

Elektromagnetische Verträglichkeit, Störfestigkeit

Teil 11

Betrachtungen der Störfestigkeitsmessung in bezug auf die zu erwartenden Meßnormen im Rahmen des EMVG.

Als Grundnorm für Störfestigkeit gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern gilt national die DIN ENV 50140/8.93. Europaweit gilt die prENV 50140/2.93 und weltweit die IEC 65A/77B (Sec)135/100/12.92. Glücklicherweise beschreiben alle 3 Normen die Störfestigkeitsmessungen mit den gleichen Grundanforderungen und Parametern.

In der deutschen Grundnorm ist u.a. festgelegt:

| | |
|------------------|---|
| Frequenzbereich: | 80 - 1.000 MHz |
| Schärfegrad: | Grad 1 1 V/m Grad 2 3 V/m Grad 3 10 V/m Grad x offen, je nach Produktspezifikation |
| HF-Signal: | 80 % amplitudenmoduliert mit 1 kHz Sinus |
| Meßentfernung | 3.0 m Prüfling/Antenne (Empfehlung) |

Das elektromagnetische Feld muß in einem kalibrierten Feld (1.5x1.5 m) eine Homogenität von -0 dB bis +6 dB haben. Nach Auskunft der zuständigen Stellen in Deutschland müssen Geräte, die das CE-Zeichen erhalten sollen, schon heute nach

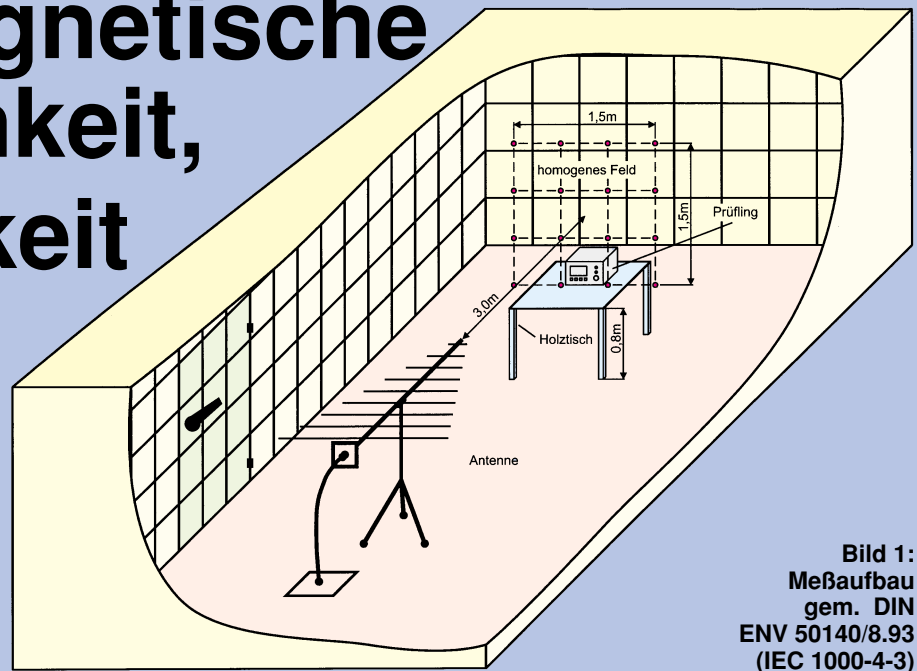


Bild 1: Meßaufbau gem. DIN ENV 50140/8.93 (IEC 1000-4-3)

diesen Kriterien getestet werden. Um o.g. Schärfegrade zu erzielen, wird folgender Meßvorgang empfohlen:

Zu Beginn der Messung wird das homogene Feld festgelegt und vermessen. Nach der Kalibrierung dieses Meßfeldes wird der Prüfling in dieses Feld verbracht und im geforderten Frequenzbereich dem elektromagnetischen Feld ausgesetzt. Tabelle 1 zeigt die einzelnen Systemkomponenten, die je nach Schärfegrad/Prüffeldstärke verwendet werden können.

In dieser Geräteaufstellung sind HF-Leistungsverluste durch z.B. Verkabelung, Richtkoppler, Stecker, Fehlanpassungen, Hallenresonanzen etc. berücksichtigt.

Die zum Einsatz kommenden Breitband-Leistungsverstärker müssen besonderen Anforderungen genügen. Sie müssen absolut kurzschluß- und leerlaufest sein und an jeder Art von Fehlanpassung (Impedanz) arbeiten. Die Verstärker dürfen bei Fehlanpassung weder die HF-Ausgangsleistung zurückregeln noch das HF-Signal abschalten.

In folgender Abhandlung gehen wir auf die wichtigsten Parameter ein.

Frequenzbereich

Hierbei kommt es lediglich darauf an, den entsprechenden Generator, Verstärker und die dazugehörige Antenne auszuwählen.

Elektrische Feldstärke und Meßabstand

Die elektrische Feldstärke wird näherungsweise für Fernfeldbedingungen wie folgt berechnet:

$$E = \frac{\sqrt{30 \cdot P \cdot G}}{d}$$

- E = Elektrische Feldstärke [V/m]
- P = HF-Leistung am Antenneneingang [W]
- G = numerischer Gewinn der Antenne (Faktor)
- d = Abstand zum Phasenzentrum der Antenne [m]

Aus dieser Formel ist ersichtlich, daß die Feldstärke umgekehrt proportional zur Entfernung von der Antenne ist. Um z.B. ein Feld von 10V/m in 3 m Entfernung zu erzielen, muß ein Verstärker ausgewählt werden, der mindestens 30 V/m in 1 m Entfernung erzeugen kann. Abbildung 2 zeigt den Verlauf der elektrischen Feldstärke in 1 m Meßabstand für P = 100 W und G = 6. Der Abstand d berechnet sich näherungsweise für die Antenne AT1080:

$$d = d_{\text{mess}} + \frac{136}{f \text{ [MHz]}}$$

d_{mess} = Meßabstand zwischen Antennenspitze und Prüfling

Tabelle 1:

| Leistungsverstärker je nach Schärfegrad: | | |
|--|-------------|--|
| V/m | | |
| 1 | 1W1000 | Breitbandverstärker, 100 kHz - 1000 MHz, 1 Watt min. |
| 3 | 10W1000 | Breitbandverstärker, 1-1000 MHz, 10 Watt min. |
| 10 | 100W1000 | Breitbandverstärker, 80-1000 MHz, 100 Watt min. |
| 30 | 1000W1000 | Breitbandverstärker, 100-1000 MHz (ab 80 MHz möglich) 1000 Watt min. |
| Bezeichnung | Type | |
| Log.Per Antenne, 80-1.000 MHz | AT1080 | |
| Kunststoffstativ | TP 1000 | |
| Feldstärkemeßgerät | FM 2000 | |
| E-Feld-Sensor | FP 2031/Kit | |
| Stativ für Feldsensor | PS 2000 | |
| Richtkoppler | DC 6180 | |

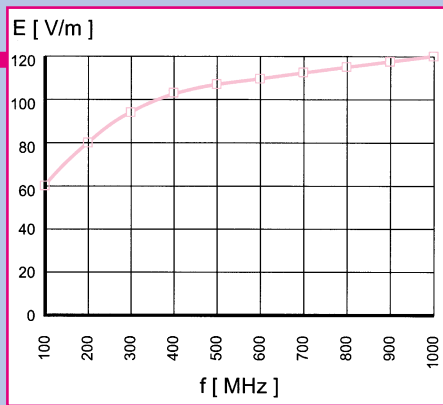


Bild 2: Berechnete Feldstärkewerte der Antenne AT1080

AM-Modulation

Die Tatsache, daß Messungen mit 80 % AM-Modulation durchgeführt werden müssen, bedarf einiger Erklärungen bezüglich der benötigten Leistung der Verstärker. Wie man aus der Abbildung 3 erkennt, erhöht sich bei der Amplitudenmodulation der Spitze/Spitze-Spannungspegel. Der Modulationsgrad ergibt sich aus folgender Gleichung:

$$m = \frac{(U_{\max} - U_c)}{U_c}$$



Bild 3: Definition von U_c und U_{\max}

wobei U_c der Spitzenwert des unmodulierten Trägers ist. Für 80%-AM-Modulation ergibt sich $U_{\max} = 1,8 \cdot U_c$. Es wird gegenüber dem unmodulierten HF-Signal (Dauerstrich) die 1,8fache HF-Spannung benötigt. Die zusätzlich benötigte HF-Leistung, um diese Spannungserhöhung Spitze/Spitze zu erreichen, geht aus folgender Formel hervor:

$$p \text{ [dB]} = 10 \cdot \log \frac{P_2}{P_1}$$

P_2 ist die Leistung für 80%-AM-Modulation. P_1 ist die Leistung für Dauerstrichbetrieb.

Das Ohmsche Gesetz $P = \frac{U^2}{R}$ wird in obiger Formel substituiert:

$$p \text{ [dB]} = 10 \cdot \log \frac{\frac{U_2^2}{R_2}}{\frac{U_1^2}{R_1}}$$

Da $R_1 = R_2$ ist, reduziert sich die Gleichung zu:

$$p \text{ [dB]} = 10 \cdot \log \left(\frac{U_2}{U_1} \right)^2 = 20 \cdot \log \frac{1,8}{1}$$

$$p \text{ [dB]} = 5,1$$

Hieraus folgt: **Wird ein Dauerstrichsignal mit 80% amplitudenmoduliert, erhöht sich die Spitzen-HF-Leistung um 5,1 dB, was leistungsbezogen das 3,24-fache bedeutet!**

Demzufolge muß bei der Bestimmung der Leistung des Verstärkers für 80% AM-Modulation als erstes der Dauerleistungsbedarf zur Erzeugung des gewünschten E-Feldes bestimmt werden und diese Leistung mit dem Faktor 3,24 multipliziert werden.

Berechnungsbeispiel

Anforderung: 10 V/m in 3 m Meßentfernung mit 80% AM
 Antenne: AT1080
 $G = 6$
 $d = 4,7 \text{ m}$ (3 m Meßabstand)
 für $f = 80 \text{ MHz}$

Berechnung der CW-Leistung nach der Formel:

$$P = \frac{(E \cdot D)^2}{30 \cdot G}$$

Die benötigte Leistung am Eingang der Antenne beträgt somit ca. 12 W.

Um die 80%-AM-Modulation zu berücksichtigen, muß diese Leistung mit dem Faktor 3,24 multipliziert werden. Damit ergeben sich in diesem Fall ca. 40 Watt am Eingang der Antenne.

Um die tatsächliche Verstärkerausgangsleistung zu erhalten, muß noch die Dämpfung zwischen Verstärkerausgang und Eingang der Antenne ermittelt werden. Diese setzt sich zusammen aus dem verwendeten Kabel, Richtkoppler und Steckverbindern. Ein Wert hierfür von ca. 2 dB erfordert die 1,5fache Verstärkerleistung, d.h. in unserem o.a. Beispiel ergibt sich eine Verstärkerausgangsleistung von ca. 60 W.

Bis hierher werden ideale Bedingungen seitens der Infrastruktur (z.B. Absorberkabine) vorausgesetzt. In der Praxis werden die berechneten 60 W nicht ausreichen, da die Einflüsse durch den Prüfaufbau und die Infrastruktur noch nicht in die Betrachtungen einbezogen wurden. Legt man hierfür ebenfalls einen Wert von ca. 2 dB zugrunde, dann erhöht sich die benötigte Leistung auf 90 W.

Ausgehend von der CW-Leistung am Antenneneingang muß bei einer Systembetrachtung ungefähr der Faktor 8 berücksichtigt werden, um die Ausgangsleistung des Verstärkers zu bestimmen.

Dem in Abbildung 4 enthaltenen Diagramm können die Verstärkerleistungen entnommen werden, die zur Erzeugung der elektrischen Feldstärken von 3, 10, 20 und 30 V/m in 3 m Meßabstand benötigt werden.

Es wird zwischen 3 Dämpfungswerten unterschieden. Diese enthalten jeweils 5,1 dB für 80% AM-Modulation; der Restbetrag deckt die Verluste auf den Leitungen und Einflüsse des Prüfaufbaus ab.

Obige Ausführungen zeigen, wie komplex die richtige Auswahl der Prüfkomponenten für die Störfestigkeitsprüfung gestrahlter elektromagnetischer Felder ist.

Unterstützung bieten hier verschiedene in diesem Bereich tätige Spezialfirmen, wie auch die EMV-Spezialisten aus dem Hause ELV.

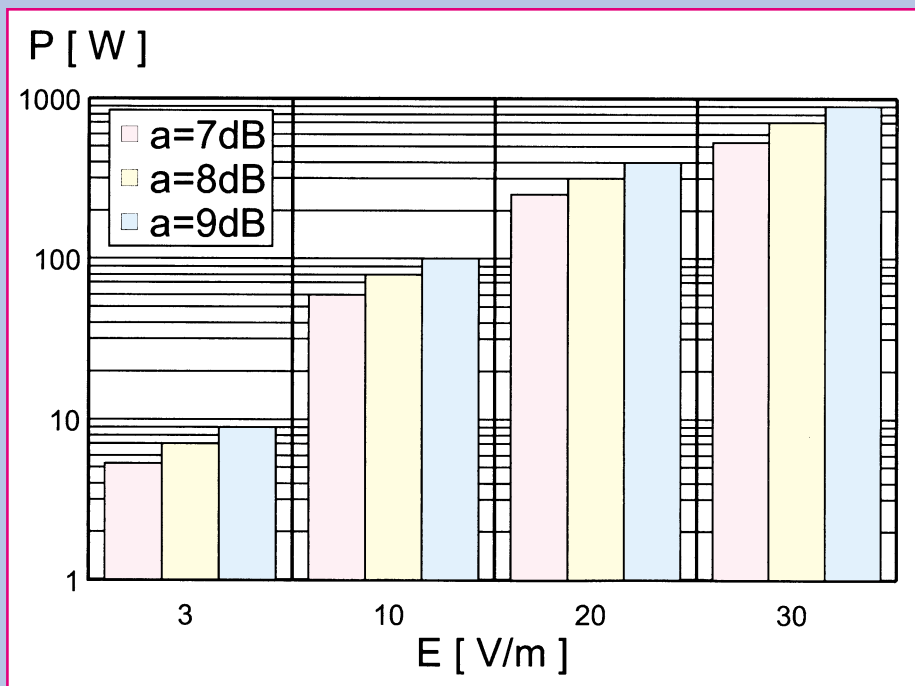


Bild 4: Verstärkerleistung in Abhängigkeit von der Feldstärke und Systemdämpfung inkl. 80% Amplitudenmodulation