

WOORD VOORAF

Een installatie zonder aardingsvoorziening is ondenkbaar. De functie van een aardingsvoorziening is dan ook veelledig. Een zeer belangrijke functie is de zorg voor de veiligheid van personen. Bij de beschermingsmaatregel 'automatische uitschakeling van de voeding' is een goede werking zonder de juiste aardingsvoorzieningen niet mogelijk. Deze aarding wordt meestal geleverd door de betreffende netbeheerder, maar soms moet de klant zelf voor een aarding zorgen: het TT-stelsel.

Er is echter veel meer te doen rondom aarding. De goede werking van veel toestellen is pas gegarandeerd als de nodige EMC-maatregelen zijn getroffen. EMC (ElektroMagnetische Compatibiliteit) is een steeds belangrijker begrip aan het worden. Toestellen mogen elkaar onderling niet nadelig beïnvloeden. Dat betekent een goede afscherming, ook van de bijbehorende leidingen. Dit gaat eveneens gepaard met de juiste aardingsvoorziening. Bovendien is een aardingsvoorziening onontbeerlijk als het gaat om bliksembeveiliging. Dit geldt zowel voor een uitwendige voorziening als voor een goed potentiaalvereffeningssysteem binnen de gebouwen. Ook potentiaalvereffening is voor alle functies een steeds belangrijker onderdeel. Het onderling combineren van alle functies van de aardingsvoorziening tot een sluitend systeem begint langzaam gemeengoed te worden. Desondanks blijven er in de praktijk nog vele valkuilen en vragen over.

Met dit boek hopen we een bijdrage te leveren aan de verduidelijking van deze moeilijke materie. Wij hopen dat dit boek bij u in goede aarde valt.

September 2011

Drs. Ed Pols

Prof.dr.ir. Sjef Cobben

Inhoud

Inleiding

- 1 Aarding: functies, wetten en normen
 - 1.1 Functies van aardingsvoorziening
 - 1.2 Normen betreffende ontwerp van aardingsvoorzieningen
 - 1.2.1 NEN 1010
 - 1.2.2 NEN-EN-IEC 60204
 - 1.2.3 NEN-EN-IEC 61936-1
 - 1.2.4 NEN-EN-IEC 62305
 - 1.2.5 EMC-richtlijn
 - 1.3 NEN 50110, NEN 3140, NEN 3840
 - 1.3.1 Werken aan laagspanningsinstallaties
 - 1.3.2 Werken aan hoogspanningsinstallaties

- 2 Definities over aarding
 - 2.1 Toegepaste stelsels en aardelektroden
 - 2.2 Fout-, stap- en aanrakingsspanningen (en stromen door lichaam)
 - 2.3 Beschermings- en vereffeningssleidingen
 - 2.4 Overige definities
 - 2.5 Samenvattend

- 3 Elektrotechnische grondbeginselen
 - 3.1 Spanning, stroom en impedantie
 - 3.2 Wetten van Kirchhoff
 - 3.3 EMC-begrippen
 - 3.3.1 Geleidende verbindingen
 - 3.3.2 Inductieve koppeling
 - 3.3.3 Capacitieve koppeling
 - 3.3.4 Straling
 - 3.4 Conclusie

- 4 Aarden voor elektrische veiligheid
 - 4.1 Mens en toelaatbare stroom door lichaam
 - 4.2 Lichaamsweerstand
 - 4.3 Veilige aanrakingsspanning
 - 4.4 TT-stelsel
 - 4.5 Aardlekbeveiliging
 - 4.6 TN-stelsel
 - 4.7 Potentiaalvereffening

- 5 Aarden in elektriciteitsnetten
 - 5.1 Aansluitmogelijkheden
 - 5.2 Aarden in laagspanningsnetten
 - 5.2.1 Toelaatbare fout- en aanrakingsspanningen
 - 5.2.2 Uitvoeringsvormen op overdrachtspunt
 - 5.2.3 Toepassing van PEN-geleider
 - 5.3 Aarden in middenspanningsnetten

- 5.3.1 Aanrakings- en stapspanningen
- 5.3.2 Corrosie en mechanische sterkte
- 5.3.3 Thermische kortsluitvastheid
- 5.3.4 Koppeling in laag- en middenspanningsnetten
- 5.3.5 Aarden van eenfasekabels

6 Aarden voor bliksembeveiliging

- 6.1 Relatie tussen bliksembeveiliging en aarding
- 6.2 Bliksembeveiligingsklassen
- 6.3 Aarding type A
- 6.4 Aarding type B
- 6.5 Fundatieaarding
- 6.6 Veiligheid rond bliksembeveiliging
- 6.7 Praktische aanwijzingen
- 6.8 Bijzondere objecten
 - 6.8.1 Windmolens
 - 6.8.2 Kleine schepen
- 6.9 Potentiaalvereffening

7 Aarden voor EMC

- 7.1 Conventionele schone aarde
 - 7.1.1 Lage weerstand en impedantie
 - 7.1.2 Uitvoering van conventionele schone aarde
 - 7.1.3 Aarde als riool voor storingen
 - 7.1.4 Scheiden van aardingsystemen
 - 7.1.5 Vermijden van aardlussen
- 7.2 Moderne EMC-aarding
 - 7.2.1 Tweezijdig aarden van afschermingen
 - 7.2.2 Verbeteren van kabeltracés
 - 7.2.3 Omgaan met lussen
- 7.3 Praktische uitvoering van EMC-aarding
 - 7.3.1 Aarding in computervloeren
 - 7.3.2 Kastaarding
 - 7.3.3 Afwerken van kabels
 - 7.3.4 Aarding in technische ruimten
- 7.4 EMC-aarding voor compleet gebouw
- 7.5 Uitzonderingen

8 Aarden voor statische elektriciteit

- 8.1 Enkele begrippen
- 8.2 Basis
- 8.3 Aarden met lage impedantie
 - 8.3.1 Voorkomen van oplading
 - 8.3.2 Afschermen
- 8.4 Aarden met hoge impedantie
- 8.5 Aarden door ionisatie
 - 8.5.1 Wat is ionisatie?
 - 8.5.2 Passieve ionisatie
 - 8.5.3 Actieve ionisatie

- 8.6 Toepassingen
 - 8.6.1 Personele veiligheid
 - 8.6.2 Ex-omgeving
 - 8.6.3 Medisch gebruikte ruimten
 - 8.6.4 Elektronicaonderhoud en -fabricage
 - 8.6.5 Tankauto's en kleinere mobiele containers
 - 8.6.6 Poederverwerking en -opslag

- 9 Aarden in medisch gebruikte ruimten
 - 9.1 Algemene aardingsmaatregelen
 - 9.2 Medisch gebruikte ruimten van klasse 1
 - 9.2.1 Impedantie van vereffeningssystemen
 - 9.2.2 Doorsnede van vereffeningssystemen
 - 9.2.3 Maximale lengte van vereffeningssystemen
 - 9.3 Medisch gebruikte ruimten van klasse 2 en 3
 - 9.4 Aanvullende maatregelen voor ruimten van klasse 3
 - 9.5 Statische elektriciteit
 - 9.6 Uitvoering van aardingsmaatregelen

- 10 Geïntegreerde aardingsystemen
 - 10.1 Combineren van systemen
 - 10.2 Praktische uitvoering van hybride aarding
 - 10.3 Overzicht van aardingsmaatregelen

- 11 Aardingsystemen voor uitgestrekte installaties
 - 11.1 Horizontaal uitgestrekte systemen
 - 11.2 Verticaal uitgestrekte systemen
 - 11.3 Tunnels
 - 11.4 Aarden voor tractie
 - 11.4.1 Tractietunnels
 - 11.4.2 Trams
 - 11.4.3 Metro's, lightrails en treinen 1,5 kV DC
 - 11.4.4 Treinen 25 kV AC

- 12 Interferentie met andere systemen
 - 12.1 Zwerfstromen
 - 12.2 Tractie
 - 12.3 Kathodische bescherming
 - 12.3.1 Wat is kathodische bescherming?
 - 12.3.2 Techniek van kathodische bescherming
 - 12.3.3 Interferentie met aardingsystemen
 - 12.4 Zwerfstromen in veehouderij
 - 12.4.1 Onrust in melkstal
 - 12.4.2 Zwerfstromen als oorzaak
 - 12.4.3 Metingen uitvoeren
 - 12.4.4 Maatregelen nemen

- 13 Berekenen van aardelektroden
 - 13.1 Bodemweerstand

- 13.2 Aardverspreidingsweerstand
- 13.3 Vormen van aardelektroden
 - 13.3.1 Horizontale aardelektrode
 - 13.3.2 Verticale aardelektrode
 - 13.3.3 Ringaarde
 - 13.3.4 Vermaasde aarding
 - 13.3.5 Plaataarde
 - 13.3.6 Stervormige aarding
 - 13.3.7 Overzicht van vuistregels
- 13.4 Parallel schakelen van aardelektroden
- 13.5 Berekening in praktijk

- 14 Toepassen en uitvoeren van aarding
 - 14.1 Verticale aardelektroden (diepteaarding)
 - 14.1.1 Doorgaande koperdraad
 - 14.1.2 Kopermantelstaven
 - 14.1.3 Geboorde aarding
 - 14.2 Horizontale aardelektroden (oppervlakteaarding)
 - 14.3 Ringaarde
 - 14.4 Vermaasde aarding
 - 14.5 Plaataarde
 - 14.6 Stervormige aarding
 - 14.7 Chemische aarding
 - 14.8 Fundatieaarding zonder waterdichte laag
 - 14.8.1 Heipalen
 - 14.8.2 Onderste betonvloer
 - 14.8.3 Aardplaten
 - 14.8.4 Uitvoering van fundatieaarding
 - 14.8.5 Aanvullende aardelektroden
 - 14.8.6 Staalvezelbeton
 - 14.9 Fundatieaarding met waterdichte laag
 - 14.10 Aardingsmateriaal
 - 14.11 Aarden met bestaande materialen
 - 14.12 Seizoensinvloeden op aardelektroden
 - 14.13 Aardverbetermaterialen
 - 14.14 Verbindingsmiddelen
 - 14.14.1 Algemene aspecten van corrosie van metalen in bodem
 - 14.14.2 Risico voor omgeving
 - 14.14.3 Risico voor aardelektrode
 - 14.14.4 Aanvullende aarding bij fundatieaarding
 - 14.14.5 Corrosie door gelijkstromen
 - 14.15 Onderdelen van aardingsinstallaties

- 15 Meten aan aarde en aarding
 - 15.1 Meetapparatuur
 - 15.1.1 True RMS-universeelmeter en scoopmeter
 - 15.1.2 Aardingsmeetbrug
 - 15.1.3 Stroomtangcircuitmeter

- 15.2 Meten van specifieke bodemweerstand
 - 15.2.1 Meetcel
 - 15.2.2 Wennermethode
- 15.3 Meten van aardverspreidingsweerstand
 - 15.3.1 Spanningstrechter
 - 15.3.2 Klassieke driepuntsmeting
 - 15.3.3 Potentiaalvalmethode
 - 15.3.4 Slope-methode
- 15.4 Meten van aardverspreidingsweerstand op kleine oppervlakken
- 15.5 Circuitmeting
- 15.6 Deelmeting
- 15.7 Voorbeeld van meting bij grote installatie

Literatuur

Tekensymbolen

Register

INLEIDING

Bij het ontwerpen van een elektrische installatie hebben we te maken met diverse onderwerpen. Dit kan het beveiligen van personen zijn tegen gevaarlijke aanrakingsspanningen, bliksembeveiliging, maatregelen tegen elektromagnetische beïnvloeding en diverse andere aspecten. Bij al deze onderwerpen speelt 'aarding' een belangrijke rol. Bij het schrijven van dit boek hebben we aan al deze aspecten aandacht besteed en de samenhang tussen de diverse onderwerpen toegelicht.

Hoofdstuk 1 – Aarding: functies, wetten en normen

In dit hoofdstuk wordt kort een overzicht gegeven van de diverse normen en functies van een aardingsvoorziening. Bij elke specifieke functie hoort ook weer een specifieke norm. Dit maakt het onderwerp ook zo moeilijk.

Hoofdstuk 2 – Definities op het gebied van aarding

Bij het omschrijven van een aardingsinstallatie wordt gebruikgemaakt van veel begrippen en termen die in de praktijk nogal eens tot verwarring leiden. Ook omdat er verschillende normen over aarding zijn met definities die (hoewel meestal wel op elkaar afgestemd) toch nog wat kleine verschillen bevatten. In dit hoofdstuk worden de belangrijkste begrippen toegelicht.

Hoofdstuk 3 – Elektrotechnische grondbeginselen

Voor het ontwerpen van een aardingsinstallatie is het van belang om enkele elektrotechnische grondbeginselen te kennen. Onder andere het frequentieafhankelijke gedrag van impedanties, de spannings- en stroomwet van Kirchhoff en de problematiek rondom elektromagnetische velden. In dit hoofdstuk worden deze grondbeginselen toegelicht. In diverse andere hoofdstukken komen ze in meer praktische zin weer terug.

Hoofdstuk 4 – Aarden voor elektrische veiligheid

Een van de belangrijkste functies van een aardingsvoorziening is de bescherming tegen elektrische schok. De aardingsvoorziening wordt toegepast om bij een fout in een elektrische installatie snel te kunnen uitschakelen. De eisen die aan de aardingsvoorziening worden gesteld, staan in de NEN 1010 (voor laagspanning) en de NEN 1041 (voor hoogspanning). In dit hoofdstuk worden de belangrijkste eisen aan de aardingsvoorziening toegelicht.

Hoofdstuk 5 – Aarding in elektriciteitsnetten

Kijkend naar de toegepaste stelsels bij een aarding, spreken we meestal van een TT-stelsel en een TN-stelsel. Bij een TN-stelsel wordt de aardingsvoorziening meegeleverd door de netbeheerder. Wat dit betekent voor de aarding in de elektriciteitsnetten en hoe de aarding op het overdrachtspunt wordt gerealiseerd, wordt beschreven in dit hoofdstuk.

Hoofdstuk 6 – Aarden voor bliksembeveiliging

Bliksembeveiliging vraagt om een speciale aardingsvoorziening. Omdat in een blikseminslag stromen met vrij hoge frequenties voorkomen, moet bij het ontwerpen van de aarding vooral rekening worden gehouden met de impedantie van die aarding. Dat wordt behandeld in dit hoofdstuk. Er wordt ook ingegaan op de mogelijkheid de fundering van een gebouw te gebruiken voor het aarden van de bliksembeveiliging.

Hoofdstuk 7 – Aarden voor EMC

Over het aarden van installaties om storingen te voorkomen door middel van een schone aarding, bestaan nog veel misverstanden en verkeerde technische opvattingen. In dit hoofdstuk wordt uitgelegd hoe het precies zit en hoe een goede aarding voor storingsbestrijding wordt ontworpen. Er wordt ook getoond dat het bovengrondse deel van de aardingsinstallatie nog belangrijker is dan het ondergrondse deel.

Hoofdstuk 8 – Aarden voor statische elektriciteit

Statische elektriciteit is naast hinderlijk ook gevaarlijk in explosieve omgevingen of bij het werken met elektronische onderdelen. In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe deze gevaren beheerst kunnen worden. Aan de hand van een aantal praktijksituaties passeren de verschillende mogelijkheden voor het bestrijden van statische elektriciteit de revue.

Hoofdstuk 9 – Aarden in medisch gebruikte ruimten

In medisch gebruikte ruimten zoals operatiekamers, lopen vooral de patiënten extra risico, zeker als er elektronische apparatuur wordt gebruikt die tot in het lichaam doordringt. Om die reden worden er speciale eisen gesteld aan de aardingsinstallatie in die ruimten.

Hoofdstuk 10 – Geïntegreerde aardingsystemen

Er zijn verschillende elektrotechnische redenen om een aarding toe te passen. Voorheen werden voor al die doelen aparte aardingsinstallaties aangelegd. In de moderne installatietechniek raakt men er steeds meer van overtuigd dat de beste oplossing ligt in één aardingsinstallatie die geschikt is voor alle toepassingen. In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe zo'n aardingsinstallatie eruit kan zien.

Hoofdstuk 11 – Aardingsystemen voor uitgestrekte installaties

Soms liggen delen van installaties ver uit elkaar. Als zij met elkaar worden verbonden door een flink aantal voedings- of communicatiekabels, verdient het aanbeveling om ook de aardingsinstallaties met elkaar te verbinden. Er wordt getoond dat een enkele aardleiding tussen de systeemdelen niet voldoende is, maar dat een vermaasd aardings-systeem de aangewezen oplossing is.

Hoofdstuk 12 – Interferentie met andere systemen

Aardingsinstallaties kunnen stromen in de bodem injecteren die problemen in andere installaties kunnen veroorzaken. Aan de andere kant kunnen aardingsinstallaties ook last hebben van en schade ondervinden door stromen die door andere in de bodem worden geïnjecteerd. In dit hoofdstuk wordt getoond wat de bedreigingen zijn en hoe de daardoor geïntroduceerde problemen kunnen worden aangepakt.

Hoofdstuk 13 – Berekenen van aardelektroden

Om uit te kunnen rekenen wat de aardverspreidingsweerstand van een aardelektrode is, moet allereerst de omgeving waarin de aardelektrode wordt aangebracht, worden vastgelegd. Dit gebeurt door het bepalen van de bodemweerstand. Verschillende toepassingen vragen om een aardingsinstallatie met een gespecificeerde aardverspreidingsweerstand. In dit hoofdstuk worden methoden gegeven om de bodemweerstand te meten. Verder wordt beschreven welke soorten aardelektroden er zijn. Voor al deze verschillende typen aardelektroden worden de formules gegeven waarmee de aardverspreidingsweerstand kan worden berekend.

Hoofdstuk 14 – Uitvoeren van aarding

Voor het uitvoeren van de berekende aardingsinstallatie zijn verschillende technieken beschikbaar. In dit hoofdstuk wordt getoond hoe aardelektroden worden aangebracht. Ook het uitvoeren van aarding met behulp van al in de grond aanwezige materialen wordt beschreven en een aantal exotische aardingsystemen komt aan de orde. Verder worden de voor aardelektroden te gebruiken materialen beschreven en wordt uitgelegd voor welke toepassingen de verschillende elektroden geschikt zijn.

Hoofdstuk 15 – Meten aan aarde en aarding

De parameters waarop de berekening van aardelektroden zijn gebaseerd zijn variabel. Daarom moet na de installatie altijd door meting worden gecontroleerd of de aardverspreidingsweerstand voldoet aan de vereiste waarde. In dit hoofdstuk worden verschillende meetapparaten en meetmethoden beschreven om de aardverspreidingsweerstand te bepalen. Daarnaast worden ook de sterke en zwakke punten van elke methode gegeven.

Literatuur

Ook al proberen de auteurs met dit boek een redelijk compleet beeld te geven van wat er op aardingsgebied tot de technische mogelijkheden behoort, helemaal compleet, dus inclusief de wetenschappelijke onderbouwing en gedetailleerde informatie over de vakgebieden waar de aardingsinstallaties worden toegepast, zou te ver voeren en zou de leesbaarheid en de praktische waarde niet ten goede komen. Daarom wordt in de literatuurlijst een opsomming gegeven van aanvullende literatuur, zowel op wetenschappelijk gebied als op vaktechnisch gebied.

Tekensymbolen

Zoals voor alle elektrotechnische gebieden is er ook voor aardingsinstallaties een speciale set genormaliseerde symbolen ontworpen. Hiermee kunnen voor iedereen leesbare ontwerp- en installatietekeningen worden gemaakt. Deze bijlage geeft een overzicht van deze voor aardingsinstallaties te gebruiken symbolen.