

Vielseitiger Stimulus

Arbiträr-/Funktionsgeneratoren in HF-Applikationen

Die Arbiträr-/Funktionsgeneratoren (AFGs) der Serien AFG3000 können zwei HF-, ZF- und IQ-Signale bis zu 240 MHz generieren. Der Beitrag stellt typische HF-Testapplikationen vor, wie z. B. Messung der Bandbreite von Bandpassfiltern und ZF-Verstärkern, Messung der Intermodulationsverzerrung, Messung des Quadraturfehlers sowie der Verstärkungsunsymmetrie von IQ-Modulatoren, Simulierung von Impulsradarsignalen und Messung der Impulsrauschzahl.

Jede neue HF-Verstärker- und Filterentwicklung weist Bandpasskennwerte auf, die gemessen werden müssen, um die Übereinstimmung des Produkts mit den Entwicklungszielen zu gewährleisten. Die meisten Verstärker sind so ausgelegt, dass sie über das Frequenzband, das ihrem gedachten Einsatz angepasst ist, ein lineares Ansprechverhalten zeigen. Ähnlich werden Filter so entwickelt, dass sie vorher festgelegte Frequenzbänder durchlassen und alle anderen abweisen.

Beide Komponententypen neigen dazu, innerhalb eines bestimmten Frequenzbereichs eine verhältnismäßig „flache“ Amplitudenempfindlichkeit aufzuweisen. An beiden Enden dieser Reihe nimmt der Amplitudengang allmählich ab. Die Punkte, an denen der Ansprechwert um -3 dB unterhalb der Spitzenamplitude liegt, definieren die Bandbreitengrenzen. Im hier behandelten Anwendungsbeispiel untersuchen wir einen 140-MHz-ZF-Verstärker und messen die obere und untere Frequenz, bei der die Ausgangsamplitude um -3 dB abgefallen ist, was 70,71 % des Spitzenwerts gleichzusetzen ist. Der AFG bietet eine gewobbelte Sinuskurve als Eingangssignal für den Verstärker, und ein Spektrumanalysator verfolgt den Signaloutput im Peak-Hold-Modus.

Nach Betätigen der Sweep-Modus-Taste des AFG lassen sich auf dem Bildschirm alle wesentlichen Wellenformereinstellungen betrachten, einschließlich einer Darstellung der Wellenform selbst (**Bild 1**). Man



beachte den Wellenformrahmen nahe dem unteren Teil des Bildschirms. Er fasst alle besonders ausgeprägten Details zum generierten Signal zusammen: die Amplitude; die Frequenz-Endpunkte; die Steilheit der „Flanke“, welche die Frequenz stetig erhöht sowie die Gesamtlänge (Zeit) der Wobbelung. **Bild 2** zeigt die Messspur des Spektrumanalysators. Bei Verwendung von Markern liegen die Messergebnisse im Frequenzbereich zwischen 133 MHz und 147 MHz. Außerhalb dieser Bandbreite fällt der Frequenzgang des Verstärkers unter den -3 -dB-Punkt ab.

In diesem Beispiel spielen die Anwenderschnittstelle sowie die Architekturvorteile des AFGs für die effiziente Durchführung der Aufgabe eine entscheidende Rolle. Der Sweep-Einstellvorgang erleichtert die Definition des benötigten Stimulus-Signals. Das Display bestätigt die Wellen-

formcharakteristik auf einen Blick, während die numerischen Parameter auf demselben Bildschirm zu schnellen, präzisen Reaktionen über Amplitude, Frequenz und mehr führen.

Messung der Intermodulationsverzerrung

Wenn in Verstärkern, Modulatoren oder anderen Elektronikgeräten zwei oder mehr Töne in Wechselwirkung treten, rufen sie mehrere Intermodulationsprodukte hervor. Dieser Effekt wird als Intermodulationsverzerrung (Intermodulation Distortion, IMD) bezeichnet und hat seine Ursache in Nichtlinearitäten des Geräts. In der HF-Kommunikation ist das problematisch, weil es das Signalspektrum erweitert, das Übertragungssignal stört und den Dynamikbereich drahtloser Transceiver reduziert. ▶

AUTOR

Jon Mees ist Market Development Manager EMEA für den Bereich RF Test Solution bei Tektronix

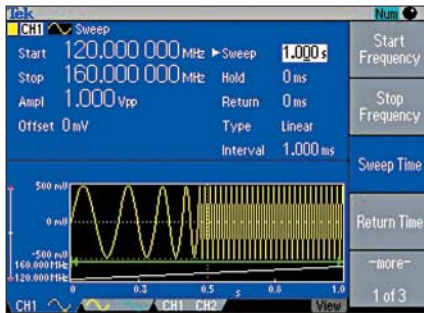


Bild 1: Display der AFG3000-Familie im Sweep-Modus.

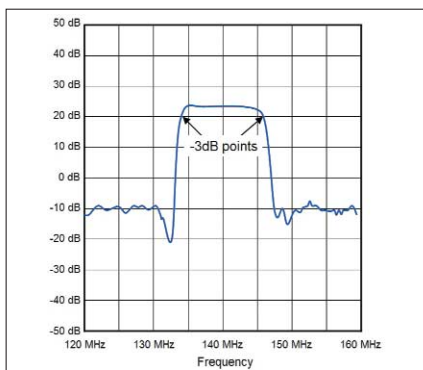


Bild 2: Frequenzgang des 140-MHz-Verstärkers

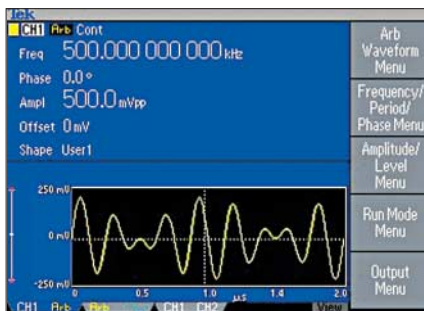


Bild 3: AFG3252-Display eines Zweiton-Signals.

Parameters	Setting
Run Mode	Continuous
Function	Arb
Arb Waveform Menu	User1
Frequency	500 kHz
Amplitude	0,5 V _{pp}

Tabelle 1: AFG3252-Einstellungen zur IMD-Messung

Parameters	Setting
Cannels 1/2 – Run Mode	Continuous
Cannels 1/2 – Function	Sine
Frequency: Frequency CH1=CH2	On
Amplitude: Level CH1=CH2	On
Frequency	1 MHz
Channel 2: Phase	90 °

Tabelle 2: Einstellungen des Arbiträr-/Funktionsgenerators zur IQ-Modulator-Charakterisierung

Parameters	Setting
Function	Pulse
Frequency	1 kHz
Amplitude – High Level	5 000 V
Amplitude – Low Level	0 mV
Width	5 %
Run Mode	Burst
N-Cycles	1 000
Trigger Interval	4 s

Tabelle 3: AGF3252-Einstellungen zur IQ-Modulator-Charakterisierung in Impulsradar-anwendungen

Zur IMD-Messung eines HF-Geräts muss dieses mit einem Zweitonsignal stimuliert und sein ausgangsseitiger Frequenzgang mit einem Spektrumanalysator gemessen werden. Man kann beide Töne getrennt mit den Kanälen 1 und 2 des AFG3252 generieren und sie extern mischen. Indes besteht ein eleganterer Lösungsansatz, ohne dass man einen externen Mischer braucht, darin, den Doppelton als arbiträre Kurvenform zu erzeugen und ihn unter Verwendung nur eines Kanals des AFG zu generieren (Bild 3). Die arbiträre Zweitons-Wellenform lässt sich bequem über die mathematische Wellenfunktion des PC-Softwarepakets ArbExpress definieren. Im vorliegenden Beispiel generiert der AFG3252 zwei Töne von 3,5 MHz und 4,5 MHz, um die IMD eines IQ-Modulators zu testen.

Nach der Erzeugung der Wellenformdateien können diese auf einer USB-Speichereinheit zur Übertragung auf den Arbiträr-/Funktionsgenerator abgespeichert werden. Man steckt dann den USB-Speicher mit den Wellenformdateien in den USB-Port auf dem Bedienfeld des AFG3252. Nach Betätigung der Taste „Edit“ wählt man „Read from...“ auf dem Bildschirmmenü, dann „USB“ und anschließend die Datei für Kanal 1 auf der Liste auf dem Bildschirm aus. Als nächstes wird „more“ im Bildschirmmenü ausgewählt, dann „Write to...“, und danach lädt man die arbiträre Kurvenform in den Speicher „User1“ des Messgeräts. Schließlich wird der AFG3252 mit den in Tabelle 1 dargestellten Einstellungen programmiert.

Der Frequenzgang des IQ-Modulators auf den Zweitons-Testimpuls ist auf dem Spektrumanalysator-Screenshot in Bild 4 dar-

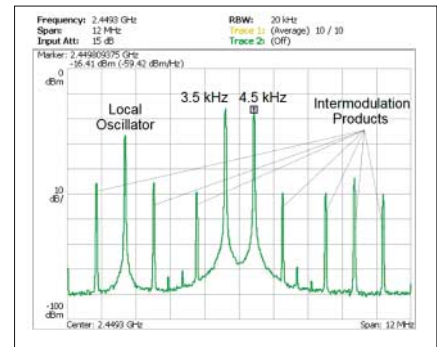


Bild 4: Spektrumanalysatormessung von Intermodulationsverzerrungen.

gestellt. Die beiden Töne mit 3,5 MHz und 4,5 MHz werden im Bildschirm rechts von der lokalen Oszillatorfrequenz zentriert. Herkömmliche Messungen zur Quantifizierung der Geräte linearität verwenden die Output Intercept Points (OIP). Diese lassen sich mathematisch aus der Leistung des stärksten gesuchten Tons sowie der Unterdrückung der Intermodulationsprodukte im Verhältnis zur Leistung des Referenztons berechnen.

Ein wichtiger Punkt, der bei IMD-Messungen zu beachten ist, liegt darin, dass der Signalgenerator wegen Nichtlinearität in der Ausgangsstufe eine eigene Intermodulationsverzerrung erzeugt. Die am Geräteausgang gemessene IMD ist die Vektorsumme von Quell- und Geräte-IMD. Durch eine separate Messung wurde festgestellt, dass die Quellen-IMD nur zu einem Messfehler von $\pm 0,02$ dB für die IMD 2. Ordnung des Geräts führt, und zu $\pm 0,13$ dB für IMD 3. Ordnung.

Quadraturfehler und Verstärkungs-Unsymmetrie

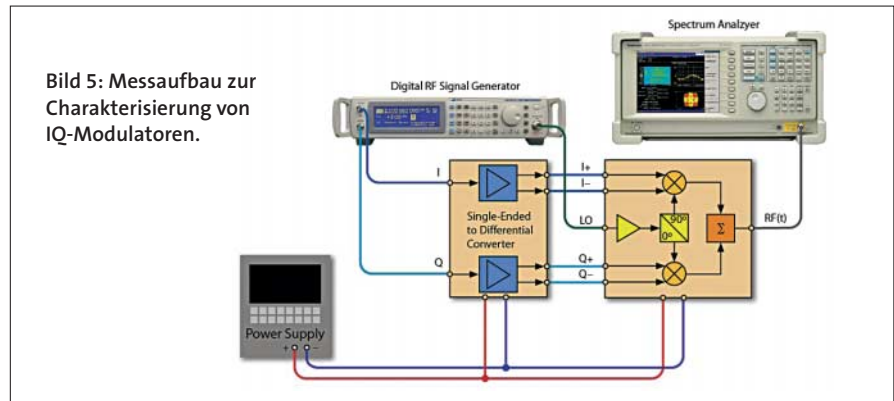
IQ-Modulatoren spielen in der modernen Telekommunikation eine entscheidende Rolle. Entwickler beschäftigen sich mit der Amplituden-Unsymmetrie und dem Phasenfehler zwischen den gleichphasigen und den Quadraturzweigen eines IQ-Modulators, weil sie zu Carrier-Dämpfung und unerwünschten Seitenband-Streuverlusten führen. Der Streuverlust des lokalen Oszillators (LO) wird durch winzige DC-Abweichungen zwischen den differentiellen Basisband-Eingängen verursacht und ist vom Quadraturfehler unabhängig. Der unerwünschte Seitenband-Streuverlust indessen hängt sowohl von der Amplituden-Unsymmetrie als auch vom Quadraturfehler ab.

Zur Messung von Amplituden-Unsymmetrie und Quadraturfehler kann man sich die Tatsache zunutze machen, dass die Seitenbandunterdrückung durch Einstellung von Phasen- und Amplitudenversatz zwischen dem I- und dem Q-Kanal optimiert werden kann. Wird lediglich ein Parameter eingestellt, nähert sich die Seitenbandunterdrückung asymptotisch einem Grenzwert. Deshalb müssen Verstärkung und Phase nacheinander in zahlreichen Schritten eingestellt werden, bis der unerwünschte Seitenband-Leckverlust minimiert ist. Die entgegengesetzten Werte der Q-Kanal-Einstellungen spiegeln dann die Modulator-immanente Fehlanpassung wieder.

Den Aufbau zur Messung von Quadraturfehler und Verstärkungs-Unsymmetrie in IQ-Modulatoren zeigt **Bild 5**. Der Arbiträr-/Funktionsgenerator stellt den Signaleingang zum IQ-Modulator zur Verfügung. Zunächst wird er konfiguriert wie bei Bandbreitenmessungen (**Tabelle 2**). Um die DC-Verschiebungen der differentiellen Basisband-Eingänge zu bestimmen, wird die DC-Vorspannung an der Wandlerschaltung von unsymmetrisch zu differentiell so lange eingestellt, bis die Ausgangsleistung des IQ-Modulators bei der LO-Frequenz den Mindestwert erreicht.

Zur Bestimmung der Verstärkungs- und Phasenfehler des IQ-Modulators beob-

Bild 5: Messaufbau zur Charakterisierung von IQ-Modulatoren.



achtet man die unerwünschte Seitenbandleistung auf dem Spektrumanalysator, hält dabei sowohl Amplitude als auch Phasen des Kanals 1 des AFG3252 konstant und führt so lange iterative Einstellungen von Amplitude und Phase von Kanal 2 (Q-Signal) durch, bis der Leistungspegel minimiert ist. Im Gegensatz zu Vektor-Signalgeneratoren mit eingebauten IQ-Generatoren, die zur Durchführung parametrischer Einstellungen ein Neuladen des Signalvektors benötigen, ermöglicht der AFG3252 eine direkte Einstellung von Phase und Amplitude über den Drehknopf auf dem Bedienfeld, und zwar mit einer Amplitudenauflösung von 0,1 mV und einer Phasenauflösung von 0,01 Grad.

Wie sich herausstellte, ließ sich das Seitenband des IQ-Modulators, das hier als Beispiel dient, durch Reduzierung der Ampli-

tude in Kanal 1 von 500 mV auf 461,8 mV und der Phase von 90° auf 89,79° unterdrücken. Entsprechend ergibt sich die IQ-Amplituden-Unsymmetrie zu 0,0764 oder 0,35 dB und der Quadraturfehler zu 0,21°.

Simulation von Impulsradarsignalen

Um mit Radarsystemen den Abstand eines Zielobjekts zu bestimmen, sendet das Impulsradargerät kurze und leistungsfähige Impulszüge aus und misst die Zeit, die das Signal zum Erreichen des Ziels und zur Rückkehr zur Antenne braucht. Da sich die Senderantenne dreht, wird das Ziel nur für eine kurze Zeitspanne dem Radarimpuls ausgesetzt. Eine übliche Anforderung ist, Impulsbündel für diese Zeitspanne zu simulieren, während der die Antenne freie Sichtausrichtung zum Ziel hat. Arbiträr-/Funktionsgeneratoren ►

wie der AFG3251/52 sind hier gut zur Generierung von Niederfrequenz-Radar mit Impulsfrequenzen bis 120 MHz (unteres VHF-Band) geeignet. Zur Erzeugung der Impulsbündel wird das Messgerät als Impulsgenerator im Burst-Modus konfiguriert. Für viele Radaranwendungen ist die scharfe Anstiegs- und Abfallzeit des Messgeräts von 2,5 ns vorteilhaft. Abhängig vom Einsatzgebiet, können die Messgeräte auch intern oder über ein externes Signal getriggert werden.

Manche Radaranwendungen benötigen darüber hinaus nicht-rechtwinklige Impulsformen, damit die Zielerkennung auf ein Höchstmaß gesteigert wird. Zur Erfüllung dieser Forderungen können die gewünschten Impulsformen über Gleichungen oder andere arithmetische Mittel mit der Wellenform-Editorssoftware ArbExpress erzeugt und mit der arbiträren Wellenformfunktion des AFG generiert werden. Als Beispiel zeigt Tabelle 3 die Einstellungen zur Simulation von Impulsradar-bündeln mit 1000 Impulsen, einer Wiederholfrequenz von 1 kHz und einem Tastverhältnis (Duty Cycle) von 5 %, der sich alle 4 s wiederholen. In Bild 6 ist das mit einem Oszilloskop gemessene Ausgangssignal des AFG3251/52 dargestellt. Die AFG3251/52 haben den Vorteil, dass über Schnell Tasten direkt auf Wellenformparameter zugegriffen werden kann und dass diese im laufenden Betrieb modifiziert werden können, ohne dass das Ausgangssignal unterbrochen werden muss. Die Messgeräte unterstützen außerdem Impulstastverhältnisse von nur 0,001 %, wie sie in Radarapplikationen häufig benötigt werden.

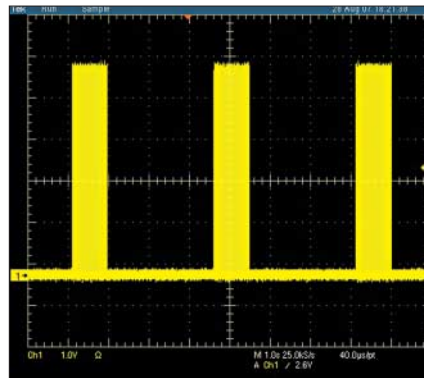


Bild 6: Oszilloskop-Screenshot mit Impulsradarsignal.

Messung der Impulsrauschzahl

Die Rauschzahl (NF, Noise Figure) ist ein wichtiger Parameter von Telekommunikationsverstärkern, da sie spezifiziert, wie viel Rauschen der Verstärker zum Rauschen im Ausgangssignal beiträgt. Sie beschreibt die Verschlechterung des durch die Komponenten in der Signalkette verursachten Signal-Rausch-Verhältnisses (SNR) am Ausgang zu dem am Eingang. Zellulare Handy- und Basisstationsverstärker für TDMA, GSM und andere Funkstandards mit Signalbündeln werden zur Energieeinsparung nur während der aktiven Zeitschlitze mit Strom versorgt. Um genaue Messergebnisse zu erhalten, muss die Rauschzahl gemessen werden, wenn der Verstärker wie während des Normalbetriebs im Impulsmodus arbeiten. Eine verbreitete Methode zum Messen der Rauschzahl ist die Y-Faktor-Methode. Sie beruht auf einer kalibrierten Rauschquelle mit bekanntem Funkelrauschverhältnis (ENR, Excess Noise Ratio), die mit dem Eingang des zu prüfenden Verstärkers verbunden ist (Bild 7). Kanal 1 des AFG3252 schaltet den

Verstärker über ein Impulssignal, das den Vorspannungseingang des Verstärkers ansteuert, ein und aus. Impulsbreite und Wiederholrate werden entsprechend dem zu testenden Standard eingestellt. Der Spektrumanalysator wird in Time-Gated-Modus konfiguriert, damit der Verstärkerausgang nur während der Einschaltphase gemessen wird. Kanal 2 des AFG generiert das Triggersignal zum Spektrum synchron zu dem Impuls, der die Verstärkervorspannung ansteuert.

Um mithilfe dieser Methode die Rauschzahl abzuleiten, muss zuerst der so genannten Y-Faktor festgelegt werden, der das Verhältnis der Ausgangsrauschdichten von der Rauschquelle bei ihren ON- und OFF-Zuständen wiedergibt. Damit man reproduzierbare Messergebnisse erhält, ist eine ausreichende Durchschnittsbildung der Messung unumgänglich. Mit dem gemessenen Y-Faktor und dem durch den Hersteller der Rauschquelle für die interessierende Frequenz gelieferten ENR lässt sich die Rauschzahl nun wie folgt berechnen:

$$NF = ENR_{dB} - (10 \log(Y-1))$$

Nehmen wir als Beispiel an, dass das ENR bei 5,28 dB liegt und dass sich die gemessene Rauschdichte nach dem Einschalten der Rauschquelle von -90 dBm/Hz auf -87 dBm/Hz erhöhte. Das ergibt einen Y-Faktor von 3 dB, der dann zum Einsatz in obiger Gleichung in einen linearen Wert umgewandelt werden muss. Unter Verwendung der Formel

$$Y(\text{lin}) = 10^{Y(\text{dB})/10}$$

erhalten wir $Y(\text{lin}) = 1,995$. Nach Einfügen dieses Werts in obige Formel für die Rauschzahl ergibt sich $NF = 5,3$ dB.

Der Vorteil des Einsatzes des AFG3000 in dieser Anwendung liegt darin, dass dieser zwei Kanäle anbietet, die in der Frequenz synchronisiert werden können und deren Amplitude unabhängig voneinander einstellbar ist, um so dem erforderlichen Vorspannungspegel am Verstärker und dem Triggereingang des Spektrumanalysators oder Rauschzahlmessers zu entsprechen. (jj)

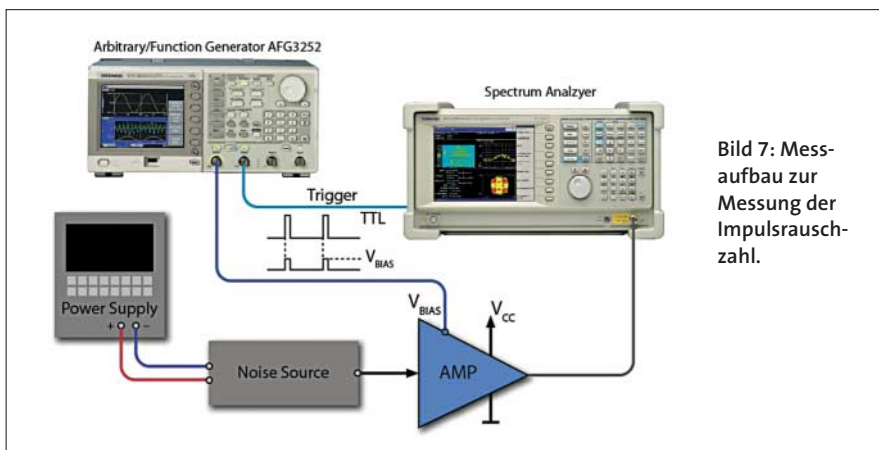


Bild 7: Messaufbau zur Messung der Impulsrauschzahl.

 infoDIRECT 502ei0608
www.elektronik-industrie.de
 ▶ Link zu Tektronix