



Zakboek
Elektrotechniek
Formules, tabellen en berekeningen



Zakboek

Elektrotechniek

Formules, tabellen en berekeningen

**Colofon**

Zakboek Elektrotechniek – Formules, tabellen en berekeningen is een uitgave van BIM Media B.V.

Meer informatie over deze en andere uitgaven kunt u verkrijgen bij:

BIM Media
Postbus 16262
2500 BG Den Haag
Telefoon (070) 304 67 77
www.bimmedia.nl/service

Kennisbanken E-installatie:
www.kennisbanken.nl
nen1010.cobouw.nl

Omslagontwerp: Anita Amptmeijer, www.agraphics.nl, Apeldoorn
Opmaak: AlphaZet prepress, Waddinxveen

Uitgever: Johan Schot
Redactie: Nienke Abma en Nanda van Dijk

© 2016 BIM Media B.V., Den Haag
Derde herziene druk; 1^e druk 2010

ISBN 978 94 624 5199 5
NUR 959

Alle rechten voorbehouden. Alle auteursrechten en databankrechten ten aanzien van deze uitgave worden uitdrukkelijk voorbehouden. Deze rechten berusten bij BIM Media B.V.
Behoudens de in of krachtens de Auteurswet 1912 gestelde uitzonderingen, mag niets uit deze uitgave worden vervaelvoudigd, 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 vervaelvoudingen uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikel 16 h Auteurswet 1912, dient men de daarvoor wettelijk verschuldigde vergoedingen te voldoen aan de Stichting Reprorecht (postbus 3060, 2130 KB Hoofddorp, www.reprorecht.nl). Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet 1912) dient men zich te wenden tot de Stichting PRO (Stichting Publicatie- en Reproductierechten Organisatie, postbus 3060, 2130 KB Hoofddorp, www.cedar.nl/pro). Voor het overnemen van een gedeelte van deze uitgave ten behoeve van commerciële doeleinden dient men zich te wenden tot de uitgever.
Hoewel aan de totstandkoming van deze uitgave de uiterste zorg is besteed, kan voor de afwezigheid van eventuele (druk)fouten en onvolledigheden niet worden ingestaan en aanvaarden de auteur(s), redacteur(en) en uitgever deswege geen aansprakelijkheid voor de gevolgen van eventueel voorkomende fouten en onvolledigheden.

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 the publisher's prior consent. While every effort has been made to ensure the reliability of the information presented in this publication, BIM Media B.V. neither guarantees the accuracy of the data contained herein nor accepts responsibility for errors or omissions or their consequences.



Woord vooraf

Deze editie van het *Zakboek Elektrotechniek* is herzien en uitgebreid ten opzichte van de vorige versie. Dit boekje biedt iedereen die werkzaam is in de elektrotechniek een overzicht van de belangrijkste formules, tabellen en berekeningen.

Eenheden, symbolen en basisbegrippen worden behandeld en verschillende schakelingen komen aan bod. Ook berekeningen en formules (zowel gelijk- als wisselspanning) aan weerstanden, condensatoren, zelfinducties en magnetische velden zijn in deze uitgave opgenomen. Net als diverse filterkringen en de formules voor het berekenen van gemiddelde waarden aan allerlei spanningsvormen.

De aspecten waar men tijdens het ontwerp van een installatie mee te maken krijgt, zoals beschermingsmaatregelen, stroomstelsels, leidingberekeningen en spanningsverliezen worden uitvoerig behandeld en zijn in overeenstemming gebracht met de NEN 1010:2015.

Voor de installatietechnicus zijn er tabellen en grafieken opgenomen met maximale belasting van kabels, het gebruik van installatieautomaten en aardlekschakelaars en berekeningen voor bliksembeveiligingsinstallaties. Daarnaast is aandacht besteed aan berekeningen in het kader van hogere harmonischen en zonne-energie.

In deze editie is een relatie gelegd met Kennisbanken E-installatie, waardoor eenvoudig een uitgebreide toelichting op het betreffende onderwerp kan worden geraadpleegd. Hiervoor wordt op diverse plaatsen in het boekje naar de kennisbanken verwezen.

Wij gaan ervan uit dat met de nieuwe editie van dit zakboek weer een actueel naslagwerk aanwezig is, dat regelmatig zal worden geraadpleegd.

Prof. dr. ir. J.F.G. Cobben
Ing. N.J. Kluwen



Inhoud

1	Grootheden, symbolen en eenheden	13
1.1	Ruimtegrootheden	13
1.2	Tijd en tijdafhankelijke grootheden	13
1.3	Mechanische grootheden	14
1.4	Warmtegrootheden	14
1.5	Elektrische grootheden	15
1.6	Magnetische grootheden	16
1.7	Lichtgrootheden	17
1.8	Waarden van enige constanten	18
2	Wiskundige en andere tekens	19
2.1	Wiskundige tekens	19
2.2	Voorvoegsels bij eenheden	22
2.3	Grieks alfabet	23
2.4	Wiskundige berekeningen	23
2.5	Talstelsels	26
2.5.1	Binair talstelsel	26
2.5.2	Octaal talstelsel	26
2.5.3	Hexadecimaal talstelsel	27
2.6	Machten van tien bij lengte-, oppervlakte- en inhoudsmaten	28
3	Meetkundige berekeningen	29
4	Goniometrie	32
5	Mechanica	34
5.1	Ontbinden van krachten	34
5.2	Momentenwet	35
5.3	Overbrengingsverhouding van aandrijvingen	35
5.4	Massa, dichtheid en inhoud	36
5.5	Draadlengte van spoel	36
5.6	Kinematica	37
5.7	Dynamica	38
5.8	Aandraaimomenten	39
5.9	Maten steeksleutels	40


INHOUD

5.10	Boordiameters	41
6	Begrippen van elektrotechniek	42
7	Schakelingen met weerstanden	45
7.1	Parallelschakeling	45
7.2	Serieschakeling	46
7.3	Vervangingsschema van stroombron	47
7.4	Spanningsdeler	47
7.5	Brug van Wheatstone	49
8	Temperatuursinvloed bij weerstand	51
9	Elektrisch veld (condensator)	52
10	Magnetisch veld (spoel)	53
10.1	Magnetische grootheden	53
10.2	Krachten van magnetisch veld	55
10.3	Magnetiseringskromme	56
11	Wisselstroomtechniek	57
11.1	Wisselstroomgrootheden	57
11.2	Schakelingen met condensatoren en spoelen	59
11.3	Wisselstroomschakelingen	60
11.3.1	Serieschakelingen met R , X_L en X_C	60
11.3.2	Parallelschakelingen met R , X_L en X_C	62
11.3.3	Blindvermogenscompensatie (parallel)	64
11.3.4	Verbruiker bij driefasenspanning (draaistroom)	65
11.4	Vierpool bij sinusvormige wisselspanning	66
11.4.1	Capacitieve spanningsdeler	66
11.4.2	Frequentiegecompenseerde ohmse/capacitieve spanningsdeler	67
11.4.3	Hoogdoorlaat- en laagdoorlaatfilter	67
11.4.4	RC-lid als faseverschuiver	68
11.4.5	Laagdoorlaatfilters	69
11.4.6	Resonantiefrequentie van serie- en parallelkringen	70
11.4.7	Ster/driehoek-transformatie	71

12	Motoren	72
12.1	Motorvermogen, askoppel en motorstroom	72
12.2	Gelijkstroommotoren	76
12.3	Wisselstroommotoren	77
12.4	Draaistroommotoren	79
12.5	Aderkleuren bij de aansluiting van draaistroommotoren met een ster-driehoekschakelaar	80
12.6	Aanloopstromen van draaistroommotoren met een ster-driehoekschakelaar	81
12.7	Schema's draaistroommotoren	83
12.8	Omschrijving van enkele technische begrippen voor de aansluiting en beveiliging van draaistroommotoren	89
13	Transformatoren	91
13.1	Symbolen en hun betekenis	91
13.2	Transformator	92
13.3	Olietransformatoren	93
13.4	Gietharstransformatoren	95
13.5	Temperatuurklasse en belastbaarheid	96
13.6	Het schakelbeeld	98
13.7	Parallelbedrijf	100
14	Verlichtingstechniek	101
14.1	Lichttechnische begrippen	101
14.2	Lichttechnische berekeningen	102
14.3	Aanbevolen verlichtingssterkten volgens NEN-EN 12464-1	104
15	Gelijkstroom met condensator	105
15.1	Laden/ontladen van capaciteit met constante stroom I_0	105
15.2	Laden van condensator bij constante spanning U_0	105
15.3	Ontladen van condensator	106
15.4	Zelfinductie bij gelijkstroom	107
15.5	Genormeerde exponentfunctie	108
16	Effectieve en gemiddelde waarden	109
16.1	Wissel- en samengestelde spanningen	109
16.2	Effectieve waarde volgens faseaansnijding	111



INHOUD

17	Hogere harmonischen	113
17.1	Algemeen	113
17.2	Harmonische spanningen	115
17.3	Harmonische stromen	115
17.4	Leidingen	116
17.5	Transformatoren	116
17.6	Serie-resonantie	117
17.7	Parallel-resonantie	118
17.8	Blindvermogen	119
18	Installatietechniek	121
18.1	Beschermingsgraden verkregen door omhulsels	121
18.2	Veiligheidsmaatregelen	128
18.2.1	TN-S-stelsel	128
18.2.2	Impedantie van foutstroomketen in TN-stelsels	129
18.2.3	TT-stelsel	130
18.2.4	Impedantie van foutstroomketen in TT-stelsels	132
18.2.5	Klassenindeling van toestellen	133
18.3	Potentiaalvereffening	134
18.4	Toelaatbare stroombelasting	135
18.4.1	Algemeen	135
18.4.2	Keuze van beveiliging en bepalen van I_z	136
18.4.3	Installatiemethode	137
18.4.4	Leidingsystemen	149
18.4.5	Basisinstallatiemethode	151
18.4.6	Maximale belasting van leidingen	156
18.4.7	Correctiefactoren	180
18.4.8	Maximale belasting buigzame leidingen	197
18.4.9	Correctiefactoren buigzame leidingen	201
18.4.10	Maximale lengte leidingen	202
18.4.11	Keuze van leidingen	210
18.4.12	Spannings- en vermogensverlies	215
18.4.12.1	Algemeen	215
18.4.12.2	Gelijkspanningsnetten	216
18.4.12.3	Tweegeleider wisselspanningsnet	216
18.4.12.4	Driefasennetten	217
18.4.12.5	Diagram voor doorsnede van leidingen	218

18.5	Kerndoorsnede beschermingsleiding	220
18.6	Kerndoorsnede van nul	227
18.7	Minimale kerndoorsnede van leidingen	228
18.8	Aanduiding van rails	229
18.9	Codering van leidingen	230
18.10	Aansluitpunten	232
19	Zonne-energie en PV-systemen	237
19.1	Zonne-instraling	237
19.2	Berekening energie opbrengst	238
20	Bliksembeveiliging	242
21	Warmtetechniek	244
21.1	Hoeveelheid warmte, temperatuurverhoging	244
21.2	Warmteverlies in kamers	245
21.3	Warmteweerstand, vermogensverlies, koellichamen	247
22	Berekenen van kortsluitstromen	250
22.1	Kortsluitketen	250
22.2	Kortsluitstromen	253
23	Compensatie van blindvermogen	255
23.1	Aansluitvoorwaarden	255
23.2	Vermindering van energieverlies	255
23.3	Beperking van transportcapaciteit	257
23.4	Berekening van condensatorbatterij	258
24	Tabellen	261
24.1	Constanten van enkele stoffen	261
24.2	Internationaal genormeerde reeks	262
24.3	Internationale kleurcodering van weerstanden en condensatoren (tot E 24)	262
24.4	Aanduidingen bij condensatoren	263
24.5	Aanduiding voor halfgeleiders	264

1 Grootheden, symbolen en eenheden

1.1 Ruimtegrootheden

<i>Grootheid</i>	<i>Symbool</i>	<i>Eenheid</i>	<i>Verklaring</i>
Lengte, middellijn, weg	$\ell; d; s$	m	meter
Oppervlakte	$A; S$	m ²	vierkante meter
Volume, inhoud	V	m ³	kubieke meter
Hoek	$\alpha; \beta; \dots$	rad; °	radiaal; graden

1.2 Tijd en tijdafhankelijke grootheden

<i>Grootheid</i>	<i>Symbool</i>	<i>Eenheid</i>	<i>Verklaring</i>
Tijd, tijdsduur	t	s	seconde
Periode	T	s	
Tijdconstante	τ	s	
Frequentie	f	1 Hz = 1/s	hertz (trilling per seconde)
Cirkelfrequentie, hoekfrequentie	ω	1/s	
Rotatiefrequentie	η	1/s	toeren per seconde
Faseverschil	φ	rad; °	radiaal; graden
Snelheid	v	m/s	meter per seconde
Versnelling	a	m/s ²	meter per seconde ²

1.3 Mechanische grootheden

Grootheid	Symbol	Eenheid	Verklaring
Massa	m	kg	kilogram
Kracht; gewicht	$F; G$	N	newton
Dichtheid	ρ	kg/m ³ kg/dm ³	1 kg/m ³ = 10 ⁻³ kg/dm ³
Arbeid; energie	$W; E$	J	joule; 1 J = 1 N · m = 1 W · s
Vermogen	P	W	watt; 1 W = 1 J/s = 1 N · m/s
Traagheidsmoment	J	kg · m ²	
Moment; koppel	$M; T$	N · m	
Druk	p	Pa	pascal; 1 Pa = 1 N/m ² = 10 ⁻⁵ bar

1.4 Warmtegrootheden

Grootheid	Symbol	Eenheid	Verklaring
Hoeveelheid warmte	Q	J	joule; 1 J = 1 N · m = 1 W · s
Soortelijke warmte	c	$\frac{J}{kg \cdot K}$	
Warmtegeleidings- coëfficiënt	λ	$\frac{J}{m \cdot s \cdot K}$	
Temperatuur	ϑ T	°C K	graad celcius kelvin
Temperatuurverschil	$\Delta\vartheta$	K	kelvin
Lineaire uitzettings- coëfficiënt	α	1/K	$\frac{1}{K} = 1 \frac{m}{m \cdot K}$

Grootheid	Symbol	Eenheid	Verklaring
Temperatuurcoëfficiënt	α	1/K	$\frac{1}{K} = 1 \frac{\Omega}{\Omega \cdot K}$

1.5 Elektrische grootheden

Grootheid	Symbol	Eenheid	Verklaring
Lading	Q	C	coulomb; $1 \text{ C} = 1 \text{ A} \cdot \text{s}$
Spanning Potentiaalverschil Momentele waarde	$U; V$ u	V	volt
Elektromotorische kracht	V_{bron}	V	volt
Stroomsterkte Momentele stroom	I i	A	ampère
Vermogen: Actief vermogen Blindvermogen	P P_q	W var	watt voltampère relatief
Schijnbaar vermogen	P_s	VA	voltampère
Weerstand: Ohmse weerstand Inductieve weerstand Capacitieve weerstand Schijnbare weerstand (impedantie)	R X_L X_C Z	Ω Ω Ω Ω	ohm; $1 \Omega = 1 \text{ V/A}$
Geleiding: Actieve geleiding Inductieve geleiding Capacitieve geleiding Schijnbare geleiding	G B_L B_C Y	S S S S	siemens; $1 \text{ S} = 1/\Omega$

GROOTHEDEN, SYMBOLEN EN EENHEDEN

Grootheid	Symbool	Eenheid	Verklaring
Soortelijke weerstand	ρ	$\Omega \cdot \text{m};$ $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$	$1 \Omega \cdot \text{m} =$ $10^6 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$
Soortelijke geleiding (conductiviteit)	γ	$\text{S/m};$ $\frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2}$	$1 \text{ S/m} =$ $10^{-6} \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2}$
Stroomdichtheid	J	A/m^2	$1 \text{ A/m}^2 =$ 10^{-6} A/mm^2
Zelfinductie	L	H	henry; $1 \text{ H} = 1 \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{A}}$
Capaciteit	C	F	farad; $1 \text{ F} = 1 \frac{\text{A} \cdot \text{s}}{\text{V}}$
Veldsterkte	E	$\text{V/m}; \text{V/mm}$	$1 \text{ V/m} = 10^{-3}$ V/mm

1.6 Magnetische grootheden

Grootheid	Symbool	Eenheid	Verklaring
Magnetische spanning	U	A	ampère
Magnetisatie	M	A/m	ampère per meter
(Magnetische) Inductie; Fluxdichtheid	B	T	tesla; 1 T $= 1 \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}$
Magnetische flux	Φ	Wb	weber; $1 \text{ Wb} =$ $1 \text{ V} \cdot \text{s}$
Reluctantie (magnetische weerstand)	R_m	1/H	$1 \frac{\text{A}}{\text{V} \cdot \text{s}} = 1/\text{H}$

<i>Grootheid</i>	<i>Symbol</i>	<i>Eenheid</i>	<i>Verklaring</i>
Permeantie (magnetische geleiding)	Λ	H	henry; $1 \text{ H} = 1 \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{A}}$
Permeabiliteit	μ	H/m	henry per meter
Relatieve permeabiliteit	μ_r	1 (lucht)	
Aantal windingen	N	1	normaal N; n voor wikkelverhouding

1.7 Lichtgrootheden

<i>Grootheid</i>	<i>Symbol</i>	<i>Eenheid</i>	<i>Verklaring</i>
Lichtsterkte	I	cd	candela
Lichtstroom	Φ	lm	lumen; $1 \text{ lm} = 1 \text{ cd} \cdot \text{sr}$
Verlichtingssterkte	E	$\text{lx} = \text{lm}/\text{m}^2$	lux
Luminantie	L	cd/m^2	
Specifieke lichtstroom	Φ_{sp}	lm/W	lumen per watt
Absorptiecoëfficiënt	a	1	
Reflectiecoëfficiënt	ρ	1	
Transmissiefactor	τ	1	
Ruimtehoek	ω	sr	sterradiaal

1.8 Waarden van enige constanten

<i>Symbol</i>	<i>Naam</i>	<i>Waarde</i>
e	getal e	2,71828
π	getal pi	3,14159
G	gravitatieconstante	$6,6726 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{kg}^{-2}$
g_n	standaardvalversnelling	$9,80665 \text{ ms}^{-2}$
p_0	standaarddruk	$1,01325 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ (= 1 atmosfeer)
V_m	molair volume (ideaal gas bij $T = 273,15 \text{ K}$ en $p = p_0$) (gasvormige stof bij $T = 298 \text{ K}$ en $p = p_0$)	$2,24141 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$ $2,45 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$
$0 \text{ }^\circ\text{C}$	smeltpunt van ijs ($p = p_0$)	273,15 K
k	constante van Boltzmann	$1,38066 \cdot 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$
c	lichtsnelheid	$2,99792458 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$
ϵ_0	elektrische constante (permittiviteit van vacuüm)	$8,85419 \cdot 10^{-12} \text{ Fm}^{-1}$
$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = f$		$8,98755 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2\text{C}^{-2}$
μ_0	magnetische permeabiliteit van vacuüm	$1,25664 \cdot 10^{-6} \text{ Hm}^{-1}$ (= $4\pi \cdot 10^{-7}$, per definitie)

2 Wiskundige en andere tekens

2.1 Wiskundige tekens

a) Volgordetekens

1	eerste, enzovoort tot
...	enzovoort tot
$r_1, r_2 \dots r_n$	r één, r twee, r n

b) Gelijkheid en ongelijkheid

=	gelijk aan
\neq	ongelijk aan; niet gelijk
\sim	gelijkvormig met
\approx	ongeveer gelijk aan
<	kleiner dan
>	groter dan
<<	veel kleiner dan
>>	veel groter dan
\leq	gelijk aan of kleiner dan
\geq	gelijk aan of groter dan
\Leftrightarrow	komt overeen met
\Leftrightarrow	gelijkwaardig aan

c) Bewerkingen

+	plus
-	min
\cdot (\times)	maal
$-$ (\div)	gedeeld door
%	procent; gedeeld door honderd
‰	promillage; gedeeld door duizend
<{ }>	haakjes
$\sqrt{\quad}$	vierkantswortel

$\sqrt[n]{\quad}$	n-de machtswortel
Σ	wiskundige som
Δ	wiskundig verschil
Π	wiskundig product
∞	oneindig
!	faculteit
$ x $	absolute waarde van x

d)	Geometrische tekens
//	evenwijdig met
#	evenwijdig met en gelijk aan
\perp	staat loodrecht op
\sphericalangle	hoek
\overrightarrow{AB}	vector
\overline{AB}	lijn van A naar B
arc a	boog van hoek a ; arcus a

e)	Exponentiële en logaritmische functies
a^x	a tot de macht x
exp	exponentiële functie
log	logaritme (grondtal niet gedefinieerd)
log _a	logaritme voor grondtal a
ln	natuurlijke logaritme

f)	Verzamelingen
A,B,	... verzameling
a,b,	... elementen van verzamelingen
{ . . }	verzameling
\emptyset	lege verzameling
\in	is element van
\notin	is geen element van
\ni	bevat element
$\not\ni$	bevat niet element
\subset	is een deelverzameling van
$\not\subset$	is geen deelverzameling van
\supset	bevat verzameling