelijk.



Figuur 2.10 IJkgegevens van de temperatuursensor

Kloppen de waarden uit de grafiek met jouw metingen en berekeningen?

Van analoge naar digitale schakelingen



Figuur 2.10 Diodes

De schakelingen die je kunt maken met de componenten die je tot nu toe hebt gehad kun je niet makkelijk “slim” maken. Een sensor geeft een andere spanning als de grootheid die hij meet verandert. Maar hoe kan een schakeling weten dat hij b.v bij 3,5 V moet reageren en dan iets laten gebeuren? Door extra onderdelen te gebruiken kun je zorgen dat een actie een bepaalde tijd duurt, of pas na een bepaalde tijd ingaat. Zo hebben ontwerpers steeds meer onderdelen gecombineerd tot ingewikkelde schakelingen.



Figuur 2.11 Transistors

Zo’n vijfentwintig jaar geleden heeft dat geleid tot de overstap naar digitale schakelingen. Die werken met spanningen die alleen maar hoog (= 5V) of laag (<1V) zijn. De analoge schakelingen die je in dit hoofdstuk maakte werken zowel met spanningen als stromen die van groot tot klein kunnen variëren.

In het volgende deel van deze paragraaf leer je met digitaal werkende componenten dit soort schakelingen bouwen. Die componenten bestaan uit miniatuurschakelingen, samengebracht op een heel klein oppervlak. Het belangrijkste onderdeel van deze componenten is de transistor: een miniatuurschakelaar uitgevonden in 1947. De transistor bestaat uit een aantal laagjes half-geleidend materiaal, evenals een LED, een diode en een zonnecel. Vandaar dat dit soort onderdelen vaak halfgeleiders worden genoemd.

Een miniatuurschakeling waarbij heel veel componenten zijn samengebracht heet een IC (integrated circuit) of een chip.

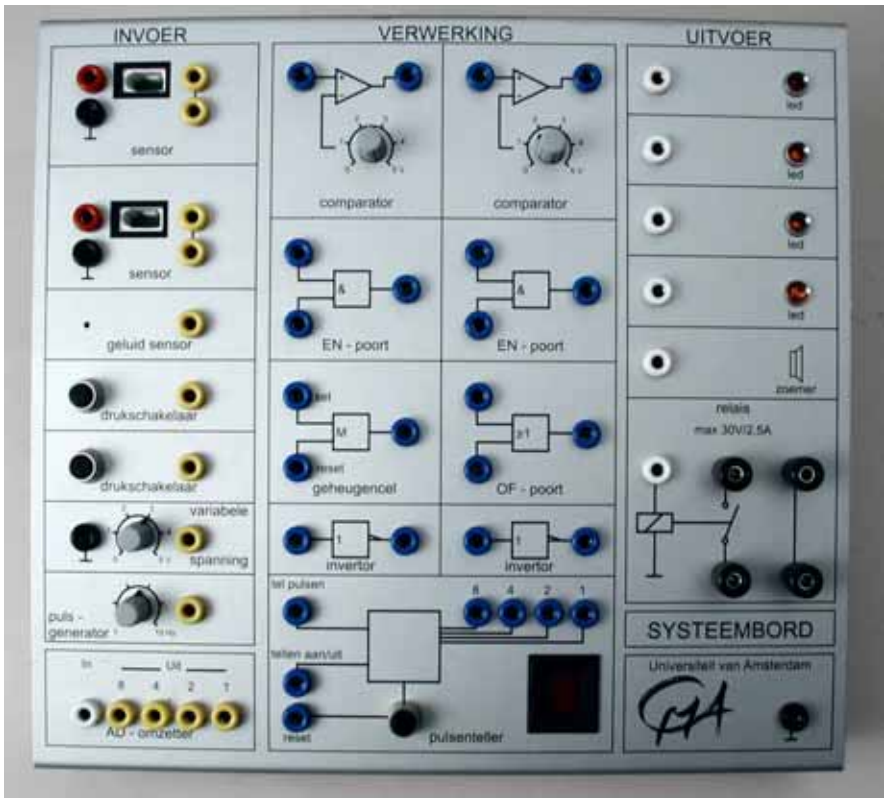


Figuur 2.12 IC

Vanaf nu ga je werken met een kastje dat veel componenten heeft ingebouwd in de vorm van bouwstenen die elk een eigen functie hebben. We noemen dat kastje een systeembord.

Het systeembord

Het systeembord is een kastje met daarop allemaal stekkerbussen. Tussen die bussen zijn, ìn het kastje, elektronische schakelingen gemonteerd. Dat zijn de bouwstenen die we verwerkers noemen. Ze verwerken de signalen van de invoer en maken ze geschikt om door te geven aan de uitvoer. Door de stekkerbussen met draden te verbinden koppel je de bouwstenen tot een grotere schakeling die een bepaalde taak kan verrichten. Bijvoorbeeld een alarm laten afgaan nadat een beweging is gedetecteerd en het tegelijk ook donker is. Dat alarm kan dan b.v. 8 seconden werken of aanblijven tot bewaking is gearriveerd.

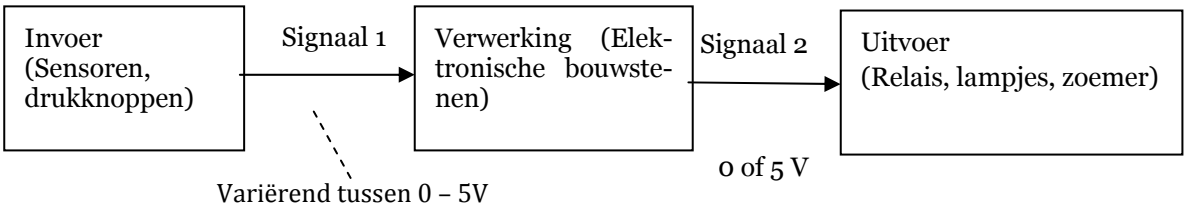


Figuur 3.1

2.1 Componenten van een slim systeem

Paragraafvraag	Wat zijn de componenten van een slim systeem?

Het systeembord is grofweg in drie delen op te splitsen:



Verwerkers

De **verwerkers** zijn de elektronische bouwstenen. Ze worden tussen de invoer en de uitvoer geschakeld.

Elke verwerker krijgt een sensorsignaal (Signaal1) binnen en zal dat zó combineren en verwerken dat er een geschikt Signaal2 naar het relais, het lampje of een motor gaat, die daardoor in- of uitgeschakeld worden.

Signalen

Een sensor geeft een signaal (signaal1). Dat is een spanning die alle waarden kan hebben tussen 0 en 5 Volt. We noemen dat een **analoog** signaal. Dat signaal gaat naar één of meer verwerkers. Die "verwerken" het signaal op een van te voren ontworpen manier tot een nieuw signaal (signaal2). De hoogte van de spanning is kenmerkend voor het signaal. Die is bijna altijd kleiner dan 0,8 Volt of groter dan 3,5 Volt. Het eerste signaal heet laag of 0, het tweede is hoog of 1. Omdat het maar twee waarden heeft is het een **binair** signaal. Het gaat naar een uitvoerapparaat , zoals een lamp, zoemer of relais.

Invoer

Bij de **invoer** op het systeembord staan de aansluitingen voor de sensoren. Je zult misschien denken: een schakelaar is toch geen sensor? Toch geeft hij een signaal als je erop drukt: je zet dan een spanning van 5 Volt op een stekkerbus. Daarmee geeft de schakelaar aan dat er iets gebeurt. En dat is wat een sensor ook doet. Sensoren, en ook schakelaars, geven een signaal door aan de verwerkers.

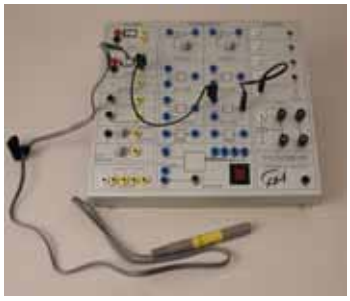
Uitvoer

Bij de **uitvoer** zie je het relais, een zoemer en vier LEDs. Dat relais wordt geschakeld door een signaal op de witte bus. Op de zwarte bussen sluit je de stroomkring aan die door het relais wordt ingeschakeld. Let op (!) : met het relais op het systeembord kan je maximaal maar 30 V schakelen, dus niet 230V. Verder heeft het maar 1 contact, en dat is een maakcontact.

Een LED (light emitting diode) gebruik je meestal om de juiste werking van een bouwsteen of een schakeling die je hebt gemaakt te testen. Hij brandt alleen bij een spanning groter dan 1 ½ à 2 volt .

Bij een alarmsysteem kan ook de zoemer gebruikt worden als uitvoer.

Kleur van de bussen



Figuur 22

Alle zwarte stekkerbussen op het systeembord zijn verbonden met de aarde en zijn dus ook onderling doorverbonden. Alle rode zijn verbonden met de positieve pool van de inwendige spanningsbron.

De blauwe zijn alle ingangen en uitgangen van de bouwstenen. Die mag je met elkaar verbinden, maar wel altijd een uitgang naar een ingang. De spanning tussen een rode bus en een zwarte bus bedraagt 5 V. Dit is de basisspanning van het bord.

De spanning tussen de gele bus en de zwarte bus is het sensorsignaal.

De waarde hiervan kan variëren tussen 0 en 5 V.

Het systeembord werkt met signalen. Zoals je hebt gelezen zijn dat spanningswaarden tussen 0 en 5 Volt. De verwerkers kunnen alleen binaire signalen gebruiken. Om een goed werkende schakeling te maken moet je dus ook weten hoe hoog de signalen zijn die de invoer componenten kunnen geven, en welke signalen de uitvoercomponenten nodig hebben.



Figuur 2.3

71 Welk signaal geven de invoercomponenten?

Sluit de voltmeter aan op het bord zoals in figuur 2.3. De COM-ingang altijd met een zwarte bus verbinden, de Volt-ingang met de bus die je wilt meten.

a. Meet de spanning van de drukschakelaar, als deze niet ingedrukt is en als deze wel ingedrukt is.
b. Meet de spanning van de ingebouwde geluidsensor bij (bijna) stilte, en met tikken op bord, of flink boe roepen.

Sluit de lichtsensor aan (zorg dat de kleuren bij de aansluiting overeenkomen!).

c. Meet de spanning in donker (met je vinger het uiteinde afsluiten) en bij zoveel mogelijk licht.

Sluit de pulsgenerator aan op een LED.

d. Kijk en verklaar wat er gebeurt als je frequentie van 1 naar 10 Hz draait.

In de volgende opdrachten ga je uitzoeken welke signaalwaarden de componenten op het uitvoerblok nodig hebben om ze in te schakelen.

72 Uitvoer onderzoeken

Verbind de variabele spanningsbron met een LED (light emitting diode). Zie figuur 2.4. Eén draad verbinden is voldoende. Sluit een voltmeter aan met de COM aan een zwarte bus en de Volt-aansluiting op de regelbare spanning.

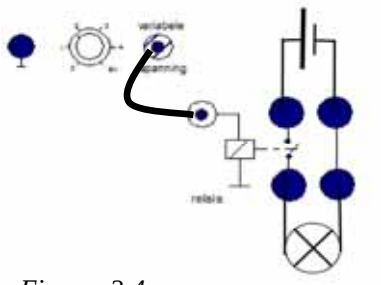
a. Meet vanaf welke spanning de LED brandt.
b. Doe hetzelfde met de zoemer, vanaf welke spanning is de zoemer aan?

Sluit de lichtsensor aan en verbindt de uitgang met de zoemer.

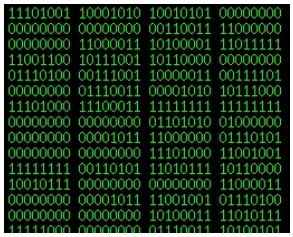
c. Onderzoek wat er gebeurt bij sterker of zwakker licht.

Sluit de variabele spanning aan op de witte bus van het het relais. Verbind de onderste 2 bussen met een lampje van 6V en de bovenste 2 bussen met een uitwendige spanningsbron van 6V. Draai de regelbare spanningsbron op het bord langzaam omhoog

d. Meet de spanning waarbij het relais schakelt.



Figuur 2.4



Figuur 2.5

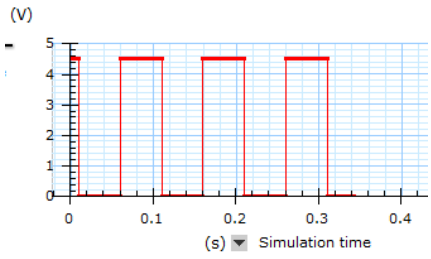
73 Drukschakelaars en LEDs

Drukschakelaars kunnen direct worden aangesloten op de ingangen van verwerkers.

a. Leg uit waarom de drukschakelaars op het systeembord betrouwbare nullen en enen produceren (zie opgave "Welk signaal geven de invoer-componenten").
b. Leg uit waarom de LEDs op het systeembord gebruikt kunnen worden om digitale signalen (nullen en enen) te meten.

Begrippen

Systeembord
Verwerkers
Signalen
Invoer/Uitvoer



Figuur 2.6

Samenvatting

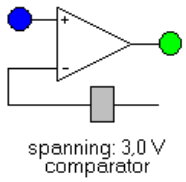
- **Invoercomponenten** geven wisselende spanningen af, die we **signalen** noemen. Een drukschakelaar heeft zonder drukken een spanning van 0V, ingedrukt 4,90V. Een geluidsensor wisselt veel geleidelijker: van ongeveer 0,3V bij stilte naar 3 of 4V bij lawaai. Dat geldt ook voor een lichtsensor: fel licht zorgt voor zo'n 4V,. geen licht bijna 0V.
- Een **pulsgenerator** levert ook geen constante spanningswaarde, maar een opeenvolging van pieken, die je snel of langzaam kunt laten wisselen. Zie de grafiek hiernaast.
- **Uitvoercomponenten** hebben de volgende spanningen nodig om te werken:
  - LED: >3,5V
  - Zoemer: >3,0V
  - Relais schakelt: >3,0V
- Alle spanningswaarden groter dan 2,5V noemen we **hoog** of 1, alle waarden kleiner dan 2V noemen we **laag**, of 0. Een drukschakelaar maakt dus ideale hoge en lage signalen: 0V als lage waarde, 5V als hoge waarde.
- Er ontstaat een probleem als een spanning tussen 2,5 en 3,0V is. Dat "ziet" de ene verwerker soms als laag en de andere als hoog.
- Signalen die alleen hoog (1) of laag (0) kunnen zijn noemen we **binaire signalen**.

2.2 Verwerking van digitale signalen

Paragraafvraag	Hoe worden digitale signalen verwerkt?

De meeste sensoren op het systeembord kunnen alle waarden tussen 0V en 5 V aannemen. Er is daarom een aparte bouwsteen nodig om van deze sensor-signalen binaire signalen, nullen of enen te maken. Die bouwsteen is de comparator.

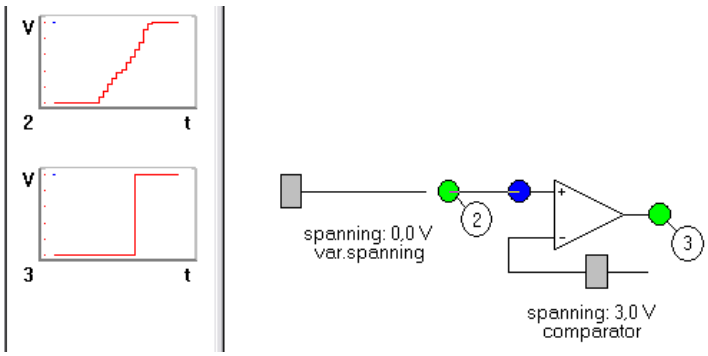
Comparator



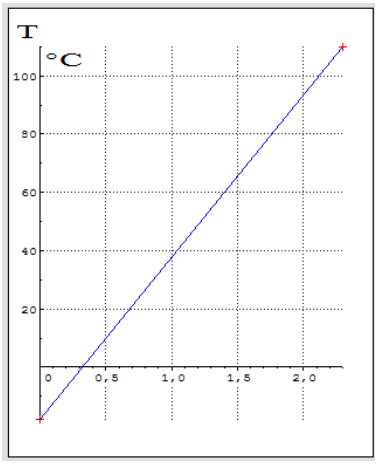
Figuur 2.7

Een comparator heeft twee ingangen en één uitgang. Op de + ingang komt een sensorsignaal, op de – ingang een spanning waarvan je de hoogte zelf instelt met een draaiknop. Hiernaast zie je het symbool voor een comparator. De sensoringang is blauw en de uitgang groen.

De comparator (to compare= vergelijken) vergelijkt de signalen op de + en de – ingang. Als de sensorspanning hoger is dan de ingestelde spanning (dus hoger dan 3 Volt in figuur 2.7) zet de comparator een hoog signaal (1 of 5V)op de uitgang en anders een laag signaal (0 of 0V). Zie 2.8 hieronder: de spanning van punt 2 en 3 is uitgezet tegen de tijd.



Figuur 2.8



Figuur 2.9

74 Temperatuur signaleren met een comparator

Bouw met een temperatuursensor, de comparator en een LED een systeem dat een lampje laat branden wanneer de temperatuur boven de 28°C komt. De ijkgrafiek van de temperatuursensor is in figuur 2.9 gegeven. Tip: stel de comparator dus in op het aantal volt dat de sensor bij 28 °C afgeeft.

Temperatuur regelen met een comparator

Verander de schakeling en laat nu een dompelaar (via het relais) uitgaan boven 28°C. Zet de dompelaar wel in een glas water en sluit aan op de juiste voedingsspannings. Tip: gebruik daarvoor de invertor: een verwerker die signalen omkeert: laag wordt hoog en omgekeerd.

Verschillende soorten verwerkers

EN-poort

IN 1	IN 2	UIT
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Figuur 2.10

Een EN-poort heeft twee ingangen en 1 uitgang. Op de ingangen kunnen alleen binaire signalen staan, en de uitgang hangt af van de combinatie van beide ingangen. Alleen als IN1 én IN2 beiden hoog zijn is de uitgang ook hoog. Vandaar de naam EN-poort. Om snel aan te geven wat een poort doet zijn er zogenaamde waarheidstabellen. Zie figuur 2.10 voor de waarheidstabel van een EN-poort.

OF-poort

IN 1	IN 2	UIT
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Figuur 211

Een OF-poort heeft ook twee ingangen en 1 uitgang. Deze uitgang is hoog als IN1 óf IN2 hoog is, óf allebei. De naam zal duidelijk zijn, en de waarheidstabel voor deze poort zie je in figuur 2.11.

Invertor

IN 1	UIT
0	1
1	0

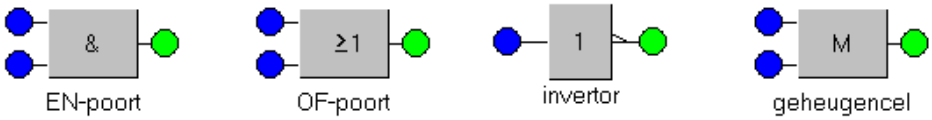
Figuur 2.12

Deze heb je al een keer gebruikt. De waarheidstabel staat in figuur 2.12 en is nog eenvoudiger.

Geheugencel

Ook de geheugencel heeft twee ingangen, de set- en de resetingang. Als je set hoog maakt, wordt de uitgang hoog. Wat je daarna ook doet met de ingang, de uitgang blijft hoog. Hij onthoudt dus dat er 1 keer een hoog signaal is geweest. De uitgang kan alleen weer laag worden als je de reset-ingang hoog maakt. Dat hoeft maar kort, de uitgang blijft daarna gewoon laag tot er weer een hoog signaal op de set-ingang komt.

Symbolen van de verwerkers tot nu toe zijn weergegeven in figuur 2.13:

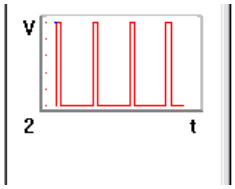


Figuur 2.13

75 Oefenen met verwerkers
Hieronder staan een aantal opdrachten die je met een systeembord of met een simulatieprogramma van een systeembord kunt doen:

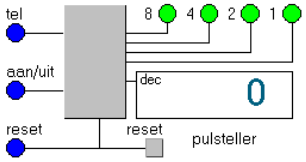
- Maak een systeem waarbij je twee drukschakelaars tegelijk moet indrukken om een lampje te laten branden.
- Maak een systeem waarin je met elk van beide drukschakelaars een lampje kunt laten branden.
- Maak een systeem waarin je met een drukschakelaar een lampje blijvend aan kunt doen, en met een andere drukschakelaar weer uit kunt doen.
- Maak een systeem waarmee je met een drukschakelaar een lamp , die continu brandt, kunt uitdoen en een andere lamp laat aan gaan (tijdelijk, zolang je drukt).

Pulsgenerator en pulsenteller



Figuur 2.14

De namen van deze componenten geven al aan wat ze doen: de eerste genereert (= wekt op) pulsen, de tweede telt ze! Een puls is een kort durend hoog signaal. De generator maakt pulsen met verschillende “snelheden”. Hij maakt er 1 per seconde tot maximaal 10 per seconde. Dus met frequenties van 1 tot 10 Hz. Zie figuur 2.14 hiernaast, de x-as duurt 1 seconde, je ziet 4 pulsen. De frequentie van de generator was dus 4 Hz. De pulsgenerator is overigens een invoer-component, maar het past beter om die hier te bespreken.



Figuur 2.15

De pulsenteller (figuur 2.15) lijkt ingewikkeld, maar zit wel logisch in elkaar.
Er zijn drie ingangen. Als je pulsen wilt tellen, moet je de TEL-ingang aansluiten op de pulsgenerator, of op een andere pulsgever, b.v. een drukschakelaar.
De teller gaat dan lopen en telt de pulsen. Je ziet het display van 0 tot 10 oplopen. Na 10 begint hij weer op 0. Wil je voorkomen dat hij direct al gaat tellen dan kun je de AAN/UIT-ingang 0 maken. Hij telt bij hoog (1) en stopt bij laag (0), ook al komen er pulsen binnen.
Het kan zijn dat de teller op 5 staat en je op 0 wilt beginnen: dan moet je even een hoog signaal op de RESET-ingang zetten en springt de teller weer op 0.
Er zitten nog andere uitgangen op de teller: die waarbij 1, 2, 4 en 8 staat. Hiermee wordt het getal op het display in binaire waarde gegeven. Deze uitgangen kun je gebruiken om bij een bepaalde waarde van de teller iets te laten gebeuren: een lamp gaat uit als de teller op 5 staat bijvoorbeeld. Zie voor de uitleg van binaire getallen de volgende alinea.

Wat zijn binaire getallen, en hoe reken je ze om?

Combinaties van enen en nullen vormen getallen, binaire getallen. Binaire getallen bestaan uit maar twee symbolen, in tegenstelling tot de getallen die we in het decimale stelsel aantreffen. In het decimale getalstelsel tref je tien symbolen aan, nl. 1 t/m 9 en de 0.

Reken met binaire getallen

Als je een gewoon (decimaal) getal opschrijft, bijvoorbeeld 2865, dan zie je aan de plaats van de cijfers hoeveel elk cijfer waard is. De 2 heeft eigenlijk de waarde 2000 ($=2 \cdot 10^3$), de 8 heeft de waarde 800 ($=8 \cdot 10^2$), de 6 heeft de waarde van 60 ($=6 \cdot 10^1$) en de 5 heeft de waarde van 5 ($=5 \cdot 10^0$). Je ziet dat in het decimale (tientallig) stelsel de machten van 10 een hoofdrol spelen (10^3, 10^2, 10^1 en 10^0).

In het binaire stelsel vind je alleen de 0 en de 1 als symbolen. De plaats van een 0 of een 1 bepaalt ook weer de eigenlijke waarde ervan.

Het binaire getal 11001101, bijvoorbeeld, heeft de waarde

$1 \cdot .2^7+1 \cdot 2^6+ 0 \cdot 2^5+0 \cdot 2^4+1 \cdot 2^3+1 \cdot 2^2+0 \cdot 2^1+1 \cdot 2^0=128+64+0+0+8+4+0+ 1 = 205$ in ons tientallig stelsel. Omdat het getal uit 8 enen en nullen bestaat noemen we dit een 8-bits getal. Zie ook het kader hiernaast.

Voorbeeld - Binaire getallen

0,1,2 .....9 zijn de tien cijfers die wij kennen. Het volgende getal moeten we samenstellen met die cijfers 0 t/m 9.Dat wordt 10. Geen nieuw cijfer, maar een soort rekensom: 1x10+0x1. Zo ook 2865: 2x1000+8x100+6x10+5x1.

In een tabel:

10^3	10^2	10^1	10^0
2	8	6	5

In het binaire systeem van tellen zijn er maar 2 cijfers: 0 en 1. Het gaat dus zo: 0,1,10,11,100,101 enz.10 betekent hier:1x2+0x1.
Zo is 1101: 1x8+1x4+0x2+1x1=13

In een tabel:

2^3	2^2	2^1	2^0
1	1	0	1

Dit “getal” krijg je dus door binair tot 13 te tellen. De reden om maar twee cijfers te gebruiken is dat computers met twee waarden werken: hoog en laag, waarbij spanningen horen. Een computergeheugen bestaat uit schakelaars.

76 Binair rekenen, heen en terug

Reken het 5-bits binaire getal 11101 om naar het tientallig stelsel.

Probeer ook eens het getal 50 in een binair getal om te zetten.

Tip: kijk eerst welke grootste macht van 2 er in zit. In dit geval is dat 32 ($=2^5$). Dan hou je nog 18 over. Daar zit 16 in ($=2^4$). Dan heb je over: 2. Daar zit 2^3 (8) niet in en ook 2^2 niet.... Enz..

Met nullen en enen kun je dus binaire getallen maken. Het hangt af van het apparaat wat er met zo'n binair getal gedaan wordt. De teller van het systeembord heeft een uitvoer met vier bits getallen. Het grootste getal dat de teller binair zou kunnen weergeven is 1111 (=15), het kleinste dus 0000 (=0). Met een hele grote verzameling binaire getallen (16- of 32-bits getallen) kan

een computer een foto maken, een CD-speler maakt er muziek van en een DVD-speler maakt bewegende beelden.

Begrippen

Relais
Comparator
EN en OF poort
Inverter
Geheugencel
Pulsenteller
Binaire getallen

Samenvatting

- Een **relais** is een spoel die magnetisch wordt als er een kleine stroom door loopt, waardoor een schakelaar wordt gesloten of geopend. De schakelaar van het relais regelt dan de grote stroom die door een apparaat gaat. Het relais met een veilige lage spanning kan een stroomkring met een hoge spanning aan/uitschakelen.
- Het **systeembord** verwerkt de signalen van invoercomponenten als drukschakelaars (digitaal: uit=0, aan=1), sensoren (analoog, alle waarden tussen 0 en 5V, microfoons (ook analoog).
- Voor het signaal van een analoge sensor kan worden verwerkt moet het digitaal worden gemaakt via een **comparator**. Alle signalen onder een drempelwaarde (te kiezen tussen 0 en 5V) worden door de comparator als 0 doorgegeven, alle signalen erboven als 1.
- Verwerkers combineren de signalen van de invoer tot het gewenste uitvoersignaal. Een **pulsenteller** kan de tijd tellen en op een juist moment een signaal aan een verwerker geven.
- **Uitvoercomponenten** op het systeembord zijn lampjes (LEDs), een relais, een zoemer.

Handige regels om als ontwerper te onthouden:

- Als een sensor bij een bepaalde waarde moet reageren (b.v. een temperatuursensor moet bij 25˚C een verwarming uitzetten) is altijd een comparator nodig. Daarmee kun je precies het niveau van 25˚C instellen.
- Als een schakeling het ene (b.v. een lamp laten aangaan bij donker) EN het andere (alleen reageren bij beweging) moet doen, moeten beide signalen altijd naar een EN-poort.
- Als een alarmsensor iets signaleert moet het alarm afgaan, en blijven gaan ook als de sensor geen signaal meer geeft omdat de dief al binnen is. In dit soort gevallen moet de sensor via de comparator (zie 1) altijd met een geheugencel (set-ingang) zijn verbonden. Is de ingang even hoog geweest dan blijft de uitgang hoog totdat de cel gereset wordt (reset-ingang even hoog).
- Om een gebeurtenis na een bepaalde tijd te laten beginnen of eindigen gebruik je de pulsteller als een klok: de pulsgenerator zet je op 1Hz, zodat de teller per seconde 1x omhoog gaat.
- Voor het beëindigen of starten van een gebeurtenis na een bepaald aantal seconden gebruik je de digitale uitgang van de teller. Elk getal op de 4-bits binaire uitgang van de teller bestaat uit 4 enen en nullen, in wisselende volgorde. Je moet steeds uitzoeken welk van de vier signalen je kunt gebruiken om te schakelen.
- Soms moeten twee uitgangen tegelijk hoog zijn: dan verbindt je ze met een EN-poort. (b.v als de teller bij 6 iets moet doen: 0110).

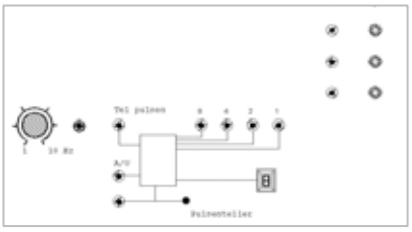
2.3 Oefenen met het systeembord

Schakelingen maken en testen

Paragraafvraag	Hoe maak je nuttige schakelingen met het systeembord?

Bij de volgende serie opgaven is steeds een aantal onderdelen van het systeembord getekend. Het is de bedoeling dat je met de getekende onderdelen het probleem oplost. Het beste is om in duo's te werken. Samen kun je betere oplossingen bedenken! Als de schakeling is gecontroleerd kun je de verbindingen op een werkblad met dezelfde plaatjes tekenen.

Voor het ontwerpen van de schakelingen kun je het beste een echt systeembord gebruiken of, nog handiger, een computer met een simulatie van het systeembord. Lukt het niet om een opgave snel genoeg naar je zin op te lossen, ga dan verder met de volgende en probeer het later opnieuw. Dit geldt ook als een bepaalde sensor even niet beschikbaar is. Je hoeft de opgaven niet in de gegeven volgorde uit te voeren.



Figuur 2.16

77 Tellen tot en met 7

Behalve via het display op de teller kunnen we (binair) tellen via de LEDs. Sluit de uitgangen 1,2 en 4 van de teller aan op drie leds. Zie figuur 2.16.

Zet de pulsgenerator op 1 Hz en verbind uitgang 8 met de reset-ingang van de pulsenteller.

a. Ga na dat je nu een teller hebt gemaakt die na 7 seconden tellen weer bij 0 begint.
b. Hoe kun je een teller van 0 t/m 3 maken?
c. Waarom kun je zo geen teller van 0 t/m 5 maken?
d. Zou je voor c een oplossing met poorten kunnen bedenken?Licht dit laatste kort toe en teken een geschikte schakeling.

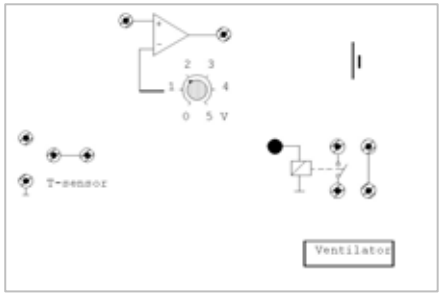


Figuur 2.17

78 Ventilator

Een ventilator moet gaan draaien zodra de temperatuur te hoog wordt, en dat moet het liefst automatisch gebeuren. Voor het draaien van de ventilator is een aparte spanningsbron nodig die je via het relais met de ventilator verbindt. Je mag de ventilator vervangen door een lampje van 6V in combinatie met een spanningsbron van 6V. Zie figuur 2.18.

Laat de ventilator aanslaan bij ongeveer 20 °C en ook weer uitslaan onder deze temperatuur. Controle vindt plaats via het dopen van de temperatuursensor in een bakje koud water en verwarmen met de hand. Maak de aansluitingen en laat je docent eerst controleren!!!



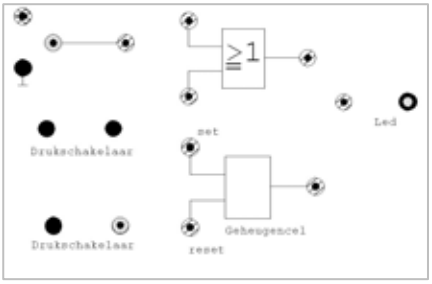
Figuur 2.18

79 Twee alarmsystemen

Alarmsystemen in huis komen in vele uitvoeringen voor..

- Dubbel geschakeld (zie figuur 2.19)

Ontwerp een alarm dat op 2 plaatsen aangezet kan worden. Het alarm moet afgaan als er iemand door de voor- of achterdeur naar binnen komt. Onder de mat bij elk van deze deuren bevindt zich een drukschakelaar. Als deze ingedrukt wordt moet het alarm (de zoemer) afgaan.
Via een extra schakelaar moet je het alarm ook weer uit kunnen zetten.
Het alarm moet wel blijven afgaan als een eventuele inbreker direct van de mat afspringt!



Figuur 2.19

- Een stil alarm (zie figuur 2.21)

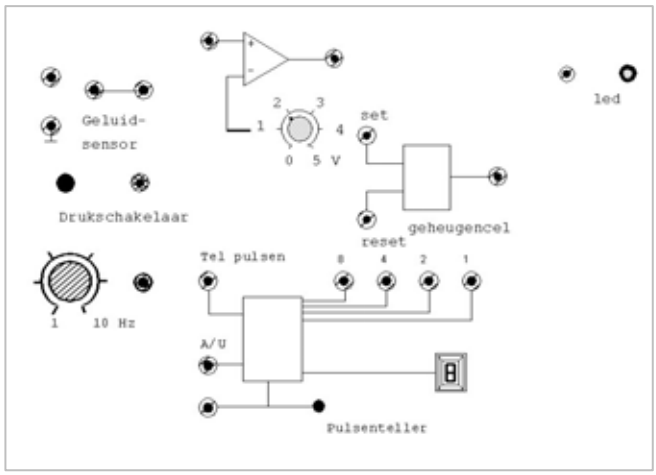
Gebruik de geluidsensor van het systeembord om een alarm te maken dat regeert op geluid.

Als het alarm afgaat, begint er ergens anders in het gebouw een licht te knipperen met een periode van 8 sec. Het licht gaat 4 s aan, 4 s uit, enz.

o Probleem
Bedenk een manier om het alarm met een extra drukschakelaar uit te zetten



Figuur 2.20



Figuur 2.21

80 Buitendeurverlichting (zie figuur 2.23)

Je wilt een lamp automatisch aanzetten als het donker is en er iemand (infrarode straling) in de buurt is. X is een lichtsensor die hoog is als er licht is. Y is een infraroodsensor die hoog is als er een warmtebron in de buurt is. Hieronder staan drie ontwerpen van een schakeling:

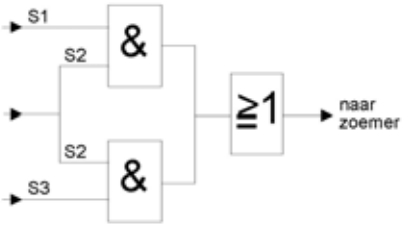
Bekijk de drie schakelingen en beredeneer welke geschikt zijn om een lamp aan te zetten als het donker is èn er iemand (warmte) in de buurt is. Test ze eventueel uit in een simulatie van het systeembord.



Figuur 2.22



Figuur 2.23



Figuur 2.24

81 Ramen open

Voor de ventilatie in de huiskamer is het goed als er minimaal 2 ramen open staan. In de drie ramen die open kunnen, zitten drukschakelaars die een hoog signaal afgeven als het raam dicht is.
Als er minder dan twee ramen open staan moet een zoemer afgaan (zie systeem hiernaast). Zie figuur 2.24

- Bouw dit systeem (systeembord of simulatie) en controleer de werking.
- Waarom werkt het systeem niet goed?
- Hoe kun je dit systeem verbeteren? Voeg er minimaal 1 EN-poort aan toe en maak een schema dat aan de eis voldoet.

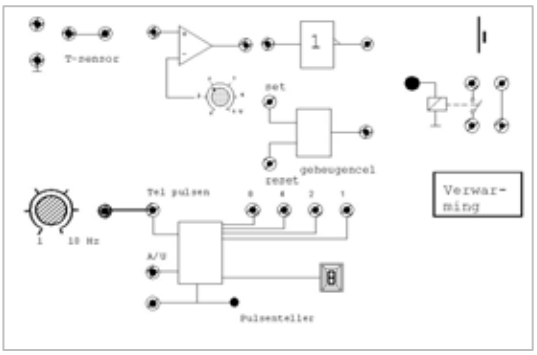


Figuur 2.25

82 Temperatuurregeling

Een bekende temperatuurregelaar is de thermostaat van de c.v. Wij bekijken een soortgelijk systeem: een oven als warmhouder voor een maaltijd.
In de oven mag de temperatuur maar korte tijd onder de ingestelde temperatuur blijven.
Wat moet de schakeling doen?
Na 8 tellen onder de ingestelde waarde moet de verwarming aangezet.
Direct boven de ingestelde waarde moet de verwarming weer uit.
Het systeem moet daarna opnieuw reageren als de temperatuur weer daalt!
Het verwarmingssysteem schakel je via het relais. Voor de verwarming kun je een dompelaar nemen en die in een bakje water zetten. Zet de temperatuursensor erbij en koel af door extra koud water of een ijsklontje toe te voegen. Vraag je docent welke spanning de dompelaar nodig heeft.

Bouw het systeem en demonstreer de werking. zie figuur 2.26.
Leg uit of de verwarming ook aanslaat als de temperatuur maar 4 of 5 s onder de ingestelde waarde zakt?

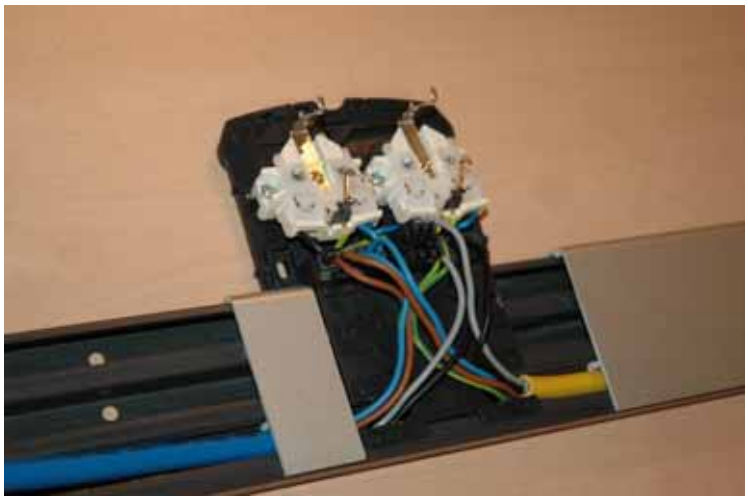


Figuur 2.26

Afsluiting

In dit hoofdstuk heb je geleerd dat het met digitale systemen mogelijk is veel acties automatisch te laten uitvoeren. Sensoren nemen waar of grootheden veranderen. Er zijn sensoren voor licht, geluid, magnetisme, beweging, trillingen, waterhoogte, temperatuur, infrarode straling, zelfs voor gassen als kooldioxide of zuurstof. De analoge signalen van de sensor gaan meestal eerst naar een comparator. Afhankelijk van de ingestelde waarde levert de comparator aan de uitgang een hoog of een laag signaal. Dit binaire signaal wordt verwerkt met een teller, poorten (OF, EN, invertor) of geheugencel. Eventueel worden andere signalen van drukschakelaars of sensoren gecombineerd. Uiteindelijk wordt daarna een uitvoerapparaat aangestuurd: een relais, een lampje, een motor, een alarmbel.

In zogenaamde *domoticasystemen* die in geautomatiseerde woningen zijn ingebouwd, worden in plaats van systeemborden computerprogramma's gebruikt. Sensoren en schakelaars worden via een zogenaamd interfacekastje verbonden met de software van de pc. Alle verwerkers die je nodig hebt zijn op de pc beschikbaar, en de uitvoer wordt vanuit hetzelfde interfacekastje weer aangestuurd door de computer. Alle uitvoer apparaten krijgen via één kabel – de zogenaamde "bus"- hun eigen signaal aangeleverd. Daarom loopt er in een woning met een domotica systeem een dikke kabel naar alle wandcontactdozen, schakelaars, lampen, rolluiken, camera's enz. In zo'n kabel zitten vijf of zes verschillende kabels bij elkaar: voor 230V ,voor 5 volt, en een buskabel voor de digitale signalen. En soms zitten er ook nog antenne, telefoon en glasvezelkabels in. Je ziet in figuur 2.27 een wandcontactdoos die in een plint is ingebouwd. De spanning op het stopcontact kun je op afstand in en uit-schakelen.



Figuur 2.27 Een stopcontact in een domotica systeem

Met je kennis van schakelingen en van het systeembord is het mogelijk onderdelen voor een intelligent huis te ontwerpen. Dat kan in een profielwerkstuk, het kan ook in een opdracht bij de module Technisch Ontwerpen waar je binnenkort kennis mee maakt. Je docent heeft een collectie ideeën waar je gebruik van kunt maken.