Messplatz für HF-Verstärkermodule

Schlagworte wie Industrie 4.0, Internet of Things, Mobile Computing, Cloud Computing prägen die Titelzeilen der Magazine. Alles baut auf einer gemeinsamen Basis auf, den modernen Kommunikationstechnologien.

Allem voran die Funk-Kommunikation. Wireless wohin man schaut. In der Fertigung, im Lager, im Büro, im Auto, zu Hause, in Sport und Freizeit, in der Medizintechnik, sogar unsere Haustiere tragen bereits RFID-Chips zur Identifizierung.

Die Technologien LTE, 3GPP, Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, RFID, NFC, DECT stehen hinter all diesen Anwendungen. Wenn man nun den Blick auf die notwendige Hardware lenkt, findet man überall einen Empfänger, einen Sender oder die Kombination, einen Transceiver. Diese Eingangs- bzw. Ausgangsstufen ihrerseits beinhalten wiederum so gut wie immer mindestens ein Verstärkermodul. Der ständig wachsende Wireless-Markt und die damit verbundene Nachfrage nach HF-Verstärkern lassen die von Marktforschungsinstitutenprognostizierten hohen jährlichen Wachstumsraten des HF-Verstärker-Marktes plausibel erscheinen.

Grund genug, um sich etwas näher mit der Vermessung der wichtigsten Parameter von HF-Verstärkermodulen zu beschäftigen. Für die verschiedenen Einsatzbereiche gibt es entsprechend auch unterschiedliche Anforderungen. Zum Beispiel ist der Verstärker im Empfangspfad frequenzselektiv und besonders rauscharm (LNA) ausgeführt. Der Leistungsverstärker im Sendepfad hingegen auf die maximale Ausgangsleistung optimiert. Neben den unzähligen applikationsspezifischen Spezialitäten, haben alle Verstärker die gleichen Basisparameter wie Frequenzbereich, Verstärkung, Ausgangsleistung, Linearität, Anpassung und Stabilität.

Die am einfachsten zu bestimmenden Parameter sind der Frequenzbereich des Verstärkers und die Verstärkung an definierten Frequenzen oder über bestimmte Frequenzbereiche hinweg. Im Grunde ist hier ein Spektrum-Analysator mit Mitlaufgenerator, wie zum Beispiel die Rigol DSA800-TG oder DSA1000-TG Serie, bereits ausreichend. Zur Messung wurde zuerst die Ausgangsleistung des Mitlaufgenerators normalisiert. Hierzu wurde der Ausgang mit dem Eingang verbunden und die Normalisierungsfunktion des Spektrum Analysators aktiviert. Im Anschluss wurde der Verstärker „dazwischengeschaltet“ und vermessen. Die folgenden Bilder stellen den Frequenzverlauf eines HF Verstärkers da. Man kann hieraus sowohl den „nutzbaren“ Bereich als auch die maximale Verstärkung ablesen.

Die im Datenblatt angegebene Ausgangsleistung bezieht sich meist auf den gemessenen 1-dB-Kompressionspunkt. Dieser Punkt ist dadurch bestimmt, dass die reale Ausgangsleistung um 1 dB von der theoretischen, idealen Ausgangsleistung abweicht. Diese Abweichung entsteht dadurch, dass der Verstärker in die Sättigung geht.

Im Kleinsignalbereich gilt: Ausgangsleistung[dB] = Eingangsleistung[dB] + Verstärkung [dB] somit entsteht eine Line mit der Steigung 1 welche um den Wert der Verstärkung verschoben ist. Zur messtechnischen Bestimmung des Kompressionspunktes benötig man einen HF-Generator mit ausreichend großem Ausgangsleistungsbereich und wieder einen Spektrum-Analysator. Die Ausgangsleistung des Generators wird schrittweise bei einer festen Frequenz erhöht. Dieses Signal wird in den Verstärker eingespeist. Der Ausgang des Verstärkers ist mit dem Spektrum-Analysator verbunden. Je nach Verstärkung des Testobjektes und dem maximal erlaubten Eingangspegel des Spektrum-Analysators kann noch ein Abschwächer zwischengeschaltet sein.

Der Autor ist Thomas Rottach, Application Engineer Rigol Technologies EU GmbH www.rigol.eu

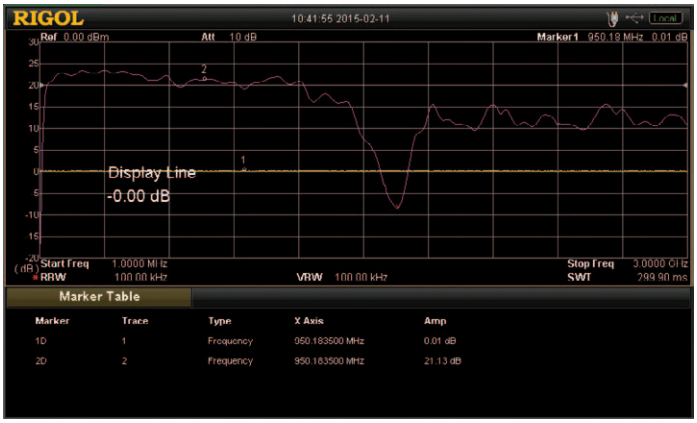


Bild 1 zeigt den gesamten Bereich bis 3 GHz. Bis ca. 1.2 GHz liegt die Verstärkung bei einem Wert größer 20dB.

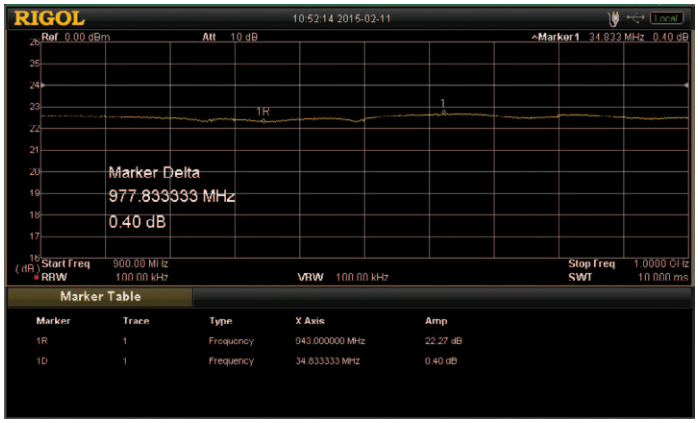


Bild 2 zeigt den Bereich von 900 MHz bis 1 GHz. Die Varianz (Max zu Min) der Verstärkung liegt 0.4dB.

Der Analysator ist im Zero-Span auf die feste Frequenz eingestellt. Um eine saubere Darstellung zu erhalten kann man den Triggerausgang des Generators verwenden um den Analysator extern zu triggern. Als Alternative kann auch der Videotrigger des Analysators verwendet werden.

Die dargestellte Messung wurde mit dem Rigol 3-GHz-Generator DSG3030 und dem Rigol 3-GHz-Spektrum-Analysator DSA832 durchgeführt. Messaufbau siehe unten (Bild 3a).

Warum ist dieser Wert interessant? Bei digital modulierten Signalen wie z.B. einem QAM-modulierter Träger beim digitalen Fernsehen wird hauptsächlich die Durchschnittsleistung des Kanals betrachtet. DasVerhältnis zwischen Spitzen- und Durchschnittsleistung bei QAM liegt aber zwischen 6 und 13 dB. D.h. im Worst-Case Fall werden die Spitzenleistungen gestaucht und das Signal gestört. Daher muss bei der Auswahl des HF-Verstärkers auf einen ausreichend großen 1dB-Punkt geachtet werden.

Ein weiterer wichtiger Parameter in den Verstärker-Spezifikationen ist der Intermodulationspunkt 3. Ordnung (IP3). Hinter dieser Spezifikation verbirgt sich unter anderem die Information über die Linearität des Verstärkers.

Um etwas Klarheit zu schaffen wechseln wir zuerst in den Zeitbereich. Gibt man ein Sinussignal mit Frequenz X auf ein nicht-lineares Bauteil (z.B. eine Diode) sieht man am Ausgang, dass der Sinus verzerrt wurde. Wenn man das verzerrte Sinussignal in den Frequenzbereich transferiert, sieht man, dass nun mehrere Frequenzen (neben Frequenz X auch 2X, 3X usw.) entstanden sind. Hier könnte man nun einen Tiefpass mit der Grenzfrequenz kleiner 2X nachschalten und die entsprechenden Harmonischen unterdrücken.

Hat man mehr als eine Eingangsfrequenz, wie zum Beispiel bei Multi-Carrier Übertragungen, am Eingang eines nicht-linearen Bauelements anliegen, kommen zu den harmonischen Frequenzen auch noch die Intermodulationsprodukte hinzu. (siehe Grapik1). Die Mischprodukte 2ter Ordnung oder auch Harmonische können, z.B. durch eine Bandpassfilterung, unterdrückt werden. Dies ist bei Mischprodukten 3ter Ordnung nicht möglich, da diese meist in das Sendeband fallen. Deshalb sind diese besonders unerwünscht in der Kommunikationstechnik.

Zur Bestimmung dieses Parameters werden zwei Sinussignale (CW-Signale) mit unterschiedlichen Frequenzen (meist mit einer Differenz von 5 MHz – 10 MHz) kombiniert und am Verstärkereingang eingespeist. (typ. Messaufbau in Graphik2) Wie oben erklärt entstehen durch Nichtlinearitäten des Testobjekts Mischprodukte der beiden Signale.

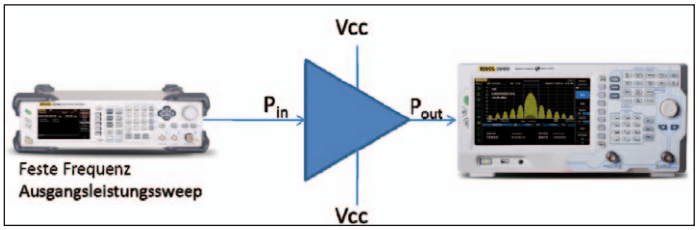


Bild 3a: Messaufbau 1-dB-Kompressionspunkt.

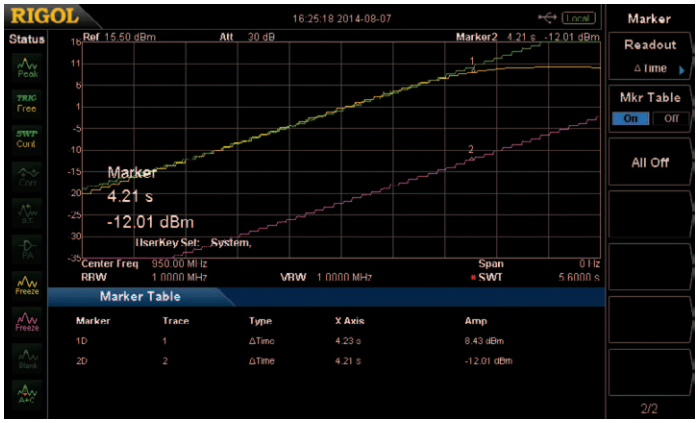
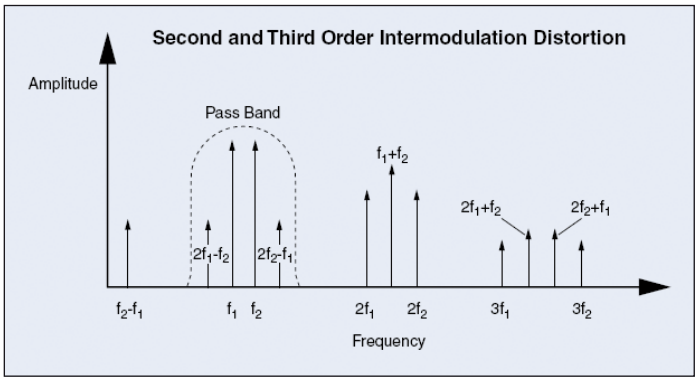
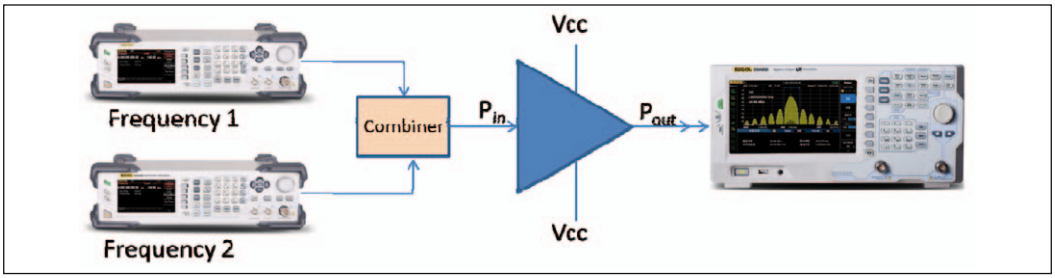


Bild 3b: Eingangsleistung (lila Kurve) Ausgangsleistung PA (gelbe Kurve) 1-dB-Kompressionspunkt (Marker 1)

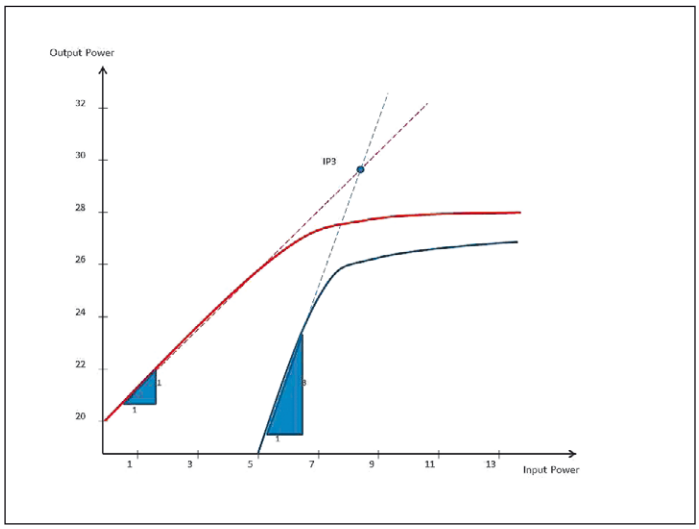


Graphik 1: Je höher der IP3-Punkt angegeben ist, desto besser (linearer) ist der Verstärker.



Graphik 2: Messaufbau für IM-Messungen

auch entsprechende Applikationen im Kommunikations-Markt adressieren. Zur Komplettierung des Messplatzes steht noch die Power-Supply-Serie DP800 zur Verfügung. Des Weiteren bietet Rigol noch 5 ½ oder 6 ½ stellige Multimeter zur Messung von Ruheströmen oder zur Messung der Leistungsaufnahme im Lastfall an. Somit kommt alles aus einer Hand. ◄



Graphik 3: Bestimmung des IP3-Punktes

Erhöht man die Eingangsleistung der beiden Signale um 1 dB werden auch die beiden Signale am Ausgang um 1 dB ansteigen. (1:1 Steigung) Die Produkte 3. Ordnung steigen hingegen um 3 dB. (3:1) D.h. es gibt einen Punkt an dem die Trägersignale den gleichen Leistungspegel haben wie die Produkte 3. Ordnung. (siehe Graphik 3)

Dieser Punkt wird als IP3 im Verstärkerdatenblatt angegeben. Messtechnisch kann der IP3-Punkt nicht direkt ermittelt werden, da der Verstärker vorher in die Kompression geht. Graphisch wird der IP3-Punkt durch lineares verlängern der Kurven ermittelt. Durch Messen der Leistungspegel der Signale 1. und 3. Ordnung kann der Punkt auch mathematisch ermittelt werden. Diese Methode ist in der Option: „erweiterte Messfunktionen“ für Rigol Spektrum Analysatoren implementiert (Bild 4).

Im Folgenden möchte ich noch die Auswirkungen von Nicht-Linearitäten auf ein digital moduliertes Signal mit 5 MHz Kanalbandbreite aufzeigen. Wir sehen die Nachbarkanalmessung (ACPR) eben dieses Signals (Bild 5). Bei steigender Eingangsleistung wird zunehmend der Einfluss der Nicht-Linearität größer. Wir sehen dies deutlich im Anwachsen der Schultern in den Nachbarkanälenund damit einhergehende Störung der Kommunikation auf den Nachbarkanälen (Bild 6).

Als Fazit lässt sich festhalten, dass hinter den RF-Verstärker-Parametern nicht allzuviel Magie verborgen ist. Wie oben gezeigt ist auch nicht immer hochpreisiges Mess-Equipment wie z.B. ein Netzwerkanalysator notwendig, um entsprechende Messungen durchzuführen. Mit der HF-Generator-Serie DSG3000 (3 oder 6 GHz und optional auch mit IQ-Modulation) und der Erweiterung der DSA800 Spektrum-Analysator-Serie bis 7,5GHz kann Rigol inzwischen

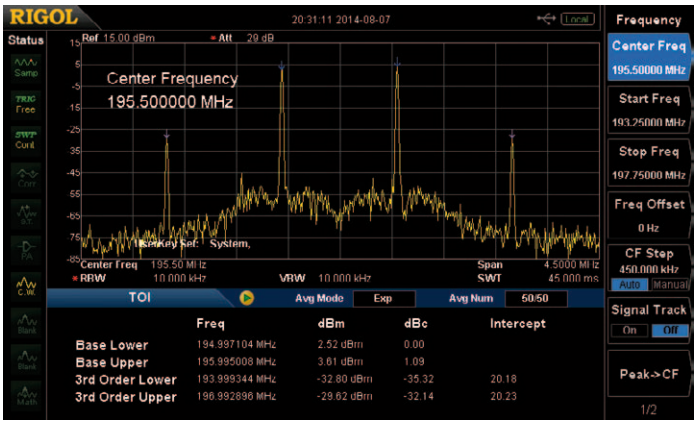


Bild 4: IP3-Bestimmung mit Option „erweiterte Messfunktion“.

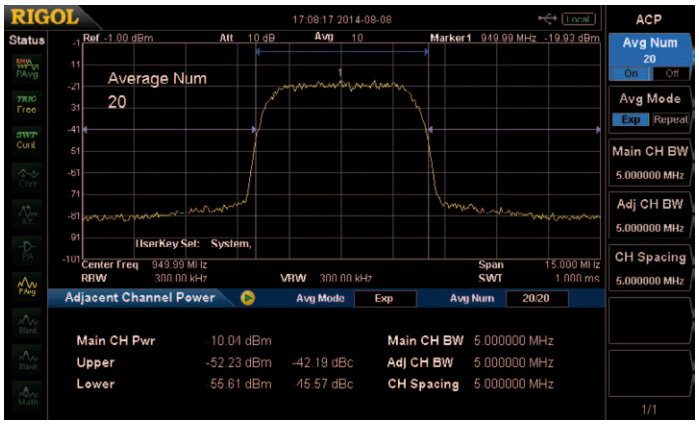


Bild 5: Nachbarkanalmessung

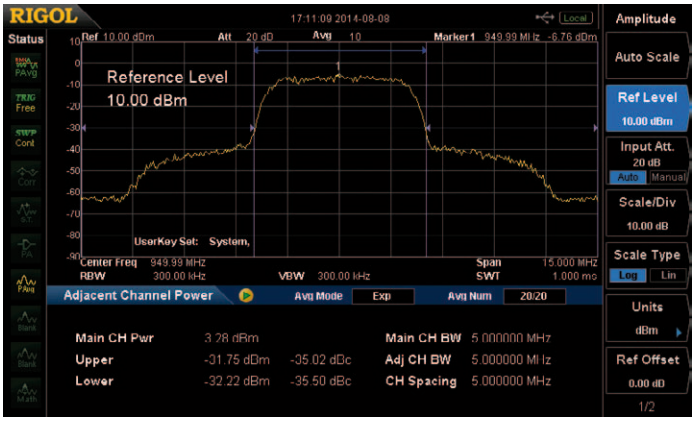


Bild 6: Störung in den Nachbarkanälen durch ACPR