

Electromagnetic compatibility
(EMC)

en

Electromagnetic Interference
(EMI)

Inleiding:

Electromagnetic compatibility (EMC) is het vermogen van een toestel of systeem om in een elektromagnetische omgeving te kunnen functioneren, zonder zelf stoorsignalen uit te zenden.

Electromagnetic interference (EMI) is het ontstaan van interferentie door elektrische of elektronische systemen die al dan niet gewenst storende signalen uitzendt.

Er is reeds veel gesproken en geschreven over het wel of niet schadelijk zijn van elektrische en magnetische velden. Dat men alles in de juiste context moet plaatsen is evident (wat niet altijd gebeurt). Iedere radioamateur weet waarover we het hebben (denk maar aan ons antenne dossier).

Over "Specific Absorption Rate" (SAR) moet ik dan ook niet verder uitwijden. Wel is het de bedoeling niet alleen, een overzicht te geven over magnetische velden maar eerder in te gaan hoe en op welke manier men elektromagnetische interferentie (EMI) en elektromagnetische compatibiliteit (EMC) meet. Deze metingen worden uitgevoerd door middel van meetontvangers, spectrum analyser, meetantennes en meetkamers.

meetontvanger: het principe van de meting bestaat erin de spanning "U" aan de ingang van de meetontvanger te meten en daaruit de waarde van het elektrisch veld af te leiden volgens onderstaande formule

$$E = U + A_c + K$$

A_c = gekalibreerde kabel = A_c verliezen bekend

K = conversie factor

spectrumanalyser: deze meet niet zoals de oscilloscoop de golfvorm in functie van tijd maar wel in functie van de frequentie, meet ook het vermogenspectrum.

meetantennes: dit zijn gekalibreerde zend- of ontvangstantennes waarbij de fabrikanten de nodige informatie geven in verband met de frequentie, meetafstand, antenne factor enz.

meetkamers: daarin worden toestellen en antennes onderzocht alsook EMC Shielding, microgolf- en resonant absorbers, EMC filters enz.

normen: tot normalisatie werd reeds in 1934 een controle organisme opgericht door het Comité International Spécial des Perturbation Radioélectrique (CISPR)^(*) en verder de International Electrotechnical Commission (IEC) en de Europese normen (EN).

Ook de U.S.Navy heeft een dergelijk controle systeem Emission Control (EMCON) waarbij de elektromagnetische emissie een bepaalde waarde niet mag overschrijden. Dit heeft tot doel elektronische emissie te vermijden of te ontwijken. De RF emissie mag hierbij niet hoger zijn dan -110dBm/m² en dit op een afstand van 1NM (nautische mijl: 1852m).

(*) CISPR, EN en US normen zijn achteraan te vinden in Technische informatie.

Verder wil ik benadrukken dat dit een vrij complex gegeven is waarbij menigvuldige parameters een rol spelen. Toch wil ik proberen een idee te geven over EMC en EMI en waar mogelijk het aantal formules te beperken. Daar dit een compilatie is uit verschillende bronnen wordt duidelijk gemaakt door de verscheidenheid van benaderingen, wat soms het geheel niet altijd ten goede komt, daarom mijn dank voor uw begrip.

Statische – Elektrische en Magnetische Velden

Statische velden zijn gelijkstroom velden, ze variëren niet met de tijd, men kan zeggen dat de frequentie gelijk is aan 0 Hz en een oneindige golflengte hebben, ze wekken uiteraard ook geen straling op.

De interactie van biologisch materiaal met een elektromagnetische bron is afhankelijk van de frequentie. We spreken gewoonlijk van het elektromagnetisch spectrum alsof het golven van energie opwekt. Eigenlijk is dit niet correct, daar elektromagnetische energie zich soms gedraagt als deeltjes eerder dan als golven, dit is in het bijzonder waar bij hoge frequenties. De bijzondere natuur van de elektromagnetische energie is belangrijk, daar het de energie is per deeltje (of fotonen, zoals deze deeltjes genoemd worden) dat bepaald welke biologische effecten elektromagnetische energie zal hebben.

Kenmerkend bij zeer hoge frequenties van harde UV en X-stralen hebben elektromagnetische deeltjes (fotonen) voldoende energie om chemische verbindingen af te breken. Deze afbraak van verbindingen noemt men ionisering en dit deel van het elektromagnetisch spectrum wordt ioniserend genoemd. Het welgekende biologisch effect van X-stralen wordt geassocieerd met ionisatie van moleculen. Bij lagere frequenties, zoals zichtbaar licht, RF en microgolven is de energie veel lager dan deze van een foton dewelke nodig is om chemische verbindingen te verbreken. Dit deel van het elektromagnetisch spectrum noemt men niet ioniserend. Daar niet ioniserende elektromagnetische energie geen chemische verbindingen kan verbreken is er geen analogie tussen biologische effecten van ionisering en niet ioniserende elektromagnetische energie.

Niet ioniserende elektromagnetische bronnen kunnen echter wel biologische effecten doen ontstaan. Veel van de biologische effecten van soft UV, zichtbaar en IR frequenties hangen af van hun foton energie. Ze hebben betrekking op elektronische excitatie eerder dan ionisatie en kunnen niet bestaan bij frequenties lager dan IR (lager dan 3×10^{11} Hz). RF- en microgolffbronnen kunnen effecten veroorzaken door inductie van elektrische stromen in weefsels, wat opwarming veroorzaakt. In het algemeen produceren elektromagnetische bronnen zowel stralingsenergie als niet stralende energie (velden). Stralingsenergie kan afzonderlijk van zijn bron bestaan, beweegt zich van de bron weg en blijft bestaan zelfs wanneer de energiebron is gestopt. Velden worden niet in de ruimte geprojecteerd en houden op te bestaan wanneer de energiebron is gestopt. Bij statische elektromagnetische velden (gelijkstroom velden) is er geen stralingscomponent. Magnetische velden zijn moeilijk af te schermen en penetreren gemakkelijk in gebouwen en mensen. Elektrische velden dringen praktisch niet in de huid of gebouwen.

Veldintensiteit en vermogen dichtheid

Soms is het nodig de actuele veldintensiteit en vermogen dichtheid te kennen en dit op een bepaalde afstand van de zender in plaats van de ontvangen signaalsterkte aan de antenne.

Veldintensiteit en vermogen dichtheid berekenen zijn nodig wanneer men een schatting wil maken van de magnetische interferentie (EMI) effecten. Veldintensiteit (veldsterkte) is een algemene term die gewoonlijk de magnitude van de elektrische veld vector weergeeft (grootte en richting) en in het algemeen wordt uitgedrukt in volt per meter (V/m).

Bij frequenties boven de 100MHz en in het bijzonder boven 1GHz, wordt vermogen dichtheid (P_D) terminologie meer gebruikt dan veldsterkte.

Vermogen dichtheid en veldintensiteit zijn verbonden door volgende vergelijking:

$$P_D = \frac{E^2}{Z_0} = \frac{E^2}{120\pi} = \frac{E^2}{377}$$

waarbij P_D in W/m^2 , E is de RMS (root mean square = de effectieve waarde) waarde van het veld in volt/m en $Z_0 = 377$ ohm is de karakteristieke impedantie van de vrije ruimte.

Wanneer de eenheden van P_D in mW/cm^2 zijn, dan is P_D (mW/cm^2) = $E^2/377$.

Omzetting tussen veldintensiteit en vermogen dichtheid bij een impedantie van 377 ohm kan men bekomen in tabel 1.

Noteer dat bij omzetting van dBm/m² naar dBμV/m men 115,76dB moet bijtellen, dat om dBm te verkrijgen van dBm/m², gegeven een bepaald oppervlak, je de logaritmen van het oppervlak moet optellen en niet vermenigvuldigen.

opmerking: dBμV en dBm, bij conventie, zijn eenheden van vermogen over een belasting van 50 ohm dBμV/m zijn eenheden gebruikt bij metingen van een veldintensiteit opgevangen door een antenne.

Eigenlijk is er geen omzettingsfactor van dBm naar μV/meter. Het ene is een vermogen, het andere een veldsterkte. Veldsterkte is een natuurlijke constituant van de vrije ruimte (free space) of tenminste gedefinieerd met een impedantie. Veldsterkte (Field Strength) kan beschreven worden in eenheden van vermogen in een gebied of oppervlakte. Het juiste gebruik in een veldsterkte context is dB (1mW/m²) of dBm(50). Beide zijden van de vergelijking moeten in balans zijn met hun eenheden, anders is de vergelijking incorrect.

Vermogen dichtheid (P_D) power density

$$dBw/m^2 = 10 \log (V/m - A/m)$$

$$dBm/m^2 = dBw/m^2 + 30$$

waarbij de constant 30 gelijk is aan het dB equivalent van de factor 1000, gebruikt om W om te zetten naar mW.

Elektrisch veld naar vermogen dichtheid

$$dBm/m^2 = dB\mu V/m - 115,8$$

waarbij de constante 115,8 gelijk is aan $P = E^2/Z_0$, zo is de vrije ruimte impedantie (Ω) gelijk aan 120π.

Elektrische veldspanning

$$V/m = 10 \{[(dB\mu V/m) - 120]/20\}$$

Spanningsmeting

Coaxiale kabels hebben typische input impedantie's van 50, 75 en 93Ω, (±2) waarbij 50Ω de meest algemene is. Andere types van kabels zijn : TV kabel (75Ω) coaxiaal of 300Ω (twin-lead), audio (600Ω) en luidsprekers 3,2 (4), 8 of 16Ω.

In geval van 50Ω, hebben vermogen en spanning het volgende verband:

$$P = \frac{E^2}{Z_0} = \frac{E^2}{50} = 50 I^2$$

Omzetting tussen gemeten vermogen, spanning en stroom waarbij de typische impedantie 50Ω is kan men bekomen in tabel 2.

De dBμA stroomwaarden wordt gegeven omdat frequent stroom probes gebruikt worden tijdens laboratoriumtesten om de inputstroom van de vermogenlijn te bepalen.

Matching kabel impedantie

Bij het uitvoeren van metingen moet men er rekening mee houden dat er een impedantie misaanpassing kan bestaan tussen metingen met 50Ω en free space (377Ω).

Veldsterkte benadering

Om rekening te houden met het impedantie verschil, wordt de antenne factor (AF) bepaald als $AF = E/V$, waar E de veldsterkte is, wat kan uitgedrukt worden in termen van 377 ohm en V de gemeten spanning is die kan uitgedrukt worden in termen van 50Ω.

(AF wordt nog verder besproken)

$$E(dB\mu V/m) = V(dB\mu V) + AF(dB/m)$$

Vermogen dichtheid benadering

Om rekening te houden met het impedantie verschil is het ontvangstoppervlak van de antenne A_e , verwant met de vrije ruimte vermogen dichtheid P_D met ontvangsvermogen P_r (A_e : absorption area). A_e is een functie van frequentie en antenne-winst.

$$P_i \rightarrow P_r = P_D A_e$$

Omzetting tussen Veldintensiteit (tabel1) en Ontvangen vermogen (tabel2)

Ontvangen vermogen (watt of mW) kan uitgedrukt worden in termen van veldintensiteit (volt/m of $\mu\text{V/m}$) volgens de vergelijking:

$$\text{Ontvangen vermogen } (P_r) = \frac{E^2}{480\pi^2} \frac{c^2}{f^2} G$$

of in log vorm: $10\log P_r = 20\log E + 10\log G - 20\log f + 10\log(c^2/480\pi^2)$

dan is: $10\log P_r = 20\log E + 10\log G - 20\log f + K_4$

Watt naar mW

waarbij $K_4 = 10\log \left[\frac{c^2}{480\pi^2} \cdot \text{(conversie als nodig)} \right]$
 (volt naar μV)² (Hz naar MHz of GHz)²

Waarden van K_4 (dB)

P_r	E_i	f_1 (Hz)	f_1 (MHz)	f_1 (GHz)
watt (dBW)	V/m $\mu\text{V/m}$	132,8 12,8	12,8 - 107,2	- 47,2 - 167,2
mW (dBm)	V/m $\mu\text{V/m}$	162,8 42,8	42,8 - 77,2	- 17,2 - 137,7

Afgeleide vergelijkingen

$P_D = E^2/120\pi$

$A_e = \lambda^2 G/4\pi$

$P_r = P_D A_e$

$P_r = (E^2/120\pi) (\lambda^2 G/4\pi)$

$\lambda = c/f$

$P_r = (E^2/480\pi^2)(c^2 G/f^2)$

in termen van V^2/Ω

(m²)

(W/m²)(m²)

(v²/m²Ω)(m²)

(m/sec)(sec)

termen (v²/m²Ω)(m²/sec²)(sec²) of v²/Ω = watt

Conversie factor en Antenne factor

De antenne factor (AF) is wel de meest gebruikte beschrijving op EMC gebied, alhoewel het geen deel van de standaard antenne terminologie uitmaakt. AF reflecteert zich in het gebruik van een antenne als een veld meting. De AF is de factor waarbij we de outputspanning van een ontvangstantenne moeten vermenigvuldigen om het elektrisch- of magnetisch veld te bekomen.

Het is gebruikelijk in veldsterkte metingen de ontvangstantenne te karakteriseren door een conversie factor K_e en een antenne gain.

Daar het gewoonlijk eenvoudiger is in veldsterkte metingen te werken met spanningen en veldsterkte waarden (logaritmische hoeveelheden) is het praktischer de logaritmische factor als conversie factor te gebruiken.

$k_E = 20 \log K_E$ in eenheden van dB (1/m)

k_E is de logaritme van de conversiefactor

De logaritme van de conversie factor wordt gewoonlijk de antenne factor AF genoemd, strikt genomen is dit geen factor maar eerder de logaritme van een factor.

Antenne Factor (AF)

De antenne factor is de verhouding van een elektromagnetische veldsterkte (aan de antenne) tot de spanning geïnduceerd aan de antenne aansluitingen, binnen een 50 ohm belasting (zie Fig.1).

$AF = E/V$ AF = antenne factor m^{-1} E = elektrisch veld V/m V = spanning aan de antenne
AF is gewoonlijk uitgedrukt in dB wanneer deze wordt gebruikt om de waarde van het elektrisch veld te bepalen. Dan is:

$$E[dB(\mu V/m)] = V[dB(\mu V)] + AF[dB(m^{-1})]$$

In een 50 ohm systeem heeft de antenne factor een verhouding met de antenne winst en de golflengte

$$AF = \frac{9,73}{\lambda VG} \text{ of } AF \text{ (dB)} = 20 \log_{10} \left(\frac{9,73}{\lambda VG} \right) \text{ waarbij } \lambda \text{ in meter en Gain in numerieke verhouding (geen dB)}$$

De antenne factor legt een verband tussen de elektrische veldsterkte van het ongestoorde EM veld en de door de antenne afgegeven spanning aan een bepaalde impedantie (50Ω)

AF in dB/m voor een ideale dipool met F in MHz = $20 \log F - 31,9$

De veldsterktes zijn uitgedrukt in eenheden van V/m of $\mu V/m$ en resulteert in een AF in eenheden van 1/m. De dimensie is dus een reciproke (*) afstand. Meestal gebruikt men logaritmische versies, daar zijn de berekeningen een optelling; in dit geval zijn de eenheden dB/m.

Eigenlijk is de AF geen meetbare hoeveelheid, men zou dit eerder moeten klasseren als een conversie factor voor antennes, maar zelfs deze definitie heeft een gebrek.

voorbeeld: het getal 2,54 is een conversie factor van Engelse duim naar centimeter en vice versa, we meten dus niet de conversie factor, we meten in duim of centimeter.

Veldsterktes zijn afhankelijk van het soort terrein (grond) en is dus onderworpen aan foute metingen. De meetfout wordt vermindert indien we een dipool als referentie gebruiken. We erkennen dat eens boven 1GHz een dipool de standaard is, bijvoorbeeld een set dipool antennes volgens frequentie met een set baluns. Directionele antennes kunnen gebruikt worden om reflecties te verminderen en de signaal-ruis verhouding te verbeteren.

In praktijk wordt de elektrische veldsterkte gemeten door het gebruik van een veldintensiteit meter of een spectrum analyser met een smalband preselecter filter aan de meetantenne.

$$20 \log E = 20 \log V + 20 \log AF$$

(*) reciproke: het omgekeerde of de reciproke van een getal of grootheid is 1 gedeeld door het getal of die grootheid. Het omgekeerde van een breuk ontstaat door teller en noemer te verwisselen. Het omgekeerde van 7 is dus 1/7 en het omgekeerde van 2/3 is 3/2.

De Hertz is het omgekeerde van de seconde: 1Hz = 1/s.

De Siemens is het omgekeerde van de ohm: 1S = 1/Ω

Afleiden van de AF van de antenne gain

Een elektrisch veld E produceert een vermogen dichtheid (P_d) in de ruimte. Dit leidt tot een vermogen (P) in een 50 ohm belasting (Z) verbonden met de belasting van eender welke antenne binnen deze ruimte van vermogen dichtheid. Het vermogen (P) resulteert in een spanning V doorheen de belasting: $P = V^2/Z$ waarbij Z = 50 ohm. Als E de veldsterkte is en V de spanning geproduceerd over de 50 ohm belasting, dan is de antenne factor (AF) gelijk aan $AF = E/V$. In dB zal dat $20 \log (E/V)$ zijn (zie Fig.2).
Verband tussen de AF en de antenne gain "g" in dBi (verwijzend naar een isotropische ontvanger).

$$K_E = 20 \log(f/\text{MHz}) - 29,7707 \text{ dB} - g$$

Waarbij: $g = 10 \cdot \log(G)$

voorbeeld:1

afgestemde $\lambda/2$ dipool bij specifieke resonantie frequentie (Gain \rightarrow richtingsgevoelig)

<u>f/MHz</u>	<u>G (1/m)</u>	<u>g (dBi)</u>	<u>$K_E AF$ [dB (1/m)]</u>
100	1,64	2,15	8,08
300	1,64	2,15	17,62
1000	1,64	2,15	28,08
3000	1,64	2,15	37,62

voorbeeld:2

biconical dipool antenne SBA 9113

<u>f/MHz</u>	<u>G (1/m)</u>	<u>g (dBi)</u>	<u>$K_E AF$ [dB (1/m)]</u>
500	0,28	-5,46	29,67
600	1,09	0,39	25,40
750	1,12	0,51	27,22
1000	0,86	-0,67	30,90
2000	1,20	0,80	35,45
3000	0,82	-0,87	40,64

Een andere benadering geeft:

De winst van een antenne ten opzichte van een isotropische antenne (G_i) of ten opzichte van een halve golf dipool (G_d) wordt dikwijls gegeven als de antenne factor AF.

De verhouding tussen de antennewinst en de antenne factor AF is:

<u>voor 50Ω</u>	<u>voor 75Ω</u>
$AF = \frac{f/\text{MHz}}{30,81 \cdot V G_i}$	$AF = \frac{f/\text{MHz}}{37,75 \cdot V G_i}$
$AF = \frac{f/\text{MHz}}{39,47 \cdot V G_d}$	$AF = \frac{f/\text{MHz}}{48,34 \cdot V G_d}$

In logaritmische vorm:

voor 50 Ω

$$AF = -29,77 \text{ dB} - g_i/\text{dB} + 20 \log(f/\text{MHz})$$

$$AF = -31,93 \text{ dB} - g_d/\text{dB} + 20 \log(f/\text{MHz})$$

voor 75 Ω

$$AF = -34,54 \text{ dB} - g_i/\text{dB} + 20 \log(f/\text{MHz})$$

$$AF = -36,69 \text{ dB} - g_d/\text{dB} + 20 \log(f/\text{MHz})$$

Wanneer men rekening houdt met a_c en a_r in de berekening van de veldsterkte geeft dat in logaritmische vorm:

$$e/\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m}) = v_e/\text{dB}(\mu\text{V}) + k/\text{dB}(\text{m}^{-1}) + a_c/\text{dB} + a_r/\text{dB}$$

waarbij e = elektrische veldsterkte component ($\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$)

$k = 20 \log AF$ (dB)

a_c = cable loss (dB)

a_r = verzwakking door verzwakkers, filters en versterkers (dB)

AF afgeleiden:

$$AF_{dB} = E_{dB} - V_{r,dB}$$

waarbij: AF = antenne factor in dB/m
E = veldsterkte aan de antenne in dB μ V/m
Vr = outputspanning van de ontvangstantenne in dB μ V
AF (voor 50 Ω) = 20log f(MHz) - G (dBi) - 29,78dB

waarbij f in MHz, G antenne winst (dBi) isotropisch

$$(E) \text{ dB}\mu\text{V/m} = (V_o) \text{ dB}\mu\text{V} + (AF) \text{ dB/m}$$

AF is de antenne factor van de meetantenne

E is de ongekende of te meten elektrische veldsterkte

Vo is de af te regelen spectrum analyser output (calibreren van kabel en connector verliezen)

Antenne factor

Om de magnetische veldsterkte te meten in dB(μ A/m) bij een bepaalde frequentie telt men de amplitude van de gemeten spanning in dB(μ V) (gemeten met de spectrum analyser) en de antenne factor voor deze specifieke frequentie op. Om de kabelverliezen en voorversterker winst te compenseren telt men de verliezen op en trekt de winst af (zie volgende vergelijking).

$$H\text{-veldsterkte (dB}\mu\text{A/m)} = V_{SA} + AF + K$$

waarbij: V_{SA} = spanning in dB μ V gemeten met de spectrum analyser
AF = antennefactor in dB(μ A/m/ μ V)
K = wist of verlies tussen kabelverliezen en voorversterker winst
(positieve waarde is verlies, negatieve waarde is winst)

Vermogen dichtheid en Elektrisch veld berekeningen

Uitgestraald vermogen kan bepaald worden, aannemende dat het veld in fase is en de veld impedantie 377ohm is.

$$E\text{-veldsterkte (dB}\mu\text{V/m)} = V_{SA} + K + 20\log(377) \\ = V_{SA} + AF + K + 51,5$$

$$\text{Vermogen dichtheid (dBmW/cm}^2\text{)} = V_{SA} + AF + K - 104,3$$

voorbeeld: bij 10MHz is de gemeten $V_{SA} = 65,3\text{dB}\mu\text{V}$; $K = 0$ en $AF = 39\text{dB}(\mu\text{A/m}/\mu\text{V})$

dan is: $E(\text{dB}\mu\text{V/m}) = 65,3 + 39 + 51,5 = 155,8\text{dB}\mu\text{V/m} = 61,7\text{V/m}$ (zie formule elektrische veldspanning): $V/m = 10^{\{[(\text{dB}\mu\text{V/m}) - 120]/20\}} = 10$ tot de macht 1.79 = 61,7V/m

$$S(\text{dBmW/cm}^2) = 65,3 + 39 - 0\text{dBmW/cm}^2 = 1\text{mW/cm}^2$$

Relatie tussen AF en Gain in een 50 Ω system

$$G(\text{dB}) = 20\log_{10}(F \text{ MHz}) - AF - 29,79$$

voorbeeld: $F = 1000\text{MHz}$; $AF = 23,2$

$$G(\text{dB}) = 20\log_{10}(1000) - 23,2 - 29,79 = 7\text{dB}$$

Omzetting van deze waarde om de numerieke gain te bekomen: $\rightarrow \rightarrow \rightarrow g = 10^{0,7} = 5$

Benodigd vermogen om een gewenste veldsterkte te genereren bij een gegeven afstand en een bekende antenne: $P_{dB(W)} = 20 \log_{10} (E_{\text{gewenst}} \text{ (V/m)}) + 20 \log_{10}(d_m) - 20 \log_{10}(f \text{ MHz}) + AF_{dBm} \text{ (m E-1)} + 15$

Overzicht van gebruikte meetantennes

Coaxiale kabels verbonden aan antennes zijn inherent (samengaand) unbalanced, daar zij ten overstaande de aarde asymmetrisch zijn. Daarom maken sommige antennes, zoals biconical antennes, gebruik van een balun (Balanced – to – Unbalanced) (*) transformer om de onbalans te overwinnen.

(*) balanced (balans) is een standaard waarbij het elektrisch signaal is opgedeeld in een plus, een min en een aarde.

unbalanced (onbalans) is een standaard waarbij het elektrisch signaal is opgedeeld in een plus en een aarde.

Een balanced lijn is dus een transmissielijn waarvan de twee geleiders een gelijke impedantie hebben, een voordeel daarbij is dat het een goede afscherming biedt tegen externe ruis. Twin-lead (voor RF en een getwist paar (voor lage frequentie) zijn daar een voorbeeld van.

Typische EMC antennes

Typische antennes en AF factor waarden zijn te vinden in tabel 3

Loop en Magnetic Field Coil

Typisch gebruikt in het frequentie gebied van 20Hz tot 30MHz voor metingen van het magnetisch veld voor gebruik in het nabije veld (near field). Anders dan in het verre veld (far field) hebben elektrische velden geen verband met het magnetisch veld bij 377ohm. Het magnetisch veld kan niet zomaar afgeleid worden van een elektrisch veld (zie antenne 1).

Rod of monopole antennes

Rod antennes zijn de tegenhanger van loop antennes. Ze zijn ontworpen voor elektrische velden van 30Hz tot 50MHz. Daar rod antennes klein zijn vergeleken met hun golflengte (bij 30Hz een $\lambda = 10.000\text{km}$) is een ingebouwde versterker soms nodig. Meestal gebruikt in telecommunicatie bij 10KHz (zie antenne 2).

Dipool antennes

Dipolen zijn afgestemd voor specifieke frequenties van 30MHz tot enkele GHz en zijn smalbandig. Om een grote bandbreedte te overbruggen moet ze manueel afgestemd worden. Dipool antennes worden gebruikt als referentie antennes, daar de dipool elementen theoretisch kunnen berekend worden (zie antenne 3).

Biconical antennes

Biconical antennes dekken de frequentieband van 20MHz tot 300MHz. Alle draadkooi biconical antennes, die in de handel zijn, hebben dezelfde vorm en afmetingen (ongeveer 1,36m breed). Beneden de 50MHz hebben ze een hoge input impedantie (hoge VSWR), daarom heeft iedere uitvoering van biconical antennes een balun nodig. Op de voedingskabel worden ferrietkralen gebruikt tegen geïnduceerde stromen, deze moet een meter of meer horizontaal gemonteerd worden alvorens naar beneden te lopen (vermindert mogelijke interferentie (zie antenne 4)).

Berekenbare Biconical Antennes

Berekenbare biconicals combineren de beste eigenschappen van een biconical antenne en een dipool antenne, juist omdat ze berekenbaar en breedbandig zijn. Het voornaamste verschil is dat de baluns volledig gekarakteriseerd kunnen worden met een netwerk analyser. Dit resulteert in theoretische antenne factors (zie antenne 5).

Log periodic dipool opstelling

Log periodic dipolen bedekken een frequentiegebied van 80MHz tot enkele GHz. De gain is ongeveer 5dBi, wat een goede middenweg is tussen de beam breedte en de gevoeligheid (of vermogen en veldsterkte eis). Het fase centrum van deze antenne beweegt van achter van de antenneboom naar de voorkant bij toenemende frequentie (zie antenne 6).

Bicon/log Hybrid

De hybride combineert het frequentie gebied van een biconical antenne en een log antenne, welke van 20MHz tot enkele GHz gaat. Deze antenne is enorm populair en er is geen band onderbreking gedurende de test. Juist zoals biconical antennes zijn hybride antennes (bij 20-50MHz) elektrisch smal. Ze hebben typisch T-vormig of L-vormig vlinderdasjes elementen en worden gebruikt voor zend en immunitet testen. De eindplaten zijn beweegbaar voor zendtesten (zie antenne 7).

Conical Log-Spiral antenne

Het meest kenmerkende van deze antenne met andere, is dat het elektrisch veld circulair gepolariseerd is. Dit circulair gepolariseerde veld sluit de nood uit om horizontale en verticale metingen afzonderlijk te moeten uitvoeren. Het frequentiegebied is typisch van 100MHz tot 1000MHz. Noteer wanneer we de winst van een circulair gepolariseerde antenne meten tegenover een lineair gepolariseerde, de winst 3dB lager ligt en dit door mismatch (zie antenne 8).

Broadband Ridged Waveguide Horn

Deze veelzijdige en breedband gerichelde golfgeleidende hoorn heeft een bereik van 200MHz tot 1000MHz. De hoorn voor lage frequenties zijn fysisch breed. Bijvoorbeeld het bereik van een hoorn van 200MHz tot 2GHz is ongeveer 90x95x71cm groot. De winst is ongeveer 10dBi en een smalle bandbreedte (zie antenne 9).

Hierbij de limieten van de CISPR 22 norm

	<u>uitgestraald</u>	
<u>frequentie:</u>	<u>klas A</u>	<u>klas B</u>
30-230MHz	40dB μ V/m	30dB μ V/m
230-1000MHz	47dB μ V/m	37dB μ V/m
quasi-piek, antenne op 10m		
	<u>geleidend</u>	
<u>frequentie:</u>	<u>klas A</u>	<u>klas B</u>
0,15-0,50 MHz	66dB μ V	56 tot 46dB μ V
0,50-5 MHz	60dB μ V	46dB μ V
5-30 MHz	60dB μ V	50dB μ V
gemiddeld		

BIPT referentiewaarden en antennestraling

<u>frequentie:</u>	<u>vermogensdichtheid in W/m²</u>	<u>elektrische veldsterkte E in V/m</u>
10 – 400MHz	0,5	13,7
400 – 2GHz	f/800	0,686Vf
2 – 10GHz	2,5	30,7

bron: internet

september 2010

Bijlage:

In elektronica is gain (G) de verhouding van een output signaal tegenover een input signaal en wordt gewoonlijk uitgedrukt in dB. $Gain = 10 \log (P_{out} / P_{in})$ dB

Bij antenneversterking (dB) wordt dit $10 \log (G)$

De zo gedefinieerde versterking wordt als dBi (isotropisch) aangeduid. Daarna wordt ook de aanduiding dBd gebruikt. Dit geeft de antenneversterking ten opzichte van een halve dipool ($\lambda/2$) aan. Hierbij is $0 \text{ dBd} = 2,14 \text{ dBi}$.

Antennegain kan enkel bereikt worden door het gebruik van een richtantenne, dus betere prestatie in één richting. De variabele gemiddelde antennewinst (dimentieloos) kan geschreven worden in termen van effectieve apertuur A (effectief antenne gebied)

G over isotropisch (geen dB)

De antenne apertuur kan gevisualiseerd worden als het gebied van een cirkel waardoor RF-straling doorheen gaat.

De inkomende vermogen dichtheid (W/m^2) x apertuur (m^2) = het beschikbaar vermogen van de antenne (Watt). Antenne gain is direct evenredig met de apertuur. Een isotropische antenne heeft een apertuur gelijk aan $\lambda^2/4\pi$ en de antenne met winst (G) heeft een effectieve apertuur gelijk aan $A_e = G\lambda^2/4\pi$ en $G = 4\pi A_e / \lambda^2$.

Wanneer de vermogen winst berekend wordt door de spanning te nemen in plaats van het vermogen dan geldt: $Gain = 10 \log (V_{out} / V_{in})^2$ dB en wanneer we de 20log regel gebruiken dan is $Gain = 20 \log (V_{out} / V_{in})$ dB.

Meestal zijn in vele gevallen de input en output impedanties gelijk.

Nog even meegeven dat ERP (Effective Radiated Power) berekend wordt door de verliezen van een antennesysteem te verminderen met de winst van dat zelfde systeem.

voorbeeld:

uitgangsvermogen 100W, kabelverliezen 3dB, winst van de antenne 6dB dan is:

$$ERP = 100W (-3dB + 6dB) = 100W (+3dB) = 200W.$$

Nog een ander punt is, dat in de tekst "Gain" soms aangegeven wordt in numerieke waarde en niet in dB, daarom heb ik eenvoudige omzettingberekeningen gemaakt met een rekenmachientje (in dit geval OLYMPIA LCD-8810) die ook in een vorig artikel "Logaritmen en dB's zonder meer" kunnen gebruikt worden.

Omzetten van +dB naar vermogensverhouding:

voorbeeld: 3dB

eerst het aantal dB's delen door 10

(vermogen is $10 \log P1/P2$)

druk 10

druk Shift

druk x^y

of

druk 10^x

druk 0,3 = 2

druk 0,3 = 2

Omzetten van vermogensverhouding naar +dB:

voorbeeld: $P1/P2 = 2,51$

druk log

druk 2,51

druk $x10 = 4dB$

Omzetten van -dB naar vermogensverhouding:

voorbeeld: -20dB

eerst het aantal dB's delen door 10

druk 10

druk x^y

druk -2 = 0,01

Omzetten van vermogensverhouding naar -dB:

voorbeeld: $P1/P2 = 0,01$

druk log

druk 0,01

druk x10 = -20dB

Omzetten van +dB naar spannings- of stroomverhouding:

voorbeeld: 3dB

eerst het aantal dB's delen door 20

(spanning is $20\log U1/U2$ of $I1/I2$)

druk 10

druk Shift

druk x^y of

druk 10^x

druk 0,15 = 1,41

druk 0,15 = 1,41

Omzetten van spannings- of stroomverhouding naar +dB:

voorbeeld: $U1/U2 = 1,413$

druk log

druk 1,413

druk x20 = 3dB

Omzetten van -dB naar spannings- of stroomverhouding:

voorbeeld: -20dB

eerst het aantal dB's delen door 20

druk 10

druk x^y

druk -1 = 0,1

Omzetten van spannings- of stroomverhouding naar -dB:

voorbeeld: $U1/U2 = 0,1$

druk log

druk 0,1

druk x20 = -20dB

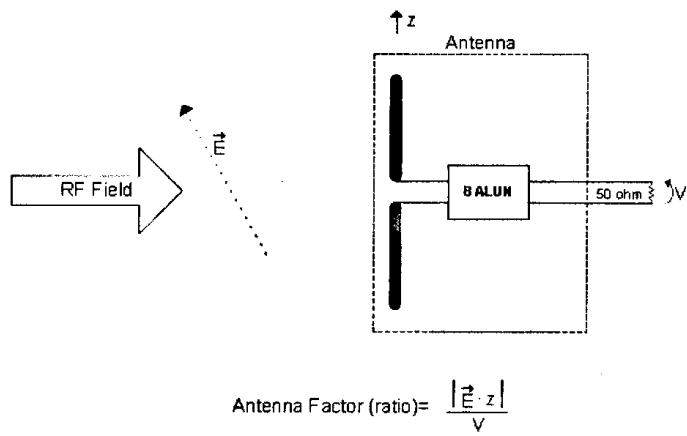
Table 1. Conversion Table - Field Intensity and Power Density
 $P_D = E^2/Z_0$ (Related by free space impedance = 377 ohms)

E (Volts/m)	20 log 10 ⁶ (E) (dBμV/m)	P _D (watts/m ²)	10 Log P _D (dBW/m ²)	Watts/cm ²	dBW/cm ²	mW/cm ²	dBm/cm ²	dBm/m ²
7,000	197	130,000	+51	13	+11	13,000	+41	+81
5,000	194	66,300	+48	6.6	+8	6,630	+38	+78
3,000	190	23,900	+44	2.4	+4	2,390	+34	+74
4,000	186	10,600	+40	1.1	0	1,060	+30	+70
1,000	180	2,650	+34	.27	-6	265	+24	+64
700	177	1,300	+31	.13	-9	130	+21	+61
500	174	663	+28	.066	-12	66	+18	+58
300	170	239	+24	.024	-16	24	+14	+54
200	166	106	+20	.011	-20	11	+10	+50
100	160	27	+14	.0027	-26	2.7	+4	+44
70	157	13	+11	1.3x10 ⁻³	-29	1.3	+1	+41
50	154	6.6	+8	6.6x10 ⁻⁴	-32	.66	-2	+38
30	150	2.4	+4	2.4x10 ⁻⁴	-36	.24	-6	+34
20	146	1.1	+0	1.1x10 ⁻⁴	-40	.11	-10	+30
10	140	.27	-6	2.7x10 ⁻⁵	-46	.027	-16	+24
7	137	.13	-9	1.3x10 ⁻⁵	-49	.013	-19	+21
5	134	.066	-12	6.6x10 ⁻⁶	-52	66x10 ⁻⁴	-22	+18
3	130	.024	-16	2.4x10 ⁻⁶	-56	24x10 ⁻⁴	-26	+14
2	126	.011	-20	1.1x10 ⁻⁶	-60	11x10 ⁻⁴	-30	+10
1	120	.0027	-26	2.7x10 ⁻⁷	-66	2.7x10 ⁻⁴	-36	+4
0.7	117	1.3x10 ⁻³	-29	1.3x10 ⁻⁷	-69	1.3x10 ⁻⁴	-39	+1
0.5	114	6.6x10 ⁻⁴	-32	6.6x10 ⁻⁸	-72	66x10 ⁻⁴	-42	-2
0.3	110	2.4x10 ⁻⁴	-36	2.4x10 ⁻⁸	-76	24x10 ⁻⁴	-46	-6
0.2	106	1.1x10 ⁻⁴	-40	1.1x10 ⁻⁸	-80	11x10 ⁻⁴	-50	-10
0.1	100	2.7x10 ⁻⁵	-46	2.7x10 ⁻⁹	-86	2.7x10 ⁻⁶	-56	-16
70x10 ⁻³	97	1.3x10 ⁻⁵	-49	1.3x10 ⁻⁹	-89	1.3x10 ⁻⁶	-59	-19
50x10 ⁻³	94	6.6x10 ⁻⁶	-52	6.6x10 ⁻¹⁰	-92	66x10 ⁻⁸	-62	-22
30x10 ⁻³	90	2.4x10 ⁻⁶	-56	2.4x10 ⁻¹⁰	-96	24x10 ⁻⁸	-66	-26
20x10 ⁻³	86	1.1x10 ⁻⁶	-60	1.1x10 ⁻¹⁰	-100	11x10 ⁻⁸	-70	-30
10x10 ⁻³	80	2.7x10 ⁻⁷	-66	2.7x10 ⁻¹¹	-106	2.7x10 ⁻⁸	-76	-36
7x10 ⁻³	77	1.3x10 ⁻⁷	-69	1.3x10 ⁻¹¹	-109	1.3x10 ⁻⁸	-79	-39
5x10 ⁻³	74	6.6x10 ⁻⁸	-72	6.6x10 ⁻¹²	-112	66x10 ⁻¹⁰	-82	-42
3x10 ⁻³	70	2.4x10 ⁻⁸	-76	2.4x10 ⁻¹²	-116	24x10 ⁻¹⁰	-86	-46
2x10 ⁻³	66	1.1x10 ⁻⁸	-80	1.1x10 ⁻¹²	-120	11x10 ⁻¹⁰	-90	-50
1x10 ⁻³	60	2.7x10 ⁻⁹	-86	2.7x10 ⁻¹³	-126	2.7x10 ⁻¹⁰	-96	-56
7x10 ⁻⁴	57	1.3x10 ⁻⁹	-89	1.3x10 ⁻¹³	-129	1.3x10 ⁻¹⁰	-99	-59
5x10 ⁻⁴	54	6.6x10 ⁻¹⁰	-92	6.6x10 ⁻¹⁴	-132	66x10 ⁻¹²	-102	-62
3x10 ⁻⁴	50	2.4x10 ⁻¹⁰	-96	2.4x10 ⁻¹⁴	-136	24x10 ⁻¹²	-106	-66
2x10 ⁻⁴	46	1.1x10 ⁻¹⁰	-100	1.1x10 ⁻¹⁴	-140	11x10 ⁻¹²	-110	-70
1x10 ⁻⁴	40	2.7x10 ⁻¹¹	-106	2.7x10 ⁻¹⁵	-146	2.7x10 ⁻¹²	-116	-76
7x10 ⁻⁵	37	1.3x10 ⁻¹¹	-109	1.3x10 ⁻¹⁵	-149	1.3x10 ⁻¹²	-119	-79
5x10 ⁻⁵	34	6.6x10 ⁻¹²	-112	6.6x10 ⁻¹⁶	-152	66x10 ⁻¹⁴	-122	-82
3x10 ⁻⁵	30	2.4x10 ⁻¹²	-116	2.4x10 ⁻¹⁶	-156	24x10 ⁻¹⁴	-126	-86
2x10 ⁻⁵	26	1.1x10 ⁻¹²	-120	1.1x10 ⁻¹⁶	-160	11x10 ⁻¹⁴	-130	-90
1x10 ⁻⁵	20	2.7x10 ⁻¹³	-126	2.7x10 ⁻¹⁷	-166	2.7x10 ⁻¹⁴	-136	-96
7x10 ⁻⁶	17	1.3x10 ⁻¹³	-129	1.3x10 ⁻¹⁷	-169	1.3x10 ⁻¹⁴	-139	-99
5x10 ⁻⁶	14	6.6x10 ⁻¹⁴	-132	6.6x10 ⁻¹⁸	-172	66x10 ⁻¹⁶	-142	-102
3x10 ⁻⁶	10	2.4x10 ⁻¹⁴	-136	2.4x10 ⁻¹⁸	-176	24x10 ⁻¹⁶	-146	-106
2x10 ⁻⁶	6	1.1x10 ⁻¹⁴	-140	1.1x10 ⁻¹⁸	-180	11x10 ⁻¹⁶	-150	-110
1x10 ⁻⁶	0	2.7x10 ⁻¹⁵	-146	2.7x10 ⁻¹⁹	-186	2.7x10 ⁻¹⁶	-156	-116

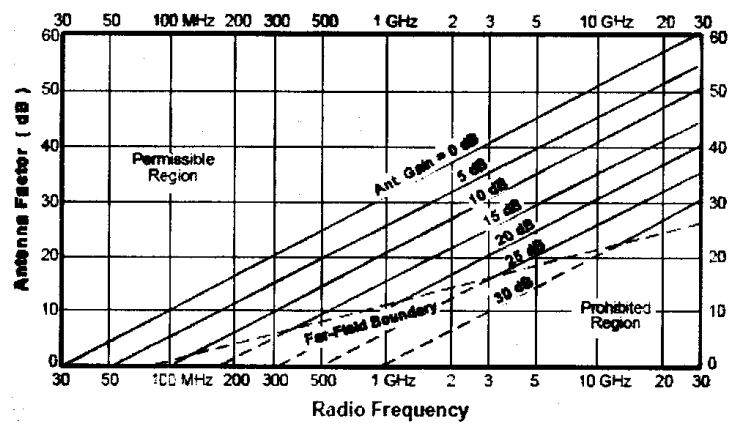
NOTE: Numbers in table rounded off

Table 2. Conversion Table - Volts to Watts and dBμA
 $(P_x = V_x^2/Z - \text{Related by line impedance of } 50 \Omega)$

Volts	dBV	dBμV	Watts	dBW	dBm	dBμA
700	56.0	176.0	9800	39.9	69.9	142.9
500	53.9	173.9	5000	37.0	67.0	140.0
300	49.5	169.5	1800	32.5	62.5	135.5
200	46.0	166.0	800	29.0	59.0	132.0
100	40.0	160.0	200	23.0	53.0	126.0
70	36.9	156.9	98	19.9	49.9	122.9
50	34.0	154.0	50	17.0	47.0	120.0
30	29.5	149.5	18	12.5	42.5	115.5
20	26.0	146.0	8	9.0	39.0	112.0
10	20.0	140.0	2	3.0	33.0	106.0
7	16.9	136.9	0.8	0	29.9	102.9
5	14.0	134.0	0.5	-3.0	27.0	100.0
3	9.5	129.5	0.18	-7.4	22.5	95.6
2	6.0	126.0	0.08	-11.0	19.0	92.0
1	0	120.0	0.02	-17.0	13.0	86.0
0.7	-3.1	116.9	9.8×10^{-3}	-20.1	9.9	82.9
0.5	-6.0	114.0	5.0×10^{-3}	-23.0	7.0	80.0
0.3	-10.5	109.5	1.8×10^{-3}	-27.4	2.6	75.6
0.2	-14.0	106.0	8.0×10^{-4}	-31.0	-1.0	72.0
0.1	-20.0	100.0	2.0×10^{-4}	-37.0	-7.0	66.0
.07	-23.1	96.9	9.8×10^{-5}	-40.1	-10.1	62.9
.05	-26.0	94.0	5.0×10^{-5}	-43.0	-13.0	60.0
.03	-30.5	89.5	1.8×10^{-5}	-47.4	-17.7	55.6
.02	-34.0	86.0	8.0×10^{-6}	-51.0	-21.0	52.0
.01	-40.0	80.0	2.0×10^{-6}	-57.0	-27.0	46.0
7×10^{-3}	-43.1	76.9	9.8×10^{-7}	-60.1	-30.1	42.9
5×10^{-3}	-46.0	74.0	5.0×10^{-7}	-63.0	-33.0	40.0
3×10^{-3}	-50.5	69.5	1.8×10^{-7}	-67.4	-37.4	35.6
2×10^{-3}	-54.0	66.0	8.0×10^{-8}	-71.0	-41.0	32.0
1×10^{-3}	-60.0	60.0	2.0×10^{-8}	-77.0	-47.0	26.0
7×10^{-4}	-64.1	56.9	9.8×10^{-9}	-80.1	-50.1	22.9
5×10^{-4}	-66.0	54.0	5.0×10^{-9}	-83.0	-53.0	20.0
3×10^{-4}	-70.5	49.5	1.8×10^{-9}	-87.4	-57.4	15.6
2×10^{-4}	-74.0	46.0	8.0×10^{-10}	-91.0	-61.0	12.0
1×10^{-4}	-80.0	40.0	2.0×10^{-10}	-97.0	-67.0	6.0
7×10^{-5}	-84.1	36.9	9.8×10^{-11}	-100.1	-70.1	2.9
5×10^{-5}	-86.0	34.0	5.0×10^{-11}	-103.0	-73.0	0
3×10^{-5}	-90.5	29.5	1.8×10^{-11}	-107.4	-77.4	-4.4
2×10^{-5}	-94.0	26.0	8.0×10^{-12}	-111.0	-81.0	-8.0
1×10^{-5}	-100.0	20.0	2.0×10^{-12}	-117.0	-87.0	-14.0
7×10^{-6}	-104.1	16.9	9.8×10^{-13}	-120.1	-90.1	-17.1
5×10^{-6}	-106.0	14.0	5.0×10^{-13}	-123.0	-93.0	-20.0
3×10^{-6}	-110.5	9.5	1.8×10^{-13}	-127.4	-97.4	-24.4
2×10^{-6}	-114.0	6.0	8.0×10^{-14}	-131.0	-101.0	-28.0
1×10^{-6}	-120.0	0	2.0×10^{-14}	-137.0	-107.0	-34.0
7×10^{-7}	-124.1	-3.1	9.8×10^{-15}	-140.1	-110.1	-37.1
5×10^{-7}	-126.0	-6.0	5.0×10^{-15}	-143.0	-113.0	-40.0
3×10^{-7}	-130.5	-10.5	1.8×10^{-15}	-147.4	-117.4	-44.4
2×10^{-7}	-134.0	-14.0	8.0×10^{-16}	-151.0	-121.0	-48.0
1×10^{-7}	-140.0	-20.0	2.0×10^{-16}	-157.0	-127.0	-54.0



Figuur 1



Figuur 2 Antenna Factor vs Frequency for Indicated Antenna Gain

Frequency Range	Antenna(s) used	Antenna Factor	Gain(dB)
14 kHz - 30 MHz	41" rod	22-58 dB	0 - 2
30 MHz - 200 MHz	Dipole or Biconical	0-18 dB	0 - 11
200 MHz - 1 GHz	Conical Log Spiral	17-26 dB	0 - 15
1 GHz - 10 GHz	Conical Log Spiral or Ridged Horn	21-48 dB	0 - 28
1 GHz - 18 GHz	Double Ridged Horn	21-47 dB	0 - 32
18 GHz - 40 GHz	Parabolic Dish	20-25 dB	27 - 35

Tabel 3 Typical Antenna Factor Values



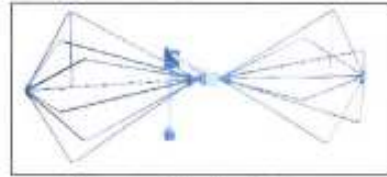
Antenne 1 Loop And Magnetic Field Coil



Antenne 2 Rod Or Monopole Antennas



Antenne 3 Dipole Antennas



Antenne 4 Biconical Antennas



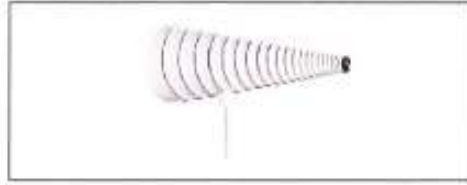
Antenne 5 Calculable Biconical Antennas



Antenne 6 Log Periodic Dipole Arrays



Antenne 7 Bicon / Log Hybrid



Antenne 8 Conical Log - Spiral Antenna



Antenne 9 Broadband Ridged Waveguide Horn

Basic Emission Standards

Elektromagnetische emissie is het fenomeen waarbij elektromagnetische energie door een bron wordt uitgestraald.

Radiofrequentie emissie.

Radiofrequentie emissie, ook radiofrequente interferentie (RFI) genoemd is een elektromagnetische storing die gegenereerd wordt door elektrische apparaten en kan ontvangen worden door andere apparaten.

In voedingen wordt RFI veroorzaakt door schakelelementen. Des te steiler de spanningsverschillen en hoger de schakelfrequenties des te groter wordt het gehalte aan harmonischen in de gegenereerde storingen. Deze storingen worden overgebracht op andere onderdelen in de voeding. Uiteindelijk zijn er meerdere storingsbronnen en wordt een breed spectrum van frequenties gegenereerd.

Internationale basic emission standard worden vastgelegd door de CISPR (Comité international spécial des perturbations radioélectriques – International special committee on radio interference) en overgenomen door nationale of multinationale autoriteiten.

Het is gebruikelijk laagfrequent storingen (150 kHz tot ca. 30 MHz) te meten als spanningen tussen de voedingslijnen en aarde (geleide storingen) en bij hogere frequenties (boven ca. 30 MHz) als veldsterkte of vermogen (uitgestraalde storingen).

Onderstaande grafieken geven een overzicht van meest voorkomende internationale standaards voor geleide en gestraalde emissie.

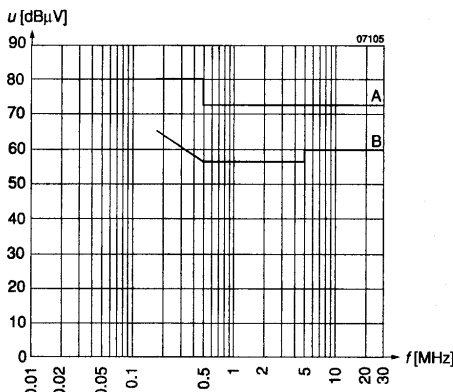


Fig. 1 Storende spanningslimieten (quasi-piek) volgens CISPR 11/EN 55011 en CISPR 22/EN 55022

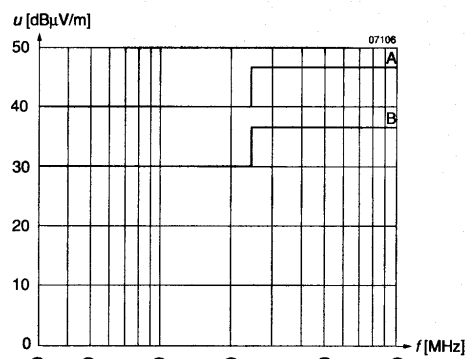


Fig. 2 Storende veldsterkte limieten (quasi-piek) volgens CISPR 11/EN 55011 en CISPR 22/EN 55022, genormaliseerd op een afstand van 10 m

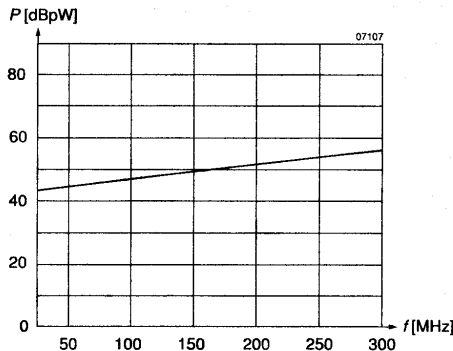


Fig. 3 Storende vermogenslimieten (quasi-piek) volgens CISPR 14/EN 55014

CISPR 11/EN 55011: Industriële, wetenschappelijk en medisch (ISM) radio-frequentie apparatuur – Elektromagnetische storingskarakteristiek – Limieten en meetmethoden.

CISPR 14/EN 55014 (= VDE 0875, deel 14): Limieten en meetmethoden van RFI karakteristieken van elektrische motorgestuurde en thermische toestellen voor huishoudelijke en gelijkaardige toepassingen, elektrische gereedschappen en gelijkaardige elektrische apparaten.

Deze standaard is niet meteen van toepassing op voedingen, maar beschrijft meetmethoden voor het meten van uitgestraald elektromagnetisch vermogen gebruikmakend van een absorberende MDS-klem. De klem laat toe op een eenvoudige wijze metingen uit te voeren op een kabel met gedefinieerde lengte.

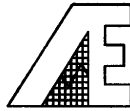
CISPR 22/EN 55022 (= VDE 0878, deel 22; overeenkomstig met FCC, deel 15): Limieten en meetmethoden van de RFI karakteristiek van informatie technologie (IT) toestellen.

MIL-STD-461C: Elektromagnetische emissie- en gevoeligheidscriteria voor de controle van RFI.

Omrekeningstabel

Conversie tabel

$\mu\text{W}/\text{m}^2$	mV/m	$\mu\text{W}/\text{m}^2$	mV/m	$\mu\text{W}/\text{m}^2$	mV/m
0,01	1,94	1,0	19,4	100	194
-	-	1,2	21,3	120	213
-	-	1,4	23,0	140	230
-	-	1,6	24,6	160	246
-	-	1,8	26,0	180	261
0,02	2,75	2,0	27,5	200	275
-	-	2,5	30,7	250	307
0,03	3,36	3,0	33,6	300	336
-	-	3,5	36,3	350	363
0,04	3,88	4,0	38,8	400	388
0,05	4,34	5,0	43,4	500	434
0,06	4,76	6,0	47,6	600	476
0,07	5,14	7,0	51,4	700	514
0,08	5,49	8,0	54,9	800	549
0,09	5,82	9,0	58,2	900	583
0,10	6,14	10,0	61,4	1000	614
0,12	6,73	12,0	67,3	1200	673
0,14	7,36	14,0	72,6	1400	727
0,16	7,77	16,0	77,7	1600	777
0,18	8,24	18,0	82,4	1800	824
0,20	8,68	20,0	86,8	2000	868
0,25	9,71	25,0	97,1	2500	971
0,30	10,6	30,0	106	3000	1063
0,35	11,5	35,0	115	3500	1149
0,40	12,3	40,0	123	4000	1228
0,50	13,7	50,0	137	5000	1373
0,60	15,0	60,0	150	6000	1504
0,70	16,2	70,0	162	7000	1624
0,80	17,4	80,0	174	8000	1737
0,90	18,4	90,0	184	9000	1842



AMERICAN ENVIRONMENTS COMPANY, INC.
 17 COMMERCIAL BLVD., MEDFORD, N.Y. 11763-1522
 Phone (631) 736-5883 FAX (631) 736-5272
 URL <http://www.aeco.com> E-MAIL test@aeco.com

EMI Conversion Tables

POWER

CONVERT FROM	To	FUNCTION
dBm	dB μ V	add 107dB
dB μ V	dBm	subtract 107dB
dBm/m ²	dB μ V/m	add 115.77 dB
dB μ V/m	dBm/m ²	subtract 115.77 dB
mW/cm ²	W/m ²	multiply by 10
W/m ²	mW/cm ²	divide by 10

VOLTAGE

CONVERT FROM	To	FUNCTION
dB above 1 μ V	μ V	antilog (dB μ V/20)
μ V	dB above 1 μ V	20log(μ V)
μ V/MHz	μ V/kHz	divide by 1000
μ V/kHz	μ V/MHz	multiply by 1000
dB μ V/MHz	dB μ V/kHz	subtract 60dB
dB μ V/kHz	dB μ V/MHz	add 60dB

FIELD STRENGTH

CONVERT FROM	To	FUNCTION
V/m	W/m ²	(V/m) ² ÷ 377
W/m ²	V/m	SQR (377 X W/m ²)
mW/m ²	mW/cm ²	multiply by 10 ⁻⁴
mW/cm ²	mW/m ²	multiply by 10 ⁴
dBm/m ²	dBm/cm ²	subtract 40dB
dBm/cm ²	dBm/m ²	add 40dB

MAGNETIC FIELD

CONVERT FROM	To	FUNCTION
oersted	ampere/meter	multiply by 79.58
ampere/meter	oersted	divide by 79.58
faraday	coulombs	multiply by 96,490
coulombs	faraday	divide by 96,490
gauss	tesla	multiply by 10 ⁻⁴
tesla	gauss	multiply by 10 ⁴
gilbert	ampere turn	multiply by 0.7958
ampere turn	gilbert	divide by 0.7958
maxwell	weber	multiply by 10 ⁻⁸
weber	maxwell	multiply by 10 ⁸

Frequency (F) and Wavelength (λ) Conversions

METRIC
Frequency in kHz = (300,000) / wavelength in meters
Frequency in MHz = (300) / wavelength in meters
Wavelength in meters = (300,000) / frequency in kHz
Wavelength in meters = (300) / frequency in MHz

ENGLISH
Frequency in kHz = (984,000) / wavelength in feet
Frequency in MHz = (984) / wavelength in feet
Wavelength in feet = (984,000) / frequency in kHz
Wavelength in feet = (984) / frequency in MHz

• DYNAMIC, CLIMATIC & EMI TESTING •

dB versus dBm

inleiding:

Dit vertaalde artikel wil ons een eenvoudig beeld schetsen bij het gebruik van dB en dBm. Deze twee eenheden zorgen soms voor verwarring, daarom zijn achteraan een vijftal voorbeelden van testgevallen gegeven die bovenstaande kunnen bevestigen. De rekenmethode is juist dezelfde zoals in mijn vorige artikels reeds beschreven is (**Logaritmen en dB's zonder meer**, december 2009) en (**EMC en EMI**, september 2010).

dB en dBm zijn gebaseerd op logaritmische functies en hebben verschillende eenheden. dB's zijn verwant met vermogensverhouding terwijl dBm absolute vermogens weergeven.

on4apn maurits
dec 2010

dB en dBm definities:

beschouwen we eerst de dB: de dB is een methode om 2 vermogens te vergelijken. Deze definitie is:

$$dB = 10 \log P1/P2 \quad (1) \quad \text{vermogensverhouding} \rightarrow dB$$

voorbeeld:

een laagvermogen zender heeft 5W output terwijl de andere zender een vermogen heeft van 4000W output. Vervangen we 4000 voor P1 en 5 voor P2 in de formule, dan is het signaal 29dB sterker.

Een plaats waar de dB gebruikt wordt is de specifieke gain van een versterker. P1 wordt de versterker output en P2 het ingangsvermogen. De winst of gain kan dan bepaald worden als een vermogensverhouding, P1/I2, of als de verwante waarde in dB.

voorbeeld:

een signaalgenerator heeft een output van 2mW dat wordt ingevoerd aan de input van een versterker. We meten aan de output 15mW. De gain als een vermogensverhouding is 7,5, of 8,75dB (zie (1)).

Een andere plaats waar dB gebruikt wordt is bij verzwakkers. In dit geval is P1 de input terwijl P2 de output is, dit resultaat is een positief getal.

voorbeeld:

een verzwakker of attenuator heeft een output dat 1/5 van het vermogen bedraagt en is toegepast aan de input.

De verzwakking is een vermogensverhouding van 5 of 7dB (opgepast: de verzwakking is niet -7dB. We kunnen evenwel zeggen dat de gain van de verzwakker -7dB is. Eén van de gebruikelijke eigenschappen van de log functie is dat wanneer we P1/P2 verwisselen met de omgekeerde verhouding P2/P1, de log van de verhouding enkel van teken verandert).

De dBm:

Beschouwen we een speciaal geval voor de dB vergelijking.

Voor deze specifieke situatie meten we altijd vermogen P1 in mW en altijd P2 bij 1mW. We noemen het resultaat dBm. Breng deze conditie in vergelijking (1) om uit te vinden hoeveel keer het dB vermogen boven 1mW is. De definitie voor dBm is:

$$dBm = 10 \log (P \text{ mW}) \quad (2) \quad \text{milliWatt} \rightarrow dBm$$

Vermogen in dBm is berekent met het vermogen in de log functie gespecificeerd in mW. Een vermogen in dBm is een maat voor hoeveel, in dB, het vermogen 1mW overschrijd. We hadden een output van 15mW tijdens de meting van de versterker in het hierboven aangehaalde voorbeeld. Het output vermogen is dan (van (2)), 11,76dBm. Het input vermogen voor dezelfde versterkermeting was 2mW, of 3,01dBm.

Het verschil tussen de twee dBm waarden is de gain waarde, 8,75dB. Hier is iets speciaals: we hebben 2 getallen van mekaar afgetrokken om een ander getal te verkrijgen. Dit is de verdienste van

de logaritmische functie. Som en verschil van log's van getallen komen overeen met het product of de verhouding (deling) van de originele getallen.

De zender met 4000W output is gelijk aan 4 miljoen mW of +66dBm. Gain is gewoonlijk een positief getal, hetzelfde geldt voor verzwakking.

In contrast hiermee komen we ook negatieve dBm waarden tegen. Bijvoorbeeld, 1microwatt is 0,001milliwatt. Vandaar dat 1 microwatt gelijk is aan -30dBm. Negatieve getallen zijn algemeen wanneer we vermogendelingen maken in dBm. Let dus op met het teken vooraleer het grove verschillen in de resultaten maakt. Zeer kleine dBm waarden zijn algemeen in RF toepassingen. Bijvoorbeeld, een algemene waarde voor een minimum detecteerbaar signaal in een redelijke communicatieontvanger met een bandbreedte van 500Hz is -137dBm.

Conversie van dB of dBm waarden terug naar niet log waarden.

De gain of verzwakkingwaarden in dB zijn omgezet naar een eenvoudige vermogensverhouding.

$$\text{vermogensverhouding} = 10 \log_{10} \frac{\text{dB}}{10} \quad (3) \quad \text{dB} \rightarrow \text{vermogensverhouding}$$

voorbeeld:

een versterker geeft als gain 13dB en heeft dus een vermogensverhouding van 19,95 of 20 ($10^{1,3} = 20$)

een vermogen in dBm is omgezet naar milliwatt

$$\text{milliwatt} = 10 \log_{10} \frac{\text{dBm}}{10} \quad (4) \quad \text{dBm} \rightarrow \text{milliwatt}$$

voorbeeld:

we regelen een signaalgenerator voor een output van +7dBm. Het vermogen is dan 5,01mW ($10^{0,7} = 5,01$)

Laat ons nu enkele testgevallen beschouwen:

1) Voor een verzwakker geeft men een waarde aan van "3dBm loss". De gebruikte eenheid is dBm, dus voeren we een waarde in van -3 in de formule (4) dat dBm omzet naar milliwatt, en we vinden dat de output 0,5mW minder is dan de input. Maar dit heeft geen enkele zin.

Wat zou het zijn wanneer de input 0,1mW zou zijn?

De berekening zou dan $10 \log_{10} 0,0001/10 = -0,04\text{mW}$ geven, maar vermogen is niet negatief.

Pads (*) bepalen dat de output lager is dan de input bij een constante deling of verhouding. Een verhouding impliceert twee getallen, wat eerder verenigbaar is met dB en minder met dBm.

Wat geeft dit bij een pad van 3dB verlies? Omzetting van 3dB naar een vermogensverhouding volgens formule (3) geeft aan dat de vermogensverhouding gelijk is aan 2, dit betekent dat de pad een output heeft gelijk aan de helft van de input. Dit heeft meer betekenis.

(*) een Pad of Pads is niets meer dan een netwerk gemaakt uit weerstanden dat verliezen creëert.

2) In een experiment wordt een spectrum analyser gebruikt om de output van een oscillator te meten voor gebruik in een zender. De meting geeft een waarde van 5dB aan. De gebruikte eenheid is dB. Of dit juist is zetten we de dB waarde om in een vermogensverhouding. Gebruik makende van formule (3) komt onze 5dB overeen met een vermogensverhouding van 3,16. Dit betekent 3,16 keer de input. Wat betekent dit? Welke input? Het is niet dit wat we zoeken. De spectrum analyser meet signalen in dBm. Formule (4) zegt ons dat +5dBm gelijk is aan 3,16mW, wat een resultaat is dat meer comfortabel is.

3) Een ander experiment is werken aan een IF versterker voor een microgolf ontvanger. Men maakt gebruik van een cascade van drie mini circuit ERA versterkers en meten een gain van 41,1dBm. Is dit de juiste eenheid? Daar het dBm is gebruiken we formule (4) dewelke dBm in mW omzet, met als

resultaat dat de gain 12.882mW is, dus ongeveer 13W. Dit zijn verkeerde eenheden. Gain wordt uitgedrukt in dB, niet in dBm. Als we aannemen dat 41,1dB omgezet is in vermogensverhouding gelijk is aan 12.882, dan zegt dit dat de output meer dan 10.000 keer de input is, maar dit zegt ons niet hoeveel watt eruit het circuit komt. De dB eenheid geeft de betekenis, maar de dBm doet dat niet.

4) Een UHF circuit, Wilkinson vermogendeler genoemd, wordt gebruikt in transmissielijn delen om te bepalen dat wanneer ze worden aangestuurd door 1 bron, twee gelijke outputs geven. Het circuit heeft geen interne verliezen en elke output zou de helft van het vermogen geven dat is toegepast aan de input. Een van de vele eigenschappen van deze deler is dat de 2 outputs van elkaar geïsoleerd zijn. Maar hoe goed zijn deze geïsoleerd?

Om dit te evalueren is de linker output niet afgesloten. Een 1mW signaalgenerator was verbonden aan één van de outputs en de spectrum analyser was verbonden met de andere output. De output werd beschreven als 23dBm minder of lager dan de input, zodat de scheiding of isolatie 23dBm was. Is dit de bedoeling?

Daar de gebruikte parameter de dBm is maken we gebruik van formule (4), omzetting naar mW. 23dBm is ongeveer 200mW. Dit kan juist zijn. Hoe kan een passief circuit (één zonder voeding en zonder transistor) 200mW leveren met de geleverde 1mW?

Wanneer we de eenheid dB gebruiken zetten we 23dB om naar een vermogensverhouding van 200 (3). Dit zegt dat het vermogen aan de tegengestelde output minder is dan toegepast bij een factor 200.

Dit is een bruikbaar circuit en een bruikbare manier om het te beschrijven.

5) Tot slot een meer subtiel geval. We gaan uit van een zelfgebouwde zwakke signaalbron die men vervolgens met een kwaliteitsgenerator ijkt. Men beluistert de twee bronnen in een ontvanger en regelt de ijkgenerator totdat de twee uitkomsten gelijk zijn.

De labgenerator geeft -109dBm aan. Toepassen van formule (4) zegt dat dit ons een vermogen geeft van $1,26 \times 10^{-11}$ mW. Dit is een zwak signaal, maar nog sterk genoeg vergeleken met de ruis die men normaal in een ontvanger tegenkomt. Wat met de nauwkeurigheid? De conclusie is dat de labgenerator output vermoedelijk een signaal levert dat ergens tussen de -109,5dBm en -108,5dBm ligt, waarbij we op de generator output -109dBm afleest. Dit zegt dus dat de output -109dBm $\pm 0,5$ dBm is. Is dit juist? Nee, niet helemaal. We kunnen besluiten dat de -109dBm een juist gebruik van de dBm is, maar wat met de fout van 1dBm? Gebruikmakende van formule (4) verondersteld dat dit ruissignaal een fout heeft van $\pm 1,25$ mW. Dit impliceert een fout van 100biljoen keer het actueel vermogen.

Wat, in geval de fout 0,5dB was? Dit is een vermogensverhouding, met formule (3), van 1,12. Dit is het gespecificeerde actueel vermogen van $1,12 \times 10^{-11}$ mW vermenigvuldigd of gedeeld door 1,12. Er blijft dus een fout van $\pm 12\%$ van het juiste generatorsignaal. Het generatorvermogen van -109dBm, $\pm 0,5$ dB heeft dus meer betekenis.

Deze verwarring met eenheden zorgt voor veel voorkomende fouten, zelfs in beroepsmiddens.

Besluit:

dB en dBm zijn verschillende eenheden en worden gebruikt voor verschillende metingen. dB is verwant met vermogensverhouding terwijl dBm het absolute vermogen beschrijft. Attent zijn met het gebruik van de eenheden vermijd niet alleen moeilijkheden maar wil onze communicatie en uiteindelijk onze basiskennis van onze circuits en metingen verhogen.

bron: dB versus dBm, Which is correct?
Wes Hayward, W7ZOI dec.2007