

Toelichting behorende bij blok: Neem contact op met RDI

Alvorens je contact gaat opnemen met de Rijksdienst Digitale Infrastructuur (RDI) moet je je afvragen of contact opnemen nut heeft.

Het kan zijn dat je hinder ondervindt van een elektrisch apparaat in jouw omgeving, maar dat wil niet zeggen dat het desbetreffende apparaat niet aan de wettelijk eisen voldoet. Voldoet het apparaat aan de norm dan heeft het indienen van een klacht bij de RDI naar alle waarschijnlijkheid geen nut.

Elektrische apparatuur die in de EEG verkocht wordt moet voldoen aan diverse CE-normen. Zo zijn er ook normen op het gebied van de hoeveelheid elektromagnetische straling die door een apparaat afgegeven mag worden, in deze normen is vastgelegd wat de maximale hoeveelheid hoogfrequent straling is die door een elektrisch apparaat afgegeven mag worden over een bepaald frequentiegebied.

Hierbij wordt er onderscheid gemaakt tussen zogenaamde conducted emission en radiated emission.

Bij conducted emission wordt de hoogfrequent straling (stoor signalen van een bepaalde frequentie die in het apparaat opgewekt worden) van een apparaat via het netsnoer van het apparaat doorgegeven aan de bedrading van het lichtnet waarop het apparaat aangesloten is.

Deze ongewenste signalen op de draden van het lichtnet verplaatsen zich via het lichtnet en kunnen via deze weg in onze ontvangers terecht komen en daar voor een storing zorgen.

Het kan ook zijn dat de draden van het lichtnet waarop het apparaat aangesloten is zich gaan gedragen als een antenne die het stoorsignaal uitstraalt, dit stoor signaal wordt vervolgens door onze antenne weer opgevangen en is hoorbaar in onze ontvanger als een ongewenst signaal.

De meeste normen voor conducted emissie zijn gedefinieerd in een frequentiegebied tussen 0,15 MHz en 30 MHz.

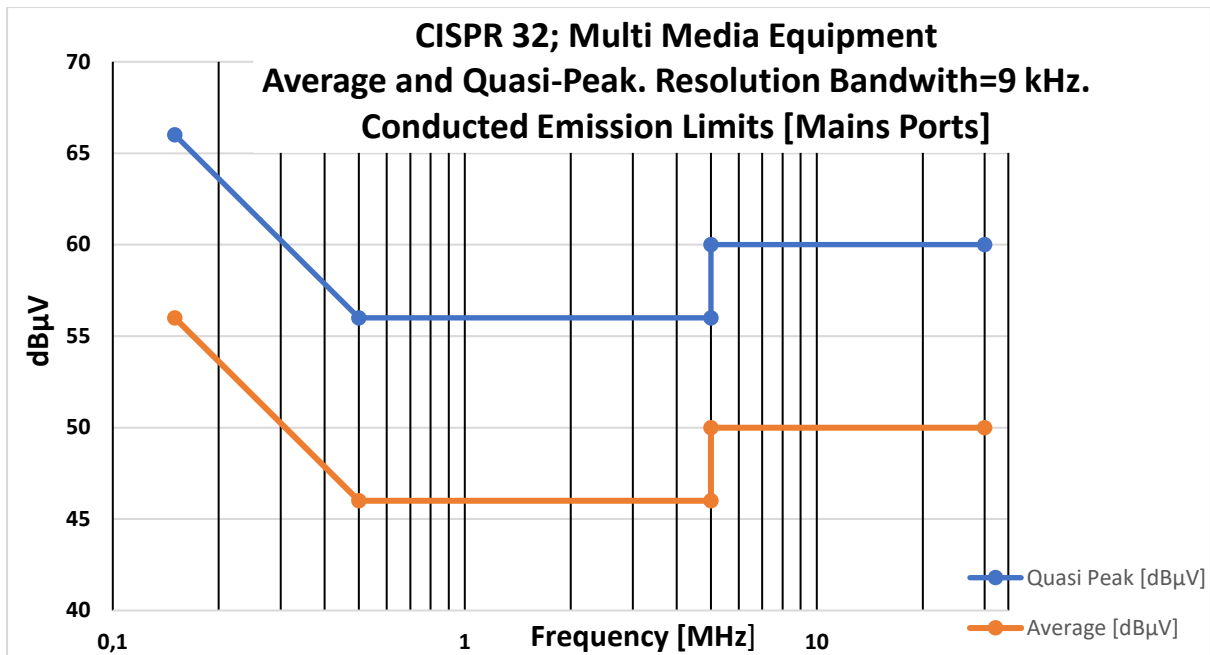
Bij radiated emission wordt het stoorsignaal door het apparaat en de bedrading die op het apparaat aangesloten is uitgestraald.

De normen voor radiated emissie beginnen bij 30 MHz en kunnen doorlopen tot in het GHz bereik.

In onderstaande afbeelding zie je een voorbeeld voor conducted emission via de netaansluiting uit de zogenaamde CISPR 32 norm.

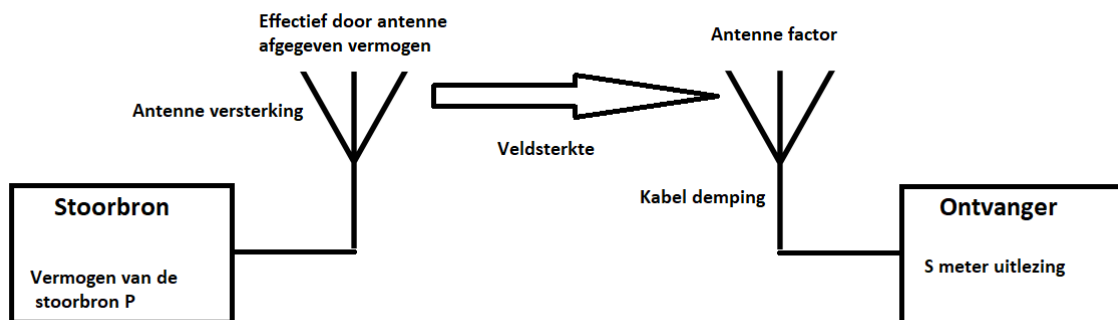
In deze norm is vastgelegd aan welke eisen multimedia equipment moet voldoen voor conducted emission die via de netaansluiting op het lichtnet geïnjecteerd wordt.

In de afbeelding zie je twee lijnen lopen. Deze twee lijnen geven de maximale limiet aan waaraan het apparaat moet voldoen. De storing wordt gemeten met een meetontvanger. Deze ontvanger kan de gemiddelde signaalsterkte (hoogfrequent signaal uit het te meten apparaat) bij een bepaalde frequentie meten (Average) of de quasi piek waarde van het signaal bij een bepaalde frequentie. Deze laatste meetmethode komt overeen met de meetmethode van onze S meter.



Om te kunnen beoordelen of het indienen van een klacht bij de RDI nut heeft zullen we hieronder aan de hand van een rekenvoorbeeld laten zien welke signaalsterkte onze S-meter aangeeft bij een stoorbron in de 80 meterband die zich op 20 meter van onze antenne bevindt. De storing is afkomstig van een stoorbron die net voldoet aan de eisen voor conducted emissie. Uit bovenstaande afbeelding kunnen we aflezen dat bij een Quasi Peak meting het signaal niveau van een 3,6 MHz signaal uit het apparaat maximaal 56 dBµV mag bedragen.

Om te kunnen berekenen welke waarde onze S meter zal aangeven, moeten we de veldsterkte weten die de stoorbron opwekt bij onze ontvangst antenne, de antennefactor van de antenne die op de ontvanger is aangesloten en de demping van de kabel tussen antenne en ontvanger. De veldsterkte bij onze ontvangst antenne is afhankelijk van de veldsterkte die opgewekt wordt door de stoorbron. De veldsterkte opgewekt door de stoorbron is weer afhankelijk van het vermogen van de stoorbron en de versterking van de antenne waar de stoorbron op aangesloten is. In ons voorbeeld is de antenne waarop de stoorbron aangesloten is het lichtnet.



In deze berekeningen gaan we uit van de volgende aannames.

- De ontvanger bevindt zich in het verre veld, dit betekent dat de afstand tussen zender en ontvanger groter is dan  $\lambda/2\pi$ ;
- De impedantie van het lichtnet is  $50\Omega$ ;
- De bandbreedte van de storing is  $<2,7$  kHz, zodat het stoorsignaal past binnen de doorlaat van onze ontvanger;
- De ontvangstantenne heeft vrij zicht op de antenne van de stoorbron;
- De ontvangstantenne en antenne van de stoorbron zijn optimaal ten opzicht van elkaar uitgericht.

Bij het uitvoeren van de nodige berekeningen wordt gebruik gemaakt van de theorie en formules zoals deze beschreven staan in hoofdstuk 8 en 9 van: Design for Electromagnetic Compatibility - In a Nutshell.

Voor het berekenen van de veldsterkte bij de ontvangstantenne kunnen we gebruik maken van onderstaande formule:

$$E = \frac{1}{d} \sqrt{30\Omega} \times \sqrt{P}$$

Hierin is:

E Veldsterkte in volt per meter [V/m]

d Afstand in meter [m]

P Effectief door de antenne uitgestraald vermogen van de stoorbron in Watt [W]

Het effectief uitgestraalde vermogen is afhankelijk van het vermogen van de stoorbron en de versterkingsfactor van de antenne (antenne gain) ten opzichte van een isotrope straler, een isotrope straler heeft een versterkingsfactor 1.

$$P = P_{ant} * G_i$$

Hierin is:

P Effectief door de antenne uitgestraalde vermogen van de stoorbron in Watt [W].

$P_{ant}$  Het vermogen van de stoorbron aangeboden aan de antenne in Watt [W].

$G_i$  Dimensieloze versterking van de antenne ten opzicht van een isotrope straler.

In onderstaande tabel kunnen we aflezen dat een stoorsignaal van 56 dB $\mu$ V een vermogen heeft van: 7,96 nW, dit is  $7,96 \cdot 10^{-6}$  W

dB $\mu$ V	Voltage		dBV	dBW	dBm	Power	
51	354.8	$\mu$ V	-69	-86	-56	2.52	nW
52	398.1	$\mu$ V	-68	-85	-55	3.17	nW
53	446.7	$\mu$ V	-67	-84	-54	3.99	nW
54	501.2	$\mu$ V	-66	-83	-53	5.02	nW
55	562.3	$\mu$ V	-65	-82	-52	6.32	nW
56	631	$\mu$ V	-64	-81	-51	7.96	nW

De gain van het lichtnet in een huis kunnen we terugvinden in hoofdstuk 7, tabel 7.4, in het proefschrift; Cumulation of Man-Made Radio Noise van Koos Fockens, PA0KDF.

Table 7.4. Expectation values of antenna gain of inhouse mains networks.

Frequency [MHz]	1.85	3.65	5.35	7.1	10.1	14.2	18.1	21.1	25.0	28.5
Isotropic antenna gain [dBi]	-38.3	-35.7	-33.7	-32.3	-30.0	-29.4	-28.8	-28.3	-27.8	-27.2

Op 3,65 MHz heeft de bedrading van het lichtnet die als antenne functioneert een versterking van -35,7 dBi.

De versterking (gain) van een antenne ten opzichte van een isotrope straler kunnen we berekenen met onderstaande formule:

$$G_i [\text{dBi}] = 10 \log_{10} (G_i)$$

Hierin is:

$G_i [\text{dBi}]$  De versterking van een antenne ten opzichte van een isotrope straler in dBi [dBi].

$G_i$  De versterking van een antenne ten opzichte van een isotrope straler dimensieloos.

Met behulp van wat wiskunde kunnen we de versterking in dBi omrekenen naar de op dit moment gewenste dimensieloze versterking van de antenne van de stoorbron.

In onderstaande tabel geeft een overzicht van de dimensieloze gain van het lichtnet in huis voor diverse frequenties.

Frequentie [MHz]	1.85	3.65	5.35	7.1	10.1	14.2	18.1	21.1	25	28.5
Gain [dBi]	-38,3	-35,7	-33,7	-32,3	-30	-29,4	-28,8	-28,3	-27,8	-27,2
Gain	1,48E-04	2,69E-04	4,27E-04	5,89E-04	1,00E-03	1,15E-03	1,32E-03	1,48E-03	1,66E-03	1,91E-03

Met deze gegevens kunnen we het effectief door de stoorbron uitgestraalde vermogen berekenen.

$$P_{\text{ant}} = 7,96 \cdot 10^{-9} \text{ W}$$

$$G_{i(3,65 \text{ MHz})} = 2,69 \cdot 10^{-4}$$

$$P = P_{\text{ant}} * G_i$$

$$= 7,96 \cdot 10^{-9} * 2,69 \cdot 10^{-4}$$

$$= 2,14 \cdot 10^{-12} \text{ W}$$

Nu we het effectief door de antenne uitgestraalde vermogen van de stoorbron weten kunnen we de veldsterkte op 20 meter afstand van de stoorbron berekenen.

$$E = \frac{1}{d} \sqrt{30\Omega} \times \sqrt{P}$$

d = 20 m

P = 2,14 · 10<sup>-12</sup> W

$$E = \frac{1}{20} \sqrt{30} \sqrt{2,14 \cdot 10^{-12}}$$

E = 4,01 · 10<sup>-7</sup> V/m = 0,40 μV/m

We weten nu dat de veldsterkte veroorzaakt door de stoorbron bij onze ontvangstantenne 0,40 μV/m is.

De signaalsterkte die door onze S meter aangegeven wordt hangt af van:

- De veldsterkte bij de ontvangst antenne;
- De antenne factor van de ontvangst antenne;
- De demping van de transmissielijn en gebruikte connectors tussen ontvanger en ontvangst antenne.

Er geldt nu:

$$V_{s\text{-meter}} = E - AF - D$$

Hierin is:

V<sub>s-meter</sub> = Gemeten spanning van de veldsterkte weer gegeven door de S-meter in dBμV [dBμV]

E = Veldsterkte bij de ontvangst antenne in dBμV [dBμV]

AF = De antenne factor van de de ontvangst antenne in dB per meter [db(1/m)]

D = Demping van gebruikte kabels en connectoren tussen antenne en ontvanger in dB [dB]

In onze situatie gebruiken we de antenne factor om te bereken welke spanning er aan de antenne klemmen afgegeven wordt ten gevolge van de elektrische veldsterkte waarin de ontvangst antenne zich bevindt.

Voor het berekenen van de antenne factor wordt in het boek: Design for Electromagnetic Compatibility - In a Nutshell, onderstaande formule afgeleid.

$$AF \quad [1/m] = \frac{9.73}{\lambda \sqrt{G_{ir}}}$$

Hierin is:

AF = Antenne factor van een antenne die in het verre veld geplaatst is, die vrij opgehangen is en een impedantie heeft van 50 Ω in per meter [1/m]

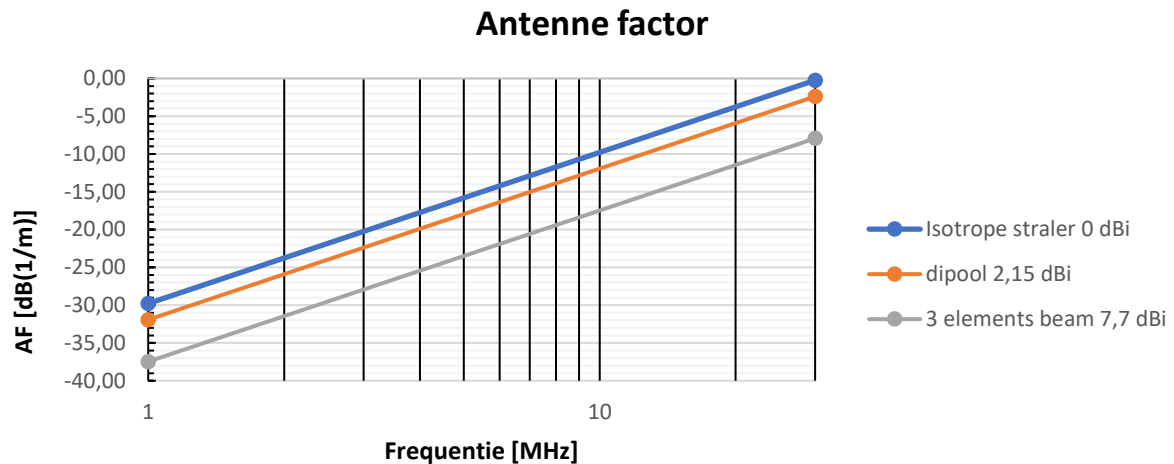
λ = Golflengte in meter [m]

G<sub>ir</sub> = De de dimensieloze versterking van de ontvangst antenne

Zo is de gain van een dipool ten opzichte van een isotrope straler ongeveer 1,64.

Om de uitkomst van bovenstaande berekening te kunnen gebruiken dient de antenne factor uitgedrukt te worden in dB.  
Hiervoor gebruiken we onderstaande formule.

$$AF [dB(1/m)] = 20 \log_{10} (AF [1/m])$$



In bovenstaande afbeelding zie je de antenne factor als functie van de frequentie afgebeeld voor drie type antennes.

Met behulp van deze grafiek kun je voor je eigen situatie, als je de versterking van je antenne ten opzichte van een isotrope straler weet, zelf de antenne factor bepalen bij een gewenste frequentie. Dit doe je door de gain van jouw antenne in dBi af te trekken van de antenne factor van de isotrope straler. In bovenstaande grafiek kun je aflezen dat de antenne factor van de 3 elements beam 7,7 dB lager ligt dan de antenne factor van de isotrope straler.

Dit betekent dus als je antenne versterking heeft ligt de antenne factor onder de antenne factor van de isotrope straler, heeft je antenne verzwakking dan komt deze hoger te liggen.

In onderstaande tabel vind je de antenne factoren terug voor diverse amateur frequenties voor een isotrope straler.

Antenne factor voor een isotrope straler										
Frequentie [MHz]	1,85	3,65	5,35	7,1	10,1	14,2	18,1	21,1	25	28,5
Antenne factor [1/m]	0,060001667	0,118381667	0,17351833	0,23027667	0,32757667	0,46055333	0,58704333	0,68434333	0,81083333	0,92435
Antenne factor [dB(1/m)]	-24,44	-18,53	-15,21	-12,76	-9,69	-6,73	-4,63	-3,29	-1,82	-0,68

Uit deze tabel kunnen we aflezen dat voor ons voorbeeld de antenne factor voor de isotrope straler op 3,65 MHz -18,53 dB(1/m)] bedraagt.

Nu hebben wij als ontvangstantenne niet de beschikking over een isotrope straler maar voor 80 meter gebruiken we bijvoorbeeld een dipool of End-fed. De dimensieloze gain van een dipool of End-fed is 1,64 ten opzichte van een isotrope straler. De gain in dB bedraagt dan:

$$G_i [\text{dBi}] = 10 \log_{10} (G_i)$$

$$= \log_{10} 1,64$$

$$= 2,15 \text{ dBi}$$

Dit betekent dat de antenne factor voor een dipool op 80 meter overeenkomt met de antenne factor van een isotrope straler verminderd met de gain van een dipool:

$$AF_{\text{dipool}} = AF_{\text{iso}} - G_{\text{dipool}} = -18,53 - 2,15 = -20,68 \text{ dB(1/m)}.$$

Stel dat de demping, D, van de gebruikte transmissielijn en connectoren in totaal 2 dB bedraagt.

Dan kunnen we nu de spanning uit rekenen die aan de S-meter aangeboden wordt.

$$V_{\text{s-meter}} = E - AF_{\text{dipool}} - D = -7,96 - (-20,68) - 2 = 10,72 \text{ dB}\mu\text{V}$$

In onderstaande tabel kunnen we dan aflezen dat dit stoorsignaal een S meter uitslag zal geven van ongeveer S5.

Conversie tussen spanning aan S-meter en S eenheden	
Aangeboden spanning [dBμV]	S-meter aflezing
74	S9 + 40 dB
64	S9 + 30 dB
54	S9 + 20 dB
44	S9 + 10 dB
34	S9
28	S8
22	S7
16	S6
10	S5
4	S4
-2	S3
-8	S2
-14	S1

De conclusie van deze hele berekening is dat een elektrisch apparaat dat net aan de wettelijke eisen voor conducted radiation voldoet op de 80 meterband een stoorsignaal "mag" produceren dat op een afstand van 20 meter tussen stoorbron en ontvangst antenne een signaal in onze ontvanger produceert met een sterkte van S5.

Wil de eigenaar van dit apparaat niet meewerken aan vervangen of het ontstoren van het apparaat dan heeft het indienen van een klacht bij de RDI weinig zin. Het apparaat voldoet immers aan de wettelijke eisen.

Tevens dien je er mee rekening te houden in de praktijk dat de veldsterkte die bij je antenne aanwezig niet alleen bepaald wordt door de veldsterkte van alleen de stoorbron op 20 meter afstand maar samengesteld is uit veldsterktes afkomstig van verschillende bronnen. De S meter aanwijzing is dan ook afhankelijk van het onderlinge faseverschil en de amplitude van deze verschillende veldsterktes.

Heb je zelf te maken met een storing en geen zin in veel rekenwerk dan kun je met onderstaande tabel en de tabel die dB $\mu$ V omzet naar S meter waarde bepalen of klagen over een storing nut heeft of niet.

Het enige wat je bij benadering moet weten is de versterking van jouw antenne in dBi, de verzwakking van de door jou gebruikte coaxkabel en connectoren en de afstand tussen jou en de stoorbron.

Stel je gebruikt op 80 een dipool als antenne, deze heeft een gain van 2,15 dBi, de verzwakking van de door jou gebruikte kabel is 3 dB. De afstand tussen jouw antenne en de stoorbron is 20 meter.



## Gebruiksaanwijzing:

1. Zoek in Tabel 1 op wat het maximaal toegestane niveau in dB $\mu$ V is bij een bepaalde frequentie, afstand tot de stoorbron en een antenne zonder gain.  
Voorbeeld: Op 3,65 MHz en een afstand tot de stoorbron van 20 meter zou het niveau van de storing dan niet meer mogen bedragen dan 10,6 dB $\mu$ V.

S meter uitslag ten gevolge van maximaal toegestaan storniveau als functie van de afstand tussen stoorbron en ontvangstantenne.											
S meter uitslag in dB $\mu$ V ten opzicht van een istrope ontvangst antenne.											
		Frequentie [MHz]									
		1,85	3,65	5,35	7,1	10,1	14,2	18,1	21,1	25	28,5
Afstand [m]	0										
	1										
	2									25,78	25,24
	3							24,07	23,23	22,26	21,72
	4						23,07	21,57	20,73	19,76	19,22
	5					23,50	21,14	19,63	18,80	17,82	17,29
	6					21,91	19,55	18,05	17,21	16,24	15,70
	7				21,33	20,57	18,21	16,71	15,87	14,90	14,36
	8				20,17	19,41	17,05	15,55	14,71	13,74	13,20
	9			20,21	19,15	18,39	16,03	14,52	13,69	12,72	12,18
	10			19,29	18,24	17,48	15,12	13,61	12,78	11,80	11,26
	20		10,60	13,27	12,22	11,45	9,10	7,59	6,76	5,78	5,24
	30	10,38	7,07	9,75	8,69	7,93	5,57	4,07	3,23	2,26	1,72
	40	7,88	4,57	7,25	6,20	5,43	3,07	1,57	0,73	-0,24	-0,78
	50	5,94	2,64	5,32	4,26	3,50	1,14	-0,37	-1,20	-2,18	-2,71
	60	4,36	1,05	3,73	2,67	1,91	-0,45	-1,95	-2,79	-3,76	-4,30
	70	3,02	-0,29	2,39	1,33	0,57	-1,79	-3,29	-4,13	-5,10	-5,64
	80	1,86	-1,45	1,23	0,17	-0,59	-2,95	-4,45	-5,29	-6,26	-6,80
	90	0,83	-2,47	0,21	-0,85	-1,61	-3,97	-5,48	-6,31	-7,28	-7,82
	100	-0,08	-3,38	-0,71	-1,76	-2,52	-4,88	-6,39	-7,22	-8,20	-8,74
	110	-0,91	-4,21	-1,53	-2,59	-3,35	-5,71	-7,22	-8,05	-9,02	-9,56
	120	-1,67	-4,97	-2,29	-3,35	-4,11	-6,47	-7,98	-8,81	-9,78	-10,32
	130	-2,36	-5,66	-2,98	-4,04	-4,80	-7,16	-8,67	-9,50	-10,48	-11,01
	140	-3,00	-6,31	-3,63	-4,69	-5,45	-7,81	-9,31	-10,15	-11,12	-11,66
150	-3,60	-6,91	-4,23	-5,29	-6,05	-8,41	-9,91	-10,75	-11,72	-12,26	
160	-4,16	-7,47	-4,79	-5,85	-6,61	-8,97	-10,47	-11,31	-12,28	-12,82	
170	-4,69	-7,99	-5,31	-6,37	-7,13	-9,49	-11,00	-11,83	-12,81	-13,34	
180	-5,19	-8,49	-5,81	-6,87	-7,63	-9,99	-11,50	-12,33	-13,30	-13,84	
190	-5,66	-8,96	-6,28	-7,34	-8,10	-10,46	-11,97	-12,80	-13,77	-14,31	
200	-6,10	-9,40	-6,73	-7,78	-8,55	-10,90	-12,41	-13,24	-14,22	-14,76	
210	-6,53	-9,83	-7,15	-8,21	-8,97	-11,33	-12,84	-13,67	-14,64	-15,18	
220	-6,93	-10,23	-7,55	-8,61	-9,37	-11,73	-13,24	-14,07	-15,05	-15,58	
230	-7,32	-10,62	-7,94	-9,00	-9,76	-12,12	-13,63	-14,46	-15,43	-15,97	
240	-7,69	-10,99	-8,31	-9,37	-10,13	-12,49	-14,00	-14,83	-15,80	-16,34	

**S meter uitslag ten gevolge van maximaal toegestaan stoorniveau als functie van de afstand tussen stoorbron en ontvangstantenne.  
S meter uitslag in dB $\mu$ V ten opzicht van een isotrope ontvangst antenne.**

		Frequentie [MHz]									
		1,85	3,65	5,35	7,1	10,1	14,2	18,1	21,1	25	28,5
250		-8,04	-11,34	-8,66	-9,72	-10,48	-12,84	-14,35	-15,18	-16,16	-16,69
260		-8,38	-11,68	-9,00	-10,06	-10,82	-13,18	-14,69	-15,52	-16,50	-17,03
270		-8,71	-12,01	-9,33	-10,39	-11,15	-13,51	-15,02	-15,85	-16,82	-17,36
280		-9,02	-12,33	-9,65	-10,71	-11,47	-13,83	-15,34	-16,17	-17,14	-17,68
290		-9,33	-12,63	-9,95	-11,01	-11,77	-14,13	-15,64	-16,47	-17,45	-17,98
300		-9,62	-12,93	-10,25	-11,31	-12,07	-14,43	-15,93	-16,77	-17,74	-18,28
310		-9,91	-13,21	-10,53	-11,59	-12,35	-14,71	-16,22	-17,05	-18,02	-18,56
320		-10,18	-13,49	-10,81	-11,87	-12,63	-14,99	-16,49	-17,33	-18,30	-18,84
330		-10,45	-13,75	-11,08	-12,13	-12,90	-15,25	-16,76	-17,59	-18,57	-19,11
340		-10,71	-14,01	-11,33	-12,39	-13,15	-15,51	-17,02	-17,85	-18,83	-19,36
350		-10,96	-14,27	-11,59	-12,64	-13,41	-15,77	-17,27	-18,11	-19,08	-19,62
360		-11,21	-14,51	-11,83	-12,89	-13,65	-16,01	-17,52	-18,35	-19,32	-19,86
370		-11,45	-14,75	-12,07	-13,13	-13,89	-16,25	-17,76	-18,59	-19,56	-20,10
380		-11,68	-14,98	-12,30	-13,36	-14,12	-16,48	-17,99	-18,82	-19,79	-20,33
390		-11,90	-15,21	-12,53	-13,58	-14,35	-16,71	-18,21	-19,05	-20,02	-20,56
400		-12,12	-15,43	-12,75	-13,80	-14,57	-16,93	-18,43	-19,27	-20,24	-20,78

2. Corrigeer dit vervolgens voor de gain van je antenne in dBi(!), verminderd met de verliezen in coax en pluggen. Dus als je antenne gain van 2,15 dBi en de verzwakking van coax en pluggen 3 dB bedraagt geeft de S meter een waarde aan van:

$$S \text{ (meter uitslag isotroop)} + \text{Gain antenne} + \text{verzwakking} = 10,6 + 2,15 - 3 = 9,75 \text{ dB}\mu\text{V}$$

3. Zoek tenslotte in de conversie tabel op met welke uitslag van de S-meter in S-punten of dBm dit overeenkomt.

Conversie tussen spanning aan S-meter en S eenheden	
Aangeboden spanning [dB $\mu$ V]	S-meter aflezing
74	S9 + 40 dB
64	S9 + 30 dB
54	S9 + 20 dB
44	S9 + 10 dB
34	S9
28	S8
22	S7
16	S6
10	S5
4	S4
-2	S3
-8	S2
-14	S1

4. Dit ligt tussen de S4 en S5 in.

5. In ons voorbeeld komt dit overeen met een S meter uitslag van bijna S5
6. Wijst jouw S meter een hogere waarde aan dan S5 dan bestaat de kans dat het apparaat dat de storing veroorzaakt niet voldoet aan de CE eisen en kun je een klacht over dit apparaat indienen bij de RDI.

Je moet hierbij wel een slag om de arm houden. De veldsterkte die de storing veroorzaakt hoeft niet per se van dit ene apparaat afkomstig te zijn maar kan de samenstelling van meerdere stoor- of inband signalen zijn. De S meter zal dan een hogere uitslag hebben dan als er maar een signaal ontvangen wordt.

Gebruikte bronnen:

- Reto B. Keller, Design for Electromagnetic Compatibility - In a Nutshell ISBN 978-3-031-14186-7 (eBook).
- Koos Fockens, PA0KDF, proefschrift Cumulation of Man-Made Radio Noise ISBN (digital): 978-90-365-5743-6
- Thereza M. Macnamara, Handbook of Antennas for EMC, Second Edition, , ISBN 13: 978-1-63081-424-3
- Mailwisseling met PA0KDF, PA1EJO, PA3FIS