

PHASE TO PHASE

Berekening veiligheid in Gaia

03-153 pmo

23 september 2003

Inhoud

1	Inleiding.....	3
2	De norm IEC 479-1	4
3	Berekening I_{mens}	6
4	Berekening T_{max}	6
5	Berekening afschakeltijdstip	6
6	Literatuur	7

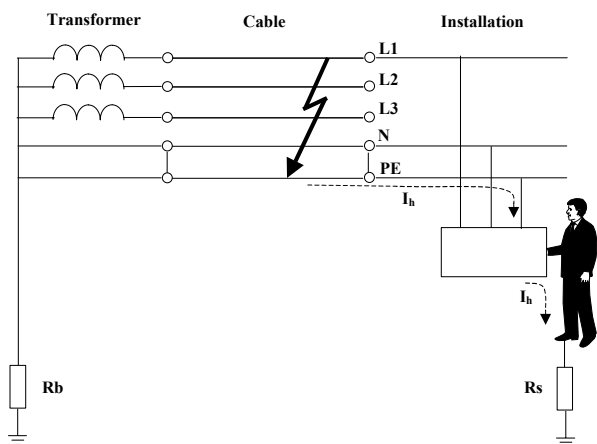
1 INLEIDING

Er zijn twee manieren om installaties van klanten te beveiligen. De oudst bekende manier is aarding via het TT-stelsel, waar de veiligheidsaarde van de klant op een lokaal punt wordt geaard. Een andere methode is aarding via het TN-stelsel, waar het elektriciteitsnet de aarde via de aansluitkabel aanbiedt.

In verhouding met het TT-stelsel is het TN-stelsel een complex systeem: er moet veel meer berekend worden

- hoe groot zijn foutspanning en foutstroom?
- hoe moet het laagspanningsnet gedimensioneerd worden zodat bij kortsluitingen altijd een veilige situatie voor de afnemer blijft bestaan?
- er is geen standaardoplossing voor de aardverbindingen voorhanden: welke oplossing is de beste?
- welke oplossing leidt tot de laagste investering?

De aarding van een elektrische installatie dient voor de veiligheid van de mens. Bij een sluiting tussen fase en de aarde van de elektrische installatie ontstaat er een spanningsverschil tussen deze aarde en de "verre aarde". Een persoon die op dat moment met een geaard apparaat werkt, kan hierdoor onder spanning komen te staan. Om de gevolgen van aanraking van deze spanning tegen te gaan moet de sluiting snel genoeg worden afgeschakeld. In figuur 1 is deze situatie weergegeven.



Figuur 1 Kortsluiting in een TN-stelsel

Door aanraking van een geaard toestel ten tijde van de fout zal er een stroom door het menselijk lichaam gaan lopen. De grootte van deze stroom bepaalt hoe lang de fout maximaal mag blijven staan. Het verband tussen stroom door het lichaam en de toegestane tijd is gegeven in de norm IEC 479-1.

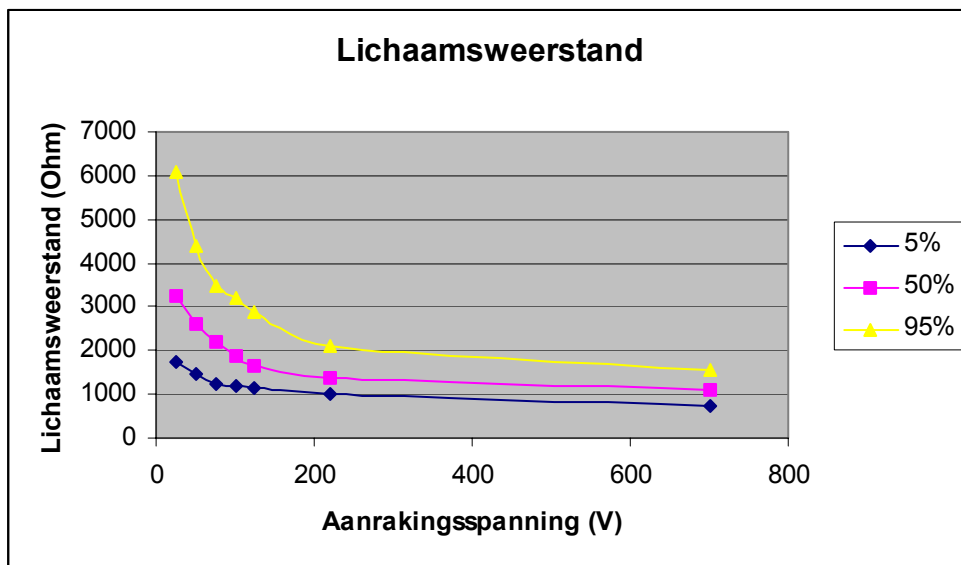
2 DE NORM IEC 479-1

De norm IEC 479-1 is beschreven in Stroomlijn (nummer 3, jaargang 8, juni 1987), een publicatie van VEEN, inmiddels EnergieNed. Er wordt ingegaan op de gevolgen voor de aanraking van een elektrische spanning op het menselijk lichaam. De standaardcondities zijn daarbij:

- droge of vochtige omgeving
- droge huid
- vloerweerstand is van betekenis
- methode van aanraking: twee handen en twee voeten (halvering lichaamsweerstand)
- weerstand vloer en schoeisel: 1000 Ohm.

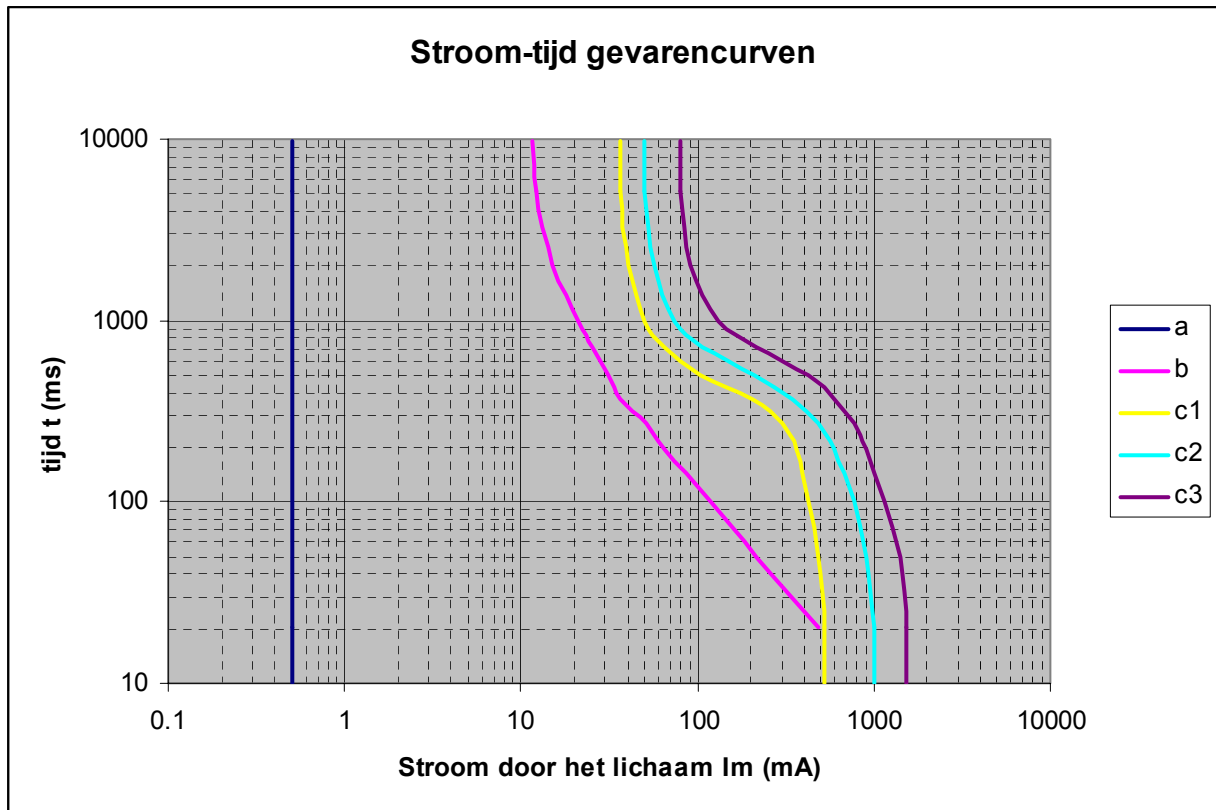
De lichaamsweerstand is afhankelijk van de aanrakingsspanning. Onderstaande tabel en figuur geven de functies volgens IEC 479-1 voor 5%, 50% en 95% percentielen voor aanraking met één hand en één voet.

Aanrakings- spanning (V)	Waarden voor de totale lichaamsweerstand (Ohm) die niet worden overschreden voor een percentage van de bevolking (percentiel) van:		
	5%	50%	95%
25	1750	3250	6100
50	1450	2625	4375
75	1250	2200	3500
100	1200	1875	3200
125	1125	1625	2875
220	1000	1350	2125
700	750	1100	1550
1000	700	1050	1500
asymptoot	650	750	850



Figuur 2 Lichaamsweerstand als functie van de aanrakingsspanning.

In de norm is ook beschreven welke gevolgen een stroom door het lichaam kan hebben. Onderstaand diagram geeft de stroom-tijd gevarencurven volgens IEC 479-1 weer voor specifieke waarnemingsdrempels.



Figuur 3 Stroom-tijd gevarencurven

In het gebied links van de lijn a bij 0,5 mA worden de stromen door het lichaam niet of nauwelijks waargenomen. Er is geen begrenzing in de tijd.

De volgende zone loopt tot de lijn b. In het gebied tussen de lijnen a en b is de stroom wel voelbaar, maar heeft gewoonlijk geen schadelijke effecten.

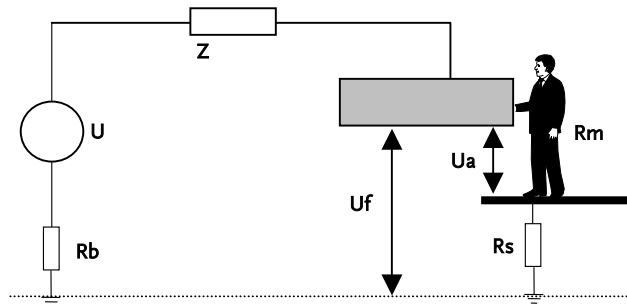
De stroom in de zone tussen b en c1 veroorzaakt gewoonlijk geen verstoring van de organen. Wel is het waarschijnlijk dat spiercontracties optreden, moeilijkheden met de ademhaling en bepaalde, niet blijvende, storingen van functies. Er treedt gewoonlijk geen hartfibrillatie op.

In het gebied boven c1, vanaf 35 mA, kan ook hartfibrillatie optreden. Tussen c1 en c2 treedt dit op met een waarschijnlijkheid tot 5%. Tussen c2 en c3 met een waarschijnlijkheid tot 50%. Boven c3 is de kans groter dan 50%.

De maximale duur van de stroomdoorgang, waarbij doorgaans geen hartfibrillatie optreedt, wordt bepaald door kromme c1 in het stroomgebied van 35 tot 500 mA.

3 BEREKENING IMENS

De norm gaat uit van een aanrakingsspanning. Het programma Gaia berekent echter de foutspanning in het net. De aanrakingsspanning wordt bepaald door de serieschakeling van de lichaamsweerstand (R_m) en de schoeiselweerstand (R_s). Zie figuur 4.



Figuur 4 Stroom en spanningen bij aanraken van een onder spanning staand toestel

De lichaamsweerstand is echter spanningsafhankelijk. Daarom wordt in Gaia de functie berekend die, voor de gekozen wijze van aanraken en de gekozen schoeiselweerstand, de lichaamsweerstand R_{totaal} weergeeft als functie van de foutspanning op de plaats van aanraken. Als die functie eenmaal bekend is, kan de stroom door het lichaam berekend worden uit:

$$I_{\text{mens}} = U_f / R_{\text{totaal}}$$

4 BEREKENING TMAX

Als een stroom-tijd gevarencurve is gekozen, kan de maximale kortsluittijd rechtstreeks uit deze grafiek worden afgelezen. In praktijk wordt meestal de c1-curve gebruikt. Door de vorm van de c1-curve lijkt het gedrag van de maximale kortsluittijd vrij onvoorspelbaar. Rond stroomwaarden van 35 mA kan Tmax plotseling van oneindige naar heel kleine waarden omslaan.

5 BEREKENING AFSCHAKELTIJDSTIP

Het afschakeltijdstip wordt bepaald door de stroom-tijd karakteristiek van de toegepaste beveiliging. In praktijk komt dat neer op de smeltkarakteristiek van de toegepaste smeltpatronen. Dicht bij de voeding is de kortsluitstroom groot en de afschakeltijd klein. Verder van de voeding duurt het afschakelen van een kortsluitstroom langer en kan de afschakeltijd kritiek worden. Nog verder van de voeding kan de kortsluitstroom zo klein worden, dat de beveiliging niet meer afschakelt. Meestal is dan de aanrakingsveiligheid dan niet meer kritisch.

6 LITERATUUR

- VEEN: "Stroomlijn", nummer 3, jaargang 8, juni 1987
- KEMA: "Technisch/economische evaluatie van veiligheidsaarding: elektrotechnisch basisontwerp", KEMA rapport 51874-PCL 95-1525, 3 juli 1995.