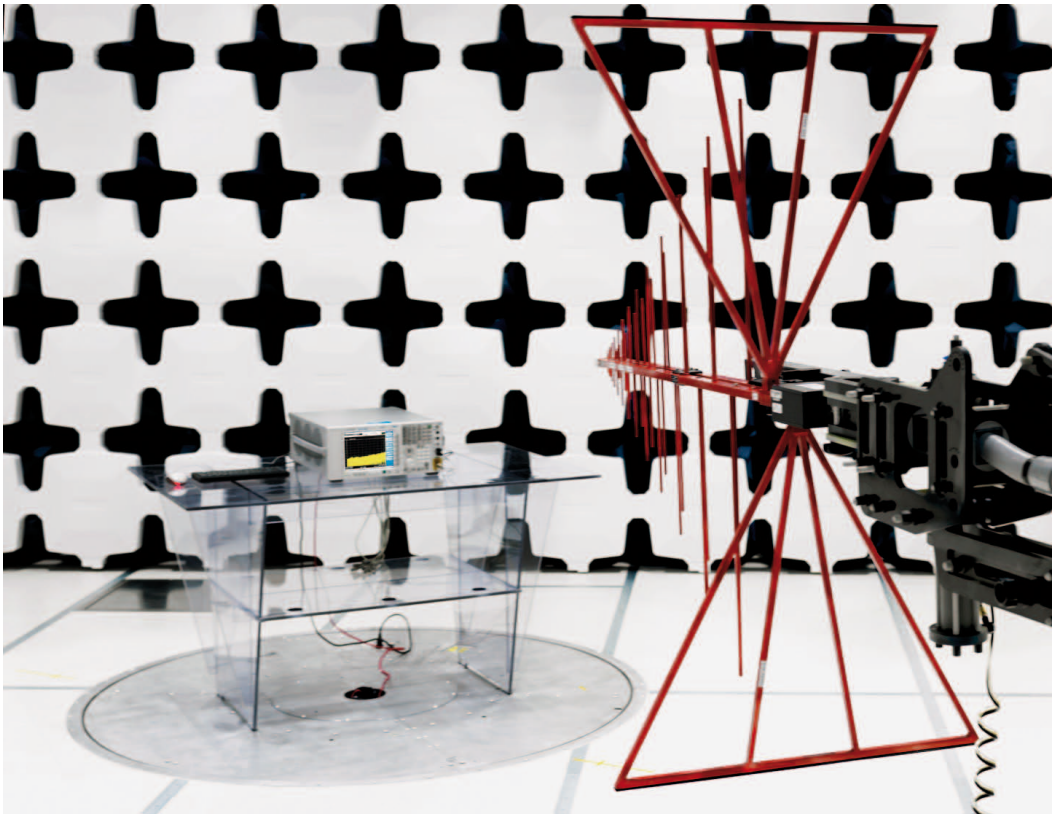
Zeitbereichs-Scanning beschleunigt EMV-Konformitätstests



Dieser Beitrag bietet einen Überblick über den Zeitbereichs-Scan – eine Technologie, welche die Scan-Zeit des Empfängers erheblich verkürzen kann.

Die Prüfung der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) erfordert detaillierte und genaue Angaben über die verwendeten Methoden, um sicherzustellen, dass alle Emissionen genau gemessen werden. Schon daher, aber auch, um die Verfügbarkeit von zertifizierten Testeinrichtungen zu sichern, ist daran interessiert, die Testzeit zu minimieren. Der Zeitbereichs-Scan ist eine Technologie, die die Scan-Zeit des Empfängers erheblich verkürzen kann und darum signifikant Zeit sparen hilft für den gesamten Test.

Zeitbereichs-Scan reduziert die Gesamttestzeit

Sowohl kommerzielle als auch militärische Teststandards erfordern bestimmte Längen von Messzeit, auch als Verweilzeit bezeichnet, für jedes Signal, um sicherzustellen, dass auch Impulssignale entsprechend charakterisiert werden. Der Zeitbereichs-Scan reduziert die Empfänger-Scan-Zeit unter Beibehaltung der erforderlichen Verweilzeiten.

Kommerzielle CISPR-basierte Tests können für Vorab-Scans Verweilzeiten von bis zu 1 s erfordern und im Fall von Emissionen mit zeitlich variierenden Amplituden 15 s oder mehr für endgültige Messungen. MIL-STD-461 spezifiziert Verweilzeiten zwischen 15 und 150 ms pro Messung, abhängig vom Frequenzbereich. Diese Verweilzeiten summieren sich bei Verwendung

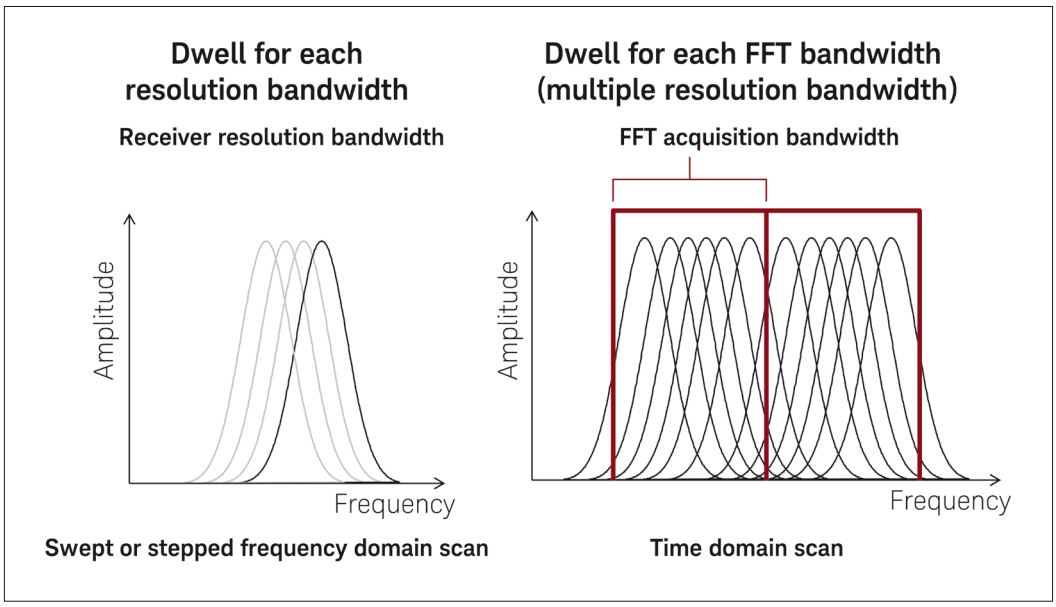


Bild 1: Qualitativer Vergleich von Auflösungs- und FFT-Erfassungsbandbreiten

Quelle:
Application Note:
EMC Compliance Testing: Improve Throughput with Time Domain Scanning,
Keysight Technologies,
29. August 2019,
5991-3855DE,
www.keysight.com
übersetzt von FS

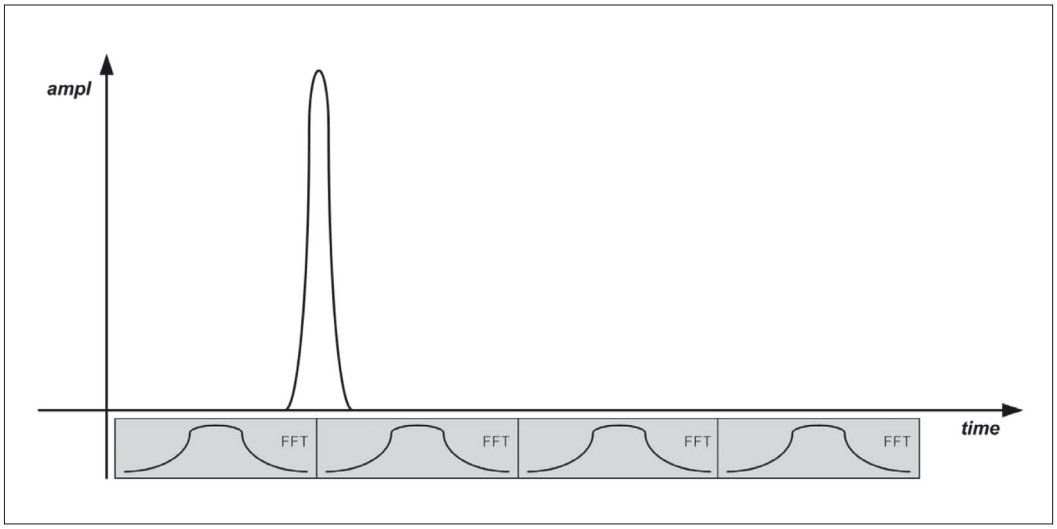


Bild 2: Herkömmliche kritisch abtastende FFTs mit zusammenhängenden Fenstern können möglicherweise fehlende Eingaben bei einem impulsartigen Signal aufweisen

von Empfängern, welche den Frequenzbereichs-Scan durchführen und dabei einen schrittweisen oder gewobbelten Betrieb des lokalen Oszillators verwenden, um die Daten in einzelnen Auflösungsbandbreiten zu generieren, siehe Bild 1 links.

Das Scannen im Zeitbereich wurde für Prescans in CISPR 16-1-1: 2010 akzeptabel und ist auch akzeptabel für die endgültigen Messungen in den CISPR-Standards, die speziell vorgeschrieben sind in der Version CISPR 16-1-1. Der MIL-STD-461 ermöglicht dabei die Verwendung jeder Art von Messgerät, das die Anforderungen des Dokuments erfüllt.

So funktioniert der Time Domain Scan

Der Zeitbereichs-Scan reduziert die Scan-Zeit des Empfängers durch die Verwendung einer hochüberlappenden schnellen Fourier-Transformationen (FFT) zur gleichzeitigen Erfassung von Emissionsdaten über eine bestimmte Frequenzspanne. Dies umfasst mehrere Auflösungsbandbreiten (Bild 1 rechts). Im Gegensatz dazu werden im Frequenzbereich Daten in individuellen Auflösungsbandbreiten gesammelt. Die FFT-Akquisitionsbandbreiten für den Zeitbereichs-Scan können im Bereich von 1 bis 10 MHz oder mehr liegen. Sie sind damit deutlich breiter als die erforderlichen CISPR- und MIL-Auflösungsbandbreiten. Der Empfänger sammelt die Daten in der größeren Erfassungsbandbreite und setzt sie entsprechend den regulatorischen Bandbreiten um, um sicherzustellen, dass die Messungen den regulatorischen Anforderungen entsprechen.

Der Zeitbereichs-Scan spart Messzeit, da die entsprechende regulatorische Verweilzeit nur ein einziges Mal für alle Daten in der gegebenen FFT-Erfassungsbandbreite angewendet wird, um das Signal im Frequenzbereich abzutasten. Demgegenüber muss der Empfänger beim Frequency Domain Scanning für jede einzelne Messung die Verweilzeit verstreichen lassen.

Eine zusätzliche Zeitersparnis wird mit dem Zeitbereichs-Scan erzielt, da breitere Erfassungsbandbreiten im Vergleich zum schrittweisen Vorgehen bei der Frequenzbereichsmethode weniger Frequenzschritte erfordert, um ein ganzes interessierendes Band abzudecken. Jeder Frequenzschritt erfordert das Ändern der Frequenz beim Local Oscillator - je weniger Schritte vorhanden sind, desto geringer ist die Gesamtzahl und somit die LO-Relock-Zeit.

Worauf kommt es an?

Zeitbereichs-Scan-Messungen müssen den Anforderungen an die Amplitudengenauigkeit nach CISPR 16-1-1: 2010 und MIL-STD-461 entsprechen. Um die erforderliche Amplitudengenauigkeit zu erreichen, verwenden Designer ein sehr hohes Maß an Überlappung (~ 90%) bei der Berechnung der FFTs. Darüber hinaus muss der EMI-Empfänger ein hohes Maß an Amplitudenverzerrungs-Performance über die großen ZF-Erfassungsbandbreiten gewährleisten (hohe Linearität).

Der hohe Grad an FFT-Überlappung im Zeitbereich stellt sicher, dass auch „impulsive“ Signale, falls vorhanden, korrekt erfasst und genau gemessen werden. Bild 2 zeigt ein Impulssignal im Zeitbereich bei Verwendung zusammenhängender oder niedrig überlappender FFTs. Wenn ein Eingangssignal außerhalb einer FFT-Periode auftritt, könnte die gemeldete Signalamplitude zu niedrig sein oder vollständig fehlen. Bild 3 zeigt dasselbe Signal im Zeitbereich, wenn stark überlappende Bereiche bei der FFT verwendet werden. In dieser Situation besteht eine viel höhere Wahrscheinlichkeit, dass das detektierte Signal und die zu erfasse Angabe der Spitzenamplitude korrekt sind.

Zeitbereichs-Scan-Erfassungsbandbreiten müssen auch die Bandbreiten von HF- und Mikrowellen-Preselektoren berücksichtigen. Vorfilter begrenzen die HF-Energie, die den ersten Mischer erreichen kann, gemäß ihrer Bandbreite. Der erste Mischer des Empfängers bestimmt jedoch den verfügbaren Dynamikbereich bei der Messung von impulsartigen Signalen. Es gibt zwei Möglichkeiten, wie der Zeitbereichs-Scan Vorfilter berücksichtigt, um die Genauigkeit der FFT-Amplitude sicherzustellen:

- Anpassen der Amplitude gegenüber dem Frequenzgang über die FFT-Erfassungsbandbreite zum Kompensieren der Vorfilterwirkung
- Reduzieren der maximalen FFT-Erfassungsbandbreite, sodass die unerwünschten FFT-Amplitudeneffekte über der Frequenz im Vergleich zum Amplitudengang des Vorfilters über der Frequenz nicht signifikant sind

Reduzieren Sie die Prescan-Zeit von Stunden auf Minuten!

Die Hauptelemente der Konformitätsprüfung, die Zeit für die Testeinrichtung erfordern (Zeit = kapazitätsbegrenzende Ressource), sind:

- Einrichtung und Abbau des zu testenden Equipments (EUT)
- Prescan zur Identifizierung verdächtiger Frequenzen einschließlich Antennen und Drehteller (Bewegungszeiten) sowie Empfänger-Scan-Zeiten
- Endmessung einschließlich Antennen und Drehteller (Bewegungszeiten) und Messzeiten des Einzelfrequenzempfängers

Die Berichterstellung ist hier nicht enthalten, da diese Arbeit an einem anderen Ort ausgeführt werden kann.

Die Rüst- und Abbauzeiten variieren stark je nach EUT-Typ und können unter einer Stunde liegen, aber auch einen Tag in

Anspruch nehmen. Die Antennenbewegungszeit variiert von Hersteller zu Hersteller, beträgt aber normalerweise ~5 s für jede Antennenposition. Die Drehteller-Bewegungszeit variiert ebenfalls mit dem Hersteller, entspricht jedoch typischerweise 1 bis 2 U/min. Dafür seien in dieser Diskussion ~5 s für jede 15°-Grad-Drehung angenommen. Die Zeit für die Endmessung kann stark variieren, denn sie ist abhängig von der Anzahl der Frequenzen in der „Verdächtigenliste“ und der Höhe der erforderlichen Verweilzeit bei jeder Frequenz.

Das Scannen im Zeitbereich bietet erhebliche Zeiteinsparungen beim Prescan (der Sammlung von verdächtigen Signalen vor der endgültigen Messung), weil genau während dieses Prozesses der Empfänger das gesamte Messband einstellen muss. Zum Beispiel beim Sammeln verdächtige Häufigkeiten sollte gemäß den in CISPR 16-2-3: 2010, Kapitel 3.1, Abschnitt 7.6.6 für jeweils 15° Drehung des Drehtellers ein Sweep durchgeführt werden, und zwar jeweils für beide Polarisationen der Empfangsantenne (insgesamt also 48 Empfänger-Scans). Außerdem ist möglicherweise ein Höhen-Scan erforderlich. Für diese Diskussion nehmen wir an, dass Messungen für jede Polarisation und an jedem Azimut für drei Höhen erfolgen, sodass insgesamt 144 Empfänger-Scans erfolgen müssen.

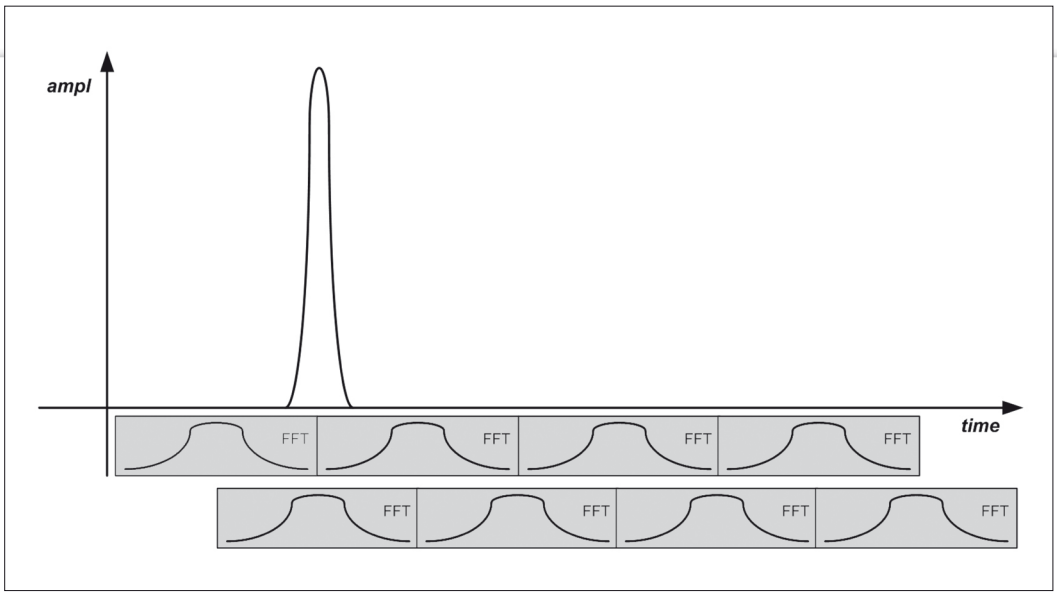


Bild 3: Messungen mit FFTs, die sich im Zeitbereich stark überlappen, erhöhen die Wahrscheinlichkeit von Irritationen bei der Amplitudenmessung

Time Domain Prescans ersetzen finale Messungen nicht

Das Scannen im Zeitbereich kann auch verwendet werden, um die Scan-Zeiten bei Verwendung von gemäß CISPR-Standard gewichteten Detektoren (Quasi-Peak-, EMI-Avg- und RMS-Avg-Detektoren) zu verkürzen. Die mit diesen Detektoren verbundenen gewichteten Lade- und Entladezeiten führen zwar zu Zeit-Domain-Scans, die langsamer sind als Scans mit einem Peak-Detektor, jedoch sind diese gewichteten Zeitbereichs-Scans erheblich schneller als gewichtete Frequenzbereichs-Scans. Diese Reduzierung der gewichteten Detektor-Scan-Zeit hat einige Spieler in der Branche zu dem Vorschlag veranlasst, Testeinrichtungen können zusätzliche Einsparungen bei der Testzeit erzielen, indem sie eine schnelle Zeitbereichsgewichtung mit Detektor-Prescan-Ergebnissen verwenden anstelle einer endgültigen Messung. Der gewichtete Detektor-Prescan wird jedoch lediglich verwendet, um zu bewerten, ob das ungeprüfte Produkt die Emissionsgrenze erreicht und nicht etwa die endgültige Messamplitude. Leider stimmt daher diese Technik nicht mit der von CISPR empfohlenen Messung überein. CISPR 16-2-3: 2010, Kapitel 3.1, Abschnitt 6.5 verlangt, dass die gewichtete Amplitude jedes Endsignals überwacht werden muss, um sicherzustellen, dass es stabil ist. Wenn nicht stabil, dann fordert CISPR, dass die Amplitudenänderung des Signals 15 s lang überwacht wird. Wenn die Variation über diese 15-s-Periode größer als 2 dB ist, dann muss das Signal über einen längeren Zeitraum überwacht werden. Um also gewichtete Detektor-Zeitbereichs-Scan-Werte zu verwenden, um eine Emission bis zu einer Grenzlinie gemäß den CISPR-Anforderungen zu überprüfen, müsste man bei dieser Messung für einen längeren Zeitraum – 15 s oder länger – verweilen, um sicherzustellen, dass sie den Maximalwert aller Signale im Scan erfasst. Diese Verlängerung der Verweilzeit negiert jegliche Testzeitersparnis mit dieser Methode.

Zur Messung von Emissionen im Bereich von 30 MHz bis 1 GHz wird die „Verdächtigenliste“ durch Prescanning mit einem Spitzendetektor, vier Messpunkten für jede Auflösungsbandbreite (in diesem Beispiel alle 30 kHz für eine CISPR-Auflösungsbandbreite von 120 kHz) und 10 ms Verweilzeit für jeden Punkt erstellt. Im Frequenzbereich führen handelsübliche Empfänger diesen Scan in ungefähr 250 s durch, was zu einem vollständigen Prescan führen würde mit einer Scan-Zeit von ca. zehn Stunden!

Mit dem Zeitbereichs-Scan kann dies beispielsweise der EMI-Empfänger N9038A MXE (Bild 4) in etwa 12 s erledigen,

Bild 4: Der EMI-Empfänger N9038A MXE

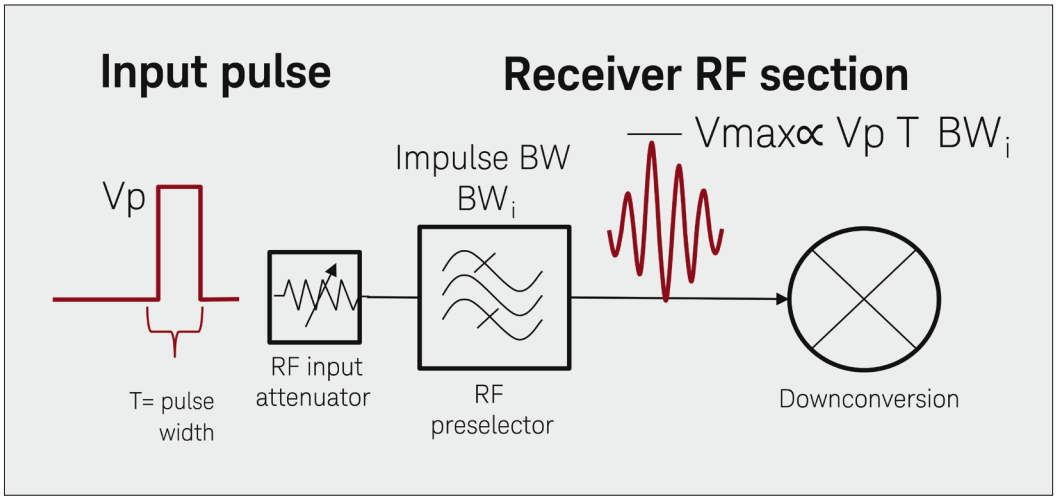


Bild 5: Die Impulsbandbreite des Preselektors begrenzt die Impulseingangsspannung zur Abwärtskonvertierungskette des Empfängers

wodurch die gesamte Scan-Zeit auf knapp 30 min reduziert wird - eine erhebliche Zeitersparnis. Beachten Sie, dass in beiden Szenarien der gesamte zugeordnete Drehteller- und die zum Sammeln dieser 144 Scans erforderliche Antennenbewegungszeit ungefähr 12 min beträgt.

Der Zweck von HF- und Mikrowellen-Vorfiltern besteht darin, Breitbandrauschen zu reduzieren und damit die HF-Energie für den ersten Mischer, wodurch Überlastsituation und Messdynamikbereich verbessert werden. Dies ist besonders wichtig bei der Messung von Impulssignalen (Bild 5). Für einen gegebenen Impuls ist der durch das Filter laufende Pegel proportional zur Amplitude des Impulses (V), zur Dauer des Impulses (T) und zur Impulsbandbreite (BWi) des Filters:

Pegel ~ V x T x BWi

Das Erweitern der Bandbreite eines Vorfilters zwecks Erhöhung der Scan-Geschwindigkeit im Zeitbereich reduziert effektiv den Empfängerüberlastungspegel für Impulssignale. Der Überlastschutz kann durch zusätzliche Eingangsdämpfung wiederhergestellt werden, das geht aber auf Kosten der Messempfindlichkeit. Angesichts dessen ist die Empfindlichkeit ein Schlüsselparameter für EMV-Tests. Hier müssen Systementwickler einen Kompromiss zwischen Empfindlichkeit für zusätzliche Messgeschwindigkeit und Nettozeitersparnis schließen. In vielen Fällen beträgt die Einsparung nur einen geringen Prozentsatz von der Gesamtmesszeit und kann die Empfindlichkeitsreduzierung nicht rechtfertigen.

Bei der Bewertung eines Empfängers für Ihre Testeinrichtung ist es wichtig, die Kompromisse zwischen Zeitbereichs-Scan-Geschwindigkeit und Überlastschutz zu verstehen. Eine effektive Methode zur Bestimmung des relativen Überlastschutzes für Empfänger mit vergleichbarer Verzerrungsspezifikationen – 1 dB-Komprimierungs- und Intercept-Spezifikationen dritter Ordnung sind am kritischsten – ist das Verhältnis der Preselektor-6-dB-Filterbandbreiten bei gegebener Mittenfrequenz. Hierzu berechnet man:

20 log (breitere BW_{6dB}/schmalere BW_{6dB}

Systementwickler können eine vernünftige Schätzung der zusätzlichen Eingangsdämpfung erhalten, die vom Empfänger mit der größeren Bandbreite benötigt wird, um eine Überlastung bei der Messung großer Impulssignale zu vermeiden.

Auswahl des richtigen Empfängers für Zeitbereichs-Scans

Die Scan-Geschwindigkeit im Zeitbereich hängt von der Empfängerarchitektur ab. Während höhere Geschwindigkeiten erreicht werden können, indem breitere Erfassungsbandbreiten verwendet werden, reduzieren breitere Vorfilterbandbreiten den „impulsiven“ Dynamikbereich des Empfängers, indem sie mehr impulsartige Eingangsenergie zulassen. Diese Verringerung des Überlastungsniveaus kann durch Verwendung einer zusätzlichen Eingangsdämpfung vermindert werden, aber auf Kosten der Messempfindlichkeit.

Der EMI-Empfänger N9038A MXE bietet sowohl einen hervorragenden Überlastschutz als auch eine schnelle Scan-Zeit. Er ist daher eine ausgezeichnete Wahl für jede Compliance-Testeinrichtung. Er bietet ein sehr hohes Maß an Impulsüberlastungsschutz durch die Verwendung von schmalen HF-Vorfiltern (11 fest, 5 abstimmbar), die den Bereich von 20 Hz bis 1 GHz abdecken mit Bandbreiten von 300 kHz bis 60 MHz. Oberhalb von 3,6 GHz wird ein YIG-Vorfilter verwendet ◄