Messdatenbasierte Entwicklung von Doherty-Verstärkern

Doherty-Verstärker, insbesondere solche mit zwei unabhängig angesteuerten Eingängen, versprechen eine signifikant bessere Energieeffizienz etwa in 5G-Basisstationssendern. Mit einer neuen Softwareoption zum Vektor-Signalgenerator R&S SMW200A schöpfen Entwickler das volle Potenzial ihres Verstärker-Designs aus.

Leistungsverstärker in Basisstationen verursachen 30 % bis 60 % der Kosten und 20 % bis 60 % des Energieverbrauchs der Senderinfrastruktur. Deshalb ist ihre Optimierung ein großes Anliegen der Betreiber und infolgedessen ein Schwerpunkt bei den Herstellern der eingesetzten HF-Leistungshalbleiter und Infrastrukturkomponenten (Basisstationen, Richtfunksender).

Herangehensweisen

Die wirksamsten Methoden zur Senkung der Verlustleistung von Verstärkern sind seit langem bekannt, können aber erst seit einigen Jahren praktisch genutzt werden. Denn man bezahlt den energieeffizienten Betrieb mit Nichtlinearitäten, die durch vor- oder nachgelagerte Maßnahmen kompensiert werden müssen – nichttriviale Maßnahmen wie digitale Vorverzerrung, die modernste schaltungstechnische Mittel voraussetzen.

Auf der Infrastrukturseite haben sich Doherty-Leistungsverstärker-Designs am Markt etabliert; auf der Geräteseite dominiert das Envelope Tracking. Bei Letzterem passt man die Versorgungsspannung der Leistungstransistoren dynamisch an die Hüllkurve des Signals an. Beim Doherty-Verfahren wird das Eingangssignal auf zwei parallele Verstärkerpfade aufgeteilt. Der Hauptverstärker übernimmt die Grundlast und wird permanent in energieeffizienter Vollaussteuerung betrieben. Übersteigt das Eingangssignal einen gewissen Pegel, schaltet sich der zweite Verstärker zu, der somit nur die Lastspitzen übernimmt. Gerade bei Digitalsignalen mit ihrem hohen Crest-Faktor ist diese Arbeitsteilung besonders vielversprechend. Um das theoretisch überzeugende Konzept praxistauglich zu machen, waren langjährige F&E-Anstrengungen erforderlich. Weitere wird es brauchen, um es auf hohe Mikrowellenfrequenzen und breitbandige Anwendungen wie 5G oder Satcom zu übertragen.

Nichts ist perfekt

Allerdings muss jede Implementierung des Verfahrens eine Annäherung an das theoretische Maximum bleiben, das in der Praxis nicht erreicht werden kann. Doch selbst bei einer nicht ausgereizten Umsetzung ist die Performance eines Doherty-Verstärkers meist besser als die eines Verstärkers der AB-Klasse. Bei höheren Betriebsfrequenzen, Bandbreiten und Ausgangsleistungen ist die Technik jedoch weniger tolerant gegenüber suboptimalen Designs und damit weniger effizient. Um ihr Potenzial möglichst gut auszuschöpfen, sind methodische, reproduzierbare Design-Prozesse vonnöten. Der Vektorsignalgenerator R&S SMW200A im Verbund mit dem Signal- und Spektrumanalysator R&S FSW kann dabei sehr effektiv unterstützen.

Der Doherty-Designer muss seine Aufmerksamkeit sowohl der Eingangs- wie der Ausgangsseite des Gesamtkonzepts widmen. Auf der Eingangsseite bis hin zu den Ausgängen der Leistungsverstärker entscheidet sich die Über-alles-Effizienz des Designs. Hier wird die „Energiekosten-Schlacht“ gewonnen oder verloren. Die Ausgangsseite mit dem Combiner legt den Rahmen fest, der maximal ausgeschöpft werden kann.

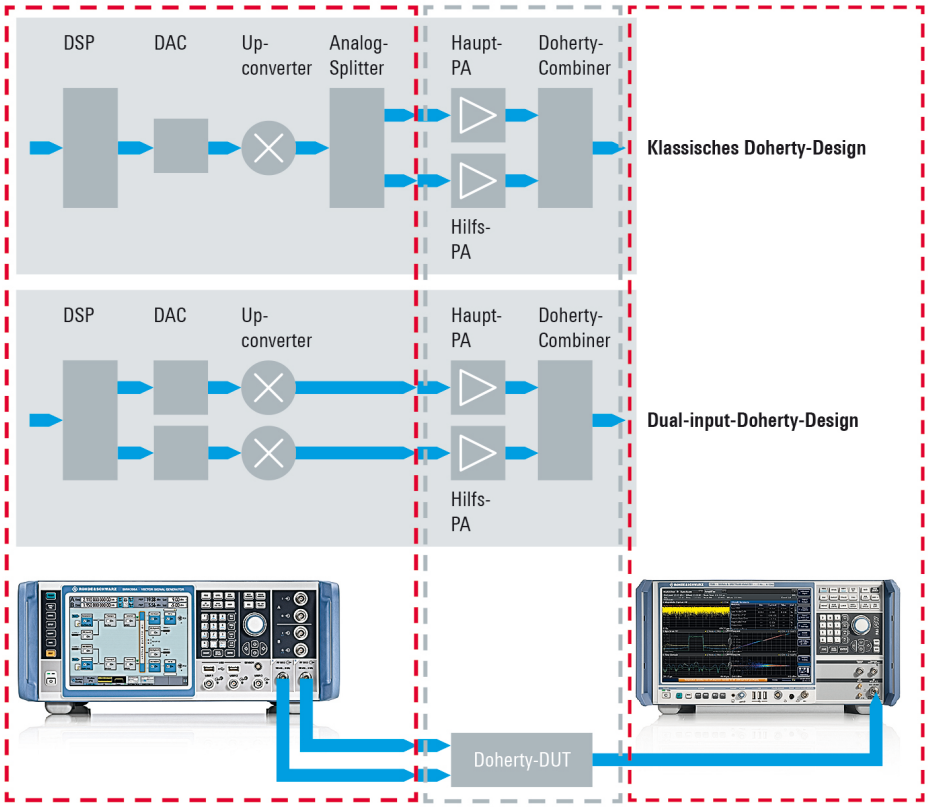
Implementierungsansätze

Grundsätzlich muss das zu verstärkende Signal aufgeteilt

Autoren:
Gareth Lloyd
Dr. Patrick Agyapong

Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG
www.rohde-schwarz.com

Messplattform für alle Doherty-Verfahren



Zweiwege-R&S®SMW200A
- 2 × Option AM/AM, AM/φM Predistortion R&S®SMW-K541
- 1 × Option Digital Doherty R&S®SMW-K546

R&S®FSW
- 1 × Verstärkermessungen R&S®FSW-K18

Bild 1 (links): Der Vektorsignalgenerator R&S SMW200A erzeugt die Pfadsignale aller möglichen Doherty-Verstärkerlayouts und liefert zusammen mit dem Analysator R&S FSW alle Daten, die zur Designoptimierung benötigt werden.

Parameterräume eines Doherty-Verstärkers

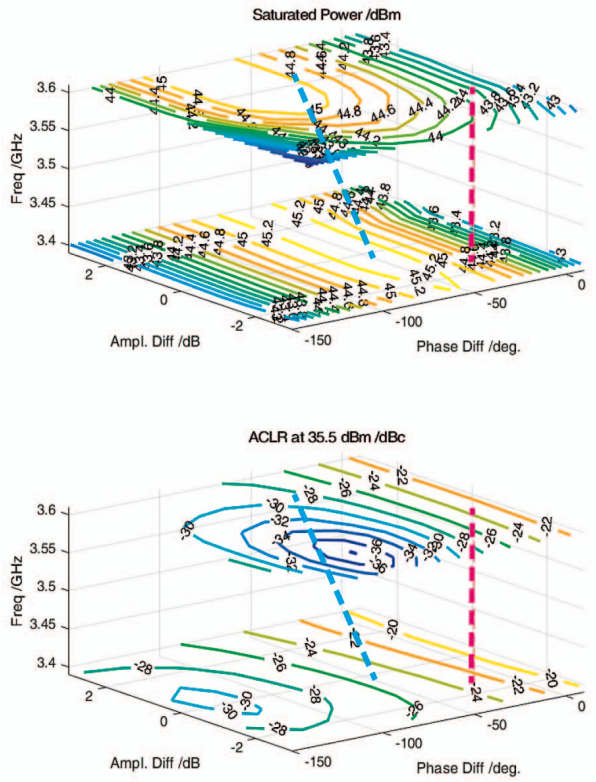


Bild 2 (unten): Der komplette Parameterraum mit den Dimensionen Frequenz, Pegel- und Phasendifferenz der Pfade eines Doherty-Verstärkers lässt sich mit der vorgestellten Messlösung innerhalb von Minuten mit Messdaten füllen. Die gestrichelte rote Linie zeigt einen möglichen suboptimalen Arbeitspunkt, wie er bei klassischem Vorgehen aufgrund fehlender Information gewählt werden mag, während die Messung beispielsweise Betriebsparameter gemäß der blauen gestrichelten Linie nahelegt (Visualisierung mit Matlab)

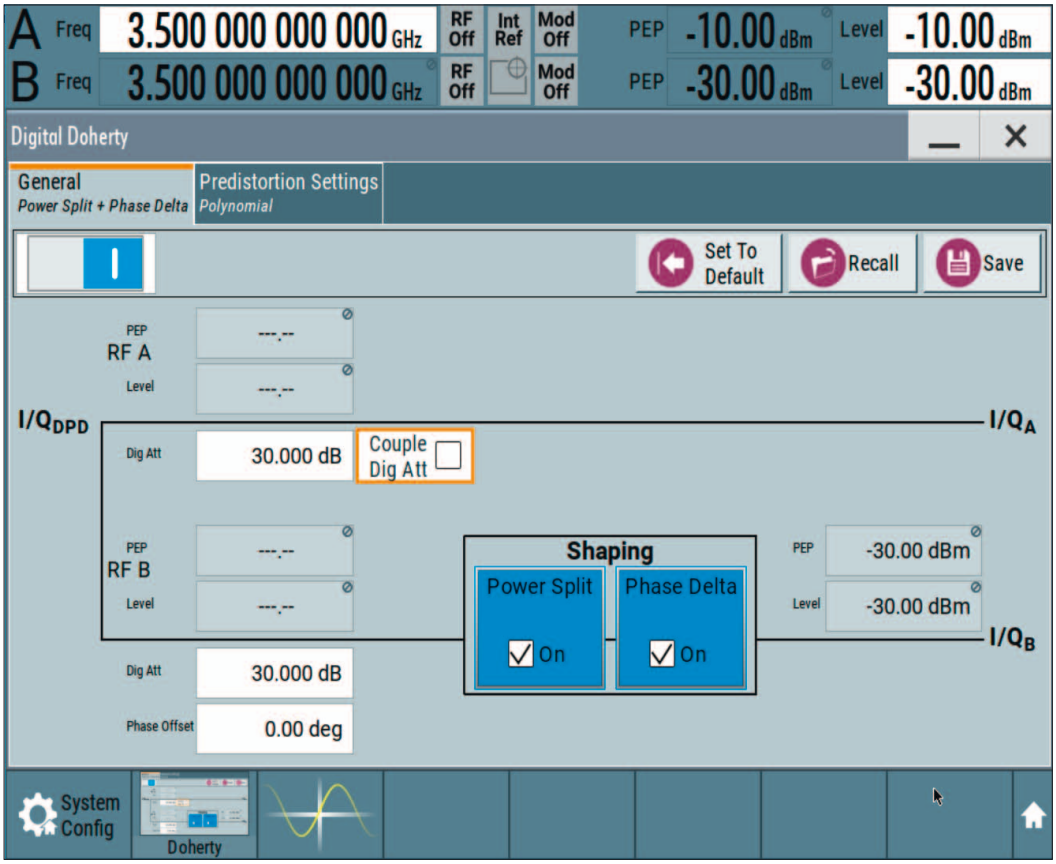


Bild 3: Die Softwareoption Digital Doherty R&S SMW-K546 stellt eine einfach zu bedienende Schnittstelle bereit, um das Leistungspotenzial der Doherty-Verstärkerdesigns voll auszuschöpfen. Relative Phasenversätze, Pegelabweichungen, Formfunktionen und digitale Vorverzerrungen können konfiguriert und in Echtzeit auf die Eingangssignale angewendet werden

werden, um die beiden Verstärkerzweige anzusteuern. In der Umsetzung dieses Splits unterscheiden sich die Implementierungsansätze. Klassische Implementierungen trennen das Signal analog, Dual-Input-Lösungen digital (Bild 1). Studien, die in der Peer-Review-Literatur veröffentlicht wurden, deuten darauf hin, dass mit dem Dual-Input-Split-Verfahren bis zu 60 % mehr HF-Ausgangsleistung und 20 % mehr Energieeffizienz über eine 50 % größere Bandbreite realisierbar sind als mit einem klassischen Doherty-Aufbau. Die Herausforderungen bleiben die gleichen, unabhängig davon, ob man einen Verstärker für 5G- und Satcom-Sender oder für andere Anwendungen entwickelt, die hohe Leistung und Reproduzierbarkeit erfordern. Der Designer will erreichen, dass sein Verstärker unter den vorgesehenen Betriebsbedingungen maximale Leistung liefert, und das so energieeffizient wie möglich.

Leider verhalten sich diese Größen konträr zueinander und die eine muss mit Nachteilen bei der anderen erkauft werden. Es gilt, einen Betriebspunkt und ein Parameter-Set zu finden, bei dem diese „Kosten“ minimal sind. Dazu müssen die Empfindlichkeiten eines Designs gegenüber Frequenz-, Phasen- und Pegelvariationen in den Verstärkerzweigen bekannt sein. Der übliche Entwicklungsprozess, der stark von Referenzdesigns und der manuellen Feinabstimmung von Prototypen abhängt, erschwert die Erforschung über wenige lokale Leistungs- und Effizienz-Optima im mehrdimensionalen Parameterraum hinaus.

Da der Designer ohne messtechnische Unterstützung keinen Einblick in diese Abhängigkeiten hat, spezifiziert er die Daten und Betriebsparameter typischerweise konservativ, um Bauteil- und Fertigungsschwankungen großzügig abzufangen. Das Ergebnis ist in der Regel suboptimal, weil das Potenzial des Designs nicht vollständig erforscht und dokumentiert wurde.

Doherty-Verstärker-Entwicklung mit R&S SMW200A und R&S FSW

Erst durch die Stimulation der beiden Verstärkereingänge mit vielfach variierten Signalen ist es möglich, die gegenseitigen Abhängigkeiten einzelner Design- und Parameterentscheidungen zu erkennen und zu beurteilen (Bild 2). Doherty-Verstärker mit getrennt versorgten Eingängen profitieren besonders von diesem Ansatz. Doch auch bei klassischen Designs, also solche mit festem, programmierbarem oder dispersivem HF-Eingangsteiler, lassen sich Vorteile aus den Messergebnissen ziehen.

Voraussetzung für diesen iterativen, erkenntnisgesteuerten Entwicklungsprozess ist eine Vektorsignalquelle, die zwei präzise unabhängige Signale erzeugen kann. So wie der Zweikanal-Vektorsignalgenerator R&S SMW200A, dessen Signale sich in Frequenz, Phase und Leistung relativ und absolut fein und reproduzierbar einstellen lassen. Die hohe Signalqualität bleibt ohne zwischenzeitliche Kalibrierung über einen langen Zeitraum stabil, da beide Pfade den gleichen internen Takt verwenden. Der R&S SMW200A kann zwei HF-Signale höchster Qualität bis 20 GHz mit einer Bandbreite bis zu 2 GHz und einer HF-Ausgangsleistung bis 18 dBm erzeugen. Für Frequenzen bis 40 GHz ist lediglich eine kompakte HF-Erweiterungseinheit R&S SGS100A oder R&S SGU100A anzuschließen.

Mit der Softwareoption Digital Doherty R&S SMW-K546 lässt sich das Leistungspotenzial aller Doherty-Verstärkerdesigns einfach ermitteln (Bild 3). Shaping-Funktionen, Pegel- und Phasenanpassungen sowie digitale Vorverzerrungen werden über die GUI in Sekunden konfiguriert und sofort angewendet. Eine zeitaufwendige Neuberechnung der Wellenform nach jeder Einstellungsänderung ist aufgrund der Echtzeitfunktionalität nicht erforderlich. Somit gewinnt der Designer in kürzester Zeit einen Überblick über die Auswirkungen verschiedener Parameter auf die Performance und findet schnell die besten Einstellungen für die Eingangsteilung und die Shaping-Funktionen. Die Visualisierung erfolgt auf dem Signal- und Spektrumanalysator R&S FSW, der dazu mit der Softwareoption Verstärkermessungen R&S FSW-K18 ausgestattet sein muss. Die Option erfasst nicht nur skalare Größen wie Spectrum Regrowth und EVM, sondern auch Vektoren wie die AM-AM- und die AM-PM-Konversion. ◄