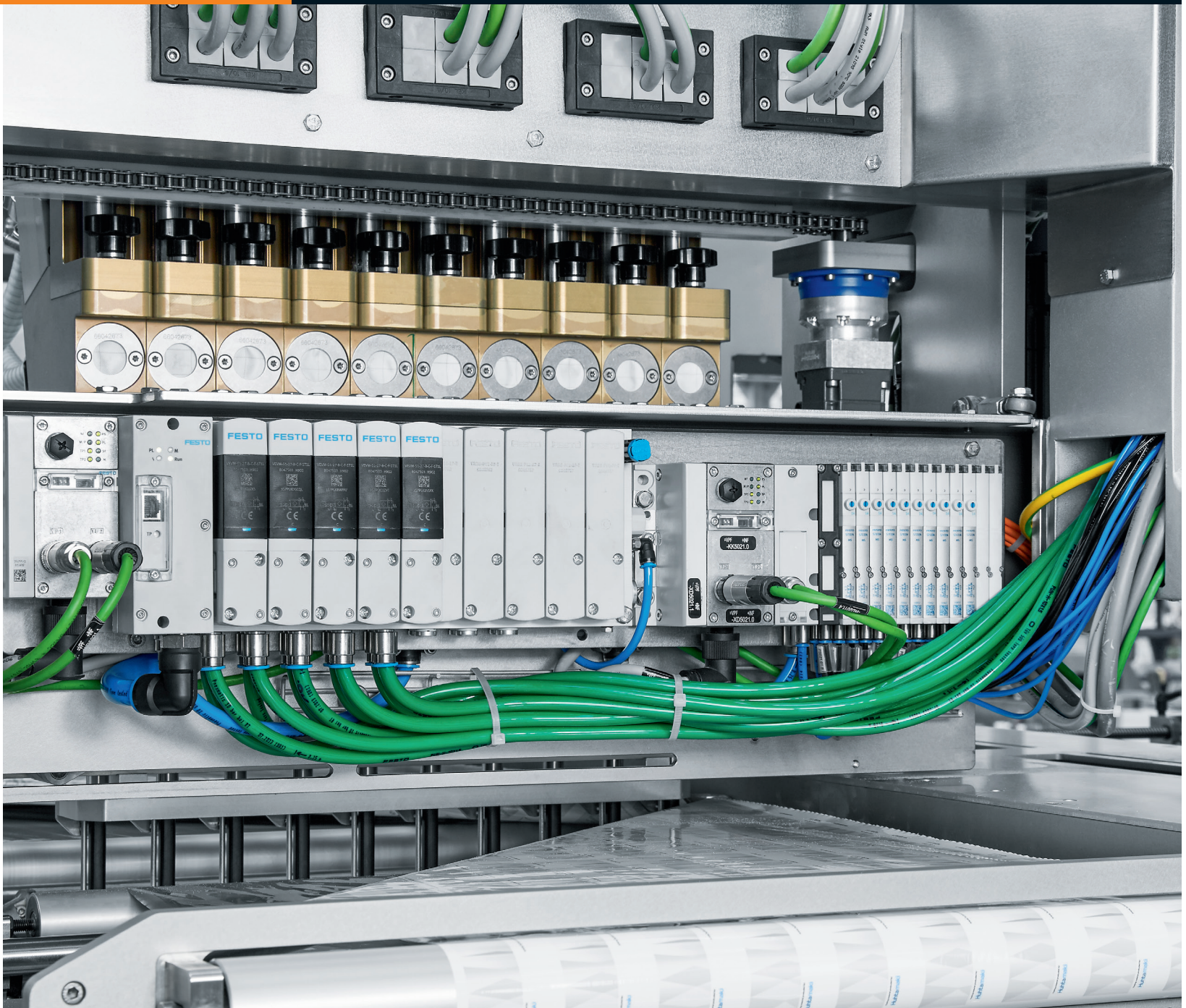


EMC van machines en installaties

LEIDRAAD VOOR FABRIKANTEN EN INSTALLATEURS



Colofon

Auteur; M.H.L. (Rinus) Simonis (BIASET)
Juni 2018

Verantwoordelijk uitgever deze versie
Ir. A.J. (Bert)Nagtegaal
FME- Federation of enterprises in the technological industrial sector
Product regulation, standardization & conformity assesment

Boerhaavelaan 40
Postbus 190, 2700 AD Zoetermeer
+31 (0)79 353 1209
+ 31 (0)6 52 720 718 or +31 (0)6 2382 9201
bert.nagtegaal@fme.nl
www.fme.nl
<https://www.fme.nl/nl/regelgeving-en-normalisatie>

Niets uit deze uitgave mag zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever worden openbaar gemaakt of veelelvoudigd, waaronder begrepen het reproduceren door middel van druk, offset, fotokopie of microfilm of in enige digitale, elektronische, optische of andere vorm.

Voorwoord

Deze documentatie is een handreiking voor fabrikanten van machines en vaste installaties die te maken hebben met EMC-eisen die aan deze producten worden gesteld.

Hoe kunnen fabrikanten en installateurs van machines en vaste installaties aan de EMC-eisen voldoen?

Deze zin kan op zichzelf al veel vragen oproepen. Wat zijn vaste installaties en machines, waarom de toevoeging 'vaste' en waarin onderscheiden deze producten zich van niet vaste? Hoe definiëren we in dit verband wat een fabrikant is?

EMC staat voor elektromagnetische compatibiliteit, maar wat wordt hieronder verstaan, wat zijn EMC-eisen en wie stellen deze eisen? Wat is het belang van EMC-eisen?

Tenslotte de vraag die centraal staat in deze brochure: Hoe vervaardigen we een EMC-compliant samenstel van machines en vaste installaties? Hier gaan we in deze brochure op in.

Daarbij zal snel blijken dat het gaat om eisen die vanuit elektrotechnische disciplines worden gesteld aan producten van overwegend mechanische aard. Anders gezegd, de fabrikanten – een begrip dat verderop beschreven wordt – zijn primair gespecialiseerd in het ontwikkelen en produceren van mechanische producten en er mag niet a priori verondersteld worden dat zij veel expertise bezitten op het gebied van hoogfrequent technologie. Met dit uitgangspunt wordt dan ook rekening gehouden door vaktermen zo veel mogelijk te vermijden of deze toe te lichten.

FME RNCM, Zoetermeer

FME is de ondernemersvereniging voor de technologiesector en behartigt de belangen van haar leden in de technologiesector zowel nationaal als internationaal.

FME-RNCM is de ledengroep machinebouwers van FME en behartigt de belangen van de machinebouw sector op gebied van regelgeving, normalisatie en certificatie

Inhoud

1. Wat is EMC?	8
1.1 Zender (emissie)	8
1.2 Koppelweg	8
1.3 Ontvanger (immunititeit)	9
2. Regelgeving	9
2.1 Uitzonderingen 'niet van toepassing'	9
2.2 Normen	9
2.3 Vaste installaties	10
2.4 Essentiele eisen	10
3. Aarding en afscherming	10
3.1 Aarding (PE)	11
3.2 Afscherming (FE)	11
4. Maatregelen ter voorkoming van elektromagnetische beïnvloeding	11
4.1 Invloed van de zender als stoorbron	11
4.2 Invloed van de koppelweg op de overdracht van stoorsignalen	12
4.3 Beperken van de invloed op de ontvanger	12
5. De belangrijkste EMC regels	12
6. De EMC regels toegelicht	12
6.1 Plaats vermogensonderdelen zover mogelijk bij besturingsonderdelen vandaan	12
6.2 Laat vermogensaders en stuurstroomaders elkaar alleen kruisen (90°)	13
6.3 Servo- en stappenmotor regelaars en frequentie regelaars zo dicht mogelijk bij de kabel uitgangen van de kast plaatsen	13
6.4 Houdt de invoer van vermogenskabels en besturingskabels in de 'wartelplaat' zoveel mogelijk gescheiden en voer afgeschermd kabels met een EMC wartel de kast in	13
6.5 Afschermd kabels moeten aan beide einden worden geaard	13
6.6 Sluit motorkabels direct aan op de regelaars, laat ze nooit via klemmenstroken lopen.	14
6.7 Gebruik voor 'gevoelige' circuits zoveel mogelijk afgeschermd kabel	14
6.8 Maak bij over lengte van kabels geen varkensstaarten (spoel)	14
6.9 Gebruik voor het 'aarden' geen groen-gele draad maar aard litzen	14
6.10 Laat kabels zo dicht mogelijk langs geaarde framedelen lopen	14
7. Elektrische geleider en het gedrag bij hoge frequenties	15
7.1 Skin effect	16
8. Manieren van verstoren	16
8.1 Laagfrequent LF verstoringen	16
8.2 Hoogfrequent HF verstoringen	16
8.3 Harmonische verstoring	16
8.4 Transients	17
8.5 ESD (Electro Static Discharges; Elektro statische ontladingen)	17
9. Schakelen van inductieve belastingen	18
9.1 Schakelen van een Ohmse belasting	19
9.2 Schakelen van inductieve belastingen met halfgeleiders	19
9.3 Elektromotoren	19
9.4 Punt Lassen	20

10. Overdracht van verstoringen	20
10.1 Koppeling via geleiding	21
10.2 Differentiaal mode	21
10.3 Common mode	21
10.4 Koppeling door straling	21
10.5 Transformatoren	22
11. Aarding	23
11.1 Frame verbindingen	23
11.2 Lekstromen in de installatie	24
11.3 Lussen bij aanraakbare metalen delen	24
12. Kabels	25
12.1 Antenne effect van een geleider	25
12.2 Lengte en doorsnede van een geleider	26
12.3 Groen/gele geleiders (Aarddraad)	26
13. Filters	26
13.1 Soorten filters	27
13.2 Passieve filters	27
13.3 Actieve filters	27
14. Praktische EMC regels	27
14.1 Algemeen	27
14.2 Schakel- besturingskast	28
14.3 Aard litzen en kabelkokers	28
14.4 Elektrische verbindingen	28
14.5 Afscherming aan beide zijden of aan één zijde aarden?	29
14.6 Afscherming niet verbonden aan de aarde	30
15. EMC voor 'dummy's'	31
16. Afkortingen en begrippen	32
17. Links	35
18. Bron(nen) documenten, illustraties	35

1. Wat is EMC?

Elektrische stromen door leidingen, componenten en apparaten gaan gepaard met elektrische en magnetische velden die waarneembaar zijn in de omgeving van deze producten. Hoe sterker de stromen en hoe hoger de frequenties waarmee deze zich manifesteren, des te sterker zijn de elektrische en magnetische velden. Vaak wordt in plaats van velden ook wel gesproken over straling, dus elektromagnetische straling, om aan te geven dat het gaat om energie die wordt uitgezonden.

Het omgekeerde effect treedt ook op. Elektrische en magnetische velden veroorzaken stromen in elektrische geleiders die zich in de omgeving van deze velden bevinden. Ook hiervoor geldt weer dat hoe sterker de velden zijn des te sterker de stromen.

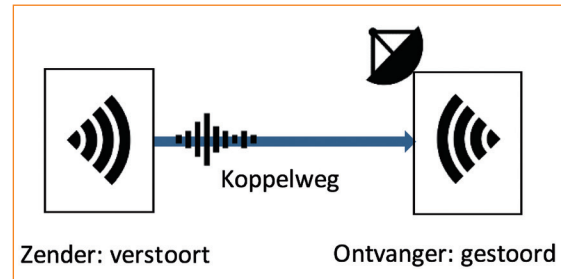
Het voorgaande is een technische beschrijving van de manier waarop alledaagse zaken als radio of GSM werken, namelijk draadloze informatieoverdracht. De zender of het zendende toestel zendt draadloos signalen uit door middel van velden die worden opgevangen door het ontvangende toestel, al dan niet via een aantal tussenschakels. Dergelijke signaal- en informatieoverdracht kan ook plaatsvinden via elektrische verbindingen, zoals dat ook het geval is bij elektrische energieoverdracht. Het aantal toepassingen is legio, zodanig zelfs dat elektrische informatie- en energieoverdracht, draadloos of via elektrische verbindingen niet meer weg te denken is uit de moderne samenleving.

In de hierboven genoemde voorbeelden van draadloze signaaloverdracht ging het over gewenste effecten, bedoeld voor bepaalde toepassingen. Er kan echter ook sprake zijn van ongewenste effecten, bijvoorbeeld in het geval dat een veld veroorzaakt door een stroom in het ene apparaat een stroom veroorzaakt in een geleider in of verbonden met een ander apparaat. Als dit een niet bedoeld en dus ongewenst effect is dan kan dat zelfs leiden tot de verstoring van de goede werking van het andere apparaat. Iedereen kent wel voorbeelden van een dergelijk effect.

Een niet of slecht ontstoorde (waarover later meer) motor van bijvoorbeeld een boormachine kan een verstoring veroorzaken van radio-ontvangst. Dergelijke ongewenste effecten van elektromagnetische beïnvloeding vormen de basis van de EMC-technologie.

EMC staat voor elektromagnetische compatibiliteit, hetgeen 'vertaald' zou kunnen worden met elektromagnetische verdraagzaamheid. Twee apparaten heten elektromagnetisch compatibel, dus verdraagzaam, te zijn als zij elkaars goede werking niet verstoren. EMC is dus een positieve eigenschap. Soms wordt gesproken over EMC-bestendig of EMC-straling, maar dit zijn dus foutieve begrippen die verwarrend kunnen werken.

Bij de bespreking van de problematiek van elektromagnetische beïnvloeding wordt vrijwel altijd gebruik gemaakt van het volgende eenvoudige model, waarin sprake is van een 'zender', een 'ontvanger' en een 'koppelweg'.



Dit zeer eenvoudige model dient als basis voor beschouwingen over het type maatregelen dat genomen kan worden om ongewenste beïnvloeding door elektromagnetische verschijnselen te bereiken. In alle praktische gevallen hebben we het dan over drie soorten maatregelen. De eerste uitdaging daarbij is om de drie elementen in de praktijk te onderscheiden.

1.1 Zender (emissie)



Zender staat hier voor elke verbinding of ieder toestel dat een elektromagnetisch signaal uitzendt of veld veroorzaakt. Dit kan zijn op het niveau van een elektronisch circuit (chip, printkaart), maar het kan ook een compleet apparaat, systeem of installatie zijn. Het 'uitzenden' kan zowel door de lucht zijn als een elektromagnetisch veld of door geleiding via een verbonden circuit of ieder ander met de zender verbonden elektrische geleider, zoals bijvoorbeeld een deel van de kast of constructie. Tenslotte kan de aard van de uitgezonden signalen of velden sterk variëren, bijvoorbeeld in frequentie, sterkte of modulatie.

In de context van deze notitie kan de zender de eigen te ontstoren machine of installatie zijn, maar het kan ook een externe bron zijn waar geen invloed op uitgeoefend kan worden.

1.2 Koppelweg



Zoals uit het voorgaande blijkt kan de koppelweg, dus het medium dat de zender en ontvanger 'verbindt',

bestaan uit lucht (of welk ander niet elektrisch geleidend medium dan ook, desnoods vacuüm) of elektrisch geleidende materialen, zoals verbonden signaal- of elektrische energiekabels, maar ook aardverbindingen, constructiedelen, etc. In de praktijk zal blijken dat het herkennen en onderkennen van mogelijke koppelwegen een belangrijke voorwaarde is voor het treffen van 'EMC-maatregelen'.

1.3 Ontvanger (immuniteit)



Net als voor de zender geldt dat de ontvanger de eigen gestoorde of te ontstoren machine of installatie kan zijn, maar het kan ook een willekeurig ander extern toestel of apparaat zijn, waarop eveneens geen invloed

kan worden uitgeoefend. In de vorige sectie is uitgelegd dat externe velden of signalen invloed kunnen uitoefenen op de goede werking van een apparaat. De manier waarop deze ingrijpen en de consequenties daarvan kunnen sterk variëren. Soms is van (merkbare!) invloed helemaal geen sprake. Dat kan echter veranderen als de omstandigheden zich wijzigen.

Een beïnvloeding door elektromagnetische signalen of velden kan een tijdelijke verstoring veroorzaken, maar kan ook resulteren in volledige uitval of zelfs het optreden van beschadigingen. Een en ander is van een groot aantal factoren afhankelijk.

2. Regelgeving

EMC Richtlijn

De regelgeving voor EMC ligt vast in de richtlijn EMC 2014/30/EU. De eisen uit de richtlijn zijn erop gericht het product binnen de EU zonder aanvullende regels te kunnen verhandelen.

In de richtlijn wordt gesproken over de bescherming tegen elektromagnetische verstoringen. Dat betekent dat er verplichtingen aan de verschillende markt deelnemers moeten worden opgelegd. De uitrusting die onder deze richtlijn valt bevat zowel losse apparaten als vaste installaties. Voor beide zijn aparte regels opgesteld.

Het is namelijk zo dat apparaten als zodanig binnen de Gemeenschap vrij circuleren, maar dat vaste installaties daarentegen als assemblages van verschillende soorten apparaten en eventuele andere inrichtingen worden geïnstalleerd voor permanent gebruik op een van tevoren vastgestelde locatie. De samenstelling en functie van dergelijke installaties beantwoorden in de meeste gevallen aan de specifieke behoeften van hun exploitanten.

De apparaten waarop deze richtlijn betrekking heeft, zijn afgewerkte apparaten die voor de eerste keer in de handel verkrijgbaar zijn op de communautaire markt. Sommige componenten of subassemblages dienen onder bepaalde omstandigheden als apparaten te worden beschouwd indien zij beschikbaar gesteld worden voor de eindgebruiker.

Apparaten mogen alleen op de markt worden gebracht of in gebruik worden genomen als de fabrikanten ervan hebben aangetoond dat de apparaten zijn ontworpen en vervaardigd in overeenstemming met de eisen van deze richtlijn.

2.1 Uitzonderingen 'niet van toepassing'

Deze richtlijn is niet van toepassing op radio-apparatuur (Richtlijn 1999/5/EG), Luchtvaart producten, radioapparatuur voor radioamateurs, voor apparatuur die geen elektromagnetische straling produceert of zonder onaanvaardbare verslechtering functioneert in aanwezigheid van elektromagnetische storingen die normaal gesproken het gevolg zijn van het gebruik overeenkomstig haar bestemming.

2.2 Normen

Official Journal EMC richtlijn

Om aan de eisen uit de richtlijn te kunnen voldoen kan er gebruik gemaakt worden van geharmoniseerde normen.

Geharmoniseerde normen geven de algemeen erkende stand van de techniek op het gebied van de elektromagnetische compatibiliteit in de Europese Unie weer. Voor het functioneren van de interne markt is het dus van belang om over op communautair niveau geharmoniseerde normen te beschikken voor de elektromagnetische compatibiliteit van uitrusting. Zodra de referentie van een dergelijke norm in het Publicatieblad van de Europese Unie is bekendgemaakt, dient de naleving ervan een vermoeden van overeenstemming met de toepasselijke essentiële eisen te scheppen, ofschoon andere middelen om deze overeenstemming aan te tonen moeten worden toegestaan.

Overeenstemming met een geharmoniseerde norm betekent overeenstemming met de bepalingen ervan en het aantonen van die overeenstemming aan de hand van methoden die de geharmoniseerde norm beschrijft of waaraan zij refereert.

Apparaten die op de markt worden gebracht, moeten voorzien zijn van de CE-markering waaruit de overeenstemming met deze richtlijn blijkt. Ofschoon de conformiteitsbeoordeling de verantwoordelijkheid van de fabrikant dient te zijn, zonder dat een onafhankelijke conformiteitsbeoordelingsinstantie hierbij betrokken hoeft te worden, moet het de fabrikanten vrij staan gebruik te maken van de diensten van een dergelijke instantie.

De conformiteitsbeoordelingsverplichting moet de fabrikant ertoe dwingen een op relevante verschijnselen gebaseerde elektromagnetische compatibiliteitsbeoordeling van apparaten uit te voeren, teneinde vast te stellen of het apparaat al dan niet aan de beschermingseisen van deze richtlijn voldoet.

Indien apparaten verschillende configuraties kunnen aannemen, dient de elektromagnetische compatibiliteitsbeoordeling te bevestigen dat de apparaten aan de beschermingseisen voldoen in alle configuraties die door de fabrikant als representatief kunnen worden gekenmerkt voor normaal gebruik in de beoogde toepassingen; in dergelijke gevallen moet het voldoende zijn om een beoordeling uit te voeren op basis van de configuratie die waarschijnlijk de meeste storingen zal veroorzaken en de configuratie die het meest vatbaar is voor storingen.

U dient als fabrikant te onderzoeken welk van deze normen u toe kunt passen op uw apparatuur om aan de essentiële eisen uit de EMC richtlijn te voldoen.

In de normenserie **EN 61000** treft u informatie over de toegestane limieten in de industriële en huishoudelijke omgeving.

Omdat in deze brochure naast de machine ook de vaste installatie wordt genoemd moeten we verwijzen naar de normen **EN IEC 60204-1** voor machines en de **NEN 1010** voor vaste installaties. Deze (geharmoniseerde) normen vallen weliswaar niet onder EMC-richtlijn maar u kunt hierin wel informatie vinden over de te treffen EMC-maatregelen die volgens deze normen minimaal nodig zijn.

2.3 Vaste installaties

Het is niet zinvol de conformiteitsbeoordeling uit te voeren voor een apparaat dat op de markt wordt gebracht om in een welbepaalde vaste installatie te worden ingebouwd en dat los van die vaste installatie waarin het moet worden ingebouwd niet in de handel verkrijgbaar is. Een dergelijk apparaat moet worden vrijgesteld van de conformiteitsbeoordelingsprocedures die normaal voor apparaten gelden.

Vanwege hun specifieke eigenschappen is er voor vaste installaties geen CE-markering of verklaring van overeenstemming nodig op gebied van EMC.

Specifieke eisen voor vaste installaties

Een vaste installatie moet worden geïnstalleerd volgens goede technologische praktijken en overeenkomstig de informatie over het beoogde gebruik van de componenten, om aan de beschermingseisen te voldoen. Deze goede technologische praktijken moeten gedocumenteerd zijn en de desbetreffende documentatie dient, zolang de vaste installatie in bedrijf is, voor inspectiedoeleinden door de verantwoordelijke personen ter beschikking van de betrokken nationale autoriteiten te worden gehouden.

Wanneer er aanwijzingen zijn dat de vaste installatie niet aan de eisen voldoet, in het bijzonder bij klachten over storingen die door de installatie zouden worden veroorzaakt, kunnen de bevoegde autoriteiten van de betrokken lidstaat eisen dat er bewijs van overeenstemming van de vaste installatie

wordt voorgelegd en, zo nodig, een beoordeling inleiden.

2.4 Essentiële eisen

Uitrusting moet, rekening houdende met de stand van de techniek, zodanig zijn ontworpen en vervaardigd dat wordt gegarandeerd dat:

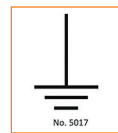
a) de opgewekte elektromagnetische storingen het niveau niet overschrijden waarboven radio- en telecommunicatieapparatuur en andere uitrusting niet meer overeenkomstig hun bestemming kunnen functioneren;

b) zij een zodanig niveau van ongevoeligheid voor de bij normaal gebruik te verwachten elektromagnetische storingen bezit dat zij zonder onaanvaardbare verslechtering van het beoogd gebruik kan functioneren.

3. Aarding en afscherming

Op verschillende plaatsen kom je symbolen tegen die informatie geven over de 'aard' aansluitingen waar ze bij staan.

De officiële IEC-uitleg van de getoonde symbolen.



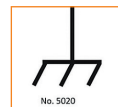
No. 5017 Earth (ground): Als markering van een aansluitpunt in geval de symbolen 5018 en 5019 niet zijn vermeld.



No. 5018 Noiseless (clean) earth (ground): Als markering van een storingsvrij (schoon) aard aansluitpunt, bijvoorbeeld, een special ontworpen aardsysteem om foutieve werking van apparatuur te voorkomen.



No. 5019 Protective earth (ground): Als markering van een aansluitpunt voor een geleider ter bescherming tegen elektrische schok bij een fout of voor het aansluiten van een aardelektrode.

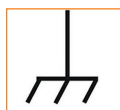


No. 5020 Frame or chassis: Als markering van een aansluitpunt voor een frame of chassis.

In de EN IEC 60204-1 vinden we aanwijzingen voor het toepassen van de symbolen.



8.2.4 Protective conductor connecting points. Figuur 5 – symbool 60417-5019: protective Earth.



8.4 Functional bounding. Figuur 6 – symbool 60417-5020: Frame or chassis

3.1 Aarding (PE)

Aarde, onze planeet aarde wordt in sommige elektrische systemen gebruikt als referentie die een potentiaal heeft van 0V en zijn natuurlijke elektrische geleiding (die zeer sterk wisselt) wordt gebruikt om sommige elektrische stromen te geleiden.

Een metalen machine frame, waarvan de verschillende delen elektrisch met elkaar zijn verbonden wordt aan aarde gelegd. Om te voorkomen dat een van de delen door een defect onder spanning zou kunnen komen te staan

Afvoeren van blikseminslagen die het gevolg zijn van elektrostatische ontladingen.

Het geleiden van stroom die als gevolg van 'lekkage' via de aarde terugvloeit naar de centrale (bron)

Het met aarde verbinden van metalen delen van installaties wordt gedaan vanuit persoonlijke veiligheid.

3.2 Afscherming (FE)

Om te voorkomen dat elektromagnetische verstoringen in kabels en apparaten de omgeving beïnvloeden verbinden we de metalen buitenkant van apparaten en het scherm van kabels met aarde. Hiermee proberen we ervoor te zorgen dat apparaten en systemen naar behoren functioneren.

Vanuit EMC-oogpunt, met hoogfrequent stromen, of elektromagnetische straling is een aardverbinding met zijn hoge impedantie (weerstand) van ondergeschikte betekenis.

Er moeten 'boven de aarde' (in de machine/omgeving) elektrische geleiders worden gebruikt om enig effect op EMC-gebied te kunnen realiseren.

Zie voor uitgebreide info hoofdstuk 13

4. Maatregelen ter voorkoming van elektromagnetische beïnvloeding

Het eerder beschreven model is een handig hulpmiddel om in kwalitatieve zin de maatregelen te beschrijven die leiden tot een beperking van ongewenste elektromagnetische beïnvloeding of anders gezegd, tot het bereiken van elektromagnetische compatibiliteit, EMC. Daarvoor worden de drie elementen van het model wederom apart beschouwd, waarbij we zullen zien dat vaak een combinatie van maatregelen getroffen wordt, of zelfs noodzakelijk is.

4.1 Invloed van de zender als stoorbron

Zoals zo vaak, is ook hier het devies om het 'kwaad' bij de bron aan te pakken, de bron is de zender van de ongewenste elektromagnetische beïnvloeding. Daarvoor is het natuurlijk wel noodzakelijk dat het mogelijk is om de bron aan te pakken. Voor beïnvloeding van buiten is dat doorgaans niet het geval en dan is het zaak om de maatregelen te treffen in de koppelweg of bij de ontvanger. Niet beïnvloedbare bronnen zijn bijvoorbeeld sterke zenders zoals omroepzenders of radarapparatuur, maar ook naburige sterke stoorbronnen die buiten de eigen invloedssfeer liggen. Bij apparatuur, systemen of installaties in eigen beheer of die in opdracht worden geproduceerd en/of geïnstalleerd is dat natuurlijk wel het geval.

Het soort maatregelen dat genomen kan worden om de invloed van de bron te beperken is sterk afhankelijk van de aard van de bron. Een algemeen advies dat in alle gevallen geldt is dat van het eerste ontwerp rekening gehouden moet worden met elektromagnetische effecten. Maar niet alle maatregelen zijn voor iedereen bereikbaar. Een installateur of machinebouwer heeft geen invloed op het ontwerp van de elektronica van een apparaat dat hij gebruikt, of op de keuze van de elektronische circuits (logica) die daarin gebruikt worden, terwijl deze keuze wel degelijk een groot effect kan hebben op het elektromagnetisch gedrag. Uiteraard kan een installateur of machinebouwer wel invloed uitoefenen op;

- De keuze van geschikte apparatuur,
- Het zo veel mogelijk beperken van het niveau van stromen en spanningen,
- Het voorkomen van het gebruik van onnodig snelle apparatuur en hoge frequenties,
- Het gebruik van draadloze apparatuur en communicatie dient te worden voorkomen als vaste verbindingen een goed alternatief zijn.
- Het gebruik van adequate filtering en afscherming is een manier om de invloed van de stoorbron te beperken, hoewel deze maatregelen feitelijk al geplaatst moeten worden in de volgende categorie.

4.2 Invloed van de koppelweg op de overdracht van stoorsignalen

Zoals aangegeven kunnen stoorsignalen zowel door de ruimte (lucht) in de vorm van velden als door geleiders in de vorm van elektrische signalen worden doorgegeven.

- Een van de eenvoudigste, maar lang niet altijd afdoende realiseerbare maatregelen is het creëren van afstand, zowel ruimtelijk als elektrisch gezien.

De eenvoudige reden voor deze maatregel is dat hoe groter de afstand tussen zender en ontvanger, des te meer verzwakken de signalen waardoor hun invloed geringer wordt. Dit effect is de reden dat de onderlinge verstoring en verstoorbaarheid van de samenstellende (elektrische en elektronische) componenten van machines en installaties geringer is dan van compacte apparaten. Bovendien is het treffen van maatregelen vaak eenvoudiger.

Het onderkennen en herkennen van mogelijke koppelwegen, zeker voor geleide signalen kan een behoorlijke uitdaging zijn, zeker als het gaat om complexe systemen, machines of installaties. De reden daarvoor is dat de mechanische structuur van het product en soms zelfs van het gebouw waarin het zich bevindt ook een rol kan spelen bij het geleiden van (stoor)signalen.

Naast het creëren van afstand zijn

- filtering van lijn gebonden signalen,
- afscherming van velden

de meest geëigende manieren om de ongewenste overdracht van stoorsignalen te voorkomen. Het vraagt echter wel om een gedegen kennis om deze technieken toe te kunnen passen.

Het is van belang om de instructies van de leveranciers goed op te volgen.

Maatregelen die installateurs en machinebouwers zelf goed kunnen toepassen zijn gericht op het voorkomen van het overdragen van ongewenste signalen op naburige circuits door deze zo veel mogelijk gescheiden te houden.

4.3 Beperken van de invloed op de ontvanger

Het doel is om de ontvanger, dat wil zeggen de machine of installatie of de samenstellende onderdelen daarvan;

- ongevoelig(er), of immuun, te maken voor stoorsignalen.

Grote gevoeligheid treedt vooral op bij producten waar gevoelige elektronica in zit. Vaak gaat het dan om besturingselektronica of sensoren.

De beschermingsmaatregelen die hier genomen kunnen worden zijn vergelijkbaar met die van de (stoor)zenders. Ook hier geldt dat de installateur of machinebouwer die deze producten of componenten toepast weinig invloed kan uitoefenen op het ontwerp, maar uiteraard wel een bewuste keuze kan maken bij de aanschaf.

Ook hier geldt dat het opvolgen van de installatierichtlijnen van de fabrikant of leverancier van belang is.

Aanvullende filtering en afscherming kan ook hier nodig zijn om het gewenste niveau van immuniteit te bereiken.

5. De belangrijkste EMC regels

1. Plaats vermogensonderdelen zover mogelijk bij besturingsonderdelen vandaan.
2. Laat vermogensaders en stuurstroomaders elkaar alleen kruisen (90°).
3. Servo- en stappenmotor regelaars en frequentie regelaars zo dicht mogelijk bij de kabel uitgangen van de kast plaatsen.
4. Houd de invoer van vermogenskabels en besturingskabels in de 'wartelplaat' zoveel mogelijk gescheiden en voer afgeschermd kabels met een EMC-wartel de kast in.
5. Afschermd kabels moeten aan beide einden worden geaard
6. Sluit motorkabels direct aan op de regelaars, laat ze nooit via klemmenstroken lopen.
7. Gebruik voor 'gevoelige' circuits zoveel mogelijk afgeschermd kabel
8. Maak bij over lengte van kabels geen varkensstaarten (spoel)
9. Gebruik voor het 'aarden' geen groen-gele draad maar aard litzen
10. Laat kabels zo dicht mogelijk langs geaarde framedelen lopen

6. De EMC regels toegelicht

6.1 Plaats vermogensonderdelen zover mogelijk bij besturingsonderdelen vandaan.

De meeste gebruikte vermogensonderdelen worden toegepast om diverse soorten motoren te controleren. Dit controleren bestaat voornamelijk uit het regelen van het toerental en of het regelen van het vermogen. Deze regeling komt tot stand door het snel in- en uitschakelen van elektronica componenten.

Hierdoor ontstaan pieken in de spanning/stroom. Deze spannings- en stroompieken kunnen extreem hoog zijn. De hierdoor veroorzaakte pieken in het gecreëerde magnetische veld kunnen ook extreem hoog zijn. De toegepaste elektronica in de regeling is hiertegen wel bestand.

Met name de besturingsapparatuur die in de nabijheid of naast deze regelaars wordt geplaatst kan hier gevoelig voor zijn.

Zorg ervoor dat de metalen behuizing van de regelaars met een groot oppervlak en lage weerstand aan aarde wordt gelegd.

Volg de inbouw aanwijzingen van de fabrikant op! Met name de opgegeven vrije ruimte rondom de regelaars!

6.2 Laat vermogensaders en stuurstroom-aders elkaar alleen kruisen (90°).

Magnetische pulsen in een ader of kabel kunnen op eenvoudige wijze storingen in een naastgelegen ader of kabel overdragen.

Door het 'kleine'/'korte' contact vlak bij een kruising van 90° is de kans op het overdragen van magnetische storingen erg klein.

Zorg ervoor dat vermogens aders/kabels zoveel mogelijk gescheiden worden gehouden van stuurstroom aders/kabels. Laat ze niet langs elkaar lopen.

6.3 Servo- en stappenmotor regelaars en frequentie regelaars zo dicht mogelijk bij de kabel uitgangen van de kast plaatsen.

Wanneer servo- en stappenmotor regelaars niet dicht bij de kabel uitgangen worden geplaatst moeten de motor aansluitkabels verder (langer) door de kast lopen.

Hierdoor ontstaat de mogelijkheid dat de pieken in de spanning/stroom die door de aansluitkabels lopen andere apparatuur in de nabijheid van die kabels verstoren.

Plaats deze regelaars zo dicht mogelijk bij de kabel uitgangen, zodat de aansluitkabels zo kort mogelijk zijn in de kast.

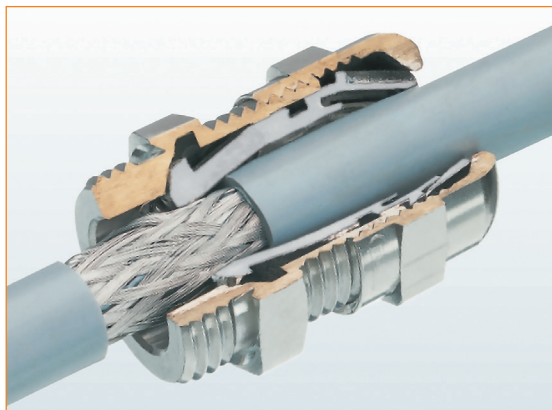
6.4 Houdt de invoer van vermogenskabels en besturingskabels in de 'wartelplaat' zoveel mogelijk gescheiden en voer afgeschermd kabels met een EMC wartel de kast in.

Door vermogenskabels en besturingskabels dicht bij elkaar te houden kunnen storingen die in de vermogenskabels optreden eenvoudig worden overgedragen aan de besturingskabels.

Door de vermogenskabels zo ver mogelijk bij de besturingskabels weg te houden verklein je de kans dat storingen worden overgedragen.

Door bij het invoeren van afgeschermd kabels, de afscherming van deze kabels door middel van speciale EMC wartels te verbinden met de behuizing van de kast. Die op zijn beurt weer een deugdelijke verbinding met aarde heeft. Wordt de kans op verstoring aanzienlijk verkleind.

Laat de afscherming zo ver mogelijk om de kabel zitten.



Voorbeeld EMC-wartel

6.5 Afschermd kabels moeten aan beide einden worden geaard

Het doel van de afscherming is het voorkomen dat de aders binnen de afscherming stoorsignalen oppikken en dat deze aders geen verstoringen in andere kabels veroorzaken. Door de afscherming aan beide zijden te aarden wordt de kooi van Faraday zo goed mogelijk in stand gehouden.

Soms wordt het argument dat er een vereffeningstroom over de afscherming gaat lopen gebruikt om de afscherming slechts aan één zijde te aarden. De reden dat er een vereffeningstroom over de afscherming gaat lopen is dat de equipotentiaal verbinding niet op orde is.

Zorg er dus voor dat de equipotentiaal verbinding tussen de machinedelen in orde is. De afschermingen van afgeschermd kabels kunnen dan veilig aan beide zijden met aarde worden verbonden.

6.6 Sluit motorkabels direct aan op de regelaars, laat ze nooit via klemmenstroken lopen.

Worden motorkabels op klemmenstrook aangesloten, dan wordt de afscherming onderbroken. Het gevaar bestaat nu dat signalen op aders en in kabels die zich in de nabijheid bevinden kunnen worden verstoord.

Sluit motorkabels altijd rechtstreeks aan op de regelaars.

6.7 Gebruik voor 'gevoelige' circuits zoveel mogelijk afgeschermd kabel

De signalen in 'gevoelige' circuits zijn vaak heel erg klein. Bijvoorbeeld bij thermokoppels enkele mV, regelaars 0 – 10 V of 0 – 20mA.

Om te voorkomen dat deze signalen van buitenaf kunnen worden beïnvloed wordt aanbevolen om afgeschermd kabels toe te passen. Sluit hierbij de afscherming van de kabel aan beide zijden aan op aarde om de kooi van Faraday zo goed mogelijk in stand te houden.

6.8 Maak bij over lengte van kabels geen varkensstaarten (spoel)

Het 'oprollen' van over lengte van kabels creëert een spoel.

Door de stromen die in de spoel lopen ontstaat een magnetisch veld. Dit veld kan signalen in aders of kabels in de nabijheid beïnvloeden. Omgekeerd kunnen de signalen in deze spoel door magnetische velden van buitenaf worden beïnvloed.

Hoe gaan we om met over lengte van aders of kabel? Vouw de over lengte dubbel en rol de dubbel gevouwen over lengte vervolgens op. Hierdoor ontstaat een bifilair gewikkelde spoel waardoor de zelfinductie sterk wordt verminderd.

De ultieme oplossing voor over lengte is het inkorten van de ader of kabel!

6.9 Gebruik voor het 'aarden' geen groen-gele draad maar aard litzen

Het gebruik van groen/gele aders als aardverbinding in relatie met hoge frequentie heeft geen zin. Omdat de ader voor hoge frequenties een hele hoge weerstand heeft.

Bij hoge frequenties treedt het skin effect op. De stroom loopt dan alleen aan de buitenkant van de ader.

Alleen platte litzen hebben een groot oppervlak en een lage weerstand in relatie met hoge frequenties.



Voorbeeld aarding met platte aard litze

6.10 Laat kabels zo dicht mogelijk langs geaarde framedelen lopen

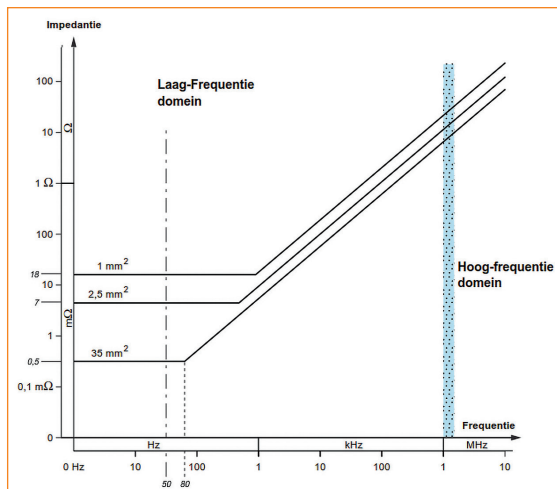
Kabels die dicht langs geaarde frame delen lopen hebben minder last van capacitieve koppeling.

Wanneer kabels zich op afstand van metalen framedelen bevinden wordt als het ware een ruimte ingesloten tussen de kabel en het frame deel. Elektrisch gezien maak je dan een condensator. We hebben immers een geleider (frame deel), lucht, geleider (kabel) dit is de basisconstructie voor een condensator. Afhankelijk van de frequentie, afstand en signaalsterkte gaat deze combinatie zich gedragen als een capaciteit en kunnen verstoringen plaats vinden.

Zorg er dus voor dat kabels altijd zo dicht mogelijk langs geaarde metalen frame delen lopen om de ingesloten ruimte zo klein mogelijk te houden. Geaarde metalen kabelgoten die op of aan het frame zijn gemonteerd kunnen ook gebruikt worden.

7. Elektrische geleider en het gedrag bij hoge frequenties

Het elektrische gedrag van een geleider verandert met de frequentie.



In de grafiek is de karakteristieke impedantie (weerstand) weergegeven van een elektrische geleider met een lengte van 1 meter

De impedantie (weerstand) van de kabel verandert sterk met de frequentie van het getransporteerde signaal.

(Impedantie) $Z = K$ (Constante) \times f (frequentie)

De impedantie is in Ω , de frequentie in Hz.

Voor lage frequentie (LF) signalen (b.v. 50 – 60 Hz) geldt:

- De impedantie (weerstand) van de kabel is relatief onbelangrijk.
- De doorsnede (opp. mm^2) is van essentieel belang

Voor hoge frequentie (HF) signalen (> 5 MHz) geldt:

- De impedantie (weerstand) van de kabel is beslissend
- De lengte van de kabel is beslissend
- De doorsnede (opp. mm^2) is van relatief onbelangrijk

Frequentie gedrag bij een inductie (spoel) en een capaciteit (condensator)

Bij een hoge frequentie (HF), wordt de impedantie (weerstand) van een kabel erg hoog.

$$Z = 2\pi fL$$

Hierbij spelen een belangrijke rol:

- De lengte van de kabel
- De wijze van verstoring van het signaal (amplitude, frequentie)

Bij een hoge frequentie (HF), wordt de impedantie (weerstand) van de strooi capaciteit erg laag.

$$Z = \frac{1}{2\pi Cf}$$

- De capacitieve koppeling wordt effectief
- Lekstromen vloeien in de installatie
- Het bruikbare signaal wordt gevoelig voor verstoringen.

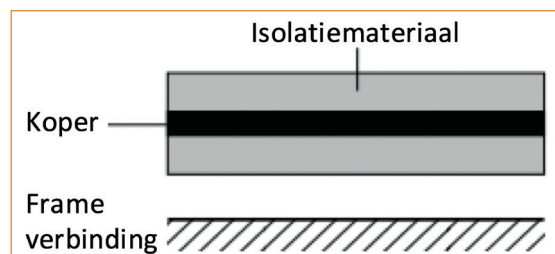
Z = Impedantie in Ohm (Ω)

L = Inductantie in Henry (H)

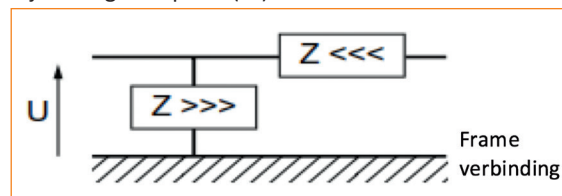
C = Capaciteit in Farad (F)

f = Frequentie in Hertz (Hz)

Voorbeeld van een kabel.

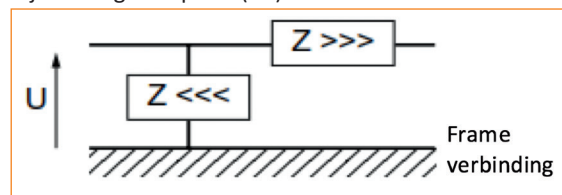


Bij een lage frequent (LF)



U = spanning in Volt

Bij een hoge frequent (HF)



$Z \lll =$ lage weerstand

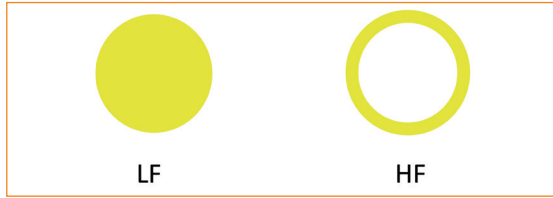
$Z \ggg =$ hoge weerstand

Wanneer we een verbinding maken met als doel aarden in verband met persoonlijke veiligheid, zorgen dat een metalen gestel wat door een defect onder spanning zou kunnen komen te staan verbonden wordt met aarde, dan kunnen we gebruik maken van 'gewone' draden of aders.

Willen we een verbinding maken met als doel afscherming om eventuele EMC (HF) beïnvloeding te verminderen of te voorkomen dan moeten we gebruik maken van litzen. Dit heeft te maken met het skin effect bij hoge frequenties.

7.1 Skin effect

Het skin effect komt neer op het feit dat stroom met een lage frequentie de hele doorsnede (mm²) van een ader gebruikt. Naarmate de frequentie toeneemt zoekt de stroom de buitenkant van de ader, de skin (omtrek) op.



Bij lage frequentie (50 – 60Hz) is de doorsnede (oppervlakte, mm²) erg belangrijk voor het transporteren van de stroom.

Bij hogere frequenties (1 – 5 MHz) speelt de omtrek (skin) een belangrijke rol. De lengte is van doorslaggevend belang. De skin (omtrek) is immers het belangrijkste.

Maken we een vergelijking tussen een massieve ader en een litze met gelijke 'doorsnede' dan kunnen we zien dat er een behoorlijk verschil is in (skin) oppervlakte.



We nemen een litze met een breedte van 15mm, een dikte van 2mm en een lengte van 300mm.

Deze litze bestaat uit 28 strengen van 20 draadjes elk met een diameter van 0,2mm. Berekenen we de (skin) oppervlakte: omtrek x lengte = (2 x 15 x 300) + (2 x 2 x 300) = 9.000 + 1.200 = 10.200 mm²

Rekenen we de (skin) oppervlakte uit van de litze alle draadjes, $\pi * d = 3,14 \times 0,2 = 0,628 \times 300 = 188,4 \text{ } \Omega\text{mm}^2$ per draadje x 20 x 28 = 105.504 mm²

Vanuit EMC oogpunt betekent dit dat we bij een verbinding moeten kiezen voor het toepassen van een litze in plaats van een draad.

8. Manieren van verstoren

Elektromagnetische verstoring is het ongewild toevoegen van een elektrisch signaal aan een bruikbaar elektrische signaal.

Een elektromagnetische verstoring bestaat uit een elektrisch veld opgewekt door een potentiaalverschil en een magnetisch veld opgewekt met een stroom door een geleider.

8.1 Laagfrequent LF verstoringen

Frequentiebereik: van 0 tot 5 MHz
Laagfrequent (LF) storingen in installaties komen hoofdzakelijk voor als geleide vorm (kabels, enz.)

Duur: Zijn vaak langdurig (meerdere 10-tallen ms)

In sommige gevallen is dit een continu fenomeen (harmonische)

Energie: De geleide energie is hoog en kan resulteren in het verstoren of vernielen van de aangesloten apparatuur.

8.2 Hoogfrequent HF verstoringen

Frequentiebereik: 5 – 30MHz
Hoogfrequent (HF) storingen komen hoofdzakelijk voor als straling (lucht, enz.)

Duur: HF-pulsen hebben een stijgtijd < 10 ns. Dit verschijnsel kan continu voorkomen (gelijkrichters, klokken, enz.)

Energie: de uitgestraalde hoeveelheid energie is laag en veroorzaakt verstoring van de naburige apparatuur.

(Energie) $W_{(J)} = U_{(V)} * I_{(A)} * t_{(s)}$

8.3 Harmonische verstoring

Harmonische vervorming ontstaat omdat sommige apparaten geen 'lineair gedrag' vertonen. Apparaten die geen lineair gedrag vertonen zijn bijvoorbeeld gelijkrichters, schakelende voedingen (computers), frequentie regelaars, LED verlichting, spaarlampen, dimmers, inductieovens, enz.

Lineaire belastingen zijn bijvoorbeeld gloeilampen, verwarming en de meest voorkomende motoren.

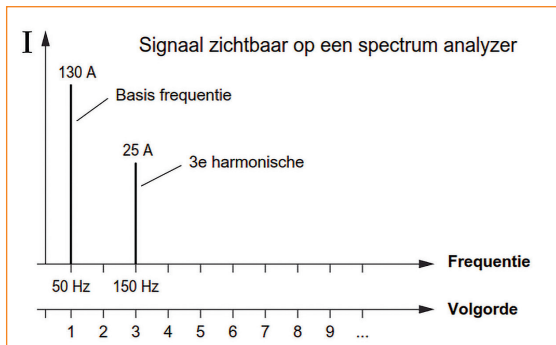
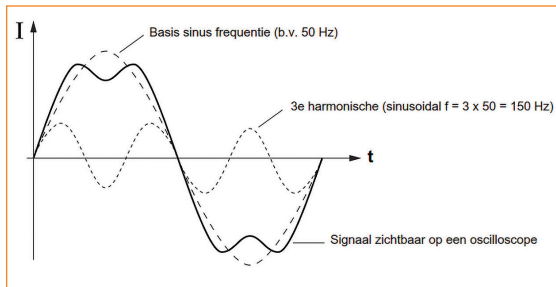
Ons elektriciteitsnet wordt bedreven met wisselspanning en wisselstroom. Als bij een lineaire belasting een sinusvormige wisselspanning aangeboden wordt, gaat er ook een sinusvormige wisselstroom lopen.

Bij een niet-lineaire belasting is dit niet het geval. De niet-lineaire belasting probeert namelijk een gelijkstroom te maken, de resulterende wisselstroom is dan niet meer sinusvormig.

Het 'net' wordt als het ware 'vervuild' met wisselspanningen en stromen die een veelvoud zijn van onze basis netfrequentie.

FOURIER heeft hier onderzoek naar gedaan, hieronder een afbeelding van de basis netfrequentie gecombineerd met de 3^e harmonische.

Weergave van een signaal in een FOURIER reeks.



Harmonische beïnvloeding is laagfrequent en daarom meestal geleidend.

Alle niet lineaire belastingen verbruiken niet sinusvormige stromen en genereren daardoor harmonische stromen.

De voeding zet deze harmonische stromen om in harmonische spanningen door de interne impedantie (Z).

$$U = Z * I$$

Het is deze opgewekte harmonische spanning die de andere belastingen kan beïnvloeden.

Het ligt voor de hand dat deze belastingen steeds vaker worden toegepast en het 'vermogen' dat ze verbruiken steeds hoger wordt, waardoor de belangrijkheid van de verstoringen die ze veroorzaken steeds verder toeneemt.

8.4 Transients

De term 'transients' betekent geïnjecteerde spikes in elektrische circuits en komen voor in geleidende vorm in voedingskabels, besturings- en ingangssignalen van elektrische en elektronische apparatuur.

Transients worden veroorzaakt door het schakelen van mechanische en in het bijzonder door elektronische 'schakelaars'.

Wanneer een 'schakelaar' werkt verandert de spanning over de contacten zeer snel van nul naar nominaal en omgekeerd. Dit produceert een hoge variatie in spanning ($\Delta v/\Delta t$) (puls) die door de kabel wordt getransporteerd. (geïnjecteerde spike)

Mogelijke oorzaken:

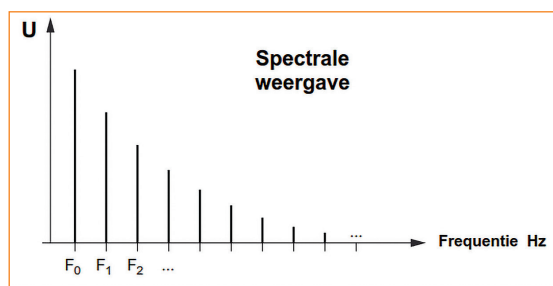
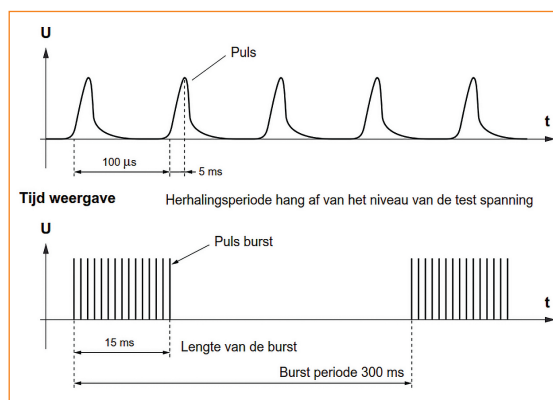
Bliksem inslag in de aarde, commutatie fouten in inductieve circuits (spoelen van contactoren, ventiel spoelen, enz.)

Transients zijn **hoogfrequent (HF) type** verstoringen.

Ze worden door middel van geleiding getransporteerd maar kunnen eenvoudig in andere geleiders door straling worden geïnjecteerd.

De karakteristieke eigenschappen van deze verstoringen zijn:

- Erg korte duur < 5ms
- Puls duur 50 ms
- Herhalingsfenomeen ongeveer 15 ms
- Herhalingsfrequentie ongeveer elke 300 ms
- Lager energie pulsen $1 - 10^{-3}$ Joule
- Hoge amplitude van overspanning ≤ 4 kV



Afhankelijk van de oorzaak van de onderhavige transients, kan het spectrum breed zijn (1-100 MHz of meer).

Met behulp van filters zijn transients te verminderen.

8.5 ESD (Electro Static Discharges; Elektro statische ontladingen).

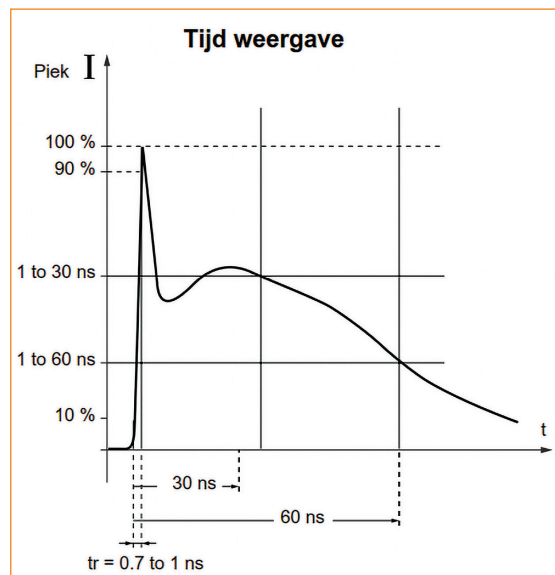
De term elektrostatische ontlading betekent een stroom impuls die loopt van een object wat verbonden is met aarde wanneer het in direct of indirect contact komt met een ander object wat een hoog potentiaal heeft ten opzichte van aarde.

Het effect van een elektrostatiche ontlading kan variëren van het niet functioneren tot het vernietigen van een apparaat.

Elektrostatiche lading kan ontstaan wanneer twee materialen met verschillende potentialen ten opzichte van aarde langs elkaar wrijven.

De karakteristieke eigenschappen van deze verstoring zijn:

- Zeer korte stijgtijd 1 ns
- Puls duur 60 ns
- Werking van het fenomeen: 1 x ontladen
- Zeer hoge spanning bij de start van de ontlading (2 – 15 kV of meer)



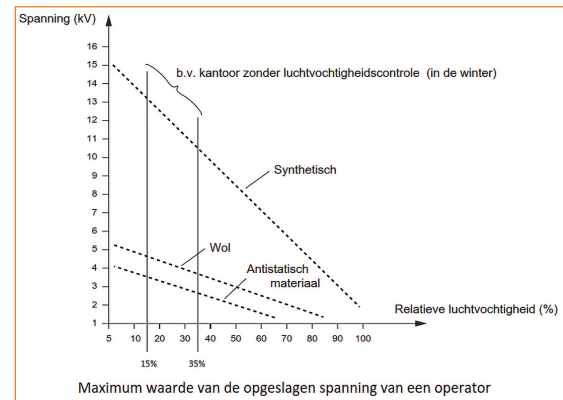
Elektrostatiche ladingen zijn het resultaat van de uitwisseling van elektronen tussen materialen of met het menselijk lichaam en materialen. Dit fenomeen wordt versterkt door de combinatie van synthetische materialen zoals plastic en katoen en droge omgeving.

In de TRIBO (contact elektrificatie) elektrische reeks ligt vast wat de lading van de verschillende materialen is.

+ (plus-lading)	+/- (neutraal)
Lucht	Seal was
Mensen-huid	Nikkel/koper
Kattevel	Messing/zilver
Glas	Goud/platina
Mica	Zwavel
Nylon	Rayon
Wol	Polyester
Lood	Orlon
Zijde	Saran
Aluminium	Celluloid
Papier	Polyurethaan
Katoen	Polyethyleen
Staal	Polypropyleen
Hout	Polyvinylechloride
Barnsteen	Silicium
Rubber	Teflon
+/- (neutraal)	- (min-lading)

Hoe verder de materialen 'uit' elkaar liggen hoe hoger de statische lading is die opgewekt kan worden.

Dit proces kan bijvoorbeeld het resultaat zijn van een persoon die lading 'opslaat' terwijl hij over een tapijt loopt. (er worden elektronen uitgewisseld tussen het lichaam en de gedragen kleding), of de kleding gedragen door een operator zittend op een stoel. Ontladingen kunnen plaatsvinden tussen een persoon en een object maar ook tussen elektrostatich geladen objecten onderling.

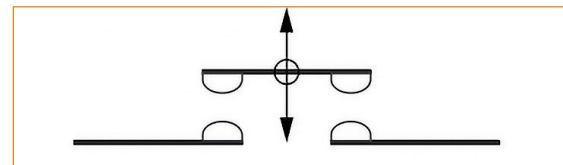


Elektrostatiche ontladingen zijn **hoogfrequent (HF)** verstoringen die als geleidende verstoring voor kunnen komen maar ook eenvoudig kunnen worden geïnjecteerd in andere geleiders.

Voorkomen is beter dan genezen. Voorkom dat verschillende materialen met elkaar in aanraking komen. (Elektrostatiche lading ontstaat)

Aarding kan een goede bijdrage zijn in het verminderen van elektrostatiche ontladingen.

9. Schakelen van inductieve belastingen



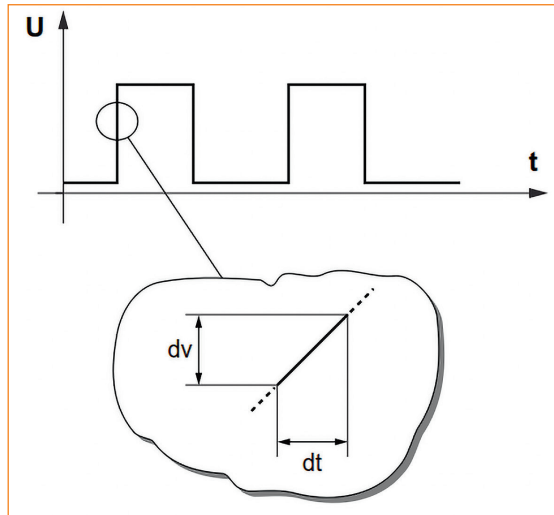
Schakelen van inductieve belasting met behulp van een mechanisch, potentiaal vrij, contact.

Het schakelen van inductieve belastingen zoals spoelen van ventielen en motoren veroorzaakt bij het uitschakelen een wijziging in het magnetische veld in de spoelen door het in korte tijd weg vallen van stroom. Het openen van de contacten gaat behoorlijk snel. Hierdoor wordt ook het magnetisch veld in korte tijd afgebouwd.

Het in korte tijd afbouwen van het magnetische veld veroorzaakt in de geschakelde spoelen het opwekken van een spanning. Die tegengesteld is aan de oorzaak van zijn ontstaan en wel 10 tot 20 maal hoger kan zijn dan de aangelegde spanning.

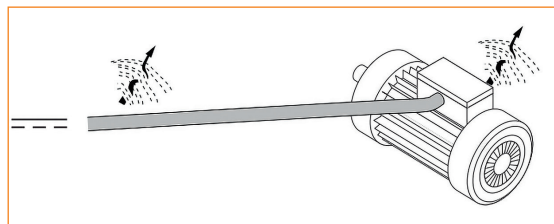
Bij het uitschakelen van een 24V DC-spoel kan er door het uitschakelen van de voeding een spanning worden opgewekt van 240 tot 480V.

Bij spoelen van magneetventielen, relais en contactoren kan dit verschijnsel eenvoudig worden opgelost door het toepassen van vonkblussing of zogenaamde blusdiodes. Deze worden parallel over de contacten van de spoel geplaatst.

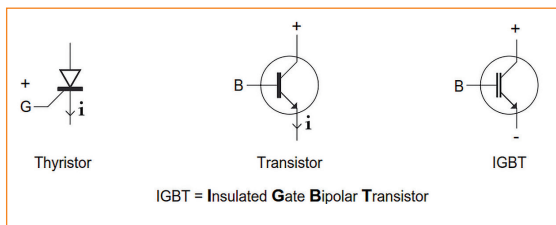


9.1 Schakelen van een Ohmse belasting:

Dit veroorzaakt geen of weinig verstoring op EMC-gebied. Het 'inbranden' van contacten ligt hier op de loer.



9.2 Schakelen van inductieve belastingen met halfgeleiders.



Er worden twee typen verstoringen veroorzaakt.

- Laagfrequentie (LF) harmonische: 10 kHz
- Laag- en hoogfrequent (HF) transients tot 30 MHz.

Ze komen in geleidende en stralingsvorm voor.

Ze beïnvloeden gevoelige apparatuur zoals meetinstrumenten, radio's, telefoons en regelaars.

In sommige gevallen zijn dit hoge 'snelheids-schakelaars' die worden gesloten en geopend op basis van de signalen aangeboden aan de Basis (B) of de Gate (G) van het onderdeel.

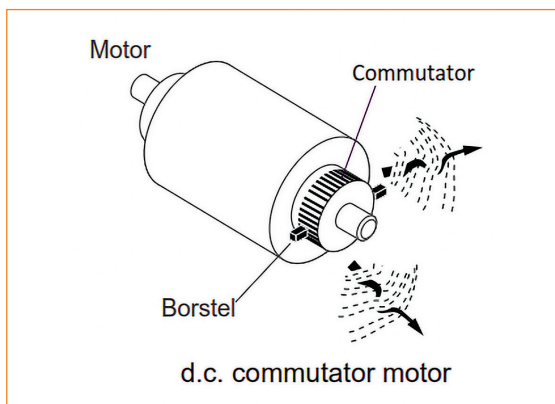
Het openen en sluiten van een elektrisch circuit veroorzaakt een plotselinge verandering in stroom of spanning over de 'contacten' van het circuit. Dit veroorzaakt korte stijgtijden in spanning of stroom die verstoringen veroorzaken.

Typisch schakelgedrag van zulke componenten			
Typische waarden	Thyristor	Transistor	IGBT
Doorslag spanning (max)	1,6 kV	1,2 kV	1,2 kV
Max. schakel stroom	1,5 kA	500 A (schakelen)	400 A (schakelen)
Schakel frequentie	3 kHz	5 kHz	10-20 kHz

De geleide verstoringen kunnen worden gedempt met behulp van filters die in de meeste gevallen zijn ingebouwd in de apparatuur, de straling kan worden ingeperkt door het gebruik van afgeschermd kabels.

9.3 Elektromotoren

Elektromotoren zijn een belangrijke bron van geleidende en stralende verstoringen.



Gelijkstroommotoren

Motoren met koolborstels en commutatoren veroorzaken transients met een steile stijgtijd, veroorzaakt door het schakelen van de koolborstels op de commutator.

Tijdens normaal bedrijf (continu toerental) hangt het veroorzaken van verstoring af van het gebruikte type motor.

Aan de geleide verstoringen kan met behulp van filters een en ander worden gedaan. De straling kan worden begrensd door het toepassen van afgeschermde kabel.

Asynchrone inductiemotoren

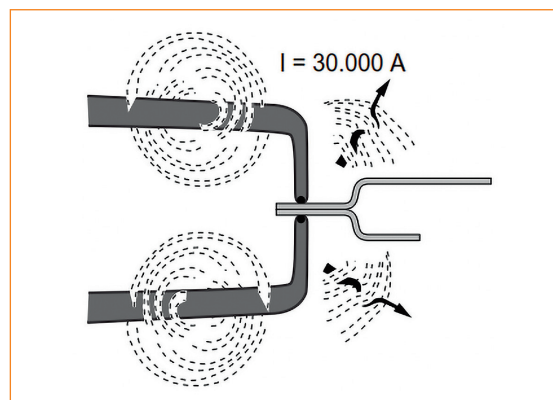
Asynchrone inductiemotoren veroorzaken weinig of geen verstoring. Bij magnetische verzadiging wordt de belasting niet lineair meer en veroorzaakt harmonische verstoringen.

Het inschakelen of aanlopen van de asynchrone motor veroorzaakt aanloopstromen van $6 - 10 \times I$ nominaal wat een dip in de voeding kan veroorzaken.

De conventionele ster/driehoek schakeling of de moderne soft starter of frequentie regelaar kan de aanloopstroom binnen de perken houden.

9.4 Punt Lassen

Bij punt lassen worden stromen gebruikt tot wel 30.000 A. De stroom loopt door het materiaal wat aan elkaar gelast moet worden. De temperatuur door de stroom doorgang is hoog genoeg om de materialen plaatselijk met elkaar te doen versmelten.



Hierbij worden harmonische stromen opgewekt van 200 tot 20kHz.

Door de grote stromen die vloeien bij het puntlassen ontstaat ook een groot magnetisch veld. Dit magnetisch veld is in staat de werking van magneetventielen en inductieve sensoren te verstoren of te beïnvloeden.

Afschermen van magneetspoelen en inductieve sensoren is sterk aan te bevelen. Mogelijk dat de afstand ten opzichte van het puntlassen vergroot moet worden.

10. Overdracht van verstoringen

Verstoringen kunnen op verschillende manieren in het systeem worden 'overgedragen'. In de EMC-wereld wordt dit 'koppeling' genoemd. De volgende koppelingen zijn bekend:

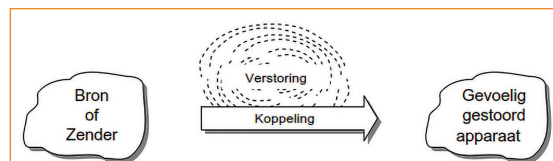
Geleidende (via ' koper, metalen')

- Differentiaal mode (zie 10.2)
- Common mode (zie 10.3)

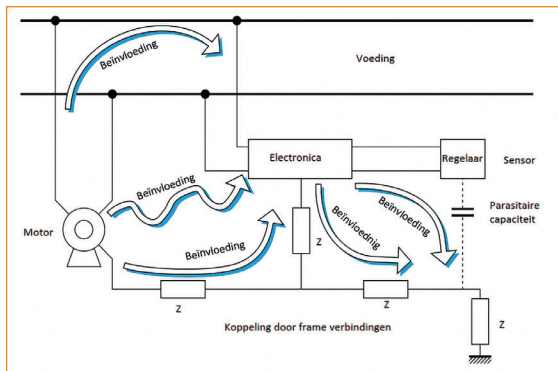
Door straling (via 'lucht')

- Inductief
- Capacitief

Basisinformatie over 'koppeling'



Een typische installatie waarin de verschillende soorten 'koppeling' van verstoringen (beïnvloeding) is weergegeven in onderstaande figuur.



Wanneer 'gevoelige' apparatuur via een gemeenschappelijke voeding is aangesloten kan de verstoring veroorzaakt door vermogens apparatuur (motor) worden overgedragen via de gemeenschappelijke voedingsleiding.

Er is nog een andere soort 'koppeling' bij geleiding die optreedt in een frame en aard circuits.

Frame aard geleiders zijn allemaal verbonden met het frame en uiteindelijk met de aarde via geleiders die een bepaalde impedantie (Z) hebben.

Dit resulteert in een potentiaalverschil tussen het frame en aarde en in de frame verbindingen.

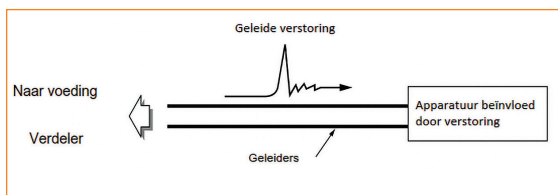
Deze potentiaal verschillen veroorzaken parasitaire stromen door de verschillende circuits.

Koppeling via de lucht kan ook verstoring van nabijgelegen apparatuur veroorzaken.

10.1 Koppeling via geleiding

Geleide beïnvloeding wordt 'gedragen' door een geleider. Het kan worden overgedragen door:

- Interne voedingsleidingen
- Besturingsbedrading
- Dataleidingen en bussystemen
- Aard kabels (PE, PEN enz.)
- Aarde
- Parasitaire capaciteiten

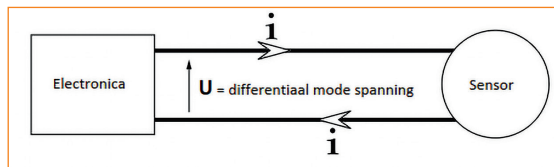


Een (gewild of ongewild) signaal kan over twee draden op de volgende manieren worden getransporteerd:

- Differentiaal mode
- Common mode

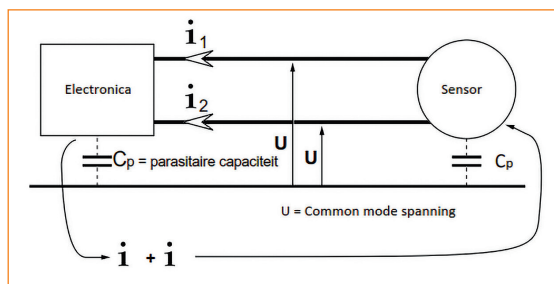
10.2 Differentiaal mode

Differentiaal mode stromen lopen door een draad naar de belasting en door het apparaat wat ze al dan niet verstoren en door de andere draad weer terug.



10.3 Common mode

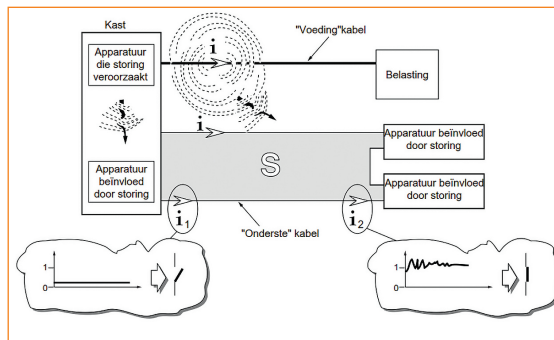
Common mode stromen lopen in beide geleiders in dezelfde richting en lopen door het frame via parasitaire koppeling terug.



Common mode verstoringen zijn het grootste probleem bij EMC omdat de 'gebruikte weg' moeilijk te definiëren is

10.4 Koppeling door straling

Koppeling door straling vindt plaats door de lucht.



= oppervlakte tussen de draden

Afhankelijk van de manier van uitgezonden verstoring, zijn er twee manieren van koppeling:

- Inductieve koppeling
- Capacitieve koppeling

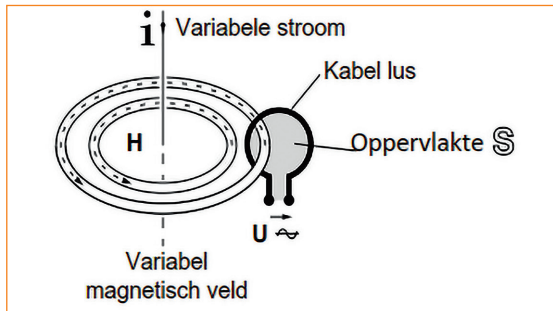
Inductieve koppeling

Wanneer een stroom I door een geleider loopt ontstaat er om die geleider een magnetisch veld. De stroom moet dan wel 'hoog' zijn, meestal in voeding circuits met stromen $> 10A$.

In elke lus gevormd door een geleider met een oppervlakte S omgeven door een wisselend

magnetisch veld ontstaat een spanning U over de aansluitingen.

Schematische weergave:



Capacitieve koppeling

Er is altijd een capaciteit tussen elektrische circuits (kabels, componenten, enz.) onderling en andere circuits (geleiders, frame verbindingen, enz.)

Het wisselende potentiaal tussen deze circuits veroorzaakt een stroom door het isolatiemateriaal (lucht, enz.) in de vorm van een condensator of parasitaire capaciteit.

Deze parasitaire stromen worden groter naar mate de frequentie van de spanning over de aansluitingen toeneemt.

$$I = \frac{U}{Z} \quad Z = \frac{1}{C\omega}$$

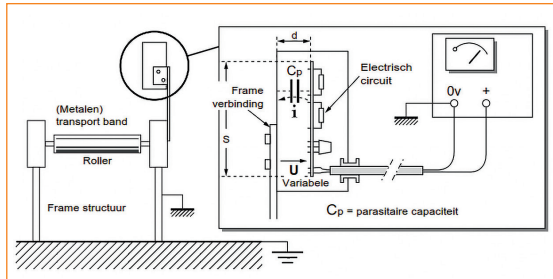
$$\omega = 2\pi f$$

$$I = U * C * 2\pi * f$$

$$\text{konstant} = U * C * 2\pi$$

$$I = k * f$$

Dit fenomeen wordt ook wel 'handcapaciteit' genoemd



De waarde van de parasitaire capaciteit wordt proportioneel:

- Verhoogt door de oppervlakte S tussen de twee circuits,
- Verlaagt door de afstand d tussen de twee circuits.

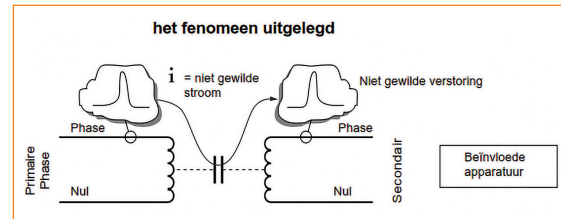
Alhoewel de parasitaire capaciteit tussen circuits bij 50 Hz verwaarloosd kan worden, is het zeer belangrijk bij hogere frequenties en veroorzaakt het storingen in apparatuur.

10.5 Transformatoren

Transformator	Symbool	Isolatie	
		LF	HF
Standaard		OK	Geen effect
Enkel scherm		OK	Gemiddeld
Dubbel scherm		OK	Goed

Transformatoren kunnen worden gebruikt:

- Om de aarding in de installatie aan te passen
- Verzorgen alleen elektrische isolatie met lage frequenties
- Een dubbel scherm is nodig voor HF elektrische isolatie
- Blokkeert en geleidt common mode stromen naar geleidende delen
- Kan worden gebruikt om frame verbindingsslussen te verbreken.



De primaire/secundaire isolatie weerstand wordt overbrugd door de parasitaire capaciteit die veroorzaakt wordt door de primaire en secundaire windingen.

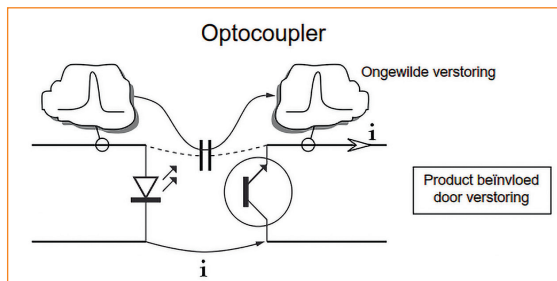
Parasitaire capaciteit 50 pF voor kleine transformatoren, > 1 nF voor grote transformatoren > 500VA

1nF vertegenwoordigt een impedantie (weerstand) van 100Ω bij een frequentie van 2 MHz.

Als gevolg hiervan bestaat de kans op verstoring door transients die een steile stijgtijd hebben. Deze ontstaan in de voeding, door de schakelpieken die door de transformator aan de secundaire spoel worden doorgegeven en die kunnen leiden tot verstoring van de aangesloten apparatuur. Optocouplers

Hetzelfde fenomeen treedt op bij het gebruik van optocouplers. Een optocoupler is een galvanische

scheiding. De optische zender en ontvanger worden gescheiden door een kwarts glazen plaatje.

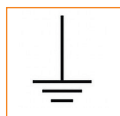


De laagfrequent (LF) impedantie en het hoogfrequent (HF) gedrag zijn over het algemeen beter dan die van transformatoren.

Er zijn dus 'geleide' verstoringen en 'straling' verstoringen. Krachtstroom en stuurstroom zoveel mogelijk bij elkaar vandaan houden. Afstand tussen 'zender' en 'ontvanger' van storingen zo groot mogelijk. De oppervlakte 'tussen' geleiders zo klein mogelijk

11. Aarding

Het symbool:



In dit document wordt met de term 'aarde', alle geleidende, niet toegankelijke of begraven materialen en delen van structuren bedoeld.

De aarde van onze planeet wordt in sommige elektrische systemen gebruikt als referentie die een potentiaal heeft van 0V en zijn natuurlijke elektrische geleiding (die zeer sterk wisselt) wordt door mensen gebruikt om sommige elektrische stromen te geleiden.

Bedenk wel dat een stroom die ergens de aarde in gaat altijd naar zijn bron zal terugkeren.

Rol van aarde in een elektrische installatie

In het TT-systeem, het deel van de aardverbinding tussen de aardverbinding van het verdeelstation en de aardverbinding van de installatie die de lek- of foutstroom produceert in de installatie.

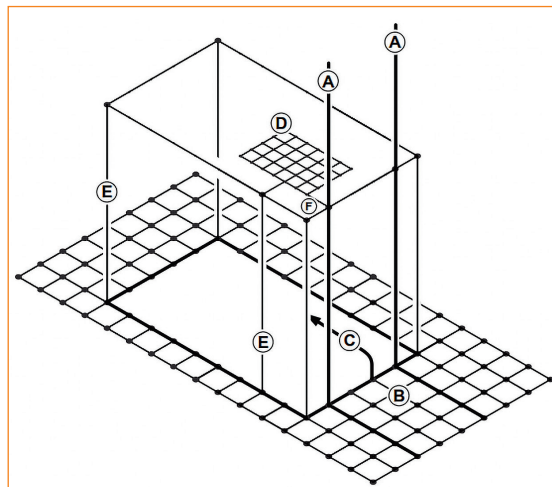
Frames van de installaties zijn ook verbonden met aarde (equipotentiaal verbinding met aarde, voor aanraakbare metalen structuren) om mens en dier te beschermen tegen elektrische schokken bij indirecte aanraking.

Er mag maar één goede aardeverbinding zijn voor een elektrische installatie.

Goede omdat bij de ontlading van een bliksem soms stromen van 20 – 30 kA in de grond moet worden 'verwerkt' (5 – 10.000 Watt /meter) zonder grote schade aan de aarde met een sterk wisselende weerstand te veroorzaken.

Eén omdat deze sterk wisselende weerstand extreme hoge potentiaal verschillen tussen aardelektrodes kan veroorzaken waardoor in de installaties zelf onacceptabele verstoringen op kunnen treden.

Typische aarding in een installatie.



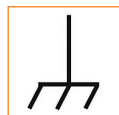
- A. Bliksemafleiders
- B. Aardnet met een versteviging voor de bliksemafleiders.
- C. Aard elektrode of de verbinding met de aarde van de energie leverancier PE of PEN.
- D. Verbinding met aanraakbare metalen delen van de installatie of frames.
- E. Parallel verbinding tussen A, D en B om overslag en vuurverschijnselen te voorkomen (brandgevaar).

Zoals we hebben gezien speelt de aarde een belangrijke rol bij bliksem afleiding en lekstromen getransporteerd door voedingsleidingen naar de plaatselijke installatie.

Voor de meeste andere (EMC) fenomenen die om moeten gaan met transients, hoog frequentie (HF) stromen of stralingen, zijn aardverbindingen waarbij de lengte en de topologie (ster netwerk of parallel verbindingen) zeer hoge impedantie zijn bij hoge frequenties zonder aanvullende maatregelen (extra verbindingen in aanraakbare metalen delen) onbruikbaar.

11.1 Frame verbindingen

Symbool:



Algemene definitie
Een frame verbinding is een equipotentiaal verbinding die wel of niet met

aarde is verbonden die als referentie dient voor een circuit of systeem.

Een frame verbinding zijn aanraakbare delen die tijdens normaal gebruik niet onder spanning staan maar bij een defect onder spanning zouden kunnen komen te staan.

Enkele voorbeelden van aanraakbare metalen delen:

- Metalen onderdelen van een gebouw constructie
- Machineonderdelen
- Metalen kasten, on-geschilderde kast bodems
- Metalen kabeldoorvoeren
- Transformator behuizingen, PLC-behuizingen
- Groen/gele draden (PE/PEN) van aardverbindingen

Aanraakbare metalen delen moeten op de juiste manier voor lage frequenties (LF) (persoonlijke veiligheid) en voor hoge frequenties (HF) (EMC-bescherming) worden verbonden.

Om dit technisch en commercieel mogelijk te maken, moet er bij het ontwerp al rekening gehouden worden met hoogfrequent (HF) aspecten.

Door bijvoorbeeld in het ontwerp aansluitpunten voor aard litzen te maken. Het aangeven van de maten van de te gebruiken aard litzen.

Laag frequentie gedrag

Bijvoorbeeld frequenties 50 of 60 Hz.

Equipotentiaal verbindingen bij lage frequenties (50 – 60Hz) kunnen altijd worden uitgevoerd met groen/gele (PE/PEN) geleiders.

Hoog frequentie gedrag

Zoals aangegeven in het hoofdstuk aarde speelt aarde bij EMC een ondergeschikte rol.

De onderlinge verbinding van geleidend delen in een stervorm kan in sommige gevallen een extreem hoge impedantie veroorzaken bij hoge frequenties tussen twee punten. Bij een TN-C-systeem veroorzaakt dat een voortdurende hoge stroom in de PEN leiding.

Het toepassen van het TN-S stelsel wordt aangeraden.

Het kan nodig zijn, zonder de PE-verbindingen te verslechteren, meer equipotentiaal verbindingen (niet groen/gele aders) aan te brengen met een ader doorsneden die tenminste overeenkomt met de groen/gele aders. Zo dicht mogelijk bij de metalen delen van de schakelende onderdelen en kabel goten om zo een fijnmazige equipotentiaal verbinding te maken die voldoet aan de EMC eisen.

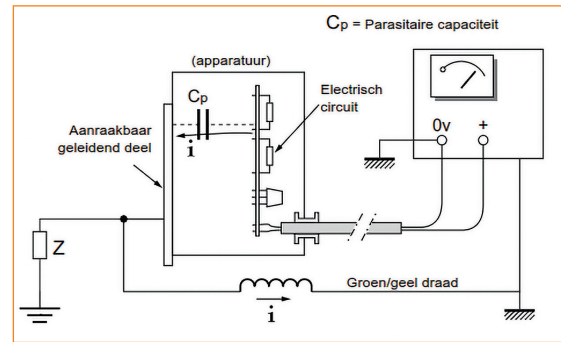
Schermen, afscherming, common mode retour circuits van filters worden hierop aangesloten.

In sommige extreme gevallen (stromen die in voedingen geïnduceerd zijn door de hoofd frequentie, potentiaalverschillen) moet de verbinding

met het frame worden gewaarborgd (b.v. aan een kant voor elke 'HF/LF' capaciteit).

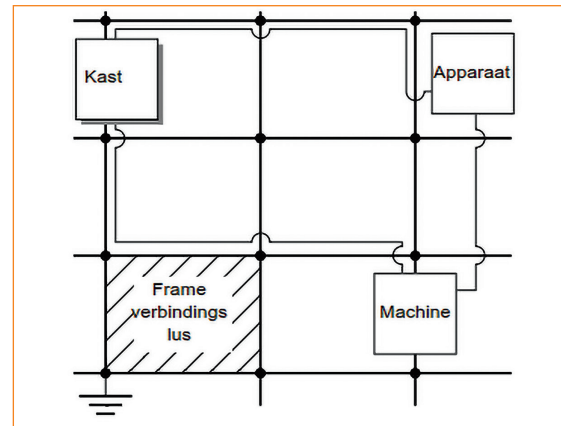
11.2 Lekstromen in de installatie

Omdat aanraakbare metalen delen zich in de nabijheid van elektrische installaties bevinden, ontstaan parasitaire capaciteiten waardoor ongewilde stromen door deze metalen delen gaan lopen. Dit kan de werking van de installatie of veiligheidsfuncties beïnvloeden.

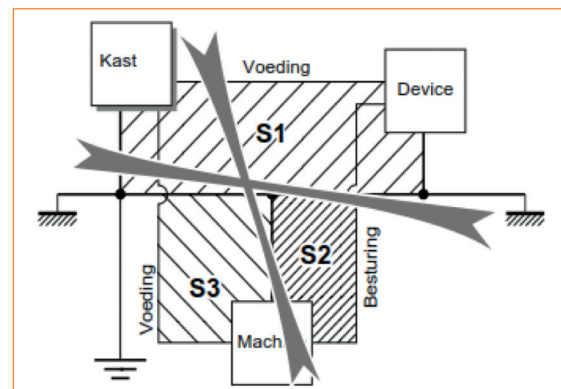


11.3 Lussen bij aanraakbare metalen delen

Een lus in een frame is de ingesloten oppervlakte van de frame verbindingdraden.

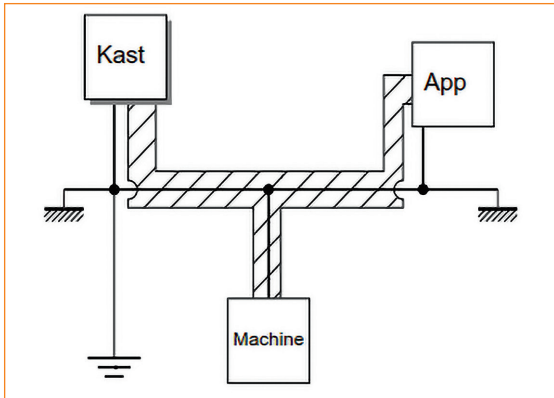


Lussen zijn het resultaat van systematische, zorgvuldige verbinding om equipotentiaal verbindingen tot stand te brengen. Kabelverbindingen met veel 'ingesloten' oppervlakte.

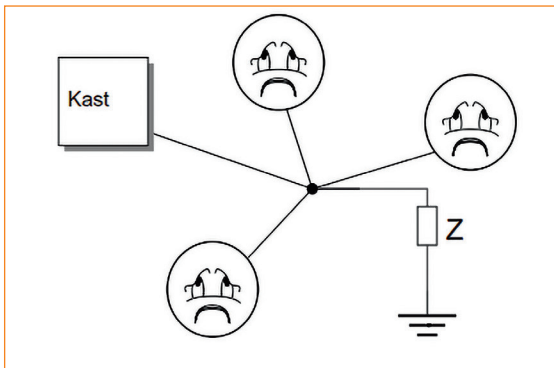


Het is van **vitaal belang** om een groot aantal verbindingen te hebben tussen metalen delen. Het is van **cruciaal belang** om de 'ingesloten' oppervlakte tussen de kabels en het frame zo klein mogelijk te houden. Laat de kabels zo dicht mogelijk langs het frame lopen. Frame lussen zijn de belangrijkste bron van EMC-problemen, stralingskoppeling is hier bijzonder effectief.

Kabelaansluiting met veel minder 'ingesloten' oppervlakte.



Voorkom stervormige aardverbindingen bij het verbinden van aanraakbare geleidende machinedelen. Dit zorgt voor grote 'ingesloten' oppervlakten.



Laat kabels zoveel mogelijk langs fijnmazig gearde aanraakbare metalen frame delen lopen.

Alleen zorgvuldig verbonden aanraakbare metalen frame delen maakt het mogelijk de hoogfrequent (HF) equipotentiaal verbindingen te waarborgen.

Wanneer de lengte van de frame aardkabels te lang worden ($l > 10/f_{(MHz)}$), gaat de installatie 'zweven', potentiaalverschillen tussen delen van de machine worden onvermijdelijk, waardoor ongewilde stromen gaan lopen (zogenaamde zwerf stromen).

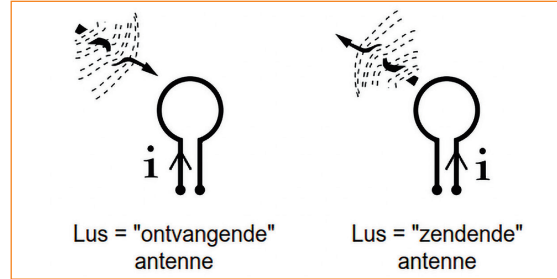
12. Kabels

In hoofdstuk 7 is al weergegeven hoe het gedrag van geleiders veranderd met de frequentie.

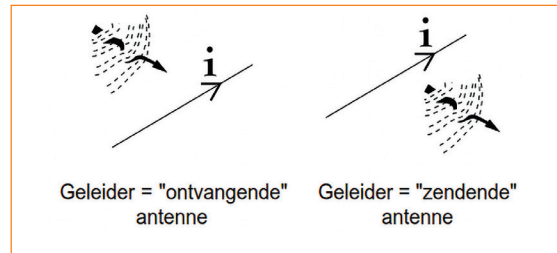
12.1 Antenne effect van een geleider

Geleiders kunnen als antenne werken en kunnen een uitgestraald signaal oppikken.

Magnetisch veld



Elektrisch veld



Het antenne effect wordt belangrijk bij een specifieke verhouding tussen de lengte van de geleider en de golflengte van het signaal.

De zogenaamde kwart golflengte antenne

$$l_{(m)} > \frac{75}{f_{(MHz)}} = \text{getunde antenne}$$

Voorbeeld; bij een frequentie van 100MHz

$$l = \frac{75}{100} = 0,75\text{m}$$

Bij een lengte van 0,75m is de kabel een getunde (ideale) antenne en zal hij het maximale signaal ontvangen of uitzenden.

Laag frequent (LF) gedrag van geleiders.

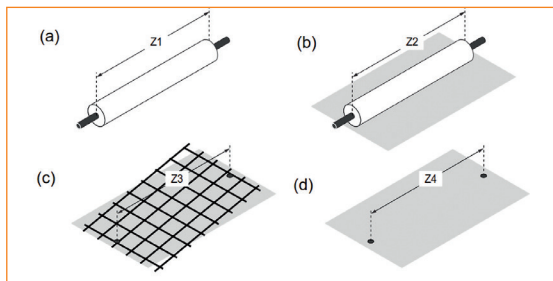
Bij lage frequentie (LF) (50 – 60 Hz) loopt de stroom door de geleider. De ader doorsnede (mm²) is hier het belangrijkste.

Hoog frequent (HF) gedrag van geleiders.

Bij hoge frequenties (HF) (1 – 5 MHz) treedt het skin effect op. Het oppervlak van de omtrek van de ader speelt hier de belangrijkste rol. De ader doorsnede (mm²) speelt hier nauwelijks een rol. De lengte daarentegen is van cruciaal belang! (deze beïnvloedt sterk de beschikbare omtrek oppervlakte).

Voor elk geval geldt de volgende impedantie Z:

- Z₁, kabel in de lucht (Inductantie per lengte eenheid: 1 μH/m)
- Z₂, kabel gemonteerd op een metalen ondergrond.
- Z₃, metalen net waarbij elke kruis is verbonden (bv. Gelaste metalen beton vlechtwerk)
- Z₄, een vlakke metalen plaat.



Voor een gegeven kabel lengte is de Impedantie per lengte eenheid $Z_1 > Z_2 > Z_3 > Z_4$

12.2 Lengte en doorsnede van een geleider

De impedantie van een geleider hangt voornamelijk af van de Inductantie per lengte-eenheid die in verhouding is met de lengte van de kabel.

De Inductantie van de kabel gaat een rol spelen boven de 1 KHz.

Bij een kabel van enkele meters lang is de impedantie:

- Enkele milli Ohms bij gelijkstroom en bij lage frequenties (LF)
- Enkele Ohms bij 1 KHz
- Enkele honderden Ohms bij hoge frequenties (HF) (≈100MHz...)

Wanneer de lengte van de kabel 1/30 van de golflengte van het signaal op de kabel overschrijd wordt de impedantie oneindig (alsof er geen verbinding is).

$$l_{(m)} > \frac{\lambda}{30} \quad \lambda > \frac{300}{f_{(MHz)}} \quad l_{(m)} > \frac{10}{f_{(MHz)}}$$

Een geleider die langer is dan $l_{(m)} > \frac{10}{f_{(MHz)}}$ heeft geen zin.

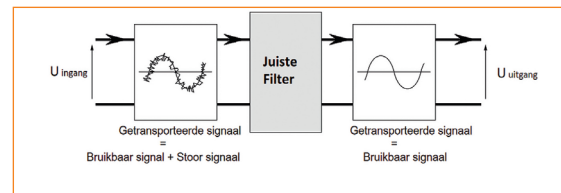
12.3 Groen/gele geleiders (Aarddraad)

In installaties waar een groen/gele (PE/PEN) geleider is gebruikt met een lengte van 1 – 2 meter voor de equipotential verbinding;

- Zijn effectief bij lage frequenties (50 – 60 Hz) als persoonlijke beveiliging,
- Spelen geen enkele rol bij hoog frequent (HF) potentiaal (EMC) verbindingen.

13. Filters

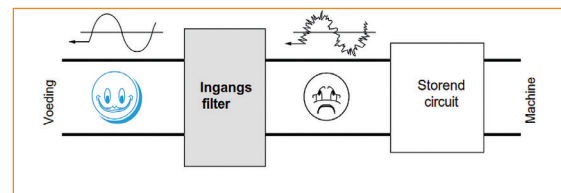
De functie van een filter is het doorlaten van gewenste signalen en het tegenhouden van storingen.



Toepassing:

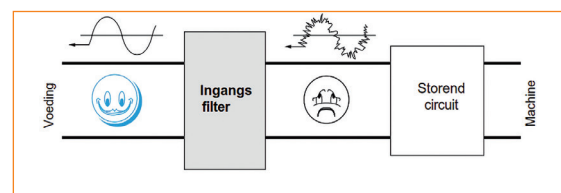
- Harmonische filters, f 2,5 kHz
- RFI filters (geleide radiofrequentie verstoringen) f 30MHz

Ingangsfiler; bijvoorbeeld Harmonisch of RFI filter

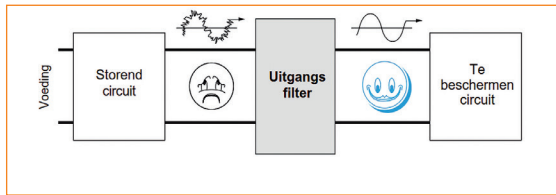


Het doel van dit filter is de voeding te beschermen tegen storingen die in de toepassing veroorzaakt worden.

Ingangsfilters werken ook als bescherming tegen verstoringen die via de voeding worden aangeboden



Uitgangsfiler; bijvoorbeeld Sinusgolf filter



Deze filters beschermen de belasting tegen storingen veroorzaakt in de toepassing.

13.1 Soorten filters

Type filters:

- Differentiaal mode filters
- Common-mode filters
- Gecombineerde Differentiaal en Common -mode filters

Technologie:

- Passieve filters
- Actieve filters

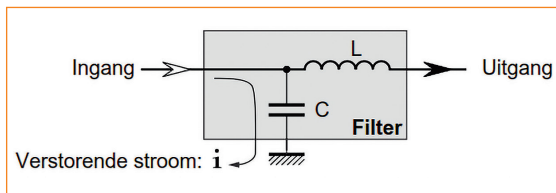
13.2 Passieve filters

Een passief filter wordt gemaakt om bepaalde frequenties te filteren (tegen te houden).

Het blokkeren van de storing: serie schakeling van de Inductantie ($Z=L\omega$)

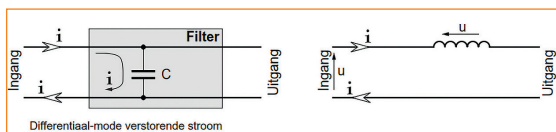
Geleiding van de storing: parallel schakelen van de capaciteit ($Z=1/C\omega$)

Een combinatie van beide ziet er als volgt uit:

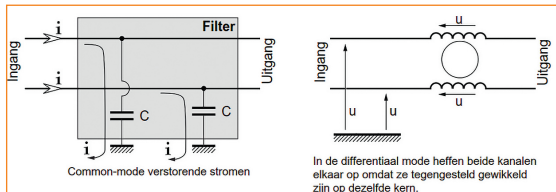


De energie van de storing wordt gedissipeerd-> gebruik Ferriet kernen

Passief filter; differentiaal-mode



Passief filter; common-mode



13.3 Actieve filters:

Genereren een signaal wat tegenovergesteld is aan de verstoring

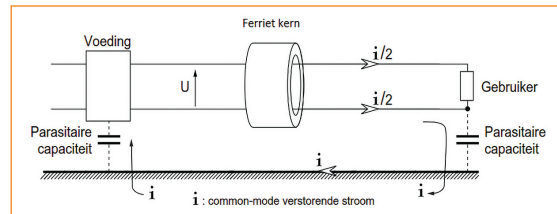
- Worden alleen toegepast bij harmonische stromen
- Genereren een signaal dat het tegenovergestelde is van de verstoring om zo het sinus signaal te herstellen

Ferriet kernen

Dit zijn actieve hoogfrequent (HF) common-mode filters.



Ferriet heeft een hoge magnetische permeabiliteit (μ_r) (hoge mate van magnetiseerbaarheid)



Ferriet kernen maken gebruik van twee principes:

- Common-mode Inductantie
- Absorberen van het weerstandverlies (temperatuur toename) geïnduceerd door common-mode HF verstoringen

Beide principes resulteren in een common-mode impedantie die gerelateerd is aan de impedantie van het te beschermen circuit.

14. Praktische EMC regels

14.1 Algemeen

Vanuit de EN IEC 60204-1 moeten alle metalen delen die door een defect onder spanning zouden kunnen komen te staan worden verbonden met aarde. Dit is voor de persoonlijke veiligheid (PE) en is gerelateerd aan een lage frequentie (LF)

Dit is een equipotentiaal verbinding om er voor te zorgen dat alle metalen delen ten naaste aardpotential (OV ten opzichte van aarde) hebben.

Vanuit EMC-perspectief moeten alle aanraakbare metalen delen van een machine fijnmazig elektrisch met elkaar worden verbonden. Dit is een

equipotentiaal verbinding om ervoor te zorgen dat door verstoringen geïnduceerde spanningen geen 'zwerf' stromen veroorzaken in de verschillende metalen delen.

Wanneer de equipotentiaal verbindingen vanuit EMC (HF) perspectief op de juiste manier zijn uitgevoerd mag je ervan uit gaan dat ook aan de eis uit de EN IEC60204-1 voor LF equipotentiaal verbinding is voldaan.

14.2 Schakel- besturingskast

LET OP! Voor geverfde of van een isolerende laag voorziene achterplaten/montageplaten!

Elke kast moet zijn voorzien van een geleidende achter plaat.

Alle metalen behuizingen van onderdelen moeten direct op de metalen achterplaat/montageplaat worden bevestigd/gebout voor een betrouwbare metaal – metaal verbinding

Vanwege de voorschriften uit de norm mogen groen/gele aders/draden alleen worden gebruikt voor de PE en zijn ze ongeschikt voor het maken van een HF aardverbinding.

14.3 Aard litzen en kabelkokers

Door aan het einde van een litze een 'oog' te knippen wordt de functionaliteit van de litze (groot oppervlakte) teniet gedaan.

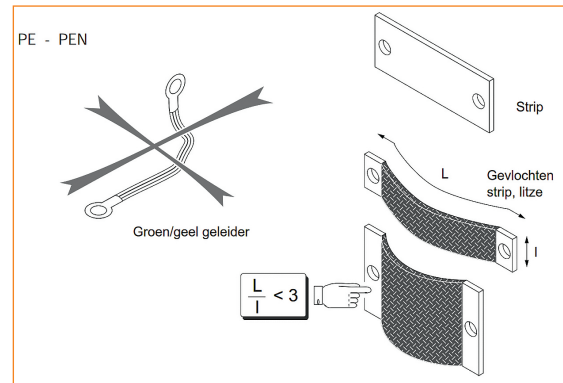


De juiste uiteinde van een litze ziet er als volgt uit



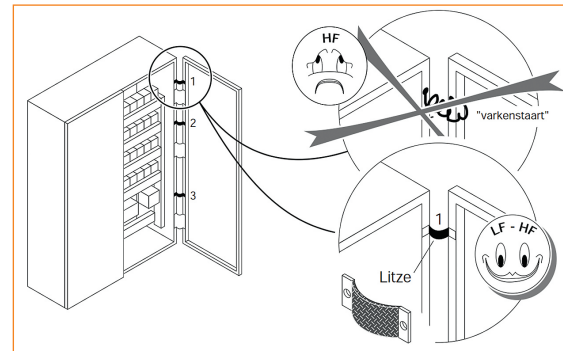
Kunststof kabelgoten hebben geen enkel positief effect op EMC en worden daarom niet aanbevolen. Metalen kabelgoten kunnen een zeer positieve bijdrage leveren aan EMC-bescherming.

14.4 Elektrische verbindingen



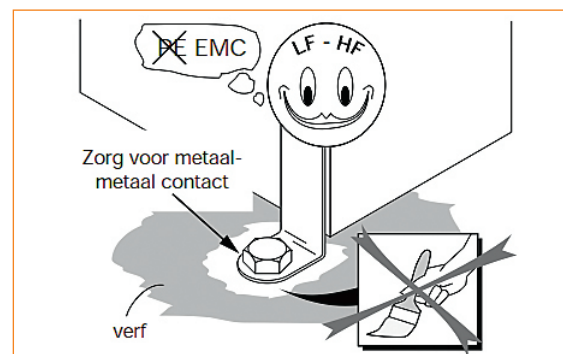
Om bijvoorbeeld de kastdeur te aarden maken we geen gebruik van een groen/geelde ader maar van een litze.

Het voordeel is dat de litze soepel is en zowel kan dienen als FE en als PE verbinding.

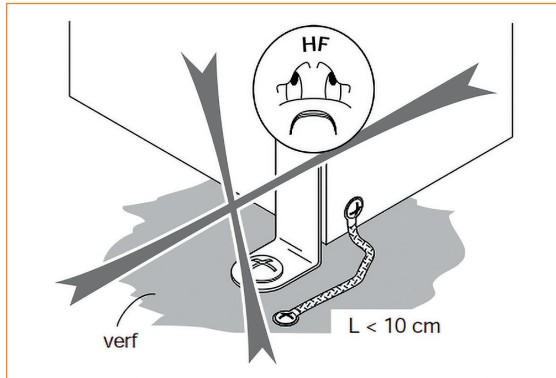


Wanneer massa delen met elkaar moeten worden verbonden maken we gebruik van strips die met een groot oppervlakte en een lage weerstand een verbinding tot stand brengen.

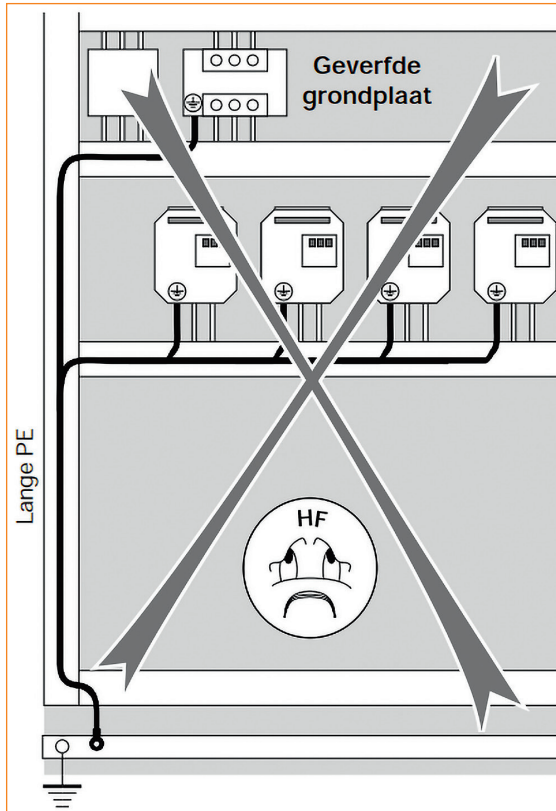
Foute verbinding



Goede verbinding



Slechte verbinding



Geen 'lange' aarddraden in de kast!

14.5 Afscherming aan beide zijden of aan één zijde aarden?

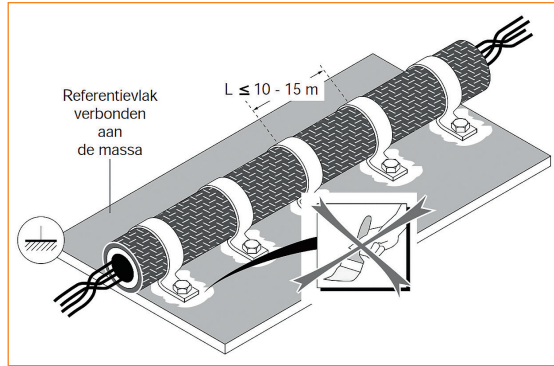
Afscherming aan beide zijden aarden

- Zeer doeltreffend tegen storingen van buiten af (HF, etc.),
- Zeer doeltreffend zelfs bij de resonantiefrequentie van de kabel,
- Geen potentiaal verschil tussen kabel en massa,
- Maakt het mogelijk om kabels met verschillende signaal klassen (uitgaande van een goede 360° verbinding en een goede potentiaalvereffening) in elkaars nabijheid te plaatsen,
- Erg sterk verminderend effect (HF) is 300 Hz,

- In geval van extreem hoge frequente signalen kunnen aardlekstromen geïnduceerd worden voor kabels met een lengte > 50-100 m.

Doeltreffende afscherming

Omdat LF en HF potentiaalvereffening een gouden regel is in EMC moet de afscherming aan beide zijden geaard worden.



Afscherming verliest doeltreffendheid als de lengte van de kabel toeneemt. Het verdient aanbeveling zoveel mogelijk verbindingen met de massa te maken.

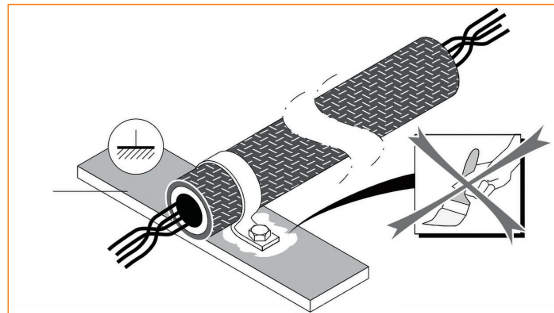
Afscherming aan één zijde geaard

- Inefficiënt voor storing van buitenaf in het HF gebied,
- Kan worden toegepast om een alleenstaande verbinding (opnemer, sensor, etc.) te beschermen tegen LF elektrisch veld,
- Afscherming kan als antenne werken en resoneren
 - in dat geval is de storing erger dan zonder afscherming !,
- Maakt het mogelijk LF brom te vermijden,
 - brom wordt veroorzaakt door LF stroom in de afscherming.

Een groot potentiaalverschil kan aan het eind van een niet-geaarde afscherming ontstaan!

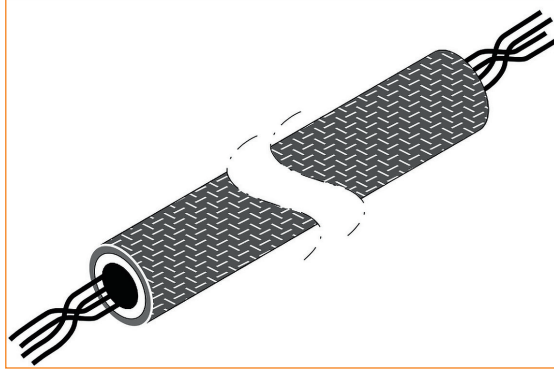
Dit is gevaarlijk en niet toegestaan volgens IEC 364

De afscherming moet hierom worden beschermd tegen directe aanraking!

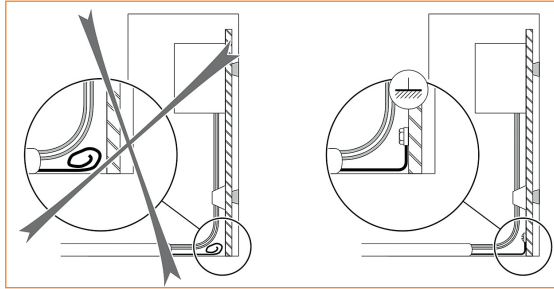


14.6 Afscherming niet verbonden aan de aarde:

Niet doeltreffend, vooral wanneer je het vergelijkt met mogelijkheden van zorgvuldig aangesloten afscherming en de kosten hiervan.

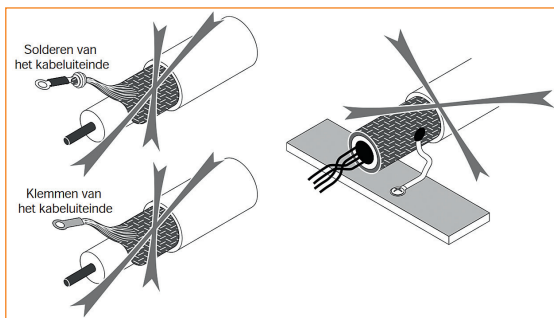


'Reserve' of niet gebruikte aders moeten altijd aan beide zijden worden verbonden met aarde.

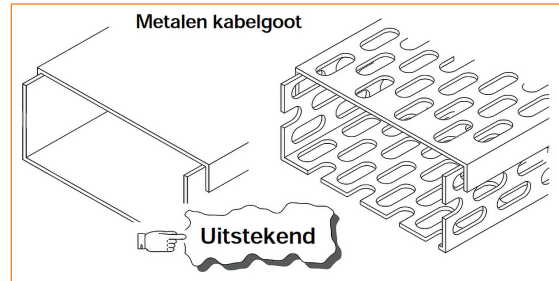
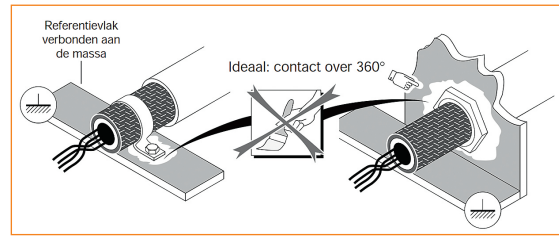


Wanneer de voor geconfectioneerde kabel afscherming litze te kort is, verleng deze dan met een vergelijkbare litze en niet met een (groen/gele) ronde ader!

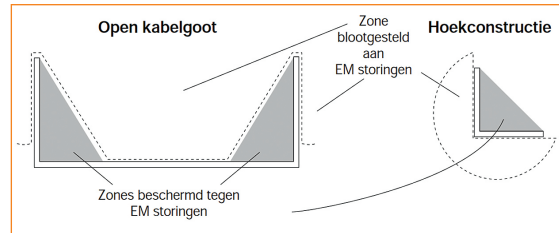
Aansluiten van afschermingen aan aarde



De juiste manier om afschermingen met het aardvlak te verbinden.



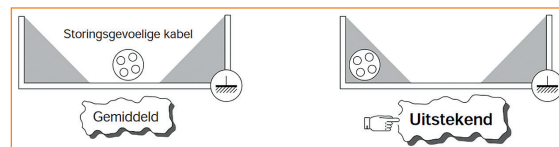
Het scherm of afschermingsgedrag van een kabelgoot ziet er als volgt uit.



De afschermende werking valt of staat natuurlijk met de aansluiting van de kabelgooteinden.

Deze moeten met een groot oppervlak en lage weerstand worden bevestigd aan/op de metalen kasten.

De manier waarop de kabels in de goot worden gelegd speelt natuurlijk ook een belangrijke rol.



15. EMC voor 'dummy's'

Indien men:

- Uitsluitend EMC goedgekeurde en CE gemarkeerde 'catalogus' E-componenten gebruikt (dus geen niet CE gemarkeerde Amerikaanse of Chinese componenten of printjes op eigen specificatie),
- De componenten inbouwt volgens hun inbouw specificaties (dus de inbouwvoorschriften van de leverancier opvolgt),
- Sterkstroom van zwakstroom scheidt (ter vermijding van onderlinge beïnvloeding) en dus de interne bekabeling netjes legt (Laagspanning Richtlijn),
- De aarding volgens normale technieken en gangbare voorschriften uitvoert (Laagspanning Richtlijn)
- De samenbouw op een elektrisch paneel of in een kast door elektrotechnisch gekwalificeerd personeel laat doen,

Dan mag je ervan uitgaan dat dit samenstel in de meeste gevallen aan de EMC eisen voldoet en hoef je (volgens de stand der techniek) niet te (type-) keuren.

16. Afkortingen en begrippen

Afkorting	Betekenis
μs	Micro seconde
B	Basis
C	Capaciteit in Farad
CE	Conformité Européenne
EMC	Elektro Magnetische Comptabiliteit. (elektromagnetische verdraagzaamheid)
EN	Europese Norm
ESD	Elektrostatische ontlading
f	Frequentie in Hz
G	Gate
GSM	Global system for mobile communications
HF	Hoge frequentie (5 - 30 MHz)
Hz	Hertz
I	Stroom in Ampère
IEC	International Electric Comité
IGTB	Insulated Gate Bipolar Transistor
ISO	International Standardisation Organisation
K	Constante
kA	Kilo Ampère
kHz	Kilo Hertz
kV	Kilo Volt
L	Inductantie in Henry
LF	Lage frequentie (50 - 60 Hz) tot 5 MHz
MHz	Mega Hertz
ms	Milliseconde
NEN	Nederlandse Norm
ns	Nano seconde
PE	Protective Earth (beschermingsaarde)
PEN	Protective Earth gecombineerd met de Nul (beschermingsaarde verbonden met de Nul)
PI (π)	Omtrek cirkel /diameter = 3,14159265359
t	Tijd in seconden
U	Spanning in Volt
VA	Volt Ampère ($U \cdot I \cdot \phi$) bij wissel spanning
W	Energie in Joule
W	Watt ($U \cdot I$) bij gelijkspanning
Z	Impedantie in Ohm Ω
λ	Lambda (golflengte)
φ	Arbeidsfactor (verhouding tussen $P_{\text{werkelijk}}$ en $P_{\text{schijnbaar}}$)
ω	Omega = $2\pi f$

Begrip	Beschrijving
Aarde	PE (Protective Earth) voor de persoonlijke bescherming. De 'aarde' heeft oV potentiaal. We gaan er vanuit dat alle delen die elektrisch verbonden zijn met aarde hetzelfde potentiaal als aarde hebben.
Afscherming	FE (Functional Earth) aarding voor apparaten en systemen in relatie met het functioneren ervan
Apparaat	Elk afgewerkt toestel of een samenstel ervan dat in de handel verkrijgbaar is als een aparte functionele eenheid ten behoeve van de eindgebruiker en dat in staat is elektromagnetische storingen te veroorzaken, of waarvan de prestaties vatbaar zijn om door dergelijke storingen te worden beïnvloed
Bifilair wikkelen	Het wikkelen van een dubbelgevouwen ader om de zelfinductie te verminderen
Capacitieve koppeling	Overdragen van verstoringen in opgebouwde capaciteiten (condensatoren). Metalen frame delen, lucht en kabels.
Commutator	Collector van de DC motor (lamellen waar de koolborstels op rusten)
Componenten	Die bedoeld zijn om door de eindgebruiker te worden ingebouwd in een apparaat en die in staat zijn elektromagnetische storingen te veroorzaken of waarvan de werking door dergelijke storingen kan worden beïnvloed
Condensator	Onderdeel waarin energie kan worden opgeslagen Waarde van condensatoren in Farad (F) Farad = 1F - 1F MilliFarad = 10^{-3} F - 1mF MicroFarad = 10^{-6} F - 1 μ F NanoFarad = 10^{-9} F - 1nf PicoFarad = 10^{-12} F - 1pF
Elektromagnetische compatibiliteit	Het vermogen van uitrusting om op bevredigende wijze in haar elektromagnetische omgeving te functioneren zonder zelf elektromagnetische storingen te veroorzaken die ontoelaatbaar zijn voor andere uitrusting in die omgeving
Elektromagnetische omgeving	Het geheel van waarneembare elektromagnetische verschijnselen op een bepaalde locatie.
Elektromagnetische storing	Elk elektromagnetisch verschijnsel dat een verslechtering van de prestaties van uitrusting kan veroorzaken. Een elektromagnetische storing kan een elektromagnetische ruis, een ongewenst signaal of een wijziging in het voortplantingsmilieu zelf zijn
Equipotentiaal verbinding	Vereffeningsverbinding, dit is een elektrische verbinding van aanraakbare metalen delen die er voor zorgt dat de onderling verbonden delen geen potentiaal verschil hebben. (Er staat geen spanning tussen de verschillende verbonden delen).
Galvanisch gescheiden	Er is geen elektrische verbinding tussen de delen die galvanisch gescheiden zijn
Geharmoniseerde normen	Normen gepubliceerd in het official Journal. Door toepassen van deze normen heeft men het vermoeden van overeenstemming
Hand capaciteit	Andere benaming voor parasitaire capaciteit
Immunititeit	Zie beschrijving ongevoeligheid
Impedantie	Heeft als kenletter Z, wordt uitgedrukt in Ohm Ω , is een complexe weerstand tussen een spoel (inductie L) en een condensator (capaciteit C)

Inductantie	Coëfficiënt van zelfinductie (gedrag van een spoel) uitgedrukt in Henry Henry = 1H - 1H MilliHenry = 10^{-3} H - 1mH MicroHenry = 10^{-6} H - 1μH NanoHenry = 10^{-9} H - 1nH
Inductie	Het opwekken van een spanning met een veranderend magnetisch veld
Kooi van Faraday	Een kooivormige constructie van elektrisch geleidend materiaal
Litze	Dit is een platte gevlochten geleider speciaal voor EMC
Magnetische permeabiliteit	Mate waarin het materiaal magnetisme geleid. Dit wordt uitgedrukt in μR. (Hoeveel keer het magneetveld liever door het materiaal heen gaat dan door de lucht).
Mobiele installaties	Omschreven als een combinatie van apparaten, en, waar van toepassing, andere inrichtingen, die bestemd is om te worden verplaatst en te worden gebruikt op een verscheidenheid van locaties
NEN 1010	Nederlandse implementatie van de HD IEC 60363 reeks
Ongevoeligheid	Het vermogen van uitrusting om in aanwezigheid van een elektromagnetische storing te kunnen functioneren zoals beoogd zonder verslechtering van prestaties
Parasitaire capaciteit:	Een condensator die onbedoeld ontstaat. (Een kabel met daarin twee aders met ertussen isolatie is een onbedoelde condensator)
PE	Protective Earth (beschermingsaarde)
PEN	Protective Earth gecombineerd met de Nul (beschermingsaarde verbonden met de Nul)
Potentiaal vrij	Er is geen potentiaal tussen de contacten. (er staat geen spanning over de contacten).
Richtlijn	Gepubliceerd door 'Brussel' en binnen de overgangstermijn als lokale wet bekrachtigd
Skin effect	Is het verschijnsel dat optreedt in geleiders waarin een wisselstroom loopt, de stroomdichtheid wordt hoger met het naderen van het oppervlak van de geleider
Strooi capaciteit	Capaciteit ontstaan door capacatieve koppeling
Subassemblages	Zie beschrijving componenten
TN-C systeem	T: Terra (Aarde), N: Neutral, C: Nul en aarde zijn gecombineerd
TT systeem	T: Terra (Aarde, Nul aan aarde bij de leverancier) T: Terra (Aarde, Aparte aarde bij de gebruiker)
TN-S systeem	T: Terra (Aarde), N: Neutral (Nul) S:Nul en aarde zijn in het gehele systeem gescheiden
Uitrusting	Elk apparaat of vaste installatie
Vaste installatie	Een specifieke combinatie van verschillende soorten apparaten en eventueel andere inrichtingen, die samengebouwd, geïnstalleerd en bestemd zijn voor permanent gebruik op een van tevoren vastgestelde locatie
Veiligheidsdoeleinden	De doeleinden van de bescherming van menselijk leven of bezittingen
Vereffeningstroom	Stroom die loopt tussen machinedelen die niet of onvoldoende elektrisch met elkaar zijn verbonden. Zie equipotentiaal verbinding
Verordening	Gepubliceerd door 'Brussel' en direct bij publicatie lokale wet

17. Links

Diverse handige links.

EMC richtlijn

https://ec.europa.eu/growth/single-market/european-standards/harmonised-standards/electromagnetic-compatibility_en

Official Journal EMC richtlijn

http://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/PDF/?uri=uriserv:OJ.C_.2015.014.01.0001.01.NLD

Europese richtlijnen

<http://ec.europa.eu/growth/single-market/european-standards/harmonised-standards/>

Symbolen

<http://incompliancemag.com/article/the-grounding-symbols/>

18. Bron(nen) documenten, illustraties

Omslag afbeelding, foto van Festo.
Richtlijn 2014/30/EU (EMC-richtlijn)
Norm EN IEC 60204-1:2016
Norm NEN 1010:2015
Norm IEC 60417:2008
Schneider electromagnetic compatibility install guide.
Hummel info
Rittal EMC-brochure

