

mbo

Elektrotechniek

Voor de installatietechniek

TECHNIEKSTAD

TECHNIEKSTAD

COLOFON

©2019 Kenteq, Hilversum

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand dan wel openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opname, of enige andere wijze, zonder voorafgaande toestemming van de uitgever.

Kenteq
Postbus 81
1200 AB Hilversum

info@techniekstad.nl

Inhoudsopgave

1	Elektrotechniek	5
2	Definities	7
2.1	Elektrische lading	8
2.2	Elektrische stroom	9
2.3	Elektrische spanning	12
2.4	Elektrisch vermogen, energie en rendement	17
2.5	Weerstand en de Wet van Ohm	19
2.6	Metten stroomsterkte, spanning en weerstand	20
2.7	Samenvatting	22
2.8	Antwoorden	23
3	Weerstanden	25
3.1	Weerstand en materiaal	26
3.2	Weerstand en temperatuur	28
3.3	Weerstand en wisselspanning	31
3.4	Belastbaarheid van weerstanden	32
3.5	Samenvatting	33
3.6	Antwoorden	34
4	Schakelingen	35
4.1	Serieschakelingen	36
4.2	Parallelschakelingen	39
4.3	Gemengde schakelingen	40
4.4	Samenvatting	44
4.5	Antwoorden	45
5	Condensatoren	47
5.1	Opbouw en werking	48
5.2	Capaciteit	49
5.3	Condensator en wisselspanning	52
5.4	Samenvatting	53
5.5	Antwoorden	54
6	Spoelen	55
6.1	Spoelen	56
6.2	Het magnetisch veld	56
6.3	Inductie	58
6.4	Spoel en wisselspanning	62
6.5	Samenvatting	63
6.6	Antwoorden	64
7	Transformatoren	65
7.1	Opbouw en werking	66
7.2	Samenvatting	69
7.3	Antwoorden	70

8	Beveiligingen	71
8.1	Aarding	72
8.2	Kortsluiting en overbelasting	75
8.3	Samenvatting	78
8.4	Antwoorden	79
9	Schema's	81
9.1	Kenmerken van schema's	82
9.2	Stroomkringschema	83
9.3	Bedradingschema	83
9.4	Samenvatting	85
9.5	Antwoorden	86
10	Vragen Elektrotechniek 1	87
10.1	Vragen Definities	87
10.2	Vragen Weerstand	91
10.3	Vragen Schakelingen	93
10.4	Vragen Condensatoren	97
10.5	Vragen Spoelen	98
10.6	Vragen Transformatoren	99
10.7	Vragen Beveiligingen	100
10.8	Vragen Schema's	101

1 Elektrotechniek

Inleiding

We hebben dagelijks te maken met elektriciteit. Niet alleen thuis, maar ook in ons vakgebied, de installatietechniek. Denk bijvoorbeeld aan de aandrijving van pompen en ventilatoren of aan de beveiliging van installaties.

Elektrotechnische basiskennis is dus vereist als we technische installaties veilig en betrouwbaar moeten aansluiten en in bedrijf moeten stellen en houden.



Elektriciteit

Voor welke doelgroep?

De basiskennis in dit boek is breed toepasbaar. Het boek is daarom bedoeld voor alle beroepsopleidingen in de installatietechniek.

Leerdoelen

Je kunt:

- de basisprincipes van de elektrotechniek te verklaren
- aan te geven hoe je elektrische toestellen in de installatietechniek aansluit, beveiligt en schakelt
- stroomkringschema's te lezen en hun functie te noemen.

BRUNNEN

2 Definities

Inleiding

Wat is elektriciteit nu eigenlijk? En hoe meet je het? Een aantal basisbegrippen over elektriciteit komt hier aan de orde.



Elektriciteitspolen

Leerdoelen

Je kunt:

- uitleggen wat elektriciteit is
- de sterkte van een elektrische stroom uitrekenen
- het begrip elektrische spanning, vermogen, energie en rendement uitleggen
- het begrip weerstand uitleggen
- de wet van Ohm toepassen
- benoemen hoe je stroomsterkte, spanning en weerstand meet.

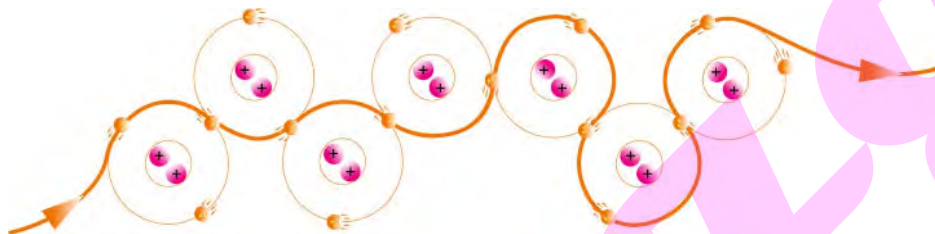
2.1 Elektrische lading

Een elektrische lading is de hoeveelheid elektriciteit waarmee iets geladen is. In een batterij zit een bepaalde hoeveelheid elektriciteit. Ook een accu heeft een bepaalde *lading* elektriciteit.

Elektriciteit is het verplaatsen van elektronen. Iedere stof bestaat uit moleculen en de kleinste deeltjes daarvan zijn atomen. Deze atomen bestaan weer uit een kern waaromheen elektronen cirkelen. Als die elektronen zich van het ene naar het andere atoom verplaatsen, heet dit elektriciteit.

Stel, je hebt een buis, die gevuld is met knikkers. Als je aan de ene kant een knikker in de buis brengt, rolt er aan de andere kant een knikker uit. De lengte van de buis heeft hierop geen invloed.

Zo gaat dat ook met elektriciteit. De snelheid waarmee elektronen zich verplaatsen is wel heel wat hoger dan de snelheid van knikkers.



Elektronenstroom

Als de elektronen gemakkelijk door een stof kunnen worden verplaatst, noem je deze stof een geleider. Goede geleiders zijn:

- koper
- aluminium
- zilver
- goud.

Als de elektronen zich slecht of helemaal niet kunnen verplaatsen, noemen we de stof een weerstands- of isolatiemateriaal, dus een isolator. Goede isolatoren zijn:

- glas
- kunststof
- hout (droog).

1. Wat maakt dat:
 - a. glas een zeer goede isolator is?

- b. koper een zeer goede geleider is?

2.2 Elektrische stroom

Als in een stof de elektronen zich in één richting verplaatsen, spreken we over een elektrische stroom. Deze stroom kan onder andere optreden in vaste stoffen, vloeistoffen en gassen.

Er zijn twee soorten stroom:

- AC = wisselstroom (Alternating Current), zoals stroom uit een wandcontactdoos
- DC = gelijkstroom (Direct Current), zoals stroom uit een batterij.

Op bijna alle meetinstrumenten staan deze afkortingen AC en DC.

Als je nu een meetinstrument op de verkeerde instelling hebt staan, klopt je meting niet.

Bovendien loop je het risico dat je dure meetinstrument kapot gaat.

Stroomrichting

Elektronen hebben een negatieve lading. Daarom is de richting van de stroom tegengesteld aan de richting waarin de elektronen zich bewegen. In de praktijk betekent dit dat de richting van de stroom loopt van de positieve (+) klem (pool) naar de negatieve (-) klem (pool) van de spanningsbron. De elektronen bewegen in omgekeerde richting, van - naar +.

Plus en min van de spanningsbron

Als je een elektrisch apparaat wilt aansluiten, doe je dat door twee verbindingen met de spanningsbron tot stand te brengen.

Om een gameboy aan te sluiten op een batterij sluit je een kabel aan de plus (+) kant van de batterij aan en een kabel aan de min (-) kant. Bij het aansluiten van een lamp op een accu is dat net zo.



Elektriciteitspolen

Ook als je een stekker van een lamp in een wandcontactdoos steekt, maak je twee aansluitingen met de spanningsbron. In een wandcontactdoos zijn de aansluitingen echter afwisselend de plus- en de minverbinding naar de spanningsbron. In beide gevallen noemen we de aansluitpunten polen.

Stroomsterkte

Om een elektrische boormachine te laten draaien of een lamp aan te doen is een gesloten stroomkring nodig.

Bij een gesloten stroomkring gaat tussen de polen van een spanningsbron een stroom lopen. De sterkte van deze stroom is afhankelijk van de weerstand die de stroom ondervindt.

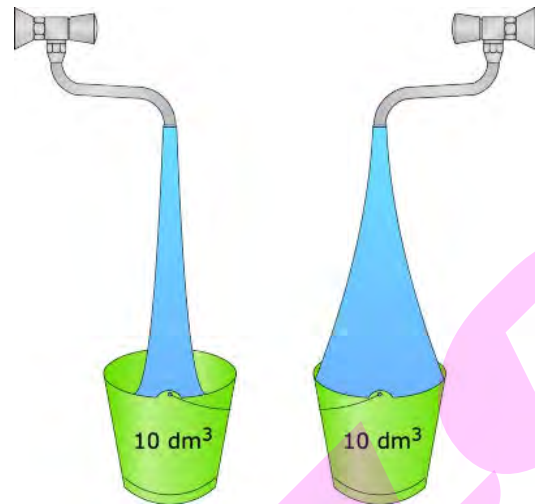
Voorbeeld

Gegeven

Je laat twee emmers, elk met een inhoud van 10 liter, gelijktijdig met water vollopen.

De kraan boven de linker emmer is zover geopend, dat de emmer in 100 seconden vol is.

De kraan boven de rechter emmer is verder opengedraaid, zodat de emmer in 50 seconden vol is. Als beide emmers vol zijn, heeft elke kraan een gelijke hoeveelheid water geleverd.



Volumestromen

Gevraagd

Hoe snel stroomt het water in beide kranen?

Oplossing

Door de kraan links stroomt:

$$\frac{10 \text{ liter}}{100 \text{ seconde}} = 0,1 \text{ liter per seconde}$$

Door de kraan rechts stroomt:

$$\frac{10 \text{ liter}}{50 \text{ seconde}} = 0,2 \text{ liter per seconde}$$

De sterkte van de waterstroom uit de rechterkraan is dus 2 keer zo groot als die van de linkerkraan.

Anders gezegd: De sterkte van de waterstroom is gelijk aan de hoeveelheid water, die per seconde door de kraan stroomt.

Op dezelfde manier geef je ook de sterkte van een elektrische stroom aan. De sterkte van een elektrische stroom is gelijk aan de hoeveelheid lading, die per seconde door een geleider stroomt.

De eenheid die de sterkte van stroom aangeeft is de ampère. Het symbool voor stroom is de letter I , het symbool voor de eenheid ampère is de letter A.

Als je de stroomsterkte in een geleider wilt meten, gebruik je een ampèremeter of een universeelmeter.



Universeelmeter



2.

a. Welke richting heeft in een stroomkring de elektrische stroom?

b. In welke richting bewegen zich de elektronen in een stroomkring?



3.

a. Wat bedoel je met de sterkte van de stroom?

b. Met welk symbool duid je de stroomsterkte aan?

c. In welke eenheid geef je de stroomsterkte aan?

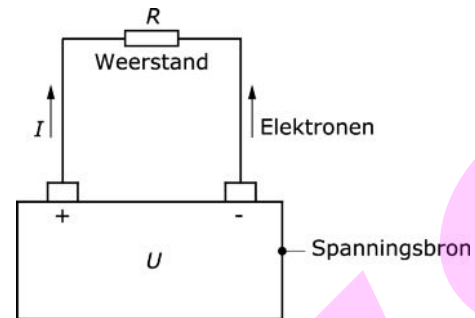
d. Waarvan is de stroomsterkte altijd onder andere afhankelijk

e. Waarmee kun je de stroomsterkte meten?

2.3 Elektrische spanning

Om een stroom door een geleider op te wekken of door een toestel te sturen is een zekere kracht nodig, die de elektronen in de stroomkring voortstuwt. De spanningsbron levert deze kracht, bijvoorbeeld een accu of een batterij. Ook als de stroomkring is verbroken en er geen stroom kan uitvloeien, blijft de spanningsbron kracht op de elektronen uitoefenen.

Hierdoor ontstaat aan de - kant van de geleider een opstuwing van de elektronen, terwijl er aan de + kant een tekort aan elektronen is. De hierdoor aanwezige druk of kracht op de elektronen om van de - kant naar de + kant te bewegen, noemen we het potentiaalverschil of spanningsverschil U .



Elektrische spanning

Het symbool van elektrische spanning is U , de eenheid waarmee spanning wordt weergegeven is volt (V).

Je kunt spanning meten met een voltmeter of een universeelmeter.

In een huisinstallatie is de spanning 230 volt. Een spanning van 230 volt is bij aanraking gevaarlijk, want op het moment dat je de stroomkring sluit door bijvoorbeeld met je hand een pool vast te pakken, gaat die stroom door je lichaam.

Als je aan elektriciteitsdraden moet werken, is het daarom noodzakelijk altijd goed (dubbel) geïsoleerd gereedschap te gebruiken en de spanning uit te zetten.

Als je onder de vloer of in een vochtige omgeving moet werken, gebruik je een veilige spanning van 42 volt of oplaadbaar gereedschap. Steeds vaker kiest een bedrijf voor oplaadbaar gereedschap, al was het maar om niet met transformatoren en kabels te hoeven slepen. Oplaadbare batterijen en accu's zijn de laatste jaren zoveel verbeterd, dat je er veel langer mee kunt werken voordat je ze opnieuw moet opladen.

Gelijkspanning

Bij een gelijkspanning is de kracht, die op de elektronen wordt uitgeoefend, steeds in dezelfde richting.

De richting van de spanning (kracht) noem je polariteit. Als tussen twee polen een spanningsverschil aanwezig is dat niet van richting verandert, is er sprake van gelijkspanning.

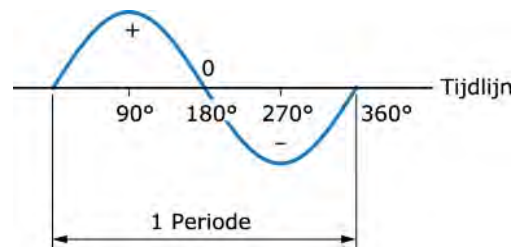


Constante gelijkspanning

Wisselspanning

Bij een wisselspanning verandert de kracht op de elektronen steeds van grootte en richting (polariteit).

De grafiek, die de relatie tussen spanning en tijd weergeeft, heeft in principe een sinusvorm.



Weergave van een sinusvormige wisselspanning

Frequentie

De tijd waarin de spanning één cyclus of periode doorloopt, noem je de periodetijd T .

Stroomleverende bedrijven (elektriciteitscentrales) wekken wisselspanning op, waarvan de tijd voor één periode 1/50 seconde bedraagt. Meestal geeft men voor wisselspanning of stroom niet de tijd voor een periode, maar het aantal perioden per seconde. Dit noemen we de frequentie.

Het aantal perioden per seconde wordt weergegeven door de letter f en uitgedrukt in de eenheid hertz (afgekort in Hz). In formule:

$f = \frac{1}{T}$	
f	= frequentie in hertz (Hz)
T	= periodetijd in seconde (s)

In een huisinstallatie is de spanning 230 volt, de periodetijd 1/50 seconde; de frequentie is dus 50 hertz.

Cirkelfrequentie

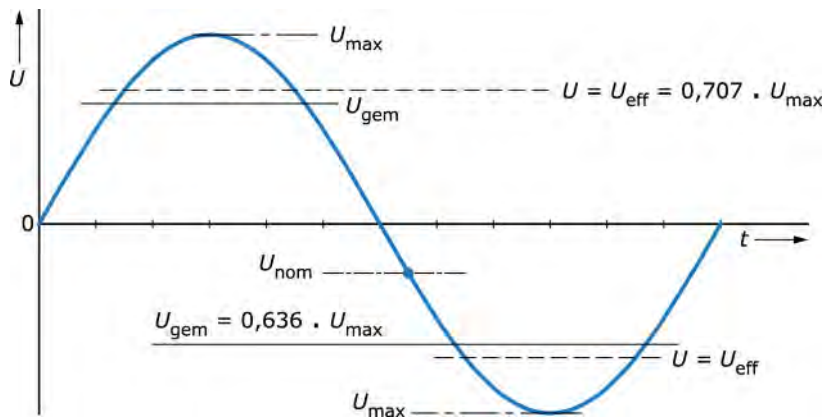
Soms wordt de frequentie uitgedrukt in radialen per seconde. Dit noemen we de cirkelfrequentie, die wordt aangegeven met ω (griekse kleine letter omega). Als je een hoek in graden wilt uitdrukken in radialen dan komt 360° overeen met 2π (pi). Met andere woorden: gedurende één periode (= 360°) worden 2π radialen afgelegd.

In formule:

$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$	
ω	= cirkelfrequentie in radialen per seconde (rad./s)
π	= wiskundige constante
T	= periodetijd in seconde (s)

Momentele, maximale, gemiddelde en effectieve waarde

Bij een sinusvormige wisselspanning spreken we over momentele, maximale, gemiddelde en effectieve waarde. We behandelen ze in het kort. Een overzicht van de verschillende waarden bij een wisselspanning staat in de afbeelding.



Verschillende waarden bij wisselspanning

Momentele waarde

Kijk in de afbeelding. Op ieder moment is de opgewekte spanning weer anders. Voor het bepalen van deze spanning vermenigvuldig je de maximale waarde van de spanning met de sinus van de hoek α .

De berekende spanning op een willekeurig moment noemen we momentele waarde:

$$U_{\text{mom}} = U_{\text{max}} \cdot \sin \alpha.$$

De maximale of momentele waarde van de spanning kan belangrijk zijn voor elektrische componenten, die je wilt aansluiten op een wisselspanning.

Gemiddelde waarde

Als je rekent over één periode, dan dragen de positieve en negatieve sinushelft evenveel bij aan de gemiddelde waarde, maar dan tegengesteld. De gemiddelde waarde van een sinusvormige spanning is dus nul. Deze is daarom gedefinieerd over een halve periode en is gelijk aan:

$U_{\text{gem}} = \frac{2}{\pi} \cdot U_{\text{max}} = 0,636 \cdot U_{\text{max}}$	
U_{gem}	= gemiddelde spanningswaarde in volt (V)
U_{max}	= maximale spanningswaarde in volt (V)
π	= periodetijd in seconde (s)

Effectieve waarde

Als je een weerstand aansluit op een wisselspanning, wordt in deze weerstand warmte ontwikkeld. Hetzelfde effect kun je ook krijgen door de weerstand aan te sluiten op gelijkspanning. Gloeilampen en verwarmingselementen zijn voorbeelden van weerstanden.

Om bij een wisselspanning in één periode dezelfde warmte-ontwikkeling te krijgen als bij een gelijkspanning moet je rekenen met de effectieve waarde van de wisselspanning. De effectieve waarde van een sinusvormige wisselspanning bedraagt:

$$U_{\text{eff}} = \frac{U_{\text{max}}}{\sqrt{2}} = 0,707 \cdot U_{\text{max}}$$

U_{eff} = effectieve spanningswaarde in volt (V)

U_{max} = maximale spanningswaarde in volt (V)

Opmerking

Als we praten over een wisselspanningswaarde, dan bedoelen we daarmee altijd de effectieve waarde. Vaak wordt de index eff weggelaten. Deze waarde geef je dus aan met het symbool U .

Ook de stroomleverende bedrijven geven de effectieve waarde op. De netspanning van 230 V is dus een effectieve waarde.



4.

a. Met welk symbool duid je de spanning aan?

b. In welke eenheid geef je de spanning aan?

c. Waarmee kun je de spanning meten?



5. Wat is het kenmerkende verschil tussen gelijkspanning (DC) en wisselspanning (AC)?



6.

a. Wat versta je onder de frequentie van een wisselspanning?

b. Met welk symbool duid je de frequentie aan?

c. In welke eenheid geef je de frequentie aan?

d. Hoe groot is de frequentie van de lichtnetspanning in Nederland?



7.

a. Wat versta je onder de periodetijd van een wisselspanning?

b. Met welk symbool duid je de periodetijd aan?

c. In welke eenheid geef je de periodetijd aan?

d. Met welke formule bereken je de frequentie van een wisselspanning als je de periodetijd ervan weet?



8. We beschouwen een sinusvormige wisselspanning.

a. Wat bedoel je met de momentele waarde daarvan?

b. Wanneer spreek je over de maximale waarde daarvan?

c. Wat is de gemiddelde waarde ervan?

d. Hoe moet je de effectieve waarde ervan zien?

2.4 Elektrisch vermogen, energie en rendement

Elektrisch vermogen

Je kunt je voorstellen dat een watermolen meer presteert (energie kan leveren) als het hoogteverschil en de hoeveelheid water toenemen.

Hetzelfde geldt ook voor het elektrisch vermogen, dat we aangeven met de letter P en uitdrukken in watt. P is evenredig met het spanningsverschil en de stroomsterkte.

Voor het elektrisch vermogen P geldt de formule:

$P = U \cdot I$	
P	= vermogen in watt (W)
U	= spannings in volt (V)
I	= stroomsterkte in ampère (A)

Elektrische energie

De elektrische energie wordt geleverd aan een elektrische verbruiker. Deze elektrische energie is het product van vermogen en tijd en druk je uit in wattseconde (Ws) of joule (J). In de praktijk gebruik je voor de eenheid joule de grotere eenheid kilowattuur (kWh). Thuis in de meterkast vind je een kWh-meter. Deze meet dus het energieverbruik.

Voor de elektrische energie W geldt de formule:

$W = P \cdot t = U \cdot I \cdot t$	
W	= elektrische energie in joule (J)
P	= vermogen in watt (W)
U	= spannings in volt (V)
I	= stroomsterkte in ampère (A)

In bijvoorbeeld een gloeilamp en een verwarmingselement wordt elektrische energie omgezet in achtereenvolgens licht en warmte.

Rendement

Het rendement is de verhoudings tussen toegevoerde energie en het deel daarvan dat nuttig wordt gebruikt. Het rendement druk je uit in procenten.

Voor het rendement η (Griekse letter eta) geldt de formule:

$$\eta = \frac{W_n}{W_t} \cdot 100$$

η = rendement in procent (%)
 W_n = nuttig gebruikte energie in joule (J)
 W_t = toegevoerde energie in joule (J)

In een verwarmingselement van een elektrische boiler wordt alle elektrische energie omgezet in warmte: het doel van het verwarmingselement. Hier is dus sprake van een rendement van 100%.

Voorbeeld

Gegeven

In een halogeenlamp wordt van elke 100 J aan toegevoerde elektrische energie 9 J omgezet in licht.
 De rest wordt omgezet in warmte.

Gevraagd

Hoe groot is het rendement van die lamp?

Oplossing

Het rendement van de lamp bedraagt (slechts):

$$\eta = \frac{W_n}{W_t} \cdot 100 = \frac{9}{100} \cdot 100 = 9\%$$



9.

a. Wat versta je onder het rendement?

b. Met welk symbool duid je rendement aan?

c. In welke eenheid geef je het rendement aan?

d. Met welke formule bereken je het rendement?

2.5 Weerstand en de Wet van Ohm

De kracht die de elektronenstroom tegenwerkt noem je weerstand. Als je terugdenkt aan de buis met knikkers, is duidelijk dat voor het wegduwen van de knikker een bepaalde druk nodig is. De druk die nodig is om elektronen te verplaatsen, is de elektrische spanning. Als de buis zo nauw is dat de knikkers nauwelijks te verplaatsen zijn, noem je dat een buis met een grote weerstand.

Wanneer er een elektrische stroom door een draad loopt, dan ondervindt deze stroom een weerstand.

De weerstand van de draad waardoor de stroom loopt, is afhankelijk van het materiaal en de doorsnede van deze draad. Een koperdraad heeft veel minder weerstand dan een stalen draad met dezelfde doorsnede.

Bij een gelijkblijvende elektrische spanning, maar bij een groter wordende weerstand, wordt de stroomsterkte kleiner. Tussen de aangelegde spanning, de stroomsterkte en de weerstand is een vaste relatie.

De weerstand wordt aangegeven met de letter R en uitgedrukt in ohm (Ω).

In formule:

$R = \frac{U}{I}$
R = elektrische weerstand in ohm (Ω)
U = spanning in volt (V)
I = stroomsterkte in ampère (A)

Wet van Ohm

De relatie in bovengenoemde formule wordt de *Wet van Ohm* genoemd, naar de ontdekker ervan.



10.

a. Wat versta je onder elektrische weerstand?

b. Met welk symbool duid je de weerstand aan?

c. In welke eenheid geef je de weerstand aan?

d. Waarvan is de weerstand van een geleider afhankelijk?

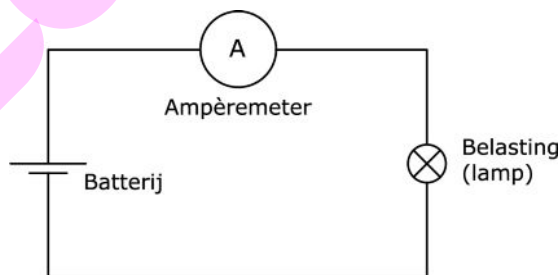
e. Met welke formule bereken je de weerstand als je de spanning en stroomsterkte weet?

2.6 Meten stroomsterkte, spanning en weerstand

Metten van stroomsterkte

Stroomsterkte meet je met een ampèremeter. Hoe je de meter in een schakeling moet opnemen, zie je hieronder.

De meter moet de grootte van de stroom door de schakeling zo min mogelijk beïnvloeden. Hiervoor moet de inwendige weerstand van de meter klein zijn ten opzichte van de weerstand van het circuit. Bij berekeningen veronderstellen we de ampèremeter vaak als ideaal (dus een inwendige weerstand van 0Ω).

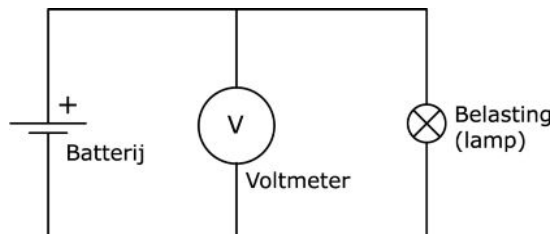


Ampèremeter in een schakeling

Metten van spanning

Spanning meet je met een voltmeter. Hoe je de meter in een schakeling moet opnemen, zie je hieronder.

De meter moet de schakeling zo min mogelijk beïnvloeden. Hiervoor moet de inwendige weerstand hoog zijn ten opzichte van de weerstand van het toestel. Bij berekeningen veronderstellen we de voltmeter vaak als ideaal (dus een oneindig hoge inwendige weerstand).

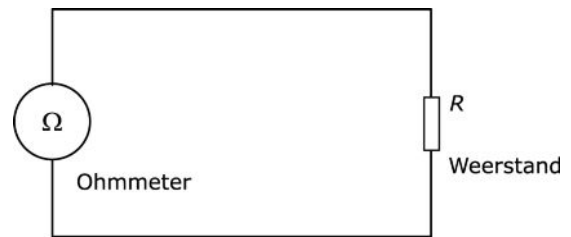


Voltmeter in een schakeling

Metten van weerstand

Weerstand meet je met een ohmmeter. Deze heeft een eigen voeding in de vorm van een batterij.

Door de twee meetklemmen kort te sluiten moet de meter nul ohm aanwijzen. Dit controleer je voordat je gaat meten.



Ohm-meter in een schakeling



11.

a. Hoe schakel je een ampèremeter als je daarmee de stroomsterkte meet?

b. Wat kun je zeggen over de inwendige weerstand van een ampèremeter?



12.

a. Hoe schakel je een voltmeter als je daarmee de spanning meet?

b. Wat kun je zeggen over de inwendige weerstand van een voltmeter?



13.

a. Hoe schakel je een ohmmeter als je daarmee de weerstand meet?

b. Wat moet je doen voordat je de weerstand meet?

2.7 Samenvatting

- Elektriciteit is het verplaatsen van elektronen.
- Als in een stof de elektronen zich in één richting verplaatsen, spreken we over een elektrische stroom. Er zijn twee soorten stroom:
 - AC = wisselstroom (Alternating Current)
 - DC = gelijkstroom (Direct Current).
- De richting van de stroom loopt van de positieve (+) klem (pool) naar de negatieve (-) klem (pool) van de spanningsbron. De elektronen bewegen in omgekeerde richting, van - naar +.
- De sterkte van een elektrische stroom is gelijk aan de hoeveelheid lading, die per seconde door een geleider stroomt:
 - de eenheid die de sterkte van stroom aangeeft is de ampère
 - het symbool voor de eenheid ampère is de letter A
 - het symbool voor stroom is de letter I
 - je meet de stroomsterkte met een ampèremeter.
- Een spanningsbron oefent druk of kracht uit op elektronen om van de - kant naar de + kant te bewegen, dit noem je het potentiaalverschil of spanningsverschil:
 - het symbool van elektrische spanning is U
 - de eenheid waarmee spanning wordt weergegeven is volt (V)
 - je kunt spanning meten met een voltmeter
 - bij een wisselspanning verandert de kracht op de elektronen steeds van grootte en richting (polariteit)
 - bij een sinusvormige wisselspanning spreek je over momentele, maximale, gemiddelde en effectieve waarde.
- het elektrisch vermogen is evenredig met het spanningsverschil en de stroomsterkte.
 - het symbool van elektrisch vermogen is de letter P
 - elektrisch vermogen wordt weergegeven in watt
 - voor het elektrisch vermogen P geldt de formule $P = U \cdot I$.
- Elektrische energie is het product van vermogen en tijd en druk je uit in wattseconde (Ws) of joule (J):
 - het symbool van elektrische energie is de letter W
 - in de praktijk gebruik je voor de eenheid joule de grotere eenheid kilowattuur (kWh)
 - voor elektrische energie geldt de formule $W = P \cdot t = U \cdot I \cdot t$
- Het rendement is de verhouding tussen toegevoerde energie en het deel daarvan dat nuttig wordt gebruikt. Dit druk je uit in procenten.
- De kracht die de elektronenstroom tegenwerkt, noem je weerstand:
 - De weerstand wordt aangegeven met de letter R en uitgedrukt in ohm (W).
 - In formule: $R = U / I$
 - De relatie in bovengenoemde formule wordt de *Wet van Ohm* genoemd.