

Optimierung des Vektorfehlers in IQ-Modulatoren

Die EVM, die Error Vector Magnitude, ist ein äußerst wichtiges Qualitätsmerkmal für jede Quelle einer digitalen Modulation. Dieser Bericht zeigt, wie ein Vektorsignal-Analyser dabei hilft, die EVM-Performance von IQ-Modulatoren wie dem LTC5598, einem hochlinearem Direkt-Quadraturmodulator für 5 MHz bis 1,6 GHz, zu verbessern.

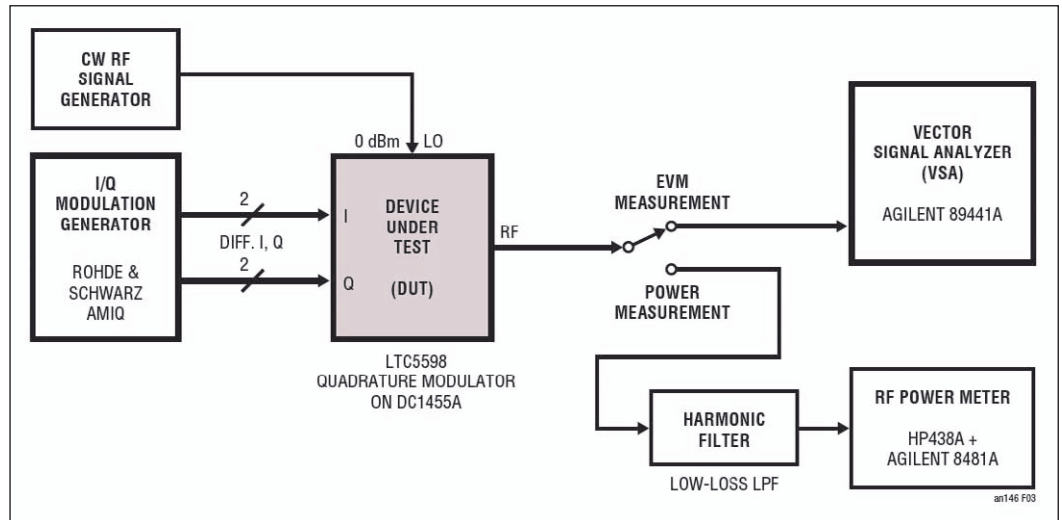


Bild 1: Testaufbau zur Messung der EVM. Das Harmonischenfilter vor dem Leistungsmesser unterdrückt die ursprünglichen Harmonischen für ein genaueres Messergebnis.

Optimierung des Vektorfehlers

Eine Optimierung des Vektorfehlers in IQ-Modulatoren ist deshalb so sinnvoll, weil eine geringe EVM sich über die gesamte Übertragungskette aus Up-Konvertern, Filtern, Leistungsverstärkern, dem Kommunikationskanal und dem Empfänger fortpflanzt, denn all diese Baustufen werden vom Empfangssignal durchlaufen.

Zunächst gilt es, mit einem skalaren Messaufbau die EVM-

Performance zu erfassen. Für diesen Bericht wurde das in Bild 1 skizzierte Test Setup verwendet. Es besteht im Wesentlichen aus:

- LTC5598 (IQ-Modulator) in Linear-Technology-Demonstrationsschaltung DC1455A
- LO mit 0 dBm und 450 MHz
- Basisbandmodulation PN9, Root Raised Cosinus (RRC), Filterung mit $\alpha = 0,35$, Symbol Rate = 1 Msps, 16-QAM (4 Bits/Symbol, Peak-to-Average Ratio 5,4 dB)

- Basisband-Treiber mit $V_{EMF} = 1 = 800$ mV differential (1,15V P-P differential), $V_{BIAS} = 500$ mV
- VSA-Messungsfiter RRC, $\alpha = 0,35$
- VSA-Referenzfilter Root Cosinus (RC)

16-QAM ist ein relativ verbreitetes digitales Modulationsverfahren, mit dem sich überzeugend demonstrieren lässt, welche Modulationsgenauigkeit mit dem LTC5598 erreichbar ist. 16-QAM wird in vielen drahtlosen Kommunikations-

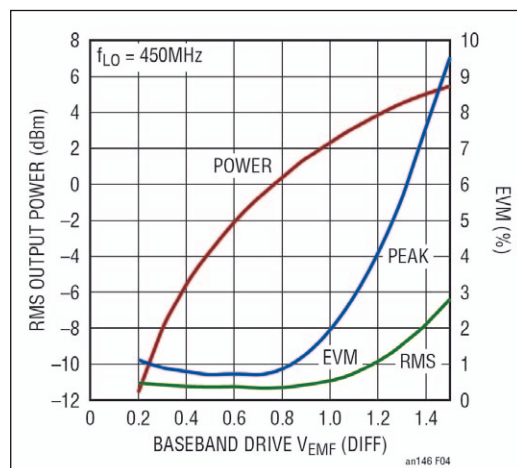


Bild 2: EVM und RMS-Ausgangsleistung über dem IQ-Treiberpegel

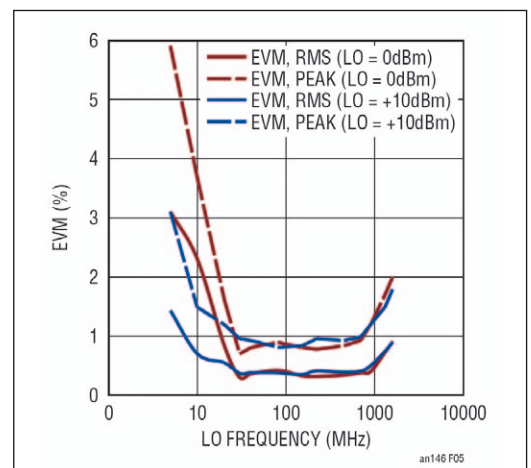


Bild 3: Die LTC5598-EVM über der LO-Frequenz

Quelle:
Optimization of EVM Performance in IQ Modulators
Bruce Hemp and Peter Stroet
Linear Technology Application Note 146, May 2014
frei übersetzt von FS

Tipps für geringste IQ-Modulator-EVM

- Nutzen Sie eine „saubere“ IQ-Basisbandquelle.
- Der IQ-DAC-Takt sollte geringes Phasenrauschen und geringen Jitter aufweisen.
- Sorgen Sie dafür, dass das DAC-Rekonstruktionsfilter nicht über das Basisband hinausreicht.
- Achten Sie darauf, dass die Basisband-IQ-Signalfade hinreichend flache Frequenzgänge besitzen.
- Nutzen Sie einen „sauberen“ LO, denn das LO-Phasenrauschen fügt eine zufälligen Phasenfehler hinzu und erhöht damit die EVM. Diese Art von Fehler kann später nicht mehr beseitigt werden. Außerdem tragen LO-Harmonische zur Erhöhung des Quadratur-Phasenfehlers bei.

systemen genutzt, etwa gemäß den Standards für LTE/LTE-Advanced, HSDPA, EDGE Evo, CDMA2000 EV-DO, Cognitive Radio IEEE 802.22 (TV White Space), PHS und TETRA.

In Bild 4 ist ein typisches EVM-Testresultat dargestellt. Die LTC5598 EVM beträgt hier 0,34% RMS bzw. 0,9% Peak. Nach dem Harmonischenfilter wird eine Leistung von 0,4 dBm für das Signal gemessen. Interessant ist der Vergleich mit einem laborspezifizierten Signalgenerator mit der selben Amplitude, Frequenz und digitalen Modulation; hier werden 0,28% RMS bzw. 0,8% Peak mit dem selben Vektor-Signalanalyse-Setup gemessen. Dies zeigt, dass die LTC5598-Modulationsgenauigkeit fast so gut ist wie die des Test Equipmentts, welches benutzt wurde, um sie zu messen.

Die EVM über dem IQ Drive Level ist durch folgende Punkte gekennzeichnet:

- 16-QAM, 1 Msps, RRC, Raised Cosine, $\alpha = 0,35$ (Peak-to-Average Ratio 5,4 dB)
- $V_{BIAS} = 500 \text{ mV}_{DC}$, LO = 0 dBm

Aus Bild 2 ist ersichtlich, wie die EVM kräftig ansteigt, wenn die Signale an den Basisbandeingängen den Modulatorausgang in die Kompression treiben. Auch ohne einen vektoriiellen Signalanalyzer (Vector Signal Analyzer, VSA) zur Messung der EVM kann dieser Pegel der effektiven

(RMS) Ausgangsleistung in etwa bestimmt werden zu:

8,4 dBm (LTC5598 Output P1dB, typ., 450 MHz) - 5,4 dB (Crest Factor bei 16-QAM im Test) = 3 dBm.

Dieses Maximum ist gleichzeitig ein Durchschnittswert, denn Peaks werden durch die 1-dB-Kompression gemindert. U.a. deswegen ist es auch nur ein grober Anhaltswert. Für komplexere Modulationsverfahren kann 1 dB Kompression zu viel sein, sodass auch der Crest Factor höher ausfällt, was wiederum die maximal mögliche Ausgangsleistung signifikant mindert.

Die EVM ist über der LO-Frequenz unter obigen Testbedingungen gemäß Bild 3 gekennzeichnet. Man sieht darin sehr schön, wie die LTC5598-Modulationsgenauigkeit an den beiden Enden der möglichen IQ-Modulatorfrequenz anzusteigen beginnt. Die EVM ist im mittleren Bereich 30...700 MHz am geringsten. Unter 30 MHz lässt sich die EVM aber durch ein kräftigeres LO-Signal mindern (s. Datenblatt LTC5598).

Bei beiden Extremwerten der LO-Frequenz ist hauptsächlich der Quadratur-Phasenfehler für die schlechte EVM verantwortlich. Er beträgt beispielsweise bei 10 (20, 1600) MHz $3,6^\circ$ ($1,2^\circ$, $-1,2^\circ$). Eine gewisse Unsymmetrie in der IQ-Verstärkung kommt hinzu, bleibt aber mit beispielsweise 0,01 (0,02, 0,05) dB bei 10 (20, 1600) MHz gering. Bei Bedarf ist es mög-

Hintergrund: VSA und EVM

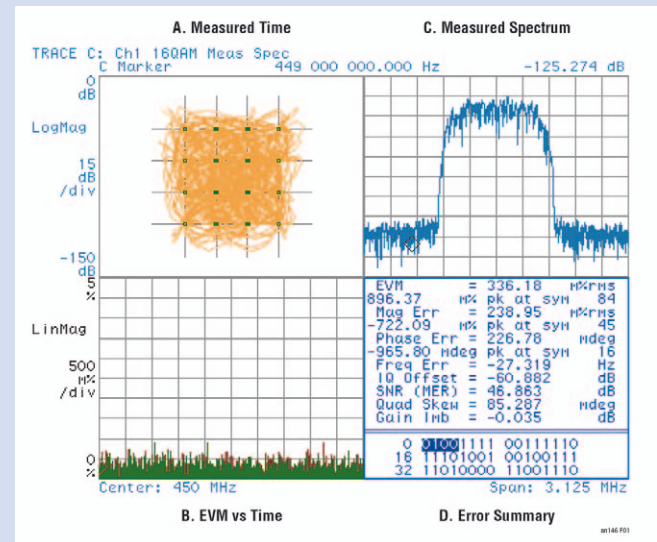


Bild 4: Ein typisches Ergebnis der Messungen am LTC5598. Die EVM wurde zu 0,34% RMS gemessen. Zum Vergleich diente ein Highgrade-Labor-Signalgenerator mit einer EVM von 0,28% RMS.

Die Modulationsgenauigkeit wird oft mit einem Vector Signal Analyzer (VSA) gemessen. Dieser erfüllt im Wesentliche folgende Funktionen:

1. Herabmischen und Digitalisieren des Eingangssignals auf eine bestimmte Center-Frequenz innerhalb einer vorgegebenen Bandbreite. Modulationsart, Symbolrate, Messfilter etc. sind entsprechend gewählt. Diese Angaben gehören zum gemessenen Signal.

2. digitale Demodulation des gemessenen Signals, um den ursprünglichen digitalen Datenstrom rückzugewinnen

3. mathematische Bildung eines idealen Referenzsignals, basierend auf den rückgewonnenen Quelldaten, der Modulationsart etc.

4. Berechnung von Fehlervektoren durch Bestimmung der Differenz zwischen gemessenem Datenvektor und Referenzdatenvektor und Normierung auf den Wert der Signalspitze. Aus diesen gebildeten Fehlervektoren werden Effektivwert und Spitzenwert der skalaren EVM extrahiert.

Im Grunde vergleicht ein VSA also eingespeistes Messsignal mit einem idealen regenerierten Referenzsignal.

lich, einen der beiden Fehler oder beide im Open-Loop-Betrieb im Basisband oder in der Sendekette als Teil der bestehenden Closed-Loop-PA-Predistortion-Entzerrung zu korrigieren. Etwas höhere EVM-Werte werden von einfachen Systemen, wie zum Beispiel von simplen digitalen Modulationsverfahren geringer Ordnung, gut akzeptiert. Abschließend lässt sich feststellen, dass der LTC5598 eine

exzellente Genauigkeit der digitalen Modulation in vielen populären VHF- und UHF-Kommunikationsbändern bietet. In einigen Fällen ist seine EVM vergleichbar mit der eines laborspezifizierten Signalgenerators. Falls gefordert oder gewünscht, lässt sich eine Basisbandkorrektur der Quadratur-Phase und/oder -Verstärkung implementieren, um die Genauigkeit weiter zu steigern. ◀