



Elektrotechniek

voor werktuigbouwkundigen en andere
niet-elektrotechnici



Noordhoff Uitgevers

R.W. van Hoek
L. Scheltinga

**Elektrotechniek voor werktuigbouwkundigen
en andere niet-elektrotechnici**

R.W. van Hoek
L. Scheltinga

Elektrotechniek voor werktuigbouwkundigen en andere niet-elektrotechnici

Vierde druk

Noordhoff Uitgevers Groningen/Houten

Eventuele op- en aanmerkingen over deze of andere uitgaven kunt u richten aan: Noordhoff Uitgevers bv, Afdeling Hoger Onderwijs, Antwoordnummer 13, 9700 VB Groningen, e-mail: info@noordhoff.nl

5 / 11

Copyright © 2002 Noordhoff Uitgevers bv Groningen/Houten, The Netherlands.

Behoudens de in of krachtens de Auteurswet van 1912 gestelde uitzonderingen mag niets uit deze uitgave worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. Voor zover het maken van reprografische verveelvoudigingen uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikel 16h Auteurswet 1912 dient men de daarvoor verschuldigde vergoedingen te voldoen aan Stichting Reprorecht (postbus 3060, 2130 KB Hoofddorp, www.reprorecht.nl). Voor het overnemen van (een) gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet 1912) kan men zich wenden tot Stichting PRO (Stichting Publicatie- en Reproductierechten Organisatie, postbus 3060, 2130 KB Hoofddorp, www.stichting-pro.nl).

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise without prior written permission of the publisher.

ISBN (e-book) 978 90 018 3794 5
ISBN 978 90 401 0257 8
NUR 959

Voorwoord

Werktuigbouwkundigen en andere niet-elektrotechnici, die een leidinggevende functie in het bedrijf vervullen of zullen gaan vervullen, moeten een basiskennis van de elektrotechniek bezitten.

Aansluitend op deze basis is het noodzakelijk enig inzicht te hebben in de mogelijkheden die de elektrotechniek biedt.

Dit boek 'Elektrotechniek voor werktuigbouwkundigen' is geschreven voor hen, die aan deze voorwaarden willen voldoen. De leerstof elektrotechniek van de afdeling werktuigbouwkunde van de M.T.S. is hierbij het uitgangspunt geweest.

In de hoofdstukken 1 tot en met 7 is overwegend aandacht besteed aan een elektrokundige basis. De hoofdstukken 8 tot en met 18 zijn gericht op een aantal toepassingen en situaties, waarmee werktuigbouwkundigen regelmatig geconfronteerd worden.

Om de belangstelling voor de elektrotechniek van de zijde van de niet-elektrotechnici te stimuleren is getracht een afschrikeffect als gevolg van een veelheid van formules te voorkomen. Een gedetailleerde kennis van diverse elektrotechnische begrippen is ons inziens overbodig.

De vragen en opdrachten zijn doelbewust eenvoudig gehouden, zodat ook zelfwerkzaamheid goed mogelijk is.

Wij hopen, dat dit boek een bijdrage zal leveren voor een goede oriëntatie op elektrotechnisch gebied en de samenwerking tussen elektrotechnici en andere technici zal bevorderen.

In deze vierde oplage van de vierde druk zijn slechts enkele correcties aangebracht.

Voorjaar 2002

Assen, Ing. R.W. van Hoek

Zutphen, L. Scheltinga

Inhoud

- 1 Elektrische energie / 11**
 - 1.1 Energietechniek / 11
 - 1.2 Energievormen / 12
 - 1.3 Energie-overdracht / 13
 - 1.4 Energietransport / 14
 - 1.5 Energieverliezen / 19
 - 1.6 Om te onthouden / 23
 - 1.7 Vragen en opdrachten / 24

- 2 Spanningsbronnen / 28**
 - 2.1 Elektriciteit / 28
 - 2.2 Het thermo-element / 28
 - 2.3 De galvanische cel / 30
 - 2.4 De accu / 32
 - 2.5 De generator / 36
 - 2.6 Om te onthouden / 42
 - 2.7 Vragen en opdrachten / 42

- 3 Stroomsoorten / 45**
 - 3.1 Gelijkstroom / 45
 - 3.2 Wisselstroom / 46
 - 3.3 Om te onthouden / 51
 - 3.4 Vragen en opdrachten / 52

- 4 Weerstand / 53**
 - 4.1 De specifieke weerstand / 53
 - 4.2 De weerstand / 53
 - 4.3 Weerstand – materiaal / 55
 - 4.4 De temperatuurcoëfficiënt / 58
 - 4.5 De belastbaarheid van weerstanden / 59
 - 4.6 Om te onthouden / 60
 - 4.7 Vragen en opdrachten / 60

- 5 Schakelingen / 62**
 - 5.1 De stroomkring / 62
 - 5.2 Serieschakeling van weerstanden / 63
 - 5.3 Parallelschakeling van weerstanden / 64
 - 5.4 Gemengde schakeling van weerstanden / 66

- 5.5 Serie- en parallelschakeling van spanningsbronnen / 67
- 5.6 Om te onthouden / 68
- 5.7 Vragen en opdrachten / 68

- 6 Magnetisme en inductie / 71**
 - 6.1 Magnetisme / 71
 - 6.2 Elektrische inductie / 77
 - 6.3 Wervelstromen / 81
 - 6.4 Elektromagnetische en elektrodynamische krachtwerking / 82
 - 6.5 Vragen en opdrachten / 83

- 7 De spoel en de condensator / 86**
 - 7.1 Een spoel op een wisselspanning / 86
 - 7.2 De condensator / 90
 - 7.3 Weerstand en zelfinductie / 98
 - 7.4 Weerstand en capaciteit / 99
 - 7.5 Draaistroomschakelingen / 100
 - 7.6 Om te onthouden / 102
 - 7.7 Vragen en opdrachten / 103

- 8 Meettechniek / 107**
 - 8.1 Analoge meters / 108
 - 8.2 Digitale meters / 109
 - 8.3 Het gebruiken van meters / 111
 - 8.4 Toepassingen / 112
 - 8.5 Vragen en opdrachten / 117

- 9 Transformatoren / 119**
 - 9.1 Het transformatorprincipe / 119
 - 9.2 De draaistroomtransformator / 123
 - 9.3 De lastransformator / 125
 - 9.4 De beschermingstransformator – veiligheidstransformator / 127
 - 9.5 Om te onthouden / 127
 - 9.6 Vragen en opdrachten / 127

- 10 Elektrisch lassen / 130**
 - 10.1 Algemeen / 130
 - 10.2 Wisselstroomlassen / 133
 - 10.3 Gelijkstroomlassen / 133

- 10.4 Om te onthouden / 141
- 10.5 Vragen en opdrachten / 142

- 11 Elektrowarmte / 144**
 - 11.1 Industriële toepassingen / 144
 - 11.2 Vragen en opdrachten / 150

- 12 Elektriciteitsdistributie / 152**
 - 12.1 Centrales / 152
 - 12.2 Onderstations / 155
 - 12.3 Transformatorhuisjes (transformatorstations) / 157
 - 12.4 Kabelnetten en hoogspanningslijnen / 159
 - 12.5 Tarieven / 162
 - 12.6 Contracten / 163
 - 12.7 Om te onthouden / 164
 - 12.8 Vragen en opdrachten / 164

- 13 De lichtinstallatie / 168**
 - 13.1 Installatiemateriaal / 169
 - 13.2 Beveiliging / 172
 - 13.3 Aarding / 174
 - 13.4 Gasontladingslampen / 178
 - 13.5 Lichtschakelingen / 180
 - 13.6 Om te onthouden / 181
 - 13.7 Vragen en opdrachten / 182

- 14 De fabrieksinstallatie / 184**
 - 14.1 De elektriciteitsvoorziening / 185
 - 14.2 Het verdeelsysteem / 186
 - 14.3 De leidingen / 187
 - 14.4 Het schakelmateriaal / 190
 - 14.5 De beveiliging / 192
 - 14.6 De aarding / 195
 - 14.7 Om te onthouden / 197
 - 14.8 Vragen en opdrachten / 198

- 15 Gelijkstroommachines / 200**
 - 15.1 Het generatorprincipe / 201
 - 15.2 Het motorprincipe / 203
 - 15.3 De shuntgenerator / 205
 - 15.4 De compoundgenerator / 207
 - 15.5 De motor met afzonderlijke (vreemde) bekrachtiging / 208

- 15.6 De shuntmotor / 208
- 15.7 De seriemotor / 209
- 15.8 De compoundmotor / 210
- 15.9 De toerenregeling / 210
- 15.10 De schijfankermotor / 212
- 15.11 Stappenmotor / 215
- 15.12 Om te onthouden / 220
- 15.13 Vragen en opdrachten / 221

- 16 Wisselstroommotoren / 225**
 - 16.1 De synchrone draaistroommotor / 226
 - 16.2 De asynchrone draaistroommotor (driefasen-inductiemotor) / 230
 - 16.3 De wisselstroomcommutatormotor / 237
 - 16.4 De asynchrone wisselstroommotor / 240
 - 16.5 De synchrone wisselstroommotor / 241
 - 16.6 Enkele belangrijke punten van motoren / 242
 - 16.7 Type en uitvoering / 243
 - 16.8 Om te onthouden / 245
 - 16.9 Vragen en opdrachten / 245

- 17 Veiligheidsaspecten / 250**
 - 17.1 Aanrakingsgevaar / 250
 - 17.2 Beschermingsmaatregelen bij aanrakingsgevaar / 252
 - 17.3 Brandgevaar / 254
 - 17.4 Het meten van isolatieweerstanden / 255
 - 17.5 Vragen en opdrachten / 260

- 18 Kathodische bescherming / 262**
 - 18.1 Inleiding / 262
 - 18.2 Corrosie / 263
 - 18.3 Galvanische anoden / 264
 - 18.4 Externe gelijkspanningsbronnen / 266
 - 18.5 Vragen en opdrachten / 267

- Bijlagen / 268**
 - Tabel I - Aanbevolen verlichtingssterkten / 268
 - Tabel II - Aderdoorsnede / 269
 - Tabel III - Kleinst mogelijke smeltveiligheid voor draaistroommotoren / 270

- Antwoorden / 271**

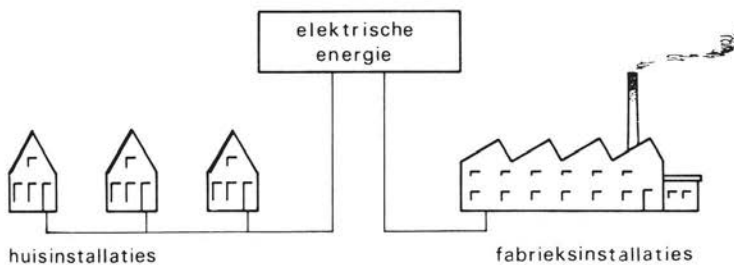
1.1 Energietechniek

Vrijwel overal is elektriciteit aanwezig. Onze huizen zijn voorzien van elektrisch licht. De centrale verwarming kan niet werken zonder elektriciteit. De bromfiets en de auto hebben een elektrische installatie.

Zonder elektriciteit zou het verkeer een chaos worden.

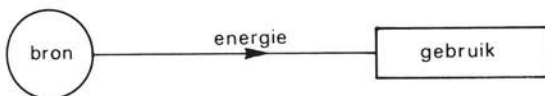
Met andere woorden: de elektriciteit heeft een onmisbare plaats ingenomen in de wereld van vandaag.

In de elektrotechniek gebruiken we de elektrische energie.



Figuur 1.1

Er is tegenwoordig een grote behoefte aan energie. Energie moet zo mogelijk overal beschikbaar zijn, op elk tijdstip en in elke hoeveelheid.



Figuur 1.2

In het industriële proces van mechaniseren en automatiseren wordt de menselijke arbeid (energie) vervangen door andere vormen van energie, bijvoorbeeld door elektrische energie.

Elektrische energie is:

- gemakkelijk en snel te transporteren;
- om te zetten in andere energievormen;
- goed te regelen;
- eenvoudig te meten;
- schoon;
- niet erg duur.

Het toepassen van de mogelijkheden die de elektrische energie biedt noemen we *elektrische energietechniek*, of kortweg *energie-techniek*.

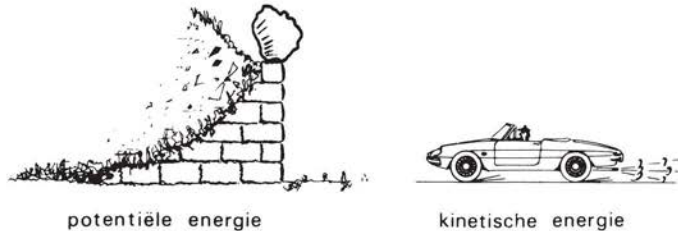
1.2 Energievormen

De substantie waaruit alles bestaat noemen we materie.

De gehele natuur van de wereld waarin we leven (alle vaste stoffen, vloeistoffen en gassen) is materie. Deze materie bevat energie. Steeds als er iets gebeurt, of het nu een natuurverschijnsel is of een technisch gebeuren, treedt er òf een omzetting van energie op, òf is er een uitwisseling van energie.

We onderscheiden:

- potentiële energie (energie van plaats);
- kinetische energie (energie van beweging).



Figuur 1.3

Energie geeft ons de mogelijkheid iets te doen.

Een bewegend voorwerp is ook in staat arbeid te verrichten.

Steeds als we iets doen, of als er iets gebeurt, wordt er arbeid verricht en wordt er energie gebruikt.

We kunnen dit ook omkeren: slechts dan kunnen we arbeid verrichten als er energie beschikbaar is.

Andere vormen van energie zijn:

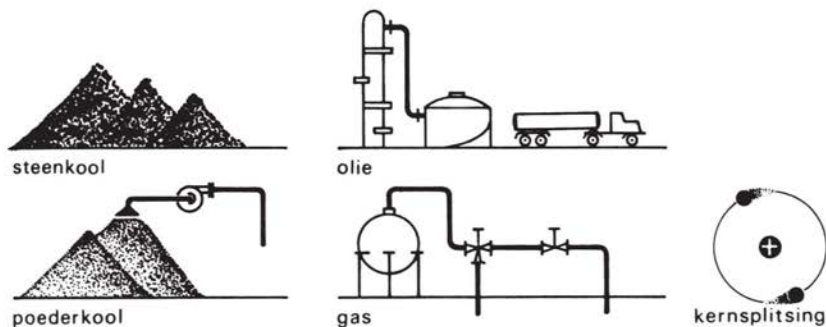
- kernenergie;
- chemische energie;
- stralingsenergie;
- thermische energie;
- geluidsenergie;
- zonne-energie
- windenergie;
- waterkrachtenergie;
- getijdenenergie;
- mechanische energie.

1.3 Energie-overdracht

In een elektriciteitscentrale wordt elektrische energie gemaakt.

De grondstoffen die voor het opwekken van deze energie gebruikt kunnen worden zijn:

- steenkool;
- poederkool;
- olie;
- gas;
- splijtstof (uranium).



Figuur 1.4

De grondstof, bijvoorbeeld de olie wordt verbrand.

De gloeiende rookgassen die hierbij ontstaan worden langs met water gevulde pijpen gevoerd. De gassen koelen af en de warmte wordt overgedragen aan het water.

Het water verdampt en wordt stoom. Deze stoom wordt door nauwe straalpijpen geleid en spuit dan tegen een aantal schoepen van een turbineschijf.

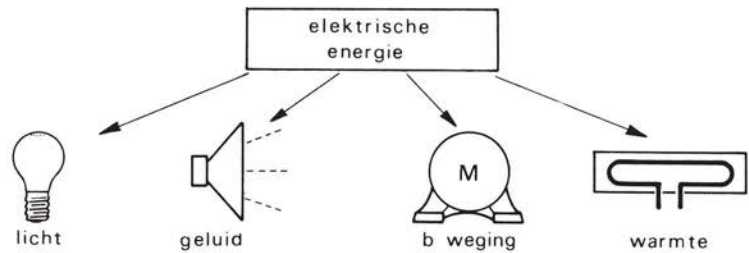
De turbine gaat draaien.

De energie van de grondstof is omgezet in bewegingsenergie, met als tussenschakel de stoom.

De turbine is verbonden met de as van een generator.
Een combinatie van een turbine en een generator noemen we een *turbogenerator*.

De generator is nodig voor het verkrijgen van de elektrische energie. De bewegingsenergie wordt dus weer omgezet in elektrische energie. De gebruikers van de elektrische energie zetten deze weer om in onder andere:

- licht;
- geluid;
- beweging;
- warmte.



Figuur 1.5

De volgorde van het proces is:
grondstof – verbranding – beweging – elektriciteit.

Steeds is er *energieoverdracht*.

1.4 Energietransport

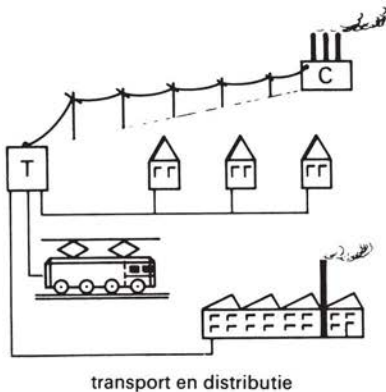
Spanning

In een generator wordt een elektrische spanning opgewekt. Deze spanning maakt het mogelijk de elektrische energie via een netwerk van bovengrondse leidingen en ondergrondse kabels te transporteren van de centrale (de generator) naar de gebruikers.

Zeer kleine deeltjes, de elektronen zorgen voor dit transport.

Hierbij is de spanning de stuwende kracht.

De spanning is de voorwaarde voor een eventuele elektronenbeweging.



Figuur 1.6

De eenheid van spanning is de volt.

We zeggen: een spanning van volt.

We schrijven: $U = \dots$ V. Bijvoorbeeld: $U = 220$ V.

Lading

Elk elektron bevat een zelfde hoeveelheid elektriciteit. Het is de kleinste hoeveelheid elektriciteit die bestaat.

We zeggen: het elektron heeft een elektrische lading.

De eenheid van lading is de coulomb.

We zeggen: een lading van coulomb.

We schrijven: $Q = \dots$ C. Bijvoorbeeld: $Q = 124$ C.

Stroom

Een verplaatsing van veel negatief geladen elektronen noemen we een elektrische stroom.

Elke elektrische stroom is een verplaatsing van lading.

De richting van de elektrische stroom is per definitie van + naar - en dus tegengesteld aan de bewegingsrichting van de elektronen.

De eenheid van elektrische stroom is de ampère.

We zeggen: een stroom van ampère.

We schrijven: $I = \dots$ A. Bijvoorbeeld: $I = 10$ A.

Een stroom is 1 A als er door de doorsnede van een geleider per seconde een lading van 1 C passeert.

In formulevorm: òf $I = \frac{Q}{t}$

òf $Q = It$

Voorbeeld

Een zakbatterij (4,5 V) geeft 30 seconden een stroom van 0,5 A. Hoeveel lading is er verplaatst?

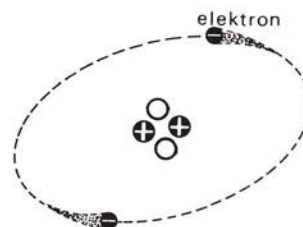
Gegeven: $I = 0,5$ A

$t = 30$ s

Gevraagd: Q

Oplossing: $Q = It = 0,5 \times 30 = 15$ C

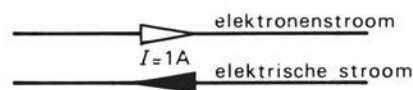
In de formule $Q = It$ kunnen we voor de tijd ook wel uren invullen.



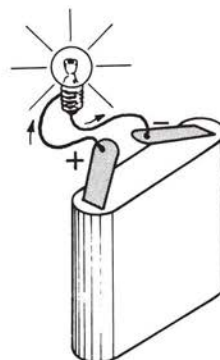
Figuur 1.7



Figuur 1.8



Figuur 1.9



Figuur 1.10

We zeggen dan: de capaciteit is ampère-uur.

We schrijven: $Q = It = \dots \text{ Ah}$. Bijvoorbeeld: $Q = 60 \text{ Ah}$.

Voorbeeld

Een accu heeft een capaciteit van 40 Ah.

Hoe groot is de lading van de accu uitgedrukt in coulomb?

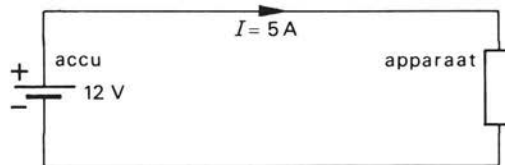
Hoe lang kan de accu een stroom leveren van 5 A?

Gegeven: $Q = 40 \text{ Ah}$
 $I = 5 \text{ A}$

Gevraagd: de lading in coulomb
 de tijd

Oplossing: 1 uur is 3600 seconden
 $40 \text{ Ah} = 40 \times 3600 = 144000 \text{ C}$

$$Q = It \text{ dus } t = \frac{Q}{I} = \frac{40}{5} = 8 \text{ uur}$$



Figuur 1.11

Energie

De hoeveelheid elektrische energie die kan worden gebruikt of getransporteerd is recht evenredig met:

- de hoeveelheid lading (Q);
- de grootte van de spanning (U).

$$W = QU$$

Naarmate de lading groter is, wordt de energie groter.

Maken we de spanning hoger, dan wordt de energie ook groter.

De eenheid van de elektrische energie is de Joule.*

We zeggen: de energie is Joule.

We schrijven: $W = \dots \text{ J}$. Bijvoorbeeld: $W = 3000 \text{ J}$.

We weten reeds dat: $Q = It$

Dan geldt ook: $W = UIt$

* Joule spreek uit 'zjoel'

Voorbeeld

Een accu heeft een spanning van 12 V en geeft 8 uur lang een stroom van 5 A. Zie figuur 1.11.

Hoeveel energie geeft de accu af?

Gegeven: $U = 12 \text{ V}$
 $I = 5 \text{ A}$
 $t = 8 \text{ uur}$

Gevraagd: W

Oplossing: $W = UIt = 12 \times 5 \times 8 = 480 \text{ Wh} = 1728000 \text{ J}$

Is de hoeveelheid energie groot, dan kunnen we gebruiken:

kJ (kilojoule) kilo = k = 10^3
 MJ (megajoule) mega = M = 10^6
 kWh (kilowattuur)
 MWh (megawattuur)

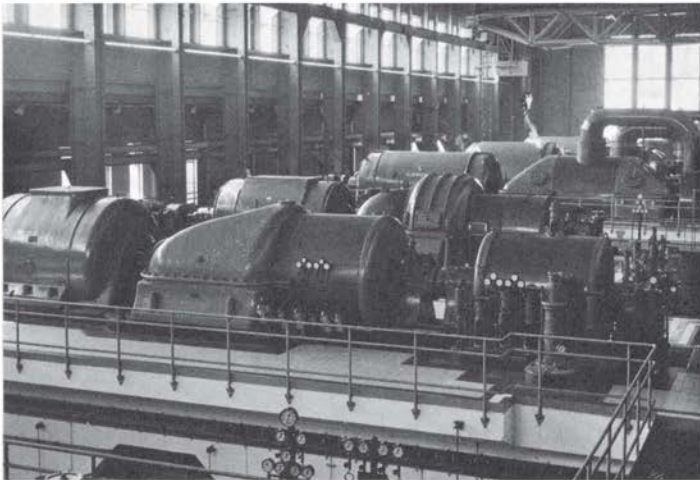
De energie wordt ook uitgedrukt in *newtonmeter* (Nm) of in Watt-seconden (Ws)

$1 \text{ J} = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ Ws}$

Ook geldt: $1 \text{ kcal} = 4,2 \times 10^3 \text{ J}$.

Voorbeeld

Een generator in een centrale heeft een spanning van 10 kV en geeft 24 uur per dag een stroom van 10 kA.



Figuur 1.12 Hal met turbogeneratoren

Hoeveel energie levert de generator per dag?

Gegeven: $U = 10000 \text{ V}$
 $I = 10000 \text{ A}$
 $t = 24 \text{ uur}$

Gevraagd: W

Oplossing: $W = UI t = 10000 \times 10000 \times 24 = 2400 \text{ MWh}$
 $= 8640000 \text{ MJ}$

Vermogen

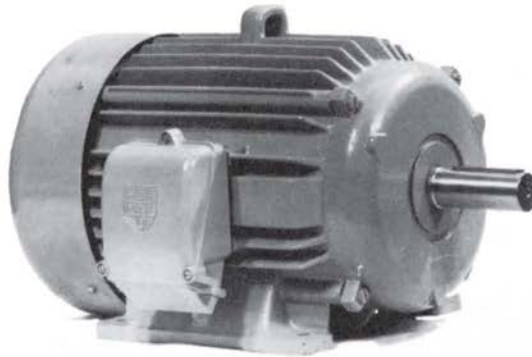
De energie die per seconde beschikbaar is noemen we het vermogen. De eenheid van het vermogen is watt, (Joule/seconde).

$$W = UI t$$

$$P = UI$$

We zeggen: een vermogen van watt.

We schrijven: $P = \dots \text{ W}$. Bijvoorbeeld: $P = 5000 \text{ W}$.



Figuur 1.13 Elektromotor

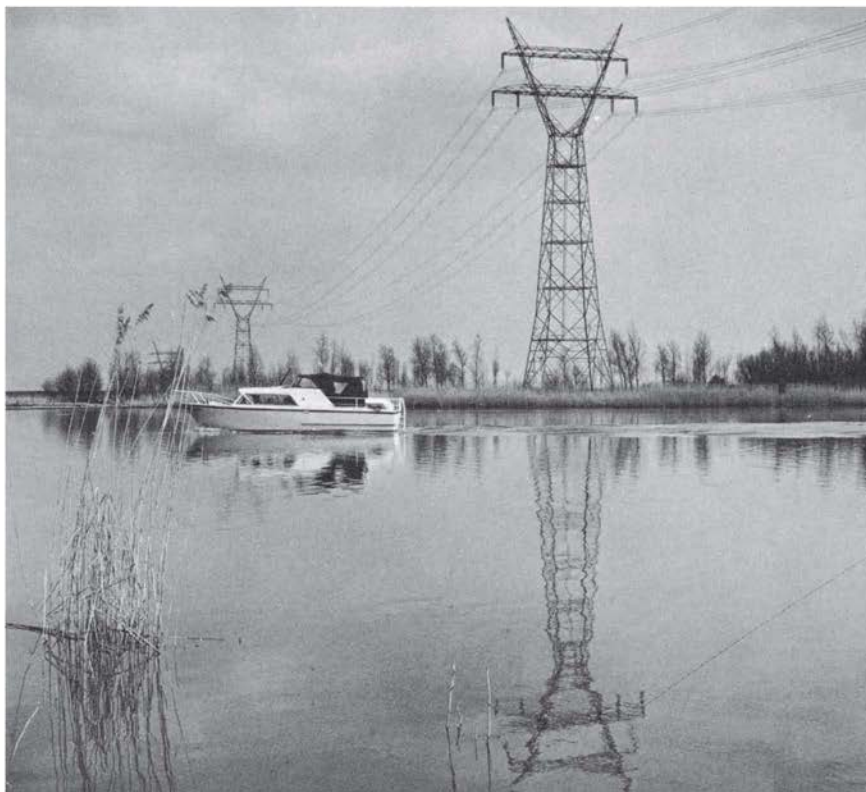
Voorbeeld

Een elektromotor is aangesloten op een spanning van 220 V en neemt een stroom op van 5 A. Hoe groot is het aan de motor toegevoerde vermogen?

Gegeven: $U = 220 \text{ V}$
 $I = 5 \text{ A}$

Gevraagd: P

Oplossing: $P = UI = 220 \times 5 = 1100 \text{ W}$

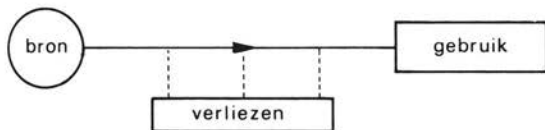


Figuur 1.14 Energietransport

1.5 Energieverliezen

Weerstand

Bij energie-overdracht en bij energietransport gaat er energie ‘verloren’. Echt verloren gaan kan natuurlijk niet volgens de wet van behoud van energie. We bedoelen met ‘verloren’: komt niet beschikbaar voor het doel waarvoor het bestemd is.



Figuur 1.15

Bij het transport van elektrische energie gaat er door de leidingen een stroom. Alle materialen bieden weerstand aan deze stroomdoorgang, het ene meer, het andere minder.

Materialen die de stroom goed geleiden, zoals koper, hebben een lage weerstand. Isolatiematerialen hebben een zeer hoge weerstand.

Elke geleider heeft weerstand, evenals elk toestel of apparaat en elke machine.

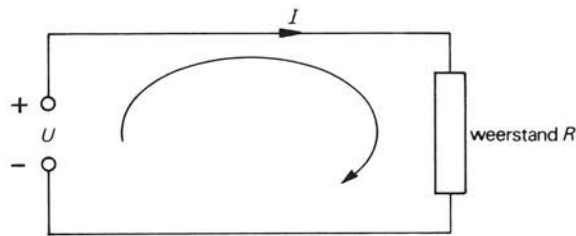
De eenheid van weerstand is de ohm.

We zeggen: een weerstand van ohm.

We schrijven: $R = \dots \Omega$. Bijvoorbeeld: $R = 12 \Omega$

Een deel van de energie gaat tijdens het energie transport ‘verloren’ in de geleiders. We noemen dat de energieverliezen van het transport.

Wet van ohm



Figuur 1.16 Een gesloten stroomkring

In een gesloten stroomkring neemt de stroom evenredig toe met de grootte van de aangelegde spanning.

De verhouding tussen die spanning en die stroom is de weerstand van de stroomkring. In *formulevorm*:

$$R = \frac{U}{I} \text{ Dit is de wet van ohm.}$$

$$\text{Uit } R = \frac{U}{I} \text{ volgt: } U = IR \text{ en } I = \frac{U}{R}$$

Voorbeeld

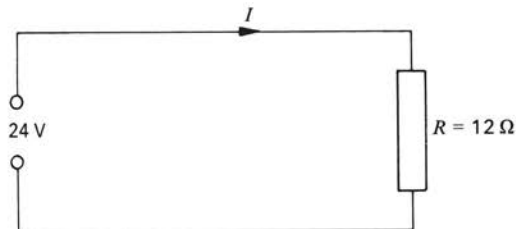
Hoe groot is de stroom in figuur 1.17?

Gegeven: $U = 24 \text{ V}$

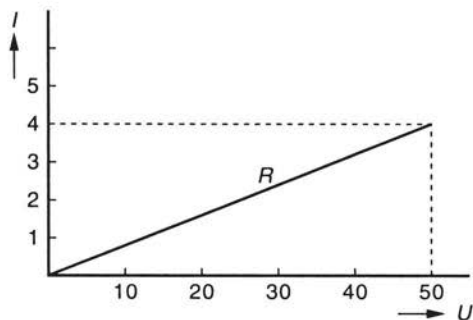
$R = 12 \Omega$

Gevraagd: I

Oplossing: $I = \frac{U}{R} = \frac{24}{12} = 2 \text{ A}$



Figuur 1.17a



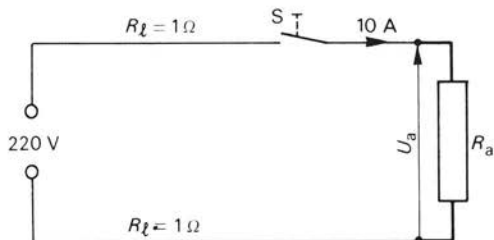
Figuur 1.17b

Nemen we een spanning van 12 V, dan is de stroom 1 A en bij een spanning van 48 V wordt de stroom 4 A.

Voorbeeld

Hoe groot is in figuur 1.18:

- het spanningsverlies U_v in de leidingen?
- de spanning U_a ?
- de weerstand R_a van het apparaat?



Figuur 1.18

Gegeven: $U = 220 \text{ V}$

$R_1 = 1 \Omega$

$I = 10 \text{ A}$

Gevraagd: U_v ; U_a en R_a

Oplossing: Let op: $U_v = I \times 2R_1 = 10 \times 2 \times 1 = 20 \text{ V}$

Dan is $U_a = 220 - 20 = 200 \text{ V}$

$$R_a = \frac{U_a}{I} = \frac{200}{10} = 20 \Omega$$

Het kan ook anders. Hoe? Probeer dat zelf eens te vinden!

In een gesloten stroomkring zijn steeds:

- energieverliezen (afhankelijk van de tijd);
- spanningsverliezen (niet afhankelijk van de tijd).

$$\text{Uit: } \begin{array}{l} U = IR \\ P = UI \end{array} \text{ volgt: } P = I^2R$$

$$\text{Uit: } \begin{array}{l} U = IR \\ W = UIt \end{array} \text{ volgt: } W = I^2Rt$$

Rendement

De verhouding tussen de energie na het transport en voor het transport noemen we het rendement van het energietransport.

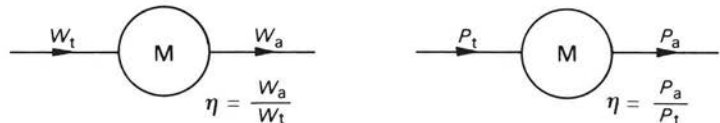
De eenheid van het rendement is onbepaald.

We zeggen: het rendement is

We schrijven: $\eta = \dots$. Bijvoorbeeld: $\eta = 0,85$

Het rendement is een onbepaald getal dat altijd kleiner is dan één. We kunnen het rendement ook in procenten uitdrukken door het getal te vermenigvuldigen met 100%.

Bijvoorbeeld: $\eta = 0,85 \times 100\% = 85\%$



Figuur 1.19 Rendement

Het toegevoegde vermogen noemen we P_t , het afgegeven vermogen P_a .

Voorbeeld

Een motor heeft een rendement van 0,82.

Het toegevoerde vermogen is 5000 W.

Hoe groot is het afgegeven vermogen van de motor?

Gegeven: $P_t = 5000 \text{ W}$

$$\eta = 0,82$$

Gevraagd: P_a

Oplissing: $\eta = \frac{P_a}{P_t}$ dus $P_a = \eta P_t = 0,82 \times 5000 = 4100 \text{ W}$

(Op het kenplaatje van een motor staat altijd het afgegeven vermogen P_a .)

Koppel

Een elektromotor zet de toegevoerde elektrische energie om in een draaiende beweging van de as van de motor, dus in mechanische energie.

Hoeveel energie de as kan afgeven wordt bepaald door het askoppel T_{as} . De grootte van dit koppel is afhankelijk van:

- het afgegeven vermogen P_a
- de hoeksnelheid ω

In formule: $T_{as} = \frac{P_a}{\omega} = \frac{P_a}{2\pi n/60} = \frac{60}{2\pi} \cdot \frac{P_a}{n}$

$$T_{as} = 9,55 \cdot \frac{P_{as}}{n} \text{ Nm}$$

Voorbeeld

Van een motor is bekend: $P_a = 4100 \text{ W}$,
 $n = 3000 \text{ omw/min}$

Het koppel is dan:

$$T_{as} = 9,55 \cdot \frac{4100}{3000}$$

$$T_{as} = 13 \text{ Nm.}$$

1.6 Om te onthouden

U = spanning	volt	V
I = stroom	ampère	A
R = weerstand	ohm	Ω
W = energie	joule	J
P = vermogen	watt	W
η = rendement	–	–
n = toerental	omw/min	
T_{as} = as-koppel	Nm	

$$Q = It$$

$$U = IR$$

$$W = QU = Ut = I^2 Rt$$

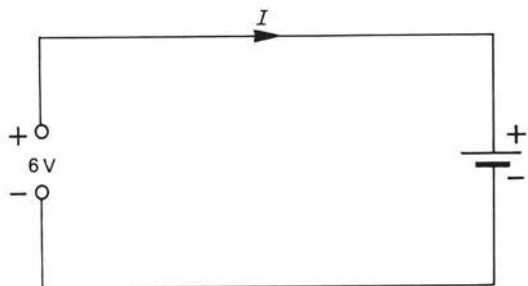
$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R}$$

$$\eta = \frac{W_a}{W_t} = \frac{P_a}{P_t} \quad T_{as} = 9,55 \frac{P_a}{n}$$

1.7 Vragen en opdrachten

- 1 In welke twee hoofdgroepen splitst men energie?
- 2 Welke voordelen heeft elektrische energie?
- 3 Wat verstaat men onder:
 - energie-overdracht;
 - energietransport;
 - energieverliezen?
- 4 Schrijf de eenheid op van: spanning, stroom, weerstand, lading, energie en vermogen.
- 5 Hoe luidt de wet van ohm?
- 6 Wat verstaan we onder:
 - de capaciteit van een accu;
 - het rendement van een motor?
- 7

Hoeveel	C = 40 Ah	Hoeveel	Nm = 0,02 MWh
	J = 16 kWh		Nm = 1 kWh
	J = 25 kWs		kWh = 9 MJ
	Ah = 72 000 C		MWh = 4320 MJ
- 8 Door een draad gaat een stroom van 10 A.
Hoeveel tijd is er nodig om 100 C door de doorsnede van de draad te verplaatsen?
- 9 Een accu wordt geladen. *Zie figuur 1.20.*
De stroom is gedurende 1 uur 4 A, daarna gedurende 1 uur 3 A, 1 uur 2 A en 1 uur 1 A.
De accu is nu vol geladen.
Hoeveel lading is aan de accu toegevoerd?
Hoe groot is de capaciteit van de accu?



Figuur 1.20

10 Een weerstand van 12 ohm wordt op een spanning van 6 V aangesloten. Hoe groot wordt de stroom door de weerstand? Hoe groot is het vermogen dat de weerstand moet kunnen opnemen?

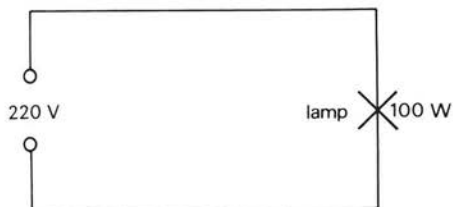
11 Hoe groot is de stroom door een weerstand van $10\ \Omega$, aangesloten op een zakbatterij van 4,5 V? Hoe groot is het vermogen dat de weerstand moet opnemen? Hoeveel energie geeft de batterij af in 5 minuten?

12 Een soldeerbout voor 220 V heeft een vermogen van 55 W. Bereken de weerstand van de soldeerbout.



Figuur 1.21 Soldeerbout 55 W

13 Hoe groot is de stroom door een gloeilamp van 100 W, 220 V? Bereken ook de weerstand van de lamp.



Figuur 1.22 Gloeilamp 100 W

14 Een elektrische straalkachel, geschikt voor 220 V, heeft een vermogen van 1,1 kW.

Hoeveel stroom neemt deze kachel op?

15 Een apparaat met een weerstand van 44Ω is aangesloten op een spanning van 220 V.

Hoeveel energie krijgt het apparaat in een uur toegevoerd?

Hoe groot is het vermogen dat het apparaat moet kunnen opnemen?

16 Een elektrische oven voor 220 V neemt een stroom van 20 A op. Bereken het vermogen van de oven en de energie die de oven in 4 uur gebruikt.

17 Een elektrische waterketel voor 220 V heeft een nuttig vermogen van 660 W en een rendement van 0,75.

Hoe groot is de stroom in de leidingen?

18 Van een generator is gegeven: $U = 220 \text{ V}$, $I = 120 \text{ A}$.

Hoe lang moet de generator in bedrijf zijn om bij de gegeven spanning en stroom 86400 MJ te leveren?

19 Op de motor van een kolomboormachine staat:

$U = 220 \text{ V}$, $P = 3,3 \text{ W}$, $\eta = 0,8$ en $n = 1500 \text{ omw/min}$.

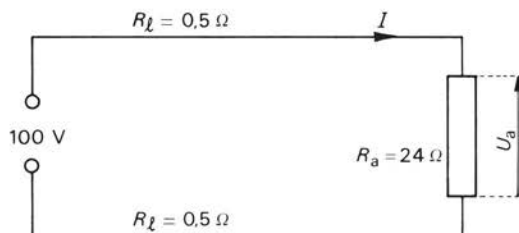
Bereken de stroom door de motor en het askoppel.

20 De schakelaar in *figuur 1.18* wordt 10 min gesloten.

Hoe groot is het energieverlies in de leidingen?

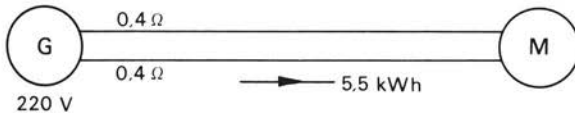
21 Hoe groot is in *figuur 1.23*:

- de stroom;
- de spanning op het apparaat;
- het spanningsverlies in de leidingen;
- het energieverlies in de leidingen per uur;
- het vermogen dat het apparaat moet opnemen?



Figuur 1.23

22 Een generator met een spanning van 220 V levert via een lange twee-aderige kabel per uur 5,5 kWh aan een motor. De beide aders van de kabel hebben elk een weerstand van $0,4 \Omega$.
Hoe groot is de spanning waarop de motor is aangesloten?
Hoe groot is het energierendement?



Figuur 1.24

23 Een motor heeft een rendement van 0,85. Het afgegeven vermogen is 4488 W.

De spanning is 220 V.

Bereken de stroom door de motor.

24 Een motor, met een rendement van 80%, drijft een hijswerktuig aan.

Het totale rendement is 0,48.

Hoe groot is het rendement van het hijswerktuig?

25 Van een motor is het toegevoerde vermogen 3 kW.

Het toerental is 955.

Het rendement is 0,8.

Bereken het askoppel.

26 Een motor voor 220 V heeft een askoppel van 13,5 Nm. Het toerental is 1500 en het rendement is 80%. Bereken de stroom door de motor.

27 Een verlengsnoer bestaat uit een haspel met daarop 50 m snoer, $A = 0,75 \text{ mm}^2$.

Hoe groot is het vermogensverlies in het snoer bij een stroom van 6 A en bij 10 A?

Conclusie: bij grotere stromen moet het snoer voor een betere koeling altijd van de haspel worden gerold.