

Messunsicherheit bei EMV-Messungen im Labor, in Anlagen und Installationen

Praktische Hinweise und Empfehlungen der neuen CISPR 16-4 zur Reduzierung der Messunsicherheit

Anfang Mai des Jahres 2002 ist mit der neuen IEC/Publikation CISPR 16-4 erstmals eine internationale Norm verabschiedet worden, die das Thema Messunsicherheit für das Gebiet der EMV/Messungen umfassend behandelt.

Das Thema Messunsicherheit wurde über viele Jahrzehnte fein säuberlich gemieden. Inzwischen stehen aber EMV-Messlabore vor dem Problem, dass EMV-Messungen an elektrotechnischen Produkten und Installationen vermehrt nachvollzogen werden. Dies kann im Falle einer einfachen Fertigungskontrollmessung bei einem Hersteller oder aber auch im Falle einer Marktüberwachungsmessung passieren, wie sie die Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post, Reg TP, in Deutschland durchführt [8]. Sind die dabei auftretenden Abweichungen von einem zum anderen Messergebnis zu gravierend, und werden die Grenzwerte überschritten, so ist nicht nur mit profunden Ärger zu rechnen, sondern es ist auch die Frage nach den Ursachen zu beantworten.

Gründe dafür gibt es viele und oft ist es eine nicht ganz triviale, weil EMV-relevante Veränderung im Produkt selbst (der Begriff ‚Produkt‘ geht hier vom elektrotechnischen Modul bis zur Anlage/Installation), welche die Ursache für das sichtlich veränderte EMV-Verhalten bei einer Nachmessung verursachen kann. Dieses Problem, das vielen Herstellern und Installateuren erhebliches Kopfzerbrechen bereitet, weil es die Lücken in der oft noch dazu eigenen Produktionsüberwachung

oder EMV-gerechten Installation gnadenlos bloßstellt, ist nicht Thema dieses Beitrags. Es geht vielmehr um ein noch wesentlich diffizileres Problem, das in der Messunsicherheit der EMV-Messungen selber liegt.

Messunsicherheit bei EMV-Messungen

Wichtige Hintergrundliteratur zum Thema der allgemeinen Messunsicherheit wird in den Quellen [4] bis [7] gegeben. Diese sollten sie zur umfassenden Information zum Thema Messunsicherheit unbedingt studieren.

Das Problem

Den Experten in EMV-Laboren und entsprechenden Messtrupps, die durch die elektrotechnischen Anlagen und Installationen auf der Welt ziehen und dort EMV-Probleme beheben, ist das Problem der Messunsicherheit so unangenehm wie das bekannte rote Tuch, welches die Toreros in den Arenen der Iberischen Halbinsel ihren Stieren vorhalten, um sie bis zur Weißglut zu reizen. Der Stier ist der Reizung hilflos ausgesetzt aber ist dies bei dem EMV-Messpersonal im Labor in Bezug auf die Messunsicherheit genauso? Dem ist nicht so, denn das Problem der Messunsicherheit ist in weitem Maß eingrenzbar. Man muss ‚lediglich‘ über seine EMV-Messmittel genau Bescheid wissen – leider können auch kleinste Fehler große Auswirkungen auf die Abweichungen von EMV-Messergebnissen haben.

Mit der neuen Grundnorm CISPR 16-4, die als eigenständige Norm neben den bereits seit vielen Jahren existierenden anderen Teilen der CISPR 16 ([1] bis [3]) veröffentlicht wurde, ist ein Versuch, das Thema Messunsicherheit bei EMV-Messungen näher zu definieren und zu behandeln. Dabei beschränkt man sich ganz bewusst auf die Einflüsse, welche von den Gerätschaften herrühren, die zu EMV-Messungen benutzt werden.

Die Messkette

Es ist natürlich die gesamte Messkette bestehend aus Messaufnehmern (z.B. Messantennen, Messwandlerzangen, Ankoppleinrichtungen und Sensoren), Übertragungstechniken (Messwertumformer, Kabel usw.) und Messauswertungseinrichtungen (Messempfänger, Spektrumanalysatoren usw.) zu betrachten. Auch individuelle Unsicherheiten wie z.B. korrodierte Stecker und Buchsen können noch hinzu kommen und erschweren das Problem ungemein.

Merke: Überblick über mögliche Fehlerquellen des EMV-Meßsystems verschaffen

Wenn der Prüfer entscheidende Fehler begeht indem er bestimmte systematische und sporadische Fehler seiner EMV-Messeinrichtungen und Messgeräte nicht kennt, kann er leicht Fehlmessungen unabhängig vom EMV-Messverfahren von über 20 dB erhalten. Diese Fehlmessung kann sich als ein Übertesten (d.h. das entsprechende Testobjekt wird zu streng beurteilt) als auch ein Untertesten dar-

► Autor

Dipl.-Ing. und Oberingenieur DIETHARD E.C. MÖHR ist Leiter des Referates EMV bei der Siemens AG in Erlangen, Bereich Industrial Solutions & Technical Services, I&S CTF EMC. Er ist Sekretär von IEC TC77 EMC in Genf, Leiter von IEC SC77B WG10 und hält außerdem die Kontakte zwischen IEC TC77 und CENELEC TC210 in Brüssel sowie zur IEEE EMC Society in den USA.
Siemens AG I&S;
Postfach 3240, D 91050 Erlangen
e-Mail: diethard.moehr@siemens.com

Tabelle 1: Werte von U_{cispr}

Art der Störung, die gemessen wird	Frequenzbereich	U_{cispr}
Geleitete Störungen (Niederspannungsversorgungsleitungen)	(9 kHz – 150 kHz)	4,0 dB
Geleitete Störungen (Niederspannungsversorgungsleitungen)	(150 kHz – 30 MHz)	3,6 dB
Störleistung	(30 MHz – 300 MHz)	4,5 dB
Gestrahlte Störungen (Elektrische Feldstärke im Freifeld oder in einer mit einem Freifeld vergleichbaren Testeinrichtung)	(30 MHz – 1000 MHz)	5,2 dB
Weitere		Unter Beratung

Tabelle 2: Unsicherheitsquellen bei geleiteten Störaussendungsmessungen an Niederspannungsversorgungsanschlüssen

Originalformulierung der CICPR 16-4	Übersetzung der Originalformulierung
receiver reading	Ablesewert des Messempfängers; Messwert
Attenuation of the connection between artificial mains network and receiver	frequenzabhängige Einfügedämpfung der Kabelverbindung zwischen der Netznachbildung und dem Messempfänger
artificial mains network voltage division factor	Spannungsteilungsfaktor der Netznachbildung
receiver sine-wave voltage accuracy	Sinus Signalfestigkeit des Messempfängers
receiver pulse amplitude response	Impuls-Signalfestigkeit des Messempfängers
receiver pulse response variation with repetition frequency	
receiver noise floor	Grundrauschen des Messempfängers
mismatch effects between artificial mains network receiver port and receiver	Fehlanpassung zwischen der Netznachbildung und dem Messempfänger
artificial mains network impedence	Einfügedimpedanz der Netznachbildung

stellen. Im letztgenannten Fall entspricht das Produkt dann nicht den gesetzlichen Anforderungen, die innerhalb der EU in Bezug auf EMV durch die auf den Binnenmarkt gebrachten elektrotechnischen Produkte gewährleistet werden müssen. Der Hersteller verstößt also gegen bestehendes EU-Recht und Deutsches Recht in Umsetzung des EU-Rechts. Das hat, wie viele Unternehmen inzwischen wissen, sehr unangenehme Folgen.

Um dem vorzubeugen, halten viele EMV-Testlabore gewisse Sicherheitsabstände zum gesetzlichen Grenzwert vor, d.h. man setzt sich je nach Messverfahren eigene Laborgrenzwerte, die bei Störaussendungsmessungen unter den gesetzlich geforderten Grenzwerten liegen und die bei Störfestigkeitsmessungen zu einer Erhöhung der getesteten Werte führen, bis zu denen das Testobjekt wie gefordert funktionieren muss.

Diese Sicherheitsabstände oder Sicherheitsmargen sind von Labor zu Labor verschieden. So gibt es EMV-Labore, die den Faktor 2 (bei Spannungen und Feldstärken sind das 6 dB) als Sicherheitsmarge für ihren Laborbetrieb für ausreichend halten. Andere Labore gehen bis zu 10 dB und auch darüber. In jedem Falle gilt:

Merke: Je höher der Sicherheitsabstand desto teurer die Einhaltung der EMV-Richtlinien in Bezug auf das so getestete Produkt.

Manche Labore werben mit einem geringen Abstand in der falschen Annahme, dass ein geringer Sicherheitsabstand mit billig Testen gleichzusetzen wäre. Weit gefehlt, denn einige Voraussetzungen sind unbedingt sicherzustellen, bevor sichergestellt werden kann, dass dieses Vorgehen nicht zu einem Gesetzesverstoß führt. Abgesehen von Fertigungsstreuungen, die immer EMV-Probleme bedingen können, führen unbedachte Änderungen am

Produkt, die durchgeführt wurden, ohne die EMV nachzutesten, am häufigsten zu EMV-Bearstandungen bei Nachmessungen. Hier muss sich jeder die Frage stellen, wie viele dB er für diesen Problembereich vorgehalten hat?

Dazu kommt noch das bereits erwähnte Problem der Messunsicherheit der EMV-Messeinrichtungen und Messgeräte. Kann ein Unternehmen noch die vorgenannten Probleme durch eine wirklich optimale Fertigungs- und Freigabestruktur beeinflussen und (wenn alles richtig funktioniert) minimieren, hat es auf die EMV-Messtechnik und Messeinrichtungen oft nur bedingte Einflussmöglichkeiten.

Im Folgenden soll an einigen Beispielen verdeutlicht werden, dass der Teufel im Detail liegen kann:

Beispiel 1

Ein Unternehmen hat eine neue Absorbermesshalle angeschafft; was ist aber wirklich über die Langzeitstabilität der Absorber bekannt? Wie viele dB werden nach fünf Jahren noch verschluckt und wie ändert sich damit die Qualität der Messeinrichtung? Wie oft müsste die Qualität der Messeinrichtung überprüft werden? Ist der Einflussfaktor groß oder klein? Ist er in dB ausdrückbar oder sollten besser ein Faktor definiert werden?

Beispiel 2

Ein Unternehmen hat für einen alten ESD-Testgenerator einen neuen als Ersatz gekauft. Obwohl der alte Generator termingerecht vom Hersteller nachkalibriert wurde, hat er nachweislich eine andere Auswirkung auf das Testobjekte als der neue Generator. Die Ursache ist nicht unbedingt offensichtlich. Hier muss sich das Unternehmen entscheiden, ob es die Sache am besten auf sich beruhen lassen

oder den Herstellern um Rat fragen will. Hier fürchtet das Messpersonal häufig die Kosten und blamable Situationen.

Merke: Unsicherheit beim Messpersonal ist ein optimaler Nährboden für EMV-Messunsicherheit.

Beispiel 3

Ein Unternehmen betreibt ein Freifeldmessgelände. Bei Regen und Sonnenschein, bei Minusgraden und Schnee im Winter und 30 Grad Celsius im Sommer (in Fahrenheit sind das 86 Grad) wird die Einrichtung genutzt. Wir reagieren aber die Messantennen auf diese Tortour; müssen sie jeden Abend ins Trockene getragen werden? Was weiß das Messpersonal über die Witterungseinflüsse auf das Messergebnis für die gestrahlte EMV-Störaussendungsmessung und sind diese eventuell auch noch von der Bodenfeuchtigkeit und der Art der ggf. im Boden verlegten Masseplatte abhängig? Wie reagieren eigentlich die Messkabel und Steckersysteme auf die Einflüsse des mitteleuropäischen Wetters und wann sollten diese ggf. einmal geprüft oder ersetzt werden?

Merke: Es gibt mehr Fragen als korrekte Antworten. Deshalb ist Vorsicht geboten.

Diese Liste könnte beliebig weitergeführt und erweitert werden.

Jeder verantwortungsbewusste Prüfer sollte sich mit diesen Beispielen genauer beschäftigen und sich die Kernpunkte zur Reduzierung des eigenen EMV-Sicherheitsabstands genau einprägen und in seinem Arbeitsbereich auf deren Beachtung bestehen. Damit minimiert er wesentliche EMV-Messunsicherheitsprobleme, die außerhalb der eigentlichen Messunsicherheit der EMV-Messeinrichtungen liegen.

Die Empfehlungen der neuen CISPR 16-4

Es sei betont, dass die neue Fassung der CISPR 16-4 im Detail ausschließlich auf EMV-Störaussendungsmessungen eingeht. Im Vorwort der neuen Norm wird aber sehr wohl ausdrücklich gesagt, dass die gleiche Betrachtungsweise (im übertragenen Sinn natürlich) auch für EMV-Störfestigkeitsmessungen zutrifft. Dies vorausgesetzt und unter der Beachtung der unten angegebenen Symbole wird im Folgenden auf die Details der neuen Norm eingegangen.

Die Messunsicherheit der eingesetzten EMV-Messeinrichtungen ist in jedem Fall zu betrachten, unabhängig davon, ob ein Abnahmetest oder nur eine Voruntersuchungen an-

Tabelle 3: Unsicherheitsquellen bei Störleistungsmessungen

Originalformulierung der CICPR 16-4	Übersetzung der Originalformulierung
receiver reading	Ablesewert des Messempfängers; Messwert
attenuation of the connection between absorbing clamp and receiver	frequenzabhängige Einfügungsdämpfung der Kabelverbindung zwischen der Absorbermesszange und dem Messempfänger
absorbing clamp insertion loss	frequenzabhängige Einfügungsdämpfung der Absorbermesszange
receiver sine-wave voltage accuracy	Sinus Signalfestigkeit des Messempfängers
receiver pulse amplitude response	Impuls-Signalfestigkeit des Messempfängers
receiver pulse response variation with repetition frequency	
receiver noise floor	Grundrauschen des Messempfängers
mismatch effects between absorbing clamp receiver port and receiver	Fehlanpassung zwischen der Absorbermesszange und dem Messempfänger
effect of mains disturbances	Störeffekte durch Netzstörungen
effect of environment	Umgebungseinflüsse

steht. Die Messunsicherheit der eingesetzten EMV-Messeinrichtungen ist je nach Labor verschieden aber sie ist auch zusätzlich abhängig vom jeweiligen Testverfahren. So kann ein bestimmtes Labor für ein bestimmtes Testverfahren eine erheblich höhere Messunsicherheit haben als für ein anderes. Deshalb sind die erforderlichen Messeinrichtungen und die dort auftretenden Messgrößen differenziert und einzeln zu betrachten.

Die Betrachtung der Messunsicherheit der eingesetzten EMV-Messeinrichtung soll zumindest alle im folgenden Abschnitt aufgeführten Unsicherheitsquellen je nach Messung berücksichtigen. Die erwartete Unsicherheit $u(x_i)$ einer jeden Unsicherheitsquelle, die in dB angegeben wird, sowie der sogenannte Wichtungskoeffizient c_i sind für jede beteiligte Unsicherheitsquelle mit dem eigentlichen Messwert x_i zu evaluieren. Die so erhaltene gesamte Standardunsicherheit $u_c(y)$ des erwarteten Wertes y der gesamten Messunsicherheit aller beteiligten Unsicherheitsquellen ist dann wie folgt berechenbar:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_i c_i^2 u^2(x_i)} \quad (1)$$

Die gesamte Messunsicherheit des EMV-Labors U_{lab} , die im Testbericht angegeben werden soll, errechnet sich dann durch:

$$U_{lab} = 2 u_c(y) \quad (2)$$

Das Bestätigen der Einhaltung oder Nichteinhaltung der vorgeschriebenen gesetzlichen Störaussendungsgrenzwerte unter der Berücksichtigung der Messunsicherheit des speziellen EMV-Labors wird dann nach der folgenden Prozedur vorgenommen:

Falls U_{lab} kleiner als U_{cispr} gemäß Tabelle 1 ist, dann:

- ▶ liegt eine Einhaltung der gesetzlichen Grenzwerte vor, falls keine der gemessenen Störungen den Störgrenzwert übersteigt.
- ▶ liegt eine Nichteinhaltung der gesetzlichen Grenzwerte vor, falls irgendeine der

gemessenen Störungen den Störgrenzwert übersteigt.

Falls U_{lab} größer als U_{cispr} gemäß Tabelle 1 ist, dann:

- ▶ liegt eine Einhaltung der gesetzlichen Grenzwerte vor, falls keine der gemessenen Störungen vergrößert um den Wert $(U_{lab} - U_{cispr})$ den Störgrenzwert übersteigt.
- ▶ liegt eine Nichteinhaltung der gesetzlichen Grenzwerte vor, falls irgendeine der gemessenen Störungen vergrößert um den Wert $(U_{lab} - U_{cispr})$ den Störgrenzwert übersteigt.

Die Werte für U_{cispr} ergeben sich aus dem Gesamtwert der Messunsicherheit, die aus jeweils einem ganz speziellen Test folgt, bei dem die im folgenden Abschnitt angegebenen Größen in Betracht gezogen worden sind. Im weiteren beruhen die Werte für U_{cispr} auf Messunsicherheitsbetrachtungen, deren Grundlagen in den Quellen [4] bis [7] ausführlich behandelt werden.

Tabelle 4: Unsicherheitsquellen bei gestrahlten Störaussendungsmessungen der elektrischen Feldstärke in einem Freifeld oder in einer vergleichbaren Testeinrichtung

Originalformulierung der CICPR 16-4	Übersetzung der Originalformulierung
Receiver reading	Ablesewert des Messempfängers; Messwert
Attenuation of the connection between antenna(e) and receiver	frequenzabhängige Einfügungsdämpfung der Kabelverbindung zwischen der(n) Messantenne(n) und dem Messempfänger
Antenna factor	Antennenfaktor
Receiver sine-wave voltage accuracy	Sinus Signalfestigkeit des Messempfängers
Receiver pulse amplitude response	Impuls-Signalfestigkeit des Messempfängers
Receiver pulse response variation with repetition frequency	
Receiver noise floor	Grundrauschen des Messempfängers
Mismatch effects between antenna port and receiver	Fehlanpassung zwischen der(n) Messantenne(n) und dem Messempfänger
Antenna factor frequency interpolation	frequenzabhängige Interpolation des Antennenfaktors
Antenna factor variation with height	Änderung des Antennenfaktors in Abhängigkeit von der Höhe über dem Erdboden (bei vergleichbaren Testeinrichtungen über der Massefläche)
Antenna directivity	Antennendirektivität
Antenna phase centre	frequenzabhängiger Phasenfußpunkt der Antenne(n)
Antenna cross-polarisation response	frequenzabhängige Kreuzpolarisationsabhängigkeit der Messantenne(n)
Antenna balance	
Test site	Gegebenheiten des Messfeldes
Separation between equipment under test and measurement antenna	Messentfernung zwischen Testobjekt und Messantenne(n)
Height of table supporting the equipment under test	Höhe des (Dreh-)Tisches, auf dem das Testobjekt über dem Boden steht

Unsicherheitsquellen bei EMV-Störaussendungsmessungen

Die Tabellen 2 bis 4 zeigen mögliche Unsicherheitsquellen bei geleiteten EMV-Störaussendungen (Tab. 2), Störleistungsmessungen (Tab. 3) und gestrahlten Störaussendungsmessungen. Die Listen enthalten jeweils sowohl die englischen Begriffe der Originalfassung der CISPR 16-4 als auch die deutschen Begriffe.

Schlussbemerkung

Dem Fachmann ist klar, dass die aufgeführten Unsicherheitsquellen nicht die einzigen aus der EMV-Messeinrichtung herrührenden Quellen sind, die das Messergebnis einer EMV-Messung beeinflussen können, aber es handelt sich um wesentliche Unsicherheitsquellen. Es ist schwierig genug, diese Quellen richtig zu erfassen.

Die neue CISPR 16-4 gibt im Anhang A umfangreiche Informationen zum Hintergrund der Werte, die in Tabelle 1 für U_{cispr} angegeben sind. Es ist jedem EMV Labor und

Messteam empfohlen, diese Hintergründe genau zu kennen, denn nur so kann man auf weitere Probleme im eigenen Labor oder bei Messungen vor Ort oder in Anlagen und Installationen schließen. **TEST**

Verwendete Symbole

x_i	Messwert der Unsicherheitsquelle
c_i	Wichtungskoeffizient für die Unsicherheit der Unsicherheitsquelle
$u(x_i)$	erwartete Unsicherheit der Unsicherheitsquelle
$u_c(y)$	Summation der Unsicherheitsquellen gewichtet (gesamte erwartete Standardunsicherheit)
U_{cispr}	EMV-Messunsicherheit erhalten bei einer CISPR-Standard-Messung
U_{lab}	Gesamtunsicherheit des EMV-Labors bezogen auf die jeweilige Messung

Literatur

- [1] CISPR 16-1: 1999, Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods - Part 1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus
- [2] CISPR 16-2: 1999, Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods - Part 2: Methods of measurement of disturbances and immunity
- [3] CISPR 16-3: 1999, Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods - Part 3: Reports and recommendations of CISPR
- [4] International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology, ISO, 1993, ISBN 92-67-01075-1
- [5] ISO/IEC GUIDE EXPRES: 1995, Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement
- [6] Taylor, BN. and Kuyatt, CE.: Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results, US Department of Commerce Technology Administration, National Institute of Standards and Technology, 1994-09, NIST Technical Note 1297
- [7] Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration, European Cooperation for Accreditation of Laboratories, EAL-R2, April 1997; and Supplement 1 to EAL-R2, EAL-R2-S1, November 1997
- [8] Marktüberwachung bzgl. der EMV und R&TTE Richtlinie in Deutschland im Jahr 2001, Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post, Reg TP, 2002-03

www.publish-industry.net
more @ click TK3A0204

LESERTIPP

**Mess- und Prüftechnik im Internet –
Sie möchten Fachbeiträge und Verzeichnisse archivieren
bzw. mit den Autoren direkt Kontakt aufnehmen?**

**Unter www.publish-industry.net/ELEKTRONIK
finden Sie viele Artikel des TEST KOMPENDIUMs 2002 und 2003 als pdf-Dateien
zum Download.**

**Einfach den more@click-Code unter dem Artikel
auf www.publish-industry.net in das vorgesehene Feld eingeben und
mit der ‚toolbox‘ unter der Meldung mit anderen
Marktteilnehmern interaktiven Austausch betreiben.**

www.publish-industry.net

Die Knowledge-Plattform für Elektronik und Automation

publish industry
TECHNIK KOMMUNIZIEREN

Gollierstraße 23 · D-80339 München · Fon. +49/89/500383-0 · Fax. +49/89/500383-10 · info@publish-industry.net · www.publish-industry.net