



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 www.analog.com/jp/CN0534 をご覧ください。

接続または参考にしたデバイス	
HMC717A	GaAs、pHEMT、MMIC、低ノイズ・アンプ、4.8GHz～6.0GHz
ADL5904	エンベロープ閾値検出機能を備えた DC～6GHz、45dB Tru パワー・ディテクタ
HMC802A	GaAs MMIC で構成された、1 ビットのデジタル正電圧で制御可能な 20dB 減衰器、SMT、DC～10GHz
LTC6991	TimerBlox：リセット可能な低周波数発振器
LT8335	2A、28V スイッチを内蔵した低静止電流の昇圧/SEPIC/反転コンバータ
ADM7150	800mA、超低ノイズ／高 PSRR LDO
LT3042	超低ノイズ、150mA、CMOS リニア電圧レギュレータ

出力電力保護機能を備えた USB 駆動 5.8GHz RF LNA レシーバー

評価と設計支援

- ▶ 回路評価用ボード
 - ▶ [CN0534 回路評価用ボード \(EVAL-CN0534-EBZ\)](#)
- ▶ 回路評価用ボード
 - ▶ [回路図、PCB レイアウト・データ、部品表](#)

回路の機能とその利点

国際電気通信連合 (ITU) は、工業、科学、および医療 (ISM) 用に世界中で免許なしで使用できる無線周波数を 5.8GHz 帯に割り当てています。ワイヤレス技術と規格における進歩、および最小限の規制コンプライアンス要件によって、この周波数帯域は短距離ワイヤレス通信システム向けに普及してきています。

5.8GHz 帯は、多くのチャンネル数と広い帯域幅が利用できることから、短距離デジタル・コミュニケーション・アプリケーション (WiFi など) に適しています。伝送範囲は 2.4GHz 帯と比べて短いものの、150MHz の帯域幅が確保されているため、最大 23 の WiFi チャンネルが重なることなく収容できます。更に一般的には、ソフトウェア無線、ワイヤレス・アクセス・ポイント、公共安全無線、ワイヤレス・リピータ、フェムトセル、

およびマイクロ波アクセス (WiMAX) /4G の基地局 (BTS) インフラ向けのロング・ターム・エボリューション (LTE) /世界規模の相互運用性などに使用されています。

この設計は、小型のフットプリントに高ゲイン、堅牢な過電力監視機能、および保護機能をすべて備えており、低い信号強度や距離が問題になることがあるすべての ISM バンドのアプリケーションに大きな付加価値を提供します。

図 1 に示す回路は、ゲインが+23dB の高性能 RF レシーバー・システムで、中心周波数 5.8GHz で動作するように最適化されています。入力にはフィルタがないため、2dB のノイズ指数が維持されます。一方、出力のバンドパス・フィルタが帯域外の干渉を減衰させます。

この回路は、レシーバー・システムに接続された下流の過電力に弱い装置を保護するために、高速の過電力ディテクタおよびスイッチを搭載しています。RF 電力レベルが許容可能な範囲内に低下したときは、レシーバー・システムも自動的に通常動作に戻ります。RF の入出力は SMA 規格のコネクタを介して行われ、設計全体には 1 個のマイクロ USB コネクタから給電されます。

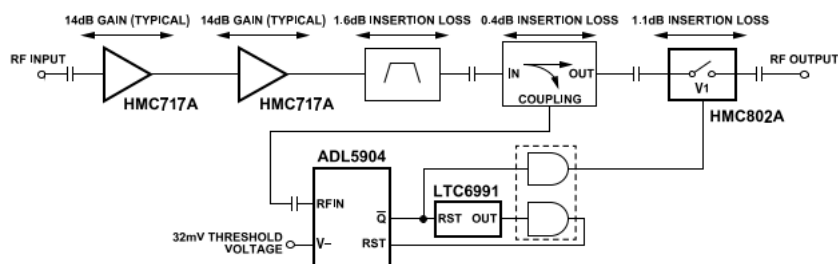


図 1. EVAL-CN0534-EBZ の簡略ブロック図

アナログ・デバイセズ社は、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・デバイセズ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、それぞれの所有者の財産です。※日本語版資料は 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。

Rev. 0

©2021 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

アナログ・デバイセズ株式会社

本社／〒105-6891 東京都港区海岸 1-16-1 ニューピア竹芝サウスタワービル 10F
電話 03 (5402) 8200
大阪営業所／〒532-0003 大阪府大阪市淀川区宮原 3-5-36 新大阪トラストタワー 10F
電話 06 (6350) 6868
名古屋営業所／〒451-6038 愛知県名古屋市中区牛島町 6-1 名古屋ルーセントタワー 38F
電話 052 (569) 6300

回路の説明

RF 低ノイズ・アンプ (LNA)

HMC717A は、ガリウム・ヒ素 (GaAs)、擬似格子整合型高電子移動度転送トランジスタ (PHEMT)、モノリシック・マイクロ波集積回路 (MMIC) で構成された LNA であり、ISM、MC-GSM、W-CDMA、TD-SCDMA などの様々な信号通信プロトコルを対象として 4.8GHz~6.0GHz で動作するバックエンド・レシーバーに最適です。

図 2 に示すように、HMC717A のゲインは RF 動作帯域を通じて 14.5dB です。ノイズ指数は 1.1dB です。また、アンプには 5V 単電源から給電されて合計で 68mA の電源電流が流れます。全体のゲインを 23dB にするため、2 個の HMC717A アンプがカスケード接続されています。HMC717A は、ノイズ指数が 1.1dB、3 次インターセプト・ポイント (IP3) が 27dBm、圧縮ポイント (P1dB) が 15dBm であるため、LNA の初段および中間のゲイン段の両方に適しています。

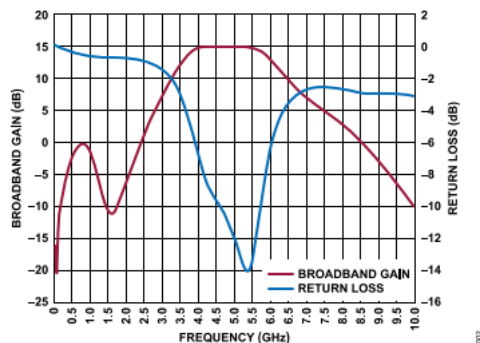


図 2. HMC717A の広帯域ゲイン (S21) とリターン・ロス (S11) の周波数特性

LNA のインピーダンス・マッチング

HMC717A の RFIN ピン (2 番ピン) と RFOUT ピン (11 番ピン) は、図 3 に示すように、4.8GHz~6.0GHz の周波数範囲で公称インピーダンスが 50Ω のシングルエンドであるため、HMC717A はインピーダンス・マッチング回路を付加することなく 50Ω の終端システムに直接インターフェースできます。

RFOUT には DC 阻止コンデンサが内蔵されているため、2 段目にコンデンサを外付けする必要がありません。また、マッチング回路を外付けすることなく、複数の HMC717A アンプを連続してカスケード接続できます。初段の RFIN にのみ、1.2pF のコンデンサで AC カップリングする必要があります。

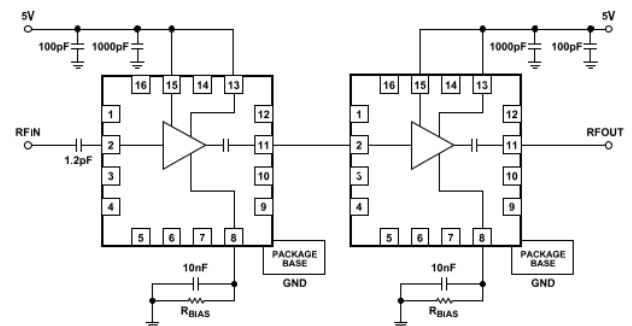


図 3. HMC717A アンプの基本的なカスケード接続

バンドパス・フィルタ

LNA 出力は、バンドパス・フィルタによってフィルタリングされます。図 4 により、フィルタの通過帯域は 5400MHz~6400MHz であり、中心周波数 5.8GHz で、リターン・ロスが 14.7dB (代表値)、挿入損失が 1.6dB であることが分かります。

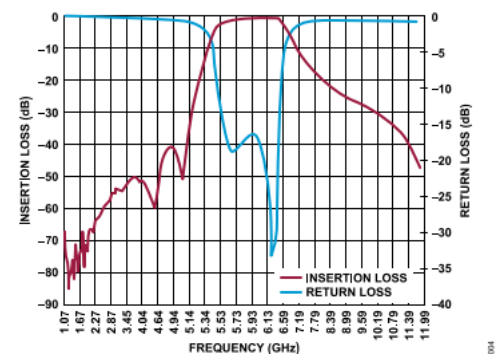


図 4. バンドパス・フィルタの挿入損失 (S21) とリターン・ロス (S11) に関する代表的な電気性能

過電力保護

過電力に弱い回路は、比較的低い電力レベルで損傷する場合があります。例えば、AD9363 トランシーバーの RF 入力 of 絶対最大電力レベルは +2.5dBm です。CN0534 は、図 5 に示すように、過電力保護機能を搭載しています。この保護機能では、電力レベルが許容範囲内に低下した場合に、回路が自動的にリセットされるようになっています。

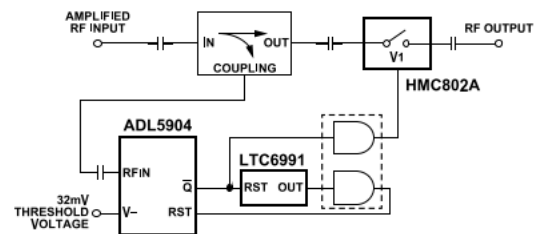


図 5. RF アッテネータとパワー・ディテクタによる保護機能のブロック図

回路の説明

RF パワー・ディテクタと自動リトライ回路

ADL5904 は、DC~6GHz で動作する RF パワー・ディテクタです。ADL5904 の入力には、470nF の AC カップリング・コンデンサと、広帯域の入力マッチングを取るための 82.5Ω のシャント抵抗を外付けすることを推奨します。ADL5904 は、内部の RF エンベロープ・ディテクタとユーザ定義の入力電圧を使用し、RF 入力電力レベルに基づいてプログラム可能な閾値検出機能を実現します。RF エンベロープ・ディテクタからの電圧が、VIN-ピンのユーザ定義のスレッシュホールド電圧を超えると、内部のコンパレータはフリップ・フロップへのイベントをラッチします。RF 入力信号が、ユーザがプログラムした閾値を超えてから、出力がラッチされるまでの応答は 12ns という極めて短い時間で行われます。リセット・パルスが RST ピンに印加されるまで、ラッチされたイベントはフリップ・フロップに保持されます。

CN0534 上のバンドパス・フィルタ出力の電力レベルが、結合係数が+13dB である統合化薄膜結合器によってサンプリングされ、ADL5904 の RFIN ピンに送られます。ADL5904 の VIN-ピンの閾値レベルは、抵抗分圧器によって約 32mV の値に設定されます。この閾値レベルは、ADL5904 のデータシートに示されているように、5.8GHz のときに補正なしで動作している場合の閾値電力 (-9dBm) に相当します。結合器の損失と、減衰が 0dB 状態の RF アッテネータの損失を組み合わせると、出力は過電力に弱いデバイスに対して安全なレベルに保たれます。

高精度の過電力閾値が必要な場合は、複数の周波数で簡単なキャリブレーション・ルーチンを実行して、システム内のデバイスのばらつきを補償することができます。キャリブレーション・ルーチンの詳細については、ADL5904 のデータシートを参照してください。

ADL5904 の Q 出力は、通常動作時に LTC6991 のプログラム可能な低周波タイマーをリセット状態に保持します。過電力イベントが発生すると、LTC6991 はイネーブルされ、4ms の遅延が始まります。4ms 経過後、ADL5904 はリセットされ、電力レベルが効率的に再度サンプリングされます。過電力状態が持続した場合、ADL5904 は再度作動し、アッテネータが -20dB の状態に保持されます。電力レベルが再度サンプリングされたとき、-20dB の状態が継続的に維持されるように、アッテネータ制御信号が遅延されます。過電力状態が収まると、図 6 に示すように、アッテネータは 0dB の状態に戻り、通常動作が再開されます。

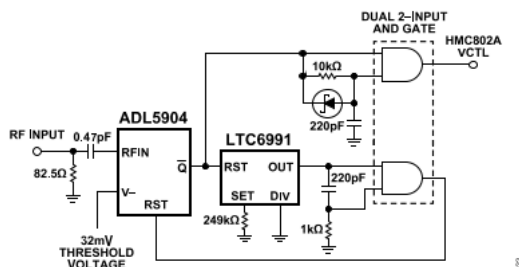


図 6. 自動リトライ回路の機能ブロック図

RF アッテネータ

HMC802A は、広帯域双方向の 1 ビット GaAs IC デジタル・アッテネータです。このデバイスは、バイパス・モード時の 5.8GHz での挿入損失が 1.5dB と低く、イネーブル時の減衰量が $20\pm0.6\text{dB}$ と高精度になっています。5V 単電源で動作させた場合、

IP3 は +55dBm になります。また、減衰制御信号は CMOS/TTL 互換です。RF スイッチは、一般的に過電力保護アプリケーションで使用されますが、5.8GHz のときに HMC802A を使用して 20dB 減衰させた状態は、ほとんどの RF スイッチをオフにしたアイソレーション状態よりも優れています。

図 7 に示すデバイス性能において、バイパス・モード時の代表的な挿入損失が、中心周波数 5.8GHz で 1.5dB であることが分かります。図 8 において、減衰モード時のアイソレーションが、中心周波数 5.8GHz で -20.5dB であることが分かります。

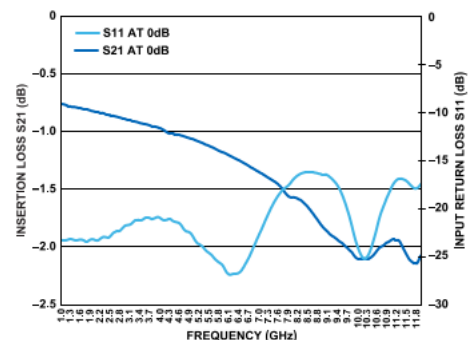


図 7. HMC802A のバイパス・モード時の代表的な挿入損失と入力リターン・ロスの性能

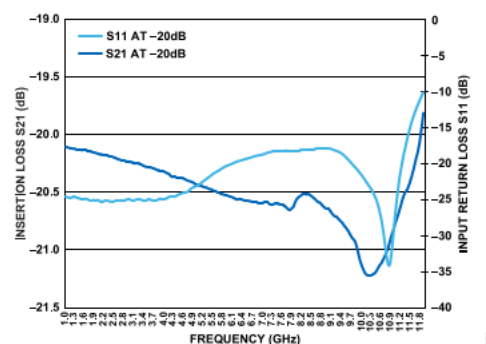


図 8. HMC802A の減衰モード時の代表的な挿入損失と入力リターン・ロスの性能

バンドパス・フィルタ、結合器、および RF アッテネータでの挿入損失を組み合わせると、中心周波数 5.8GHz での全体の挿入損失は、通常動作状態の RF アッテネータ出力で約 3dB になり、減衰モードで動作時に約 21.5dB になります。

保護結果

過電力保護機能は、図 9 に示すセットアップを使用してテストしました。RF 信号発生器の出力周波数を 5.8GHz に設定し、CN0534 に入力する電力を -30dBm から -20dBm に増加しました。CN0534 の出力電力を ADL6010 高速エンベロープ・ディテクタでモニタし、過電力イベントから出力電力が減衰するまでの応答時間を正確に測定しました。

回路の説明

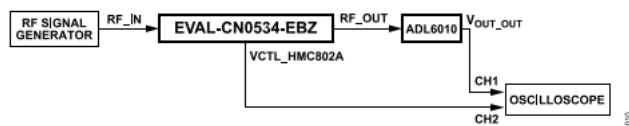


図 9. RF 過電力応答テストの簡略ブロック図

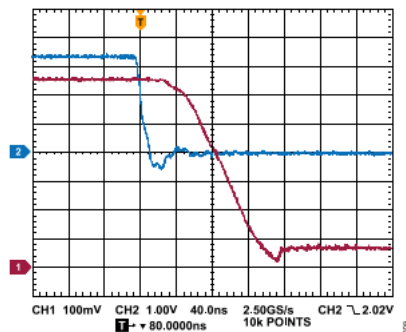


図 10. 代表的な過電力保護の応答時間

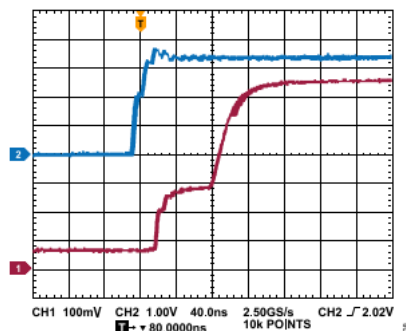


図 11. 過電力保護状態後の代表的な回復時間

過電力保護機能が作動すると、ディテクタのラッチは周波数 250Hz でリセットされます。また、出力電力が 2.5dBm 未満まで低下すると、出力スイッチはイネーブルされます。過電力状態が続いている場合に、スイッチのイネーブル信号が絶対にアサートされないようにするために、このイネーブル信号は遅延されます。両方の結果は、図 10 と図 11 で確認できます。

USB パワー・マネージメント

昇圧コンバータ

図 12 に EVAL-CN0534-EBZ のパワー・ツリーを示します。このパワー・ツリーでは、マイクロ USB ジャックから 5V 電源が供給されて 1.1W の電力が消費されます。



図 12. CN0534 システムのパワー・アーキテクチャ

LT8335 は、電流モード DC/DC コンバータであり、1 本の帰還ピンを使用して、正または負の出力電圧を生成できます。このデバイスは、昇圧、SEPIC、または反転コンバータとして構成可能で、消費される静止電流はわずか 6μA です。低リップルの Burst Mode 動作により、非常に少量の出力電流まで高い効率を維持できると同時に、代表的なアプリケーションにおいて出力

リップルを 15mV 未満に維持できます。内部で補償される電流モード・アーキテクチャにより、広い範囲の入力電圧および出力電圧にわたって安定した動作が得られます。ソフトスタート機能と周波数フォールドバック機能が内蔵されているため、起動時にインダクタ電流が制御されます。5.6V の出力を得る場合に、LT8335 の構成に必要な基本的な接続を図 13 に示します。

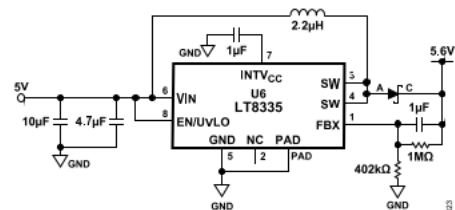


図 13. 5.6V の出力を得る場合の LT8335 のブロック図

出力電圧は、出力と FBX ピンの間に抵抗分圧器を接続することで設定されます。式 1 に従って、正の出力電圧を得るための抵抗値を選択します。

$$R1 = R2 \times \left(\frac{V_{out}}{1.6} - 1 \right) \quad (1)$$

超低ノイズ・リニア電圧レギュレータ

ADM7150 (超低ノイズ、高 PSSR、RF リニア電圧レギュレータ) からの 5V 出力は、HMC717A のゲインを最大限に高めるために使用されます。

ADM7150 は低ドロップアウト・リニア電圧レギュレータであり、固定出力電圧オプションの場合に、100Hz~100kHz で 1.0μV rms (代表値) の出力ノイズを実現し、また図 14 に示すように、10kHz より高い周波数で 1.7nV/√Hz 未満のノイズ・スペクトル密度を実現します。

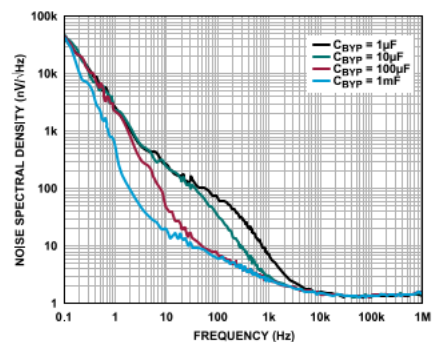


図 14. 様々なバイパス容量 (CBYP) でのノイズ・スペクトル密度の周波数特性

ADP150 は、パワー・ディテクタと自動リトライ回路用の 3.3V を生成するために使用されます。図 15 に示すように、このデバイスは高性能の低ドロップアウト・リニア電圧レギュレータであり、電源ノイズの影響を受けやすい RF アプリケーション向けに、超低ノイズと超高 PSRR を実現するアーキテクチャを備えています。

回路の説明

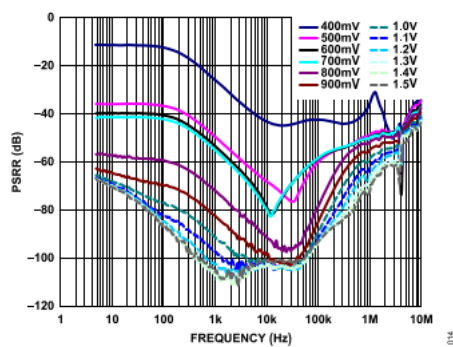


図 15. ADP150 における PSSR の周波数特性

バリエーション回路

より広い動作帯域幅が必要な場合は、RF LNA の代替品として HMC8411 を使用できます。HMC8411 は、0.01GHz~10GHz で動作する低ノイズで広帯域のアンプです。このデバイスは、15.5dB（代表値）のゲイン、1.7dB（代表値）のノイズ指数、および 34dBm（代表値）の出力 3 次インターセプト（OIP3）を実現し、5V の電源電圧から必要とする電流はわずか 55mA です。HMC8411 は、内部で 50Ω に整合した入出力も備えているため、表面実装技術（SMT）ベースの大容量マイクロ波無線のアプリケーションに最適です。

RF スイッチの代替品として、HMC550A を使用できます。このデバイスは、低挿入損失と低消費電流が要求されるアプリケーションで使用される低価格の単極単投（SPST）フェイルセーフ・スイッチです。これらのデバイスは、DC~6GHz の信号を

制御でき、特に、RFID、ISM、オートモーティブ、バッテリー駆動タグ、携帯機器等の IF および RF のアプリケーションに最適です。

エンベロープ・ディテクタについては、ADL6010 が代替品になります。このデバイスは、検出範囲が 45dB、周波数範囲が 0.5GHz~43.5GHz である高速応答のエンベロープ・ディテクタです。ADL6010 は、マイクロ波帯域をカバーする汎用の広帯域エンベロープ・ディテクタです。このデバイスはシンプルで使い易い 6 ピン構成で、消費電力が非常に低い（8mW）ことが特長です。出力は、無線周波数（RF）入力信号の瞬時振幅に比例したベースバンド電圧です。このデバイスは 0.5GHz~43.5GHz の範囲で、RF 入力からエンベロープ出力への伝達関数のスロープ変化を最小限に抑えます。

回路の評価とテスト

以下のセクションでは、CN0534 の性能を評価するための全体的なテスト・セットアップについて説明します。詳細については、CN0534 User Guide を参照してください。

必要な装置

- ▶ EVAL-CN0534-EBZ リファレンス設計ボード
- ▶ RF 信号源 (R&S® SMA100B)
- ▶ 信号源アナライザ (Keysight E5052B SSA)
- ▶ ネットワーク・アナライザ (Keysight N5242A PNA-X)
- ▶ SMA - SMA ケーブル
- ▶ マイクロ USB - USB 変換ケーブル
- ▶ 5V AC/DC USB 電源アダプタ

テスト・セットアップ

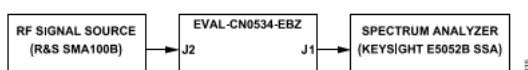


図 16. 位相ノイズと SFDR 測定用のテスト・セットアップのブロック図

図 16 に示すセットアップで位相ノイズと SFDR を測定するには、以下の手順を実行します。

1. 信号源に対して、以下のように測定の設定を行います。
 - ▶ SFDR の測定では、中心周波数を 5.8GHz、周波数範囲を 5.79GHz~5.81GHz、および RF 振幅を 10dBm に設定します。
 - ▶ 位相ノイズの測定では、中心周波数を 5.8GHz、オフセット周波数範囲を 10Hz~30MHz に設定します。信号源アナライザのデータシートに記載されている最大入力レベルを参照して、信号源アナライザがアンプ出力 (0dBm 入力時に約 20dBm) に対応できるかどうかを確認してください。必要に応じて、アッテネータを信号源アナライザの入力に接続します。
2. 信号源発生器のパワー・レベルを 0dBm に設定し、中心周波数を 5.8GHz に設定します。
3. マイクロ USB ケーブルと、定格電力が 500mW より大きい 5V 電源アダプタを使用して、EVAL-CN0534-EBZ に電源を供給します。
4. 信号発生器の出力を EVAL-CN0534-EBZ の RF 入力 (J2) に接続します。
5. EVAL-CN0534-EBZ の RF 出力 (J1) を信号源アナライザに接続します。
6. 信号源アナライザで測定を実行します。

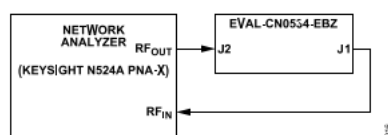


図 17. S パラメータとノイズ指数測定用のテスト・セットアップのブロック図

図 17 に示すセットアップで S パラメータとノイズ指数を測定するには、以下の手順を実行します。

1. 以下の設定値を用いて、ベクトル・ネットワーク・アナライザに必要な測定条件を設定します。
 - ▶ S パラメータの測定では、周波数範囲を 4.8GHz~6.8GHz に設定します。
 - ▶ 位相ノイズの測定では、周波数範囲を 5.3GHz~6.8GHz に設定します。
2. キャリブレーション・キットを使用して、ベクトル・ネットワーク・アナライザのフル 2 ポート・キャリブレーションを実施します。EVAL-CN0534-EBZ の RF 入力 (J2) はテスト・ポートに直接接続できるため、テスト・セットアップにおいて測定ケーブルは 1 本だけが必要です。
3. 5V 電源アダプタとマイクロ USB ケーブルを使用して、EVAL-CN0534-EBZ に電源を供給します。
4. キャリブレーション済みのテスト・セットアップを使用して、ベクトル・ネットワーク・アナライザのテスト・ポートに EVAL-CN0534-EBZ を接続します。
5. 目的の S パラメータを測定するための設定を行います。
6. ベクトル・ネットワーク・アナライザのオートスケール機能を実行します。その後、必要に応じて、スケールを調整します。

RF 性能

EVAL-CN0534-EBZ は、RF 信号入力を約 +23dB のゲインで増幅しますが、このとき、中心周波数 5.8GHz でのリターン・ロスが -15dB になります。EVAL-CN0534-EBZ におけるゲインを図 18 に示し、リターン・ロスを図 19 に示します。

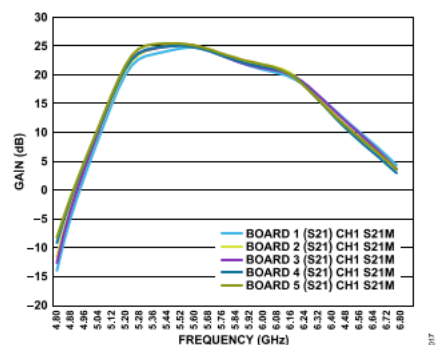


図 18. EVAL-CN0534-EBZ のゲインの周波数特性

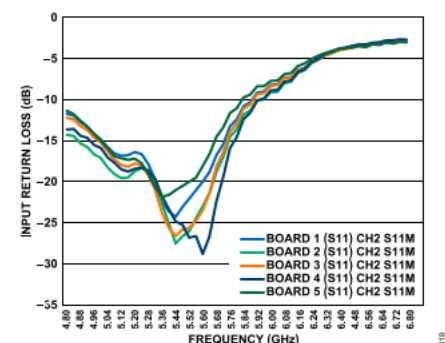


図 19. EVAL-CN0534-EBZ の入力リターン・ロスの周波数特性

5.8GHz での単側波帯位相ノイズを図 20 に示します。

回路の評価とテスト

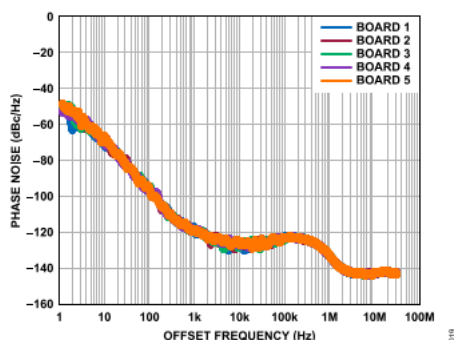


図 20. EVAL-CN0534-EBZ の 5.8GHz での
単側波帯位相ノイズとオフセット周波数の関係

SFDR が約 78dBFS のときの狭帯域シングル・トーンの RF 出力を図 21 に示します。

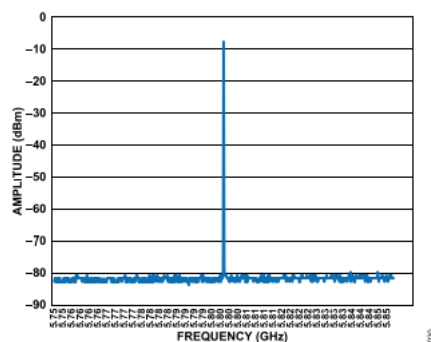


図 21. EVAL-CN0534-EBZ の 5.8GHz での
狭帯域シングル・トーンの RF 出力

図 22 は、これに対応するノイズ指数の周波数特性を示しており、中心周波数 5.8GHz で約 2dB になっています。

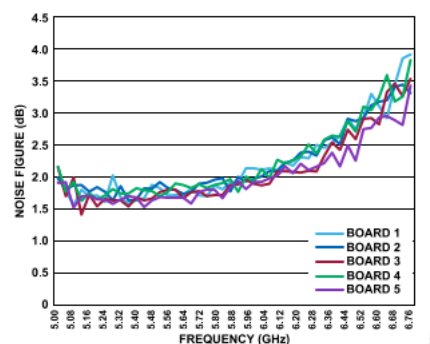


図 22. EVAL-CN0534-EBZ のノイズ指数の周波数特性

更に詳しい資料

CN0534 設計サポート・パッケージ

Musceac, Adrian. "RF power amplifiers for SDR." qradiolink.org. 2017.

Ardizzoni, John. A Practical Guide to High-Speed Printed-Circuit-Board Layout, Analog Dialogue 39-09, September 2005.

CN-0150 回路ノート、ログ検出器を使用したソフトウェア・キャリブレーション方式、1MHz~8GHz、60dB RF 電力計測システム、アナログ・デバイセズ。

MT-031 チューンリアル、データ・コンバータのグラウンディングと、「AGND」および「DGND」に関する疑問の解消、アナログ・デバイセズ。

MT-073 Tutorial, High Speed Variable Gain Amplifiers (VGAs), Analog Devices.

MT-101 Tutorial, Decoupling Techniques, Analog Devices.

Whitlow, Dana. Design and Operation of Automatic Gain Control Loops for Receivers in Modern Communications Systems. Chapter 8. Analog Devices Wireless Seminar. 2006.

データシートと評価用ボード

HMC717A データシート

HMC717A 評価用ボード

HMC802A データシート、

HMC802A 評価用ボード

ADL5904 データシート

ADL5904 評価用ボード

LT8335 データシート

LT8335 評価用ボード

ADM7150 データシート

ADM7150 評価用ボード

ADP150 データシート

ADP150 評価用ボード

LTC6991 データシート

LTC6991 評価用ボード

改訂履歴

11 / 2021 — Revision 0 0: Initial Version



ESDに関する注意

ESD（静電放電）の影響を受けやすいデバイスです。電荷を帯びたデバイスや回路ボードは、検知されないまま放電することがあります。本製品は当社独自の特許技術である ESD 保護回路を内蔵してはいますが、デバイスが高エネルギーの静電放電を被った場合、損傷を生じる可能性があります。したがって、性能劣化や機能低下を防止するため、ESD に対する適切な予防措置を講じることをお勧めします。

「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。

©2021 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。