# EMV Störfestigkeitsprüfungen mit Multitone-Verfahren

## Vorteil des Multitone-Verfahrens

Störfestigkeitsprüfungen mit Multitone-Verfahren bieten viele Vorteile. Neben der Verkürzung der Testzeit und somit wirtschaftlicherem Einsatz begrenzter Ressourcen, sind die optimale Ausnutzung der vorhandenen Verstärkerleistung und bessere Nachbildung der realen Bedingungen weitere Gründe, die für den Einsatz dieses Verfahrens sprechen. Bei diesem Verfahren werden für jede Prüfdauer bzw. Verweilzeit zusätzliche Prüffrequenzen hinzugefügt, sodass die Testzeit effektiv um einen Faktor verkürzt wird, der in etwa der Anzahl der verwendeten Frequenzen entspricht. Insgesamt ermöglicht dieses Verfahren gleichzeitig sowohl eine Produktverbesserung als auch eine kürzere Time-to-Market für neue Produkte.

## 1 Was ist ein Multitone-Signal?

Mehrton- oder Multitone-Signale werden aus vielen Sinusschwingungen mit eigener Amplitude, Phase und Fre-quenz zusammengesetzt. Im Spektralbereich ist die Multitone-Energie an einer eindeutigen Frequenz konzentriert. Im Zeitbereich bilden die vielen Frequenzen gemeinsam ein zusammengesetztes Signal.

### 1.1 Wo werden Multitone Signale bereits eingesetzt?

Ein Bereich, in dem Mehrton-Signale verwendet werden, ist die moderne Audiomesstechnik zum Testen von Audio-Geräten, Breitbandeinheiten sowie Internet-Audio. Mehrtonsignale können in einem Audiotest mit offener Regelschleife verwendet werden, in dem der Analysator nicht mit dem Generator synchronisiert werden muss. Dies ermöglicht es, ein Audiosignal über eine lange Strecke, wie das Internet oder das Handy, zu prüfen. Standard-Mehrtonsignale verwenden Töne mit gleicher Amplitude und gleichem Abstand. Dies sind jedoch keine realen Testbedingungen. Deshalb müssen vom Anwender speziell geeignete Multitone-Sets zusammengestellt werden.

Multitone-Tests sind auch Bestandteil vieler Prüfvor-schriften, die verwendet werden, um den Frequenzgang eines Gerätes und seine Intermodulationsverzerrung zu prüfen. Zwei- und Mehrton-Signale werden in der Kommunikationsindustrie dazu verwendet, nichtlineare Verzerrungen bei Verstärkern, Empfängern, etc. zu untersu-chen.

### 1.1 Welche Möglichkeiten gibt es, Multitone-Signale zu erzeugen?

Die traditionelle Vorgehensweise, Multitone-Signale zu erzeugen, besteht darin, die Ausgangssignale mehrerer, unabhängiger Signalgeneratoren über einen Combiner zu addieren. Dabei werden die einzelnen Frequenzen entweder noch vor dem Leistungsverstärker oder danach zusammengefügt. Alternativ können die einzelnen Frequen-zen über separate Antennen ausgestrahlt und im freien Feld kombiniert werden.

Eine weitere Methode zur Erzeugung von Mehrtonsignalen besteht darin, alle unabhängigen Signalgeneratoren durch einen Vektor-Signalgenerator zu ersetzen.

Genereller Vorteil dieser Methode der Multitone-Signal- Erzeugung ist der einfache Prüfaufbau und die unkomplizierte Testprozedur, da das Signal über nur einen Pfad von der Signalerzeugung über Verstärkung bis zur Ausstrahlung über eine Antenne durchläuft, womit die umständliche Synchronisation der einzelnen Signalpfade entfällt. Weiterhin können die Signalparameter wie Amplitude, Frequenz, Frequenzabstand zwischen den einzelnen Frequenzen sowie die Phase der einzelnen Signale beliebig und unabhängig voneinander eingestellt werden.

Mit einem Vektor-Signalgenerator lassen sich wiederhol-bare Mehrtonsignale, die echte Betriebsbedingungen si-mulieren, erzeugen, abspeichern und schnell abrufen. Dabei bleibt man in weiten Grenzen flexibel, was die Anzahl der möglichen Frequenzen in jedem Frequenzbereich angeht.

## 2 Multitone-System Grundlagen

Das Multitone-System enthält einen Vektor-Signalgenerator, der mehrere Frequenzen gleichzeitig erzeugen kann. Ein HF-Leistungsverstärker mit größerem linearem Dynamikbereich wird benötigt, damit das Gesamtsignal nicht verzerrt wird. Zusätzlich sollte entweder ein Vektor-Signalanalysator oder ein Spektrum Analysator eingesetzt werden, um die Energie im Spektralbereich zu ermitteln, da traditionelle Leistungsmessgeräte das gesamte Spektrum breitbandig erfassen, einschließlich der Harmonischen und der Intermodulationsprodukte.

### 2.1 Modulationsarten

Die Signalgeneratoren bieten unterschiedliche Modulati-onsarten, einschließlich analoger und digitaler Modulation. Die klassischen Analogmodulationsarten umfassen Amplitudenmodulation (AM), Frequenzmodulation (FM), Phasenmodulation (ΦM) und Pulsmodulation (PM). Nachfolgend sind einige gebräuchliche Testsignale aufgeführt:

- Sinus ist das meistverwendete Prüfsignal.
- Rechteck wird durch Überlagerung vieler Sinuswellen bei ungeraden Harmonischen der Grundfrequenz erzeugt. Die Amplitude jeder Harmonischen ist umgekehrt proportional zu ihrer Frequenz.
- Dreieck und Sägezahn haben harmonische Komponenten, die Mehrfache der Grundfrequenz sind.
- Impuls enthält alle Frequenzen, die bei einer gegebenen Abtastrate dargestellt werden können.
- Chirp-Signale sind Sinuswellen, die von einer Anfangs- zu einer Endfrequenz gewobbelt werden, also dessen Frequenz sich zeitlich ändert. Sie erzeugen diskrete Signale innerhalb der Anfangs- und Endfrequenz.

Um analoge Modulation besser zu verstehen, hier die grundlegende Gleichung einer Sinuswelle (Bild 1).

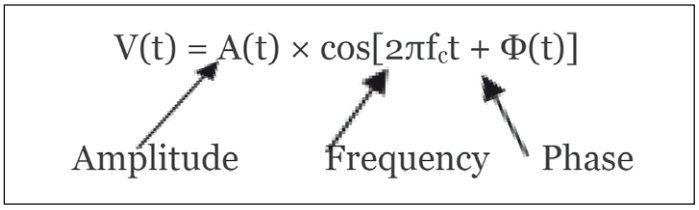


***Bild 1 Grundlegende Gleichung einer Sinus-Welle***

In dieser Gleichung können drei Parameter unterschieden werden: Amplitude, Frequenz und Phase.

Eine Veränderung der Höhe der Sinuswelle ermöglicht Amplituden- und Pulsmodulation. Durch Änderungen an Frequenz oder Phase werden Frequenz- und Phasenmodulation erzeugt.

Zusammengesetzte Modulationsarten, auch bekannt als Vektor- oder Digital-Modulation, treten auf, wenn zwei oder mehr Modulationstypen benutzt werden, um ein zusammengesetztes, moduliertes Signal zu erstellen.

Zum Beispiel (Bild 2) können AM und ΦM kombiniert werden, um verschiedene Amplituden- und Phasenwerte zu erstellen.

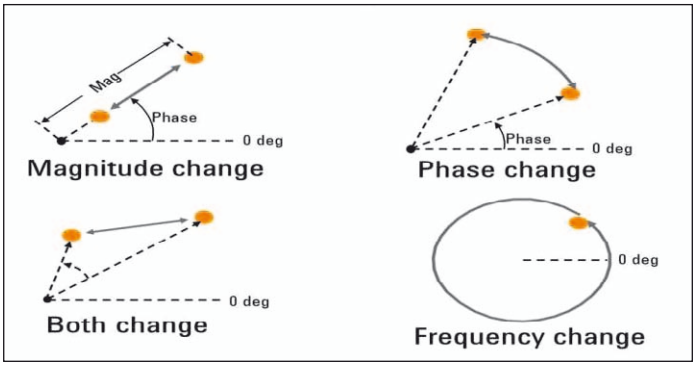


***Bild 2 Änderungen oder Modifikationen am Vektorsignal***

I/Q-Diagramme sind besonders nützlich, weil sie die Methode widerspiegeln, nach der ein I/Q-Modulator die meisten digitalen Kommunikationssignale erstellt. Unabhängige Gleichspannungen (I- und Q-Komponenten) am Eingang eines I/Q-Modulators erzeugen ein zusammengesetztes Signal mit einer spezifischen Amplitude und Phase am Modulator-Ausgang. Alle Modulationsarten können in der polaren Ebene unter Verwendung von Vektornotation dargestellt werden, obwohl Amplituden- und Phasenwerte gewöhnlich nicht zur Beschreibung von Vektoren in der digitalen Modulation verwendet werden. Stattdessen wird die polare Fläche in einem rechtwinkligen Format (mit einer horizontalen und vertikalen Achse) abgebildet, das als I-Q Fläche bezeichnet wird. Dabei steht I für In-Phase und Q für Quadratur.

Eine Amplitudenänderung ohne Rotation des Vektors repräsentiert Amplitudenmodulation, während ein Vektor, der sich entlang eines Bogenstücks dreht (dessen Länge die maximale Phasenabweichung anzeigt), Phasenmodulation darstellt (ΦM). Simultane AM und ΦM werden durch einen Vektor angezeigt, dessen Länge und Phase sich zeitlich ändern. FM resultiert in einem Vektor, der im oder gegen den Uhrzeigersinn rotiert.

### 2.2 Amplitude des Multitone-Signals

Die zusammengesetzte Amplitude des Mehrtonsignals kann durch den Scheitelfaktor gemessen werden, der als Verhältnis des Höchstwertes zum Effektivwert eines Signales definiert ist. Die relative Phasenlage einer Frequenz, in Bezug zu jeder anderen, bestimmt den Scheitelfaktor des Mehrtonsignals. Ein Mehrtonsignal mit einem großen Scheitelfaktor enthält weniger Energie als ein Signal mit einem kleineren Scheitelfaktor. Bei Tönen mit einem höheren Scheitelfaktor haben individuelle Signaltöne niedrigere Signal-/Rauschverhältnisse. Die richtige Wahl der Phase ist kritisch, um ein brauchbares Multitone-Signal zu erzeugen. Die maximale Anzahl von Frequenzen muss daher sorgsam überlegt werden, um Amplituden-Clipping des Signals zu vermeiden. Man kann verschiedene Kombinationen von Phasenbeziehungen und Amplituden verwenden, um einen niedrigeren Scheitelfaktor zu erhalten.

### 2.3 Phasenerzeugung des Multitone-Signals

Die Phase des Mehrtonsignals ist ein weiterer Parameter, der kontrolliert werden und den zusammengesetzten Scheitelfaktor des Signals beeinflussen kann. Um Mehrtonsignale mit niedrigem Scheitelfaktor zu erzeugen, kann man die Phasendifferenz zwischen zwei benachbarten Signalen variieren. Es wird empfohlen, die Tonphasen zufällig zu ändern, um den Scheitelfaktor der Mehrtonsingale zu verringern. Mehrtonsignale sind gegenüber Phasenverzerrung sehr empfindlich. Darüber hinaus verursacht der Signalweg nichtlineare Phasenverzerrungen. Mehrtonsignale können auf dem Display auch möglicherweise sich wiederholende Zeitbereichs-Charakteristiken im Signalverlauf zeigen.

Das Signal in Bild 3 ähnelt einem Chirp-Signal, da sich seine Frequenz von links nach rechts zu verringern scheint. Diese scheinbare Abnahme der Frequenz von links nach rechts ist für Multitonsignale charakteristisch, die durch lineare Veränderung der Phasendifferenz zwischen den angrenzenden Frequenzen erzeugt wurden.

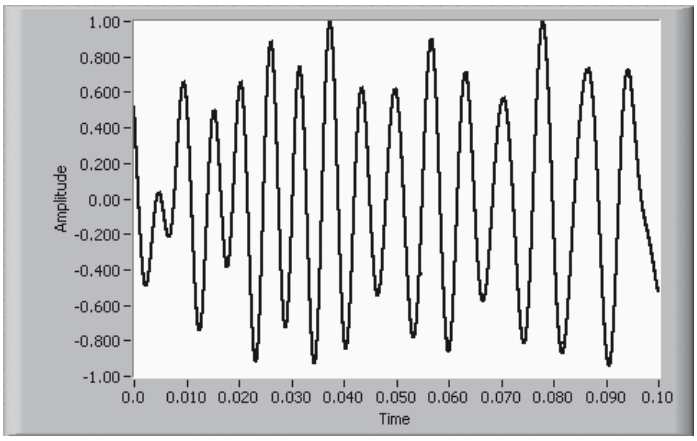


***Bild 3 Multitone-Signal mit sich wiederholenden Signalverläufen***

Zufällige Veränderung der Phasen resultiert in einem Mehrtonsignal, dessen Amplituden nahezu eine Gauß‘sche Verteilung aufweisen, wenn die Anzahl der Töne zunimmt. Dadurch wird das Signal nicht nur rauschähnlicher, sondern es ist auch weniger empfindlich gegenüber Phasenverzerrungen. Bild 4 zeigt ein Signal, das durch zufällige Veränderungen der Phasen der einzelnen Töne erzeugt wurde.

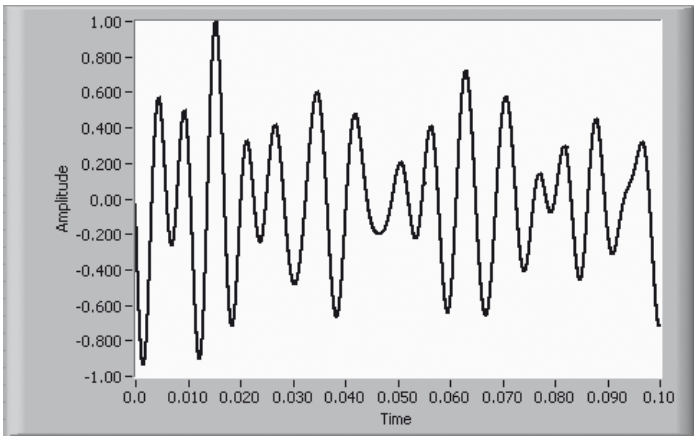


***Bild 4 Erzeugung eines Mehrtonsignals durch zufällige Veränderungen der Tonphasen***

### 2.4 Generierung von Multitone-Signalen mit einem I-/Q-Modulator

Um eine einzelne diskrete Frequenz zu erzeugen, werden die beiden modulierenden Wellenformen in den I- und Q-Eingang eingespeist. Es besteht vollständige Kontrollmöglichkeit über die individuellen Signalparameter, einschließlich Amplitude, Phase und Frequenz. Abhängig von der Anfangsphase der modulierten Wellenform am Q-Eingang, erscheint die resultierende Frequenz unter- oder oberhalb der Trägerfrequenz.

Um Mehrtonsignale zu erzeugen, werden zur modulierenden Wellenform am I- und Q-Eingang zusätzliche Frequenzkomponenten hinzugefügt, die um die Trägerfrequenz symmetrisch angeordnet werden.

Zur Erzeugung z.B. der Zweiseitenbandsignale mit unterdrückten Träger-Amplitudenmodulation (DSBSC-AM) wird die modulierende Wellenform in den I-Eingang und null in den Quadratur-Eingang eingespeist. Bild 5 zeigt, wie der Ausgang zwei symmetrisch um den Träger angeordnete Töne erzeugt.

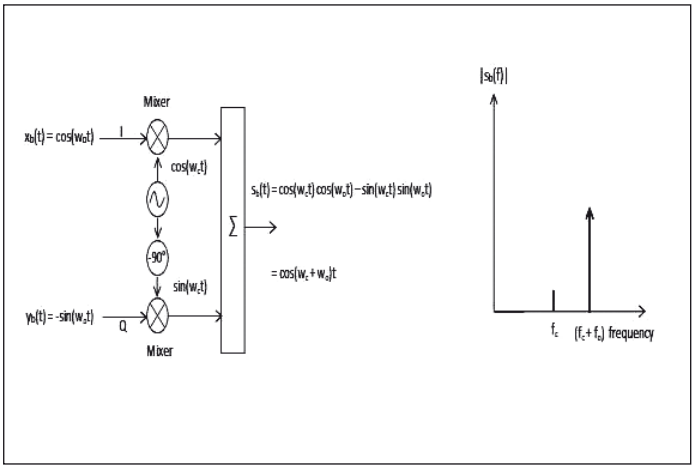


*Bild 5 Erzeugung eines Zweiton-Signals mit I/Q-Modulator*

### 2.5 Intermodulation und harmonische Verzerrungen (Klirren)

Intermodulation (IMD) und Klirren sind nichtlineare Verzerrungen. Intermodulationsverzerrung ist das Ergebnis der unerwünschten Intermodulation zwischen mehreren Frequenztönen in einem Mehrtonsignal. Harmonische sind ganzzahlige Vielfache des Eingangssignals, die erzeugt werden, wenn ein Signal eine nichtlineare Stufe durchläuft. Die Ausgangs-Signaltöne eines Gerätes können aus dem Eingangssignal, unter Verwendung einer Übertragungsfunktion, berechnet werden. Jede Übertragungsfunktion kann durch ein Taylor-Reihen Polynom beschrieben werden. Da die Taylor-Reihe unendlich ist, ist die Anzahl der Harmonischen im Ausgangssignal ebenfalls theoretisch unendlich. Im Signal nimmt die Amplitude der Harmonischen höherer Ordnung allerdings exponentiell ab und kann daher für Mehrtonanwendungen praktisch ignoriert werden. Reduziert man das Eingangssignal, nimmt die Amplitude des harmonischen Signals ebenfalls exponentiell ab.

Bild 6 zeigt, was geschieht, wenn zwei Töne in eine nichtlineare Einheit eingespeist werden. Die Intermodulation zwischen den Tönen erzeugt neue, zusätzliche Signale nicht nur auf Frequenzen, die nicht harmonisch sind, sondern auch bei den Summen- und Differenzfrequenzen der ursprünglichen Frequenzen sowie bei den Mehrfachen dieser Summen- und Differenzfrequenzen.

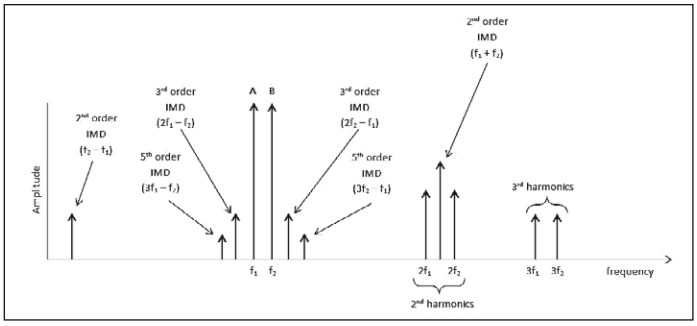


*Bild 6 Grafische Darstellung der Intermodulation*

Man muss sorgfältig vorgehen, um garantieren zu können, dass diese unerwünschten Signale die Qualität des Immunitätstests nur unwesentlich beeinflussen. Diese Intermodulationsprodukte können durch den Einsatz digitaler Signalerzeugungstechniken (VSG) und ausreichend dimensionierter Verstärker minimiert werden.

### 2.6 Leistungsbedarf der Mehrton-Prüfung

Der Pegel der Eingangsleistung jedes einzelnen Tones eines Mehrtonsignals sollte unter Berücksichtigung der Anzahl der Töne und des angestrebten Verzerrungspegels eingestellt werden, der gerade noch toleriert werden kann. Die benötigte Leistung zur Erzeugung eines Mehrtonsig-nals kann als Spitzen- oder Durchschnittswert definiert werden. Die durchschnittliche Leistung wird als Summe der Leistung jedes einzelnen Tones definiert. Die Höchstleistung ist die Summe der maximalen augenblicklichen Leistung aller Töne. Die maximale Spitzenleistung tritt in dem Moment auf, in dem die Spannungsvektoren der einzelnen Töne gleichsinnig ausgerichtet sind und sich direkt addieren. Die mathematischen Beziehungen für Durchschnitts- oder Spitzenleistungen werden nachfolgend unter der Annahme definiert, dass alle Töne die gleiche Leistung aufweisen.

$PM_{SAVG} = (P_{SSx} + P_{SSx} + P_{SSx}) \times N$ (Watt)

$= (P_{SSx} + P_{SSx} + P_{SSx}) \times \text{Log}(N)$ (dBm)

$P_{MSPK} = (P_{SSx} + P_{SSx} + P_{SSx}) \times N2$ (Watt)

$= (P_{SSx} + P_{SSx} + P_{SSx}) \times 20 \text{ Log}(N)$ (dBm)

Dabei ist:

$P_{MSAVG}$ die durchschnittliche Leistung des Mehrtonsignals

$P_{MSPK}$ die Spitzenleistung von Mehrtonsignalen

$P_{SSx}$ die Leistung eines einzelnen Tonsignals

N die Anzahl der Tonsignale

Um die Verzerrungen zu verringern, kann die Spitzenleis-tung dazu verwendet werden, die maximale Anzahl von Signalen zu berechnen, die von einem gegebenen Verstärker linear ausgegeben werden können. Da die individuellen Signale sich jedoch in der Frequenz unterscheiden, ändert sich ihre relative Phase ständig. Der Höchstleistungspegel wird nur dann erreicht, wenn alle Tonsignalzeiger-Vektoren parallel zueinander ausgerichtet sind. Je mehr Töne daher verwendet werden, desto seltener und kürzer ist das Auftreten einer augenblicklichen Spitzenleistung.

Wenn die Höchstleistung vom Verstärker nicht erreicht werden kann, tritt Intermodulationsverzerrung auf. Diese Verzerrung kann nur durch die Verwendung von Verstärkern behoben werden, die innerhalb ihrer linearen Betriebsgrenzen (P1dB) arbeiten. Als Möglichkeiten zur Behebung dieses Problems bieten sich die Verwendung eines Verstärkers mit höherer Spitzenleistung oder die Reduzierung der individuellen Tonleistungen an.

Die Linearitäts- und Oberwellenüberprüfung von Immunitätsstandards lassen sich dazu verwenden, die Anzahl der Signale zu bestimmen, die von einem gegebenen Verstärker mit akzeptabler Verzerrung erzeugt werden können. Bei Immunitätstests ändert sich der Leistungsbedarf zur Erzeugung eines Störtonsignals als Funktion der Frequenz (Bild 7). Es ist zu beachten, dass der Leistungsbedarf wegen des Antennengewinns mit der Frequenz abnimmt. Hier kann eine Multitone-Signal-Prüfung die volle Leistung des Verstärkers vorteilhaft nutzen und die Gesamttestzeit verringern.

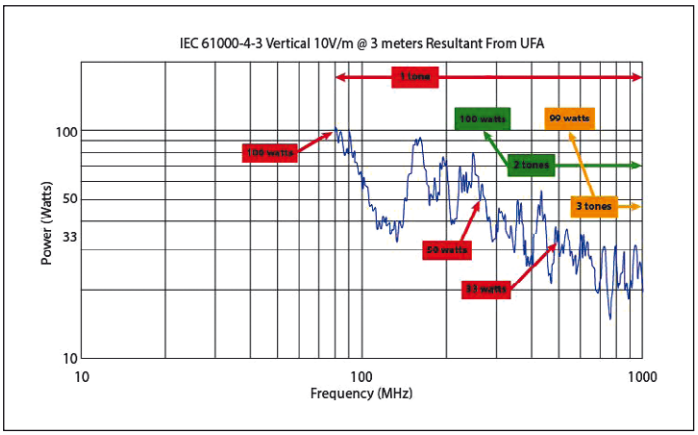


***Bild 7 Leistungsbedarf in Abhängigkeit der Frequenz bei Immunitätstests***

In diesem speziellen Fall (Bild 7) würde z.B. ein 200 Watt-Verstärker bei niedrigen Frequenzen eine Halbierung der Testzeit und noch wesentlich größere Reduzierung der Testzeit bei höheren Frequenzen bewirken.

## 3 EMV-Prüfung mit Multitone

Das Prinzip der Multitone-Prüfung ist einfach: Statt nur eine Frequenz während der Verweildauer zu prüfen, werden mehrere Frequenzen gleichzeitig getestet. Die tatsächliche Hardware-Realisierung ist jedoch immer eine Hürde gewesen. Simultan mehrere Signalquellen zu kontrollieren und ihre Ausgangssignale auf wiederholbare Art und Weise richtig zu kombinieren, lag bisher jenseits der Möglichkeiten traditioneller, analoger Testinstrumentierung.

Die Lösung ergibt sich mit dem kombinierten Einsatz von zwei Einheiten: einem Vektor-Signalgenerator (VSG), der digital Mehrfachtöne und komplexe Modulationsarten erzeugen kann, sowie einem frequenzselektiven Leistungsmessgerät wie z.B. einem Vektor-Signalanalysator (VSA). Mit dieser digitalen Instrumentierung und Software-Kontrolle können die erforderlichen Mehrtonsignale erzeugt, gemessen und eingestellt werden.

### 3.1 Pegeleinstellungen

Die Multitone-Methode kann bei jedem Standard angewendet werden, der eine Substitutionsmethode für die Pegeleinstellung benutzt.

Für gestrahlte Immunitätsprüfungen werden isotrope Feldsonden verwendet, um den Pegel einzustellen; diese Sonden sind nicht frequenzselektiv und können daher keine Multitone-Signale in einzelne Töne zerlegen und messen. Daher kann die zur Pegelmessung benötigte Einstellzeit nicht durch Verwendung eines Multitone-Prozesses verkürzt werden. Die Pegeleinstellung muss daher traditionell mit einzelnen Tönen erfolgen. Um Multitone-Signale benutzen zu können, muss eine sekundäre Prozedur zur Pegeleinstellung unter Verwendung eines frequenzselektiven Leistungsmessers, beispielsweise mit einem VNA durchgeführt werden. Diese Sekundärprozedur ermittelt aus der Leistung einer einzelnen Frequenz die Anzahl der Signale, die in einen Test kombiniert werden können, ohne den Verstärker zu sättigen und starke Verzerrungen zu erzeugen.

Messungen der Linearität und der harmonischen Anteile des Signals werden auch als Teil des Einstellungsprozesses benötigt. Diese Messung sollte solange an allen Signalen innerhalb eines Testsets durchgeführt werden, bis die Gesamtheit des Sets - beim Hinzufügen eines weiteren Tones - entweder die Linearitäts- oder Harmonischen-Prüfung nicht mehr besteht. Das Ergebnis ist die maximale Anzahl von Signalen, die als Set zusammen benutzt werden können.

### 3.2 Ablauf der Prüfung

Sobald erst einmal bestimmt ist, wie viele Töne in welchen Gruppen benutzt werden können, lassen sich die weiteren Tests mit sehr hoher Geschwindigkeit durchführen. Während jeder Verweilzeit wird der Prüfling einem Set von Tönen ausgesetzt. Wenn keine Störung am Prüfling auftritt, wird der Test jeweils fortgesetzt, andernfalls besteht die Option, gleich mit einem einzelnen Ton nachzuprüfen ob die Störung auch vorliegt, wenn nur eine Testfrequenz verwendet wird, oder mit dem Mehrton-Test fortzufahren und zu registrieren, wo Störungen auftreten. Im zweiten Fall würden die fehlerhaften Frequenzbereiche, nach Beendigung des Tests, nochmals mit einem einzelnen Ton gescannt, um zu sehen, ob die Störung eindeutig nur bei der Multitone-Prüfung oder auch bei einer Einzelfrequenz auftritt. Die grafische Darstellung in Bild 8 verdeutlicht dieses Prüfungskonzept visuell.

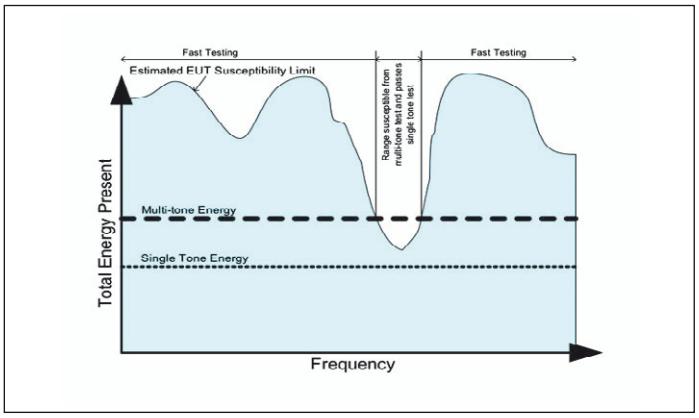


***Bild 8 Beispielhafter Verlauf eines Multitone-Tests***

Es ist zu beachten, dass der Test schnell von der tiefsten Frequenz bis zu einem Punkt abläuft, an dem eine Störung gefunden wird. An diesem Punkt wird die Multitone-Prüfung ausgesetzt, und die Prüfung an diesem Punkt mit einem Ton wiederholt. In diesem hypothetischen Szenario ist zu sehen, dass der Prüfling die Prüfung mit einem Ton bestand, und die Multitone-Prüfung wieder aufgenommen werden konnte, wobei im restlichen Frequenzbereich keine Störungen mehr auftraten.

### 3.3 Konformität mit EMV Standards

Die Konformitätskriterien der EMV-Standards werden bei Multitone-Prüfung eingehalten, wenn während des Tests folgende Bedingungen erfüllt werden:

- Jeder einzelner Ton hat die richtige Amplitude für die Erzeugung des benötigten Felds,
- Frequenz jedes Tones entspricht der Anforderung,
- Frequenz jedes Tones entspricht der Anforderung,

- der anteilige Frequenzschritt zwischen den einzelnen Tönen entspricht der Anforderung,
- jeder Ton ist gemäß Standard moduliert,
- Verweildauer für jede Frequenz / jeden Träger entspricht der Anforderung.

Damit besteht tatsächlich die Möglichkeit zum Prüfen unter Einhaltung der Vorschriften bei gleichzeitiger erheblicher Verringerung der Prüfzeit.

## 4 Zusammenfassung und Ausblick

Der Multitone-Test ist eine Methode, die konzipiert wurde, um die Testzeit durch bessere Nutzung der erforderlichen Verweilzeit zu verringern. Bei diesem Verfahren wird für jede Prüfdauer bzw. Verweilzeit zusätzliche Prüffrequenzen hinzugefügt, sodass die Testzeit effektiv um einen Faktor verkürzt wird, der in etwa der Anzahl der verwendeten Frequenzen entspricht. Insgesamt ermöglicht dieses Verfahren gleichzeitig sowohl eine Produktverbesserung als auch kürzere Time-to-Market für neue Produkte.

Ein anderer Nutzen und eine der zukünftigen Anwendungen dieser Technik wird die Imitation realer Bedingungen sein, die ihrem Wesen nach „mehrtönig“ sind. In realen Anwendungen sind Prüflinge mehr als jeweils einer Frequenz ausgesetzt.

Die digitale Hardware (VSG, VSA), die zur Implementierung der Multitone- Methode verwendet wird, ist nur durch ihren nutzbaren Frequenzbereich und Signal-Bandbreite begrenzt. Die gleiche Hardware könnte auch eingesetzt werden, um komplexe Modulationsstrukturen zu erzeugen oder auch Rauschen für die Breitbandprüfung. Die Multitone-Prüfmethode kann auch an andere Immunitäts-Test Standards adaptiert werden, was zu ähnlichen Zeiteinsparungen und verbesserter Effizienz führt.

## 5 Literatur

[1] Multi-Tone: Testing, Theory and Practice, AR RF/Microwave Instrumentation, Application Note #71

[2] Benefits of Multi-Tone lmmunity Testing, AR RF/Microwave Instrumentation, White paper, George Barth, Sept 2014

[3] The ABC Arbitrary Waveform Generator, Agilent Technologies Inc, Application Note 5989-4138EN, 2006

[4] Understanding the Differences between RF Vector and CW Signal Generation, National Instrument, Application Note 4455-en, Oct 06, 2009

[5] Measurement of Harmonics using Spectrum Analyzer, Rohde & Schwarz, Application Note Feb 2012 - 1EF78-1E, Dr Florian Ramian

[6] Two-tone and Multitone Personalities for the E8267C PSG Vector Signal Generator, Agilent Technologies, Application Note 5988- 7689EN, Feb 6, 2003

[7] Creating Custom Multi tone with Agilent U8903A Audio Analyzer, Agilent Technologies Inc, Application Note 5991-2396EN, May 16, 2013

[8] High Power Amplifier in Multi-tone Environment, Mini-Circuits, Application Note AN-60-037, 4/14/15

*Autor: Dipl.-Ing. Alex van den Berg*

■ *AR Deutschland GmbH*
*www.ar-deutschland.com*

**Fachbücher für die Praxis**

**Praxiseinstieg in die Spektrumanalyse**

*Joachim Müller,*
*21 x 28 cm, 198 Seiten,*
*zahlr. überwiegend farbige Abb. Diagramme, Plots*
*ISBN 978-3-88976-164-4,*
*beam-Verlag 2014, 38,- €*
*Art.-Nr.: 118106*

Ein verständlicher Einstieg in die Spektrumanalyse - ohne höhere Mathematik, der Schwerpunkt liegt auf der Praxis mit Vermittlung von viel Hintergrundwissen.

Hintergrundwissen:
- Der Zeit- und Frequenzbereich, Fourier
- Der Spektrumanalyzer nach dem Überlagerungsprinzip
- Dynamik, DANL und Kompression
- Trace-Detektoren, Hüllkurvendetektor, EMV-Detektoren
- Die richtige Wahl des Detektors
- Moderne Analyzer, FFT, Oszilloskope mit FFT
- Auswahl der Fensterung - Gauß, Hamming, Kaiser-Bessel
- Die Systemmerkmale und Problemzonen der Spektrumanalyzer
- Korrekturfaktoren, äquivalente Rauschbandbreite, Pegelkorrektur
- Panorama-Monitor versus Spektrumanalyzer
- EMV-Messung, Spektrumanalyzer versus Messempfänger

Messpraxis:
- Rauschmessungen nach der Y-Methode, Rauschfaktor, Rauschmaß
- Einseitenbandrauschen, Phasenrauschen
- Signal/Rauschverhältnis, SNR, S/N, C/N
- Verzerrungen und 1 dB-Kompressionspunkt
- Übersteuerung 1.Mischer - Gegenmaßnahmen
- Intermodulationsmessungen
- Interceptpoint, SHI, THI, TOI
- CW-Signale knapp über dem Rauschteppich
- Exakte Frequenzmessung (Frequenzzählerfunktion)
- Messung breitbandiger Signale
- Kanalleistungsmessung, Nachbarkanalleistungsmessung
- Betriebsart Zero-Span
- Messung in 75-Ohm-Systemen
- Amplituden- und Phasenmodulation (AM, FM, WM, ASK, FSK)
- Impulsmodulation, Puls-Desensitation
- Messungen mit dem Trackingenerator (skalare Netzwerkanalyse)
- Tools auf dem PC oder App's fürs Smart-Phone

**Unser gesamtes Buchprogramm finden Sie unter www.beam-verlag.de**
**oder bestellen Sie über info@beam-verlag.de**