

Selbststudium Übungsbeispiele Emissionsspektren

Liebe Studierende!

Dieses Informationsblatt soll den Lösungsweg aufzeigen und Informationen geben, damit die Übungsbeispiele zu den Kapiteln 1.1 und 1.2 leichter gelöst werden können.

Beispielhaft wird der Rechengang für die durch die 3. Harmonische hervorgerufene Störemission einer Doppelleitung gezeigt.

Eine besondere Frequenzgrenze stellt dabei die 2. Eckfrequenz dar, welche ausschließlich (!) durch die Flankensteilheiten beeinflusst wird (falls Flankenanstiegszeit und Flankenabfallzeit ungleich, nehmen wir für eine Worst Case Abschätzung immer die kürzere Zeit!).

2. Eckfrequenz: $f_2 = 1/(\pi \cdot \tau_r)$

Es wird erläutert, wie man zur Hüllkurve des E-Feld Spektrums im Fernfeld gelangt. Daraus erkennt man, dass der Spektralverlauf für Gleichtakt- und Gegentaktssignale unterschiedlich ist und die 2. Eckfrequenz beide Male eine andere Bedeutung hat.

Weiters wird auf die relevanten Kapitel bzw. Seiten im Buch von Clayton Paul und die entsprechenden Folien im Skriptum, Kapitel 2.2 „EMV-Feldstärkemesstechnik“ verwiesen.

Beispiel: Berechnung der Störemission der 3. Harmonischen einer Doppelleitung

Auf einer 10 cm langen 2-Draht-Leitung mit 5 mm Leiterabstand (nicht verdreht!) fließt ein trapezförmiges periodisches Signal. Das Signal hat eine Taktfrequenz von 100 MHz, eine Flankenanstiegs- und Flankenabfallzeit von 1 ns und 50% Duty Cycle.

Der Strom kann in einen Gleichtakt- und Gegentaktanteil aufgeteilt werden. Die Amplitude des Gegentaktanteils (DM = differential mode) beträgt 10 mA, jene des Gleichtaktanteils (CM = common mode) beträgt 0,01 mA.

Im Folgenden wird die Störemission in 10 m Abstand für die 3. Harmonische mit Hilfe der 3-Geraden-Hüllkurvendarstellung und den Formeln aus dem Skriptum abgeschätzt.

Hinweis 1:

Bitte die **Gleichungen 1.2-11 und 1.2-12** aus den Gleichungen 1.2-3 und 1.2-5 herleiten (siehe Clayton Paul 2006, Kapitel 8.1.2 und 8.1.3) und **keinesfalls auswendig lernen!**

Hinweis 2:

Der Verlauf der Transferfunktion E/I steigt für die Gegentaktkomponente mit +40 dB/Dekade, für die Gleichtaktkomponente nur mit +20 dB/Dekade.

Durch Multiplikation der Transferfunktion mit der Hüllkurvendarstellung des Stroms (= graphische Addition der beiden Kurven) erhält man die Hüllkurve des E-Feld Spektrums im Fernfeld (siehe Clayton Paul 2006, Kapitel 8.1.2, Seite 511 und Kapitel 8.1.3, Seite 517).

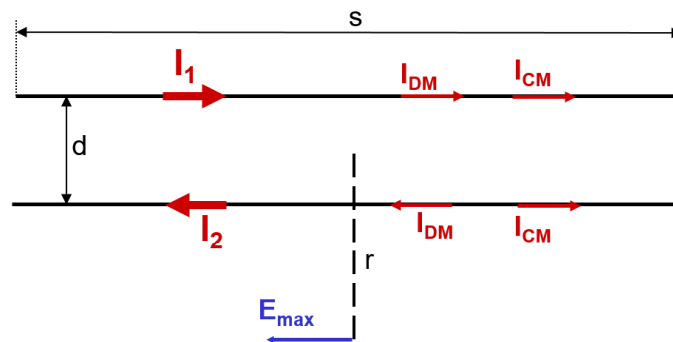
Leiteranordnung und Gleichungen 1.2-11 und 1.2-12:

Doppelleitung

Bei vorhandenen Unsymmetrien oder Potentialdifferenzen fließt ein Gleichtaktstrom auf den Leitungen.

$$I_1 = I_{DM} + I_{CM}$$

$$I_2 = I_{DM} - I_{CM}$$



$$|E_{CM,max}| = 1,257 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{I_{CM} \cdot s \cdot f}{r}$$

$$|E_{DM,max}| = 1,316 \cdot 10^{-14} \cdot \frac{I_{DM} \cdot f^2 \cdot s \cdot d}{r}$$

Rechengang:

Taktfrequenz: $f = 100 \text{ MHz}$

Flankenanstiegszeit = Flankenabfallzeit = $\tau_r = \tau_f = 1 \text{ ns}$

50% duty cycle bedeutet: $\tau = T/2, T = 1/f$

1. Eckfrequenz: $f_1 = 1/(\pi \cdot \tau) = 2 \cdot f / \pi = 64 \text{ MHz}$

2. Eckfrequenz: $f_2 = 1/(\pi \cdot \tau_r) = 318 \text{ MHz}$

Die 3. Harmonische liegt bei folgender Frequenz: $f_3 = 3 \cdot f = 300 \text{ MHz}$

Gleichtaktstrom (Zeitbereich!): $I_{CM} = 10 \mu\text{A} \Rightarrow 20 \text{ dB}\mu\text{A}$ (legt den Startwert der Hüllkurve fest)

Gegentaktstrom (Zeitbereich!): $I_{DM} = 10 \text{ mA} \Rightarrow 80 \text{ dB}\mu\text{A}$ (legt den Startwert der Hüllkurve fest)

Aus der 3-Geraden-Darstellung (doppellogarithmisch!) erhalten wir die jeweilige Stromamplitude im Frequenzbereich:

Amplitude der 3. Harmonischen des Gleichtaktstroms (Frequenzbereich!):

$$I_{3CM} = 20 - (20 \cdot \log 300 - 20 \cdot \log 64) = 6,6 \text{ dB}\mu\text{A} \Rightarrow 2,2 \mu\text{A}$$

Amplitude der 3. Harmonischen des Gegenteilstroms (Frequenzbereich!):

$$I_{3DM} = 80 - (20 \cdot \log 300 - 20 \cdot \log 64) = 66,6 \text{ dB}\mu\text{A} \Rightarrow 2,2 \text{ mA}$$

Berechnung der Störabstrahlung für die CM-Komponente bei 300 MHz:

$$E_{CM} = 1,257E-6 * 2,2E-6 * 300E6 * 0,1 / 10 = 8,3 \mu V/m \Rightarrow \underline{18 \text{ dB}\mu V/m}$$

Berechnung der Störabstrahlung für die DM-Komponente bei 300 MHz:

$$E_{DM} = 1,316E-14 * 2,2E-3 * (300E6)^2 * 0,1 * 5E-3 / 10 = 130 \mu V/m \Rightarrow \underline{42 \text{ dB}\mu V/m}$$

Man erkennt, dass die DM-Emission für die 3. Harmonische nur 24 dB über der CM-Emission liegt, obwohl die DM-Stromamplitude der 3. Harmonischen um 60 dB höher als die CM-Stromamplitude ist. Warum eigentlich?

Jetzt können wir auch noch die Gesamtemission bei 300 MHz abschätzen, wenn wir als worst case Gleichphasigkeit annehmen.

Berechnung der Gesamtstörabstrahlung bei 300 MHz:

$$E_{DM} + E_{CM} = 130 + 8,3 = 138,3 \mu V/m \Rightarrow \underline{43 \text{ dB}\mu V/m}$$

An dieser Stelle bitte nicht die dB-Werte addieren! – warum?

Wir erkennen, dass in diesem Beispiel der Beitrag der CM-Stromkomponente zur Gesamtemission gering ist. Zur Reduktion der Störemission sollte man also bei der dominanten Komponente, beim DM-Strom ansetzen. Was kann man tun?

Wichtige Erkenntnis aus der graphischen Darstellung:

Die durch die CM-Ströme hervorgerufene Störabstrahlung nimmt ab der 2. Eckfrequenz ab, die durch die DM-Ströme verursachte Störabstrahlung macht das nicht (zumindest theoretisch, in der Praxis ist das nicht der Fall – warum?)

Vergleich mit den Grenzwerten des Standards für Multimedia Equipment:

Die Tabelle zeigt die Störabstrahlungsgrenzwerte bis 1 GHz für Multimedia Equipment, wie z.B. Computer. Für Wohnumgebung gilt Klasse B.

Frequency range (MHz)	Measurement		Class A limits (dBμV/m)	Class B limits (dBμV/m)
	Distance (m)	Detector type/ bandwidth	OATS/SAC	OATS/SAC
30 – 230	10	Quasi Peak / 120 kHz	40	30
230 – 1 000			47	37
30 – 230	3		50	40
230 – 1 000			57	47

Gemessen wird entweder in 10 m oder 3 m Messentfernung in einer Absorberhalle mit Ground Plane (SAC = Semi Anechoic Chamber) oder auf einem Freifeldmessgelände (OATS = Open Area Test Site).

Sowohl die SAC als auch das Freifeldmessgelände besitzen eine reflektierende Bodenfläche (ground plane). Im Worst Case (= konstruktive Interferenz) tritt daher an der Messantenne die doppelte Feldstärke auf, nämlich die Addition der direkten Welle mit der am Boden reflektierten Welle. Eine Verdopplung entspricht +6 dB.

Will man den berechneten Wert von 43 dB μ V/m mit dem Grenzwert vergleichen, müssen vorher die 6 dB dazuaddiert werden: 43 dB μ V/m + 6 dB = 49 dB μ V/m

Da bei 300 MHz der Grenzwert für die Störabstrahlung in 10 m Messabstand 37 dB μ V/m beträgt, bedeutet das für unser Rechenbeispiel eine 4-fache Grenzwertüberschreitung:

$$49 \text{ dB}\mu\text{V/m} - 37 \text{ dB}\mu\text{V/m} = 12 \text{ dB (entspricht Faktor 4)}$$

Siehe Kapitel 2.2 „EMV-Feldstärkemesstechnik“, Folien 22-25 und 47-49.

Literaturempfehlung:

Paul, C. R. (2006): „Introduction to Electromagnetic Compatibility“, 2nd ed., John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, ISBN-13: 978-0-471-75500-5

Ich hoffe Ihnen mit diesen Erläuterungen eine brauchbare Hilfestellung gegeben zu haben. Ansonsten stehe ich für weitere Fragen gerne zur Verfügung.

Viel Erfolg und alles Gute!

Beste Grüße,
Kurt Lamedschwandner