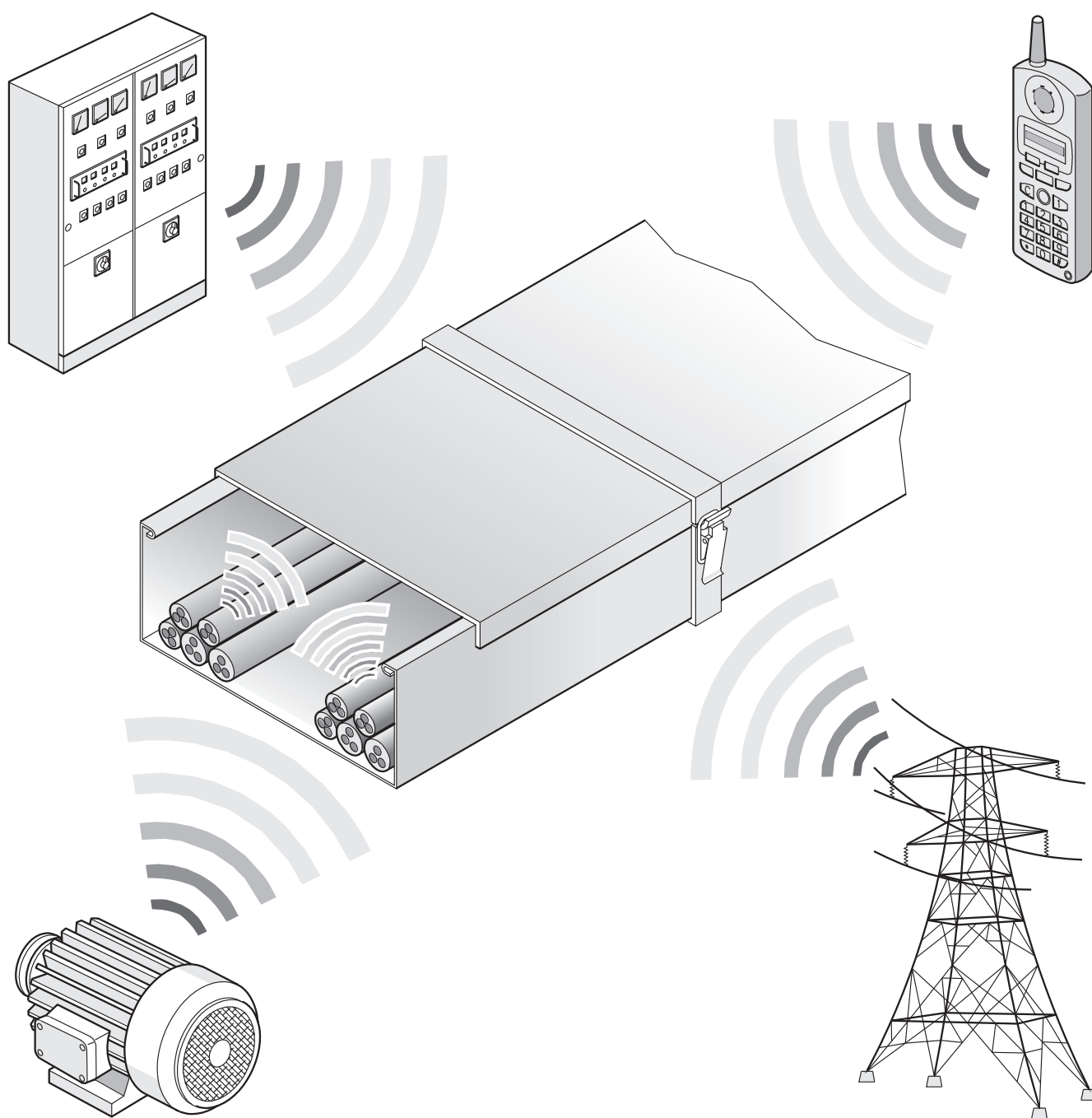


EMC en kabelkanalen



EMC



Inhoudsopgave

	Pagina		Pagina
Inleiding	H1-1-2	Bijlagen	H1-1-25
Basiskennis van EMC	H1-1-3	Dimensies van de grootheden	
Elektrische theorie	H1-1-6	Afkortingen	
Impedanties		Symbolenlijst	
Magnetisch veld		Referenties	
Elektrisch veld		Keuze van kabelkanalen in verband met EMC-eisen	H1-1-26
Fysische wetten en effecten	H1-1-9	UNIC	H1-1-28
Installatie van kabels in kabelkanalen	H1-1-9	RESIST	H1-1-28
Installatie van kabels		CRAFTY	H1-1-29
Kabelcategorieën		STREAMLINE	H1-1-29
Kasten indelen in EM-zones		TRAY	H1-1-30
Antennewerking		LOCK	H1-1-31
Afschermdende werking van metalen platen		TANDEM	H1-1-31
Aardingssysteem	H1-1-15	Trefwoordenlijst	H1-1-32
Dempingswaarden	H1-1-15		
Toepassing van de EMC-theorie op kabelkanalen	H1-1-16		
Inleiding			
Kasten			
CM-stromen			
Laagimpedante verbinding			
Afscherming			
Transfer-impedantie			
Gaten en perforaties			
Gebruik van kabelkanalen	H1-1-19		
Leggen van kabels in kanalen			
Gebruik kabelladders en kabelbanen			
Scheidingsschotten			
Kabelladder met extra platen			
Wandkanalen			
Conclusie	H1-1-24		

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of op enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Alle in deze documentatie voorkomende typebenamingen van de kabelkanalen en de tekeningen vallen onder het auteursrecht van Gouda Holland BV.

Inleiding

Gouda Holland

Uit de markt bereiken Gouda Holland steeds vaker vragen over de invloed van kabelkanalen op de ElektroMagnetische Compatibiliteit (EMC).

Uit diverse onderzoeken op het gebied van EMC is gebleken dat de vorm en de uitvoering van de in installaties toegepaste kabelkanalen een wezenlijke rol spelen in het bereiken van EMC.

Als specialist op het gebied van industriële kabelkanalen heeft Gouda Holland gemeend haar klanten via deze brochure op de hoogte te moeten brengen van de nieuwste ontwikkelingen op dit gebied.

In opdracht van Gouda Holland heeft drs. D.S.J. Schuur van PEMCO Physical and EMC Consultancy te Delden onderzoek verricht naar de effecten van de toepassing van de verschillende typen kabelkanalen op de EMC van installaties.

In deze brochure zijn de resultaten van dit onderzoek verwerkt tot praktische adviezen met betrekking tot de toepassing van kabelkanalen in een elektromagnetische omgeving.

EMC

"ElektroMagnetische Compatibiliteit" (EMC) is een gebied, dat de laatste tijd steeds meer aandacht vereist. Dat geldt ook bij de opbouw van systemen en installaties.

Daarvoor zijn een aantal redenen aan te wijzen. Het gebruik van gevoelige elektronica, zoals Programmable Logic Controllers (PLC's) en computers, neemt steeds toe. Dit gebeurt echter samen met het toenemende gebruik van sterk storende apparaten zoals frequentieregelaars voor motoren.

Ook storingen uit de omgeving spelen een rol. Daarbij moet bijvoorbeeld gedacht worden aan het gebruik van draagbare communicatie apparatuur (walkie-talkies, draadloze telefoons). Daarnaast moeten elektrische en elektronische apparaten aan de door de Europese Unie (EU) opgestelde EMC-richtlijn voldoen, die per 1 januari 1996 wettelijk geldig is.

Dit heeft ertoe geleid, dat ook systeembouwers een toenemende aandacht voor EMC gekregen hebben. Naast het elektrische deel is namelijk ook de opbouw van het mechanische deel van de installatie van invloed op de EMC. Vooral de samenbouw van metalen delen kan een gunstige invloed hebben. Bij installaties zijn door het hele systeem metalen delen aanwezig in de vorm van kabelkanalen. Als de constructie en de samenbouw daarvan aan bepaalde eisen voldoen zal dit de EMC van de installatie gunstig beïnvloeden.

Basiskennis van EMC

Basisbegrippen

Inleiding

Een aantal basisbegrippen uit de EMC zal kort worden behandeld, waarna op de EMC van kabelkanalen wordt ingegaan. Met deze kennis kunnen de EMC-maatregelen beter toegepast worden. Het blijkt namelijk, dat constructeurs in de praktijk vaak een aantal maatregelen nemen uit praktische ervaring zonder te weten dat dit eigenlijk EMC-maatregelen zijn. Als ook de achtergrond bekend is, waarom deze maatregelen werken, kunnen ze doelgerichter toegepast worden.

EMC

EMC staat voor ElektroMagnetische Compatibiliteit.

De definitie daarvan is: ElektroMagnetische Compatibiliteit is het vermogen van een elektrisch of elektronisch apparaat of systeem om in de elektromagnetische omgeving, waarin het staat opgesteld, zonder aantasting van de goede werking te functioneren en zonder andere apparaten of systemen in de omgeving door elektromagnetische storingen te beïnvloeden.

Uit deze definitie volgt, dat er EMC is als:

- de apparaten van het systeem elkaar onderling niet storen. Dit heet "Intra-systeem-EMC"
 - het systeem niet gestoord wordt door apparaten of systemen in de omgeving.
 - het systeem geen apparaten of systemen in de omgeving stoort.
- Deze laatste twee worden "Inter-systeem-EMC" genoemd.

Installatie

In de definitie wordt over apparaten en systemen gesproken. "Systemen" moeten hierbij breed opgevat worden. Hieronder worden ook installaties verstaan. In dit document zal verder hoofdzakelijk over installaties en de industriële toepassingen van de EMC gesproken worden.

Interferentie, EMI en storing

Interferentie is het veroorzaken van storing door elektromagnetische signalen. Hiervoor wordt de afkorting EMI, ElektroMagnetische Interferentie, gebruikt. Meestal wordt echter in plaats van interferentie over "storing" gesproken.

Verschil tussen EMI en EMC

Bij EMI wordt gesproken over het storen van één apparaat of installatie. Bij EMC wordt gesproken over de verdraagzaamheid tussen verschillende apparaten of installaties.

Stoorsignalen

Elektromagnetische energie wordt overgebracht door signalen. Als deze storing veroorzaken worden ze stoorsignalen genoemd. Deze kunnen bestaan uit:

- stoorsignalen op leidingen, ofwel geleide storing.
- stoorsignalen via straling, ofwel stoorstraling.

EM-omgeving

In de definitie van EMC wordt de "elektromagnetische (EM) omgeving" genoemd. Deze bestaat uit de elektromagnetische signalen, die op de plaats van de installatie aanwezig zijn. Deze EM-signalen kunnen de installatie storen. Daarbij moet gedacht worden aan:

- geleide storing van andere installaties via netkabels en verbindingkabels, bijvoorbeeld data-lijnen.
- stoorstraling van communicatiezenders, radarzenders en van industriële hoogfrequent-apparatuur, bijvoorbeeld voor verwarmen, lijmen, drogen, schoonmaken enzovoort.
- gevolgen van bliksem. Op beveiliging tegen bliksem wordt slechts zijdelings ingegaan.

De installatie zelf kan ook stoorsignalen veroorzaken en daarmee de EM-omgeving beïnvloeden, wat storing kan veroorzaken bij systemen die daarin opgesteld staan.

Emissie, storgevoeligheid en immuniteit

De begrippen emissie, storgevoeligheid en immuniteit hebben alle drie betrekking op de stoorsignalen (fig. 1).

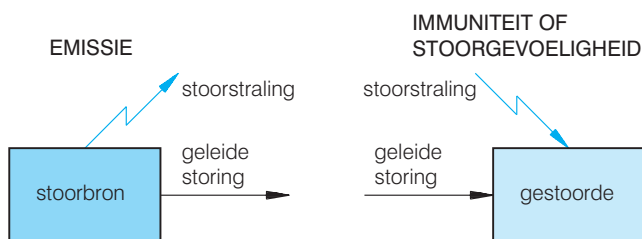


Fig. 1 Emissie, storgevoeligheid en immuniteit

Emissie

Emissie is het uitzenden van stoorsignalen. Dit gebeurt door een stoorbron of emitter.

Storgevoeligheid

Storgevoeligheid is het gevoelig zijn voor stoorsignalen. Het deel van een installatie dat gevoelig is, heet als het beïnvloed wordt gestoorde of susceptior.

Basiskennis van EMC

Basisbegrippen

Immunititeit

Immunititeit is het ongevoelig zijn voor stoorsignalen. Het is het tegengestelde van stoorgevoeligheid.

Interferentiemodel

In elk stoorprobleem zijn drie elementen aanwezig:

- stoorbron: een apparaat, dat stoorsignalen uitzendt.
- gestoorde: een apparaat, dat gevoelig is voor deze stoorsignalen.
- transportweg van het stoorsignaal tussen de stoorbron en gestoorde.

Deze basisvorm van interferentie kan weergegeven worden d.m.v. het drie-dozen-model (fig. 2):



Fig. 2 De drie elementen van een stoorprobleem

Transportwegen

De transportweg is de weg, die het stoorsignaal aflegt tussen de stoorbron en de gestoorde. Als het transport door koppeling plaatsvindt, wordt er wel van koppelweg gesproken.

Er zijn verschillende manieren voor het transport van stoorsignalen mogelijk, namelijk door (fig. 3):

- geleiding via
 - verbindingkabels
 - aardverbinding
- koppeling, onderverdeeld in:
 - via gemeenschappelijke impedantie in circuits
 - capacitief
 - inductief
- straling

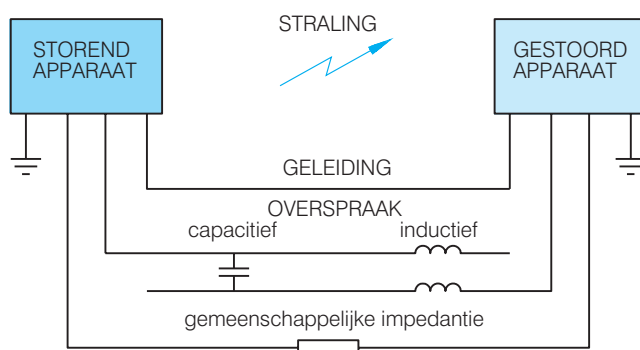


Fig. 3 Transportwegen voor stoorsignalen

Frequentiegebieden

Het frequentiegebied waarin de stoorsignalen kunnen voorkomen is groot. Het begint bij de netfrequentie (50 Hz) en loopt door in tientallen GHz. In de EMC-normen voor metingen is het frequentie-

gebied in een aantal deelgebieden opgesplitst. De frequentiegebieden zoals genoemd in de zogenaamde "generieke normen" worden in figuur 4 gegeven als getrokken lijnen. In specifieke productnormen kunnen nog andere frequentiegebieden genoemd worden, terwijl er daarnaast ontwerp-normen zijn waarin bepaalde frequentiegebieden uitgebreid worden. De laatsten zijn met streeplijnen in figuur 4 aangegeven.

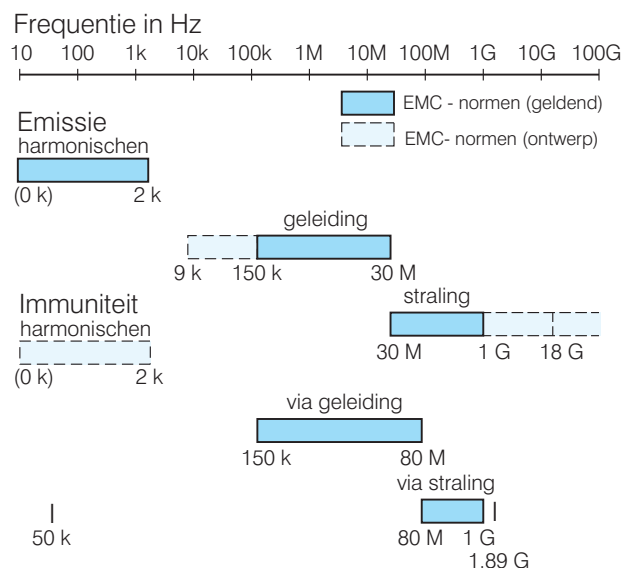


Fig. 4 Frequentiegebieden voor emissiemetingen en immunitietests

De belangrijkste frequentiegebieden zijn:

Emissie

geleide storing:

- laagfrequent gebied: 0 - 2 kHz
Hierin liggen de netfrequentie en harmonischen daarvan.
- hoogfrequent gebied: 150 kHz - 30 MHz
Hierin liggen stoorsignalen, veroorzaakt door elektrische en elektronische circuits, schakelverschijnsel enzovoort.

stoorstraling:

- hoogfrequent gebied: 30 MHz - 1 GHz
Hierin liggen elektrische velden veroorzaakt door elektrische en elektronische schakelingen, zenders enzovoort.

Immunitieit (frequentiedomein)

geleide storing:

- frequentiegebied: 150 kHz - 80 MHz

stoorstraling:

- frequentie: 50 MHz (magnetisch veld)
- frequentiegebied: 80 MHz - 1 GHz en 1,89 GHz (elektrische velden)

Basiskennis van EMC

Typen stoorsignalen

Naast immuniteitstest in het frequentiedomein moeten er tests in het tijdsdomein uitgevoerd worden; deze zijn:

Immuniteit (frequentiedomein)

- Elektrostatische ontladingen (ESD - electrostatic discharge)
- Snelle transiënten (EFT/burst) (EFT - electrical fast transients)
- Impulsen
- Netspanning-variaties, -dippen en -onderbrekingen

Typen stoorsignalen

De onderverdeling van stoorsignalen in geleide storing en stoorstraling is reeds genoemd. Beide kunnen verder onderverdeeld worden.

Geleide storing

Geleide storing wordt ingedeeld in:

Stoorspanning

Bij de stoorspanning wordt een indeling gemaakt in twee soorten (fig. 5 en 6):

- differential-mode (DM) of symmetrische stoorspanning. De DM-stoorspanning staat tussen de aders van een leiding.
- common-mode (CM) of asymmetrische stoorspanning. De CM-stoorspanning staat tussen één leiding, alle leidingen samen of kabel en de aarde.

Van deze spanningen is de DM-stoorspanning in het frequentiegebied onder 10 MHz het belangrijkste, daarboven de CM-storing.

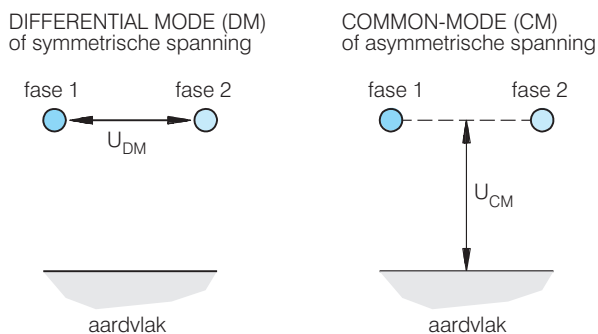


Fig. 5 Stoorspanningen

Stoorstroom

Ook de stoorstroom komt voor als:

- DM-stoorstroom door de aders van een leiding.
- CM-stoorstroom door kabels en aardings-systeem.

De CM-stoorstroom is een belangrijke oorzaak van interferentie. Deze zoekt zich vaak een weg door kabelmantels en het aardings-systeem, waardoor interferentie kan optreden (fig. 6).

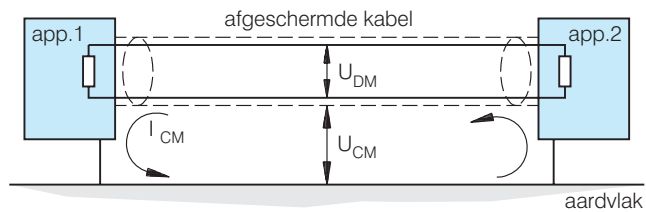


Fig. 6 Common-mode stoorsignaal

Stoorvermogen

Het stoorvermogen is het produkt van stoorspanning en stoorstroom. CM-stoorsignalen boven 30 MHz worden soms in stoorvermogen uitgedrukt.

Stoorstraling

Magnetisch veld of H-veld en magnetische inductie B:

Magnetische velden komen hoofdzakelijk voor in het frequentiegebied onder 30 MHz. Zij veroorzaken vooral storing in het lage frequentiegebied, de netfrequentie en harmonischen daarvan. Op korte afstanden (centimeters) gemeten worden ze vaak uitgedrukt in magnetische inductie.

Elektrisch veld of E-veld en elektromagnetisch veld S:

Elektrische velden zijn vooral storend in het hoge frequentiegebied, zeg boven 1 MHz.

Boven ongeveer 1 GHz worden ze als elektromagnetische velden aangeduid.

Pulsen

Naast de genoemde signalen aangegeven in het frequentiegebied, ook wel "frequentiedomein" genoemd, zijn er als stoorsignalen de pulsen die aangegeven worden als functie van de tijd of in het "tijdsdomein".

In de EMC-normen voor immuniteitstesten zijn van een aantal pulsen de vormen gedefiniëerd. Hiervoor wordt naar de normen verwezen. (IEC 1000-4-serie).

Elektrische theorie

Impedanties

Inleiding

Om de verschijnselen die de EMC bepalen beter te begrijpen wordt ingegaan op enkele facetten van de elektrische theorie. Dit wordt zeer beperkt gedaan en alleen voor de verschijnselen die met het leggen van kabels in een installatie te maken hebben.

Enkele waarden van grootheden van metalen gebruikt voor kabelkanalen worden in het hoofdstuk: "Fysische wetten" gegeven (Tabel 1). Een overzicht van de dimensies van de grootheden die in dit rapport gebruikt worden is in een bijlage gegeven.

Weerstand van een draad of strip

De ohmse weerstand van een metalen draad of strip wordt berekend met de formule:

$$R = \rho \cdot l / A$$

Hierin is: R - weerstand in Ω

ρ - soortelijke weerstand van metaal in Ωm

l - lengte van een draad of strip in m

A - doorsnede van een draad of strip in m^2

Zelfinductie van een draad

De impedantie van een draad wordt laagfrequent bepaald door een weerstand.

Een geleider heeft ook een zelfinductie, die bij hogere frequenties merkbaar wordt. Deze zelfinductie wordt bepaald door de grootte en de vorm van de doorsnede. Boven een frequentie van enkele honderden hertz wordt de impedantie van een geleider bepaald door de zelfinductie.

Dit is al het geval boven een frequentie van ongeveer 300 Hz. Als vuistregel voor de zelfinductie van een draad geldt:

$$L = 1 \mu\text{H/m}$$

Voor de impedantie van een zelfinductie geldt:

$$Z = 2 \pi f L$$

Hierin is: Z - impedantie in Ω

f - frequentie in Hz

L - zelfinductie in H

Boven de frequentie, waar de impedantie tengevolge van de zelfinductie de weerstandswaarde overheerst, neemt de impedantie van een draad toe met de frequentie (fig. 7).

Impedantie van een strip

Een strip heeft een lagere impedantie dan een draad tengevolge van de lagere zelfinductie. Een

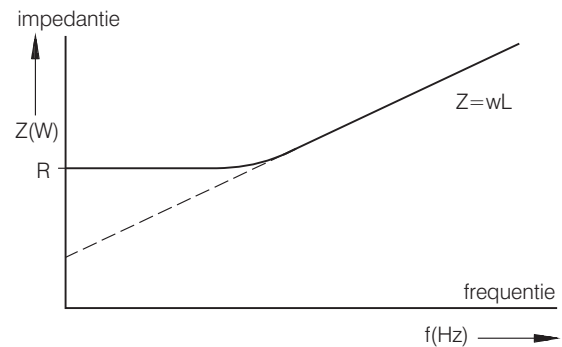


Fig. 7 Impedantie van een geleider als functie van de frequentie

strip met een breedte b en een dikte c wordt vergeleken met een draad met een diameter d (fig. 8).

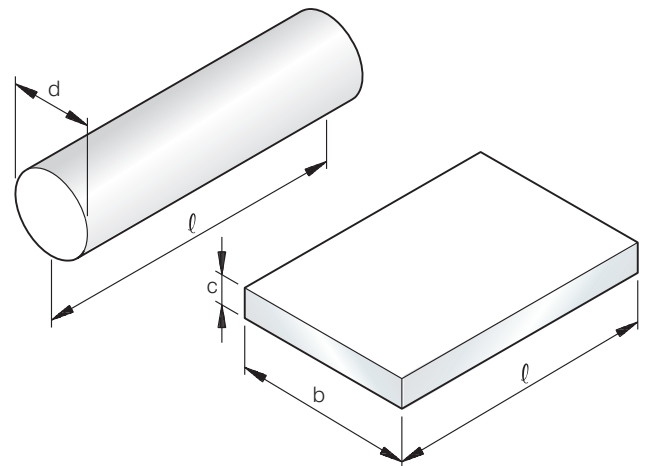


Fig. 8 De zelfinductie van een ronde draad is hoger dan van een brede strip

Theoretisch is bij benadering de zelfinductie van de strip kleiner met een factor: $2d/(b + c)$. Des te breder de strip, des te lager de zelfinductie. Er volgt ook uit, dat bij brede strippen de dikte niet zo belangrijk is, omdat deze wegvalt tegen de breedte b. De dikte van de strip wordt in de praktijk bepaald door de mechanische sterkte.

Daarnaast komt nog het voordeel van het skineffect. Bij hoge frequenties wordt bij een strip een groter deel van de doorsnede gebruikt voor de stroom. Hierop wordt later ingegaan. Ook dit effect verlaagt de impedantie voor hoogfrequent stromen van een strip ten opzichte van een draad.

De zelfinductie van geleiders kan dus klein gehouden worden door het gebruik van brede strippen. Het kort houden van de lengte beperkt in alle gevallen de impedantie.

Deze techniek wordt toegepast bij kabelkanalen. Een kabelkanaal kan beschouwd worden als een brede strip.

Elektrische theorie

Magnetisch veld

Magnetische veldsterkte van een draad

De magnetische veldsterkte H van een draad, waarin een stroom I loopt, is volgens de wet van Biot en Savart op een afstand r gelijk aan (fig. 9):

$$H = I / 2 \pi r$$

Hierin is: H - magnetische veldsterkte in A/m

I - stroom in A

r - afstand tot de draad in m

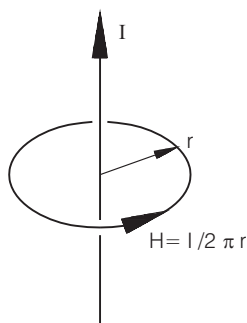


Fig. 9 Magnetisch veld van een draad

Magnetische veldsterkte van twee parallelle draden

De magnetische veldsterkte van twee parallelle draden op een afstand d van elkaar waarin stromen van dezelfde grootte in tegengestelde richting lopen (fig. 10), is:

$$H = I \cdot d / 2 \pi \cdot r^2$$

Hierin is: H - magnetische veldsterkte in A/m

d - afstand tussen de draden in m

I - stroom in A

r - afstand tot de draad in m

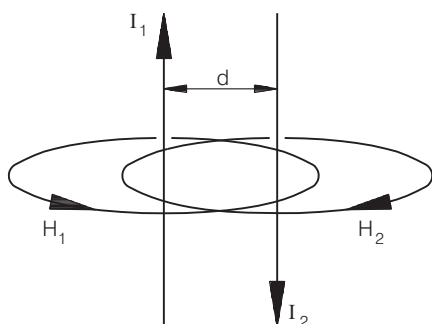


Fig. 10 Magnetisch veld van twee parallelle draden

Omdat de stromen in de draden van een circuit in tegengestelde richting lopen, zullen ook de magnetische velden tegengesteld gericht zijn. Ze zullen elkaar daardoor voor een groot deel compenseren. Des te dichter de draden bij elkaar lopen, dus des te kleiner d , des te beter de compensatie en des te kleiner de resterende

magnetische veldsterkte. Dit heeft tot gevolg dat de veldsterkte met het kwadraat van de afstand tot de draden afneemt.

Deze techniek wordt toegepast bij een kabel op een kabelkanaal. Het kabelscherm vormt de ene "draad" en het kabelkanaal de andere.

Magnetische veldsterkte van een ronde lus

De magnetische veldsterkte H van een ronde lus met straal r , dus ook van een spoel met één winding, waarin een stroom I loopt, is in het centrum van de lus (fig. 11):

$$H = I / 2 r$$

Hierin is: H - magnetische veldsterkte in A/m

I - stroom in A

r - straal van de lus in m

Voor een spoel met n windingen is de veldsterkte n maal zo groot.

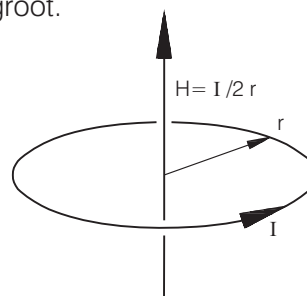


Fig. 11 Magnetisch veld van een lus

Buiten de lus neemt de veldsterkte af met de afstand tot de lus (fig. 12). Op enige afstand van de lus, bijvoorbeeld in punt P, is de afname van de veldsterkte evenredig met de derde macht van de afstand d tot het vlak van de lus.

Deze techniek wordt toegepast bij een lus in het aardingsysteem, bijvoorbeeld gevormd door een kabelscherm en een kabelkanaal.

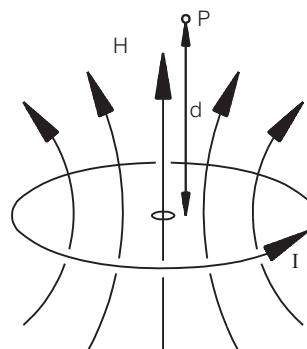


Fig. 12 Afname van de magnetische veldsterkte op afstand van de lus

Elektrische theorie

Magnetisch veld

Magnetische veldsterkte van een langgerekte lus

Voor een langgerekte lus kan de magnetische veldsterkte van twee parallelle draden genomen worden.

Magnetische inductie

Voor de magnetische inductie geldt:

$$B = \mu_o \cdot \mu_r \cdot H$$

Hierin is: B - magnetische inductie in T
 μ_o - magnetische permeabiliteit in vacuüm ($\mu_o = 4 \pi \cdot 10^{-7}$ H/m)
 μ_r - relatieve magnetische permeabiliteit van het medium
H - magnetische veldsterkte in A/m

Magnetische flux

Voor de magnetische flux geldt:

$$\Phi = B \cdot A = \mu A H$$

Hierin is: Φ - magnetische flux in Wb
A - oppervlak van een lus in m²
H - magnetische veldsterkte in A/m

Elektrisch veld

Antennewerking

Een geleider werkt als een elektrische antenne. Een spanning op deze geleider zal een elektrisch veld veroorzaken. Er zijn twee elementen nodig, waartussen de spanning staat. Bij een draadantenne is het andere element meestal het aardvlak. De effectiviteit van een elektrische antenne hangt af van de lengte in verhouding tot de golflengte. De golflengte wordt uit de frequentie berekend met de formule:

$$\lambda = c / f$$

Hierin is: λ - golflengte in m
f - frequentie in Hz
c - lichtsnelheid ($3 \cdot 10^8$ m/s)

Elektrisch veld

Voor korte antennes (lengte kleiner dan $0,1\lambda$) is de effectiviteit evenredig met de verhouding lengte tot golflengte. Een aan twee zijden aangesloten geleider, zoals een kabelmantel, werkt effectief als antenne als de lengte gelijk is aan:

$$\ell = \frac{1}{2}\lambda \cdot n \quad \text{met } n = 1, 2, 3, \dots$$

Bijvoorbeeld:

Een stoorsignaal met een frequentie: $f = 10$ MHz, waarbij een golflengte hoort van: $\lambda = 30$ m, zal goed door een kabel met een lengte: $\ell = \frac{1}{2}\lambda = 15$ m uitgestraald worden, maar ook door een kabel met een lengte: $\ell = 30$ m, 45 m enzovoort

Voor een aan één zijde aangesloten geleider die als een staafantenne werkt geldt voor het effectief als antenne werken een lengte:

$$\ell = \frac{1}{4}\lambda (1 + 2n) \quad \text{met } n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

De golflengten in de metalen zijn in werkelijkheid iets kleiner, omdat met een verkortingsfactor gerekend moet worden; de snelheid van een signaal in een geleider is immers kleiner dan de lichtsnelheid (zie ref. 2).

Elektrische veldsterkte

Voor de elektrische veldsterkte, veroorzaakt op een bepaalde afstand van een antenne, wordt een benaderingsformule gegeven. Deze luidt:

$$E = 7 \sqrt{P / r}$$

Hierin is: E - elektrische veldsterkte in V/m
P - vermogen van de zender in W
r - afstand tot de antenne of bron in m

Theoretisch geldt deze formule niet dicht bij de antenne maar pas op een afstand die gelijk is aan $1/6$ van de golflengte van het antennesignaal. (Iets preciezer geldt de formule voor een afstand: $r > \lambda / 2 \pi$).

In de praktijk blijkt de formule ook goed bruikbaar voor de berekening van de veldsterkte van willekeurige stralingsbronnen en kan zelfs gebruikt worden op kleinere afstanden tot de bron dan $1/6$ van de golflengte.

Dit wordt toegepast bij kabels en kasten die als elektrische antenne werken.

Fysische wetten en effecten

Stroomwet van Kirchhoff

De stroomwet van Kirchhoff zegt: Voor een knooppunt zijn de stromen nul (fig. 13a). Daarbij moet wel de stroomrichting in aanmerking worden genomen.

Uit deze wet volgt, dat stromen alleen in kringen kunnen lopen (fig. 13b).

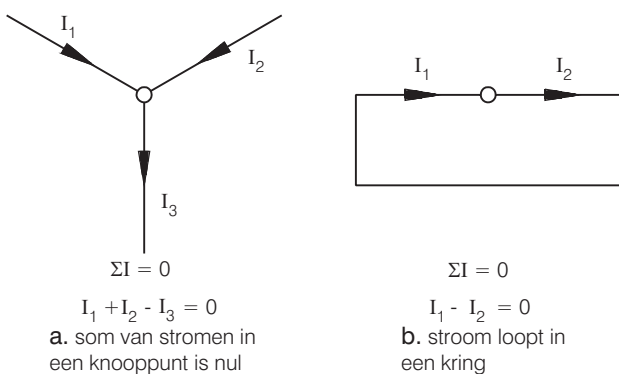


Fig. 13 Stroomwet van Kirchhoff

Wet van Lenz

De wet van Lenz zegt: Een wisselend magnetisch veld veroorzaakt in een kring een stroom, die de oorzaak tegenwerkt.

De geïnduceerde stroom wekt een veld op tegengesteld aan het veld, dat de stroom opwekte.

Uit deze wet volgt, dat in een stroomkring de retourstroom een zodanige weg kiest, dat de magnetische flux zo klein mogelijk is.

Voor de magnetische flux geldt:

$$\Phi = \mu A H$$

- Hierin is: Φ - magnetische flux in Wb
 μ - magnetische permeabiliteit in H/m
 A - oppervlak van een lus in m^2
 H - magnetische veldsterkte in A/m

De flux is een frequentieafhankelijke grootheid, zoals uit de dimensie blijkt: $Wb = V \cdot s = V/Hz$

De magnetische flux kan klein gehouden worden, als het oppervlak A klein gemaakt wordt. De retourstroom zoekt een zodanige weg, dat het oppervlak tussen heen- en retourgeleider klein is. Als de retourstroom de mogelijkheid geboden wordt, zal deze zo dicht mogelijk bij de heengaande stroom lopen.

Dit wordt toegepast bij een kabelkanaal met een kabel, waarvan de Common-mode stroom een retourweg zoekt zo dicht mogelijk bij de stroom in de kabel.

Proef.

Dit verschijnsel kan met een proef aangetoond worden. In een U-vormige metalen buis wordt een stroomdraad gelegd (fig. 14). Eén eind wordt met de buis verbonden en het andere eind met een stroombron. De einden van de buis worden met een metalen stang verbonden (A in fig. 14). Wordt een stroom met toenemende frequentie door de draad gestuurd, dan zal deze hoofdzakelijk de lange weg door de buis (B) nemen en niet de korte weg door de stang A. Bij de netfrequentie ($f = 50 \text{ Hz}$) geldt al, dat $I_A = 0,1 I_B$

In plaats van een buis kan een gesloten kabelkanaal genomen worden.

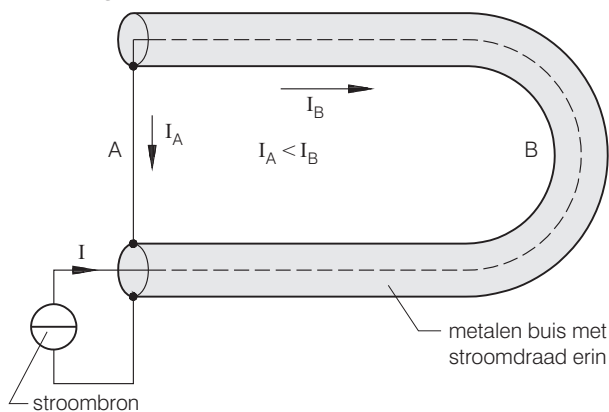


Fig. 14 Proef om de Wet van Lenz aan te tonen

Skinneffect

Het skinneffect is het effect, dat bij hoge frequenties de stroom niet de gehele geleider gebruikt, maar slechts in een dunne laag aan de buitenzijde loopt (fig. 15). De stroom neemt naar het midden van de geleider steeds verder af. De diepte waarop de stroomsterkte, gerekend vanaf de buitenkant, tot $1/e$ gedaald is, heet de skindiepte δ . (e - grondtal van de natuurlijke logaritme, $e = 2,718..$).

Bij berekeningen wordt er van uitgegaan dat op drie skindieptes de stroom verwaarloosbaar klein is.

De skindiepte wordt berekend met de formule:

$$\delta = 1 / \sqrt{\{\pi \cdot f \cdot \sigma \cdot \mu\}} = 503 / \sqrt{\{f \cdot \sigma \cdot \mu_r\}}$$

- Hierin is: δ - skindiepte in m
 f - frequentie in Hz
 σ - soortelijke geleiding in S/m
 μ_r - relatieve permeabiliteit van het metaal

Fysische wetten en effecten

Opmerking: de soortelijke geleiding s is het omgekeerde van de soortelijke weerstand r , dus $\sigma = 1 / \rho$ (ρ in $\Omega \cdot m$).

Uit de formule volgt dat:

- des te hoger de frequentie, des te dunner het laagje waarin de stroom loopt.
- des te lager de soortelijke weerstand, dus hoe hoger de soortelijke geleiding, des te dunner het laagje waarin de stroom loopt
- bij een magnetiseerbaar metaal, dus bijvoorbeeld staal, is de μ , groter dan 1 en is de skindiepte kleiner.

Voorbeelden van skindiepten voor verschillende metalen zijn in *Tabel 1* gegeven. Waar voor een bepaalde waarde een gebied is gegeven voor de skindiepte, is bij de berekening de gemiddelde waarde genomen.

Om het effect van de skindiepte op de stroom te verkleinen, is het beter een strip te gebruiken dan een ronde draad. Dit is in *fig. 15* te zien voor een draad en een strip van dezelfde doorsnede. Een kabelkanaal bestaat uit brede metalen stroken en is daarom een gunstige constructie in verband met het skineffect.

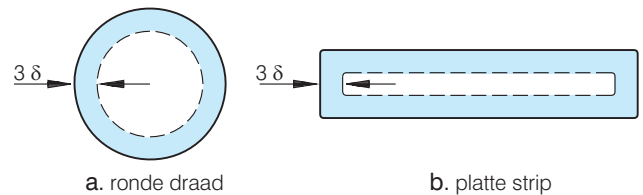


Fig. 15 Skineffect

Wat de metalen voor kabelkanalen betreft is roestvaststaal door de grote skindiepte gunstig voor het geleiden van hoogfrequent stromen. Staal is gunstiger voor afscherming vanwege de kleine skindiepte veroorzaakt door de hoge relatieve permeabiliteit. In de praktijk blijken zowel roestvaststaal als staal goed te voldoen.

Tabel 1 Voorbeelden van skindiepten in verschillende metalen

materiaal	soortelijke weerstand ρ in $10^{-9} \Omega \cdot m$	relatieve permeabil. μ_r	skindiepte		frequentie $f = 1 \text{ MHz}$ 3δ in mm
			δ in m	in mm	
koper	18	1	$0,067/\sqrt{f}$	$67/\sqrt{f}$	0,20
aluminium	28	1	$0,084/\sqrt{f}$	$84/\sqrt{f}$	0,25
staal	110	500-1000 (750)	$0,006/\sqrt{f}$	$6/\sqrt{f}$	0,02
roestvaststaal	720-800 (760)	1,0	$0,44/\sqrt{f}$	$440/\sqrt{f}$	1,3

Installatie van kabels in kabelkanalen

Installatie van kabels

De manier van kabellegging in installaties is belangrijk voor het bereiken van EMC. Daarbij speelt de EM-omgeving een rol. In een sterk storende omgeving moet extra aandacht aan stoorgevoelige kabels besteed worden om deze niet te beïnvloeden. Omgekeerd moet in een EM-omgeving met lage niveaus extra aandacht aan storende kabels gegeven worden om de omgeving niet te vervuilen.

De typen kabels die gebruikt worden, spelen eveneens een rol. Er wordt aangenomen dat waar nodig afgeschermd kabels gebruikt zijn. De afschermmantels van kabels moeten aan beide zijden aangesloten worden. Dit is nodig om hoogfrequent velden te kunnen afschermen. Er kunnen dan in de kabelschermen stromen lopen, die nodig zijn om de invloeden van de velden te beperken.

Bij lage eisen aan de afschermende werking kunnen in plaats van koperen afschermmantels ook stalen armeringen gebruikt worden.

Op het uitzonderingsgeval, waarbij een kabelscherm slechts aan één zijde aangesloten wordt, wordt hier kort ingegaan (zie Ref. 2).

Uit EMC-oogpunt moet een afscherming aan twee zijden aangesloten worden. In bepaalde gevallen, bijvoorbeeld bij laagfrequent analoge signalen, is het gunstiger de afscherming aan één zijde te verbinden. In dat geval moet een kabel met twee van elkaar geïsoleerde schermen gebruikt worden. De buitenste mantel, soms een armering, wordt aan twee zijden aangesloten. De binnste aan één zijde, de controlezijde.

Veel stoorvelden komen voor in het MHz-gebied (tientallen MHz), dus bij golflengten van tientallen meters. Door hun afmetingen werken kabels in dat gebied effectiever als antenne dan apparaten of cabinetten.

Deze laatste hebben antennelengten die overeenkomen met frequenties van enkele honderden MHz. In een installatie zullen het daardoor meestal de kabels zijn die als antenne voor stoorstraling werken.

Zowel emissie (fig. 16) als inkoppeling van straling (fig. 17) zal hoofdzakelijk door kabels plaatsvinden.

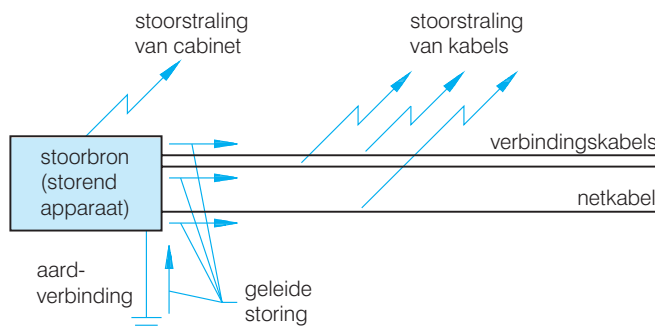


Fig. 16 Emissie van stoorsignalen

Storende kabels:

Kabels kunnen stoorsignalen over grote afstanden transporteren. Daarbij kan een storende kabel:

- storing koppelen in parallel lopende kabels.
- storing uitstralen in de vorm van een elektrisch veld, dus als staaf- of draadantenne werken.
- een magnetisch veld uitstralen, als de kabel een deel van een lus vormt.
- een magnetisch veld veroorzaken rond een kabel, als er hoge stromen in de kabel lopen. Dit geldt hoofdzakelijk voor stromen in de netfrequentie en harmonischen daarvan.
- ook kan storing direct in apparaten gekoppeld worden.

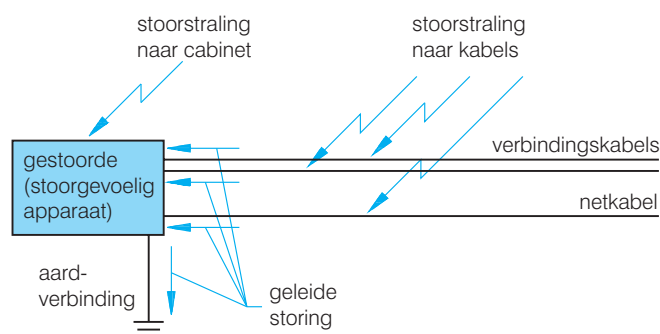


Fig. 17 Inkoppeling van stoorsignalen

Stoorgevoelige kabels:

Op soortgelijke manieren als bij de emissie door storende kabels kunnen stoorgevoelige kabels storing oppikken.

De genoemde effecten kunnen op een aantal manieren tegengegaan worden. Dit zijn:

- indeling van kabels in kabelcategorieën.
- separatie tussen kabels van verschillende categorieën.
- verkleining van de antennewerking van kabels
- verkleinen van de lus, die een kabel vormt.
- leggen van kabels op geaarde kabelkanalen.
- extra afschermen van kabels door gebruik van kabelkanalen met deksel.

Installatie van kabels in kabelkanalen

Kabelcategorieën

Kabels kunnen ingedeeld worden in een aantal categorieën naar graad van storende werking of stoor gevoeligheid.

Dit wordt bepaald aan de hand van de niveaus en frequenties van de signalen op de kabels of van de steilheid bij pulsen.

In de praktijk worden indelingen gemaakt in 3 - 6 categorieën.

Een veel gebruikte indeling is in drie categorieën:

- indifferente kabels.

Deze zijn weinig storend en weinig stoor gevoelig.

- stoor gevoelige kabels.

Hiertoe behoren bijvoorbeeld de voedingskabels en datakabels.

- storende kabels.

Hiertoe behoren bijvoorbeeld de stuur- en controlekabels zoals kabels met frequentie-regelende signalen voor motoren.

In bijzondere gevallen kunnen extra categorieën gekozen worden, bijvoorbeeld:

- zeer stoor gevoelige kabels. Kabels met zeer lage signaalniveaus, bijvoorbeeld van sensoren.
- sterk storende kabels. Kabels met hoge energieniveaus, hoge frequenties of hoog-vermogens pulsen.

De kabels worden in groepen van dezelfde categorie gelegd. De afstand tussen de opeenvolgende categorieën op hetzelfde kabelkanaal moet zijn:

- minimaal 20 cm voor kabelcategorieën op kabelkanalen (laddertypen).
- minimaal 15 cm voor kabelcategorieën in kabelkanalen (gesloten typen) met doorlopende massieve of geperforeerde bodem.

Tabel 2 Maatregelen bij installatie van kabels in kabelkanalen; ingedeeld in categorieën en verschillende EM-omgevingen

Kabelcategorie	EM-omgeving			
	zeer stoor gevoelig	normaal	sterk storend	
zeer stoor gevoelig	X	E	EE	Maatregelen X - normaal E - extra EE - dubbel extra
stoor gevoelig	X	X	E	
indifferent	X	X	X	
storend	E	X	X	
sterk storend	EE	E	X	

Ook wordt wel als afstand genoemd 10 keer de diameter van de dikste kabel.

De onderling afstand tussen open kabelkanalen moet minimaal 15 cm zijn.

Bij het nemen van afschermmaatregelen, bijvoorbeeld door het gebruik van gesloten kabelkanalen, speelt naast de kabelcategorie de

EM-omgeving een rol. Een stoor gevoelige kabel in een sterk storende EM-omgeving moet op dezelfde manier behandeld worden als een zeer stoor gevoelige kabel in een "normale" EM-omgeving. Deze maatregelen zijn aangegeven in Tabel 2. Op dit overzicht wordt verder ingegaan bij de bespreking van kabelkanalen.

Opmerking: Een systeemleverancier kan voorschrijven, dat alle kabels van zijn systeem samengelegd moeten worden. In dat geval is het aan te bevelen deze kabels als een aparte categorie te leggen.

Kasten indelen in EM-zones

De elektrische en elektronische componenten en circuits in kasten kunnen, analoog als bij kabels de indeling in categorieën, ingedeeld worden in zones met stoor gevoelige (EM-zone 2), storingsneutrale (EM-zone 3) en storende (EM-zone 4) schakelingen. Het is aan te bevelen elk van de soorten schakelingen in een afzonderlijke kast onder te brengen en deze op enige afstand van elkaar te plaatsen. Ook een opstelling met een storingsneutrale kast als afscherming tussen stoor gevoelige en storende kasten werkt goed (fig. 18).

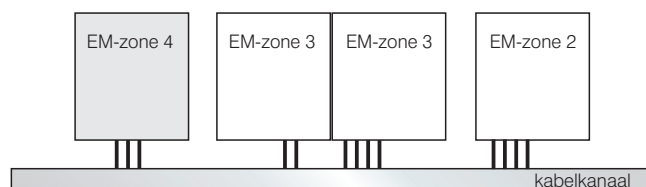


Fig. 18 Kasten met schakelingen van verschillend storend of stoor gevoelig niveau moeten op enige afstand van elkaar geplaatst worden

Bij kleine installaties, waarbij alle schakelingen in één kast ondergebracht zijn, moeten van elkaar afgeschermde compartimenten in de kast aangebracht worden voor elk van de soorten schakelingen (fig. 19).

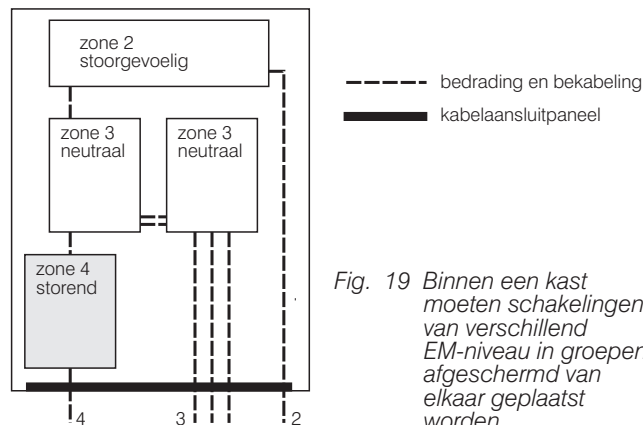


Fig. 19 Binnen een kast moeten schakelingen van verschillend EM-niveau in groepen afgeschermd van elkaar geplaatst worden

Installatie van kabels in kabelkanalen

Antennewerking

Elektrische antenne

De antennewerking van kabels kan verkleind worden door ze dicht op een metalen vlak, het aardvlak, te leggen. De capaciteit naar aarde wordt dan zo groot, dat de effectiviteit als straler naar de omgeving sterk afneemt. Daarmee neemt ook de mogelijkheid tot het ontstaan van elektrische velden af.

Elektrische velden zullen alleen ontstaan, als er elektrische spanningen aanwezig zijn. Dit zal hoofdzakelijk het geval zijn bij niet-afgeschermd kabels.

Als een kabel afgeschermd is, zal de spanning van de afschermingsmantel door aansluiting van de einden van de mantel op het aardvlak laag zijn en nauwelijks een elektrisch veld veroorzaken.

Lus

Veronderstel dat in een kabelmantel een stoorstroom, bijvoorbeeld een CM-stroom, loopt (fig. 20a). De retourstroom daarvan loopt in het aardvlak. Dit is in de praktijk een veel voorkomend geval.

Het lusoppervlak, dat de stroom doorloopt, kan kleiner gemaakt worden als langs de kabel een parallelle aardverbinding gelegd wordt (fig. 20b). Een goede methode om dit te doen is de kabel in een kabelkanaal te leggen (fig. 20c). Dit geldt speciaal als het vlak onder de kabel gesloten is, zodat de retourstroom direct onder de kabel kan lopen.

Aangezien de magnetische veldsterkte evenredig is met het oppervlak van de lus, neemt hierdoor de veldsterkte af.

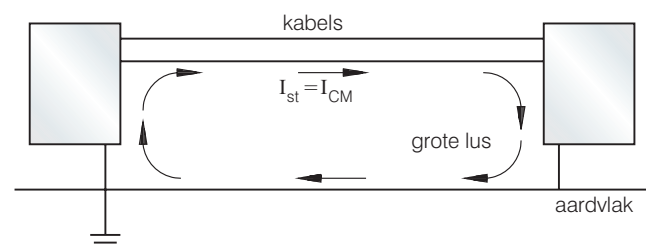


Fig. 20a Lus met CM-stoorstroom

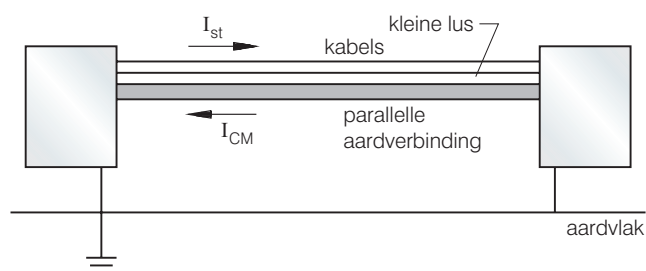


Fig. 20b Verkleining lus door parallele aardverbinding

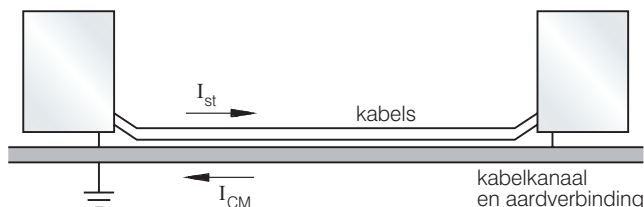


Fig. 20c Verkleining lus door gebruik kabelkanaal

Enkele draad of kabel

De magnetische veldsterkte van een stroom in een draad of kabel kan verkleind worden door de retourgeleider er zo dicht mogelijk bij te leggen. Elk circuit moet daarom zijn eigen retourgeleider hebben. Sterke stromen komen vooral voor bij hoogvermogensnetten, waarbij afzonderlijke strippen voor elke fase gebruikt worden. Koppeling met andere kabels of apparaten wordt verkleind door vergroting van de afstand tot de draad of kabel. Andere EMC-maatregelen zijn hier nauwelijks te nemen omdat afscherming van velden in de netfrequenties en harmonischen daarvan moeilijk is.

Voorkomen van het ontstaan van velden

Naast het leggen van kabels op een aardvlak kan ook op andere manieren het ontstaan van velden voorkomen worden.

Elektrische velden, veroorzaakt door elektrische spanningen op de aders van de kabel, kunnen verkleind worden door een afgeschermd kabel te gebruiken of de kabel in een afgeschermd kabelkanaal te leggen.

Magnetische velden tengevolge van CM-stromen kunnen verkleind worden door de grootte van de stromen of het oppervlak van de lus te verkleinen. Dit kan vaak bereikt worden door verbindingen in het aardingssysteem te wijzigen. Hiervoor moeten metingen uitgevoerd worden om de weg van de stromen te bepalen.

Gevolgen van het aanbrengen van het aardvlak

Het aanbrengen van een aardvlak onder kabels heeft een aantal gunstige effecten op de EMC van de installatie.

Elektrisch veld:

- de elektrische veldsterkte neemt af.
- de koppeling met een parallel lopende kabel neemt af. Dit gebeurt in de verhouding van de capaciteit van de kabel naar het aardvlak en de capaciteit naar de parallel lopende kabel.

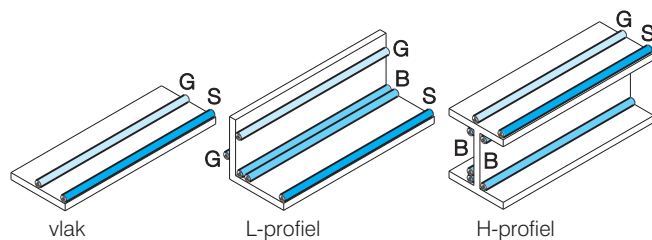
Magnetisch veld:

- de magnetische veldsterkte, veroorzaakt door stroom in een lus gevormd door kabel en aardvlak, neemt af.
- de koppeling tussen twee kabels neemt af door afname van de oppervlakken van de lussen tussen kabel en aardvlak.

Installatie van kabels in kabelkanalen

Afscherpende werking van metalen platen

Metalen platen en balken hebben een zekere afscherpende werking. Voor de afscherming van kabels kan daarvan gebruik gemaakt worden (fig. 21). Bij een strip moeten kabels in het midden gelegd worden. Dit geeft een redelijke afscherming. Bij een L-vormige balk moeten kabels in de hoek gelegd worden, wat een goede afscherming geeft. Bij een goot, zoals bij een H-balk voorkomt, is de afscherming in de hoeken eveneens goed.



B - beste plaats: in de hoek van een profiel
G - goede plaats: midden op een vlak
S - slechtste plaats: aan de rand van een vlak

Fig. 21 Afscherpende werking van metalen platen en balken

Des te dieper de goot, des te beter de afscherpende werking. De beste afscherming wordt verkregen door een kabelkanaal met deksel of een pijp (fig. 22).

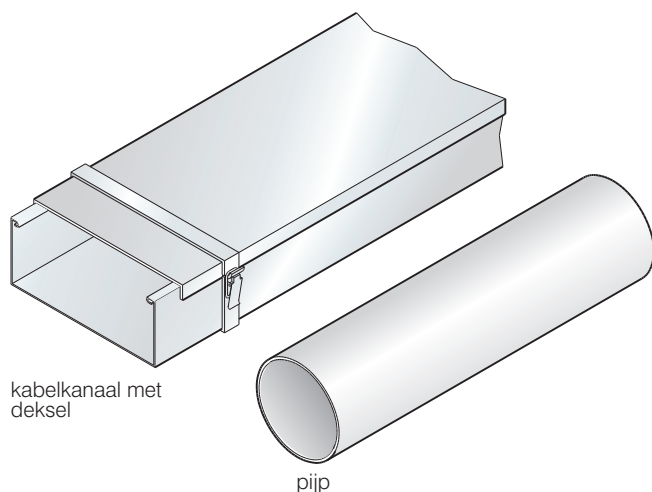


Fig. 22 De hoogste afscherming wordt verkregen met een gesloten constructie

Aardings- systeem

Dempings- waarden

EMC

Aardingsysteem

Het aanbrengen van een aardingsysteem is een EMC-maatregel waar veel aandacht aan geschonken moet worden omdat de werking van andere EMC-maatregelen, zoals afscherming, filtering en bliksembeveiliging, afhankelijk zijn van een laagimpedant aardingsysteem. Het beste aardingsysteem is een aardvlak. De werking daarvan is al een aantal malen genoemd. In de praktijk is een aardvlak bij installaties niet te realiseren en wordt gebruik gemaakt van een maasaarde.

Het aardingsysteem bestaat uit alle metalen delen van de installatie die onderling laag-impedant doorverbonden zijn. Dit zijn bijvoorbeeld de constructiedelen, zoals de stalen balken. Soms wordt ook het betonijzer van het gebouw hierbij betrokken. Ook de kabelkanalen worden gebruikt om de mazen van het aardingsysteem te verkleinen (zie bijvoorbeeld *fig. 23*).

Ze moeten op zoveel mogelijk plaatsen, maar minimaal om de 10 m, met het aardingsysteem verbonden worden, bijvoorbeeld bij de consoles.

Uit EMC-oogpunt behoeft het aardingsysteem niet met een ingegraven aardingsnetwerk of aard-elektroden verbonden te worden. In de praktijk is dit wel het geval, omdat het EMC-aardingsysteem met de veiligheidsaarde (PE) en de bliksembeveiligingsinstallatie (BBI) verbonden is (*fig. 23*).

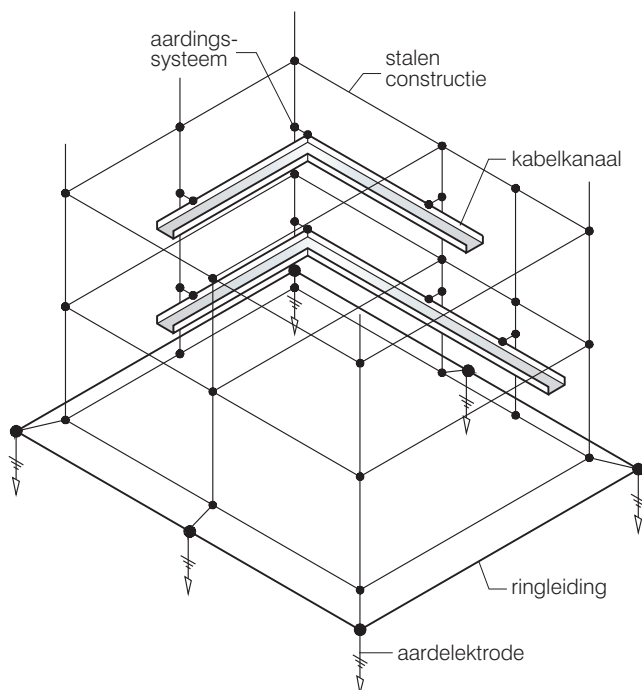


Fig. 23 EMC-aardingsysteem van gebouw (schematisch)

Naast dit EMC-aardingsysteem is het veiligheidsaardingsysteem aanwezig. Dit bestaat uit geel/groene draden. Soms wordt de veiligheidsaarde uitgevoerd in koperen banden, bijvoorbeeld met een doorsnede van 5 mm x 20 mm. Deze kunnen parallel aan de kabelkanalen gelegd worden. De beide aardingsystemen worden op meerdere plaatsen met elkaar verbonden.

Dempingswaarden

In de literatuur worden vaak dB-waarden van dempingen genoemd. Daarom wordt kort op de berekening van dempingswaarden ingegaan. De dempingswaarde van een EMC-maatregel wordt bepaald door de verhouding van het onverzwakte en verzwakte signaal. Wordt bijvoorbeeld de verzwakking door een afschermwand van een elektrische veldsterkte genomen (*fig. 24*), dan volgt:

$$A = 20 \log (E_{in} / E_{uit})$$

Hierin is:

- A - dempingswaarde in dB
- E_{in} - invallende elektrische veldsterkte in V/m
- E_{uit} - veldsterkte, verzwakt door de afschermwand in V/m

Voorbeeld:

Als het signaal 10 x verzwakt wordt, dus:

$$E_{in} / E_{uit} = 10$$

dan is de demping:

$$A = 20 \log 10 = 20 \text{ dB}$$

Evenzo volgt bij een verzwakking met een factor 100 een waarde van 40 dB, een factor 1000 een waarde van 60 dB enzovoort.

Hieruit blijkt, dat vaak niet zulke grote dempingswaarden nodig zijn om een storend signaal voldoende te verzwakken.

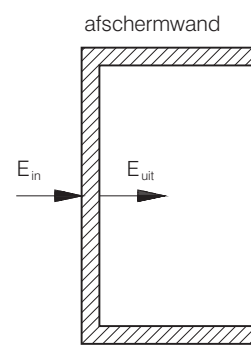


Fig. 24 Dempende werking van een afschermwand

Toepassing van de EMC-theorie op kabelkanalen

Inleiding

Het ontwerp van kabelkanalen kan een belangrijke rol spelen in het realiseren van EMC van een installatie. Dit geldt uiteraard alleen voor kabelkanalen uit metaal.

Ze kunnen namelijk het aardvlak onder de kabels vormen. Kabelkanalen uit kunststof hebben geen enkele invloed op de EMC van de installatie. De constructie en de montage van de kabelkanalen moeten aan een aantal voorwaarden voldoen om de EMC van de installatie te verbeteren. De regels daarvoor worden beschreven. Een aantal van deze regels is ook te vinden in een norm: IEC 61000-5-2 (Ref. 3).

Kasten

Kabelkanalen worden tussen en langs de kasten van een installatie aangebracht om de kabels op een overzichtelijke manier tussen de kasten aan te brengen. Onder kasten wordt hier verstaan alle soorten behuizingen als: cabinetten, consoles, junction boxes, schakelkasten, instrumentatiekasten, kastenbatterijen enzovoort.

Er wordt aangenomen, dat de kasten van metaal gemaakt zijn en dus een zekere afschermende werking hebben.

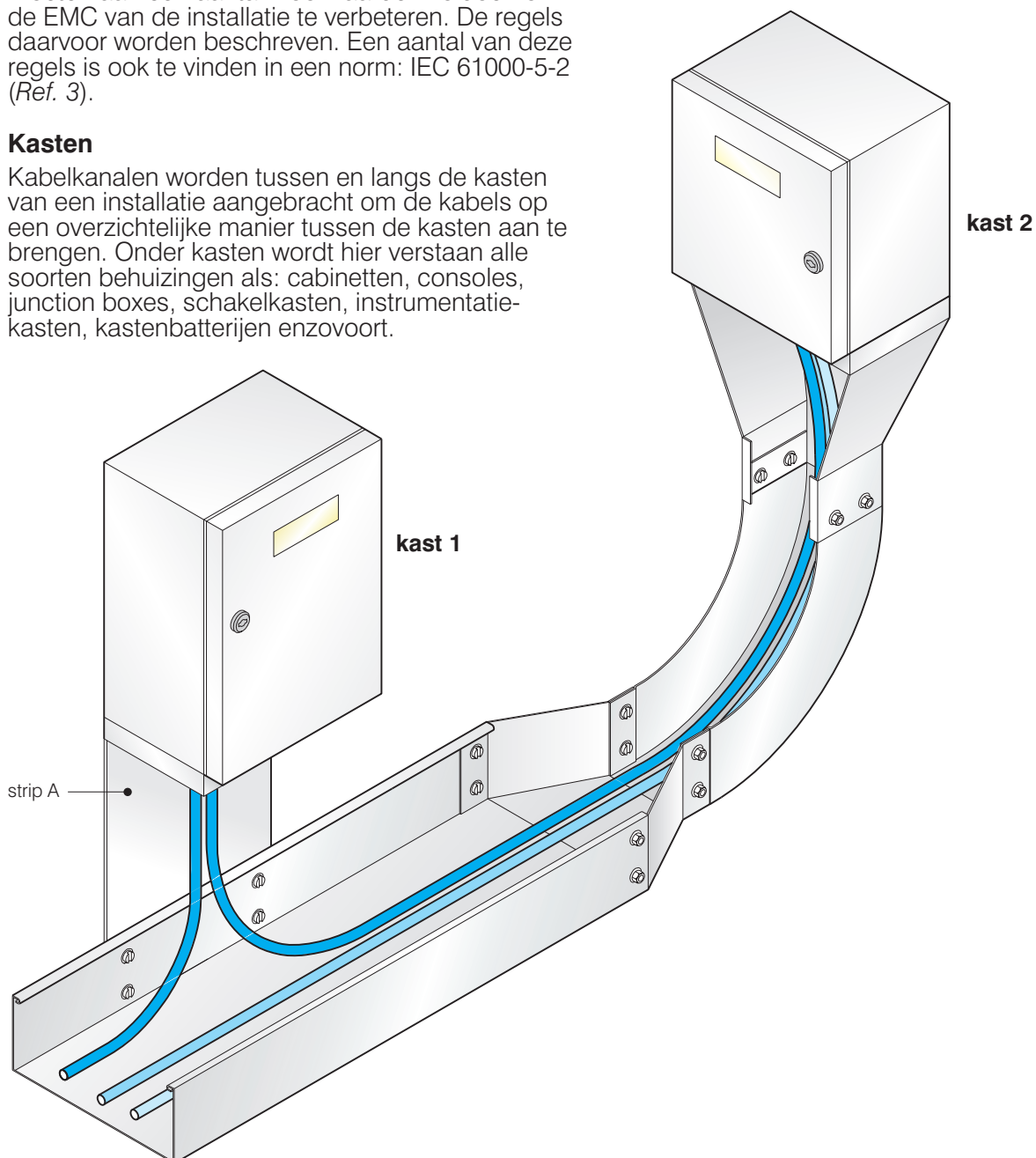


Fig. 25 Aardvlak onder kabels via kabelkanalen en aardstrippen van kast tot kast

Toepassing van de EMC-theorie op kabelkanalen

Kabelkanalen

CM-stromen

Kabelkanalen kunnen gebruikt worden om de retourstromen van CM-stromen in kabelmantels terug te voeren. Deze retourstromen moeten zo dicht mogelijk bij de stroom in de kabelmantel kunnen lopen zodat een zo klein mogelijke lus gevormd wordt.

De manier, waarop dit gerealiseerd kan worden, wordt hierna behandeld.

Laagimpedante verbinding

Het kabelkanaal moet een laagimpedante verbinding vormen van kast tot kast (fig. 25). De zijwanden, waaruit de kabelkanalen zijn opgebouwd, hebben een lage impedantie. Bij de overgangen tussen de delen moet de impedantie ook laag gehouden worden.

Dit kan bereikt worden door middel van een verbinding met lippen of koppelplaten, die met één (tot $h = 60$ mm) of meer bouten vastgezet worden. Daarbij is een laagohmig contact door een overlap of strippen, vastgezet met bouten, belangrijk (fig. 26, 27 en 28).

Dit laagohmig contact wordt bij voorkeur bereikt door de delen blank op blank aan elkaar te bevestigen of anders via de bouten. Bij gelakte kanalen moeten krasringen gebruikt worden (fig. 29).

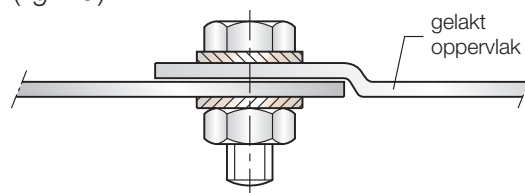


Fig. 29 Bij kabelkanalen met een gelakt oppervlak worden krasringen gebruikt om het geleidend contact te maken

De overgangsweerstand per complete verbinding tussen twee delen van een kabelkanaal mag niet hoger zijn dan $0,01\Omega$.

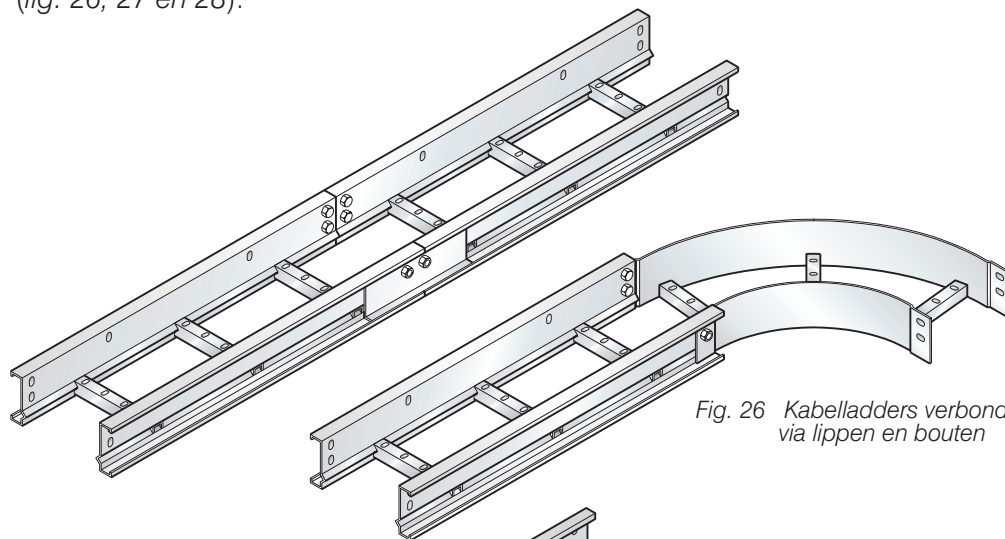


Fig. 26 Kabelladders verbonden via lippen en bouten

Fig. 27 Kabelladders verbonden via koppelplaten en bouten

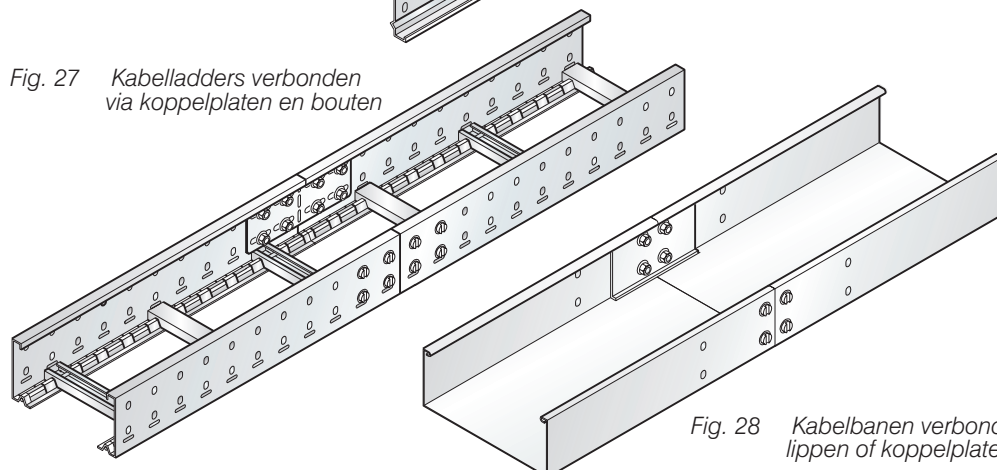


Fig. 28 Kabelbanen verbonden met lippen of koppelplaten

Toepassing van de EMC-theorie op kabelkanalen

Van het kabelkanaal naar de kasten, waarop de kabels aangesloten zijn, moeten eveneens brede koppelplaten aangebracht worden (fig. 21, strip A). Een verbinding met draden is niet voldoende vanwege de hoge impedantie van draden bij hoge frequenties. Dit geldt ook voor verbindingen tussen delen van de kabelkanalen. Er mogen geen onderbrekingen in de kabelkanalen voorkomen, die met kabels overbrugd worden. In fig. 30 zijn enkele foute constructies opgenomen en de manier, zoals het wel moet. Voorbeelden zijn onderbrekingen voor aftakkingen van kabels (fig. 30a), kabelkanalen, die een hoek om gaan (fig. 30b) en kabelkanalen, die door een muur gevoerd worden (fig. 30c).

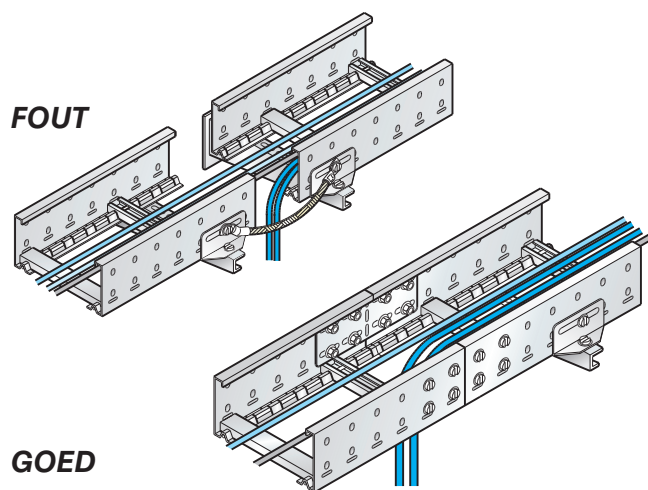


Fig. 30a Kabelkanaal met aftakking

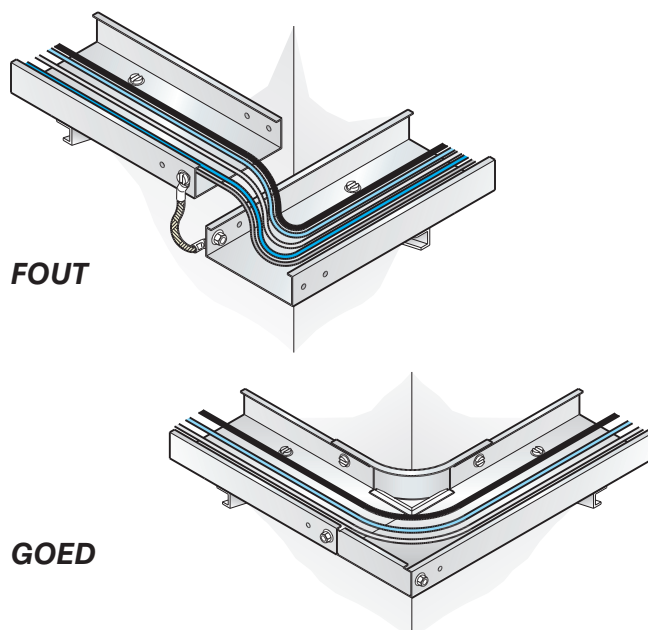


Fig. 30b Constructie bij kabelkanaal om de hoek

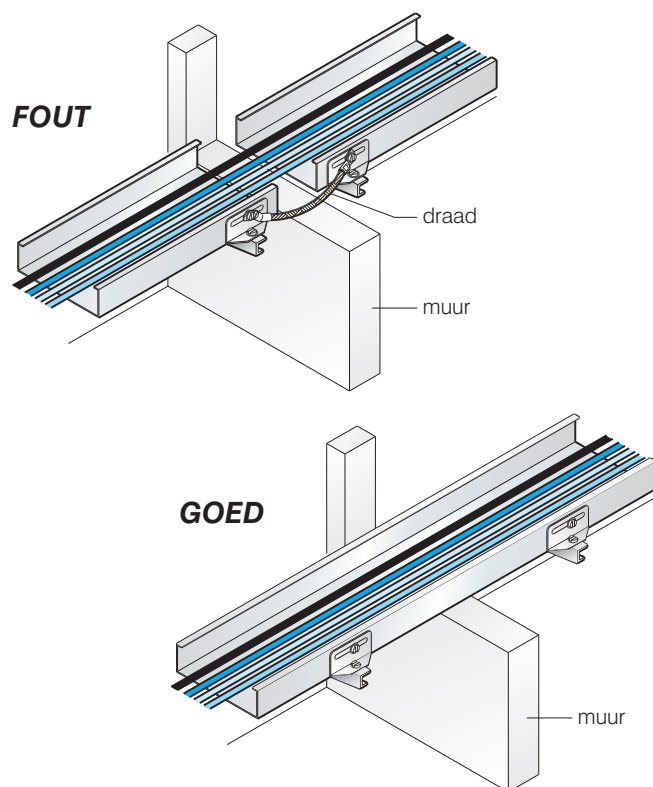


Fig. 30c Kabelkanaal bij doorvoer door een muur

Opmerking:
In verband met brandveiligheidsvoorschriften is in sommige gevallen het doorvoeren door een muur van een metalen kabelkanaal niet toegestaan. In dat geval moeten het grootste aantal toegestane litzeverbindingen aangebracht worden.

Fig. 30 Verbinding met litzen heeft uit EMC-oogpunt een te hoge impedantie

Afscherming

Kabelkanalen geven een zekere afscherming zoals beschreven bij fig. 21. Voor kabelladders geldt dat alleen voor de zijwanden analoog aan fig. 21a. Voor open kabelkanalen zijn de hoeken de zones, waar de afschermwerking het grootst is (fig. 31). Deze zones zijn bijvoorbeeld geschikt om stoorgevoelige kabels te leggen. Gesloten kabelkanalen geven de grootste demping.

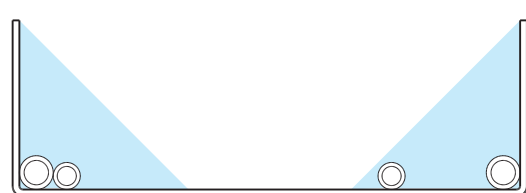


Fig. 31 Zones binnen een kabelkanaal met de beste afscherming

Toepassing van de EMC-theorie op kabelkanalen

Transfer-impedantie

In analogie met kabels kan ook bij kabelkanalen van een transfer-impedantie gesproken worden (Ref. 4). De transfer-impedantie van een kabelkanaal is ruwweg de verhouding tussen de spanning, die over een kabel op een kabelkanaal gekoppeld wordt en de stroom door het kabelkanaal, die deze spanning veroorzaakt (fig. 32).

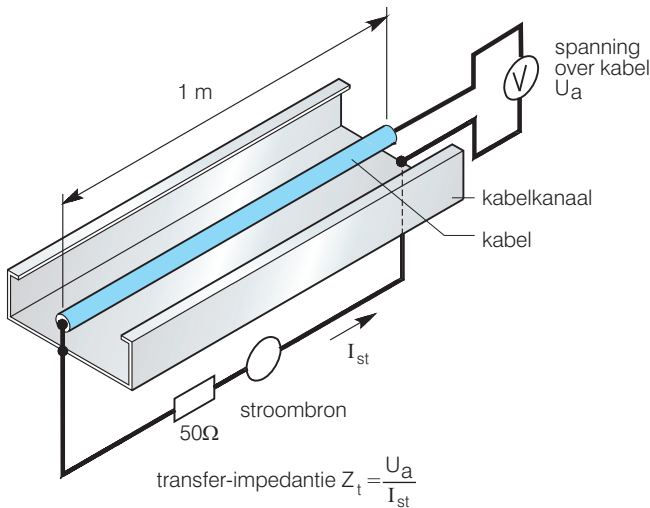


Fig. 32 Transfer-impedantie van een kabelkanaal

De transfer-impedantie wordt per meter gegeven. Des te lager de transfer-impedantie des te beter, want des te kleiner de ingekoppelde spanning. De transfer-impedantie hangt nauw samen met de hoogfrequent-impedantie van het kabelkanaal. De delen, waaruit een kabelkanaal is opgebouwd, hebben elk een lage transfer-impedantie. In de praktijk zal de transfer-impedantie van het totaal gemonteerde kanaal tussen twee kasten hoofdzakelijk bepaald worden door de overgangen tussen de delen van de kabelkanalen en de verbindingen met de kasten. Door deze laag-impedant te houden, veroorzaakt een stroom een kleine spanning en zal de ingekoppelde spanning in een kabel ook klein zijn. Uit metingen aan een U-vormig kabelkanaal blijkt, dat een overgang van 4 naar 12 bouten per verbinding de transfer-impedantie laagfrequent met een factor 2 en hoogfrequent met een factor 4 verlaagt. Bij het veel gebruikte aantal van 8 bouten is de verlaging ten opzichte van 4 bouten laagfrequent een factor 1,5 en hoogfrequent een factor 2 (fig. 33a). De overgang van twee verbindingstrippen aan de zijken naar een U-vormige strip, vastgezet met hetzelfde aantal bouten, geeft laagfrequent een verlaging met een factor 2 en hoogfrequent met een factor 4 (fig. 33b).

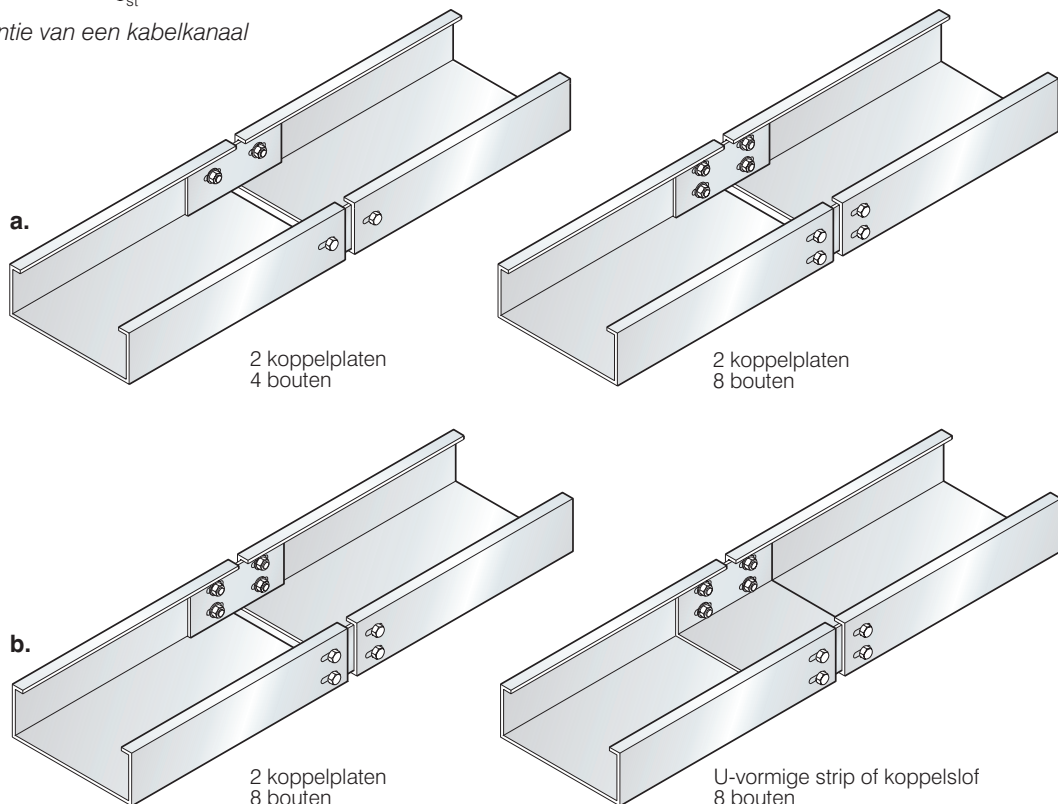


Fig. 33 Verbindingsmethoden tussen de kabelkanalen

Toepassing van de EMC-theorie op kabelkanalen

Gaten en perforaties

De kabelkanalen zijn van gaten voorzien voor montage doeleinden en soms voor drainage. In de praktijk hebben deze gaten geen merkbare invloed op eventuele stoorstromen in de kanalen.

Bij kabelkanalen zijn de bodems en opstaande randen soms van perforaties of sleuven voorzien. De perforaties en sleuven moeten zodanig aangebracht worden, dat in de lengterichting een stroom zo weinig mogelijk gehinderd wordt (fig. 34). Sleuven of perforaties dwars op de lengterichting zijn daarom ongewenst (fig. 35).

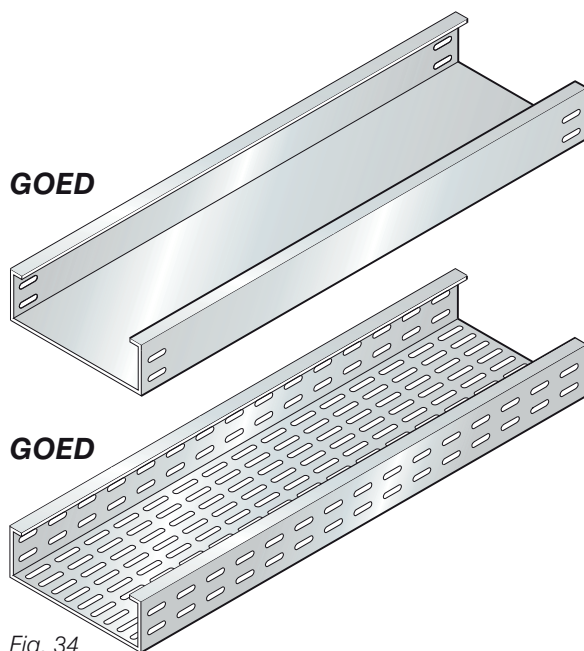


Fig. 34

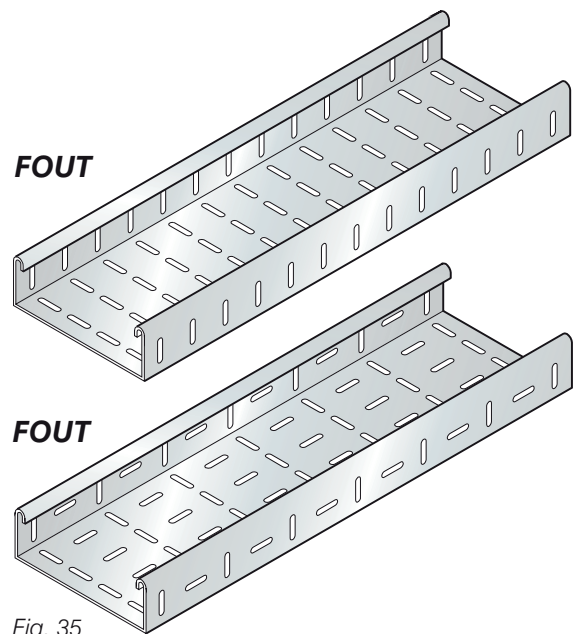


Fig. 35

Gebruik van kabelkanalen

Leggen van kabels in kanalen

De kabels kunnen worden ingedeeld in categorieën. Het geval van drie kabelcategorieën wordt behandeld:

- indifferente kabels (voeding).
- storende kabels (controle kabels).
- storgevoelige kabels (data kabels).

De sterkst storende en meest storgevoelige kabels moeten zo dicht mogelijk tegen het aardvlak gelegd worden.

Als er veel kabels in elk van de categorieën aanwezig zijn, kan elke kabelcategorie in een apart kabelkanaal gelegd worden (fig. 36).

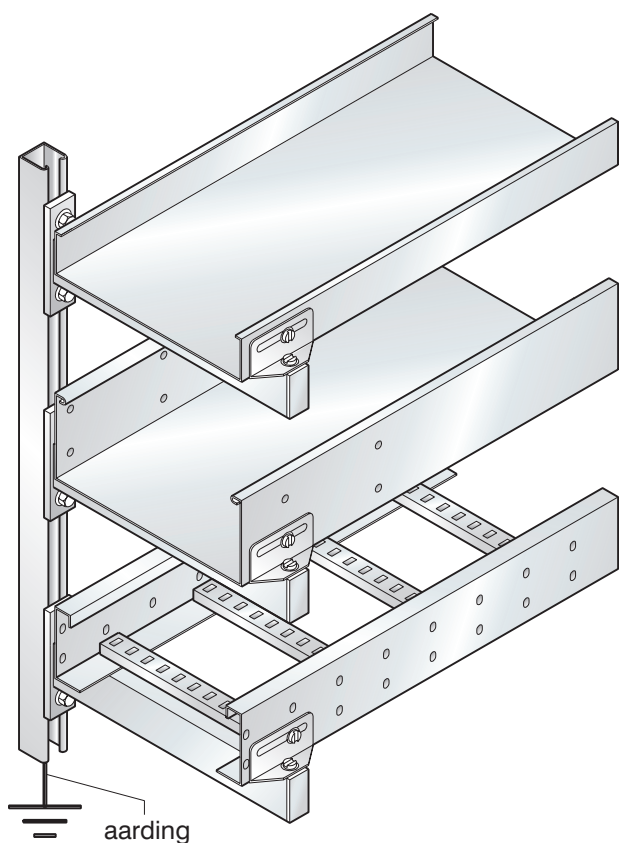


Fig. 36 Apart kabelkanaal voor elke kabelcategorie
Aarding via bevestigingsbeugels

Worden meerdere kabelcategorieën in één kabelkanaal gelegd, dan moeten ze elk apart met een tussenruimte gelegd worden (fig. 32).

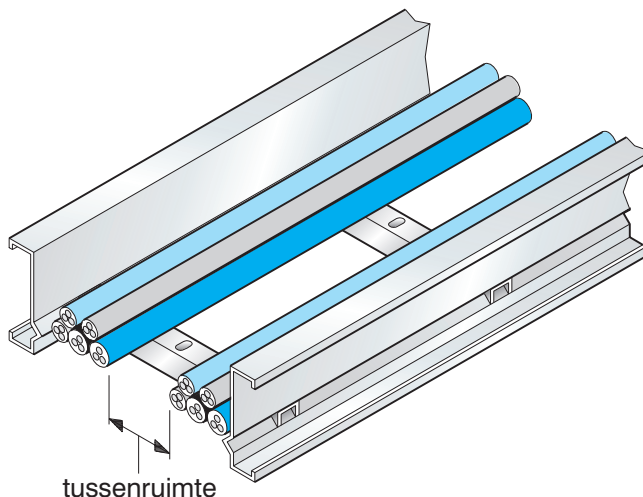


Fig. 37 Tussenuimte tussen verschillende kabelcategorieën
op een kabelladder 20 cm per kabelcategorie.

De kabelcategorieën moeten in volgorde van stoor-eigenschappen gelegd worden. Dus bijvoorbeeld bij drie categorieën moeten de indifferente kabels in het midden gelegd worden als afscherming tussen de storende en storgevoelige kabels (fig. 38).

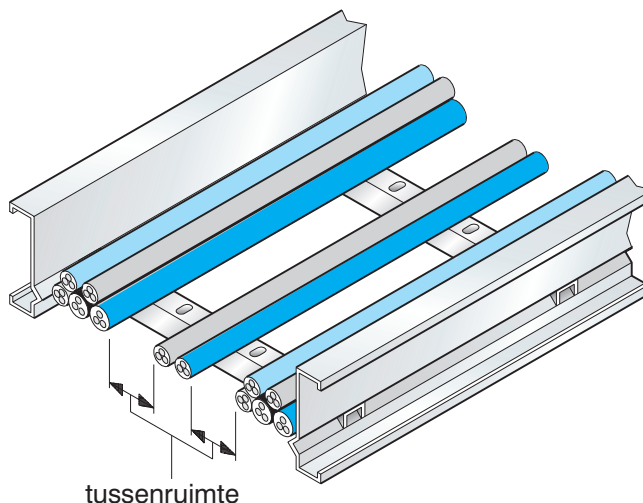


Fig. 38 Tussenuimte tussen verschillende kabelcategorieën
Indifferente kabelcategorieën tussen storende en
storgevoelige categorieën werkt als afscherming

Gebruik van kabelkanalen

Gebruik kabelladders en kabelbanen

Onder "normale" omstandigheden kunnen kabelladders gebruikt worden. Dit is de situatie wanneer er geen sterke stoorbronnen of zeer gevoelige apparaten aanwezig zijn. Er kunnen zich echter bijzondere omstandigheden met betrekking tot de EMC van de installatie of de omgeving voordoen, bijvoorbeeld als er:

- sterk storende kabels aanwezig zijn, die door een omgeving met stoorgevoelige kabels of apparaten lopen.
- zeer stoorgevoelige kabels aanwezig zijn, die door een omgeving met sterk storende kabels of apparaten lopen.
- zowel sterk storende als zeer stoorgevoelige kabels aanwezig zijn.

In deze gevallen kan het voorkomen, dat het gebruik van kabelladders niet voldoende is. Er moet gebruik gemaakt worden van kabelbanen van geperforeerde of massieve plaat (fig. 39). Deze hebben de volgende voordelen:

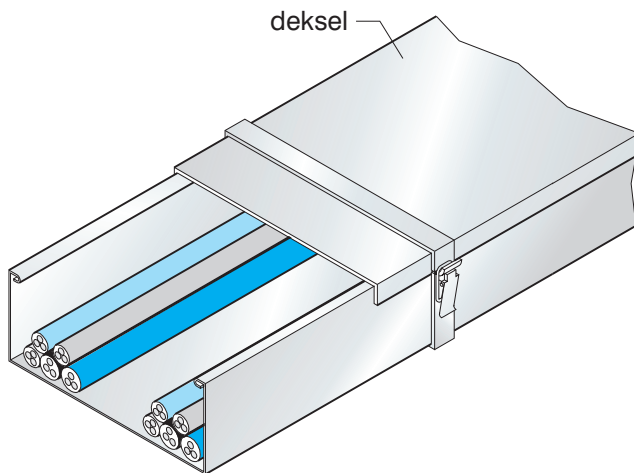


Fig. 39 Kabelbaan schermt af, speciaal als een deksel aangebracht wordt
Kabels liggen op of dicht bij aardvlak

- meer kabels liggen direct op een geaard vlak of er dicht tegenaan.
- bij kabelbanen is er een grotere afschermende werking naar de omgeving dan bij kabelladders.

De afschermende werking bij kabelladders kan vergroot worden door ze niet helemaal met kabels te vullen, maar minstens 1 cm onder de rand te blijven.

De afschermende werking kan eveneens versterkt worden door het aanbrengen van deksels.

Bij hoge eisen moeten de kabelbanen over de gehele doorsnede geleidend

verbonden worden op de verbindingplaatsen. Dit kan gebeuren met koppelsloffen (fig. 40).

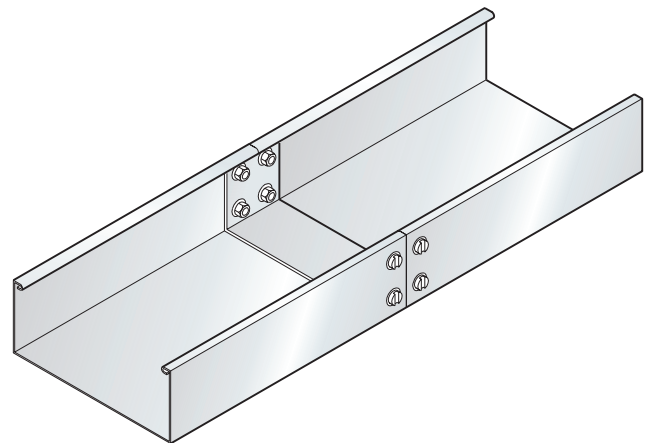


Fig. 40 Verbinding met overlap bij kabelbaan

Betrokken op Tabel 2 betekent dit:

- X - "normale" kabellegging, bijvoorbeeld kabelladders.
- E - extra maatregelen in de vorm van een doorlopend aardvlak onder de kabels, bijvoorbeeld kabelladders met geperforeerde of massieve bodemplaten of kabelbanen.
- EE - extra maatregelen in de vorm van een kabelbaan met U-vormige koppelplaten.

Scheidingsschotten

Als er niet voldoende ruimte tussen de kabels van de verschillende categorieën op een kabelkanaal kan worden gelaten, dan kunnen de categorieën gescheiden worden door scheidingsschotten (fig. 41 en 42).

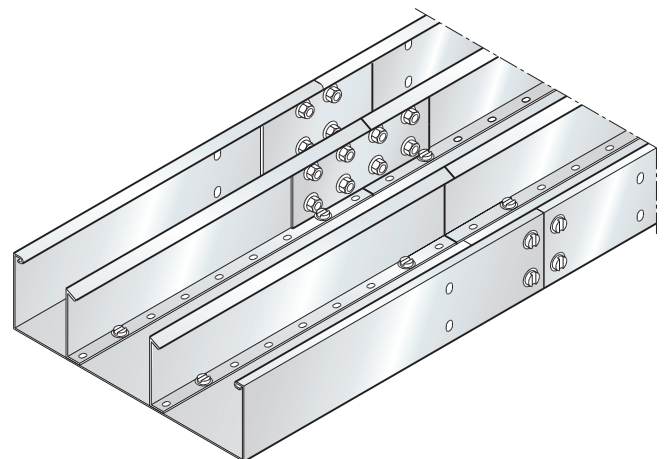


Fig. 41 Kabelkanaal met scheidingsschotten

Gebruik van kabelkanalen

EMC

Deze moeten op de verbindingplaatsen doorverbonden worden. Bij aftakkingen van kabels mogen de scheidingsschotten onderbroken worden, bij voorkeur echter over een lengte van niet meer dan 0,5 m.

Scheidingsschotten werken goed, als de kabelcategorieën aan weerszijden van het schot niet meer dan één categorie verschillen. Bij open kanalen is er kans op onderlinge beïnvloeding, als de kabels meer dan één categorie verschillen.

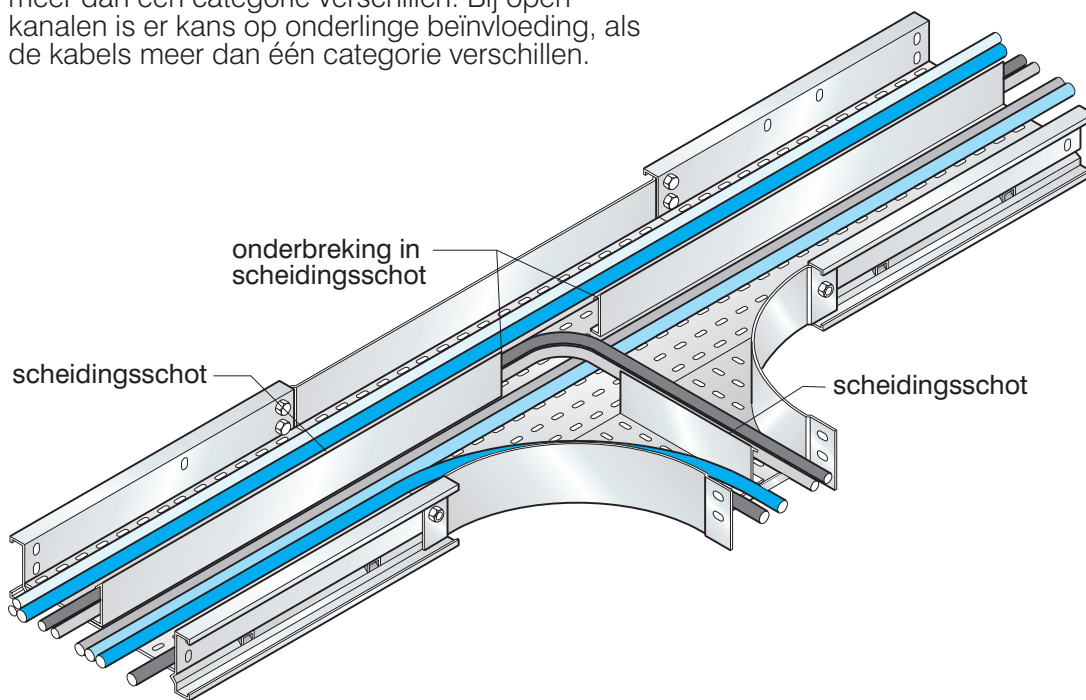


Fig. 42 Kabelladder met bodemplaten en scheidingschotten

Kabelladder met extra platen

Wil men bij de aanwezigheid van sterk storende of zeer stoorgevoelige kabels toch gebruik blijven maken van kabelladders, bijvoorbeeld uit het oogpunt van mechanische sterkte of eenvormigheid, dan kunnen onder storende of stoorgevoelige kabels geperforeerde of massieve bodemplaten gelegd worden, die als aardvlak voor de kabels dienen (fig. 42).

Bij hoge eisen kabelladders op de verbindingplaatsen over de hele breedte doorverbinden en de kabels in één laag leggen.

Wandkanalen

Voor wandkanalen geldt hetzelfde als voor kabelkanalen.

Conclusie

Kabelkanalen moeten uit EMC-oogpunt van metaal zijn. De delen van de kanalen moeten onderling laagimpedante verbindingen hebben. Dit geldt ook voor de verbindingen van de kanalen met de kasten, die eveneens van metaal moeten zijn. Een lage impedantie wordt het beste bereikt door de verbindingen blank op blank met brede platen uit te voeren. Zo ontstaat er een aardvlak onder de kabels en een aardingssysteem van kast tot kast. Als daarnaast aan de installatie EMC-maatregelen, als een goed aardingssysteem en indeling van kabels en kasten in categorieën toegepast worden, kan met eenvoudige middelen de EMC van de installatie sterk verhoogd en de kans op het optreden van interferentie verkleind worden.

Delden, oktober 2001
Drs. D.S.J.Schuuring

Dimensies van de grootheden

Enkele omrekeningsformules voor dimensies van in het document gebruikte grootheden worden gegeven.

$$H = \text{Wb/A} = V \cdot \text{s/A}$$

$$\text{Hz} = 1/\text{s}$$

$$S = 1/\Omega = \text{A/V}$$

$$T = \text{Wb/m}^2$$

$$\text{Wb} = V \cdot \text{s} = \text{V/Hz}$$

Afkortingen

CM - Common-Mode

DM - Differential-Mode

EMC - ElektroMagnetische Compatibiliteit

EMI - ElektroMagnetische Interferentie

EU - Europese Unie

GP - Geperforeerd

IEC - International Electrotechnical Commission

PLC - Programmable Logic Controller

RVS - Roestvaststaal

ZP - Zonder Perforatie

Symbolenlijst

A	oppervlak	m^2
A	dempingswaarde	dB
B	magnetische inductie	T
E	elektrische veldsterkte	V/m
f	frequentie	Hz
H	magnetische veldsterkte	A/m
I	stroom	A
l	lengte	m
L	zelfinductie	H
P	vermogen	W
R	weerstand	Ω
r	afstand tot de draad	m
Z	impedantie	Ω
δ	skindiepte	m
λ	golflengte	m
ρ	soortelijke weerstand	$\Omega \cdot \text{m}$
σ	soortelijk geleidbaarheid	S/m
Φ	magnetische flux	Wb

Referenties

1. J.J. Goedbloed
Elektromagnetische compatibiliteit
Analyse en onderdrukking van stoorproblemen
ten Hagen & Stam, Deventer,
ISBN 90 557 6156 7

2. Drs. D.S.J. Schuurung
Signaalkabels en EMC
Deel 1: Theorie en praktijk van effectieve
afscherming
Elektronica 94-10 Bladzijden 32 - 37
Deel 2: Antennegedrag, overspraak en
mantelaansluiting
Elektronica 94-11 Bladzijden 32 - 43

3. IEC 61000-5-2
Electromagnetic Compatibility
Part 5: Installation and mitigation guidelines
Section 2: Earthing and cabling

4. M. van Helvoort
Kabeldraagsystemen en hun EMC-aspecten
Transfer-impedantie speelt belangrijke rol
Installatie Journaal, december 1995.
Bladzijden 22 - 25.

Keuze van kabelkanalen in verband met EMC-eisen

INLEIDING

Uitgaande van de eisen op EMC-gebied wordt aangegeven welke typen kabelkanalen in verschillende EM-omgevingen gebruikt kunnen worden en aan welke constructie-eisen voldaan moet worden.

Hierbij wordt ingegaan op de volgende aspecten:

- materiaal
- maten
- bevestiging van de delen onderling en aan kasten
- aarding
- kabelcategorieën
- afscherming

MATERIAAL

Voor de kabelkanalen worden verschillende soorten materiaal gebruikt:

- Sendzimir verzinkt
 - Materiaaldikte 1 - 2 mm
 - Zinklaag ca. 22 μm
- Sendzimir verzinkt, gelakt
- Thermisch verzinkt
 - Materiaaldikte 1,5 - 2 mm
 - Zinklaag 50 - 70 μm
- Roestvaststaal (RVS)
 - Materiaaldikte 1 - 2 mm
- Aluminium, geanodiseerd

Op kunststof als materiaal voor kabelkanalen wordt in dit rapport niet ingegaan, omdat isolerende materialen de EMC niet beïnvloeden.

Voor de EMC is de materiaaldikte niet erg van belang, omdat bij lage frequenties de impedantie ten gevolge van de zelfinductie klein is en bij hoge frequenties de dikte al snel groter is dan de skin-diepte. Dit is een maat voor de dikte van de laag, waarin de hoogfrequente stroom loopt.

Verzinkt staal

Voor de EMC maakt de manier van verzinken niet uit. Verzinkt staal heeft uit EMC-oogpunt enkele belangrijke eigenschappen:

- de contactplaatsen kunnen blank gelaten worden en maken goed contact.
- de contactplaatsen zullen niet oxideren, zodat blijvend een goed contact gewaarborgd blijft.

Roestvaststaal

Voor RVS geldt hetzelfde als voor verzinkt staal wat betreft de eigenschappen voor de contactplaatsen.

Aluminium

Aluminium is als materiaal voor kabelkanalen goed geschikt. Een nadeel is echter, dat de oppervlakken geanodiseerd zijn, waardoor verbinding tussen de delen van het kanaal alleen via bouten plaatsvindt.

Gelakte oppervlakken

Gelakte oppervlakken zijn isolerend. Om een elektrisch geleidend contact te maken moet de oppervlaktelaag doorboord worden, bijvoorbeeld door gebruik te maken van krasringen bij bevestiging met bouten.

Uit EMC-oogpunt zijn kabelkanalen met niet-geleidende oppervlakken iets slechter dan blanke oppervlakken, omdat het contact nu niet via aanrakingsvlakken, maar alleen via bouten plaatsvindt.

Keuze van materiaal

Bij de aanwezigheid van hoogfrequente stoor signalen is zowel verzinkt staal als RVS een geschikt materiaal.

Zijn ook laagfrequente storingen aanwezig, dan heeft het gebruik van staal vanwege zijn magnetische eigenschappen de voorkeur in geval de afschermende werking van de kabelkanalen belangrijk is.

Keuze van de afmetingen

Het oppervlak van de dwarsdoorsnede van een kabelkanaal, maar vooral de omtrek daarvan, moet uit EMC-oogpunt zo groot mogelijk zijn.

De impedantie van het kabelkanaal is dan laag. Verder kunnen veel kabels direct op of dicht bij het gearde vlak van het kabelkanaal lopen en is de afschermende werking beter.

Dit wordt bereikt in volgorde van toenemende doorsnede en omtrek bij:

- draadbanen
- kabelladders met kleine hoogte
- kabelladders met grote hoogte
- kabelbanen met perforaties
- kabelbanen zonder perforaties
- kabelkanalen met deksels

Bevestiging van de delen

Verder speelt de laagimpedante verbinding van delen van een kabelkanaal een rol. In volgorde van toenemende elektrische contacten geldt:

- 2 strippen ter breedte van de zijkant van het kabelkanaal
 - verbinding met lippen (één overgang minder dan bij strippen)
 - U-vormige verbindingsstrip
- Voor alle verbindingen:
- een toenemend aantal bouten per verbinding

De kabelkanalen moeten met een laagimpedante verbinding via een kabelkanaaldeel of een plaat aan de kasten, waaraan de kabels aangesloten zijn, verbonden worden.

Keuze van kabelkanalen in verband met EMC-eisen

"Laagimpedant" betekent een verbinding van de delen via een blank contactvlak of met voldoende bouten (2 of meer).

Aarding

De aarding van de kabelkanalen vindt plaats via de consoles en de verbinding met geaarde kasten. De kabelkanalen moeten laagimpedant met de consoles verbonden worden, terwijl bij de "bevestiging" de verbinding met de kasten al beschreven is.

KEUZE VAN KABELKANALEN

Uit EMC-oogpunt heeft het de voorkeur voor elke kabelcategorie een apart kabelkanaal te gebruiken. Bij weinig kabels per categorie zullen meerdere kabelcategorieën in één kabelkanaal gelegd worden. Er moet dan enige afstand (15-20 cm) tussen de kabelcategorieën aangehouden worden of scheidingsschotten tussen de verschillende kabelcategorieën aangebracht worden.

Als er eisen aan de kabelkanalen op het gebied van afscherming gesteld worden, dan:

- bij voorkeur kabelkanalen met vlakke bodem gebruiken.
- de kabelkanalen niet verder vullen dan tot één of enkele centimeters onder de bovenrand.
- bij hoge eisen kabelkanalen met vlakke bodem met U-vormige verbindingstrippen en deksels gebruiken.
- typen geschikt voor hoge EMC-eisen kunnen uiteraard ook gebruikt worden voor EM-omgevingen met lagere eisen.

KEUZE UIT DE TYPEN KABELKANALEN

De verschillende typen kabelkanalen en hun EMC-toepassingsgebieden worden apart vermeld op pagina's H1-1-28 t/m H1-1-31.

Om wille van andere overwegingen, zoals mechanische sterkte, benodigde breedten, gewenste hoogten, chemische eisen, hygiënische eisen of kosten, kan het wenselijk zijn andere typen te gebruiken.

Kabelladders kunnen onder de meeste omstandigheden gebruikt worden. Er moet dan voldoende aandacht besteed zijn aan de EMC van de elektrische en elektronische delen van de installatie.

Typen: **Unic** **H60 en H100** : pag. H1-1-28
Resist **H60 en H100** : pag. H1-1-28
Crafty **H100 en H130** : pag. H1-1-29
Streamline **H40 en H60** : pag. H1-1-29

Als het slechts om een paar kabels gaat, kan ook een extra vlakbodem kabelkanaal onder deze categorieën (sterk storend en zeer stoor gevoelig) op het kabelladder gelegd worden om beïnvloeding door en van deze kabels te beperken.

Typen: **Kabelkanaal** (bijvoorbeeld Tray of Lock)

In een vervuilde EM-omgeving, waarin sterke stoorsignalen aanwezig zijn of stoor gevoelige kabels gelegd worden, zijn kabelbanen aan te bevelen.

Hetzelfde geldt voor sterk storende kabels in een stoor gevoelige EM-omgeving.

Kabelbanen zonder perforaties voldoen aan hogere eisen dan geperforeerde kabelbanen. Eventueel kunnen deze kabelbanen van deksels voorzien worden.

Typen: **Tray H28R en H53R (ZP of GP)** : pag. H1-1-30

Lock OK3 en OK6 : pag. H1-1-31

In een sterk vervuilde EM-omgeving, waarin zeer sterke stoorsignalen aanwezig zijn of zeer stoor gevoelige kabels gelegd worden, zijn kabelbanen zonder perforatie aan te bevelen.

Hetzelfde geldt voor sterk storende kabels in een stoor gevoelige EM-omgeving.

Eventueel kunnen deze kabelbanen van deksel voorzien worden.

Typen: **Tray H28R en H53R (ZP)** : pag. H1-1-30
Lock OK3 en OK6 : pag. H1-1-31

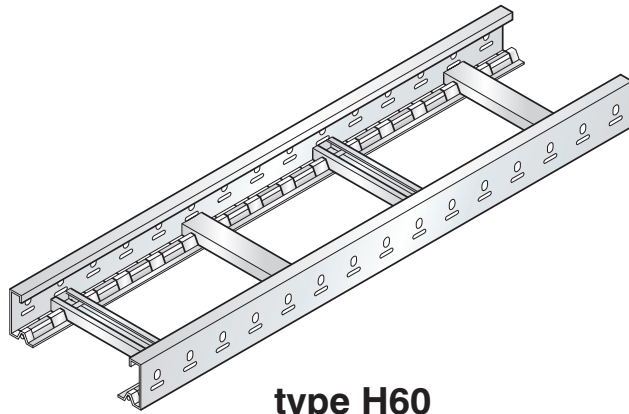
In een EM-omgeving met weinig storing of alleen stoorsignalen van één bepaalde soort kunnen draadbanen gebruikt worden. Deze verbeteren slechts zeer beperkt de EMC, ze dienen hoofdzakelijk als parallelle aardverbinding.

Type: **Tandem H53** : pag. H1-1-31

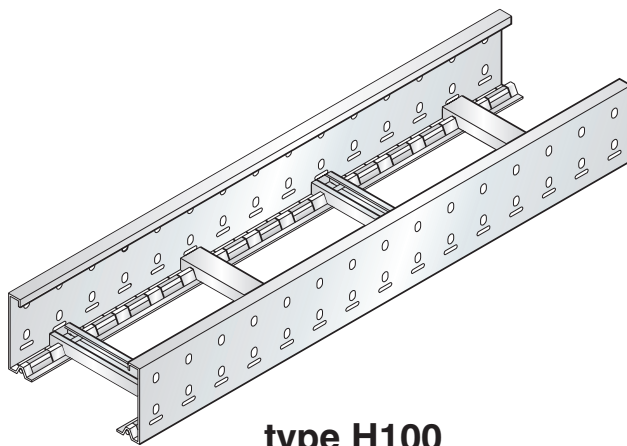
Kabelkanalen uit kunststof hebben geen EMC-eigenschappen.

Keuze van kabelkanalen in verband met EMC-eisen

UNIC Kabelladder



type H60



type H100

Uitvoering: Sendzimir verzinkt
Sendzimir verzinkt en gelakt
Thermisch verzinkt

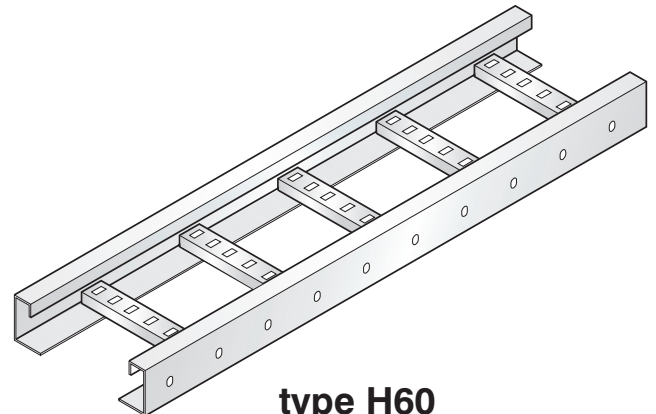
Kabelladders kunnen onder de meeste omstandigheden gebruikt worden. Er moet dan voldoende aandacht besteed zijn aan de EMC van de elektrische en elektronische delen van de installatie.

Extra mogelijkheden zijn:
- plaatsen van bodemplaten
- deksels

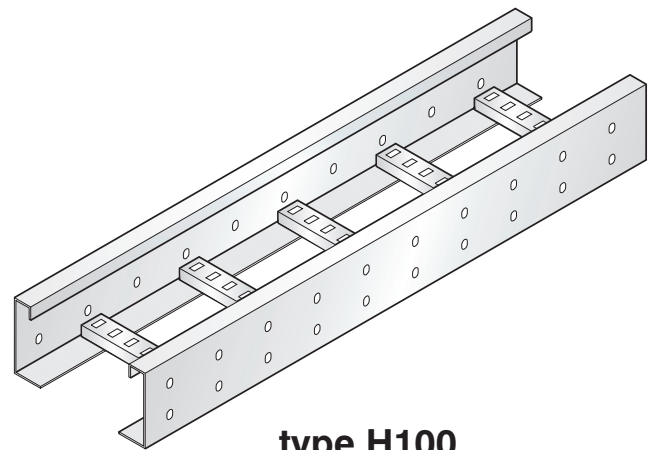
Met deze optie(s) kan het type Unic ook in vervuilde en of sterk vervuilde EM-omgeving worden toegepast.

Als het om slechts een paar kabels gaat, kan ook een extra kabelbaan onder deze categorieën (sterk storend en zeer stoorgevoelig) op een kabelladder gelegd worden om beïnvloeding door en van deze kabels te beperken.

RESIST Kabelladder



type H60



type H100

Uitvoering: Roestvaststaal AISI 304
Roestvaststaal AISI 316

Kabelladders kunnen onder de meeste omstandigheden gebruikt worden. Er moet dan voldoende aandacht besteed zijn aan de EMC van de elektrische en elektronische delen van de installatie.

Extra mogelijkheden zijn:
- plaatsen van bodemplaten
- deksels

Met deze optie(s) kan het type Resist ook in vervuilde en of sterk vervuilde EM-omgeving worden toegepast.

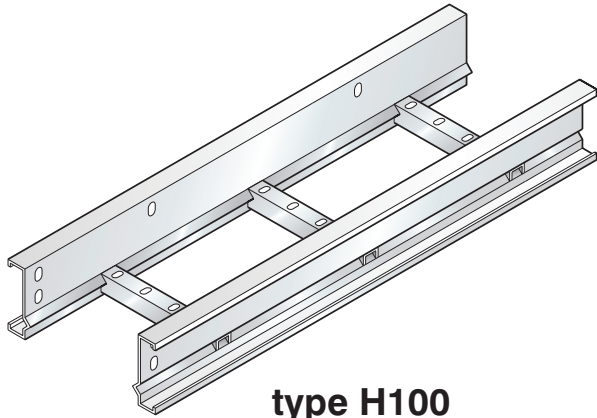
Als het om slechts een paar kabels gaat, kan ook een extra kabelbaan onder deze categorieën (sterk storend en zeer stoorgevoelig) op een kabelladder gelegd worden om beïnvloeding door en van deze kabels te beperken.

Keuze van kabelkanalen in verband met EMC-eisen

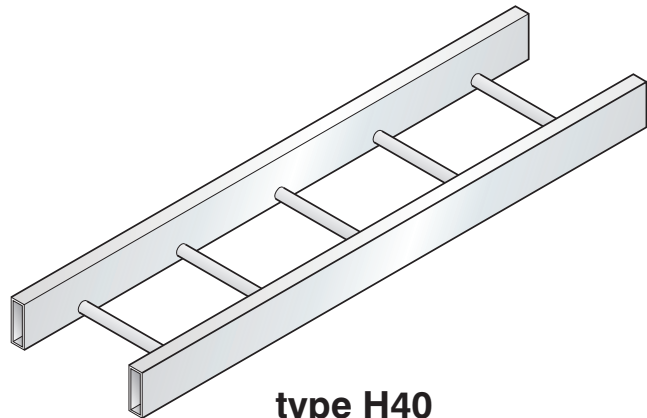
CRAFTY Kabelladder

STREAMLINE Kabelladder

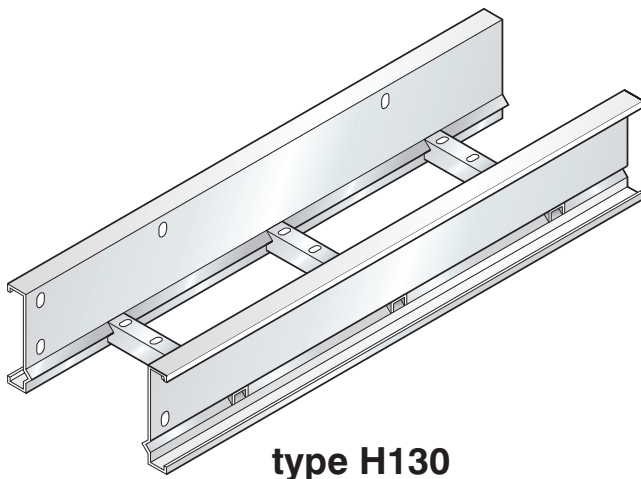
EMC



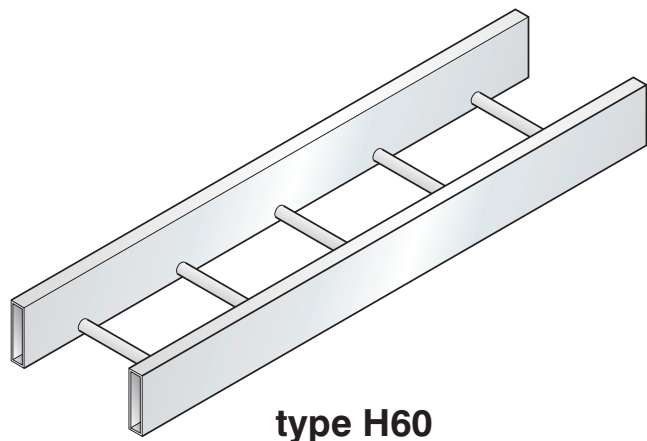
type H100



type H40



type H130



type H60

Uitvoering: Thermisch verzinkt
Roestvaststaal AISI 304
Roestvaststaal AISI 316

Uitvoering: Roestvaststaal AISI 304
Roestvaststaal AISI 316

Kabelladders kunnen onder de meeste omstandigheden gebruikt worden. Er moet dan voldoende aandacht besteed zijn aan de EMC van de elektrische en elektronische delen van de installatie.

Kabelladders kunnen onder de meeste omstandigheden gebruikt worden. Er moet dan voldoende aandacht besteed zijn aan de EMC van de elektrische en elektronische delen van de installatie.

Extra mogelijkheden zijn:
- plaatsen van bodemplaten
- deksels

Extra mogelijkheden zijn:
- plaatsen van bodemplaten
- deksels

Met deze optie(s) kan het type Crafty ook in vervuilde en of sterk vervuilde EM-omgeving worden toegepast.

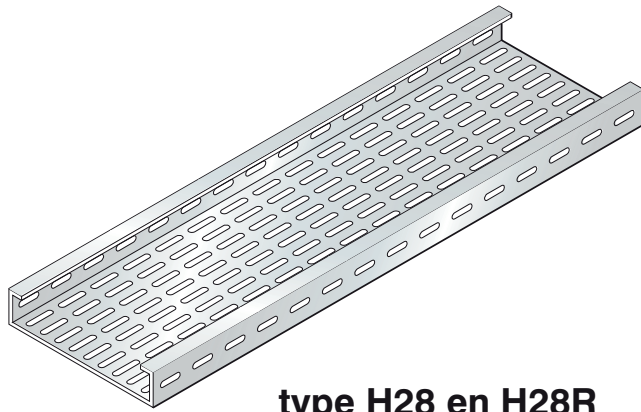
Met deze optie(s) kan het type Streamline ook in vervuilde en of sterk vervuilde EM-omgeving worden toegepast.

Als het om slechts een paar kabels gaat, kan ook een extra kabelbaan onder deze categorieën (sterk storend en zeer stoor gevoelig) op een kabelladder gelegd worden om beïnvloeding door en van deze kabels te beperken.

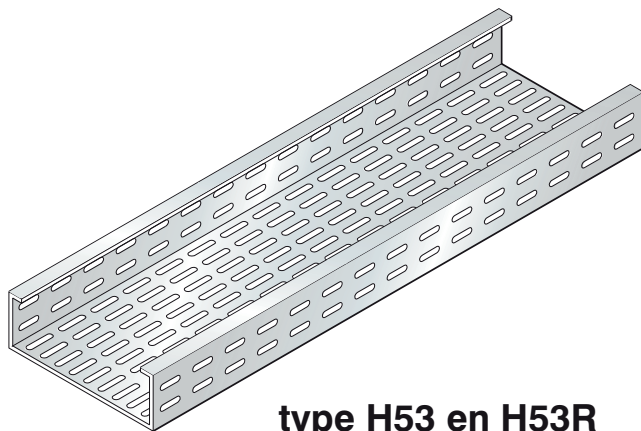
Als het om slechts een paar kabels gaat, kan ook een extra kabelbaan onder deze categorieën (sterk storend en zeer stoor gevoelig) op een kabelladder gelegd worden om beïnvloeding door en van deze kabels te beperken.

Keuze van kabelkanalen in verband met EMC-eisen

TRAY GP Kabelbaan geperforeerd



type H28 en H28R



type H53 en H53R

Uitvoering: Sendzimir verzinkt
Sendzimir verzinkt en gelakt
Thermisch verzinkt
Roestvaststaal AISI 304/316

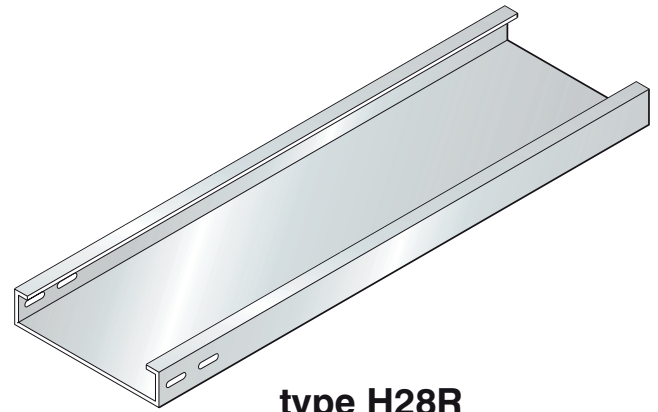
Geperforeerde kabelbanen kunnen in een vervuilde EM-omgeving, waarin sterke stoorsignalen aanwezig zijn of stoorgevoelige kabels, gelegd worden.

Hetzelfde geldt voor sterk storende kabels in een stoorgevoelige EM-omgeving.

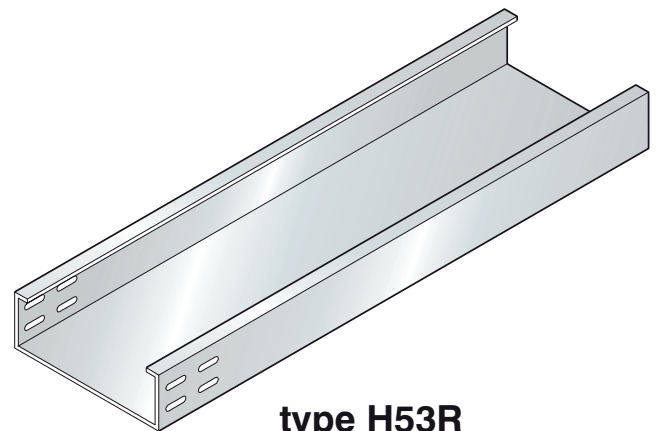
Extra mogelijkheden zijn:
- deksels

Met deze optie(s) kan het type Tray GP ook in sterk vervuilde EM-omgeving worden toegepast.

TRAY ZP Kabelbaan



type H28R



type H53R

Uitvoering: Sendzimir verzinkt
Sendzimir verzinkt en gelakt
Thermisch verzinkt

Kabelbanen kunnen in een sterk vervuilde EM-omgeving, waarin zeer sterke stoorsignalen of stoorgevoelige kabels aanwezig zijn, gelegd worden.

Hetzelfde geldt voor sterk storende kabels in een stoorgevoelige EM-omgeving.

Extra mogelijkheden zijn:
- deksels

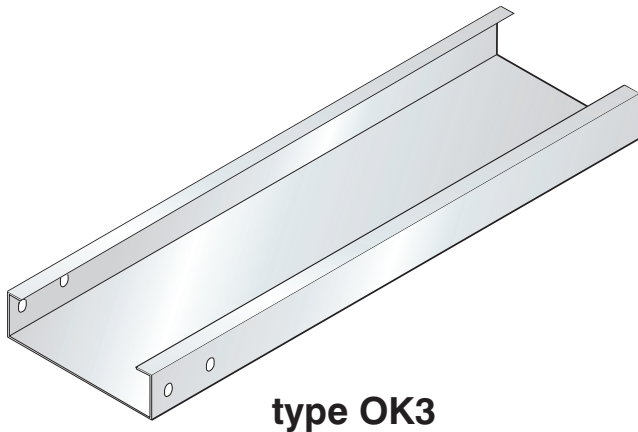
Met deze optie(s) kan het type Tray ZP ook in zeer sterk vervuilde EM-omgeving worden toegepast.

Keuze van kabelkanalen in verband met EMC-eisen

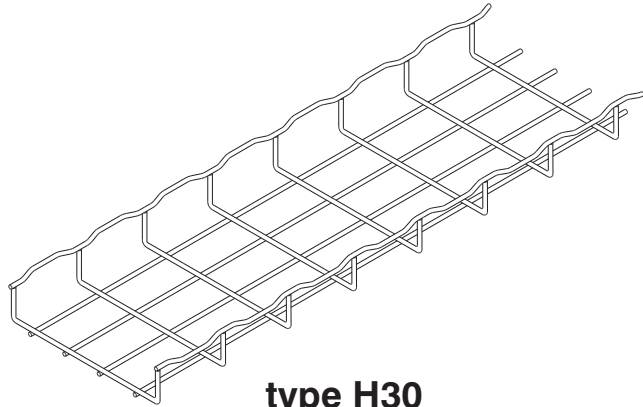
LOCK Kabelbaan

TANDEM draadbaan

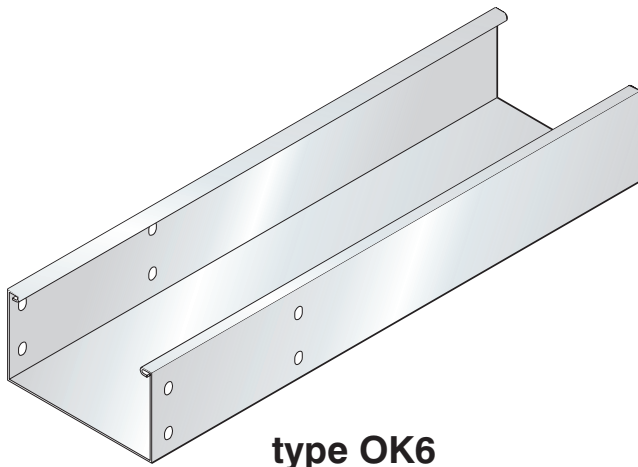
EMC



type OK3



type H30



type OK6

Uitvoering: Roestvaststaal AISI 304
Roestvaststaal AISI 316

Kabelbanen kunnen in een sterk vervuilde EM-omgeving, waarin zeer sterke stoorsignalen of zeer storgevoelige kabels aanwezig zijn, gelegd worden. Hetzelfde geldt voor sterk storende kabels in een storgevoelige EM-omgeving.

Extra mogelijkheden zijn:
- deksels

Met deze optie kan het type Lock in zeer sterk vervuilde EM-omgeving worden toegepast.

Uitvoering: Sendzimir verzinkt
Thermisch verzinkt
Epoxy coating
Roestvaststaal AISI 304
Roestvaststaal AISI 316

In een EM-omgeving met weinig storing of alleen stoorsignalen van één bepaalde soort kunnen draadbanen type Tandem gebruikt worden. Deze verbeteren slechts zeer beperkt de EMC, ze dienen hoofdzakelijk als parallele aardverbinding.

Trefwoordenlijst

	Pagina		Pagina
aardingssysteem	H1-1-15/26	laagfrequent	H1-1- 4
aardvlak	H1-1-13	Lenz, wet van	H1-1- 9
afschermende werking	H1-1-14	lichtsnelheid	H1-1- 8
afschermwand	H1-1-15	lippen	H1-1-17
aluminium	H1-1-26	LOCK	H1-1-27/31
antennewerking	H1-1- 8/13	maasaarde	H1-1-15
bevestiging	H1-1-26	magnetische flux	H1-1- 8
Biot en Savart, wet van	H1-1- 7	magnetische permeabiliteit	H1-1- 8
capacitief	H1-1- 4	magnetisch veld	H1-1- 5/7
CM	H1-1- 7,19	materiaal	H1-1-26
common-mode	H1-1- 5	netfrequentie	H1-1- 4
CRAFTY	H1-1-27/29	overgangsweerstand	H1-1-18
dB-waarden	H1-1-15	perforaties	H1-1-20
dempingswaarden	H1-1-15	pulsen	H1-1- 5
differential-mode	H1-1- 5	radargebied	H1-1- 4
DM	H1-1- 5	retourstroom	H1-1- 9
drie-dozen-model	H1-1- 4	RESIST	H1-1-27/28
elektrisch veld	H1-1- 5/8	roestvaststaal	H1-1-26
EMC	H1-1- 3	scheidingsschotten	H1-1-22
EMC-normen	H1-1- 4	skindiepte	H1-1- 9/10
EMI	H1-1- 3	skineffect	H1-1- 6/9
emissie	H1-1- 3/4	sleuven	H1-1-20
emitter	H1-1- 3	soortelijke geleiding	H1-1-10
EM-omgeving	H1-1- 3,12	soortelijke weerstand	H1-1-10
EM-signalen	H1-1- 3	stoorbron	H1-1- 3
EM-zones	H1-1-12	stoorgevoelige kabels	H1-1-12
E-veld	H1-1- 5	stoorgevoeligheid	H1-1- 3
frequentiedomein	H1-1- 5	stoorsignalen	H1-1- 3/5
frequentiegebieden	H1-1- 4	stoorspanning	H1-1- 5
gaten	H1-1-20	stoorstraling	H1-1- 3/4/5
geleide storing	H1-1- 3/4/5	stoorstroom	H1-1- 5
geleiding	H1-1- 4	stoorvermogen	H1-1- 5
gestoorde	H1-1- 3	storende kabels	H1-1-12
golflengte	H1-1- 8	storing	H1-1- 3
harmonischen	H1-1- 4	straalverbingsgebied	H1-1- 4
hoogfrequent	H1-1- 4	straling	H1-1- 4
H-veld	H1-1- 5	STREAMLINE	H1-1-27/29
immunititeit	H1-1- 4	stroomwet	H1-1- 9
impedantie	H1-1- 4/6	susceptor	H1-1- 3
indifferente kabels	H1-1-12	TANDEM	H1-1-27/31
inductief	H1-1- 4	tijdsdomein	H1-1- 5
installatie	H1-1- 3	transfer-impedantie	H1-1-20
interferentie	H1-1- 3	transportweg	H1-1- 4
interferentie model	H1-1- 4	TRAY	H1-1-27/30
inter-systeem-EMC	H1-1- 3	UNIC	H1-1-27/28
intra-systeem-EMC	H1-1- 3	verbindingmethoden	H1-1-19
kabelcategorieën	H1-1-12/21	verbindingstrippen	H1-1-17
kabellegging	H1-1-11/21	verzinkt staal	H1-1-26
kasten	H1-1-16	wandkanalen	H1-1-23
Kirchhoff, wet van	H1-1- 9	weerstand	H1-1- 6
koppeling	H1-1- 4	zelfinductie	H1-1- 6
koppelweg	H1-1- 4		
krasringen	H1-1-18		