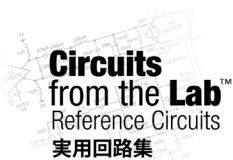




回路ノート CN-0534



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 <https://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	ADM7150	800mA、超低ノイズ／高 PSRR LDO
HMC550A	GaAs、MMIC、SPST、フェイルセーフ・スイッチ、SMT、DC~6GHz	LT3042	20V、200mA、超低ノイズ、超高 PSRR の RF リニア電圧レギュレータ
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	LTC6991	TimerBlox：リセット可能な低周波数発振器
LTM8045	最大出力電流が 700mA で反転または SEPIC 構成の μ Module（パワー・モジュール）DC/DC コンバータ		

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

[CN-0534 回路評価用ボード \(EVAL-CN0534-EBZ\)](#)

設計および統合ファイル

[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

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 10dB の高性能 RF レシーバー・システムで、5.8GHz の中心周波数で動作するように最適化されています。入力にフィルタを実装することなく、アンプ出力で帯域外の干渉を減衰させるフィルタを使用しているため、システム全体のノイズ指数性能が 2dB になっています。

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敏感な装置を保護するために、高速に過電力を遮断する機能を搭載しています。RF 電力レベルが許容可能な範囲内に戻ったときは、レシーバー・システムも自動的にオンに戻ります。RF の入出力はサブミニチュア A (SMA) 規格のコネクタによって行われ、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。

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

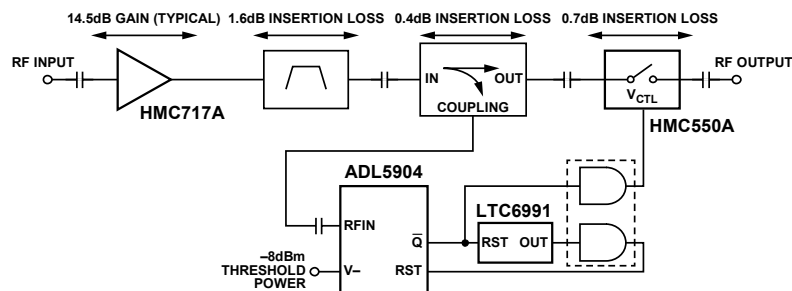


図 1. EVAL-CN0534-EBZ の簡略ブロック図

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の再生用として 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、このアンプは1.1dBのノイズ指数を実現するように最適化されています。HMC717Aは、5V単電源から14.5dBのゲインを実現し、RF帯域の動作を通じて、合計で68mAの電源電流が流れます。

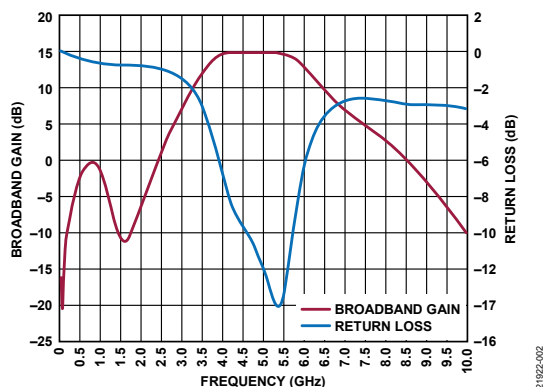


図 2. HMC717A の広帯域ゲイン (S21) とリターン・ロス (S11) の周波数特性

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の周波数範囲でインピーダンスが公称 **50Ω** に相当するシングルエンド入出力ポートです。したがって、このデバイスはインピーダンス・マッチング回路を使用することなく、**50Ω** システムに直接実装できます。また、マッチング回路を外付けすることなしに複数のHMC717A アンプをカスケード接続することもできます。RFINには、DC信号をブロックするために、1.2pFのコンデンサをACカップリングする必要があります。RFOUTにはDCブロック・コンデンサが内蔵されているため、ACカップリング・コンデンサを外付けする必要はありません。

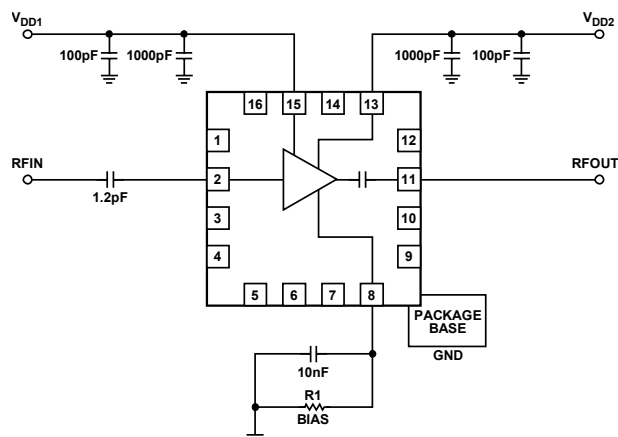


図 3. HMC717A における基本的な接続方法

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。バンドパス・フィルタの電気性能を図 4 に示します。図 4 から、中心周波数が 5.8GHz のとき、5400MHz~6400MHz が通過帯域であり、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。

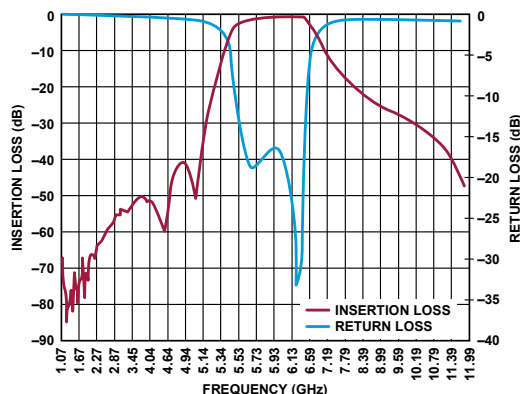


図 4. バンドパス・フィルタの挿入損失 (S21) とリターン・ロス (S11) に関する代表的な電気性能

エンベロープ閾値検出機能付きの RF パワー・ディテクタ

ADL5904 は DC~6GHz で動作する RF ディテクタで、プログラマブルなエンベロープ閾値検出機能を搭載し、また、小型のフォーム・ファクタ内に全機能内蔵型の rms RF パワー・メータを構成しています。エンベロープ閾値検出機能は、内部のエンベロープ・ディテクタからの電圧とユーザ定義の入力電圧とを比較します。エンベロープ・ディテクタからの電圧が、VIN-ピンから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このイベントを検出し、このイベントはセット／リセット (SR) フリップ・フロップによってラッチされます。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時間は 12ns です。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。

6GHz~数十キロヘルツの周波数範囲が必要なアプリケーションでは、ADL5904 の入力に 470nF の AC カップリング・コンデンサを配置することを推奨します。この AC カップリング・コンデンサに加えて、広帯域入力マッチングを行うためには、82.5Ω のシャント抵抗を外付けする必要があります。

RF スイッチ

HMC550A は、低挿入損失と低消費電流が必要なアプリケーションで使用される SPST フェイルセーフ・スイッチです。このデバイスは、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。

RF1 と RF2 はオフ時に反射開放となります。このスイッチは、オン状態で最小限の DC 電流量しか必要とせず、相補型金属酸化膜半導体 (CMOS)、および一部のトランジスタ・トランジスタ・ロジック (TTL) のファミリと互換性があります。DC バイアスが印加されていないときは、フェイルセーフ・トポロジにより、スイッチは通常オンであるため、RF1 から RF2 への挿入損失は低くなります。中心周波数が 5.8GHz のときに、図 5 からスイッチがオン状態で挿入損失が 0.7dB (代表値) であるというデバイス性能が分かり、図 6 からスイッチがオフ状態でアイソレーションが -8dB であることが分かります。

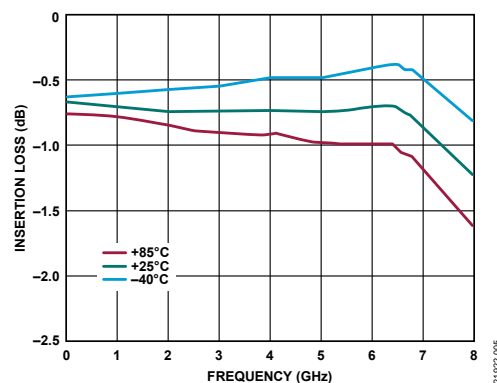


図 5. スイッチがオンのときの RF スイッチの代表的な挿入損失性能

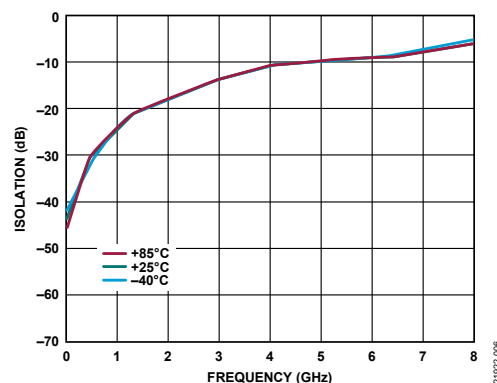


図 6. スイッチがオフのときの RF スイッチの代表的なアイソレーション性能

バンドパス・フィルタと結合器からの挿入損失、および RF スイッチからの挿入損失を組み合わせると、通常動作状態の RF スイッチ出力で挿入損失の合計が約 2.7dB になります。

過電力遮断および自動再試行

過電力に敏感な回路は、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 入力の絶対最大電力レベルは 2.5dBm です。EVAL-CN0534-EBZ は、図 7 に示す過電力遮断回路と自動リセット回路を搭載しています。

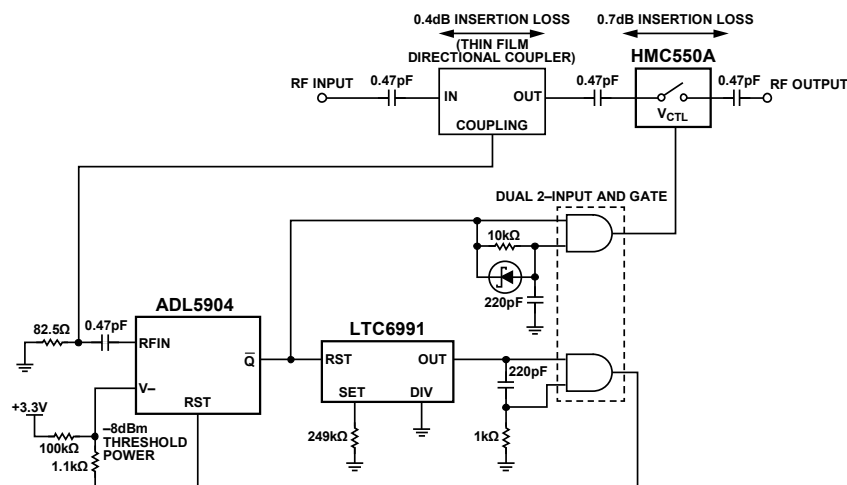


図 7. RF スイッチとパワー・ディテクタによる入力保護回路、および挿入損失

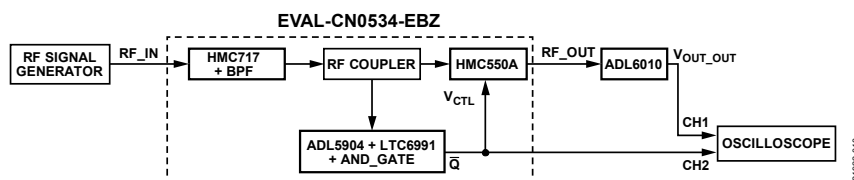


図 8. RF 電力リミッタの簡略ブロック図 (BPF はバンドパス・フィルタを意味します。)

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て ADL5904 に送られます。このため、アンプ出力での+2.5dB のレベルが ADL5904 の RFIN ピンでの-10.5dB に対応します。

ADL5904 の VIN-上の閾値レベルは、抵抗分圧器によって約 36mV 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-8dBm の閾値電力に相当し、結合器とスイッチの損失によって出力が安全なレベルに保たれます。

過電力閾値の精度を上げる必要がある場合は、キャリブレーションを行うことができます。この理由は、特定の入力電力レベルに対するスレッショルド電圧がデバイス間で異なるためです。簡単なキャリブレーション・ルーチンを多くの周波数で行うことにより、回路のいかなる周波数応答の変動も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。

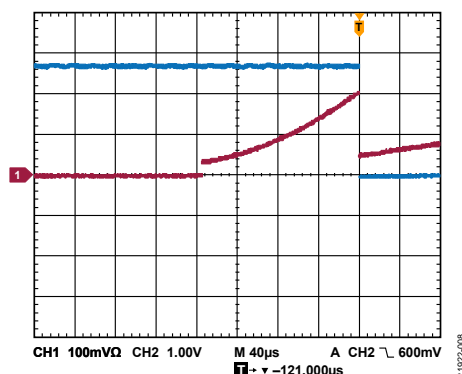


図 9. ADL6010 を使用してテストした RF スイッチ機能 (RF スイッチにおける電圧閾値のセトリング時間)

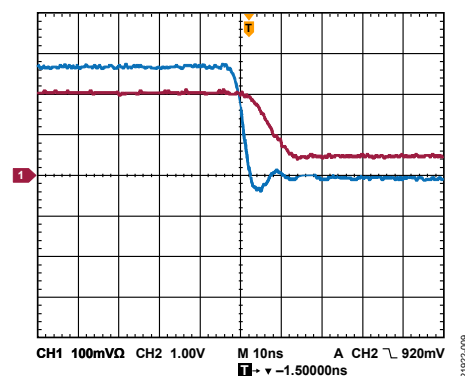


図 10. ADL6010 を使用してテストした RF スイッチ機能 (RF スイッチにおけるターン・オフのセトリング時間)

ADL6010 (エンベロープ・ディテクタ) を使用して、過電力遮断機能のテストを行い、RF スイッチの応答時間を取得し、また RF スイッチの閾値を測定しました。このテスト・ブロック図を図 8 に示します。テスト条件として、中心周波数が 5.8GHz に設定され、パルスが-50dBm と+5dBm に設定された RF 信号発生器から RF 入力生成されます。

トリップが発生すると、ディテクタのラッチは 250Hz の周波数でリセットされ、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確実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。

USB パワー・マネージメント

昇圧コンバータ

図 11 に EVAL-CN0534-EBZ の電源チェーンを示します。この電源チェーンでは、マイクロ USB ジャックで利用可能な 5V V_{BUS} 電圧から 365mW の電力を消費します。

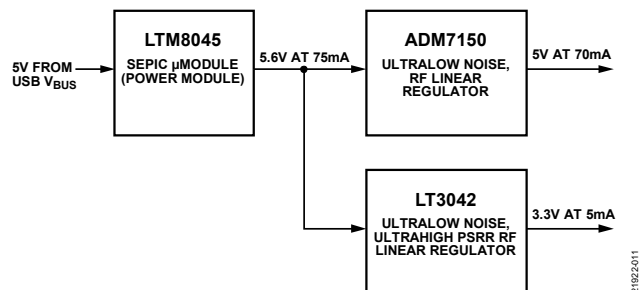


図 11. 電源チェーン

LTM8045 は統合化されたスイッチング DC/DC コンバータであり、電流モード・コントローラ、電力スイッチング素子、電力結合インダクタ、電力ショットキー・ダイオード、および適量の入出力容量を内蔵しています。

このデバイスは、図 12 に示すように、SEPIC コンバータとして構成されており、最大 DC18V の入力電圧に対応可能です。出力は、2.5V~15V の範囲で調整可能です。LTM8045 は、入力電圧 (V_{IN}) が +5V で、出力電圧 (V_{OUT}) が +5V または -5V のとき、約 430mA を供給できます。

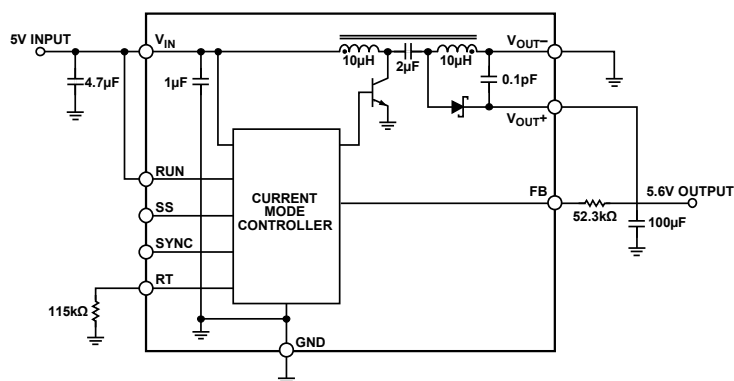


図 12. LTM8045 から 5V を出力させる場合の基本的な SEPIC 接続

LTM8045 の V_{OUT} は、帰還抵抗 (R_{FB}) を V_{OUT+} ピンと FB ピンの間に接続することによって設定されます。この電圧は、ADL5606 アンプ用の電源電圧として供給されます。 R_{FB} の値は、次式で求められます。

$$R_{FB} = (V_{OUT} - 1.215) / 0.0833 \text{ (k}\Omega\text{)}$$

LTM8045 の動作スイッチング周波数範囲は、200kHz~2MHz です。LTM8045 のスイッチング周波数は、RT ピンとグラウンドの間に抵抗を外付けすることによって設定されます。外付け抵抗の値は、次式を使用して求めることができます。

$$R_T = (91.9 / f_{osc}) - 1 \text{ (k}\Omega\text{)}$$

ここで、 f_{osc} はスイッチング周波数の代表値 (MHz) です。

LTM8045 は広範囲の動作周波数に柔軟に対応できますが、動作周波数を無造作に選択すると、特定の動作条件や故障条件の下では、望ましくない動作になる可能性があります。周波数が高すぎると、効率が低下したり、過度の熱が発生したり、または何らかの故障状態になって LTM8045 に損傷を与えたりする可能性もあります。周波数が低すぎると、出力リップルが非常に大きくなり、最終的に非常に大きな出力コンデンサを搭載するような設計になる可能性があります。

超低ノイズ・リニア電圧レギュレータ

ADM7150（超低ノイズ RF リニア電圧レギュレータ）からの 5V 出力は、HMC717A のノイズ指数とゲインを最適化す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 13 に示すように、10kHz 以上で 1.7nV/√Hz 未満のノイズ・スペクトル密度を実現します。

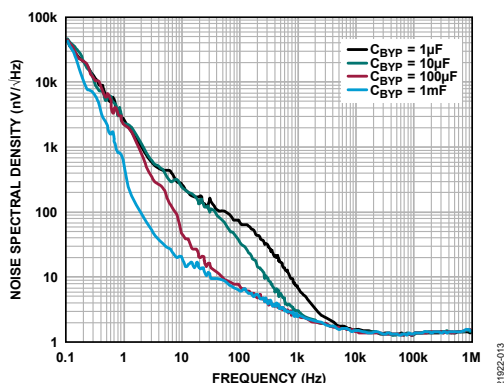


図 13. 様々な BYP 容量 (C_{BYP}) でのノイズ・スペクトル密度の周波数特性

LT3042 は RF スイッチ、およびパワー・ディテクタ回路のその他の部分において 3.3V を生成するために使用されます。LT3042 は、図 14 に示すように、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、電源ノイズに敏感な RF アプリケーション向けに、超低ノイズと超高電源電圧変動除去比 (PSRR) を実現するアーキテクチャを搭載しています。

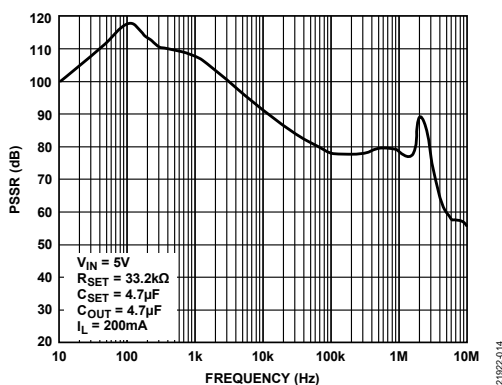


図 14. LT3042 における PSRR の周波数特性

バリエーション回路

より広い動作帯域幅を実現する用途には、RF LNA の代替品として HMC8411 を使用することができます。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。

回路の評価とテスト

以下のセクションでは、全体のセットアップおよびすべての項目をテストする方法を説明します。テスト・セットアップおよびソフトウェアとハードウェアを組み合わせた使用方法の詳細については、CN-0534 ユーザ・ガイドを参照してください。

必要な装置

以下の装置類が必要になります。

- EVAL-CN0534-EBZ 回路評価用ボード
- 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)
- マイクロ USB 電源アダプタ、またはマイクロ USB - USB ケーブル
- SMA - SMA ケーブル
- 5V AC/DC USB 電源アダプタ

テスト・セットアップ

位相ノイズおよびスプリアスフリー・ダイナミック・レンジ (SFDR) テスト用セットアップの機能ブロック図を図 15 に示し、また、S パラメータおよびノイズ指数テスト用セットアップの機能ブロック図を図 16 に示します。

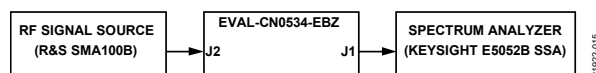


図 15. 位相ノイズおよび SFDR テスト用セットアップの機能ブロック図

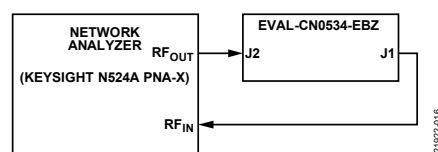


図 16. S パラメータおよびノイズ指数テスト用セットアップの機能ブロック図

図 15 に示す位相ノイズと SFDR を測定するには、以下の手順を実行します。

1. 以下の設定値を用いて、信号源アナライザに必要な測定設定を行います。
 - 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。装置がアンプ出力 (0dBm 入力時に最大 20dBm) に対応できる場合は、信号源アナライザのデータシートに記載された最大入力レベルを参照してください。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. 定格電力が 500mW より大きい 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. 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。

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. この測定に必要な S パラメータを設定します。
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+10dB のゲインで増幅しますが、その結果、中心周波数 5.8GHz でのリターン・ロス は -9dB になります。EVAL-CN0534-EBZ におけるゲインの S パラメータ表示を図 17 に示し、また、リターン・ロスの S パラメータ表示を図 18 に示します。

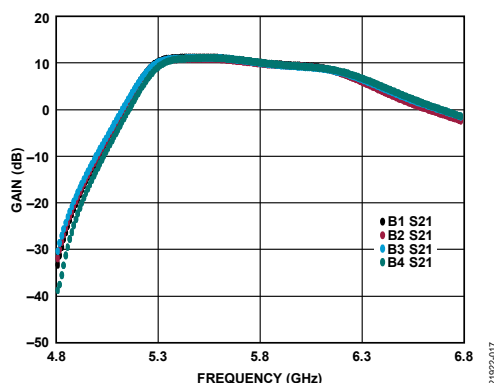


図 17. EVAL-CN0534-EBZ におけるゲインの S パラメータ表示 (B1～B4 はボード 1～ボード 4 の略です。)

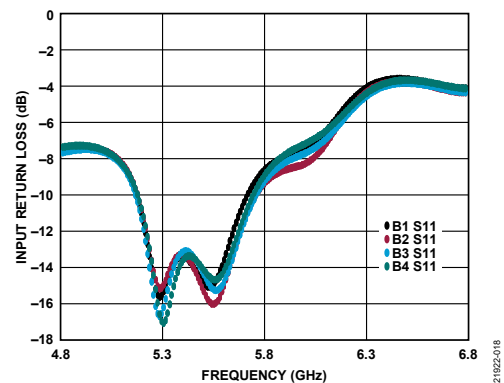


図 18. EVAL-CN0534-EBZ における入力リターン・ロスの S パラメータ表示

周波数が 5.8GHz のときの単側波帯の位相ノイズは、図 19 から、オフセットが 100Hz のときに約 -95dBc/Hz であることが分かります。

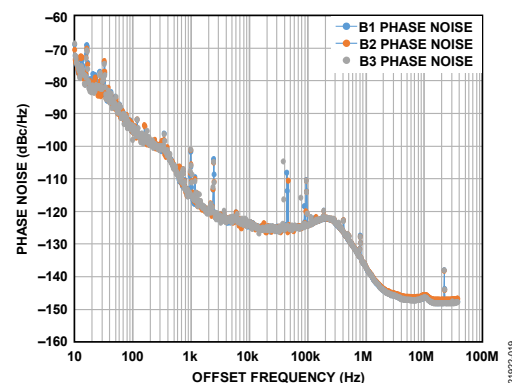


図 19. 5.8GHz のときの単側波帯の位相ノイズとオフセット周波数の関係

SFDR が 78dBFS のときの狭帯域シングル・トーンの RF 出力を図 20 に示します。

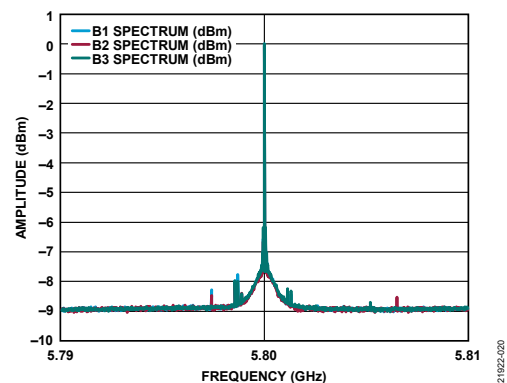


図 20. 狭帯域シングル・トーンの RF 出力

中心周波数が 5.8GHz のときに約 2dB を示す周波数範囲における、一致したノイズ指数を図 21 に示します。

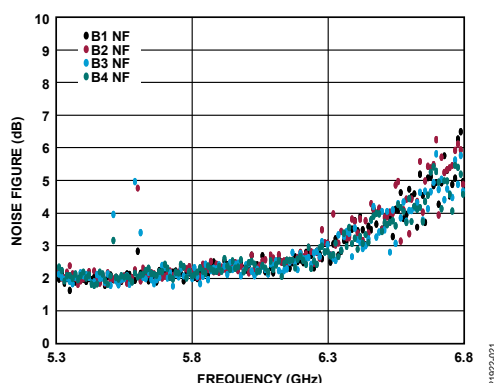


図 21. ノイズ指数の周波数特性

更に詳しい資料

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 チュートリアル、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

CN-0534 回路評価用ボード (EVAL-CN0534-EBZ)

HMC717A データシート

HMC550A データシート

ADL5904 データシート

LTM8045 データシート

ADM7150 データシート

LT3042 データシート

LTC6991 データシート

ADL6010 データシート

改訂履歴

4/2021—Revision 0: Initial Version

「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せんが、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。