



HF-Interferenzen rasch auf der Spur

Die steigende Belegung von Funkfrequenzbändern führt dazu, dass mehr Interferenzen entstehen können und dadurch die Übertragungsgeschwindigkeit oder die Übertragungssicherheit schlechter wird. Doch eine entsprechende Messtechnik kann hier Abhilfe schaffen.

Von Rolland Zhang und Klaus Höing

In HF-Netzwerken sind Interferenzen problematisch, da sie die Empfangseigenschaften erheblich beeinträchtigen oder direkt zu einer Unterbrechung der Übertragungsstrecke führen können. Diese Beeinflussungen können aufgrund gewollter oder ungewollter paralleler Abstrahlung auf der gleichen oder einer benachbarten Frequenz entstehen und sowohl die behördlich erlaubten wie auch die unerlaubten Frequenzbereiche betreffen. Damit kommt dem Auffinden und Qualifizieren von Interferenzen eine besondere Bedeutung zu.

Klassifizierung von Interferenz

In dem Maß, wie die spektrale Breite eines Funkdienstes erhöht wird, wächst auch die Anfälligkeit durch Interferenz. Daraus folgt, dass dem Auffinden und der Reduktion von Interferenzen eine essenzielle Rolle für den Betrieb von HF-Kommunikations-Netzwerken zukommt. Interferenztests in einem bestehenden Funknetzwerk sind keine leichte Aufgabe, denn man muss neue Messmethoden anwenden bzw. bestehende Messsysteme aufrüsten und mit neuesten Optionen ausstatten. Typischerweise werden zur Messung von Interferenzen in unterschiedlichen Netzwerken leistungsfähige Spektrumanalysatoren wie beispielsweise die Typen FieldFox N9935A bis N9938A eingesetzt.

In mobilen Kommunikationssystemen gibt es eine Reihe von unterschiedlichen Interferenz-Anteilen, die oft folgendermaßen klassifiziert werden:

→ Interferenz innerhalb eines Übertragungsbandes – eine unerwünschte

Einstrahlung von einem fremden Kommunikationssystem oder eines Senders, dessen Signalfrequenz genau in das Frequenzband des gewünschten und zu untersuchenden Systems fällt.

→ Gleichkanalstörung – wenn innerhalb eines Systems ein zweiter Kommunikations-Kanal den gleichen Kanal besetzt.

→ Out-of-Band-Interferenz – Interferenz durch ein Kommunikationssystem, das aufgrund einer fehlerhaften Filterung oder durch Nichtlinearitäten Energie in das zu untersuchende Frequenzband einstrahlt.

→ Interferenz durch angrenzende Kanäle – resultiert aus einer Übertragung benachbarter Kanäle, die unerwünschte Energieanteile in den eigenen Kanal einstrahlt – meist innerhalb ein und desselben Kommunikationssystems.

→ Uplink- (Reverse-Link-) Interferenz – eine Interferenz, die entsteht, wenn der Empfänger einer Basisstation durch eine Mobileinheit beeinflusst wird.

→ Downlink-Interferenz – Interferenz, die die Downlink-Kommunikation stört – typisch für eine Verbindung von einer Basisstation zu den Mobilgeräten.

Die Art, wie Interferenzen ein Mobilfunknetz stören, zeigt einem Ingenieur, was er mit seiner Schaltung bzw. mit seinem System tun muss, um die Beeinflussung eines anderen Systems

zu unterbinden. Die Out-of-Band-Interferenz kann z. B. auftreten, wenn ein schlecht konzipierter oder ein schlecht gefilterter Sender Harmonische erzeugt, die in einem höheren Frequenzband liegen. Eine bessere Filterung, die die Harmonischen abblockt, bringt die notwendige Entkopplung der beiden Kommunikationssysteme.

Praxistipps: Interferenzen rasch auf die Spur kommen

Wenn ein Mobil-Kommunikations-Netzwerk nicht ordnungsgemäß funktioniert und eine aus einer Einstrahlung resultierende Interferenz als mögliche



Bild 1. Ein tragbarer, robuster Netzwerk-, Spektrum- oder Kabelanalysator bis 26,5 GHz von Agilent bietet im rauen Feldeinsatz die Genauigkeit wie ein entsprechendes Labormessgerät. (Fotos: Agilent)

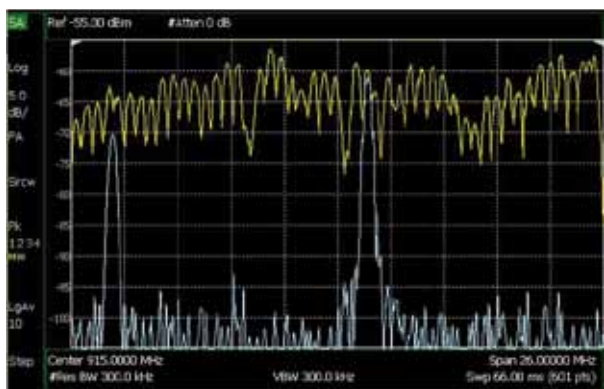


Bild 2. Auf dem Display des FieldFox (z. B. N9938A) mit der Standard-Einstellung (Clear/Write // Lösche/Schreibe) ist ein Signal (blau) mit zwei deutlich aus dem Rauschen kommenden Frequenzen zu sehen. Die gelbe Darstellung zeigt das gleiche Signal im Max-Hold-Modus. Während der Messung wurde erkannt, dass das Signal am linken Bildrand stationär ist und damit möglicherweise eine Interferenz-Quelle darstellt.

Ursache erwartet wird, kommt sinnvollerweise ein leistungsfähiger Spektrumanalysator zum Einsatz, mit dem man die Anwesenheit von unerwarteten Signalen nachweisen kann. Solch ein Gerät kann dazu genutzt werden, die Signalleistung des interferierenden Signals in Abhängigkeit von der Zeit, der Frequenz und dem Ort zu messen.

Da für Interferenzmessungen eine ganze Reihe von Daten im Umfeld des Empfangsbereiches des Mobilsenders gemessen und gespeichert werden müssen, empfiehlt sich ein batteriebetriebenes Gerät, das zudem die Genauigkeit und die Möglichkeiten eines entsprechenden Labormessgerätes bietet (Bild 1).

Will man störende Signale identifizieren, so muss man sie zunächst auffindig machen, um dann die Einflussdauer, die Häufigkeit der Beeinflussung, die Trägerfrequenz, die Bandbreite und letztendlich den Ort der störenden Signalquelle zu bestimmen. Arbeitet das System im Duplex-Modus, so müssen notwendiger Weise die Uplink- und die Downlink-Kanäle auf Interferenz-erzeugende Signalkomponenten untersucht werden.

Um Interferenzen messen zu können benötigt man einen Spektrumanalysator mit sehr geringem Rauschpegel oder DANL (Displayed Average Noise Level; der angezeigte durchschnittliche Rauschpegel). Der DANL ist abhängig von der Auflösungsbandbreite (RBW; Resolution Bandwidth). Interessantes für die Messtechnik in diesem Zusammenhang: Eine Reduktion der Auflösungsband-

breite um den Faktor 10 verbessert den Rauschpegel um ca. 10 dB. Dadurch erhöht sich jedoch die Messzeit, die benötigt wird, um eine vorgegebene Kanalbandbreite überstreichend zu vermessen.

Die Messgeschwindigkeit verhält sich also reziprok zur Auflösungsbandbreite. Eine Möglichkeit, doch eine schnellere Messung zu erreichen, ist, den Signal-Rausch-Abstand (SNR; Signal to Noise Ratio) am Eingang des Detektors des Spektrumanalysators zu verbessern, indem der Eingang-Abschwächer auf 0 dB gestellt wird. Dadurch kann die Auflösungsbandbreite erhöht werden, was wiederum zu einer schnelleren Messung führt.

Oft kann am Eingang noch ein interner oder externer Vorverstärker genutzt werden, um das Signal entsprechend zu verstärken – dabei ist allerdings darauf zu achten, dass die maximale Eingangsspannung bzw. der Eingang-Leistungspegel des Spektrumanalysators nicht überschritten wird. Nicht nur, dass die Eingangsschaltung zerstört werden kann, sondern es kann auch das Messergebnis negativ beeinflussen, wenn das Eingangssignal so groß wird, dass die interne Eingangsschaltung in den nicht-linearen Bereich getrieben wird und dadurch selbst Verzerrungen und Nebeneffekte erzeugt. Diese Nebeneffekte lassen sich dann als die „gesuchten“ Interferenzen interpretieren, obwohl sie von der Übersteuerung

der Eingangsstufe herrühren. In einem solchen Fall muss der Abschwächer so eingestellt werden, dass sich die höchste Dynamik ergibt.

Wenn gepulste, intermittierende oder aus Abhörsicherheitsgründen auch Signale mit wechselnden (springenden) Frequenzen (Frequency Hopping) gemessen werden müssen, kann der Spektrumanalysator auf eine ganze Reihe unterschiedlicher Darstellungen geschaltet werden, um diese Art Signale detektieren und identifizieren zu können. So kann z. B. im Max-Hold-Modus der Spektrumanalysator den jeweils maximalen Wert von unterschiedlichen Messdurchläufen (Sweeps) speichern und darstellen (Bild 2). Dieser Modus ist nützlich, wenn nur das Maximum der Amplitude eines intermittierenden Signals von Interesse ist. Ist allerdings die Signalvariation eine Funktion der Zeit, hilft ein Spektrogramm oder eine Wasserfall-Darstellung, aus der man weitere Informationen und Eigenschaften des intermittierenden Signals ablesen kann.

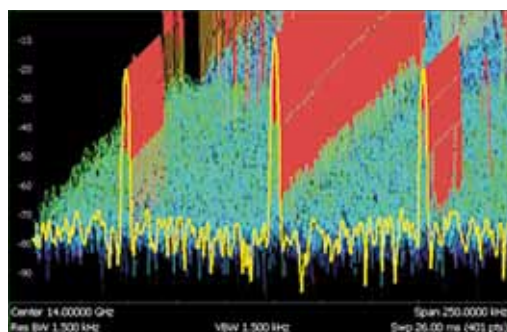


Bild 3. Typisches Wasserfall-Diagramm; x-Achse: Amplitudenpegel; y-Achse: nach hinten verlaufend die Zeit. Man kann erkennen, wie zeitlich begrenzt einzelne Signalpegel vorhanden sind und auch andere Signalpegel – teils anderer Frequenz – kurzzeitig auftreten, was auf mögliche Interferenzen hindeutet.

Die Nützlichkeit von Spektrogrammen

Ein Spektrogramm ist eine einzigartige Möglichkeit, ein frequenz-, zeit- und amplitudenabhängiges Signal auf einem Display darzustellen. Es zeigt die Abfolge des Frequenzspektrums als eine Funktion der Zeit, wobei eine farbliche Zuordnung die Amplitude des Signals darstellt. Ein Wasserfall-Diagramm bietet eine farbcodierte 3D-Darstellung der Amplitudenpegel als Funktion der Frequenz und Zeit (Bild 3).

Der Zero-Span-Modus ist sehr nützlich, wenn intermittierende Interferenzen aufgedeckt werden sollen. In diesem Modus wird die Center Frequency des Spektrumanalysators, also die der Display-Mitte zugeordnete Frequenz, festgehalten und das Signal wird in äquidistanten Zeitabschnitten aufgenommen. Die eingestellte Auflösungsbandbreite wird dabei auf einen möglichst großen Wert eingestellt, um ein möglichst weites Spektrum des Nutzsignals aufzunehmen – möglichst so, dass der Rauschpegel nicht angehoben wird und damit die Messung unbrauchbar wird.

Der Sweep-Acquisition-Modus ist von besonderer Natur. Will man Pulse mit sehr kleinem Duty Cycle (Tastverhältnis), intermittierende Signale, zufällige Signale oder Störer erfassen, kommt der möglichen Totzeit zwischen den einzelnen Messzyklen, in denen das Frequenzband „durchfahren“ wird, besondere Bedeutung zu. Während dieser Totzeiten, z. B. für die Aufbereitung der Messungen zur Anzeige auf dem Display, wird die Signalaufnahme unterbrochen und Störer bzw. Interferenzen können nicht beobachtet und erfasst werden. Um diese Totzeit zu umgehen, wird im Sweep-Acquisition-Modus die Messaufnahme permanent fortgesetzt inkl. der notwendigen, parallel ablaufenden FFT (schnelle Fourier-Transformation) bis zu einer vom Anwender zu definierenden Anzahl an Messungen (bis 5000 Messungen). Erst danach wird das Ergebnis auf dem Bildschirm angezeigt. Interferenz-Signale, die schwierig zu erfassen sind, lassen sich in diesem Modus durch eine optimale Einstellung der Auflösungsbandbreite, Abschwächung und/oder Vorverstärkung darstellen.

Anforderungen an einen portablen Spektrumanalysator und die Antenne

Diverse Anforderungen sind offensichtlich, wenn man Interferenzen im „freien Feld“ untersuchen muss. Es ist in diesem Fall notwendig, dass das Messgerät tragbar, batteriegetrieben und sehr robust gebaut ist. Dazu gehören natürlich eine hohe Batteriekapazität für eine lange Betriebsdauer, eine kurze Zeitspanne zum Hochfahren aus dem Stand-by-Modus sowie ein eingebauter GPS-Empfänger, um den Messdaten

sowohl einen Zeitstempel als auch einen Ortsstempel geben zu können. Hilfreich sind Gleichspannungsausgänge, mit deren Hilfe externe Vorverstärker oder LNBS (Low Noise Block) Downconverter, wie man sie in der Satellitenkommunikation findet, betrieben werden können.

Analog zu den Hochleistungs-Spektrumanalysatoren benötigt man bei den FieldFox-Geräten ein entsprechend hochgenaues Testkabel, um eine Verbindung zwischen dem Spektrumanalysator-Messeingang zum Systemtest-Ausgang oder zu einer entsprechenden Testantenne herzustellen. Wesentlich für dieses Testkabel und letztlich für Messgenauigkeit und -wiederholbarkeit ist, dass alles pfleglich behandelt wird und dass vor einer Nutzung die jeweiligen Anschlüsse am Kabel und am FieldFox-Gerät gesäubert werden.

Ein anderes wichtiges Element für eine Interferenz-Messung ist die Antenne. Sie sollte so konzipiert sein, dass sie auf den zu messenden Frequenzbereich abgestimmt und natürlich leicht und dennoch mechanisch robust ist. Idealerweise sollte sie die Richtcharakteristik aufweisen, wie die Antennen des zu vermessenden HF-Systems.

Ist die System-Antenne eine vertikal polarisierte, omnidirektionale Antenne geringerer Güte (die aus allen 360-Grad-Azimut-Richtungen mit gleicher Empfindlichkeit empfängt), sollte die Messantenne die gleiche Charakteristik aufweisen wie die Systemantenne (Bild 4). Wird ein Spektrum über einen weiten Bereich untersucht, kann eine Breitband-Peitschenantenne anstatt der sonst üblichen Schmalband-Systemantenne verwendet werden. Müssen Messungen von sehr schlechten bzw. fast im Rauschen liegenden Signalen vorgenommen werden oder wenn

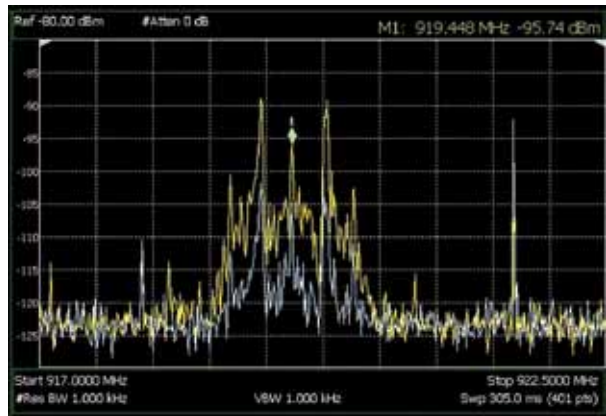


Bild 4. Diese Freifeld-Messung vergleicht zwei Messungen mit unterschiedlichen Antennen. Die blaue Kurve zeigt das Messergebnis mit einer omnidirektionalen Antenne und die gelbe Kurve ist eine Messung mit einer Antenne mit hohem Antennengewinn. Beim Vergleich der beiden Messkurven wird die deutlich größere Amplitude sichtbar – ein Umstand, den man bei der Messung einer unbekanntenen Quelle nutzen kann bzw. zur Feststellung, aus welcher Richtung der störende Sender einstrahlt.

die Richtung des Störers ausfindig gemacht werden muss, so sind bidirektionale Antennen mit hohem Antennengewinn empfehlenswert.

An all diesen Beispielen aus der Praxis sieht man die Bedeutung, die einer optimal und fehlerfrei durchgeführten Interferenzmessung zukommt. In diesem Umfeld – gerade wenn mobile Messungen „im Feld“ nötig sind – ist die Serie der FieldFox-Geräte eine sehr gute messtechnische Hilfe. *ha*



Dipl.-Ing. Klaus Höing

trat nach dem Studium der Elektrotechnik in Stuttgart 1980 bei Hewlett Packard, Böblingen, in den Entwicklungsbereich für Messtechnik ein, der mit der Gründung der Fa. Agilent 1999 ausgegliedert wurde. 1998 wechselte er in den Bereich der Computertechnik bei Hewlett Packard als PR-Manager für die deutsche Niederlassung. Seit dem Frühjahr 2012 ist er bei der Firma dataTec in Reutlingen mit PR-Aufgaben betraut.



Roland Zhang

ist bei Agilent Technologies in Santa Rosa, Kalifornien, Produktmanager für die FieldFox-Analysatoren. Er hat über 20 Jahre Berufserfahrung in der Wireless-HF-Technik und HF-Messtechnik. Wesentliche Impulse bei der Entwicklung des neuen Gerätes kamen dabei von ihm.