

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/CN0522 をご覧ください。

接続または参考にしたデバイス	
ADL5605	RF ドライバ・アンプ、 700MHz～1,000MHz、2 段構成、1W
ADT6402	SOT-23 採用、2.7～5.5V 動作の ピン設定可能な低価格温度スイッチ (プッシュプル出力)
LTM8045	最大出力電流が 700mA で反転または SEPIC 構成の μ Module DC/DC コンバータ

過熱管理機能付きの USB 駆動、915MHz ISM 無線周波数帯、1W パワー・アンプ

評価と設計支援

回路評価用ボード

[CN-0522 回路評価用ボード \(EVAL-CN0522-EBZ\)](#)

設計および統合ファイル

[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) によって、免許不要の 915MHz の産業、科学、医療用 (ISM) 無線周波数帯が地域 2 (地理的には南北アメリカ、グリーンランド、および一部の東太平洋諸島) での使用に割り当てられています。この地域においてこの帯域は長年にわたるワイヤレス技術や規格の進歩により、狭域ワイヤレス通信システムで広く使用されるようになってきました。この ISM 帯域には用途やデューティ・サイクルに関する制限がなく、一般的な用途としてはアマチュア無線、監視制御およびデータ取得 (SCADA) システム、無線自動識別 (RFID) などが挙げられます。

ただし用途に関わらず、この帯域で無線伝送を行うには、シグナル・チェーン回路の後に、アンテナを駆動するためのアンプ・ブロックを設置する必要があります。米国では、915MHz ISM 帯域を使用するスペクトラム拡散トランスミッタの最大ピーク出力電力は、50 チャンネルのダイレクト・シーケンス・スペクトラム拡散 (DSSS) または周波数ホッピング・スペクトラム拡散 (FHSS) を使用する無線システムの場合は 36dBm、50 チャンネル未満の FHSS を使用する無線システムの場合は 30dBm と FCC によって規定されています。

図 1 に示す回路は、915MHz ISM 帯域で動作するトランスミッタ・シグナル・チェーン向けに最適化された 1W (30dBm) RF ドライバ・アンプ・ブロックです。この回路で使用されているデバイスの組み合わせでは、中心周波数のフォワード・ゲイン (S21) は約 20dB、入力リターン損失 (S11) は約 11.5dB となります。この設計の RF 入力ポートと出力ポートは 50 Ω に整合しています。

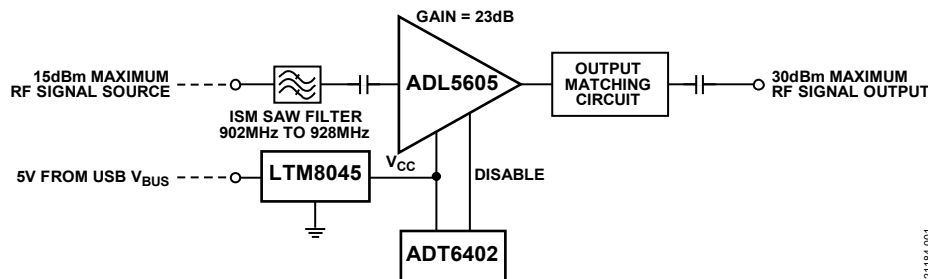


図 1. CN-0522 の簡略機能ブロック図

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。

回路説明

915MHz ISM 帯域での動作

回路への RF 入力信号は表面弾性波 (SAW) フィルタを介して、ドライバ・アンプ入力を 902MHz~928MHz 周波数帯に制限する必要があります。フィルタの選択時には、帯域平坦度と帯域外除去性能のバランスをうまく取る必要があります。選択時に SAW フィルタを検討する場合は、これらのフィルタが、シグナル・チェーンのゲイン全体を低下させる挿入損失源になることにも注意してください。

このリファレンス設計では、使用されている SAW フィルタの標準的な最大挿入損失は 2.9dB、終端インピーダンスは 50Ω となります。

アンプ

2 段 RF パワー・アンプ ADL5605 は、700MHz~1GHz の動作周波数範囲、23.0dB (代表値) のゲイン、4.7dB の最小ノイズ指数、43.4dBm (881MHz $\pm$ 13MHz) の最小出力 3 次インターセプト (IP3) が特長です。

ADL5605 は既にアクティブ・バイアスを内蔵しているため、VBIAS ピン、および RF チョーク・インダクタ (L1) を介して RFOUT ピンにそれぞれ 5V を加えるだけで、両アンプ段で最適なバイアス点を簡単に設定できます。また、18nH のインダクタンスの使用を推奨します。915MHz ISM 帯域に対する出力マッチングがある程度提供されるためです。ADL5605 では、電源ラインの RF 信号と高周波ノイズを除去するために、出力段のバイアスに加え、VCC ピンと VBIAS ピンの両方に 3 つのデカップリング・コンデンサを使用する必要があります。

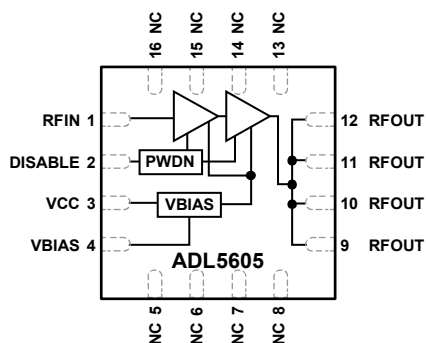


図 2. ADL5605 機能ブロック図

インピーダンス・マッチング

915MHz ISM 帯域の場合、ADL5605 の RFIN ピンに外付けのマッチング・コンポーネントは必要ありません。RFOUT ピンの 50Ω へのマッチングは、マイクロストリップ・ラインをインダクタとして使用し、追加の直列インダクタ (L2) と 1 つのシャント・コンデンサ (C_{OUT}) を接続することで簡単に実施されます。RFIN ピンと RFOUT ピンの両方で、外付けの DC 阻止コンデンサが必要となります。

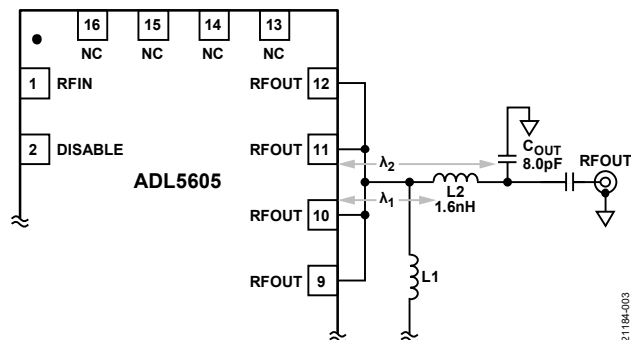


図 3. ADL5605 RFOUT マッチング・パラメータ

ADL5605 データシートによると、868MHz を超える周波数でアンプを動作させる場合の L2 および C_{OUT} の推奨値は、それぞれ 1.6nH と 8.0pF です。マッチングには、これらの部品を適切に配置することが重要です。ただし、リファレンス設計のシミュレーションを Keysight の Advanced Design System (ADS) ソフトウェアで行うと、部品間隔の推奨値は $\lambda_1 = 94.5\text{mil}$ および $\lambda_2 = 240\text{mil}$ になります (ADL5605 データシートに示されているように 925MHz~961MHz 帯域と同様)。これらの値は部品の中心からアンプの端までを計測したものです。

小信号性能と位相ノイズ

図 4 と図 5 には、この設計の結果として生じる S パラメータと位相ノイズの計測値を示しています。915MHz の中心周波数では、回路のゲインは 20dB、入力および出力のリターン損失はそれぞれ 11dB と 6dB を超える値となっています。このシステムは、周波数オフセットが 10kHz および 100kHz の場合は、 -110dBc/Hz を下回る値の低位相ノイズを、周波数オフセットが 1MHz および 10MHz の場合は、それぞれ -130dBc/Hz および -140dBc/Hz を下回る値の低位相ノイズを示しています。

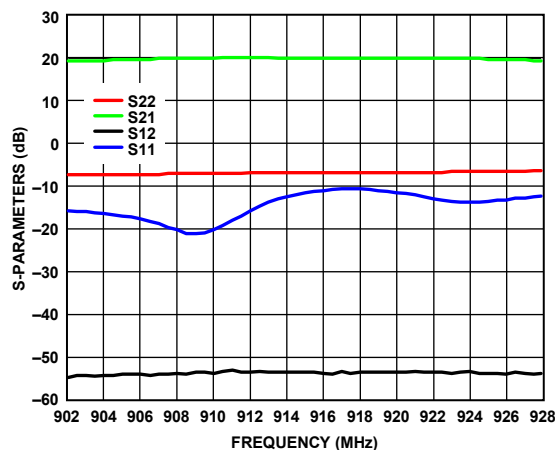


図 4. 入力リターン・ロス (S11)、リバー・アイソレーション (S12)、フォワード・ゲイン (S21)、および出力リターン・ロス (S22) と周波数の関係

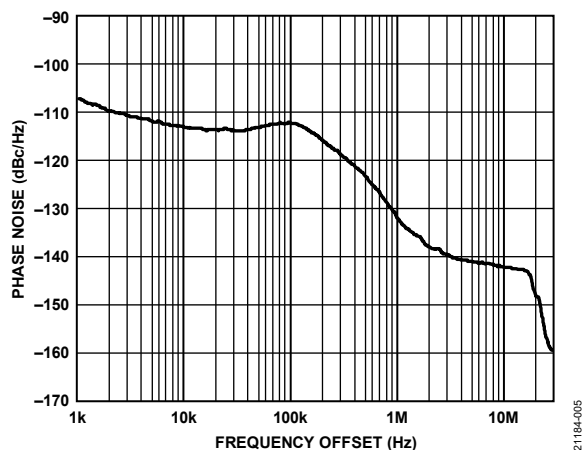
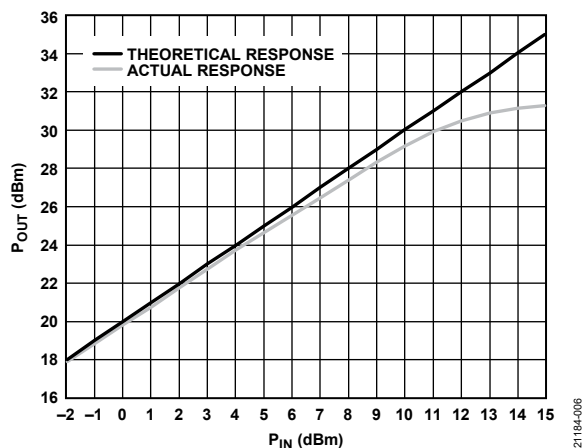


図 5. 位相ノイズと周波数オフセットの関係 (915MHz 入力)

図 6 には、この設計の出力電力 (P_{OUT}) と入力電力 (P_{IN}) の関係を示したグラフを示しています。ここでは、1W の最大出力レベルを、約 11dBm の入力レベルで実現できることを確認できます。

図 6. P_{OUT} と P_{IN} の関係 (915MHz 入力)

この設計の RF 入力、SAW フィルタの最大定格とアンプの最大定格のいずれか低いほうに制限されます。デフォルトの内蔵 SAW フィルタの場合、回路への最大入力値は 15dBm となります。ADL5605 自体は、20dBm までの入力に対応できます。

過熱管理機能

過熱管理機能は、**ADT6402** 温度スイッチを使用して実装されています。この温度スイッチによってボード温度が監視され、設定された閾値に達するとアンプが無効化されるため、EVAL-CN0522-EBZ を冷却することができます。±0.5°C (代表値) (最大 +6°C、-45°C ~ +115°C) という高精度の定格により、温度センサーは定格温度範囲全体を通じて精度と直線性を維持できるため、ユーザによるキャリブレーションや補正が不要となります。

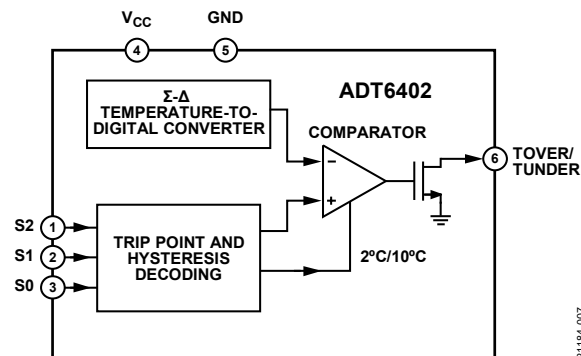


図 7. ADT6402 機能ブロック図

ADT6402 の温度トリップ・ポイントとヒステリシスは、S0、S1、および S2 の各ピンの状態を選択します。CN0522 では、ピン S2 が V_{CC} に配線されており、ピン S0 とピン S1 はハンダ・ジャンパ JP1 と JP2 を使用して V_{CC} または GND のいずれかに接続できる (またはフロート状態にできる) 状態になっています。これらのピン配置により、温度トリップ・ポイントとヒステリシスの選択肢が表 1 に示すように制限されます。

表 1. トリップ・ポイントとヒステリシスの選択¹

JP1	JP2	温度トリップ・ポイント (°C)	ヒステリシス (°C)
0	0	+65	10
1	0	+75	10
フロート	0	+85	10
0	1	+95	10
1	1	+105	10
フロート	1	+115	10
0	フロート	+5	2
1	フロート	-5	2
フロート	フロート	-15	2

¹ 0 はピンが GND に接続されている状態、1 はピンが V_{CC} に接続されている状態、フロートはピンがフロート状態のままになっていることを示しています。

ADL5605 は放熱性が高いため、トリップ・ポイントを 95°C 以上に設定することを推奨します。

ADT6402 には、アクティブ・ハイのプッシュプル出力 (TOVER/TUNDER) が備わっており、温度計測値がトリップ・ポイントを超えると有効になります。バッファ・ゲートを使用して、TOVER/TUNDER を ADL5605 の DISABLE ピンに接続した場合、温度スイッチがトリップするとアンプがオフになり、システムが冷却されて温度とヒステリシスがトリップ・ポイントを下回るまでオンになりません。バッファ・ゲートによって、アンプ (ADL5605) の DISABLE ピンの 5V ロジック・レベルと 1.4mA 電流条件が確実に満たされるようになります。

最適性能を得るには、ADT6402 の GND ピンと、熱源の GND ピンの熱抵抗を最小限に抑える必要があります。そのため、ADT6402 は EVAL-CN0522-EBZ の 2 次側の、ADL5605 の露出パドルに接続されているサーマル・ビアの近くに取り付けられています。

レイアウト時の考慮事項

パワー・アンプは使用時に大量の熱を発生させるため、回路の放熱には特に注意を払う必要があります。消費電力を低減するために、EVAL-CN0522-EBZ は、3 層の厚いグラウンド・プレーンと、ADL5605 の下や周囲に配置されている複数のサーマル・ビアを使用して設計されています。

Cadence® Sigrity™ PowerDC™ ソフトウェアで行った CN-0522 設計のシミュレーションでは、通常動作中にアンプ周囲のプリント回路基板 (PCB) の温度が 85°C 近くになることが示されています。小型化を実現するため、基板にはヒート・シンク用の構成は付加されていません。代わりに、CN0522 の設計には過熱管理機能が備わっており、EVAL-CN0522-EBZ の温度は最適なシステム性能が得られるレベルに維持されます。また、この機能は ADL5605 ダイが最大ジャンクション温度に達するのを防ぐこともできます。

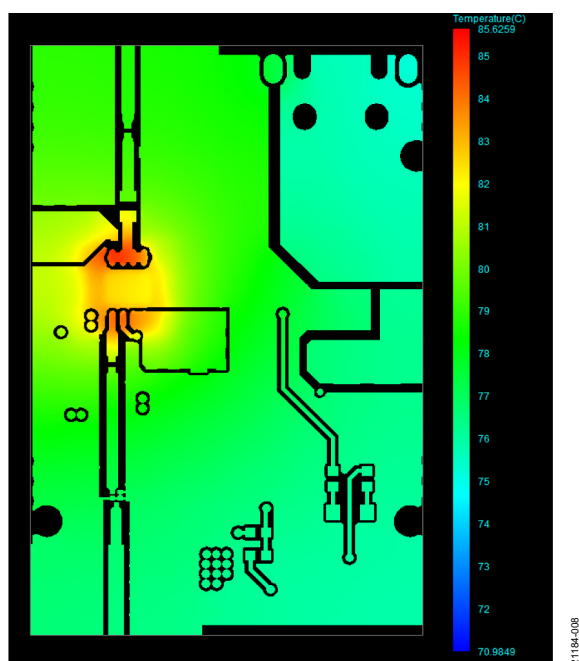


図 8. CN-0522 PCB の熱シミュレーション (1 次側)

LTM8045 を使用した USB パワー・マネージメント

CN0522 への電力は microUSB ポートを介して供給され、LTM8045 μModule によって調整されます。この小型のスタンドアロン DC/DC コンバータには、低ノイズ・アンプ電源用の電流モード・コントローラとパワー・デバイスが既に内蔵されているため、レギュレータ回路の設計を簡素化できます。

この設計では、通常動作中に約 307mA を必要とし、そのほとんどが ADL5605 に供給されます (ADT6402 で必要な電流は 30μA のみ)。ただし、出力レベルが高い場合は、ADL5605 に必要な電源電流も増えることに注意してください。例えば、ADL5605 データシートに記載されているように、30dBm 出力の電流引き込み量は >560mA となります。CN0522 で使用するすべてのアクティブ・デバイスで必要なのは、5V の DC 単電源のみです。

SEPIC (Single-Ended Primary-Inductor Converter) として構成されている LTM8045 の出力電圧は、V_{OUT+} ピンと FB ピン間の帰還抵抗 (R_{FB}) の値によって設定され、式 1 を使用して計算されます。

$$R_{FB} = (V_{OUT} - 1.215) / 0.0833 \quad (1)$$

ここで、

R_{FB} は帰還抵抗 (単位: kΩ)、

V_{OUT} は、必要となる出力電圧 (単位: V) です。

出力電圧が 5V の場合、この式より、R_{FB} 値は 45.3kΩ となります。これは CN0522 で、帰還用の 2 つの経路を提供するために並列に接続された 2 つの抵抗 60.4kΩ と 182kΩ として実装されます (図 9 を参照)。

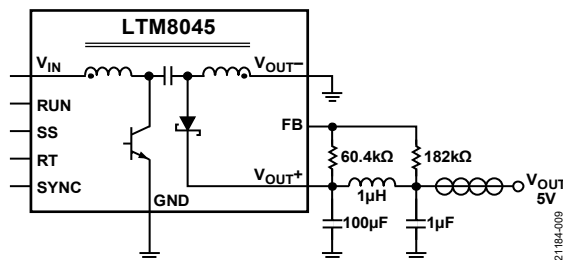


図 9. 5V SEPIC として構成された LTM8045 (V_{OUT} 側)

LTM8045 のスイッチング・トランジェントがもたらすノイズを最小限に抑えるために、レギュレーション出力は減衰 LC フィルタとフェライト・ビーズを通過します。このフィルタは 80MHz ~ 150MHz のスイッチング・ノイズを抑制できるように設計されています。図 10 に、LTspice® でシミュレーションされた LTM8045 出力ノイズの FFT プロットを示しています。

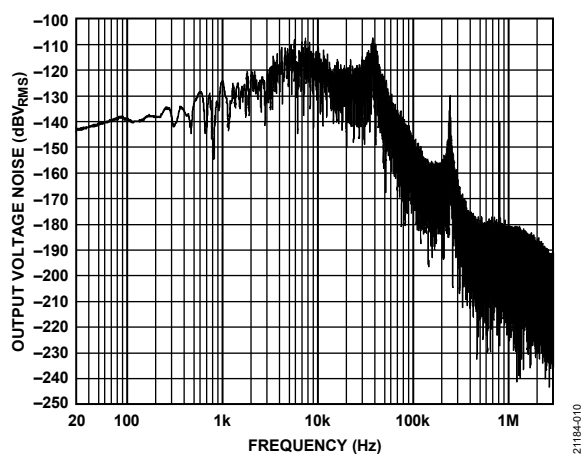


図 10. LTspice を使用した LTM8045 出力ノイズの FFT プロット

LTM8045 のスイッチング周波数は、RT ピンと GND の間に接続された外付け抵抗によって設定され、その値は式 2 を使用して計算されます。

$$R_T = (91.9 / f_{osc}) - 1 \quad (2)$$

ここで、

R_T は外付け抵抗 (単位: kΩ)、

f_{osc} は、必要なスイッチング周波数 (単位: MHz) です。

データシートで仕様規定されているように、5V の入出力電圧レベルの場合、LTM8045 の最適なスイッチング周波数は 800kHz となります。f_{osc} のこの値を式 2 に代入すると、外付け抵抗の値は 115kΩ と算出されます。この構成の入力コンデンサと出力コンデンサの推奨値は、それぞれ 4.7μF と 100μF です。

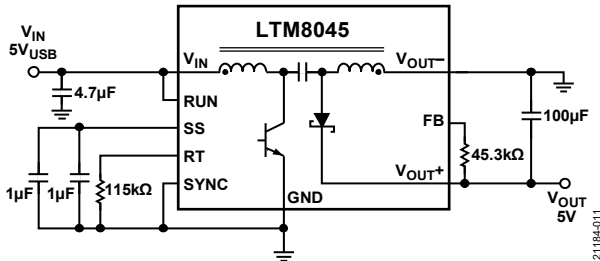


図 11. 5V SEPIC として構成されている LTM8045 (VIN 側)

起動時に電源からの突入電流を制限するために、LTM8045 は SS と GND 間の外部容量を使ったソフト・スタート機能を使用するように設計されています。ソフト・スタート時間を計算するには、式 3 を使用します。

$$t_{ss} = (C_{ss}/5.45) \quad (3)$$

ここで、
t_{ss} は、ソフト・スタート時間 (単位: 秒)、
C_{ss} は外部容量 (単位: μF) です。

この設計では、並列接続した 2 つの 0.1μF コンデンサをソフト・スタート容量用に使用しており、そのソフト・スタート時間は約 367ms となります。

バリエーション回路

1W の電力レベルが不要な場合は、HMC450 を 915MHz ISM 帯域の代替ドライバ・アンプとして使用できます。ADL5605 と比較した場合、HMC450 はゲイン、ノイズ指数、および入力リターン損失が高く、その代わりに出力マッチング条件は大きく、出力 IP3 および出力 1dB 圧縮ポイント (P1dB) は低くなっています。HMC450 の飽和出力レベルは 700mW ほどにとどまります。

HMC450 を使用する場合、温度スイッチを ADT6401 に置き換える必要があります。ADT6401 は、ADT6402 とピン互換性があり仕様は同じですが、アクティブ・ロー出力を備えています。

アナログ・デバイセスでは、2.45GHz ISM 帯域での送信に使用できる同様のアンプ設計も提供しています。詳細については、回路ノート CN0417 を参照してください。

回路の評価とテスト

ここでは、CN0522 の S パラメータおよび位相ノイズをテストするためのセットアップと手順について説明します。

詳細については、CN0522 のユーザ・ガイドを参照してください。

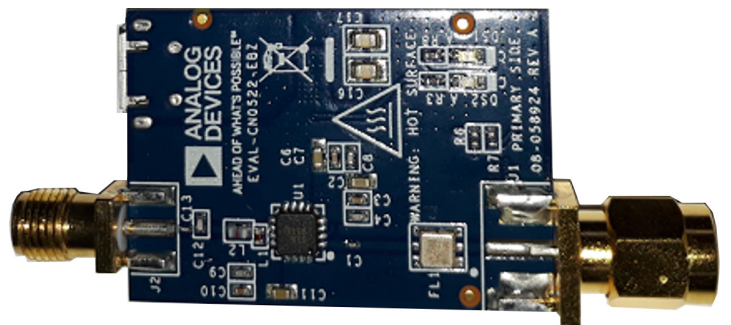


図 12. EVAL-CN0522-EBZ の上面図



図 13. EVAL-CN0522-EBZ の底面図

必要な装置

テストを実施するには、次の装置が必要です。

- EVAL-CN0522-EBZ
- Keysight® E5061B ベクトル・ネットワーク・アナライザ
- Rohde & Schwarz® SMA100A 信号発生器
- Rohde & Schwarz FSUP 信号源アナライザ
- 5V ac/dc USB 電源アダプタ
- USB Type A to microUSB 変換ケーブル
- SMA ケーブル
- 20dB アッテネータ（信号源アナライザの入力保護機能で任意使用）

セットアップとテスト

S パラメータを計測するには、以下の手順を実行します。

1. ベクトル・ネットワーク・アナライザに必要な計測条件を設定します。902MHz~928MHzの帯域を含むように周波数範囲を設定し、ソース・レベルを 0dBm に設定する必要があります。
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-CN0522-EBZ の RF 入力 (J1) はテスト・ポートに直接接続できるため、テスト・セットアップに必要な計測ケーブルは 1 つのみです。
3. 5V 電源アダプタと microUSB ケーブルを使用して、EVAL-CN0522-EBZ の電源を入れます。
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-CN0522-EBZ を接続します。
5. 計測を目的の S パラメータに設定します。
6. ベクトル・ネットワーク・アナライザでオートスケール機能を実行します。必要に応じて、後でスケールを調整します。

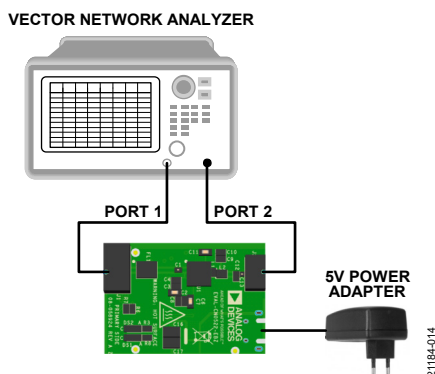


図 14. S パラメータの計測セットアップ

位相ノイズを計測するには、以下の手順を実行します。

1. 信号源アナライザに必要な計測構成を設定します。
2. 信号発生器出力の周波数を 915MHz に、レベルを 0dBm に設定します。
3. 装置がアンプ出力 (0dBm 入力時に最大 20dBm) に対応している場合は、信号源アナライザのデータシートで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。
4. 5V 電源アダプタと microUSB ケーブルを使用して、EVAL-CN0522-EBZ の電源を入れます。
5. 信号発生器出力を EVAL-CN0522-EBZ の RF 入力 (J1) に接続します。
6. EVAL-CN0522-EBZ の RF 出力 (J2) を信号源アナライザに接続します。
7. 信号源アナライザで計測を実行します。

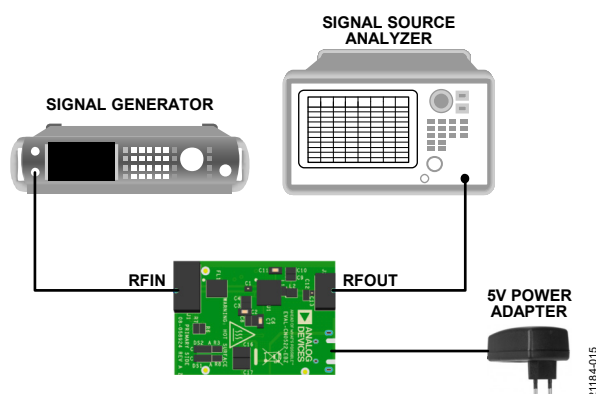


図 15. 位相ノイズ計測セットアップ

更に詳しい資料

ADIsimRF™ RF シグナル・チェーン・カリキュレータ

LTspice SPICE シミュレーション・ソフトウェア

LTpowerCAD®設計ツール

消費電力とダイ温度カリキュレータ

MT-093 Tutorial, Thermal Design Basics, Analog Devices.

MT-101 Tutorial, Decoupling Techniques, Analog Devices.

A. Kumbhar, “*Overview of ISM Bands and Software-Defined Radio Experimentation.*” Wireless Personal Communications, Dec. 2017. Online, digital object identifier (doi): 10.1007/s11277-017-4696-z.

B. Schweber, “*The RF power amplifier, Part 1: Functions.*” AnalogICTips.com.

I. Sylla, “*Understanding Regulations when Designing a Wireless Product in the Unlicensed Frequency Bands.*” EETimes.com.

K. Kundert, “*Power Supply Noise Reduction.*” The Designer’s Guide Community.

K. Tompsett, スイッチング電源用第2 段出力フィルタの設計

S. Rao, “*Make the most of the unlicensed ISM band.*” EETimes.com.

データシートと評価用ボード

CN-0522 回路評価用ボード (EVAL-CN0522-EBZ)

ADL5605 データシート

ADL5605 S パラメータ

ADL5605 評価用ボード (ADL5605-EVALZ)

ADT6401 データシート

ADT6402 データシート

LTM8045 データシート

LTM8045 デモ回路 (DC1533A)

改訂履歴

9/2020—Revision 0: Initial Version

「Circuits from the Lab／実用回路集」はアナログ・デバイsez社製品専用に作られており、アナログ・デバイsez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sez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sez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sez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。

©2020 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。