



EMV - elektromagnetische Verträglichkeit Teil 23

Störaussendungsmessungen und Störfestigkeitsprüfungen in GTEM-Zellen

Einleitung

Die konventionellen Meß- und Prüfverfahren, wie sie in den einschlägigen EMV-Normen beschrieben bzw. vorgeschrieben sind, bringen einige Nachteile mit sich. Verschiedene Hersteller bieten daher seit einiger Zeit GTEM-Zellen als alternative Meßumgebung an. Diese Meßumgebung mit ihren Vor- und Nachteilen sowie die bei den entsprechenden Messungen zu beachtenden Besonderheiten wollen wir im vorliegenden Artikel näher betrachten.

Zur Messung von HF-Störstrahlung ist nach den gängigen, derzeit gültigen Normen (z. B. EN 55022, EN 55011) das Freifeldmeßverfahren vorgeschrieben. Vereinfacht dargestellt wird die Freifeldmessung in folgender Weise ausgeführt:

Bei festgelegter Entfernung zwischen Prüfling und Empfangsantenne wird mit einem speziellen Funkstörmeßempfänger die Störstrahlung der Prüflingsanordnung bei horizontaler und vertikaler Antennenpolarisation gemessen. Bei jeder Störfrequenz des Prüflings ist durch Prüflingsdre-

hung und durch Höhenänderung der Antenne der Maximalwert der Störung in einer vorgegebenen Anzeigart zu ermitteln und mit den Grenzwerten der Normvorgabe zu vergleichen (genauer hierzu im EMV-Artikel Teil 8 im „ELVjournal“ 6/94).

Dieses Meßverfahren benötigt eine aufwendige technische Ausrüstung und verursacht hohe Meßkosten, u. a. auch aufgrund der zeitaufwendigen Messung. Neben der räumlichen Ausdehnung eines solchen Freifeldes ist auch seine Witterungsabhängigkeit ein weiterer großer Nachteil, der so weit führen kann, daß der Meßplatz zeitweise nicht nutzbar ist.

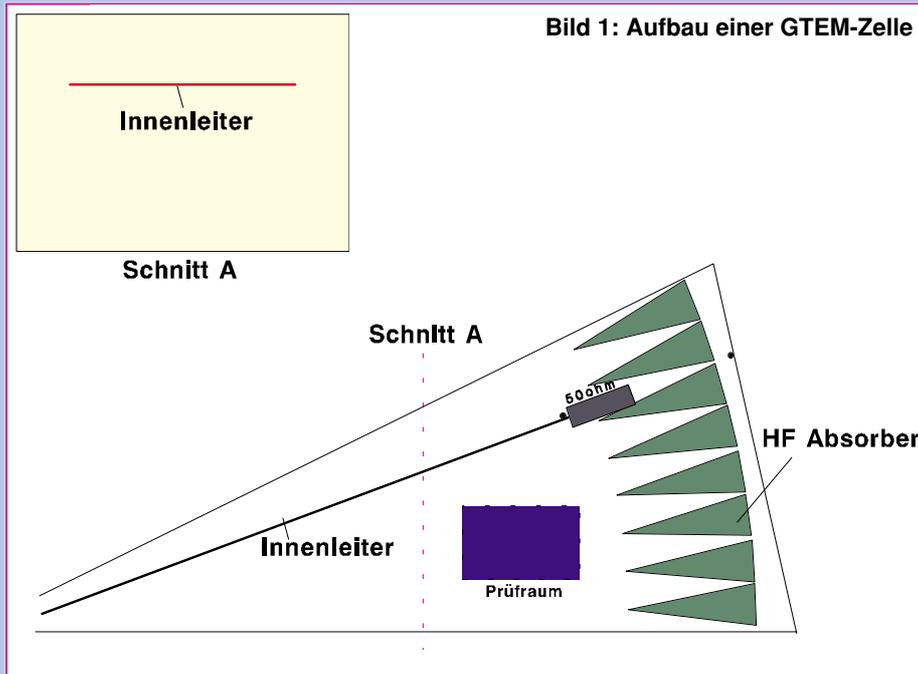
Erschwerend kommt hinzu, daß sich Störpegel der Umgebung, z. B. durch Rundfunksender und andere Funkdienste, auf die Messung auswirken. Diese Fremdstörer müssen mindestens 6 dB unter den jeweils festgelegten Grenzwerten liegen, was in Ballungsräumen oftmals nicht erfüllt werden kann. Ein Automatisieren der Messung ist somit unmöglich, da die Fremdstörer dann separat ausgemessen werden müssen.

Um diese gravierenden Nachteile des

Freifeldmeßplatzes zu umgehen, werden alternative Verfahren mit anderer Meßumgebung wie Absorberhalle mit und ohne leitfähiger Grundfläche (Groundplane) und TEM- und GTEM-Zelle eingesetzt.

In den entsprechenden nationalen und internationalen Normungsgremien wird zur Zeit daran gearbeitet, einige dieser Meßmethoden/-plätze in die gängigen Störaussendungsnormen aufzunehmen. Die alternativen Verfahren sind zur Zeit aber immer nur dann verwendbar, wenn deren Meßergebnisse in entsprechende Freifeldmeßergebnisse umgerechnet werden können.

Die Messung, die vom Aufbau und Meßablauf der Freifeldmessung am nächsten kommt, ist die in der Absorberkammer mit Groundplane. Bei entsprechenden Abmessungen der geschirmten Kabine kann diese Messung als direkter Ersatz der genormten Freifeldmessung dienen, mit den Verbesserungen, daß weder Witterungseinflüsse noch Fremdstörer das Meßergebnis beeinflussen. Die erforderlichen Investitionskosten für eine solch große Absorberkammer lassen diesen Meßplatz aber schnell uninteressant werden.



Eine Absorberkammer mit einer 3 m Meßstrecke ohne Groundplane, d. h. auch mit Absorbern am Boden der Halle, stellt eine bessere Alternative dar. Die hier erzielten Meßergebnisse lassen sich unter bestimmten Bedingungen auf einfache Weise in Freifeldmeßergebnisse überführen und durch die fehlende Reflexionsfläche am Boden kann auf die bei der Freifeldmessung notwendige Variation der Antennenhöhe verzichtet werden, wodurch sich die Meßzeit erheblich verkürzt.

Weiterhin kann diese Halle zu normenkonformen Störfestigkeitstests in bezug auf die Einstrahlung elektromagnetischer Felder (z. B. nach ENV 50140) benutzt werden. Eine solche CDC (Compact Diagnostic Chamber) ist aufgrund der Absorberauskleidung relativ kostenintensiv, stellt aber eine sehr gute Lösung dar und könnte zukünftig aufgrund ihrer Doppelnutzbarkeit eine noch größere Bedeutung erlangen, wenn die Normungsgremien entsprechende Meßmethoden in die Normen aufnehmen.

Eine weitere und vor allem kostengünstigere Alternative zur Freifeldmessung stellt die Meßanordnung in einer GTEM-Zelle dar.

Messung in GTEM-Zellen

Die Meßmethode in einer GTEM-Zelle (Gigahertz Transversal Elektro-Magnetic) ist sowohl für Störaussendungsmessungen verwendbar als auch für Störfestigkeitstests in Bezug auf die Einstrahlung elektromagnetischer Felder. Beide Prüfungen sind allerdings nicht normenkonform (Stand: April 1997), liefern aber unter Beachtung bestimmter Bedingungen gute Ergebnisse. Es ist möglich, mit Hilfe der GTEM-Zellen

ohne großen Aufwand elektromagnetische Felder in einem großen Frequenzbereich zu erzeugen bzw. die vom Prüfling abgestrahlten Störgrößen zu messen.

Der Vorteil gegenüber Freifeld bzw. Absorberkammer liegt darin, daß hierbei weder eine Antenne noch eine separate geschirmte Kammer benötigt wird. Die Kosten für Meßequipment und Rüstzeiten können somit gering gehalten werden. Im nachfolgenden Beitrag werden wir die Möglichkeiten der Anwendung von GTEM-Zellen näher darstellen.

Aufbau der GTEM-Zelle

Bei einer GTEM-Zelle handelt es sich im Prinzip um eine aufgeweitete Koaxialleitung mit dem Dielektrikum Luft und einer Impedanz von üblicherweise 50 Ω. Der prinzipielle Aufbau einer solchen GTEM-Zelle ist in Abbildung 1 dargestellt.

Um den sich flächenhaft erweiternden, asymmetrisch angebrachten Innenleiter breiten sich bei Einspeisung hochfrequenter Signale nahezu ungestört TEM-Wellen (Transversal Elektro-Magnetic) bis in den GHz-Bereich aus. In dieser pyramidenartigen Aufweitung wird der Prüfling zwischen Innen- und Außenleiter platziert. Diese Leitung ist breitbandig (DC bis in den GHz-Bereich) abgeschlossen. Um diesen Abschluß sicherzustellen, werden für den unteren Frequenzbereich flächenhaft verteilte Lastelemente angeordnet, während für höherfrequente Signale zunehmend die Absorberauskleidung an der Rückwand der Kammer wirkt.

Der Außenleiter der Leitung stellt gleichzeitig die Außenhülle der GTEM-Zelle dar und sorgt für eine wirksame Schirmung. Durch diesen geschirmten Aufbau belastet

weder die bei Störfestigkeitstests erzeugte elektromagnetische Strahlung die Umwelt, noch können Störaussendungsmessungen durch Umgebungsstörungen (wie z. B. Rundfunksender) beeinflußt werden. Wir betrachten zunächst die Störaussendungsmessungen mit GTEM-Zellen.

Störaussendungsmessungen

Um Prüflinge auf ihr Abstrahlverhalten hin zu untersuchen, wird am Einspeisepunkt der GTEM-Zelle das vom Prüfling abgestrahlte elektromagnetische Feld als HF-Spannung mit einem selektiven Meßempfänger oder Spektrum-Analysator gemessen. Ein entsprechender Meßplatz ist in Abbildung 2 dargestellt.

Die so erhaltenen Meßwerte können jedoch nicht direkt beurteilt werden.

Wie schon erwähnt, ist aber eine zum Freifeld alternative Meßmethode nur dann brauchbar, wenn die Meßergebnisse in entsprechende Freifeldmeßergebnisse umgerechnet werden können. Diese Umrechnung ist im Falle der GTEM-Zellen recht kompliziert und soll uns hier nicht weiter beschäftigen.

Für die Praxis ist es nur wichtig zu wissen, daß im Frequenzbereich ab 30 MHz durch drei Spannungsmessungen am Einspeisepunkt der GTEM-Zelle alle Feldkomponenten bestimmbar sind. Für diese drei Meßreihen muß der Prüfling in drei definierten Positionen angeordnet werden, d. h. ausgehend von seiner Normalposition entweder durch Drehung über die Raumachse um $\pm 120^\circ$ oder dementsprechend durch 2 zweifach-orthogonale Drehungen. Die Einhaltung dieser „Drehvorschrift“ sichert, daß jede Feldkomponente einmal in Messung und Berechnung berücksichtigt wird.

Die Meßergebnisse der 3 Meßreihen werden in einer speziellen Korrelationssoftware unter Berücksichtigung der GTEM-Zellengeometrie am Prüflingsstandort auf Freifeldmeßwerte umgerechnet. Als Ergebnis der Korrelationsrechnung wird je Frequenz der Maximalwert von vertikaler oder horizontaler Abstrahlung im Freifeld errechnet, womit dann ein Vergleich mit den Normgrenzwerten (z. B. aus der EN 55022) möglich ist.

Die drei Meßreihen werden meist aufgrund des schnelleren Meßdurchlaufes mit dem Peak-Detektor des Meßempfängers aufgenommen. Ergeben sich dann aus den obigen Berechnungen kritische Meßwerte nahe dem in der Norm angegebenen Grenzwert, so muß bei diesen diskreten Frequenzen mit dem Quasi-Peak- oder Average-Detektor nachgemessen werden.

Die Messung läßt sich so weitgehend automatisieren. Auch wenn drei Meßreihen pro Prüfung aufgenommen werden müssen, ist eine Prüfung in der GTEM-

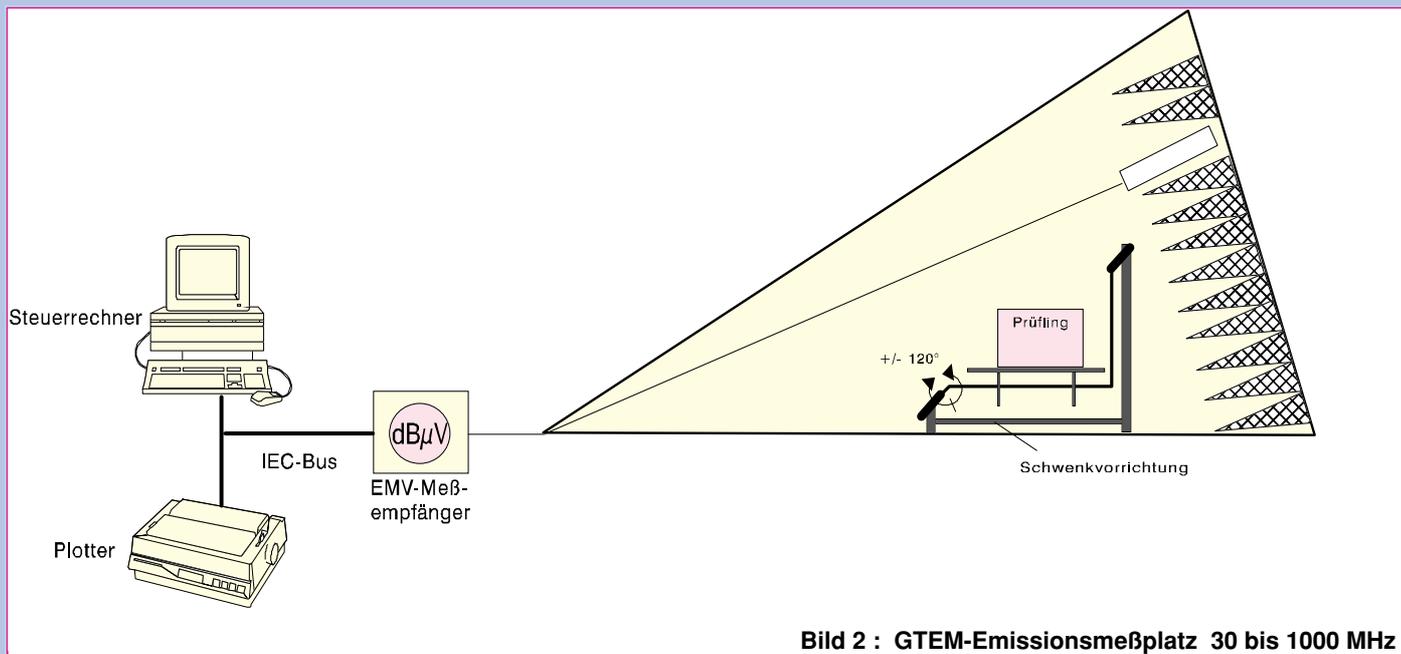


Bild 2 : GTEM-Emissionsmeßplatz 30 bis 1000 MHz

Zelle wesentlich schneller durchführbar als eine Freifeldmessung, da z. B. die Höhenvariation und der Polarisationswechsel der Antenne entfallen und ein Auspeilen der Fremdstörungen aufgrund der Schirmung entfällt.

Vergleich mit der Freifeldmessung

Um die Aussagefähigkeit dieser Meßergebnisse, d. h. die Vergleichbarkeit mit den Meßergebnissen einer entsprechenden Freifeldprüfung beurteilen zu können, wollen wir zuerst die Unsicherheitsfaktoren eines Freifeldmeßplatzes näher betrachten.

Obwohl in der Norm die Vorgehensweise für die Freifeldmessung genau vorgeschrieben ist, können auch hier Abweichungen zwischen Messungen verschiedener Anwender von mehreren dB auftreten.

Gründe hierfür sind verschiedene Einflüsse durch die Meßumgebung, durch die Meßtechnik und durch den Prüfling selbst. Die Meßumgebung geht z. B. durch sich ändernde Fremdstörungen und nicht beeinflussbare Witterungsbedingungen ein. Die Meßtechnik bringt u. a. durch Abstandsänderung bei Höhenvariation der Antenne und Anpassungsverlusten ihren Anteil an der Meßunsicherheit mit ein. Auch der Prüfling selbst kann erheblich zur mangelnden Reproduzierbarkeit beitragen, da die emittierten Störungen keine Nutzsignale sind und dementsprechend nicht auf Pegel- und Frequenzstabilität getrimmt sind.

Ein direkter Vergleich zwischen GTEM-Zellen-Messung und Freifeldmessung ist somit schwierig, da, wie aus obigen Gründen zu ersehen, die genormte Freifeldmeßmethode nicht als „Referenzmessung“ betrachtet werden kann.

Verschiedene Meßreihen führender

GTEM-Zellen-Hersteller haben aber gezeigt, daß sich bei kompakten Prüflingen ohne externe Leitungen eine sehr gute Übereinstimmung mit den Freifeldmessungen ergibt. Die Abweichungen nehmen aber zu, wenn vor allem im Frequenzbereich unterhalb 250 MHz eine Abstrahlung über die am Prüfling angeschlossenen Leitungen erfolgt. Hier ist dann die Lage der Kabel und deren Entkopplung für die Abweichung der erhaltenen Meßwerte von den Freifeldmeßwerten verantwortlich.

Zusammenfassend läßt sich für die Störaussendung festhalten, daß eine GTEM-Zelle für Prüflinge begrenzter Größe eine kostengünstige und zeitsparende Alternative zu Freifeld oder Absorberkammer darstellt. Wenn jedoch die Abmessung der Prüfanordnung durch angeschlossene Leitungen vergrößert wird, steigen die Abweichungen und die Messung kann nur als Richtwert betrachtet werden. Eine normenkonforme und in Zweifelsfällen auch gültige Nachmessung im Freifeld ist dann unerlässlich.

Störfestigkeit

Die Möglichkeit, mit der GTEM-Zelle auch Prüflinge mit hochfrequenten Feldern zu bestrahlen, beruht auf der Reziprozität der Zelle. Genauso, wie die vom Prüfling abgestrahlte Feldstärke am Einspeisepunkt meßbar ist, kann bei Einspeisung einer HF-Leistung ein elektromagnetisches Feld zwischen Innen- und Außenleiter erzeugt werden. Durch die äußere Schirmung wird verhindert, daß die erzeugten Felder die Umwelt belasten. Der Meßaufbau entspricht dem in Abbildung 2 mit der Änderung, daß der Meßempfänger gegen einen entsprechenden Signalgenerator auszutauschen ist. Der Meßablauf ist dann im Prinzip mit der Prüfung in der Absorber-

kammer vergleichbar und soll hier nicht weiter erläutert werden (siehe EMV-Artikel Teil 10 und 11, „ELVjournal“ 2/95 bzw. 3/95).

Die Stärke des weitgehend homogenen elektromagnetischen Feldes in der GTEM-Zelle steht im direkten Zusammenhang zur eingespeisten Leistung und der Geometrie. Durch den geringen Abstand zwischen Prüfling und „Strahlungsquelle“ ist die erforderliche Verstärkerleistung für eine bestimmte zu erzeugende Feldstärke in der GTEM-Zelle relativ gering im Vergleich zur normenkonformen Antennenbestrahlung in einer Absorberkammer. Somit kann bei der GTEM-Zellen-Prüfung häufig ein teurer HF-Verstärker eingespart werden.

Das in der GTEM-Zelle erzeugte relativ homogene Feld kann zu Störfestigkeits-tests z. B. nach IEC 801-3 oder ENV 50140 verwendet werden. In diesen genannten Normen ist die Prüfung in einer geschirmten Absorberhalle vorgesehen. Als alternatives Meßverfahren wird dort aber der offene Wellenleiter bzw. die TEM-Zelle angegeben. Da die GTEM-Zelle eine „veränderte“ TEM-Zelle darstellt, kann unter Beachtung der in den Normen gegebenen Hinweise die Prüfung der Störfestigkeit gegen elektromagnetische Felder in der GTEM-Zelle erfolgen.

Zusammenfassend kann somit festgestellt werden, daß mit der GTEM-Zelle sowohl Störaussendungsmessungen als auch Störfestigkeits-tests mit guter Genauigkeit und Reproduzierbarkeit durchführbar sind, wenn die genannten Einschränkungen beachtet werden. Der Vorteil der GTEM-Zellen liegt in dem gegenüber Freifeldmessungen reduzierten Zeitaufwand und dem gegenüber Absorberhallen verringerten Kostenaufwand.