

Inhoudsopgave

Kennis van zaken	4
Adressen	5
Overzicht van producten en activiteiten	6-9
SI-eenheden	
basisgrootheden en grondeenheden	10
aanvullende grootheden	10
afgeleide eenheden	11
algemeen	12
mechanica	13-14
warmte	15
elektriciteit en magnetisme	16-17
omrekeningsfactoren	18-20
Enkele formules	21
Elektrotechnische symbolen	22-25
Kleurencodes	
weerstanden en condensatoren	26-27
D-patronen type DII en DIII	28
Energietransformatoren	
algemeen	29
toegekende stroom	29
toegekende spanning	30
secundaire spanningsverandering bij belasten	30
rendement	30
schakelbeeld	31
parallelbedrijf	32
normale bedrijfsomstandigheden	33
inschakelen van transformatoren	33
olietransformatoren	34
gietharstransformatoren	35
temperatuurklassen van de isolatie	36
koeling van de transformatorruimte	36
geforceerde koeling	37
belastbaarheid	38

Installaties volgens de NEN 1010

veilige spanningen	40
stroomstelsels en stroomketens	41
te schakelen en te beveiligen polen	43
beschermingsklassen	44
kenmerken van elektrische materieel, leidingen en bijbehoren, afhankelijk van uitwendige invloeden	45
wel of geen aardlekbeveiliging?	46
leidingen	
- lichtschakelingen	49
- overzicht basisinstallatiemethoden	50
- toelaatbare stroom van leidingen	52
- verband tussen ontwerpstroom van een stroomketen, de toelaatbare stroom van de leiding en de nominale stroom van de smeltveiligheid	62
- maximale lengte van de leidingen	63
- spanningsverlies in leidingen	70

Schakel- en verdeelinrichtingen

TTA- en PTTA- verdeelsystemen	71
IP-beschermingsgraden	73
IK-beschermingsgraden	76
gelijktijdigheidsfactor NEN-EN-IEC 60439	77
aansluitdoorsneden van voedingsvelden en afgaande velden bij schakel- en verdeelinrichtingen	78
wartelmaten en aandraaimomenten	79

Belastingen

inschakelstromen	80
motoren	
- stroomsterkte van motoren en generatoren	83
- motorstroom draaistroommotoren	84
- motorvermogen, koppel- en aanlooptijd	85
centrifugaalpompen	86
ventilatoren	86
cos φ -verbetering	87

UNETO-VNI Levensloopbestendig woninginstallaties 90

Kortsluitstromen

soorten kortsluitingen	96
berekenen van kortsluitstromen	98
coördinatie	
- back-up beveiliging	101
- back-up beveiliging Eaton Holec installatie- en aardlekautomaten	102

Selectiviteit

selectiviteit	103
selectiviteit Eaton Holec Isodin patronen	106
selectiviteit Eaton Holec-installatie-automaten	109
selectiviteit Alamat	111

Aardlekbeveiliging

foutbescherming	112
aanvullende bescherming	113
bescherming tegen brandgevaar	114
klasse A of AC	114
gewone of S-type aardlekschakelaars	115
spanningsafhankelijke of spanningsonafhankelijke aardlekbeveiliging	115
aardlekbeveiliging per eindgroep	116

Specificaties van lastscheiders 117

Mespatronen 120

technische gegevens Eaton Holec Isodin reeks	
tijd/stroom karakteristiek	124
kapstroomkrommen	130
I ² t-diagrammen	136
Watt-verliezen	143

Installatie-automaten en aardlekautomaten

uitschakelkrommen	144
Watt-verliezen	145
Meggervoorschrift Alamat	145

afgeleide eenheden		SI-eenheden	
grootheid		SI-eenheid	
naam	symbool	naam	eenheid
lengte	l		
breedte	b		
hoogte	h		
dikte	$d; \delta$	meter	m
middellijn	d		
straal	r		
weg(lengte)	s		
oppervlak	$A; S$	vierkante meter	m^2
volume, inhoud	V	kubieke meter	m^3
hoek	$\alpha, \beta, \gamma, \dots$	radiaal	rad

algemeen		SI-eenheden	
grootheid		SI-eenheid	
naam	symbool	naam	eenheid
tijd	t		
periode (duur)	T	seconde	s
tijdconstante	τ		
massa	m	kilogram	kg
dichtheid	ρ	kilogram per kubieke meter	kg / m ³
arbeid	$W; A$		
energie	E	joule	J
hoeveelheid warmte	Q		
vermogen	P	watt	W
wrijvingscoëfficiënt	$f; \mu$	dimensieloos	
volumestroom	q_v	kubieke meter per seconde	m ³ /s
massastroom	q_m	kilogram per seconde	kg/s

mechanica		SI-eenheden		
grootheid				
naam	naam	symbool	naam	eenheid
vaste stoffen				
rekgrens		R_p		
druk		p		
elasticiteitsmodules		E	Pascal	Pa
afschuivingsmodules		G		
normaalspanning		σ		
schuifspanning		τ		
relatieve rek		ϵ	(dimensieloos)	
gassen/vloeistoffen				
druk (spanning)		p	Pascal	Pa

mechanica		SI-eenheden	
grootheid			
naam	symbool	naam	eenheid
moment van kracht	M	newton meter	N.m
moment van koppel	T	newton meter	N.m
weerstandsmoment	W	meter tot de derde	m^3
(massa)traagheidsmoment	I, J	kilogram meter kwadraat	$kg.m^2$
veerstijfheid	c, k	newton per meter	N/m
snelheid	v	meter per seconde	m/s
versnelling	a	meter per seconde kwadraat	m/s^2
versnelling van de vrije val	g	meter per seconde kwadraat	m/s^2
rotatiefrequentie	n	per seconde	1/s
hoeksnelheid	ω	radiaal per seconde	rad/s
hoekversnelling	α	radiaal per seconde kwadraat	rad/s ²

warmte		SI-eenheden			SI-eenheden
grootheid		SI-eenheden			
naam	naam	symbool	naam	naam	eenheid
temperatuur	kelvin	T	kelvin		K
lineaire uitzettingscoëfficiënt	per kelvin	α, λ	per kelvin		1/K
hoeveelheid warmte	joule	Q	joule		J
warmtestroom	watt	φ	watt		W
warmtestroomdichtheid	watt per vierkante meter	q	watt per vierkante meter		W/m ²
warmtegeleiding	watt per kelvin	G	watt per kelvin		W/K
warmtegeleidingscoëfficiënt	watt per meter kelvin	λ	watt per meter kelvin		W/(m.K)
warmteoverdrachtscoëfficiënt	watt per vierkante meter kelvin	a, h	watt per vierkante meter kelvin		W/(m ² .K)
warmtedoorgangcoëfficiënt	kelvin	K	kelvin		K
warmteweerstand	kelvin per watt	R	kelvin per watt		K/W
warmte-isolatiecoëfficiënt	kelvin vierkante meter per watt	M	kelvin vierkante meter per watt		K.m ² /W
warmtecapaciteit	joule per kelvin	C	joule per kelvin		J/K

elektriciteit en magnetisme		SI-eenheden			SI-eenheden
grootheid					
naam	naam	symbool	naam	naam	eenheid
elektrische spanning		U	volt		V
elektrische weerstand		R	ohm		Ω
soortelijke weerstand		ρ	ohm meter		Ωm
soortelijke geleiding		σ, γ	siemens per meter		S/m
werkzaam vermogen		P	watt		W
energie		$E; W$	joule		J
arbeid		$W; A$	joule		J
hoeveelheid warmte		Q	joule		J
golflengte		λ	meter		m
frequentie		f	hertz		Hz

elektriciteit en magnetisme		SI-eenheden		SI-eenheden
grootheid		SI-eenheden		
naam	symbool	naam	eenheid	
elektrische veldsterkte	E	volt per meter	V/m	
stroomdichtheid	J	ampère per vierkante meter	A/m ²	
elektrische lading	Q	coulomb	C	
capaciteit	C	farad	F	
magnetische flux	ϕ	weber	Wb	
magnetische inductie	B	tesla	T	
magnetische veldsterkte	H	ampère per meter	A/m	
zelfinductie	L	henry	H	
permeabiliteit	μ	henry per meter	H/m	

omrekeningsfactoren		SI-eenheden	
grootheid	eenheid	→X	X←
druk	kgf/cm ² =at	9,80665 · 10 ⁴	1,01972 · 10 ⁻⁵
	torr	1,333 · 10 ²	7,502 · 10 ⁻³
	lbf/ft ²	4,78803 · 10 ¹	2,089 · 10 ⁻²
	atm	1,01325 · 10 ⁵	9,86923 · 10 ⁻⁶
	bar	10 ⁵	10 ⁻⁵
energie	kcal	4,1868 · 10 ³	2,388410 ⁻⁴
	kgfm	9,80665	1,01972 · 10 ⁻¹
	kWh	3,6 · 10 ⁶	2,8 · 10 ⁻⁷
	Btu	1,05506 · 10 ³	9,47813 · 10 ⁻⁴
	lbf	4,4482	2,2481 · 10 ⁻¹
energie, arbeid	kgfm	9,80665	1,01972 · 10 ⁻¹
gewicht	kgf	9,80665	1,01972 · 10 ⁻¹
hoek	rad	5,7029578 · 10 ¹	1,7445329 · 10 ⁻²
	minuut	1/60	60
hoeveelheid warmte	cal	4,1868	2,3885 · 10 ⁻¹
magnetische inductie	Gs	10 ⁻⁴	10 ⁴
magnetische veldsterkte	Oe	79,58 · 10 ¹	1,257 · 10 ⁻²
massastroom	kg/h	2,7778 · 10 ⁻⁴	3,600 · 10 ³
moment van kracht	kgfm	9,80665	1,01972 · 10 ⁻¹

omrekeningsfactoren		SI-eenheden	
grootheid	eenheid	→X	X←
	eenheid		eenheid
rotatiesnelheid	omw./min	$1,047198 \cdot 10^{-1}$	9,549292
snelheid	km/h	$2,7778 \cdot 10^{-1}$	3,6000
soortelijke warmte	kcal/(kg.°C)	$4,1868 \cdot 10^3$	$2,3885 \cdot 10^{-4}$
soortelijke weerstand	$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$	10^6	10^6
spanning (werktuigbouw)	kgf/mm ²	9,80665	$1,01972 \cdot 10^{-1}$
	UK tonf/in ²	$1,54443 \cdot 10^1$	$6,4750 \cdot 10^{-2}$
	lbf/in ²	$6,8947 \cdot 10^3$	$1,45040 \cdot 10^2$
	lbf/in ²	6,8947	$1,45040 \cdot 10^{-1}$
temperatuur	°C	(273,15 + T)	(T - 273,15)
	°F	(255,37 + 5/9T)	(9/5T-459,67)
vermogen	kgfm/s	9,80665	$1,01972 \cdot 10^{-1}$
	pk	$7,35499 \cdot 10^2$	$1,35962 \cdot 10^{-3}$
	kcal/h	1,163	$8,598 \cdot 10^{-1}$
volumestroom	m ³ /h	$2,778 \cdot 10^{-4}$	$3,600 \cdot 10^3$
warmtestroom	kcal/h	1,163	$8,598 \cdot 10^{-1}$
			W

ENKELE FORMULES

Vermogen en energie

elektrisch schijnbaar vermogen	$S = U.I$
elektrisch werkzaam vermogen	$P = U.I.\cos \varphi$
elektrisch blind vermogen	$Q = U.I.\sin \varphi$
elektrische energie	$E = U.I.t$

Spanning en stroom

1 ^e wet Kirchhoff	$\sum I \text{ (knooppunt)} = 0$
2 ^e wet Kirchhoff	$\sum U \text{ (kring)} = 0$
gemiddelde waarde sinus	$U_{\text{gem}} = 0$
effectieve waarde sinus	$U = \hat{u}/\sqrt{2}$
impedantie	$Z = U/I$

Weerstand

wet van Ohm	$U = I.R$
soortelijke weerstand	$\rho = R. A/l$
temperatuurcoëfficiënt	$\alpha = \Delta T.\Delta R/R$
serieschakeling weerstanden	$R_{\text{tot}} = \sum R$
parallelschakeling weerstanden	$1/R_{\text{tot}} = \sum 1/R$

Capaciteit

capaciteit	$C = Q_c/U$
serieschakeling capaciteiten	$1/C_{\text{tot}} = \sum 1/C$
parallelschakeling capaciteiten	$C_{\text{tot}} = \sum C$
energie-geladen condensator	$W = 0,5. CU^2$
sterschakeling	$U_l = U_r.\sqrt{3}; I_l = I_r$
driehoekschakeling	$U_l = U_r; I_l = I_r.\sqrt{3}$

Zelfinductie











zelfinductie	$L = N. \emptyset/I$
energie spoel	$W = 0,5.L.I^2$
reactantie	$X_L = \omega. L$
	$X_C = 1/(\omega. C)$











ELEKTROTECHNISCHE SYMBOLEN

Gegevens ontleend aan NEN 5152 / IEC 60617

naam	symbool
motor	
roterende generator	
driepolige contactdoos (tafelcontactdoos) met verplaatsbare leidingen	
relaispoel met één actieve wikkeling	
licht(aansluit)punt	
voltmeter	
ampèremeter	
(bel)transformator	
kilowatt-uurmeter	
gelijkstroom, gelijkspanning	
wisselstroom, wisselspanning	
gelijk- of wisselstroom, gelijk- of wisselspanning	
driefasenwisselstroom (draaistroom) met neutrale geleider (nul), 50 Hz	
driefasig stelsel in Y- of sterschakeling	
driefasig stelsel in D-, delta of driehoeksschakeling	
driefasig stelsel in Z- of zigzagschakeling	

naam	symbool
leiding, geleider	
nul (N)	
beschermingsleiding (PE)	
(hoofd) aardleiding (E), functionele aarde (E)	
gecombineerde beschermingsleiding en nul (PEN)	
drie fasen, beschermingsleiding en nul	
losneembare aansluitklem	
losneembare aansluitklem, aarde	
losneembare aansluitklem, nul	
wikkeling, spoel, smoorspoel (zelf) inductie	
weerstand	
condensator	
spanningsbron	
stroombron	

naam	symbool
maakcontact	
verbreekcontact	
wisselcontact	
schakelaar, algemeen	
scheider	
lastschakelaar	
lastscheider	
lastscheider, 4-polig	
veiligheidslastscheider, combinatie lastscheider met smeltveiligheden	
patronenlastscheider	

naam	symbool
contactor	
vermogenschakelaar	
minimumspanningsschakelaar	
vermogenschakelaar met elektromagnetische overstrombeveiliging	
vermogenschakelaar met thermische en elektromagnetische overstrombeveiliging (installatie-automaat)	
aardlekautomaat	
aardlekschakelaar	
smeltveiligheid	
smeltveiligheid waarbij de voedende zijde is aangegeven door een dikke lijn	
tweepolige (licht)groepsschakelaar	

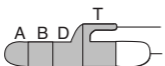
KLEURENCODES

weerstanden en condensatoren

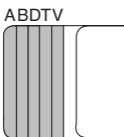
eenheden: weerstand in Ω
condensator in pF



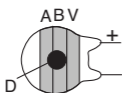
kool- of metaalweerstanden



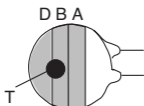
keramische condensatoren



folie-condensatoren



elektrolytische condensatoren
(waarden in μF)



NTC-weerstanden
(waarden bij 25 °C)

- A : eerste cijfer
- B : tweede cijfer
- C : derde cijfer
- D : vermenigvuldigen met 10^n
- T : tolerantie
- TC : code voor temperatuurcoëfficiënt
- V : code voor toelaatbare spanning

A/B/C		D	
zwart	0	n = zwart	0
bruin	1	bruin	1
rood	2	rood	2
oranje	3	orange	3
geel	4	geel	4
groen	5	groen	5
blauw	6	blauw	6
violet	7	wit	-1
grijs	8	grijs	-2
wit	9	violet	-3
			} C
		goud	-1
		zilver	-2
			} R

T		
bruin	±1%	}
rood	±2%	
goud	±5%	
zilver	±10%	
geen kleur	±20%	
		R en NTC

bruin	±1%	}
rood	±2%	
groen	±5%	
wit	±10%	
zwart	±20%	
		C > 10pF

bruin	±0,1pF	}
rood	±0,25pF	
groen	±0,5pF	
wit	±1pF	
		C > 10pF

Gegevens ontleend aan NEN 10062

D-patronen, type DII en DIII

De grootte van de nominale stroom van de D-patroon is te herkennen aan de kleur van de melderknop.

De in de tabel genoemde waarden zijn de meest voorkomende patronen.

DII	I_n	kleur
	2 A	rose
	4 A	bruin
	6 A	groen
	10 A	rood
	16 A	grijs
	20 A	blauw
	25 A	geel

DIII	I_n	kleur
	35 A	zwart
	50 A	wit
	63 A	koper

D-patronen t/m 25 A passen in patroonhouder DII, patronen 35 A t/m 63 A in houder DIII.

Gegevens ontleend aan NEN-HD-IEC 60269-3-1

ENERGIETRANSFORMATOREN

algemeen

toegekende stroom, toegekende spanning
secundaire spanningsverandering bij belasten,
rendement en kortsluitstroom.

Voor het bepalen van deze grootheden worden de
volgende symbolen en hun eenheden toegepast:

$\cos \varphi$	: arbeidsfactor van de belasting	-
I_t	: toegekende stroom	A
I_k	: symmetrische kortsluitstroom	kA
n	: belasting als fractie van het toegekende vermogen	-
P_i	: kortsluitverlies	kW
P_o	: nullastverlies	kW
S_t	: toegekend vermogen van de transformator	kVA
S_s	: kortsluitvermogen van het net	MVA
Δu	: spanningsverandering bij belasting in procenten van U	%
$\varepsilon_r, \varepsilon_x, \varepsilon_k$	: weerstand-, reactantie- of kortsluit- spanning bij toegekende stroom in procenten van U	%
U_t	: toegekende spanning tussen de faseklemmen	kV
Z_t, Z_s	: kortsluitimpedantie van de transformator of het net	Ω

toegekende stroom

Dit is de waarde van de door de faseklem vloeiende
stroom die door het toegekende vermogen en de
toegekende spanning als volgt wordt gegeven:

$$I_t = S_t / (U_t \cdot \sqrt{3})$$

De toegekende secundaire stroom van een 1000 kVA,
10,5 kV / 420 V transformator is dus 1375 A.

toegekende spanning

Dit is de vastgestelde waarde van de spanning tussen de faseklemmen die bestemd is om te worden aangelegd of bij nullast te worden opgewekt. De secundaire spanning verandert bij belasting.

secundaire spanningsverandering bij belasten

$$\Delta u = n \cdot u^I + 0,5 (n \cdot u^{II})^2 / 10^2 + \dots$$

$$\text{waarin : } u^I = \varepsilon_r \cdot \cos \varphi + \varepsilon_x \cdot \sin \varphi$$

$$u^{II} = \varepsilon_r \cdot \sin \varphi - \varepsilon_x \cdot \cos \varphi$$

$$\text{met : } \varepsilon_r = (P_i/S_t) \cdot 100\%$$

$$\varepsilon_x = \sqrt{(\varepsilon_k^2 - \varepsilon_r^2)}$$

rendement

$$\eta = \left(1 - \frac{P_o + n^2 \cdot P_i}{n \cdot S_t \cdot \cos \varphi + P_o + n^2 \cdot P_i} \right) \cdot 100\%$$

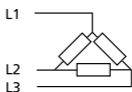
schakelbeeld

Het schakelbeeld van transformatoren wordt gekenmerkt door drie letters en een cijfer.

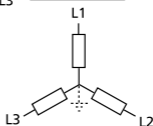
De eerste hoofdletter geeft de schakeling van de primaire windingen aan en de tweede kleine letter geeft de schakeling van de secundaire windingen aan.

We kennen de volgende letters:

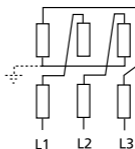
- D of d



- Y of y



- Z of z



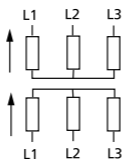
Als het sterpunt uitwendig is uitgevoerd, wordt een N of n toegevoegd. Bijvoorbeeld: YNd7 of Dyn5.

Het cijfer geeft het klokgetal van de transformator aan. Het klokgetal geeft het aantal malen 30° faseverdraaiing tussen primaire en secundaire spanningen weer.

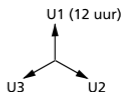
Voorbeelden:

Yy6

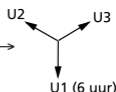
$6.30^\circ = 180^\circ$
draaiing van
het driefasen
stelsel



Primair →

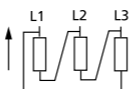


Secundair →

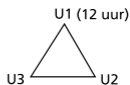


Dy5

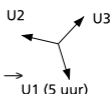
$5.30^\circ = 150^\circ$
draaiing van
het driefasen
stelsel



Primair →



Secundair →



parallelbedrijf

Noodzakelijke voorwaarden voor het parallel bedrijven van twee of meer transformatoren zijn:

- verhouding van de vermogens tussen 0,5 en 2.
- gelijke transformatieverhoudingen¹⁾.
- gelijke kortsluitspanningen¹⁾.
- onderling verenigbare schakelbeelden.

Verenigbare schakelbeelden zijn:

- schakelbeelden met een zelfde klokgetal.
(parallelbedrijf door verbinden van de gelijkbenoemde aansluitklemmen)
- schakelbeelden met verschillend klokgetal die tot dezelfde groep (I, II, III of IV) behoren²⁾.
(parallelbedrijf door cyclisch verwisselen van de aansluitklemmen)
- schakelbeelden van groep III en IV²⁾. (parallelbedrijf door omkeren van de fasevolgorde)

¹⁾ Binnen de toelaatbare tolerantie

²⁾ Toelichting zie pagina 33

normale bedrijfsomstandigheden

Hieronder vallen de hoogte van de opstellingsplaats en de grenstemperaturen van de koellucht.

- opstellingshoogte: niet meer dan 1000 m boven de zeespiegel
- koelluchttemperatuur: nooit hoger dan 40 °C en nooit lager dan -5 °C bij binnenopstelling; voor buitenopstelling gelden de grenzen -25 °C en +40 °C. Bovendien gemiddeld niet hoger dan 30 °C genomen over een etmaal en 20 °C genomen over een jaar. Overschrijdt de temperatuur van de koellucht deze grenswaarden, dan beperkt dit de belastbaarheid of dient de transformator aan lagere temperatuurverhogingsgrenzen te voldoen. Bij grotere opstellingshoogten gelden andere diëlektrische beproevingseisen en temperatuurverhogingsgrenzen.

inschakelen van transformatoren

Bij het inschakelen van transformatoren kunnen grote inschakelstromen, zogenaamde inrushes, ontstaan.

De hoogte van deze stromen hangt af van:

- De vorm en het ijzer van het juk.
- Olie- of gietharsisolatie.
- Belast of onbelast inschakelen.
- Moment van het inschakelen op de sinusvormige spanning.
- Aanwezigheid van remanentie.

De top van deze inrushstromen kan soms wel 100 maal zo hoog zijn als de nominale stroom van de transformator en de inrushstromen kunnen tot enkele seconden duren.

2) Toelichting pagina 32

Er zijn vier verschillende schakelbeeldgroepen:

Groep	I	II	III	IV
elk schakelbeeld met klokgetal	0, 4, 8	2, 6, 10	1, 5	7, 11

olietransformatoren

Normen:

NEN-EN-IEC 60076

Spanningen:

- hoogspanning : 11250-11000-10750-10500-10250 V

- laagspanning : 420 V

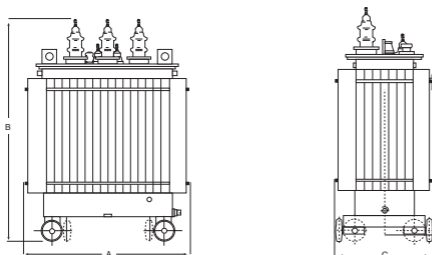
Schakeling: Dyn 5

Benaming: volgens NEN 10616

- 1U-1V-1W / 2U-2V-2W-2N

vermogen (kVA)	nullast- verlies (watt)	kortsluit- verlies (watt)	kortsluit- spanning (%)	gewogen geluids- vermogen- niveau (dB(A))	totaal gewicht (kg)	hoofdafmetingen		
						A (mm)	B (mm)	C (mm)
50	115	840	4	46	470	840	1190	510
100	190	1350	4	49	720	950	1205	510
160	260	1905	4	52	925	1050	1290	630
250	365	2640	4	54	1360	1160	1390	630
400	515	3750	4	56	1850	1300	1570	780
630	745	5200	4	58	2650	1475	1680	790
1000	970	8800	6	61	3300	1720	1825	975
1600	1400	12900	6	64	4730	2040	1910	1190

Kortsluitverlies en -spanning bij overzetverhouding 10750/420 en bij 75 °C.



giethartransformatoren

Normen:

NEN-EN-IEC 60076

NEN 2754

Spanningen:

- hoogspanning: 11250-11000-10750-10500-10250 V

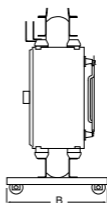
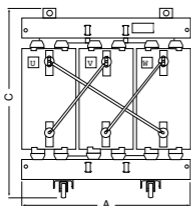
- laagspanning: 420 V

Schakeling: Dyn 5

Onderstaande gegevens hebben betrekking op de standaardreeks.

vermogen ¹	nullast-verlies	kortsluit-verlies	kortsluit-spanning	totaal gewicht	hoofdafmetingen			geluids-druk niveau op 1m (dB(A))
					A (mm)	B (mm)	C (mm)	
100	480	2200	4,0	640	960	640	1160	54
160	600	2850	4,0	860	1034	640	1300	53
250	800	3450	4,0	1110	1115	640	1415	55
315	850	4300	4,0	1460	1250	830	1415	51
400	1200	4850	4,0	1520	1246	830	1415	57
500	1450	5400	4,0	1820	1305	830	1555	58
630	1750	6100	4,0	1960	1305	830	1560	60
630	1420	7100	6,0	2445	1530	830	1635	54
800	1850	8600	6,0	2430	1380	830	1805	60
1000	2020	8850	6,0	3070	1590	980	1810	58
1250	2500	9250	6,0	3410	1590	980	1810	61
1600	3300	11700	6,0	4430	1785	980	1975	62
2000	4050	12500	6,0	5200	1890	1230	2021	63
2500	4550	15100	6,0	6320	1845	1230	2560	64
3150	6000	17700	6,0	7950	2060	1230	2620	66
4000	7920	22060	7,0	9790	2350	1270	2700	67

Kortsluitverlies en -spanning bij overzetverhouding 10750/420 en bij 75 °C.



¹) Dit vermogen geldt bij natuurlijke koeling en bij vrije luchtcirculatie zonder omhulling.

temperatuurklassen van de isolatie

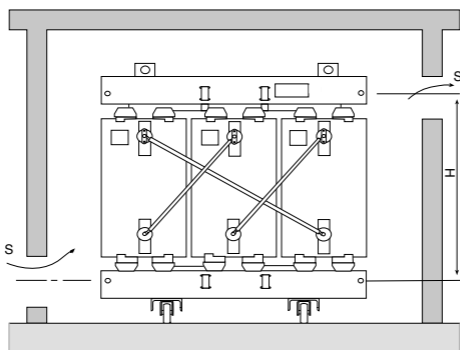
Voor gietharstransformatoren kan gebruik worden gemaakt van isolatiesystemen met de volgende temperatuurklassen en bijbehorende temperatuurgrenzen:

temperatuurklasse: 130(B) 155(F) 180(H)

gemiddelde wikkelingstemperatuurverhoging:
80 °C 100 °C 125 °C

koeling van de transformatorruimte

Bij plaatsing van een transformator in een bedrijfsruimte moeten de totale verliezen W worden afgevoerd door de ventilatieopeningen. Dit is mogelijk bij natuurlijke lucht-circulatie met voldoende grote ventilatieopeningen S . Daarbij ontstaat echter steeds een verhoging ΔT van de koelluchttemperatuur, afhankelijk van de weerstand die de lucht ondervindt en van de plaats van de ventilatie-openingen. De belastbaarheid neemt daardoor af, bepaald door de gemiddelde luchttemperatuurverhoging $\Delta T/2$.



Voor de vrije luchtdoorlaat A in m² geldt bij benadering:

$$A = 4,25 \cdot W \cdot \sqrt{\varepsilon / (h \cdot \Delta T^3)}$$

waarin:

W	= P _o + P _i	kW
ε	= luchtweerstandsfactor	-
h	= hoogteverschil van de ventilatieopeningen boven en onder	m
ΔT	= temperatuurverhoging van de uittreedlucht	°C

De waarde van ε is afhankelijk van de ruimte.
Bij gebrek aan gegevens hierover kan worden aangenomen ε = 6.

geforceerde koeling

De opgewekte warmte kan ook worden afgevoerd met behulp van ventilatoren.

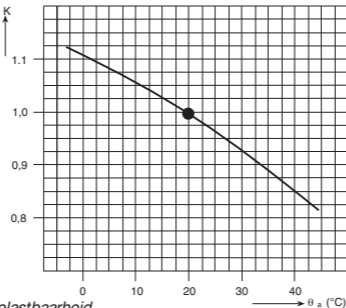
Dan is hiervoor ca. 2,5 m³/min/kW nodig bij 10 °C gemiddelde luchttemperatuurverhoging. Grotere luchtopbrengst van de ventilatoren verlaagt ΔT waardoor de belastbaarheid enigszins toeneemt.

Verdere vergroting van de belastbaarheid is dan alleen mogelijk door speciaal aan de onderkant van de transformator opgestelde ventilatoren te plaatsen, eventueel met luchtgeleidingskanalen. Hiermee is een belastingtoename van 40% te bereiken.

De geforceerde koeling komt automatisch in werking bij overschrijding van de ingestelde wikkelings-temperatuur.

belastbaarheid

Onder de normale bedrijfsomstandigheden kan een gietharstransformator continu vol belast worden. Dan geldt de normale levensduurverwachting. Bij een gemiddelde jaartemperatuur van de koellucht lager of hoger dan de 20 °C vastgelegd in NEN-EN-IEC 60076-1, is een hogere of lagere continue belasting toegestaan. Bij een niet-continue belasting kunnen, afhankelijk van de heersende koelluchttemperatuur en het belastingspatroon, de grenzen van de belastbaarheid worden bepaald aan de hand van de leidraad voor het belasten van droge transformatoren, NPR 10905. Als voorbeeld is op pagina 39 de belastbaarheid weergegeven voor een periodieke overbelasting K_2 , gedurende t_p uur, voorafgegaan en gevolgd door een voorbelasting K_1 , geldend voor een 24 uur belastingscyclus. Hierbij wordt de grenstemperatuur van de isolatie niet overschreden en blijft een normale levensduurverwachting van kracht. De belastbaarheid is behalve van de koelluchttemperatuur afhankelijk van de thermische tijdconstante van de transformatorwikkeling en - in mindere mate - van de temperatuurklassen van de wikkelingsisolatie. Een grotere tijdconstante betekent bij eenzelfde voorlast K_1 een grotere overbelastbaarheid, gegeven door K_2 en t_p ; een hogere temperatuurklasse geeft een wat lagere overbelastbaarheid.

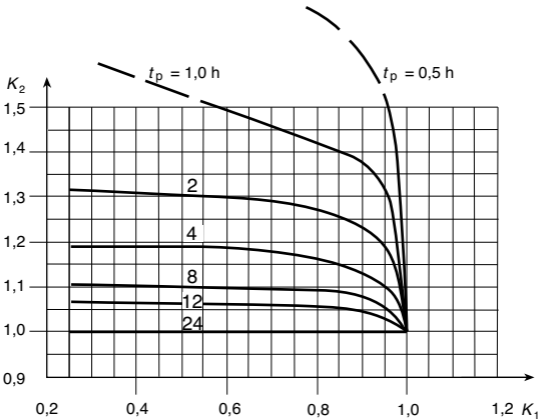
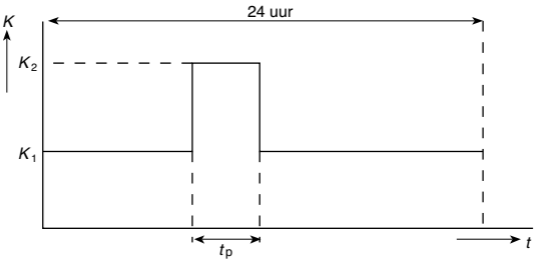


Continue belastbaarheid

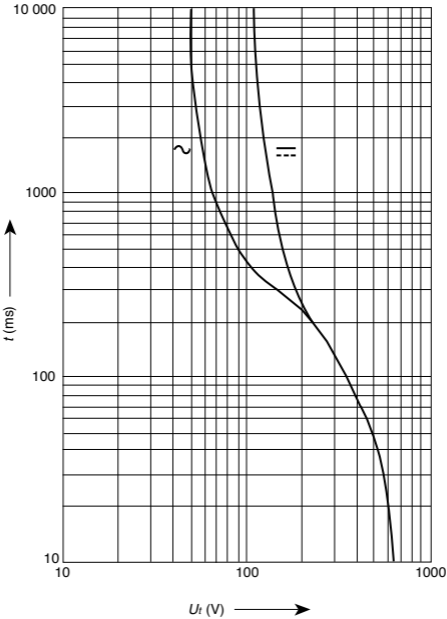
K = belastingsfactor als fractie van de toegekende stroom
 θ_a = koelluchttemperatuur

Voorbeeld: Periodieke overbelastbaarheid bij een koelluchttemperatuur van 20 °C, gegeven voor een giethars-transformator met temperatuurklasse F en een thermische tijdconstante van 1 uur, waarbij:

- K_1 = voorbelastingsfactor als fractie van de toegekende stroom
- K_2 = overbelastingsfactor als fractie van de toegekende stroom
- t_p = tijdsduur van de overbelasting (uur)



veilige spanningen



De grafiek geeft voor zowel wisselspanning 50 Hz als gelijkspanning de aanrakingsspanning (U_t) weer als functie van de tijd. Indien men links van de getrokken lijn blijft, is de veiligheid gewaarborgd. Hierbij is uitgegaan van normale omstandigheden. Uit de grafiek is duidelijk te zien dat het menselijk lichaam minder problemen heeft met gelijk- dan met wisselspanning.

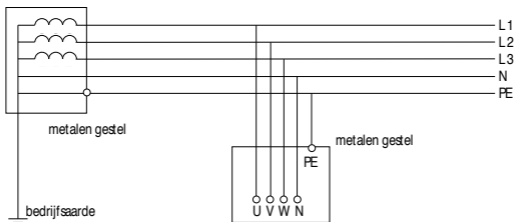
stroomstelsels en stroomketens

gegevens ontleend aan NEN 1010

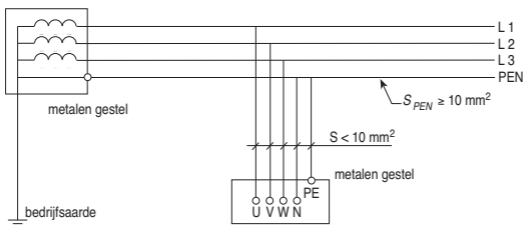
Voor de indeling van stroomstelsels wordt gebruik gemaakt van twee letters:

1° letter: Wijze van aarding van de voedingsbron

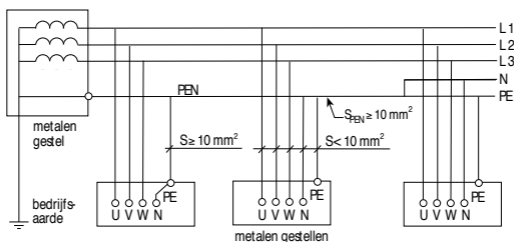
2° letter: Wijze van aarding van het metalen gestel.



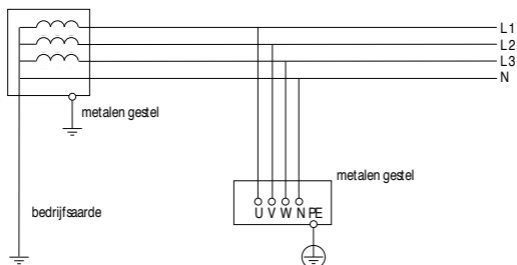
TN-S-stelsel, nul en beschermingsleiding van het sterpunt af gescheiden.



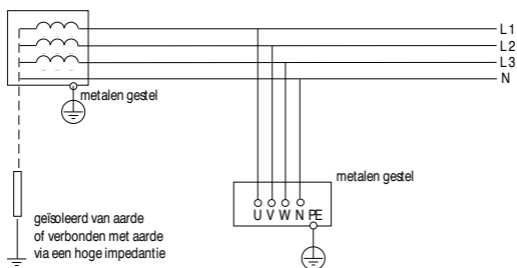
TN-C-stelsel, nul en beschermingsleiding gecombineerd.



TN-C-S-stelsel, nul en beschermingsleiding gedeeltelijk gescheiden en gedeeltelijk gecombineerd.



TT-stelsel, met nul, metalen gestellen onafhankelijk van de bedrijfsaarde ter plaatse met aarde verbonden.



IT-stelsel, met nul, metalen gestellen onafhankelijk van een eventuele bedrijfsaarde ter plaatse met aarde verbonden.

te schakelen en te beveiligen polen

stroomstelsel	schakelen		beveiligen	
	1-fase	3-fasen	1-fase	3-fasen
TT	L, N	L1, L2, L3, N	L	L1, L2, L3
TN-S ^{*)}	L, N ^{*)}	L1, L2, L3, N ^{*)}	L	L1, L2, L3
TN-C ^{*)}	L	L1, L2, L3	L	L1, L2, L3
IT	L, N	L1, L2, L3, N	L, N	L1, L2, L2, N




^{*)} volgens NEN 1010 moet 2-geleidergroep 2-polig geschakeld worden (uitzondering TN-C)

^{**)} schakelen N mag, maar is niet verplicht

^{***)} gecombineerde N en PE: (PEN-geleider) mag nooit worden geschakeld

beschermingsklassen

Voor elektrisch materieel is er een indeling in beschermingsklassen. De klasse-indeling heeft geen betrekking op het niveau van de bescherming, maar uitsluitend op de uitvoering waarmee de bescherming wordt verkregen.

Toestellen	Symbol	Uitvoering	Voorbeeld
Klasse 0		Alleen fundamentele isolatie. Wel metalen delen, geen mogelijkheid voor het aanbrengen van een beschermingsleiding.	Schemerlamp
Klasse 0I		Alleen fundamentele isolatie. Wel metalen delen. Wel de mogelijkheid voor het aanbrengen van een beschermingsleiding.	
Klasse I		Als klasse 0, echter uitgevoerd met beschermingsleiding.	Wasautomaat Diepvrieskast
Klasse II		Voorzien van dubbele of versterkte isolatie. Geen beschermingsleiding.	Haarföhn Boormachine Keukenmachine
Klasse III		Toestellen die moeten worden gevoed met een veilige, zeer lage spanning. (SELV-keten)	Speelgoed

Gegevens ontleend aan NEN 1010-3

kenmerken van elektrisch materieel, leidingen en bijbehoren, afhankelijk van uitwendige invloeden

code	uitwendige invloeden
AA	omgevingstemperatuur
AB	vochtigheidsgraad van de lucht
AC	hoogte
AD	aanwezigheid van water
AE	aanwezigheid van voorwerpen of stof
AF	aanwezigheid van corrosieve of verontreinigde gasen, dampen of (vloei)stoffen
AG	stootbelasting
AH	trilling
AJ	andere mechanische belasting
AK	plantengroei en/of schimmelvorming
AL	dieren
AM	elektromagnetische, elektrostatische of ioniserende invloeden
AN	zonnestraling
AP	seismische invloed
AQ	bliksem, keramisch niveau
AR	luchtverplaatsing
AS	wind
BA	bekwaamheid van personen
BB	elektrische impedantie van het menselijk lichaam
BC	personen in contact met aardpotentiaal
BD	mogelijkheden van ontruiming in nood-situaties
BE	aard van het materiaal dat wordt verwerkt of opgeslagen
CA	bouw materiaal
CB	structuur

Achter de twee letters wordt met een cijfer de mate van aanwezigheid aangegeven.

Voorbeeld:

- AD aanwezigheid van water
- AD1 te verwaarlozen
- AD4 spatwaterdicht
- AD7 onderdompeling

Voor gedetailleerde gegevens kan de NEN 1010 geraadpleegd worden.

Wel of geen aardlekbeveiliging ?

Met het verschijnen van de nieuwe NEN 1010 (september 2007) is het veel eenvoudiger geworden om te bepalen of er wel of geen aardlekbeveiliging toegepast moet worden, de vele uitzonderingen zijn verdwenen. De volgende hoofdregels zijn van toepassing: Elke installatie moet een voorziening hebben die zorg draagt voor automatische uitschakeling van de voeding ingeval van een fout tussen een spanningsvoerend deel en een deel verbonden met de beschermingsleiding. Dit wordt nu “**foutbescherming**” genoemd, in de vorige editie “indirecte aanraking”. Op voorwaarden kan hierbij gebruikt gemaakt worden van overstroombeveiliging.

Bij een TN-voeding moet in dit geval uitgeschakeld worden in maximaal 0,4s, maar bij een TT-voeding mag de uitschakeltijd niet langer zijn dan 0,2s. Dit laatste vanwege de hogere foutspanning bij een TT-voeding.

Let op, dit is een verzwaring ten opzichte van de oude vuistregel, waarbij voor een TT-net een uitschakeltijd van ca 0,3s geaccepteerd werd. Om de kortere uitschakeltijd te realiseren moet de lusweerstand van het foutcircuit, maar dit betekent vooral dat de weerstand van de aardelektrode nog lager moet zijn dan voorheen. In de praktijk zal het er nu vaak op neer komen dat bij een TT-voeding de gehele installatie beschermd dient te worden met een aardlekschakelaar. Het wordt aanbevolen hiervoor een 300 mA aardlekschakelaar S-type te kiezen. Een S-type aardlekschakelaar is n.l. selectief t.o.v. van de hierachter geïnstalleerde gewone, niet vertraagde aardlekschakelaars met een aanspreekstroom die tenminste 1 stap gevoeliger is (b.v. 30 mA of 100 mA).

Geheel onafhankelijk van de hierboven genoemde aardlekschakelaar voor het realiseren **foutbescherming** moet **aanvullende bescherming** door middel van aardlekschakelaars van ten hoogste 30 mA worden toegepast.

Aanvullende bescherming is nodig voor het geval van een defect van de voorziening voor basisbescherming (b.v. kapotte isolatie van een snoer), een defect aan de voorziening voor foutbescherming (b.v. onderbroken PE-leiding) of defecte 300 mA aardlekschakelaar en

ingeval van zorgeloosheid van gebruiker. Aanvullende bescherming is altijd vereist voor alle stroomkringen waarin contactdozen met een toegekende stroom van ten hoogste 20 A voorgebruik door leken en algemeeng bruik zijn opgenomen, alsmede stroomkringen voor de voeding van verplaatsbaar elektrisch materieel met een toegekende stroom van ten hoogste 32 A voor gebruik buiten. Een uitzondering mag worden gemaakt voor contactdozen onder toezicht van vakbekwaam of voldoende onderrichte personen. Bijvoorbeeld in bepaalde commerciële of industriële ruimten of een circuit met een contactdoos die alleen gebruikt kan worden voor de aansluiting van een specifiek elektrisch toestel. Dit laatste betekent dat de contactdoos niet bereikbaar of van een afwijkend type moet zijn. In grote lijnen komt het erop neer dat in elk geval alle stroomkringen waarin contactdozen van ten hoogste 20 A zijn opgenomen moeten zijn beveiligd met een 30 mA aardlekschakelaar. Voor specifieke ruimten of toepassingen, zie hiervoor o.a. deel 7 van NEN 1010, zijn nog aanvullende eisen van toepassing. We noemen de volgende aanvullende bepalingen:

- In de badkamer moeten alle stroomkringen, dus ook die voor verlichting beveiligd zijn met 30 mA aardlekschakelaars, dan wel moet een andere extra beveiliging zijn toegepast (zie bepaling 701.415.1).
- Bij installaties voor bouw- en sloofterreinen moeten stroomketens voor de voeding van contactdozen met een toegekende stroom van 32 A beveiligd zijn met 30 mA aardlekschakelaars (zie bepaling 704.410.3.10) Stroomketens voor de voeding van contactdozen met een toegekende stroom groter dan 32 A moeten beveiligd zijn met 300 mA aardlekschakelaars (zie bepaling 704.411.3.2.1).
- Op een camping moet elke contactdoos afzonderlijk zijn beveiligd zowel door een toestel met overstrombeveiliging als door een aardlekschakelaar van maximaal 30 mA (zie bepalingen 708.531.2 en 708.533)

- In een jachthaven moet elke contactdoos afzonderlijk zijn beveiligd zowel door een toestel met overstroombeveiliging als door een aardlekschakelaar van maximaal 30 mA (zie bepalingen 709.531.2 en 709.533).
- De elektrische installatie in een caravan moet voorzien zijn van aardlekbeveiliging met een aanspreekstroom van maximaal 30 mA (zie bepaling 721.415.1).
- De voeding van de tijdelijke installatie voor een kermis, attractiepark of circus moet voorzien zijn van een aardlekbeveiliging met een nominale aanspreekstroom van ten hoogste 0,3 A. Eindgroepen voor verlichting, contactdozen met een toegekende stroom tot en met 32 A en draagbaar materieel met een toegekende stroom tot 32 A moet aanvullend zijn beveiligd met aardlekschakelaars van maximaal 30 mA (zie bepaling 740.415.1).
- Stroomketens voor materieel voor vloer of plafondverwarming van klasse II moeten zijn beveiligd door een 30 mA aardlekschakelaar (zie bepaling 753.412.1.1).

Leidingen

lichtschakelingen

Voor installaties in woningen geldt voor draden in buis aangebracht en beveiligd door een smeltveiligheid of installatie-automaat van ten hoogste 16 A veelal het volgende:

naam	kleur	doorsnede	aanduiding
fasedraad	bruin	2,5 mm ²	L1, L2, L3
nuldraad	blauw	2,5 mm ²	N
schakeldraad	zwart	1,5 mm ²	
aard- en beschermingsdraad	groen/geel	2,5 mm ²	PE

In onderstaande tabel is het grootste aantal vinyl-draden (VD) vermeld dat in een buis mag worden aangebracht. Het aantal draden is gegeven voor een buis met ten hoogste twee bochten. Bij meer bochten moet de buismaat één trap hoger genomen worden.

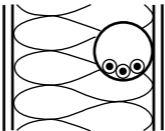
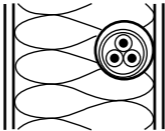

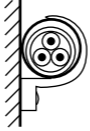

grootste aantal draden per buis


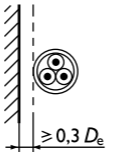
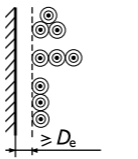
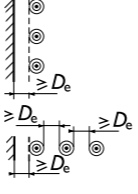
koper- doorsnede in mm ²	schuifbuis		flexibele buis	
	16 mm	19/20 mm	16 mm	19/20mm
1,5	5	6	4	5
2,5	4		3	
4	3	5	2	4
6	2	4	2	3

Gegevens zijn ontleend aan NEN 1010-5.

overzicht van basisinstallatiemethoden

om de bijbehorende toelaatbare stromen te kunnen bepalen (zie NEN 1010-5 hoofdstuk 523)

Basisinstallatiemethode	figuur	tabel
Installatiedraad in buis aangebracht in thermisch geïsoleerde wand		A1
Meeraderige kabel in buis aangebracht in thermisch geïsoleerde wand		A2
Installatiedraad in buis aangebracht tegen een houten wand		B1
Meeraderige kabel in buis aangebracht tegen een houten wand		B2
Eén- of meeraderige kabel aangebracht tegen een houten wand		C

Basisinstallatiemethode	figuur	tabel
<p>Meeraderige kabel in kokers aangebracht in de grond</p>		D
<p>Meeraderige kabel in de vrije lucht</p> <p>Afstand tot een wand niet kleiner dan 0,3 maal de kabelmiddellijn D_e</p>		E
<p>Tegen elkaar gelegde éénaderige kabels in de vrije lucht</p> <p>Afstand tot een wand niet kleiner dan 1 maal de kabelmiddellijn D_e</p>		F
<p>Op afstand gelegde éénaderige kabels in de vrije lucht</p> <p>Onderlinge afstand van kabels en afstand tot wand niet kleiner dan 1 maal de kabelmiddellijn D_e</p>		G

toelaatbare stroom van leidingen

De toelaatbare stroom I van leidingen kan berekend worden met de formule: $I = A \cdot S^m$ met: S = doorsnede in mm^2 (maximaal 630 mm^2) A en m : factoren uit tabel A1 (PVC-isolatie) en A2 (XLPE/EPR-isolatie). Voor de toelaatbare stroom zijn een aantal reductiefactoren van kracht. Verwijzingen zijn in tabel A1 en A2 opgenomen.

Tabel A1: Factoren voor berekening toegestane stroom met PVC-isolatie

Installatiewijze	PVC - koper				PVC-aluminium				reductiefactoren-tabel
	aantal belaste aders = 2		aantal belaste aders = 3		aantal belaste aders = 2		aantal belaste aders = 3		
	A	m	A	m	A	m	A	m	
A1	11,2	0,6118	10,4	0,605	8,61	0,616	7,94	0,612	C, F
A2 ($\leq 120 \text{ mm}^2$)	10,8	0,6015	10,1	0,592	8,361	0,6025	7,712	0,5984	C, F
A2 ($> 120 \text{ mm}^2$)	10,19	0,6118	9,426	0,605	7,84	0,616	7,225	0,612	C, F
B1	13,5	0,625	11,84	0,628	10,51	0,6254	9,265	0,627	C, F
B2	13,1	0,6	11,65	0,6005	10,24	0,5994	9,03	0,601	C, F
C ($\leq 6 \text{ mm}^2$)	15	0,625	13,5	0,625	11,6	0,625	10,5	0,625	C, F
C ($> 6 \text{ mm}^2$)	15	0,625	12,4	0,635	10,55	0,640	9,536	0,6324	C, F
D	17,6	0,551	14,6	0,55	13,5	0,551	11,3	0,55	D, E, G, H
E ($\leq 16 \text{ mm}^2$)	16,8	0,62	14,3	0,62	12,8	0,627	11	0,62	C, F
E ($> 16 \text{ mm}^2$)	14,9	0,646	12,9	0,64	11,4	0,64	9,9	0,64	C, F
F ($\leq 300 \text{ mm}^2$ *)	17,1	0,632	13,28 / 13,75	0,6564 / 0,658	12	0,653	9,9 / 10,2	0,663 / 0,666	C, F
F ($> 300 \text{ mm}^2$ *)	17,1	0,632	-	-	12	0,653	9,9 / 10,2	0,663 / 0,666	C, F
G (horizontaal)	-	-	18,75	0,637	-	-	13,9	0,647	C
G (verticaal)	-	-	15,8	0,654	-	-	11,5	0,668	C

Tabel A2 Factoren voor berekening toegestane stroom met XLPE/EPR-isolatie

installatiewijze	XLPE/EPR - koper				XLPE/EPR - aluminium				reductiefactoren tabel
	aantal belaste aders = 2		aantal belaste aders = 3		aantal belaste aders = 2		aantal belaste aders = 3		
	A	m	A	m	A	m	A	m	
A1	14,9	0,611	13,34	0,611	11,6	0,615	10,9	0,605	C, F
A2 (<120 mm ²)	14,16	0,598	12,95	0,598	11,26	0,602	10,58	0,592	C, F
A2 (>120 mm ²)	13,56	0,611	12,14	0,611	10,56	0,615	9,92	0,605	C, F
B1	17,76	0,625	15,62	0,6252	13,95	0,627	12,3	0,63	C, F
B2	17,25	0,6	15,17	0,6	13,5	0,603	11,95	0,605	C, F
C (<6 mm ²)	18,77	0,628	17	0,623	14,8	0,625	13,5	0,625	C, F
C (>6 mm ²)	17	0,65	15,4	0,635	12,6	0,648	11,5	0,639	C, F
D	20,8	0,548	17,3	0,549	15,8	0,55	13,3	0,551	D, E, G, H
E (<16 mm ²)	20,5	0,627	17,8	0,623	16	0,625	13,7	0,623	C, F
E (>16 mm ²)	18,6	0,64	16,4	0,637	13,4	0,649	12,6	0,635	C, F
F (<300 mm ²) (*)	20,8	0,636	16 / 16,57	0,663 / 0,665	14,7	0,654	11,9 / 12,3	0,671 / 0,673	C, F
F (>300 mm ²) (*)	20,8	0,636	-	-	14,7	0,654	11,9 / 12,3	0,671 / 0,673	C, F
G (horizontaal)	-	-	22,9	0,644	-	-	16,5	0,659	C
G (verticaal)	-	-	19,1	0,662	-	-	13,8	0,676	C

*) In geval van 2 getallen (.../...) geldt m.b.t. de installatiewijze: (3 aders belast in driehoek)/(3 aders belast in één laag tegen elkaar)

Voorbeeld: Een meeraderige PVC-kabel met 3 belaste koperen aders aangebracht in de grond met een doorsnede van 25 mm². Wat is de toelaatbare stroom van deze kabel? De installatiemethode is D. Uit tabel A1 volgt voor 3 belaste aders: A = 14,6, m = 0,55 Dus: de toegestane stroom I = A x S^m = 14,6 x 25^{0,55} = 86 A. Op deze wijze kan de toegestane stroom voor iedere situatie worden berekend. Om een indicatie omtrent de toegestane stroom bij verschillende doorsneden te geven, is in tabel B1 en B2 de band aangegeven waarin deze moet liggen.

Tabel B1: Indicatie toegestane stroom voor koperen geleiders.

kernbor- snede mm ²	PVC: indicatie toelaatbare stroom (A) koper, 2 - 3 belaste aders		XLPE/EPR: indicatie toelaatbare stroom (A) koper, 2 - 3 belaste aders	
	Installatiewijze A1, A2, B1, B2 en D	Installatiewijze C, E en F	Installatiewijze A1, A2, B1, B2 en D	Installatiewijze C, E, F en G
1.5	13 - 22	175 - 22	16.5 - 26	22 - 26
2.5	17.5 - 29	24 - 30	22 - 34	30 - 36
4	23 - 38	32 - 40	30 - 44	40 - 49
6	29 - 47	41 - 51	38 - 56	52 - 63
10	39 - 63	57 - 70	51 - 73	71 - 86
16	52 - 81	76 - 94	68 - 95	96 - 115
25	68 - 104	96 - 146	89 - 121	119 - 182
35	83 - 125	119 - 181	109 - 146	147 - 226
50	99 - 151	144 - 219	130 - 175	179 - 275
70	125 - 192	184 - 281	164 - 221	229 - 353
95	150 - 232	223 - 341	197 - 265	278 - 430
120	172 - 269	259 - 396	227 - 305	322 - 500
150	196 - 309	299 - 456	259 - 349	371 - 577
185	223 - 353	341 - 521	295 - 395	424 - 661
240	261 - 415	403 - 615	346 - 462	500 - 781
300	298 - 477	464 - 709	396 - 529	576 - 902

Opmerking: installatiewijze F en G vanaf 25 mm²

Tabel B2: Indicatie toegestane stroom voor aluminium geleiders.

kerndoorsnede mm ²	PVC: indicatie toelaatbare stroom (A) aluminium, 2 - 3 belaste aders			XLPE/ EPR: indicatie toelaatbare stroom (A) aluminium, 2 - 3 belaste aders		
	Installatiewijze A1, A2, B1, B2 en D	Installatiewijze C, E, F en G	Installatiewijze A1, A2, B1, B2 en D	Installatiewijze A1, A2, B1, B2 en D	Installatiewijze C, E, F en G	Installatiewijze C, E, F en G
2.5	13.5 - 22	18.5 - 23	18 - 26	24 - 28		
4	17.5 - 29	25 - 31	24 - 34	32 - 38		
6	23 - 36	32 - 39	31 - 42	41 - 49		
10	31 - 48	44 - 54	41 - 56	57 - 67		
16	41 - 62	59 - 73	55 - 73	76 - 91		
25	53 - 80	73 - 112	71 - 94	90 - 138		
35	65 - 96	90 - 139	87 - 115	112 - 172		
50	78 - 113	110 - 169	104 - 138	136 - 210		
70	98 - 140	140 - 217	131 - 175	174 - 271		
95	118 - 166	170 - 265	157 - 210	211 - 332		
120	135 - 189	197 - 308	180 - 242	245 - 387		
150	155 - 213	227 - 356	206 - 277	283 - 448		
185	176 - 240	259 - 407	233 - 314	323 - 515		
240	207 - 277	305 - 482	273 - 368	382 - 611		
300	237 - 313	351 - 557	313 - 421	440 - 708		

Opmerking: installatiewijze F en G vanaf 25 mm²

Tabel C: Reductiefactoren voor andere omgevingstemperaturen van lucht dan 30 °C (zie NEN 1010-5 hoofdstuk 523)

Omgevings- temperatuur °C	Isolatiemateriaal			
	PVC	XLPE en EPR	Mineraal ¹⁾	
			Aanraakbaar met of zonder PVC-mantel 70 °C	Niet-aanraakbaar zonder PVC-mantel 105 °C
10	1,22	1,15	1,26	1,14
15	1,17	1,12	1,20	1,11
20	1,12	1,08	1,14	1,07
25	1,06	1,04	1,07	1,04
30	1,00	1,00	1,00	1,00
35	0,94	0,96	0,93	0,96
40	0,87	0,91	0,85	0,92
45	0,79	0,87	0,78	0,88
50	0,71	0,82	0,67	0,84
55	0,61	0,76	0,57	0,80
60	0,50	0,71	0,45	0,75
65	-	0,65	-	0,70
70	-	0,58	-	0,65
75	-	0,50	-	0,60
80	-	0,41	-	0,54
85	-	-	-	0,47
90	-	-	-	0,40
95	-	-	-	0,32

1) Bij hogere omgevingstemperaturen: raadpleeg de leverancier.

Tabel D: Reductiefactoren voor andere temperaturen van de lucht dan 30 °C (zie NEN 1010-5 hoofdstuk 523)

Grondtemperatuur °C	Isolatiemateriaal	
	PVC	XLPE en EPR
10	1,22	1,15
15	1,17	1,12
20	1,12	1,08
25	1,06	1,04
30	1,0	1,00
35	0,94	0,96
40	0,87	0,91
45	0,79	0,87
50	0,71	0,82
55	0,61	0,76
60	0,50	0,71
65	-	0,65
70	-	0,58
75	-	0,50
80	-	0,41

Tabel E: Reductiefactoren voor grond met een warmteweerstandscoefficiënt anders dan 2,5 K.m/W (zie NEN 1010-5 bijlage 52A.3)

Reductiefactor voor	Warmteweerstandscoefficiënt K.m/W						
	0,5	0,8	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
kabel in koper	1,28	1,20	1,18	1,10	1,05	1,00	0,96
kabel direct in de grond	1,88	1,62	1,50	1,28	1,12	1,00	0,90

TOELICHTING

De vermelde reductiefactoren zijn gemiddelde waarden die betrekking hebben op alle afmetingen van kabels en de installatiemethoden genoemd in de tabellen 52-C1 tot en met 52-C4 (NEN 1010-5).

De afwijkingen van de reductiefactoren liggen binnen $\pm 5\%$.

Tabel F. Reductiefactoren voor verzamelingen die bestaan uit meer dan één stroomketen of meer dan één meeraderige kabel (zie NEN 1010-5 tabel A52 - 18)

Item	Configuratie (tegen elkaar gelegde leidringen)	Aantal stroomketens of meeraderige kabels											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20
1	Gebundeld: - in de lucht, op een oppervlak, verzonken of omsloten	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,45	0,41	0,38
2	Enkele laag op wand, vloer of ongeperforeerde kabelbaan	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70	0,69	0,68	0,68
3	Enkele laag aangebracht tegen een houten plafond	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61	0,59	0,58	0,57
4	Enkele laag op een geperforeerde kabelbaan horizontaal of verticaal aangebracht	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72	0,70	0,69	0,68
5	Enkele laag op een ladderbaan of in klampen, enz.	1,00	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78	0,77	0,77	0,77

TOELICHTING zie pagina 59.

toelichting tabel F van pagina 58

- 1) Deze reductiefactoren gelden voor verzamelingen bestaande uit identieke en gelijkbelaste kabels.
- 2) Als de horizontale afstand tussen twee naast elkaar liggende kabels groter is dan twee maal de uitwendige middellijn hoeft geen reductiefactor te worden toegepast.
- 3) Dezelfde reductiefactoren gelden voor groepen met twee of drie éénaderige kabels.
- 4) Als een verzameling bestaat uit zowel twee- als drieadelige kabels wordt het totale aantal kabels gelijk gesteld aan het totale aantal stroomketens. De hierbij behorende reductiefactor wordt dan toegepast op de waarden uit de tabellen voor twee belaste aders voor de tweeadelige kabels en op de waarden voor drie belaste aders voor de drieadelige kabel.
- 5) Als een verzameling bestaat uit N éénaderige kabels mag deze worden behandeld als een verzameling van N/2-stroomketens met twee belaste aders of N/3-stroomketens met drie belaste aders.
- 6) De vermelde reductiefactoren zijn gemiddelde waarden die betrekking hebben op alle kerndoor-snedes en de installatiemethoden genoemd in de NEN 1010-5. De afwijkingen van de vermelde reductiefactoren liggen binnen $\pm 5\%$
- 7) Voor sommige installaties en voor installatie-methoden waarin deze tabel niet voorziet, kan het wenselijk zijn reductiefactoren toe te passen die speciaal zijn berekend.

Tabel G: Reductiefactoren voor meer dan één stroomketen met direct in de grond gelegde kabels (zie NEN 1010-5 tabel A52 - 19)
 Installatiemethode D, één- of meeraderige kabels

Aantal stroomketens	Afstand a tussen stroomketens				
	Geen (tegen elkaar)	Eén kabel middenlijn	12,5 cm	25 cm	50 cm
2	0,75	0,79	0,84	0,87	0,90
3	0,64	0,68	0,75	0,80	0,86
4	0,57	0,62	0,69	0,75	0,82
5	0,52	0,57	0,65	0,72	0,80
6	0,48	0,53	0,62	0,69	0,78
7	0,45	0,51	0,59	0,67	0,76
8	0,43	0,48	0,57	0,65	0,75
9	0,41	0,46	0,55	0,63	0,74
12	0,36	0,42	0,51	0,59	0,71
16	0,32	0,38	0,47	0,56	0,68
20	0,29	0,35	0,44	0,53	0,66

Tabel H1: Reductiefactoren voor meer dan één stroomketen met één kabel per in de grond gelegde koker (zie NEN 1010-5 tabel A52 - 20)
 Installatiemethode D, één meeraderige kabel per koker

Aantal kokers	Afstand a tussen kokers			
	Geen (kokers raken elkaar)	25 cm	50 cm	100 cm
2	0,85	0,91	0,94	0,96
3	0,76	0,86	0,89	0,93
4	0,70	0,82	0,86	0,92
5	0,65	0,80	0,84	0,90
6	0,61	0,78	0,82	0,89
7	0,57	0,76	0,80	0,88
8	0,54	0,74	0,78	0,88
9	0,52	0,73	0,77	0,87
10	0,49	0,72	0,76	0,86
11	0,47	0,70	0,75	0,86
12	0,45	0,69	0,74	0,85
13	0,44	0,68	0,73	0,85
14	0,42	0,68	0,72	0,84
15	0,41	0,67	0,72	0,84
16	0,39	0,66	0,71	0,83
17	0,38	0,65	0,70	0,83
18	0,37	0,65	0,70	0,83
19	0,35	0,64	0,69	0,82
20	0,34	0,63	0,68	0,82

Toelichting

Bij toepassing van metalen kokers kunnen aanzienlijke extra reducties noodzakelijk zijn (zie 523.0).

Tabel H2: Reductiefactoren voor meer dan één stroomketen met één kabel per in de grond gelegde koker (zie NEN 1010-5 tabel A52 - 21)
 Installatiemethode D, één éénaderige kabel per koker

Aantal stroomketens bestaande uit twee of drie kokers	Afstand a tussen kokers			
	Geen (kokers raken elkaar)	25 cm	50 cm	100 cm
2	0,82	0,88	0,91	0,95
3	0,72	0,81	0,86	0,92
4	0,66	0,76	0,82	0,91
5	0,61	0,72	0,80	0,89
6	0,57	0,68	0,78	0,88
7	0,53	0,66	0,76	0,87
8	0,50	0,63	0,74	0,87
9	0,47	0,61	0,73	0,86
10	0,45	0,59	0,72	0,85
11	0,43	0,57	0,70	0,85
12	0,41	0,56	0,69	0,84
13	0,39	0,54	0,68	0,84
14	0,37	0,53	0,68	0,83
15	0,35	0,52	0,67	0,83
16	0,34	0,51	0,66	0,83
17	0,33	0,50	0,65	0,82
18	0,31	0,49	0,65	0,82
19	0,30	0,48	0,64	0,82
20	0,29	0,47	0,63	0,81

Toelichting

Bij toepassing van metalen kokers kunnen aanzienlijke extra reducties noodzakelijk zijn.

**verband tussen ontwerpstroom van een stroomketen,
de toelaatbare stroom van de leiding en de nominale
stroom van de smeltveiligheid**

Nominale stroom patroon (A)	Hoogst toelaatbare stroom van de leiding [A] volgens NEN 1010-5	
	Diazed-patronen volgens NEN 3241	gG-patronen volgens NEN-HD-IEC 60269
2	2,90	2,90
4	5,79	5,79
6	7,86	7,86
8	-	10,5
10	13,1	13,1
12	-	15,7
16	19,3	17,7
20	24,1	22,1
25	30,2	27,6
32	-	35,3
35	38,6	-
40	-	44,1
50	55,2	55,2
63	69,5	69,5
80	88,3	88,3
100	110	110
125	138	138
160	177	177
200	221	221
250	-	276
315	-	348
400	-	441
500	-	552
630	-	695
800	-	883
1000	-	1103
1250	-	1379

maximale lengte van leidingen

Maximale lengte, in m, van tegen kortsluiting beveiligde leidingen
(zie NEN 1010-5 bepaling 533.3)

Isolatiemateriaal: XLPE, ERP of PVC³⁾

Kernmateriaal: koper⁶⁾

Sluiting: tussen een fase en de nul (5s)⁴⁾⁵⁾

Spanning tussen fase en nul (U_b): 230 V

S mm ²	Nominale stroom van gG-smeltpatronen A											
	2	4	6	10	16	20	25	32	40	50	63	80
1,5	647	320	209	122	76	59 ³⁾	2 ²⁾	2 ²⁾	2 ²⁾	2 ²⁾	2 ²⁾	2 ²⁾
2,5	1)	525	345	206	134	108	80	54 ³⁾	2 ²⁾	2 ²⁾	2 ²⁾	2 ²⁾
4	1)	845	557	334	220	180	137	97	73	51 ³⁾	2 ²⁾	2 ²⁾
6	1)	1)	835	502	332	273	209	151	117	86	63 ³⁾	2 ²⁾
10	1)	1)	1)	847	562	462	356	260	204	153	117	85
16	1)	1)	1)	1)	895	737	569	416	328	248	192	142
25	1)	1)	1)	1)	1)	1)	901	660	521	395	308	230
35	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	917	723	549	428	322
50	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	980	745	581	437
70	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	840	632
95	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	878

Zie toelichting pagina 65.

S ₂ mm ²	Nominale stroom van gG-smeltpatronen												
	A												
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	
10	57 ³⁾	79 ²⁾	97 ²⁾	103 ²⁾	107 ²⁾	116 ²⁾	126 ²⁾	139 ²⁾	156 ²⁾	174 ²⁾	195 ²⁾	220 ²⁾	
16	101	133	167	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	
25	167	213	271	335	415	510	630	780	970	1200	1500	1800	
35	234	300	380	470	580	720	890	1100	1370	1700	2100	2600	
50	319	405	510	630	780	970	1200	1500	1870	2350	2900	3600	
70	462	585	740	910	1120	1390	1720	2150	2680	3350	4150	5150	
95	643	810	1030	1280	1580	1950	2400	2950	3650	4500	5600	6900	
120	812	1030	1310	1640	2030	2500	3080	3780	4650	5750	7100	8700	
150	871	1110	1410	1760	2200	2750	3400	4200	5150	6300	7750	9500	
185	1100	1380	1730	2150	2680	3350	4150	5100	6200	7550	9200	11200	
240	1400	1750	2200	2750	3400	4200	5150	6250	7600	9250	11200	13800	
300	1750	2200	2750	3400	4200	5150	6250	7600	9250	11200	13800	17000	
400	2300	2900	3650	4500	5500	6700	8150	9900	12000	14500	17800	22000	
500	2900	3650	4550	5600	6800	8300	10000	12100	14700	17800	22000	27500	
630	3600	4500	5600	6800	8300	10000	12100	14700	17800	22000	27500	34000	
800	4600	5700	7000	8600	10500	12800	15600	19000	23200	28500	35000	43000	
1000	5900	7300	8900	10900	13300	16200	19800	24200	29500	36000	44000	54000	

Zie toelichting pagina 65.

- 1) De lengte is groter dan 1000 m, maar de waarde is niet opgenomen in deze tabel. Dit geldt ook voor grotere doorsneden die niet zijn opgenomen in de tabel.
- 2) De leiding wordt overbelast omdat $I^2t > k^2S^2$.
- 3) De waarden in de tabel die zijn voorzien van noot³⁾ zijn niet toepasbaar voor leidingen met isolatie van PVC omdat de leidingen worden overbelast.
- 4) Een vermenigvuldigingsfactor 1,73 mag worden toegepast bij het bepalen van de maximale lengte van tegen kortsluiting beveiligde leidingen van driefasenstroomketens zonder nul met een spanning van 400 V tussen de fasen indien kortsluiting tussen fase-beschermingsleiding of fase-aarde niet mogelijk is. Dit geldt voor stroomstelsels in ster- of in driehoekschakeling.
- 5) Voor de maximale lengte van tegen kortsluiting beveiligde leidingen van driefasenstroomketens met nul met een spanning van 230/400 V en een nul met halve doorsnede geldt een vermenigvuldigingsfactor 0,67.
- 6) Voor leidingen met kernen van aluminium moet de in de tabel aangegeven lengte zijn vermenigvuldigd met een factor 0,40.

Toelichting:

De tabellen gelden niet voor éénaderige kabels.

Nominale stroom van installatie-automaten type B volgens NEN-EN-IEC 60898												
A												
S	6	10	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125
mm ²												
1,5	199	119	74	59	47	37	29	23	18	14	11	8 ³⁾
2,5	324	195	122	97	78	61	48	39	30	24	19	15
4	521	313	195	156	125	98	78	62	49	39	31	24
6	781	468	293	234	187	146	117	94	74	58	47	37
10	)	788	493	394	315	246	197	158	125	98	79	63
16	)	)	784	627	502	392	314	251	199	157	125	100
25	)	)	)	992	794	620	496	397	315	248	198	159
35	)	)	)	)	)	860	688	551	437	344	275	220
50	)	)	)	)	)	)	932	745	592	466	373	298
70	)	)	)	)	)	)	)	)	854	673	538	431
95	)	)	)	)	)	)	)	)	)	934	747	598
120	)	)	)	)	)	)	)	)	)	)	943	754
150	)	)	)	)	)	)	)	)	)	)	)	809
185	)	)	)	)	)	)	)	)	)	)	)	970

Zie toelichting pagina 67.

Maximale lengte, in m, van tegen kortsluiting beveiligde leidingen (zie NEN 1010-5 bepalingen 533.3)

Isolatiemateriaal: XLPE, EPR of PVC³⁾ Kernmateriaal: koper⁵⁾

Sluiting: 1) tussen een fase en de nul (0,1s)⁶⁾)

2) tussen een fase en de beschermingsleiding (0,1 s)⁷⁾)⁸⁾

Spanning: 1) tussen fase en nul (U_n): 230 V

2) tussen fase en beschermingsleiding: 230 V

- 1) De lengte is groter dan 1000 m, maar de waarde is niet opgenomen in deze tabel. Dit geldt ook voor grotere doorsneden die niet zijn opgenomen in de tabel.
- 2) De leiding wordt overbelast omdat $I^2t > k^2S^2$.
- 3) De waarden in de tabel die zijn voorzien van noot 3) zijn niet toepasbaar voor leidingen met isolatie van PVC omdat de leidingen worden overbelast.
- 4) Een vermenigvuldigingsfactor 1,73 mag worden toegepast bij het bepalen van de maximale lengte van tegen kortsluiting beveiligde leidingen van driefasenstroomketens zonder nul met een spanning van 400 V tussen de fasen indien kortsluiting tussen fase-beschermingsleiding of fase-aarde niet mogelijk is. Dit geldt voor stroomstelsels in ster- of in driehoekschakeling.
- 5) Voor de maximale lengte van tegen kortsluiting beveiligde leidingen van driefasen stroomketens met een spanning van 230/400 V en een kleinere doorsnede van de nul met halve doorsnede geldt een vermenigvuldigingsfactor 0,67.
- 6) Voor leidingen met kernen van aluminium moet de in de tabel aangegeven lengte zijn vermenigvuldigd met een factor 0,40.
- 7) De beschermingsleiding heeft een doorsnede die gelijk is aan de doorsnede van de fase.
- 8) Indien de beschermingsleiding een doorsnede heeft die de helft is van de doorsnede van de fase overeenkomstig NEN 1010 tabel 54F, moet de lengte zijn vermenigvuldigd met een factor 0,67.
- 9) Voor installatieautomaten type C en type D geldt een vermenigvuldigingsfactor van respectievelijk 0,5 en 0,25.

Toelichting:

De tabellen gelden niet voor éénaderige kabels.

S	Nominale stroom van gG-smeltpatronen A											
	2	4	6	10	16	20	25	32	40	50	63	80
mm ²												
1,5	368	187	126	73	53	39	30	20	16 ³⁾	2 ²⁾	2 ²⁾	2 ²⁾
2,5	601	305	207	120	88	65	51	35	30	19	14 ⁵⁾	2 ²⁾
4	966	490	333	193	142	105	84	58	49	33	26	16 ³⁾
6	)	734	498	289	213	158	126	88	75	51	41	26
10	)	)	838	486	358	266	213	148	127	87	70	47
16	)	)	)	774	570	424	339	236	202	139	112	76
25	)	)	)	)	902	670	536	374	320	220	178	120
35	)	)	)	)	)	930	744	519	444	306	248	167
50	)	)	)	)	)	)	)	703	601	414	336	227
70	)	)	)	)	)	)	)	)	868	598	485	328
95	)	)	)	)	)	)	)	)	)	830	673	456
120	)	)	)	)	)	)	)	)	)	)	849	575
150	)	)	)	)	)	)	)	)	)	)	911	617
185	)	)	)	)	)	)	)	)	)	)	)	740
240	)	)	)	)	)	)	)	)	)	)	)	933

Maximale lengte, in m, van tegen aardsluiting beveiligde leidingen
(zie NEN 1010-5 bepaling 533.3 en bijlage 53A)

Isolatiemateriaal: XLPE, ERP of PVC³⁾

Kernmateriaal: koper⁶⁾

Sluiting: tussen een fase en de beschermingsleiding (0,4s)⁷⁾⁸⁾

Spanning tussen fase en beschermingsleiding: 230 V

S mm ²	Nominale stroom van gG-smeltpatronen A											
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250
6	20	)³⁾) ²⁾) ²⁾) ²⁾) ²⁾) ²⁾) ²⁾) ²⁾) ²⁾) ²⁾) ²⁾
10	36	25	21	)²⁾) ²⁾) ²⁾) ²⁾) ²⁾) ²⁾) ²⁾) ²⁾) ²⁾
16	59	42	35	22	18 ³⁾) ²⁾) ²⁾) ²⁾) ²⁾) ²⁾) ²⁾) ²⁾
25	94	68	57	37	31	21	15 ³⁾) ²⁾) ²⁾) ²⁾) ²⁾) ²⁾
35	131	94	80	53	45	31	23	16 ²⁾) ²⁾) ²⁾) ²⁾) ²⁾
50	177	128	109	72	61	44	32	24	17 ²⁾) ²⁾) ²⁾) ²⁾
70	256	185	158	106	89	64	48	36	26	17 ²⁾) ²⁾) ²⁾
95	356	257	220	146	124	89	67	50	38	25	20	)²⁾
120	449	325	277	185	157	113	85	64	49	33	27	17 ²⁾
150	482	349	297	198	168	122	91	69	53	36	30	19
185	578	418	357	238	202	146	110	83	64	44	36	24
240	729	528	450	300	255	184	139	105	80	56	46	31
300	879	637	543	362	308	222	168	127	97	68	56	37
400	)¹⁾	756	645	430	365	264	199	151	116	81	67	45
500	)¹⁾	937	799	533	453	327	247	187	144	100	84	56
630	)¹⁾) ¹⁾	937	625	531	384	290	220	168	118	98	66
800	)¹⁾) ¹⁾) ¹⁾	731	622	449	339	257	197	138	115	77
1000	)¹⁾) ¹⁾) ¹⁾	869	738	534	403	305	234	164	137	92

- De lengte is groter dan 1000 m, maar de waarde is niet opgenomen in deze tabel. Dit geldt ook voor grotere doorsneden die niet in de tabel zijn opgenomen.
- De leiding wordt overbelast omdat $\hat{I}t > k^2 S^2$.
- De waarden in de tabel die zijn voorzien van noot ³⁾ zijn niet toepasbaar voor leidingen met isolatie van PVC omdat de leidingen worden overbelast.
- Voor leidingen met kernen van aluminium moet de in de tabel aangegeven lengte zijn vermenigvuldigd met een factor 0,40.
- De beschermingsleiding heeft een doorsnede die gelijk is aan de doorsnede van de fase.
- Indien de beschermingsleiding een doorsnede heeft die de helft is van de doorsnede van de fase overeenkomstig NEN 1010 tabel 54F, moet de lengte zijn vermenigvuldigd met een factor 0,67. **Toelichting** De tabellen gelden niet voor éénaderige kabels.

spanningsverlies in leidingen

spanningsverlies (ΔU) in leidingen

$$\text{3-fasen: } \Delta U = \sqrt{3} \cdot I \cdot l \left[\frac{\rho}{A} \cos \varphi + X \sin \varphi \right] \quad \text{V}$$

$$\text{1-fase: } \Delta U = 2 \cdot I \cdot l \left[\frac{\rho}{A} \cos \varphi + X \sin \varphi \right] \quad \text{V}$$

minimale geleiderdoorsnede (A_{\min}) bij 4% spanningsverlies

$$\text{3-fasen: } A_{\min} = \frac{\sqrt{3} \cdot I \cdot l \cdot \rho \cdot \cos \varphi}{0,04 \cdot U - \sqrt{3} \cdot I \cdot l \cdot X \cdot \sin \varphi} \times 10^6 \text{ mm}^2$$

$$\text{1-fase: } A_{\min} = \frac{2 \cdot I \cdot l \cdot \rho \cdot \cos \varphi}{0,04 \cdot U - 2 \cdot I \cdot l \cdot X \cdot \sin \varphi} \times 10^6 \text{ mm}^2$$

procentueel vermogensverlies (p) in leidingen

$$\text{3-fasen: } p = \frac{100 \cdot l \cdot \rho \cdot P}{A \cdot U^2 \cdot \cos^2 \varphi} \%, \quad \text{1-fase: } p = \frac{100 \cdot l \cdot \rho \cdot P}{A \cdot U^2 \cdot \cos^2 \varphi} \%$$

l = enkele lengte van de leiding in m

A = doorsnede van de geleider in m^2

I = stroomsterkte in de leiding in A

ρ = soortelijke weerstand in Ωm

(koper: $1,83 \cdot 10^{-8}$, aluminium: $3,08 \cdot 10^{-8}$)

X = reactantie van de leiding per meter; bedraagt voor laagspanningleidingen $0,08 \text{ m}\Omega/\text{m}$

P = overgebracht vermogen in W

U = bedrijfsspanning, voor tweegeleiderinstallaties tussen beide geleiders, voor driegeleidergelijkstroominstallaties tussen de buitenste geleiders, voor 3-fasen installaties tussen de fasen

ΔU = spanningsverlies

p = procentueel vermogensverlies

TTA- en PTTA- schakel- en verdeelinrichtingen

De NEN-EN-IEC 60439-1 maakt onderscheid tussen TTA-(type tested assemblies) en PTTA-(partially type tested assemblies) verdeelsystemen.

De NEN-EN-IEC 60439-3 (verdeelsystemen geschikt voor elektrotechnisch ongeschoold personeel) maakt dit onderscheid niet en vereist een TTA-verdeelsysteem.

De verschillen tussen TTA en PTTA komen tot uiting in de uit te voeren testen en in de verdeling van de verantwoordelijkheden.

Bij een TTA-verdeelsysteem zijn zowel het totale verdeelsysteem alsmede alle afzonderlijke functionele delen door de fabrikant beproefd en onderbouwd volgens de eisen van de NEN-EN-IEC 60439-1. Dit wil echter niet zeggen dat alleen de fabrikant deze systemen mag samenbouwen. Een assembleur van verdeelsystemen kan met de aanwijzingen van de fabrikant zelf een verdeelsysteem samenbouwen dat bestaat uit functionele TTA-delen. Na samenbouw hoeft de assembleur alleen enkele in de NEN-EN-IEC 60439-1 gespecificeerde testen uit te voeren om te verifiëren of de uiteindelijke samenbouw aan de eisen voldoet.

Een PTTA-systeem wordt opgebouwd uit type-gekeurde functionele delen en losse componenten. Dit heeft als voordeel dat de assembleur een grotere vrijheid heeft bij het samenbouwen maar daar staat tegenover dat de assembleur ook de verantwoordelijkheid voor de samenbouw moet dragen.

De assembleur zal bij een PTTA-systeem door middel van berekeningen en testen moeten onderbouwen dat het door hem samengebouwde systeem aan de eisen van NEN-EN-IEC 60439-1 voldoet. De kwaliteit van deze onderbouwing hangt af van de kwaliteit van de door de fabrikant van de componenten verstrekte informatie en van de kennis en kunde van de assembleur.

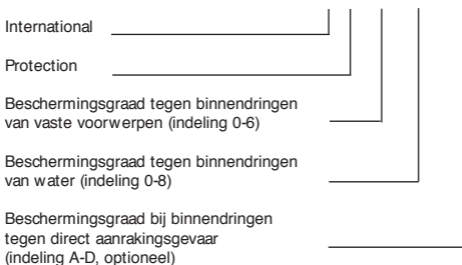
Een praktisch voorbeeld van een verschil in het werken met TTA- en PTTA-systemen is de keuze van de interne bedrading. Bij een PTTA-systeem kan de assembleur kiezen voor een grote dichtheid van warmtegenererende componenten. Om bij deze dichtheid de temperatuurstijgingen van de apparatuur aan de eisen van NEN-EN-IEC 60439-1 te laten voldoen, kan het zijn dat grotere draaddoorsneden dan in de NEN-EN-IEC 60439-1 zijn aanbevolen, gebruikt moeten worden. De keuze van de draaddoorsneden en de keuze van de isolatiematerialen zijn nu de verantwoordelijkheid van de assembleur.

Bij TTA-systemen heeft de fabrikant de bedrading van de functionele delen al aangebracht en geeft hij in de documentatie aan welke functionele delen gecombineerd kunnen worden. Op deze wijze heeft de assembleur iets minder vrijheid in de samenbouw maar hoeft zich daarentegen niet bezig te houden met de keuze van de juiste interne bedrading van de functionele delen.

IP-Beschermingsgraden

IP staat voor International Protection Rating. Met deze codering wordt de mate van bescherming aangegeven, die elektrisch materieel biedt tegen het binnendringen van vocht en vaste voorwerpen en tegen direct aanrakingsgevaar.

De codering wordt als volgt aangegeven: I P 0-6 0-8 (A-D)



eerste ken-cijfer	beschermingsgraad		
	beknopte beschrijving	IP-aanduiding	benaming
0	niet beschermd	IP 0X(X)	
1	beschermd tegen binnendringen van een bol Ø 50 mm	IP 1X(X)	
2	beschermd tegen binnendringen van een bol Ø 12,0 mm	IP 2X(X)	aanrakingsveilig
3	beschermd tegen binnendringen van een draad Ø 2,5 mm	IP 3X(X)	
4	beschermd tegen binnendringen van een draad Ø 1 mm	IP 4X(X)	
5	beschermd tegen binnendringen van stof	IP 5X(X)	stofvrij
6	beschermd tegen binnendringen van stof bij onderdruk	IP 6X(X)	stofdicht

tweede kencijfer	beschermingsgraad			
	beknopte beschrijving	IP-aanduiding	benaming	opmerking
0	niet beschermd	IP X0(X)	gewoon	
1	beschermd tegen druppelend water	IP X1(X)	druipwater dicht	
2	beschermd tegen druppelend water bij een schuine stand tot 15°	IP X2(X)		
3	beschermd tegen sproeiend water	IP X3(X)	regenwaterdicht	
4	beschermd tegen opspattend water	IP X4(X)	spatwaterdicht	
5	beschermd tegen waterstralen	IP X5(X)	sputwaterdicht	
6	beschermd tegen stortzeeën	IP X6(X)		
7	beschermd tegen onderdompeling	IP X7(X)	waterdicht	onderdompeling 1 meter diep, 30 min. lang
8	beschermd tegen verblijf onder water	IP X8(X)	drukwaterdicht	onderdompeling, diepte en tijd nader overeen te komen

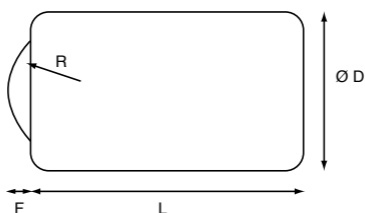
derde ken- teken	beschermingsgraad		
	beknopte beschrijving	IP- aanduiding	benaming
A	beschermd tegen direct aanrakingsgevaar bij binnendringing van een bol Ø 50 mm	IP XXA	
B	beschermd tegen direct aanrakingsgevaar bij binnendringing van een gelede testvinger Ø 12 mm	IP XXB	aanrakingsveilig
C	beschermd tegen direct aanrakingsgevaar bij binnendringing van een rechte draad Ø 2,5 mm met een lengte van 10 cm	IP XXC	
D	beschermd tegen direct aanrakingsgevaar bij binnendringing van een rechte draad Ø 1 mm met een lengte van 10 cm	IP XXD	

Voor de volledige omschrijvingen en beproevingsmethoden zie NEN 10529

IK-beschermingsgraden

De IK-graad (volgens NEN-EN 50102 en IEC 62262) geeft de slagvastheid van een behuizing of omhulling aan. De minimale slagvastheid bedraagt IK01 en de maximale slagvastheid bedraagt IK10. De slagvastheid wordt o.a. vastgesteld door verschillende gewichten van verschillende hoogtes op de kwetsbaarste delen van een behuizing of omhulling te laten vallen.

Het gewicht dat daarbij wordt gebruikt heeft de volgende vorm.



Figuur 1: Slaggewicht

De maten voor R, L, F en D verschillen per IK-graad.

Onderstaande tabel toont per IK-graad de massa van het gewicht, de valhoogte en de resulterende inslagenergie.

	IK-graad					
	IK01 – IK05	IK06	IK07	IK08	IK09	IK10
Massa [kg]	-	0,5	0,5	1,7	5,0	5,0
Hoogte [mm]	-	200	400	295	200	400
Energie [J]	<1	1	2	5	10	20

De IK-graad maakt op het moment van het verschijnen van dit boekje nog geen onderdeel uit van de norm voor schakel- en verdeelinrichtingen NEN-EN-IEC 60439. Verwachting is dat dit echter binnen enkele jaren wel het geval is.

gelijktijdigheidsfactor NEN-EN-IEC 60439

De norm NEN-EN-IEC 60439 kent een tabel waarin de gelijktijdigheidsfactor wordt vermeld. Deze factor is afhankelijk van het aantal 'hoofdstroomketens' (afgaande groepen of velden) per kast. Het betreft tabel 1 van bepaling 4.7 met als toelichting:

“De nominale waarde van de gelijktijdigheidsfactor van een stroomketen van een schakel- en verdeelinrichting of van een deel van een schakel- en verdeelinrichting dat meer dan één hoofdstroomketen bevat (bijvoorbeeld een sectie of deelsectie) is de verhouding van de som van alle op een willekeurig tijdstip te verwachten stromen in de desbetreffende hoofdstroomketens, tot de som van de nominale stromen van alle hoofdstroomketens van de schakel- en verdeelinrichting of het beschouwde deel van de schakel- en verdeelinrichting”.

Indien de fabrikant een nominale waarde van de gelijktijdigheidsfactor opgeeft, moet deze waarde worden toegepast bij de verwarmingsproef volgens NEN-EN-IEC 60439, bepaling 8.2.1.

N.B. Indien geen gegevens over de werkelijke stromen voorhanden zijn, kunnen de volgende afgesproken waarden worden toegepast volgens NEN-EN-IEC 60439-1

Aantal hoofdstroomketens	gelijktijdigheidsfactor
2 en 3	0,9
4 en 5	0,8
6 t/m 9	0,7
10 en meer	0,6

volgens NEN-EN-IEC 60439-3

Aantal hoofdstroomketens	gelijktijdigheidsfactor
2 en 3	0,8
4 en 5	0,7
6 t/m 9	0,6
10 en meer	0,5

aansluitdoorsnede van voedingsvelden en afgaande velden bij schakel- en verdeelinrichtingen

Voor de aansluitdoorsneden van voedingsvelden en afgaande velden blijkt men in de praktijk veelal de NEN 1010 te hanteren. De belastbaarheid van kabels volgens de tabellen in de NEN 1010 heeft echter alleen betrekking op de toelaatbare belasting van de kabels zelf en houdt geen rekening met de apparatuur waarop deze kabels worden aangesloten. Voor het bepalen van de aansluitdoorsneden voor voedings- en afgaande velden, dient men uit te gaan van de in NEN-EN-IEC 60439 aangegeven doorsneden, tenzij door de fabrikant andere doorsneden zijn aanbevolen. Bij het bepalen van de maximale toelaatbare belastingsstromen wordt ook door de fabrikant uitgegaan van deze aangegeven doorsneden. Indien men bij het aansluiten alleen NEN 1010 raadpleegt, loopt men onder bepaalde omstandigheden het gevaar, met te kleine doorsneden aan te sluiten, waardoor te hoge temperatuurstijgingen kunnen ontstaan.

Nom. stroom A	aanbevolen doorsnede volgens NEN-EN- IEC 60439 (koper) kabel mm ²	indicatie doorsnede volgens NEN 1010 ¹⁾ (koper)	
		installatiewijze A, B en D	installatiewijze C, E, F, G
		kabel mm ²	kabel mm ²
0 - 8	1,0	1,5	1,5
8 - 12	1,5	1,5	1,5
12 - 20	2,5	1,5 - 2,5	1,5
20 - 25	4,0	2,5 - 4	2,5
25 - 32	6,0	4 - 6	4
32 - 50	10	6 - 16	6
50 - 65	16	10 - 25	10 - 16
65 - 85	25	16 - 35	16
85 - 115	35	25 - 50	25
115 - 150	50	35 - 70	35
150 - 175	70	50 - 120	35 - 50
175 - 225	95	70 - 150	50 - 70
225 - 250	120	95 - 185	70 - 95
250 - 275	150	120 - 240	95 - 120
275 - 350	185	150 - 300	95 - 120
350 - 400	240	185 - 300	120 - 150

1) Als voorbeeld: keuze NEN 1010-tabel is mede afhankelijk van de werkwijze van aanleg en de soort kabel.

wartelmaten

Grootte	te boren gat	leiding diameter	type
Pg 7	13 mm	3,5 - 6 mm	E 407
Pg 9	16 mm	6 - 8 mm	E 409
Pg 11	19 mm	8 - 10 mm	E 411
Pg 13,5	21 mm	10 - 12 mm	E 413
Pg 16	23 mm	12 - 14 mm	E 416
Pg 21	29 mm	14 - 18 mm	E 421
Pg 29	30 mm	18 - 24 mm	E 429
Pg 36	48 mm	24 - 30 mm	E 436
Pg 42	55 mm	30 - 35 mm	E 442
Pg 48	60 mm	35 - 40 mm	E 448

Aandraaimomenten t.b.v. elektrische verbindingen

Verbindingen d.m.v. zeskantbouten, kwaliteit min. 5.6

draaddiameter	M6	M8	M10	M12	M16
sleutelwijdte mm	sw 10	sw 13	sw 17	sw 19	sw 24
aandraaimoment Nm	7,0	14,0	28,0	40,0	60,0

Verbindingen d.m.v. binnenzeskantbouten met grote kop, kwaliteit min. 8.8

draaddiameter	M5	M6	M8	M10	M12
sleutelwijdte mm	sw 4	sw 5	sw 6	sw 8	sw 10
aandraaimoment Nm	7,0	9,0	20,0	40,0	60,0

Verbindingen d.m.v. binnenzeskantbouten met kleine kop, kwaliteit min. 8.8

draaddiameter	M6	M8	M10	M12
sleutelwijdte mm	sw 4	sw 5	sw 6	sw 8
aandraaimoment Nm	7,0	9,0	20,0	40,0

Verbindingen d.m.v. binnenzeskantbouten zonder kop, kwaliteit min. 8.8

draaddiameter	M8	M10	M12	M16
sleutelwijdte mm	sw 4	sw 5	sw 6	sw 8
aandraaimoment Nm	7,0	9,0	20,0	40,0

Inschakelstromen

Bij het inschakelen van elektrische apparatuur kunnen hoge piekstromen optreden. Apparatuur waarbij deze hoge inschakelstromen optreden, kan in de volgende groepen worden verdeeld:

- gloeilampen;
- TL-verlichting en spaarlampen;
- motoren en transformatoren;
- capaciteiten (bijvoorbeeld voor $\cos \varphi$ -compensatie);
- apparatuur met schakelende voedingen.

gloeilampen

De gloeidraad van een gloeilamp is eigenlijk een weerstandsdraadje dat in koude toestand een veel lagere weerstand heeft dan in warme toestand. Bij het inschakelen van gloeilampen kunnen piekstromen van maximaal $20 \cdot I_n$ optreden die in ca. 10 ms uitdempen.

TL-verlichting en spaarlampen

De buffercondensator die bij dit soort verlichting aanwezig is, is verantwoordelijk voor de hoge inschakelstromen. De hoogte van deze inschakelstroom hangt af van het kortsluitvermogen van het net en de grootte van de buffercondensator. De maximale inschakelstroom wordt bij 20% demping in de eerste 10 ms bij benadering gegeven door:

$$\hat{I}_{\text{insch}} \approx 0,8 \sqrt{\frac{C_{\text{buf}} \cdot \hat{U}^2}{L_{\text{net}}^*}}$$

Normale waarden voor de buffercondensatoren in TL-verlichting hebben een capaciteit van ongeveer $5 \mu\text{F}$ per TL. Voor spaarlampen zijn deze buffercondensatoren iets kleiner en hebben een waarde in de orde van $1 \mu\text{F}$. De inschakelstromen van dit soort verlichting dempt in ca. 10 ms uit.

* L_{net} = Inductiviteit van de netvoeding

motoren

De aanloopstroom van motoren zowel in amplitude als in tijd hangt af van de opbouw van de motor, het aanloopkoppel en de belasting. Men moet in praktijk echter wel rekening houden met aanloopstromen van 10 maal I_n .

transformatoren

De inschakelstromen van transformatoren worden ook wel inrushstromen genoemd. Deze inrushstromen worden veroorzaakt door het in verzadiging gaan van de kern van de transformator. De hoogte van deze inrushstromen hangt af van:

- de vorm, opbouw en het materiaal van de kern;
- het moment van inschakelen op de sinusvormige spanning;
- de aanwezigheid van remanentie.

De inrushstromen kunnen een amplitude hebben die enkele tientallen malen groter is dan de nominaalstromen en kunnen enkele seconden duren.

capaciteiten

Bij capaciteiten hangt de inschakelstroom af van de grootte van de capaciteit en van het kortsluitvermogen van het net en natuurlijk van het moment van inschakeling. Een schatting van de maximale waarde van de inschakelstromen van capaciteiten kan weer gemaakt worden met:

$$\hat{I}_{\text{insch}} \approx 0,8 \sqrt{\frac{C_{\text{buf}} \cdot \hat{U}^2}{L_{\text{net}}}}$$

Bij het zogenaamde back to back-schakelen van capaciteiten voor $\cos \varphi$ -compensatie moet er opgelet worden daar er nu een verwaarloosbare demping is i.p.v. de 20% in de formule en wat nog belangrijker is, L_{net} is erg klein waardoor zeer grote inschakelstromen kunnen optreden.

apparatuur met geschakelde voedingen

Computers, TV's, geluidinstallaties en aanverwante apparatuur worden meestal gevoed via schakelende voedingen. In apparatuur met geschakelde voedingen bevindt zich vaak een buffercondensator aan de netzijde. Dus de effecten die bij het inschakelen van capaciteiten optreden, treden ook hier weer op. In kleine geschakelde voedingen (tot ca. 500 W) wordt in het algemeen niets gedaan om de inschakelstromen te beperken en moet men rekening houden met inschakelstromen die een factor 400 maal zo hoog zijn dan de nominaalstroom. Deze inschakelstromen dempen over het algemeen in 1 tot enkele milliseconden uit.

Voor de grotere schakelende voedingen (denk bijvoorbeeld ook aan frequentiegeregelde elektro-motoren) moet men noodgedwongen maatregelen nemen om de inschakelstromen te beperken. De hoogte van de inschakelstroom hangt dan af van het ontwerp van de voeding maar zal in verhouding tot de nominaalstroom beduidend lager zijn dan het geval is bij de kleine schakelende voedingen.

Motoren

Stroomsterkte van motoren en generatoren

a. eenfasewisselstroommotoren

$$I = \frac{1000 P_{\text{kW}} \cdot \sqrt{3}}{U_n \cdot \cos \varphi \cdot \eta} \text{ A}$$

b. draaistroommotoren

$$I = \frac{1000 P_{\text{kW}}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi \cdot \eta} \text{ A}$$

c. gelijkstroommotoren

$$I = \frac{1000 P_{\text{kW}}}{U_g \cdot \eta} \text{ A}$$

d. sleepingmotoren (rotorstroom)

$$I = \frac{636 P_{\text{kW}}}{U_r} \text{ A}$$

e. draaistroomgeneratoren

$$I = \frac{1000 S_{\text{kVA}}}{\sqrt{3} \cdot U_n} \text{ A}$$

I = stroomsterkte in A, behorende bij een bepaalde belasting

U_n = nominale spanning in V tussen twee fasen

U_g = gelijkspanning

U_r = rotorspanning in V, gemeten tussen twee sleepingen bij stilstand

P_{kW} = afgegeven vermogen van de machine in kW

$\cos \varphi$ = arbeidsfactor van de motor, behorende bij een bepaalde belasting

η = rendement van de motor, behorende bij een bepaalde belasting

S_{kVA} = nominale vermogen generator

Motorstroom van draaistroommotoren

(n = 1500 omw/min)

Motorvermogen		Motorstroom (A)			
kW	pk	400 V	415 V	500 V	690 V
1,1	1,5	2,6	2,5	2,0	1,5
1,5	2	3,5	3,5	2,6	2
2,2	3	5	5	3,7	2,9
3	4	6,6	6,5	5	3,5
3,7	5	7,6	7,5	6,2	4,4
4	5,5	8,5	8	6,4	4,9
5	6,8	10,1	9,8	8,1	6
5,5	7,5	11,5	11	9	6,7
6,5	8,8	13	12,7	10,4	7,5
7,5	10	15,5	14	11,5	9
8	11	16	15,2	12,7	9
11	15	22,5	21	17	13
12,5	17	24	23	19	14
15	20	30	28	22,5	17,5
18,5	25	36	35	28	21
20	27	38	36,8	30,6	22
22	30	43	40	32	25
25	34	47	44,9	38	26
30	40	58	55	43	33
37	50	72	66	54	42
40	54	74	71	60	45
45	60	85	80	64	49
51	70	92	88,6	73,7	52
55	75	104	95,5	78	60
59	80	107	105	85,3	65
75	100	142	132	106	82
80	110	144	139	112	83
90	125	169	154	127	98
100	136	180	172	143	104
110	150	204	189	154	118
129	175	232	221	184	134
132	180	243	227	182	140
140	190	252	240	200	146
147	200	265	249	207	153
160	220	292	272	220	170
180	245	324	305	254	188
184	250	332	315	259	192
200	270	368	340	283	214
220	300	397	374	310	230
250	340	465	425	355	268
257	350	463	437	363	270
295	400	532	501	416	308
315	430	580	535	444	337

Motorvermogen, koppel en aanlooptijd

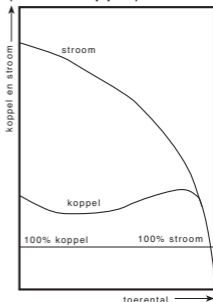
Het nominale koppel van een motor (100%-koppel) wordt berekend met de formule:

$$T_n = 9550 \frac{P_{kW}}{n} \text{ N.m}$$

T_n = nominaal koppel in N.m

P_{kW} = nominaal vermogen in kW

n = nominaal toerental bij vollast in omw/min



De aanlooptijd van een motor bij een versnellend koppel gelijk aan het nominale koppel, bedraagt:

$$t_a = \frac{n \cdot I}{9,55 T_n} = \frac{n^2 \cdot I}{9,12 \cdot 10^5 \cdot P_{kW}} \text{ s}$$

I = totaal traagheidsmoment van motor en aangedreven werktuig, herleid op motoras, in kgm^2

n = eindtoerental motoras in omw/min

P_{kW} = vermogen in kW

Voor het omrekenen van het traagheidsmoment I_2 , herleid op een motoras met n_2 omw/min, is het traagheidsmoment I_1 , herleid op een as met n_1 omw/min, geldt:

$$I_1 = \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2 \times I_2 \text{ kgm}^2$$

Het versnellend koppel is gelijk aan het motorkoppel (ontleend aan koppel-toerenkromme) verminderd met het tegenkoppel dat veroorzaakt wordt door het aangedreven werktuig.

Centrifugaalpompen (voor water)

Vereist vermogen $P = \frac{9,81 \cdot q \cdot h}{\eta}$ kW, waarin:

q = hoeveelheid water in m³/s

h = totale opvoerhoogte in m (inclusief wrijvingsverliezen in de buizen)

η = rendement (varieert van 0,5 tot 0,85 al naar gelang de constructie en pompgrootte)

De opgevoerde hoeveelheid water q is evenredig met het toerental.

De drukhoogte h is evenredig met het kwadraat van het toerental.

Het vermogen P is dus evenredig met de derde macht van het toerental.

Ventilatoren

Vereist vermogen $P = \frac{9,81 \cdot q \cdot h}{\eta}$ W, waarin:

q = luchtvolume in m³/s

h = druk in mm waterkolom

η = dynamisch rendement (varieert van 0,5 tot 0,85)

De verplaatste hoeveelheid lucht q is evenredig met het toerental.

De druk h is evenredig met het kwadraat van het toerental. Indien $h = 400$ mm bij $\eta = 800$, dan stijgt h bij $\eta = 900$ tot circa 500 mm.

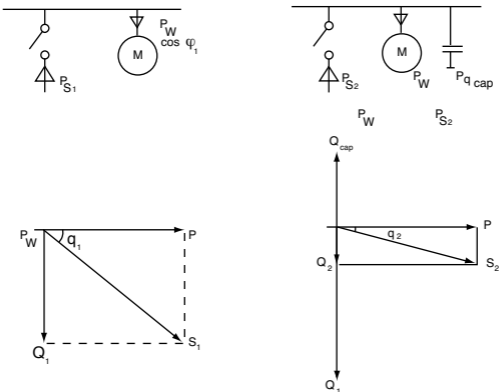
Het vereiste vermogen is dus evenredig met de derde macht van het toerental.

Heeft bijvoorbeeld een ventilator bij $\eta = 800$ omw/min een vermogen nodig van 50 kW, dan stijgt dit vermogen bij

$$\eta = 900 \text{ tot } 50 \cdot \frac{900^3}{800^3} \approx 72 \text{ kW.}$$

Cos φ -verbetering

De toenemende belasting en de groeiende energieprijzen dwingen de elektriciteitsbedrijven en de verbruiker tot een zo efficiënt mogelijke benutting van de opgewekte energie en gebruik van het distributienet. Daarom moet het blindvermogen tot een minimum beperkt worden. Blindvermogen (Q) ontstaat wanneer in een draaistroomnet een niet-ohmse inductieve belasting, zoals motoren of transformatoren, is aangesloten. Door deze belasting ontstaat er een faseverschuiving tussen de stroom en de spanning, waardoor slechts een deel van het totale vermogen bruikbaar is. Het werkelijke vermogen komt tot uitdrukking in de formule: $P = U \cdot I \cdot \cos \varphi \sqrt{3}$ (watt). Er moet dus gestreefd worden naar een zo hoog mogelijke $\cos \varphi$. Een slechte $\cos \varphi$ kan worden verbeterd door de inductieve belasting te compenseren met een capacitieve belasting in de vorm van condensatorbatterijen. Onderstaande afbeelding toont links een bedrijfssituatie waarbij motoren een inductieve belasting veroorzaken en een daaruit resulterende slechte $\cos \varphi$. Rechts is de situatie weergegeven wanneer het blindvermogen door een capacitieve belasting grotendeels is gecompenseerd.



Het benodigde condensatorvermogen wordt berekend door:

$$Q_2 = S_2 \sin \varphi_2$$

$$= P \tan \varphi_2$$

$$Q_{\text{cap}} = Q_1 - Q_2$$

Een condensatorbatterij van Q_{cap} kVAr heeft een fase-nul capaciteit van:

$$C = \frac{Q_{\text{cap}}}{2\pi f \cdot U^2} \approx \frac{Q_{\text{cap}}}{314 \cdot U^2} \quad (f = 50\text{Hz})$$

Condensatorbatterijen zijn relatief gevoelig voor overbelasting ingeval van netvervuiling. Door de hogere harmonischen kan zelfs resonantie optreden. De batterijen kunnen worden beschermd door een spoel in serie op te nemen met de condensator.

het benodigde condensatorvermogen voor $\cos \varphi$ verbetering

bestaande situatie	condensatorvermogen in kVAr per kW werkzaam vermogen ter verkrijging van een $\cos \varphi$ van		
	0,80	0,85	0,90
0,30	2,43	2,56	2,70
0,35	1,93	2,06	2,19
0,40	1,54	1,67	1,81
0,45	1,24	1,36	1,50
0,50	0,98	1,11	1,25
0,52	0,89	1,03	1,16
0,54	0,81	0,94	1,08
0,56	0,73	0,86	1,00
0,58	0,66	0,79	0,92
0,60	0,58	0,72	0,85
0,62	0,52	0,65	0,78
0,64	0,45	0,58	0,72
0,66	0,39	0,52	0,66
0,68	0,33	0,46	0,60
0,70	0,27	0,40	0,54

vervolg tabel pag. 88

bestaande situatie	condensatorvermogen in kVAr per kW werkzaam vermogen ter verkrijging van een $\cos \varphi$ van		
	$\cos \varphi$	0,80	0,85
0,72	0,22	0,35	0,48
0,74	0,16	0,29	0,43
0,76	0,11	0,24	0,37
0,78	0,05	0,19	0,32
0,80	-	0,13	0,27
0,82	-	0,08	0,21
0,84	-	0,03	0,16
0,86	-	-	0,11
0,88	-	-	0,06

Voorbeeld.

Een installatie heeft een verbruik van 100 kW bij een $\cos \varphi$ van 0,60. Hoe groot moet het condensatorvermogen zijn om deze waarde tot 0,85 te verbeteren? De tabel geeft een vermenigvuldigingsfactor van 0,72 aan. Het benodigde condensatorvermogen is $0,72 \times 100 = 72$ kVAr.

In 1997 ontwikkelde UNETO een systeem van drie comfortklassen met als doel om de installatie in de woning aan te passen aan de huidige en toekomstige eisen van de bewoners. Mede als antwoord op een vraag van BouwNed presenteerde UNETO in 2001 'Levensloopbestendig Wonen', een verzameling van de voorgaande publicaties, compleet gemaakt met een update van de minimale basisinstallatie en gebaseerd op de huidige wensen en eisen van veilig en comfortabel wonen.

In een levensloopbestendige woning is ten eerste rekening gehouden met een mogelijk andere indeling van de woning. Een slaapkamer verandert bijvoorbeeld in een studeerkamer, een zolder in een tweede zitkamer of een gedeelte van de woning wordt als zelfstandige woonruimte verhuurd. Op al deze wijzigingen van functies is de elektrotechnische installatie voorbereid. Ten tweede biedt een levensloopbestendige woning de bewoners, zonder ingrijpend frees-, hak- en breekwerk, de mogelijkheid hun comfort, veiligheid en zelfredzaamheid te vergroten met behulp van domotica-applicaties.

Om installateurs, architecten en anderen te ondersteunen bij de adviezen aan opdrachtgevers heeft UNETO-VNI het initiatief genomen om drie woonmodellen uit te werken. Installateurs kunnen de modellen gebruiken als blauwdruk en hulpmiddel bij hun adviestaak.

Elk model is een compleet uitgewerkte technische omschrijving per ruimte van de woninginstallatie, waarin rekening is gehouden met de informatie in 'Het standaard huisnetwerk' en het 'Handboek WoonKeur'. In de tabel op de volgende bladzijden is een uitwerking opgenomen van de voorzieningen in een levensloopbestendige woning. De teksten van de publicatie zijn door STABU vertaald naar het STABU Bouw breed Informatiesysteem.

Voor meer informatie kijk op:
www.levensloopbestendiginstalleren.nl

vergelijkmodel: basisinstallatie vs. WoonKeur comfortpakket A-plus vs. "Levensloopbestendig wonen"

Omschrijving/ voorzieningen		WoonKeur A-plus	UNETO-VNI Levensloop bestendig wonen	Opmerkingen
	Algemeen meterkast technische ruimte	x	x	Afhankelijk van het woonmodel.
A	Verdeelmrichting			
1	aardlekschakelaars	2		Aanzienlijk groter en geschikt voor montage van extra apparatuur
2	aardlekautomaten per eindgroep	x		Indien een schakelaar uitschakelt dan is 50% van de installatie buiten werking.
3	patronen	x		Grote bedrijfszekerheid door uitschakeling per groep.
4	installatie-automaten		x	Nadeel: aanschaft reservevoorraad
5	overspanningsbeveiliging	0	0	Voordeel: opnieuw inschakelbaar
6a	hoofdschakelaar verdeelmrichting	0	x	
7	min. 3 groepen voor verlichting	0	x	
8	groep t.b.v. wasautomaat	x	x	
9	groep t.b.v. droogautomaat	x	x	
10	groep t.b.v. vaatwasser	x	x	
11	groep t.b.v. tuinverlichting en berging	0	0	
	groep t.b.v. beveiligingscentrale	0	0	
	groep t.b.v. magnetron/oven	0	0	
	groep t.b.v. CV-ketel / mechanische ventilatie	0	x	
	voorziening t.b.v. schemerschakeling	0	x	
12	noodverlichting meterkast	0	0	door technische ruimte wel voldoende ruimte.
13	lege kast domotica-componenten	0	0	
14a	wandcontactdoos t.b.v. tel.centrale en CAI versterker	0	0	
	reserveruimte extra verdeelkast	0	x	door technische ruimte wel voldoende ruimte.

Verklaring: 0 = niet voorzien = voorzien x = extra van levensloopbestendig wonen

vergelijkmodel : basisinstallatie vs. WoonKeur comfortpakket A-plus vs. "Levensloopbestendig wonen"

Omschrijving / voorzieningen		WoonKeur A-plus	UNETO-WNI Levensloop bestendig wonen	Opmerkingen
B	Schakelmateriaal / aansluitpunten			
1	standaard inbouw	x	x	
2	luxue uitvoering	0	0	
	wandcontactdozen half opbouw model	x	0	
	wandcontactdozen vlak inbouwmodel	0	x	
	wandcontactdozen in afzonderlijke inbouwdozen	0	x	
	schakelaars standaard inbouw	0	x	
	schakelaars inbouw met grote bedienings-elementen	x	x	
3	inbouwdozen per component 5 cm. diepte	0	x	
4	extra inbouwdozen 5 cm. diepte	0	x	
5	horizontale montage wandcontactdoos	0	x	
6	aantallen wandcontactdozen volgens tabel	0	0	
	aantallen volgens tabel + 2 wcd extra per vertrek	x	0	
	aantallen volgens tabel + 1 wcd extra bij de schakelaar per vertrek	0	x	
	In de keuken wandcontactdozen 2x de tabel	0	x	
	aantal lichtpunten volgens tabel	x	0	
	aantal lichtpunten volgens tabel uitgezonderd woonkamer-keuken	0	x	
7	wisselschakeling slaapkamer+hal	x	0	
	wisselschakeling hoofdslaapkamer + hal + overloop	0	x	
8	wandcontactdozen kinderveilig	0	0	
				alleen in woonkamer, keuken en hoofdslaapkamer
				alleen in woonkamer, keuken en hoofdslaapkamer
				in deze ruimten per 15 m ² een lichtpunt

Verklaring: 0 = niet voorzien

x = voorzien x = extra van levensloopbestendig wonen

vergelijkmodel: basisinstallatie vs. WoonKeur comfortpakket A-plus vs. “Levensloopbestendig wonen”

Omschrijving / voorzieningen		Woonkeur A-plus	UNETO-VNI Levensloop bestendig wonen	Opmerkingen
B	9	0	0	
	Schakelmateriaal / aansluitpunten (vervolg)			
	geschakelde wandcontactdozen woonkamer	0	x	in de UNETO-VNI woning aanzienlijk goedkoper te realiseren
	bewegingsschakelaars in toilet en werkast	0	x	
	garage voorzien van aansluitpunt elektrische deur	x	0	in de UNETO-VNI woning een bedraad aansluitpunt
	voordeurbel op deurkozijn gemonteerd	0	x	hierdoor geschikt voor deurluidspreker of videofoon installatie
	voordeurbel in de gevel gemonteerd	0	x	
C	Buiteninstallatie			
	1	x	x	
	buitenberging 1 lichtpunt en wandcontactdoos	0	x	
	buiteninstallatie op aparte groep	x	x	
	buitenberging een buitenlichtpunt	x	x	
	voor- en achtergevel een lichtpunt	0	0	
	rondom het huis verlichting	x	x	
	alle bereikbare entrees een buitenlichtpunt	0	x	
	aansluitpunt tuininstallatie	0	x	
	schakelmogelijkheid tuininstallatie	0	x	
	loze leiding onder oprit naar meterkast	0	0	
	2 wandcontactdozen	0	0	
D	Loze leidingen (vanaf de technische ruimte)			
	1	x	x	
	t.b.v. elektrisch heetwater toestel	x	x	
	t.b.v. elektrisch kooktoestel	x	0	
	CAI woon + slaapkamer	0	x	
	CAI woon + alle slaapkamers + keukens	0	x	
	telefoon woonkamer + slaapkamer	x	0	
				NEN 1010-woning alleen aan de voorgevel

Verklaring: 0 = niet voorzien x = voorzien

x = extra van levensloopbestendig wonen

vergelijkmodel : basisinstallatie vs. WoonKeur comfortpakket A-plus vs. "Levensloopbestendig wonen"

	Omschrijving / voorzieningen	WoonKeur A-plus	UNETO-VNI Levensloop bestendig wonen	Opmerkingen
D 6	Loze leidingen (vanaf de technische ruimte) - vervolg - telefoon woonkamer + slaapkamers + keuken badkamer aansluitpunt voor stoomdouche badkamer aansluitpunt voor w hiripoolbad	0	x	
7	beveiliging/brand	0	x	
7	beveiliging/inbraak	0	x	alleen rookmelders in de hal en overloop mogelijk d.m.v. ICTHeidingnet
8	voorzieningen t.b.v. mechanische ventilatie	x	x	In de UNETO-VNI woning compleet bedraad en 2 bedieningen
9	luidsprekers	0	0	
10	droogautomaat	x	x	in de UNETO-VNI-woning compleet bedraad
11	vaatwasser	x	x	in de UNETO-VNI-woning compleet bedraad
12	oven/magnetron	0	x	in de UNETO-VNI-woning compleet bedraad
13	t.b.v. zonnepanelen / Pv-panelen / satellietontvangst	0	x	mogelijk door extra ledige leidingen
14	toegangscontrole	0	x	mogelijk d.m.v. ICTHeidingnet
14	homebus-systeem	0	x	mogelijk d.m.v. ICTHeidingnet
15	t.b.v. centraal stofzuigsysteem	0	0	
16	alle loze leidingen voorzien van een trekdraad	0	x	
17	thermostaat zonwering/rolluiken regelbare ventilatieroosters ICTHeidingnet comforttoilet woonhuislift paniekschakeling in hoofdslaapkamer data aansluitpunt in de keuken	0 0 0 0 0 0 0 0	x x x x x x x x	(aut.) bediening mogelijk d.m.v. ICTHeidingnet Vraaggestuurde ventilatie mogelijk d.m.v. ICTHeidingnet compleet ledig ICTHeidingnet door de gehele woning ledig aansluitpunt bij trap naar overloop mogelijk d.m.v. ICTHeidingnet mogelijk d.m.v. ICTHeidingnet

Verklaring: 0 = niet voorzien x = voorzien x = extra van levensloopbestendig wonen

vergelijkmodel : basisinstallatie vs. WoonKeur comfortpakket A-plus vs. "Levensloopbestendig wonen"

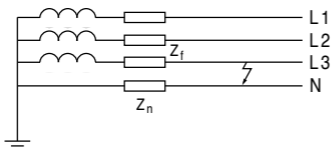
Omschrijving / voorzieningen		WoonKeur A-plus	UNEVO-VNI Levensloop bestendig wonen	Opmerkingen
E	Diversen			
1	telefooncentrale (ISDN)	0	0	
2	signaalversterker CAI duplex	0	0	
3	beveiligingscentrale brand/inbraak	0	0	
4	plintstelsysteem	0	0	
5	toegangscontrole/deurvideo	0	x	mogelijk d.m.v. ICTHeidingnet
6	centraal stofzuigsysteem	0	0	
7	homebus-systeem	0	x	mogelijk d.m.v. ICTHeidingnet
F	Telefooninstallaties			
1	aansluitpunt in de woonkamer	x	x	
2	aansluitpunt in woonkamer en 1 slaapkamer	x	0	
	aansluitpunt in woonkamer, alle slaapkamers en keuken	0	x	mogelijk d.m.v. ICTHeidingnet
G	CAI-installaties			
1	aansluitpunt in de woonkamer	x	x	
2	aansluitpunt in woonkamer en 1 slaapkamer	x	0	
	aansluitpunt in woonkamer, alle slaapkamers en keuken	0	x	mogelijk d.m.v. ICTHeidingnet
H	Schotelantenne-installaties			
		0	x	mogelijk d.m.v. ICT leidingnet
I	Zonne-energiesystemen			
		0	x	mogelijk d.m.v. ICT leidingnet

Verklaring: 0 = niet voorzien x = voorzien x = extra van levensloopbestendig wonen

KORTSLUITSTROMEN

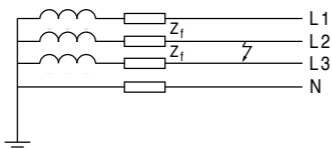
Soorten kortsluitingen

fase-nul sluiting



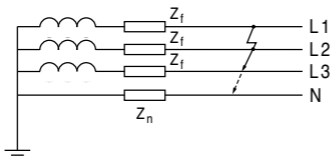
$$I_k = \frac{U_g}{\sqrt{3} \cdot (Z_f + Z_n)}$$

2-fasen sluiting



$$I_k = \frac{U_g}{2 \cdot Z_f}$$

3-fasen sluiting (al dan niet met nul)



$$I_k = \frac{U_g}{\sqrt{3} \cdot Z_f}$$

Opmerking:

- in de formules is U_g steeds de gekoppelde spanning, d.w.z. de spanning tussen de verschillende fasen.
- de grootste kortsluitstroom treedt op bij een 3-fasen sluiting. Deze moet dan ook als uitgangspunt gekozen worden voor het maken van kortsluitstroomberekeningen.

Effectieve waarde en piekwaarde

- belastingsstromen of kortsluitstromen worden doorgaans aangeduid met de effectieve waarde van de stroom.
- de piekstroom of de amplitude van een wisselstroom is groter dan de effectieve waarde: voor een zuiver sinusvormige stroom $\sqrt{2}$ maal zo groot.
- kortsluitstromen hoeven niet sinusvormig te zijn: er kunnen inschakelverschijnselen optreden. De maximale piekstroom ('stootstroom') die ingeval van kortsluitingen kan optreden is:

$$\hat{I}_s = \sqrt{2} \cdot \kappa \cdot I_p$$

met: \hat{I}_s = stootstroom
 I_p = prospectieve kortsluitstroom
 (effectieve waarde)
 κ = stootfactor.

verband tussen de stootfactor κ en $\cos \varphi$
 (NEN-EN-IEC 60439).

kortsluitstroom in [kA] (effectieve waarde)		$\cos \varphi$	κ	$\kappa/\sqrt{2}$
groter dan	tot en met			
	5	0,7	1,1	1,5
5	10	0,5	1,2	1,7
10	20	0,3	1,4	2
20	50	0,25	1,5	2,1
50		0,2	1,6	2,2

Berekening van kortsluitstromen

Voor een 3-fasen sluiting geldt de volgende formule:

$$I_k = \frac{U_g}{\sqrt{3} \cdot Z_f}$$

Om de fase-impedantie Z_f te bepalen, dient eerst afzonderlijk de totale weerstand R_f en de totale reactantie X_f bepaald te worden. Er geldt dan:

$$Z_f = \sqrt{R_f^2 + X_f^2}$$

Op de vaktechniekpagina van www.et-installateur.nl vindt u een handig programma voor het berekenen van kortsluitstromen.

Transformatoren

Met behulp van de procentuele kortsluitspanning kan de impedantie van een transformator bepaald worden:

$$Z_T = \frac{\varepsilon_k \cdot U_g^2}{100 \cdot S_T}$$

met: ε_k : procentuele kortsluitspanning [%]

U_g : gekoppelde spanning [V]

S_T : vermogen van de transformator [kVA]

Tabel 1: Kortsluitstroom en kortsluitimpedantie transformatoren (400 V)

S_T [kVA]	I_n [A]	ε_k [%]	I_k [kA]	Z_T [mΩ]
50	72	4	1,8	128
100	144	4	3,6	64
160	231	4	5,8	40
250	361	4	9	26
400	577	4	14	16
630	909	4	23	10
630	909	6	15	15
800	1154	6	19	12
1000	1443	6	24	9,6
1250	1804	6	30	7,7
1600	2309	6	38	6,0
2000	2887	6	48	4,8

Voor de transformator geldt:

de weerstand R_T :
$$R_T = \frac{\epsilon_R \cdot U_g^2}{100 \cdot S_T}$$

de reactantie X_T :
$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2}$$

Tabel 2: R en X van transformatoren

S_T [kVA]	ϵ_k [%]	Z_T [mΩ]	ϵ_R [%]	R_T [mΩ]	X_T [mΩ]
50	4	128	1,5	48	118
100	4	64	1,5	24	59
160	4	40	1,5	15	37
250	4	26	1,5	9,6	24
400	4	16	1,5	6,0	15
630	4	10	1,5	3,8	9,2
630	6	15	1,5	3,8	15
800	6	12	1,5	3	12
1000	6	9,6	1,5	2,4	9,3
1250	6	7,7	1,5	1,9	7,4
1600	6	6,0	1,5	1,5	5,8
2000	6	4,8	1,5	1,2	4,6

kabels

Voor de bepaling van de weerstand van kabels dient van een 'koude' kabel, bij 20 °C, uitgegaan te worden.

$$R_k = \frac{\rho \cdot l}{A}$$

met: ρ : soortelijke weerstand bij 20 °C [Ω.m]
(koper: $1,83 \cdot 10^{-8}$, aluminium: $3,08 \cdot 10^{-8}$)

l : lengte kabel [m]

A : doorsnede kabel [$m^2 = 10^{-6} \text{ mm}^2$]

De reactantie van kabel is afhankelijk van de configuratie van de kabel zelf. Voor laagspanningskabels kan van een aanname van 0,08 mΩ/m uitgegaan worden.

Tabel 3 geeft voor de standaard-doorsneden de weerstand per meter.

Tabel 3: Weerstand R van kabels (20 °C)

A [mm ²]	koper R per meter [mΩ/m]	aluminium R per meter [mΩ/m]
1,5	12,1	-
2,5	7,41	-
4	4,61	7,41
6	3,08	4,61
10	1,83	3,08
16	1,15	1,91
25	0,727	1,20
35	0,524	0,868
50	0,387	0,641
70	0,268	0,443
95	0,194	0,320
120	0,154	0,253
150	0,125	0,207
185	0,100	0,165
240	0,077	0,126
300	0,062	0,101
400	0,049	0,080
500	0,039	0,064

Tabel 3 geeft de weerstand per meter van koper en aluminium kabel bij een geleidertemperatuur van 20 °C. Om de weerstand te berekenen bij andere temperaturen, dient u de weerstandswaarde uit tabel 3 te vermenigvuldigen met de correctiefactor uit tabel 4.

Tabel 4: Correctiefactoren voor andere geleidertemperaturen dan 20 °C

Geleider temp. (°C)	Correctie factor	Geleider temp. (°C)	Correctie factor	Geleider temp. (°C)	Correctie factor
0	0,92	40	1,08	80	1,24
5	0,94	45	1,10	85	1,26
10	0,96	50	1,12	90	1,28
15	0,98	55	1,14	95	1,30
20	1,00	60	1,16	100	1,32
25	1,02	65	1,18	105	1,34
30	1,04	70	1,20		
35	1,06	75	1,22		

railsystemen

Analoog aan kabels geldt voor de weerstand R van railsystemen:

$$R_r = \frac{\rho \cdot l}{A}$$

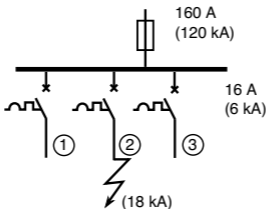
met: ρ : soortelijke weerstand bij 20 °C [$\Omega \cdot m$]
(koper: $1,83 \cdot 10^{-8}$, aluminium: $3,08 \cdot 10^{-8}$)
 l : lengte rail [m]
 A : doorsnede rail [$m^2 = 10^{-6} mm^2$]

De reactantie is minder eenduidig dan bij kabels en sterk afhankelijk van de configuratie.
Eerste schatting: 0,15 - 0,2 m Ω/m

Coördinatie

Back-up beveiliging

Elke beveiligingscomponent is gespecificeerd voor een bepaalde maximale kortsluitstroom. Indien er op de plaats van inbouw een hogere kortsluitstroom optreedt dan die waarvoor de component gespecificeerd is, moet er gebruik gemaakt worden van een door de fabrikant opgegeven back-up beveiliging. Bij een back-up beveiliging helpt de voorgeschakelde beveiliging mee met het onderbreken van de kortsluitstroom. Back-up beveiliging treft men vaak aan bij het gebruik van 6 of 10 kA installatie-automaten. De back-up beveiliging is dan meestal een patroon.



Vaak wordt back-up beveiliging verward met selectiviteit. Bij aanspreken van de back-up beveiliging is er **nooit** sprake van selectiviteit. De voorgeschakelde beveiliging

moet immers meehelpen bij het onderbreken van de kortsluitstroom. Met andere woorden: bij een kortsluiting van bijvoorbeeld 6 kA in groep ② van het schema zal niet alleen de installatie-automat van groep ② afschakelen, maar zal ook de voorgeschakelde patroon doorsmelten. Dit houdt in dat de groepen ① en ③ geheel of gedeeltelijk spanningsloos worden.

Back-up beveiliging Eaton Holec installatie-automaten en aardlekautomaten

Onderstaande tabel toont combinaties van installatie-automaten en voorgeschakelde gG patronen die samen een kortsluitvastheid geven van 100 kA. De getoonde nominaalstroom van de patroon is de maximale waarde die nog een kortsluitvastheid biedt tot 100 kA. Elke lagere patroonwaarde geeft ook een kortsluitvastheid tot 100 kA.

Tabel back-up beveiliging installatie-automaten

Installatie-automat type AT/ATI	max. voorgeschakelde smeltveiligheid volgens NEN-HD-IEC 60269
In [A]	In [A]
1	50
2	63
3	63
6	80
10	80
16	80
20	100
25	100
32	100
40	125
50	160
63	160

Icc: 100 kA

Tabel Back-up beveiliging Alamat

Type Alamat	Smeltveiligheid volgens NEN-HD-IEC 60269				
	63 A	80 A	100 A	125 A	160 A
alle uitvoeringen	20 kA	20 kA	20 kA	20 kA	20 kA

SELECTIVITEIT

Selectiviteit is een belangrijk begrip voor elektrische installaties waarin, tussen de voeding en de foutplaats, twee of meer beveiligingstoestellen aanwezig zijn.

Om de gevolgen van een overstroom tot een zo klein mogelijk deel van de installatie te beperken, dient alleen het beveiligingstoestel dat het dichtst bij de oorzaak van de overstroom geplaatst is deze overstroom te onderbreken. Op de vaktechniekpagina van www.et-installeteur.nl staat een handig programma om de selectiviteit van twee componenten te bepalen.

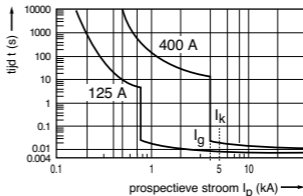
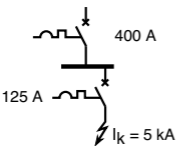
selectiviteit van patronen onderling

Voor patronen geldt dat twee patronen met een nominale stroomverhouding groter of gelijk aan 1,6 : 1, ten opzichte van elkaar absoluut selectief zijn. Er is dus geen bovengrens voor de selectiviteit.

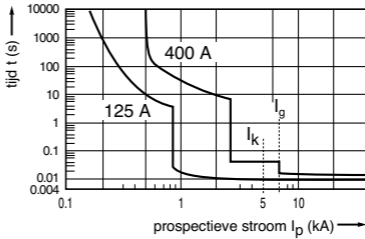
selectiviteit van vermogenschakelaars onderling

Bij vermogenschakelaars wordt gesproken van stroomselectiviteit en tijdselectiviteit. Onder stroomselectiviteit wordt verstaan de selectiviteit van onvertraagd gestaffelde vermogenschakelaars, terwijl bij tijdselectiviteit wordt uitgegaan van een vermogenschakelaar met een vertraagde werking. Voor twee onvertraagd gestaffelde vermogenschakelaars in serie geldt dat deze ten opzichte van elkaar selectief zijn tot een grensstroom I_g . I_g is de stroom waarbij de voorgeschakelde vermogenschakelaar onvertraagd uitschakelt. Indien I_g kleiner is dan de te verwachten maximale kortsluitstroom ná de tweede schakelaar, wordt geen volledige selectiviteit bereikt.

Stroomselectiviteit:



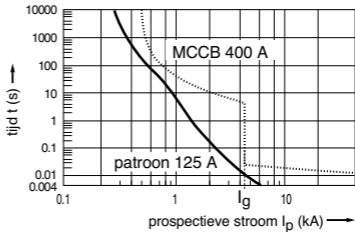
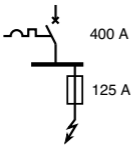
Tijdselectiviteit:



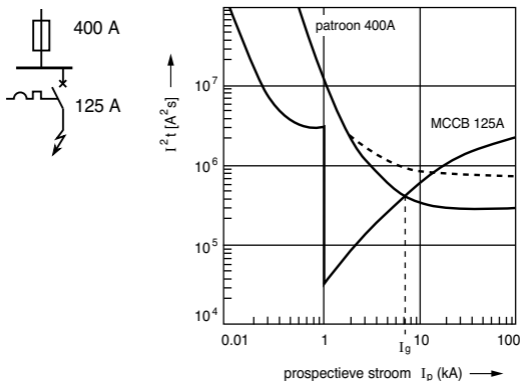
Tijdselectiviteit is mogelijk bij vermogenschakelaars uitgerust met een elektronisch beveiligingsblok (in de praktijk vanaf 400 A). Doorgaans is er een grens aan de tijdvertraging: boven ca. 15 maal I_n schakelt de vermogenschakelaar daarom onvertraagd omdat de vermogenschakelaar anders thermisch te zwaar belast zou worden.

Selectiviteit van een vermogenschakelaar en een nageschakelde patroon

Voor stromen kleiner dan I_g kan een goede selectiviteit bereikt worden. Echter voor waarden groter dan I_g gaat de selectiviteit verloren. Eventueel kan I_g verhoogd worden door de vermogenschakelaar te vertragen.



Selectiviteit van een patroon met een nageschakelde vermogensschakelaar



Ook in deze situatie heeft de selectiviteit altijd een bovengrens I_g . Deze bovengrens I_g kan nu niet afgelezen worden uit de tijdstroom karakteristieken, maar moet worden bepaald met behulp van de I^2t -smeltkarakteristiek van de patroon en de I^2t -totaal karakteristiek van de vermogensschakelaar.

Selectiviteit Eaton Holec componenten

Op de hierna volgende pagina's worden selectiviteitstabellen getoond voor de Eaton Holec componenten. Deze tabellen zijn bedoeld voor snel gebruik in het veld. Voor uitgebreidere en continu up to date informatie verwijzen wij u naar de vaktechnieksectie op www.et-installateur.nl. In deze vaktechnieksectie vindt u een programma dat de selectiviteit tussen willekeurig in te geven Eaton Holec producten berekent.

Selectiviteit Eaton Holec 500 V gG/gT patronen

Nominaalstroom nageschakelde Eaton Holec Isodin P5gG patroon [A]	normaalstroom voorgeschakelde Eaton Holec Isodin P5gG patronen [A]																									
	2	4	6	10	16	25	35	40	50	63	80	100	125	160	200	224	250	315	355	400	450	500	630	800	1000	
2		•				•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
4		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
6			•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
10				•	X	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
16						•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
25						•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
35							X	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
40								•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
50								•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
63								•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
80									•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
100										•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
125											•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
160												•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
200													•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
224															•	X	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
250																	X	•	•	•	•	•	•	•	•	•
315																		•	•	•	•	•	•	•	•	•
355																			•	•	•	•	•	•	•	•
400																				•	•	•	•	•	•	•
450																					•	•	•	•	•	•
500																						•	•	•	•	•
630																							•	•	•	•
800																								•	•	•
1000																									•	•

x = niet selectief

o = selectief voor netspanning ≤ 400 V

• = selectief voor netspanningen ≤ 500 V

Selectiviteit Eaton Holec 690 V gG/gT patronen

Nominaalstroom nageschakelde Eaton Holec Isodin P6gG patroon [A]

		nominaalstroom voorgeschakelde Eaton Holec Isodin P6gG patronen [A]																						
		2	4	6	10	16	25	35	40	50	63	80	100	125	160	200	224	250	315	355	400	450	500	
2	
4			X	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
6				O	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
10					X	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
16					
25						.	O	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
35								O	X	X	O	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
40									X	X	O	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
50										X	X	X	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
63											X	X	O	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
80												X	O	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
100													X	O	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
125														X	O	.	.	.	.	.	.	.	.	.
160															X	O	.	.	.	.	.	.	.	.
200																X	O	.	.	.	.	.	.	.
224																	X	O	.	.	.	.	.	.
250																		X	O	.	.	.	.	.
315																			X	X	O	.	.	.
355																				X	X	O	O	O
400																					X	X	O	O
450																						X	X	X
500																								X

x = niet selectief

o = selectief voor netspanning ≤ 400 V

. = selectief voor netspanningen ≤ 690 V

Selectiviteit Eaton Holec 400 V gG/gF patronen

	nominaalstroom voorgeschakelde Eaton Holec Isodin P5gG patronen [A]																			
	10	16	25	35	50	63	80	100	125	160	200	224	250	315	355	400	450	500	630	
10		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
16			•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
25				•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
35					X	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
50						•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
63							•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
80								•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
100									•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
125										•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
160											•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
200												X	•	•	•	•	•	•	•	•
224													X	•	•	•	•	•	•	•
250														•	•	•	•	•	•	•
315															X	•	•	•	•	•
355																X	•	•	•	•
400																	X	•	•	•
450																		X	•	•
500																			X	•
630																				•

x = niet selectief

• = selectief

Nominaalstroom nageschakelde Eaton Holec Isodin P4gG patroon [A]

Selectiviteit Eaton Holec installatie-automaten

Voor installatie-automaten type AT,
B-karakteristiek (6 kA) in combinatie met smeltveiligheden

smeltveiligheden volgens NEN-HD-IEC 60269								
Installatie-automaat, B-karakteristiek, 6 kA	I_n [A]	25	35	50	63	80	100	125
	6	0,7	1,7	3,5	5,7	6,0	6,0	6,0
	10	0,6	1,6	3,0	4,8	6,0	6,0	6,0
	16		1,4	2,4	3,8	5,8	6,0	6,0
	20		1,1	2,1	3,2	4,8	6,0	6,0
	25			1,9	2,9	4,4	6,0	6,0
	32			1,7	2,6	3,8	5,9	6,0
	40				2,4	3,4	5,3	6,0
	50						5,1	6,0
	63						4,4	6,0

[kA]

Voor installatie-automaten type AT,
C-karakteristiek (6 kA) in combinatie met smeltveiligheden

smeltveiligheden volgens NEN-HD-IEC 60269											
Installatie-automaat, C-karakteristiek, 6 kA	I_n [A]	10	16	20	25	35	50	63	80	100	125
	2	0,2	0,4	0,7	0,8	5,3	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
	4		0,3	0,6	0,7	1,9	4,2	6,0	6,0	6,0	6,0
	6				0,6	1,5	2,9	4,6	6,0	6,0	6,0
	10					1,4	2,5	4,0	6,0	6,0	6,0
	16						2,3	3,6	5,4	6,0	6,0
	20							3,2	4,6	6,0	6,0
	25								4,3	6,0	6,0
	32								3,7	5,8	6,0
	40									5,1	6,0
	50										6,0
	63										6,0

[kA]

Voor installatie-automaten type AT,
D-karakteristiek (6 kA) in combinatie met smeltveiligheden

smeltveiligheden volgens NEN-HD-IEC 60269										
Installatie-automaat, B-karakteristiek, 6 kA	I_n [A]	16	20	25	35	50	63	80	100	125
	2	0,3	0,6	0,8	2,5	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
	4			0,7	1,8	3,6	6,0	6,0	6,0	6,0
	6			0,6	1,5	2,8	4,5	6,0	6,0	6,0
	10					2,3	3,5	5,5	6,0	6,0
	13						3,3	5,3	6,0	6,0
	16							5,0	6,0	6,0
	20								6,0	6,0
	25								6,0	6,0
	32									6,0

[kA]

Selectiviteit Eaton Holec installatie-automaten

Voor installatie-automaten type ATI,
B-karakteristiek (10 kA) in combinatie met smeltveiligheden

smeltveiligheden volgens NEN-HD-IEC 60269										
Installatie-automaat, B-karakteristiek, 6 kA	I_n [A]	25	35	50	63	80	100	125	160	
	6	0,7	1,7	3,5	5,7	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
	10	0,6	1,6	3,0	4,8	7,3	10,0	10,0	10,0	10,0
	16		1,4	2,4	3,8	5,8	10,0	10,0	10,0	10,0
	20		1,1	2,1	3,2	4,8	7,6	10,0	10,0	10,0
	25			1,9	2,9	4,4	6,9	10,0	10,0	10,0
	32			1,7	2,6	3,8	5,9	9,5	10,0	10,0
	40				2,4	3,4	5,3	9,0	10,0	10,0
	50						5,1	8,0	10,0	10,0
	63						4,4	6,8	10,0	10,0

[kA]

Voor installatie-automaten type ATI,
C-karakteristiek (10 kA) in combinatie met smeltveiligheden

smeltveiligheden volgens NEN-HD-IEC 60269													
Installatie-automaat, C-karakteristiek, 6 kA	I_n [A]	10	16	20	25	35	50	63	80	100	125	160	
	2	0,2	0,4	0,7	0,8	5,3	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
	4		0,3	0,6	0,7	1,9	4,2	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
	6				0,6	1,5	2,9	4,6	7,5	10,0	10,0	10,0	10,0
	10					1,4	2,5	4,0	6,2	10,0	10,0	10,0	10,0
	16						2,3	3,6	5,4	9,2	10,0	10,0	10,0
	20							3,2	4,6	7,3	10,0	10,0	10,0
	25								4,3	6,8	10,0	10,0	10,0
	32								3,7	5,8	9,0	10,0	10,0
	40									5,1	8,5	10,0	10,0
	50										7,0	10,0	10,0
	63											6,4	10,0

[kA]

Voor installatie-automaten type ATI,
D-karakteristiek (10 kA) in combinatie met smeltveiligheden

smeltveiligheden volgens NEN-HD-IEC 60269												
Installatie-automaat, C-karakteristiek, 6 kA	I_n [A]	16	20	25	35	50	63	80	100	125	160	
	2	0,3	0,6	0,8	2,6	8,00	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
	4			0,7	1,8	3,6	8,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
	6			0,6	1,5	2,8	4,5	7,3	10,0	10,0	10,0	10,0
	10					2,3	3,6	5,5	10,0	10,0	10,0	10,0
	16							5,0	7,7	10,0	10,0	10,0
	20								6,8	10,0	10,0	10,0
	25								6,1	8,0	10,0	10,0
	32									6,8	10,0	10,0
	40										10,0	10,0
	50										10,0	10,0
63											9,5	

[kA]

Selectiviteit Alamat

Voor installatie-automaten type NE, B en C-karakteristiek (6 kA)
in combinatie met smeltveiligheden

smeltveiligheden volgens NEN-HD-IEC 60269								
Installatie-automaat, B en C-karakteristiek, 6 kA	I_n [A]	25	35	50	63	80	100	125
	6	1,3	1,6	2,2	3,2	5,5	6,0	6,0
	10	1,3	1,6	2,2	3,2	5,5	6,0	6,0
	16	1,0	1,3	2,0	3,0	5,0	6,0	6,0
	20		1,1	1,8	2,5	4,5	6,0	6,0
	25		1,1	1,8	2,5	4,5	6,0	6,0
	32			1,6	2,2	4,0	6,0	6,0

[kA]

AARDLEKBEVEILIGING

Aardlekbeveiliging wordt toegepast als bescherming tegen:

- foutbescherming (indirecte aanraking)
- aanvullende bescherming (directe aanraking)
- brandgevaar

foutbescherming

Voor foutbescherming worden metalen gestellen met de beschermingsleiding verbonden. In geval van een fout moet de voeding van het beveiligde deel van de installatie automatisch uitschakelen zodat geen gevaarlijke aanrakingsspanning kan optreden gedurende een langere tijd. Bij een netspanning van 230 V bedraagt de maximaal toegestane uitschakeltijd 0,4 s. in geval van een TN-voeding en 0,2 s. bij een TT-voeding

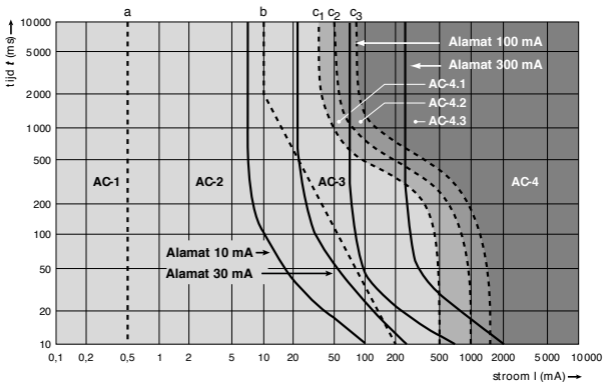
In netten waarbij de beschermingsleiding verbonden is met het sterpunt van de distributietransformator (TN-netten) kan meestal gebruik worden gemaakt van patronen of installatie-automaten om aan bovenstaande eis te voldoen. Vanwege de lage kabelimpedanties wordt de foutstroom namelijk groot genoeg om de patroon of installatie-automaat binnen de gestelde tijd te laten onderbreken.

In TT-netten wordt de stroom echter vooral bepaald door de aardverspreidingsweerstand. In deze netten is de foutstroom vanwege deze relatief hoge aardverspreidingsweerstand veelal dusdanig laag dat bij gebruik van overstroombeveiliging niet aan de eisen van uitschakeltijden wordt voldaan. Om in deze situatie toch een adequate foutbescherming te realiseren, wordt gebruik gemaakt van een aardlekschakelaar of aardlekautomaat.

In Nederland mag de aardverspreidingsweerstand nooit hoger zijn dan 167 Ohm. Dit heeft tot gevolg dat foutbescherming altijd gerealiseerd wordt met een S-type of een gewone aardlekschakelaar met een aanspreekstroom ≤ 300 mA. Een aardlekschakelaar moet hierbij voldoen aan NEN-EN-IEC 61008 en een aardlekautomaat aan de NEN-EN-IEC 61009.

Aanvullende bescherming (directe aanraking)

Met aanvullende bescherming wordt de situatie bedoeld, waarbij de foutbescherming niet goed functioneert of waarbij b.v. spanningsvoerende delen worden aangeraakt. Dit kan zich voordoen bij een isolatiebreuk, of onzorgvuldigheid van de gebruiker. De aardlekstroom vloeit b.v. via handen, romp en voeten naar aarde en bedraagt meestal maximaal 200 mA.



De grafiek is verdeeld in vier gebieden, te weten:
gebied AC-1: tot lijn a
Geen waarneembare gevolgen.

gebied AC-2: van lijn a tot b
Geen schadelijke fysiologische effecten. In dit gebied wordt de stroom in toenemende mate gevoeld, echter er treden geen schadelijke effecten op.
De loslaatdrempel (daar waar nog geen spierverkramping optreedt) ligt bij ca 10 mA.

gebied AC-3: van lijn b tot curve c1
Er valt geen schade te verwachten aan de organen, wel treden spiersamentrekkingen op. Deze kunnen leiden tot het moeilijk loslaten van een onder spanning staand deel

en ademhalingsmoeilijkheden.

gebied AC-4: boven curve c1

Als in gebied 3, echter nu ook het risico van hartfibrillatie, met als gevolg acuut levensgevaar.

De kans bedraagt:

ca 5% tot aan curve c2

ca 50% tot aan curve c3

Tevens met toenemende stroom en tijdsduur: interne verbranding, niet-functionerende ademhaling en hartstilstand.

Voor het realiseren van aanvullende bescherming, mag de nominale aanspreekstroom van de aardlekschakelaar niet meer bedragen dan 30 mA. Een aardlekschakelaar moet voldoen aan de NEN-EN-IEC 61008 en een aardlek-automaat moet voldoen aan de NEN-EN-IEC 61009. Een dergelijke aardlekschakelaar voorkomt uiteraard niet dat een schok gevoeld wordt. Wel wordt de stroom uitgeschakeld voordat het risico van hartfibrillatie optreedt. Bij hartfibrillatie gaat het hart ongecoördineerd samentrekken, waardoor de bloedcirculatie wordt verstoord. Deze situatie is fataal indien er niet zeer snel medische hulp verkregen wordt.

bescherming tegen brandgevaar

Het risico van brandgevaar ontstaat bij onvolkomen aardsluitingen in een brandgevaarlijke omgeving, b.v. een houten gebouw. Vanaf 50/60 Watt, dit komt overeen met een stroom groter dan 0,3 A, kan reeds zoveel warmte ontwikkeld worden dat hierdoor brandgevaar optreedt. Door het toepassen van een gewoon of selectief type (S-type) aardlekbeveiliging met een aanspreekstroom van maximaal 0,3 A wordt brandgevaar beperkt.

klasse A of klasse AC?

Aardlekschakelaars worden gekenmerkt door hun klasse:
A: detecteert en schakelt sinusvormige aardfoutstromen en pulserende aardfout gelijkstromen af
AC: detecteert en schakelt alleen sinusvormige aardfoutstromen af

De NEN 1010 staat alleen het gebruik van een klasse

A aardlekautomaat of aardlekschakelaar toe.
Een klasse A aardlekbeveiliging reageert namelijk ook op pulserende dc-stromen. Deze foutstromen hebben een typische vorm en kunnen gegenereerd worden door de voedingen van moderne huishoudelijke apparaten. Maar ook tegen een fout met b.v. een haardroger die voorzien is van een diode-schakeling, voor regeling van het vermogen, beveiligt een klasse AC aardlekbeveiliging niet.

gewone of S-type aardlekbeveiliging

Naast de gewone (general type) aardlekbeveiliging kennen de NEN-EN-IEC 61008 en de NEN-EN-IEC 61009 ook nog een S-type aardlekbeveiliging. De S-type aardlekbeveiliging is een tijdvertraagde aardlekbeveiliging zodat het mogelijk wordt selectieve combinaties van aardlekschakelaars te gebruiken.

Alleen een combinatie van een voorgeschakelde S-type aardlekbeveiliging met een nageschakelde gewone aardlekbeveiliging die tenminste één stap gevoeliger is, is selectief voor alle aardlekstromen. Alle andere combinaties van aardlekbeveiligingen zijn slechts selectief tot de aanspreekstroom van de voorliggende aardlekbeveiliging.

Let er wel op dat alleen het gewone type aardlekbeveiliging met een aanspreekstroom van ten hoogste 30 mA beveiligt tegen directe aanraking. Het S-type aardlekbeveiliging doet dit niet. Vanwege selectiviteit is het S-type (b.v. 100 mA of 300 mA) uitermate geschikt om te worden toegepast als foutbescherming in TT-installaties. zie ook bepaling 415.1.2 van NEN 1010.

spanningsafhankelijke of spanningsonafhankelijke aardlekbeveiliging

De technologieën achter aardlekbeveiliging kunnen in principe in twee stromingen verdeeld worden: spanningsafhankelijk en spanningsonafhankelijk. Het verschil tussen de twee technologieën is dat voor de spanningsonafhankelijke geen voedingsspanning is vereist terwijl de spanningsafhankelijke versie alleen functioneert indien er een spanning hoger dan 50 V (dus een potentieel gevaarlijke spanning) aanwezig is.

Voordeel van een spanningsafhankelijke aardlekbeveiliging is echter dat er gebruik gemaakt wordt van geavanceerde detectietechnieken waardoor de aardlekbeveiliging beduidend minder gevoelig is voor storingen veroorzaakt door moderne apparatuur als HF-TL-verlichting en computers. Dit zonder concessies te doen aan een goede beveiliging tegen gevaarlijke aardlekstromen. Ook is de spanningsafhankelijke technologie zeer ongevoelig voor storingen zoals b.v. veroorzaakt door atmosferische ontladingen.

Meer informatie over dit onderwerp vindt u op de vaktechnieksectie van www.et-installeteur.nl

aardlekbeveiliging per eindgroep

Ondanks het grote voordeel, namelijk continuïteit van stroomvoorziening, dit door elke groep van een afzonderlijke aardlekbeveiliging van ten hoogste 30 mA te voorzien, worden in de praktijk vaak zoveel mogelijk groepen achter één aardlekschakelaar geplaatst. Hierbij wordt vaak geen rekening gehouden met het feit dat de som van de lekstromen van alle aangesloten apparatuur niet hoger mag zijn dan 10 mA en dat niet meer dan 4 eindgroepen door dezelfde aardlekschakelaar mogen zijn beveiligd. Zeker in installaties met moderne apparatuur heeft dit tot gevolg dat er vaak storingen optreden omdat de lekstroom van alle op één aardlekbeveiliging aangesloten apparatuur zo hoog is dat de beveiliging "op de wip staat".

SPECIFICATIES VAN LASTSCHEIDERS

De belangrijkste specificaties van lastscheiders zijn:

- **de stroom I_{th} en I_{the} .**

I_{th} is de maximale stroom die de lastscheider, in open opstelling, continu kan voeren zonder te warm te worden.

I_{the} is de maximale stroom die de lastscheider, geplaatst in een omhulling (b.v. kast van een verdeelsysteem), continu kan voeren zonder te warm te worden.

- **de nominale isolatiespanning U_i en stoothoudspanning U_{imp} .**

Het diëlektrische gedrag van een lastscheider wordt vastgelegd aan de hand van de nominale isolatiespanning en de stoothoudspanning. De nominale isolatiespanning is de 50 Hz spanningswaarde die voor de bepaling van de kruipwegen gebruikt wordt.

Bij het continu aanwezig zijn van U_i mag er geen geleidend pad tussen twee verschillende geleidende delen ontstaan. De stoothoudspanning U_{imp} is een korte spanningsimpuls, zoals die op kan treden in geval van overspanningen, b.v. veroorzaakt door atmosferische storingen. De luchtwegen tussen verschillende geleidende (al dan niet spanningsvoerende) delen moeten zo zijn gekozen, dat U_{imp} niet tot doorslag leidt.

- **de nominale gebruiksspanning U_o .**

De nominale gebruiksspanning U_o is de spanning, waarvoor de schakelaar geschikt is en waarvoor de verschillende, met name ten aanzien van het schakelen van stromen, specificaties van kracht zijn.

- **het nominale in- en uitschakelvermogen I_o .**

In de specificaties wordt gesproken van de nominale stroom I_o . Deze is gerelateerd aan de verschillende gebruikscategorieën en de van belang zijnde gebruiksspanningen. De gebruikscategorie is vastgelegd in de zogenoemde AC klassen, waarbij AC voor alternating current (wisselstroom) staat. Deze zijn vastgelegd in NEN-EN-IEC 60947-3.

Onderscheiden wordt:

- AC-21** het schakelen van ohmse belastingstromen, inclusief kleine overbelastingstromen. De schakelaar wordt voor deze klasse getest met een stroom van 1,5 maal de nominale stroom I_{ϕ} van de schakelaar, 5% spanningsverhoging en $\cos \varphi = 0,95$;
- AC-22** het schakelen van gemengde ohmse en inductieve belastingen, inclusief kleine overbelastingstromen. De schakelaar wordt getest bij 3 maal de nominale stroom I_{ϕ} met 5% spanningsverhoging en $\cos \varphi = 0,65$;
- AC-23** het schakelen van motoren of andere hoog inductieve belastingen. Toepassing als motornoodschakelaar valt hier ook onder, hetgeen inhoudt dat ca. 8 maal de nominale motorstroom geschakeld moet kunnen worden i.v.m. de mogelijkheid van een geblokkeerde rotor. Dit is in het testvoorschrift terug te vinden: voor uitschakelen 8 maal de nominale stroom I_{ϕ} met 5% spanningsverhoging en $\cos \varphi = 0,45$ voor nominale stromen tot en met 100A en $\cos \varphi = 0,35$ voor nominale stromen groter dan 100A. Voor inschakelen is de teststroom nog groter: 10 maal de nominale stroom.

Hiernaast wordt ook nog onderscheid gemaakt tussen categorie A en B. Categorie A betekent dat de schakelaar geschikt is voor frequent schakelen. Hierbij moet gedacht worden aan wekelijks 1 maal in- en uitschakelen. Categorie B betekent dat de schakelaar geschikt is voor niet frequent schakelen. Hierbij moet bijvoorbeeld gedacht worden aan het uitschakelen en vervolgens weer inschakelen van de installatie ten behoeve van het uitvoeren van werkzaamheden aan de installatie.

• **de nominale korte-duur stroom I_{cw} .**

Met de nominale korte-duur stroom I_{cw} wordt aangegeven welke stroom de schakelaar voor een korte tijdsperiode, meestal tot 1 seconde, kan voeren zonder dat er beschadiging van de schakelaar optreedt.

Hierbij dient rekening gehouden te worden bij de keuze van voorliggende beveiligingen.

- **het nominale inschakelvermogen bij kortsluiting I_{cm} .**

Hiermee wordt de maximale stroom bedoeld die ingeschakeld kan worden indien deze stroom minimaal 50 ms aanwezig blijft. I_{cm} staat voor de maximale piekstroom.

- **kortsluitvastheid met voorgeschakelde patroon.**

Hierbij wordt aangegeven bij welke stroom en voorgeschakelde patroon de schakelaar de kortsluitstroom kan voeren en kan inschakelen. Hierbij wordt er van uitgegaan dat de lastschakelaar geen schade hiervan zal ondervinden.

- **toepassing bij gelijkstroom**

Bij gelijkspanning wordt analoog aan wisselspanning in NEN-EN-IEC 60947-3 een aantal DC (direct current) gebruikscategorieën gedefinieerd. Onderscheiden wordt DC-21, DC-22 en DC-23, waarvan de omschrijving ten aanzien van toepassing analoog is aan die bij de AC-klassen.

MESPATRONEN

Eaton Holec levert een volledige reeks mespatronen voor zowel 400, 500 en 690 V. Bijzonder is dat voor de 400 V serie naast de normale gG-karakteristiek ook een snelle gF-karakteristiek beschikbaar is, die o.a. in de distributienetten grotere kabellengtes toestaat.

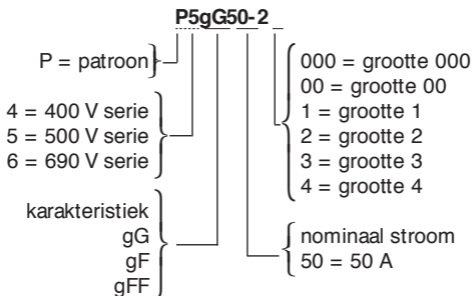
Onderstaande tabellen geven een overzicht van alle beschikbare patronen.

type gG, 500 V		
type	grootte	nominaalstroom I_n
P5gGxxx-000	000	2 A t/m 100 A
P5gGxxx-00	00	125 A t/m 160 A
P5gGxxx-1	1	35 A t/m 250 A
P5gGxxx-2	2	200 A t/m 400 A
P5gGxxx-3	3	450 A t/m 630 A
P5gGxxx-4	4	800 A t/m 1000 A

type gG, 690 V		
type	grootte	nominaalstroom I_n
P6gGxxx-000	000	2 A t/m 80 A
P6gGxxx-00	00	80 A t/m 125 A
P6gGxxx-1	1	35 A t/m 200 A
P6gGxxx-2	2	225 A t/m 355 A
P6gGxxx-3	3	400 A t/m 500 A

type gF, 400 V		
type	grootte	nominaalstroom I_n
P4gFxxx-000	000	10 A t/m 63 A
P4gFxxx-00	00	80 A t/m 160 A
P4gFxxx-1	1	35 A t/m 250 A
P4gFxxx-2	2	315 A t/m 400 A
P4gFxxx-3	3	450 A t/m 630 A

Type-aanduiding



Tijd/stroomkarakteristiek

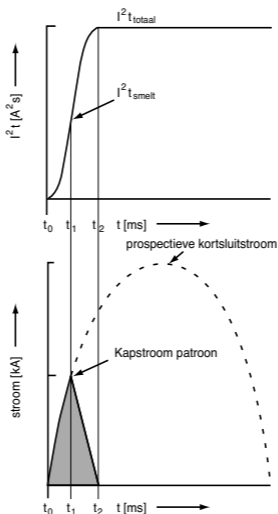
Deze karakteristiek geeft het verband weer tussen een overstroom door de patroon en de bijbehorende onderbreektijd van de patroon.

Kapstroomkrommen

De kromme geeft het verband weer tussen de hoogte van de doorgelaten piekstroom en de hoogte van de prospectieve kortsluitstroom (effectieve waarde) door de patroon. De prospectieve kortsluitstroom is de stroom die er in geval van kortsluiting zou gaan lopen indien er geen beveiligingscomponent in het circuit zou zijn opgenomen. Zie afbeelding op pagina 122.

I²t-diagram

Dit diagram geeft het verband weer tussen de hoogte van de prospectieve kortsluitstroom en de maat voor de doorgelaten energie (doorgelaten I²t). Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen I²t-smelt en I²t-totaal. Het verschil tussen beide wordt uitgelegd aan de hand van de afbeelding op pagina 122.



Op tijdstip t_0 treedt de kortsluiting op. Wanneer er geen beveiligingscomponent zou zijn geïnstalleerd, zou de volledige prospectieve kortsluitstroom gaan lopen (gestippelde lijn). Bij toepassing van een patroon gebeurt het volgende:

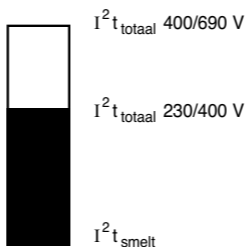
Van t_0 tot t_1 wordt het smeltbandje als gevolg van de kortsluitstroom heel snel opgewarmd. Op t_1 smelt het bandje en ontstaat er een boogontlading in de patroon, waarna de stroom wordt gekapt. De hoeveelheid energie (I^2t) die nodig is om het bandje te doen smelten wordt de I^2t_{smelt} (engels: $I^2t_{\text{pre-arcing}}$) genoemd. Dit is dus de energie tot aan t_1 .

Op t_1 wordt de stroom echter nog niet onderbroken. De boogspanning van de boogontlading drukt de stroom weliswaar snel naar nul, maar er loopt nog enige stroom door de boogontlading. Zolang er stroom loopt wordt er dus ook nog energie (I^2t) doorgelaten.

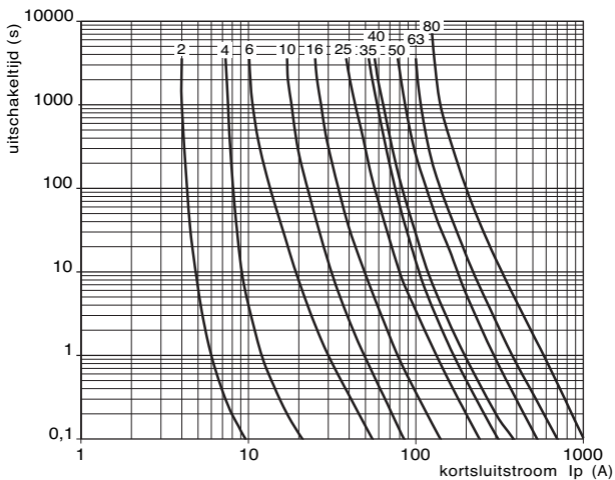
De hoeveelheid doorgelaten energie van t_1 tot t_2 wordt I^2t_{boog} (engels: I^2t_{arcing}) genoemd. Pas bij t_2 wordt de stroom onderbroken. De totale hoeveelheid energie die van t_0 tot t_2 is doorgelaten wordt I^2t_{totaal} (engels: $I^2t_{\text{operating}}$) genoemd. I^2t_{totaal} is dus $I^2t_{\text{smelt}} + I^2t_{\text{boog}}$.

I^2t_{totaal} is afhankelijk van de bedrijfsspanning. Hoe hoger de spanning, hoe hoger de I^2t_{totaal} .

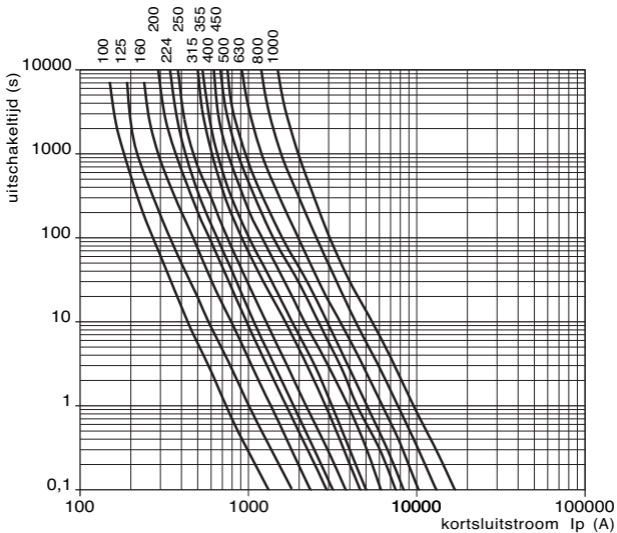
In de I^2t -diagrammen kunt u de waarden voor I^2t_{smelt} en I^2t_{totaal} aflezen volgens de volgende legenda:



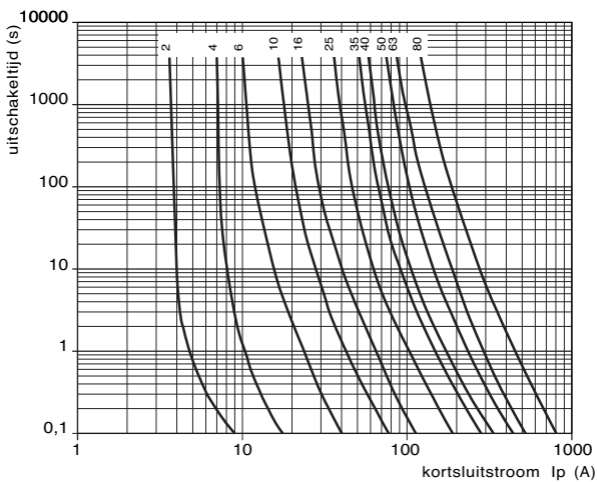
**tijd/stroomkarakteristiek van mespatroon, Isodin
type gG, 500 V, 2 t/m 80 A**



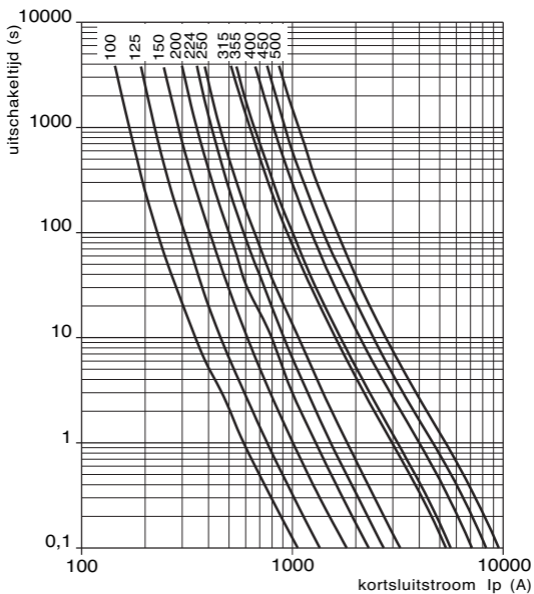
**tijd/stroomkarakteristiek van mespatroon, Isodin
type gG, 500 V, 100 t/m 1000 A**



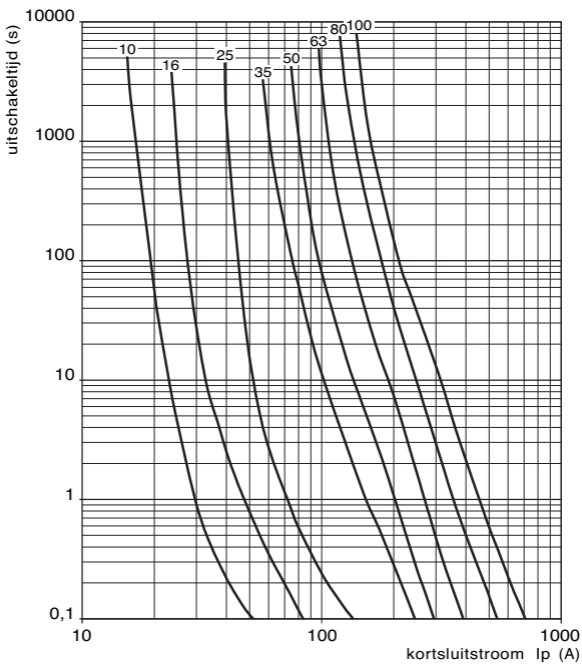
**tijd/stroomkarakteristiek van mespatroon, Isodin
type gG, 690V, 2 t/m 80 A**



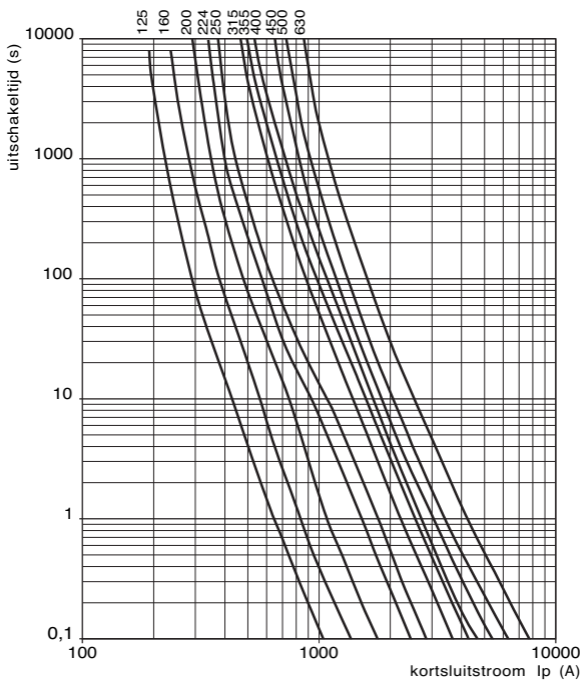
**tijd/stroomkarakteristiek van mespatroon, Isodin
type gG, 690V, 100 t/m 500 A**



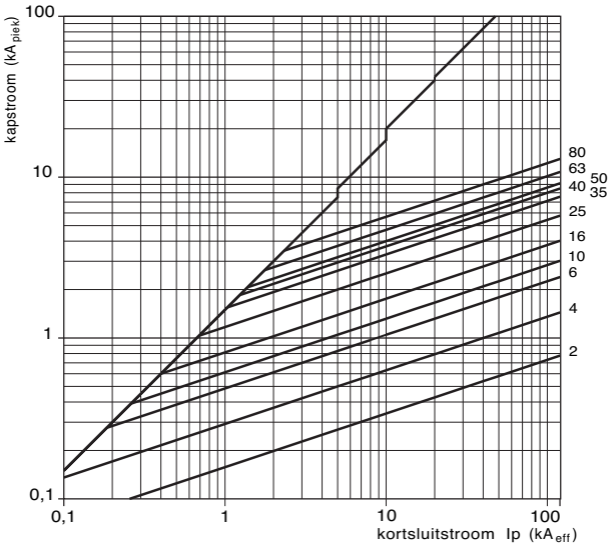
**tijd/stroomkarakteristiek van mespatroon, Isodin
type gF, 400 V, 10 t/m 100 A**



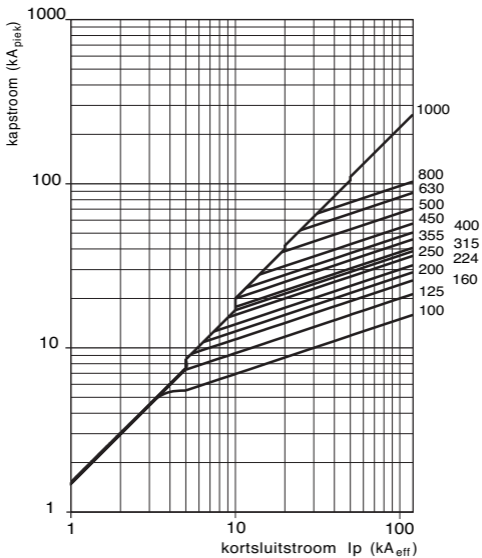
**tijd/stroomkarakteristiek van mespatroon, Isodin
type gF, 400 V, 125 t/m 630 A**



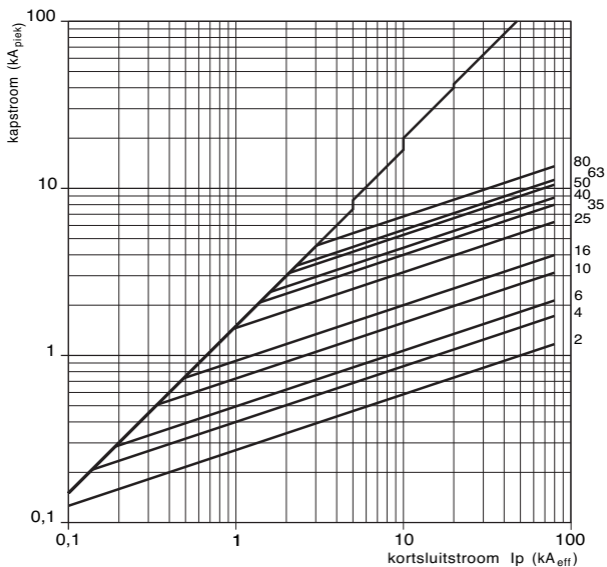
kapstroomkrommen van mespatroon, Isodin
 type gG, 500 V, 2 t/m 80 A



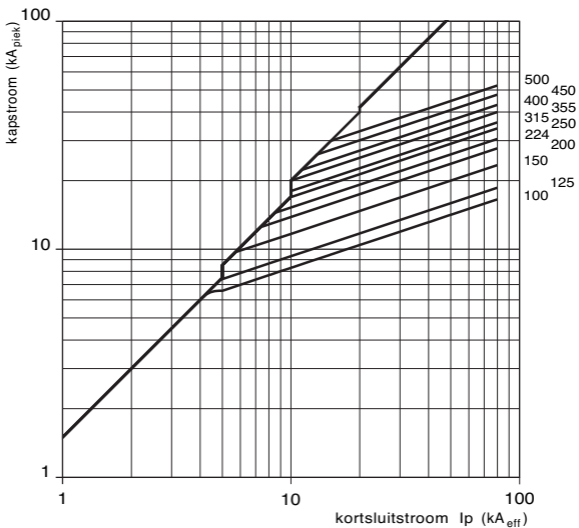
kapstroomkrommen van mespatroon, Isodin
 type gG, 500 V, 100 t/m 1000 A



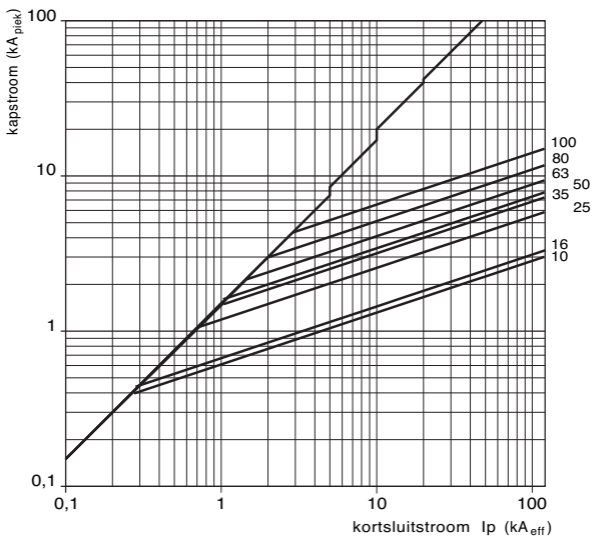
kapstroomkrommen van mespatroon, Isodin
 type gG, 690V, 2 t/m 80 A



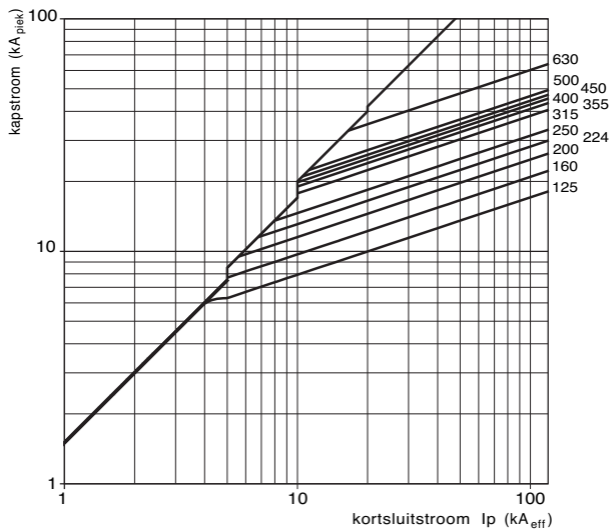
kapstroomkrommen van mespatroon, Isodin
 type gG, 690V, 100 t/m 500 A



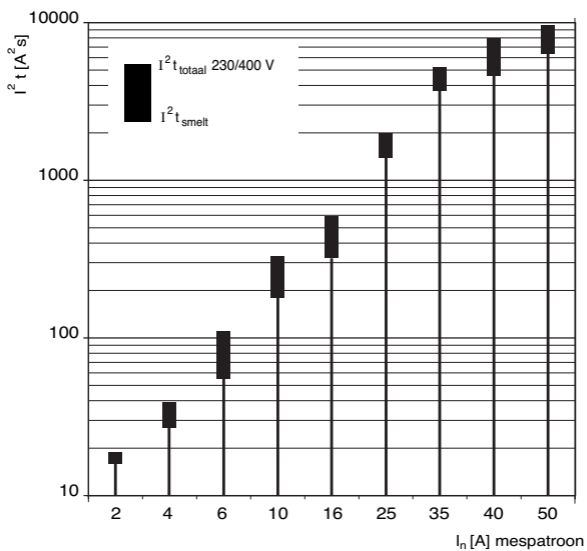
kapstroomkrommen van mespatroon, Isodin
 type gF, 400 V, 10 t/m 100 A



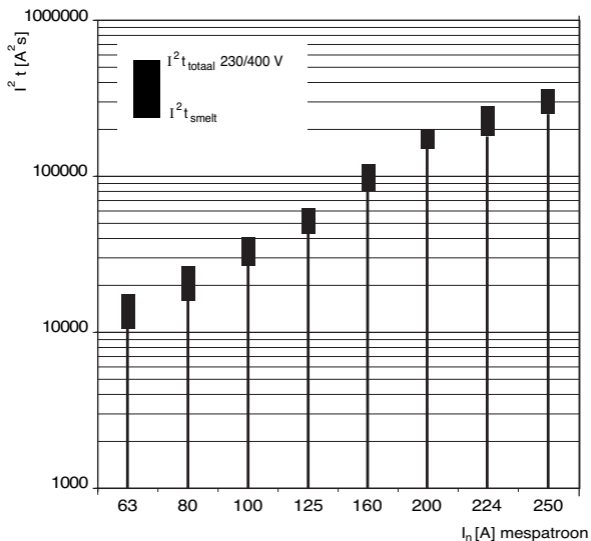
kapstroomkrommen van mespatroon, Isodin
 type gF, 400 V, 125 t/m 630 A



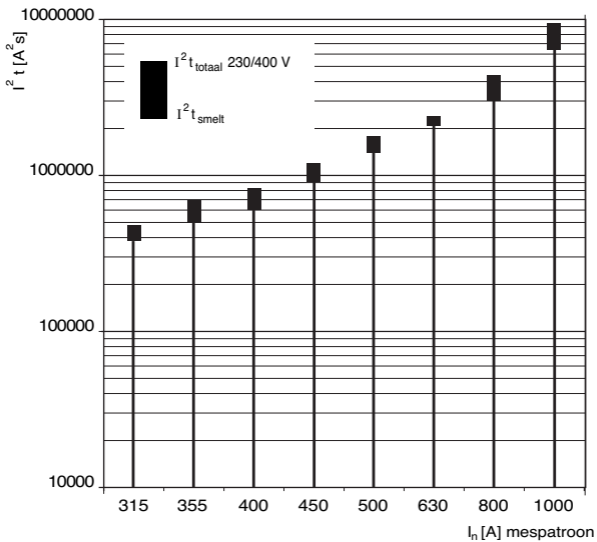
I²t - diagram van mespatroon, Isodi n
 type gG, 500 V, 2 t/m 50 A



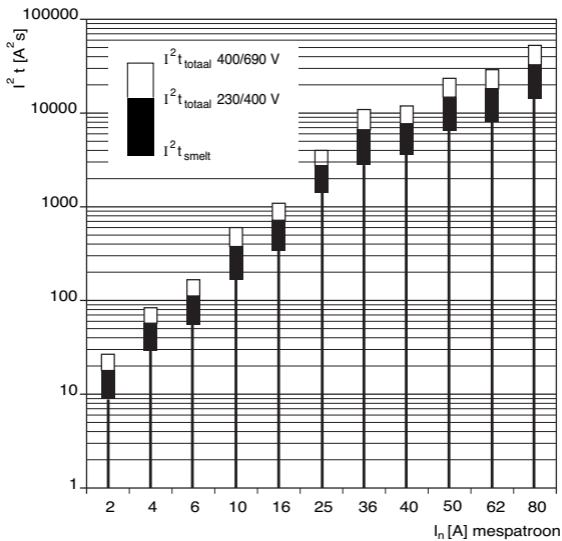
I²t - diagram van mespatroon, Isodin
 type gG, 500 V, 63 t/m 250 A



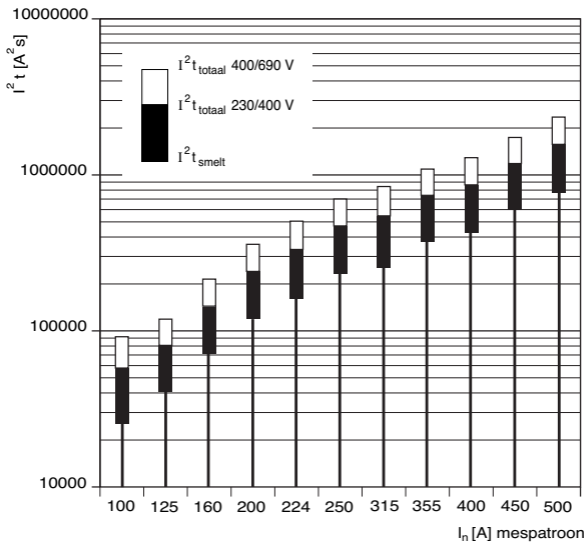
**I²t - diagram van mespatroon, Isodi n
type gG, 500 V, 315 t/m 1000 A**



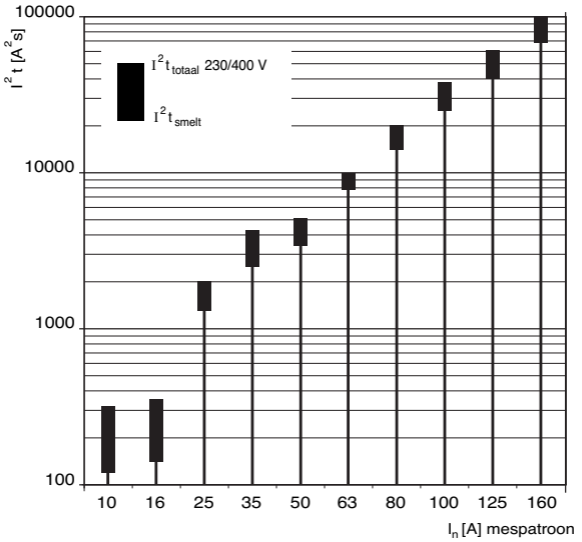
I²t - diagram van mespatroon, Isodin
 type gG, 690 V, 2 t/m 80 A



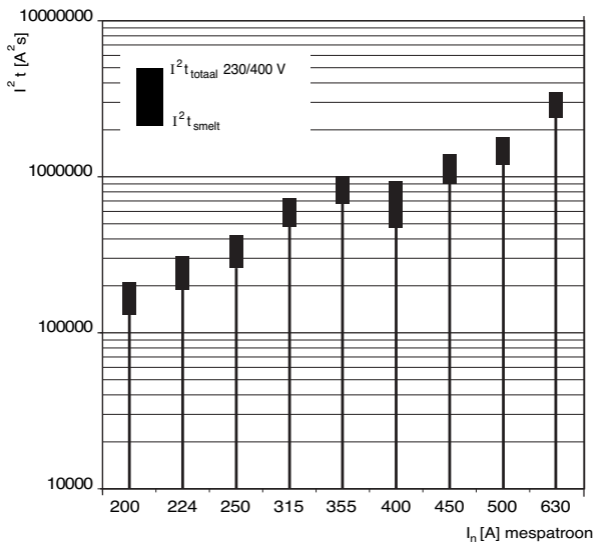
**I²t - diagram van mespatroon, Isodin
type gG, 690 V, 100 t/m 500 A**



**I²t - diagram van mespatroon, Isodin
type gF, 400 V, 10 t/m 160 A**



**I²t - diagram van mespatroon, Isodin
type gF, 400 V, 200 t/m 630 A**



overzicht Watt-verliezen (W) mespatronen Isofin, grootte 000-00-1-2-3-4

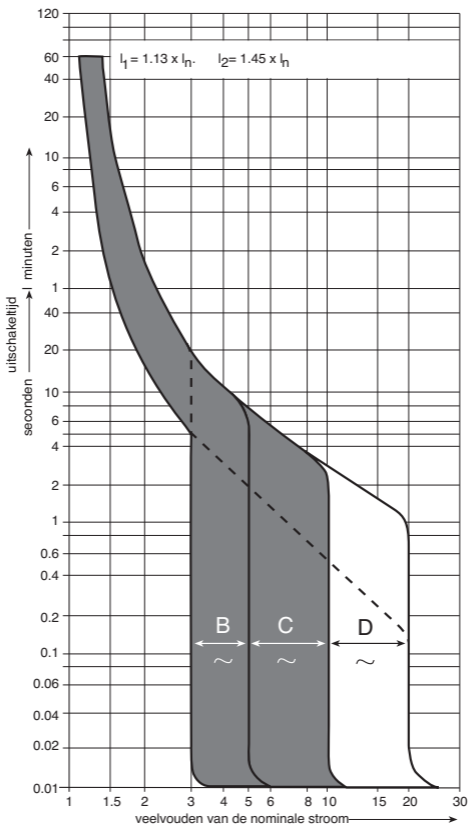
I _n patroon [A]	P5gG-000	P4gF000	P5gG-00	P4gF-00	P5gG-1	P4gF-1	P5gG-2	P4gF-2	P5gG-3	P4gF-3	P5gG-4	I _n patroon [A]
2	3,7											2
4	1,5											4
6	1,5											6
10	1,3	1,7										10
16	2,1	2,7										16
25	2,4	3,6										25
35	3,1	3,5	3,7		6,3							35
40	3,6											40
50	3,9	5,5	5,1		5,9							50
63	4,7	6,6	6,2		6,7							63
80	5,7		7,1	7,3	7,4							80
100	7,5		8,7	7,7	9,7							100
125			8,6	9,6	11,0	11,6						125
160			6,6	12,5	13,3	14,9						160
200					14,1	18,2	14,0					200
224					16,8	18,2						224
250					19,7	19,6	19,1					250
315							24,0	26,4				315
355							24,2	28,1				355
400							29,0	24,7				400
450									32,3	36,3		450
500									38,5	42,6		500
630									42,4	48,1		630
800											70	800
1000											85	1000

De Watt-verliezen zijn gemeten waarden bij volle belasting (I_n) in open lucht bij een omgevingstemperatuur van ca. 20 °C, nadat de eindtemperatuur was bereikt. Bij lagere belasting gaan de wattverliezen kwadratisch omlaag bijv. 50% belasting wordt (50)² = 25% Watt-verlies.

$\frac{100}{100}$

INSTALLATIE-AUTOMATEN EN AARDLEKAUTOMATEN UITSCHAKELKROMMEN

I_1 is de stroom waarbij de automaat nog niet mag uitschakelen. I_2 is de stroom waarbij de automaat wel moet uitschakelen binnen gespecificeerde tijd.



Watt-verliezen en weerstand per pool van Eaton Holec installatie-automaten

kenmerk	I_n [A]	weerstand [mΩ]	Watt-verlies [W]	Max. toegestaan Watt-verlies volgens NEN-EN-IEC 60898 [W]
C,D	2	310	1,2	3.0
C,D	4	93	1,5	3.0
B,C,D	6	44	1,6	3.0
B,C,D	10	16	1,6	3.0
B,C,D	16	10	2,6	3.5
B,C,D	20	6,9	2,8	4.5
B,C,D	25	5,1	3,2	4.5
B,C,D	32	3,0	3,1	6.0
B,C,D	40	2,5	4,0	7.5
B,C,D	50	1,8	4,5	9.0
B,C,D	63	1,3	5,2	13.0

Totale Watt-verliezen (fase plus nul) van Alamat

I_n [A]	weerstand R [mΩ]	Watt-verlies [W]
6	80	2.9
10	21	2.1
16	12	3.1
20	8.3	3.3
25	5.6	3.5
32	4.8	4.9

Meggervoorschrift Alamat

De Alamat is Eaton Holec's spanningsafhankelijke aardlekautomaat en is daardoor uitermate geschikt voor aardlekbeveiliging in omgevingen met een hoog stroomniveau zoals kantooromgevingen. De Alamat maakt hiervoor gebruik van geavanceerde beveiligingselektronica, hetgeen echter om enige voorzichtigheid vraagt bij het meggen en het proefspannen.

Meggen

De huidige Alamat (versie IIIb) bevat elektronica die niet alleen bestand is tegen meggerspanningen tot 1000 Vdc maar geeft tevens de goede isolatiewaarde vanwege een uniek capacitief voedingscircuit.

Hierdoor zijn voor het meggeren van de huidige Alamat geen verdere instructies nodig. Oudere versies van de Alamat hebben afwijkende elektronica die slechts bestand is tegen meggerspanningen tot 500 Vdc en bovendien wordt de gemeten isolatieweerstand beïnvloed. Om problemen te voorkomen dient dan ook een eventueel aanwezige aarddraad van de Alamat losgenomen te worden bij het meggeren naar aarde en dient de nuldraad losgenomen te worden bij het meggeren tussen fase en nul.

Op de vaktechnieksectie van www.et-installateur.nl vindt u meer informatie over dit onderwerp maar u kunt natuurlijk ook altijd contact opnemen met Eaton Holec.

Proefspannen

TTA verdeelsystemen moeten worden proefgespannen met 2,5 kVac. De elektronica van de Alamat is hier niet tegen bestand.


De Alamat zal voor het proefspannen in de "O" positie geplaatst moeten worden. Als u van plan bent tussen fase en nul te proefspannen zal de nul aan de voedende zijde van de Alamat moeten worden losgenomen.

Op de vaktechnieksectie van www.et-installateur.nl vindt u meer informatie over dit onderwerp maar u kunt natuurlijk ook altijd contact opnemen met Eaton Holec.

Impulsspanningen

De elektronica in de Alamat en de Alasco is geschikt voor impulsspanningen tot 6 kV tussen fase en nul en is tevens geschikt voor impulsspanningen tot 8 kV naar aarde.

Dit is voor normale praktijksituaties meer dan voldoende en er zijn geen verdere handelingen nodig.



Heeft u opmerkingen,
aanvullingen of suggesties
m.b.t. de inhoud van dit boekje,
laat het ons weten.

Eaton Electric B.V.
Europalaan 202, 7559 SC Hengelo
Postbus 23, 7550 AA Hengelo
Tel.: 074 246 9111
Fax: 074 246 4444
Holec-info@eaton.com
www.et-instalateur.nl

EAT•N

Holec

©Eaton Corporation
alle rechten voorbehouden
1993.438 november 2008