

# Holec

## Technische gegevens 7de editie, november 2008

**Inclusief wijzigingen**
**NEN 1010 september 2007**

# 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**
$I^2t$-diagrammen **136**
Watt-verliezen **143**

**Installatie-automaten en aardlekautomaten**

uitschakelkrommen **144**
Watt-verliezen **145**
Meggervoorschrift Alamat **145**

## KENNIS VAN ZAKEN

Een veilige en bedrijfszekere distributie van elektriciteit, daar richt Eaton Holec zich op als vooraanstaande Nederlandse fabrikant van systemen en componenten voor de elektrische energietechniek. Eaton Holec ontwikkelt, produceert en levert schakelsystemen en schakelcomponenten voor de distributie van elektrische energie en voor de elektrische voeding van industriële processen.
De producten en diensten van Eaton Holec vinden toepassing in verdeelstations, in residentiële en utiliteitsaansluitingen en voor lichte en zware industrievoedingen.

Meer dan 100 jaar ervaring in het vakgebied heeft de kennis opgeleverd die Eaton Holec toepast in producten en diensten. Die kennis stellen we ook graag aan u ter beschikking. Vandaar dit boekje. Hier vindt u een verzameling van gegevens die in de dagelijkse praktijk van de elektrische energietechniek onmisbaar is.

Suggesties die dit boekje nog completer kunnen maken verwerken wij graag in een volgende uitgave.
Stuur uw reacties naar:
**Eaton Electric B.V.,** Afdeling Marketing Communicatie, Postbus 23, 7550 AA Hengelo. Of per e-mail aan Holec-info@eaton.com

## www.et-installateur.nl

Veel gebruikte informatie uit dit boekje, aangevuld met handige toepassingen om berekeningen te maken staan op de site **www.et-installateur.nl.** Deze site richt zich op de dagelijkse praktijk van de elektrotechnisch installateur. U vindt hier allerlei wetenswaardigheden en praktijkgegevens. Uw vraagbaak op internet.

Eaton Holec biedt u ook persoonlijke ondersteuning via het **Steunpunt (telefoon 074 – 246 3222, fax 074 246 3302 of e-mail steunpunt@eaton.com).** Hier kunt u met al uw vragen terecht. Een technische staf levert u de antwoorden die aansluiten bij uw vragen uit de praktijk.

november 2008, Hengelo

## ADRESSEN EATON ELECTRIC B.V. NEDERLAND

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

Eaton Holec Service Organisatie, vestiging Houten
Industrieterrein Het Rondeel
Ringveste 1A, 3992 DD Houten
Tel.: 074 246 6932 / Fax: 074 246 6955

**Prof. Ir. Damstra Laboratorium**
Europalaan 202, 7559 SC Hengelo
Postbus 23, 7550 AA Hengelo
Tel.: 074 246 4351 / Fax: 074 246 4352
www.damstra-lab.nl

**Eaton Electric S.A./N.V.**
Oude Vijversstraat 44-46, B-1190 Brussel
Tel: +32 2 332 20 40, Fax: +32 2 333 21 60
E-mail: be-info@eaton.com
www.eatonelectrical.be

**Technische gegevens** 7de editie, november 2008.
Alhoewel deze technische informatie met de grootste zorg is samengesteld, kunnen wij geen aansprakelijkheid aanvaarden voor eventuele onvolkomenheden in tekst en/of afbeeldingen.

## OVERZICHT VAN PRODUCTEN EN ACTIVITEITEN

### MIDDENSPANNINGSSCHAKEL- EN VERDEELSYSTEMEN

**Capitole HC:** Metaalomhuld schakelmaterieel met volledige epoxyharsisolatie met uitrijdbare vacuüm- of oliearme vermogenschakelaars en oliearme lastschakelaars (12 en 24 kV).

**Innovac SVS:** Metaalomhuld schakelmateriaal met volledige epoxyharsisolatie met vaste vacuümlast-schakelaars, vacuümlastschakelaarcombinaties met veiligheden en vacuümvermogen-schakelaars (12 en 24 kV).

**Magnefix:** Kunststofomhuld schakelmaterieel met volledige epoxyharsisolatie met hardgaslast-scheiders, vacuum vermogenschakelaars en last-scheidercombinaties met veiligheden (12 en 15 kV).

**Innovac MMS:** Metaalomhuld schakelmaterieel met lucht-isolatie met vaste vacuümvermogenschakelaars in enkel- en dubbelrail opstelling (12 en 24 kV).

**Unitole:** Metaalomhuld schakelmaterieel met lucht-isolatie met uitrijdbare vacuümvermogen-schakelaars, lastschakelaars en contactoren (12 en 24 kV).

**Xiria:** Metaalomhuld schakelmaterieel met lucht-isolatie met vaste vacuum last- en vermogen-schakelaars (12 en 24 kV).

### MIDDENSPANNINGSSCHAKELCOMPONENTEN

**Vacuüm-onderbrekers** Voor toepassing als vermogenschakelaar of lastschakelaar (12 tot 36 kV).

**Vacuüm-vermogen-schakelaars** Type COMPACT en STANDAARD met Eaton Holec vacuümonderbrekers.

### LAAGSPANNINGSSCHAKEL- EN VERDEELSYSTEMEN

**Capitole 40:** Schakel- en verdeelsysteem en Motor Control Centres in plaatstalen omhulling met afgaande velden in volledig uittrekbare of plug-in uitvoering.
**Toepassing:** industrie en utiliteit.

**Clink:** Automatiseringssysteem voor MCC's en schakel- en verdeelsystemen t.b.v. intelligent motor management en power monitoring.
**Toepassing:** (proces)industrie.

**Capitole 20:** Schakel- en verdeelsysteem in plaatstalen omhulling met afgaande velden in plug-in uitvoering.
**Toepassing:** bedrijfs-, kantoor- en utiliteitsgebouwen alsmede industrie.

**Tabula:** Plaatstaalomhuld schakel- en verdeelsysteem voor paneelbouwers voor hoofd- en onderverdelingen en Motor Control Centres.

**Halyester:** Kunststof schakel- en verdeelsysteem voor binnen- en buitenopstelling tot 1600 A.
**Toepassing:** industrie, utiliteit, winkels.

**ELatis:** Plaatstalen wandverdeelkasten en staande kunststof en plaatstalen verdeelkasten tot 8000 A voor lokale assemblage.
**Toepassing:** utiliteitsbouw, lichte industrie, woningen, winkels en kantoren.

**Medusa** Kunststof schakel- en verdeelsysteem tot 80 A, gebaseerd op Systeem 55, met maximale mogelijkheden voor inbouw van een groot aantal modulaire componenten
**Toepassing:** utiliteitsbouw, lichte industrie, woningen, winkels en kantoren.

**Medusa FLEX:** Flexibel kunststof schakel- en verdeelsysteem met voorbedrade componenten voor het zelf samenstellen van installaties tot 40 A.

**Systeem 55:** Modulair kunststof schakel- en verdeelsysteem voor woningen, winkels en kantoren tot 125 A.

**Systeem 55 FLEX:** Flexibel kunststof schakel- en verdeelsysteem met voorbedrade componenten voor het zelf samenstellen van installaties tot 40 A.

**Tiara:** Decentraal schakel- en verdeelsysteem voor woningen, winkels, kantoren en andere zakelijke gebouwen.

**XanuraHome:** Modulair huisautomatiseringssysteem voor aansturing van audio, video, verlichting en beveiliging.
**Toepassing:** zowel nieuwbouw als bestaande bouw voor woningen en toepassingen in de zorg.

**Distonet:** (Schakelbare) veiligheidenstroken en kunststof kabelverdeelkasten t.b.v. energiedistributie in verdeelnetten.

**Remeka:** Meterkastomhulling ter bescherming van de elektrische verdeelinstallatie.
**Toepassing:** woningbouw, met name renovatie.

**Modulaire componenten**

| | |
|---|---|
| Installatieautomaten | Type AT, 2 A - 63 A (6 kA en 10 kA) |
| | Type ATI, 16 A - 63 A (25 kA) |
| Aardlekautomaten | Alamat, Type NE, 6 A - 32 A |
| Aardlekschakelaars | Type RB, 20 A - 100 A (tuimelknop) |
| | Type NPFI, 40 A + 63 A (Draaiknop) |
| Aardlekelementen | Type ALE, 32 A + 63 A |
| Pulsschakelaars | Type PS, 16 A + 32 A |
| | Type PSC, 16 A + 32 A |
| Tijdrelais | Type TR, 8 A |
| Tijdschakelklokken digitaal | Type TDW, 16 A |
| | Type TDY, 16 A |
| Tijdschakelklokken analoog | Type TAD, 16 A |
| | Type TAW, 16 A |
| Trappenhuisautomaat | Type TE, 16 A |
| Schemerschakelaars | Type TSM, 10 A |
| | Type TSM1S, 16 A |
| Combinatie weekschakelklok en schemerschakelaar | Type TSMC, 10 A |
| Schakelaars met signaallamp | Type SSL, 16 A + 32 A |
| Drukknoppen | Type DKS, 16 A |
| Drukknop met signaallamp | Type DSL, 16 A |
| Omschakelaars | Type OSN, 16 A + 32 A |
| Magneetschakelaars | Type CR, 20 A - 63 A |
| | Type MRDN, 20 A + 24 A + 40 A |
| Veiligheidstransformatoren | Type STR, 25 VA + 40 VA + 63 VA |
| Beltransformatoren | Type BTR, 8 VA - 10 VA |
| | Type NTR, 8 VA |
| Overspanningsafleiders | Type OVP, 16 A + 63 A, type OVK, type OVPT |
| Patroonlastscheiders | Pasco, type LPC, 25 A - 50 A |
| Patroonhouders | Paco, type PHM, 25 A - 50 A |
| Contactdozen | Type CDT, 16 A |
| A-, V-, kWH-, kW-, FREQ- meters | |
| Omschakelaars en multipole schakelaars | Type QM, 40 A - 100 A |
| Lastscheiders | Lasco, type LSC, 25 A - 100 A |
| | Duco, type DMV, 40 A - 63 A |
| | Duco, type DCM, 40 A - 63 A |
| | Dumeco, type DMM, 40 A - 125 A |

**Niet-modulaire componenten**

| | |
|---|---|
| Lastscheiders | Dumeco, type DMV, DMS, 160 A - 3600 A |
| Lastscheiders | Q-Line, 40 A - 3150 A |
| Veiligheidenlastscheiders | Type QSA, 40 A - 800 A<br>Type Q-Quick, 40 A - 400 A |
| Mespatroonlastscheiders | Type GRT, grootte 000 t/m 3, 3- en 4-polig |
| Draaischakelaars | Type RSD, 25 A |
| Schroefpatroonhouders | Isocoupe, 25 A - 63 A |
| Mespatroonhouders | Isodin, 160 A - 1250 A |
| Mespatronen | Isodin, 2 A - 1000 A |
| Vermogenschakelaars | 16 - 6300 A |
| Stroomtransformatoren | Type HF, 30 A - 5000 A |
| Industriestopcontacten | Haceno, 16 A - 125 A |
| Industriestopcontacten | Eaton Holec, 16 A - 32 A |
| Herinschakelingsrelais | ERM/TDRM/TDRM2 |
| Aardlekmonitoren | Type ELM, 25 A - 125 A |
| Knoppen en handels | K-line, voor schakelaars met as 6, 8 , 10 , 12 en 14 mm vierkant |

## SI-EENHEDEN
(Gegevens ontleend aan NEN 999)

**basisgrootheden en grondeenheden**

| basisgrootheid | symbool | grondeenheid | eenheid |
|---|---|---|---|
| lengte | $l$ | meter | m |
| massa | $m$ | kilogram | kg |
| tijd | $t$ | seconde | s |
| elektrische stroom | $I$ | ampère | A |
| thermo-dynamische temperatuur | $T$ | kelvin | K |
| lichtsterkte | $I$ | candela | cd |
| hoeveelheid stof | $n$ | mol | mol |
| **aanvullende grootheden** | | | |
| (vlakke) hoek | $\propto$ | radiaal | rad |
| ruimtehoek | $\Omega$ | steradiaal | sr |

**voorvoegsels**

| | | |
|---|---|---|
| $10^{18}$ | = exa | = E |
| $10^{15}$ | = peta | = P |
| $10^{12}$ | = tera | = T |
| $10^{9}$ | = giga | = G |
| $10^{6}$ | = mega | = M |
| $10^{3}$ | = kilo | = k |
| $10^{2}$ | = hecto | = h |
| $10^{1}$ | = deca | = da |
| $10^{-1}$ | = deci | = d |
| $10^{-2}$ | = centi | = c |
| $10^{-3}$ | = milli | = m |
| $10^{-6}$ | = micro | = µ |
| $10^{-9}$ | = nano | = n |
| $10^{-12}$ | = pico | = p |
| $10^{-15}$ | = femto | = f |
| $10^{-18}$ | = atto | = a |

| **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 | $\alpha, \beta, \gamma, ..$ | radiaal | rad |

**algemeen** *SI-eenheden*

| **grootheid** | | **SI-eenheid** | |
|---|---|---|---|
| naam | symbool | naam | eenheid |
| tijd | $t$ | | |
| periode (duur) | $T$ | seconde | s |
| tijdconstante | $\tau$ | | |
| massa | $m$ | kilogram | kg |
| dichtheid | $\rho$ | 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** | | **SI-eenheid** | |
| naam | symbool | naam | eenheid |
| **vaste stoffen** | | | |
| rekgrens | $R_p$ | | |
| druk | $p$ | | |
| elasticiteitsmodules | $E$ | Pascal | Pa |
| afschuivingsmodules | $G$ | | |
| normaalspanning | $\sigma$ | | |
| schuifspanning | $\tau$ | | |
| relatieve rek | $\in$ | (dimensieloos) | |
| **gassen/vloeistoffen** | | | |
| druk (spanning) | $p$ | Pascal | Pa |

| **mechanica** | | | ***SI-eenheden*** |
|---|---|---|---|
| **grootheid** | | **SI-eenheid** | |
| 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 | $\omega$ | radiaal per seconde | rad/s |
| hoekversnelling | $\propto$ | radiaal per seconde kwadraat | $rad/s^2$ |

| **grootheid** | | **SI-eenheden** | |
|---|---|---|---|
| naam | symbool | naam | eenheid |
| temperatuur | $T$ | kelvin | K |
| liniaire uitzettingscoëfficient | $\alpha$, $\lambda$ | per kelvin | 1/K |
| hoeveelheid warmte | $Q$ | joule | J |
| warmtestroom | $\varphi$ | watt | W |
| warmtestroomdichtheid | $q$ | watt per vierkante meter | $W/m^2$ |
| warmtegeleiding | $G$ | watt per kelvin | W/K |
| warmtegeleidingscoëfficiënt | $\lambda$ | watt per meter kelvin | W/(m.K) |
| warmteoverdrachtscoëfficiënt | $a$, $h$ | watt per vierkante meter kelvin | $W/(m^2.K)$ |
| warmtedoorgangscoëfficiënt | $K$ | kelvin | K |
| warmteweerstand | $R$ | kelvin per watt | K/W |
| warmte-isolatiecoëfficiënt | $M$ | kelvin vierkante meter per watt | $K.m^2/W$ |
| warmtecapaciteit | $C$ | joule per kelvin | J/K |

**elektriciteit en magnetisme** ***SI-eenheden***

| **grootheid** | | **SI-eenheden** | |
|---|---|---|---|
| naam | symbool | naam | eenheid |
| elektrische spanning | $U$ | volt | V |
| elektrische weerstand | $R$ | ohm | Ω |
| soortelijke weerstand | $\rho$ | ohm meter | Ωm |
| soortelijke geleiding | $\sigma$ ,$\gamma$ | 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 | $\lambda$ | meter | m |
| frequentie | $f$ | hertz | Hz |

| **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 | $\phi$ | weber | Wb |
| magnetische inductie | $B$ | tesla | T |
| magnetische veldsterkte | $H$ | ampère per meter | A/m |
| zelfinductie | $L$ | henry | H |
| permeabiliteit | $\mu$ | henry per meter | H/m |

**omrekeningsfactoren** *SI-eenheden*

| grootheid | eenheid | →x | x ← | eenheid |
|---|---|---|---|---|
| druk | kgf/cm²=at | $9{,}80665{,}10^{4}$ | $1{,}01972{,}10^{-5}$ | N/m² = Pa |
| | torr | $1{,}333.10^{2}$ | $7{,}502.10^{-3}$ | Pa |
| | lbf/ft² | $4{,}78803.10^{1}$ | $2{,}089.10^{-2}$ | Pa |
| | atm | $1{,}01325.10^{5}$ | $9{,}86923.10^{-6}$ | Pa |
| | bar | $10^{5}$ | $10^{-5}$ | Pa |
| energie | kcal | $4{,}1868.10^{3}$ | $2{,}388410^{-4}$ | J |
| | kgfm | 9,80665 | $1{,}01972.10^{-1}$ | J |
| | kWh | $3{,}6.10^{6}$ | $2{,}8.10^{-7}$ | J |
| | Btu | $1{,}05506.10^{3}$ | $9{,}47813.10^{-4}$ | J |
| | lbf | 4,4482 | $2{,}2481.10^{-1}$ | J |
| energie, arbeid | kgfm | 9,80665 | $1{,}01972.10^{-1}$ | J |
| gewicht | kgf | 9,80665 | $1{,}01972.10^{-1}$ | N |
| hoek | rad | $5{,}7029578.10^{1}$ | $1{,}7445329.10^{-2}$ | graden |
| | minuut | 1/60 | 60 | graden |
| hoeveelheid warmte | cal | 4,1868 | $2{,}3885.10^{-1}$ | J |
| magnetische inductie | Gs | $10^{-4}$ | $10^{4}$ | T |
| magnetische veldsterkte | Oe | $79{,}58.10^{1}$ | $1{,}257.10^{-2}$ | A/m |
| massastroom | kg/h | $2{,}7778.10^{-4}$ | $3{,}600.10^{3}$ | kg/s |
| moment van kracht | kgfm | 9,80665 | $1{,}01972.10^{-1}$ | N.m |

**omrekeningsfactoren** *SI-eenheden*

| groothed | eenheid | →x | x ← | eenheid |
|---|---|---|---|---|
| rotatiesnelheid | omw/min | $1,047198.10^{-1}$ | 9,549292 | rad/s |
| snelheid | km/h | $2,7778.10^{-1}$ | 3,6000 | m/s |
| soortelijke warmte | kcal/(kg.°C) | $4,1868.10^{3}$ | $2,3885.10^{-4}$ | J/kg.K |
| soortelijke weerstand | Ω.mm²/m | $10^{-6}$ | $10^{6}$ | Ω.m |
| spanning (werktuigbouw) | kgf/mm² | 9,80665 | $1,01972.10^{-1}$ | N/mm² = MPa |
| | UK tonf/in² | $1,54443.10^{1}$ | $6,4750.10^{-2}$ | N/mm² = MPa |
| | lbf/in² | $6,8947.10^{-3}$ | $1,45040.10^{2}$ | N/mm² = MPa |
| | lbf/in² | 6,8947 | $1,45040.10^{-1}$ | kPa |
| temperatuur | °C | (273,15 + T) | (T - 273,15) | K |
| | °F | (255,37 + 5/9T) | (9/5T-459,67) | K |
| vermogen | kgfm/s | 9,80665 | $1,01972.10^{-1}$ | W |
| | pk | $7,35499.10^{2}$ | $1,35962.10^{-3}$ | W |
| | kcal/h | 1,163 | $8,598.10^{-1}$ | W |
| volumestroom | m³h | $2,778.10^{-4}$ | $3,600.10^{3}$ | m³/s |
| warmtestroom | kcal/h | 1,163 | $8,598.10^{-1}$ | W |

**omrekeningsfactoren** *SI-eenheden*

| grootheid | eenheid | →x | x ← | eenheid |
|---|---|---|---|---|
| lengte | inch | 2,54 | 0,394 | cm |
| | foot | 30,48 | 0,033 | cm |
| | yard | 91,44 | 0,099 | cm |
| | mile | 1609 | 0,0006215 | m |
| oppervlak | sq. inch | 6,452 | 0,155 | $cm^2$ |
| volume | cu. ft | 0,02832 | 35,3148 | $m^3$ |
| | UK gallon | 4,456 | 0,224 | l |
| | US gallon | 3,785 | 0,264 | l |
| gewicht | lb | 0,4536 | 2,205 | kg |
| | short ton = 2000 lb | 907 | 0,00110 | kg |
| | us long ton = 2240 lb | 1016 | 0,00098 | kg |
| | metric ton = 2205 lb | 1000 | 0,001 | kg |
| dichtheid | psi | 0,070307 | 14,223 | $kg/cm^2$ |
| | psi | 6,8948 | 0,145 | mPa |
| vermogen | hp | 1,013 | 0,987 | pk |
| | hp | 745,700 | 0,00134 | W |
| energie | Btu | 0,252 | 3,968 | cal |
| | Btu | 1,05506 | 0,948 | kJ |
| soortelijke warmte | $Bt/ft^3$ | 8,899 | 0,112 | $kcal/m^3$ |
| | $Bt/ft^3$ | 37,2589 k | 0,02684 | $J/m^3$ |
| | Btu/lb.°F | 1 | 1 | kcal/kg.°C |
| | Btu/lb.°F | 4,1868 | 0,239 | kJ/(kg.K) |

## 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

| | |
|---|---|
| 1e wet Kirchhoff | $\sum I_{(knooppunt)} = O$ |
| 2e wet Kirchhoff | $\sum U_{(kring)} = O$ |
| gemiddelde waarde sinus | $U_{gem} = 0$ |
| 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 | $R_{tot} = \sum R$ |
| parallelschakeling weerstanden | $1/R_{tot} = \sum 1/R$ |

### Capaciteit

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

### Zelfinductie

| | |
|---|---|
| zelfinductie | $L = N.\Phi/I$ |
| 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 |  |
| relaisspoel 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 |  |

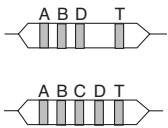
| naam | symbool |
|---|---|
| leiding, geleider |  |
| nul (N) |  |
| beschermingsleiding (PE) |  |
| (hoofd) aardleiding (E),<br>functionele aarde (E) |  |
| gecombineerde beschermingsleiding<br>en nul (PEN) |  |
| drie fasen, beschermingsleiding en nul |  |
| losneembare aansluitklem |  |
| losneembare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

| naam | symbool |
|---|---|
| maakcontact |  |
| verbreekcontact |  |
| wisselcontact |  |
| schakelaar, algemeen |  |
| scheider |  |
| lastschakelaar |  |
| lastscheider |  |
| lastscheider, 4-polig |  |
| veiligheidenlastscheider,<br>combinatie lastscheider met<br>smeltveiligheden |  |
| patronenlastscheider |  |

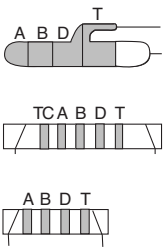
| naam | symbool |
|---|---|
| contactor |  |
| vermogenschakelaar |  |
| minimumspanningsschakelaar |  |
| vermogenschakelaar met elektromagnetische overstroombeveiliging |  |
| vermogenschakelaar met thermische en elektromagnetische overstroombeveiliging (installatie-automaat) |  |
| aardlekautomaat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

**weerstanden en condensatoren**

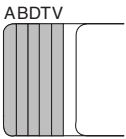
eenheden: weerstand in Ω
condensator in pF



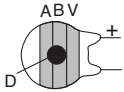

kool- of metaalweerstanden



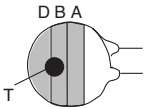

keramische condensatoren




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 temperatuurcoëfficient
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 | } C |
| grijs | 8 | | grijs | -2 | } C |
| wit | 9 | | violet | -3 | } C |
| | | | goud | -1 | } R |
| | | | zilver | -2 | } R |

| T | | |
|---|---|---|
| bruin | ±1% | } R en NTC |
| rood | ±2% | } R en NTC |
| goud | ±5% | } R en NTC |
| zilver | ±10% | } R en NTC |
| geen kleur | ±20% | } R en NTC |
| bruin | ±1% | } C > 10pF |
| rood | ±2% | } C > 10pF |
| groen | ±5% | } C > 10pF |
| wit | ±10% | } C > 10pF |
| zwart | ±20% | } C > 10pF |
| bruin | ±0,1pF | } C > 10pF |
| rood | ±0,25pF | } C > 10pF |
| groen | ±0,5pF | } C > 10pF |
| 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**

## 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 |
| $\Delta u$ | : spanningsverandering bij belasting in procenten van U | % |
| $\varepsilon_r, \varepsilon_x, \varepsilon_k$ | : weerstand-, reactantie- of kortsluitspanning 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 | $\Omega$ |

## 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**

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

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

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

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

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

**rendement**

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

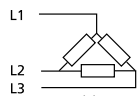
## schakelbeeld

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

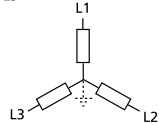
De eerste hoofdletter geeft de schakeling van de primaire windingen aan en de tweede kleine letter geeft de schakeling van de secundaire windingen aan.

We kennen de volgende letters:

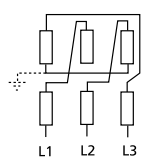
- D of d




- Y of y




- Z of z



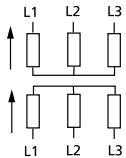

Als het sterpunt uitwendig is uitgevoerd, wordt een N of n toegevoegd. Bijvoorbeeld: YNd7 of Dyn5.

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

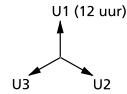
Voorbeelden:

Yy6

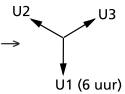
6.30° = 180° draaiing van het driefasen stelsel




Primair →

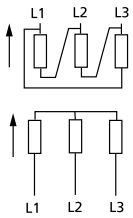



Secundair →

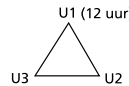



Dy5

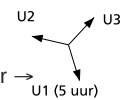
5.30° = 150° draaiing van het driefasen stelsel




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 transformatieverhoudingen[1)].
- gelijke kortsluitspanningen[1)].
- onderling verenigbare schakelbeelden.

Verenigbare schakelbeelden zijn:
- schakelbeelden met een zelfde klokgetal. (parallelbedrijf door verbinden van de gelijk-benoemde aansluitklemmen)
- schakelbeelden met verschillend klokgetal die tot dezelfde groep ( I, II, III of IV) behoren[2)]. (parallelbedrijf door cyclisch verwisselen van de aansluitklemmen)
- schakelbeelden van groep III en IV [2)]. (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 |

Normen:
NEN-EN-IEC 60076

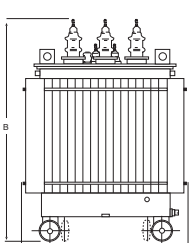
Spanningen:
- hoogspanning : 11250-11000-10750-10500-10250 V
- laagspanning : 420 V

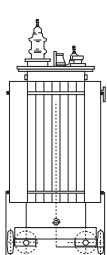
Schakeling: Dyn 5

Benaming: volgens NEN 10616
- 1U-1V-1W / 2U-2V-2W-2N

| vermogen | nullast-verlies | kortsluit-verlies | kortsluit-spanning | gewogen geluids-vermogen-niveau | totaal gewicht | hoofdafmetingen | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | A | B | C |
| (kVA) | (watt) | (watt) | (%) | (dB(A)) | (kg) | (mm) | (mm) | (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.*



Normen:
NEN-EN-IEC 60076
NEN 2754

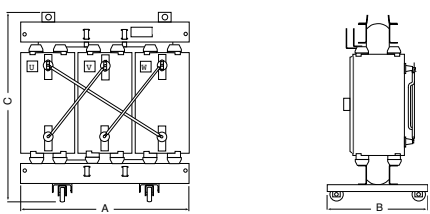
Spanningen:
- hoogspanning: 11250-11000-10750-10500-10250 V
- laagspanning: 420 V

Schakeling: Dyn 5

Onderstaande gegevens hebben betrekking op de standaardreeks.

| vermogen[1] (kVA) | nullast-verlies (watt) | kortsluit-verlies (watt) | kortsluit-spanning (%) | totaal gewicht (kg) | hoofdafmetingen A (mm) | B (mm) | C (mm) | geluids-druk niveau op 1m (dB(A) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 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**

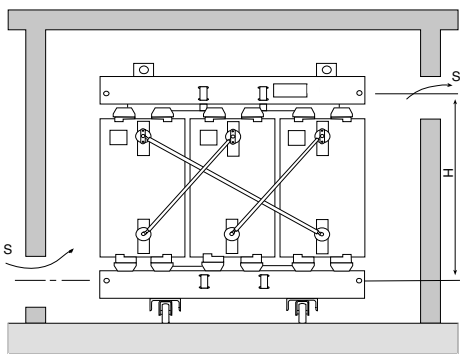
Voor gietharstransformatoren kan gebruik worden gemaakt van isolatiesystemen met de volgende temperatuurklassen en bijbehorende temperatuurgrenzen:

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 luchtcirculatie met voldoende grote ventilatieopeningen S. Daarbij ontstaat echter steeds een verhoging $\Delta T$ 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 $m^2$ geldt bij benadering:

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

waarin:

| | | | |
|---|---|---|---|
| W | = | $P_o + P_i$ | kW |
| $\varepsilon$ | = | luchtweerstandsfactor | - |
| h | = | hoogteverschil van de ventilatieopeningen boven en onder | m |
| $\Delta T$ | = | temperatuurverhoging van de uittreedlucht | °C |

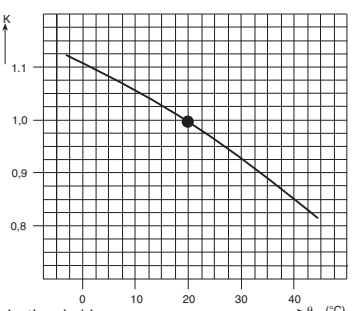
De waarde van $\varepsilon$ is afhankelijk van de ruimte.
Bij gebrek aan gegevens hierover kan worden aangenomen $\varepsilon = 6$.

**geforceerde koeling**

De opgewekte warmte kan ook worden afgevoerd met behulp van ventilatoren.
Dan is hiervoor ca. 2,5 $m^3$/min/kW nodig bij 10 °C gemiddelde luchttemperatuurverhoging. Grotere luchtopbrengst van de ventilatoren verlaagt $\Delta T$ 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 wikkelingstemperatuur.

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.

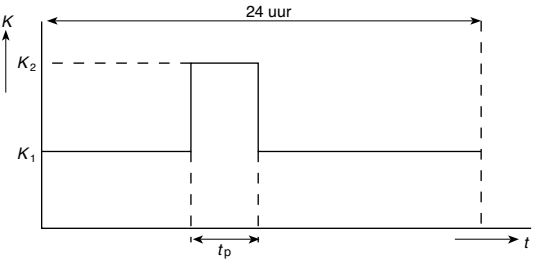


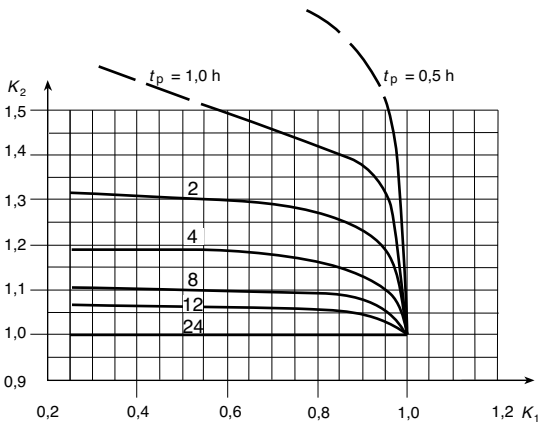

*Continue belastbaarheid*

K = belastingsfactor als fractie van de toegekende stroom
$\theta_a$ = koelluchttemperatuur

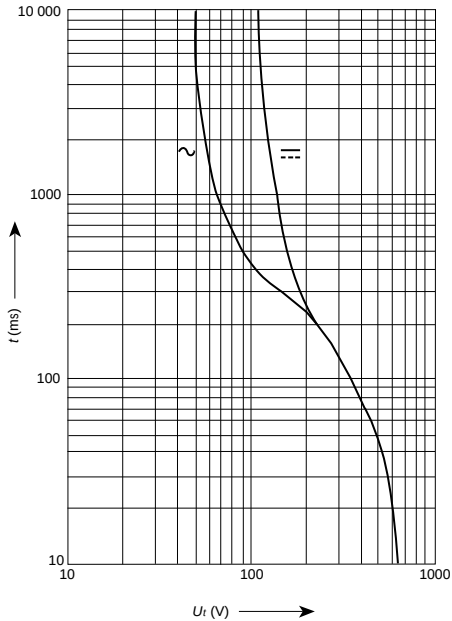
*Voorbeeld:* Periodieke overbelastbaarheid bij een koelluchttemperatuur van 20 °C, gegeven voor een giethars-transformator met temperatuurklasse F en een thermische tijdconstante van 1 uur, waarbij:

$K_1$ = 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

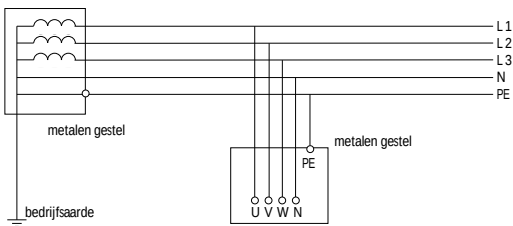



De grafiek geeft voor zowel wisselspanning 50 Hz als gelijkspanning de aanrakingsspanning ($U_t$) weer als functie van de tijd. Indien men links van de getrokken lijn blijft, is de veiligheid gewaarborgd. Hierbij is uitgegaan van normale omstandigheden. Uit de grafiek is duidelijk te zien dat het menselijk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

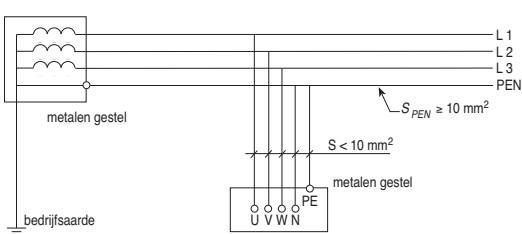
**stroomstelsels en stroomketens**

gegevens ontleend aan NEN 1010

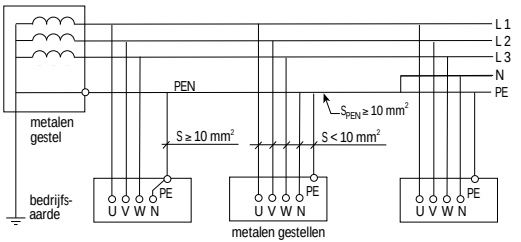
Voor de indeling van stroomstelsels wordt gebruik gemaakt van twee letters:
1e letter: Wijze van aarding van de voedingsbron
2e letter: Wijze van aarding van het metalen gestel.



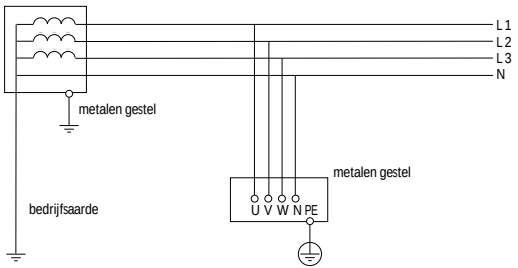

TN-S-stelsel, nul en beschermingsleiding van het sterpunt af gescheiden.



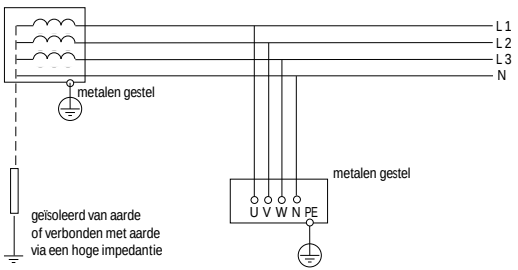

TN-C-stelsel, nul en beschermingsleiding gecombineerd.




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, L1, 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 | Symbool | 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<br>Diepvrieskast |
| Klasse II |  | Voorzien van dubbele of versterkte isolatie. Geen beschermingsleiding. | Haarföhn<br>Boormachine<br>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 gassen, 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, keraunisch 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 noodsituaties |
| BE | aard van het materiaal dat wordt verwerkt of opgeslagen |
| CA | bouwmateriaal |
| 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.

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 vetraagde 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 toegpast. 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 con tactdozen 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 aan sluiting 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 contact zen 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 sloopterreinen 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 overstroom-beveiliging 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).

### 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 mm² | L1, L2, L3 |
| nuldraad | blauw | 2,5 mm² | N |
| schakeldraad | zwart | 1,5 mm² | |
| aard- en beschermingsdraad | groen/geel | 2,5 mm² | PE |

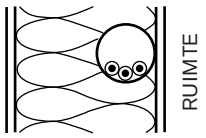
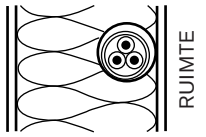
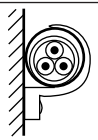
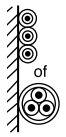
In onderstaande tabel is het grootste aantal vinyl-draden (VD) vermeld dat in een buis mag worden aangebracht. Het aantal draden is gegeven voor een buis met ten hoogste twee bochten. Bij meer bochten moet de buismaat één trap hoger genomen worden.

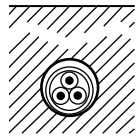
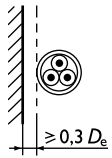
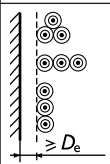
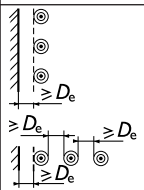
**grootste aantal draden per buis**

| koper-doorsnede in mm² | schuifbuis | | flexibele buis | |
|---|---|---|---|---|
| | 16 mm | 19/20 mm | 16 mm | 19/20mm |
| 1,5 | 5 \| 2 } 5 | | 4 \| 1 } 4 | |
| 2,5 | 4 \| 3 } | 6 | 3 \| 3 } | 5 |
| 4 | 3 | 5 | 2 | 4 |
| 6 | 2 | 4 | 2 | 3 |

*Gegevens zijn ontleend aan NEN 1010-5.*

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

| Basisinstallatie-methode | 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 |

| Basisinstallatie-methode | figuur | tabel |
|---|---|---|
| Meeraderige kabel in kokers aangebracht in de grond |  | D |
| Meeraderige kabel in de vrije lucht<br><br>Afstand tot een wand niet kleiner dan 0,3 maal de kabelmiddellijn $D_e$ |  | E |
| Tegen elkaar gelegde éénaderige kabels in de vrije lucht<br><br>Afstand tot een wand niet kleiner dan 1 maal de kabelmiddellijn $D_e$ |  | F |
| Op afstand gelegde éénaderige kabels in de vrije lucht<br><br>Onderlinge afstand van kabels en afstand tot wand niet kleiner dan 1 maal de kabelmiddellijn $D_e$ |  | 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 (≤120 $mm^2$) | 10,8 | 0,6015 | 10,1 | 0,592 | 8,361 | 0,6025 | 7,712 | 0,5984 | C, F |
| A2 (>120 $mm^2$) | 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 (≤6 $mm^2$) | 15 | 0,625 | 13,5 | 0,625 | 11,6 | 0,625 | 10,5 | 0,625 | C, F |
| C (>6 $mm^2$) | 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 (≤16 $mm^2$) | 16,8 | 0,62 | 14,3 | 0,62 | 12,8 | 0,627 | 11 | 0,62 | C, F |
| E (>16 $mm^2$) | 14,9 | 0,646 | 12,9 | 0,64 | 11,4 | 0,64 | 9,9 | 0,64 | C, F |
| F (≤300 $mm^2$) *) | 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 $mm^2$) *) | 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 $mm^2$. 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.

| kerndoor-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 | 17.5 - 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 $mm^2$

**Tabel B2**: Indicatie toegestane stroom voor aluminium geleiders.

| kerndoor-snede $mm^2$ | 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 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 $mm^2$

**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 | Isolatiemateriaal | |
|---|---|---|
| °C | 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 warmteweerstandscoëfficiënt anders dan 2,5 K.m/W (zie NEN 1010-5 bijlage 52A.3)

| Reductiefactor voor | Warmteweerstandscoëfficiënt K.m/W | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0,5 | 0,8 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 3,0 |
| kabel in koker | 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 ± 5%.

TOELICHTING zie pagina 59.

**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 leidingen) | Aantal stroomketens of meeraderige kabels | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 12 | 16 | 20 |
| 1 | Gebundeld:<br>- in de lucht,<br>op een oppervlak,<br>verzonken of<br>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 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 drieaderige 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 tweeaderige kabels en op de waarden voor drie belaste aders voor de drieaderige 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 kerndoorsneden en de installatiemethoden genoemd in de NEN 1010-5. De afwijkingen van de vermelde reductiefactoren liggen binnen ± 5%

7) Voor sommige installaties en voor installatiemethoden 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 kabelmiddenlijn | 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 PVC[3])  Kernmateriaal: koper[4])
Sluiting: tussen een fase en de nul (5s)[5])  Spanning tussen fase en nul ($U_0$): 230 V

| $S$ | Nominale stroom van gG-smeltpatronen A | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| mm² | 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]) |
| 2,5 | [1]) | 525 | 345 | 206 | 134 | 108 | 80 | 54[3]) | [2]) | [2]) | [2]) | [2]) |
| 4 | [1]) | 845 | 557 | 334 | 220 | 180 | 137 | 97 | 73 | 51[3]) | [2]) | [2]) |
| 6 | [1]) | [1]) | 835 | 502 | 332 | 273 | 209 | 151 | 117 | 86 | 63[3]) | [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 mm² | Nominale stroom van gG-smeltpatronen A | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 | 1250 |
| 10 | 57[3] | [2] | [2] | [2] | [2] | [2] | [2] | [2] | [2] | [2] | [2] | [2] |
| 16 | 101 | 79 | 55[3] | [2] | [2] | [2] | [2] | [2] | [2] | [2] | [2] | [2] |
| 25 | 167 | 133 | 97 | 70 | [2] | [2] | [2] | [2] | [2] | [2] | [2] | [2] |
| 35 | 234 | 189 | 140 | 103 | 74 | 51[3] | [2] | [2] | [2] | [2] | [2] | [2] |
| 50 | 319 | 258 | 193 | 145 | 107 | 77 | 55[3] | [2] | [2] | [2] | [2] | [2] |
| 70 | 462 | 374 | 281 | 212 | 159 | 116 | 87 | 61[3] | [2] | [2] | [2] | [2] |
| 95 | 643 | 521 | 391 | 296 | 223 | 165 | 126 | 91 | 63[3] | [2] | [2] | [2] |
| 120 | 812 | 658 | 495 | 375 | 283 | 211 | 161 | 118 | 84 | 56[3] | [2] | [2] |
| 150 | 871 | 707 | 531 | 403 | 305 | 227 | 175 | 129 | 94 | 65 | 43[3] | [2] |
| 185 | [1] | 848 | 638 | 484 | 366 | 274 | 211 | 156 | 114 | 81 | 56 | [2] |
| 240 | [1] | [1] | 805 | 611 | 463 | 346 | 268 | 199 | 147 | 105 | 74 | 50[3] |
| 300 | [1] | [1] | 971 | 738 | 559 | 418 | 324 | 241 | 178 | 128 | 92 | 65 |
| 400 | [1] | [1] | [1] | 876 | 664 | 497 | 385 | 287 | 213 | 154 | 112 | 80 |
| 500 | [1] | [1] | [1] | [1] | 823 | 617 | 478 | 357 | 265 | 192 | 141 | 101 |
| 630 | [1] | [1] | [1] | [1] | 965 | 724 | 560 | 418 | 311 | 226 | 166 | 120 |
| 800 | [1] | [1] | [1] | [1] | [1] | 847 | 656 | 490 | 365 | 265 | 195 | 142 |
| 1000 | [1] | [1] | [1] | [1] | [1] | [1] | 780 | 583 | 434 | 316 | 232 | 169 |

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 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 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.

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

Isolatiemateriaal: XLPE, EPR of PVC[3] Kernmateriaal: koper[6]
Sluiting: 1) tussen een fase en de nul (0.1s)[1])
2) tussen een fase en de beschermingsleiding (0.1 s)[7,8])
Spanning: 1) tussen fase en nul ($U_0$): 230 V
2) tussen fase en beschermingsleiding: 230 V

| S | Nominale stroom van installatie-automaten type B volgens NEN-EN-IEC 60898 A | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| mm² | 6 | 10 | 16 | 20 | 25 | 32 | 40 | 50 | 63 | 80 | 100 | 125 |
| 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 | [1]) | 788 | 493 | 394 | 315 | 246 | 197 | 158 | 125 | 98 | 79 | 63 |
| 16 | [1]) | [1]) | 784 | 627 | 502 | 392 | 314 | 251 | 199 | 157 | 125 | 100 |
| 25 | [1]) | [1]) | [1]) | 992 | 794 | 620 | 496 | 397 | 315 | 248 | 198 | 159 |
| 35 | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | 860 | 688 | 551 | 437 | 344 | 275 | 220 |
| 50 | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | 932 | 745 | 592 | 466 | 373 | 298 |
| 70 | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | 854 | 673 | 538 | 431 |
| 95 | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | 934 | 747 | 598 |
| 120 | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | 943 | 754 |
| 150 | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | 809 |
| 185 | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | 970 |

Zie toelichting pagina 67.

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 | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| mm² | 2 | 4 | 6 | 10 | 16 | 20 | 25 | 32 | 40 | 50 | 63 | 80 |
| 1,5 | 368 | 187 | 126 | 73 | 53 | 39 | 30 | 20 | 16[3]) | [2]) | [2]) | [2]) |
| 2,5 | 601 | 305 | 207 | 120 | 88 | 65 | 51 | 35 | 30 | 19 | 14[2]) | [2]) |
| 4 | 966 | 490 | 333 | 193 | 142 | 105 | 84 | 58 | 49 | 33 | 26 | 16[3]) |
| 6 | [1]) | 734 | 498 | 289 | 213 | 158 | 126 | 88 | 75 | 51 | 41 | 26 |
| 10 | [1]) | [1]) | 838 | 486 | 358 | 266 | 213 | 148 | 127 | 87 | 70 | 47 |
| 16 | [1]) | [1]) | [1]) | 774 | 570 | 424 | 339 | 236 | 202 | 139 | 112 | 76 |
| 25 | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | 902 | 670 | 536 | 374 | 320 | 220 | 178 | 120 |
| 35 | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | 930 | 744 | 519 | 444 | 306 | 248 | 167 |
| 50 | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | 703 | 601 | 414 | 336 | 227 |
| 70 | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | 868 | 598 | 485 | 328 |
| 95 | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | 830 | 673 | 456 |
| 120 | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | 849 | 575 |
| 150 | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | 911 | 617 |
| 185 | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | 740 |
| 240 | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | [1]) | 933 |

Maximale lengte, in m, van tegen aardsluiting beveiligde leidingen (zie NEN 1010-5 bepaling 533.3 en bijlage 53A)
Isolatiemateriaal: XLPE, ERP of PVC[3])
Kernmateriaal: koper[4])
Sluiting: tussen een fase en de beschermingsleiding (0,4s)[7][8])
Spanning tussen fase en beschermingsleiding: 230 V

| S | Nominale stroom van gG-smeltpatronen A | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| mm² | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 | 1250 |
| 6 | 20 | [2] | [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[3] | [2] | [2] | [2] | [2] |
| 50 | 177 | 128 | 109 | 72 | 61 | 44 | 32 | 24 | 17[3] | [2] | [2] | [2] |
| 70 | 256 | 185 | 158 | 106 | 89 | 64 | 48 | 36 | 26 | 17[3] | [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[3] |
| 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 |

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 in de tabel zijn opgenomen.
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.
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. **Toelichting** De tabellen gelden niet voor éénaderige kabels.

spanningsverlies ($\Delta U$) in leidingen

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

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

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

3-fasen: $A_{min} = \frac{\sqrt{3} \cdot I \cdot l \cdot \rho \cdot \cos \varphi}{0{,}04 \cdot U - \sqrt{3} \cdot I \cdot l \cdot X \cdot \sin \varphi} \times 10^6$ mm²

1-fase: $A_{min} = \frac{2 \cdot I \cdot l \cdot \rho \cdot \cos \varphi}{0{,}04 \cdot U - 2 \cdot I \cdot l \cdot X \cdot \sin \varphi} \times 10^6$ mm²

procentueel vermogensverlies (p) in leidingen

3-fasen: $p = \frac{100 \cdot l \cdot \rho \cdot P}{A \cdot U^2 \cdot \cos^2 \varphi}$ %, 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 m²
- I = stroomsterkte in de leiding in A
- $\rho$ = 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 mΩ/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
- $\Delta U$ = 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.

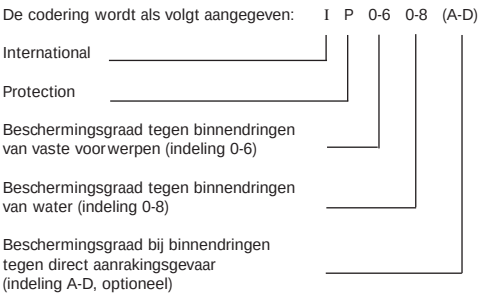
De assembleur zal bij een PTTA-systeem door middel van berekeningen en testen moeten onderbouwen dat het door hem samengebouwde systeem aan de eisen van NEN-EN-IEC 60439-1 voldoet. De kwaliteit van deze onderbouwing hangt af van de kwaliteit van de door de fabrikant van de componenten verstrekte informatie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




| 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) | regenwater-dicht | |
| 4 | beschermd tegen opspattend water | IP X4(X) | spatwater-dicht | |
| 5 | beschermd tegen waterstralen | IP X5(X) | spuitwater-dicht | |
| 6 | beschermd tegen stortzeeën | IP X6(X) | | |
| 7 | beschermd tegen onderdompeling | IP X7(X) | waterdicht | onder-dompeling 1 meter diep, 30 min. lang |
| 8 | beschermd tegen verblijf onder water | IP X8(X) | drukwater-dicht | onder-dompeling, diepte en tijd nader overeen te komen |

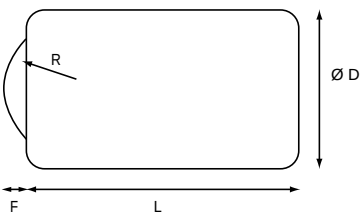
| derde ken-teken | beschermingsgraad | | |
|---|---|---|---|
| | beknopte beschrijving | IP-aanduiding | benaming |
| A | beschermd tegen direct aanrakings-gevaar bij binnendringing van een bol Ø 50 mm | IP XXA | |
| B | beschermd tegen direct aanrakings-gevaar bij binnendringing van een gelede testvinger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

Voor de volledige omschrijvingen en beproevings-methoden 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 | aanbevolen doorsnede volgens NEN-EN-IEC 60439 (koper) | indicatie doorsnede volgens NEN 1010[1] (koper) | |
|---|---|---|---|
| | | installatiewijze A, B en D | installatiewijze C, E, F, G |
| A | kabel mm² | kabel mm² | kabel mm² |
| 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 | sw10 | sw13 | sw17 | sw19 | sw24 |
| 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 | sw4 | sw5 | sw6 | sw8 | sw10 |
| 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 | sw4 | sw5 | sw6 | sw8 |
| 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 | | sw4 | sw5 | sw6 | sw8 |
| 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:

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

Normale waarden voor de buffercondensatoren in TL-verlichting hebben een capaciteit van ongeveer 5 $\mu$F per TL. Voor spaarlampen zijn deze buffercondensatoren iets kleiner en hebben een waarde in de orde van 1 $\mu$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:

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

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.

## Stroomsterkte van motoren en generatoren

**a. eenfasewisselstroommotoren**

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

**b. draaistroommotoren**

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

**c. gelijkstroommotoren**

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

**d. sleepringmotoren (rotorstroom)**

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

**e. draaistroomgeneratoren**

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

$I$ = 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 sleepringen bij stilstand
$P_{kW}$ = afgegeven vermogen van de machine in kW
$\cos\varphi$ = arbeidsfactor van de motor, behorende bij een bepaalde belasting
$\eta$ = rendement van de motor, behorende bij een bepaalde belasting
$S_{kVA}$ = nominale vermogen generator

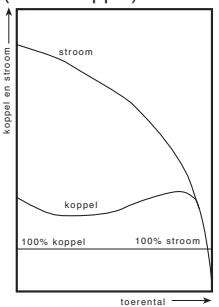
**Motorstroom van draaistroommotoren**
**(n = 1500 omw/min)**

| 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 |

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:

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

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

$q$ = hoeveelheid water in $m^3/s$
$h$ = totale opvoerhoogte in m (inclusief wrijvingsverliezen in de buizen)
$\eta$ = 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 $P = \frac{9{,}81\ q\ .\ h}{\eta}$ W, waarin:

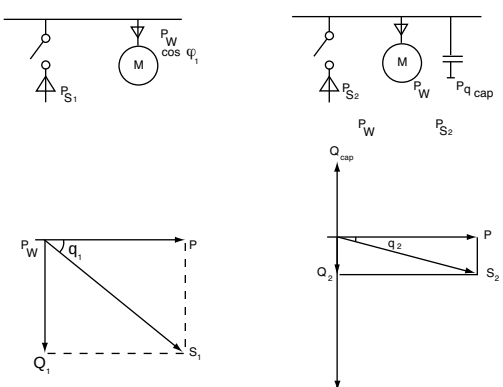
$q$ = luchtvolume in $m^3/s$
$h$ = druk in mm waterkolom
$\eta$ = dynamisch rendement (varieert van 0,5 tot 0,85)

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 tot $50 \cdot \frac{900^3}{800^3} \approx 72$ 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 φ. Een slechte cos φ 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 φ. Rechts is de situatie weergegeven wanneer het blindvermogen door een capacitieve belasting grotendeels is gecompenseerd.



Het benodigde condensatorvermogen wordt berekend door:

$Q_2 = S_2 \sin \varphi_2$

$= P \tan \varphi_2$

$Q_{cap} = Q_1 - Q_2$

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

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

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 φ verbetering**

| bestaande situatie | condensatorvermogen in kVAr per kW werkzaam vermogen ter verkrijging van een cos φ van | | |
|---|---|---|---|
| cos φ | 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 φ van | | |
|---|---|---|---|
| cos φ | 0,80 | 0,85 | 0,90 |
| 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 φ van 0,60. Hoe groot moet het condensator-vermogen zijn om deze waarde tot 0,85 te verbeteren? De tabel geeft een vermenigvuldigingsfactor van 0,72 aan. Het benodigde condensatorvermogen is 0,72x100 =72 kVAr.*

## UNETO-VNI LEVENSLOOPBESTENDIG WONINGINSTALLATIES

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

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 | Schakelmateriaal / aansluitpunten | | | |
| 1 | standaard inbouw | x | x | |
| 2 | luxe uitvoering | 0 | 0 | |
| | wandcontactdozen half opbouw model | x | 0 | |
| | wandcontactdozen vlak inbouwmodel | 0 | x | |
| | wandcontactdozen in afzonderlijke inbouwdozen | 0 | x | alleen in woonkamer, keuken en hoofdslaapkamer |
| | 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 | alleen in woonkamer, keuken en hoofdslaapkamer |
| 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 | in deze ruimten per 15 $m^2$ een lichtpunt |
| 7 | wisselschakeling slaapkamer+hal | x | 0 | |
| | wisselschakeling hoofdslaapkamer + hal + overloop | 0 | x | |
| 8 | wandcontactdozen kinderveilig | 0 | 0 | |

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 | Schakelmateriaal / aansluitpunten (vervolg) | | | |
| 9 | geschakelde wandcontactdozen woonkamer | 0 | 0 | in de UNETO-VNI woning aanzienlijk goedkoper te realiseren |
| | bewegingsschakelaars in toilet en werkkast | 0 | x | |
| | garage voorzien van aansluitpunt elektrische deur | 0 | x | in de UNETO-VNI woning een bedraad aansluitpunt |
| | voordeurbel op deurkozijn gemonteerd | x | 0 | |
| | voordeurbel in de gevel gemonteerd | 0 | x | hierdoor geschikt voor deurluidspreker of videofoon installatie |
| C | Buiteninstallatie | | | |
| 1 | buitenberging 1 lichtpunt en wandcontactdoos | x | x | |
| | buiteninstallatie op aparte groep | 0 | x | |
| | buitenberging een buitenlichtpunt | x | x | |
| 2 | voor- en achtergevel een lichtpunt | x | x | NEN 1010-woning alleen aan de voorgevel |
| 3 | rondom het huis verlichting | 0 | 0 | |
| | alle bereikbare entrees een buitenlichtpunt | x | x | |
| 4 | aansluitpunt tuininstallatie | 0 | x | |
| | schakelmogelijkheid tuininstallatie | 0 | x | |
| 5 | loze leiding onder oprit naar meterkast | 0 | 0 | |
| 6 | 2 wandcontactdozen | 0 | 0 | |
| D | Loze leidingen (vanaf de technische ruimte) | | | |
| 1 | t.b.v. elektrisch heetwatertoestel | x | x | |
| 2 | t.b.v. elektrisch kooktoestel | x | x | |
| 3 | CAI woon + slaapkamer | x | 0 | |
| 4 | CAI woon + alle slaapkamers + keuken | 0 | x | |
| 5 | telefoon woonkamer + slaapkamer | x | 0 | |

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 | Loze leidingen (vanaf de technische ruimte) - vervolg- | | | |
| 6 | telefoon woonkamer + slaapkamers + keuken | 0 | x | |
| | badkamer aansluitpunt voor stoomdouche | 0 | x | |
| | badkamer aansluitpunt voor whirlpoolbad | 0 | x | |
| 7 | beveiliging/brand | x | x | alleen rookmelders in de hal en overloop |
| 7 | beveiliging/inbraak | 0 | x | mogelijk d.m.v. ICT-leidingnet |
| 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 |
| | oven/magnetron | 0 | x | in de UNETO-VNI-woning compleet bedraad |
| 12 | t.b.v. zonneboiler / Pv-panelen / satellietontvangst | 0 | x | mogelijk door extra ledige leidingen |
| 13 | toegangscontrole | 0 | x | mogelijk d.m.v. ICT-leidingnet |
| 14 | homebus-systeem | 0 | x | mogelijk d.m.v. ICT-leidingnet |
| 15 | t.b.v. centraal stofzuigsysteem | 0 | 0 | |
| 16 | alle loze leidingen voorzien van een trekdraad | 0 | x | |
| 17 | thermostaat | 0 | x | |
| | zonwering/rolluiken | 0 | x | (aut.) bediening mogelijk d.m.v. ICT-leidingnet |
| | regelbare ventilatieroosters | 0 | x | Vraaggestuurde ventilatie mogelijk d.m.v. ICT-leidingnet |
| | ICT-leidingnet | 0 | x | compleet ledig ICT-leidingnet door de gehele woning |
| | comforttoilet | 0 | x | ledig aansluitpunt |
| | woonhuislift | 0 | x | bij trap naar overloop |
| | paniekschakeling in hoofdslaapkamer | 0 | x | mogelijk d.m.v. ICT-leidingnet |
| | data aansluitpunt in de keuken | 0 | x | mogelijk d.m.v. ICT-leidingnet |

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

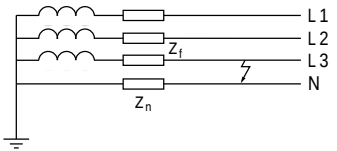
## vergelijkmodel: basisinstallatie vs. WoonKeur comfortpakket A-plus vs. “Levensloopbestendig wonen”

| | Omschrijving / voorzieningen | WoonKeur A-plus | UNETO-VNI Levensloop bestendig wonen | Opmerkingen |
|---|---|---|---|---|
| E | Diversen | | | |
| 1 | telefooncentrale (ISDN) | 0 | 0 | |
| 2 | signaalversterker CAI duplex | 0 | 0 | |
| 3 | beveiligingscentrale brand/inbraak | 0 | 0 | |
| 4 | plintsysteem | 0 | 0 | |
| 5 | toegangscontrole/deurvideo | 0 | x | mogelijk d.m.v. ICT-leidingnet |
| 6 | centraal stofzuigsysteem | 0 | 0 | |
| 7 | homebus-systeem | 0 | x | mogelijk d.m.v. ICT-leidingnet |
| 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. ICT-leidingnet |
| 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. ICT-leidingnet |
| 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

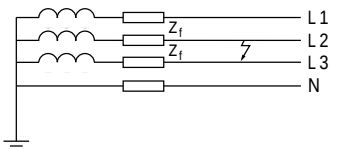
## Soorten kortsluitingen

### fase-nul sluiting



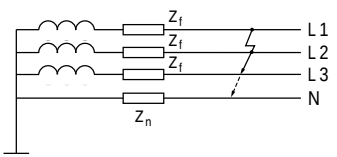

$$I_k = \frac{U_g}{\sqrt{3} \cdot (Z_f + Z_n)}$$

### 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 √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:

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

met: $\hat{\imath}_s$ = stootstroom
$I_p$ = prospectieve kortsluitstroom (effectieve waarde)
$\kappa$ = stootfactor.

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

| kortsluitstroom in [kA] (effectieve waarde) | | cos φ | κ | κ√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 |

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: $\varepsilon_k$ : 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] | $\varepsilon_k$ [%] | $I_k$ [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 $R_T$: $$R_T = \frac{\varepsilon_R \cdot U_g^2}{100 \cdot S_T}$$

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

**Tabel 2:** R en X van transformatoren

| $S_T$ [kVA] | $\varepsilon_k$ [%] | $Z_T$ [mΩ] | $\varepsilon_R$ [%] | $R_T$ [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: $\rho$ : 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 [$m^2 = 10^{-6}$ $mm^2$]

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 [mm²] | 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:

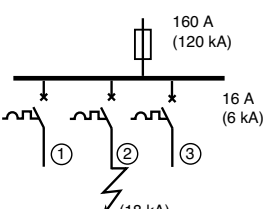
$$R_r = \frac{\rho \cdot l}{A}$$

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

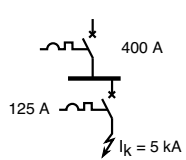
## SELECTIVITEIT

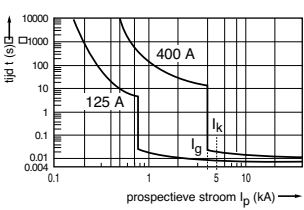
Selectiviteit is een belangrijk begrip voor elektrische installaties waarin, tussen de voeding en de foutplaats, twee of meer beveiligingstoestellen aanwezig zijn.
Om de gevolgen van een overstroom tot een zo klein mogelijk deel van de installatie te beperken, dient alleen het beveiligingstoestel dat het dichtst bij de oorzaak van de overstroom geplaatst is deze overstroom te onderbreken.
Op de vaktechniekpagina van **www.et-installateur.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.

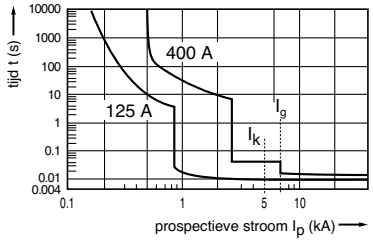
**selectiviteit van vermogenschakelaars onderling**
Bij vermogenschakelaars wordt gesproken van stroomselectiviteit en tijdselectiviteit. Onder stroomselectiviteit wordt verstaan de selectiviteit van onvertraagd gestaffelde vermogenschakelaars, terwijl bij tijdselectiviteit wordt uitgegaan van een vermogenschakelaar 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:*



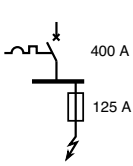
*Tijdselectiviteit:*

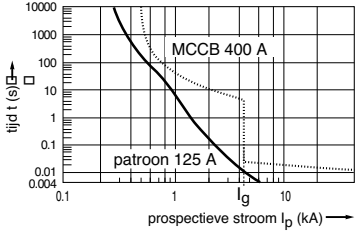



Tijdselectiviteit is mogelijk bij vermogenschakelaars uitgerust met een elektronisch beveiligingsblok (in de praktijk vanaf 400 A). Doorgaans is er een grens aan de tijdvertraging: boven ca. 15 maal $I_n$ schakelt de vermogenschakelaar daarom onvertraagd omdat de vermogenschakelaar anders thermisch te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

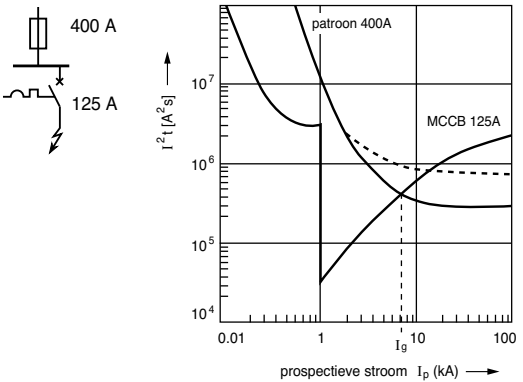
**Selectiviteit van een vermogenschakelaar en een nageschakelde patroon**

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 vermogenschakelaar**




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 vermogenschakelaar.

**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] \ nominaalstroom 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 | | | | | | | | | O | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • |
| 50 | | | | | | | | | | O | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • |
| 63 | | | | | | | | | | | O | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • |
| 80 | | | | | | | | | | | | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • |
| 100 | | | | | | | | | | | | | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • |
| 125 | | | | | | | | | | | | | | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • |
| 160 | | | | | | | | | | | | | | | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • |
| 200 | | | | | | | | | | | | | | | | X | • | • | • | • | • | • | • | • | • |
| 224 | | | | | | | | | | | | | | | | | X | • | • | • | • | • | • | • | • |
| 250 | | | | | | | | | | | | | | | | | | O | • | • | • | • | • | • | • |
| 315 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | O | • | • | • | • | • | • |
| 355 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | O | • | • | • | • |
| 400 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | O | • | • | • | • |
| 450 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | O | • | • | • |
| 500 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | O | • | • |
| 630 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | O | • |
| 800 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | O |
| 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 | O | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • |
| 35 | | | | | | | | X | X | O | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • |
| 40 | | | | | | | | | X | O | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • |
| 50 | | | | | | | | | | X | X | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • |
| 63 | | | | | | | | | | | X | O | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • |
| 80 | | | | | | | | | | | | X | O | • | • | • | • | • | • | • | • | • |
| 100 | | | | | | | | | | | | | X | O | • | • | • | • | • | • | • | • |
| 125 | | | | | | | | | | | | | | X | O | • | • | • | • | • | • | • |
| 160 | | | | | | | | | | | | | | | X | O | • | • | • | • | • | • |
| 200 | | | | | | | | | | | | | | | | X | O | O | • | • | • | • |
| 224 | | | | | | | | | | | | | | | | | X | X | O | O | • | • |
| 250 | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | X | X | O | • |
| 315 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | X | O | O |
| 355 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | X | O |
| 400 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | X |
| 450 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X |
| 500 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

x = niet selectief  o = selectief voor netspanning ≤ 400 V  • = selectief voor netspanningen ≤ 690 V

## Selectiviteit Eaton Holec 400 V gG/gF patronen

Nominaalstroom nageschakelde Eaton Holec Isodin P4gG patroon [A]

| | 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 | X | • | • | • |
| 355 | | | | | | | | | | | | | | | | X | X | • | • |
| 400 | | | | | | | | | | | | | | | | | X | • | • |
| 450 | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | • |
| 500 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | • |
| 630 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

x = niet selectief • = selectief

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]

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 | 0,6 | 1,6 | 3,0 | 4,8 | 7,3 | 10,0 | 10,0 | 10,0 |
| | 16 | | 1,4 | 2,4 | 3,8 | 5,8 | 10,0 | 10,0 | 10,0 |
| | 20 | | 1,1 | 2,1 | 3,2 | 4,8 | 7,6 | 10,0 | 10,0 |
| | 25 | | | 1,9 | 2,9 | 4,4 | 6,9 | 10,0 | 10,0 |
| | 32 | | | 1,7 | 2,6 | 3,8 | 5,9 | 9,5 | 10,0 |
| | 40 | | | | 2,4 | 3,4 | 5,3 | 9,0 | 10,0 |
| | 50 | | | | | | 5,1 | 8,0 | 10,0 |
| | 63 | | | | | | 4,4 | 6,8 | 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 |
| | 4 | | 0,3 | 0,6 | 0,7 | 1,9 | 4,2 | 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 | | | | | 1,4 | 2,5 | 4,0 | 6,2 | 10,0 | 10,0 | 10,0 |
| | 16 | | | | | | 2,3 | 3,6 | 5,4 | 9,2 | 10,0 | 10,0 |
| | 20 | | | | | | | 3,2 | 4,6 | 7,3 | 10,0 | 10,0 |
| | 25 | | | | | | | | 4,3 | 6,8 | 10,0 | 10,0 |
| | 32 | | | | | | | | 3,7 | 5,8 | 9,0 | 10,0 |
| | 40 | | | | | | | | | 5,1 | 8,5 | 10,0 |
| | 50 | | | | | | | | | | 7,0 | 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 |
| | 4 | | | 0,7 | 1,8 | 3,6 | 8,0 | 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 | | | | | 2,3 | 3,6 | 5,5 | 10,0 | 10,0 | 10,0 |
| | 16 | | | | | | | 5,0 | 7,7 | 10,0 | 10,0 |
| | 20 | | | | | | | | 6,8 | 10,0 | 10,0 |
| | 25 | | | | | | | | 6,1 | 8,0 | 10,0 |
| | 32 | | | | | | | | | 6,8 | 10,0 |
| | 40 | | | | | | | | | | 10,0 |
| | 50 | | | | | | | | | | 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

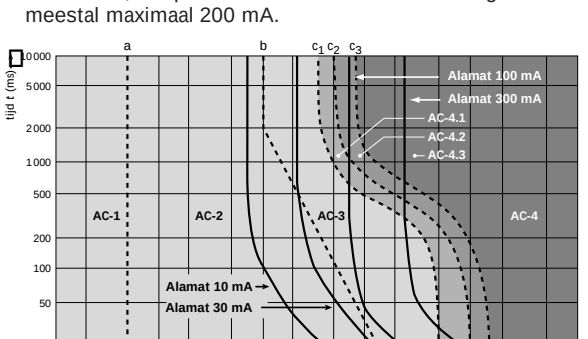
Voor foutbescherming worden metalen gestellen met de beschermingsleiding verbonden. In geval van een fout moet de voeding van het beveiligde deel van de installatie automatisch uitschakelen zodat geen gevaarlijke aanrakingsspanning kan optreden gedurende een langere tijd. Bij een netspanning van 230 V bedraagt de maximaal toegestane uitschakeltijd 0,4 s. ingeval 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 aardverspreidingsweerstanden. In deze netten is de foutstroom vanwege deze relatief hoge aardverspreidings-weerstanden 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 fout-bescherming 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 aardfout-stromen 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 aardlek-beveiliging 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 aardlek-beveiliging**

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 atmospherische ontladingen.

Meer informatie over dit onderwerp vindt u op de vaktechnieksectie van **www.et-installateur.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 isolatie-spanning 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 $U_e$.**
De nominale gebruiksspanning $U_e$ 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 $I_e$.**
In de specificaties wordt gesproken van de nominale stroom $I_e$. Deze is gerelateerd aan de verschillende gebruikcategorieën 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 $I_e$ 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 $I_e$ 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 $I_e$ 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-duurstroom $I_{cw}$ 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 |

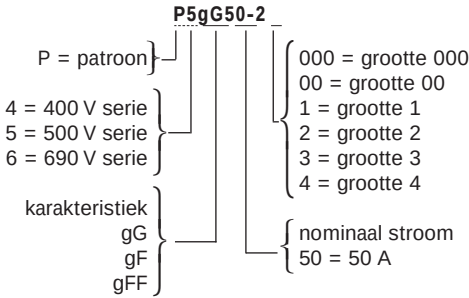
**type gG, 690 V**

| 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

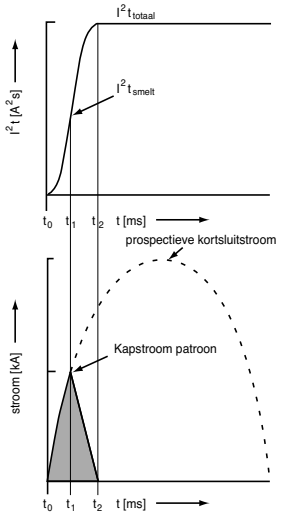
Deze karakteristiek geeft het verband weer tussen een overstroom door de patroon en de bijbehorende onderbreektijd van de patroon.

### 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.

### $I^2t$-diagram

Dit diagram geeft het verband weer tussen de hoogte van de prospectieve kortsluitstroom en de maat voor de doorgelaten energie (doorgelaten $I^2t$). Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen $I^2t$-smelt en $I^2t$-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:

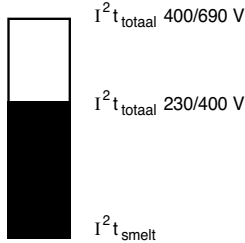
Van $t_0$ tot $t_1$ wordt het smeltbandje als gevolg van de kortsluitstroom heel snel opgewarmd. Op $t_1$ smelt het bandje en ontstaat er een boogontlading in de patroon, waarna de stroom wordt gekapt. De hoeveelheid energie ($I^2t$) die nodig is om het bandje te doen smelten wordt de $I^2t_{smelt}$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

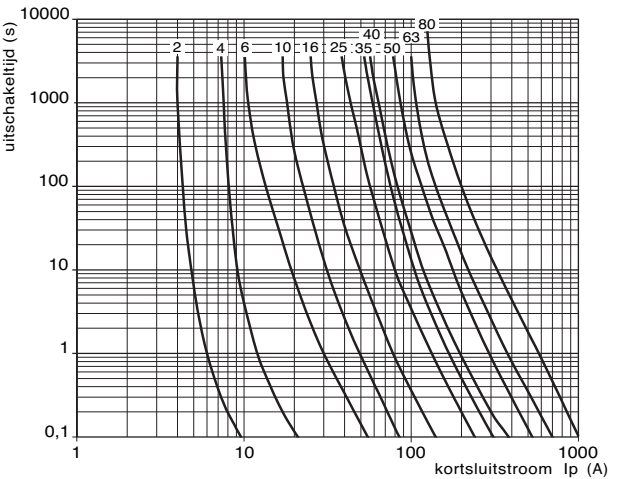
De hoeveelheid doorgelaten energie van $t_1$ tot $t_2$ wordt $I^2t_{boog}$ (engels: $I^2t_{arcing}$) genoemd. Pas bij $t_2$ wordt de stroom onderbroken. De totale hoeveelheid energie die van $t_0$ tot $t_2$ is doorgelaten wordt
$I^2t_{totaal}$ (engels: $I^2t_{operating}$) genoemd. $I^2t_{totaal}$ is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

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

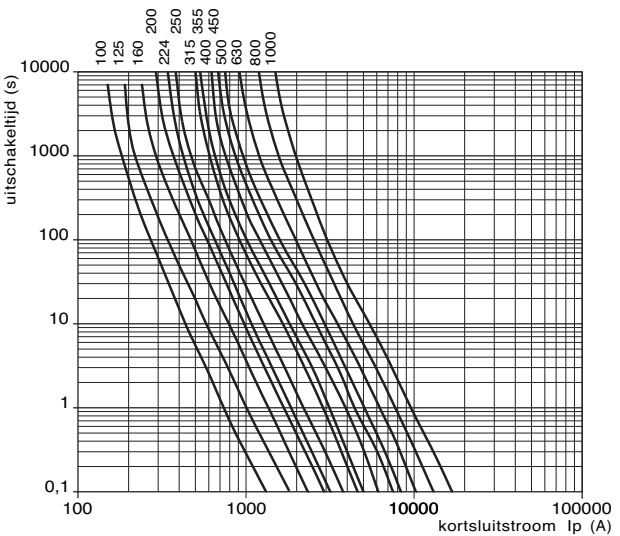
In de $I^2t$-diagrammen kunt u de waarden voor $I^2t_{smelt}$ en $I^2t_{totaal}$ aflezen volgens de volgende legenda:



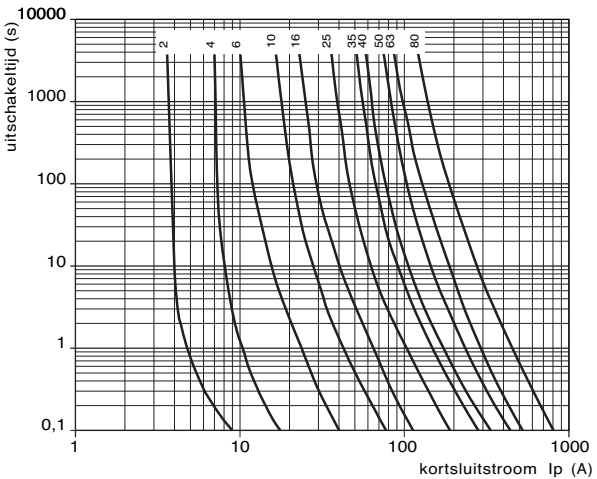
**tijd/stroomkarakteristiek van mespatroon, Isodin type gG, 500 V, 2 t/m 80 A**



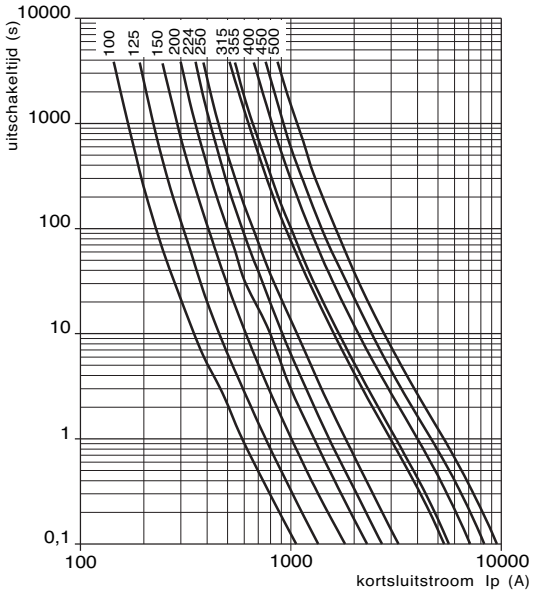
**tijd/stroomkarakteristiek van mespatroon, Isodin type gG, 500 V, 100 t/m 1000 A**



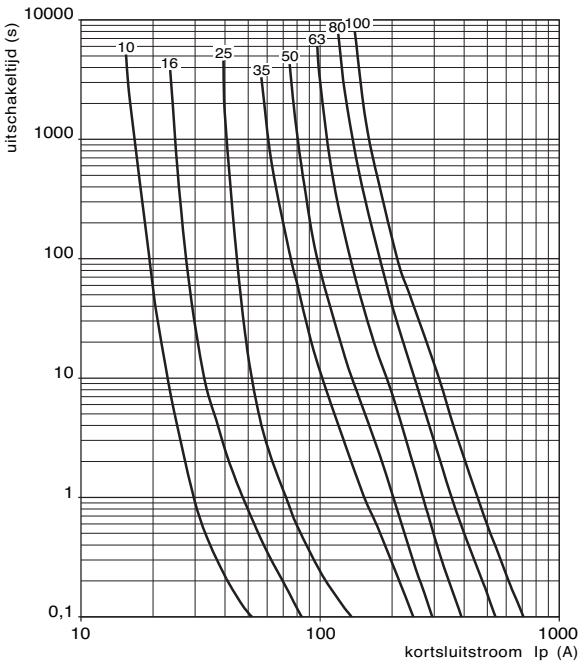
**tijd/stroomkarakteristiek van mespatroon, Isodin type gG, 690V, 2 t/m 80 A**



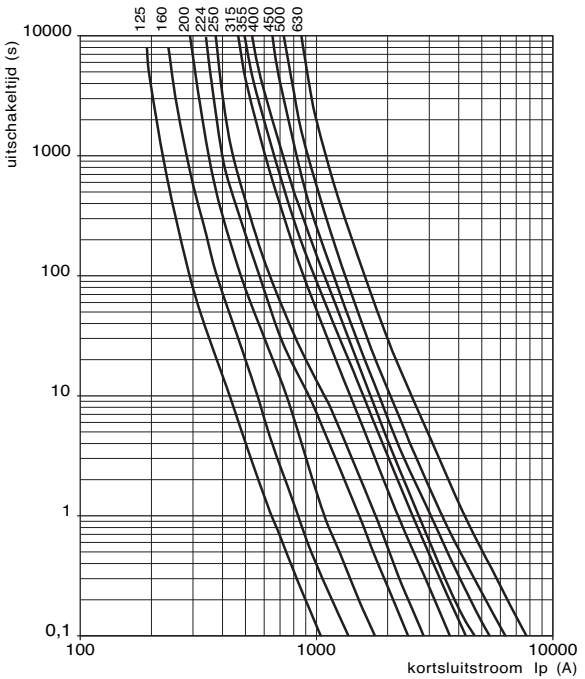
**tijd/stroomkarakteristiek van mespatroon, Isodin type gG, 690V, 100 t/m 500 A**



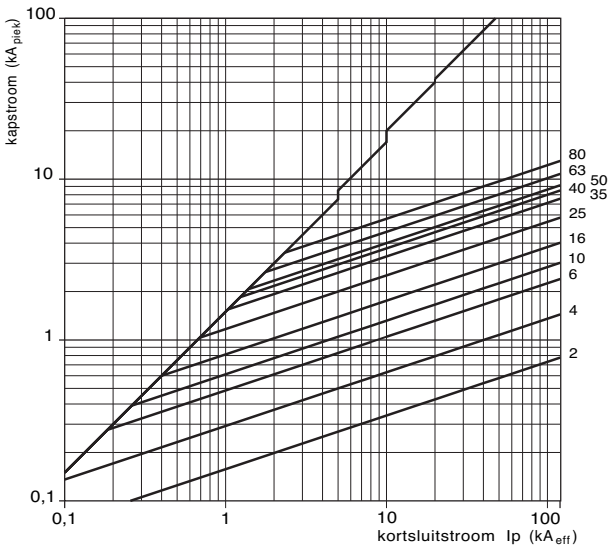
**tijd/stroomkarakteristiek van mespatroon, Isodin type gF, 400 V, 10 t/m 100 A**



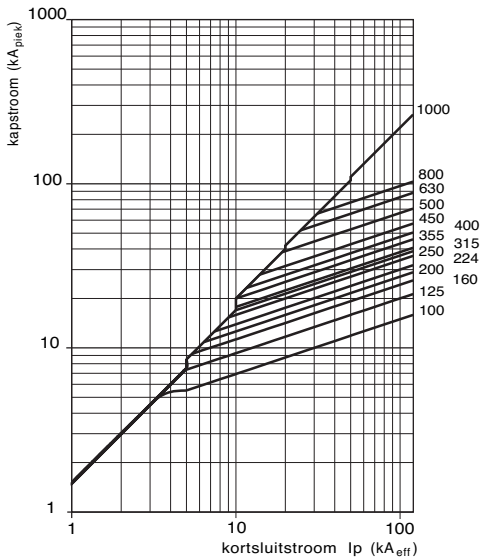
**tijd/stroomkarakteristiek van mespatroon, Isodin type gF, 400 V, 125 t/m 630 A**



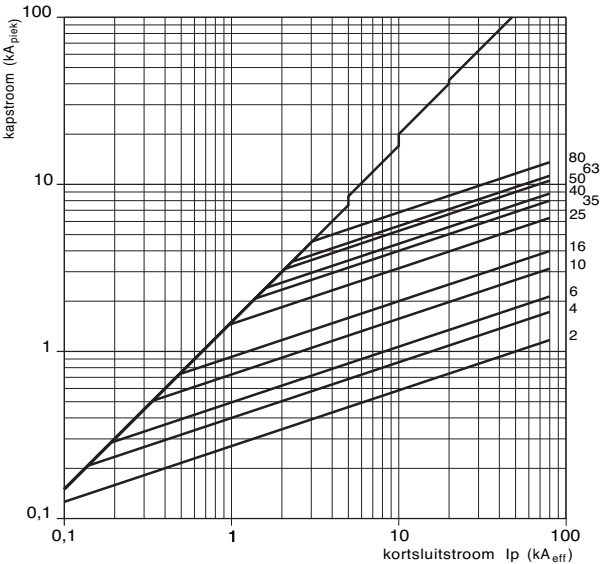
**kapstroomkrommen van mespatroon, Isodin type gG, 500 V, 2 t/m 80 A**



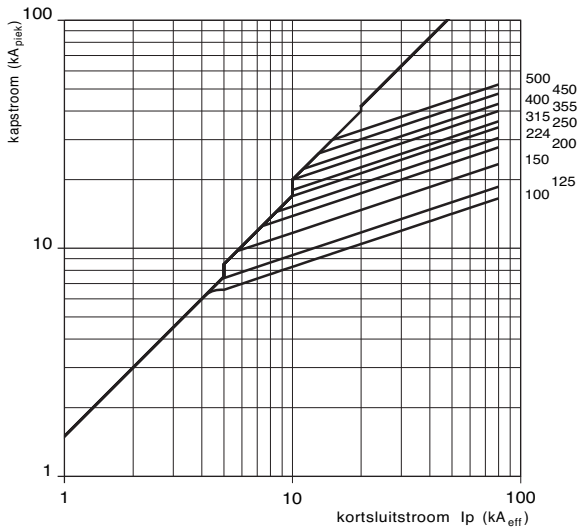
**kapstroomkrommen van mespatroon, Isodin type gG, 500 V, 100 t/m 1000 A**



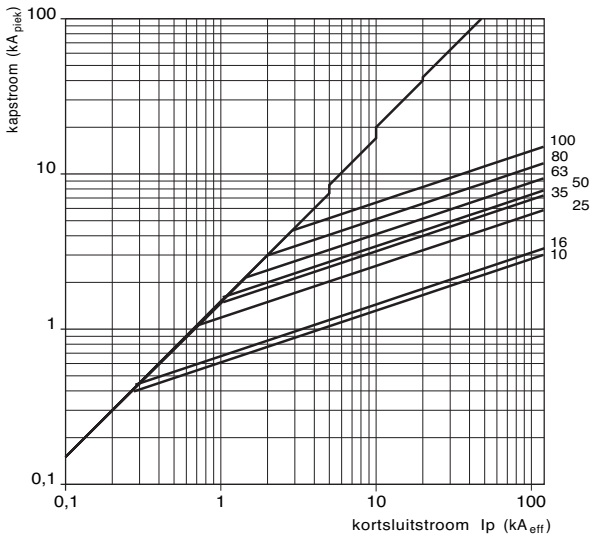
**kapstroomkrommen van mespatroon, Isodin**
**type gG, 690V, 2 t/m 80 A**



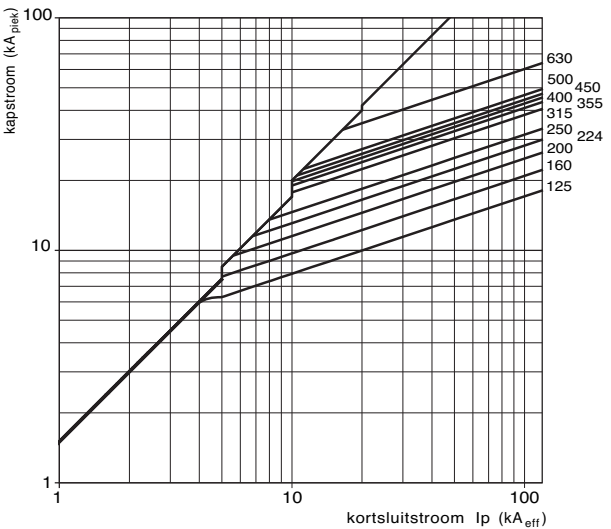
**kapstroomkrommen van mespatroon, Isodin type gG, 690V, 100 t/m 500 A**



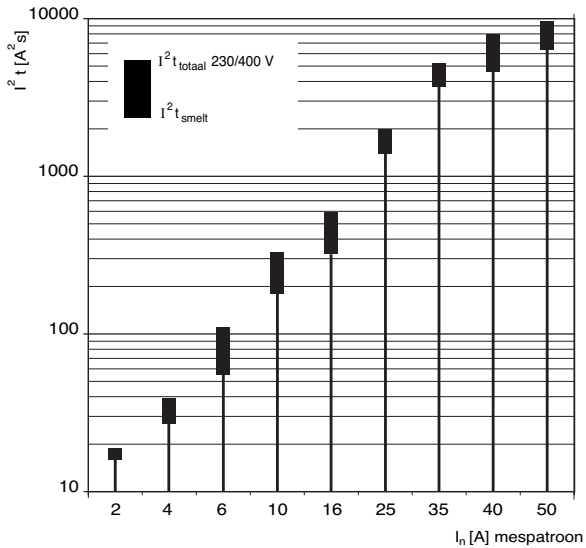
**kapstroomkrommen van mespatroon, Isodin type gF, 400 V, 10 t/m 100 A**



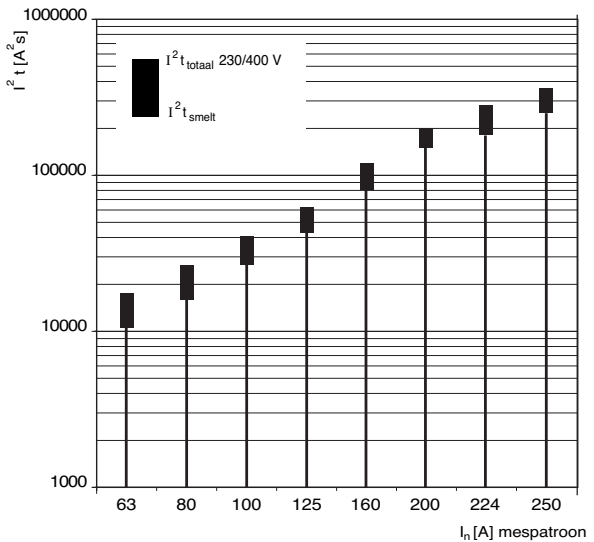
**kapstroomkrommen van mespatroon, Isodin**
**type gF, 400 V, 125 t/m 630 A**



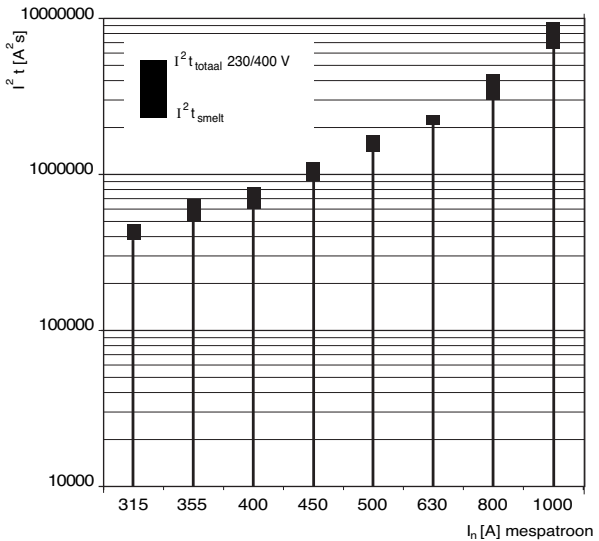
**I²t - diagram van mespatroon, Isodin**
**type gG, 500 V, 2 t/m 50 A**



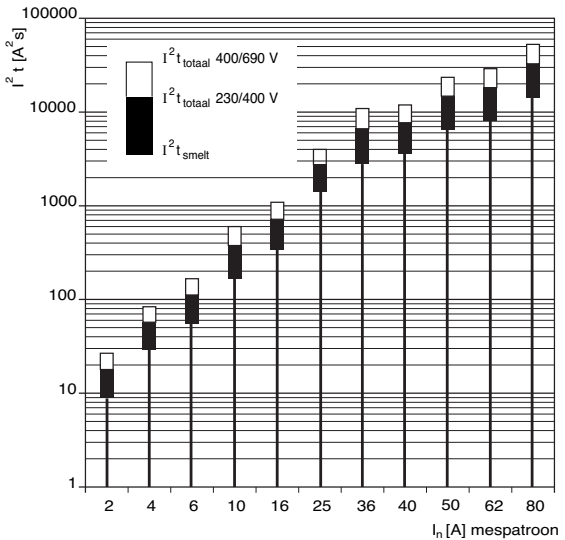
**I²t - diagram van mespatroon, Isodin type gG, 500 V, 63 t/m 250 A**



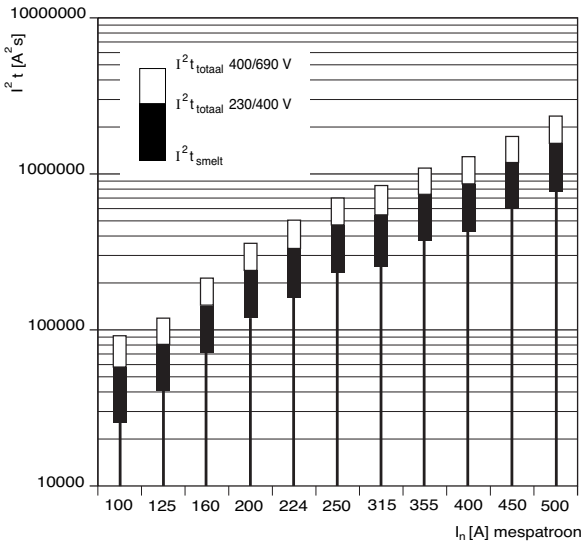
**I²t - diagram van mespatroon, Isodin type gG, 500 V, 315 t/m 1000 A**



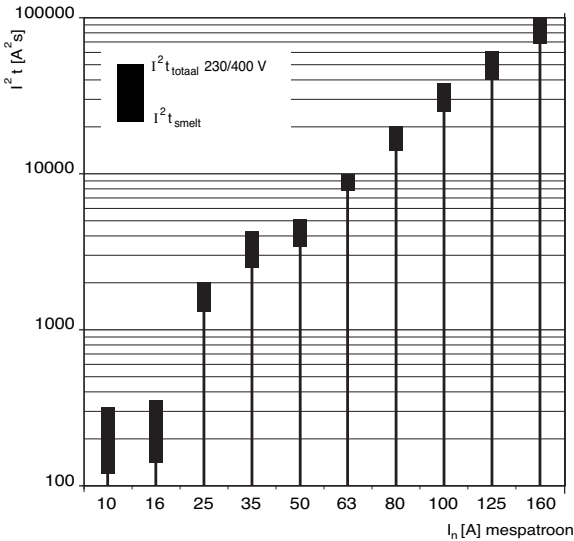
**I²t - diagram van mespatroon, Isodin type gG, 690 V, 2 t/m 80 A**



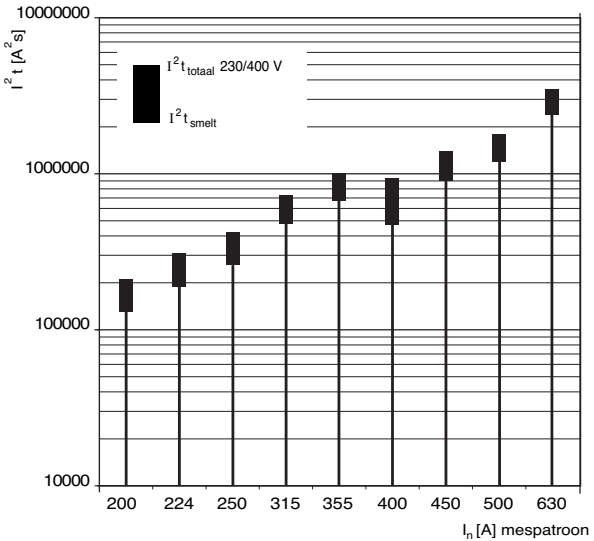
**$I^2t$ - diagram van mespatroon, Isodin type gG, 690 V, 100 t/m 500 A**



**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**



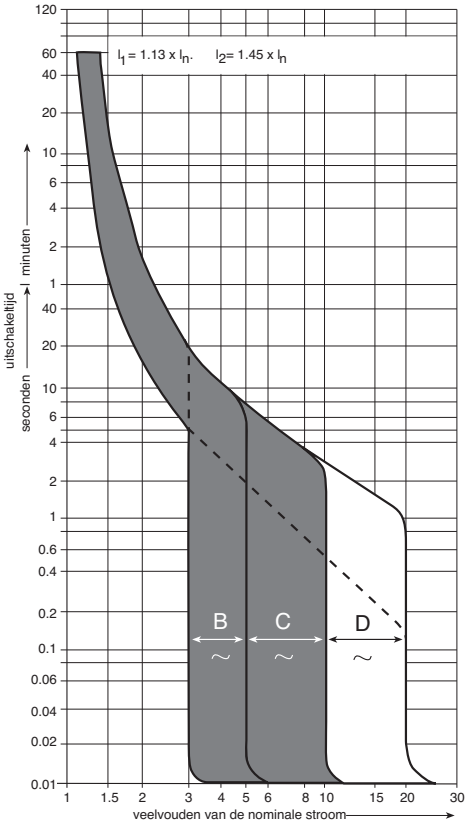
## overzicht Watt-verliezen (W) mespatronen Isodin, grootte 000-00-1-2-3-4

| $I_n$ patroon [A] | P5gG-000 | P4gF-000 | 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 | | | 7,3 | 7,1 | 7,4 | | | | | | 80 |
| 100 | 7,5 | | | 7,7 | 8,7 | 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 (In) 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 $(50)^2 = \frac{25\%}{100}$ Watt-verlies.

## 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**

| karakteristiek | $I_n$ [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 stoorniveau zoals kantooromgevingen. De Alamat maakt hiervoor gebruik van geavanceerde beveiligingselektronica, hetgeen echter om enige voorzichtigheid vraagt bij het meggeren en het proefspannen.

**Meggeren**
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-installateur.nl

EATON | Holec

©Eaton Corporation
alle rechten voorbehouden
1993.438 november 2008