

## Universeller Problemlöser für zahllose HF-Messaufgaben

Der frequenzselektive Leistungsmesser R&S NRQ6 vereint die Genauigkeit eines Leistungsmessers mit der Empfindlichkeit eines Messempfängers. Durch aktuelle Erweiterungen wird er zum Universalwerkzeug für die anspruchsvollen 5G-Messungen. Dieser Beitrag geht näher auf die Messmöglichkeiten ein.



**Mit dem frequenzselektiven Leistungsmesser R&S NRQ6 gelingen Phasenmessungen an bis zu 64 HF-Ports mit hoher Präzision bei vergleichsweise moderatem Aufwand. „Vererbte“ Merkmale: Spektrumanalysator/HF-Leistungssensor/Netzwerkanalysator/Komponententester**

### Phasenmessung mit der Option Phase Coherent Measurements (K3)

Mit 5G NR steigen die Ansprüche an Messgeräte rasant. Während im Frequenzband FR2 (24...43,5 GHz) die Mikrowellentechnologie und der Übergang von der leitungsgebundenen

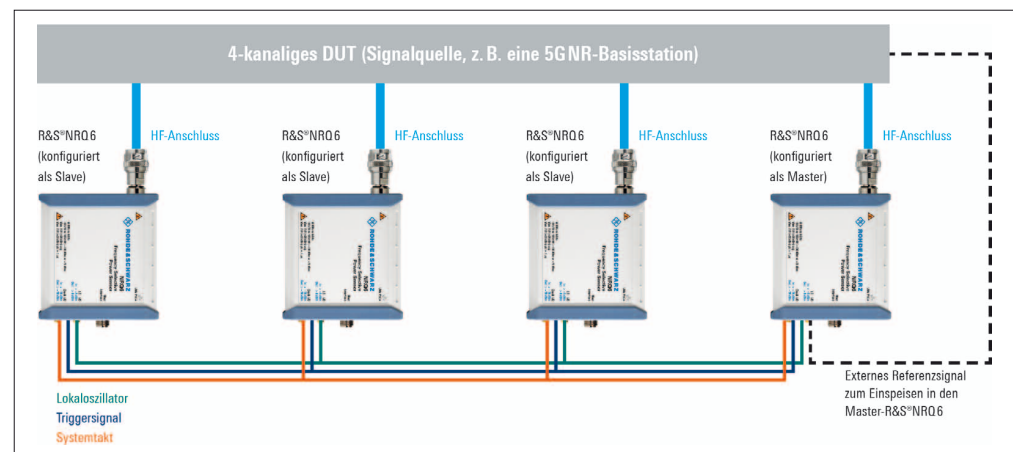
zur OTA-Messtechnik die größten Herausforderungen sind, erfordert das Frequenzband FR1 (450 MHz bis 6 GHz) neue Ansätze bei der Phasenmessung.

Ursache dafür ist der Einsatz von Beamforming, mit dem jeder Teilnehmer das für ihn bestimmte Funksignal maximal stark empfängt und gleichzeitig

Signale für andere Teilnehmer in seiner Richtung gedämpft werden. Was sich positiv auf Datenrate und Abdeckung auswirkt, erfordert allerdings bei den Basisstationen aufwendige Phased-Array-Antennen mit typischerweise 64 Einzelelementen. Dieser Umstand zwingt die Hersteller, bereits während der Entwicklung und in der Produktion, die modulierten HF-Signale an bis zu 64 Ports bezüglich Pegel und Phasenlage zu messen und zu bewerten.

Dieser anspruchsvollen Aufgabe sind weder heutige Spektrumanalysatoren gewachsen (weil sie über keine kohärenten Empfangszüge verfügen) noch Netzwerkanalysatoren (weil sie keine komplex modulierten HF-Signale messen können). Die einzige bisher verfügbare Lösung bestand im Einsatz von High-End-Oszilloskopen, die allerdings außer dem hohen Preis noch den Nachteil der vergleichsweise geringen Eingangsempfindlichkeit aufweisen.

Genau in diese Nische springt der frequenzselektive Leistungsmesser R&S NRQ6 mit der Option Phase Coherent Measurements R&S NRQ6-K3: Durch sein streng kohärentes Design und sein kompaktes Gehäuse gelingen Phasenmessungen an bis zu 64 HF-Ports mit hoher Präzision bei vergleichsweise moderatem Aufwand.



**Bild 1: Vierkanalige phasenkohärente Messung mit vier Leistungsmessern R&S NRQ6**

Autoren  
Thomas Braunstorfer  
Wilhelm Kurz  
Habib Sellami

Rohde & Schwarz  
www.rohde-schwarz.de

Messsignal	Bandbreite 100 MHz, Trägerfrequenz 3,5 GHz				
Signalgesamtleistung	-40 dBm	-50 dBm	-60 dBm	-70 dBm	-80 dBm
Gemessene Standardabweichung $\sigma$ von 1000 aufeinander-folgenden Phasenergebnissen	0,04°	0,06°	0,1°	0,18°	0,40°

Bild 2: Standardabweichung der gemessenen Phasendifferenz zwischen zwei R&S NRQ6 bei 23 °C

**So wird gemessen**

Bild 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau mit vier Messkanälen. Ein R&S NRQ6 fungiert als Master, die anderen sind als Slaves konfiguriert. Um die HF-Phasen messen zu können, müssen alle Messkanäle konsequent kohärent ausgelegt sein. Voraussetzung dafür ist die Verkopplung der jeweiligen Basisbandsektionen über gemeinsame Systemtakt- und Triggersignale sowie der HF-Sektionen über ein gemeinsames Lokaloszillatorsignal.

Nach dem Start der eigenen Messung schickt der Master ein Triggersignal an alle Slaves, die dann gleichzeitig zu messen beginnen. Die zeitliche Verzögerung zur Mastermessung sowie alle weiteren von der Verkabelung verursachten Einflüsse lassen sich

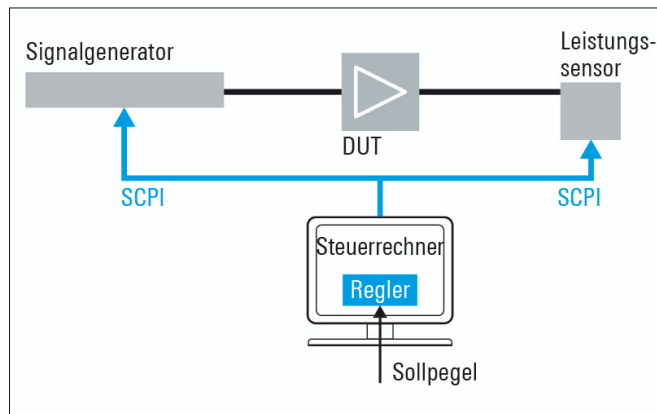


Bild 3: „Klassischer“ Aufbau zur Pegelregelung mit einem Signalgenerator und einem Leistungsmesser

mittels einer vorausgehenden Kalibrierung kompensieren. Diese Gruppenlaufzeit- und Phasenkalibrierung muss nur nach stärkeren Temperaturschwankungen wiederholt werden und

nicht etwa nach jeder Messung oder jedem Sensor-Neustart.

Alternativ zu diesem Setup kann auch ein zusätzlicher R&S NRQ6 als Master eingesetzt werden, der zwar selbst keine Messungen durchführt, die Signale

aber symmetrisch an alle Slaves verteilt. Das macht die Kalibrierung komplett überflüssig und vereinfacht die Anwendung.

**Genauigkeit und Möglichkeiten**

Bild 2 zeigt die Phasengenauigkeit des R&S NRQ6. Die gezeigten Standardabweichungen der Phasenergebnisse beziehen sich auf die bei 5G FR1 maximale Trägerbandbreite von 100 MHz und die besonders häufig verwendete Trägerfrequenz von 3,5 GHz. Das Setup gemäß Bild 1 lässt sich mit geeigneten Splitttern leicht auf bis zu acht R&S NRQ6 bzw. Messkanäle erweitern. Noch mehr Kanäle stehen zur Verfügung, wenn man die Trigger-, Systemtakt- und Lokaloszillatorsignale aktiv verstärkt oder eine HF-Schaltmatrix einsetzt, die dann z.B. 64 Signale sequenziell auf acht R&S NRQ6 verteilt.

Selbstverständlich können die Leistungsmesser neben der Phasenermessung auch zur Bestimmung der Leistung oder Modulationsqualität (EVM) eingesetzt werden. Da die Phasenermessung auf Analyse der I/Q-Samples basiert, sind Leistungs-, EVM- und Phasenermessung sogar mit demselben Satz von Abtastwerten möglich.

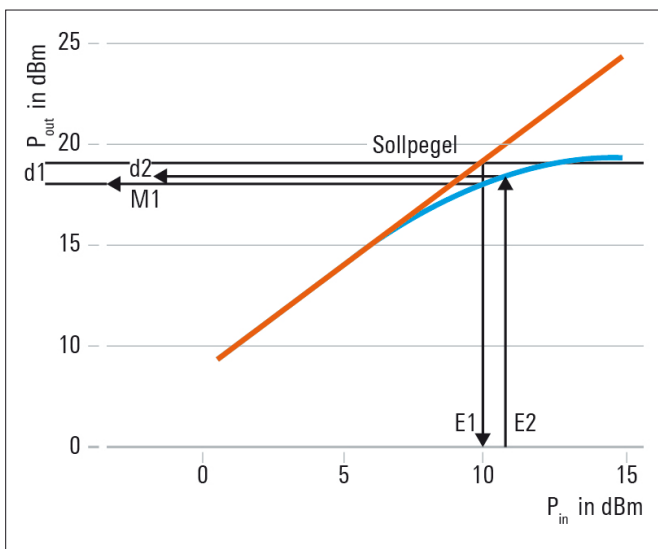


Bild 4: Aus dem Sollpegel wird unter Annahme einer idealen Kennlinie (orange) der erste Einstellwert E1 bestimmt. Messung M1 liefert eine Abweichung d1 vom Sollwert, die dazu verwendet wird, einen verbesserten Einstellwert E2 zu bestimmen usf

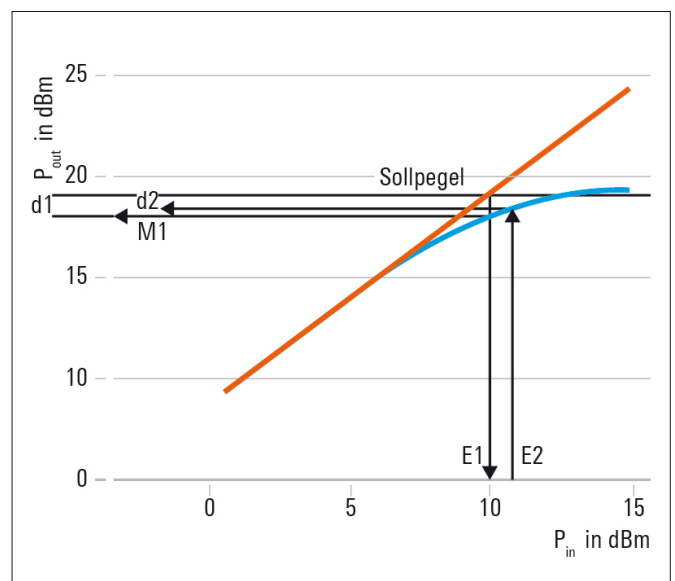


Bild 5: Power Servoing mit R&S SGT100A und der Option R&S NRQ6-K2

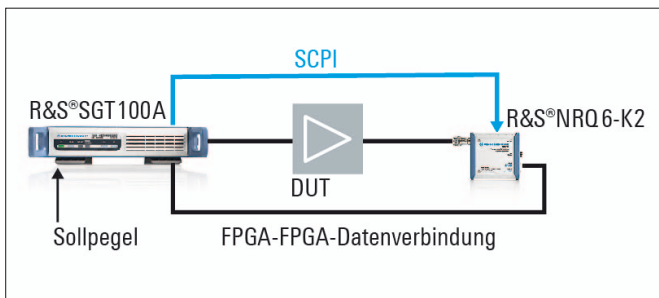


Bild 6: Power Servoing und Messung mit dem R&S NRQ6

### Ultraschnelle Charakterisierung von HF-Verstärkern (Option K2)

Beim Charakterisieren von HF-Verstärkern besteht das Problem, dass Kenngrößen wie die ACLR bei einer bestimmten Ausgangsleistung ermittelt werden müssen, die Ausgangsleistung selbst aber vom individuellen Kompressionsverhalten des DUTs abhängt.

Die Verstärkung des Messobjekts ist dabei im Allgemeinen nicht genau bekannt und dazu abhängig von Eingangspegel und Temperatur. Die Aufgabe des sogenannten Power Servoings besteht darin, vor Beginn der eigentlichen Messungen den Ausgangspegel des Messobjekts

auf den gewünschten Wert einzustellen.

Erreicht werden kann dies mithilfe eines Steuerrechners, auf dem ein Regelalgorithmus läuft, sowie je einem per SCPI fernsteuerbaren Signalgenerator und Leistungsmesser (Bild 3). Der Regler ruft in einer Schleife den aktuellen Messwert vom Sensor ab, berechnet einen neuen Generatorpegel und stellt diesen ein. Der Vorgang wird solange wiederholt, bis der Sollpegel am Sensor anliegt (Bild 4).

Nachteilig an diesem Aufbau ist, dass für jeden Schleifendurchgang zwei SCPI-Kommandos gesendet bzw. empfangen werden müssen. Abhängig von anfänglicher Schätzung, Linearität der Kennlinie und erlaubter Abweichung kann es bis zu

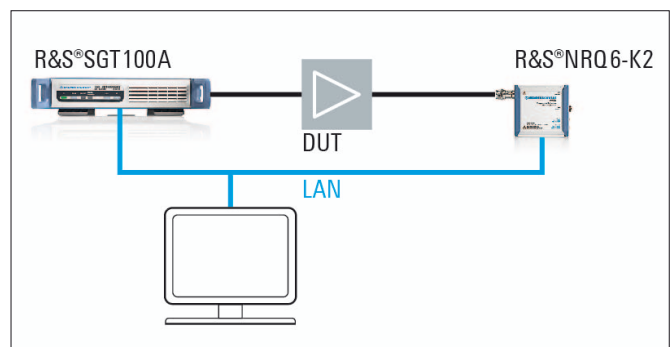


Bild 7: Messung mit einem Spektrumanalysator

20 ms dauern, bis der Sollwert erreicht wird. Für Anwendungen bei denen jede Millisekunde zählt, etwa in der Produktion, kann dies zu lang sein.

### Schnelle Regelung mit R&S SGT100A und R&S NRQ6-K2

Mit einem Signalgenerator R&S SGT100A und einem Leistungsmesser R&S NRQ6 mit Option K2 sind deutlich kürzere Einstellzeiten zu erreichen (Bild 5). Dies gelingt durch die sehr kurze Pegeleinstellzeit des Signalgenerators R&S SGT100A (max. 250 µs).

Die Messdatenübertragung vom Sensor zum Signalgenerator läuft über eine direkte FPGA-

zu-FPGA-Datenverbindung. Es besteht eine Verlagerung des Regelalgorithmus' in den Signalgenerator. Es liegt eine optimierte Pegeleinstellung (ALC) für die Korrektur kleiner Abweichungen vor. High-Speed Remote Control erfolgt via PCIe oder Fast Socket.

Damit kann der Pegel am Ausgang des DUT in typ. 1...1,5 ms auf den Sollwert eingestellt werden – vergleichbar mit der Einstellzeit vieler Signalgeneratoren ohne Regelung.

Um langsame Änderungen der Verstärkung des DUT, etwa durch thermische Effekte (droop), zu kompensieren, verfügt der Regler über eine zuschaltbare Tracking-Funktion,

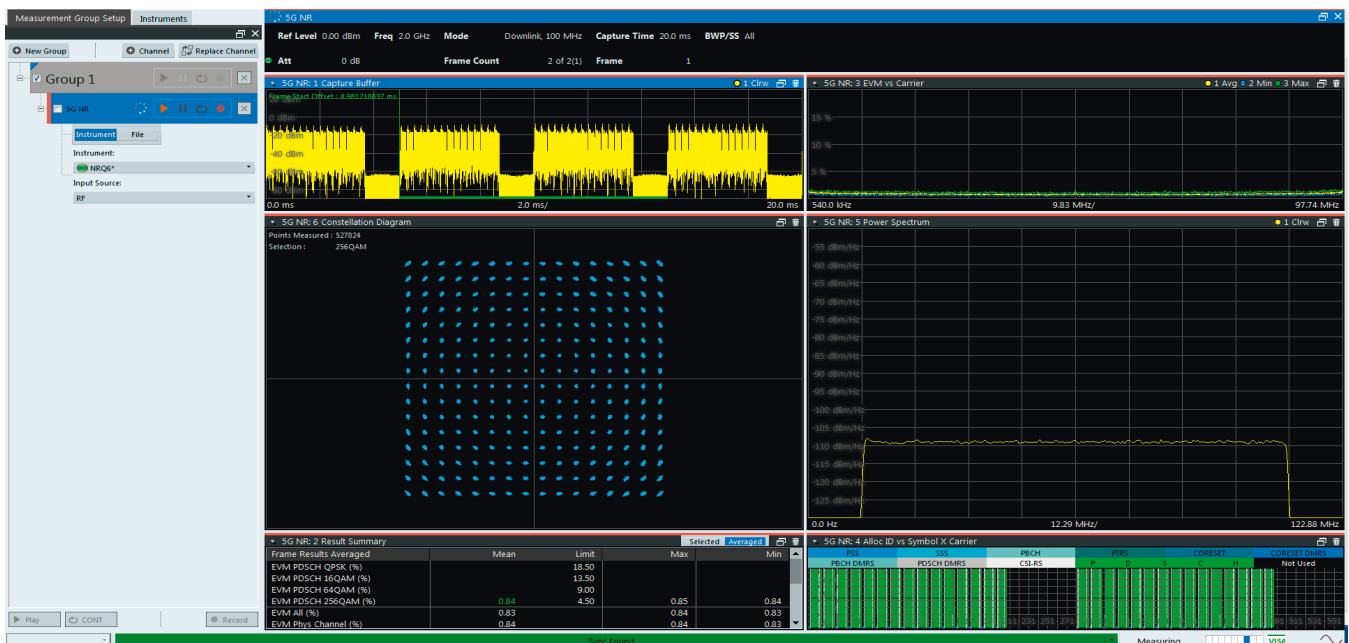


Bild 8: Die Software Vector Signal Explorer R&S VSE kann die Messdaten eines R&S NRQ6 tiefgehend analysieren, hier gezeigt an einem 5G-NR-Signal



Bild 9: 5G-NR-MIMO-Analyse mit der Software R&S VSE auf Basis der Messwerte zweier R&S NRQ6

die den Ausgangspegel auch nach der ersten Einstellung fortlaufend überwacht.

- Messungen mit dem R&S NRQ6

Nach dem Einstellen des Sollpegels kann der Sensor auch die Messaufgaben erledigen (Bild 6).

- Messungen mit einem Spektrumanalysator

Für besonders anspruchsvolle Messaufgaben kann über einen Leistungsteiler auch ein Spektrumanalysator angeschlossen werden (Bild 7). Gegenüber den bisher aufgezeigten Lösungen hat dieses Setup nicht nur den Vorteil, dass das lästige Power Servoing deutlich schneller abläuft, es macht es oft sogar bezüglich der Messzeit komplett unsichtbar, weil es verschachtelt mit der eigentlichen Messung ablaufen kann – ein gewichtiger Vorteil für alle Hersteller von HF-Verstärkern.

- Messung der Modulationsqualität von 5G-Signalen mit der Software Vector Signal Explorer R&S VSE

Schon bei der Markteinführung konnten vom R&S NRQ6 aufgezeichnete I/Q-Samples in die Software Vector Signal Explorer R&S VSE importiert und dort analysiert werden. Dafür ist die Option R&S NRQ6-K1 (I/Q Data Interface) erforderlich. In der Version 1.70 unterstützt die Software den R&S NRQ6 nun auch direkt, damit stehen alle Analysefeatures jetzt auch unmittelbar zur Verfügung.

Bild 8 zeigt die R&S VSE beim Messen eines 5G-NR-Signals mit dem R&S NRQ6 (Trägerfrequenz 2 GHz, Leistungspegel -30 dBm, Bandbreite 100 MHz, 256QAM). Für diese Messung sind die Optionen R&S NRQ6-K1 und R&S VSE-K144 erforder-

lich. Der ermittelte EVM-Wert liegt hier bei sehr guten 0,84 %.

### Das perfekte Team zum Phasenmessen

Besonders leistungsstark wird die Kombination aus mehreren R&S NRQ6 mit dem Vector Signal Explorer, wenn die Phasenlage zweier 5G-NR-Signale bestimmt werden muss. Für Beamforming-Messungen an 5G-NR-Signalen ist außer der Option R&S VSE-K144 (3GPP 5G NR DL/UL Measurements) die Option R&S VSE-K146 (5G MIMO) erforderlich.

Damit das Setup nicht bezüglich der Phasenlage kalibriert werden muss, wird zusätzlich zu den zwei messenden R&S NRQ6 ein dritter als Master eingesetzt. Alle Leistungsmesser müssen in der Software R&S VSE in einer Gruppe definiert werden, im Bereich „Info & Settings“ auch bezüglich des Synchronisierungsmodus (Master oder Slave).

Bild 9 zeigt die Messergebnisse. Die Phasenwerte können in der R&SVSE in den drei Anzeigefeldern „Beamforming Summary“, „RS Phase“ und „RS Phase Difference“ abgelesen werden.

### Fazit

Mit den neuesten Optionen R&S NRQ6-K3 (Phase Coherent Measurements) und R&S NRQ6-K2 (Power Servoing with SGT) wird der selektive Leistungsmesser R&S NRQ6 zu einem Universalwerkzeug zum Meistern zahlreicher Messaufgaben im Bereich der HF-Messtechnik. Einzigartig machen ihn darüber hinaus seine gute Skalierbarkeit für Mehrkanalmessungen und seine geringe Größe. ◀