HF-Generatoren und ihre Verwendung

Man unterscheidet bei HF-Generatoren hauptsächlich zwischen analogen Signalgeneratoren und Vektor-Signalgeneratoren. Der Unterschied liegt in der Art der Signalaufbereitung. Daraus ergeben sich unterschiedliche Modulationsarten und entsprechende Einsatzmöglichkeiten.

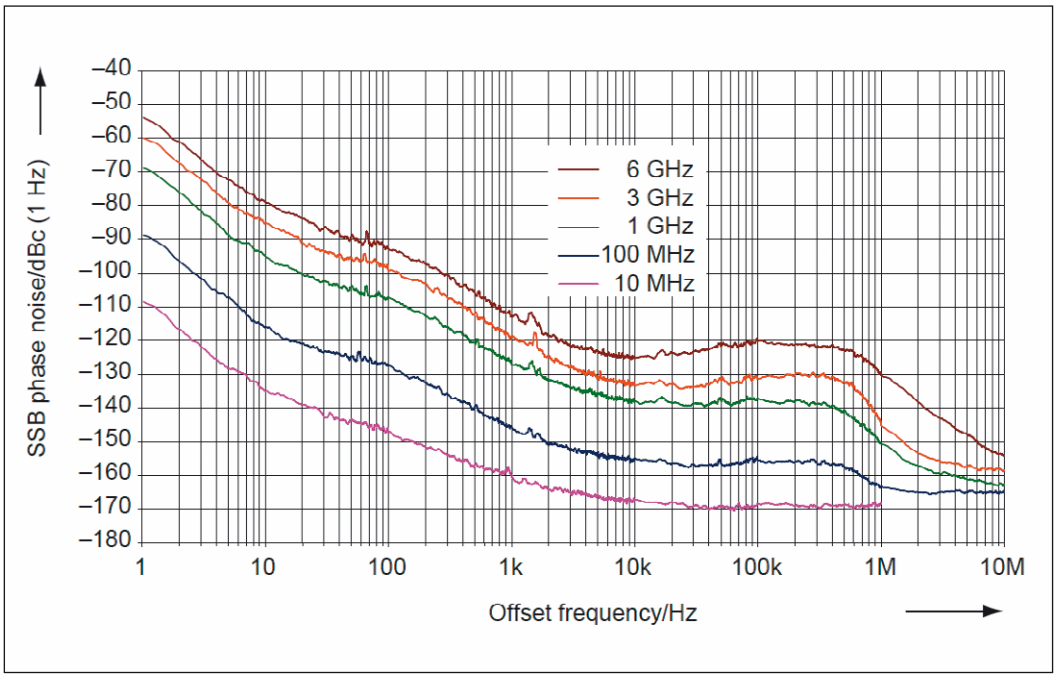

Bild 1: Exzellent niedriges Phasenrauschen eines analogen Signalgenerators

Nach der Vorstellung von analogen Generatoren werden Vektor-Signalgeneratoren besprochen, wobei deren Ausprägung als Arbitrary-Waveform-Generator eine gesonderte Betrachtung erfährt.

Analoge Signalgeneratoren

Bei analogen Signalgeneratoren liegt der Schwerpunkt auf der Erzeugung eines hochqualitativen HF-Signals. Unterstützt werden die analogen Modulationsarten AM, FM und φM. Mit manchen Geräten können auch exakte Pulssignale erzeugt werden. Analoge Generatoren sind für Frequenzen bis in den Mikrowellenbereich erhältlich. Sie zeichnen sich aus durch:

- sehr hohe spektrale Reinheit (Non-Harmonics), z.B. -100 dBc
- sehr geringes Eigenrauschen (Broadband Noise), z.B. -160 dBc
- sehr geringes Phasenrauschen (SSB Phase Noise), z.B. -139 dBc/Hz (bei 20 kHz Offset und 1 GHz), s. Bild 1

Analoge Signalgeneratoren werden zu folgenden Zwecken eingesetzt:

- als stabiles Referenzsignal (Local Oscillator, Quelle für Messungen des Phasenrauschens, Kalibrier-Referenz)
- als Universal-Instrument für Messungen von Verstärkung, Linearität, Bandbreite usw. bei der Entwickung und dem Test von HF- und anderen Halbleiter-Chips
- für Empfänger-Tests (Zwei-Ton-Tests, Erzeugen von Interferer- und Blocking-Signalen)
- für EMV-Tests
- für ATE und Produktion
- für Avionik-Anwendungen (z.B. VOR, ILS)
- für militärische Anwendungen
- für Radar-Tests

In Bild 2 ist beispielsweise eine Kombination von Impulsen mit unterschiedlicher Breite und Pausendauer für Radar-Anwendungen zu sehen.

Analoge Signalgeneratoren sind mit unterschiedlichen Spezifikationen in allen Preisklassen erhältlich. Für die Auswahl können folgende Kriterien entscheidend sein:

- Frequenzbereich und Auflösung
- mögliche Ausgangsleistung
- Einschwingen von Frequenz und Pegel
- Pegel- und Frequenzgenauigkeit
- Bauart und Gewicht

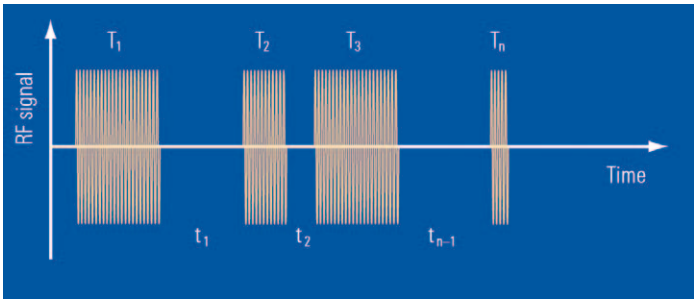

Bild 2: Spezielle Impulsfolge für Radar-Anwendungen

Quelle: Messen mit modernen Spektrumanalysatoren, Application Note 1MA201_2d, Rohde & Schwarz, Juni 2012, Kapitel 3: Generatoren und ihre Verwendung,

Autor: Detlev Liebl

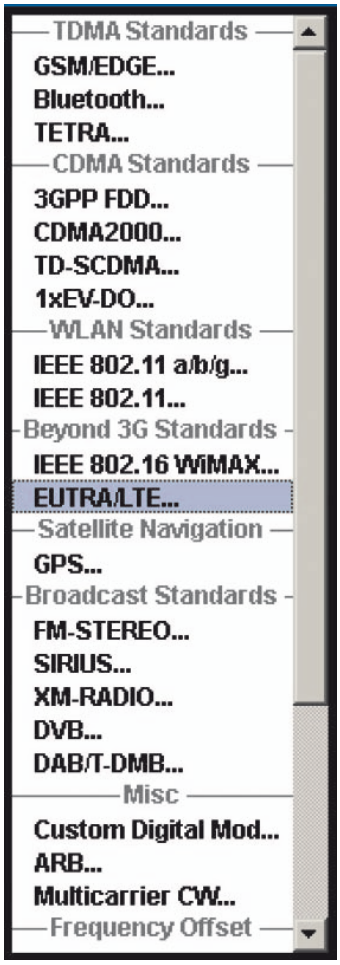

Bild 3: Vorprogrammierte Standards bei einem Vektor-Signalgenerator

Vektor-Signalgeneratoren

Vektor-Signalgeneratoren zeichnen sich dadurch aus, dass sie das Modulationssignal im Basisband als komplexen IQ-Datenstrom rechnerisch erzeugen und bearbeiten. Dazu gehören auch eine rechnerische Filterung, ggf. ein Begrenzen der Amplitude (Clipping) oder beispielsweise ein Aufprägen von Unsymmetrien. Manche Generatoren können additiv Gauss'sches Rauschen dazurechnen; manche Generatoren sind darüber hinaus in der Lage, rechnerisch eine Mehrwege-Ausbreitung (Fading, MIMO) des späteren HF-Signals zu simulieren.

Im Allgemeinen geschieht die gesamte Aufbereitung des Basisband-Signals durch Berechnung in Echtzeit. Eine Ausnahme bilden die ARB-Generatoren. Die Basisband-IQ-Daten werden schließlich auf eine Betriebsfrequenz konvertiert. (Es gibt auch Vektor-Generatoren, die nur im Basisband arbeiten, ohne HF-Signale zu erzeugen.)

Vektor-Signalgeneratoren verfügen oft auch über analoge oder digitale IQ-Eingänge, um externe Basisbandsignale einzukoppeln. Mit der IQ-Technik lassen sich beliebige einfache wie komplexe, digitale wie analoge Modulationsarten realisieren, Einzelträger- ebenso wie Multiträger-Signale. Die Anforderungen kommen dabei in erster Linie aus den Mobilfunk-Standards, aber auch aus der kabelgebundenen digitalen Breitbandübertragung und aus A&D-Applikationen (Erzeugen von modulierten Pulsen).

Die Haupteinsatzgebiete der Vektor-Signalgeneratoren:

- Erzeugen von standardkonformen Signalen für Mobilfunk, digitales Radio- und TV, GPS, moduliertes Radar etc.
- Testen von digitalen Empfängern oder Baugruppen in Entwicklung und Produktion
- Simulieren von Signal-Verschlechterungen (Rauschen, Fading, Clipping, Einfügen von Bitfehlern)
- Erzeugen von Signalen für Mehrantennen-Systeme ohne und mit Phasenkohärenz für Beam-Forming
- Erzeugen von modulierten Störsignalen (Interferer) für Blocking-Tests und Messungen der Nachbarkanal-Unterdrückung

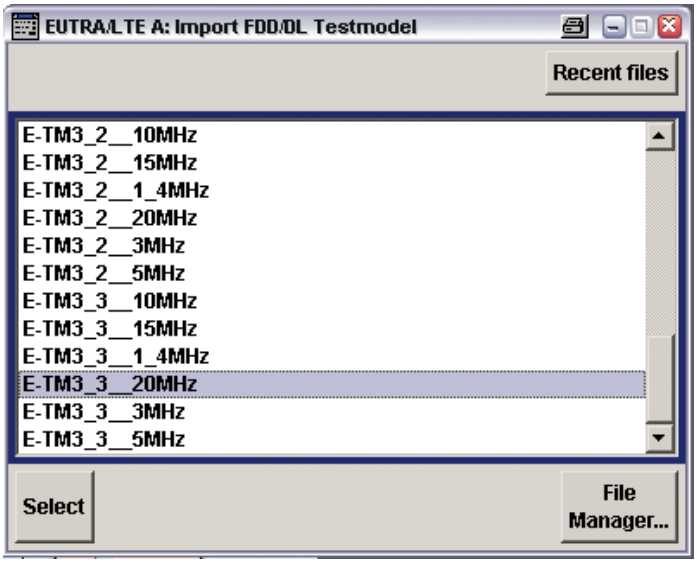

Bild 4: Teil der vorprogrammierten Testmodels für den Mobilfunk-Standard LTE

Bild 3 zeigt beispielhaft einen Teil der von einem Vektor-Signalgenerator unterstützten vorprogrammierten Standards.

In den einzelnen Kommunikations-Standards sind meistens Testsignale mit einer vorgegebenen Konfiguration definiert. Diese können in einem Vektor-Signalgenerator bereits vorprogrammiert sein. Bild 4 zeigt eine Auswahl dieser beim LTE-Standard sogenannten Testmodels (beim gleichen Generator). Bild 5 zeigt das Spektrum des angewählten Testmodels E-TM3_3__20 MHz. Es ist ca. 18 MHz breit. Genauer betrachtet, besteht es aus 1201 OFDM-Einzelträgern im Abstand von 15 kHz, die aufgrund der eingestellten Bildschirmauflösung hier ineinander fließen. Bild 6 zeigt das Konstellationsdiagramm (IQ-Darstellung) des Testmodels. Es sind einzelne Kanäle unterschiedlich moduliert. Hier sind alle vorkommenden Modulationsarten in einer Darstellung zusammengefasst: BPSK (cyan), QPSK (rot mit blauen Kreuzen), 16-QAM (orange) und die LTE-typischen CAZAC-Bits (Constant Amplitude Zero Autocorrelation, blau) auf dem Einheitskreis.

Vektor-Signalgeneratoren verfügen meist über komfortable Triggermöglichkeiten. Damit lassen sich beispielsweise Generator-Bursts exakt in ein vorgegebenes Zeitraster einpassen (z.B. GSM-Bursts in die richtigen Time Slots). Parallel zum Datenstrom liefern diese Generatoren meist auch sogenannte Marker-Signale an Gerätebuchsen. Diese können programmierbar an beliebigen Punkten im Datenstrom aktiviert werden (z.B. Burst- oder Frame-Anfang), um ein DUT oder Messgeräte zu steuern.

Digital modulierte HF-Signale weisen teilweise sehr hohe Crest-Faktoren auf (Verhältnis von Mittel- zu Spitzenwert mehr als 10 dB). Schon geringe Nichtlinearitäten in den analogen Blöcken des Generators (Mischer, Endstufe) können leichter Oberwellen und Intermodulationsprodukte verursachen als klassische analoge Modulationen. In dieser Beziehung unterscheiden sich einzelne Generatoren erheblich.

Wichtige Kenngrößen für Vektor-Signalgeneratoren sind die Modulationsbandbreite und die erzielbare Symbolrate, die Modulationsqualität (Error Vector Magnitude, EVM) und die Nachbarkanal-Unterdrückung (Adjacent Channel Power, ACP). Moderne Generatoren sind zukunftssicher, d.h., sie übertreffen die Anforderungen aktuell gängiger Mobilfunkstandards erheblich. Die allgemeinen Kriterien für die Auswahl gleichen denen von analogen Generatoren.

Arbitrary-Waveform-Generatoren

Diese kurz ARB-Generatoren genannten Geräte sind Vektor-Signalgeneratoren, bei denen die Modulationsdaten vorab (nicht in Echtzeit) berechnet und im RAM abgelegt werden. Die Ausgabe das RAM-Inhalts erfolgt dann mit der Echtzeit-Symbolrate. (Viele Vektor-Signalgeneratoren verfügen über eine ARB-

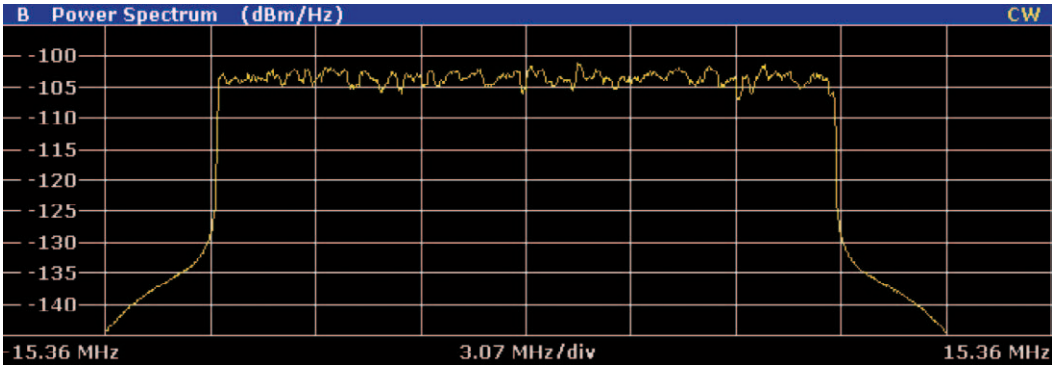

Bild 5: Multicarrier-Spektrum des LTE Testmodels E-TM3_3__20MHz

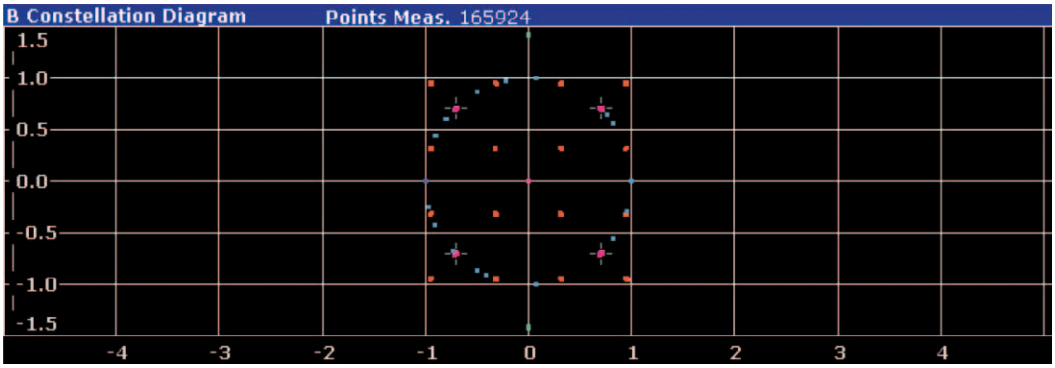

Bild 6: Gesamtkonstellation beim LTE-Testmodel E-TM3_3__20MHz

Vielfach bieten Hersteller von ARB-Generatoren Software an, um Standard-Modulationssequenzen (IQ-Datensätze) zu erstellen. Bild 7 zeigt einige Fenster eines solchen Programms. Gewählt wurde hier der Mobilfunkstandard 3GPP FDD (UMTS). Erstellt wird der Downlink, also das Signal von einer Basisstation (BS) zum Mobiltelefon. Das Programm kann die Signale von bis zu vier Basisstationen erzeugen; in Bild 7 ist nur BS1 aktiv. Die Filterung entspricht dem UMTS-Standard. Ein Clipping erfolgt nicht. Die Gerätebuchse Marker1 wird später ein Signal bei jedem neuen Radio Frame liefern. Sind alle nötigen Eingaben erfolgt, startet man durch Klicken auf die Schaltfläche Generate Waveform File die Berechnung der IQ-Daten. Ist diese abgeschlossen, überträgt man die Daten vom Programm aus zum ARB-Generator und kann sofort die Ausgabe starten. ◀

Option, s. Bild 3.) In Einsatz und Anwendung unterscheiden sich die ARB-Generatoren von den Echtzeit-Vektor-Generatoren in folgenden Punkten:

- Der Inhalt des IQ-Datenstroms ist vollkommen frei festlegbar.
- Es sind nur zeitlich begrenzte oder zyklische Signale möglich (RAM hat endliche Tiefe).

Die Speichertiefe und die Wortbreite der IQ-Datensätze sind zusätzliche Kenngrößen. Wie bei den Echtzeitgeneratoren gibt es verschiedene Trigger-Möglichkeiten und die Marker-Signal-Ausgabe. Der Anwender kann für Produktionstests verschiedene Sequenzen unterschiedlicher Dauer aneinanderfügen. Das können zum Beispiel Datenströme mit unterschiedlichen Bitraten sein, die in der Fertigung überprüft werden müssen. Manche ARB-Generatoren können als Echtzeit-Basisband-Quelle Gauss'sches Rauschen hinzurechnen, manche sind in der Lage, eine Mehrwege-Ausbreitung (Fading) und Mehrantennensysteme (MIMO) des späteren HF-Signals in Echtzeit zu simulieren.

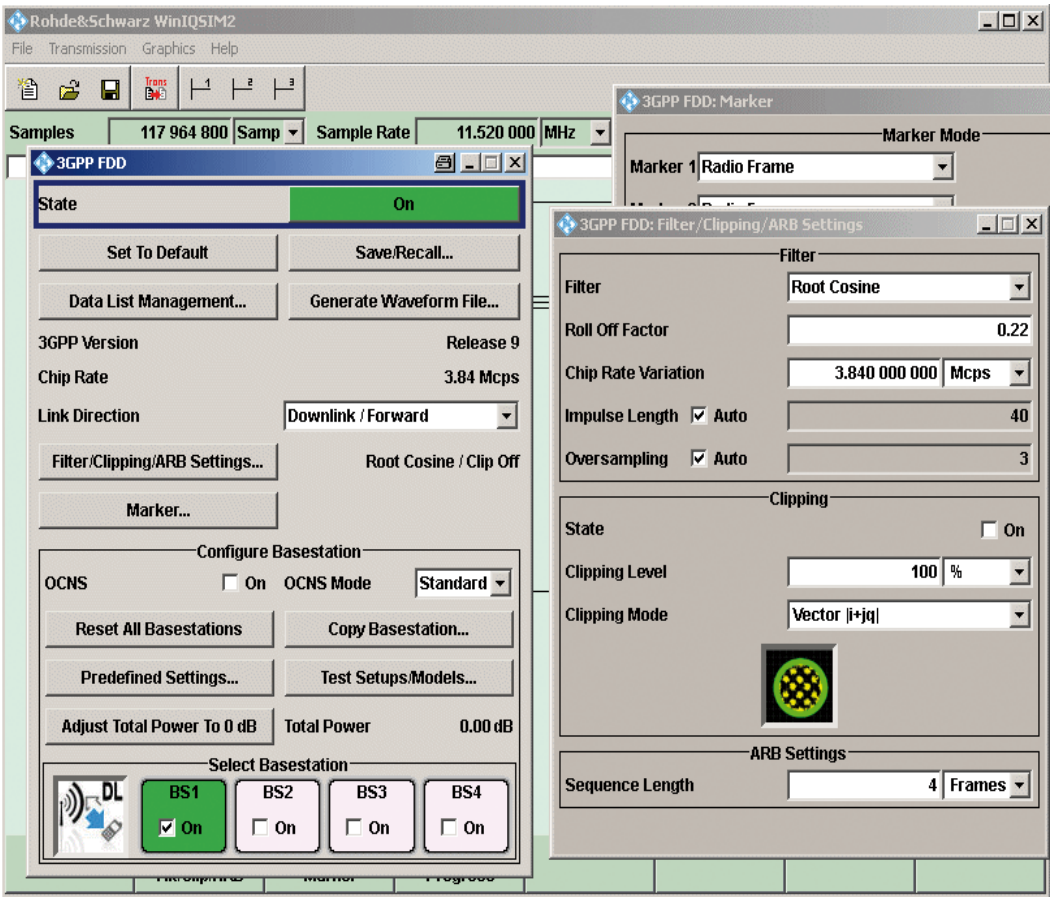

Bild 7: PC-Programm zur Berechnung der IQ-Daten von Standardsignalen