

# **Elektrische omzettingen**



# **Elektrische omzettingen**

M.J. Hoeijmakers

Technische Universiteit Delft  
Faculteit Elektrotechniek, Wiskunde en Informatica  
Electrical Power Processing

Tekeningen:  
H. Paling

© VSSD

Eerste druk 1997

Tweede druk 1999

Derde druk 2003

Vierde druk 2007

Uitgegeven door de VSSD

Leeghwaterstraat 42, 2628 CA Delft, The Netherlands

tel. +31 15 27 82124, telefax +31 15 27 87585, e-mail: [hlf@vssd.nl](mailto:hlf@vssd.nl)

internet: <http://www.vssd.nl/hlf>

URL met informatie over dit boek en de antwoorden op de opgaven:

**<http://www.vssd.nl/hlf/e004.htm>**

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

*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, photo-copying, recording, or otherwise, without the prior written permission of the publisher.*

Printed in The Netherlands

NUR 959

Trefw.: elektrische omzettingen

ISBN-10 90-6562-157-1

ISBN-13 978-90-6562-157-3

# Voorwoord

## Voorwoord bij de derde druk

Dit is de derde druk van het boek *Elektrische Omzettingen*. Bij de tweede druk is hoofdstuk 8 (de inductiemachine) toegevoegd en is in verband hiermee hoofdstuk 7 ingrijpend gewijzigd. Bij de derde druk is weer een aantal (kleine) verbeteringen aangebracht. Daarnaast is het aantal opgaven (met uitwerkingen) aanzienlijk vergroot en zijn zij opgenomen in een apart deel. In dit aparte deel staan bovendien de leerdoelen zoals die door mij bij de studierichting Elektrotechniek aan de Technische Universiteit Delft en aan de Universiteit Twente gebruikt worden.

In dit boek wordt een basisbehandeling gegeven van de omzetting van een vorm van elektrische energie in een andere vorm van elektrische energie en van de omzetting van mechanische energie in elektrische energie en omgekeerd. De behandeling van de omzeters vindt daarbij plaats vanuit het gezichtspunt van de elektrische energietechniek; de meeste omzeters zijn echter ook van belang voor de informatietechniek.

Het boek heeft enerzijds als doel om een overzicht te geven van de elektrische omzettingen voor degenen die zich niet verder in de elektrische energietechniek willen specialiseren en anderzijds als doel om een fundamentele basis te leggen voor degenen die zich wel verder in de elektrische energietechniek willen verdiepen.

Dit studieboek is ontstaan uit het dictaat behorende bij het vak *Elektrische Omzettingen* uit het basiscurriculum van de studierichting Elektrotechniek aan de Technische Universiteit Delft. Het dictaat/boek is in de loop van enkele jaren steeds aangepast, waarbij de inbreng van studenten een belangrijke rol heeft gespeeld. Ik wil deze studenten hierbij bedanken voor hun bijdrage.

Verder heeft bij het tot stand komen van het dictaat een groot aantal medewerkers van de Faculteit der Elektrotechniek een bijdrage geleverd, aan wie ik eveneens dank verschuldigd ben. Hierbij zou ik in het bijzonder H. Paling willen bedanken voor het tekenwerk en ir. E. van Dijk, dr.ir. H. Polinder, ir. M. Rondel, prof.ir. J.A. Schot en ir. M.P.N. van Wesenbeeck voor de discussies over de tekst en voor hun bijdragen aan de opgaven met uitwerkingen.

Voor dit boek zijn bestaande studieboeken gebruikt als inspiratiebron. Deze boeken zijn opgenomen in de literatuurlijst.

Dit boek bestaat uit een aantal onderdelen die niet bestudeerd behoeven te worden in de volgorde waarin ze hier staan. Elk van de hoofdstukken 1, 2, 3 en 6 kan bestudeerd worden zonder de kennis van een ander hoofdstuk. Voor hoofdstuk 4 is echter de kennis van hoofdstuk 3 nodig en hoofdstuk 5 heeft de paragrafen 3.1 tot en met 3.7 als voorkennis. Hoofdstuk 7 sluit aan op hoofdstuk 5 en hoofdstuk 8 op hoofdstuk 7.

Hoewel bij het schrijven van dit boek de nodige zorgvuldigheid betracht is, zal het zeker niet vrij

zijn van fouten. Ik zou graag attent gemaakt worden op deze fouten en sta open voor suggesties om het boek te verbeteren.

Martin Hoeijmakers  
Delft, oktober 2003

## **Voorwoord bij de vierde druk**

Bij de vierde druk is in hoofdstuk 2 een paragraaf over wisselstroomtheorie (paragraaf 2.5) toegevoegd en is hoofdstuk 8 (de inductiemachine) ingrijpend gewijzigd. Verder is weer een aantal (kleine) verbeteringen aangebracht.

De oefenopgaven staan niet meer in een apart deel: zij zijn opgenomen in het boek aan het einde van het hoofdstuk. De uitwerkingen van de opgaven staan op de internetsite:

<http://www.vssd.nl/hlf/e004.htm>.

Martin Hoeijmakers  
Delft, augustus 2007

# Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Elektrische energie-overdracht</b>	<b>7</b>
2.1	Inleiding . . . . .	7
2.2	Enkele elektrische grootheden . . . . .	8
2.3	Gelijkstroomoverdracht . . . . .	10
2.4	Wisselstroomgrootheden . . . . .	13
2.5	Wisselstroomtheorie . . . . .	15
2.6	Wisselstroomoverdracht . . . . .	24
2.7	Driefasige systemen . . . . .	27
2.8	Het elektriciteitsvoorzieningssysteem . . . . .	30
2.9	Vraagstukken . . . . .	34
<b>3</b>	<b>Magnetische circuits</b>	<b>39</b>
3.1	Inleiding . . . . .	39
3.2	De wetten van Maxwell . . . . .	40
3.3	Een eenvoudig magnetisch circuit . . . . .	42
3.4	De netwerkbeschrijving van magnetische circuits . . . . .	43
3.5	Niet-lineaire magnetische circuits . . . . .	48
3.6	De opgewekte spanning . . . . .	49
3.7	De magnetische veldenergie . . . . .	52
3.8	De hystereselus . . . . .	54
3.9	Wervelstroomverliezen . . . . .	57
3.10	Vraagstukken . . . . .	60
<b>4</b>	<b>De transformator</b>	<b>67</b>
4.1	Inleiding . . . . .	67
4.2	De verliesvrije, spreidingsloze transformator . . . . .	68
4.3	De spreidingsfluxen . . . . .	72
4.4	Vervangingsschema's . . . . .	74
4.5	Het magnetische circuit . . . . .	80
4.6	De belaste transformator . . . . .	84
4.7	De beproeving van de transformator . . . . .	85
4.8	De spaartransformator . . . . .	88
4.9	Driefasentransformatoren . . . . .	88
4.9.1	De uitvoering . . . . .	88
4.9.2	Transformatorschakelingen . . . . .	91

4.9.3	Hogere harmonischen . . . . .	92
4.10	Vraagstukken . . . . .	93
<b>5</b>	<b>Inleiding elektromechanica</b>	<b>99</b>
5.1	Inleiding . . . . .	99
5.2	Elektromechanische interactie . . . . .	101
5.3	"Fysisch" begrip van de krachtopwekking . . . . .	103
5.4	Het mechanische systeem . . . . .	104
5.5	Magnetische circuits met een beweegbaar deel . . . . .	108
5.6	Berekening van de kracht uit de vermogensbalans . . . . .	109
5.7	Koppelberekening bij een elektromechanische omzetter met twee elektrische poorten	113
5.8	Vraagstukken . . . . .	118
<b>6</b>	<b>Vermogenselektronica</b>	<b>125</b>
6.1	Inleiding . . . . .	125
6.2	De gelijkrichter met één diode . . . . .	127
6.3	Gelijkrichters met twee of vier dioden . . . . .	134
6.4	De thyristorgelijkrichter . . . . .	143
6.5	De chopper . . . . .	149
6.6	Invertoren . . . . .	155
6.7	Vraagstukken . . . . .	160
<b>7</b>	<b>De synchrone machine</b>	<b>171</b>
7.1	Inleiding . . . . .	171
7.2	Een eenvoudige generator . . . . .	173
7.3	De eenfasige synchrone generator . . . . .	179
7.4	Het koppel bij een eenfasige synchrone generator . . . . .	189
7.5	De driefasige synchrone machine . . . . .	190
7.6	De synchrone machine in het elektriciteitsnet . . . . .	197
7.7	Uitvoeringsvormen . . . . .	200
7.8	Vraagstukken . . . . .	202
<b>8</b>	<b>De inductiemachine</b>	<b>215</b>
8.1	Inleiding . . . . .	215
8.2	Het basisprincipe van de inductiemachine . . . . .	216
8.3	De rotorstromen en het luchtspleetveld . . . . .	222
8.4	Het model . . . . .	225
8.5	Vervangingschema's . . . . .	231
8.6	Voeding uit spanningsbron bij verwaarlozing statorweerstand . . . . .	233
8.6.1	Het fasordiagram en het cirkeldiagram . . . . .	234
8.6.2	De koppelhoeksnelheidskarakteristiek . . . . .	238
8.7	De inductiemachine bij variabele voedingsfrequentie . . . . .	240
8.8	Vraagstukken . . . . .	240

## Bijlagen

<b>A</b>	<b>Fourierreeksen</b>	<b>243</b>
----------	-----------------------	------------



<b>Literatuur</b>	<b>247</b>
<b>Symbolen</b>	<b>249</b>
<b>Index</b>	<b>253</b>

# 1 Inleiding

In dit boek zullen we ons beperken tot een basisbehandeling van de omzetting van een vorm van elektrische energie in een andere vorm van elektrische energie en van de omzetting van mechanische in elektrische energie en omgekeerd. Bij het eerste kunnen we bijvoorbeeld denken aan de omzetting van elektrische energie bij een wisselspanning van 10 kV naar elektrische energie bij een wisselspanning van 230 V met behulp van een transformator; bij het tweede kunnen we bijvoorbeeld denken aan de omzetting van kracht in elektriciteit met behulp van een generator. Het gaat dus steeds om energie-omzettingen.

Voordat we overgaan naar de behandeling van elektrische omzetters, besteden we in deze inleiding eerst enige aandacht aan de historische ontwikkeling van het gebruik van energie in onze maatschappij, waarbij we natuurlijk in het bijzonder kijken naar het toepassen van elektrische energie. Verder kijken we hier nog naar het gebruik van elektrische omzettingen in de informatietechniek.

## Energie in onze maatschappij

Zolang de mens op aarde bestaat heeft hij gebruik gemaakt van energie. In het begin was deze energie direct afkomstig uit de natuur: de zon leverde warmte en licht (zonne-energie). Al in een zeer vroeg stadium heeft de mens echter geleerd om vuur te maken, zodat hij zelf warmte en licht kon beheersen. Hij zette daarbij de chemische energie die in het hout was opgeslagen om in de energievormen warmte en licht. Deze chemische energie was op zijn beurt weer afkomstig van de zon.

In een later stadium heeft hij ontdekt hoe hij gebruik kon maken van de wind om zich op een gemakkelijke wijze over het water te verplaatsen. Daartoe gebruikte hij een zeil voor de omzetting van de in de beweging van de lucht aanwezige energie (windenergie) in de energie benodigd om een schip te verplaatsen.

Een volgende fase was het gebruik van de potentiële energie van het water in een hoger gelegen gebied. Via een waterrad werd deze potentiële energie omgezet in mechanische energie, die vervolgens werd gebruikt om graan te vermalen tot meel. Op plaatsen waar geen waterkracht beschikbaar was, werd voor het malen windenergie gebruikt met daarbij een windmolen als energie-omzetter.

Zowel de water- als de windmolen werden echter ook ingezet voor andere (industriële) processen, waarbij we het zagen van hout als een voorbeeld kunnen noemen.

Met de ontwikkeling van de stoommachine in de tweede helft van de 18e eeuw, en het daaraan verbonden begin van de industriële revolutie, is de mens steeds meer gebruik gaan maken van fossiele brandstoffen (kolen, later ook olie en aardgas). De in de brandstof opgeslagen chemische energie wordt hierbij via warmte omgezet in mechanische energie voor de aandrijving van machines in fabrieken.

Het gebruik van elektrische energie is pas in de tweede helft van de 19e eeuw ontstaan door de ontwikkeling van de gloeilamp: elektrische verlichting is veel gemakkelijker in het gebruik dan olie- of gaslampen. In verband met de beperkte levensduur van batterijen werden voor de opwekking van de elektriciteit generatoren ontwikkeld, die weer werden aangedreven door een stoommachine, verbrandingsmotor of waterturbine.

De omzetting van mechanische in elektrische energie bij een generator kan echter ook omgekeerd worden: de generator wordt een motor, waarmee elektrische energie omgezet wordt in mechanische energie. Het voordeel van het gebruik van elektromotoren in fabrieken werd snel ingezien: de distributie van elektrische energie in een fabriek met behulp van elektrische leidingen is veel eenvoudiger dan de distributie van mechanische energie (vaak door één stoommachine of verbrandingsmotor opgewekt), via leren banden, snaren en tandwielen. Op deze wijze ontstond een klein elektriciteitsnetje, gevoed door één generator, waaruit zowel lampen als motoren hun energie konden betrekken.

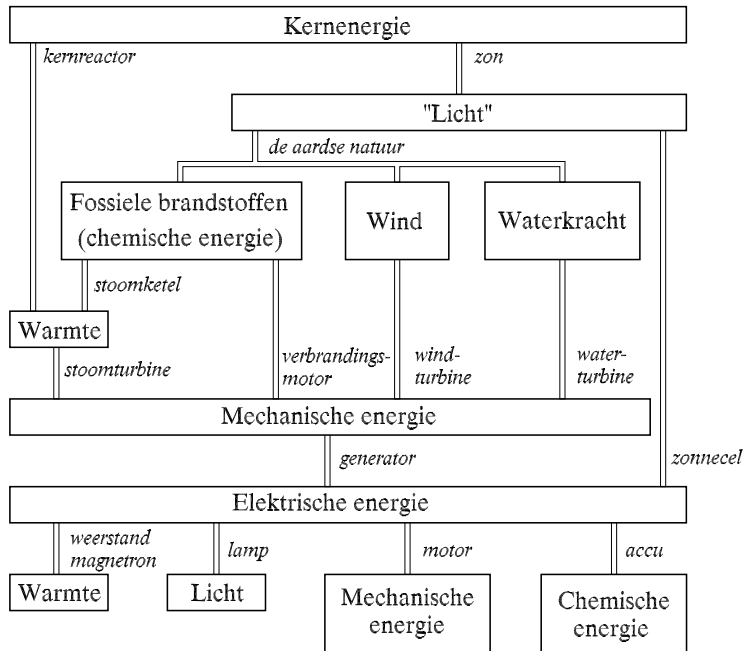
Een ander voordeel van elektrische energie is dat we elektrische energie eenvoudig kunnen beheersen, met bijvoorbeeld schakelaars: een olielamp moet je aansteken. Een belangrijk nadeel van elektrische energie is echter dat de opslag ervan zeer moeilijk is. De energiedichtheid van een accu is bijvoorbeeld veel kleiner dan de energiedichtheid van een tank benzine. Het gevolg is dan ook dat, bijvoorbeeld, vrijwel alle auto's op fossiele brandstoffen rijden en niet op elektriciteit.

Omdat we elektrische energie over het algemeen met een zeer goed rendement om kunnen zetten in andere energievormen, is elektriciteit een universeel toepasbare energievorm. Van de andere kant, kunnen we elektrische energie ook opwekken (omzetten) vanuit verschillende andere energievormen. Het een en ander is uitgebeeld in figuur 1.1. Bij deze figuur moeten we opmerken dat hij verre van volledig is; hij geeft echter wel een beeld van een aantal praktisch bruikbare omzettingen.

*Noem drie voordelen en een nadeel van energie in de vorm van elektriciteit.*

In het algemeen lopen de energiestromen in figuur 1.1 van boven naar beneden, alleen bij de accu is duidelijk sprake van een bedoeld omkeerbaar proces. Een aantal andere processen zijn in principe echter ook omkeerbaar: een motor kan bijvoorbeeld vaak ook als generator gebruikt worden, en een windturbine zouden we ook kunnen gebruiken als een ventilator.

Tot op heden werd elektriciteit voornamelijk opgewekt vanuit fossiele brandstoffen. De voorraad hiervan is echter eindig en er kleven veel milieubezwaren aan (vergroting van de hoeveelheid CO<sub>2</sub> in de atmosfeer en



*Figuur 1.1 De centrale plaats van elektriciteit tussen andere energievormen*

luchtverontreiniging). Er wordt de laatste decennia dan ook steeds meer kernenergie (kernsplijting) gebruikt, waarbij we echter problemen kunnen verwachten met de opslag van het afval en de veiligheid (veilige systemen zijn vaak ook duur). Bovendien is ook de voorraad uranium niet onbeperkt. Kernfusie lijkt een oplossing te gaan bieden op de lange termijn; het is nu echter pas in een (vroeg) onderzoeksstadium.

Waterkracht, windenergie en zonne-energie, in principe schone energiebronnen, worden wel duurzame energiebronnen genoemd. De eerste van deze drie wordt al een eeuw gebruikt voor de opwekking van elektrische energie, maar kan slechts een beperkte bijdrage leveren aan de elektriciteitsvoorziening. Dit laatste geldt ook voor windenergie. Windenergie heeft bovendien als nadeel dat hij niet altijd beschikbaar is: in geval van een grote bijdrage van energie uit de wind moeten we gaan denken over energie-opslag. Ook bij het gebruik van zonne-energie zullen we hieraan moeten denken. Zonne-energie heeft echter als zeer groot voordeel dat we hiermee in principe ruimschoots in onze totale energiebehoefte kunnen voorzien.

Als we de duurzame energiebronnen (financieel-)economisch bekijken, kunnen we opmerken dat waterkracht op veel lokaties zeer aantrekkelijk is, dat windenergie in de windrijke gebieden nog net niet economisch haalbaar is (wel als de olieprijs weer even hoog zouden zijn als ten tijde van de tweede energiecrisis in 1980) en dat zonne-energie voorlopig nog veel te duur is (behalve op moeilijk bereikbare plaatsen, zoals op boeien op

zee en in de bergen en andere dunbevolkte gebieden). We kunnen hieruit concluderen dat er op het gebied van de energietechniek nog een aantal grote problemen opgelost moeten worden.

Zoals we gezien hebben, werd bij de invoering van elektriciteit, de elektrische energie lokaal met één generator opgewekt. Later is men deze afzonderlijke systemen steeds meer met elkaar gaan verbinden: op dit moment zijn zeer grote delen van de wereld elektrisch gezien met elkaar verbonden. Daarvoor zijn een aantal redenen aan te geven. De belangrijkste is de verhoging van de betrouwbaarheid: als die ene generator zou uitvallen, zou het lokale net spanningsloos worden. Door een elektriciteitsnet via meer generatoren te voeden, waarbij niet alle generatoren volledig belast worden, kan men ervoor zorgen dat het uitvallen van één generator geen ernstige gevolgen heeft. Dit voordeel kunnen we economischer bereiken als het aantal voedende generatoren groter is.

*Verklaar dit.*

Een ander voordeel van een groot elektriciteitsvoorzieningssysteem is dat men in plaats van een groot aantal kleine opwekeenheden, een relatief klein aantal grote opwekeenheden kan gebruiken. Grotere opwekkingseenheden kunnen namelijk met een hoger (energetisch en economisch) rendement werken dan kleinere. Daar staat echter tegenover dat het transport van elektriciteit ook verliezen veroorzaakt. We zien in Nederland dan ook niet één grote elektriciteitscentrale, maar over het gehele land verspreid staande centrales, waarbij binnen elke centrale één of meer opwekeenheden staan. De grootste opwekeenheden hebben in Nederland een vermogen van 600 MW.

Daarnaast zien we echter ook een toenemend aantal zogenaamde warmte/kracht-eenheden. Hierbij wordt de bij de opwekking van elektriciteit vrijkomende warmte nuttig gebruikt. Omdat het transport van warmte relatief duur is (in vergelijking met het transport van elektrische energie), worden deze eenheden juist veelal decentraal geplaatst: bij de plaats waar de warmte nodig is. Ze zijn natuurlijk wel verbonden met het landelijke/-Europese elektriciteitsnet.

## **Elektrische omzettingen in de informatietechniek**

In de tweede helft van de 19e eeuw begon naast de ontwikkeling van de elektrische energietechniek ook de ontwikkeling van de (elektrische) informatietechniek. Hoewel beide disciplines op dezelfde fundamente rusten, hadden ze zeker in het begin weinig met elkaar te maken: de telegrafische, telefonische en radiografische informatie-overdracht werden in de 19e eeuw nog gevoed uit batterijen. Pas in een later stadium is men de energie voor deze systemen, via elektrische omzeters, gaan betrekken uit het elektriciteitsnet.

Behalve voor hun energievoorziening hebben informatie-verwerkende systemen ook nog elektrische omzeters nodig bij hun randapparatuur: de in- en de uitvoer van informatie. Hierbij moeten we bovendien bedenken dat we informatie ook overdragen als kleine hoeveelheden energie. We zul-

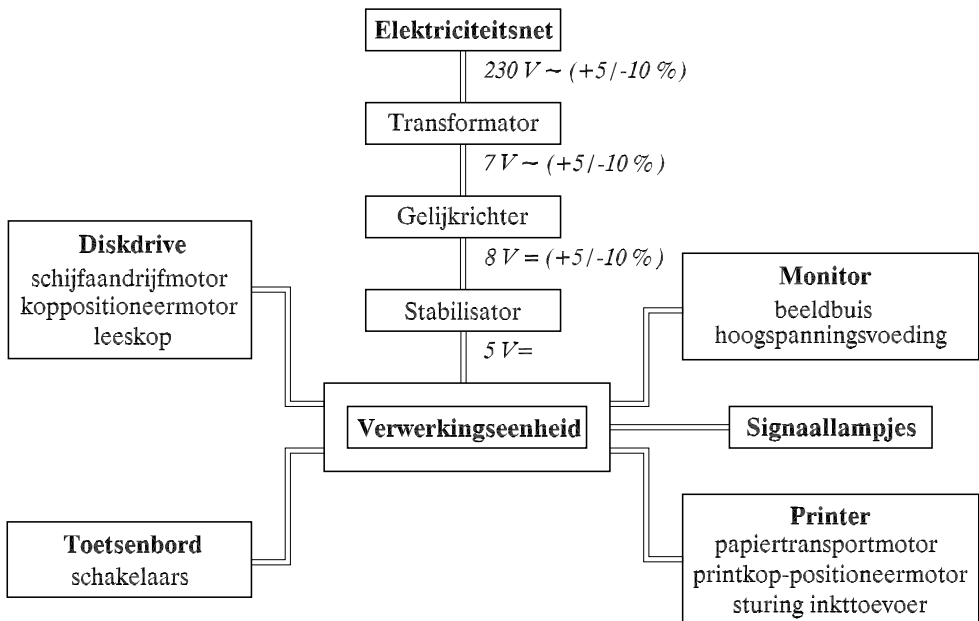
len het een en ander toelichten aan de hand van een personal computer, een betrekkelijk eenvoudig informatie-verwerkend systeem.

#### Voorbeeld

In figuur 1.2 zien we een schematische weergave van een personal-computer-systeem, bestaande uit een verwerkingseenheid, een toetsenbord, een disk-drive, een beeldscherm en een printer. Hoewel alle onderdelen energie nodig hebben om te kunnen werken, is alleen de energievoorziening van de verwerkingseenheid als voorbeeld iets verder uitgewerkt. Voor de voeding van de elektronica daarin is energie in de vorm van een constante gelijkspanning van 5 V nodig. Deze energie wordt aan het elektriciteitsnet onttrokken, waarvan de wisselspanning een nominale waarde heeft van 230 V, die maximaal +5 of -10 % in waarde mag variëren. Via een transformator wordt de energie omgezet in een vorm met een wisselspanning van ongeveer 7 V (amplitude 10 V; maximale variatie: +5/-10 %), waarna een gelijkrichter die energie omzet in een gelijkspanning van ongeveer 8 V (+5/-10 %). Een spanningsstabilisator (met een regelcircuit) zet deze "ruwe" gelijkspanning om in een constante gelijkspanning.

Voor de invoer van informatie aan de verwerkingseenheid kunnen we gebruik maken van een toetsenbord, waarin een eenvoudige omzetter (een schakelaar) de mechanische energie in onze vingers omzet in een verandering in elektrische vermogen.

We zouden echter ook gebruik kunnen maken van de informatie op een disk. Deze wordt in de "drive" rondgedraaid door een elektromotor, een omzetter van elektrische energie in mechanische energie. De lees-



Figuur 1.2 Elektrische omzettingen in een personal computer

kop, die eveneens door een elektromotor wordt gepositioneerd, zet de magnetisch opgeslagen informatie om in elektrische informatie.

De eenvoudigste vorm van uitvoer van een pc zijn de signaallampjes (bijvoorbeeld de indicatie dat "Num Lock" aan staat), waarin elektrische energie omgezet wordt in licht.

De omzetting van elektrische energie in licht vinden we ook in de beeldbuis van de monitor, waarop we de resultaten van de verwerkings-eenheid direct kunnen waarnemen. Voor de opwekking van de elektronenstraal in de beeldbuis is een hoge spanning nodig (10 à 25 kV), die via een aantal omzettingstappen verkregen wordt vanuit de netspanning.

We kunnen de resultaten echter ook via een printer aan het papier toevertrouwen. Bij dit randapparaat wordt het papier door een motortje voortbewogen. Daarnaast moet de printerkop steeds in de juiste positie gebracht worden, waarna de inkt op het papier aangebracht moet worden.

## Overzicht van dit boek

Zoals al eerder vermeld, zullen we ons hier beperken tot een basisbehandeling van de omzetting van een vorm van elektrische energie in een andere vorm van elektrische energie en van de omzetting van mechanische in elektrische energie en omgekeerd. We zullen de omzettingen daarbij behandelen vanuit het gezichtspunt van de energietechniek; de meeste zijn echter ook van belang voor de informatietechniek.

Zoals we al gezien hebben komt elektriciteit in een aantal vormen voor. We bespreken een aantal van deze vormen en hun geschiktheid voor elektrische energie-overdracht. Daarbij zullen we ook enige aandacht besteden aan het elektriciteitsvoorzieningssysteem.

Omdat bij veel omzettingen een magnetisch circuit een belangrijke rol speelt, besteden we vervolgens als voorbereiding op die omzettingen een hoofdstuk aan een aantal aspecten van magnetische circuits.

De eerste omzetting die aan bod komt, is de transformator: een wisselspanning/wisselspanningsomzetter, waarbij het magnetische circuit de hoofdrol speelt.

Het daarop volgende hoofdstuk geeft een inleiding op elektromechanische omzettingen: de omzettingen van elektrische in mechanische energie en omgekeerd. We zullen daarbij ingaan op het principe van elektromechanische omzettingen, waarbij vrijwel altijd een magnetisch circuit een belangrijke rol speelt.

Vervolgens gaan we in op een hele klasse van omzettingen, namelijk de vermogenselektronische. Met deze omzettingen, die gebaseerd zijn op het snel periodiek schakelen van energiestromen met halfgeleiders, kunnen we allerlei soorten omzettingen maken. We zullen er daarvan enkele bekijken.

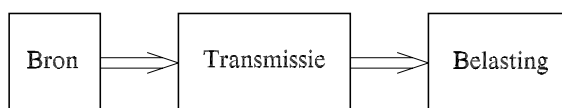
Het laatste deel van dit boek gaat over twee elektromechanische omzettingen. In hoofdstuk 7 is dat de synchrone generator, de belangrijkste generator voor de elektriciteitsvoorziening, en in hoofdstuk 8 is dat de inductiemachine. Dit is de in de industrie meest gebruikte elektromotor.

# 2 Elektrische energie-overdracht

## 2.1 Inleiding

In het vorige hoofdstuk, de inleiding, hebben we al kennis gemaakt met de energievorm elektriciteit. Zoals we al weten, kan elektriciteit in verschillende vormen voorkomen, die zich op meer dan één kenmerk van elkaar kunnen onderscheiden. We kunnen bij deze kenmerken bijvoorbeeld denken aan gelijk- en wisselstroom, aan verschillende frequenties bij wisselstroom, aan één- of meerfasige systemen, aan verschillende spanningsniveaus, en aan verschillende stroomvormen (bijvoorbeeld blok- en sinusvorm) bij wisselstromen. Met elektrische omzeters kan de elektrische energie van de ene vorm omgezet worden in een andere vorm.

In dit hoofdstuk zullen we kijken naar een aantal onderscheidingskenmerken en naar de wijze waarop zij invloed hebben op de geschiktheid van een aantal vormen van elektriciteit voor de overdracht van energie. Bovendien besteden we terloops nog enige aandacht aan een aantal aspecten van een elektriciteitsvoorzieningssysteem. We gaan daarbij uit van het systeem zoals dat schematisch weergegeven is in figuur 2.1. Daarin kunnen we een bron van elektrische energie, een overdrachtssysteem en de te voeden belasting onderscheiden.



*Figuur 2.1 Een transmissiesysteem*

We beginnen in dit hoofdstuk met enkele algemene afspraken over elektrische grootheden. Vervolgens onderwerpen we de eerst gebruikte vorm van elektriciteit, de gelijkstroom, aan een nadere beschouwing. Daarbij kijken we naar spanningsniveaus en de wijze waarop meer belastingen op één bron kunnen worden aangesloten (in serie of parallel geschakeld).

Daarna gaan we verder met wisselstroom, waarbij we ook naar de vorm van de wisselstroom en de keuze van de frequentie kijken. In de volgende paragraaf vatten we een aantal belangrijke zaken uit de wisselstroomtheorie samen, waarbij we bijzondere aandacht besteden aan de notatie van de verschillende grootheden. Deze theorie gebruiken we bij de behandeling