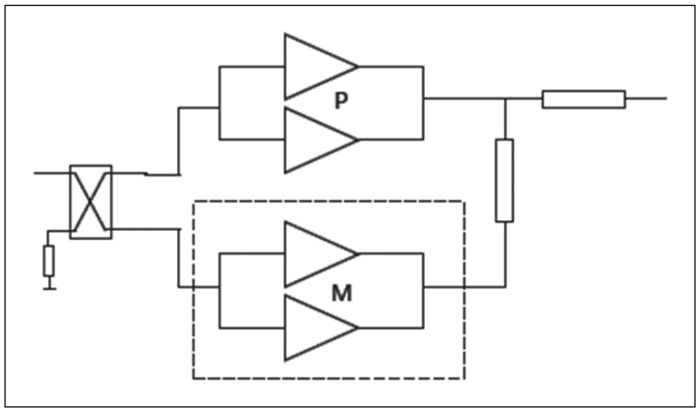
Doherty-Verstärker im UHF-Band



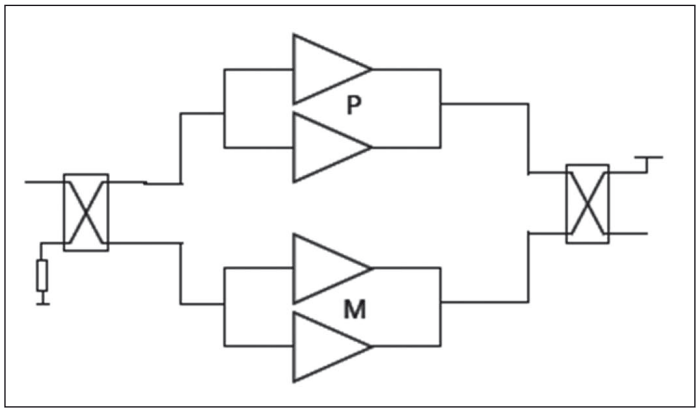


Bild 1a: Klassischer asymmetrischer 2-Wege-Doherty-Verstärker

Vorteile

- Kleine Baugröße
- Hohe Leistung (240 W pro Verstärker)
- Balun (Auslöschung der zweiten Oberwelle)
- Kostengünstig
- Standard-Verstärkerkonfiguration

Nachteile

- Schmalband
- Begrenzte Leistung in Breitband-Verstärker-Designs

Bild 1b: Klassischer asymmetrischer 2-Wege-Doherty-Verstärker (Hybrid-Variante)

Die klassische 2-Wege-Doherty-Variante mit Eingangs- und Ausgangshybriden. Der Vorteil ist der kompakte Aufbau, der in symmetrischen Klasse-AB-Verstärkern zum Einsatz kommt. Der Ausgangshybrid weist eine 0?-Last (oder unendliche Last) auf, um die korrekten Doherty-Transformationen zu realisieren.

Autor:
Walter Sneijers, RF Application Engineer, Ampleon
www.ampleon.com

Die drei Forderungen nach hohem Wirkungsgrad, geringer Baugröße und niedrigen Kosten für UHF-Sender – vorgegeben durch die Mobilfunktechnik – führte zur Einführung von Doherty-Verstärkern in der Mobiltelefonie. Seitdem wurden Doherty-Architekturen weiter verbessert, was zu einer Verbreitung dieser Technik im Rundfunkbereich führte. Doherty-Verstärker finden sich daher in fast allen heutigen neueren UHF-Sendern. Der folgende Beitrag beschreibt die Auswahl von Doherty-Architekturen und zeigt auf, wie die BLF8xx-Transistoren von Ampleon in Doherty-basierten UHF-Verstärkern zum Einsatz kommen. (Der Einsatz von GaN-Transistoren ist in diesem Beitrag nicht vorgesehen.)

Doherty-Architekturen

In den folgenden Abschnitten werden zwei gängige Doherty-Architekturen betrachtet: die klassische 2-Wege- und die Ultra-Breitband-(UWB-)Architektur.

Klassische 2-Wege-Doherty-Architektur

Bild 1a beschreibt einen klassischen Doherty-Leistungsverstärker, der aus zwei Verstärkern besteht: einem Haupt- bzw. „Träger"-Verstärker, der als Klasse AB vorgespannt ist; der andere als „Spitzen"-Verstärker, der für C-Betrieb vorgespannt ist, um bei Bedarf eine hocheffiziente Verstärkung bereitzustellen, wenn diese für entsprechende Eingangsgrößen mit höherer Leistung benötigt wird. Das Eingangssignal

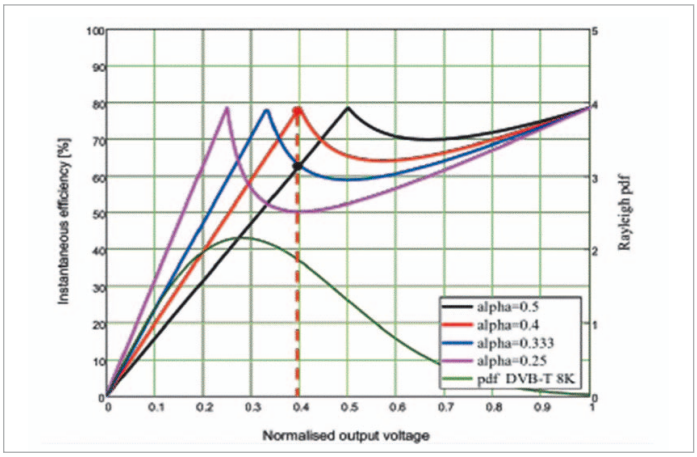


Bild 2a: Momentaner Wirkungsgrad und pdf DVB-T

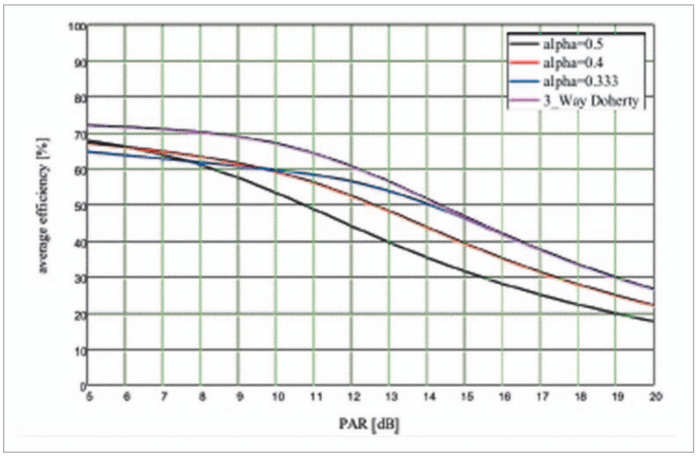


Bild 2b: Durchschnittlicher Wirkungsgrad als Funktion des PAR-Wertes

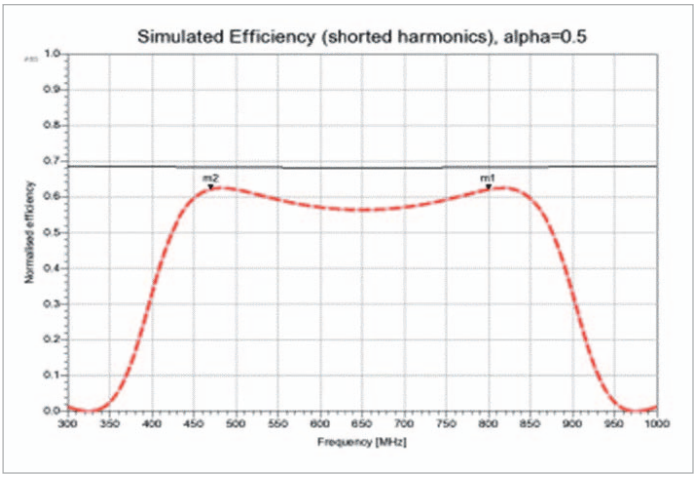


Bild 3a: Ideale Bandbreite α = 0,5 (symmetrisch)
Back-off-Leistung bei -8 dB
schwarz = Wirkungsgrad bei voller Leistung;
rot = Wirkungsgrad bei Back-off

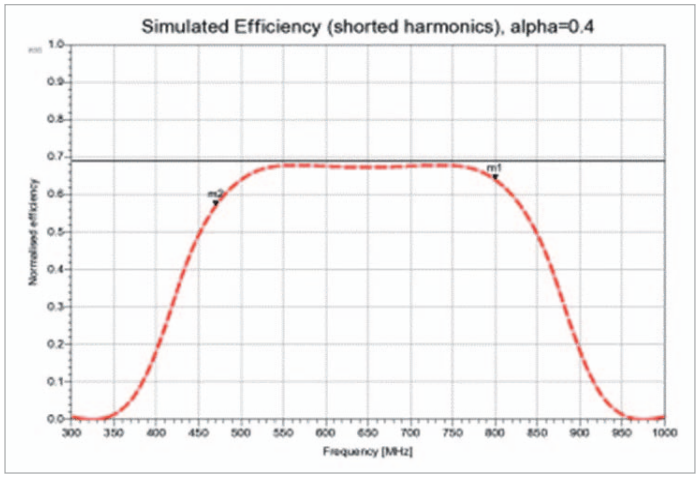


Bild 3b: Ideale Bandbreite α = 0,4 (symmetrisch)
Back-off-Leistung bei -8 dB
schwarz = Wirkungsgrad bei voller Leistung;
rot = Wirkungsgrad bei Back-off

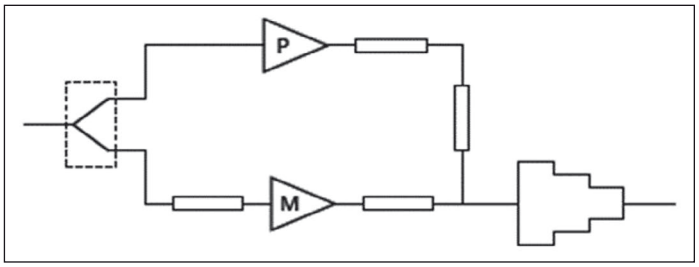


Bild 4: Asymmetrischer Ultra-Wideband-2-Wege-Doherty-Verstärker

Vorteile
- ***Breitband (Vollbandlösung ist möglich)***
- ***Hohe Leistung (115-150W-Designs)***
- ***Wirkungsgrad (asymmetrischer 2-Wege-Doherty-Verstärker ist möglich)***

Nachteile
- ***10 mil Leiterplatte erforderlich***
- ***Mehr Platzbedarf***
- ***Kein Balun***

wird gleichmäßig mittels eines 3 dB-Quadraturkopplers aufgeteilt. Die beiden Ausgänge des Kopplers sind um 90° phasenverschoben und werden über eine λ/4-Übertragungsleitung des Spitzenverstärkers wieder in Phase gebracht und reaktiv kombiniert. Die beiden parallelen Signale erzeugen eine Impedanz von Z0/2 Ω, die vom λ/4-Transformator auf Z0 Ω hochgewandelt wird. Ein Verstärker mit klassischer Doherty-Architektur arbeitet nur über eine schmale Bandbreite und erreicht lediglich begrenzte Leistungspegel. Dagegen steht jedoch ein deutlich größerer Wirkungsgrad bei der Verstärkung von Signalen mit hohem Verhältnis von Spitzen- zu Durchschnittsleistung.

Eine einfache Möglichkeit zur Implementierung eines klassischen 2-Wege-Doherty-Verstärkers bieten die Transistoren BLF888A/B von Ampleon. Der Halbleiterverstärker erreicht - bei einer durchschnittlichen Leistung von 220 W - einen Wirkungsgrad von 45%. In dieser Konfiguration sollte der robuste BLF888A vor allem im Spitzenverstärker und der hocheffiziente BLF888B im Hauptverstärker zum Einsatz kommen.

Die asymmetrische Doherty-Architektur (Bild 1b) erhöht den durchschnittlichen Wirkungsgrad um 2 bis 3% im Vergleich zum o.g. klassischen 2-Wege-Design. Zudem bietet sie eine höhere Leistung. Das Design nutzt den gleichen Hauptverstärker, aber einen Spitzenverstärker mit höherer Leistung und lässt sich z.B. mit Ampleons BLF888B (als Hauptverstärker) und BLF898 (als Spitzenverstärker) umsetzen. In diesem Fall bietet der Spitzenverstärker BLF898 mit 900 W etwa die 1,5-fache Leistung des Hauptverstärkers BLF888B mit 650 W, was zu α = 0,4 führt (ist das Verhältnis der Hauptverstärkerleistung zur Summe der Haupt- und Spitzenverstärkerleistungen). Bild 2a und 2b beschreiben, wie höhere Wirkungsgrade der Verstärker erhalten bleiben, indem die Leistung des Spitzenverstärkers variiert wird. Zu beachten ist jedoch, dass dieses Design komplexer als der klassische 2-Wege-Aufbau ist und der relativ geringe Anstieg der Leistung und des Wirkungsgrads diese zusätzliche Komplexität rechtfertigen kann oder auch nicht.

Ultra-Breitband-2-Wege-Doherty-Architektur

Die UWD-Architektur (Ultra Wideband Doherty) überwindet einige der Bandbreitenbeschränkungen des klassischen Designs. Die zusätzliche Bandbreite wird erzielt, indem Änderungen an der Ausgangsschaltung der Architektur vorgenommen werden (Bild 4). Die Positionen des Leistungskombinierers und der Impedanz-Anpassungsschaltungen werden vertauscht, und die Kapazität wird zu den Ausgängen der Verstärker hinzugefügt.

Ein theoretisches UWD-Design deckt das gesamte UHF-Spektrum ab, wenn auch mit einem reduzierten Wirkungsgrad (Bild 3a). Praktische Erwägungen, wie parasitäre Effekte in den Ausgangsstufen und Oberschwingungen zweiter Ordnung, begrenzen jedoch die erreichbare Bandbreite.

Ein solches Design wird mit dem Transistor BLF888D von Ampleon möglich, der eine vollständige Abdeckung des UHF-Bands bei 40% Wirkungsgrad mit einer durchschnittlichen Ausgangsleistung von 115 W ermöglicht. Der Wirkungsgrad dieses Designs ist jedoch durch die Art der Ausgangsschaltung und auch durch die von Kanalfiltern eingeführten Oberschwingungen zweiter Ordnung begrenzt. Diese und andere Faktoren sind schwer zu mindern und können den Wirkungsgrad um bis zu 5% senken.

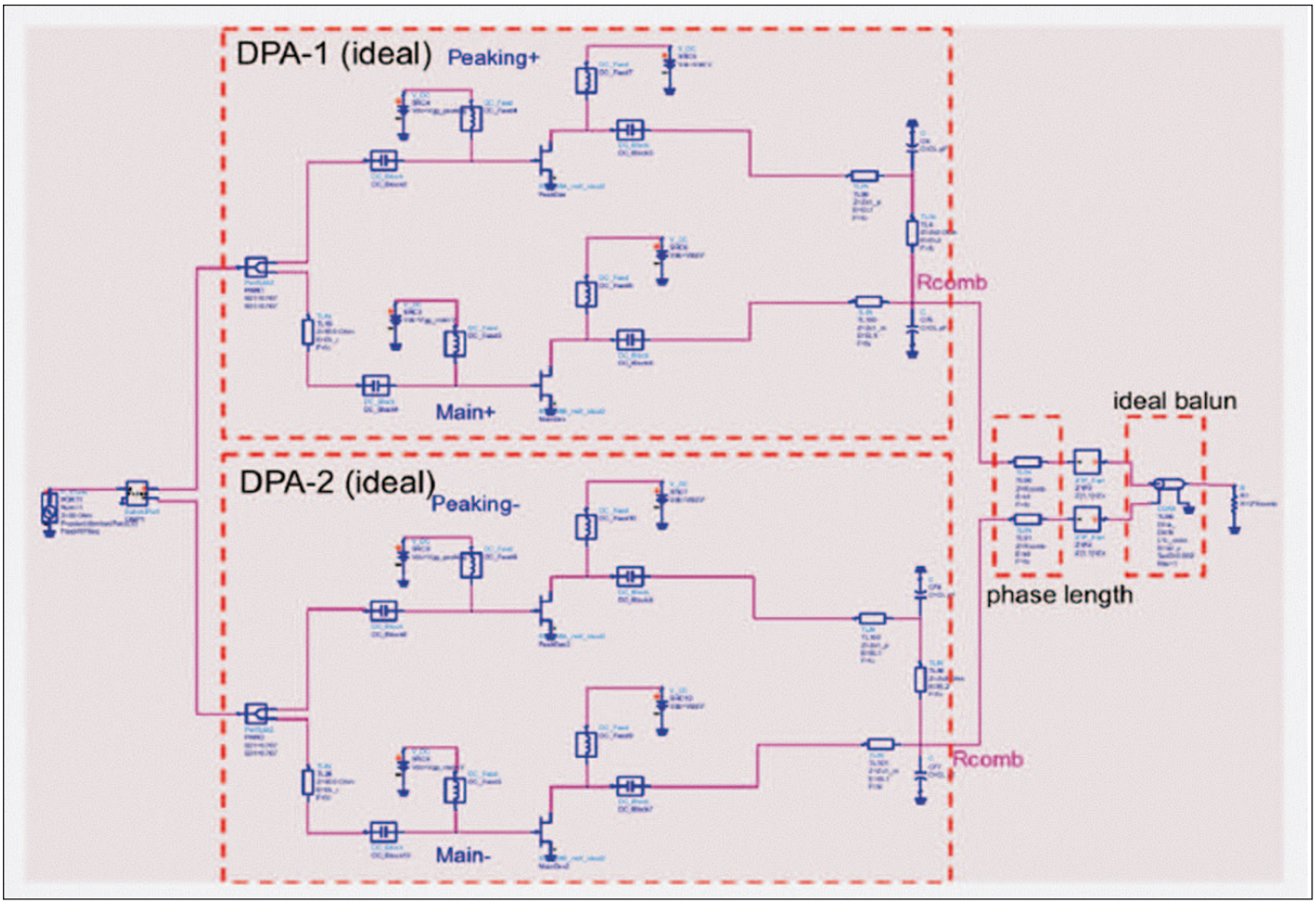


Bild 5c: Kombination über Balun

Angesichts dieser Einschränkungen ist es von Vorteil, UWB-Doherty-Verstärker zu kombinieren, um eine vollständige UHF-Bandbreitenabdeckung bei akzeptablen Wirkungsgraden zu erreichen. Später dazu mehr.

Wie bei der klassischen Doherty-Architektur kann ein asymmetrischer Ansatz auch in UWB-Doherty-Verstärkern verwendet werden, um die Leistung und den Wirkungsgrad zu verbessern. Bild 3b beschreibt, wie sich mit einem α von 0,4 der Wirkungsgrad erhöht und die Effizienzantwort ebenfalls flacher ist als für das symmetrische UWB-Design. Die theoretische Bandbreite, die mit diesem Ansatz erzielt werden kann, entspricht jedoch nur 50% derjenigen, die mit einem symmetrischen Design erzielt werden kann. In realen Anwendungen kann also mit UWB-Doherty-Technik nicht das gesamte UHF-Spektrum abgedeckt werden. Ist das UHF-Spektrum jedoch in drei Unterbänder aufgeteilt, z.B. 470-600 MHz, 600-700 MHz und 700-800 MHz, lässt sich ein höherer Wirkungsgrad erzielen, da die Doherty-Architektur für Oberwellen zweiter Ordnung weniger anfällig ist. Die Ausgangsanpassung verbessert sich, wenn das abgedeckte Spektrum niedriger ist. Ampleon bietet für diesen Ansatz ein Entwicklungsboard auf Basis des Transistors BLF888D, das 45% Wirkungsgrad bei einer durchschnittlichen Leistung von 130 W über das Unterband 470-600 MHz ermöglicht.

Die obigen Ausführungen veranschaulichen den Kompromiss zwischen Wirkungsgrad und Bandbreite, wenn neueste UWD-Techniken zum Einsatz kommen. Diese Wahl wird in verschiedenen Regionen durch die Anforderungen an den Sender (Größe, Kosten und Stromverbrauch) und die Anforderungen der Endnutzer beeinflusst – ebenfalls aufgrund der Kosten und Größe. Da sich Vorgaben und Richtlinien ständig ändern, verändert sich auch das Design, da die Behörden vor Ort die zukünftige Nutzung des UHF-Spektrums überprüfen.

Kombination von UWD-Verstärkern

Wenn die Anforderungen an die Leistung und den Wirkungsgrad vorschreiben, dass das UHF-Spektrum in Teilbänder aufgeteilt werden muss, müssen Verstärkerausgänge kombiniert werden. Bei UHF-Lösungen kommen drei wesentliche Kombinationstechniken zum Einsatz: Wilkinson-Kombinierer, Balun und 90°-Koppler – jeweils mit ihren eigenen Vor- und Nachteilen. In diesem Abschnitt konzentrieren wir uns auf den 90°-Koppler und den Balun und untersuchen deren Leistungsfähigkeit, wenn Oberwellen zweiter Ordnung isoliert werden sollen – ein wesentliches Leistungsmerkmal jedes Kopplungsbausteins.

Balun:

Ein idealer Balun bietet:

- Symmetrisch-zu-unsymmetrisch-Umwandlung oder umgekehrt
- Impedanztransformation bei Grundfrequenzen (optional)
- Auslöschung geradzahliger Oberwellen in Richtung der Last (verhindert Reflexionen geradzahliger Oberwellen vom Kanalfilter)
- Ein „offen“ für geradzahlige Oberwellen am Eingang des Baluns

Ein Balun ist zwar der am häufigsten verwendete Kombinie-

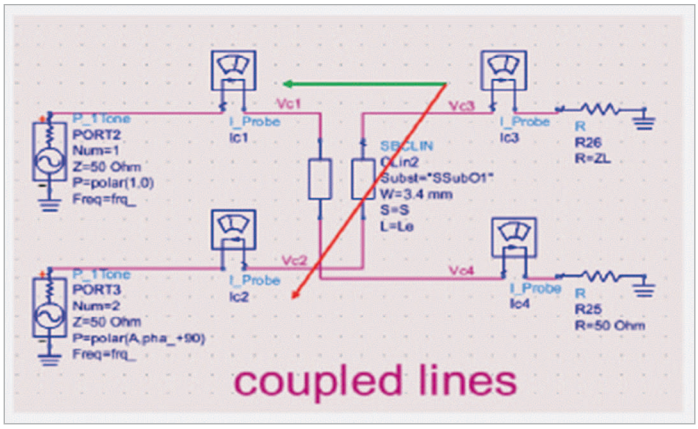


Bild 6a: 90°-Koppler und Reflexion der zweiten Oberwelle grüner Pfeil = direkter Pfad ohne Reflexion der zweiten Oberwelle roter Pfeil = 90°-Pfad

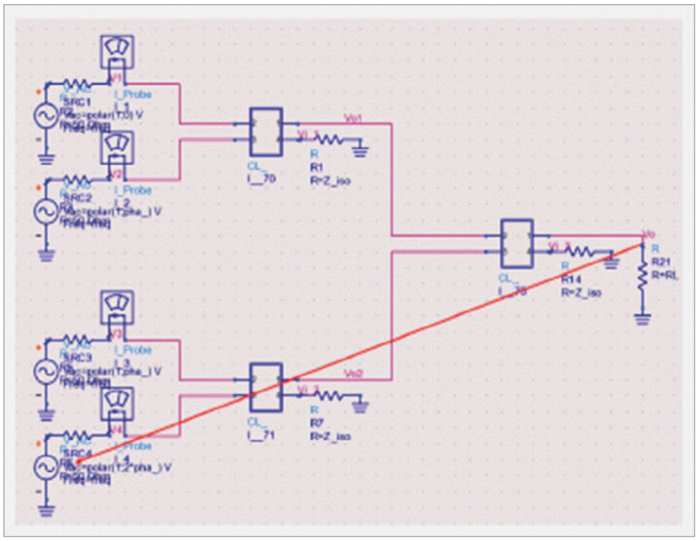


Bild 6b: 90°-Kopplernetzwerk roter Pfeil = Reflexion der zweiten Oberwelle in Richtung eines Verstärkers

rer in UHF-Breitbandverstärkern – er weist aber erhebliche Einschränkungen bei UWB-Doherty-Verstärkern auf. Harmonische Resonanzen zweiter Ordnung können Interferenzen im gleichen Frequenzband verursachen, was zu erheblichen Leistungs- und Wirkungsgradverlusten in einigen Kanälen führt.

Obwohl dies den Einsatz von Baluns in Doherty-Designs, die das gesamte UHF-Band abdecken, ausschließt, können sie verwendet werden, wenn das UHF-Band in Teilbänder unterteilt ist (Bild 5c, wobei 120 MHz Bandbreite erreichbar sind).

90°-Koppler:

Heutzutage ist der mit UWD-Verstärkern verwendete Kombinierer meist ein 90°-Koppler, ein Baustein mit vier Toren, der entweder zum gleichmäßigen Teilen eines Eingangssignals mit einer resultierenden 90°-Phasenverschiebung zwischen den Ausgangstoren oder zum Kombinieren zweier Signale verwendet wird, während zwischen den Toren eine hohe Isolation aufrechterhalten wird.

Diese Konfiguration stellt einen hohen Grad an Isolation zwischen den zwei Ausgangstoren und den zwei Eingangstoren ohne unerwünschte Wechselwirkung sicher. Die Eigenschaften des Kopplers sind derart, dass der direkte Pfad (0-Pfad) die Reflexionen der zweiten Oberwelle isoliert und der 90°-Pfad diese Reflexionen durchlässt.

Dies bedeutet, dass nur ein Verstärker eine Reflexion der Oberwelle erhält (Bild 6a). Werden mehr 90°-Koppler verwendet (Bild 6b: drei Koppler), erhält nur ein Transistor von vier die volle Reflexion. ◄