

EMC in praktijk

CIP-gegevens Koninklijke Bibliotheek, Den Haag

EMC

EMC in praktijk: basistechnieken, normen, ontwerpregels, praktijkvoorbeelden en nieuwe ontwikkelingen

Samenst./red. C.J. Westerbaan v.d. Meij, G.J. Kleissen - Delft: Stichting Centrum voor Micro-Elektronica. - (SCME, ISSN 0923-5396 ; 34)

ISBN 90-72983-13-0

Trefw.: EMC/elektronica/produktinnovatie

Vormgeving: Anton Verdu

EMC IN PRAKTIJK

**Basistechnieken, normen,
ontwerpregels, praktijkvoorbeelden
en nieuwe ontwikkelingen.**

*Samenstelling en redactie
Ir. C.J. Westerbaan van der Meij,
Ir. G.J. Kleissen*

december 1992

INHOUD

<i>Voorwoord</i>	5
<i>Kennismaking EMC</i>	7
<i>Elektromagnetische Compatibiliteit, een Europees fenomeen</i>	37
<i>Overzicht van de Europese EMC-normen per 1/9/92</i>	45
<i>Een "stralend" produkt</i>	47
<i>Support and Competence Center Nederland</i>	53
<i>EMC ontwerpregels voor printplaten</i>	57
<i>EMC-praktijkvoorbeelden: stoorprobleem, werkmethoediek en oplossingen</i>	71
<i>EMC-cursus op universitair en post-academisch niveau</i>	81
<i>EMC-Adequaat Ontwerp van PCB's door gebruikmaking van een EMC-analyse-werkbank</i>	95
<i>Elektromagnetische Compatibiliteit, ervaringen uit de adviespraktijk</i>	103

VOORWOORD

*Ir. C.J. Westerbaan van der Meij
Centrum voor Micro-Elektronica*

Elektronica is niet meer weg te denken uit ons dagelijks leven. Steeds meer apparaten die wij dagelijks thuis en op ons werk gebruiken bevatten elektronische systemen. Hierdoor wordt een ieder van ons ongevraagd geconfronteerd met de eigenschappen van deze elektronica.

De motieven om steeds meer elektronica in produkten in te bouwen zijn ons genoegzaam bekend en laten zich enigszins gesimplificeerd karakteriseren als: meer functionaliteit tegen minder kosten. Echter, één van de minder prettige eigenschappen van elektronische systemen is de wederzijdse beïnvloeding. Deze beïnvloeding berust op een elektro-magnetisch principe en kan ertoe leiden dat de werking van elektronische apparatuur ernstig wordt verstoord als verschillende apparaten in de nabijheid van elkaar worden gebruikt.

Het zal duidelijk zijn dat er alles aan gelegen is om deze wederzijdse beïnvloeding te vermijden, m.a.w. da apparatuur elektro-magnetisch compatibel is met andere apparatuur. Hiervoor zijn afspraken nodig in de vorm van normen en richtlijnen.

Door de toename in het gebruik van elektronica krijgen ook meer en meer producenten van apparatuur te maken met de richtlijnen op het gebied van elektro-magnetische compatibiliteit (EMC) en stijgt de belangstelling voor de problematiek er omheen.

Over de basisprincipes van de EMC, de normen, richtlijnen, praktische hints en verschillende praktijksituaties heeft het SCC-NL een themadag georganiseerd. Het SCC-NL, een kerngroep van het Centrum voor Micro-Elektronica, beoogt met het organiseren van deze themadag de problematiek van de elektro-magnetische compatibiliteit voor een groter publiek duidelijk in beeld te brengen. Tevens verwacht het SCC-NL hiermee een bijdrage te leveren aan het verbeteren van de kwaliteit van de elektronica die in Nederland wordt toegepast.

Deze uitgave bevat voornamelijk de bijdragen van de sprekers op de themadag. Namens het organisatiecomité wil ik deze sprekers en de andere auteurs van dit boekje danken voor het feit dat zij ons, deelnemers en lezers, deelgenoot hebben willen maken van de ervaring die zij hebben opgedaan in hun dagelijkse praktijk.

KENNISMAKING EMC

Elektro Magnetische Compatibiliteit

Ir. F.J.K. Buesink, Opleidingen Hollandse Signaalapparaten

Doel voordracht

Eerste deel:

*Aangeven belang vakgebied "elektro magnetisme";
kennismaken met enkele fundamentele storingsoverdrachts mechanismes*

Samenvatting deel I:

Definitie EMC
Wetten van Kirchhoff en Maxwell
Wet van Lenz Skin effect
Overspraak
Kabels
Aarde en referentie
Belangrijkste stralingsoverdrachts mechanismes.

Tweede deel

*Inzicht geven in een aantal beschermende maatregelen als afscherming en filtering.
Korte introductie ten aanzien van transmissielijn effecten en impulsstoring.*

Samenvatting deel II:

Wat als de laagfrequent benadering niet geldt?
Digitale logica / transmissielijnen
Afscherming
Filters
Niet-lineaire verschijnselen
Impulsvormige storingen
Overzicht terminologie binnen het vakgebied.

Deel I: Definitie van EMC

Elektro-Magnetische Compatibiliteit

- Elektro-Magnetisme is het vakgebied waarmee wij ons brood verdienen
- Traditionele opvatting: EMC betreft (niet) "storen" of "gestoord worden" van systemen

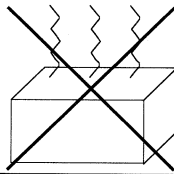
Moderne opvatting tweeledig:

Een apparaat of systeem is EM Compatibel als het in (aan) zijn elektro-magnetisch milieu

Bevredigend functioneert



Géén ontoelaatbare stoorsignalen toevoegt

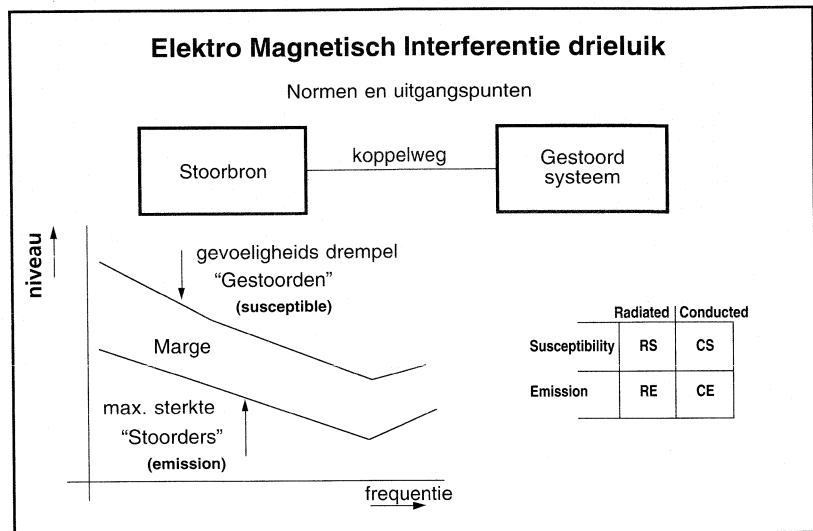


We hebben een nieuwe serie cursussen opgezet onder de naam Elektro Magnetische Compatibiliteit. De eerste is de cursus EMC basics, die het fundament vormt voor de gevorderde onderwerpen.

Op speciaal verzoek vanuit ons bedrijf zijn we bezig met praktijkgerichte cursussen voor elektrische en mechanische constructeurs terwijl voor 1993 een cursus High Speed PCB design op de planning staat.

De grenzen tussen het vak EMC en de diciplines van de verschillende ontwikkelgroepen zijn moeilijk te trekken. Wellicht kunnen we als criterium hanteren dat EMC dat deel behandelt dat verwaarloosd of ondergewaardeerd is maar nu niet meer verwaarloosd mag worden. Daarmee is meteen al aangegeven dat het een vak in beweging is: zodra "iedereen" op de hoogte is van een bepaald aspect, kan de nadruk verlegd worden naar andere onderwerpen.

Behalve de aspecten "bevredigend functioneren" en "geen ontoelaatbare stoorsignalen uitzenden" komen in bepaalde kritische situaties soms extra eisen voor bv. niet gestoord kunnen worden of geen herkenbare informatie uitzenden (TEMPEST).



EMC is aan de orde in een wereld van elektrische/elektronische toestellen die enerzijds stoorsignalen genereren en aan de andere kant gevoelig zijn voor storingen. Op zich is dat een natuurlijk gegeven. Het wordt pas een probleem wanneer daadwerkelijk ongewenste interactie optreedt.

Het bijbehorende plaatje lijkt veel op de situatie bij brand: pas zodra alle drie elementen aanwezig zijn is er sprake van een probleemsituatie. Verwijdering van enig element is voldoende om ons probleem op te lossen en de later te presenteren manieren van aanpak haken hierop duidelijk in.

De belangrijke elementen zijn:

- Een storend systeem (Emissive)
- Een gestoord systeem (Susceptible)
- Een koppelweg

De EMC-eisen die klanten en overheden aan systemen ("waar elektronen in bewegen") stellen zijn bedoeld om:

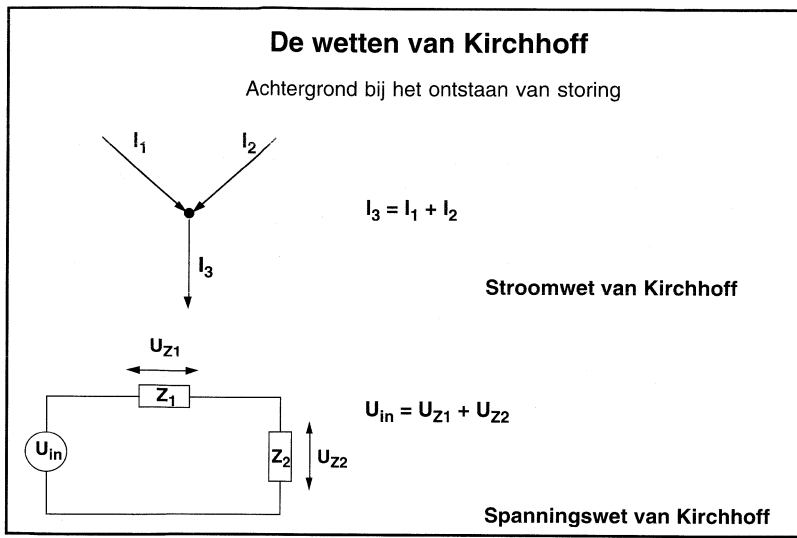
In de civiele wereld:

- De stoorders beneden een bepaald niveau te houden
- Van de gestoorden een zeker minimum aan stoorbestedigheid te verlangen zodanig dat er een marge overblijft om te compenseren voor variatie in aansluiting en opstelling in de praktijk.

Voor de militaire wereld is de benadering iets anders:

- Zorg ervoor dat je niet gestoord kunt worden ("susceptibility").
- Laat zo min mogelijk van je "horen" ("emission").

De bedoeling is hetzelfde: hou stoorders en gestoorden "uit elkaar".



Wanneer we elektronica ontwerpen, maken we gebruik van een aantal basiswetten. We gebruiken de "wet van Ohm" en differentiaalvergelijkingen voor weerstanden, spoelen en condensatoren (om component eigenschappen te beschrijven) Voor de beschrijving c.q. analyse van de structuur van onze netwerken gebruiken we de wetten van Kirchhoff.

Eerste wet van Kirchhoff:

"De som van de stromen in een knooppunt in een netwerk is nul."

Met andere woorden: stroom hoeft zich niet op in een knooppunt, wat erin gaat moet er ook uitkomen. Of nog anders geformuleerd: stromen lopen in kringen.

Tweede wet van Kirchhoff:

"De som van de spanningen in een maas van een netwerk is nul."

Deze twee wetten vormen de basis voor de netwerktheorie en stellen ons in staat berekeningen uit te voeren bv. om componentwaarden te berekenen.

Als het goed is is er, toen ons dit werd verteld, bijgezegd dat de netwerktheorie gebaseerd is op een benadering nl. dat alle elektromagnetische velden geconcentreerd gedacht zijn in de diverse componenten en dat de verbindingen daartussen "ideaal" zijn: "impedantieloos".

Deze laatste aanname nu vormt de kern van vrijwel alle elektromagnetische problemen: verbindingen zijn niet ideaal.

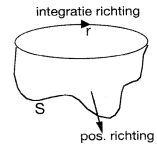
De wetten van Maxwell

Waar zit het verschil met Kirchhoff ?

$$\text{"Stroomwet": } \oint_r (\vec{H} \cdot d\vec{r}) = \iint_S \left(\vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) \cdot d\vec{S}$$

$$\oint_r (\vec{H} \cdot d\vec{r}) = \text{omvatte (stroom + verschuivingsstroom)}$$

Maak cirkel $r = 0$ dan volgt " \sum stromen = 0" of "stromen lopen in gesloten kringen" dus: **Kirchhoff stroomwet O.K.**



$$\text{"Spanningswet": } \oint_r (\vec{E} \cdot d\vec{r}) = -\frac{\partial}{\partial t} \iint_S (\vec{B} \cdot d\vec{S})$$

$$\oint_r (\vec{E} \cdot d\vec{r}) = -\frac{\partial}{\partial t} (\text{omvatte flux } \Phi)$$

$$\text{Cirkel } r = \text{rand netwerk: } \sum \text{spanningen maas} = -\frac{d\Phi}{dt} \neq 0$$

dus: **Kirchhoff spanningswet niet O.K. !**

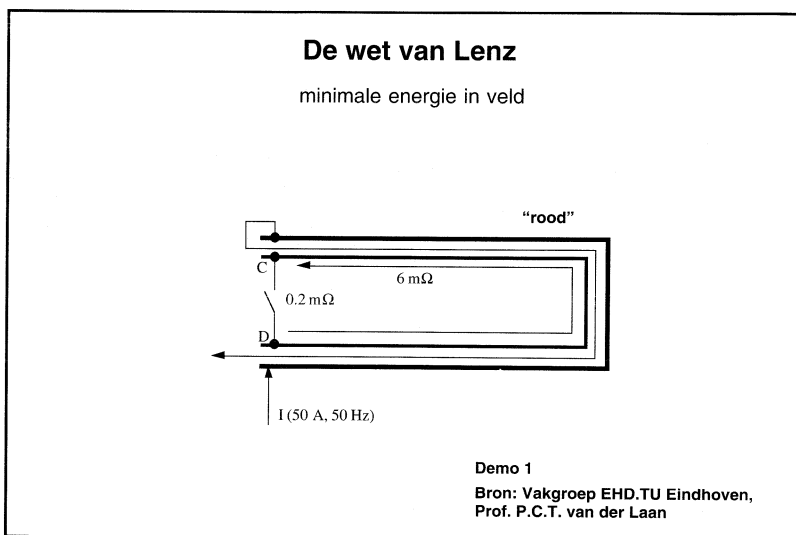
De vraag is nu dus "wat is er niet goed aan de wetten van Kirchhoff?" Om daar een antwoord op te krijgen moeten we terugvallen op de wetten van Maxwell. De wetten van Kirchhoff vormen hier een speciaal geval van.

Eerste wet van Maxwell:

- Som van de stromen in een knooppunt is nul. (keurig in dekking met de eerste wet van Kirchhoff.

Tweede wet van Maxwell:

- De som van de spanningen in een maas is gelijk aan de afgeleide van de omsloten flux naar de tijd (dus meestal niet nul!)



Wat betekent dit nu? Welnu, dat stromen behandeld kunnen worden als altijd terwijl spanningen welliswaar bestaan en meetbaar zijn, doch afhankelijk van de weg waarlangs we meten of, anders gezegd, de ligging van de draden in onze meetopstelling.

Omdat een gemeten spanning wegafhankelijk is, is de aanbeveling die we doen (en steeds herhalen):
"Zoek de stromen" ("Cherchez le courant").

Het blijkt dat elke stroom een (elektro-magnetisch) veld veroorzaakt en vice versa. En wel zodanig dat de stroom kan lopen met minimale investering van energie (in het veld). De energie in het veld is behalve van de sterkte van de stroom afhankelijk van de door de stroomlus omsloten oppervlakte. De natuurlijke neiging is deze oppervlakte te minimaliseren: als we een stroom de kans geven dan zal hij zo dicht mogelijk in de buurt van de retourstroom gaan lopen (de wet van Lenz).

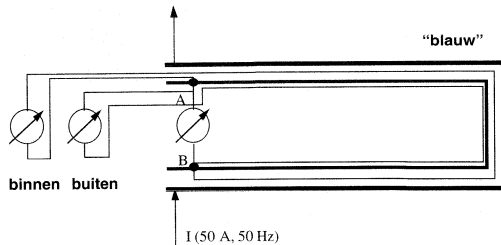
Met de demonstratie opstelling ("de rode buis") kunnen we laten zien dat de retourstroom zo dicht mogelijk bij de heengaande stroom in de buurt blijft. Dientengevolge loopt er in dit geval aan de buitenkant van de buis geen stroom en heeft sluiten van de schakelaar ook nagenoeg geen invloed op de stroomverdeling (slechts 1.5 A neemt deze "korte weg").

Gewapend met deze basiskennis verkennen we nu verder het terrein van de EM verschijnselen en we zullen zien dat de fundamentele wetten steeds weer terugkeren:

- Stromen lopen in kringen.
- Stroom zoekt een weg die een minimaal oppervlak omspant.
- Stromen betekent altijd ook velden.

Het skin effect

Hulpmiddel bij het scheiden van kringen



Demo 2

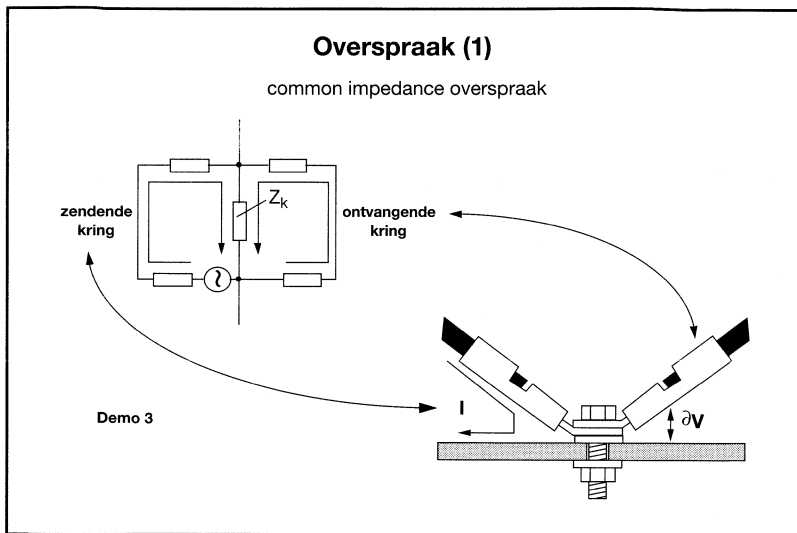
Bron: Vakgroep EHD.TU Eindhoven,
Prof. P.C.T. van der Laan

Als we de spanning meten tussen twee "identieke" punten op de buis maar binnenlangs of buitenom, dan zien we dat er een groot verschil is (factor 6 of meer). Dit was natuurlijk het gevolg van verschillen in het EM veld ter plaatse van de draden (dus een verschillende omsloten flux).

De volgende vraag is dan natuurlijk: hoe kan dat? (en al op 50 Hz!) Het antwoord is het verschijnsel skin effect¹ dat op zich weer volgt uit de vergelijkingen van Maxwell: stroom in een geleider geeft aanleiding tot een veld (en omgekeerd) dit veld induceert stromen die zodanig van richting en grootte zijn dat ze het veld tegenwerken. Dit heeft tot gevolg dat stroom uitsluitend in een schil aan het oppervlak van een geleider lijkt te lopen (en volgens de wet van Lenz alleen aan de kant waar de retourgeleider langs loopt).

We zullen nu gaan kijken naar een aantal toepassingen van de theorie.

¹Voor ijzer is de skindiepte bij 50 Hz nog maar ca. 1.3 mm. Bij hogere frequenties wordt het minder (gaat met \sqrt{f}).



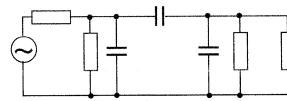
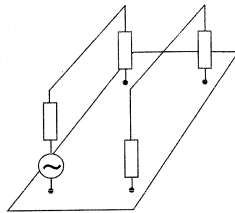
Beïnvloeding op kleine afstand noemen we "overspraak". Op grote afstand "straling". We behandelen in onze cursus drie vormen:

- Overspraak via gemeenschappelijke impedantie
- Capacitieve overspraak
- Inductieve overspraak.

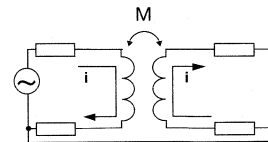
Van gemeenschappelijke impedantie is sprake als de stromen in de twee (of meer) kringen ergens door een gemeenschappelijke geleider vloeien. Alle veranderingen dit gemeenschappelijke deel zijn merkbaar in beide kringen

Overspraak (2)

capacitieve en inductieve overspraak



capacitieve overspraak



inductieve overspraak

Stromen geven velden en deze velden kunnen op afstand weer stromen tot gevolg hebben. Omdat stromen in kringen lopen kunnen we ook stellen dat kring A kring B beïnvloedt op afstand.

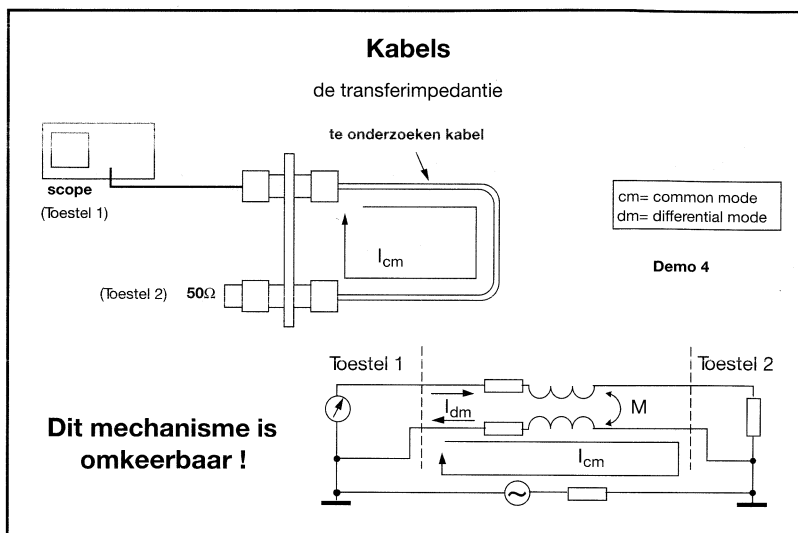
"Afstand" in samenhang met elektromagnetische verschijnselen moeten we interpreteren in termen van "golflengte" d.w.z. veel kleiner dan de golflengte is "klein", veel groter is "groot". Hoeveel groter of kleiner is niet strak genormeerd maar denkt u aan een factor 6. Als ons systeem veel kleiner is dan de golflengte van het (stoor)signaal dat we bestuderen, kunnen we aannemen dat een stroom of een spanning die we meten overal "dezelfde fase" zal hebben. Deze vereenvoudiging noemen we de Laagfrequent benadering.

We spreken van zuiver capacitieve overspraak als er aan de bronzijde alleen maar spanningsveranderingen zijn en "géén" stroom loopt. Deze verandering bereikt de tweede kring via de aanwezige capaciteit tussen de kringen d.w.z. door verandering in het elektrisch veld.

Inductieve overspraak ontstaat wanneer de bron een stroomkring is, in het extreme geval (dus zuiver theoretisch) een "supergeleidende lus zonder spanningsval". Het koppelmechanisme loopt hier via het magnetische veld. Vergelijkt u de werking met die van een transformator.

De karakteristieke verschillen tussen de laatstgenoemde twee stellen ons in staat in de praktijk metingen uit te voeren om vast te stellen wat de oorzaak van onze problemen zou kunnen zijn.

Gewapend met deze kennis maken we dan de stap naar kabels.



We gebruiken kabels om stromen te vervoeren over enige afstand. We weten inmiddels ook dat stromen alleen in kringen lopen dus dat het niet mogelijk is stromen over een draad te vervoeren: ergens moet die stroom terug naar de bron óók als de retourleiding niet in het schema is aangegeven! Onder een kabelverbinding zullen we dan ook in het volgende steeds een set van twee (of meer) geleiders verstaan.

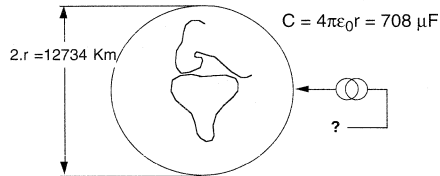
Waarom willen we kabels eigenlijk aan de orde stellen? Omdat we van kabels niet alleen verwachten dat ze ons gewenste signaal min of meer ongeschonden zullen transporteren van bron naar bestemming, maar ook dat ongewenste externe invloeden worden geweerd. Wat gebeurt er bijvoorbeeld als t.g.v. blikseminslag in de buurt van de bestemming een vereffeningstroom over onze kabelverbinding gaat lopen (een "common mode stroom")? Hebben we daar last van?

Dat hangt af van de eigenschappen van de kabel(verbinding). De belangrijkste is de transferimpedantie. Als we uitgaan van de situatie van de figuur hierboven dan is deze gedefinieerd als de spanning die per lengte eenheid ontstaat tussen "mantel" en "binnengeleider" in het geval van coax, ten gevolge van een (common mode) stroom over die mantel.

Waarom zoveel aandacht voor deze impedantie (resulterende spanning gedeeld door veroorzakende stroom heeft de dimensie [Ω])? Eventuele storingen van buiten af dringen op deze manier onze systemen binnen: de storende stroom loopt als vereffeningstroom over de mantel van bv een coax kabel die twee toestellen verbindt. Aan de "ontvangstzijde" in een van de toestellen meten we dan een spanning tussen binnenader en mantel. Let op! Dit mechanisme is symmetrisch! Ook de signalen in de kabel geven op dezelfde manier aanleiding tot stromen over/door de mantel! Deze laatste kan dan bv. als zendantenne gaan werken en in de omgeving storing veroorzaken

Aarde en Referentie (1)

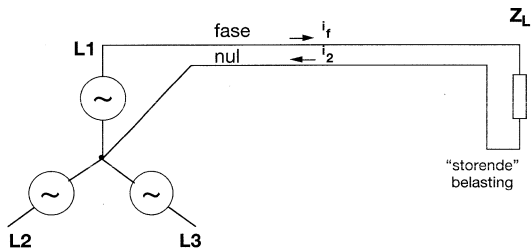
“Moeder aarde” is geen zinkput voor stromen !



De “Aarde” is geen ideaal geleidende klomp materiaal waarin we alle stoorstromen kunnen laten verdwijnen. Tenslotte lopen ook stoorstromen in kringen zodat de stroom naar zijn bron terug moet (en zal) vloeien: geen kring, geen stroom! Ook de capaciteit van de aardbol in het heelal is klein zodat het ook niet mogelijk is te denken aan een soort oneindig reservoir waarin af te voeren lading kan vloeien.

Aarde en Referentie (2)

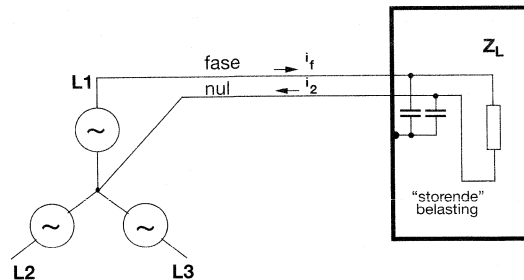
Referentie: punt ten opzichte waarvan alle spanningen gedefinieerd zijn



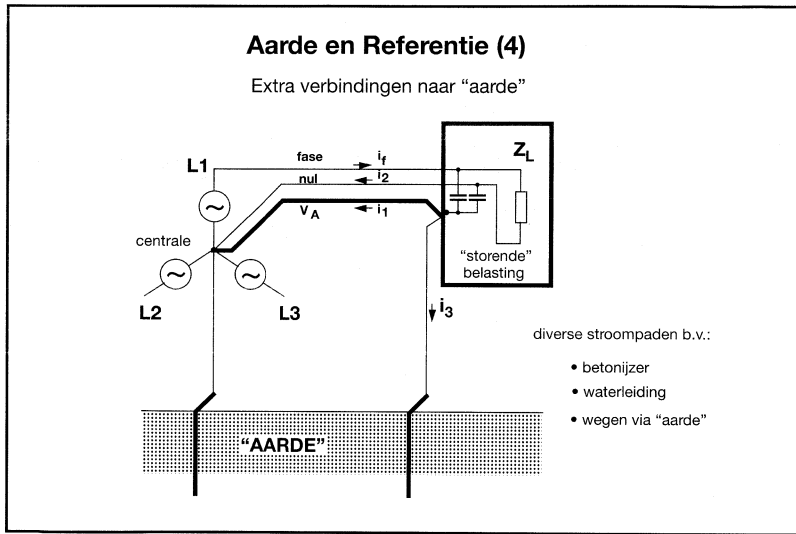
Hoe ontstaan nu die storende stromen in de buitenwereld over de mantels van onze kabels? Een van de mogelijkheden is in deze en de volgende slides geschetst. Uitgangssituatie is een lichtnet aansluiting waarop een storing veroorzakende belasting is aangesloten.

Aarde en Referentie (3)

Na toevoegen van kast met filter



Om verspreiding van de storing te voorkomen pakken we ons apparaat in een metalen kast en brengen we een filter aan van de beide lichtnet-aansluitingen naar de kast. Ten aanzien van EMC is deze oplossing voldoende. Het nadeel is echter dat de kast via de capacatieve spanningsdeler op de helft van de lichtnetspanning staat.



Doordat ten behoeve van de aanraakveiligheid zowel in de energiecentrale als in onze toestellen een veiligheidsaarde is aangebracht die tevens met een lokale aardpen verbonden is (moet zijn), zal de stroom die via de filtercapaciteiten naar de kast "lekt" zich verdelen over de veiligheidsaardleiding en "andere" wegen terug naar de centrale bijvoorbeeld de waterleiding, betonijzer en andere geleiders. Er vloeit nooit stroom "naar aarde" om daar te verdwijnen. Er is altijd een kring, een retourweg!

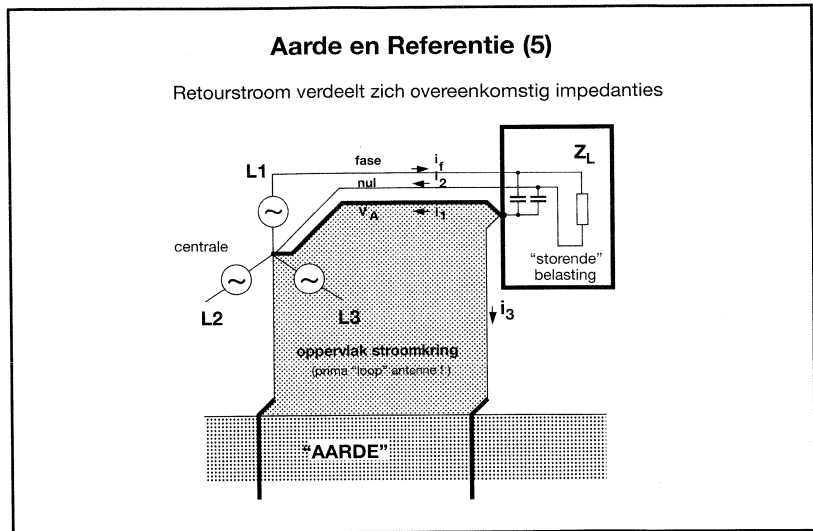
Netto resultaat is dat er altijd wel een reden is waarom er stroom zou willen gaan lopen tussen twee toestellen die ruimtelijk gescheiden zijn. Sterker nog de toestellen dragen daar zelf toe bij via de transferimpedanties van de verbindingkabels.

In plaats van de (veiligheids)aarde als geleider voor stoorstromen kan natuurlijk uitstekend een andere kabelverbinding dienen. Het kan dan makkelijk gebeuren dat een signaal dat een toestel via kabel A verstuurt via de transfer impedantie een stroom oplevert in de kring/lus gevormd door de mantels van kabels A en B om tenslotte via de transferimpedantie van kabel B weer omgezet te worden in een stoorsignaal op ingang B van hetzelfde toestel!

Het vak Elektro Magnetische verschijnselen behelst nu in feite de beheersing van deze (min of meer door de natuur gegeven, onvermijdelijke) stoormechanisme's. Een antwoord op de vraag "hoe houd ik mijn kringen gescheiden"?

Aarde en Referentie (5)

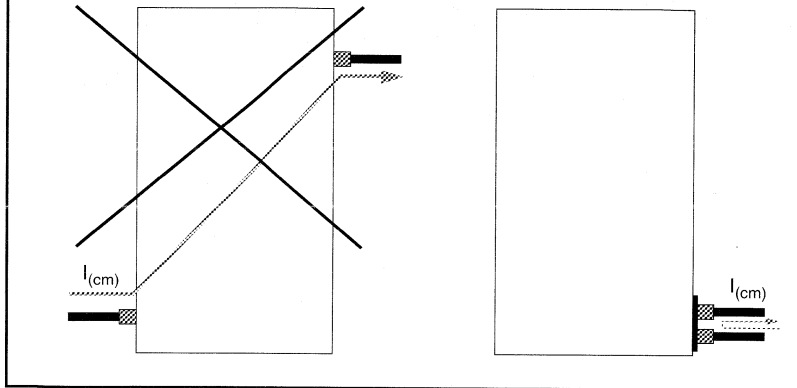
Retourstroom verdeelt zich overeenkomstig impedanties



Door al die extra retourwegen wordt de kans op stoorstraling ook groter. We moeten, als we die straling laag willen houden, al die wegen na-gaan en bewust stroomwegen aanbrengen of onderbreken. Vaak is het eenvoudiger de stroom zelf laag te houden. Het risico in de aardings of beter "referentie" layout van een systeem is, dat er bij latere wijziging of "vereenvoudiging" een essentiële stroomweg wordt onderbroken of een verboden pad wordt toegevoegd.

Aarde en Referentie (6)

Vermijd stromen door "de referentie"

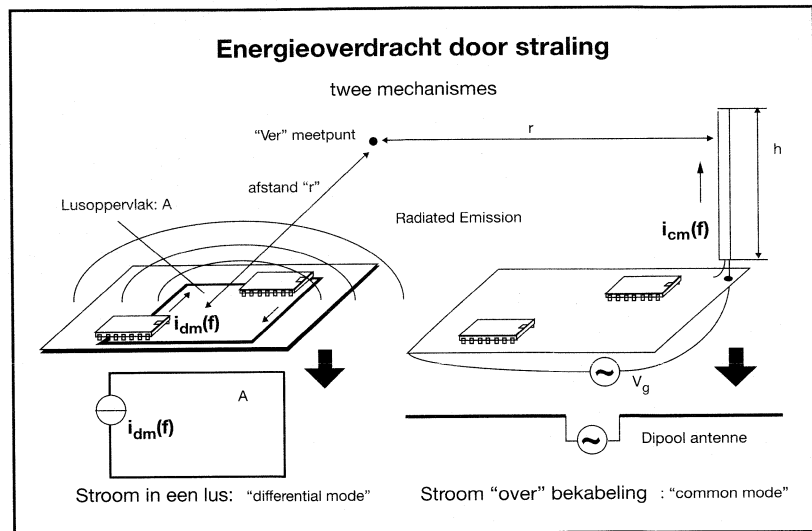


Bij kabels hebben we gezien dat de transferimpedantie er voor zorgt dat stromen over de mantel een spanning op de binnenader tot gevolg had. Evenzo kunnen we ons nu voorstellen dat stromen over de wand van een toestelkast via een vergelijkbaar mechanisme spanningen in het inwendige (bekabeling, printed circuits) kunnen teweegbrengen (dat gebeurt ook écht).

Het is daarom zaak ervoor te zorgen dat er geen stroom kan lopen. We doen dat door alle bekabeling op één plaats in de kast te voeren. Afwerking van de mantels of filtering vinden we ook op die plaats terug. Eventuele "stoorstromen" treffen op deze connectorplaat dan altijd een retourweg aan zodat de kast "stroomvrij" blijft.

Dit principe geldt van groot tot klein, voorbeelden:

- ❑ Door bij de aanleg van een telefooncentrale alle bekabeling aan één zijde van het gebouw te houden, wordt (grotendeels) voorkomen dat bv. een bliksem (vereffenings-)stroom dóór het gebouw loopt en daar verwoestingen aanricht.
- ❑ Op een printplaat moeten alle connectoren aan een zijde dicht bij elkaar (en laagimpedant verbonden) gemonteerd worden. Stromen door de print worden zo vermeden.



De overdracht van (stoor)energie door straling vindt steeds via één van de bovengeschetste mechanismes plaats (of een combinatie daarvan):

- ❑ Een binnen het systeem gewenste en dus "bedoelde" stroom in een kring met een "niet verwaarloosbaar" oppervlak. De uitstraling ten gevolge van deze "differential mode" stroom wordt ook wel differential mode radiation genoemd.
- ❑ Een binnen het systeem niet noodzakelijke "common mode" stroom (ook wel "verplaatsingsstroom" genoemd) die vloeit in een kring die gesloten wordt door de "antenne impedantie" van de door de aangesloten systeemonderdelen gevormde dipool antenne. Dit type uitstraling wordt common mode radiation genoemd.

Samenvatting eerste deel

“Zoek de stromen, scheid de kringen”

- Kirchhoff stroomwet O.K.: zoek de stromen
- Kirchhoff spanningswet beperkt toepasbaar.
- Stroom = Veld
- Transferimpedantie
- Scheid stroomkringen
- Stralingsoverdracht door stroomlussen en dipoolantennes gevormd door kabelsystemen

In dit eerste gedeelte van de voordracht hebben we gezien hoe elektromagnetische beïnvloeding tot stand kan komen en hebben we tevens een eerste aanzet gegeven om daar iets aan te doen. Het zal de lezer met wat achtergrond in de materie wellicht zijn opgevallen dat de volgorde en naamgeving van de onderwerpen aansluit bij de wijze waarop dit gebeurt in het boek:

- Goedbloed, Dr. J.J., “Elektromagnetische compatibiliteit, analyse en onderdrukking van stoornissen”, Kluwer technische boeken, Deventer, 1991.

Dit komt omdat we binnen ons bedrijf meerdaagse cursussen EMC verzorgen, waarbij dit boek als cursusmateriaal wordt uitgereikt en gebruikt. Deze cursus is overigens eveneens voor deelnemers van andere bedrijven toegankelijk. Ook voor zelfstudie is dit boek van harte aanbevolen!

Tweede deel:

Inzicht geven in een aantal beschermende maatregelen als afscherming en filtering
Korte introductie ten aanzien van transmissielijn effecten en impulsstoring

Deel II:

- Wat als de laagfrequent benadering niet geldt?
- Digitale logica / transmissielijnen
- Afscherming
- Filters
- Niet-lineaire verschijnselen
- Impulsvormige storingen
- Overzicht terminologie binnen het vakgebied

In dit tweede deel kijken we even naar de situaties waarin de “laagfrequent benadering” niet meer geldt en we rekening moeten gaan houden met afstanden en golflengtes. Vooral in digitale logica zijn de flanksteilheden (lees frequenties) zó groot geworden dat zelfs korte stukjes printspoor al transmissielijnen worden. Dit betekent dat we rekening moeten gaan houden met reflecties en “karakteristieke impedanties” hetgeen de analyse en oplossing van stoorproblemen aanzienlijk complexer maakt.

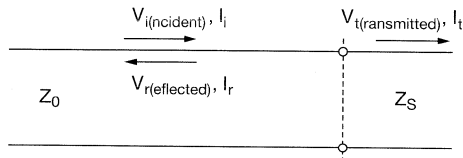
De voordeligste weg is ook hier: bij het ontwerp nadenken. Achteraf oplossen is duur zo niet onmogelijk.

Snelle digitale logica

karacteristieke impedantie en reflecties

Extra problemen:

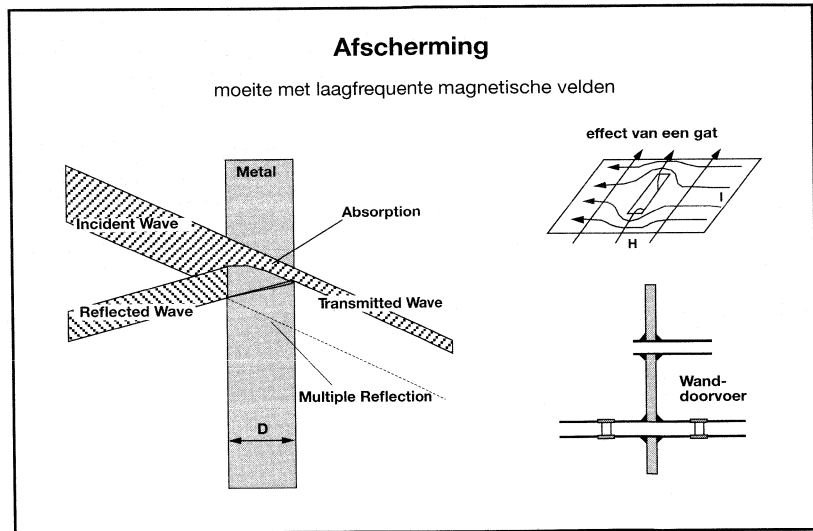
- reflecties
- (karacteristieke) impedantie
- (binnenkort) demping



De "EMC" problematiek in digitale elektronica is géén speciaal geval. Digitale circuits werken net als transistoren en op-amps analoog. Digitale ontwerpers benader(d)en ze echter op een andere, veel abstractere manier. Bijna als software. De nadruk ligt op de logische functie of zelfs het algoritme dat we moeten uitvoeren.

De analoge verschijnselen waren tot voor kort weinig problematisch omdat de flanksteilheden gering waren ten opzichte van de "elektrische weglengte", met andere woorden: de circuitvertragingen waren veel groter dan de vertraging ten gevolge van de verbindingssporen op de print: "laagfrequent benadering toegestaan". Nu de circuits steeds sneller worden gaan de onderlinge verbindingen een dominante rol spelen: niet alleen moeten we rekening houden met lusgrootte en flanksteilheid (en onderlinge overspraak) maar doordat de verbindingen elektrisch lang zijn geworden nu ook met transmissielijn effecten zoals reflecties en vertraging.

Er is natuurlijk geen duidelijke grens tussen "EMC" en analoge ontwerpstechnieken zoals die bv. in de "hoogfrequent" ontwerpgroepen worden gebruikt. Beide houden zich bezig met dezelfde Electro Magnetische verschijnselen. De hoogfrequent ontwerpers kijken er echter meestal door een frequentie bril naar (spectrum) terwijl de digitale ontwerper meer geïnteresseerd is in het verloop in de tijd. Dit kan misverstanden opleveren als de een bij de ander te rade gaat om advies!



Afscherming is een hulpmiddel om in een potentiële stoorsituatie de koppelweg tussen stoorder en gestoorde te onderbreken. Dit kan door de stoorder in te pakken (geschakelde voedingen) of door de gevoelige schakeling van de “boze buitenwereld” te scheiden (bv. in de buurt van omroepzenders).

Het is mogelijk een afscherming middels een geleidende plaat materiaal te modelleren als een “impedantie overgang” in de “transmissielijn” bestaande uit het medium (lucht) waarin de af te schermen EM golf zich beweegt. De vergelijkingen die deze processen beschrijven zijn identiek aan die bij transmissielijnen als we spanning (V) vervangen door elektrische veldsterkte (E) en de stroom (I) door de magnetische veldsterkte (H). De mechanismen die belangrijk zijn voor afscherming zijn:

- Absorptie in het materiaal
- Reflectie op de grensvlakken.

Juist door die equivalentie is het ook goed mogelijk metingen aan transmissielijnen (bv. coax) te doen om e.e.a. te illustreren.

Als we de berekeningen hebben gemaakt, zien we dat magnetische velden naarmate de frequentie lager wordt moeilijker af te schermen zijn (denkt u maar aan verstoring in de afbuiging van een beeldscherm onder invloed van een 50 Hz transformator). Deze wetenschap vereenvoudigt onze analyses omdat we nu alle aandacht kunnen focuseren op deze magnetische velden.

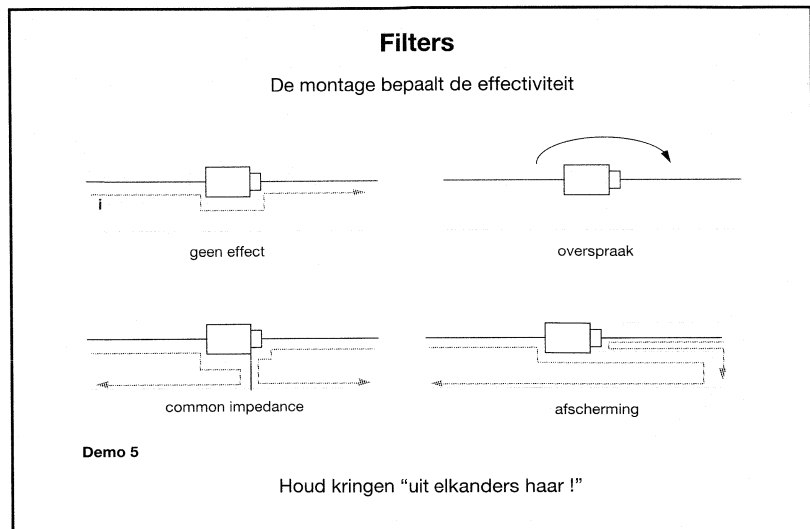
Als het magnetische aspect verzorgd is, zijn de andere gevallen vrijwel altijd ook in orde.

Nadat we de principiële werking van afscherming hebben bestudeerd, kunnen we ons tot de beperkingen wenden. Het effect van een afscher-

ming wordt nl. in de praktijk niet in de eerste plaats bepaald door de afschermende wand maar door de gaten en spleten die daar noodgedwongen in aangebracht zijn. We gaan dan na hoe het mogelijk is het effect van deze gaten te minimaliseren.

Hiervoor is aangegeven hoe een magneetveld door de stromen rond een spleet "naar binnen" gebogen wordt (dit is dus een stroom tengevolge van het veld of de stroom die het veld veroorzaakt: "stroom = veld").

Ook geleiders die door een afschermwand worden geleid kunnen stromen "inkoppelen".



Filters treffen we aan op plaatsen waar we geleiders door een afschermdende wand moeten voeren. Is er geen afschermdende wand, dan kunnen we het filter ook uitsparen. We kunnen dit demonstreren aan de hand van een proef met een viertal identieke filters.

De specificatie van de fabrikant van een filter kan alleen worden gehaald als dit filter ook op een verantwoorde manier is gemonteerd. Het filter heeft namelijk tot doel een kring buiten de afscherming te scheiden van een kring binnen het scherm. Als die kringen elkaar buiten het filter om kunnen "zien", dan bepaalt de overspraak de effectiviteit van de scheiding!

Het zal dan ook duidelijk zijn dat als we eenmaal besloten hebben op een toestel te gaan filteren, ook elke potentiële ingang (gat/spleet) moet worden afgesloten.

Nog een stapje verder: de bevestiging van het filter moet zodanig zijn dat de "om te leiden" stroom:

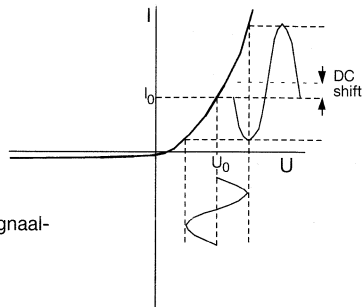
- niet in het toestel kan dringen
- bij voorkeur ook niet over de wand van het toestel mag lopen ("transfer impedantie" !)

Niet-lineaire verschijnselen

Eén van de bekendste storingsvormen

Karakteristiek halfgeleider diode

Vervorming = toevoegen nieuwe signaal-frequenties



$$I = I_0 + a_1 (U - U_0) + a_2 (U - U_0)^2 + a_3 (U - U_0)^3 + \dots$$

Niet lineaire verschijnselen zijn de oorzaak van vele soms spectaculaire stoorproblemen:

- (Vliegtuig) remsystemen die aanspreken op het veld van een walkie talkie
- Klanken van een zendamateur uit de audio installatie
- Foutieve waarden uit sensoren onder invloed van velden
- Kassa's en telefooncentrales die reageren op radarstraling.

In al deze gevallen is sprake van "detectie" van het storende signaal, dat veelal buiten de werkfrequenties van het gestoorde toestel ligt. Door de niet-lineaire eigenschappen van de halfgeleiders in het gestoorde toestel komen de storingen terecht in de band.

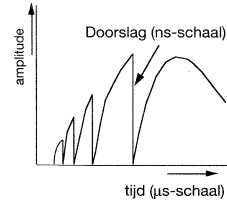
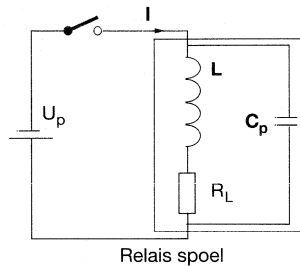
Het vervelende is nu dat de niet-lineaire eigenschappen inherent zijn aan de toegepaste halfgeleiders. Maatregelen om storing te voorkomen liggen dus altijd in de sfeer van:

- Voorkom dat de stoorsignalen de halfgeleiders bereiken
bv. door afschermen en filteren
- Datgene wat toch doorkomt mag in ieder geval niet versterkt worden:
oplossingen in de vorm van "creatief/selectief geplaatste condensatortjes".

De boodschap is "Werk niet breedbandiger dan absoluut noodzakelijk"

Impulsvormige storingen (1)

Schakelstoring



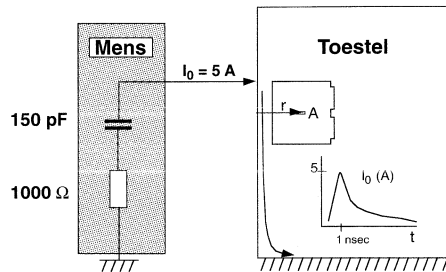
Kenmerkend voor impulsvormige storingen is dat ze in tijd gezien kort duren en niet periodiek zijn. We denken daarbij aan statische ontladingen (Electro Static Discharge, ESD), schakelen van inductieve componenten (relais), blikseminslag en als extreem geval de Nucleaire Electro Magnetische Puls (NEMP) van een buiten de atmosfeer tot ontploffing gebrachte kernlading.

Aspecten voor alle vormen zijn:

- Zeer korte stijgtijden (nanoseconde range)
- relatief grote energie inhoud

Impulsvormige storingen (2)

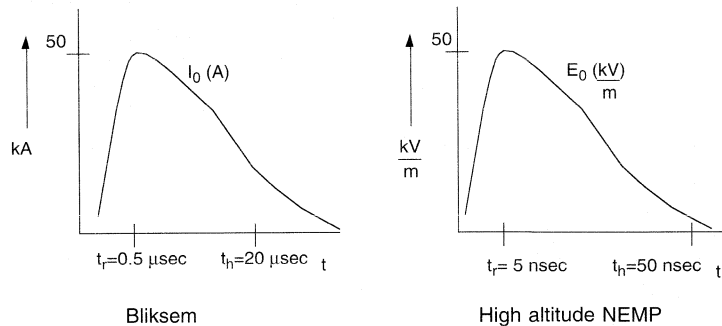
ESD voorbeeld



Naast de reeds behandelde maatregelen als afschermen, filteren en zorgvuldige layout, zijn "spike suppressors" als gasontladingsbuizen, varistors en zenerdiodes in de handel om door een afscherming te voeren signaalgeleiders te ontdoen van (te grote) impulsstoring.

Impulsvormige storingen (3)

Lightning Electro Magnetic Pulse (LEMP/ NEMP)



Bliksem en NEMP pulsen lijken op elkaar omdat beiden zeer grote piekwaarden kennen. Het meest in het oog springende verschil is echter dat de NEMP véél kortere stijgtijden heeft. Alle stoer en inkoppelingsmechanismes zijn evenredig met de veranderingssnelheid van het storende signaal (de afgeleide). De effecten van NEMP zijn dan ook aanzienlijk verwoestender dan die van bliksem (LEMP). Daarbij komt nog dat de "high altitude" NEMP als een vlakke golf neerdaalt over een gebied met een doorsnede van ca 2500 km terwijl de invloed van bliksem heel lokaal is.

Samenvatting tweede deel

meer middelen om kringen te scheiden

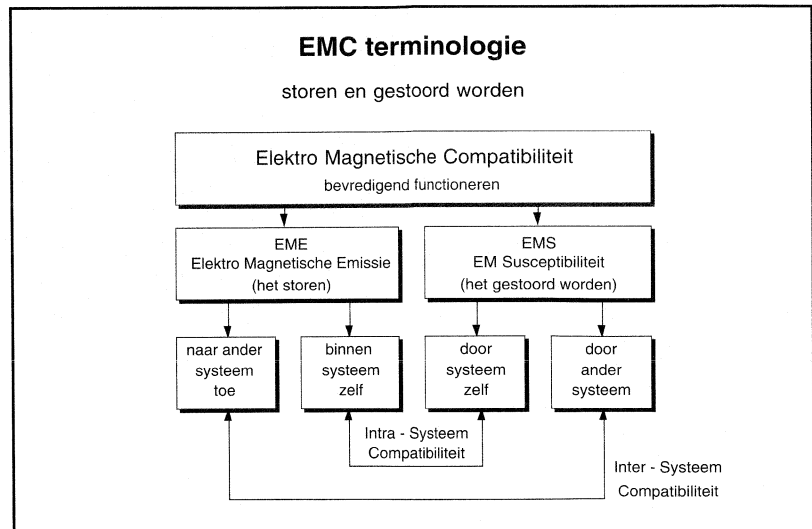
- Snelle logica: transmissielijnen, reflectie, karakteristieke impedantie
- Afscherming: let vooral op magnetische (nabije) veld en "gaten"
- Filters: in- en uitgang mogen elkaar niet zien.
- Niet-lineaire verschijnselen: "buiten de band"; voorkomen, vooral niet versterken.
- Impulsvormige storing: steile flanken, veel energie.

Afscherming, filteren, galvanisch scheiden en het gebalanceerd uitvoeren van interfaces zijn voorbeelden van manieren om stroomkringen te scheiden.

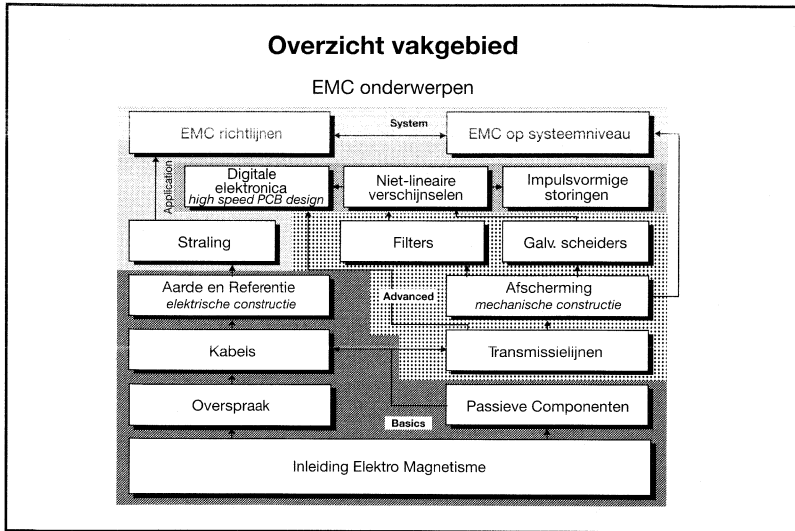
- Afscherming is bedoeld om stoorders of gestoorden zodanig in te pakken dat de stoorniveaus acceptabel worden
- Filteren onderbreekt de koppelweg. Dit kan zowel voor "differential mode" (componenten in het gewenste signaal) als voor "common mode" stromen (altijd ongewenst).
- Galvanisch scheiden beoogt common mode stroomwegen te onderbreken
- Balanceren vermindert niet de common mode stroom maar wel het effect dat deze heeft op het gewenste signaal (denk aan transfer impedantie van kabels, zie sheet 9) het idee is de interface zo uit te voeren dat de ongewenste signaalcomponenten zichzelf opheffen doordat ze in fase en in tegenfase aanwezig zijn.

De overige onderwerpen betreffen speciale verschijningsvormen van stoorbronnen:

- Snelle logica en impulsvormige storingen zijn verwant in de zin dat beide hun schadelijkheid ontleen aan de steile flanken (lees hoge frequentiecomponenten). In de snelle logica repeteert het signaal, de impuls is in principe éénmalig.
- Niet-lineaire verschijnselen zijn componenteigenschappen die uit stoorsignalen (waar we geen last van hebben) nieuwe genereren die "binnen de band" van ons toestel vallen.



Op sheet 2 is gedefinieerd dat EMC bestaat uit “bevredigend functioneren” en “geen ontoelaatbare stoorsignalen uitzenden”. In het plaatje hierboven komt dat tot uitdrukking. Zowel storen als gestoord worden kan plaats vinden binnen het eigen systeem (dat heet intra-systeem) als tussen verschillende systemen onderling (inter-systeem).



In het plaatje hierboven zijn de onderwerpen die (in deze voordracht oppervlakkig) aan bod zijn geweest in hun verband geschetst. In de blokken "Aarde en referentie", "Afscherming" en "Digitale elektronica" staat cursief de naam van het direct daaraan gerelateerde (applicatie cursus) onderwerp.

ELEKTROMAGNETISCHE COMPATIBILITEIT

een Europees fenomeen

Ir. H.A. Tuinenburg, ing. M.J. van der Dussen MBA, N.V. KEMA, Arnhem

1. Een Europees fenomeen, hoezo?

Het was de Deen Ørsted, die in 1819 waarnam dat een naald van een kompas beweegt als er in de buurt een elektrische stroom wordt geleid. Daarmee was hij de eerste die de wisselwerking tussen elektrische en magnetische verschijnselen op experimentele wijze aantoonde.

Andere Europeanen zoals Faraday, Ampère, Gauss en Weber hebben eveneens een belangrijke bijdrage geleverd aan het inzicht dat elektriciteit en magnetisme niet onafhankelijk zijn maar dat er een relatie tussen bestaat.

De Brit Maxwell, beschreef in 1873 deze relatie in een wiskundige formulering. Hieruit blijkt dat er een onverbreekelijke wisselwerking is tussen elektriciteit en magnetisme. Deze Theorie van Maxwell vormt de basis voor de hedendaagse leer van het elektromagnetisme.

Sindsdien is het gebruik van elektriciteit en magnetisme doorgedrongen tot vrijwel alle facetten van onze moderne samenleving. Het vormt een schier onuitputtelijke bron van inventiviteit om producten en diensten te ontwikkelen die de behoefte van mensen kunnen bevredigen.

Goede en ongestoorde werking van deze producten en diensten is van essentieel economisch en maatschappelijk belang voor de samenleving geworden. De Europese eenwording onderstreept dit belang.

Ruim honderd jaar na Maxwell, in mei 1989, stelde de Raad van Ministers de Richtlijn (89/336/EEG) betreffende de onderlinge aanpassing van de wetgeving van de Lid-Staten inzake elektromagnetische compatibiliteit vast.

Deze Richtlijn is één van een reeks Richtlijnen van de "Nieuwe Aanpak" voor technische harmonisatie waartoe in 1985 door de Raad van Ministers werd besloten om de technische handelsbarrières tussen de Lid-staten te slechten.

Richtlijnen volgens de "Nieuwe Aanpak" (bijlage 1) bevatten in algemene termen de "Wezenlijke Vereisten" waaraan apparaten moeten voldoen voordat ze in de Lid-staten mogen worden verhandeld. Het voldoen aan Europese Normen zal als regel de aangewezen weg zijn om aan te tonen, dat aan de "Wezenlijke Vereisten" is voldaan.

De Richtlijnen geven eveneens aan op welke wijze moet worden aangetoond, dat apparaten aan de "Wezenlijke Vereisten" voldoen. De hiervoor noodzakelijk keurings- en certificatieprocedures zijn afgeleid van een modulair systeem van procedures zoals beschreven in de "Global Approach", die in december 1990 werd aangenomen.

Op 1 januari 1992 werd de Richtlijn (89/336/EEG) van kracht. Er is echter een overgangperiode tot 1 januari 1996 voorgesteld. In deze overgangperiode kan de leverancier ook nog gebruik maken van de bestaande nationale regelgevingen.

Om tegemoet te komen aan de problemen die in de praktijk dreigden te ontstaan, onder meer door ontbreken van produktgerichte normen en door een tekort aan testcapaciteit, is in juli 1992 door de EEG een overgangsregeling ingesteld tot 1 januari 1996. In deze overgangperiode kan de Richtlijn niet zonder meer in de Lid-staten worden toegepast maar dient eerst omgezet te worden in de nationale wetgeving. In Nederland is de Hoofddirectie voor Telecommunicatie en Post (HDTP) van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat hiervoor verantwoordelijk. De betreffende regelgeving zal worden gerealiseerd als onderdeel van de Wet op de Telecommunicatievoorzieningen.

2. Wat regelt de richtlijn (89/336/EEG)?

In essentie stelt de Richtlijn dat apparaten die op de Europese markt worden gebracht, moeten beschikken over een passend niveau van intrinsieke ongevoeligheid voor elektromagnetische storingen en geen onaanvaardbare elektromagnetische storingen mogen veroorzaken.

Dit betekent, dat alle apparaten die elektromagnetische storing kunnen veroorzaken of er door gestoord kunnen worden onder de Richtlijn vallen. Voorbeelden hiervan zijn:

- radio- en televisie-ontvangers voor particulier gebruik
- industriële apparatuur
- mobiele radioapparatuur
- commerciële mobiele radioapparatuur en radiotelefonische apparatuur
- medische en wetenschappelijke apparatuur
- apparatuur voor informatietechnologie
- huishoudelijke apparaten en elektronische huishoudelijke apparatuur
- radioapparatuur voor lucht- en zeevaart
- educatieve elektronische apparatuur
- telecommunicatienetten en -netwerkapparatuur
- telecommunicatie-eindapparatuur
- radio- en televisie-omroepzenders
- verlichtingsapparatuur en fluorescentielampen.

Met name deze apparaten moeten zodanig geconstrueerd zijn dat zij

een passend niveau van ongevoeligheid hebben in een normale EMC-omgeving waar de apparaten moeten functioneren, zodat zij ongehinderd kunnen worden gebruikt bij storingsniveaus die worden opgewekt door apparaten die aan de "Wezenlijke Vereisten" voldoen.

Uitgesloten van de Richtlijn zijn :

- radioapparatuur die gebruikt wordt door radio-amateurs voor zover deze apparatuur niet in de handel is, zoals aangegeven in Artikel 2.3 van de Richtlijn
- actieve geïmplanteerde medische apparaten; hiervoor is de Richtlijn 90/385/EEG van toepassing
- andere medische apparatuur, voor zover dit geregeld is in de hiervoor nog te ontwerpen Richtlijn.

De Richtlijn is slechts ten dele van toepassing voor:

- motorvoertuigen, waar het emissie-aspect geregeld is in Richtlijn 72/245/EEG
- land- en bosbouwtractoren, waar het emissie-aspect geregeld is in Richtlijn 75/322/EEG
- niet-automatische weeginstrumenten, waar het immuniteits-aspect geregeld is in Richtlijn 90/384/EEG.

In de Richtlijn wordt een aantal partijen genoemd, die een bepaalde rol spelen in de procedures. Deze partijen zijn:

- de leverancier, dit kan de fabrikant zijn of een in de Gemeenschap gevestigde gevolmachtigde of eenieder, die een apparaat op de communautaire markt in de handel brengt
- de bevoegde instantie (competent authorities), in wezen de overheden van de Lid-staten; in Nederland de HDTP
- erkende testinstituten (competent bodies), die aantoonbaar moeten voldoen aan EN 45001 en in staat zijn om vast te stellen of een apparaat aan de "Wezenlijke Vereisten" voldoet; in Nederland is dit voor de EMC-Richtlijn onder andere N.V. KEMA
- aangewezen instanties (notified bodies), die aantoonbaar moeten voldoen aan EN 45001 en/of EN 45011 en/of EN 45012 en een gedeelde verantwoordelijkheid hebben met de leverancier dat de procedures, die worden genoemd in de Richtlijn op de juiste wijze en inhoudelijk correct worden uitgevoerd; in het bijzonder is de aangewezen instantie verantwoordelijk voor de verplichte EEG-typeverklaring.

De procedures die een leverancier moet volgen om aan te tonen dat een apparaat aan de "Wezenlijke Vereisten" voldoet zijn vastgelegd in Artikel 10 van de Richtlijn.

Met uitzondering van apparaten, die zijn bedoeld voor radiocommunicatie, is de procedure gebaseerd op Module A van de Global Approach.

Binnen de procedure die is gebaseerd op Module A zijn er twee mogelijkheden:

- de leverancier kan zelf een "EG-verklaring van overeenstemming" opstellen indien geharmoniseerde normen zijn toegepast bij het ontwerp en de productie van de betreffende apparaten. Deze verklaring moet onder meer het volgende bevatten:
 - beschrijving van het produkt, inclusief ontwerp, productie en gebruiksdokumentatie
 - vermelding van de specificaties waarmee het produkt in overeenstemming is; dit zijn als regel de toegepaste geharmoniseerde normen en de meetresultaten die daarop betrekking hebben
 - indien de leverancier de betreffende geharmoniseerde normen niet of slechts ten dele heeft toegepast bij het ontwerp en de productie dient (voor het deel dat niet wordt gedekt door geharmoniseerde normen) een "technisch constructie dossier" te worden opgesteld en beschikbaar gehouden voor de bevoegde instantie. Dit dossier moet een beschrijving bevatten van het apparaat, uiteenzetten op welke wijze overeenstemming met de "Wezenlijke Vereisten" is verzekerd en een technisch verslag of certificaat bevatten die van een erkend test-instituut of aangewezen instantie zijn verkregen.

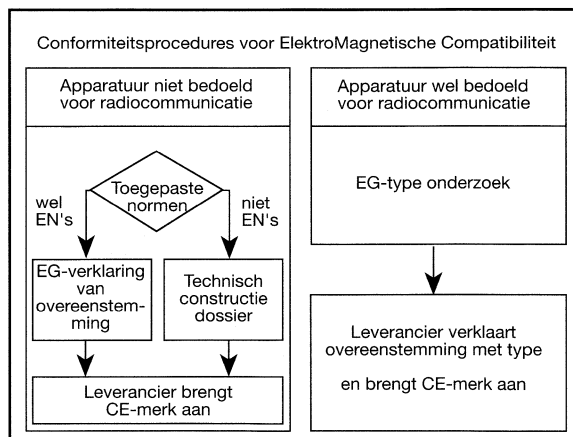
De EG-verklaring van overeenstemming en het technische constructie-dossier moeten gedurende een periode van tien jaar ter beschikking moet worden gehouden voor de bevoegde instantie.

De leverancier brengt vervolgens op elk apparaat of de verpakking het CE-merkteken aan; "CE" staat voor "Conformité Européenne".

De procedure voor radiocommunicatie-apparatuur is gebaseerd op Module B in combinatie met Module C van de Global Approach.

De leverancier dient in de eerste plaats een EG-typeverklaring te verkrijgen van een aangewezen instantie (Module B). Hiertoe biedt de leverancier een representatief apparaat voorzien van de noodzakelijke technische documentatie ter keuring aan. De keuring wordt uitgevoerd onder verantwoordelijkheid van de aangewezen instantie maar de noodzakelijke test mogen worden uitgevoerd door de leverancier indien deze daartoe in staat is of door erkende testinstituten. Indien de keuring, die als regel wordt uitgevoerd op basis van geharmoniseerde normen, met een positief resultaat wordt afgesloten, stelt de aangewezen instantie een EGtypeverklaring op.

De leverancier stelt vervolgens een verklaring van overeenstemming op (Module C) waarin wordt bevestigd,



dat de geproduceerde apparaten in overeenstemming zijn met het gekeurde type en brengt het CE-merkteken aan.

De aangewezen instantie overtuigt zich door middel van adequate inspecties van de geproduceerde apparaten, dat de overeenstemming blijft bestaan.

Op een bepaald apparaat kunnen meerdere Richtlijnen van toepassing zijn. Een voorbeeld vormt telecommunicatie eindapparatuur waarvoor zowel de Richtlijn 89/336/EEG als de produktgerichte Richtlijn 91/263/EEG van toepassing is. Om conflicten in procedures te vermijden geldt in dit soort situaties dat de produktgerichte Richtlijn ten aanzien van de EMC aspecten voorrang heeft boven de EMC Richtlijn.

3. Normen

Uit het voorgaande zal duidelijk zijn dat de beschikbaarheid van geharmoniseerde normen een zeer belangrijke voorwaarde is voor het welslagen van de EMC-Richtlijn.

De structuur die gekozen is voor de benodigde normen maakt een onderscheidt in normen voor emissie en normen voor immuniteit. De normen gelden veelal voor een bepaalde produktgroep, rekening houdend met de specifieke EMC omgevingscondities waarin de betreffende apparaten als regel worden toegepast en met de karakteristieke eigenschappen van de produktgroep.

Voor apparaten, die zijn bestemd voor huishoudelijk gebruik, handel en lichte industrie, zijn generieke normen voor emissie en immuniteit vastgesteld. Overeenkomstige normen voor apparatuur, bestemd voor industriële toepassingen, zijn in voorbereiding.

Verschillende normen zijn nog in ontwikkeling; in bijlage 2 is een overzicht gegeven van de normen die in september 1992 gereed of vrijwel gereed waren.

4. Quo vadis

Hoewel de regelgeving, de conformiteitsprocedures en de geharmoniseerde normen voor het merendeel bekend is ontbreekt het bij alle betrokkenen, zowel bij de leveranciers als bij de verschillende "bodies" aan enige ervaring met de beoogde systematiek. De eerste januari van 1992 heeft geen abrupte verandering teweeg gebracht in de wijze waarop wij met de EMC problematiek omgaan. Er is wel een verandingsproces begonnen om een nieuwe balans in de relatie tussen overheid, leveranciers en "bodies" te vinden. Dit nieuwe evenwicht is echter nog niet in zicht.

Bijlage 1

NEW APPROACH, GLOBAL APPROACH AND CE-MARK

In the process of removing technical barriers to trade the European Communities have adopted a New Approach to technical harmonization in 1985. This New Approach means that the European Communities regulate what is essential for ensuring the necessary level of protection with respect to safety, health and environment. For categories of products the essential requirements are formulated in the directives. The essential requirements are or will be specified in harmonized European technical standards. The European Communities have given mandates to CEN, CENELEC and ETSI, the European standardization bodies, to draft and adopt the technical standards. If a product conforms to the relevant standards, it produces a presumption of conformity with the essential requirements.

Since the adoption of the New Approach the Council of the European Communities has adopted several directives, as shown below.

<i>Application Area</i>	<i>Directive</i>	<i>Effective</i>
simple pressure vessels	86/404/EEC	90-07-01
toy safety	88/378/EEC	90-01-01
construction products	89/106/EEC	91-07-01
electro-magnetic compatibility	89/336/EEC	92-01-01
safety of machinery	89/392/EEC	93-01-01
personal protective equipment	89/686/EEC	92-07-01
gas appliances	90/396/EEC	92-01-01
non-automatic weighing instruments	90/384/EEC	93-01-01
active implantable medical devices	90/385/EEC	93-01-01
telecommunications terminal equipment	91/263/EEC	92-11-06
display screen equipment	90/270/EEC	92-12-31

Other directives will in the near future be adopted, like:

- other medical devices
- in vitro diagnostica
- metrology-matters
- equipment under pressure
- equipment for use in potentially explosive atmospheres.

In each directive is stated when the directive will be in force. The Member States must transpose the directives in their own legislation before the date of coming into force.

In the New Approach directives the conformity procedures are defined (procedures to be followed to show that the products conform to the essential requirements). These testing and certification procedures in

the specific directives are derived from a modular system as described in the Global Approach (Decision of the Council of the European Communities of December 13 1990). These conformity procedures range from a manufacturer's declaration to assessment of a quality system for the manufacturer and type-testing of the product by a third party, depending from the risks of the product in relation to safety and health. The Member States notify bodies to perform the tasks of the third party as described in the directives. These "notified bodies" must fulfil the minimum criteria of the directives.

There is a presumption of conformity with the minimum criteria if the notified body can prove that it satisfies the relevant standard of the EN 45000-series (European accreditation standards).

The CE-mark is a sign that the product, as declared by the manufacturer, fulfils the essential (minimum) requirements. It is a responsibility of the manufacturer that the products satisfy the essential requirements if these products are brought on the market with the CE-mark.

All products in the same category will be labelled with the CE-mark. So the CE-mark does not mean to distinguish in regard to the quality of products of a certain category. Moreover it remains to be seen if consumers will have much confidence in the CE-mark. Therefore product certification and quality system certification by an independent body for products falling under the New Approach directives or products outside their reach will be needed also in the future. An extra mark may be affixed to the product provided that the mark will not lead to confusion with the CE-mark.

Products in the range of the New Approach directives may only be brought on the EC-market if the products are labelled with the CE-mark. This not only concerns manufacturers within the European Communities but also manufacturers outside the European Communities who want to bring their products on the EC-market.

The conformity assessment procedures in community legislation as defined by the Global Approach are shown below.

CONFORMITY ASSESSMENT PROCEDURES IN COMMUNITY LEGISLATION

DESIGN					
A. INTERNAL CONTROL OF PRODUCTION	<p>Manufacturer Keeps technical documentation at the disposal of national authorities</p> <p>Aa intervention of notified body</p>	B. TYPE EXAMINATION	<p>Manufacturer submits to notified body</p> <ul style="list-style-type: none"> - Technical documentation - Type <p>Notified body</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ascertains conformity with essential requirements - Carries out tests, if necessary - Issues EC type-examination certificate 	G. UNIT VERIFICATION	<p>Manufacturer</p> <ul style="list-style-type: none"> - Submits technical documentation
PRODUCTION	<p>A. Manufacturer</p> <ul style="list-style-type: none"> - Declares conformity with essential requirements - Affixes the CE-mark <p>Aa Notified body</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tests on specific aspects of the product - Product checks at random intervals 	C. CONFORMITY TO TYPE	<p>Manufacturer</p> <ul style="list-style-type: none"> - Declares conformity with approved type - Affixes the CE-mark <p>Notified body</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tests on specific aspects of the product - Product checks at random intervals 	D. PRODUCT QUALITY ASSURANCE EN 29002	<p>Manufacturer</p> <ul style="list-style-type: none"> - Operates an approved quality system (QS) for production and testing - Declares conformity with approved type - Affixes the CE-mark <p>Notified body</p> <ul style="list-style-type: none"> - Approves the QS - Carries out surveillance of the QS
		E. PRODUCT QUALITY ASSURANCE EN 29003	<p>Manufacturer</p> <ul style="list-style-type: none"> - Operates an approved quality system (QS) for inspection and testing - Declares conformity with approved type or essential requirements - Affixes the CE-mark <p>Notified body</p> <ul style="list-style-type: none"> - Approves the QS - Carries out surveillance of the QS 	F. PRODUCT VERIFICATION	<p>Manufacturer</p> <ul style="list-style-type: none"> - Declares conformity with approved type or with essential requirements - Affixes the CE-mark <p>Notified body</p> <ul style="list-style-type: none"> - Verifies conformity - Issues certificate of conformity
		F. PRODUCT VERIFICATION	<p>Manufacturer</p> <ul style="list-style-type: none"> - Declares conformity with approved type or with essential requirements - Affixes the CE-mark <p>Notified body</p> <ul style="list-style-type: none"> - Verifies conformity - Issues certificate of conformity 	G. UNIT VERIFICATION	<p>Manufacturer</p> <ul style="list-style-type: none"> - Submits product - Declares conformity - Affixes the CE-mark <p>Notified body</p> <ul style="list-style-type: none"> - Verifies conformity with essential requirements - Issues certificate of conformity
		H. FULL QUALITY ASSURANCE	<p>EN 29001</p> <p>Manufacturer</p> <ul style="list-style-type: none"> - Operates an approved quality system (QS) for design <p>Notified body</p> <ul style="list-style-type: none"> - Carries out surveillance of the QS - Verifies conformity of the design - Issues EC design examination certificate 	H. FULL QUALITY ASSURANCE	<p>Manufacturer</p> <ul style="list-style-type: none"> - Operates an approved QS for production and testing - Declares conformity - Affixes the CE-mark <p>Notified body</p> <ul style="list-style-type: none"> - Carries out surveillance of the QS

Bijlage 2

Overzicht van de Europese EMC-normen die in september 1992 gereed of vrijwel gereed waren

Generic emission standards

- EN 50081-1** Generic emission standard
Part 1: Domestic, commercial and light industry environment.
- prEN 50081-2** Generic emission standard
Part 2: Industrial environment.

Low-frequency emission standards

- EN 60555-2** Disturbances in supply systems caused by household appliances and similar electric equipment.
Part 2: Harmonics
- EN 60555-3** Disturbances in supply systems caused by household appliances and similar electric equipment.
Part 3: Voltage fluctuations

Radio frequency emission standards

- EN 55011** Limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics of industrial, scientific and medical (ISM) radio-frequency equipment.
- EN 55013** Limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics of broadcast receivers and associated equipment.
- EN 55014** Limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics of household electrical appliances, portable tools and similar electrical apparatus.
- EN 55015** Limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics of fluorescent lamps and luminaires.
- EN 55022** Limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics of information technology equipment.

Emission standards for ISDN terminal equipment

- prENV 550102-1** Electromagnetic Compatibility Requirements for ISDN terminal equipment.
Part 1: Emission Requirements

Specific emission standards for signalling on installations

- EN 50065-1** Signalling on low-voltage electrical installations in the frequency range 3 kHz to 148.5 kHz.
Part 1: General requirements, frequency bands and electromagnetic disturbances.

Immunity standards

- EN 55020** Immunity from radio interference of broadcast receivers and associated products.

Immunity standards for information technology and communication equipment

- prEN 55024-2** Electrostatic discharges
prEN 55024-3 Radiated fields
prEN 55024-4 Fast transient
prEN 55024-5 Surge
prEN 55025-6 Conducted radio interference

Immunity standards for ISDN terminal equipment

- prENV 550102-2** Electromagnetic Compatibility Requirements for ISDN terminal equipment.
Part 2: Immunity requirements.

EEN "STRALEND" PRODUKT

*P.M.J. van der Holst
HAS Transport Systems*

In deze lezing wordt ingegaan op de Elektro Magnetische Compatibiliteit van micro-elektronica produkten. Eerst wordt het verschijnsel en de oorzaak behandeld. Vervolgens wordt aangegeven welke maatregelen in de ontwerpfase genomen dienen te worden om aan EMC-normen te kunnen voldoen. Tot slot wordt een methode gepresenteerd om in de praktijk te verifiëren of met de genomen maatregelen werkelijk aan de EMC-normen wordt voldaan..

Het EMC-fenomeen

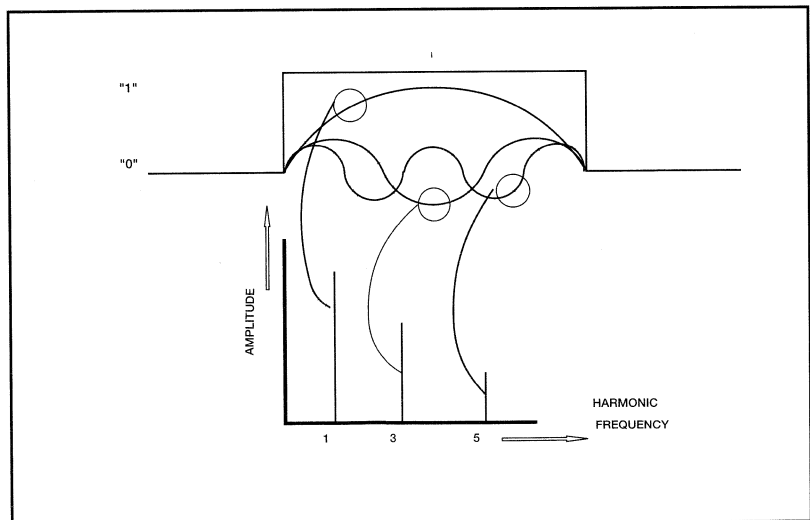
Bij de ontwikkeling van micro-elektronica produkten dient terdege rekening gehouden te worden met Elektro Magnetische Compatibiliteit (EMC).

Elektronische schakelingen produceren namelijk enerzijds elektromagnetische straling (emissie) en zijn anderzijds gevoelig voor interferentie. Daarbij is sprake van een zekere dualiteit: "Hoe lager de emissie, hoe hoger de immuniteit tegen interferentie".

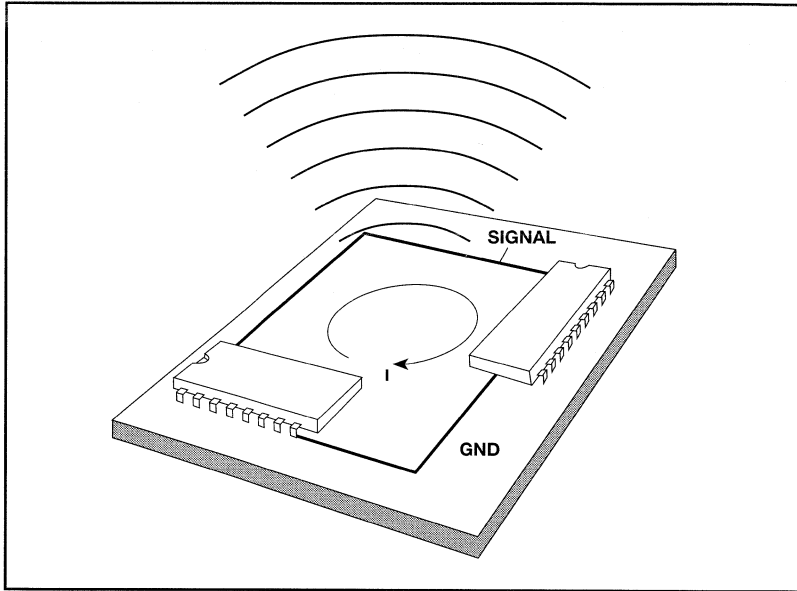
De bron

In elektronische schakelingen worden signaalbewerkingen uitgevoerd. Deze digitale signalen zijn samengesteld uit golfvormige componenten volgens Fourier. Hieruit blijkt dat het digitale signaal hoogfrequente componenten bevat.

en digitaal signaal
; opgebouwd uit
olfvormige com-
ponenten.



Elke schakeling bevat elementen die bijdragen tot een hoogfrequent gedrag. Dit manifesteert zich in een bepaalde zelfinductie en in een bepaalde antennekarakteristiek (bijvoorbeeld van voedingslussen).



Emissie die door voedings- en signaallussen ontstaan.

Bij bewerking van het aangeboden digitale signaal ontstaat een frequentie-afhankelijk gedrag. Dit vertaalt zich enerzijds in emissie en anderzijds in een gevoeligheid voor interferentie.

EMC bewust ontwerpen

Tot nu toe denkt de ontwerper meestal in booleaanse notatie in de vorm van actief - niet actief, 1 - 0, true - false. Om maatregelen te kunnen treffen, is een digitaal denkpatroon niet voldoende. De ontwerper dient zich ook bewust te zijn van de samengestelde golfvorm van het signaal, hetgeen resulteert in het EMC-gedrag. Om een goed ontwerp te waarborgen, dient de ontwerper preventief de volgende maatregelen te nemen:

*** *de ground bounce reductie***

Dit is een ongewenste overspraak in chips welke wordt veroorzaakt door de zelfinductie die aanwezig is tussen de externe massa-aansluiting en de interne halfgeleiderstructuur. Dit manifesteert zich het sterkst bij busdrivers.

oplossing:

- zorg voor een lage capacatieve belasting;
- neem een aantal dempingsweerstand op in serie met de output-signalen van de desbetreffende geïntegreerde schakeling.

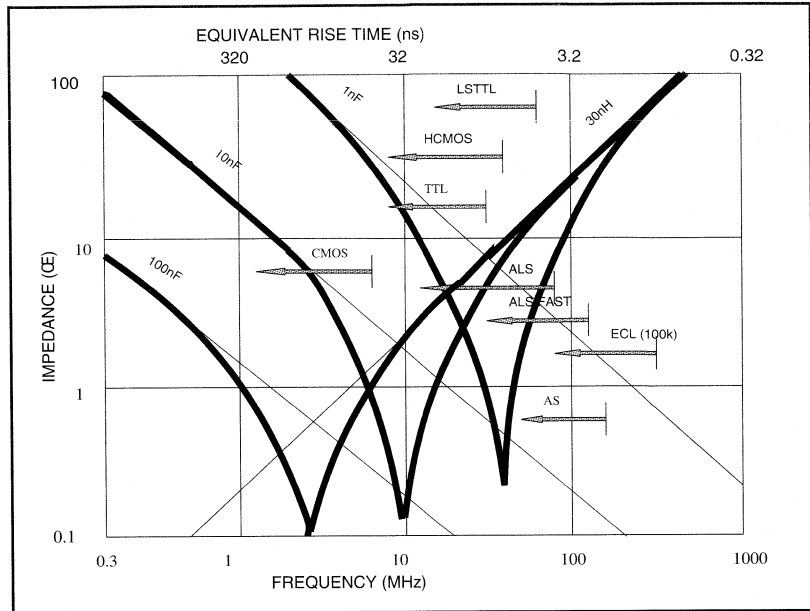
* **de ont koppeling van de voeding**

Bij schakelovergangen in digitale circuits treden kortstondige stroomvariaties op die kunnen leiden tot emissie.

oplossing:

- breng lokaal een ont koppelcapaciteit aan;
- beperk de lengte van de voedingslijn (ground plane).

De impedantie als functie van de ont koppelcapaciteit en frequentie.



* **de correcte aarding**

Het gebruik van verschillende aardingspunten kan potentiaalverschil hiertussen veroorzaken. Deze aardlussen verhogen de gevoeligheid voor interferentie.

oplossing:

- aard stervormig;
- voorzie in- en uitgangscircuits van galvanische scheidingen.

* **de beperking van het transient gedrag (dI/dT)**

Bij een gegeven lengte van een printbaan zal de emissie als functie van de frequentie toenemen naarmate de frequentie hoger wordt.

oplossing:

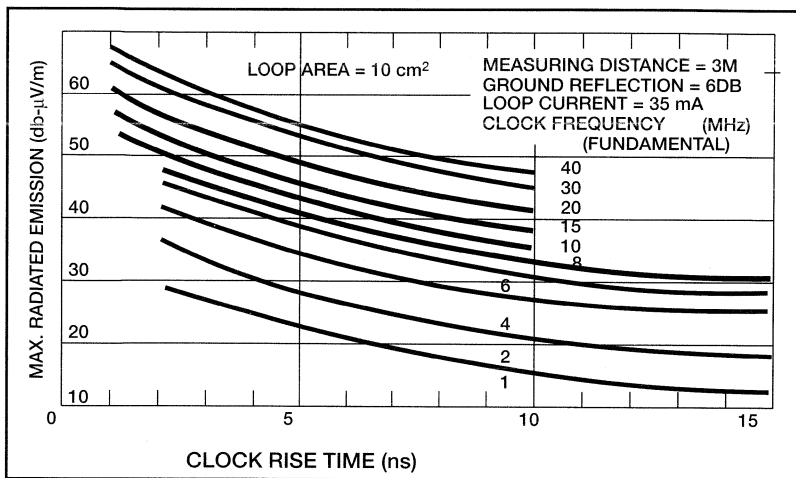
- breng een laagdoorlaatfilter aan in de vorm van een serieweerstand of zelfinductie (ferrietbead).

* **de logische partitionering**

In microcomputersystemen zijn alle bouwstenen aangesloten op een

microprocessor, hetgeen resulteert in aanzienlijke busafstanden met de daarbij behorende emissie (De emissie is afhankelijk van de lengte). Dit wordt verholpen door de logische functies uitsluitend te activeren indien dit noodzakelijk is. Een voorbeeld is een gescheiden geheugen- en proces input/output aansturing.

*** de beperking van de antennewerking**



De emissie als functie van stijgtijd, klok frequentie.

oplossing:

- reduceer de lengte van de voedingsspanningslussen met aparte voedingslagen (multilayer);
- beperk de lengte van de routes met route-optimalisatie;
- beperk de antennewerking van aansluitkabels met het in serie opnemen van ferrietbeads. (De impedantie van de ferrietbead neemt toe met de frequentie, dus minder effectieve antennekoppeling);
- pas ingangsfilters toe om de hoogfrequente interferentie te onderdrukken.

*** de reductie met afscherming**

Zowel het emissieniveau als de interferentie-immuniteit kunnen respectievelijk verlaagd en verhoogd worden door toepassing van afscherming (kooi van Faraday).

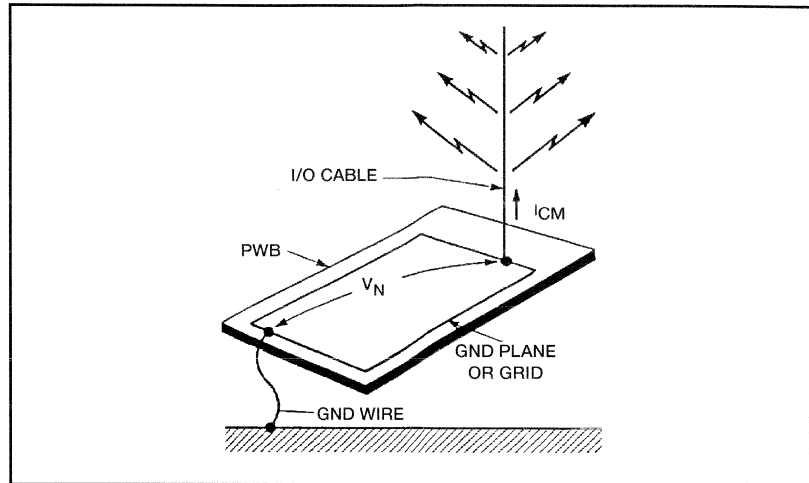
De verificatie

De kwaliteit van het ontwerp ten aanzien van EMC wordt bepaald door de mate waarin emissie en interferentie optreden. Dit wordt uitgedrukt in de veldsterkte. Voor de verificatie van het ontwerp is dus gereedschap nodig waarmee de veldsterkte gemeten kan worden.

Middelen

Om het effect van de genomen maatregelen ten aanzien van de emissie te controleren, zijn nodig:

ussen en aansluit-
abels kunnen
missie veroorza-
en.



- een probe-set in combinatie met een breedband oscilloscoop om het magnetische (H) of elektrische (E) veld te bepalen
- een spectrumanalyser met meetantenne(s). Voor de bepaling van de gevoeligheid voor interferentie wordt gebruik gemaakt van:
 - een transientgenerator met capacitieve koppelinrichting (clamb);
 - een elektrostatische ontladingsgenerator (ESD);
 - een hoogfrequent vermogensgenerator.

Methode

De controle op het emissieniveau wordt als volgt uitgevoerd:

Met de spectrumanalyser wordt gecontroleerd of de emissie de stralingsgrens (norm) niet overschrijdt.

Bij overschijding kan vervolgens met behulp van de probeset het emissiegedrag onderzocht worden om de bron(nen) te lokaliseren.

De controle op de immuniteit tegen interferentie geschiedt op de volgende wijze:

Met de koppelinrichting van de transientgenerator wordt interferentie in de aansluitkabels opgewekt en wordt gemeten tot welk interferentieniveau de elektronica betrouwbaar (volgens norm) blijft functioneren.

Via de aardvlakkoppeling van de transientgenerator kan gecontroleerd worden tot welk interferentieniveau de elektronica betrouwbaar blijft functioneren.

Met de ESD wordt zowel via lucht- als contactontlading gecontroleerd of het micro-elektronica product aan de gestelde eisen (norm) voldoet. De hoogfrequent vermogensgenerator wordt in een speciale meetinrichting gebruikt om de interferentiegevoeligheid te beproeven.

Conclusie

Het treffen van de gepresenteerde maatregelen resulteert in een micro-elektronica produkt dat voldoet aan de EMC-normen. Dit EMC bewust ontwerpen leidt bovendien tot een kortere ontwikkeltijd, hetgeen de kosten reduceert.

Met volle overtuiging kan dan, in de juiste zin van het woord, gezegd worden dat EMC bewust ontwerpen de gewenste uitstraling aan een produkt geeft.

SUPPORT AND COMPETENCE CENTER NEDERLAND

Jessi toegankelijk voor middelgrote en kleine bedrijven

Ir. H.G. Rave, Centrum voor Micro-Elektronica

Inleiding

Aan het eind van de tachtiger jaren is het Europese programma 'Joint European Submicro Silicon' (Jessi) van start gegaan. Doel van het Jessi-programma is de Europese halfgeleiderindustrie in 1996 met de industrie in de Verenigde Staten en met name het Verre Oosten te kunnen laten wedijveren.

Jessi is een omvangrijk programma: meer dan 10.000 manjaar wordt in de periode tot en met 1996 besteed. Subprogramma's zijn:

- Technology
- Equipment and Materials
- Application
- Basic and Long Term Research

Met het doel de ca. 25.000 Europese middelgrote en kleine bedrijven toegang te geven tot de resultaten van deze grote research-inspanning is binnen 'Application' het project 'Small and Medium Sized Industries Support' ('SMI-Support') van start gegaan. Veertien organisaties in elf landen werken samen en vormen een Europees netwerk dat bedrijven in staat stelt nieuwe kennistechnieken voor hun produktontwikkeling te benutten.

Het Centrum voor Micro-Elektronica (CME) is de Nederlandse partner in SMI-Support. Het CME voert de Europese projectleiding, in de persoon van Ir. G.A. Schwippert. De Nederlandse activiteiten worden uitgevoerd onder de naam 'Support and Competence Center' (SCC) en staan onder leiding van Ir. H.G. Rave.

Micro-elektronica: de moeilijkheden

De penetratie van micro-elektronica in produkten, ofwel het aantal produkten waarin micro-elektronica wordt toegepast gerelateerd aan het aantal produkten waarin micro-elektronica *kan* worden toegepast, ligt in vele Europese landen op 10 à 20 %. Vele oorzaken kunnen daarvoor aangegeven worden. Uit onderzoek en uit ervaring van het CME blijkt dat een aantal problemen de toepassing van micro-elektronica in produkten belemmeren. Het schatten van de markt voor een nieuw produkt is vaak zeer lastig. Bovendien is de Nederlandse markt voor veel produkten vrij klein, en is export een noodzaak. Daarvoor de nodige contacten opbouwen vergt een behoorlijke investering.

De investering in techniek moet veelal over meerdere produktontwikkelingen worden afgeschreven. De verantwoorde introductie van

nieuwe technieken vergt een visie op strategisch niveau. Deze blijkt regelmatig slecht ontwikkeld te zijn.

Als een bedrijf een produktontwikkeling wil starten dan ervaart het vaak een drempel omdat men de aanbieders niet of onvoldoende kent, en bovendien niet goed kan inschatten welke kwaliteiten een aanbieder moet bezitten.

Toepassing van micro-elektronica in produkten vergt technische kennis van zaken, die niet bij een middelgroot of klein bedrijf aanwezig is. Een potentiële toepassing van micro-elektronica wordt daardoor niet herkend, en de ontwikkeling van een produkt wordt bemoeilijkt. Het laatste probleem is dat de investering om een produktontwikkeling met geavanceerde micro-elektronica mogelijk te maken vrij groot is, zowel in apparatuur en programmatuur, als in het daarvoor benodigde opleidings- en inwerktraject.

Micro-elektronica stimulering door SCC

Om bovengenoemde problemen aan te pakken en bedrijven te ondersteunen in de toepassing van geavanceerde micro-elektronica worden enkele activiteiten in samenhang met elkaar uitgevoerd.

SCC ondersteunt bedrijven op de volgende wijzen:

- met voorlichting (seminars, artikelen, brochures, een nieuwsbrief, presentaties etc.) bedoeld om bedrijven te attenderen op de mogelijkheden van de moderne micro-elektronica. Het vormen en onderhouden van een relatienetwerk blijkt een voorwaarde voor de introductie van nieuwe technieken, en wordt dan ook waar mogelijk gestimuleerd;
- met support op het gebied van produktontwikkeling. Te denken valt aan het opstellen van produktspecificaties, het selecteren en introduceren van ontwerphuizen en het laten uitvoeren van haalbaarheidsstudies;
- met support op het gebied van de benutting van researchresultaten van derden. Modellen daarvoor kunnen zijn samenwerking met een researchinstituut, een specifiek en intensief trainingsprogramma of een tijdelijke medewerker om een nieuwe techniek te introduceren;
- met analyseren van de behoeften aan kennis, en de verwerving daarvan. Een overzicht over het bestaande cursusaanbod kan drempels verlagen. De ervaring in het begeleiden van bedrijven brengt nieuwe cursusbehoeften aan het licht.

Een vorm tussen individuele begeleiding en cursussen is de werkgroep: drie tot zes bedrijven ontwikkelen gezamenlijk een component, die ieder apart in hun produkt kunnen toepassen.

SCC wordt gefinancierd door het Ministerie van Economische Zaken, en werkt op niet-commerciële basis. Waar mogelijk wordt samengewerkt met commerciële ontwerphuizen en researchinstellingen.

Voorbeelden

Op bovengenoemde wijze ondersteunt SCC jaarlijks circa honderd bedrijven. Een voorbeeld van deze begeleiding is een firma die analyse-apparatuur voor de voedingsindustrie ontwikkelt en produceert. De toepassing van deze apparatuur maakt centrale besturing nodig. Verschillende deelinstrumenten moeten via een industriële buskoppeling bestuurd worden en informatie doorgeven. Om een universele bus-interface te definiëren en daarvoor een feasibility study uit te voeren is een ontwerphuis door het SCC ingeschakeld. Tussenresultaat is een rapport, waarin de specificaties en de ontwerpstappen uitvoerig worden behandeld. Op basis hiervan heeft het bedrijf besloten de ontwikkeling te starten. Als concept is gekozen voor een opzet met intelligente deelsystemen. Inmiddels is de ontwikkeling vrijwel afgerond.

Een ander voorbeeld betreft een bedrijf dat voor een produkt behoefte aan ISDN-kennis had. Een expert heeft het bedrijf op weg geholpen en heeft het bedrijf gewezen op de noodzaak specifieke vragen betreffende ISDN-chips aan de ontwerper van de chips voor te leggen. Dit contact kon tot stand worden gebracht, zodat men in staat was het project zelf verder uit te voeren binnen de gestelde planning.

Een laatste voorbeeld is een firma die draadloze datacommunicatie-apparatuur ontwikkelt en op de markt brengt. Nieuwe richtlijnen van de overheid maakten een verdere produktontwikkeling noodzakelijk. De signaalbewerkingsalgoritmen zijn door een researchinstituut gedefinieerd. Voor de implementatie kon uit twee technieken gekozen worden: FPGA's en DSP's. In een voorstudie is een afweging gemaakt, een beslissing over de techniek genomen en een ontwerphuis geselecteerd.

De conclusies voor bedrijven die uit de SCC ervaring tot dusverre luiden:

- Het is wezenlijk dat een opdrachtgever zich goed inleeft in een productspecificatie. Dit voorkomt onnodige herhaling van ontwikkelingsstappen, en verbetert de beheersbaarheid van een ontwikkeling aanzienlijk. Het inleven kan worden gerealiseerd door een beschrijving op te stellen van de gebruikerssituatie van een produkt, en het specificeren van het produktgedrag.
- Bouw voortdurend aan een relatienetwerk. Identificeer belangrijke actoren, en zorg ervoor dat het bedrijf op de hoogte blijft. Dit geldt uiteraard voor de afnemer kant van een bedrijf, maar niet minder voor de technologie kant.
- Maak voor de introductie van een nieuwe techniek een plan. Elementen daarvan kunnen zijn de produkt- en marktfacetten (welke mogelijkheden ontstaan door die techniek), de apparatuur-aanschaf, opleiding en het inwerken van medewerkers, een globaal ontwikkelingsplan voor enkele produkten (het succes van een produkt moet de ontwikkeling van het volgende mogelijk maken), en een investeringsplan. Kortom: zorg ervoor dat het bedrijf de mogelijkheden en de belangrijkste moeilijkheden leert kennen.
- Nieuwe componenten en ontwerpprogrammatuur hebben de

drempel voor toepassing van geavanceerde micro-elektronica verlaagd.

Field Programmable Gate Arrays (FPGA's) zijn zeer geschikt als prototype en low-volume component voor complexe functies. Voor volume-productie is een overstap naar goedkopere componenten met dezelfde functie eenvoudig te maken.

Een ander spoor is het gebruik van goedkope 'front-end'-ontwerp-programmatuur. De dure (qua kosten en benodigde expertise) 'back-end'-programmatuur hoeft niet bij een bedrijf beschikbaar te zijn, omdat een ontwerphuis dat zonder veel risico de back-end ontwerp-stappen kan uitvoeren. Op deze wijze kan een bedrijf de wezenlijke ontwerp-stappen in eigen beheer uitvoeren.

Het moge duidelijk zijn dat het CME en het SCC uw bedrijf graag willen assisteren bij introductie van nieuwe technieken.

Centrum voor Micro-Elektronica

Eindhoven:

Ir. J.A.G. Nijhuis, Ir. H.G. Rave, Ir. J.C. Westerbaan van der Meij.
Tel. 040 - 455255, fax 040 - 458222

Enschede:

Ir. G.J. Kleissen
Tel. 053 - 339055, fax 053 - 332621

EMC ONTWERPREGELS VOOR PRINTPLATEN

Ter voorkoming van elektromagnetische stoornissen in elektronische systemen

Ir. M.J.C.M. van Doorn,

EMC Consultancy/Management, Philips Consumer Electronics b.v..

Voorwoord

Een systematische aanpak wordt geschetst om elektromagnetische stoornissen op printplaten te voorkomen. Hierbij komen de volgende aspecten aan de orde:

- toewijzing connectorpennen
- plaatsing van componenten en connectoren
- voedingsdistributie en aardstructuur
- keuze van printplaattype.

Tevens wordt een aantal eenvoudige meetmethoden aangereikt, die de elektronisch ontwerper in een vroeg stadium een indicatie geven over de EMC kwaliteit van zijn printplaat.

We beginnen echter met het aangeven van het belang om EMC technieken reeds in de ontwerpfase in een product te integreren.

Waarom EMC bewust ontwerpen?

In figuur 1 zien we dat naarmate het ontwikkeltraject van een product voortschrijdt, het aantal storingsonderdrukkingstechnieken afneemt, terwijl tegelijkertijd de kosten van storingsonderdrukking toenemen.

Een stoornisprobleem kan in de layoutfase van een printplaat tegen relatief lage kosten worden opgelost: betere componentplaatsing, betere aardstructuur. Als het probleem in de produktiefase door het kastontwerp moet worden opgelost (afscherming+filters!), kunnen de kosten met meer dan een factor 10 toenemen. Vaak zijn deze extra hoge kosten onacceptabel en gaat men terug naar de ontwerpfase om het probleem op te lossen (redesign printplaat).

Wanneer een product in de markt niet voldoet aan wenselijke EMC eisen, kan dit resulteren in klachten van klanten, een slechte publiciteit voor het product en een verlies van marktaandeel.

EMC-expert systeem

Een expert systeem voor een storingsvrije layout van printplaten kan op de volgende wijze gerealiseerd worden (figuur 2):

Met behulp van eenvoudige simulatie modellen voor de verschillende stoornisbronnen:

1. storing op *voeding en aarde*,
2. *overspraak* tussen printsporen,
3. *reflecties* bij elektrisch lange leidingen,

4. elektromagnetische *emissie* naar de buitenwereld,
5. oppikken van elektromagnetische storingen (*immunititeit*),

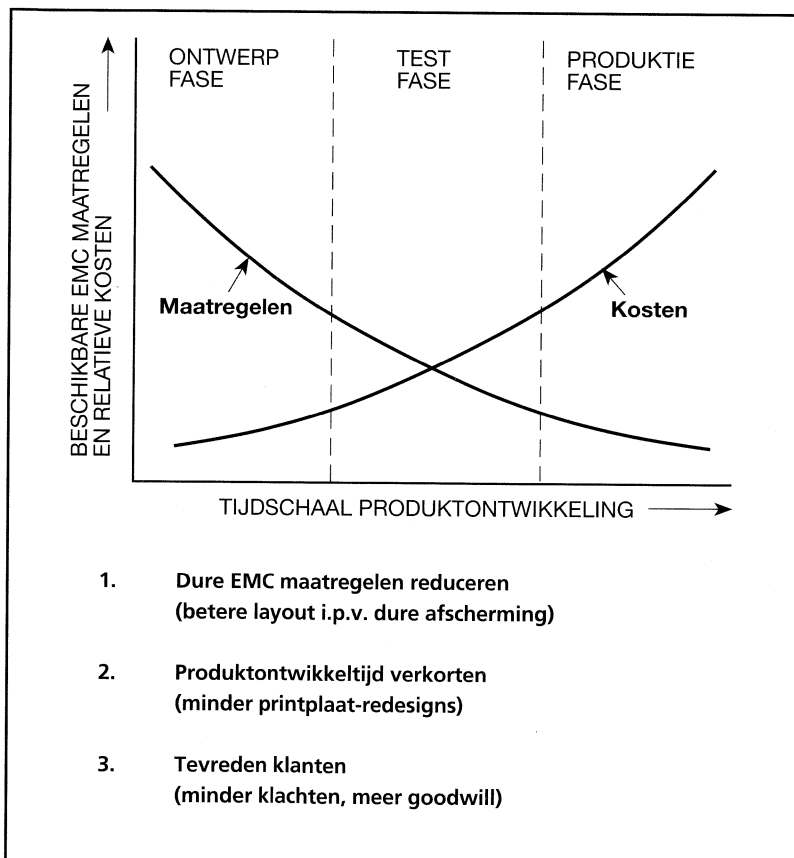
kunnen **ontwerpregels** worden afgeleid voor **kritische signalen**.

Wat betreft de emissie naar de buitenwereld en de immuniteit voor externe elektromagnetische storingen, moet de printplaat voldoen aan de wettelijke en wenselijke eisen.

De ontwerpregels worden uitgedrukt in geometrische layout gegevens en kunnen dienen als **layout aanbevelingen** voor de vier belangrijkste layout aspecten:

1. toewijzing connector pennen,
2. plaatsing componenten en connectoren,
3. voedings/aard-structuur,
4. signaalverbindingen.

Ook kan een aanbeveling gegeven worden voor het type printplaat dat gebruikt moet worden: één laag met enkel- of dubbelzijdig koper of een meerlagen printplaat.



Figuur 1.

Uiteindelijk zullen de ontwerpregels geïntegreerd moeten worden in bestaande CAD-layout-systemen voor printplaten.

Toewijzing connectorpennen

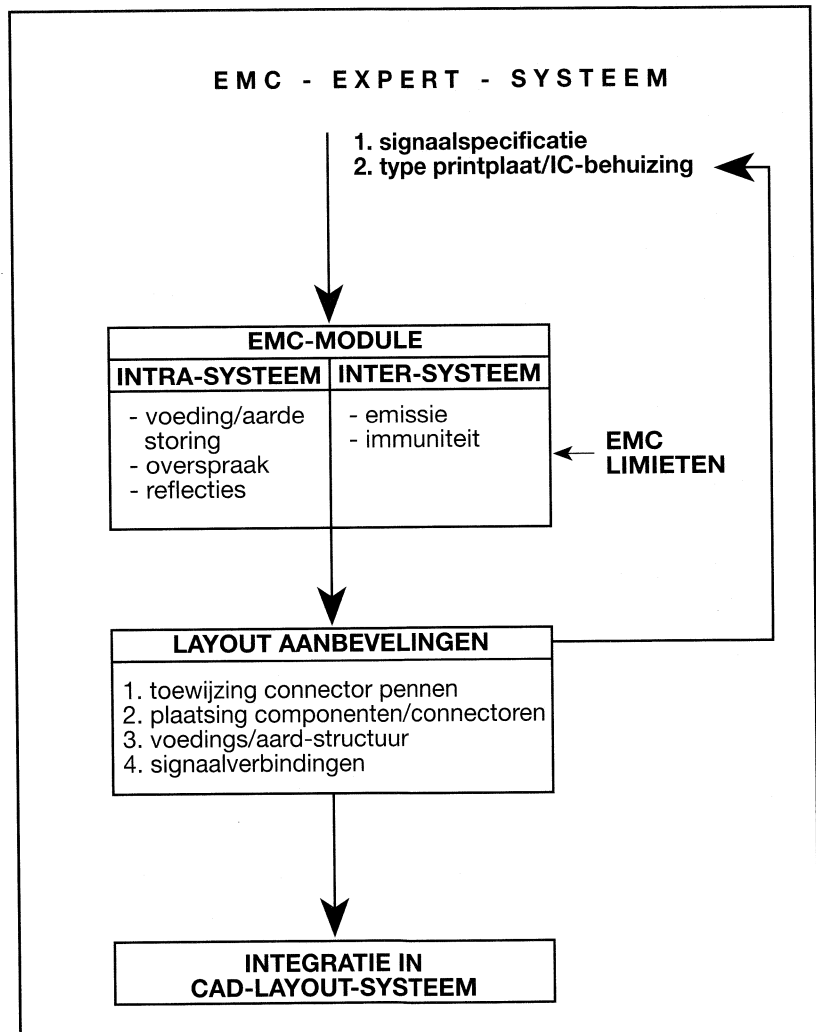
In figuur 3 staan 3 connector configuraties afgebeeld:

A/ Één aardpen

Configuratie A minimaliseert het aantal benodigde pennen; er zijn echter een aantal nadelen:

- De grote lusoppervlakken gevormd door de signaalgeleiders en hun retour via de aardpen resulteren in een **hoog stralings- en storingsgevoelighedsniveau**.
- Omdat alle signaalgeleiders gebruik maken van dezelfde retourge-

Figuur 2.



leider is er een sterke mate van **koppeling via een gemeenschappelijke impedantie**.

- Omdat de lusoppervlakken groot zijn en de signaalpennen direct langs elkaar liggen, is er zowel veel **inductieve** als **capacitieve overspraak** tussen de geleiders.

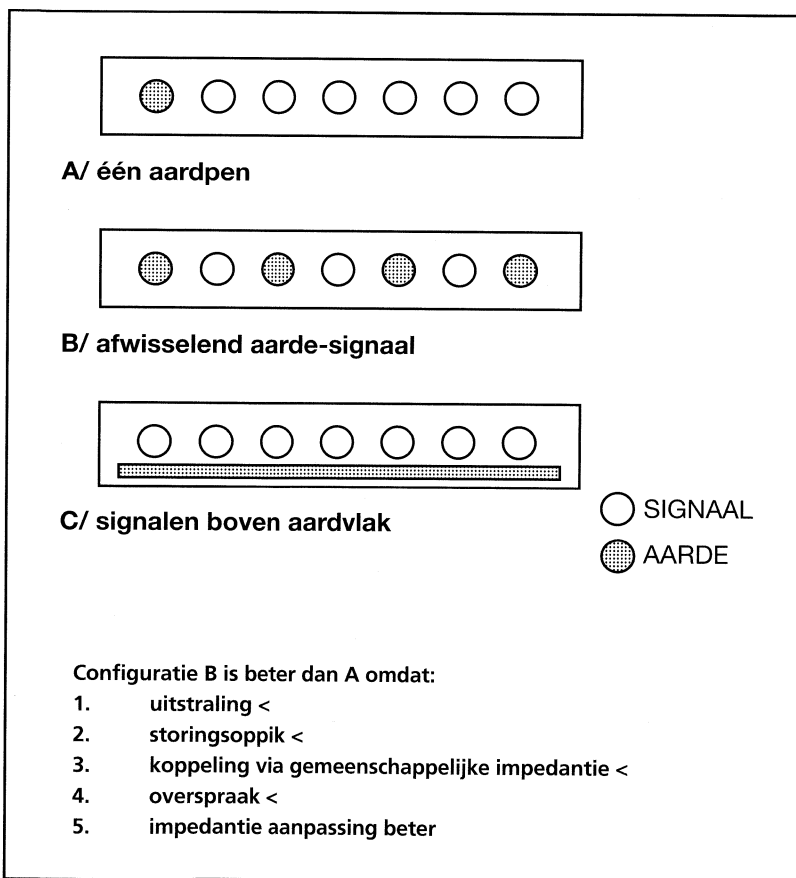
Als deze configuratie toch gebruikt wordt, is het beter de aardpen in het midden van de connector te situeren, zodat lusoppervlakken gereduceerd worden.

B/ Afwisselend aarde-sigitaal

In configuratie B zijn de lusoppervlakken kleiner omdat iedere signaalgeleider zijn aardretour direct naast zich heeft. Omdat iedere geleider zijn eigen aarde heeft, is er geen sprake meer van koppeling via een gemeenschappelijke impedantie en is de overspraak ook gereduceerd.

C/ Signalen boven aardvlak

In dit geval worden de lusoppervlakken bepaald door de afstand tussen de signaalgeleider en het aardvlak eronder. Deze zijn nog kleiner dan



Figuur 3.

die in configuratie B. Bovendien is in het geval van snelle signalen de transmissielijnkarakteristiek van configuratie C beter gedefinieerd dan die van configuratie A.

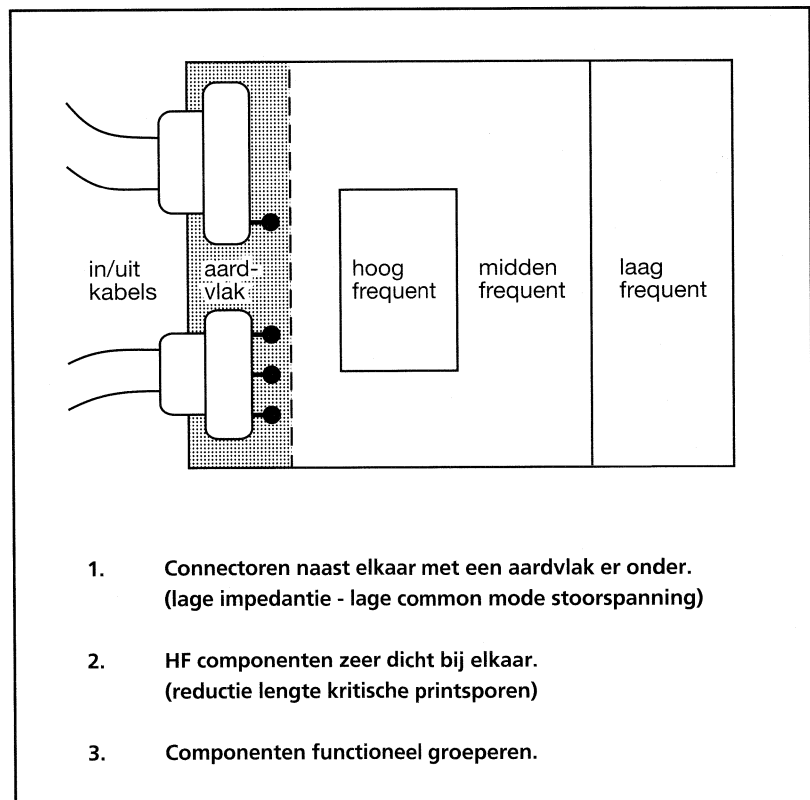
Plaatsing van componenten en connectoren (figuur 4)

1. Plaatsing van connectoren

Plaats bij voorkeur alle connectoren langs dezelfde kant van de printplaat en voorzie de printplaat op die plaats van een **aarde met lage impedantie** (aardvlak, -rooster of -strip). Deze configuratie minimaliseert de geïnduceerde common mode stoorspanning in de aarde. Deze stoorspanning fungeert als antennespanning voor de aangesloten kabels. Kabels zijn **efficiënte antennes** (zenden en/of ontvangen) als de kabellengte gelijk is aan een halve golflengte (bij een frequentie van 100 MHz is de halve golflengte gelijk aan 1,5 meter).

Eventuele stoorspanningen op in- en uitgaande leidingen kunnen nu ter plaatse van de connectoren m.b.v. condensatoren direct ontkoppeld worden naar het goed gedefinieerde aardvlak. Hiermee wordt voorkomen dat storingen de printplaat bereiken en/of verlaten.

Figuur 4.



2. Plaatsing van componenten

Zorg voor een **functionele groepering** van componenten:

- LF analoog (<1 MHz)
- HF analoog (>10 MHz)
- langzaam digitaal (stijg/afvaltijd > 50 ns)
- snel digitaal (stijg/afvaltijd < 30 ns)

Een logische groepering van componenten is gemakkelijker te 'routen' dan een willekeurige plaatsing.

Hoog frequent (**HF**) componenten moeten **dicht bij elkaar** worden geplaatst teneinde de totale spoorlengte te verkleinen. Hierdoor worden kritische paden korter en dus overspraak, tijdsvertragingen en straling minder.

Voedingsdistributie (figuur 5)

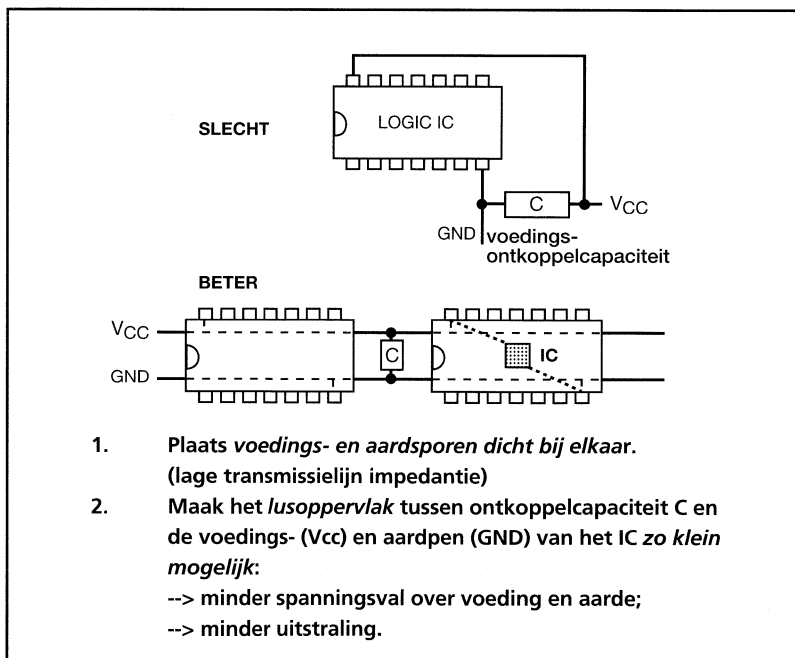
Tijdens het schakelen van een IC moet het voedingssysteem soms snelle schakelstromen leveren. Hierdoor ontstaat een spanningsval over de voedings- en aardlijn. Deze spanningsval kan gereduceerd worden door:

1. het voedingsdistributiesysteem een lage impedantie te geven:

- voedings- en aardsporen dicht bij elkaar leggen;
- voedings- en aardvlakken toepassen (multilayer);

2. een voedingsontkoppelcapaciteit dicht bij het IC te plaatsen:

De snelle schakelstroom wordt nu geleverd door deze capaciteit en vloeit alleen door de ontkeppellus gevormd door de verbindingsspo-



Figuur 5.

ren tussen de capaciteit C en de voedings- en aardpen van het IC. Hinderlijke resonanties in het voedingssysteem kunnen voorkomen worden door een weerstand of microchoke op te nemen in de voedingslijn dichtbij de voedingspen van het IC.

Het is zeer belangrijk om de **ontkoppellus** tussen C en IC **zo klein mogelijk** te maken (lage zelfinductie), om zowel de spanningsval over de ontkoppellus als de uitstraling door deze stroomlus te reduceren.

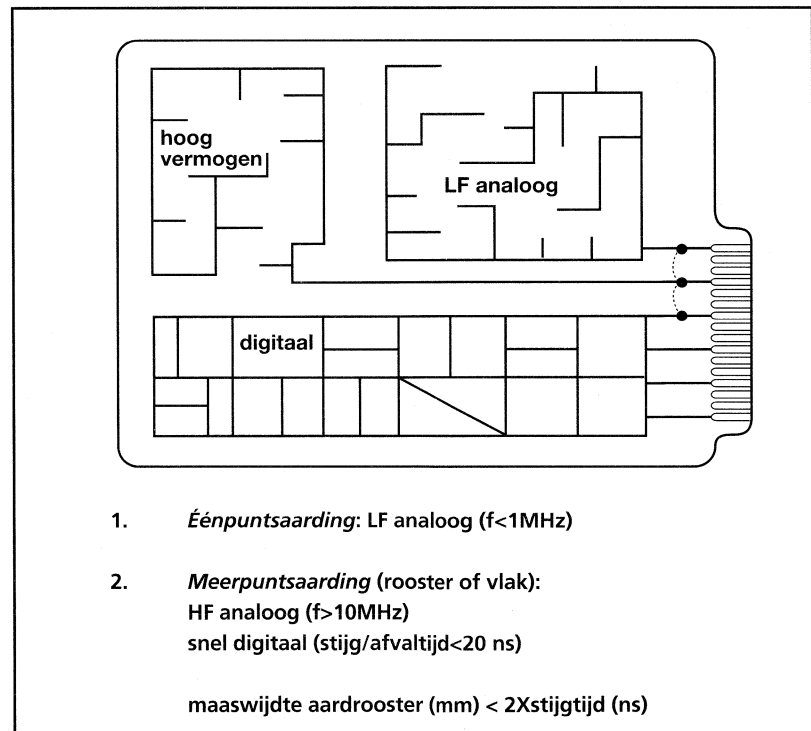
Middelen om dit te bereiken zijn:

- geen IC-voeten gebruiken;
- een kleinere IC-behuizing gebruiken: surface mount i.p.v. Dual Inline;
- een IC te kiezen waarbij de voedings- en aardpen naast elkaar zijn gesitueerd i.p.v. schuin tegenover elkaar;
- de voedingsontkoppelcapaciteit 'inbouwen' in de behuizing of liever op de chip;
- naakte chip montage toepassen (geen behuizing).

Aardstructuur

Wanneer verschillende typen circuits (gevoelig analoog, snel digitaal, hoog vermogen circuits) worden toegepast op een printplaat, moet elk circuit geaard worden op de voor haar geschikte wijze (figuur 6). Vervolgens moeten de verschillende aardstructuren op één punt met elkaar verbonden worden, meestal bij de connector.

Figuur 6



De volgende aardingstechnieken zijn mogelijk:

1. *Éénpuntsaarding*

Éénpuntsaarding wordt gebruikt bij laagfrequente analoge schakelingen (frequentiecomponenten beneden 1 MHz). We kunnen hierbij nog onderscheid maken tussen serie- en parallelschakeling:

Serieschakeling wordt gebruikt wanneer de verschillende typen circuits ongeveer hetzelfde vermogen vragen.

Parallelschakeling wordt gebruikt bij circuits met duidelijk verschillende vermogensbehoefte.

Éénpuntsaarding elimineert de koppeling via een gemeenschappelijke impedantie tussen hoog- en laagvermogen circuits.

2. *Meerpuntsaarding*

Meerpuntsaarding wordt gebruikt bij hoogfrequent analoge en snelle digitale schakelingen (frequentie > 10 MHz, stijg/afvaltijd < 20 ns). Als meerpuntsaarding kan een aardvlak of aardrooster gebruikt worden. Een aardrooster is even efficiënt als een ononderbroken aardvlak indien:

$$\text{maaswijdte rooster (mm)} < 2 \times \text{stijgtijd logica (ns)}$$

Een **aardvlak of aardrooster heeft een lage inductiviteit** en reduceert daarom stroomlusoppervlakken en common mode spanningen tussen aardpunten.

Keuze printplaattype

Voor elektronisch ontwerpers en produktmanagers is het belangrijk om in een zo vroeg mogelijk stadium te weten welk type printplaat gebruikt moet worden voor de gegeven signaalspecificaties. Dit kan voorkomen dat dure en tijdsvertragende redesigns gemaakt moeten worden om aan de EMC specificaties te voldoen.

In figuur 7 is getracht om, uitgaande van een gegeven digitale stroomvorm, een advies te geven voor het printplaattype dat gebruikt moet worden. Deze gegevens zijn gebaseerd op ervaring, eenvoudige modelberekeningen en het moeten voldoen aan een *wettelijke uitstralingslimiet* van 40dB μ V/m op 3 meter afstand van de bron (frequentiegebied: 30 MHz tot 1 GHz). Onderscheid is gemaakt tussen de volgende printplaattypes:

1. **één isolatielaag** (dikte = 1.6mm, diëlektrische constante = 4.7) met een **koperlaag aan de soldeerzijde**;
2. **één isolatielaag met een koperlaag aan de soldeer- en componentzijde**;
hierbij kunnen nog een aantal toepassingswijzen worden onderscheiden (zie tabel);
3. **meerlagen** printplaat met voedings-, aard-, en signaalvlakken.

Tevens is een kostprijsindicatie gegeven en een aantal randvoorwaarden (met name voor de aardstructuur) om de printplaat EMC technisch goed te laten functioneren.

In het geval van een correct uitgevoerde meermalen printplaat (geen onderbrekingen in de aardlaag!) geven niet meer de sporen, maar de componenten de grootste bijdrage aan het stralingsniveau. Wanneer de tendens naar steeds snellere signalen zich blijft voortzetten, zal het steeds belangrijker worden om op IC (behuizing) niveau maatregelen te nemen.

Meetmethoden

We gaan nu twee eenvoudige meetmethoden behandelen waarmee de elektronisch ontwerper in een vroeg stadium van zijn ontwerp een indicatie kan krijgen over de EMC kwaliteit (*emissie-niveau*) van zijn printplaat. Beide meetmethoden kunnen op de werktafel worden uitgevoerd met relatief eenvoudige hulpmiddelen.

1. Common mode stroommeting (figuur 8)

Geleiders zijn efficiënte stralers wanneer de golflengte van de stroom door deze geleiders van dezelfde afmeting is als de geleiders zelf. Dit

Figuur 7.

Keuze printplaattype (digitale circuits)			
Type	Selectie-criteria		Opmerkingen
	prijs	stroom	
één laag enkelzijdig koper	Hfl. 0,55/dm ²	A=10mA t>10ns f<30MHz	A=Amplitude t=stijg/afvaltijd f=bandbreedte
één laag dubbelzijdig koper			* Maak verbindingen tussen de aardsporen aan de soldeerzijde en het aardvlak aan de comp. zijde: - bij de aardpennen van connectors - bij de aardpennen van ICs
1. signaal/aardsporen aan beide zijden (doorgemetalliseerde gaten, geen aardvlak)	Hfl.4,--/dm ²	idem enkelzijdig koper	
2. aardvlak/rooster aan componentzijde, signalen aan soldeerzijde: a) met 'opsoldeerings'* b) met doorgemetalliseerde gaten	Hfl.0,65/dm ² Hfl.4,--/dm ²	A=10mA t<10ns f>30MHz	- geen lange sleuven in het aardvlak - aardvlak onder de componenten - aardsporen tussen de pennen
Meermalen	>Hfl.10,--/dm ²	A=100mA t<1ns f>300MHz	aard/voedingsvlak oppervlaktmontage componenten

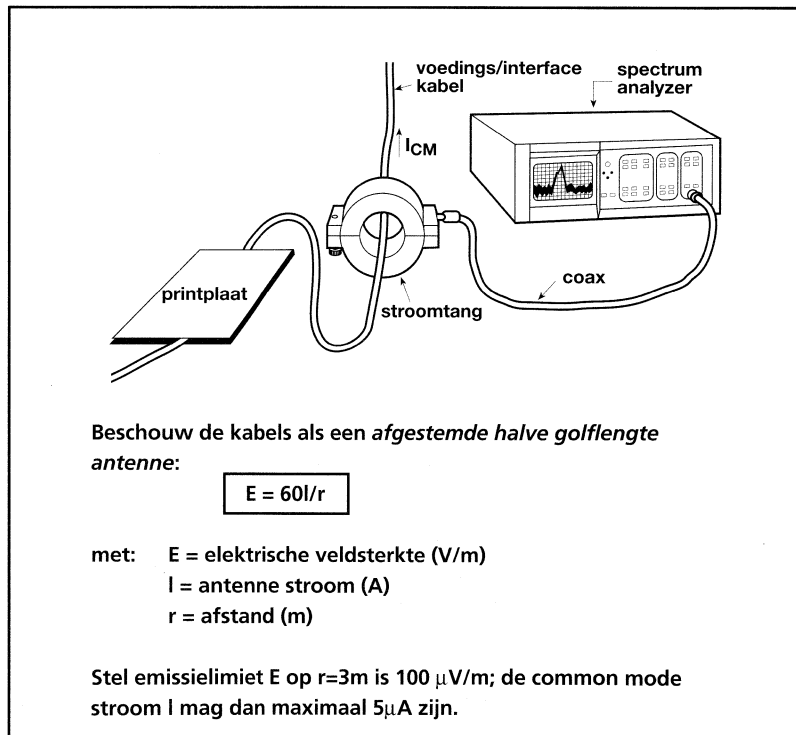
betekent dat voor elektronische systemen waarvan de afmetingen veel kleiner zijn dan de golflengte van de signalen (bij een frequentie van 150 MHz hoort een golflengte van 2 meter), de kabels die verbonden zijn met het systeem (de printplaat) veel meer stralen dan de sporen op de printplaat. In de meeste produkten leveren daarom de common mode stromen in de aangesloten kabels de grootste bijdrage aan de totale straling van het produkt.

De relatie tussen common mode stroom en uitgestraald elektrische veld wordt gegeven door:

$$E = 60 \cdot I/r.$$

met: E = elektrische veldsterkte (V/m), verre veld
 I = common mode stroom (A)
 r = afstand (m)

Deze formule geldt wanneer de kabels beschouwd mogen worden als een afgestemde halve golflengte antenne (worst case). In de meeste gevallen zullen digitale signalen harmonischen hebben, waarvoor de kabels zich als een afgestemde antenne gedragen (bij een frequentie van 100 MHz hoort een halve golflengte van 1,5 meter).



Figuur 8.

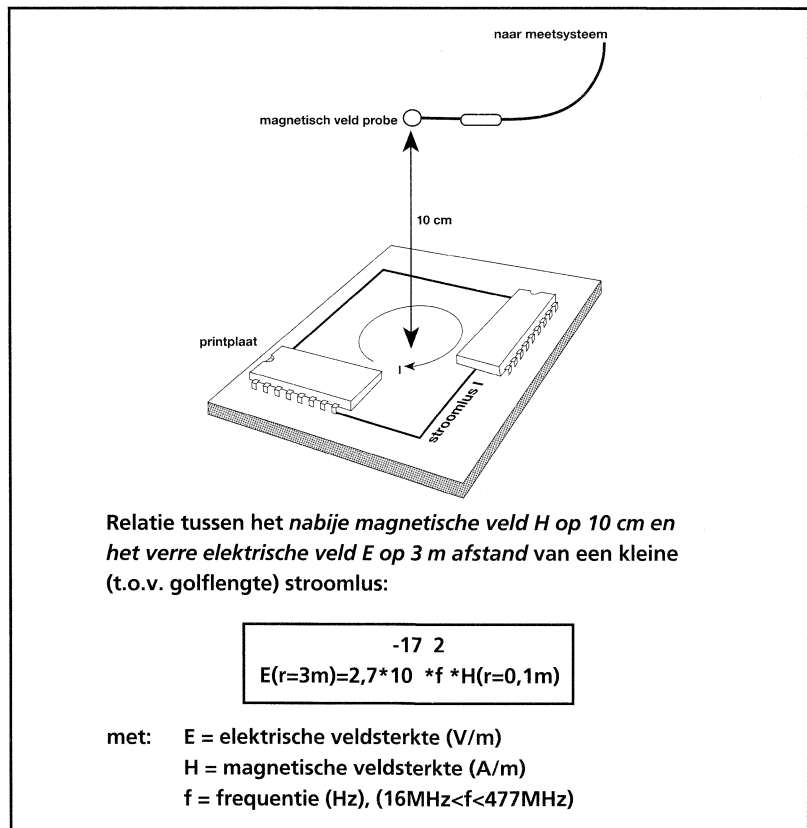
Wanneer de emissielimiet op 3 meter afstand $100 \mu\text{V/m}$ bedraagt (wettelijke eis consumentenprodukt), mag de common mode stroom in de kabels maximaal $5 \mu\text{A/m}$ zijn. De common mode stroom kan gemeten worden met een HF stroomtang en spectrumanalyzer.

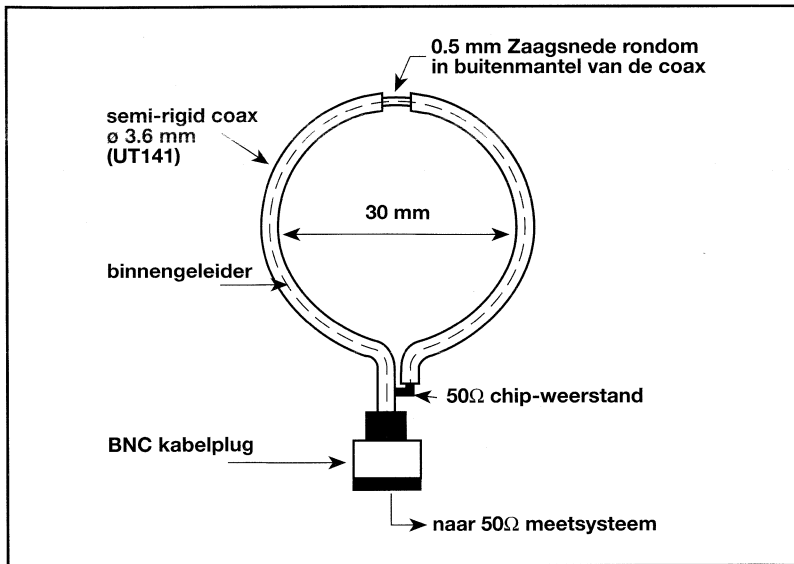
2. Magnetisch veldmeting (Figuur 9)

We beschouwen nu een printplaat zonder aangesloten kabels (batterijvoeding). Wanneer de afmetingen van de stroomlussen op de printplaat veel kleiner zijn dan de golflengten van de signalen, mogen zij beschouwd worden als kleine magnetische dipolen. Door nu op 10 cm afstand van de printplaat het maximum magnetisch veld te meten, kan een uitspraak gedaan worden over het elektrisch veld op 3 meter afstand van de printplaat (wettelijke eis). De relatie hiertussen wordt gegeven door de formule in figuur 9. Deze formule is geldig voor frequenties tussen 16 en 477 MHz.

Het magnetisch veld kan gemeten worden met een magnetisch veld probe (figuur 10):

Figuur 9.





Figuur 10.

Om de magnetisch veld probe alleen gevoelig te maken voor het magnetische veld, moet de lus afgeschermd worden voor elektrische velden. De afscherming moet ergens onderbroken zijn, om te voorkomen dat er compensatiestromen door het scherm gaan lopen.

Referenties

1. M.J.C.M. van Doorn,
Integration of EMC-design rules in a CAD-system for the layout of
printed wiring boards.
Internal Philips Consumer Electronics report (AR29-N-60/88),
October 1988.
2. M.J.C.M. van Doorn,
EMC: early design measuring methods.
Internal Philips Consumer Electronics report (AR29-N-59/88),
October 1988.
3. Henry W. Ott,
Noise reduction techniques in electronic systems,
Second Edition 1988,
John Wiley & Sons, New York.

EMC-PRAKTIJKVOORBEELDEN: STOORPROBLEEM, WERKMETHODIEK EN OPLOSSINGEN

C.F. Post, Lambda Engineering

Samenvatting

De noodzaak om apparatuur en installaties EMC-bewust te ontwerpen laat zich het best illustreren aan de hand van een aantal praktijkvoorbeelden. Tijdens deze voordracht worden de volgende cases behandeld:

1. Storing en schade aan een PLC-besturingsinstallatie in een fabriek;
2. De beïnvloeding van PC-beeldschermen door het magnetisch veld van kabels;
3. EMC-maatregelen in een besturingskast om te voldoen aan de immuniteitseisen volgens EN 50082-1.

De voorbeelden tonen aan dat EMC met eenvoudige middelen bereikt kan worden.

1. EMC van industriële besturingssystemen

Binnen de industrie worden fabrikageprocessen in toenemende mate bestuurd door PLC's en PC's, die in de plaats zijn gekomen van relais-schakelingen. Naast de vele voordelen van flexibiliteit en informatievoorziening hebben de elektronische systemen het nadeel dat ze gemakkelijker gestoord worden door elektromagnetische verschijnselen die in, maar ook buiten de fabriek optreden. Hierbij moet vooral gedacht worden aan schakelverschijnselen, kortsluitingen, elektrostatische lading, portofoons en bliksemontladingen. In het hier beschreven EMC-voorbeeld wordt een PLC-besturing gestoord binnen de eigen installatie. Tijdens het ontwerp zijn dergelijke problemen te voorkomen door aandacht te besteden aan de layout van de bekabeling voor energievoorziening en besturing.

1.1. Omschrijving stoorprobleem

In een fabriek worden halffabrikaten geproduceerd aan een geautomatiseerde produktielijn. Eén van de machines wordt aangedreven door een aantal servomotoren en is aangesloten op het drie fase net. De machine heeft diverse I/O verbindingen met een PLC, die het proces bestuurt. De PLC maakt onderdeel uit van een groter (factory link) besturingssysteem met een industriële PC. Het elektronische deel wordt gevoed door één van de fasen (L1-N). De besturingsinstallatie wordt regelmatig gereset door onbekende oorzaak. Tevens raken af en toe sensoren, waaronder naderingsschakelaars, defect. Vaak wordt bij dit soort problemen gedacht aan netvervuiling. De gebruiker van de installatie dacht door toepassing van een UPS voor het besturingsdeel gevrijwaard te blijven van stoorproblemen door netuitval en netvervuiling, maar kennelijk is dit niet het geval.

1.2. Opsporen van stoorproblemen door stroommetingen

Om te beginnen wordt de opbouw van de installatie aan de hand van tekeningen doorgenomen. In figuur 1 is de besturingsinstallatie schematisch weergegeven. Op basis van de geregistreerde storingen (omschrijving en lokatie) en een overzicht van de geschakelde elektrische vermogens van de machine wordt verwacht dat in- en uitschakelverschijnselen de oorzaak vormen. Op diverse plaatsen in de bekabeling worden common-mode stroommetingen uitgevoerd met stroomtangen en een oscilloscoop.

In figuur 1 is een meetresultaat gegeven van een stroommeting op de RS-232 verbinding.

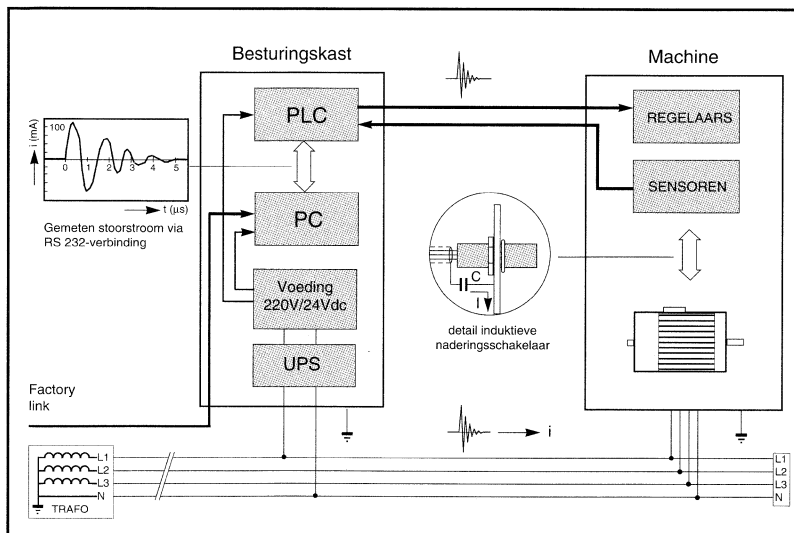
1.3. Oorzaak

Uit de metingen blijkt dat zowel via voedingskabels als signaalkabels oscillerende schakelstromen lopen. De stoorstromen worden veroorzaakt door de hoge di/dt (schakelstroom) van de servomotoren, die in de gemeenschappelijke impedantie van het circuit spanningsverschillen veroorzaken. Tevens worden in het circuit dat wordt omsloten door de besturingskast, de machine en de bekabeling spanningen geïnduceerd door het sterke magnetische veld.

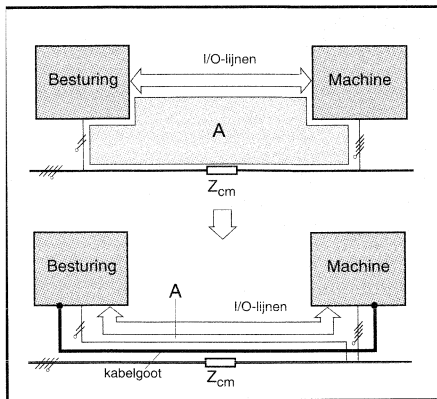
In de praktijk liggen de stoofrequenties in het frequentiegebied van enkele tientallen kHz tot enkele MHz, afhankelijk van de omvang van de installatie. Vanwege de hoge frequenties kunnen de stoorstromen in het circuit rondlopen, zelfs via galvanische scheidingen zoals de voedingstransformator, de PLC-uitgangen, regelaars en sensoren.

In figuur 2 zijn de koppelwegen vereenvoudigd weergegeven.

Afhankelijk van de geschakelde vermogens, de layout van de installatie en het aantal signaalkabels kunnen stromen van enkele tientallen mA



Figuur 1. Blokschem PLC-besturing



Figuur 2. EMC-maatregelen besturingsinstallatie

per I/O-lijn een totale stroom van Ampères via gevoelige interfaces veroorzaken.

1.4. Oplossing voor het stoorprobleem

Stoorproblemen, die worden veroorzaakt door het schakelen van inductieve belastingen binnen (maar ook buiten) de installatie kunnen worden voorkomen door de volgende maatregelen te nemen (zie figuur 2):

- de layout wordt zodanig ontworpen of aangepast dat de gemeenschappelijke impedantie in het voedingsnet wordt verkleind. De invloed van naburige fabrieksinstallaties wordt hiermee tevens gereduceerd.

Minstens zo belangrijk is het verkleinen van het oppervlak A, waarin stoorspanningen worden geïnduceerd;

- voedingskabels en signaalkabels tussen machine en besturing worden in metalen goten gelegd. De goot, die aan beide zijden wordt aangesloten op de kast en de machine, fungeert als referentievlak. Signaalbekabeling aan de kant van de machine wordt over het (geaarde) metalen frame geleid;
- de afscherming van signaalkabels wordt via een metalen wartel aangesloten op de besturingskast, bij de machine wordt de kabelafscherming via eenzelfde wartel en een metalen flens op het machineframe aangesloten;
- de weg voor common-mode stromen kan in de besturingskast worden 'geblokkeerd' door een voedingsfilter met voldoende common-mode demping in te bouwen. Theoretisch is dit een eenvoudige oplossing, in de praktijk blijkt dat de wijze van inbouw van het filter en de bekabeling bepalend is voor de te bereiken CM-demping. Omdat in- en uitgangsbekabeling vaak in dezelfde kabelboom door de kast wordt gevoerd is de demping veel slechter dan de gespecificeerde waarde van het filter zelf.

1.5. Conclusie

Uiteindelijk bleek dat niet alle bovengenoemde maatregelen noodzakelijk waren; met het aanbrengen van een referentieverbinding tussen besturingskast en machine en het inbouwen van een filter in de voedingslijn van de PLC-besturing waren de stoorproblemen verdwenen. Wanneer vooraf (tijdens het ontwerp) rekening wordt gehouden met het optreden van dergelijke stoorstromen en bedacht wordt dat galvanische scheiding voor hoge frequenties niet bestaat, zijn de genoemde maatregelen eenvoudig en goedkoop uit te voeren.

2. Beïnvloeding van beeldschermen door laagfrequent magnetisch veld

PC's en terminals worden, al of niet aangesloten op een netwerk, op vele plaatsen binnen kantoorgebouwen en fabrieken toegepast.

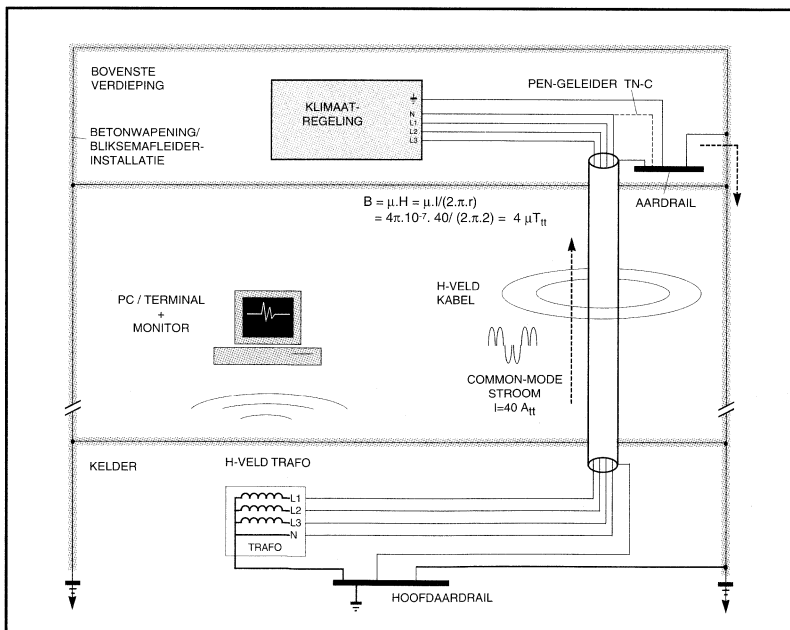
In toenemende mate wordt dergelijke apparatuur ook geplaatst in de directe omgeving van laagspanningsruimten en voedingskabels. Het is bekend dat beeldschermen, onder invloed van het laagfrequent magnetisch veld van kabels en transformatoren, hinderlijke beeldtrillingen kunnen vertonen. In het hier beschreven voorbeeld wordt dit verschijnsel toegelicht.

2.1. Beeldtrillingen

In figuur 3 is de doorsnede van een kantoorgebouw getekend. Op één van de verdiepingen, op geruime afstand van de laagspanningsruimte (in de kelder) wordt een beeldscherm gestoord, regelmatig treden beeldtrillingen op. De gebruiker heeft reeds geconstateerd dat het probleem aan de lokatie moet liggen; uitwisselen van het beeldscherm voor een ander type levert geen verbetering op.

2.2. Oorzaak

Door een aantal metingen met een H-veld antenne uit te voeren kan worden vastgesteld dat een energiekabel in een verticale leidingsschacht, in de hoek van het vertrek, de stoorbron moet zijn. Met een laagfrequent stroomtang wordt in de kabel een common-mode stroom van 40 A_{eff} gemeten. Deze stroom blijkt, na het bekijken van de installatietekening, mede te worden veroorzaakt door een koel-unit van een



Figuur 3. Kantooromgeving met voedingstransformator en energiekabel

klimaatregeling op de bovenste verdieping. Omdat deze unit niet continu aanstaat zijn de trillingen slechts af en toe zichtbaar.

In een ideale situatie zijn de fasen van energiekabels gelijk belast en loopt er geen stroom door de nul. Indien er echter onbalans optreedt, bijvoorbeeld vanwege een ongunstige verdeling van lichtgroepen of door onbalans in apparaten zelf, zal de nulgeleider stroom gaan voeren.

Het magnetisch veld dat wordt veroorzaakt door een tweedraads kabel, waarin de totale heen- en retourstroom gelijk zijn, neemt kwadratische met de afstand tot de kabel af en is dus alleen hinderlijk op zeer kleine afstand van de kabel.

Indien er een common-mode stroom loopt wordt er een veel hogere veldsterkte opgewekt, die bovendien slechts lineair met de afstand afneemt.

Een common-mode stroom kan ontstaan wanneer er ergens stroom 'weglekt'. Voorbeelden hiervan zijn:

- in een TN-C stelsel: de PEN-geleider op een hogere verdieping wordt doorverbonden met de aardrail, waarop tevens centrale aardleidingen, betonwapening en/of de bliksemafleiderinstallatie zijn aangesloten;
- in een TN-S stelsel: aarde en nul zijn verwisseld of onbedoeld doorverbonden.

De magnetische fluxdichtheid van een kabel, uitgedrukt in μT , kan berekend worden aan de hand van de formule in figuur 3. In de praktijk blijken beeldschermen rond een waarde vanaf enkele μT beeldtrillingen te vertonen.

De trillingen zijn sterk afhankelijk van de oriëntatie van het beeldscherm ten opzichte van de bron:

een verticaal veld veroorzaakt horizontale bewegingen, een horizontaal veld veroorzaakt verticale bewegingen en een veld in de richting van de beeldbuis veroorzaakt een verdraaiing.

Transformatoren kunnen eveneens een sterk H-veld produceren, echter vooral op kleine afstanden.

Het veld veroorzaakt door een transformator neemt zeer snel af, namelijk met de derde macht van de afstand.

2.3. Maatregelen ter voorkoming van H-veld beïnvloeding

Vier mogelijkheden om beeldschermproblemen door magnetisch veld te voorkomen zijn:

- afstand tot de bron vergroten door de PC/terminal te verplaatsen. Dit is een goedkope oplossing, echter niet altijd mogelijk of door de gebruiker gewenst;
- afstand tot de bron vergroten door de energiekabel via een ander weg te leiden;
- afschermen van het beeldscherm met μ -metaal.

In industriële omgevingen wordt soms gekozen voor deze optie.

μ -metaal is echter relatief duur en moeilijk te verwerken;

- de beste oplossing is het opheffen van de common-mode stroom door de onbalans te minimaliseren (dit is ook uit het oogpunt van de energiehuishouding wenselijk) of door het 'weglekken' van stroom te voorkomen. Bij dit laatste punt dient altijd rekening te worden gehouden met veiligheidsaspecten volgens de NEN 1010.

In het genoemde voorbeeld bleek dat het stoorprobleem eenvoudig kon worden opgelost door het herstellen van een foutieve aansluiting van aarde en nul bij de koel-unit van de klimaatinstallatie.

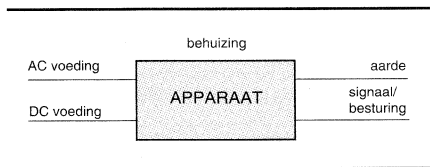
2.4. Conclusie

Uit het voorbeeld blijkt dat kleine onduidelijkheden of fouten in de installatietechniek (EMC-) problemen op een ander terrein veroorzaken. De gebruiker herkent meestal het verband niet direct.

Ook hier geldt dat een ontwerper van een E-installatie met enige EMC-kennis stoorproblemen en extra kosten kan voorkomen.

Elektromagnetisch verschijnsel	Test specificatie	basis norm/ meetopstelling	eis t.a.v. werking
Behuizing			
Ingestraald EM-veld	27 - 500 MHz 3 V/m	IEC 801-3	A
ESD (ontlading statische elektriciteit)	8 kV (laadspanning)	IEC 801-2	B
Signaal- en besturingslijnen			
Snelle pulsen (burst) common-mode 1)	0,5 kV, Tr/Th: 5/50 ns Herh. frequentie 5 kHz	IEC 801-4 Cap. clamp	B
DC voedings in- en uitgangen			
Snelle pulsen (burst) common-mode 2)	0,5 kV, Tr/Th: 5/50 ns Herh. frequentie 5 kHz	IEC 801-4	B
AC voedings in- en uitgangen			
Snelle pulsen (burst) common-mode 3)	1,0 kV, Tr/Th: 5/50 ns Herh. frequentie 5 kHz	IEC 801-4	B
1) Van toepassing op in- en uitgangen waarop kabels aangesloten kunnen worden met een lengte van meer dan 3 m. 2) Niet van toepassing op ingangen waarop niet oplaadbare voedingen worden aangesloten 3) Alleen van toepassing op enkelfase systemen			

Figuur 4. Beproe-
ving volgens EN
50082-1



figuur 5. Te testen aansluitingen van een apparaat

stoorbronnen is nieuw en staat momenteel in het kader van de Europese wetgeving in het middelpunt van de belangstelling. In de algemene immuniteitsnorm (generic immunity standard) EN 50082-1 worden beproevingen beschreven die gebaseerd zijn op de basisnorm IEC 801 (zie figuur 4). In de bijlage van de norm worden voorstellen gedaan voor uitbreiding van de immuniteitsbeproeving zodra hiervoor de basisnormen voorhanden zijn.

In dit voorbeeld wordt ingegaan op een aantal EMC-aandachtspunten bij het ontwerp van een besturingskast, die moet voldoen aan EN 50082-1.

3.1. Toelichting op de EN 50082-1

De algemene immuniteitsnorm heeft betrekking op elektrische en elektronische apparatuur in een huishoudelijke, handels- of licht industriële omgeving waarvoor geen eigen produktnorm bestaat. Er wordt vanuit gegaan dat de apparatuur direct op het openbare laagspanningsnet is aangesloten of op een eigen DC-bron. Het doel is immuniteitstests te omschrijven die zowel continue als pulsvormige storingen omvatten, waarbij de storingen door geleiding en straling worden ingekoppeld. Voor de volgende in- en uitgangen van een apparaat worden tests voorgeschreven (zie figuur 5):

- behuizing
- signaal/besturingslijnen
- AC en DC voedingsaansluiting
- aardaansluiting

Ten aanzien van het resultaat tijdens en na de tests wordt onderscheid gemaakt in drie criteria:

- A. Het apparaat blijft werken volgens specificaties, zonder verlies van functies;
- B. Het apparaat blijft na de test werken volgens specificaties, zonder verlies van functies;
- C. Tijdelijk verlies van functies, echter het apparaat is zelfherstellend of door bediening in de normale toestand te krijgen.

De beproeving moet uitgevoerd worden op een reproduceerbare manier. Van een apparaat met een groot aantal aansluitingen mag een beperkt aantal worden geselecteerd, mits dit aantal representatief is voor de operationele werking van het apparaat en de verschillende typen in- en uitgangen worden gedekt. De leverancier mag zelf bepalen welke tests worden uitgevoerd, mits één en ander in een testrapport wordt verantwoord.

In de toekomst zal deze algemene immuniteitsnorm worden aangevuld met meer tests.

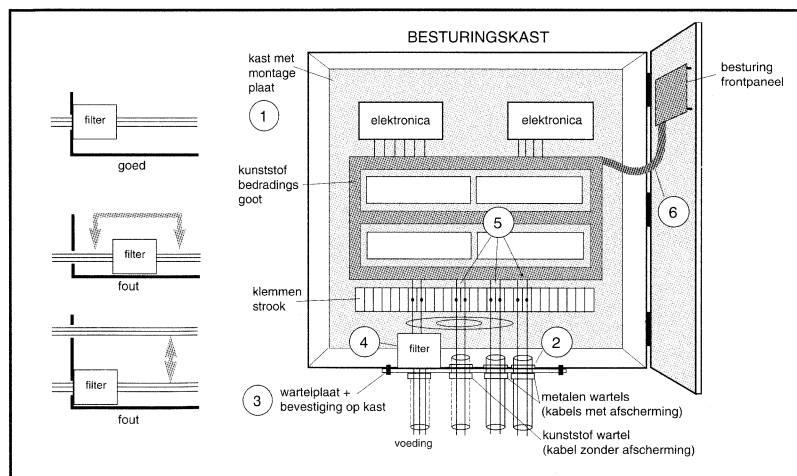
Voorbeeld hiervan zijn de immuniteit voor 50 Hz magnetisch veld, afwijkingen op de voedingsspanning en energierijke impulsen.

De algemene immuniteitsnorm zal overigens ook een zwaardere versie gaan kennen, nl. de EN 50082-2 voor industriële omgevingen. Hierin worden naar verwachting dezelfde tests omschreven, echter met hogere stoorniveau's.

3.2. EMC-maatregelen

Een aantal belangrijke maatregelen om te voldoen aan de genoemde beproevingen wordt hierna toegelicht. De aandacht gaat uit naar de layout van de kast, de bedrading, afscherming en filterende maatregelen. Eén en ander is geïllustreerd in figuur 6.

1. Uitgangspunt is het gebruik van een standaard metalen installatiekast met een montageplaat. Van het aanwezige metaal wordt bewust gebruik gemaakt om de elektronica te beschermen tegen ingestraald veld en stoerpulsen die via de aangesloten kabels inkoppelen in de kast.
2. Afgeschermd kabels worden via metalen wartels de kast ingevoerd. Het scherm maakt hierbij rondom contact met de kast waardoor een overgang met een lage transferimpedantie ontstaat.
3. De wartelplaat wordt op meerdere punten, met onderlinge afstanden van maximaal 10 cm, op de kast geschroefd.
4. Kabels die geen afscherming hebben en kabels waarvan de mantel niet als elektromagnetische afscherming bedoeld is (bv. VMvKas), worden via filters aangesloten. De plaats van het filter en de layout van de aansluitdraden zijn doorslaggevend voor de demping die bereikt kan worden. Belangrijke ontwerpregels zijn:
 - het filter wordt bij voorkeur op de kastwand gemonteerd;



Figuur 6. EMC-aandachtspunten bij het ontwerp van een besturingskast

- in- en uitgaande bedrading van het filter mag elkaar niet 'zien' en zeker niet zonder afscherming in gemeenschappelijke kabelbomen worden verwerkt;
 - filtering moet consequent worden toegepast. Een niet gefilterde leiding zal storing inkoppelen op gefilterde leidingen.
5. De layout van de bedrading binnen de kast is van groot belang. De bedrading wordt meestal in kunststof gootjes gelegd. De resterende stoorstromen zullen zich, vanwege de koppeling tussen de bedrading, verspreiden over velerlei circuits. Bijzonder gevoelige signaalverbindingen worden in de kast van afscherming voorzien.
6. De kabelboom tussen de besturing en het frontpaneel verdient uit het oogpunt van ESD en ingestraald EM-veld de nodige aandacht:
- een fraaie (maar dure) oplossing is het afschermen van de kabelboom met een metalen slang die aan beide zijden wordt aangesloten (op de montageplaat en op de deur);
 - eenvoudiger is het omwikkelen van de kabelboom met metaalfolie (aan beide zijden aangesloten);
 - minimaal zal een aantal referentiegeleiders (aarddraad of -litze) in de kabelboom moeten worden opgenomen.

3.3. Immunitetsmetingen

Met uitzondering van de immunitetsmetingen met ingestraald EM-veld kunnen de beproevingen voor een groot deel zelf worden uitgevoerd. In het kort wordt een aantal metingen toegelicht:

ESD:

De ontlading van statische elektriciteit is een complex verschijnsel. De reproduceerbaarheid van de genormeerde metingen wordt nog steeds verbeterd. Bij een piekspanning van 8 kV kan de test bij voorbeeld uitwijzen dat het apparaat ongestoord blijft werken, terwijl bij een piekspanning van 4 kV wel storing optreedt. Eén en ander heeft te maken met de spreiding in pulsvorm en dus in frequentie-inhoud.

Ingestraald EM-veld:

De norm schrijft voor dat de meting gesweept wordt uitgevoerd met een veldsterkte van 3 V/m. Voor een groot frequentiegebied zal een standaard (stalen) kast zonder extra afschermende voorzieningen, zelfs met de deur open voldoende bescherming bieden aan de elektronica. Door resonanties van de kast en van de kabels kan elektronica echter voor specifieke frequenties bij lage veldsterkten gestoord worden.

Daarnaast blijkt elektronica extra gevoelig te zijn voor stoofrequenties die overeenkomen met functionele frequenties van het systeem, zoals klokfrequenties, lees en schrijffrequenties van geheugens of sample-frequenties. De aandacht zal zich dan vooral richten op het reduceren van stromen bij deze frequenties.

De basisnorm IEC 801-3 is momenteel in bewerking om resonanties van de meetopstelling zelf (de kooi van Faraday) uit te sluiten. De wanden zullen geheel of gedeeltelijk van absorberend materiaal worden voorzien.

De instraling van EM-veld kan voor apparaten van voldoende kleine afmetingen worden gesimuleerd door hoogfrequent stroom te injecteren op de aangesloten kabels. Deze methode zal een deel van bovengenoemde beproeving in een kooi kunnen vervangen. Het criterium voor de hoogste frequentie wordt bepaald door de afmetingen van het te testen apparaat.

Burst-beproeving:

Het doel van deze beproeving is de invloed van schakelverschijnselen van bijvoorbeeld relais' te simuleren. Vanwege de korte stijgtijd en pulsduur is het frequentiespectrum zeer breed, tot in het honderden MHz-gebied.

De norm schrijft een vaste herhalingsfrequentie voor. Ook hier geldt dat de elektronica voor andere frequenties gevoeliger kan zijn.

3.4. Conclusies

Om aan de gestelde immuniteitseisen te voldoen moet vooraf nagedacht worden over de fysieke uitvoering van de behuizing en de bedrading. Vaak blijken maatregelen in een apparaat alleen niet voldoende te zijn. De plaats van het apparaat in de installatie en de aangesloten bekabeling (layout en kabelkeuze) zijn van groot belang.

Een hoge immuniteit is tegen lage kosten te bereiken wanneer EMC-maatregelen reeds vroeg in het ontwerpstadium genomen worden.

4. Referenties

1. Elektromagnetische compatibiliteit, analyse en onderdrukking van stoorproblemen,
Dr. J.J. Goedbloed,
Kluwer 1990, ISBN 90 201 2220 7.
2. Transferimpedantie van signaalverbindingen,
Dr. A.P.J. van Deursen en Prof.dr.ir. P.C.T. van der Laan,
Elektrotechniek 96 (1991) 6 (juni).
3. Electromagnetic compatibility handbook,
J.L.N. Violette, D.R.J. White, M.F. Violette,
van Nostrand Reinhold Company Inc. 1987
ISBN 0-442-28903-0
4. Nederlandse norm ontwerp NEN- EN 50082-1
Elektromagnetische Compatibiliteit -
Algemene immuniteitsnorm - Algemene norm klasse:
Huishoudelijk, handel en lichte industrie,
Nederlands Normalisatie Instituut, Delft
Augustus 1991

EMC-CURSUS OP UNIVERSITAIR EN POST-ACADEMISCH NIVEAU

Gepresenteerd op de 8ste Int. Conf. on EMC, Edinburgh, september 1992. Vertaald vanuit het Engels door het CME, oktober 1992.

A.P.J. van Deursen en P.C.T. van der Laan

Hoogspannings- en EMC-vakgroep, Technische Universiteit Eindhoven

Samenvatting

Voor studenten in het derde of vierde jaar is een cursus van een trimester ontwikkeld over EMC.

De gekozen onderwerpen verschaffen een basis voor het begrijpen van de koppeling van storingen in elektronische apparatuur. De vergelijkingen van Maxwell worden zelfs bij lage frequenties gebruikt. Voor veel storingen is de beschrijving op basis van de Kirchhoff wetten ontorekend.

1. Inleiding

Het universitaire onderwijs in elektromagnetische compatibiliteit wordt geconfronteerd met een moeilijkheid. Er bestaan twee alternatieve, nu en dan tegenstrijdige wijzen van benadering.

De eerste benadering maakt onderscheid tussen bron, koppelweg en slachtoffer. De storing kan worden overgedragen van bron naar slachtoffer via straling (1), of via capacitieve (2), inductieve (3), of galvanische koppeling. De beschrijving van en de remedies tegen de koppelwegen 2, 3 en 4 zijn gebaseerd op de Netwerktheorie, dat wil zeggen op de wetten van Kirchhoff, die de tijdsafhankelijke stromen en spanningen beschrijven. Straling (weg 1) is moeilijker. Vaak tracht men een elektromagnetisch (EM) milieu te specificeren. De elektrische en magnetische velden worden op vele plaatsen in een installatie bepaald. De maatregelen tegen storingen berusten dan veelal op afscherming. Wij bespreken het begrip EM-milieu en de noodzaak van afscherming uitgebreider in paragraaf 7.

Het onderscheid tussen de koppelwegen 2, 3 en 4 en koppelweg 1 is verwarrend; bovendien is het een kunstmatig onderscheid, aangezien er twee verschillende theorieën worden gehanteerd. De vergelijkingen van Maxwell (M) beschrijven zijn een correcte beschrijving voor alle EM verschijnselen. De stroom- en spanningswetten van Kirchhoff (K) zijn gemakkelijker, eenvoudige algebraïsche relaties. Alle moeilijke eigenschappen van de driedimensionale EM-velden zijn in het K-model verdwenen. Het model is een vereenvoudiging van de werkelijkheid, zij het een zeer bruikbare voor het ontwerp van het merendeel van onze elektrotechnische apparatuur. De beperkte geldigheid van het K-model zorgt voor de nodige verwarring en begrenst vaak het aantal denkbare oplossingen. De meeste gangbare EMC-normen weerspiegelen die onvolledigheid van de K-benadering. De kloof tussen de M-theorie en de Netwerktheorie gebaseerd op het K-model, is groot. Jammer genoeg bestaat deze kloof vaak ook in het elektrotechnisch onderwijs.

In onze cursus pakken wij eerst het M-K-probleem aan en bespreken we de verschillen tussen de M-vergelijkingen in integraalvorm en de K-vergelijkingen. Vervolgens bespreken wij het inkoppelen van storingen en transferimpedantie, aarding en afscherming.

2. Maxwell versus Kirchhoff

Een volledige oplossing van de M-vergelijkingen is in het algemeen moeilijk voor een schakeling, zeker wanneer de schakeling uitgebreid wordt. De 3D-randvoorwaarden die opgelegd worden door de schakeling en andere (geaarde) metalen delen, moeten in de berekening meegenomen worden. De bronnen van de velden moeten gespecificeerd worden. De berekeningen vereisen in ieder geval omvangrijke computercapaciteit en leveren dan waarden voor de zes componenten van E en B als functie van plaats en tijd. Soms worden dergelijke berekeningen inderdaad uitgevoerd. Men kan zich echter afvragen of algemene richtlijnen voor verbeteringen met betrekking tot EMC kunnen worden afgeleid uit een beperkter benadering. Een benadering die bijvoorbeeld is gebaseerd op de volgende analyse.

Welk gedeelte van de M-vergelijkingen blijft in het K-model behouden? De M-vergelijkingen in integraalvorm zijn in de gebruikelijke notatie:

$$\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{l} = \iint_S (\vec{j} + \partial \vec{D} / \partial t) \cdot d\vec{S} \quad (1)$$

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\partial / \partial t \iint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} \quad (2)$$

$$\iint \vec{D} \cdot d\vec{S} = Q \quad (3) \qquad \iint \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0 \quad (4)$$

waarbij de integralen in de vergelijkingen 1 en 2 langs een kromme C als rand van een oppervlak S zijn genomen. De integralen in de vergelijkingen 3 en 4 worden berekend over een gesloten oppervlak.

De K-vergelijkingen zijn algebraïsche uitdrukkingen voor de stromen bij een knooppunt en de spanningen in een maas van een netwerk.

$$\sum_{\text{knooppunt}} i_k = 0 \quad (5) \qquad \sum_{\text{maas}} V_n = 0 \quad (6)$$

De spanningen, in vergelijking 6, op de verschillende punten in een maas worden vaak (K-)potentialen genoemd.

Hoe is nu de relatie tussen de twee stelsels vergelijkingen onderling? De stroom verschijnt in de M-vergelijkingen impliciet in het rechterlid van vergelijking 1. Wanneer we de kromme C tot één enkel punt insnoeren, wordt het oppervlak S gesloten en verkrijgen we:

$$\iint_S (\vec{j} + \partial \vec{D} / \partial t) \cdot d\vec{S} = 0 \quad (7)$$

hetgeen equivalent is aan

$$\sum (i + i_{cap}) = 0 \quad (8)$$

Dit is de K-stroomwet, waarin ook de stromen door capaciteiten – bewust aangebrachte of parasitaire – op de juiste wijze worden meege-rekend.

De spanning verschijnt eveneens impliciet in de M-vergelijkingen. Wij kunnen de spanning ofwel uit het E-veld in vergelijking 2 herleiden, ofwel uit het D-veld in vergelijking 3. Het E-veld veroorzaakt door ladingen (vergelijking 3) is conservatief; inductie genereert een niet-conservatief E-veld (vergelijking 2). Een algemeen E-veld is een sommatie van beide componenten. Kirchhoff's spanningswet (vergelijking 6) lijkt op een conservatief E-veld, waarvoor $\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0$. Dit vereist $\partial\Phi/\partial t = 0$ volgens vergelijking 2. Magnetische flux is altijd verdeeld over de ruimte; het niet-conservatieve karakter van E in die ruimte leidt dan tot een aantal conclusies:

- inductiespanningen tussen punten die ver weg liggen zijn niet gedefinieerd, tenzij de weg voor de berekening van $\int \vec{E} \cdot d\vec{l}$ is gegeven. Kirchhoff-potentialen zijn dan niet zinvol;
- een geïnduceerde spanning (of EM-veld) kan niet worden gelokaliseerd in een deel van de bedrading. Tussen de aansluitklemmen van bijvoorbeeld een transformator is een elektrisch veld aanwezig als gevolg van de omsloten flux in de kern. Maar in de windingen van de spoel is het elektrische veld praktisch nul;
- inductantie is de eigenschap van een gesloten lus en kan niet alleen worden toegeschreven aan een deel van de lus. Zo kan bijv. de zelf-inductie van een enkele rechte draad niet eenduidig gedefinieerd worden. Deel-inductanties zijn alleen van betekenis indien zij worden opgeteld tot de waarde over een gesloten lus. Die totale lus kan bijna gesloten zijn, zodat voor de integratie-weg in vergelijking 2 eenduidigheid bestaat. Tussen twee klemmen die zich dicht bij elkaar bevinden, mogen we een sprongetje maken; deze 'nabije' spanning is wel zinvol en is ook eenduidig te definiëren;
- een voltmeter met draden is zelfs voor een 'Gedanken' experiment geschikt. De draden bepalen een 3D weg die aan de schakeling wordt toegevoegd; de positie van de draden mag willekeurig worden gekozen. Draden en schakeling vormen de contouren voor de berekening van de linkerkant van vergelijking 2. Door iedere contour heen kan de flux(verandering) worden vastgesteld. Alle contouren samen resulteren in een eenduidige voltmeteruitslag voor de gekozen positie van de draden;
- regelmatige structuren als kabels, transmissielijnen of printplaten, transporteren overwegend signalen in de TEM mode. Een spanning kan alleen eenduidig worden gedefinieerd in een vlak loodrecht op de structuur, want er loopt geen enkele magnetische flux door dat vlak;
- de rechterkant van vergelijking 2 is gelijk aan de fluxvariatie $-\partial\Phi/\partial t$; vergelijking 2 is algemene beschrijving geldig voor alle frequenties en voor gecompliceerde, of bewegende, contouren of circuits;
- algemeen wordt aangenomen dat de Netwerkteorie geldig blijft tot aan frequenties waarbij de schakeling kleiner is dan 1/10 golflengte.

Wij beschrijven een college-demonstratie (in paragraaf 4) die het niet-conservatieve karakter van E al bij 50 Hz laat zien.

Op grond van het bovenstaande maken wij onderscheid tussen 'nabije' spanningen die zinvol zijn en 'verre' spanningen die niet bruikbaar zijn. Dit onderscheid komt niet voor in de Kirchhoff-netwerken; alle spanningen of K-potentialen kunnen net zo eenvoudig worden berekend. Een volledige beschrijving wordt gegeven in [1], met vele voorbeelden die de verschillen tussen verre en nabije spanningen illustreren.

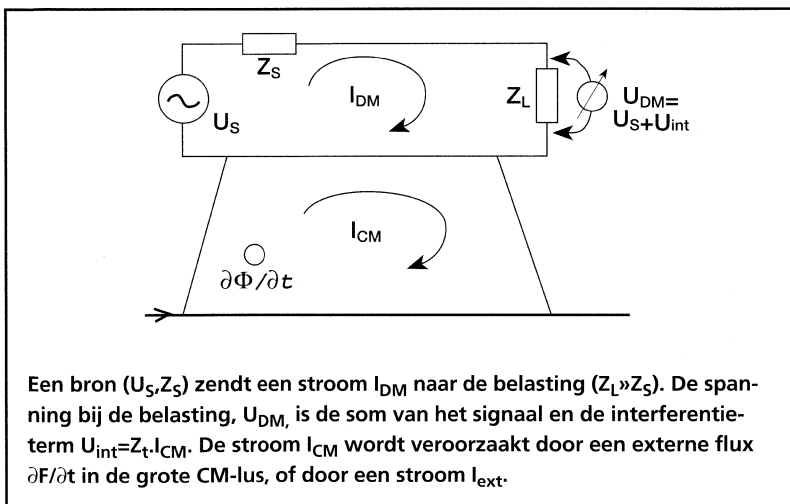
3. Stroomkringen en hun koppeling

Wij beschouwen uitsluitend gesloten stroomkringen. Legale signalen worden overgedragen via de 'Differential Mode' (DM) stroomkring. Een paar EMC-regels voor een DM-stroomkring als voorbeeld:

- de stroomkring moet compact worden gemaakt. Signaal- en retourweg worden altijd tezamen beschouwd; dit impliceert bijvoorbeeld, dat de afscherming van kabels aan beide uiteinden met de DM-stroomkring moet worden verbonden. Het K-model is vaak redelijk geldig voor iedere DM-stroomkring afzonderlijk. Compacte stroomkringen verminderen ook overspraak tussen verschillende naburige DM kringen;
- wanneer de DM-stroomkring lang is, moet deze een gelijkmatige vorm hebben (tweeaderige kabel of coaxiaal-kabel).

Stroomkringen in voedingen met HF-filters of afvlakcondensatoren moeten eveneens compact zijn, dat wil zeggen als signaal-stroomkringen worden behandeld.

Met de DM stroom kring leggen we altijd ook een tweede kring aan, de 'Common Mode' (CM) stroomkring (fig.1): deze stroomkring sluit via de buitenwereld en ligt vaak voor een deel ver weg van de DM-stroomkring. De CM-kring is groot en heeft een onregelmatige vorm. In fig. 1 is de CM kring aan beide einden van de DM-stroomkring galvanisch geslo-



Figuur 1. Een DM- en een CM-stroomkring

ten. Ook zonder galvanisch contact sluit de CM-stroomkring, zij het nu via parasitaire capaciteiten. Magnetische velden zijn over de CM-lus verdeeld; daarom dient het K-model niet te worden gebruikt voor de CM-kring. De CM-stroom blijft wel een geldig concept. Dit maakt de definitie van een transferimpedantie Z_t mogelijk: de DM-spanning gemeten over gevoelige ingangen van elektronica, veroorzaakt door de van buiten de DM-kring komende CM-stroom. Het Z_t concept kan algemener worden gebruikt; de CM-stroom kan vloeien over een deel van een apparaat op enige afstand van de beschouwde DM-stroomkring.

Een ander soort koppeling wordt veroorzaakt door een E-veld loodrecht op de DM-stroomkring; de verschuivingsstroom veroorzaakt een DM-stroom die we nu beschrijven met een tweede parameter, de transferadmittantie Y_t .

In onze cursussen gebruiken we consequent de M-vergelijking 2 voor de berekening van stromen en nabije spanningen, veroorzaakt door magnetische fluxen in stroomkringen, in lucht, in laag permeabele materialen, of magnetische kernen of metalen. De vier koppelwegen die in paragraaf 1 zijn genoemd, worden alle door vergelijking 2 bevat. Vaak is de koppeling via de grote CM-lus het belangrijkste. Alle vier wegen resulteren in een I_{CM} door de kabel of door de apparatuur en/of een E-veld loodrecht daarop. De belangrijkste koppeling naar de DM-stroomkring wordt beschreven door de twee transferparameters. De frequentie-afhankelijkheid van de koppeling volgt vanzelf, ook voor bijvoorbeeld lange kabels. Lokale E- en B-velden kunnen ook direct op de DM-stroomkring inwerken; een compacte DM-stroomkring, zoals een getwijnde tweeadelige kabel of een coaxiale kabel, houdt deze koppeling klein.

Het Skin-effect kan ook uit de M-vergelijkingen 1 en 2 worden afgeleid. Bij een coaxiale kabel met een massieve mantel berekenen we op een eenvoudige wijze zowel de Z_t als de oppervlakte-impedantie Z_s .

In geaarde systemen dient men rekening te houden met omvangrijke stromen I_{CM} ; de Z_t verdient het meest onze aandacht. De totale Z_t bevat verschillende bijdragen, van de kabels aan de apparatuur, van de aansluitklemmen en van de apparatuur zelf. Wij bespreken allereerst de Z_t van de kabels. De Z_t voor de apparatuur zelf wordt later in paragraaf 7 besproken.

De Z_t van de kabels is een lokale parameter langs de DM-stroomkring; de waarde van Z_t is afhankelijk van het type DM-stroomkring (tweeadelige of coaxiaal) en van de afsluiting (gebalanceerd of niet). In een ongebalanceerde DM-stroomkring is één van de DM-geleiders aan beide uiteinden geaard. De 3D vorm van die geaarde geleider bepaalt hoeveel flux er loopt door de DM-stroomkring als gevolg van de CM-stroom, en daarmee het hoogfrequent-gedrag van Z_t . De geaarde geleider in een tweeadelige kabel resulteert in een toename van de HF $Z_t \propto \omega M$; voor een coaxkabel met een massieve buitengeleider (BG) neemt de HF- Z_t exponentieel af ten gevolge van het Skin-effect. Dit zijn twee uitersten; tussenvormen voor de retour geleider zijn een plaat, een

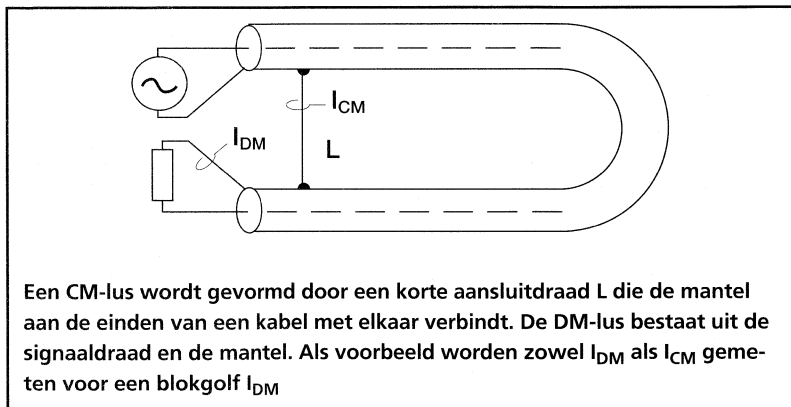
goot met of zonder deksel, enzovoort. Het binnendringen van de E- en H-velden door gaten of spleten in de BG van een coaxkabel wordt behandeld volgens Kaden [2].

Maatregelen tegen storing berusten op een reductie van de twee transferparameters van de kabel zelf, of op de verandering van de stroomweg van de I_{CM} . Het verschil tussen beide methoden is niet precies aan te geven. Een extra stroomkring kan tussen de DM- en de CM-stroomkring worden aangebracht; een voorbeeld hiervan is een coaxkabel met twee BG's op enige afstand van elkaar [3]. De stroomkring die tussen de twee BG's gevormd wordt, is correct gedefinieerd. Deze kring heeft twee Z_t 's, een t.o.v. de CM-kring, en een t.o.v. de DM-stroomkring, en een eigen impedantie die wellicht is vergroot door ferriet of mu-metaal. Deze extra tussenkring houdt de CM-stroom op enige afstand van de binnenste kring, het DM-circuit. Andere leidingen of gearde geleiders parallel aan de DM-stroom voerende kabel (signaal en retour), kunnen op een zelfde wijze beschreven worden; deze extra leidingen hebben als doel de CM-stroom van de BG van de kabel zelf af te houden.

Soms kunnen we de CM-stroomkring zelf compact maken; dit resulteert in een lage I_{CM} . Bovendien kan de stroom I_{CM} worden gereduceerd door de impedantie van de CM-lus te vergroten, zoals wordt bereikt door ferriet kernen of 'baluns'. In de Amerikaanse literatuur m.b.t. hoogspanningsonderstations worden ook wel 'neutralising transformers' genoemd die hetzelfde doel hebben.

4. Demonstraties

Een 100 A, 50 Hz stroom vloeit door een ijzeren buis met een 6 mm wanddikte; de stroomkring sluit buiten de buis. De spanning wordt gemeten tussen twee punten op de wand van de buis, die op enige afstand van elkaar liggen. Eerst meten we met de voltmeteraansluitdraden aan de binnenzijde van de buis (met als resultaat Z_t) en vervolgens met de aansluitdraden langs de buitenzijde van de buis (met als resultaat de Z_g). Voor de twee posities van de aansluitdraden bedraagt het



Figuur 2.

verschil tussen de aanwijzing van de voltmeter een factor 50; dit verschil wordt veroorzaakt door de magnetische flux in de wand van de buis. Het wekt zowel bij studenten als bij ervaren ingenieurs, de nodige verbazing.

In andere demonstraties worden verschillende kabels getest: een ongebalanceerde tweeadelige kabel, een coaxiale kabel en een tweeadelige kabel in een BG. Het benodigde frequentie-bereik tot enige MHz laat toe dat we een eenvoudige oscilloscoop en een signaalgenerator als meetapparatuur gebruiken. Wij vermelden hier de demonstraties:

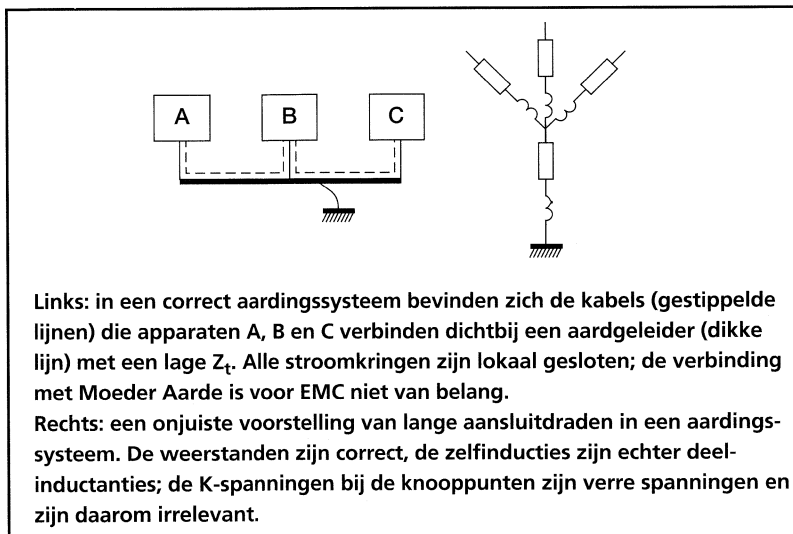
- een galvanisch gesloten CM-kring wordt gevormd door de mantel van een kabel aan de twee uiteinden, middels een korte draad, onderling te verbinden (fig. 2) [4,5]. De CM-stroom die door een DM-signaal wordt veroorzaakt, wordt in die draad gemeten; de I_{DM} wordt elders gemeten. Een blokgolf DM-signaal laat de frequentie-afhankelijkheid van de koppeling zien. Het effect op Z_t wordt getoond:
 - a) van een compacte DM-stroomkring, een tweeadelige kabel met de aders dichtbij elkaar of op enige afstand, of een coaxiale kabel;
 - b) van het vertwijnen van de aders tweeadelige kabel (effect vrijwel verwaarloosbaar);
 - c) van een varkensstaart-verbinding aan één uiteinde van een coax-kabel. Wanneer we ferriet rond de kabel aanbrengen, vergroten we de Z_{CM} en verlagen we de I_{CM} ;
- een demonstratie bij 50 Hz lijkt hier sterk op; we gebruiken een coax-kabel met de hierboven genoemde buis als BG met een wanddikte van 6 mm ijzer;
- de Z_t van een kabel wordt gemeten; een CM-stroom wordt door de BG van een coaxkabel gestuurd, of door de gearde draad in een tweeadelige kabel. De CM-stroom en de DM-spanning worden door een oscilloscoop gemeten. Extra aarddraden bieden een alternatieve weg voor de I_{CM} naast de eigenlijke kabel; eventueel worden ze daarbij geholpen door ferrieten rond de kabel zelf; de storing neemt af. De CM-stroom loopt ook door de scoop. Als laatste test wordt de scoop aan de ingang kortgesloten. Het restsignaal wordt veroorzaakt door de I_{CM} en de Z_t van de scoop zelf;
- een magnetische flux wordt opgewekt in een CM-lus [4]. De kabel is aan één kant afgesloten met een 100Ω weerstand en aan de andere kant door de scoop ($1 M\Omega$, $25 pF$). We meten het effect van verschillende verbindingen voor de BG, of voor de gemeenschappelijke aansluitdraad: geard aan één zijde of aan beide zijden. Wij breiden de metingen uit t.o.v. [4]; we meten ook de I_{CM} door de geteste kabel en relateren deze waarde vervolgens aan de U_{DM} die de scoop weergeeft. De frequentie-bereik is eveneens uitgebreid tot 5 MHz (tegen 50 kHz in [4]). Een groot aantal maatregelen tegen storing wordt getoond en vergeleken met de theorie. We laten zien dat éénpuntsaarding onmogelijk is bij hoge frequenties, wanneer de CM-stroom zijn weg vindt via parasitaire capaciteiten bij het 'ongearde' eind van de kabel.

5. Aarden

Aarden wordt voorgesteld a) als het sluiten van DM-stroomkringen aan de laagspanningszijde en b) als het ontwerp en het toepassen van geleiders vlakbij een DM-stroomkring, die de CM-stroom of de stromen afkomstige van andere DM-stroomkringen [6] een goed gekozen pad bieden. De vorm van de geleiders wordt zo gekozen dat de Z_t laag is. Metaal wordt toegevoegd of -indien al aanwezig voor andere doeleinden zoals bijvoorbeeld voor stevigheid- ook gebruikt voor EMC. Als ze goed worden uitgevoerd, verhogen aardlussen de EMC-kwaliteit. Deze benadering van aarding lijkt sterk op de technieken die gebruikt worden voor het ontwerpen van HF-schakelingen.

Met name bij aarden worden de verschillen tussen de M- en de K-aanpak belangrijk. Vaak moeten rekening houden met grote systemen en/ of hoge frequenties. De zelfinductie van lange aarddraden is geen geldig concept, aangezien het een deel-inductantie betreft. Verre spanningen of springende potentialen zijn niet belangrijk. Het zoeken naar een schone aarde is een hopeloze, maar ook nodeloze zaak; alleen nabije spanningen kunnen schade aanbrengen aan elektronica of deze hinderen. Als een dergelijke schone aarde is geïnstalleerd, veelal gescheiden van andere schakelingen en op grote afstand met Moeder Aarde verbonden, is dat slecht voor EMC.

Veelgebruikte uitdrukkingen zijn vaak misleidend: 'transiënt ground potential rise' wordt gebezigd door sterkstroom-ingenieurs, 'ground bounce' door PCB-ontwerpers, inductieve spanningsval over PCB-bedrading of -vlakken, of over de massa-, voeding- en signaalpennen van IC's, enzovoort. Wij bespreken deze schijnbaar verschillende onderwerpen vanuit één oogpunt, onafhankelijk van de omvang van het systeem. Ten eerste, wanneer het om een 'verre' spanning gaat, kunnen



Figuur 3.

wij deze vergeten. Ten tweede, een 'nabije' spanning tussen twee verschillende dicht bij elkaar gelegen aardes wordt vaak veroorzaakt door hoogfrequent inductie. De twee aardes dienen dan met elkaar te worden verbonden. Het stroompad dat daardoor gevormd wordt, moet vooral een lage Z_t tussen de diverse (DM-)stroomkringen krijgen, eerder zelfs dan een lage impedantie.

In onze bespreking van 'aarden' blijkt dat veel van de problemen die men tegenkomt, een lange geschiedenis hebben. Veiligheids-aarde en bliksembeveiliging werden altijd behandeld vanuit de K-optiek: een referentiepotentiala. Wij trachten de kloof te overbruggen en beschouwen 'aarden' als het ontwerp van stroomwegen die tegelijk aan de veiligheidseisen, en aan EMC-vereisten moeten voldoen.

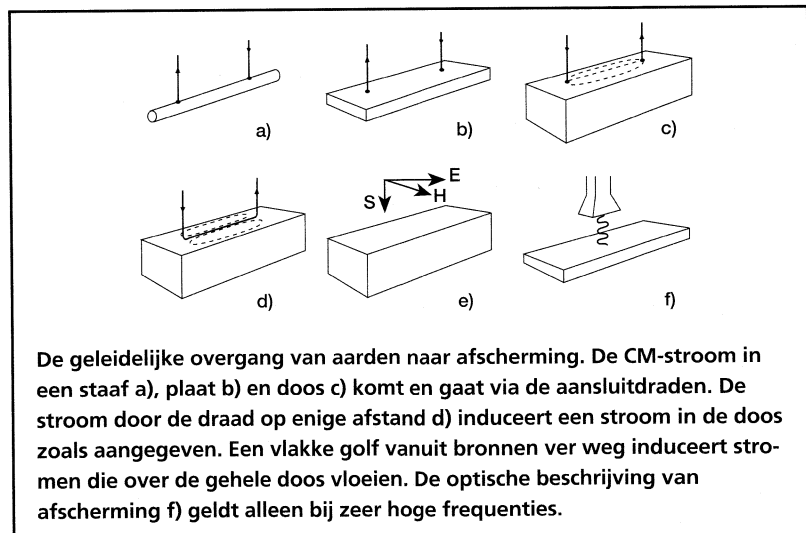
6. Afscherming

Tussen aardes – zoals hierboven beschreven door Z_t – en afscherming, bestaat een geleidelijke overgang. Eerst is een stroombron met een metalen 'afschermings'doos verbonden. De stroom vloeit door de doos; de lokale velden die deze stroom veroorzaakt kunnen binnen lekken.

Vervolgens houden we de stroomdraad op een korte afstand van de doos. Spiegelstromen lopen in de wand van de doos onder de stroomdraad. Ook nu bepalen de lokale velden de koppeling. In beide gevallen is Z_t belangrijk. In een derde stap wordt de bron ver weg geplaatst; de EM-velden komen bij de doos aan als vlakke golven. Stromen worden in de wanden van de doos geïnduceerd; we berekenen de afname van de velden in de doos door deze stromen.

Wanneer we quasi-statische E-velden, dito H-velden en de E- en H-componenten van EM-golven vergelijken, dan zien we dat de grootste stromen door de H-velden worden opgewekt. Afscherming voor H-velden is dus moeilijker. De geïnduceerde stromen en de afscherming worden

Figuur 4.



berekend voor eenvoudige geometrieën, een buis of een bol. De werking van spleten, ramen, deuren en de positie van 'vinger'contactstrips bespreken we aan de hand van hun verstoring van het stroompatroon t.o.v. een niet-onderbroken wand.

Onze bespreking van afscherming wijkt af van de benadering die bijvoorbeeld door de MIL-standaarden wordt gevolgd. De basis van de MIL-standaarden is het beeld over afscherming dat door Schelkunoff naar voren werd gebracht: reflectie, absorptie, herhaalde interne reflectie en uiteindelijke transmissie van een vlakke golf die een metalen oppervlak treft. Dit beeld is geldig bij zeer hoge frequenties en voor gelocaliseerde bronnen en stroompatronen. Het gaat niet op voor ver weg gelegen bronnen bij lagere frequenties, wanneer de golflengte vergelijkbaar is met de afmetingen van de doos. De afschermingsstromen vloeien dan over de gehele doos; een grotere kooi van Faraday schermt beter af dan een kleinere [7].

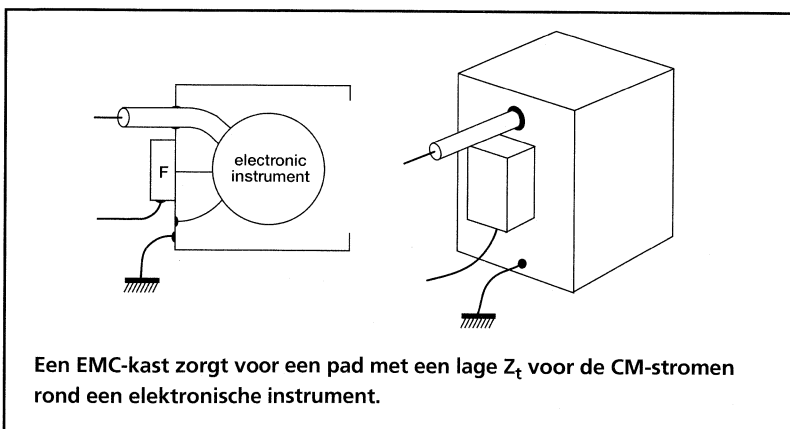
De MIL-testen trachten dit probleem op te lossen door het stroompatroon in het testobject te beperken. Een metalen scherm, een deur of een enkel paneel wordt getest tussen twee antennes, elk op de korte afstand van 30 cm van het testobject. De reductie van de koppeling tussen de twee antennes die door het object worden veroorzaakt, is hoofdzakelijk een eigenschap van de testopstelling. Deze reductie verschaft echter geen informatie over een dergelijk paneel in een volledige kooi van Faraday, waar de stroom in grotere kringen loopt en waar deze ook spleten kruist zoals rond het paneel.

7. Bescherming van elektronische apparatuur

We moeten een schatting geven van verschillende bijdragen:

- a) storingen veroorzaakt door I_{CM} over kabels naar de apparatuur en
- b) de directe storing t.g.v lokale E- en H-velden bij de elektronica.

De I_{CM} vraagt een lage Z_t ; de velden vereisen afscherming. Vaak is de eerste het belangrijkste.

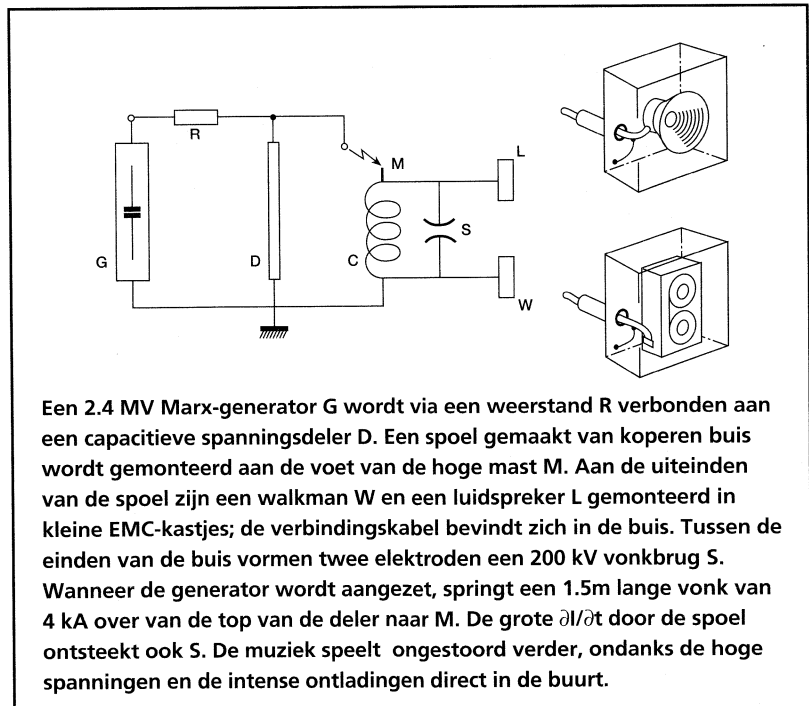


Figuur 5.

De cursus behandelt een EMC-kast [8]. Alle kabelmantels zijn over hun volle omtrek bevestigd aan het achterpaneel van de kast. De voeding wordt via een filter F naar de apparatuur gevoerd. Het filter is op het achterpaneel gemonteerd: dit moet een pad bieden voor de I_{CM} in de voedingleidingen. Andere aansluitdraden, bijvoorbeeld voor veiligheidsaarde, zijn ook aan het achterpaneel bevestigd. De som van alle I_{CM} 's is nul. Wanneer alle CM-stromen via het achterpaneel worden geleid, is de totale I_{CM} naar de apparatuur binnenin de kast nul. Met de deur open biedt een dergelijke EMC-kast geen afscherming, aangezien deze niet als een kooi van Faraday kan werken. De CM-stromen en de bijbehorende magnetische velden bevinden zich echter hoofdzakelijk bij het achterpaneel. Deze concentratie resulteert in een lage Z_t t.o.v. de elektronica binnenin. Voor situaties met minder interferentie kan een enkele plaat, of zelfs een enkele draad, dienen als een gereduceerde versie van een EMC-kast. De 3D vorm van de geleider beïnvloedt Z_t . Een korte cilinder die aan een plaat wordt bevestigd en die alle draden omhult, vermindert het HF deel van Z_t van de plaat drastisch [9].

De behuizing van de meeste commerciële apparatuur bestaat, als deze al van metaal is, vaak uit platen met slechts een paar elektrische contacten. Een dergelijke behuizing biedt geen afscherming. Het apparaat zelf is echter een kleine antenne voor EM-velden. Een EMC-kast beschermt dergelijke apparatuur, zelfs onder barre omstandigheden als in hoogspanningsonderstations.

Figuur 6.



Het totale elektromagnetisch milieu wordt minder relevant; metaal in de juiste vorm (Z_t en Y_t) en op de juiste wijze bevestigd (I_{CM}), levert een aangenaam micro-klimaat, net als buizen voor aansluitdraden en kabels en een EMC-kast voor apparatuur. Afscherming zoals een kooi van Faraday biedt, is alleen noodzakelijk in een beperkt gebied: intensieve HF-straling met een golflengte kleiner dan de kasten of apparatuur.

We presenteren een open EMC-kast die een 200 MHz digitale oscilloscoop beschermt op 6m afstand van een 2.4 MV bliksem-stootgenerator. Een draagbare cassetterecorder wordt door een kleine EMC-kast beschermd tegen de bliksemstoot, zelfs in de buurt van een 4 kA vonk opgewekt door 200 kV over een vonkbrug in lucht.

8. Overige onderwerpen

De vorige paragrafen vormen het belangrijkste deel van de cursus. Andere onderwerpen die worden besproken zijn:

passieve componenten met hun parasitaire eigenschappen over een groot frequentiegebied: aansluitdraden, weerstanden, condensatoren en spoelen of transformatoren. De zelfinductie van een enkele draad wordt vermeden;

niet-lineariteit, zoals in amplitudebegrenzers, frequentie mixers, schakelaars of digitale circuits. Niet-lineariteit wordt vermeden in analoge versterkers en sensoren; bandbreedte-beperking door passieve filters is een oplossing. Een van de gevolgen van niet-lineariteit wordt vaak over het hoofd gezien: de complexe Fourier-transformatie die voor bijna alle berekeningen bij het ontwerpen van analoge elektronica wordt gebruikt, is niet langer geldig, zelfs niet bij een enkele frequentie;

filters voor EMC zijn zeer vaak passief, zoals netfilters. Wij bespreken waar en hoe dergelijke filters moeten worden gemonteerd en hun eigenschappen, in het bijzonder die van hun passieve componenten in DM- en CM-, of gecombineerde filters. Actieve filters kunnen alleen worden gebruikt in de signaalweg om in-band-interferentie tegen te gaan;

begrenzers zijn in essentie niet-lineaire elementen: ZnO-, SiO-varistors, Zenerdiodes en vonkenbruggen. Vaak wekken zij nieuwe en snelle stromen op, die dan weer nieuwe storingen produceren. De methoden uit de voorafgaande paragrafen vermijden de noodzaak van begrenzers zelfs in moeilijke omstandigheden. In onze EMC-consultancy praktijk hebben wij ervaren dat overspanningsafleiders te vaak onzorgvuldig worden toegepast en dat deze meer problemen oproepen dan oplossen;

galvanische scheiding in signaalcircuits kan eveneens worden vermeden. De beste scheiding leveren *glasvezels*, mits de glasvezelkabel geen metaal bevat. De EMC van de optische zender en ontvanger dient goed te zijn. Echter ons onderzoek in hoogspanningstechniek is uitgevoerd zonder glasvezelkabels. Hoogfrequente stromen en spanningen worden nauwkeurig gemeten door goed ontworpen sensoren, die door coaxiaal-kabels met de apparatuur zijn verbonden. De apparatuur zelf wordt beschermd door een EMC-kast. Het meetsysteem heeft een hoge

EMC-kwaliteit en maakt gebruik van alle genoemde technieken [8].

9. De context van de cursus

De cursus is een keuzevak voor studenten in het derde of vierde studiejaar en wordt gegeven na een brede algemene opleiding. De student loopt minimaal twaalf keuzevakken; in dit aantal zijn de cursussen inbegrepen die nodig zijn voor specialisatie in de vele richtingen van de elektrotechniek. Wij hebben nu vijf jaar ervaring. De deelname is gegroeid, vorig jaar hadden wij 58 studenten. De cursus richt zich op vele studenten, ook op hen die van plan zijn zich te specialiseren in, bijvoorbeeld, telecommunicatie-techniek. Het totale aantal uren bedraagt 27; drie hiervan zijn gereserveerd voor een gastspreker, dr. J.J. Goedbloed. Onderwerpen worden gekozen uit zijn rijke ervaring in de industrie.

De post-academische cursus duurt drie dagen. Het theoretische gedeelte is beperkt tot de belangrijkste onderwerpen (paragraaf 3 t/m 7). Er worden meer demonstraties gegeven dan in de cursus voor de studenten. Een dag is gewijd aan case-studies, waarin de theorie op praktische problemen wordt toegepast. De onderwerpen worden gekozen uit het onderzoek van onze vakgroep, maar sluiten in ieder geval aan bij de achtergrond van de deelnemers. Bovendien kunnen problemen die de deelnemers zelf naar voren brengen worden besproken.

De post-academische versie van de cursus is vele malen gepresenteerd aan werknemers van bijvoorbeeld: test-laboratoria, elektriciteitsmaatschappijen, de chemische industrie, elektrische- en elektronische industrieën en fabrikanten van telecommunicatie-apparatuur. Het aantal deelnemers is beperkt tot ongeveer 20 personen, bij voorkeur afkomstig van één bedrijf of van bedrijven met overeenkomstige belangstelling. Naar onze ervaring is bij dit aantal een vrije discussie van de actuele problemen van de deelnemers nog goed mogelijk. Wij hebben ook twee cursussen gegeven na adverteren; er kwam een gemengd publiek afkomstig uit kleinere bedrijven en stafleden van hogere technische scholen.

10. Literatuur

1. P.C.T. van der Laan, A.P.J. van Deursen, M.A. van Houten, *EMC-grounding protects micro-electronics*, nog te publiceren.
2. H. Kaden, *Wirbelströme und Schirmung in der Nachrichtentechnik*, 2. Auflage, Springer Verlag, Berlin 1959.
3. E.F. Vance, *Coupling to shielded cables*, R.E. Krieger Publ. Comp. 1987.
4. H.W. Ott, *Noise reduction techniques in electronic systems*, Wiley 1989.
5. J.J. Goedbloed, *Elektromagnetische Compatibiliteit*, Kluwer 1991.
6. P.C.T. van der Laan, M.A. van Houten, A.P.J. van Deursen, *Grounding philosophy*, Proc. 7th Int. Symp. EMC, Zürich 1987, p. 567.
7. P.C.T. van der Laan, E.F. Steennis and W.J.L. Jansen, *Design of shielded High Voltage Laboratories*, Proc. 4th Int. Symp. on High Voltage Engineering, Athens 1983 Vol. 2, paper 64.11.
8. M.A. van Houten, E.J.M. van Heesch, A.P.J. van Deursen, J.N.A.M. van Rooy, P.C.T. van der Laan, *General methods for protection of electronics against interference, tested in high-voltage substations*, Proc. 8th Int. Symp. EMC, Zürich 1989, p. 429.
9. M.A. van Houten, *Electromagnetic compatibility in high-voltage engineering*, Proefschrift Technische Universiteit Eindhoven, 1990.

EMC-ADEQUAAT ONTWERP VAN PCB'S DOOR GEBRUIKMAKING VAN EEN EMC-ANALYSE-WERKBANK

Vertaald uit het Duits door het CME november 1992

Elmar Griese, Siemens Nixdorf Informationssysteme AG, Cadlab - Analog System Engineering

1. Inleiding

Op grond van de toenemende verwerkingssnelheid van bouwstenen, afkomstig van nieuwe technologieën (ACMOS, BICMOS, BCTMOS etc.), alsmede van de hogere montage-dichtheid, moet de ontwikkelaar van printkaarten tegenwoordig in toenemende mate rekening houden met storingseffecten zoals reflectie, overspraak, simultaan schakelen, stroompieken en uit- en instraling. In veel gevallen kunnen defecten, die door deze storingseffecten ontstaan, pas bij het testen van een prototype of pas bij de gebruiker door de technische service monteur worden vastgesteld. In het eerste geval resulteert dit in een te lange ontwikkelingscyclus ('time to market'), in het tweede geval in een verlies van vertrouwen bij de klant als gevolg van in gebreke blijvende kwaliteit. Het is daarom noodzakelijk de bovengenoemde problemen reeds in een vroeg ontwikkelingsstadium te herkennen en zo mogelijk op te heffen.

De opgesomde storingseffecten zijn geen afzonderlijk optredende verschijnselen. De aan de EMC beantwoordende functionaliteit dient beschouwd te worden als een eigenschap van een compleet systeemontwerp. Daartoe moeten de actuele ontwikkelingsprocedures worden uitgebreid. Dat betekent, dat niet slechts de EMC-afdelingen ter beveiliging van de gewenste componentenfunctie moeten bijdragen, maar tevens de betreffende elektronica- en layout-ontwikkelaars reeds in een vroeg stadium van de ontwikkeling analyse- en ontwerpmethoden moeten toepassen die aan EMC voldoen.

De in het Cadlab ontwikkelde EMC-analyse-werkbank bestaat uit een nieuwe gereedschapset en een bibliotheek van bouwstenen voor de analyse van EMC-problemen op printkaarten die met EMC-relevante onderdeelgegevens is uitgebreid. De werkbank werkt als een overkoepelend gereedschap en maakt een ontwerpproces mogelijk waarbij systeemfunctie vanuit EMC-oogpunt veilig is.

2. Het EMC-werkbank concept

Vanwege de grote hoeveelheid verschillende EMC-gereedschappen, hun hoge complexiteit en het grote aantal mogelijkheden om geschikte EMC-analyses te kunnen uitvoeren, moet de gebruiker geholpen worden bij het uitvoeren van de ontwerppoging. Voor het oplossen van deze problematiek stelt de 'EMC-werkbank' aan de gebruiker een fout-tolerante omgeving ter beschikking, die het enerzijds toestaat om alle

mogelijkheden van de geïntegreerde gereedschappen te benutten en anderzijds een foutieve bediening en een ondoelmatig gebruik verhindert. Door deze omgeving wordt voorts een EMC-specifieke sturing van het ontwerptraject en versiebeheer (version manager, version browser) gerealiseerd. Samenvattend vertoont de werkbank de volgende kenmerken:

- * Bewaking van de samenhang
- * Opslag van verschillende versies
- * Beheersfuncties
- * Centrale gegevensopslag
- * On-line helpfuncties
- * Flexibiliteit t.a.v. verdere gereedschapsontwikkeling
- * Flexibiliteit t.a.v. de wijziging van ontwerp- en analysevolgorde
- * Open voor de integratie van externe gereedschappen

3. Het gereedschap van de EMC-werkbank

Uitgaande van het layoutontwerp worden met behulp van de layout-data-extractor (LDE) en een daarbij behorende beschrijving van de bouwstenen directe en indirecte deelnetten uit de layoutgegevensset gegenereerd. De daarop volgende layout-data-analysator (LDA) reduceert met behulp van speciale algoritmen het aantal van de exact te analyseren deelnetten door een snelle vooranalyse. De als 'kritisch' aangemerkte deelnetten worden met behulp van de SIG (simulatorinput-generator) getransformeerd en aangepast aan de gekozen simulator. De noodzakelijke leidingsparameters (golffimpedantie, inductie- en capaciteitsmatrices, fasesnelheid) kunnen door toepassing van het TALC (TrAnsmision-Line-Calculator) worden vastgesteld.

Aansluitend vindt de simulatie met FREACS (Fast-REflection-And-Cross-talk-Simulator) plaats. Deze simulator benut macromodellen, die het in- en uitgangsgedrag van de elektronische componenten beschrijven. Indien ook het spanningsverloop aan de inwendige knooppunten van de poortschakelingen moet worden geanalyseerd, kan de SPICE-simulator worden ingezet.

De weergave van de simulatieresultaten vindt plaats door het AnaRes (Analysis Result) gereedschap. Zij kunnen direct op een grafisch beeldscherm worden getoond en geanalyseerd. Het is mogelijk, deze in de vorm van lijsten of curvenplots weer te geven. Op grond van de analyse-resultaten kunnen vervolgens de vastgestelde effecten door passende EMC-maatregelen worden opgeheven of gereduceerd.

3.1. Analyse van de componentenplaatsing vanuit het oogpunt van EMC

Om reflecties op printkaarten te vermijden, mag de lengte van de bedrading van een net een bepaalde lengte, die afhankelijk is van de aangesloten zenders en ontvangers, niet overschrijden. Vaak is echter het nakomen van deze voorwaarden, alleen al op grond van de plaatsing

van de componenten, niet mogelijk. Om dergelijke problemen reeds na de plaatsingsfase te kunnen onderkennen, werd het MANDI (Manhattan-Distance) gereedschap in de EMC-werkbank geïntegreerd. Dit gereedschap berekent naar keuze de minimale overspanning of de zender-ontvanger afstand van een net in de Manhattan Distance en bepaalt deze lengte met betrekking tot een 'kritische' leidingslengte, die voor ieder net, de afhankelijkheid van de technologie van de zender en de ontvanger bepaalt. Omdat de Manhattan Distance van de minimale overspanning respectievelijk van de zenderontvangerafstand een goede benadering voor de lengte van het reële net is, kunnen netten, die vanuit EMC-oogpunt als kritisch zijn aan te merken, vroegtijdig worden herkend en kunnen tevens statistische uitspraken over de EMC-hoedanigheid worden gedaan. Evenzo kan met MANDI de signaallooptijd over een net worden geschat; zij kan aan digitale simulatoren worden doorgegeven en maakt een nauwkeuriger logica-validatie na de plaatsing mogelijk.

3.2. Extractie en analyses van layoutgegevens

De taak van de layout-data-extractor (LDE) ligt in het beschikbaar stellen van de geometrische betrekkingen tussen de objecten van een printkaart-layout (pinelementen, doorcontacteringen, geleiderbanen, geleiderbaanniveaus etc.). In een tweede stap wordt de layout na de extractie in een vooranalyse met het oog op mogelijke storings door reflecties en overspraak geanalyseerd. Daarbij worden o.a.:

- * de breedte van de geleiderbaan,
- * de lengtes van de leidingen (verloop en lengte van de verbindingen vanaf de uitgangen naar de afzonderlijke ontvangerbouwstenen),
- * de geleiderbaan-afstanden s_j bij gekoppelde leidingen, en
- * de gekoppelde lengten l_k bij gekoppelde leidingen,

vergeleken met de van de technologie afhankelijke kritische grenswaarden. Het doel van deze vooranalyse is de indeling van de layout in niet-kritische en mogelijkervijze kritische leidingsgebieden, die dan aan een meer exacte analyse door daarvoor geschikte simulatieprogramma's moeten worden onderworpen.

Met behulp van de SIG (simulator-input-generator) worden de geëxtraheerde layoutgegevens voor een simulatie gereed gemaakt. Daarbij kunnen zowel de in de vooranalyse als mogelijkervijze kritisch aangemerkte leidingsgebieden, als ook afzonderlijke door de gebruiker geselecteerde leidingen verder worden verwerkt.

3.3. Berekening van leidingparameters (TALC)

Het programmasysteem TALC (TrAnsmision-Line-Calculator) wordt in het kader van de EMC-analyse-werkbank toegepast voor de berekening van de parameters van leidingsstructuren op printkaarten (microstrip-leidingen, stripline-structuren, etc.) Met behulp van TALC worden de op de lengte betrekking hebbende elementen van de inductiematrix L en

de capaciteitsmatrix C voor enkelvoudig en meervoudig gekoppelde leidinggebieden vastgesteld.

Deze gegevens zijn noodzakelijke invoergrootheden voor simulatoren als FREACS of SPICE voor de berekening van reflectie- en overspraak-effecten. De geometrie van een opstelling en de materiaalgegevens van de printkaart worden door de SIG ter beschikking gesteld.

TALC is gebaseerd op de 'Boundary-Element-Method' (BEM), waarmee de belastingsverdeling op de leidingen wordt berekend. Er wordt uitgegaan van het quasi TEM-geval, zodat het elektrische veld door de Laplace-vergelijking beschreven kan worden. Deze wordt dan getransformeerd in een equivalente integraalvergelijking. Het voordeel van de BEM ligt daarin, dat voor een duidelijke bepaling van de veldverdeling de potentiaal slechts op de rand van het geobserveerde gebied moet worden berekend, hetgeen resulteert in korte berekeningstijden. De verdeling van de elementen op de rand van het gebied is van grote betekenis voor de nauwkeurigheid van de methode. Bij de uit de literatuur bekende programmasystemen op basis van BEM wordt de knooppuntverdeling vooraf door de gebruiker aangegeven. Bij deze methode wordt kennis verondersteld van het te verwachten resultaat. Om dit probleem te ontwijken vindt de knooppuntverdeling in TALC iteratief plaats. Uitgaande van een lineaire verdeling van de knooppunten wordt het aantal knooppunten met elke iteratieve stap verhoogd. Uit de gevonden potentiaal- en belastingsverdeling worden dan de gezochte leidingparameters berekend.

3.4. Berekening van reflectie- en overspraakeffecten

Het elektrische gedrag van complexe leidingsystemen op printkaarten wordt met behulp van de FREACS (Fast REFlection And Crosstalk Simulator) berekend. Daarbij wordt tevens met directe beïnvloeding door galvanische koppelingen (reflecties) en indirecte koppelingen door overspraak (crosstalk) rekening gehouden.

De beschrijving van leidingnetwerken met de speciaal hiervoor ontwikkelde invoertaal TANDEL, die door SIG wordt ondersteund, maakt een onderscheid tussen leidings-, discontinuïteits- en afsluitgebieden. Een leidinggebied wordt gevormd door een afzonderlijke of door parallel verlopende, gekoppelde leidingen. Er kunnen zowel verliesvrije als ook niet-verliesvrije leidingsystemen met niet-lineaire afsluitingen worden gesimuleerd. De afsluitgebieden worden door elektrische netwerken beschreven, die bestaan uit de samenvoeging van verschillende lineaire en niet-lineaire elementen. In tegenstelling tot andere bekende simulatoren wordt voor het ontwerpen van digitale schakelingen teruggegrepen naar speciaal voor de simulator FREACS ontwikkelde macro-modellen. Hierdoor kan de looptijd van het programma aanzienlijk worden gereduceerd.

De ontwikkelde modellen beschrijven het dynamische ingangs- en uitgangsgedrag alsmede het overgangsgedrag (Rise-, Fall- and Delaytime) van een poort volledig. Momenteel zijn verscheidene macromodellen voor bouwstenen in diverse technologieën beschikbaar. Deze modellen vertonen verschillende structureigenschappen. Naast eenvoudige modelstructuren bestaan ook structuren, waarbij het mogelijk wordt de V_{oo} en GND-afsluiteigenschappen (bijv. Current-Spike-effect) in aanmerking te nemen. Er wordt eveneens rekening gehouden met de belastingsafhankelijkheid van het gedrag van het schakelcircuit. Als discontinuïteitsgebieden worden aangeduid de zich in het leidingnet bevindende veranderingen van het geometrische verloop van de geleiderbanen, zoals knikken, vertakkingen, doorcontacteringen etc. Deze worden tegenwoordig door quasi-statische vervangingschema's beschreven.

Het in FREACS geïmplementeerde simulatie-algoritme gebruikt het vertragingsgedrag van de leidinggebieden voor de indeling van het complete leidingnet. De betreffende leidinggebieden kunnen op deze wijze separaat worden berekend. Door een bijzonder algoritme worden voor alle leiding-, afsluit- en discontinuïteitsgebieden aangepaste tijdsintervallen voor de verdere verwerking vastgelegd. Daarom is het niet nodig om het complete leidingsysteem te stimuleren met het tijdsinterval, dat volgt uit de kleinste leidingslooptijd. Door de indeling is het bovendien mogelijk om gebieden met uitsluitend lineaire elementen met lineaire oplossingsmethoden te lijf te gaan.

De simulator FREACS vereist op grond van de hierboven beschreven eigenschappen (speciale schakelingsindeling, individueel aangepaste tijdsintervalbesturing, beschrijving van de niet-lineaire afsluitingen door equivalente macromodellen) duidelijk minder rekentijd dan standaard-simulatoren.

3.5. Berekening van de elektromagnetische uitstraling van printkaarten

Met behulp van het COMORAN programmapakket is het mogelijk het elektromagnetische uitstralingsgedrag van driedimensionale leidingstructuren te berekenen. Daarbij wordt ook met geleidende oppervlakken van een eindige grootte (bijv. GND / V_{oo} -niveaus) en behuizingen met openingen rekening gehouden. Het gereedschap stelt de ontwikkelaar in de gelegenheid al voor de produktie van het prototype van een printkaart of een elektronisch systeem, overtredingen van de wettelijke stoorstralingsgrenswaarden (bijv. VDE0871-B, CISPR, FCC) te onderkennen en op te heffen.

Na vaststelling van de vereiste parameters (specificatie van geometrische gegevens van de gegeven plaatsing, de systeemvoeding etc.) wordt eerst de lokaal optredende stroomverdeling voor alle geleidingsgebieden berekend. In een volgende stap worden dan op basis van

de vooraf berekende stroomverdeling de elektromagnetische velden voor willekeurige plaatsingspunten in het nabije en verre veld bepaald. De probleembeschrijving geschiedt in het frequentiedomein met behulp van 'Electric Integral Equation' (EFTIE). Deze integraalvergelijking wordt door toepassing van de momentenmethode opgelost. Daarbij kunnen verschillende basisfuncties voor de modellering van de onbekende stroomverdeling worden gekozen. De optimale keuze daarvan kan onafhankelijk van het te analyseren probleem plaats vinden. Tegenwoordig zijn B-Spline-functies van de 0e tot en met de 3e orde in het programmasysteem geïmplementeerd.

Met behulp van de inverse Fourier-transformatie is het mogelijk, schakelprocessen in de uitstralingsanalyse te betrekken. Zo kan bijvoorbeeld het uitstralingsgedrag bij schakelprocessen, die door digitale poorten op de geobserveerde leidingsystemen worden opgewekt, worden geanalyseerd. Daartoe wordt een in tijd begrensde pulsformige opwekking van de geobserveerde leidingstructuren aangenomen. De invloed van het gedrag van de drivers van de verschillende bouwsteenfamilies (ALS, AC MOS, HCMOS, etc) wordt verdisconteerd door het toepassen van specifieke flanksteilheden van de poortuitgangssignalen. De opname van de niet-lineaire in- en uitgangskarakteristieken van de verschillende technologiefamilies is in voorbereiding.

De invloed van behuizingen met openingen (ventilatiegleuven, kabeldoorgangen) kan eveneens worden meegenomen. Met behulp van deze analysemethode kunnen bijv. de ventilatiegleuven, die nodig zijn voor de koeling van een behuizing, met betrekking tot hun uitstralingsgedrag, worden geoptimaliseerd.

3.6. Presentatie van het AnaRes-resultaat

Het gereedschap, dat in de EMC-analyse-werkbank ter beschikking staat moet door de presentatie van het resultaat worden ondersteund resp. aangevuld. Voor een optimale inzet van deze gebruiksprogramma's is het noodzakelijk om alle voorkomende ontwerpgegevens geheel te verwerken en grafisch weer te geven. Op dit grafisch vlak moet de ontwikkelaar de mogelijkheid hebben verdere analyses uit te voeren zoals hij die o.a. van zijn tot nu toe gewone hardware georiënteerde ontwikkelingsomgeving kent. Deze eisen worden door het programmasysteem 'AnaRes' vervuld.

Het grafische gereedschap 'AnaRes' dient voor de analyse en weergave van gegevens, die door technisch/wetenschappelijke gebruiksprogramma's worden gegenereerd, resp. die door de inzet van meet-technische methoden beschikbaar komen. Het programma biedt een groot aantal weergave- en bewerkingsmogelijkheden, zoals:

- * Uitvoer van diagrammen in postscriptformaat,
- * Weergave van curven in diverse diagramsoorten (kartesisch diagram, Bode-diagram, Polen en nulpunten beeld, Smith-diagram en 3D-diagram,

- * Lineair of logaritmisch schalen van assen, vormgeving en opbouw volgens DIN 461, software-zooming met automatisch opnieuw op schaal brengen van de assen.
- * Het voorzien van attributen van diagramobjecten door markers, kleur, lijnsoort en -dikte, raster, lettertype en -soort etc.
- * Invoeren van tekst op willekeurige posities in het diagram,
- * Meetoperaties voor de gegevensanalyse (min, max, stijgings- en dalingstijd).

AnaRes leest de weer te geven en te analyseren gegevens van de curven uit speciaal gestructureerde files. De gegevensstructuur van deze files wordt óf door het zogenaamde Common Simulation Datafile Format (CSDF) óf door een specifieke AnaRes beschrijving ARDF (AnaRes Datafile Format) verstrekt.

4. Vooruitzichten

Met de geïntegreerde EMC-analyse-werkbank staat de ontwikkelaar van modules en systemen een efficiënte omgeving ter beschikking voor de behandeling van EMC-problemen. Zodoende ontstaat voor de eerste maal de mogelijkheid om alle EMC-relevante informatie en gegevens op uniforme wijze te verwerken. Door de nauwe opname in het ontwerpproces kan het aantal redesigns, als gevolg van EMC-storingen, worden verminderd. Dit leidt tot een verkorte ontwikkelingstijd en tot producten met een duidelijk hogere kwaliteit.

Naast de verbetering en uitbreiding van het gereedschap wordt gewerkt aan een automatisch plaatsingsprogramma (PLACET) dat aan EMC beantwoordt alsmede aan een regelaangedreven autorouter, die een EMC verantwoorde layout mogelijk maakt.

ELEKTROMAGNETISCHE COMPATIBILITEIT

Ervaringen uit de adviespraktijk

Ir. W.J. Vogel, onafhankelijk adviseur, Eindhoven.

Inleiding

Elektromagnetische Compatibiliteit (EMV, EMC) wordt in de vakliteratuur beschreven als het vermogen van elektronische apparaten om te kunnen functioneren zonder andere apparaten te storen (door Elektromagnetische Emissie) en zonder dat andere apparaten het apparaat kunnen storen (door Elektromagnetische Susceptibiliteit).

Storingen in de goede werking van een apparaat kunnen ontstaan door een te grote storingsgevoeligheid van het apparaat, door ongewenste Elektromagnetische Emissie (EME) van andere delen van het apparaat en door ongewenste (of gewenste) EME van andere apparaten en systemen. Ook kunnen vaak goedbedoeld gekozen oplossingen voor installaties storingen in andere systemen veroorzaken. In het volgende hoofdstuk zullen enkele voorbeelden uit de praktijk worden genoemd.

Een stoornisprobleem ontstaat als er een stoornisbron, een voor deze bron gevoelig apparaat en een koppelweg aanwezig is. Neemt men één van deze drie elementen in voldoende mate weg, dan zal het stoornisprobleem ook verdwenen zijn. Aan welk element als eerste moet worden gewerkt wordt in belangrijke mate bepaald door de gestelde en te stellen eisen op het gebied van betrouwbaarheid (veiligheid) van het apparaat of systeem en die van andere apparaten of systemen en op het gebied van kostenbeheersing vooraf en achteraf.

In de meeste industriële toepassingen is het veiligheidsaspect veelal dominant; een onbetrouwbare werking van bijvoorbeeld industriële besturingssystemen kan zeer hoge kosten en schadeclaims veroorzaken. Het loont derhalve de moeite om voor deze categorie van toepassingen reeds in het ontwikkelingsstadium vergaande maatregelen te nemen om een goede EMC te bereiken.

Toepassingen in de consumentenelektronica worden in de regel gekenmerkt door productie in zeer grote aantallen en lage kosten en door een beperkt risico. Zo leidt bijvoorbeeld het uitvallen van een kleuren-televisie wel tot irritaties bij de betreffende consument, doch de bijbehorende schadeclaim zal veelal niet verder gaan dan de kosten van één nieuw apparaat. Wel heeft de fabrikant van consumentenelektronica er belang bij dat EMC problemen in de geleverde apparatuur niet op te grote schaal voorkomen, zodat de goede naam van de fabrikant beschermd kan blijven. In de consumentenelektronica zal het kosten-

aspect veelal dominant zijn, speciaal voor kleine, goedkope apparaten welke in zeer grote aantallen op de markt worden gebracht.

Het gevolg hiervan is dat in de consumentenelektronica vaak genoeg wordt genomen met een beperkte EMC, zodat een goede werking van deze elektronica beslist niet onder alle denkbare omstandigheden kan worden gegarandeerd.

Ook wordt het gebruik van consumentenelektronica gekenmerkt door soms ondeskundig uitgevoerde installaties in de doe-het-zelf sector, wat op het gebied van EMC tot onbedoelde gevolgen kan leiden. Ook hiervan volgt in het navolgende hoofdstuk een voorbeeld.

De omgeving waarin elektronische apparaten worden toegepast wordt gekenmerkt door een in de loop der jaren toenemende dichtheid van stoorvelden veroorzaakt door een toename in het gebruik van elektrische en elektronische apparaten. Een logisch gevolg hiervan is dat de te stellen eisen op het gebied van EMC van deze apparaten in de loop der jaren steeds strenger worden. Ten opzichte van enkele decennia geleden zijn de gewenste eisen voor EMC derhalve steeds verder 'verlegd' in de richting van een toenemende ongevoeligheid voor externe stoorsignalen en in de richting van een afnemende elektromagnetische emissie van apparaten.

Praktijkvoorbeelden

1. Een draagbare TV wordt wereldwijd reeds in zeer grote aantallen verkocht. Uit China komt de klacht binnen dat het geluidssignaal van de zender in het beeld zichtbaar is. Over dit fenomeen is vanuit geen enkel ander land eerder een klacht ingediend, zodat het probleem bij de fabrikant niet bekend is.

Bij nader onderzoek blijkt dat het probleem zich voordoet bij ontvangst op de lage VHF kanalen en bij gebruik van de spriet-antenne op het toestel. Als de TV op een buiten-antenne of op een kabeltelevisienet wordt aangesloten doet het probleem zich niet voor. Om tot deze bevinding te komen was een 14-daags verblijf van enkele medewerkers van de fabrikant in een Chinees hotel noodzakelijk.

Gevraagd wordt de geconstateerde storing in laboratoriumomstandigheden na te bootsen en hiervoor een oplossing te vinden tegen voor consumentenelektronica acceptabele kosten.

2. In een flatgebouw in West-Duitsland worden reeds vele jaren kleurentelevisietoestellen gebruikt zonder storingsproblemen. In de directe omgeving van dit flatgebouw bevindt zich een middengolfzender. Op een bepaald moment wordt er een nieuw type kleurentelevisie geleverd dat voldoet aan de EMC-normen welke zijn vastgelegd in het Duitse Amtsblatt 69/81. Bij ingebruikname blijkt dat verti-

cale lijnen in het beeld als zigzag lijnen worden weergegeven. De televisiehandelaar verlangt op zeer korte termijn een principiële oplossing voor de gerezen problemen.

De fabrikant verlangt een oplossing welke op zeer korte termijn tegen minimale kosten te realiseren is. Gevraagd wordt aan te geven wat op korte en lange termijn de beste oplossing is.

3. Een mevrouw die in het bezit is van een luxe kleurentelevisie woont op de bovenste (7e) etage van een flatgebouw. Op de 2e etage woont een zendamateur die in het bezit is van een door de HDTP afgegeven A-machtiging. Deze zendamateur heeft zijn antennepark bovenop de flat geplaatst.

Het blijkt dat kortegolfuitzendingen van deze zendamateur de goede werking van het televisieapparaat storen. Door de fabrikant zijn de voor het betreffende TV-chassis bekende service-oplossingen reeds ingebouwd in het gestoorde apparaat. Bepaalde storingen zijn hierdoor wel verdwenen doch één dominant probleem, nl. overspraak (detectie) in het geluidsgedeelte is niet geheel verholpen.

Bij de melding van de overgebleven klacht is de veelzeggende regel toegevoegd: "Stemming zeer emotioneel geladen (ruzies, politie, e.d.)". Gevraagd wordt het storingsprobleem in het geluid in laboratorium-omstandigheden na te bootsen en hiervoor een goede service-oplossing te vinden.

4. Een fabrikant van landbouwmachines maakt in een gedeelte van het geproduceerde machinepark gebruik van een elektronische besturing voor een aangekoppeld hydraulisch systeem. Het hydraulische systeem is verbonden met twee hefcilinders welke de aan de machine verbonden last kunnen optillen. Door de elektrische stroom in een magneetventiel in te stellen, bijvoorbeeld m.b.v. een potentiometer, wordt de oliedruk in de hefcilinders ingesteld en daarmee ook de kracht welke de last optilt.

Het rijdende gedeelte van de machine (tractor) kan nu eenvoudig worden voortbewogen zonder dat deze door de druk van de last op de bodem wordt gehinderd.

Het bestaande produkt blijkt echter storingen te vertonen, waardoor de zweefkracht van de aangekoppelde machine niet goed instelbaar is en tevens in de tijd variabel blijkt te zijn. Ook gaan binnen de garantietermijn regelmatig elektronische onderdelen in het produkt kapot. De kosten van aftersales service dreigen voor de fabrikant onbeheersbaar te worden.

Bij de fabrikant is niet bekend waardoor de genoemde problemen worden veroorzaakt. Er is behoefte aan een beter werkend produkt dat een gegarandeerd aantal bedrijfsuren in functie kan blijven. Gevraagd wordt de best mogelijke oplossing te vinden voor de reeds

verkochte produkten en een ontwerp voor een nieuwe zweef-regeling dat voldoet aan het vereiste betrouwbaarheids criterium.

5. Een internationale handelsonderneming levert besturingssystemen aan de off-shore industrie (havenbedrijven etc.). Eén bepaald besturingssysteem heeft tot doel het aansturen van elektromagneten met een vermogen van 3 kW welke kunnen worden verbonden met kabels van afmerende schepen, zodat deze aan de wel kunnen worden getrokken. De operator dient hiertoe een drukknop gedurende ± 5 seconden ingedrukt te houden.

Nadat het produkt reeds in meer dan 20 landen zonder problemen in gebruik is genomen komt uit Saoedi-Arabië de melding dat in één bepaalde haven het probleem optreedt dat als één elektromagneet wordt geactiveerd, dit tot gevolg heeft dat ook sommige andere elektromagneten worden geactiveerd terwijl hierom niet gevraagd is. Ook komt het in deze haven voor dat een eenmaal ingeschakelde elektromagneet zich niet door de besturing laat uitschakelen, zodat, bij niet tijdig ingrijpen van het havenpersoneel, het risico van verbranding van de elektromagneet zeer groot is.

Het besturingssysteem is gefabriceerd door een Nederlands elektro-technisch bedrijf. Voor het aan- en uitschakelen van de elektromagneet wordt een solid-state relais van Amerikaans fabrikaat gebruikt. Zowel het elektrotechnische bedrijf als de internationale handelsonderneming beschikken niet over specificaties van het inwendige gedeelte van het solid-state relais, omdat deze component ter voorkoming van ongewenste namaak door de Amerikaanse fabrikant als 'black box' wordt geleverd.

Door de Saoedi-Arabische klant is bij de handelsonderneming reeds een zeer grote schadeclaim gedeponneerd. De handelsonderneming vraagt om een analyse van de oorzaken van het gerapporteerde probleem en om een voor alle partijen acceptabele oplossing, daar de juridische weg een zeer langdurige en kostbare affaire dreigt te worden.

Bij nader onderzoek blijkt dat de problemen mede zijn veroorzaakt door een onjuist geïnstalleerde bedrading ter plaatse. Omdat wijziging van de installatie achteraf zeer kostbaar is wordt gevraagd om een nieuw ontwerp van het besturingssysteem dat ook met gebruikmaking van de aanwezige foutieve installatie goed kan functioneren.

6. In Nederland wordt een groot aantal buitenverlichtingsarmaturen met een ingebouwde lichtsensorschakeling verkocht. Deze sensorschakeling heeft tot doel de aangesloten lamp aan te schakelen als het donker wordt en uit te schakelen als het licht wordt. Het armatuur is bedoeld voor toepassing van een gewone gloeilamp.

Door de Nederlandse energiebedrijven wordt echter een grote campagne opgezet om de consument ertoe te bewegen de dure gloeilamp te vervangen door een spaarlamp. Combinatie van een elektronische spaarlamp met de eerder genoemde sensorschakeling heeft inderdaad als resultaat dat de spaarlamp aan gaat als het donker wordt en uit gaat als het licht wordt, maar ook dat bij invallende schemering de radio-ontvangst op middengolf en langegolf tot enkele honderden meters in de omtrek zwaar gestoord is.

Bij nader onderzoek blijkt dat de sensorschakeling een thyristor als schakelelement bezit en dat elektronische spaarlampen niet kunnen worden gedimd terwijl de als schakelaar verkochte sensorschakeling feitelijk tot de categorie dimschakelingen behoort.

Een gevolg van de voorlichtingscampagne van de energiebedrijven is dat de onwetende consument massaal tot installatie van de genoemde foutieve combinatie overgaat, zodat reeds op vele plaatsen in Nederland een goede radio-ontvangst op midden- en langegolf niet meer mogelijk is in de avonduren.

Het klachtenbureau voor radio- en TV-storingen van de HDTP krijgt over dit fenomeen geregeld klachten ter behandeling, welke pas na soms langdurig onderzoek ter plaatse (tijdens overuren) kunnen worden verholpen dankzij de welwillende medewerking van de consument die door de foutieve installatie de storing heeft veroorzaakt.

Het behoeft geen betoog dat de gemaakte kosten van opsporing van de stoorbron niet op de eigenaar kunnen worden verhaald, daar voor het opleggen van een sanctie in dit geval geen juridische grond aanwezig is. Deze kosten worden derhalve door alle Nederlanders gezamenlijk gedragen door het betalen van belasting en heffingen zoals de omroepbijdrage.

Tijdens een voortgezet onderzoek blijkt dat het mogelijk is een nieuwe sensorschakeling te ontwerpen welke in combinatie met elektronische spaarlampen wel goed functioneert. De nieuwe schakeling functioneert ook beter in combinatie met gewone gloeilampen, zodat sprake is van universele toepasbaarheid.

De schakeling blijkt zodanig nieuw te zijn dat deze waarschijnlijk in aanmerking komt voor een octrooi. Ten opzichte van de oude schakeling zijn echter drie extra onderdelen in het circuit opgenomen wat voor de producent van de armaturen een geringe kostenverhoging tot gevolg heeft, zodat deze producent slechts matige belangstelling heeft voor het nieuwe produkt.

De problemen voor de Nederlandse belastingbetaler en de HDTP kunnen met de nieuwe schakeling echter volledig worden verholpen.

Gevraagd wordt het opstellen van een business-plan teneinde de nieuwe geoptoeïeerde schakeling commercieel toe te passen. Van de nieuwe schakeling zijn reeds werkende prototypes beschikbaar. Ook is denkbaar dat de nieuwe schakeling bruikbaar is voor andere huishoudelijke en industriële toepassingen.

Epiloog

Uit het voorafgaande blijkt dat EMC een steeds belangrijker vakgebied van de elektronica geworden is. Ook nu is nog steeds noodzakelijk dat tijdens het ontwerp van nieuwe producten met EMC in voldoende mate rekening wordt gehouden teneinde niet geconfronteerd te worden met hoge kosten en ergernis achteraf.

Door alert te reageren op gerapporteerde problemen kan men met gebruikmaking van de vakkennis opgedaan in het gebied EMC een wezenlijke bijdrage leveren aan een veiliger en vriendelijker samenleving.