

Das Potenzial von 5G und Multi-Standard-Testumgebungen ausschöpfen

Moderne HF-Signalgenerierung und -Analyse



Die Entwicklung moderner Kommunikationssysteme stellt die HF-Messtechnik vor immer anspruchsvollere Aufgaben. Mit der Einführung von 5G NR sowie der kontinuierlichen Weiterentwicklung etablierter Funkstandards wie WLAN, Bluetooth und verschiedener IoT-Technologien nehmen sowohl die Komplexität der Signalstrukturen als auch die Anforderungen an deren zuverlässige Charakterisierung stetig zu.

Neue Herausforderungen

Immer größere Übertragungsbandbreiten, flexible OFDM-basierte Signalstrukturen und Modulationsverfahren hoher Ordnung verlangen deutlich leistungsfähigere Messverfahren als eine reine Betrachtung des Frequenzspektrums. Neben einer leistungsfähigen HF-Hardware rückt deshalb die Software zunehmend in den Mittelpunkt moderner Testsysteme. Sie ermöglicht nicht nur die flexible Definition komplexer Testsignale, sondern sorgt gleichzeitig für reproduzierbare Messabläufe und eine umfassende Auswertung der erfassten Signaldaten.

Während Signalgeneratoren sowie Signal- und Spektrumanalysatoren die physikalische Grundlage für Erzeugung und Erfassung von HF-Signalen bilden, übernimmt die Software heute einen Großteil der Konfiguration, Automatisierung und Analyse. Dadurch lassen sich selbst komplexe Kommunikationsstandards mit überschaubarem Aufwand testen und identische Messbedingungen über verschiedene Entwicklungsphasen hinweg zuverlässig reproduzieren.

Insbesondere bei der Entwicklung von Leistungsverstärkern, Transceivern, HF-Frontend-Modulen oder kompletten Kommunikationssystemen müssen unterschiedlichste Betriebszustände untersucht werden. Parameter wie Bandbreite, Modulationsart oder Signalstruktur ändern sich dabei häufig während des Entwicklungsprozesses. Eine moderne Messumgebung sollte diese Anpassungen ohne aufwendige Änderungen an der Hardware ermöglichen.

SigIQpro und SigVSA

Mit den Siglent-Software-Lösungen SigIQpro zur flexiblen Erzeugung unterschiedlichster IQ-Waveforms und SigVSA zur leistungsfähigen Vektorsignalanalyse lässt sich der komplette Messablauf innerhalb einer gemeinsamen Umgebung abbilden, von der Konfiguration komplexer Testsignale über deren Ausgabe bis hin zur detaillierten Bewertung der Signalqualität.

Die mit SigIQpro erzeugten komplexen Signale können gespeichert und anschließend von einem kompatiblen Vektorsignalgenerator, bspw. dem Siglent SSG6082A-V, wiedergegeben werden. Nach dem Durchlaufen des Prüflings wird das Signal von einem Spektrumanalysator, bspw. der Siglent SSA5000A-Serie, oder einem Oszilloskop erfasst und anschließend mit SigVSA analysiert. Dabei kann SigVSA entweder als eigenständige PC-Anwendung zur Auswertung zuvor aufgezeichneter IQ-Daten oder als integrierte Option der Oszilloskope der SDS7000A-Serie eingesetzt werden. Dadurch lässt sich derselbe Analyse-Workflow flexibel an unterschiedliche Messaufbauten im Labor anpassen.

Der technologische Wandel in der HF-Messtechnik: Warum dedizierte Software unverzichtbar ist

Moderne Kommunikationssysteme zeichnen sich durch eine außerordentlich hohe Flexibilität ihrer Signalstrukturen aus. Im Mobilfunk kommen heute Modulationsverfahren bis 256-QAM oder sogar 1024-QAM sowie OFDM-basierte Übertragungssysteme mit unterschiedlichen Subcarrier-Abständen zum Einsatz. Gleichzeitig müssen zahlreiche Parameter wie Frame-Strukturen, Ressourcenzuweisungen, Guard-Intervalle und Synchronisationsmechanismen präzise aufeinander abgestimmt werden.

Autorin:
Susanne Amirabadi
Application Engineer
Siglent Technologies Germany GmbH
www.siglenteu.com

Mit steigender Signalvielfalt stoßen klassische Messverfahren zunehmend an ihre Grenzen. Die vollständige Konfiguration sämtlicher Signalparameter direkt am Messgerät wird bei modernen Kommunikationsstandards schnell unübersichtlich und erschwert insbesondere reproduzierbare Vergleichsmessungen.

Software-gestützte Testumgebungen bieten hier einen entscheidenden Vorteil. Komplexe Signaldefinitionen können komfortabel erstellt, gespeichert und jederzeit erneut verwendet werden. Dadurch lassen sich verschiedene Entwicklungsstände eines Prüflings unter identischen Bedingungen vergleichen und Messergebnisse wesentlich besser nachvollziehen.

Ebenso wichtig ist die hohe Flexibilität bei der Anpassung der Testbedingungen. Änderungen an Bandbreite, Modulationsverfahren, Symbolraten oder kompletten Signalstrukturen erfolgen softwareseitig innerhalb weniger Sekunden, ohne dass Änderungen an der Messhardware erforderlich sind. Neue Anforderungen lassen sich dadurch deutlich schneller umsetzen und Entwicklungszyklen effizienter gestalten.

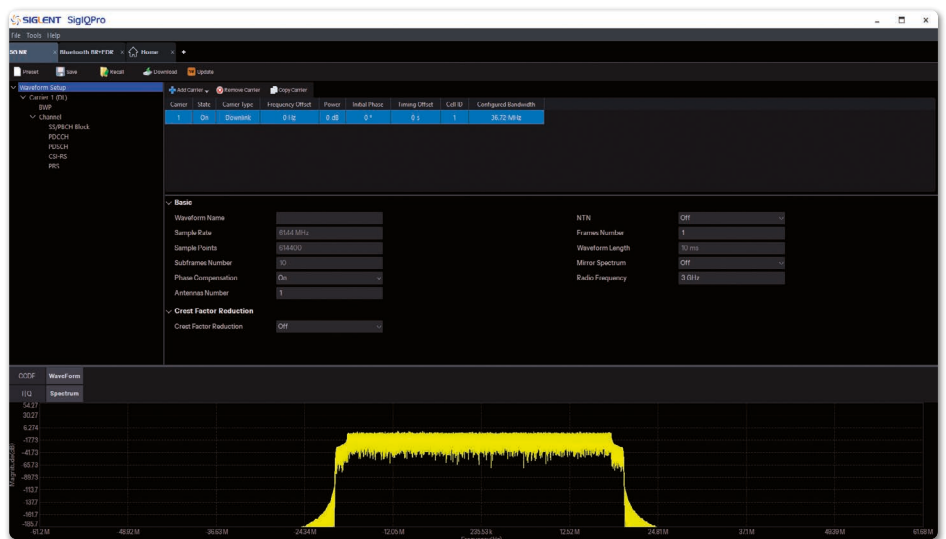
Software übernimmt damit weit mehr als eine reine Bedienfunktion. Sie bildet die zentrale Schnittstelle zwischen Signalerzeugung und Signalanalyse und schafft die Voraussetzung für reproduzierbare, automatisierbare und gleichzeitig hochflexible Messabläufe moderner Kommunikationssysteme.

Charakterisierung von HF-Komponenten und Sendestufen in 5G-Basisstationen

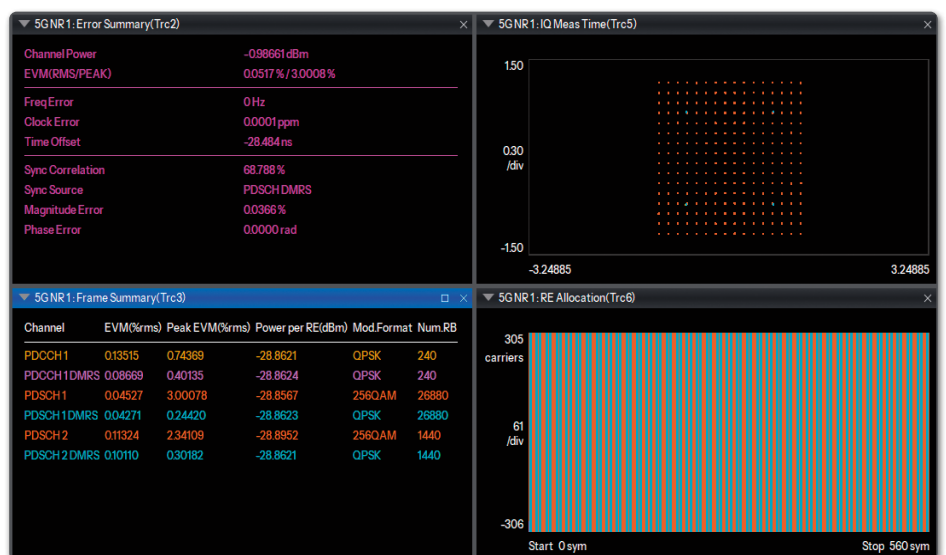
Beim Design und der Verifikation moderner 5G-gNodeB-Basisstationen ist eine präzise Charakterisierung der HF-Senderkette entscheidend. Um die hohen Datenraten aktueller Mobilfunksysteme zu ermöglichen, werden komplexe Modulationsverfahren wie 256-QAM eingesetzt. Gleichzeitig steigt jedoch die Empfindlichkeit gegenüber Signalverzerrungen, die beispielsweise durch Leistungsverstärker, Mischer oder andere Komponenten im HF-Pfad entstehen können.

Für realitätsnahe Tests werden mit SigIQpro standardkonforme 5G-NR-Signale erzeugt. Dabei lassen sich wichtige Signalparameter wie Bandbreite, Subcarrier-Abstand, Modulationsverfahren und Mittenfrequenz flexibel definieren. Das erzeugte Signal kann anschließend einem HF-Prüfling, beispielsweise einem Leistungsverstärker, zugeführt werden, um dessen Verhalten unter praxisnahen Bedingungen zu untersuchen.

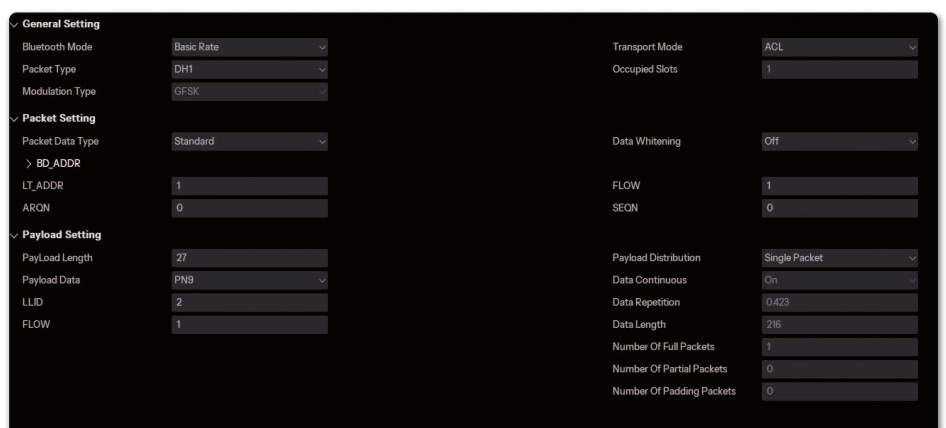
Die Bewertung der Signalqualität erfolgt anschließend mit SigVSA.



Messaufbau zur Charakterisierung einer 5G-NR-Senderkette mit SigIQpro, das das definierte Testsignal erzeugt



Analyse eines 5G-NR-Signals mit SigVSA. Die Darstellung der EVM und des IQ-Konstellationsdiagramms ermöglicht eine detaillierte Bewertung der Modulationsqualität



Definition eines Bluetooth-Basic-Rate-Testsignals in SigIQpro mit konfigurierbarer Paketstruktur, Modulation und Nutzdaten

Eine der wichtigsten Messgrößen ist dabei die Error Vector Magnitude (EVM). Sie beschreibt den Abstand der tatsächlich empfangenen Modulationssymbole von ihren idealen Positionen im Konstellationsdiagramm. Ein niedriger EVM-Wert zeigt eine geringe Verzerrung und somit eine hohe Linearität der gesamten Übertragungskette. Besonders bei hohen Modulationsordnungen wie 256-QAM ist eine präzise EVM-Analyse notwendig, da bereits kleine Fehler die Übertragungsqualität deutlich beeinflussen können.

Neben der EVM-Messung ermöglicht SigVSA eine detaillierte Untersuchung des IQ-Konstellationsdiagramms, der Kanalleistung und der Spektrumsform. Durch die Analyse der einzelnen Signalbestandteile, beispielsweise PDSCH- und PDCCH-Ressourcen, können Fehlerursachen wie Phasenrauschen, IQ-Ungleichgewicht oder Timing-Abweichungen identifiziert werden.

Bluetooth-Transceiver in der Praxis testen: Von der Generierung bis zur Analyse

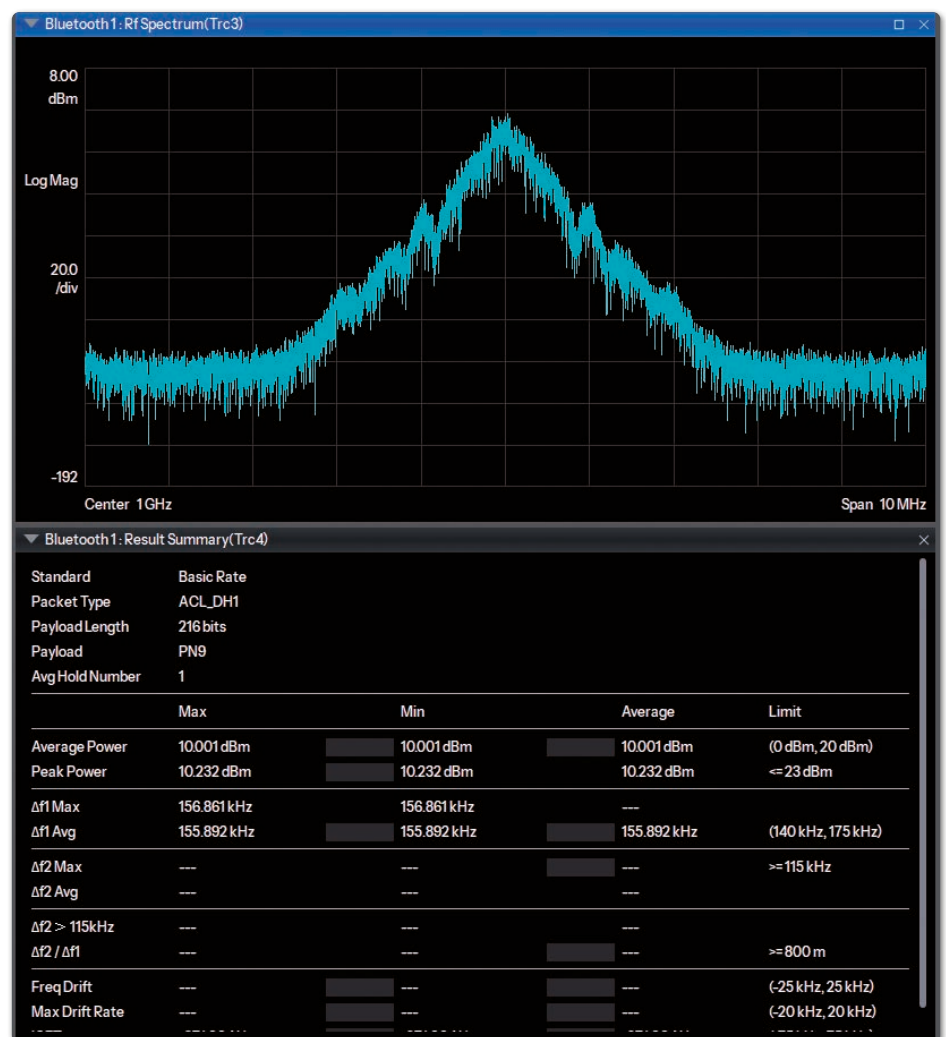
Damit die Funkverbindung von Bluetooth-Kopfhörern oder Smart-Home-Sensoren im Alltag stabil bleibt, müssen Sendesignale und Modulationsgenauigkeit schon in der Entwicklung genau passen. In der Praxis kombiniert man dafür die Generierung standardkonformer Testsignale mit einer gezielten Signalanalyse.

Über SigIQPro lässt sich dafür ein passendes Bluetooth-Signal aufsetzen, beispielsweise im Basic-Rate-Standard mit einem ACL_DH1-Paket und einem PN9-Bitmuster als Payload. Dieses Signal dient als definierte Referenz, um den Prüfling direkt anzusteuern. Auf der Empfängerseite übernimmt SigVSA die Signalerfassung: Das Modul demoduliert das Signal und stellt im Fenster Result Summary die Messergebnisse übersichtlich dar.

Im RF-Spektrum sieht man auf einen Blick die spektrale Leistungsverteilung. Gleichzeitig gleicht die Software entscheidende Parameter – wie die gemessene Ausgangsleistung und den Frequenzhub – direkt mit den zulässigen Bluetooth-Grenzwerten ab. So lässt sich ohne manuellen Nachrechnen feststellen, ob der Prüfling sauber moduliert, um Verbindungsabbrüche und Störungen im 2,4-GHz-Band zu vermeiden.

Multistandard-Flexibilität: Eine gemeinsame Plattform für moderne HF-Labore

Obwohl 5G NR derzeit zu den anspruchsvollsten Funktechnologien zählt, besteht der Alltag in modernen HF-Laboren selten



Analyse eines Bluetooth-BR-Signals mit SigVSA. Die Messung umfasst Spektrumbewertung, Ausgangsleistung und Modulationsparameter sowie den Frequenzhub

ausschließlich aus 5G-Messungen. Entwicklungs- und Validierungsprojekte umfassen häufig mehrere Kommunikationsstandards gleichzeitig. Neben LTE gehören dazu WLAN nach IEEE 802.11, Bluetooth sowie zahlreiche IoT-Technologien. Darüber hinaus gewinnen frei definierbare OFDM und IQ-basierte Signalformen zunehmend an Bedeutung, insbesondere bei der Entwicklung proprietärer Kommunikationsverfahren oder neuer Übertragungskonzepte.

Diese Vielfalt stellt Entwickler vor die Aufgabe, unterschiedlichste Signaltypen effizient zu erzeugen und gleichzeitig mit vergleichbaren Analyseverfahren auszuwerten. Werden für jeden Standard separate Softwarelösungen eingesetzt, steigen Installations-, Schulungs- und Wartungsaufwand erheblich. Unterschiedliche Bedienkonzepte erschweren darüber hinaus die Standardisierung von Messabläufen sowie den Vergleich von Ergebnissen zwischen verschiedenen Projekten.

Eine moderne Multi-Standard-Testumgebung verfolgt deshalb einen anderen Ansatz: Verschiedene Signalformen werden innerhalb einer gemeinsamen Software-Plattform erstellt, analysiert und dokumentiert. Dadurch entsteht ein durchgängiger Workflow. Diese reicht von der Definition des Testsignals über die Datenerfassung bis hin zur detaillierten Auswertung der Messergebnisse.

Die gemeinsame Unterstützung unterschiedlicher Kommunikationsstandards reduziert den Aufwand im Labor erheblich. Einheitliche Arbeitsabläufe erleichtern die Wiederverwendung bestehender Messsequenzen, verbessern die Vergleichbarkeit von Ergebnissen und ermöglichen eine effizientere Nutzung vorhandener Messressourcen.

Damit bilden SigIQpro und SigVSA eine flexible Software-Plattform für moderne HF-Labore, in denen verschiedenste Kommunikationssysteme innerhalb eines konsistenten Messkonzepts entwickelt, validiert und analysiert werden können. ◀