

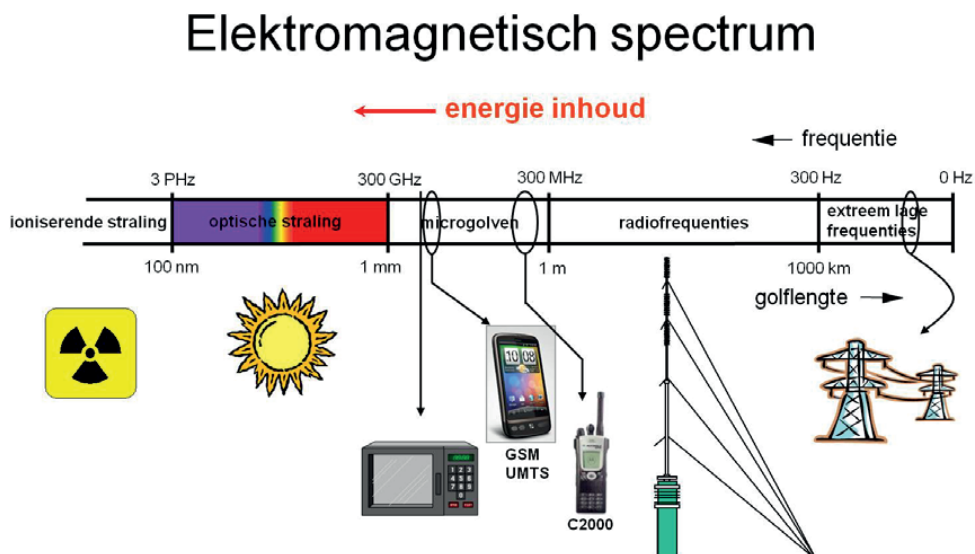
2. ELEKTRICITEIT, MAGNETISME EN EMV

Om het verschijnsel elektromagnetische velden goed te begrijpen, is het nuttig kennis te nemen van enkele basale eigenschappen van elektriciteit en daarmee samenhangende velden er omheen. Het nut van veldherkenning, -vermijding en -afscherming wordt dan duidelijk.

2.1. Het elektromagnetisch frequentiespectrum

De variatie in frequenties van het elektromagnetisch spectrum op aarde is enorm groot. In figuur 2-1 is het bereik en de toepassing van die frequenties schematisch aangegeven. Links in de figuur vinden we de gegevens voor radioactieve isotopen die een straling afgeven met frequenties van groter dan 3 PetaHertz (3×10^{15} Hz) en golflengten van kleiner dan 0,1 micrometer. Dat zijn *ioniserende* stralingsvormen die schade aanrichten aan levende cellen, bijvoorbeeld door het DNA kapot te maken. De golven zijn zeer energierijk.

Rechts daarvan vinden we een spectrumgebied met lagere frequenties en grotere golflengten, zoals dat door de zon wordt uitgestraald. De mens kan daar maar een deel van zien: het golfgebied van 400-800 nm. Licht met kortere golflengte kunnen insecten wel waarnemen, wij niet. Het *ultraviolette* licht heeft voldoende energie om schade aan de cel aan te richten, het *infrarode* deel is warmtestraling die ongevaarlijk en onzichtbaar is.



Figuur 2-1. Schematisch overzicht van het frequentiespectrum van elektromagnetische straling en velden. Het bevat het hele gebied tussen de straling van radioactieve elementen (links in de figuur) via zonlicht en hoogfrequente velden naar de extreem laagfrequente velden (ELF) van hoogspanningslijnen en het elektriciteitsnet in huis.

2. Elektriciteit, magnetisme en EMV

Voor ons doel kijken we vooral naar frequenties in het kilo-, Mega- en Gigahertz bereik die gebruikt worden door apparaten in de huishouding, civiele installaties, analoge zenders en digitale zenders voor draadloze communicatie. Globaal gaat het ons om ziekmakende velden met frequenties tussen 0 Hz en 6 GHz (tabel 2-2). Deze velden hebben te weinig energie om moleculen te splitsen en heten daarom '*niet-ioniserend*'.

Straling en velden

Daar zit verschil tussen straling en velden: de term *straling* is gereserveerd voor de energierijke straling van radioactieve verbindingen (isotopen), terwijl we voor de elektrische invloeden om ons heen spreken van *velden*. In dit boek wordt die gewoonte zo veel mogelijk gevolgd. Verwarrend is wel dat een apparaat dus wel laagfrequente velden kan *uitstralen*. De term elektromagnetische velden wordt over het algemeen gebruikt voor de hoogfrequente velden, zoals die van draadloze zenders, thuis en buiten. In het buitenland wordt de term *straling* ('*radiation*') vaak wel gebruikt voor het hele frequentiespectrum. In dit boek doen we dat af en toe ook en gebruiken we korthedshalve de afkorting EMV voor velden in het algemeen.

2.2. Het belang van veldanalyse

De aandoening EHS is een relatief jong begrip en het is nuttig nog eens uit te leggen hoe de schadelijke EMV er eigenlijk uit zien, qua fysische eigenschappen. Door de jaren heen is er een verandering geweest in de velden die mensen stoorden en dat hangt samen met de opvolgende generaties van elektronische apparatuur die werd gebruikt. De in de jaren '70-'90 gebruikte computermonitoren gaven bij sommigen een rode en verbrande hoofdhuid, door de combinatie van elektrische velden en UV straling die uit die monitoren kwam. Door de journaliste Gunni Nordstrøm (2004) is dat fraai beschreven in haar boek *The invisible disease*. Maar de vraag naar de exacte samenstelling van de EMV was toen niet aan de orde.

Na de eeuwwisseling veranderde dat door het overwegende gebruik van geheel digitaal werkende systemen, die minder elektrische en meer magnetische wisselvelden verspreidden. Mensen kregen nu meer klachten van psychosomatische en neurologische aard. Maar de relatie met de invloeden van die velden op de mens is nooit gelegd.

Ook toen mensen destijds hinder begonnen te rapporteren van de velden van GSM zendmasten en later van UMTS zenders in hun omgeving, waren de klachten vooral van psychosomatische aard: oorsuizingen, slaap- en concentratieproblemen en een hele reeks van andere lichamelijke klachten. De vraag welke specifieke eigenschappen van de zendervelden daarvoor verantwoordelijk waren is nooit onderzocht. Dat is jammer, omdat bij analyses nu blijkt dat er naast de algemeen bekende frequenties van de draaggolf van die zenders (uitgedrukt in MHz of GHz) soms hele reeksen van veel lagere frequenties worden mee uitgezonden, tot enkele Hertz aan toe. Wat is nu eigenlijk de schadelijke component?

In het laagfrequente deel van ons EMV milieu zijn golfvormen bepalend voor het storend vermogen, naar we nu inzien. Dat wetende kunnen we nu inschatten of - en waarom- een bepaald apparaat stoort en kunnen we uitzien naar een type apparaat dat het best voldoet. Ook kan bewust gezocht worden naar de beste methode om velden te reduceren. Op enige termijn zal er wel een soort van vergelijkend warenonderzoek op

2. Elektriciteit, magnetisme en EMV

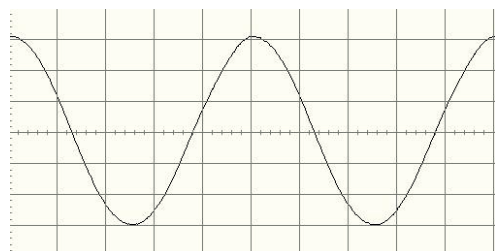
gang komen, waarmee men, op basis van de fysische eigenschappen van de uitgezonden velden, kan inschatten welke apparaten voor elektrogevoeligen geschikt zijn en welke ziekmakend.

2.3. Het karakteriseren van EMV met de oscilloscoop

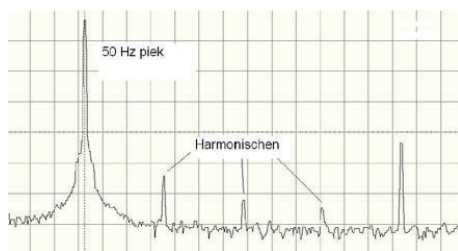
We hebben bij ons onderzoek rijkelijk gebruik gemaakt van grafische afbeeldingen van oscilloscoop en frequentieanalyses om golfvormen te karakteriseren. Op basis van die analyses proberen we een verband te vinden tussen golfvorm en het bereikte EHS effect. Die grafieken zijn in dit boek alle op dezelfde manier gepresenteerd. Om verwarring te voorkomen zijn de grafieken sterk vereenvoudigd en zijn details ten aanzien van meetomstandigheden weggelaten. In de grafieken is de hoogte van de oscilloscoopuitslag altijd uitgedrukt in arbitraire eenheden. De gebruikte apparatuur is voor de uiteenlopende meetdoeleinden namelijk niet altijd gekalibreerd. Het gaat doorgaans eerder om kwalitatieve gegevens dan om kwantitatieve.

Oscilloscoop. Bij een oscilloscoopregistratie als in figuur 2-2 geeft de horizontale as het tijdsverloop weer, in milliseconden; de gebruikte eenheden worden in de toelichting gegeven. *Frequentie-analyse.* Bij de frequentieanalyses via een 'Fast Fourier transformatie' (FFT) (figuur 2-3) geeft de verticale as altijd de relatieve verdeling van de aangetroffen frequenties, terwijl de horizontale as de piekfrequenties weergeeft.

Dergelijke analysegegevens zijn onontbeerlijk om te zien welk type veld door een bepaalde bron verspreid wordt en hoe mengsels van velden precies qua karakter zijn samengesteld.



Figuur 2-2. Zuivere sinusgolf die de spanningsverandering van het lichtnet in de tijd weergeeft. De afstand tussen de toppen is hier 5 vakjes = 20 milliseconden, wat overeenkomt met 50 Hertz. De breedte van een horizontaal vakje is hier 4 msec.



Figuur 2-3 Frequentieanalyse van een sinusgolf uit het lichtnet. De hoge piek links betekent een groot aandeel van 50 Hz golven op de plek van 50 Hz. De lagere pieken rechts daarvan zijn van veelvoud van 50 Hz ('*harmonischen*'). Ze zijn 5 vakjes lager dan de piek op 50 Hz, wat betekend 50 dB (100.000x minder) vertegenwoordigd.

Om de gedachten te bepalen, het volgende. We zijn niet zo geïnteresseerd in de hoogte van een elektrische spanning van een stroomdraad, of in de stroom die daar doorheen loopt; we maken immers geen contact met het koper in de draad. We zijn wèl geïnteresseerd in de velden die daaromheen, die door spanning en stroom in de draad worden opgewekt. Dat zijn elektrische en magnetische wisselvelden.

Het is handig om de frequentiegebieden waar we vaak mee te maken hebben te verduidelijken met behulp van een vereenvoudigd systeem. Er zijn veel manieren om het spectrum in trappen van duizendtallen onder te verdelen. Onze eigen indeling is gegeven in tabel 2-1.

Gelijkstroomvelden (0 Hz) zijn in zoverre van belang dat sommige biologische processen zich vooral afspelen wanneer wisselvelden zijn 'ingebod' in het gelijkmatige magnetische

2. Elektriciteit, magnetisme en EMV

Tabel 2-1. De in dit boek gehanteerde frequentie-indeling van EMV

Hoogfrequent	(HF)	1 MegaHertz (MHz) - 300 GigaHertz (GHz)
Radiofrequent	(RF)	100 kHz – 1 GHz
Laagfrequent	(LF)	300 Hz – 100 kHz
Extreem laagfrequent	(ELF)	3 - 300 Hz
Ultra laagfrequent	(ULF)	>0 - 3 Hz

veld van de aarde. De oriëntatie van die beide componenten is daarbij van belang. Ter informatie: het aardmagnetische veld heeft in Nederland een gemiddelde sterkte van 50 microTesla (μT). Het varieert een beetje met de uitbarstingen van de zon.

2.4. Gebruikte uitdrukkingen

Telwoorden

Veel verschijnselen worden uitgedrukt in eenheden over een enorm bereik, dat maakt dat er veel nullen voor of achter de komma zouden moeten komen. Dat is onpraktisch en daarom worden waarden van veldsterkten, frequenties of andere zaken uitgedrukt in machten van 10. (bijvoorbeeld het getal 1000 wordt weergegeven als 10^3). Daarvoor bestaat een speciale spelling in de vorm van afkortingen zoals weergegeven in tabel 2-2. Veel gebruikte exponenten (machten) van 10 zijn bijvoorbeeld duizend (*kilo*, met een kleine *k*), een miljoen (*Mega* = *M*) of een miljard (*Giga* = *G*).

Als we het hebben over veldsterkten gaan we juist uit van eenheden met een heel grote standaardwaarde, zoals *Volt* voor spanning of *Tesla* voor magnetische veldsterkte, waardoor we altijd in breuken spreken: een duizendste (milli-), een miljoenste (micro-) of een miljardste (nano-)Volt of -Tesla.

Tabel 2-2. Internationaal systeem van voorzetsels (machten van 10)

Symbol	Voorvoegsel	Naam	Exponent	Schrijfwijze
P	peta	biljard	10^{15}	1.000.000.000.000.000
T	tera	biljoen	10^{12}	1.000.000.000.000
G	giga	miljard	10^9	1.000.000.000
M	mega	miljoen	10^6	1.000.000
k	kilo	duizend	10^3	1.000
			10^0	1
m	<i>milli</i>	<i>duizendste</i>	10^{-3}	<i>0.001</i>
μ	<i>micro</i>	<i>miljoenste</i>	10^{-6}	<i>0.000.001</i>
n	<i>nano</i>	<i>miljardste</i>	10^{-9}	<i>0.000.000.001</i>
p	<i>pico</i>	<i>biljoenste</i>	10^{-12}	<i>0.000.000.000.001</i>
f	<i>femto</i>	<i>biljardste</i>	10^{-15}	<i>0.000.000.000.000.001</i>

Zelfs deze methode van presenteren heeft beperkingen wanneer *verhoudingen* tussen bepaalde parameters moeten worden vastgesteld. Dat is een reden om de *decibel* (dB) schaal te hanteren bij de vergelijking van heel grote of heel kleine getallen met veel nullen. Een verschil van een factor 10 wordt een verschil van 10 dB. Hogere machten van 10 worden elk met een waarde van 10 dB opgehoogd. Een verhouding van 100 (10^2) wordt dan $10 + 10 = 20$ dB; een verhouding van 10^{15} wordt dan $15 \times 10 = 150$ dB. Om precies te zijn: dit geldt bij vermogensverhoudingen. Bij spanningsverhoudingen is het twee maal zo vel dB; 100 maal hogere spanning is +40 dB.

2. Elektriciteit, magnetisme en EMV

Natuurkundige eenheden

Elektrische veldsterkte	V/m	Volt per meter
Elektrische spanning	V	Volt
Elektrische stroom	mA	Ampère
Magnetische veldsterkte	A/m	Ampère per meter
Magnetische fluxdichtheid	μT	Tesla
Vermogensdichtheid	W/m^2	Watt per vierkante meter

Omrekening Amerikaanse Gauss: 1 mG=100 nT of 1 μT =10 mG

2.5. Basale elektriciteitsleer

Statische velden

Wanneer de elektrische spanning op een object stabiel is spreken we van een *statisch* veld. Dat is het geval bij huisraad dat elektrisch is opgeladen door de wrijving met droge lucht, synthetische vloerbedekking, of parketlakken. De meetwaarden kunnen enkele duizenden volts bedragen maar zijn niet gauw dodelijk omdat de energie-inhoud in zulke velden zo laag is.

Een niet alledaagse soort statisch magneetveld heerst rond een MRI apparaat in het ziekenhuis. De nieuwste uitvoeringen hebben een statisch magneetveld van 8 Tesla of meer.

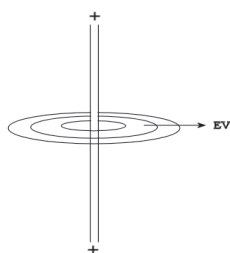
Aardmagnetisme

De aarde heeft zelf een grootschalig magneetveld dat veroorzaakt wordt door stroming van het gesmolten magma in het binnenste van de aarde. Deze massa is rijk aan ijzer en veroorzaakt door de beweging een gelijkstroomveld dat bij benadering constant is. Bij de polen van dat veld komen de krachtlijnen rechtstandig omhoog om vervolgens om te buigen en in ruime bochten om het aardoppervlak heen te buigen, op weg naar de tegenpool waar ze weer recht naar beneden lopen. De 'polen' liggen in de buurt van de geografische Noord- en Zuidpool, maar niet helemaal precies. Magnetische polen verschuiven elk jaar een beetje. Overal op het aardoppervlak komen ook magnetische krachtlijnen te voorschijn; de hoek en veldsterkte wisselt van plaats tot plaats. In Nederland verschijnen ze onder een hoek van ca. 60° met de evenaar en hebben hier een sterkte (magnetische flux) van ongeveer 48 microTesla. Het veld is voor ons van groot belang. Niet alleen voor navigatiedoeleinden voor mens en dier, maar vooral omdat de kunstmatige velden die we opwekken hun ziekmakende werking uitoefenen in nauw samenspel met het constante aardmagnetische veld.

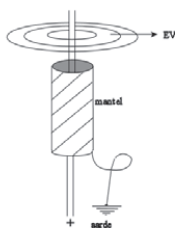
Extra-terrestische velden

In de ruimte tussen aardoppervlak en ionosfeer heersen voortdurend laagfrequente wisselvelden die veroorzaakt worden door de velden rond bliksemontladingen ergens op aarde. Die velden volgen de kromming van de aarde en omdat ze zich voortplanten met lichtsnelheid (300.000 km/uur) en omdat de omtrek van de aarde 40.000 km is passeren ze een bepaald punt met een frequentie van ongeveer 7,5 Hz. Dat is de 'Schumann-resonantiefrequentie'. De velden zijn echter buitengewoon zwak: elektrisch veld 300 $\mu\text{Volt}/\text{m}$; magnetisch veld in de orde van picoTesla's. De betekenis voor de mens kan niet geheel worden doorzien.

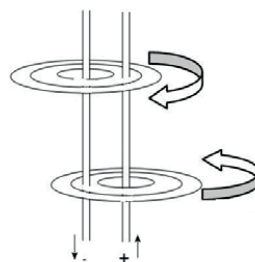
2. Elektriciteit, magnetisme en EMV



Figuur 2-4. De veldsterkte in een elektrisch veld rond een draad neemt af met het kwadraat van de afstand tot die draad. Vanuit een denkbeeldige puntlading is dat een derde-machts functie.



Figuur 2-5. Een geaarde mantel rond een elektrische draad voorkomt elektrische velden rond die zone. Wanneer die mantel niet is geaard zal die zelf als stralend oppervlak gaan fungeren.



Figuur 2-6. Een stroom in een draad wekt een magnetisch veld op dat volgens de 'kurkentrekkerregel' rechtsom naar buiten spiralseert. Een retourstroom in een parallelle draad doet dat ook, met als resultaat dat de tegengestelde velden elkaar rond de draden grotendeels opheffen.

In de ruimtevaart heeft men ervaren dat het instellen van een Schumannveld door kosmonauten als prettig wordt ervaren.

Elektrische wisselvelden

Rond alle objecten waar een elektrische spanning op staat heerst een elektrisch veld (figuur 2-4). De sterkte daarvan wordt uitgedrukt in volt per meter (V/m). De bron van een elektrisch veld kan klein zijn en bij benadering puntvormig. De signalen die daaruit komen verplaatsen zich met lichtsnelheid (300.000 km/sec) in een rechte lijn en in alle richtingen. Elektrische veldsterkten nemen snel af bij toenemende afstand van de bron; vanaf een puntvormige bron verloopt dat kwadratisch, vanaf een gestrekte draad lineair. Een eenvoudige methode om van een dergelijk veld af te komen is er een afscherming omheen te zetten van een geleidend materiaal dat geaard is (zie figuur 2-5). In het klein kan dat een manteltje zijn, in het groot een soort kamer waarin men kan experimenteren of zich kan bewegen, bijvoorbeeld een 'kooi van Faraday'.

Magnetische wisselvelden

Rond de draden waar een elektrische stroom door loopt wordt een magnetisch veld opgewekt (figuur 2-6). Daarvoor geldt dat de sterkte lineair afneemt met de afstand. De veldsterkte wordt meestal uitgedrukt als magnetische flux, in de eenheden nanoTesla (nT) of microTesla (μ T). In sommige andere landen worden andere eenheden gebuikt zoals Gauss (vooral in de USA): 1 milliGauss = 100 nanoTesla. Meetapparatuur kan soms omgeschakeld worden naar meerdere meetstelsels.

De vorm van het magnetisch veld is complex. Zo windt een magnetisch veld zich rond een stroomdraad als een vloeipapiertje om een sigaret: gezien in de stroomrichting is de oriëntatie er van rechtsom: zie het als het traject van een kurkentrekker. De veldlijnen rond een object als een trafo of een elektronisch apparaat worden bepaald door meerdere stroomkringen en zijn daardoor een stuk complexer.

Een magnetisch (wissel)veld is moeilijk af te schermen. Alleen bepaalde ijzerhoudende metalen kunnen magnetische velden absorberen en dan nog maar gedeeltelijk: het z.g. *mu-metaal* en *magnetex* (transformatorblik).

Magnetische velden die worden opgewekt vanuit de draden van een tweelingsnoer

2. Elektriciteit, magnetisme en EMV

hebben een tegengesteld teken (figuur 2-6). Daardoor worden ze grotendeels geneutraliseerd door de heen- en retourdraad in het tweelingsnoer vlak langs elkaar te leggen. In de meest verkochte verleng- en aansluitsnoeren voor schemerlampen en andere huishoudelijke apparatuur is dat het geval. Bij de stekker en het stopcontact lopen de draden een beetje uit elkaar. Het is ook juist daar waar de magnetische wisselvelden het sterkst zijn. Bij micro-elektronische componenten zijn de lengten van de verbindingen gering en stralen daardoor relatief zwak af. Maar hinder kan op korte afstand wel degelijk ontstaan.

Bijna alle biologische objecten zijn 'transparant' voor magnetische wisselvelden, zeker ook het menselijk lichaam. Een klein deel van de energie van die velden wordt niettemin door de weefsels geabsorbeerd en is daar biologisch werkzaam. Bij lage frequenties geeft dat aanleiding tot zwerfstromen door het lichaam, die vervolgens weer werkzame elektrische velden genereren. Hoge wisselstroomfrequenties boven de 10 MHz wekken voornamelijk warmte op, ongeveer zoals in een magnetron.

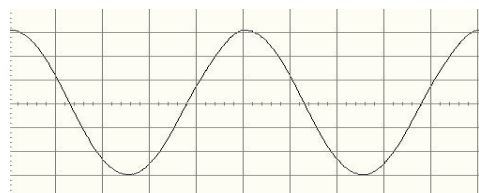
2.6. Wisselspanning en golfvormen

Zo gauw de spanning rond een geleider regelmatig gaat variëren krijgen we een elektrisch wisselveld. In de praktijk hebben we bijna steeds te maken met zowel elektrische als magnetische wisselvelden. De frequenties daarvan kunnen enorm variëren: van enkele Hertz (Hz, trillingen per seconde) tot enkele miljarden Hz. We hebben in de dagelijkse praktijk met al die frequenties te maken.

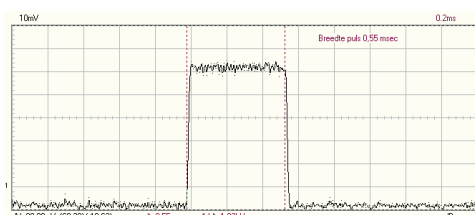
De meeste moderne elektronische apparaten en installaties echter nemen op een onregelmatige manier stroom (vermogen) op uit het net en verstoren daardoor de ideale sinusgolf. Dat zijn de *niet-lineaire* stroomverbruikers. Hieronder geven we enkele voorbeelden van spanningsprofielen zoals die vaak in onze omgeving voorkomen

Golfvorm: de sinusvorm. Het ideale wisselstroomveld is gekenmerkt door een regelmatig spanningsverloop met een perfecte 'sinus' (zie figuur 2-7). In die vorm verlaat de elektriciteit de centrale. Apparaten die stroom gebruiken voor verwarming of verlichting laten de sinus intact; we noemen dat *lineaire* stroomverbruikers. Er zijn ook *discontinue* velden of pulspatronen. Wanneer er geen enkele regelmaat in de variaties zit spreken we van een *ruis*.

Blokgolf: een tijdelijke verhoging van de basisspanning, een golf met steile op- en neergaande flanken (figuur 2-8). Ze komen veel voor in digitale besturingstechnieken. Deze golf is afgeleid tijdens een GSM gesprek. Het gesproken woord zit versleuteld in het plateau van de blokgolf; per seconde passeren 217 van dit soort blokgolven.

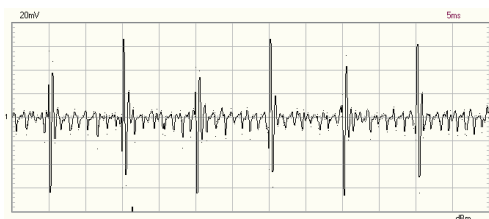


Figuur 2-7. Zuivere 50 Hz sinusgolf van wisselstroom uit het net.
Tijdas 4 msec.

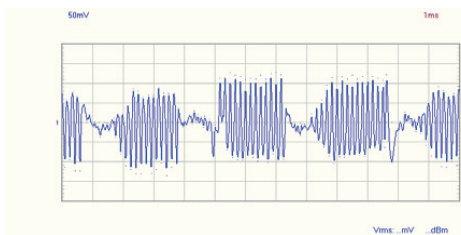


Figuur 2-8. Blokgolf van een mobieltje tijdens gesproken woord. Laagfrequente demodulatie van hoogfrequente zendenergie naar 217 Hz.
Tijdas 0,2 msec.

2. Elektriciteit, magnetisme en EMV



Figuur 2-9. Stroompulsen in een vervuild net, op afstand van 10 milliseconde, mogelijk afkomstig van een acculader. Opvolgingsfrequentie dus 100 Hz. Pulsduur enkele microseconden.
Tijdas 5 msec.



Figuur 2-10. Repeterende groepjes van 6 kHz pulsen, afgeleid uit een elektriciteitskabel met stuursignalen voor een frequentieregelaar van een zware stalventilator.
Tijdas 1 msec.

Pulsen: Pulsen zijn vervuilingen op de 50 Hz wisselspanning van het net, veroorzaakt door de 'schakelende voeding' van aangesloten elektronische apparatuur (figuur 2-9). Deze apparaten, spaarlampen en andere voorwerpen met een geregelde voeding zijn tegenwoordig de voornaamste bron van netvervuiling. Bijna alle elektronische apparaten - inclusief de energiesparende verlichting - hebben een voeding van deze soort.

Gegroeperde pulsen: in veel toerengeregelde apparaten komen de pulsgroepjes van figuur 2-10 voor: CV pompen en rookgasventilatoren, bedrijfsventilatoren enzovoort. Zowel pulsgrootte en -duur, als de repetitiesnelheid van de groepjes kunnen informatie voor het aangestuurde apparaat bevatten.

2.7. Effecten van wisselvelden

Beïnvloeding van elektrische velden

Door elektrische velden worden geïsoleerd opgestelde objecten via inductie *capacitief* (of *inductief*) opgeladen en gaan dan zelf ook weer als (secundaire) bron fungeren. Maar de secundaire wisselvelden hebben een teken dat tegengesteld is aan dat van de primaire velden; daardoor ontstaan complexe interacties in een ruimte.

Datzelfde geldt voor het menselijk lichaam. Uw aanwezigheid in een kamer beïnvloedt de veldsamenstelling in de ruimte. Het lichaam wordt ook capacitief opgeladen en als u geen verbinding hebt met aarde gaat uzelf daarbij als secundaire bron fungeren. Door op rubberen zolen te lopen of op een niet-geleidende vloerbedekking te staan krijgt u daar mee te maken. Op leren zolen of blote voeten in een vochtige omgeving vloeit de (wissel)spanning van uw lichaam af naar aarde. Sommigen voelen zich daar goed bij. Maar bij een groot potentiaalverschil tussen bijvoorbeeld het plafond en de vloer loopt er extra veel stroom door uw lichaam en is het een betere optie om toch maar schoenen met niet geleidende rubber zolen aan te trekken.

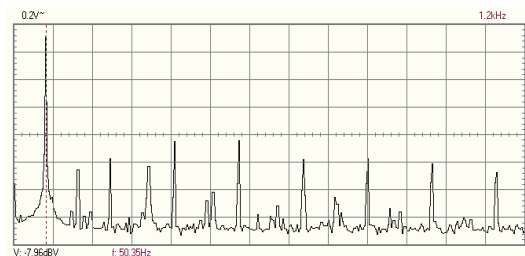
Hogere frequenties en ziekmakende 'harmonischen'

We willen graag weten wat de veldkenmerken zijn die velen gezondheidsproblemen opleveren. Daartoe hebben we de velden die storen in de huishoudelijke omgeving geanalyseerd op sterkte, karakter, frequentie en andere veldparameters.

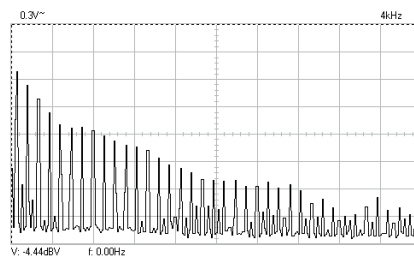
Binnen een elektrisch of magnetisch wisselveld in de ruimte worden wisselspanningen zelden als zuivere sinussen opgevangen. Bij veldanalyse zien we altijd dat er meerdere frequenties te voorschijn komen die veelvoudig zijn van de oorspronkelijke frequenties. Een 50 Hz wisselspanning zal harmonischen geven van 100 - 150 - 200 - 250 - Hertz enz.

2. Elektriciteit, magnetisme en EMV

Daarbij blijken de oneven veelvouden sterkere pieken te hebben dan de even veelvouden. In figuur 2-11 zien we de frequentieanalyse van een relatief 'schoon' sinusgolf veld. Het valt op dat de tweede piek in de serie (100 Hz) veel lager is dan de eerste, 50 Hz, piek, om precies te zijn bijna 5 vakjes onder elkaar. Dat betekent 10^5 maal zwakker.



Figuur 2-11. Frequentieanalyse van een licht vervuild 50 Hz veld.. Geheel links is de frequentie 50 Hz zeer sterk vertegenwoordigd



Figuur 2-12. Frequentieanalyse van een sterk vervuild LED veld. De grondfrequentie is 50 Hz -helemaal links,

In figuur 2-12 is een frequentieanalyse afgebeeld van de pulsen in de stroom van een LED lamp. Daarin is te zien dat er een veelheid aan frequenties in die signalen zitten. Dat is kenmerkend voor velden rond gepulste stromen van veel meer apparaten, als spaarlampen, schakelende voedingen van heel veel elektronische apparaten enz. Er zijn heel veel frequenties betrokken bij het digitaal vervaardigen van een snel rijzend of dalend signaal, omdat de flanksteilheid een resultaat is van een sommatie van relatief hoogfrequente onderbouwende signalen.

Veldvariabelen die een biologische rol kunnen spelen

Om een biologisch effect te kunnen bewerkstelligen zal een EMV aan bepaalde voorwaarden moeten voldoen om een interactie met weefsel of cellen te kunnen aangaan. De veldparameters in tabel 2-3 kunnen daarbij een rol spelen.

Bij FFT analyse blijken de frequenties tussen de 1 kHz en 100 kHz een belangrijk aandeel in het storend vermogen te hebben. Juist in dit frequentiegebied gelden er voor de fabrikant van een elektrisch artikel weinig technische voorschriften. Voor zover die er wel zijn betreffen die de elektromagnetische compatibiliteit (EMC): het uitgangspunt dat apparaten elkaar in dit frequentiegebied niet mogen storen. De menselijke gezondheid speelt bij deze overwegingen geen rol.

Tabel 2-3. Veldvariatie en golfvormen die een rol kunnen spelen in de EMV-weefselinteracties

- Veldsterkte (amplitude in V/m)
- Frequentie (in Hertz, kilo-, Mega- of Gigahertz)
- Golfvorm, flanksteilheid van puls (dV / dt relatie)
- Frequentie-interferenties en veldverdichtingen ('hotspots')
- Interactie met het aardmagnetisme
- Veldrichting en hoek t.o.v. aardmagnetisch veld
- Veldverdraaiingen
- Polarisatierichting (bij hoogfrequente zendervelden)
- Veldmodulaties in amplitude en/of frequentie
- Discontinue of non- sinusoïdale golven

2. Elektriciteit, magnetisme en EMV

Voor het biologische effect is het een belangrijk gegeven dat laagfrequente velden altijd functioneren in het aardmagnetische veld. Zoals elders wordt uitgelegd, is deze verantwoordelijk voor de beweging van geladen moleculen door de cel heen. Over het effect van veldcombinaties in specifieke leef- en werksituaties is nog veel onduidelijk. Ook zijn er persoonlijke variabelen in gevoeligheid, vatbaarheid enz. die het effect van EMV meebepalen. Algemene conclusies zijn daarover nu niet te trekken. In tabel 2-3 is een aantal factoren genoemd die samen het fysische karakter van een veld beschrijven.