5-W-X-Band-GaN-PA mit einem handelsüblichen SMT-Transistor im Plastikgehäuse

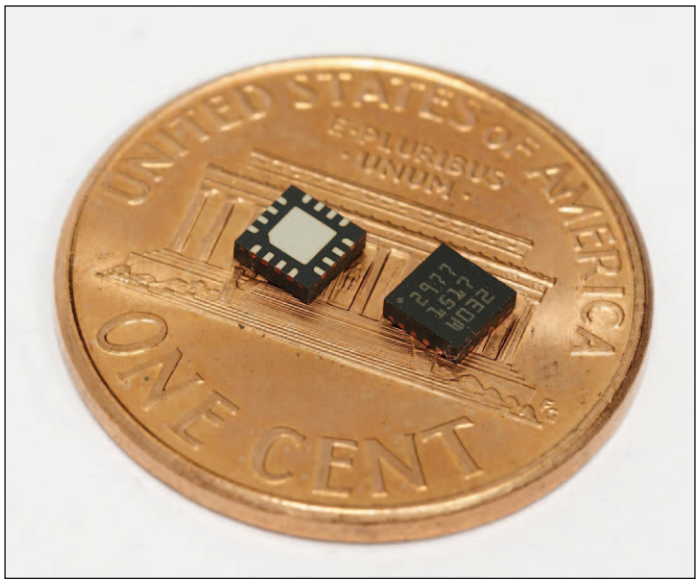
Dieser Anwendungsbericht beschreibt das Design eines einstufigen X-Band-GaN-Endverstärkers der, unter Verwendung eines preiswerten SMT-Transistors im Kunststoffgehäuse, 5 W liefert.

Der Verstärker ist für den Bereich von 9,3 bis 9,5 GHz sowie einen differenziellen Gewinn von 11 dB optimiert. Er liefert mehr als +37 dBm Spitzen-Ausgangsleistung bei 3 dB Kompression und einem Drain-Wirkungsgrad von mehr als 55%.

Das Design beruht auf einem kommerziell erhältlichen, diskreten 0,25-mm-Galliumnitrid (GaN)-Transistor, der in einem SMT-Kunststoffgehäuse untergebracht und auf Rogers 4003 PCB montiert ist. Ein Stromkreis zur schnellen Drain-Schaltung ist auf der gleichen Platine untergebracht, um einen gepulsten Betrieb mit einer Einschaltzeit von nur 20 ns zu ermöglichen. Der diskrete GaN-Transistor ist unter der Bezeichnung TGF2977-SN von Qorvo erhältlich.

Diskrete GaN-Transistoren für den Betrieb bei Mikrowellenfrequenzen sind jetzt von einer Reihe von Anbietern erhältlich. Durch ihre höhere Durchbruchspannung und die maximale Sperrschichttemperatur eignen sich GaN-Transistoren sehr gut zur Realisierung von Hochleistungsverstärkern. Die meisten handelsüblichen GaN-Transistoren, die für X-Band-Betrieb bestimmt sind, werden als blankes Die oder in Keramikgehäusen angeboten. Die Möglichkeit, solche diskreten Bauelemente in preiswerten, gekapselten SMT-Plastikgehäusen anbieten zu können, hat den Vorteil, das Handling und die Montage beträchtlich zu vereinfachen und gleichzeitig eine deutliche Verringerung der Herstellungskosten zu bewirken.

Unter Verwendung des Whitepapers „5W X-Band GaN Power Amplifier Using a Commercially Available Discrete Plastic Packaged SMT Transistor". Plextek RFI www.plextekRFI.com



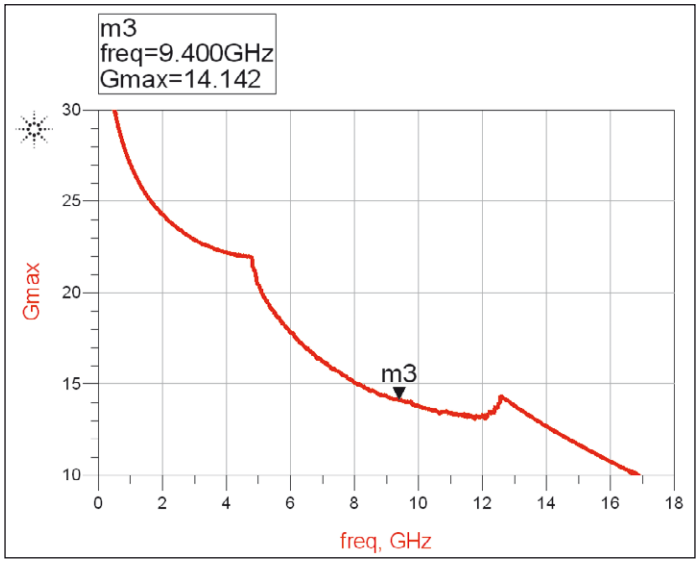


Bild 1: Verlauf von G_{max} des Transistors

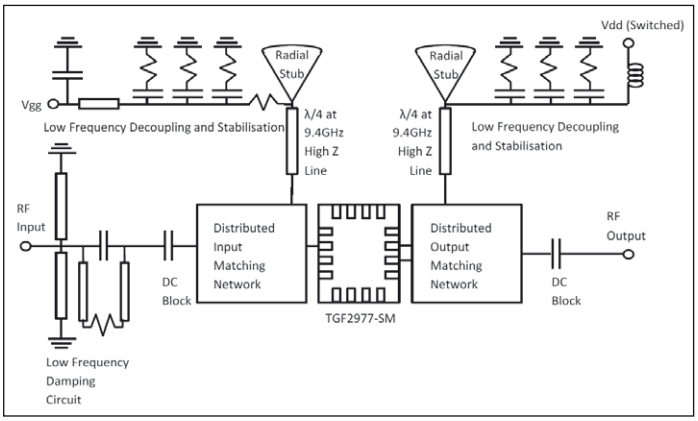


Bild 2: Vereinfachtes Blockdiagramm der PA

Es gibt eine Reihe von Herausforderungen bei der Entwicklung von SMT-Mikrowellen-Leistungstransistoren: Es muss eine Aufbaulösung gefunden werden, die eine zu große Verringerung der HF-Leistung vermeidet, das thermische Verhalten muss ausreichend sein, und schließlich muss der ganze Fertigungsprozess sehr wiederholbar sein, um gleichbleibendes Verhalten von einem Bauelement zum anderen zu erreichen. Zudem sind genaue Modelle des Bauelements erforderlich, um die Leistung des verpackten Bauelements zu überprüfen. Dieser Anwendungsbericht zeigt, dass ausgezeichnetes technisches Verhalten im X-Band mit einem derartigen SMT-Transistor - in diesem Fall dem TGF2977-SM von Qorvo - realisiert werden kann.

Der TGF2977-SM ist ein 0.25-µm-GaN-Bauelement mit 1.26 mm Gatelänge, das in einem Kunststoffgehäuse mit den Maßen 3 x 3 mm untergebracht ist. Das Package enthält eine feste Kupfer-Basis, um guten thermischen und elektrischen Kontakt zur PCB-Massefläche sicherzustellen.

Design

Der Entwurf verwendet einen einzelnen SMT-Transistor, der mit einer Drain-Spannung von

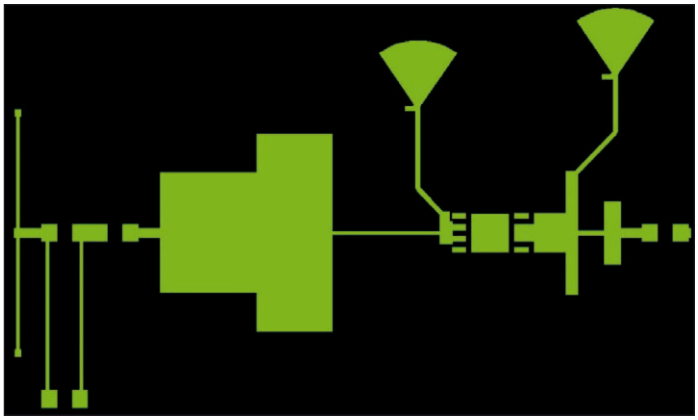


Bild 3: EM-simuliertes HF-Layout

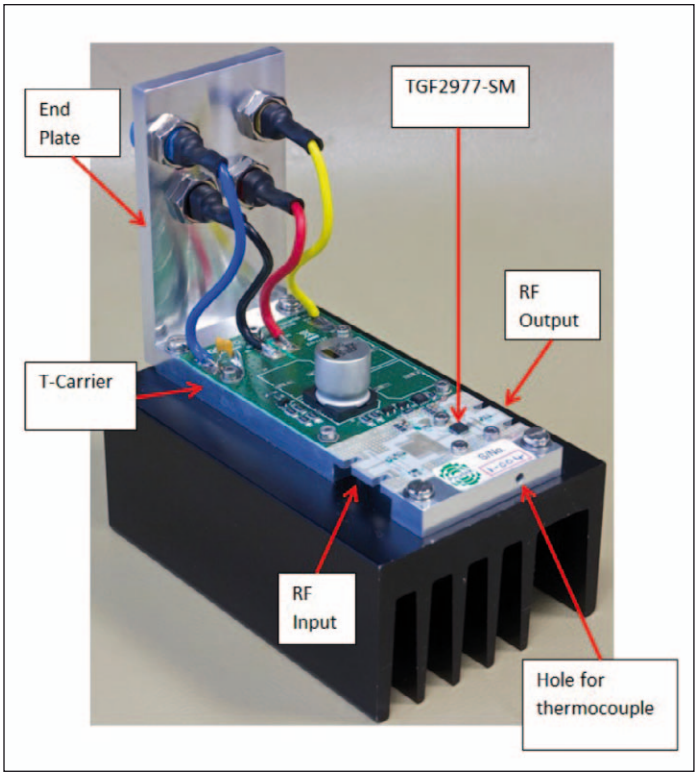


Bild 4: Der fertig aufgebaute Verstärker

32 V bei einem Ruhestrom von 25 mA betrieben wird. Als PCB-Material wurde Rogers 4003, 8 mil. stark, mit 1 Unze endgültiger Metallisierung eingesetzt. Kupfergefüllte PCB-Vias wurden für die Transistor-Erdung vorgesehen, um das thermische Verhalten zu verbessern.

Den Verlauf von G_{max} (maximal verfügbarer Gewinn) zeigt das Diagramm in Bild 1. Markante Knickpunkte im Verlauf der Kurve treten bei 4,8 und 12,5 GHz auf und verdeutlichen, dass das interessierende Band mitten in einem Bereich unbedingter Stabilität liegt und ein maximaler Gewinn von ca. 14 dB verfügbar ist. Der Gewinn des Endverstärkers wird offensichtlich kleiner als dieser Wert sein, bedingt durch die Verluste beim Hinzufügen des Anpassungs- und des Bias-Netzwerks.

Obwohl das Bauelement über dem gesamten X-Band unbedingt stabil ist, kann es doch bei Frequenzen über 12.5 GHz und unter 4.8 GHz möglicherweise instabil arbeiten, so dass Schritte unternommen werden müssen, um die Stabilität in diesen Bereichen sicherzustellen. Es gibt auch einen beträchtlichen Gewinn bei niedrigen Frequenzen, und es ist bewährte Designpraxis, ihn zu unterdrücken, um mögliche Probleme mit niederfrequenter Instabilität im Endverstärker zu vermeiden.

Großsignal-Load/Pull-Daten des montierten Transistors zeigen, dass er auf 9,4 GHz ungefähr 37,5 dBm bei 3 dB Kompression liefern kann. Im Verstärkerdiagramm in Bild 2 haben alle passiven SMT-Komponenten die Größe 0603. Die Bias-Netzwerke für beide Drain-Anschlüsse und das Gate verwenden Radial-Stubs, die einen Kurzschluss in Bandmitte verursachen. Dies ist die bevorzugten Methode zur Implementierung eines HF-Kurzschlusses, da er bessere Leistung, Toleranz und Bandbreite verglichen mit einem Shunt-SMT-Kondensator aufweist. Dies ist auch ein bequemer Punkt zum Anschluss anderer Bias-Entkopplungskomponenten, ohne das In-Band-Verhalten zu beeinflussen. Diese Komponenten werden für die niederfrequente Entkopplung und Stabilisierung der Versorgungsspannung verwendet und reduzieren den Gewinn bei niedrigen Frequenzen beträchtlich.

Der vom Radial-Stub hervorgerufene Kurzschluss wird anschließend durch eine schmale Viertelwellenlängen-Leitung hoher Impedanz in einen Leerlauf transformiert, so dass die Drain- und Gate-Bias-Netzwerke praktisch keinen Effekt im Band haben. Dies sorgt für Flexibilität bei der Frage, wo die Bias-Netzwerke angeordnet werden können. Dazu wurden geeignete Punkte in den verteilten Anpassungs-Netzwerken gewählt, die sich als vorteilhaft für das Layout und das Außerband-Verhalten erwiesen.

Eine Dämpfungsschaltung wurde am Eingang des Verstärkers als weitere Maßnahme zur Sicherung der Stabilität bei niedrigen Frequenzen sowie zur Reduzierung des Gewinns vorgesehen. Die Schaltung besteht aus zwei parallelen, kurzgeschlossenen Stubs vor der Parallelschaltung eines Kondensators und einer verlustbehafteten Induktivität, die durch einen Widerstand und zwei schmale Linien repräsentiert werden (Bild 3). Die Position und Topologie des Stromkreises war sorgfältig gewählt worden, um maximale Dämpfung bei niedrigen Frequenzen und minimalen Einfluss auf das In-Band-Verhalten zu erreichen. Eine wichtige Eigenschaft der Topologie ist, dass sie dem Bauelement keine unerwünschte Impedanz präsentiert, die zu Schwingungen führen könnte.

Der DC-Abblockkondensator am Ein- und Ausgang ist eine 0603-Mehrschicht-Komponente hoher Qualität. Zweikanal S-Parameter-Simulationen wurden an einem entsprechenden Modell durchgeführt, das die Effekte der Befestigungspads auf dem ausgesuchten Substrat einschloss. Der Kondensatorwert wurde so gewählt, dass sich die niedrigste Inband-Einfügungsdämpfung ergab.

Die Anpassnetzwerke am Ein- und Ausgang wurden als verteilte, zweistufige Tiefpass-Strukturen implementiert. Geht man von der Eingangs-Referenzebene rückwärts, besteht das Eingangs-Anpassnetzwerk tatsächlich aus

- einem Shunt-C
- einem Serien-L
- einem weiteren Shunt-C
- und einem abschließenden Serien-L.

Bewegt man sich in ähnlicher Weise von der Ausgangs-Referenzebene vorwärts, besteht das Ausgangs-Anpassungsnetzwerk aus

- einem Serien-L
- einem Shunt-C
- einem Serien-L
- und einem Shunt-C zum Abschluss.

Es sollte erwähnt werden, dass aus Bequemlichkeitsgründen ein nicht angeschlossener Pin als Leerlauf-Stub verwendet wurde um einen Teil des Eingangs-Shunt-C‘s zu bilden. Dies ist aus dem Plot in Bild 3 ersichtlich.

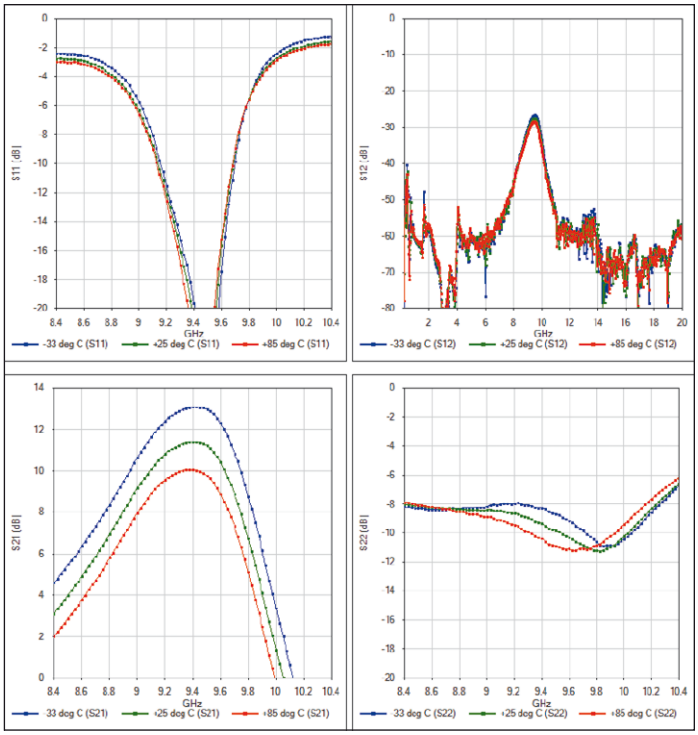


Bild 5: Gemessene S-Parameter der PA

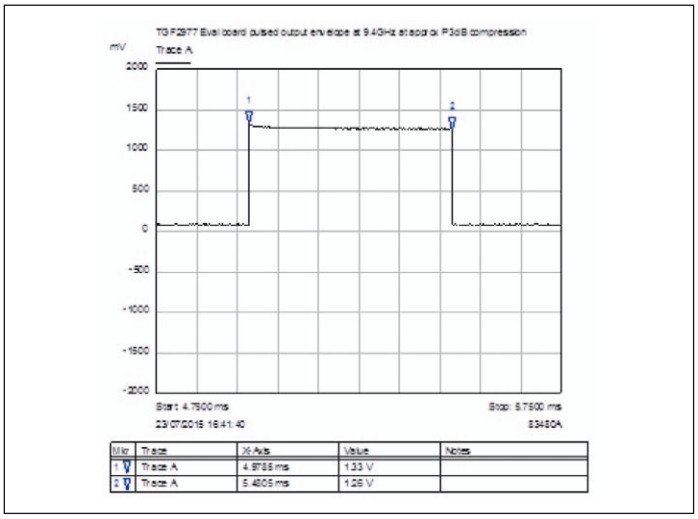


Bild 6: Gepulste Output-Hüllkurve der PA

Bild 4 zeigt eine Abbildung des fertig zusammengebauten Verstärkers. Das 8 mil starke Rogers 4003 PCB wird auf einem T-Träger aus einer Aluminium-Legierung befestigt, der wiederum auf einem Kühlkörper montiert ist. Ein schneller Stromkreis zum Schalten des Drains ist auf dem gleichen PCB vorgesehen. Dieser Bereich ist mit grünem Lötstopplack beschichtet, der im HF-Bereich weggelassen wird. Eine Endplatte ist an der Rückseite des T-Carriers vorgesehen. Hier befinden sich die Anschlussbuchsen für die Bias-Spannung und die Kontrollspannungen:

- blauer Draht für Gate-Bias
- roter Draht für Drain-Bias
- gelber Draht aktiviert das Drain-Schalten
- schwarzer Draht = 0 V.

HF-Ein- und -Ausgang sind so ausgeführt, dass sie zu kantenmontierten Verbindungsstücken von South West Microwave passen. Beachten Sie das Loch in der Vorderseite des T-Trägers. Dies ermöglicht die Unterbringung eines Thermoelements direkt unter dem Transistor-Package. Durch thermische Analyse wurde ermittelt, dass der thermische Widerstand zwischen dem Thermoelement und dem Package (durch die Platine gemessen) 8 °C/W betrug, was eine bequeme Berechnung der Package-Temperatur für eine gegebene Verlustleistung ermöglicht.

Gemessene Leistungsdaten

Kleinsignal-S-Parameter-Messungen wurden am fertig aufgebauten Verstärker bei Temperaturen von -33 °C, +25 °C und +85 °C vorgenommen. Diese Messungen wurden mit CW durchgeführt; die Ergebnisse zeigt Bild 5.

Die S-Parameter-Daten zeigen, dass der Endverstärker einen Kleinsignalgewinn um 11 dB über das Ganze Band erreicht, der um +1,5 dB in Abhängigkeit von der Temperatur schwankt. Die Eingangs-Rückflussdämpfung wird kaum durch die Temperatur beeinflusst und ist besser als 15dB über dem Band. Die Ausgangs-Rückflussdämpfung liegt nominell bei 9,2 dB und schwankt um +1 dB über der Temperatur der PA.

Großsignalmessungen wurden ebenfalls über die Temperatur durchgeführt. Die Messungen erfolgten unter gepulsten Bedingungen und verwendeten den auf dem Board befindlichen Stromkreis zum Schalten des Drains, der für eine Einschaltzeit von 20 ns sorgte. Der Arbeitszyklus betrug 10% und die Impulsbreite 500 µs. Die HF-Hüllkurve während des 500-µs-Impulses bei 3 dB Kompression zeigt Bild 6 in Bandmitte. Saubere, schnelle

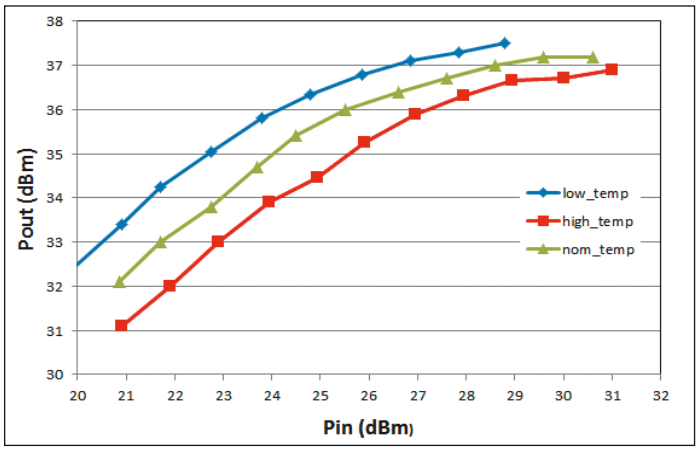


Bild 7: P_{out} in Abhängigkeit von P_{in} der PA

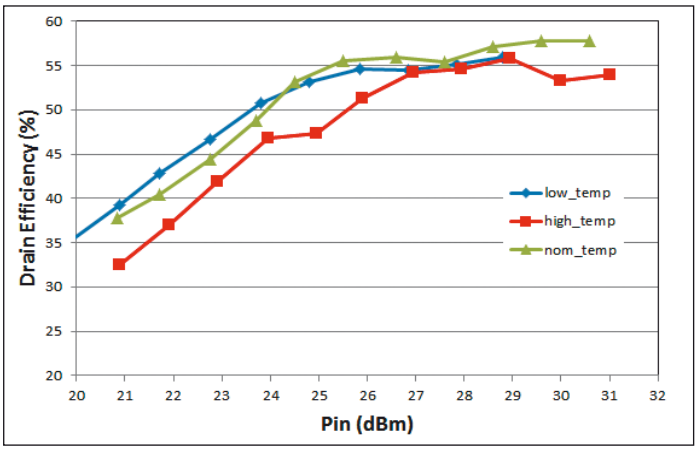


Bild 8: Drain-Wirkungsgrad in Abhängigkeit von P_{in} der PA

Flanken sind sichtbar, und der Leistungsabfall während der Impulsperiode ist sehr gering.

Während der Großsignalmessungen wurde die Eingangsleistung von ca. l0 dB Unteraussteuerung bis zu einer Gewinnkomprimierung von 3 dB (bzw. sogar noch etwas darüber) gesweept. Während des Leistungs-Sweeps steigt die in Wärme umgesetzte Verlustleistung im Transistor-Package an, so dass auch seine Temperatur größer wird. In den folgenden Diagrammen beziehen sich „low_temp“, „high_temp“ und „nom_temp“ auf Transistor-Basistemperaturen von -33 °C, +85 °C und +25 °C jeweils am 3-dB-Kompressionspunkt. Man sieht, dass die Ausgangsleistung in Bandmitte bei 3 dB Kompression nominell 37,1 dBm beträgt und nur um ± 0,2 dB über der Temperatur schwankt. Siehe Diagramme 7 und 8.

Bild 8 zeigt die Drain-Effizienz und verdeutlicht, dass bei 3 dB Kompression der normale Drain-Wirkungsgrad 57%, bei niedrigen Temperaturen ungefähr 55% und bei hohen Temperaturen ca. 54% beträgt. Die entsprechende PAE (power added efficiency) bei 3 dB Komprimierung und Nenntemperatur beträgt 48,5%, bei niedrigen Temperaturen 48,5% und bei hohen Temperaturen 44%.

■ *Plextek RFI*
www.plextekRFI.com

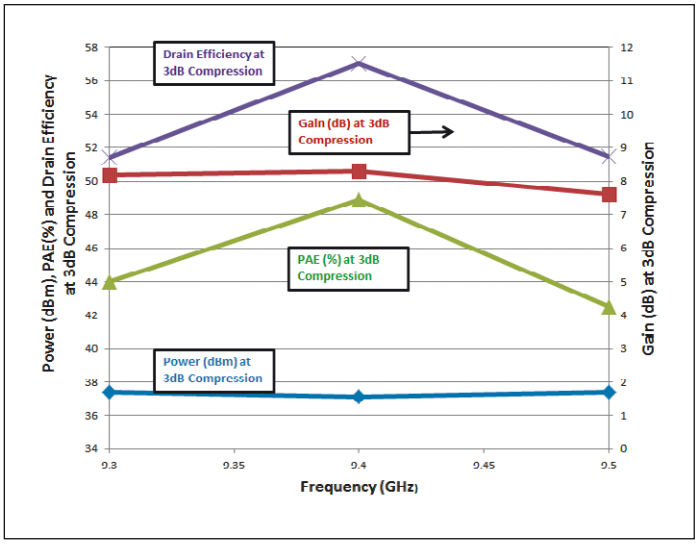


Bild 9: Zusammenfassung des Großsignal-Leistungsverhaltens der PA