

Elektrotechniek in de koude-industrie

Algemeen

De elektrotechniek is onlosmakelijk met de koeltechniek verbonden. In vrijwel alle gevallen wordt de benodigde energie voor de aandrijving geleverd door een elektromotor. Regeling, bewaking en sturing van de koelinstallatie gebeurt eveneens met behulp van elektrotechniek en elektronica.

Het is noodzakelijk dat de koeltechnicus zich minimaal de basiskennis van de elektrotechniek eigen maakt ofwel om zelf voorkomende werkzaamheden te kunnen verrichten, ofwel om op een verantwoorde wijze deze werkzaamheden uit te besteden of toezicht hierop te kunnen uitoefenen.

De nationale en Europese regelgeving bieden ook de koeltechnisch installateur steeds meer mogelijkheden om zelf daadwerkelijk elektrotechnische installatiewerkzaamheden uit te voeren. Kennis van de elektrotechniek is in dit geval noodzakelijk om de veiligheid en kwaliteit te waarborgen. De elektrotechnische installatietechniek wordt gekenmerkt door een uitgebreide regelgeving. Er is over vrijwel ieder onderwerp wel een nationale of internationale norm of richtlijn. Voorts hebben we te maken met de aansluitvoorwaarden van de energieleverende bedrijven, de regelgeving in het kader van de Arboret en de Europese richtlijnen. Een groot aantal, meest industriële bedrijven, hebben hierboven hun eigen normen en standaards.

Dit hoofdstuk omschrijft voornamelijk die aspecten, welke van belang zijn voor een verantwoord, een veilig, bedrijfszeker en betrouwbaar ontwerp van de installatie.

Aan de orde komen o.a. kabelberekeningen, belasting en beveiliging van kabels, elektromotoren, eigenschappen, methoden van aanloop en beveiliging.

Normen en richtlijnen

Overzicht van een aantal belangrijke normen.

NEN 1010	1988	Veiligheidsbepalingen voor laagspanningsinstallaties. Correctieblad (1988) Aanvulling (1992) inclusief de eerdere correctiebladen 4-1 t/m 4-8. Correctieblad (1992) Wijzigingsblad 4-10 (1993)
NEN 3140	1991	Laagspanningsinstallaties. Bepalingen voor veilige werkzaamheden, inspectie en onderhoud

- NEN 3410 1987 Veiligheidsbepalingen voor hoog- en laagspanningsinstallaties in ruimten met gasontploffingsgevaar. Correctieblad (1988)
- NEN 5152 1991 Technische tekeningen - Elektrotechnische symbolen
- NEN 5158 1981 Elektrotechnische tekeningen - Algemene principes. Aanvulling (1989).

Regeling Bouwbesluit en Aansluitvoorwaarden.

Aansluitvoorwaarden elektriciteit 1986: uitgegeven door de Vereniging van Distributiebedrijven in Nederland (EnergieNed) te Arnhem, 2e druk, 1990.

De leveringsvoorwaarden en eventuele aanvullende aansluitvoorwaarden van het Elektriciteitsbedrijf ter plaatse.

Voor een uitgebreid overzicht raadplege men de catalogus van het Nederlands Normalisatie Instituut.

Van de norm NEN 1010 bestaan er diverse interpretatiebladen alsmede een aantal boeken, welke als aanvulling een duidelijke toelichting op de diverse voorschriften geven.

Elektromotoren - de asynchrone draaistroommotor

Het meest toegepaste type draaistroommotor is de asynchrone motor, uitgevoerd als kooi-ankermotor (KA-motor) of als speciaal kooi-ankermotor (SKA-motor).

Asynchroon wil in dit verband zeggen een nominaal toerental, welke ca. 3 à 5% beneden het synchroon toerental ligt.

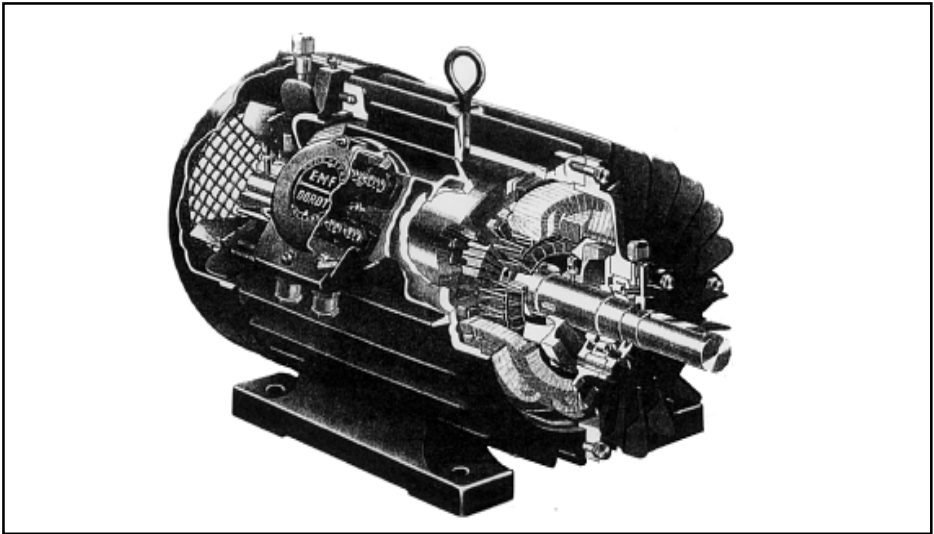
De populariteit van de (S)KA-motor is ontstaan door de eenvoudige constructie, de robuuste uitvoering, de bedrijfszekerheid en lage storingskans, de compacte bouwwijze en het redelijk constante toerental. Als minder gunstige eigenschappen kunnen genoemd worden de hoge aanloopstroom, het relatief lage aanloopkoppel en de beperkte mogelijkheid van toerenregeling. Overigens biedt de moderne vermogenselektronica, in de vorm van softstarters en frequentie-omvormers, mogelijkheden welke de toepassingsmogelijkheden van (S)KA-motoren doen toenemen.

Opbouw en constructie van de kooi-ankermotor

De motor bestaat uit een rotor, welke gelagerd is en binnen de stator vrij ronddraait.

Op een van de aseinden is een ventilator gemonteerd t.b.v. de koellucht. De stator is voorzien van een aantal spoelen, gemonteerd in een blikpakket. Bij aansluiting van een 3-fasige spanning op de statorwikkeling ontstaat een elektromagnetisch veld waarbinnen de rotor zich bevindt.

De wikkeling is 3-fasig uitgevoerd. Indien iedere spoel een in fasen verschoven spanning krijgt aangeboden, ontstaat een wisselveld, welke als het ware langs de binnenomtrek van de stator ronddraait. De snelheid komt overeen met het synchrone toerental. Langs de omtrek is de veldsterkte constant.



Draaistroommotor

De rotor bestaat uit een doorgaande as, waarop een radiaal blikpakket is gemonteerd. Langs de omtrek zijn massieve geleidende staven gemonteerd, welke aan de kopse einden door middel van kortsluitringen zijn doorverbonden. Dit geheel heeft, als men het blikpakket wegdenkt, de vorm van een kooi, vandaar de naam kooianker. Een SKA-motor is uitgevoerd met een kooi met dubbele staven.

Het eerder genoemde draaiveld induceert in de kooi een elektrische stroom (transformatorwerking). Door de lage weerstand ontstaat een hoge stroom. Deze stroomvoerende geleider ondervindt in het magnetisch veld een kracht, welke de roterende beweging van de motor levert.

Op de as is voorts een ventilator gemonteerd, welke de koellucht levert. Op het statorhuis zijn vaak koelribben aangebracht.

Zoals gezegd loopt de motor asynchroon, dat wil zeggen het nominaal toerental blijft lager dan het synchron toerental. Bij een 2-polige machine en 50Hz-netspanning is dit 3000 omw/min. Het verschil noemt men de slip. Indien de slip nul zou worden, is er geen wisselveld meer tussen stator draaiveld en rotor. Hierdoor is er geen inductiestroom meer in de rotor en het aandrijvend koppel wordt nul. Een onbelaste kooiankermotor zal een maximaal toerental bereiken, waarbij het geïnduceerde koppel voldoende is om ventilator-, wrijvings- en overige verliezen te compenseren.

Eigenschappen

Toerental

Het nominaal toerental ligt ca. 3 à 5 % beneden het synchron toerental. Bij 50 Hz-net en een 2-polige machine komt dit overeen met ca. 2800 omw/min.

Op overeenkomstige wijze is dit voor een 4-polige machine ca. 1400 omw/min., voor een

6-polige ca. 950 omw/min. en voor een 8-polige ca. 700 omw/min. Hogere pooltallen worden praktisch niet toegepast.

Koppel-toerenkromme

Belangrijk bij de toepassing van de asynchrone motor is zijn koppel-toerenkarakteristiek. Deze ziet er bij benadering uit als aangegeven in fig. 2.

Een relatief laag startkoppel, bij ca. 50% van het toerental een minimale waarde (het zadelpunt), vervolgens een oplopend koppel tot het maximum koppel bij ca. 80% van het toerental. Dit punt wordt het kippkoppel genoemd. Vanaf dit punt vertoont de karakteristiek een dalende lijn tot nul bij het synchrone toerental. Dit laatst genoemde gebied is het normale gebruiksgebied.

De karakteristiek van de motor vormt een stabiel werkpunt met het aan te drijven werktuig. Bij sterk toenemende belasting zal de elektromotor tot boven zijn kippkoppel belast worden en vervolgens in toerental afgeremd worden. In deze situatie, hoge stroom, verminderde koeling door lager toerental, alsmede een instabiel werkpunt met het aangedreven werktuig, treedt overbelasting van de motor op en dient deze zo snel mogelijk afgeschakeld te worden (zie ook beveiliging van motoren).

De stroom-toerenkarakteristiek

De (S)KA-motor heeft een hoge aanloopstroom. Deze bedraagt voor de KA-motor ca. 5 à 7 maal de nominaalstroom. De SKA-motor heeft een iets lagere aanloopstroom (bij een betere koppeltoerenkromme).

De stroom zal tijdens de aanloop iets teruglopen maar pas na het bereiken van ca. 80% van het toerental teruglopen naar de nominaalwaarde.

Bij een langdurige aanloop, bijvoorbeeld grote ventilatoren, dreigt al snel oververhitting. Ook meerdere starts in een korte tijd kan de motor doen oververhitten.

Koppel-toerenkromme in combinatie met werktuig

De meeste werktuigen vragen ofwel een vrijwel constant koppel (bijvoorbeeld zuigercompressoren e.d.) ofwel een koppel dat toeneemt bij toenemend toerental (centrifugaalpompen en ventilatoren).

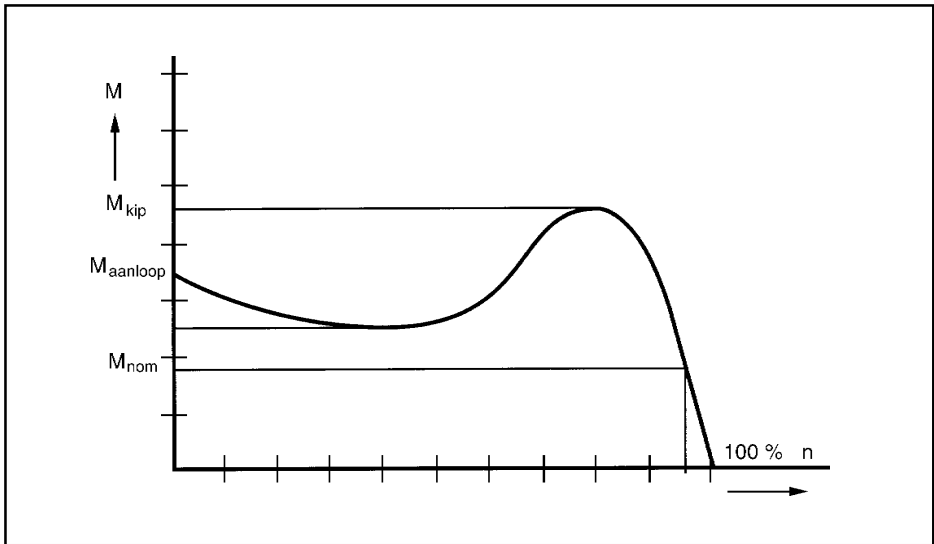
Het aandrijvend koppel van de elektromotor moet te allen tijde hoger zijn dan het gevraagde koppel. Het verschil tussen deze twee is het koppel dat beschikbaar is om de combinatie te versnellen tot het nominaal werkpunt. Bovendien dient het startkoppel voldoende groot te zijn om het lostrekkoppel te leveren.

Speciale aandacht verdient voorts het 'zadelpunt' in de koppel-toerenkromme.

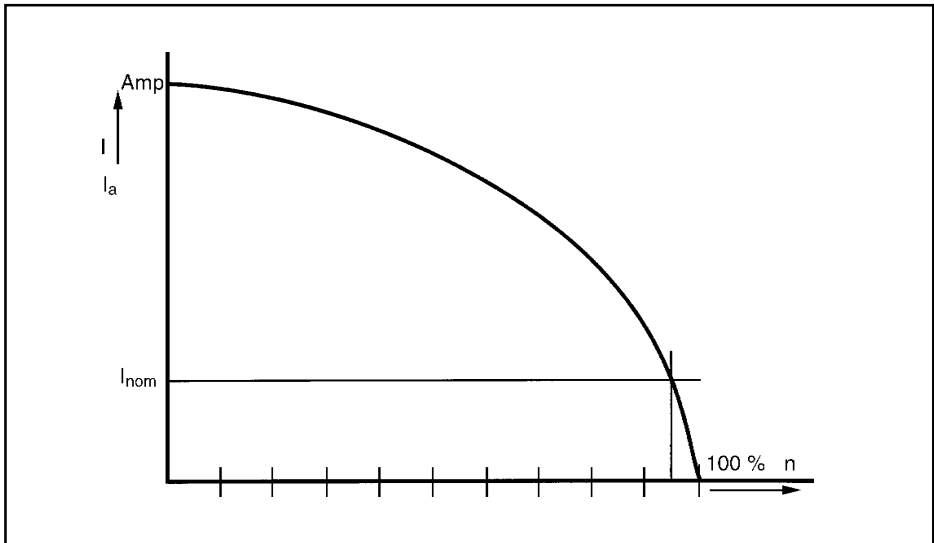
Bij de methoden van aanloop zal nader aangegeven worden dat bij verlagen van de klemspanning (bijvoorbeeld door de ster-driehoekaanloop) de gehele koppel-toerenkromme lager komt te liggen. Immers het koppel is evenredig met de aangelegde spanning. Duidelijk is dat de consequenties hiervan ten opzichte van het gevraagde koppel beschouwd moeten worden.

Aanloop van de kooiankermotor

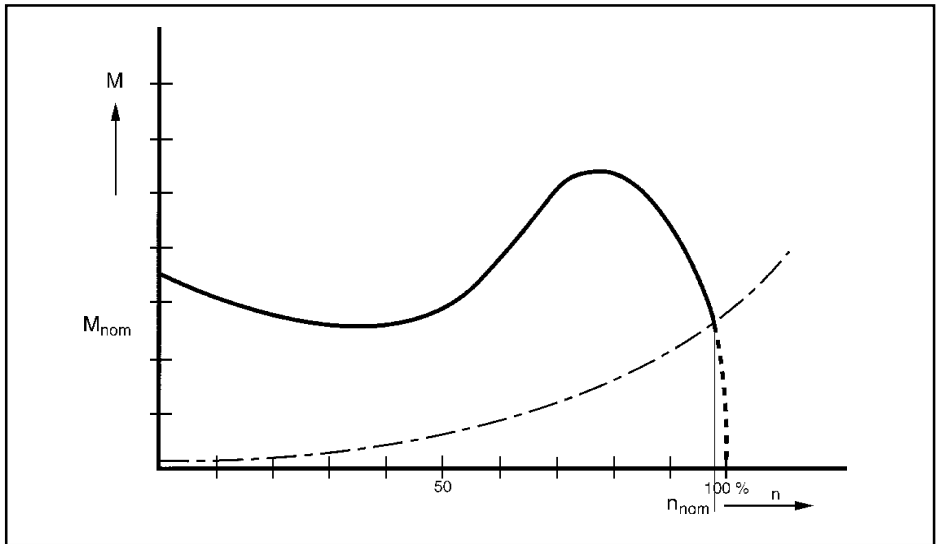
De aanloopstroom van de (S)KA-motor is erg hoog. De energieleverende bedrijven stellen hieraan eisen. De hoge aanloopstroom vergt een hogere instelling van de primaire beveiligingen en een hogere kabeldoorsnede. Bovendien zal de hoge stroom oorzaak zijn van spanningsdips (hinderlijke terugval in verlichting op hetzelfde net aangesloten en/of afvallen van magneetschakelaars en minimum spanningsbeveiliging). Om deze redenen



Figuur 2 Koppel-toerenkromme SKA-motor



Figuur 3 Stroomkarakteristiek SKA motor



Figuur 4 Koppeltoerenkromme SKA-motor met werktuig

moet voor motorvermogens groter dan 3 kW voorzieningen worden getroffen om de aanloopstroom te beperken.

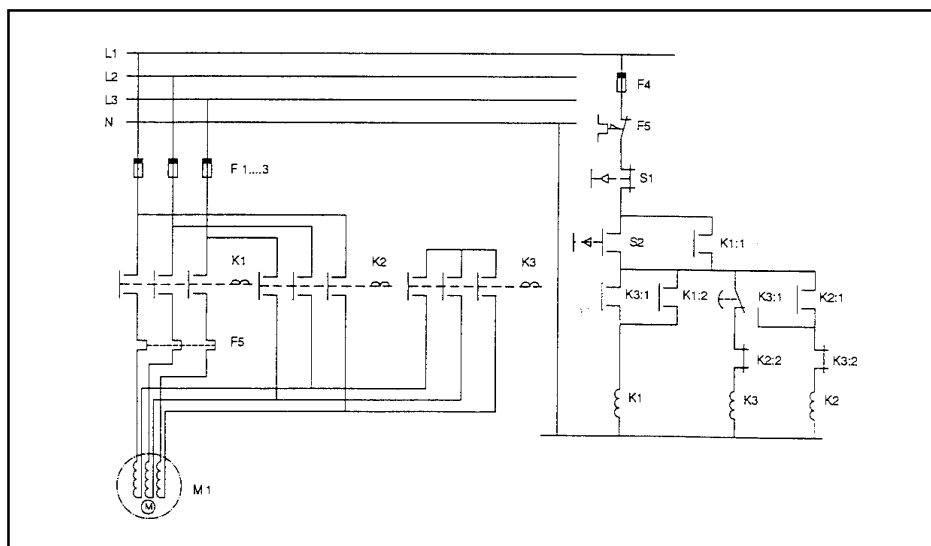
- *Directe aanloop (DOL-start - direct on line)*

De directe aanloop wordt alleen toegepast voor motoren van klein vermogen (< 3,5 kW) en voor grotere vermogens indien het bedrijven met een eigen net betreft (grotere industrieën). De motor wordt door middel van een magneetschakelaar of een handbediende schakelaar direct op de netspanning ingeschakeld. Er is geen beperking van de aanloopstroom (ca. 4 à 6 maal de nominaalstroom), het maximale aanloopkoppel is beschikbaar.

- *Sterdriehoek aanloop (zie fig. 5)*

Een mogelijkheid om de aanloopstroom te beperken is het laten aanlopen via een sterdriehoek schakelaar. Dit kan een handbediende walsschakelaar of een combinatie van 3 magneetschakelaars zijn. In de eerste schakelstand, de aanloopstand, worden de statorspoelen in ster geschakeld. Hierdoor worden zij als het ware op een verlaagde netspanning geschakeld welke een factor $\sqrt{3}$ lager is. Hierdoor zal ook de aanloopstroom evenredig lager zijn. Echter ook het beschikbare koppel neemt af en wel tot $1/3$ van de waarde bij volle spanning. De koppel-toerenkarakteristiek komt als het ware over het gehele gebied lager te liggen.

In deze stand dient de motor voldoende koppel te leveren om het lostrekkoppel te leveren en de motor-werktuigcombinatie te versnellen tot nagenoeg het nominaal toerental. Bij omschakelen van de ster naar de driehoekstand ontstaat opnieuw een stroomstoot. Deze blijft bij juiste dimensionering beneden de waarde van $1/\sqrt{3}$ maal de nominaalstroom.



Figuur 5 Draaistroommotor met ster-driehoekaanloop. Hoofdstroom en stuurstroom

De sterdriehoek aanloop is slechts mogelijk bij nagenoeg onbelaste aanloop.

- *Sterdriehoek aanloop met weerstanden.*

Een variant op de sterdriehoek aanloop is de sterdriehoek aanloop met weerstanden. In plaats van in 2 stappen wordt de aanloop nu in 4 stappen uitgevoerd, waarbij in de 1e en de 3e stap een set weerstanden wordt tussengeschakeld. Hierdoor worden de stroomstoten nog verder beperkt. Deze methode van aanlopen wordt vandaag de dag nog nauwelijks meer toegepast.

- *Trafostart*

Voor grote vermogens (> 55 kW) wordt nog wel de trafostart toegepast. Via een in spaarschakeling geschakelde transformator wordt in de startstand een verlaagde spanning aan de motorklemmen toegevoerd. De waarde van deze startspanning dient vooraf bepaald te worden.

De trafo wordt voor deze specifieke toepassing gewikkeld. Om een optimale afstemming in de praktijk te verkrijgen wordt de trafo voorzien van extra aftakkingen, welke 3 à 5 % beneden en boven deze waarde liggen. De trafo moet geschikt zijn voor het startvermogen van de motor. Bij de dimensionering is ook het aantal starts per uur van belang. Met deze wijze van aanloop kan een balans gezocht worden tussen het maximaal benodigd aanloopkoppel en de bijbehorende reductie van de aanloopstroom.

- *Softstart, frequentie-omvormer*

Softstarter en frequentie-omvormer zijn produkten van de moderne vermogens-elektronica.

Hiermede kunnen aanloopstromen beperkt worden tot ca. 1,5 maal de nominaal-

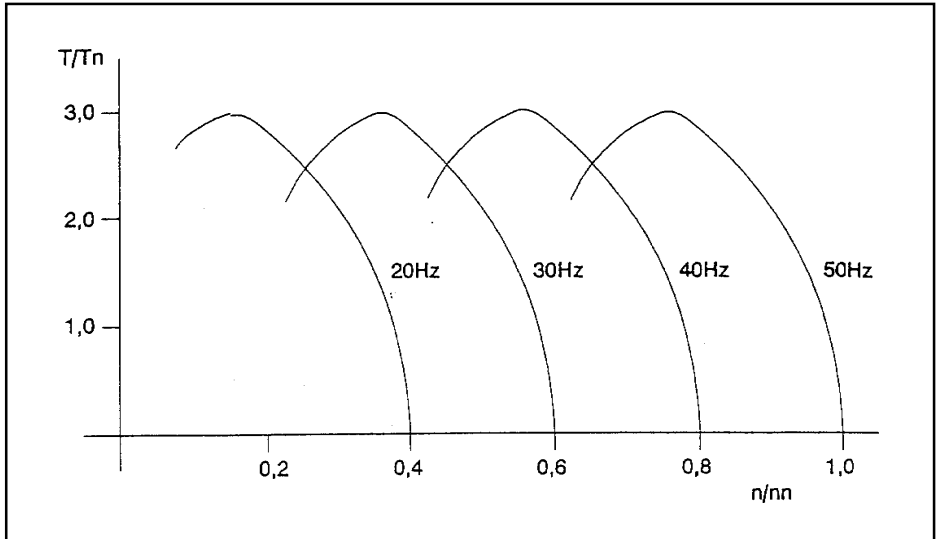
stroom, met behoud van nagenoeg het maximale koppel. Het principe is dat de motor een verlaagde spanning bij een verlaagde frequentie krijgt toegevoerd. Zodra het lostrekkelijk is bereikt wordt de frequentie opgevoerd en zal de motor tegelijkertijd mee in toeren oplopen, waarbij de stroom nagenoeg dezelfde blijft. De koppel-toerenkromme doorloopt als het ware de grafieken zoals aangegeven in fig. 6.

De softstarter/frequentie-omvormer bestaat uit een gelijkrichterdeel, een tussenkring en een omvormerdeel.

In de gelijkrichter (welke 3-fasig is uitgevoerd) wordt de netspanning gelijkgericht. De tussenkring koppelt de gelijkrichter met de omvormer en kan uitgevoerd zijn als spanningsbron of als stroombron. De omvormer bestaat uit een 3- of 6-fasige thyristorbrug, welke de gelijkspanning omvormt tot een in frequentie en spanning geregeld 3-fasen systeem. De besturingselektronica stuurt en bewaakt en beveiligd de diverse parameters.

Voordelen van deze wijze van aanloop zijn:

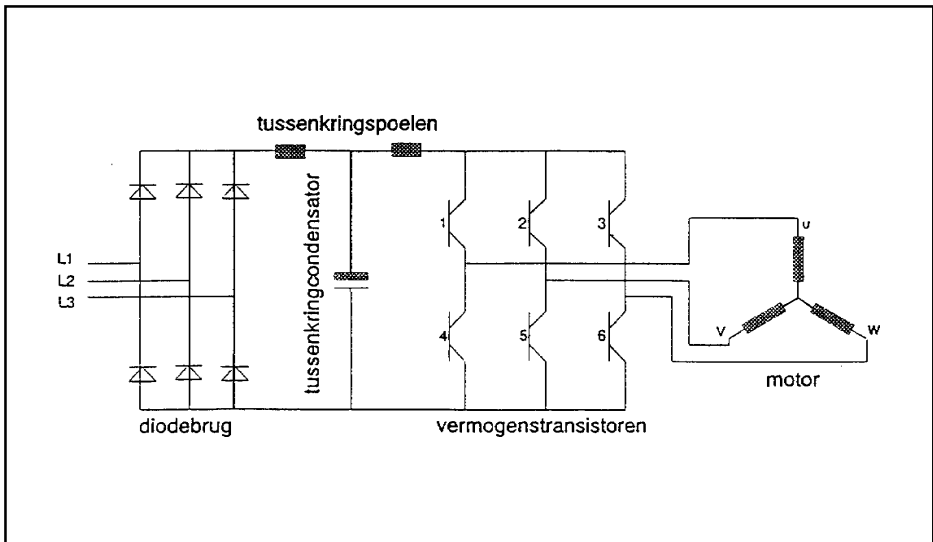
- hoog startvermogen beschikbaar
- lage aanloopstroom
- lage mechanische belasting bij starten en stoppen
- naast een gecontroleerde aanloop is ook een softstop, een gecontroleerd stoppen, mogelijk
- energiezuinig
- de frequentie-omvormer biedt de mogelijkheid van toerenregeling
- verbetering van de arbeidsfactor ($\cos \phi$) van de installatie



Figuur 6 Koppel-toerendiagram van een SKA in combinatie met een frequentie-omzetter

Als nadelen moeten genoemd worden:

- de hogere prijs
- een hogere geluidsbelasting, zowel van de omvormer als van de motor
- een hogere thermische belasting van de motor; een overgedimensioneerde motor is soms noodzakelijk
- netvervuiling als gevolg van het ontstaan van hogere harmonischen; er zijn in het algemeen aanvullende voorzieningen nodig om aan de huidige eisen (CE-normen) te voldoen.



Figuur 7 Het schema van de spanningsbron-frequentie-omzetter

Het bepalen van de noodzakelijke doorsnede van een kabel.

(zie ook NEN 1010)

Gegeven:

Een kabel wordt gelegd op een kabelladder, samen met twee andere kabels ($d < D$).

De kabel heeft een XLPE-isolatie (Vult) en een koperen kern.

Er is sprake van drie belaste aders.

De omgevingstemperatuur is 25°C.

De bedrijfsstroom is 95A.

Gevraagd:

Bepaal de minimale doorsnede van de kabel.

Oplossing:

Voor het bepalen van de benodigde doorsnede gaan we als volgt te werk:

1. We bepalen de nominale stroom van het beveiligingstoestel.
Voor smeltpatronen kunnen we dit doen m.b.v. tabel 53A.
In dit geval ligt I_b tussen 80A en 100A, waaruit volgt $I_n = 100A$.
2. Uit dezelfde tabel 53A volgt dat van de te kiezen kabel de benodigde I_z minimaal 111A moet bedragen.
3. De toe te passen tabellen zijn 52C, 52D en 52G (zie wijze van aanleg 1e in tabel 52).
4. De toe te passen correctiefactoren zijn:
0,84 voor drie kabels bij elkaar (tabel 52D, $d < D$);
1,04 voor de omgevingstemperatuur (tabel 52G, XLPE).
5. De kabel moet dan een ongecorrigeerde toelaatbare stroom hebben van:

$$I_z = \frac{111A}{0,84 \times 1,04} = 127 A$$

6. Volgens tabel 52C moeten we dan een kabel kiezen met een doorsnede $S = 25 \text{ mm}^2$ (drie belaste aders, XLPE).
7. De werkelijke toelaatbare stroom van de kabel in de gegeven omstandigheden is dan:

$$I_z = 1,04 \times 0,84 \times 128 A = 111,8 A$$

Doel van dit voorbeeld is om aan te geven welke factoren van belang zijn bij het dimensioneren van een kabelverbinding. Door de juiste keuze van één of meer factoren kan men komen tot een zo economisch mogelijk ontwerp.

De berekening is vrij omslachtig. Mede hierdoor is er tegenwoordig een ruime keus aan tabellenboeken en computerberekeningsprogramma's.

Een van de meest toegepaste besparingsmogelijkheden is het parallel schakelen van 2 of meer kabels van dezelfde doorsnede. De belasting van de geleider is niet evenredig met de doorsnede. Bij toepassen van 2 aders parallel zal elke kabel de helft van de stroom voeren. Berekening toont aan dat hiervoor totaal minder koperdoorsnede benodigd is dan voor een enkel uitgevoerde kabelverbinding. Bovendien zal vaak besparing optreden in de montagetijd bij het toepassen van dunnere kabels.

Kabeldoorsnede en spanningsverlies

Nadat de minimale kabeldoorsnede is bepaald, dient te worden gecontroleerd of dit geen ontoelaatbaar spanningsverlies oplevert. Richtlijn is ca. 5% spanningsverlies. Het verlies ontstaat voornamelijk door de gelijkstroomweerstand, de Ohmse weerstand van de kabel. Deze laat zich vrij eenvoudig berekenen uit de formule $R = l \times \rho : A$, waarbij l de lengte is, ρ de specifieke soortelijke weerstand (voor koper $\rho = 0,0175$) en A de doorsnede in mm^2 . *Let op!* De lengte betreft de lengte van het gehele circuit.

Als de nominaalstroom bekend is volgt het spanningsverlies uit de formule $\Delta u = I \times R$. Zonodig dient een hogere aderdoorsnede gekozen te worden.

Kabellengte in verband met beveiling tegen kortsluiting

Bij sluiting aan het eind van de leiding dient een kortsluitstroom te vloeien, welke in staat is om het beveiligingstoestel (smeltveiligheid of automaat) binnen maximaal 5 seconden te doen aanspreken.

De waarde van de kortsluitstroom wordt bepaald door de totale impedantie in de kortsluitketen. De lengte en doorsnede van de kabel hebben hierop direct invloed. Afhankelijk van de waarde van de beveiliging, de aderdoorsnede en de systeemspanning (220V c.q. 380V) zal er een maximale lengte van de kabel zijn, waarbij de beveiliging correct kan functioneren.

Bij de exacte berekening van deze lengte worden nog correcties meegenomen voor de invloed van de temperatuurstijging op de weerstand, de werkelijke kortsluitimpedantie en de spanningsdaling als gevolg van de sluiting. Praktisch wordt deze berekening niet uitgevoerd maar maakt men gebruik van tabellen. De eerder genoemde computerprogramma's voor kabelberekening voorzien reeds in deze controle.

Beschermingsgraad elektrotechnische apparatuur

De beschermingsgraad van elektrotechnische apparatuur wordt aangeduid met de letters IP gevolgd door de 2-cijferige code. IP staat voor International Protection. Het eerste cijfer geeft de mate van bescherming tegen aanraking van spanningvoerende delen door het binnendringen van vaste voorwerpen of stof, het tweede cijfer de mate van bescherming tegen het binnendringen van vocht. Hoe hoger het cijfer hoe beter de bescherming.

Indien geen eisen gesteld worden ten aanzien van óf binnendringen van vaste stoffen óf binnendringen van vocht, dan kan een van de cijfers vervangen worden door de letter X. Bijvoorbeeld: IP 2X geeft wel een bepaalde aanrakingsveiligheid aan maar geen eisen ten aanzien van bescherming tegen vocht (bijvoorbeeld een component binnen een schakelkast).

Bijgevoegde tabel geeft een nadere verklaring van de gebruikte coderingen.

Veel voorkomende beschermingsgraden zijn:

IP 00 geen bescherming (bijvoorbeeld paneel apparatuur met open aansluitklemmen)

IP 20 een zekere mate van aanrakingsveilig (paneelapparatuur)

IP 43 spatwaterdicht

IP 54 stofvrij/spuitwaterdicht

IP 65 stofdicht/spuitwaterdicht

IP 67 stofdicht/waterdicht

Beveiling tegen overbelasting en kortsluiting

Algemeen

Een elektrisch toestel met de daarbij behorende aansluitleiding dient in het algemeen beveiligd te worden tegen overbelasting en kortsluiting. Een overbelasting is een stroom welke groter is dan de toegestane en welke ontstaat door bijvoorbeeld een te zware mechanische belasting of gedwongen stilstand van een elektromotor of doordat het aantal toestellen dat op een leiding is aangesloten gezamenlijk gelijktijdig een hoger vermogen betrekken dan de stroom waarop de leiding is berekend.

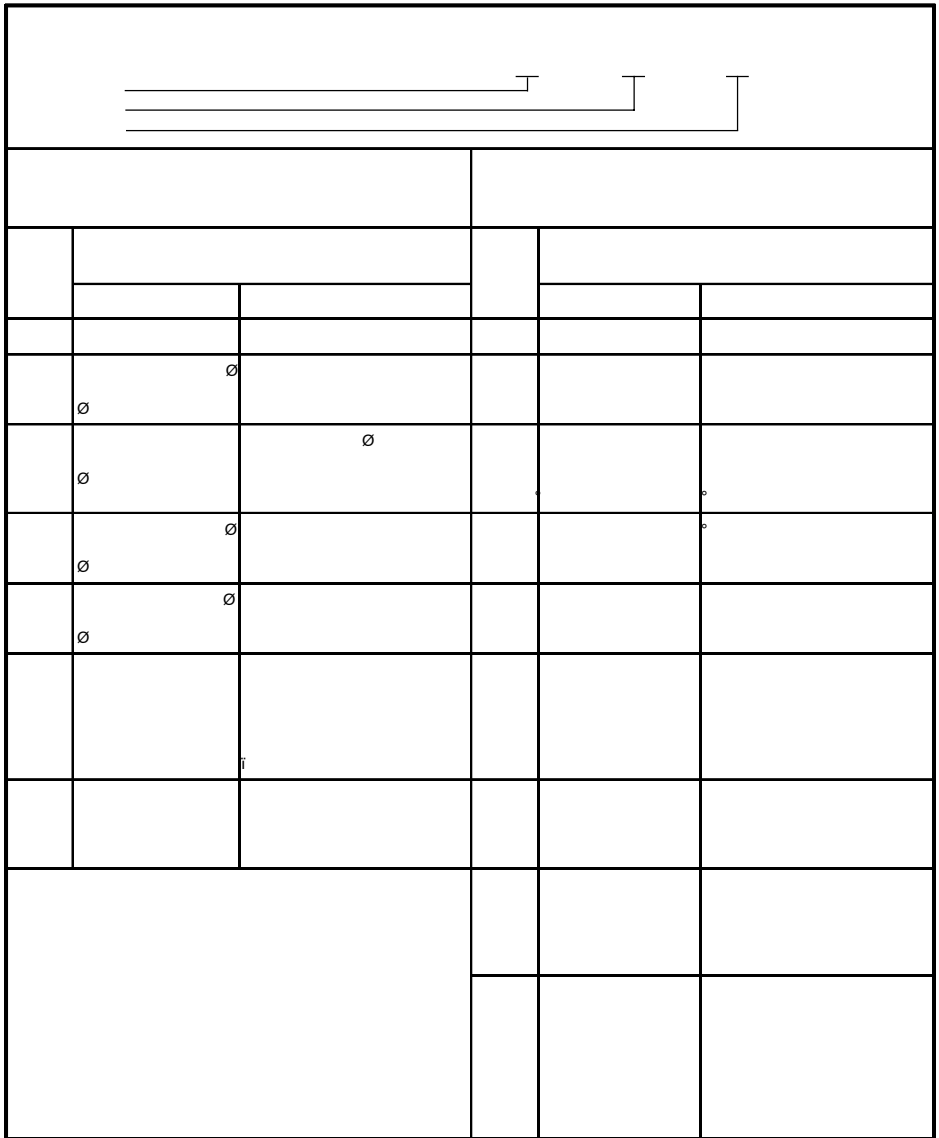


Fig. 8 — IP-beschermklasse

Een kortsluitstroom is in het algemeen nog hoger en ontstaat door een defect waardoor er een directe verbinding ontstaat tussen 2 fasen of tussen fase en nul of tussen een fase en aarde.

Het te kiezen beveiligingsmiddel zal binnen een bepaalde tijd zowel de overbelastingsstroom als de kortsluitstroom moeten afschakelen.

Waarom beveiligen?

Het gevaar van overbelasting of kortsluiting is dat er een ontoelaatbaar hoge temperatuur ontstaat in leiding en toestel. Deze temperatuurverhoging kan leiden tot brandgevaar of beschadigingen. Een beperkte temperatuurverhoging zal dit niet onmiddellijk bewerkstelligen, echter de verwachte levensduur van de isolatie (en dus van leidingen en toestellen) zal aanzienlijk dalen vanwege een snelle veroudering.

Beveiliging van motoren

Met name bij elektromotoren is iedere toename in de gemiddelde bedrijfstemperatuur van invloed op de levensduur. De aderisolatie in de wikkelingen is berekend op een bepaalde temperatuur. Dit is af te leiden uit de gegevens van de isolatieklasse zoals op het typeplaatje is aangegeven.

Bij temperatuurverhoging treedt snellere veroudering op van dit isolatiemateriaal. De relatief dunne isolatielaag is kwetsbaar en een isolatiefout op deze plaats (doorslag of kortsluiting) leidt tot definitieve beschadiging van de motorwikkeling.

Voor de beveiliging van grotere motoren en van toerengeregelde motoren wordt naast de thermische beveiliging in de voedingsleiding gekozen voor een thermistorbeveiliging in de wikkelingen. Deze thermistorbeveiliging meet de werkelijke temperatuurverhoging en is daarmee een direct werkende beveiliging. Kleinere motoren zijn in het algemeen uitgerust met een thermocontact (clixon) wat eveneens een effectieve directe beveiliging oplevert.

Een ander aspect in de motorbeveiliging is de beveiliging tegen fase-uitval of 2-fasenloop.

Fase-uitval kan ontstaan door breuk in de geleider, weigerende contacten in de magneet-schakelaar of doorsmelten van een van de smeltpatronen (veroudering!).

Bij een draaiende motor zullen bij wegvallen van een van de fasespanningen de verliezen sterk toenemen.

Hierdoor wordt snel een te hoge temperatuur bereikt. De meeste thermische relais hebben een constructieve voorziening, welke een zekere mate van beveiliging tegen fase-uitval levert.

Bij de dimensionering van de beveiliging dient men bij in driehoek geschakelde motoren extra attent te zijn. Hier kan de situatie zich voordoen dat bij een lage belastinggraad van de motor uitval van een fase kan leiden tot een stroomtoename in de voedingsleiding beneden de aanspreekwaarde van de beveiliging maar een ontoelaatbare toename van de stroom in de wikkelingen.

Beveiligingsmiddelen

Smeltveiligheden

De meest bekende beveiliging is de smeltveiligheid. Deze bestaat in wezen uit een kunstmatige verzwakking in de stroomketen, de smeltdraad, welke in een met zand gevulde omhulling is gemonteerd.

Voor het bereiken van een te hoge leidingtemperatuur dient de smeltdraad door te smelten. De vlamboog die hierbij ontstaat wordt door het zand geïsoleerd.

De twee belangrijkste uitvoeringsvormen zijn de diazad patroon en de mesveiligheid. De diazad patroon is bekend uit de normale huisinstallaties. Deze wordt algemeen toegepast tot 63 Ampère. De onderlinge uitwisselbaarheid wordt bepaald door de diameter van de patroon.

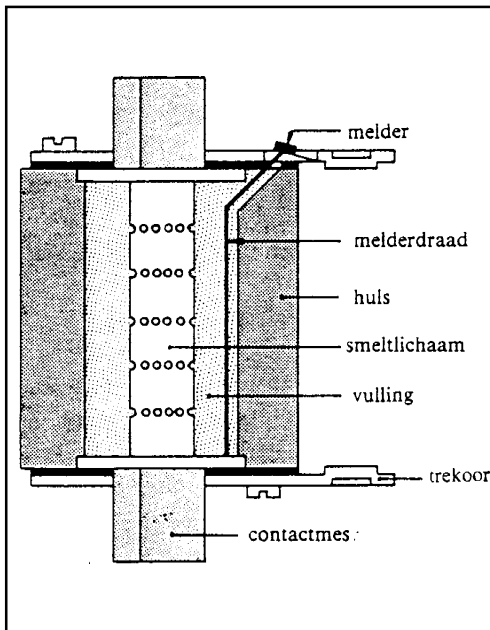
Voor grotere stromen en hogere kortsluitvermogens zal men mespatronen toepassen. Deze zijn in diverse groottes beschikbaar.

DIN 00	6-160	Amp.
DIN I	80-250	Amp.
DIN II	125-400	Amp.
DIN III	315-630	Amp.

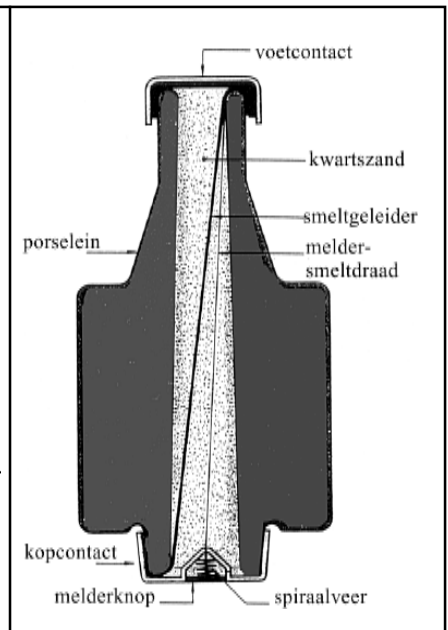
De karakteristiek van een smeltveiligheid is in normtabellen en grafieken vastgelegd. Dit is van belang voor de keuze van de juiste patroon voor de betreffende toepassing, leidingbeveiliging of motorbeveiliging.

De karakteristiek is ook van belang om het gedrag bij serieschakeling van twee smeltpatronen te beoordelen uit het oogpunt van selectiviteit. De laagste waarde waarbij een patroon moet aanspreken en de daarbij behorende smelttijd zijn in normbladen vastgelegd. Overbelasting in het gebied tussen de nominaalstroom en de laagste afschakelstroom (ca. $1,4 \times I$ nominaal) dient vermeden te worden.

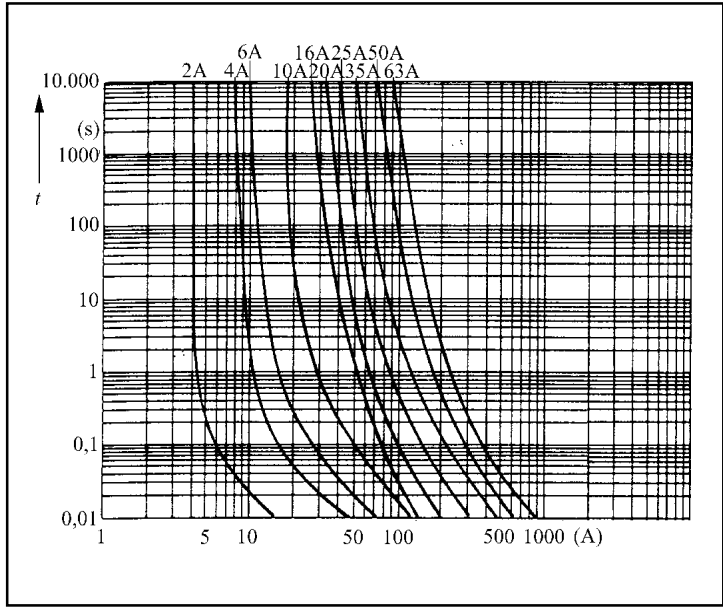
De karakteristiek van de smeltveiligheid wordt hierdoor beïnvloed (veroudering) en de



Figuur 9 Doorsnede mespatroon



Figuur 10 D-Smeltpatroon



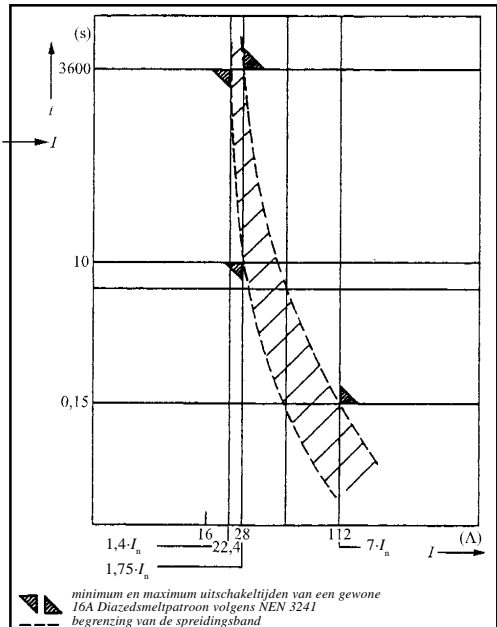
Figuur 11
Smelt-
karakteristieken
D-patronen (snel)

betrouwbaarheid neemt af. De uitschakelkarakteristiek is niet een scherp gedefinieerde lijn maar vanwege temperatuurinvloeden en toleranties een smal gebied, zie fig. 12

Installatie-automaat

Een installatie-automaat is een toestel met een gecombineerde thermische beveiliging tegen overbelasting en een elektro-magnetische beveiliging tegen kortsluitstroom.

De thermische beveiliging bestaat uit een bimetaal welke door de stroom verwarmd wordt. Bij het bereiken van een bepaalde temperatuur zal hierdoor een schakelcontact bediend worden. Door



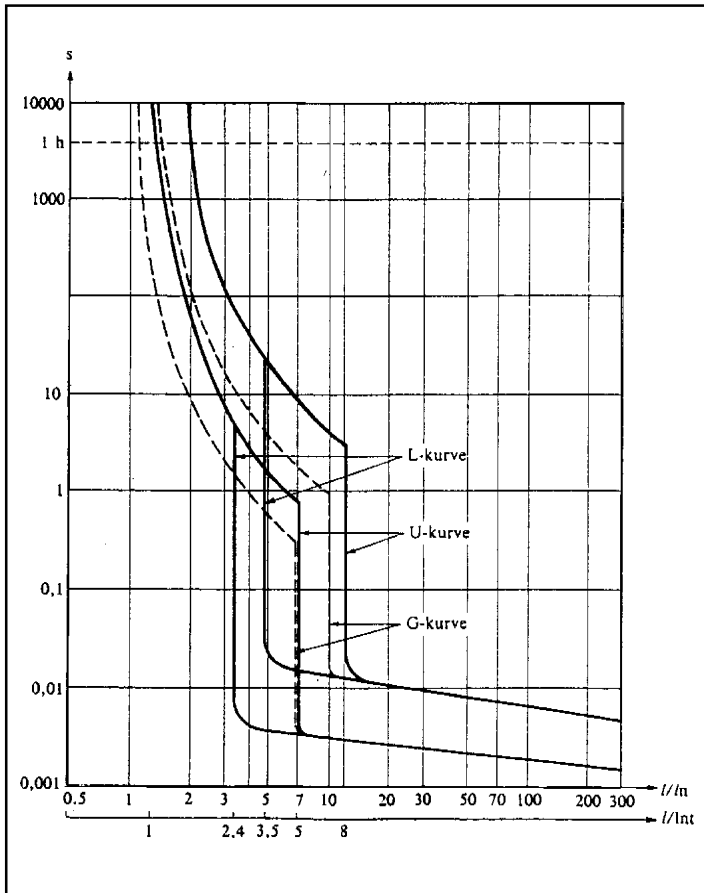
Figuur 12
Minimum en maximum
uitschakeltijden van een gewone 16 A
Diazedsmeltpatroon volgens NEN 3241
begrenzing van de spreidingsband

deze constructie ontstaat een stroom-tijdafhankelijke beveiliging. Hoe hoger de stroom hoe korter de uitschakeltijd. De kortsluitbeveiliging bestaat uit een elektromagneet, welke bij een bepaalde aanspreekstroom het contact onvertraagd afschakelt. De tijd wordt slechts bepaald door de mechanische eigenschappen van het mechanisme.

Ook automaten zijn met diverse karakteristieken, leverbaar onder andere ter beveiliging van lichtinstallaties, stuurstroomkringen, leidingen en motoren.

Vermogensschakelaar

Een vermogensschakelaar is een automaat, waarbij binnen bepaalde grenzen de thermische en/of magnetische beveiliging instelbaar zijn. Ze worden in het algemeen voor grotere vermogens toegepast. De instelbaarheid biedt mogelijkheden om een optimale beveiliging van de achterliggende installatie te realiseren, waarbij de selectiviteit voor de op die plaats mogelijk optredende kortsluitstromen gewaarborgd is.



*Figuur 13
Uitschakel-
karakteristieken
automaat*

Selectiviteit

Vrijwel altijd heeft men tussen het aangesloten toestel en de voedingsbron meerdere achter elkaar geschakelde beveiligingen. Smeltpatronen en/of automaten in schakelpaneel, onderverdeelbord, hoofdverdeelbord.

In geval van een storing (sluiting of overbelasting) dient men te zorgen dat de beveiliging selectief werkt. Slechts de beveiliging die het dichtst bij de fout zit moet afschakelen. Indien dit niet of niet voldoende functioneert, moet de eerst voorliggende beveiliging aanspreken.

Om een goede selectiviteit te bereiken moeten beveiligingen zodanig gekozen worden of ingesteld worden, dat een stroom die juist boven de maximaal mogelijke bedrijfsstroom ligt zo snel mogelijk afgeschakeld wordt. Dit dient selectief te zijn ten opzichte van de voorliggende beveiliging om ongewenste afschakeling van niet-gestoorde installatiedelen te voorkomen.

Samenvattend:

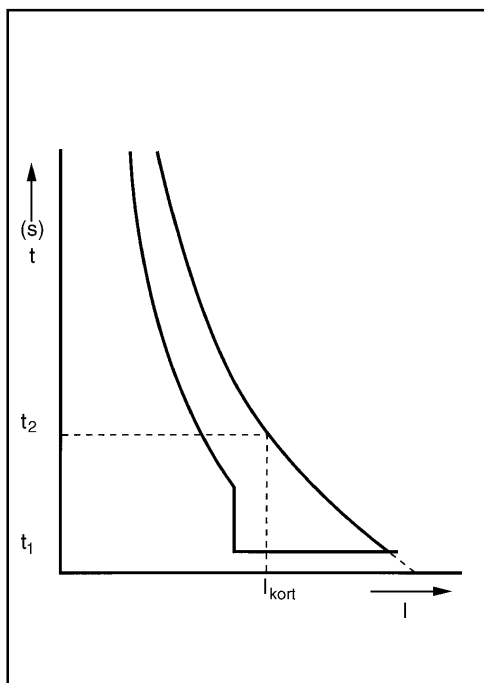
- bedrijfsstroompieken mogen niet tot afschakeling leiden
- bij optredende fouten mag alleen de dichtstbijzijnde overstroom- beveiliging aanspreken
- indien deze beveiliging niet functioneert moet de voorliggende in de keten aanspreken

Speciale aandacht verdient de gebieden van de lage en de hoge kortsluitstromen. In het gebied van de hoge kortsluitstromen bestaat het gevaar dat tussen en achter elkaar geschakelde beveiligingen in dezelfde korte tijd aanspreken.

In het gebied van kleine kortsluitstromen kan de afschakeltijd ongewenst groot worden indien de eerste beveiliging weigert. De grootte van de stroom op deze plaats kan voor de voorliggende beveiliging gezien worden als een overbelastingstroom en wordt derhalve vertraagd afgeschakeld.

Controle van de selectiviteit

Een snelle controle bereikt men door de stroom-tijd karakteristieken van alle beveiligingen in de keten in één diagram uit te zetten. Men gebruikt hiervoor papier met een dubbel logaritmische schaalverdeling. Op de x en de y as werkt men met zowel lage als hoge waarden van respectievelijk stroom en tijd. De volgende stap is het berekenen van de maximaal optredende kortsluitstroom (in 3-



Figuur 14 Controle selectiviteit

fasen sluiting) op de diverse plaatsen in de keten. Dit zijn de grenzen tot waar de selectiviteit beschouwd moet worden. Voor hogere stroom hoeft de beveiliging niet selectief te zijn omdat deze situatie niet kan optreden. Bereken ook de laagste kortsluitstroom (fase-aardsluiting).

Indien deze waarde boven de hoogste aanloop- of inschakelstroom ligt, kan men hierop de aanspreekwaarde van de kortsluitbeveiliging instellen.

Selectiviteitsgedrag van twee in serie geschakelde automaten

Hierbij kan de situatie optreden dat twee in serie geschakelde automaten, welke een verschillende nominaalstroom bezitten, in het kortsluitstroomgebied een nagenoeg zelfde korte uitschakeltijd bezitten. Deze wordt namelijk bepaald door de traagheid van de mechanische constructie. Mede door spreiding in de toleranties is niet voorspelbaar welke beveiliging als eerste zal afschakelen. Deze situatie is niet selectief en dient om deze reden vermeden te worden.

Selectiviteitsgedrag van automaat met voorgeschakelde smeltpatroon

De smeltpatroon moet de automaat tegen kortsluiting beschermen (escorte-veiligheid). Beschouwen we de karakteristieken dan is deze combinatie tot een zekere stroomwaarde selectief. Boven deze stroom zal de smeltpatroon eerder aanspreken. Indien dit punt, de selectiviteitsgrens, buiten de maximaal mogelijke kortsluitstroom ligt, zijn er geen problemen te duchten. Zo niet dan heeft men nog de mogelijkheid om een patroon met een hogere nominaalstroom te kiezen. Deze kan echter niet hoger gekozen worden dan met het oog op de belasting en beveiliging van de tussenliggende kabelverbinding toelaatbaar is.

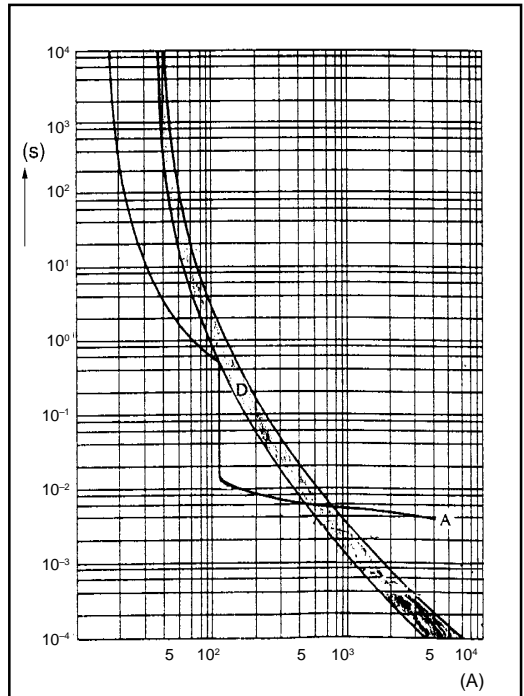
Selectiviteitsgedrag van twee in serie geschakelde smeltpatronen

In de gegevensbladen van de fabrikant kan men aflezen welke waarden van smeltpatronen bij een gegeven kortsluitvermogen nog selectief zijn.

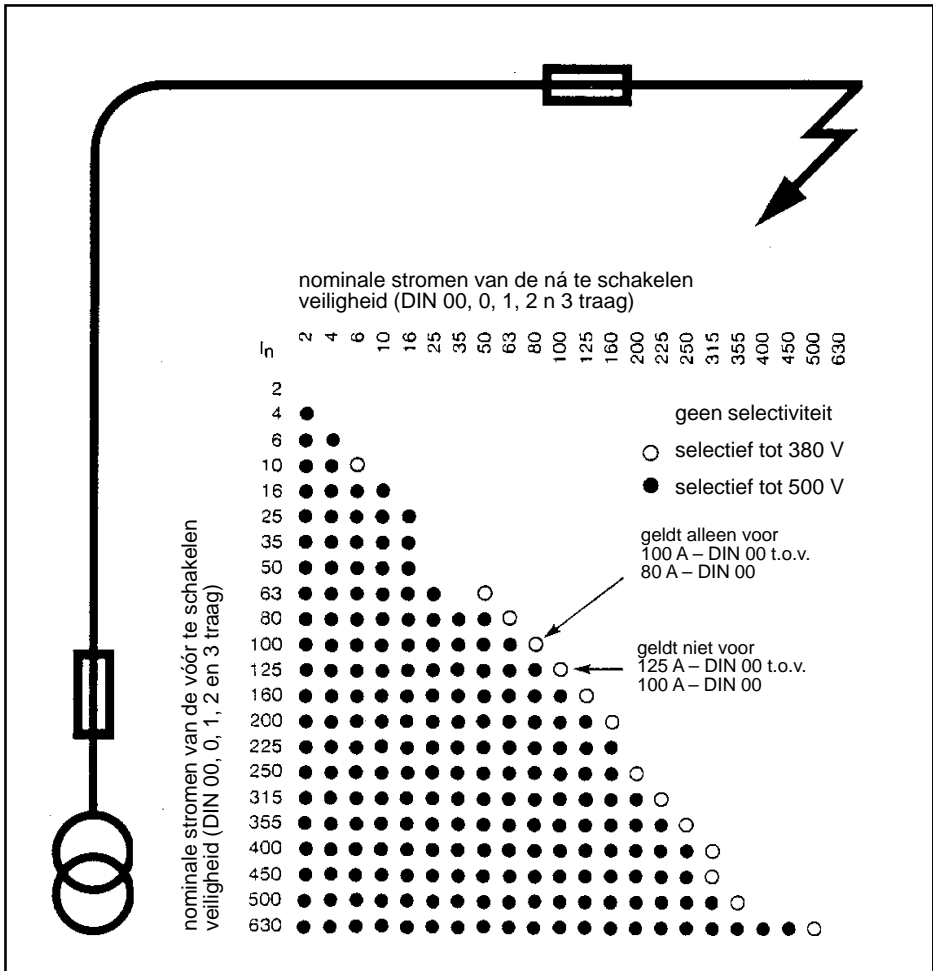
Deze gegevens gelden uitsluitend indien voldaan is aan een aantal voorwaarden, te weten:

- patronen van hetzelfde fabrikaat;
- patronen van hetzelfde type;
- uitsluitend nieuwe patronen (verouderingsinvloeden uitschakelen);
- karakteristieken geldig vanuit koude toestand.

Indien aan een van de voorwaarden niet is voldaan, kunnen er problemen met de selectiviteit optreden.



Figuur 15



Figuur 16 - Selectiviteit van trage mespatronen DIN-groottes 00, 0, 1, 2 en 3 onder kortsluitomstandigheden

Auteur: Ing. W.E. de Milliano

