



テスト済み回路設計集“Circuits from the Lab™”は共通の設計課題を対象とし、迅速で容易なシステム統合のために製作されました。さらに詳しい情報又は支援は <http://www.analog.com/jp/CN0283> をご覧ください。

使用したリファレンス・デバイス

ADL5375	400 MHz～6 GHz のブロードバンド直交変調器
ADL5320	RF ドライバ・アンプ、400 MHz～2700MHz、¼W

IQ 変調器の出力に使用できる固定パワー・ゲイン段

評価および設計サポート環境

回路評価ボード

[ADL5375 評価用ボード \(ADL5375-05-EVALZ\)](#)

設計と統合ファイル

[回路図、レイアウト・ファイル、部品表](#)

回路の機能とその利点

IQ 変調器をダイレクト・コンバージョン・アプリケーションに使用する場合も 1 次中間周波数 (IF) へのアップコンバータとして使用する場合も、一般に IQ 変調器の直後にある程度

のゲインを追加します。IQ 変調器の出力に最初のゲインを与えるための適切なドライバ・アンプを選択する方法について説明します。図 1 に示すデバイスは ADL5375 IQ 変調器と ADL5320 ドライバ・アンプによる回路です。これらはシステム性能レベルが一致している、つまり性能レベルが同等なため、どちらのデバイスも全体の性能を低下させることはありません。これらのデバイスはダイナミック・レンジが一致しているため、デバイス間の減衰器が不要で、IQ 変調器と RF ドライバ・アンプをシンプルに直接接続することが推奨されます。

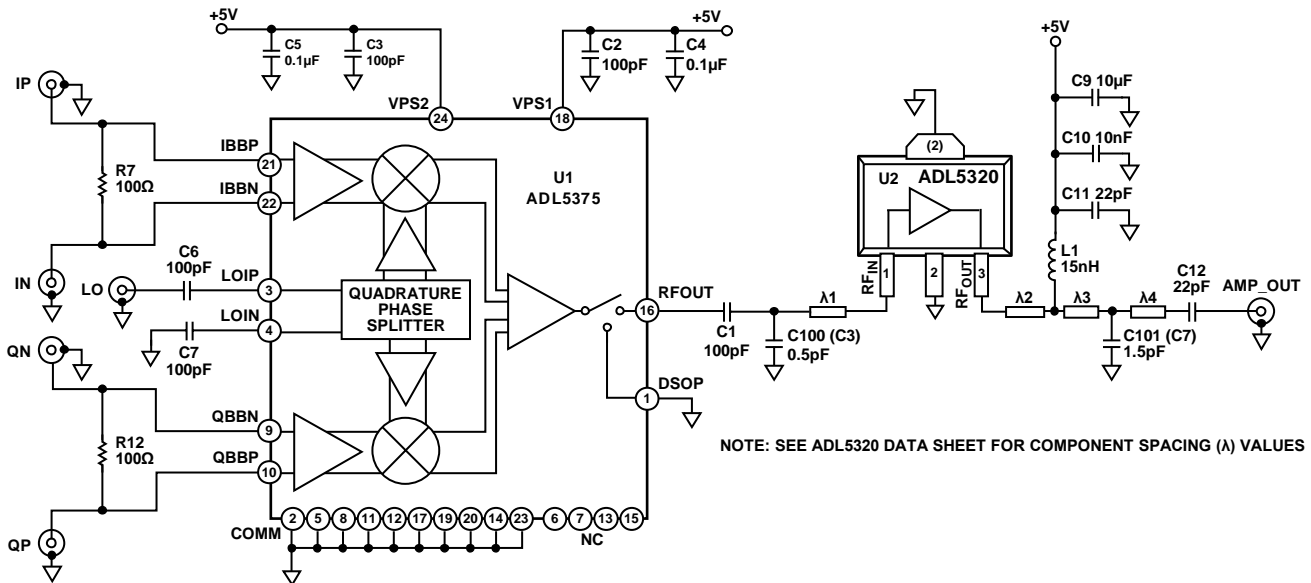


図 1. 出力にパワー・ゲインを備えた IQ 変調器の回路図

アナログ・デバイス社は、提供する情報が正確で信頼できるものであることを期していますが、その情報の利用に関して、あるいは利用によって生じる第三者の特許やその他の権利の侵害に関して一切の責任を負いません。また、アナログ・デバイス社の特許または特許の権利の使用を明示的または暗示的に許諾するものでもありません。仕様は、予告なく変更される場合があります。本紙記載の商標および登録商標は、各社の所有に属します。※日本語資料は REVISION が古い場合があります。最新の内容については、英語版をご参照ください。

回路説明

ADL5375 は高性能の汎用 IQ 変調器で、400MHz～6GHz の出力周波数範囲で動作します。ノイズが小さくベースバンド入力帯域幅が広いので、このデバイスは様々な変調や帯域幅の信号によって駆動することができます。これらの入力信号は DC または複素 IF を中心とすることができます。

ADL5375 の LO (ローカル発振器) インターフェースは IXLO (LO かける 1 倍) タイプ、つまり出力周波数と LO 周波数が等しいタイプです (ベースバンド信号が DC を中心とする場合)。回路ノート CN-0134 に ADL5375 を ADF4350 によって駆動させる方法が記述されています。

システム・レベルの計算と RF アンプの選択

ADL5375 には、1GHz～2GHz の周波数範囲に約 10dBm の出力圧縮ポイント (OP1dB) と約 25dBm の 3 次圧縮ポイント (OIP3) があります。IQ 変調器の後にゲインを与える RF アンプを選択する際には、入力 P1dB と入力 IP3 がこれらの値と等しいかやや大きいデバイスを選択することが重要です。小さい仕様のデバイスを選択するとカスケード接続での性能が低下しますが、逆に入力 P1dB と入力 IP3 が ADL5375 の値よりはるかに大きいデバイスを選択してもその効果はほとんどなく、シグナル・チェーンの総合電源電流が不必要に増加する可能性があります。

ADL5320 は、400MHz～2700MHz の動作で仕様が規定されたドライバ・アンプ (外付け調整部品を必要とする RF アンプ) です。5V 電源での動作時に 104mA を消費します (3.3V での動作も可能。消費電力は減少するが性能が低下)。

ADL5375 IQ 変調器の出力換算の IP3 (OIP3) と P1dB (OP1dB)、ならびに ADL5320 ドライバ・アンプの入力換算の IP3 (OIP3) と P1dB (OP1dB) の 1900MHz における仕様を表 1 に示します。どちらの場合も、IQ 変調器の出力換算の仕様とアンプの入力換算の仕様間に約 3dB の差があります。

表 1. ADL5375 IQ 変調器と ADL5320 ドライバ・アンプの 1900MHz における IP3 と P1dB の仕様

パラメータ	ADL5375 (出力換算)	ADL5320 (入力換算)
IP3	24.2 dBm	28.3 dBm
P1dB	10 dBm	13 dBm

IQ 変調器とドライバ・アンプの 2140MHz におけるカスケード接続性能のシミュレーション結果を、図 2 に示します。このシミュレーションは、ADIsimRF 設計ツールを使って行われました。変調器の OIP3 (24.2dBm) と合成 OIP3 (36.5dBm) との差 12.3dB が ADL5320 ドライバ・アンプのゲイン 13.7dB よりわずかに小さいことに注目してください。これは、ドライバ・アンプが全体の OIP3 に与える影響がごくわずかであることを示しています。

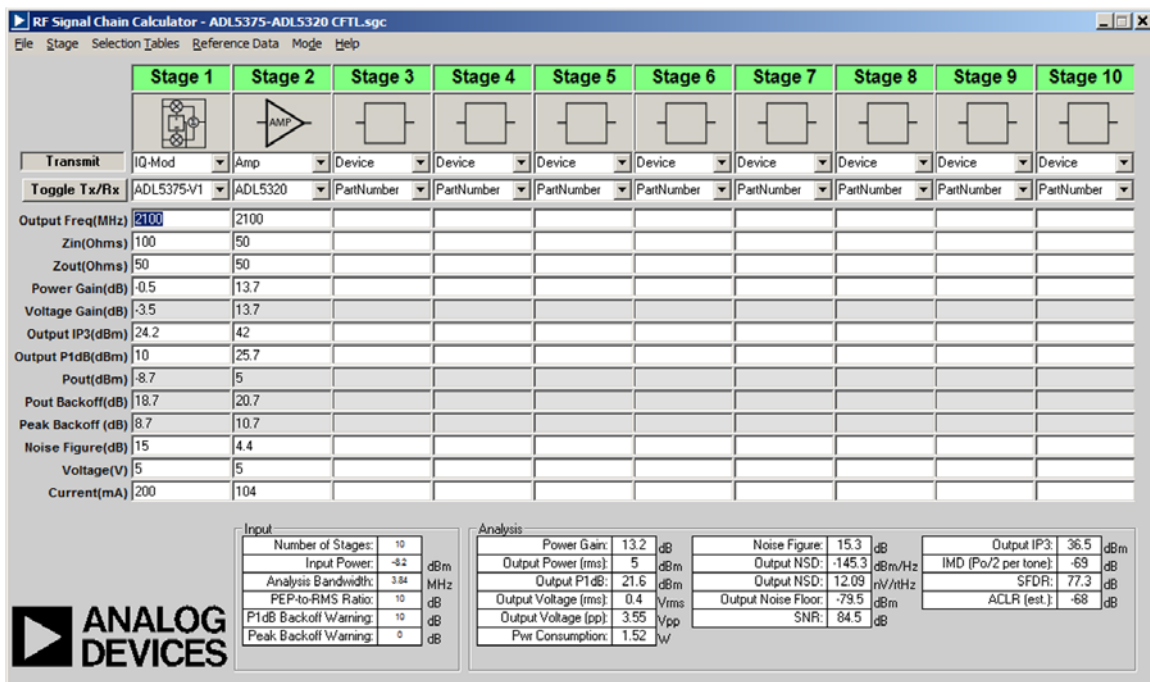


図 2. ADL5375 と ADL5320 のカスケード接続性能を示す ADIsimR 設計ツールの画面例

IQ 変調器の出力と複合回路の出力での出力電力 (P_{OUT}) の測定値に対する OIP3 のプロットを図 3 に示します。2 つの OIP3 のグラフの形状はかなり似ており、出力電力と OIP3 の位置がずれているだけです。これにより、信号が RF アンプを通過したときの IP3 の劣化がほんのわずかであることがわかります。

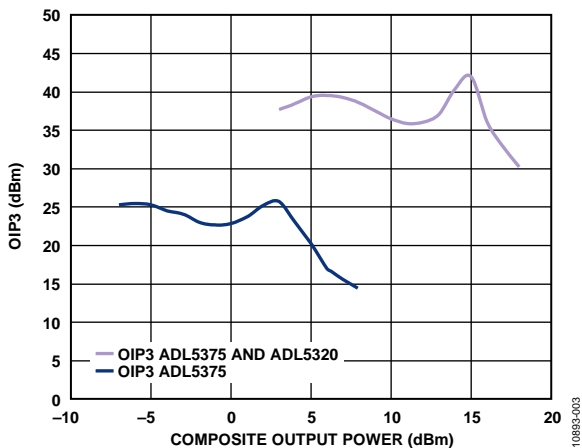


図 3. ADL5375 IQ 変調器と複合回路 (ADL5375 および ADL5320 ライバ・アンプ) の 2100 MHz における P_{OUT} 対 OIP3

出力電力レベルの選択

この回路は最大 15dBm の出力電力レベルに対して 35dBm ~ 40dBm の範囲の OIP3 レベルを実現しますが、これらのレベルまでの動作は特にピーク値と平均値の比が比較的大きくなる傾向がある非コンスタント・エンベロップ変調方式では実用的ではありません。この理由を理解するため、回路の電圧入力から電力出力への伝達関数を調べ、IQ 変調器の入力に有効な標準的駆動レベルを検討します。

CW サイン波の駆動信号を使った出力電力 (単位: dBm) と入力電圧 (単位: V p-p) に関する回路の伝達関数を図 4 に示します。ADL5375 などの IQ 変調器は、一般にデュアル電流出力 D/A コンバータ (DAC) によって駆動されます。通常、DAC の 2 つの電流出力 (公称 0mA ~ 20mA) は 2 本の 50 Ω 抵抗でグラウンドに終端され、I 入力と Q 入力のそれぞれの間に 2 本の 100 Ω シャント抵抗が接続されます (このインターフェースの詳細については回路ノート CN-0205 を参照してください)。0dBFS (フルスケールのスイング) で動作する DAC の場合、この値は 1V p-p (50 Ω \times 20mA) つまり 0.353V rms (DAC と IQ 変調器の間に一般に設置されるローパス・フィルタの挿入損失を無視した場合の値) の IQ 変調器の駆動レベルに相当します。この結果、出力電力は約 13dBm となります。

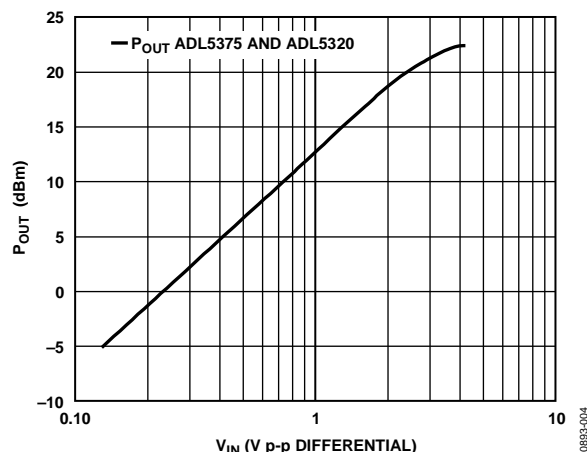


図 4. 出力電力 (単位: dBm) と差動入力レベル (単位: V p-p) に関する回路の伝達関数

前述のように IQ 変調器の I 入力と Q 入力が 100 Ω で終端されると仮定した場合、アナログ・デバイセズの代表的な DAC の dBFS 駆動レベルと比較した出力電力をプロットすることができます (図 5 参照)。これにより、0dBFS の駆動レベルは 1V p-p に相当し、前に説明した 13dBm の出力電力と等しくなります。

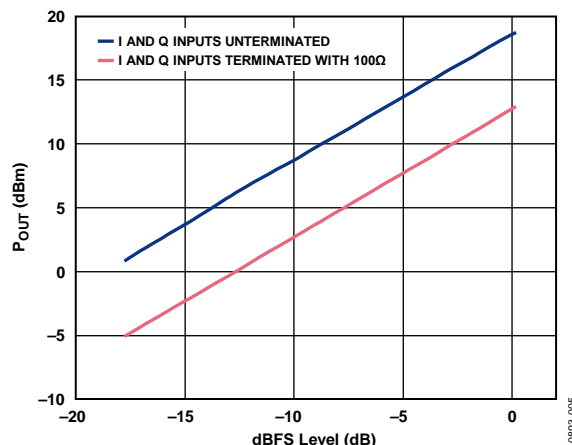


図 5. IQ 変調器の I 入力と Q 入力が 100 Ω で終端された場合と終端されない場合の、出力電力と DAC 駆動レベルに関する回路の伝達関数

図 5 は、I 入力と Q 入力が 100 Ω 抵抗で終端されない場合の回路の伝達関数も示しています。ここで得られる DAC の電圧駆動レベルは 2 倍 (最大 2V p-p) になるので、結果として出力電力は同じ DAC の駆動レベルに対して 6dB だけ大きくなります。

I と Q の終端抵抗がない回路の動作も可能ですが、DAC と IQ 変調器の間に通常設置されるフィルタに何らかの問題を生じます。このフィルタは一般に両端が終端されているので、IQ 変調器の I 入力と Q 入力の間にいくらかの抵抗を接続する必要があります (これらの入力が終端されていない場合入力抵抗は約 60k Ω です)。100 Ω ~ 1000 Ω の範囲の値を使って、得られる DAC 電圧駆動レベルとこれに相当する出力電力を大き

くすることができます。ただし、DAC と IQ 変調器の間のフィルタは、さまざまな信号源インピーダンスや負荷インピーダンスに対応できるように注意して設計する必要があります。

図 4 と図 5 で示したように、1V p-p (0dBFS) のサイン波は約 13dBm の出力電力となることが分かります (I 入力 と Q 入力を 100Ω で終端)。実際には、歪みを低減するため、DAC の駆動レベルは 0dBFS からわずかに小さくする必要があります (通常、-1dB ~ -2dB)。これに加え、rms 駆動レベルもキャリアの変調のピーク値と平均値の比に等しい値だけ小さくする必要があります。ピーク電力 (PEP) と rms 電力の比は通常、QPSK のような変調方式での 5dB (変調が一定のエンベロープの特殊ケースでは 0dB) から高次の QAM ベースの変調での約 10dB までの範囲です。図 6 のグラフから、0dBm ~ 10dBm の範囲の出力電力レベルを実現可能なことが分かります。

シングル・キャリアの広帯域符号分割多元接続 (WCDMA) 信号の隣接チャンネル電力比 (ACPR) は、回路のシステム・レベルの歪みを査定するための一般的な測定基準になっています (これは、単に IP3 や IMD のレベルに基づいた査定に代わるものです)。出力電力レベルに対する回路の ACPR の測定値を図 6 に示します。WCDMA 信号の場合、ACPR はキャリア (3.84MHz の帯域幅) の電力と隣接チャンネル (チャンネル間隔 = 5MHz) の電力の比として定義され、3.84MHz の帯域幅で測定されます。このプロットでは代替チャンネル電力比も示しています。これは同じタイプの測定ですが、10MHz のキャリア・オフセットでの測定です。

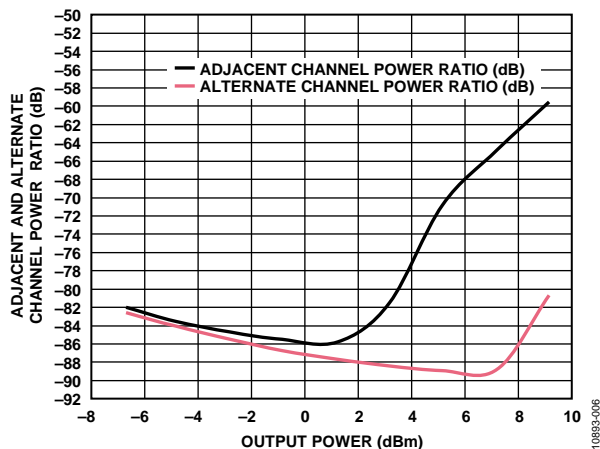


図 6. 出力電力対 OIP3 および WCDMA の ACPR のプロット

この場合、信号の PEP と rms の比は約 10dB です (WCDMA 信号のピーク値と平均値の比はキャリアの構成と負荷によって変わる可能性があります)。このプロットと ACPR の必要なレベルに基づき、0dBm ~ 10dBm の範囲の出力電力レベルを選択します。0dBm 未満の電力レベルでは、ACPR は回路の SN 比の低下によって決まるようになります。

バリエーション回路

ADL5320 ドライバ・アンプは、400MHz ~ 2.7GHz で動作する仕様になっています。このデバイスは ADL5375 IQ 変調器の規定周波数範囲の下限に適切に対応します。2.3GHz ~ 4GHz の範囲の周波数での動作には、ADL5321 ドライバ・アンプを推奨します。ADL5320 と ADL5321 のどちらもデバイスが動作する周波数に外部部品で調整する必要があります。どちらのデバイスのデータシートにも、一般的な動作周波数に調整するための部品の推奨値を記載した表が含まれています。

また、ADL5601 や ADL5602 などの内部マッチングされた広帯域ゲイン・ブロックを使って、IQ 変調器の出力にゲインを与えることもできます。ただし、これらのデバイスは ADL5320 や ADL5321 よりも OIP3 が小さいので、これらが支配的になり回路全体の IP3 を低下させる傾向があります。

動作周波数範囲でより高い性能を実現するいくつかの狭帯域 IQ 変調器も利用可能です。例として、ADL5370/ADL5371/ADL5372/ADL5373/ADL5374 などがあります。これらの狭帯域デバイスは ADL5375 に比べてより大きなゲインと OIP3 を実現します。ADL5320 と ADL5321 のドライバ・アンプを組み合わせる場合、最終的に合成 OIP3 が同等で総合出力電力が大きくなります。

狭帯域 IQ 変調器の ADRF6701/ADRF6702/ADRF6703/ADRF6704 ファミリーは、フェーズロック・ループ (PLL) と電圧制御発振器 (VCO) を内蔵しています。これらのデバイスは ADL5370/ADL5371/ADL5372/ADL5373/ADL5374 ファミリーと同じ性能を実現する一方で、集積レベルが高くなっています。

IQ 変調器の I 入力 と Q 入力を駆動するいくつかのオプションがあります。AD9125 と AD9122 は 16 ビット・デュアル DAC で、それぞれ 1GSPS と 1.2GSPS で動作します。これらのデバイスは、ベースバンド・スペクトル (0Hz が中心) または標準 100MHz ~ 200MHz の範囲の複素 IF スペクトルの生成に使用することができます。

回路の評価とテスト

この回路は、ADL5320 ドライバ・アンプを搭載した ADL5375 評価ボード (ADL5375-05-EVALZ) を使って実現しました。このボードは、IQ 変調器の出力信号を供給するか、または変調器とアンプの合成信号を供給するように設定することができます。このボードのデフォルト設定は変調器とアンプの合成出力で、アンプは 1800MHz~2200MHz の範囲で動作するように調整されます。すでに説明したように、ADL5320 のデータシートには他の周波数に対応する調整用コンデンサの値と配置が記載されています。

必要な装置

以下の装置が必要です。

- ADL5375 評価ボード (ADL5375-05-EVALZ)
- 2 台の RF 信号発生器 : Agilent 8648C または相当品 (25MHz と 26MHz で動作)
- RF 信号発生器 : Agilent 8648C または相当品 (約 2GHz で動作)
- RF スペクトル・アナライザ : Rohde & Schwarz FSIQ、Rohde & Schwarz FSQ、Agilent PSA または相当品
- ZFSC-2-2-S と 180°電力分配器/結合器のセット (Mini-Circuits 社製)
- ZMSCQ-2-50 と 90°電力分配器のセット (Mini-Circuits 社製)
- 2 個の ADT2-1T 1:2 パラン (Mini-Circuits 社製)
- 4 セットの ZFBT-6GW-FT とバイアス・ティー (Mini-Circuits 社製)

セットアップとテスト

IP3 のテストと電力掃引テストに使用したテスト・セットアップを図 7 に示します。25MHz と 26MHz で動作する 2 台の RF 信号発生器からの信号は、入力間の絶縁が良好なパッシブの 180°位相分配器/結合器を使って結合されます。次いで、2 トーンの信号が 25MHz~50MHz で動作する仕様の 90°位相分配器に加えられます。この位相分配器の出力は次に 2 個の 1:2 トランスに加えられ、差動出力信号が生成されます (位相分配器の 0°の出力は IQ 変調器の IP 入力と IN 入力に加える必要があります)。これらの差動信号は信号を 0.5V にバイアスする 4 つのバイアス・ティーに加えられます。ボードの回路網は 2 本の 100Ω 抵抗によって終端します (これらの抵抗のパッドは ADL5375 評価ボードに備えられています)。

ADL5375 用の局部発振器 (LO) は 0dBm を発生する 3 つ目の信号発生器が担当します。最終の出力周波数は入力 RF 信号周波数と LO 周波数の差に等しい値です。したがって、2 トーン信号が 25MHz と 26MHz で LO が 2150MHz の場合、出力スペクトルは 2124MHz と 2125MHz に現れます。

この回路は、ADL5375 IQ 変調器を搭載した AD9122 デュアル DAC 評価ボード (AD9122-M5375-EBZ) を使って実現することもできます。この場合、ADL5375 IQ 変調器の出力をスタンドアロンの ADL5320 評価ボード (ADL5320-EVALZ) に接続します。この方法の利点は、バイアス・ティー、位相分配器、トランスを必要とすることなく、DAC が適切にバイアスされた差動信号を生成することです。

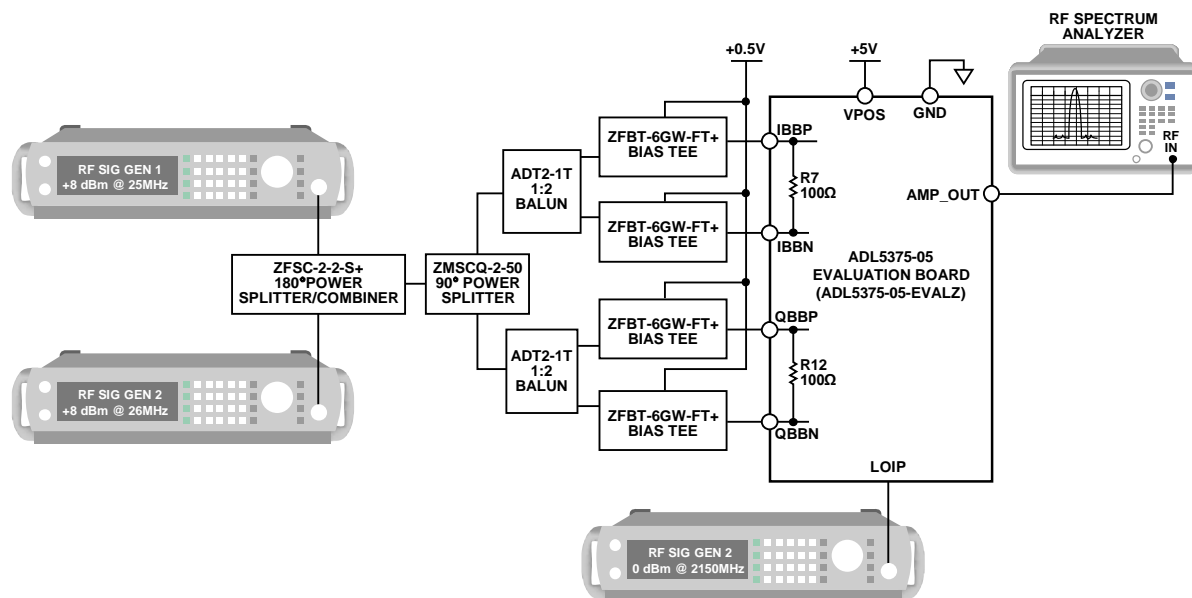


図 7. IP3 のテストと電力掃引用の測定セットアップ

10893-007

さらに詳しい資料

CN0283 Design Support Package :

<http://www.analog.com/CN0283-DesignSupport>

Nash, Eamon, Correcting Imperfections in IQ Modulators to Improve RF Signal Fidelity, Application Note AN-1039, Analog Devices

ADIsimRF Design Tool

Circuit Note CN-0016 : I/Q モジュレータ ADL5370 と、デュアル・チャンネル、1GSPS 高速 D/A コンバータ AD9779A とのインターフェース回路

Circuit Note CN-0017 : I/Q モジュレータ ADL5371 と、デュアル・チャンネル、1GSPS 高速 D/A コンバータ AD9779A とのインターフェース回路

Circuit Note CN-0018 : I/Q モジュレータ ADL5372 と、デュアル・チャンネル、1GSPS 高速 D/A コンバータ AD9779A とのインターフェース回路

Circuit Note CN-0019 : I/Q モジュレータ ADL5373 と、デュアル・チャンネル、1GSPS 高速 D/A コンバータ AD9779A とのインターフェース回路

Circuit Note CN-0020 : I/Q モジュレータ ADL5374 と、デュアル・チャンネル、1GSPS 高速 D/A コンバータ AD9779A とのインターフェース回路

Circuit Note CN-0021 : I/Q モジュレータ ADL5375 と、デュアル・チャンネル、1GSPS 高速 D/A コンバータ AD9779A とのインターフェース回路

Circuit Note CN-0070 : Precise Control of I/Q Modulator Output Power Using the ADL5386 Quadrature Modulator and the AD5621 12-Bit DAC, Analog Devices.

Circuit Note CN-0134 : ブロードバンド、低誤差のベクトル・マグニチュード (EVM) ダイレクト・コンバージョン・トランスミッタ

Circuit Note CN-0140 : High Performance, Dual Channel IF Sampling Receiver, Analog Devices.

Circuit Note CN-0144 : 1/2 にデバインドされた LO を用いた、ブロードバンド、低誤差のベクトル・マグニチュード (EVM) ダイレクト・コンバージョン・トランスミッタ

Circuit Note CN-0205 : Interfacing the ADL5375 I/Q Modulator to the AD9122 Dual Channel, 1.2 GSPS High Speed DAC, Analog Devices.

Circuit Note CN-0243 : High Dynamic Range RF Transmitter Signal Chain using Single External Frequency Reference for DAC Sample Clock and IQ Modulator LO Generation, Analog Devices.

Circuit Note CN-0245 : 簡単に直交復調器と接続できる広帯域 LO PLL シンセサイザ

データシートと評価ボード

ADL5375 評価ボード (ADL5375-05-EVALZ)

ADL5320 評価ボード (ADL5320-EVALZ)

AD9122 評価ボード (AD9122-M5375-EBZ)

ADL5375 データシート

ADL5320 データシート

改訂履歴

9/12—Revision 0: 初版

「Circuits from the Lab/実用回路集」はアナログ・デバイセズ社製品専用で作られており、アナログ・デバイセズ社またはそのライセンスの供与者の知的所有物です。お客さまは製品設計で「Circuits from the Lab/実用回路集」を使用することはできますが、その回路例を利用もしくは適用したことにより、特許権またはその他の知的所有権のもとでの暗示的許可、またはその他の方法でのライセンスを許諾するものではありません。アナログ・デバイセズ社の提供する情報は正確でかつ信頼できるものであることを期しています。しかし、「Circuits from the Lab/実用回路集」は現状のまま、かつ商品性、非侵害性、特定目的との適合性の暗示的保証を含むがこれに限定されないいかなる種類の明示的、暗示的、法的な保証なしで供給されるものであり、アナログ・デバイセズ社はその利用に関して、あるいは利用によって生じる第三者の特許権もしくはその他の権利の侵害に関して一切の責任を負いません。アナログ・デバイセズ社はいつでも予告なく「Circuits from the Lab/実用回路集」を変更する権利を留保しますが、それを行う義務はありません。商標および登録商標は各社の所有に属します。

©2015 Analog Devices, Inc. All rights reserved. 商標および登録商標は各社の所有に属します。