

Bessere Breitband-HF-Leistungsverstärker entwickeln

Entwickler von HF-Leistungsverstärkern nutzen seit langem die Doherty-Architektur, um den Wirkungsgrad ihrer Designs zu erhöhen. Ihre Wirksamkeit und Einfachheit hat sie zur am häufigsten verwendeten Architektur für Hochleistungs-Mobilfunkstationen gemacht, obwohl die Bandbreite eingeschränkt sein kann.

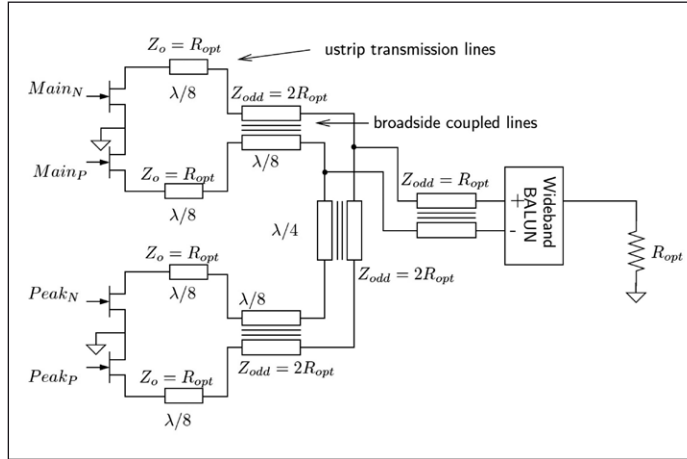


Bild 1: Schaltplan des Odd-Mode Doherty-Kopplers (Bilder: Ampleon)

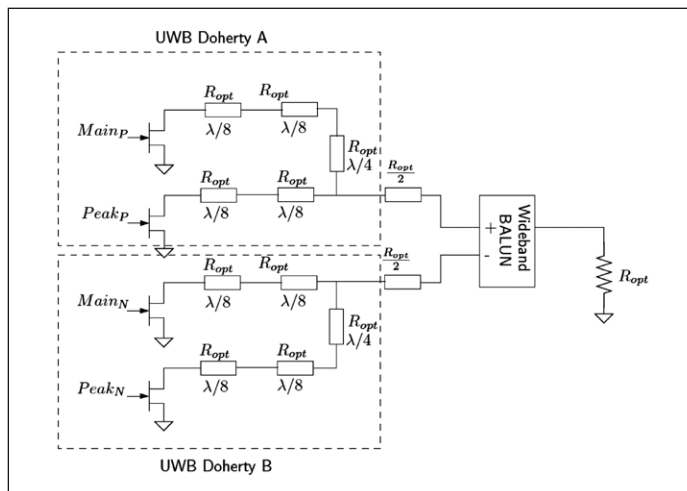


Bild 2: Äquivalenter Schaltkreis des Odd-Mode Doherty-Verstärkers

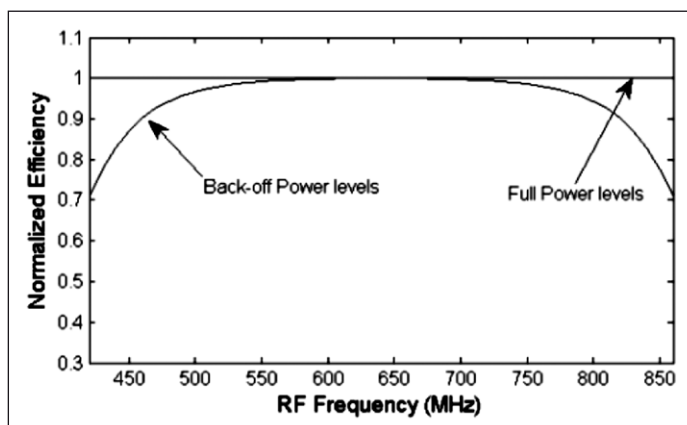


Bild 3: Normalisierter Wirkungsgrad des Odd-Mode Doherty-Kopplers

Jüngste Forschungen haben ergeben, dass eine einfache Modifikation eines grundlegenden Doherty-Leistungsverstärkers (DPA) diese Einschränkungen beseitigt. Der Verstärker eignet sich dann wesentlich besser für Anwendungen wie z.B. als Rundfunk-TV-Sender.

Die modifizierte Doherty-Architektur

bietet eine hervorragende Effizienz und Bandbreite, aber die Integration in zirkulatorlose Sender mit einem Reflexionsfilter für Harmonische ist schwierig, da ein Single-Ended-Aufbau vorliegt und keine Sperrkreise für zweite Harmonische vorhanden sind. Die modifizierte Architektur erfordert zudem einen Doherty-Leistungskoppler, der mit der Basis-Impedanz der PAs betrieben wird. Dies ist bei den erforderlichen hohen Leistungen schwierig umzusetzen, da die Übertragungsleitungen sehr groß ausfallen würden.

Die meisten Hochleistungs-Breitbandverstärker der Klasse AB basieren daher auf einer Push-Pull-Topologie. Für Breitband-DPAs ist diese aber schwer umzusetzen, da ein Breitband-Balun (Symmetrisch-auf-Unsymmetrisch-Wandler) mit einer elektrischen Länge von 20 bis 30° bei Impedanzen von 2 Ω erforderlich ist. Eine Möglichkeit, dies zu erreichen, ist die Kombination einer Viertelwellen-Übertragungsleitung mit dem Balun. Obwohl damit die Leistungsfähigkeit des resultierenden DPAs sehr beeindruckend ist, kann nicht das gesamte UHF/UKW-Band verstärkt werden, da ein guter Breitband-Balun nur schwer zu erzielen ist.

Dieses Problem wird mit einer Odd-Mode Breitband-Doherty-Architektur gelöst, die den Balun und den Breitband-Doherty-Leistungskoppler enthält. Damit stehen die erforderliche Bandbreite und die Signalunterdrückung

Jawad H. Qureshi
Walter Sneijers
John Gajadharsing
Ampleon, Nijmegen,
Niederlande
www.ampleon.com

ckung der zweiten Harmonischen zur Verfügung. Unser Prototyp bietet mehr als 40% durchschnittlichen Wirkungsgrad über den Großteil des UKW-Rundfunkfrequenzbereichs (von 470 bis 810 MHz), bei einer durchschnittlichen Ausgangsleistung von 220 W sowie einer Spitzenleistung von mehr 1,4 kW. Der PA ist kompatibel zu digitalen Vorverzerrungstechniken, wie sie für handelsübliche DVB-T-Signalerzeuger erforderlich ist.

Odd-Mode Doherty-Leistungskoppler

Bild 1 zeigt den vereinfachten Schaltplan des vorgeschlagenen Breitband-Kopplers. Der Großteil des Schaltkreises wird mit Breitseiten-gekoppelten Übertragungsleitungen erstellt, zusammen mit einem idealen Breitband-Balun am Ausgang. Breitseiten-gekoppelte Leitungen können für fast jede Impedanz ausgelegt werden und bieten hohe Gleichtakt-Impedanzen, wenn die Masseebene im Vergleich zur Substratdicke weit entfernt ist. Diese Leitungen bieten auch wesentlich niedrigere Impedanzen als Microstrip-Übertragungsleitungen ähnlicher Größe, da zwischen den Leitern der Übertragungsleitung höhere Kapazitäten auftreten.

Schaltkreisanalysen lassen sich vereinfachen, wenn sie getrennt nach differentiellen (Odd-Mode) und Gleichtakt-Modus-Bedingungen (Even-Mode) evaluiert werden. Wenn die Eingänge der Haupt- und Spitzenleistungs-Transistorpaare durch differenzielle Signale angesteuert werden, gibt die Odd-Mode-Analyse des Schaltkreises die Antwort auf grundlegende Signale und die Even-Mode-Analyse die Antwort auf zweite harmonische Signale wider.

Odd-Mode-Analyse

Für die Odd-Mode-Analyse werden die Transistoreingänge differentiell angeregt, und der Schaltkreis wird nach Fundamentalfrequenzen von 470 bis

810 MHz analysiert. Unter diesen Bedingungen fungieren alle Breitseiten-gekoppelten Übertragungsleitungen als Microstrips, und der Schaltkreis verhält sich wie zwei Doherty-Verstärker bei differentieller Erregung und in Kombination mit einem Balun (Bild 2). Damit ergibt sich eine hohe Breitband-Leistungsfähigkeit, sowohl bei verminderter als auch voller Leistung (Bild 3).

Even-Mode-Analyse

Um den Schaltkreis nach zweiten harmonischen Strömen zu analysieren, wird angenommen, dass die Eingangssignale der Haupt- und Spitzenleistungs-Transistorpaare phasengleich sind und der Schaltkreis für zweite harmonische Frequenzen von 900 bis 1900 MHz analysiert wird.

Unter diesen Bedingungen stellen alle Breitseiten-gekoppelten Übertragungsleitungen zusammen mit dem Ausgangs-Balun einen offenen Schaltkreis dar. Dieser ist vereinfacht in Bild 4 zusammen mit seiner Frequenzantwort dargestellt.

Ausgangs-Balun

Damit unser modifizierter Doherty-Schaltkreis ordnungsgemäß funktioniert, ist ein planarer Breitband-Balun erforderlich, der die Ausgangsimpedanz des Schaltkreises in 50 Ω umwandelt. Für unseren 1,4-kW-Breitband UKW-DPA-Prototypen beträgt die erforderliche normierte Bandbreite an die 55%, und die erforderliche Impedanz-Umwandlungsrate mehr als 20. Um diese Vorgaben zu erfüllen, nutzen wir die Merkmale der Übertragungsleitung eines planaren Baluns, um einen breitbandigen, mehrteiligen Impedanzwandler zu erhalten (Bild 5).

Der Aufbau fungiert als Balun und Impedanzwandler (mit einem Wandlungsverhältnis von 20) über mehr als 55% der normierten Bandbreite mit einer Eingangsreflexion von weniger als -25 dB und einem Verlust von weniger als 0,5 dB.

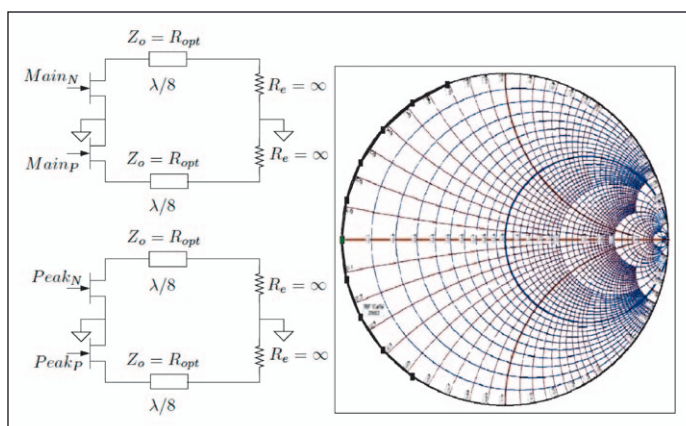


Bild 4: Even-Mode-äquivalenter Schaltkreis des Odd-Mode Doherty-Verstärkers und sein Verhalten bei zweiten harmonischen Frequenzen

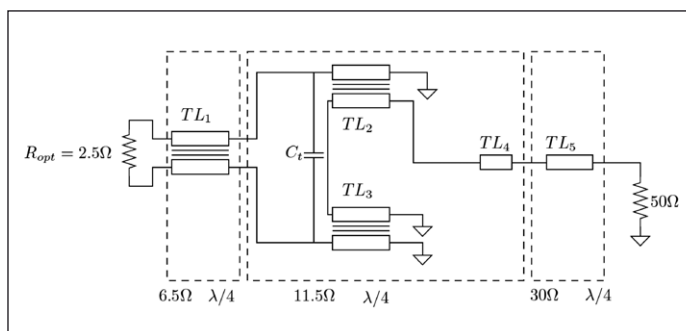


Bild 5: Ausgangsimpedanzwandler und Balun

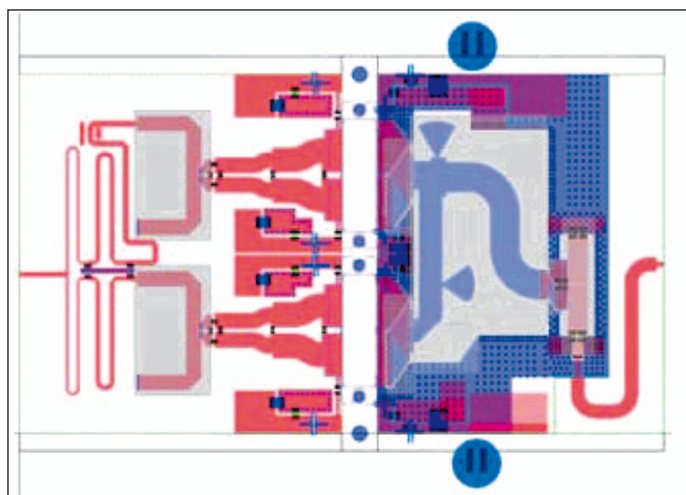


Bild 6: Layout des Odd-Mode Doherty-Prototypen

Aufbau eines Prototypen

Um die Odd-Mode Doherty-Architektur in der Praxis zu demonstrieren, haben wir einen Prototypen für UKW-Rundfunk-TV-Anwendungen auf Basis von Ampleons LDMOS-Bausteinen BLF888A/B erstellt. Die Ver-

wendung von Breitseiten-gekoppelten Übertragungsleitungen erschwert das Layout, weshalb eine mehrlagige Leiterplatte zum Einsatz kam (Bild 5). Die Schaltkreise auf den inneren Lagen sind durch die schattierten Pfade im Bild dargestellt. Die Leiterplatte ist auf einer Grundplatte mit Lufthohlräumen montiert,

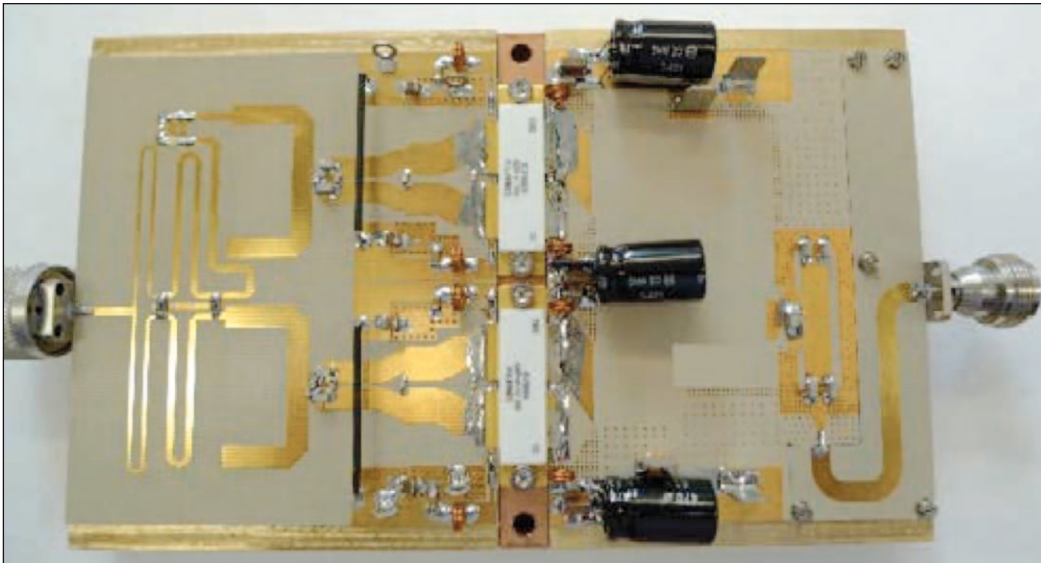


Bild 7: Prototyp eines Odd-Mode Doherty-Verstärkers

um hohe Gleichtaktimpedanzen für die gekoppelten Leitungen bereitzustellen.

Messungen am Prototyp

Wie verhält sich der Prototyp im Betrieb? Zur Messung kam ein gängiger DVB-T-Erreger zum Einsatz. Die Ergebnisse sind in Bild 8 dargestellt.

Das Eingangssignal des DPA war ein DVB-T-Signal mit einem PAR-Wert (Peak to Average Ratio) von 9,5 dB. Die

Messungen wurden bei 220 W Ausgangsleistung durchgeführt, sodass der Ausgangs-PAR-Wert stets mehr als 8 dB betrug. Der Prototyp bot mehr als 40% Wirkungsgrad über den größten Teil des Bandes.

Der gleiche DVB-T-Erreger wurde für die Vorverzerrung des DPA-Ausgangs verwendet. Der Prototyp kann somit mit einer Vorverzerrung verwendet werden, um den erforderlichen ACLR-Wert (Adjacent Channel Leakage Power Ratio; Nach-

barkanalmessung) zu erzielen. Damit wird die Fähigkeit des Verstärkers gemessen, seine Ausgangsleistung auf den vorgesehenen Kanal zu beschränken.

Fazit

Die Doherty-Architektur vereint mindestens zwei Leistungsverstärker (PAs), die auf maximalen Wirkungsgrad bei unterschiedlichen Leistungspegeln getrimmt sind. Damit steht ein guter Wirkungsgrad für die Vielzahl verschiedener momentaner

Leistungspegel zur Verfügung, wie sie bei komplexen Modulationsschemata vorliegen, z.B. bei DVB-T.

Solche Architekturen können sehr effizient sein – allerdings muss eine komplexe Abwägung im restlichen Design erfolgen, z.B. bei der Kombination von Schaltkreisen oder beim Schaltkreis, der den Ausgang der PAs mit der Last koppelt.

Mit unserer differenziellen Doherty-Architektur konnten wir einen guten Breitband-Wirkungsgrad erzielen und die Breitband-Harmonischen regeln, die das Design sonst erschwert hätten, wenn Sender ohne Zirkulatoren zum Einsatz kommen.

Dieser Ansatz kann auch bei asymmetrischen Breitband-DPAs und 3-Wege-DPAs angewendet werden. Auch zwei Ultra-Breitband-DPAs, die oberhalb und unterhalb des gleiches Substrats im Differentialmodus arbeiten, lassen sich damit erstellen. Damit steht doppelt so viel Leistung auf gleichem Raum zur Verfügung, während die Größe des Senders verringert werden kann. ◀

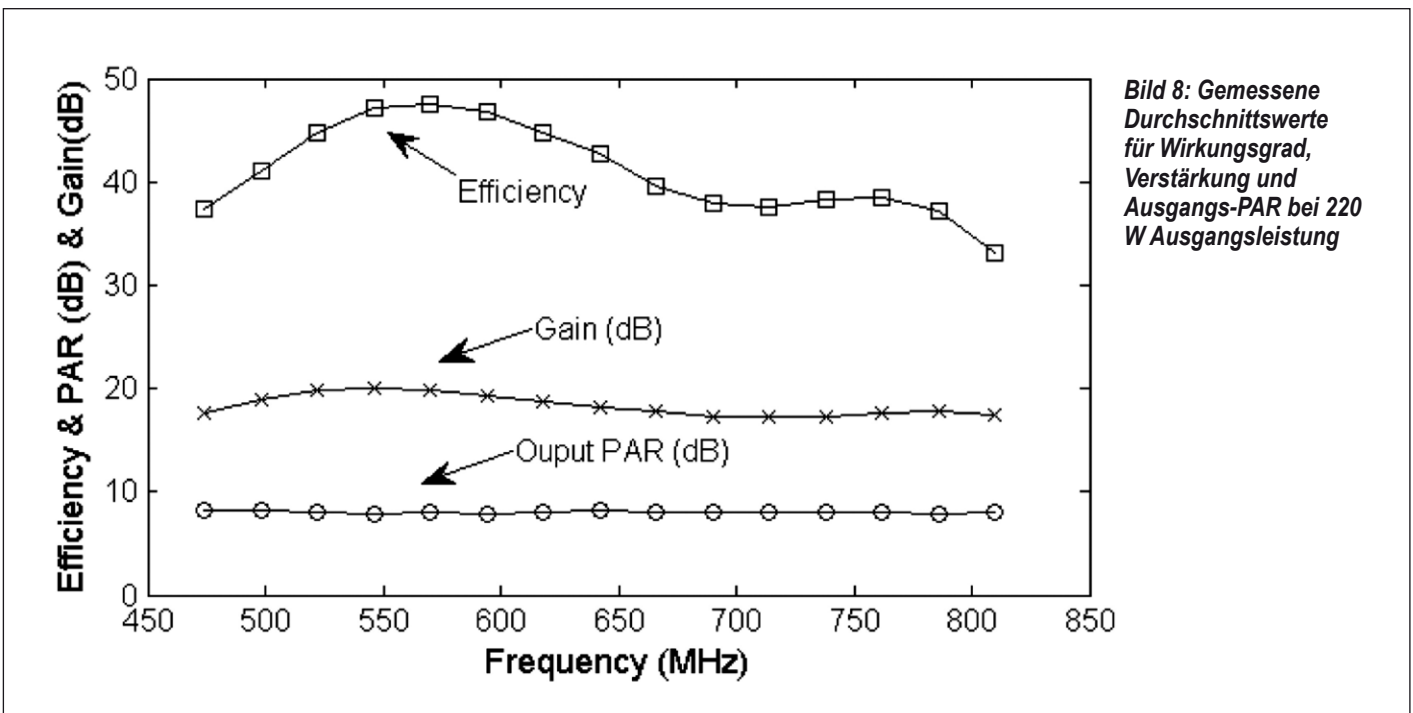


Bild 8: Gemessene Durchschnittswerte für Wirkungsgrad, Verstärkung und Ausgangs-PAR bei 220 W Ausgangsleistung