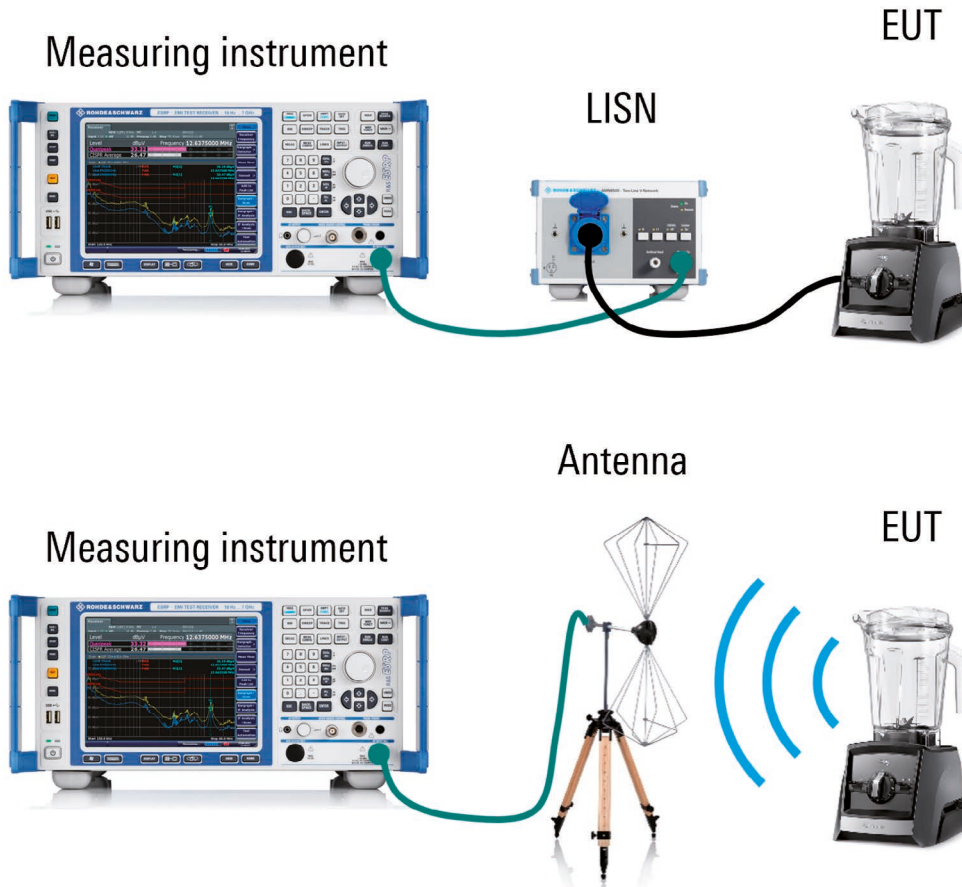


Wie Pre-Compliance-Prüfungen durchgeführt werden

Die Ausbreitung der Elektronik- und Hochfrequenztechnologie in fast allen Bereichen des täglichen Lebens hat die Bedeutung von Prüfungen der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) erheblich erhöht.



Geräte sollen möglichst keine unerwünschte Hochfrequenzenergie abgeben. Dies wird allgemein als elektromagnetische Störung (EMI) bezeichnet. Auch soll das Gerät selbst möglichst unempfindlich gegenüber Hochfrequenzsignalen sein. Dies wird als elektromagnetische Störanfälligkeit (EMS) bezeichnet. In Bezug auf EMI müssen Geräte getestet werden, um nachzuweisen, dass sie verschiedenen Normen wie CISPR oder MIL-STD entsprechen.

Es gibt Hunderte verschiedener EMV-bezogener Normen, und die relevanten Normen werden oft anhand von Kriterien wie dem Land oder der Region, in der das Gerät verwendet werden soll, oder der erwarteten Einsatzumgebung festgelegt. Es ist sehr wichtig, sich vor Augen zu halten, dass es bei EMV-Prüfungen in erster Linie um die Prüfung der Konformität mit diesen verschiedenen Normen geht.

Leitungsgebundene und abgestrahlte Störungen

Konformitätsprüfungen erfolgen auf leitungsgebundene und abgestrahlte Störungen. Im ersten Fall werden die Signale gemessen, die das zu prüfende Gerät (EUT) in das Wechselstromnetz einspeist. Dabei ist der gemessene Frequenzbereich relativ niedrig, typischerweise 9 kHz bis 30 MHz.

Das EUT wird normalerweise an ein spezielles Gerät angeschlossen, das Netzimpedanz-Stabilisierungsnetzwerk (LISN). Strahlungsprüfungen werden in der Regel im Bereich von 30 MHz bis 1 GHz durchgeführt, obwohl einige Normen Prüfungen bei viel höheren Frequenzen vorschreiben. Dazu ist mindestens eine Antenne erforderlich und in der Regel auch eine abgeschirmte Kammer oder ein geeigneter Testplatz im Freien. Die Aufmachergrafik skizziert die Aufbauten für leitungsgebundene (oben) und abgestrahlte (unten) Prüfung.

Compliance und Pre-Compliance

Prüfungen werden fast immer von einem zertifizierten unabhängigen Prüflabor oder einer Prüfstelle durchgeführt, nicht vom Hersteller selbst. Diese

Konformitätsprüflabore befolgen strenge und präzise Verfahren, die in den Normen festgelegt sind, was wiederum spezielle Geräte und Einrichtungen sowie geschultes Testpersonal erfordert. Daher können Konformitätsprüfungen sehr teuer sein: In der Regel belaufen sich die Testgebühren auf mehrere tausend oder zehntausend US-Dollar pro Versuch. Je nach Art der Prüfung und geltenden Normen kann die Fehlerquote zwischen 70 und 90 Prozent liegen.

Eine allgemeingültige Wahrheit bei EMV-Prüfungen ist, dass Probleme umso einfacher, kostengünstiger und schneller behoben werden können, je früher sie im Konstruktionszyklus entdeckt werden. Die Prüfung eines Produkts auf EMV-bezogene Probleme vor der formellen Konformitätsprüfung wird als Vorab-Konformitätsprüfung bezeichnet. Sie erfolgt beim Hersteller mit dem Ziel, potenzielle Probleme frühzeitig im Entwicklungszyklus zu entdecken und so die Wahrscheinlichkeit zu erhöhen, dass die formellen Konformitätsprüfungen bestanden werden.

Formelle Konformitätsprüfungen liefern nur „Bestanden/Nicht bestanden“-Ergebnisse und geben keinen Aufschluss über die Ursachen für das Scheitern. Vorab-Konformitätsprüfungen hingegen können jederzeit unterbrochen werden, um die Ursachen für Probleme gründlich zu analysieren, zu testen und zu beheben.

Bild 1 veranschaulicht den EMV-Prüfprozess. Wie oben erwähnt, sollten die EMI-Fehlerbehebung und -Analyse in den Entwurfsprozess selbst integriert werden. Wenn die ersten Messungen keine schwerwiegenden Probleme aufzeigen, geht das Prüfobjekt in die Vorab-Konformitätsprüfung über. Andernfalls kehrt die EUT in die Entwurfs-

Autor:
Paul Denisowski
Ingenieur im
Produktmanagement
Rohde & Schwarz
www.rohde-schwarz.de

übersetzt und leicht gekürzt
von FS

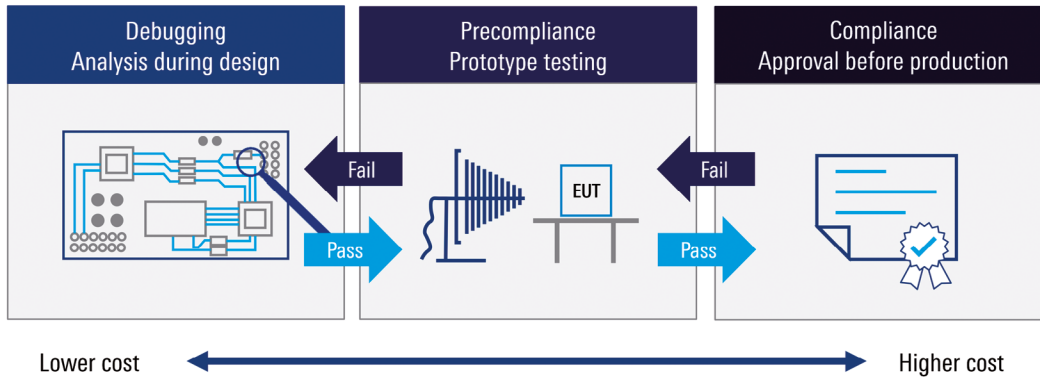


Bild 1: EMV-Prüfprozess

Fehlerbehebungsphase zurück, wo alle erforderlichen Änderungen vorgenommen werden können.

Bei der Vorab-Konformitätsprüfung sind zwei wichtige Aspekte zu berücksichtigen. Der erste ist die Festlegung des Ortes, an dem diese Prüfungen durchgeführt werden sollen. Der zweite ist die Auswahl der Instrumente und Zubehörteile.

Testort

Bei leitungsgebundenen Tests sind in der Regel nur eine einfache Grundplatte und ein nicht-leitender Tisch erforderlich. Daher sind leitungsgebundene Vorprüfungen oft fast identisch mit vollständigen Konformitätsprüfungen. Tests auf Abstrahlungen erfordern in der Regel eine abgeschirmte Kammer oder einen geeigneten Teststandort im Freien. Aufgrund der Größe, der Kosten und der Komplexität der Konfiguration solcher Einrichtungen können die meisten Vorprüfungen hier die Konformitätsprüfungsumgebung nicht genau nachbilden. Daher werden häufig Änderungen vorgenommen, z.B. das Hinzufügen von Margen zu den Messergebnissen. Wenn beispielsweise eine kleinere Kammer verwendet würde, wären die gemessenen Emissionen aufgrund des geringeren Abstands zwischen Antenne und EUT stärker. In diesem Fall müssten die Emissionsgrenzwerte angehoben werden, um den stärkeren Signalen Rechnung zu tragen. Bei einer Verringerung des typischen Konformitätsabstands von 10 m auf einen typischen Vorprüfungsabstand

von 3 m könnte eine Anhebung der Emissionsgrenzwerte um etwa 10 dB erforderlich sein.

Messinstrumente

Spektrumanalysatoren und/oder EMI-Empfänger werden am häufigsten zur Messung von Emissionsgrenzwerten verwendet, während Oszilloskope in erster Linie zur Fehlersuche und/oder Fehlerbehebung eingesetzt werden.

Spektrumanalysatoren und EMI-Empfänger zeigen die Leistung als Funktion der Frequenz an. Die Frequenzbereichsanalyse ist für EMI-Tests unerlässlich, da die leitungsgebundenen oder abgestrahlten Leistungspegel über einen durch eine Norm definierten Frequenzbereich gemessen werden. Ein „bestandenes“ Ergebnis liegt vor, wenn alle gemessenen Werte unter einer definierten Leistungs-Frequenz-Grenzkurve liegen. Obwohl es möglich ist, Messungen bei einzelnen Frequenzen durchzuführen und die Ergebnisse Punkt für Punkt mit den festgelegten Grenzwerten zu vergleichen, verwenden Spektrumanalysatoren und EMI-Empfänger automatisierte Routinen, die den interessierenden Frequenzbereich

schrittweise durchlaufen oder abtasten. Diese Funktionalität kann in das Gerät selbst integriert und/oder in einer externen Software implementiert sein.

Einige EMI-Testfunktionen sind bei beiden Geräten zu finden, wie z.B. Grenzwertlinien und Spektrogramme. Andere Funktionen gibt es nur bei EMI-Empfängern, etwa Zeitbereichsscannen und Vorauswahl. Grenzwertlinien sind eine grundlegende, aber äußerst wichtige Funktion. Zur Erinnerung: Bei Konformitätsprüfungen werden die Leistungspegel bei verschiedenen Frequenzen gemessen, um festzustellen, ob die leitungsgebundenen oder abgestrahlten Pegel über einen bestimmten Frequenzbereich unter dem festgelegten Grenzwert liegen. Diese maximalen Leistungswerte oder Grenzwerte werden in Form von Grenzkurven definiert, die entweder direkt auf dem Messgerät konfiguriert und/oder in das Messgerät geladen werden können. In Bild 2 wurde beispielsweise vor der Durchführung von Messungen eine Grenzkurve in einen Spektrumanalysator oder EMI-Empfänger geladen. Ein fehlerhaftes Ergebnis trat auf,

wenn die gemessene Leistung die Grenzkurve überschritt.

Messungen der Leistung in Abhängigkeit von der Frequenz erfolgen mit verschiedenen Detektortypen, z.B. Spitzen-, Quasi-Spitzen- und Durchschnittsdetektoren. Grenzwertlinien werden also für die spezifischen verwendeten Detektortypen definiert. In Bild 2 wurde die Spitzen-Grenzkurve durch die blaue Spitzen-Detektorkurve überschritten, aber die Quasi-Spitzen-Grenzkurve durch die grüne Quasi-Spitzen-Detektorkurve nicht.

Detektortypen

Detektoren bestimmen, wie die während eines Zeitintervalls durchgeführten Messungen zu einem einzigen Wert zusammengefasst werden. Beim Spitzenwertdetektor wird der Maximalwert in jedem Intervall ausgewählt. Der Quasi-Spitzenwertdetektor hingegen misst die „Störwirkung“ eines Signals anhand eines bestimmten Lade- und Entladeverhaltens. Und der Durchschnittsdetektor liefert einfach den Durchschnittswert über jedes Intervall. Die Auswirkungen der verschiedenen Detektortypen sind in den unterschiedlichen Kurven in Bild 2 deutlich zu erkennen.

Bei Konformitätsmessungen wird häufig der Quasi-Spitzen-detektor verwendet, bei Pre-Compliance-Messungen eher der Spitzendetektor. Dafür gibt es zwei Hauptgründe. Erstens sind Messungen mit dem Spitzendetektor immer viel schneller als mit dem Quasi-Spitzen-detektor, in der Regel um mindestens mehrere Größenordnungen.

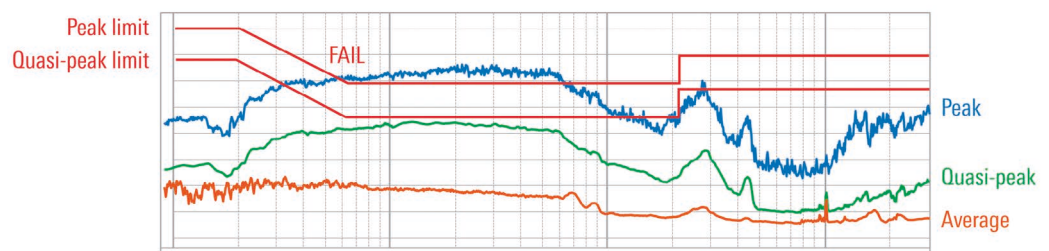


Bild 2: Grenzwertlinien und Messkurven

Außerdem sind die Ergebnisse des Peak-Detektors immer höher als die Ergebnisse des Quasi-Peak-Detektors. Das bedeutet, dass ein Test, der die Vorab-Konformitätsprüfung mit dem (schnellerem) Peak-Detektor besteht, auch mit dem (langsameren) Quasi-Peak-Detektor bestanden wird.

Spektrogramme

Ein Spektrogramm ist eine Darstellung der Leistung in Abhängigkeit von der Frequenz und der Zeit. Um diese drei Größen in nur zwei Dimensionen darzustellen, wird die Signalleistung oder -intensität auf das sichtbare Farbspektrum abgebildet: Rot steht für maximale Leistung und Violett für minimale Leistung. Spektrogramme werden manchmal als „Wasserfalldiagramme“ bezeichnet, da sie von oben nach unten gezeichnet werden. Die neuesten Messungen erscheinen in der obersten Zeile der Anzeige und „fließen“ dann nach unten. Sie sind nützlich, da sie zeigen, wie sich Signale im Laufe der Zeit und über einen Frequenzbereich verändern. Dies ermöglicht eine einfache Identifizierung von zeitabhängigen Signalverhalten wie Driften, Frequenzspringen usw. Spektrogramme erleichtern auch die Erkennung kleinerer Signale in Gegenwart größerer Signale. Die meisten Spektrumanalysatoren und EMI-Empfänger verfügen standardmäßig über Spektrogramme, und Spektrogramme sind auch bei Oszilloskopen üblich, wenn Frequenzbereichsinformationen im FFT-Modus angezeigt werden.

Vorauswahl

Die Vorauswahl ist ein wichtiges Unterscheidungsmerkmal zwischen EMI-Empfängern und Spektrumanalysatoren. Spektrumanalysatoren dienen meist zur Messung von Signalen, die vom Benutzer erzeugt oder gesteuert werden. Bei EMI-Prüfungen ist das Eingangssignal jedoch weder bekannt noch steuerbar. Daher ist es möglich, dass Signale außerhalb

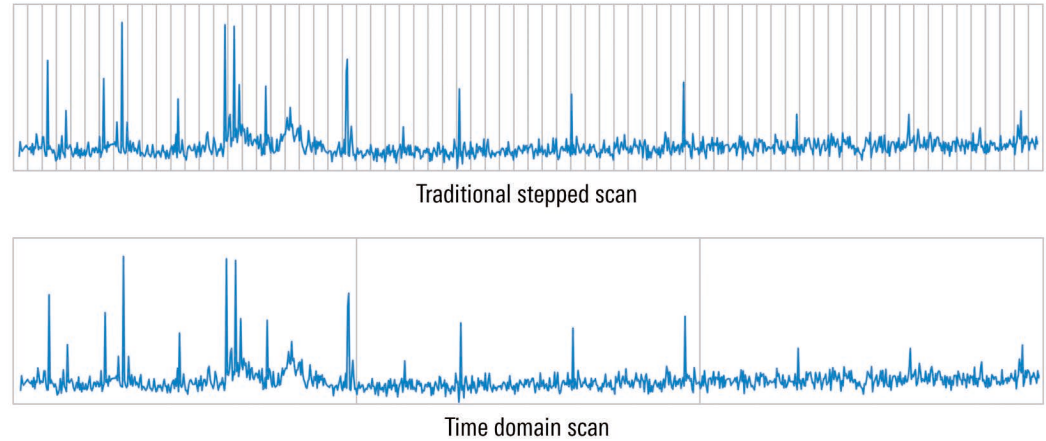


Bild 3: Stufen- und Zeitbereichs-Scan

des Bandes oder „außerhalb des Bildschirms“ den ersten Mischer des Messgeräts überlasten und zu Kompression oder Verzerrung führen, was zu ungültigen oder irreführenden Messergebnissen führt.

Die Vorauswahl ist eine Methode, die in EMI-Empfängern zum Schutz des ersten Mixers verwendet wird. Sie wird als schaltbare Filterbank implementiert, die es dem Empfänger ermöglicht, nur die gewünschten Frequenzen auszuwählen. Der jeweilige Filter wird vom Empfänger automatisch auf der Grundlage der konfigurierten Eingangsfrequenz ausgewählt.

Viele EMI-Normen verlangen, dass das „Messgerät“ über eine Vorauswahl verfügt, weshalb Konformitätsprüfungen mit EMI-Empfängern statt mit Spektrumanalysatoren durchgeführt werden. Beachten Sie, dass viele Spektrumanalysatoren zwar über eine sogenannte „Vorauswahl“ verfügen, diese sich jedoch in der Regel auf eine Hochpassfilterung auf Basis der YIG-Technologie bezieht und nicht auf die schaltbare Filterbankform der Vorauswahl, die in EMI-Empfängern zu finden ist.

Zeitbereichs-Scan

Traditionell EMI-Empfänger arbeiten mit einem stufenweisen Frequenz-Scan mit einer kleinen Auflösungsbandbreite. Diese Messmethode ist sehr genau, kann aber auch sehr langsam sein, insbesondere bei den breiten Spektralbereichen, die bei Messungen von abgestrahlten Emissionen auftreten.

Modernere EMI-Empfänger können diese Einschränkung durch den Einsatz eines Zeitbereichs-Scans überwinden, bei dem der Messbereich in sehr große Spektralblöcke unterteilt wird, die dann jeweils digitalisiert und mit der FFT digitalisiert und verarbeitet wird. Das bietet eine erhebliche Geschwindigkeit, ohne dass die Messgenauigkeit beeinträchtigt wird. Der Zeitbereichs-Scan ist für die Verwendung in den meisten Arten von Konformitätsprüfungen zugelassen und wird daher häufig auch zur Verkürzung der Testzeit bei Vorab-Konformitätsprüfungen eingesetzt. Bild 3 skizziert Stufen- und Zeitbereichs-Scan.

Oszilloskope

Wie EMI-Empfänger und Spektrumanalysatoren können Oszilloskope zur Untersuchung sowohl leitungsgebundener als auch abgestrahlter Signale verwendet werden. Sie messen

jedoch in erster Linie Spannungen im Zeitbereich und sind daher von unschätzbarem Wert, wenn es darum geht, Quellen nicht konformer Emissionen zu lokalisieren, zu debuggen oder zu beheben. Ein weiterer Vorteil von aktuellen Typen ist ihre große Bandbreite. Ein möglicher Nachteil für Vorab-Konformitätsprüfungen besteht darin, dass sie in der Regel keine Grenzwertlinien nativ unterstützen, obwohl Grenzwertlinien und andere EMI-bezogene Funktionen manchmal mithilfe einer externen Software implementiert werden können, die Daten vom Oszilloskop abrufen und verarbeitet.

Oft ist eine FFT auf die erfassten Zeitbereichsdaten möglich. Das Ergebnis ähnelt dem, was auf einem Spektrumanalysator oder EMI-Empfänger zu sehen ist, d.h. eine Anzeige der Leistung über der Frequenz. Ein wichtiger Vorteil einiger Oszilloskope für Vorab-Konformitätsprüfungen

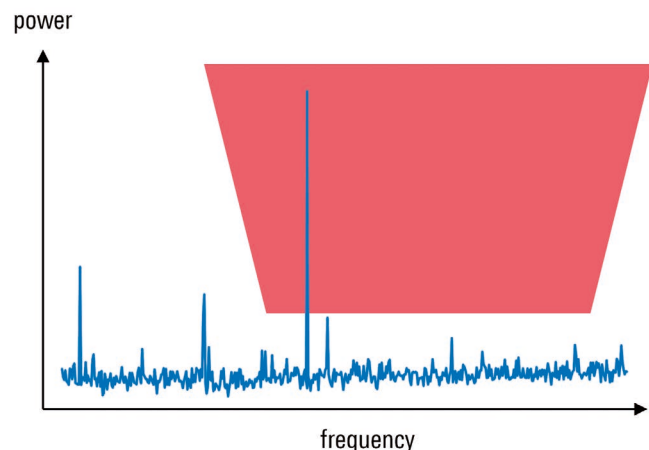


Bild 4: Frequenz und Trigger

besteht darin, dass sie die gleichzeitige Anzeige von Zeit- und Frequenzbereichsdaten ermöglichen. Dadurch können Ereignisse in einem Bereich mit Ereignissen in einem anderen Bereich korreliert werden, was bei der Fehlerbehebung von EMI-Problemen äußerst hilfreich ist. Zusätzlich zu dem herkömmlichen Zeitbereichstrigger kann auch ein Frequenzbereichstrigger unterstützt werden. Dieser Trigger wird ausgelöst, wenn eine Frequenzmaske oder ein Frequenzbereich verletzt wird, wie in Bild 4 dargestellt. Sobald das Oszilloskop durch dieses Frequenzbereichsereignis getriggert wurde, kann das zugehörige oder zugrunde liegende Zeitbereichsereignis analysiert werden, um die Ursache der Verletzung zu ermitteln.

Zubehör

Neben den verschiedenen Arten von Messgeräten, die für Vorprüfungen verwendet werden können, gibt es eine Reihe verschiedener Werkzeuge oder Zubehörteile, die häufig bei Vorprüfungsmessungen zum Einsatz kommen. Dazu gehören LISNs, Antennen, Nahfeldsonden und Software.

Ein Line Impedance Stabilization Network wird bei leitungsgebundenen Emissionsprüfungen verwendet. Seine Hauptfunktionen besteht darin, eine stabile Impedanz am Wechselstromnetz (Leitung) des Netzkabels des Prüflings zu gewährleisten. Da die Impedanz von Steckdosen stark variieren kann, sorgt ein LISN für konsistente, wiederholbare Ergebnisse, unabhängig davon, wo die Prüfung durchgeführt wird. Eine weitere wichtige Funktion besteht darin, zu verhindern, dass HF-Signale im Wechselstromnetz über das Netzkabel des Prüflings in den Prüfling gelangen. Dadurch wird sichergestellt, dass alle gemessenen Emissionen vom Prüfling stammen und nicht aus dem Wechselstromnetz. Wie in Bild 5 dargestellt, ist eine LISN sehr einfach zu verwenden: Das EUT wird an den Netzanschluss angeschlossen und der Messanschluss

mit dem Messgerät verbunden. LISNs werden sowohl bei Konformitäts- als auch bei Vorabkonformitätsprüfungen verwendet, sodass die mit LISNs erzielten Ergebnisse der Vorab-Konformitätsprüfung oft ein sehr guter Prädiktor für die Ergebnisse der Konformitätsmessung sind.

Für die Prüfung der Strahlungskonformität werden Antennen benötigt, um die von den zu prüfenden Geräten ausgesendeten Signale zu messen. Beachten Sie, dass diese Prüfung immer im Fernfeld durchgeführt wird, wobei die Antenne mehrere Meter oder mehr vom EUT entfernt aufgestellt wird. Aufgrund der breiten Frequenzbereiche, die von den meisten Normen für Strahlungsprüfungen gefordert werden – in der Regel 1 GHz oder mehr – sind Breitbandantennen oder eine Kombination von Antennen erforderlich, um den gesamten Frequenzbereich effizient abzudecken. Gängige Beispiele für diese Art von Antennen sind logarithmisch-periodische oder bikonische Antennen. Gut konstruierte und richtig konfigurierte Antennen ermöglichen sehr genaue Messungen sowie eine Frequenzkompensation unter Verwendung von Antennenfaktoren. Die gleichen Antennentypen können sowohl für Konformitäts- als auch für Vorkonformitätsprüfungen verwendet werden, wobei jedoch zu beachten ist, dass die Abstände zwischen Antenne und EUT bei Vorab-Konformitätsprüfungen oft kürzer sind, was Änderungen an den gestrahlten Grenzfrequenzen erforderlich sind. Für die Fehlersuche oder das Debugging der Ursachen von Emissionen sind diese Antennentypen jedoch nicht sehr geeignet: Sie sind in der Regel zu groß und zu sperrig, um genaue Informationen darüber zu liefern, welcher Teil oder welche Komponente des EUT nicht konforme Emissionen erzeugt.

Nahfeldsonden messen in unmittelbarer physischer Nähe zur Emissionsquelle. Bei der EMI-Fehlersuche erstreckt sich das Nahfeld in der Regel über nur wenige Zentimeter. Aufgrund

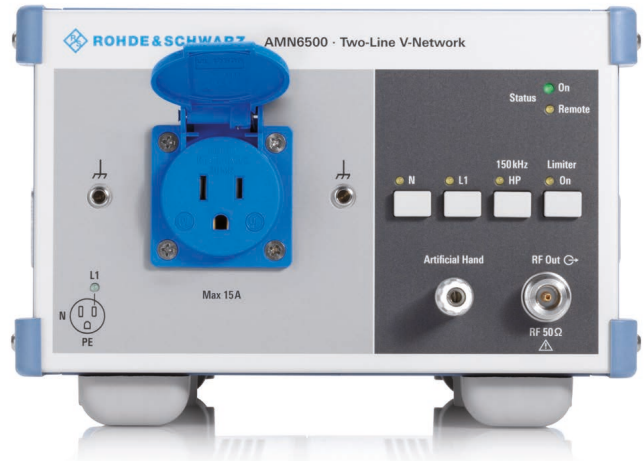


Bild 5: Ein LISN ist sehr einfach zu verwenden.

ihrer geringen Größe und der Möglichkeit, sie physisch nahe an der Quelle zu positionieren, haben Nahfeldsonden eine hohe räumliche Auflösung, d.h. sie können oft verwendet werden, um die Quelle einer Emission sehr genau zu lokalisieren, z.B. einen Pin auf einem Chip oder eine Leiterbahn auf einer Leiterplatte. Dies ist bei der EMI-Fehlersuche sehr hilfreich, da es Informationen über die physikalische Quelle eines störenden Signals liefert. Andererseits unterstützen Nahfeldsonden nur relative Messungen: Sie können zwar zur Lokalisierung von Emissionsquellen verwendet werden, jedoch nicht zur Durchführung genauer Pegelmessungen zum Zwecke der Überprüfung von Grenzwerten.

Nahfeldsonden lassen sich in zwei Haupttypen unterteilen: H-Feld-Sonden reagieren auf das magnetische Nahfeld und haben oft eine schleifenartige Form. E-Feld-Sonden hingegen reagieren auf das elektrische Feld. In den meisten Fällen werden handelsübliche Nahfeldsonden als Kit angeboten, das beide Typen enthält. Beachten Sie, dass die von Nahfeldsonden empfangenen Signale sehr schwach sein können. Wenn sie nicht an ein rauscharmes Oszilloskop angeschlossen sind, kann daher ein Vorverstärker erforderlich sein.

Software

Bei Vorab-Konformitätsprüfungen wird häufig spezielle Software verwendet. Der Hauptgrund dafür ist die Skript-Erstellung oder Automatisierung von Tests, wobei ein Programm über eine einzige Benutzeroberfläche mit mehreren Geräten und Zubehörteilen kommuniziert oder diese steuert. Eine weitere wichtige Funktion der Software bei Vorab-Konformitätsprüfungen ist das Sammeln und Anzeigen der gemessenen Daten. Im Vergleich zur Darstellung der Daten auf einzelnen Geräten bieten Pre-Compliance-Softwarepakete in der Regel eine ausgefeiltere Anzeige mit erweiterten Optionen, wie z. B. benutzerdefinierten Grenzwertlinien.

Ein Softwarepaket kann auch Antennenfaktoren, Kabelverluste usw. problemlos in die Messergebnisse einbeziehen. Darüber hinaus ist die Möglichkeit, benutzerdefinierte Berichte zu erstellen oder Daten zu exportieren, eine Standardfunktion der meisten Pre-Compliance-Softwarepakete. Schließlich, und das ist vielleicht am wichtigsten, bietet Software eine höhere Geschwindigkeit und bessere Wiederholbarkeit als die manuelle Bedienung, sodass selbst Benutzer, die mit Pre-Compliance-Tests relativ unerfahren sind, schnelle und genaue Pre-Compliance-Tests durchführen können. ◀