

Änderungen an der IEC 61000-4-3, Ausgabe 3

Jason H. Smith

AR RF/Microwave Instrumentation

Dieser Artikel diskutiert die Änderungen an der IEC 61000-3-4. Hierzu gehören eine deutliche Erweiterung des Frequenzbereichs, neue Anforderungen an die Linearität und den Oberschwingungsgehalt des HF-Leistungsverstärkers und Anforderungen an das Material des Prüftisches.

I. EINLEITUNG

Die IEC 61000-4-3 wurde über viele Jahre als die grundlegende *Prüfnorm* für gestrahlte Störfestigkeitsprüfungen angewendet. Sie ist eine der Anforderungen, die für das CE-Zeichen der Europäischen Union erfüllt werden müssen. Diese *Norm* wird in Verbindungen mit spezifischen *Produktnormen* angewendet. Eine *Produktnorm* konkretisiert die Anforderungen dieser Norm und anderer Prüfstandards und beschreibt die detaillierten Anforderungen an ein bestimmtes Produkt. Die *Produktnorm* enthält zusätzliche Angaben zur Anwendung der *Prüfnorm*, wie z.B. den Prüfschärfegrad oder Änderungen am Prüfablauf.

Das Ziel dieser Grundnorm ist es, Mess- und Prüfmethoden zu etablieren, die notwendig sind um die Störfestigkeit gegen eine Vielzahl bekannter und unbekannter Störquellen sicherzustellen. Ein Beispiel für eine bekannte HF-Störquelle sind die allgegenwärtigen Mobiltelefone. Andere potentielle Störquellen sind Handfunkgeräte, Radio- und TV-Sender und unbewusste Quellen wie Elektromotoren mit hoher Leistung und Schweißmaschinen, wie sie typischer Weise im industriellen Bereich eingesetzt werden. Die Einführung intelligenter, kabelloser Geräte macht erweiterte Störfestigkeitsprüfungen notwendig. Dies geschieht nicht nur auf Grund behördlicher Anforderungen sondern auch, um die Zuverlässigkeit von Produkten und damit die Kundenzufriedenheit zu erhöhen.

Hinweis: Ziel dieses Artikels ist es, Hintergrundinformationen und eine Übersicht über die Änderungen an der IEC 61000-4-3 zu bieten. Bitte prüfen Sie die letzte Ausgabe der offiziellen Norm, wenn Sie ein System für Störfestigkeitsprüfungen konfigurieren.

II. DIE WICHTIGSTEN ÄNDERUNGEN AN DER IEC 61000-4-3 AUSGABE 3.0

- Verschärfte Anforderung an die Harmonischenunterdrückung von mehr als 6 dB
- Prüfung ab 2 dB-Kompressionspunkt zur Validierung der Linearität des HF-Verstärkers
- Erweiterung des Frequenzbereichs bis 6 GHz
- Neue Anforderungen an das Material des Prüftisches

Die genannten Änderungen werden sehr wahrscheinlich den Betrieb von Prüfeinrichtungen beeinflussen und sicherlich einen Einfluss auf die Auswahl der Prüfgeräte haben.

III. HARMONISCHENUNTERDRÜCKUNG

Die Harmonischenunterdrückung ist ein Gütefaktor für die Messgenauigkeit. Sie definiert den spektralen Reinheitsgrad eines HF-Ausgangssignals eines Leistungsverstärkers. Es handelt sich um die Differenz der Signalstärke zwischen Grundschwingung und Oberschwingungen in dB. Idealerweise wäre das HF-Ausgangssignal eine reine Sinuskurve der Grundfrequenz ohne Harmonische. In der Realität hat auch der beste Leistungsverstärker eine Verzerrung, die sich auf die Harmonischen der Grundschwingung überträgt. Während die Harmonischen, bei Betrieb des Verstärkers deutlich unterhalb der Sättigung, im Vergleich zur Grundschwingung vernachlässigt werden können, bieten sie Anlass zur Besorgnis, wenn der Verstärker den Sättigungspunkt erreicht. Die neue Norm verlangt eine Harmonischenunterdrückung im Feld von größer als -6 dBc. Das heißt, dass jede im gleichförmigen Feld gemessene Feldstärke der Oberschwingungsfrequenz mindestens 6 dB unterhalb der bei der Grundschwingungsfrequenz gemessenen Feldstärke liegt. Dies kann zu Problemen führen, wenn Klasse-A-HF-Halbleiterverstärker in der Kompression oder Wanderfeldröhrenverstärker (TWTs) eingesetzt werden. TWT-Verstärker wurden historisch für Prüfungen oberhalb von 1 GHz eingesetzt, wenn hohe Leistungen benötigt wurden. Sie bieten zwar ein gutes Preis-Leistungs-Verhältnis, jedoch keinen hohen Grad an Harmonischenunterdrückung. Prüfanwendungen im Mikrowellenbereich, bei denen keine hohen Leistungen benötigt werden, können besser mit Halbleiter-Mikrowellenverstärkern anstelle von TWT-Verstärkern durchgeführt werden. Die Harmonischenunterdrückung der Halbleiterverstärker ist deutlich besser als bei vergleichbaren TWT-Verstärkern.

TWT-Verstärker können nach wie vor für Prüfungen im höheren Leistungsbereich eingesetzt werden. Hier muss jedoch sorgfältig darauf geachtet werden, dass die Anforderungen der Norm erfüllt werden. Einige TWT-Verstärker verfügen über interne Filter oder Röhrenkombinationen zur Harmonischenreduzierung. Bei den meisten anderen TWT-Verstärkern können externe Filter eingesetzt werden um die unerwünschten Harmonischen zu unterdrücken. Abbildung 1 und Abbildung 2 zeigen beispielhaft den Anteil an Harmonischen für einen Halbleiter-Verstärker und einen TWT-Verstärker (20 Watt Nennleistung). Der Halbleiterverstärker hat einen hervorragenden Oberwellenabstand von -24 dBc, während dieser Wert bei dem TWT-Verstärker nur bei -0,8 dBc liegt.

Die Harmonischen des TWT-Verstärkers gehen in die HF-Kalibrierung der Feldsonde ein, da diese nicht zwischen dem Prüfsignal und den Harmonischen unterscheiden können. Feldsonden reagieren auf alle vorhandenen Signale in ihrem Frequenzbereich. Ein zusätzliches Problem ist der frequenzabhängige Antennengewinn. Der Gewinn einer Antenne kann bis zu 5 dB höher sein als bei der Frequenz der 1. Oberwelle

in Relation zur Trägerfrequenz. In diesem Fall führt die Harmonischenunterdrückung des TWT-Verstärkers von -0,8 dBc zu einer wesentlich höheren durch den Feldsensor gemessenen Feldstärke. Der Oberwellenanteil führt zu einem deutlichen Fehler bei der Messung der Feldstärke. In diesem Fall werden Tiefpassfilter zur Harmonischenunterdrückung benötigt. Der Einsatz dieser Filter hat eine geringere Ausgangsleistung sowie einen Verlust an Produktivität, durch die Rüstzeit für den Ein- und Ausbau des Filters, zur Folge. Der Frequenzbereich des Verstärkers gibt vor, welcher Frequenzbereich durch den Filter abgedeckt werden muss und ob mehrere Filter benötigt werden. Die meisten Halbleiter-Verstärker benötigen keine Filter, da der Oberwellenanteil weit über 6 dBc liegt.

Ein hoher Oberwellenanteil kann auch nachteilige Auswirkungen auf den Prüfling (EUT) haben. Die Harmonische könnte bei einer Frequenz liegen, die einen Ausfall des Prüflings verursacht. Da das Prüfpersonal irrtümlich davon ausgeht, bei der Grundschwingungsfrequenz zu prüfen, wird fälschlicher Weise von einem Ausfall des Prüflings bei eben dieser Grundschwingungsfrequenz ausgegangen. Es ist durchaus möglich, dass diese Oberschwingungen außerhalb des für den Prüfling spezifizierten Prüffrequenzbereichs liegen und nicht Teil der Prüfung sein sollte. Aus Sicht eines Herstellers sind hohe Harmonische im Spektrum unerwünscht, da sie nicht nachvollziehbare Prüflingausfälle verursachen können und während eines Prüfablaufs nicht vorhanden sein sollten.

Wenn wir die eingesetzte Messkette berücksichtigen, können wir den maximalen Wert für den Oberwellenanteil schätzen:

| | |
|--|-----------------|
| Von der Spezifikation gefordert: | = -6 dB |
| Maximale Abweichung des Antennengewinns zwischen der Frequenz der Oberwelle und der Grundschwingungsfrequenz | = -5 dB |
| Andere Einflüsse durch den Prüfaufbau und den Raum (Sicherheitsfaktor) | = -3 dB |
| Gesamt | = -14 dB |

Ein Oberschwingungsgehalt höher als -14 dBc wäre zulässig.

Die Spezifikation des Verstärkers in Bezug auf den Oberwellenabstand der Harmonischen mit -14 dBc wäre nicht ausreichend. Es ist wichtig, einen Verstärker nicht in die Kompression zu fahren, da hier die Oberwellenanteile und das Zusatzmodulationsprodukt überproportional ansteigen.

IV. PRÜFUNG DER LINEARITÄT

In der Theorie ist der lineare Bereich eines Verstärkers der Arbeitsbereich, in dem eine Änderung des Eingangssignals um 1 dB eine Änderung des Ausgangssignals um 1 dB zur Folge hat. In diesem idealen linearen Bereich besteht also ein Verhältnis von 1:1 zwischen Eingangs- und Ausgangsleistung. Mit Zunahme des Eingangssignals wird der Punkt erreicht, an dem die Änderung des Ausgangssignals nicht mehr der Änderung des Eingangssignals entspricht und der Verstärker die Sättigung erreicht. In der Realität sind die meisten Verstärker zumindest teilweise von Nichtlinearität betroffen, was zur Verzerrung des Ausgangssignals führt. Ein verzerrtes Ausgangssignal verursacht Oberschwingungen und nicht reproduzierbare Prüfergebnisse. Tatsächlich ähnelt das Ausgangssignal eines Verstärkers, der in die Kompression gefahren wird, eher einem Rechtecksignal als einer Sinuskurve.

Einige Halbleiterverstärker sind sowohl für den 1 dB- als auch für den 3 dB- Kompressionspunkt spezifiziert. Per Definition wird die Verstärkerkennlinie unterhalb des 1 dB-Kompressionspunktes als linear bezeichnet. Oberhalb des 3 dB-Kompressionspunktes wird angenommen, dass der Verstärker sich in voller Kompression befindet. Abbildung 3 zeigt einen AR Halbleiterverstärker und den 1 dB- und 3dB-

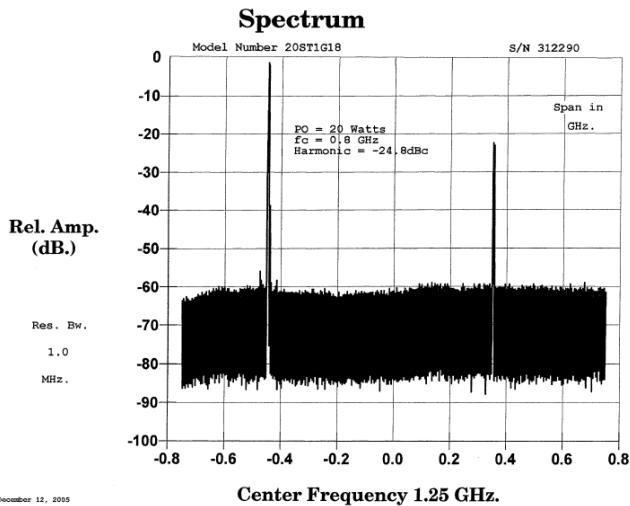


Fig. 1 Oberschwingungsgehalt eines breitbandigen Halbleiterverstärkers gemessen bei -24 dBc

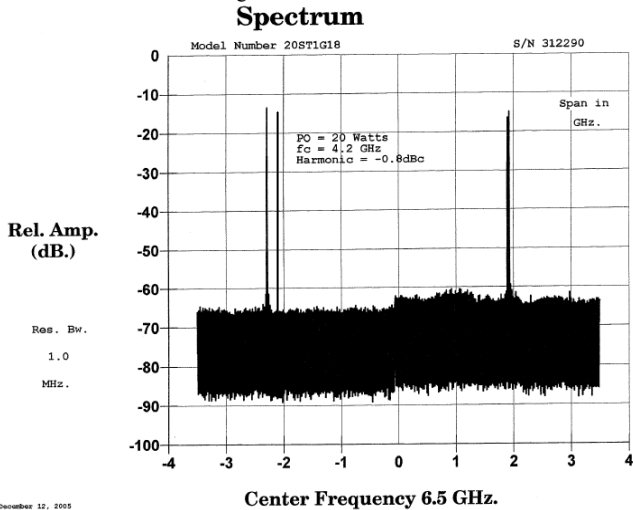


Fig. 2 Oberschwingungsgehalt eines breitbandigen TWT-Verstärkers gemessen bei -0,8 dBc

Kompressionspunkt. Der 1 dB-Kompressionspunkt ist definiert als der Punkt, an dem eine Erhöhung des Eingangssignals um 10 dB zu einer Erhöhung des Ausgangssignals um 9 dB führt (Oranges Dreieck). Den Punkt, an dem eine Erhöhung des Eingangssignals um 10 dB zu einer Erhöhung des Ausgangssignals um 7 dB führt, nennt man 3 dB-Kompressionspunkt (grünes Dreieck).

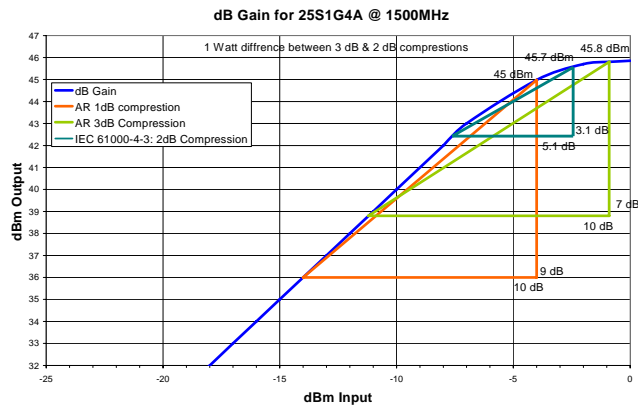


Fig. 3: Komprimierte Leistung eines Halbleiterverstärkers bei einer definierten Frequenz

In dem Bestreben, die Verstärkerlinearität zu kontrollieren, verlangt die neue Spezifikation einen 2 dB-Kompressionspunkt (türkises Dreieck), während der Verstärker an die Antenne angeschlossen ist. Wenn die Antenne eine Impedanz von exakt 50 Ω hätte, könnten Verstärkerhersteller diesen neuen 2 dB-Kompressionspunkt einfach als Referenz für die Auswahl eines Leistungsverstärkers spezifizieren. Aber da Antennen eine unbekannte, häufig komplexe Impedanz haben und keine exakte 50 Ω -Last für den Verstärker darstellen, wird sich der Kompressionspunkt des Verstärkers sehr wahrscheinlich ändern, sobald er in das Prüfsystem integriert wird. Aus diesem Grund sollte man die Auswahl eines Verstärkers auf Basis des vom Hersteller gelieferten 1 dB-Kompressionspunktes wählen, um einen entsprechenden Spielraum für Fehler zu haben. Dies könnte bei der Verwendung eines TWT-Verstärkers zu Problemen führen, da diese normalerweise nicht so linear wie Halbleiterverstärker sind. Der 1 dB-Kompressionspunkt liegt hier bei 25 % der Nennleistung. Ein 20-Watt-TWT-Verstärker hätte also einen 1 dB-Kompressionspunkt von rund 5 Watt. Im Falle des Halbleiterverstärkers Modell 25S1G4A beträgt die Nennleistung mindestens 25 Watt. Der 1 dB-Kompressionspunkt ermöglicht ca. 20 Watt nutzbare Ausgangsleistung.

Compressed Power

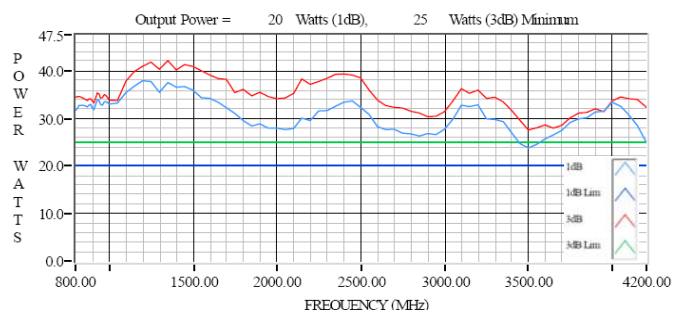


Abbildung 4 Komprimierte Leistung eines Halbleiterverstärkers über seinen Frequenzbereich

Abbildung 4 zeigt die Mussdaten eines 25 Watt- Verstärkers Typ 25S1G4A. Die Leistung am 3 dB-Kompressionspunkt beträgt bei 1,5 GHz 41 Watt, während die Leistung am 1 dB-Kompressionspunkt 36 Watt beträgt. Um den richtigen Verstärker auszuwählen, sollte man entweder die Spezifikation des Verstärkers genau prüfen oder die Hilfe des Lieferanten bei der Auswahl eines geeigneten Produkts in Anspruch nehmen.

Weiter sollte man bei der Auswahl eines Leistungsverstärkers darauf achten, dass er über eine ausreichende Leistungsreserve verfügt um eine Amplitudenmodulation von 80 % zuzulassen. Ein Verstärker, der nur ein CW-Signal zur Verfügung stellen kann, ist nicht geeignet. Ein solcher Verstärker wird, wenn es zu einer Amplitudenmodulation kommt, voll in die Sättigung gefahren und das Ausgangssignal wird deutlich verzerrt. Geht man davon aus, dass eine Amplituden Modulation von 80 % zu einer Erhöhung der HF-Spannung von 1,8 führt, so muss der Leistungsverstärker in der Lage sein, mindestens 5,1 dB zusätzliche Ausgangsleistung zu liefern. Hierdurch ergibt sich eine 3,24fache Leistung, um ein mit 80% moduliertes AM-Signal mit gleicher Feldstärke zu erzeugen.

V. ERWEITERTER FREQUENZBEREICH

Die wachsende Nutzung des HF-Spektrums durch die Funkkommunikation sowie die Nutzung von breitbandigen Datenübertragungssystemen und HIPERLANs machten eine Erweiterung des Prüffrequenzbereichs von 2 GHz auf 6 GHz notwendig. Die Obergrenze ist fest definiert bei 6 GHz. Es ist unter Umständen nicht zwingend, über den ganzen Frequenzbereich von 2 GHz bis 6 GHz zu prüfen. Wie man der Tabelle G der IEC 61000-4-3 entnehmen kann, ist die Frequenznutzung meist relativ schmalbandig und systemabhängig.

Während diese Norm Prüf- und Messverfahren festlegt, können die konkreten Prüffrequenzen, Prüfpegel und spezifischen Verfahren den einschlägigen *Produktnormen* entnommen werden. Abhängig vom Land der Nutzung und von der konkreten Anwendung, kann es sein, dass nicht alle Frequenzbänder geprüft werden müssen. Weiter nutzen nicht alle Kommunikationsstandards die gleiche Signalstärke. Die *Produktnormen*, welche in Verbindung mit der Norm angewendet werden, enthalten die nötigen Hinweise zu Prüffrequenzen, Prüfpegeln und spezifischen Verfahren.

Neueinführungen von Produkten, die Frequenzbänder oberhalb von 1 GHz nutzen, sind vielfältig. Die neue Norm berücksichtigt existierende Problembereiche zum Zeitpunkt der Veröffentlichung. Bedauerlicher Weise werden entsprechende *Produktnormen* oft erst später, mit einer Verzögerung von mehreren Jahren, veröffentlicht. In der Zwischenzeit müssen Hersteller sicherstellen, dass neue Produkte ausreichend gegen

gestrahlte elektromagnetische Felder geschützt sind. Es ist wichtig, dass sie auch bei den neuen, höheren Frequenzen und Feldstärken prüfen, unabhängig davon, ob entsprechende Vorgaben in den *Produktnormen* noch fehlen. Ein noch besserer Ansatz für Hersteller ist es, über die bestehende Spezifikation hinaus zu entwickeln und zu prüfen. Eine solche pro-aktive Philosophie wirkt sich positiv auf Produktqualität und Kundenzufriedenheit aus.

Auch die Anforderungen an Prüfkabinen dürften sich auf Grund des erweiterten Frequenzbereichs ändern. Viele Labore verfügen über eine mit Ferriten ausgekleidete Kabine. Ferrite sind gut geeignet für Prüfungen unterhalb von 1 GHz. Da die absorbierenden Eigenschaften oberhalb von 1 GHz nicht sehr gut sind, kann es in diesem Bereich zu Reflexionen kommen. Diese erschweren wiederum die Generierung eines homogenen Feldes bei höheren Frequenzen. Anhang C der IEC 61000-4-3 erklärt die Problematik und enthält gute Hinweise und Optionen zur Korrektur dieses Sachverhalts. Eine voll ausgekleidete Absorberkabine mit Ferriten und Absorbern sollte Abhilfe schaffen.

Die meisten Prüflabore werden Hornantennen mit hohem Gewinn als brauchbare Lösung bei 6 GHz in Betracht ziehen. Bei Prüfungen bis 6 GHz erweist sich der relativ kleine Öffnungswinkel als wesentlicher Nachteil von Hornantennen und log-periodischen Antennen. Die IEC 61000-4-3 behandelt dieses Problem mit dem alternativen Bestrahlungsverfahren, welches in Anhang H beschrieben ist. Dieses Verfahren kann für Prüfungen oberhalb von 1 GHz angewendet werden und wird auch als „Verfahren der unabhängigen Fenster“ bezeichnet. Bei dieser Methode wird die Antenne im Abstand von 1 m zum Prüfling platziert. Der Kalibrierungsbereich wird in ein geeignetes Feld aus 0,5 m x 0,5 m großen Fenstern aufgeteilt, so dass der gesamte von der Vorderseite des Prüflings einzunehmende Bereich abgedeckt wird. Die Antenne wird von einem Fenster zum nächsten bewegt. Im Anhang A finden Sie Details zum Festlegen der Ausleuchtungszone.

VI. PRÜFTISCH

Gemäß den Anforderungen muss der Prüftisch aus einem Material, welches für HF-Felder transparent ist, gefertigt sein. Eines der empfohlenen Materialien ist steifes Polysteren. In der Vergangenheit haben viele Labore Tische aus Holz eingesetzt, welche für Prüfungen im unteren Frequenzbereich gut geeignet sind. Bei 6 GHz kann Holz Reflexionen erzeugen. Dies kann sich negativ auf die Homogenität des Feldes und damit auf die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse auswirken.

VII. ALLGEMEINE TIPPS FÜR PRÜFUNGEN

Die in diesem Artikel beschriebenen neuen Anforderungen können Aufrüstungen und Neuanschaffungen im Bereich der Messtechnik notwendig machen. Folgende Empfehlungen können den Bedarf an neuer Messtechnik reduzieren.

Bei Problemen mit dem Oberschwingungsgehalt:

- Können HF-Filter am Ausgang des Verstärkers zur Lösung des Problems beitragen.
 - Stellen Sie sicher, dass der Verstärker nicht in der Sättigung betrieben wird um die Einfügungsdämpfung der Filter zu kompensieren.
 - Planen Sie zusätzliche Prüfzeiten ein, um die Filter ein- und auszubauen.

Bei Problemen mit den Anforderungen an die Linearität:

- Reduzieren Sie alle HF-Verluste im System.
 - Setzen Sie hochwertige HF-Kabel und -Anschlüsse mit geringem Verlust ein.
 - Stellen Sie sicher, dass alle HF-Verbindungen mit dem richtigen Drehmoment angezogen sind.
 - Stellen Sie sicher, dass alle Anschlüsse gereinigt sind
 - Verkürzen Sie die HF-Verkabelung (hier durch könnte es notwendig sein, den Verstärker näher an der Antenne zu platzieren)
- Verwenden Sie eine andere HF-Antenne.
 - Antennen mit hohem Gewinn benötigen weniger Leistung.
 - Beachten Sie, dass der kleinere Öffnungswinkel einer Hornantenne mit hohem Gewinn die Anforderung an die Kalibrierung eines homogenen Feldes in einem Fenster von 1,5 m x 1,5 m nicht vollständig abdeckt. (Siehe Anhang A für Berechnungen der homogenen Fläche.)
 - Kalibrierung auf ein kleineres Fenster ist erlaubt im Bereich oberhalb von 1 GHz.
 - Hornantennen strahlen die Energie besser vorwärts als log-periodische Antennen, was zu einer verbesserten Feldstärke führt.
- Platzieren Sie die Sendeantenne näher am Prüfling, aber nicht näher als 1 Meter.

Wenn die obigen Empfehlungen berücksichtigt werden und die Anforderungen immer noch nicht erfüllt werden können, wird ein größerer HF-Leistungsverstärker benötigt.

VIII. ZUSAMMENFASSUNG

Die letzte Ausgabe der IEC 61000-3-4 erweitert den Frequenzbereich nach oben, um den vielfältigen neuen Funkkommunikationsgeräten am Markt Rechnung zu tragen. Die Auswirkungen der Erweiterung bis 6 GHz auf Messtechnik und Prüfverfahren wurden in diesem Artikel aufgegriffen und diskutiert.

Erstmalig wird die Verstärkerlinearität behandelt und ein Prüfkriterium für die Linearität in der Norm definiert. Verstärker müssen ausreichend bemessen werden, um sicherzustellen, dass sie in einem zulässigen linearen Bereich betrieben werden. Bei Problemen mit dem Oberschwingungsgehalt wird der Einsatz von HF-Filtern notwendig, um die Harmonischen zu dämpfen. Während dieses Problem bei Halbleiterverstärkern in der Regel nicht auftritt, werden für TWT-Verstärker Filter benötigt.

Es empfiehlt sich bei der Produktauswahl, nach Prüfdaten von Produktionseinheiten zu fragen, um sicherzustellen, dass der Hersteller in der Lage ist, die veröffentlichte Spezifikation auch tatsächlich zu erfüllen.

Qualität der Prüfungen und Reproduzierbarkeit der Ergebnisse sollten Ziel jedes EMV-Prüflabor sein.

ANHANG A

Mit der Hilfe geometrischer Grundsätze können wir die Fenstergröße und Beleuchtungsfläche des 3dB-Öffnungswinkels der Antenne berechnen.

Θ = 3 dB Öffnungswinkel einer Antenne bei einer spezifizierten Frequenz

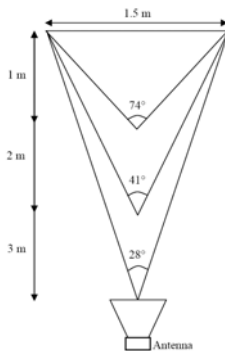
$$\Theta = 2 \tan^{-1} \left[\frac{W}{2D} \right]$$

W = Fensterbreite

$$W = 2D \tan \left[\frac{\Theta}{2} \right]$$

D = Antennenabstand

$$D = \frac{W}{2 \tan \left(\frac{\Theta}{2} \right)}$$



LITERATUR

[1] IEC 61000-4-3:2006 Ed.3.0 Electrical compatibility (EMC) – Part 4-3: Testing and measurement techniques – Radiated, radio-frequency, electro magnetic field immunity test