

Circuits from the Lab™ 実用回路は今日のアナログ・ミックスド・シグナル、RF 回路の設計上の課題の解決に役立つ迅速で容易なシステム統合を行うために作製、テストされました。詳しい情報と支援については <http://www.analog.com/jp/CN0178> をご覧ください。

**接続/参考にしたデバイス**

ADL5902	50 MHz~9 GHz、65 dB TruPwr™ 検出器
AD7466	12 ビット、200 kSPS、マイクロパワー SAR ADC

**ソフトウェア・キャリブレーション方式の 50MHz~9GHz RF 電力計測システム**

**評価と設計支援**

回路評価用ボード

CN-0178 回路評価用ボード (EVAL-CN0178-SDPZ)

システム・デモ用プラットフォーム (EVAL-SDP-CB1Z)

設計と統合ファイル

[回路](#)、[レイアウト・ファイル](#)、[BOM](#)

**回路機能とその利点**

この回路は ADL5902 TruPwr™ 検出器を使って、さまざまなクレスト・ファクタ (ピーク対平均比) の RF 信号の RMS 信号強度を、約 65 dB のダイナミック・レンジで計測できます。50 MHz から 9 GHz までの周波数で動作します。

計測結果は 12 ビット ADC (AD7466) の出力で、シリアル・データとして得られます。室温での簡単な 4 点補正によるシステム・キャリブレーションを、デジタル領域で行っています。

RF 検出器と ADC 間のインターフェースはシンプルで、2 個の信号スケールリング (分圧) 抵抗で構成され、能動素子はありません。また ADL5902 の 2.3 V 内蔵リファレンス電圧により、マイクロパワー ADC に対して、電源電圧とリファレンス電圧を供給しています。AD7466 はパイプライン遅延がなく、読み出し専用の SAR ADC として動作します。

回路全体で約±0.5 dB の温度安定性を実現しています。

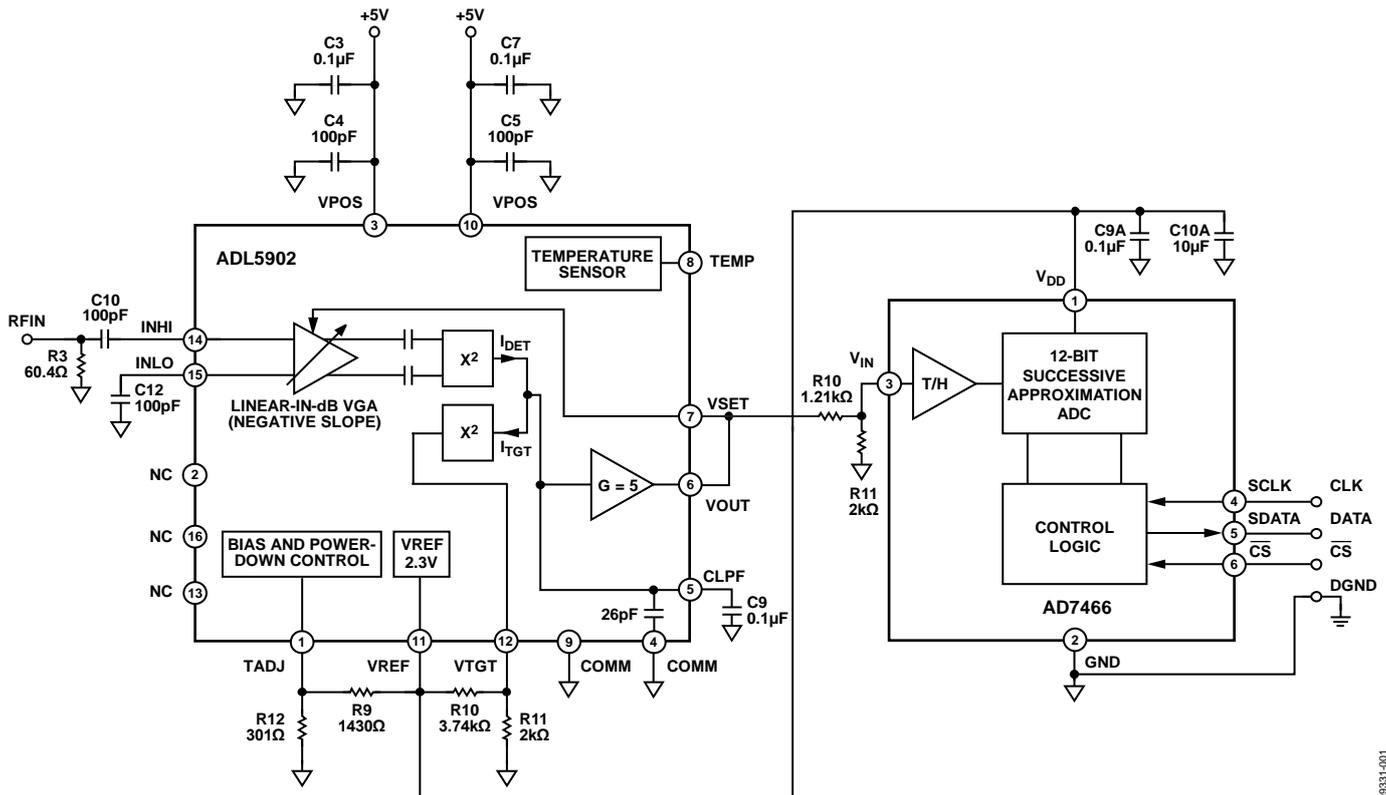


図 1. ソフトウェア・キャリブレーション方式の RF 電力計測システム

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、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。  
©2010-2011 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

2つのデバイスが-40°C~+85°Cの温度範囲で動作するようすが、データとして以降で示されています。

## 回路の説明

計測対象の RF 信号を、デシベル・リニア応答 RMS 検出器 ADL5902 に入力します。60.4 Ω の外付け抵抗 R3 と、ADL5902 の比較的高い入力インピーダンスにより、RF 入力は広帯域で 50 Ω にマッチングしています。ADL5902 は「計測モード」と呼ばれるモードで動作させ、VSET ピンと VOUT ピンを相互に接続します。このモードでは、出力電圧は入力 RMS 値の対数に比例します。すなわち読取り値は直接デシベルで表示され、1.06 V/ディケード、つまり 53 mV/dB になります。

12 ビット ADC AD7466 の電源とリファレンス電圧は、ADL5902 の 2.3 V 内蔵リファレンスから供給します。AD7466 の消費電流は非常に小さいので (10 kSPS 時で 16 μA)、ADL5902 のリファレンス電圧出力を、R9、R10、R11、R12 で構成される温度補償回路および RMS 精度スケール回路だけではなく、ADC にも供給することができます。

ADC のフルスケール電圧は 2.3 V です。RF 検出器の最大出力電圧 (リニアな入力動作範囲で動作しているとき) は約 3.5 V であるため (ADL5902 のデータシートの図 6、7、8、12、13、14 を参照)、AD7466 に入力する前に 0.657 倍で分圧する必要があります。この分圧は R10、R11 (1.21 kΩ、2.0 kΩ) による簡単な抵抗分割でおこないます。これらの抵抗値で得られる実際のスケール係数は 0.623 で、これによって抵抗の許容誤差にも、ある程度の余裕ができることになり、RF 検出器 ADL5902 が ADC をオーバドライブすることはありません。

検出器の入力電力と出力電圧の関係を図 2 に示します (出力スケールなし)。

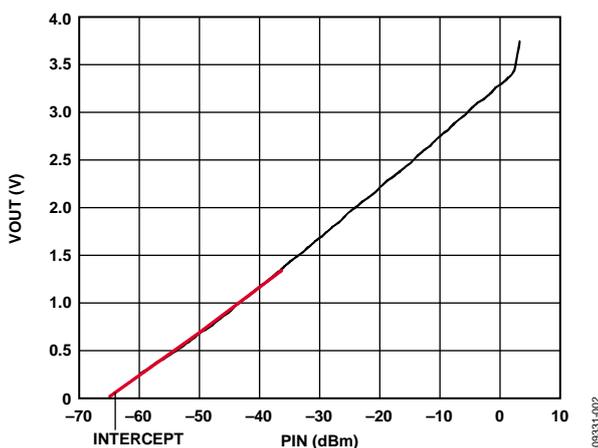


図 2. ADL5902 RMS 検出器、入力電力 対 出力電圧 (@ 900 MHz)

検出器の伝達関数は、次式で概算します。

$$VOUT = SLOPE\_DETECTOR \times (PIN - INTERCEPT)$$

ここで、*SLOPE\_DETECTOR* は mV/dB の単位、*INTERCEPT* は dBm の単位での X 軸におけるインターセプト、*PIN* は dBm の単位での入力電力です。

VOUT は ADC の AD 変換出力値として得られます。次のように式を書き換えることができます。

$$CODE = SLOPE \times (PIN - INTERCEPT)$$

ここで *SLOPE* は、検出器、スケール抵抗および ADC を含んだ全体の傾斜量であり、単位はカウント/dB です。*PIN* と *INTERCEPT* は dBm の単位です。

図 3 は、検出器へ 700 MHz の信号を入力し、入力レベルを変化させたときの、入力電力対 ADC 出力値の代表例です。

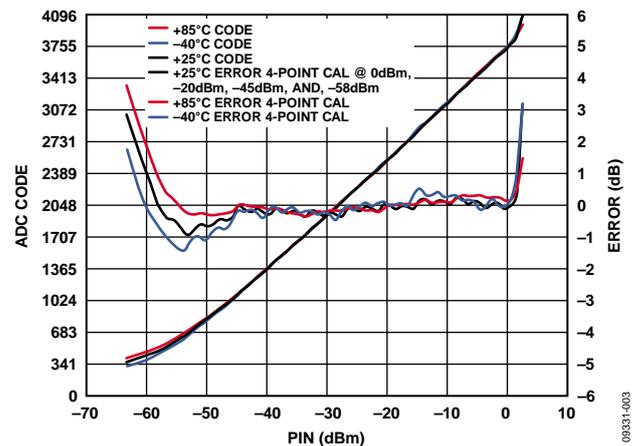


図 3. RF 入力電力 対 ADC 出力値と誤差 (@ 700 MHz)

システム全体の *SLOPE* および *INTERCEPT* は、セットごとに異なります。これは ADC、スケール抵抗および RF 検出器の伝達関数が個体ごとに異なるからです。そのためシステム全体の *SLOPE* と *INTERCEPT* を決めるため、システム・キャリブレーションが必要です。この応用例では、4 点補正によるキャリブレーションで、RF 検出器の伝達関数の非直線性 (特に低電圧のほう) を補正しています。この 4 点補正キャリブレーションで、3 つの *SLOPE* および 3 つの *INTERCEPT* キャリブレーション係数が得られます。これらの係数は、キャリブレーション完了後に不揮発性 RAM (NVM) に保存しておく必要があります。

キャリブレーションを行う場合は、既知の 4 つの信号レベルを ADL5902 に入力し、ADC から得られる AD 変換値を取得します。キャリブレーションを行うポイントは、デバイスがリニアに動作する範囲内とします。この例では、0 dBm、-20 dBm、-45 dBm、-58 dBm の 4 ポイントを使用しました。

キャリブレーション係数 *SLOPE* と *INTERCEPT* は次式で計算します。

$$SLOPE1 = (CODE\_1 - CODE\_2) / (PIN\_1 - PIN\_2)$$

$$INTERCEPT1 = CODE\_1 / (SLOPE\_ADC \times PIN\_1)$$

*CODE\_2/CODE\_3* と *CODE\_3/CODE\_4* を使って、この計算を繰り返して行い、*SLOPE2/INTERCEPT2* と *SLOPE3/INTERCEPT3* をそれぞれ算出します。その後、*CODE\_1*、*CODE\_2*、*CODE\_3*、*CODE\_4* と共に 6 個のキャリブレーション係数を不揮発性 RAM に保存します。

実際に回路を使用するとき、これらのキャリブレーション係数を用いて、未知の入力電力レベル *PIN* を求めます。*PIN* は次式で計算します。

$$PIN = (CODE/SLOPE) + INTERCEPT$$

回路動作中に、どのキャリブレーション係数を *SLOPE* と *INTERCEPT* に適用するかは、ADC で得られた *CODE* を、*CODE\_1* ~ *CODE\_4* と比較する必要があります。たとえば ADC からの *CODE* が *CODE\_1* と *CODE\_2* の間であれば、*SLOPE1* と *INTERCEPT1* を使用します。この手順は、アンダーレンジまたはオーバーレンジの警告を出す際にも利用できます。たとえば、ADC からの *CODE* が *CODE\_1* より大きいか、*CODE\_4* より小さい場合、測定された電力がキャリブレーション範囲外であることがわかります。

図 3 では上記の直線式と、実際の回路の伝達関数のずれとの関係を示しています。誤差は伝達関数の先端部の折れ曲がり、リニア動作範囲内の小さなリップル、温度ドリフトによって生じています。誤差は次式を使って dB 単位で求めます。

$$Error (dB) = Calculated RF Power - True Input Power$$

$$= (CODE/SLOPE) + INTERCEPT - PIN\_TRUE$$

図 3 には誤差の温度特性も示してあります。ここでは +85°C や -40°C など得られた AD 変換値を、室温での直線式と比較しています。これはシステム・キャリブレーションを室温でしか行わない、現実の一般的なシステムを想定しています。

図 4 と図 5 に 1 GHz と 2.2 GHz の性能をそれぞれ示します。

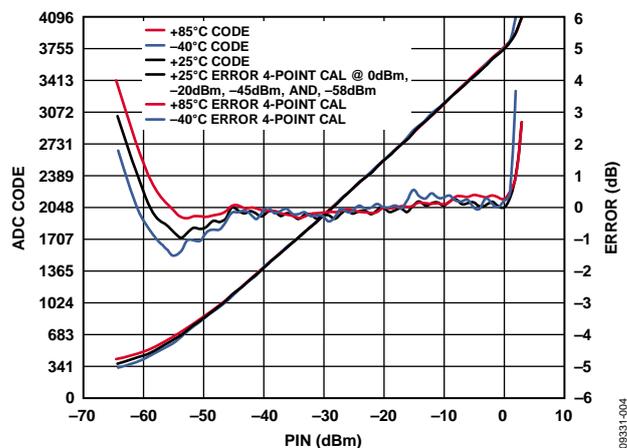


図 4. RF 入力電力 対 ADC 出力値と誤差 (@ 1 GHz)

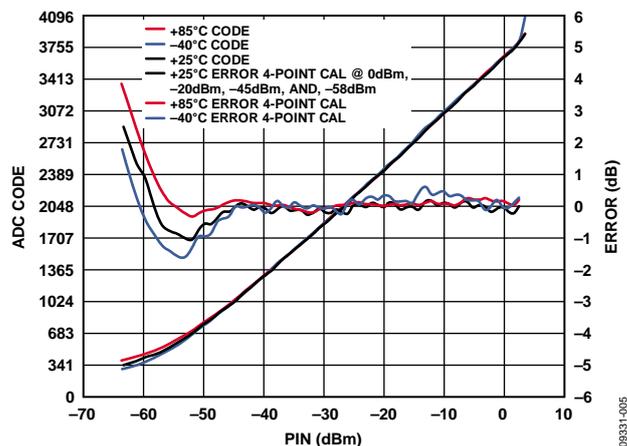


図 5. RF 入力電力 対 ADC 出力値と誤差 (@ 2.2 GHz)

この回路など、高速な回路の性能は、プリント基板のレイアウトに大きく左右されます。これは電源バイパス、パターンインピーダンス・コントロール・ライン (必要な場合)、部品の配置、信号の配線、電源プレーン、グラウンド・プレーンなどがポイントです。(プリント基板のレイアウトの詳細については、[MT-031 チュートリアル](#)、[MT-101 チュートリアル](#)と記事「[高速プリント回路基板 レイアウトの実務ガイド](#)」を参照してください。)

この回路ノートの設計支援パッケージについては、[www.analog.com/CN0178-DesignSupport](http://www.analog.com/CN0178-DesignSupport) をご覧ください。

## バリエーション回路

RF 電力の検出レンジが狭くてもよい場合は、RMS 検出器 [AD8363](#) が使用できます。AD8363 は検出レンジが 50 dB あり、6 GHz までの周波数で動作します。RMS 検出でなくてもよい用途の場合は、[AD8317/AD8318/AD8319](#) または [ADL5513](#) が使用できます。これらのデバイスにはそれぞれの検出レンジがあり、10 GHz までのさまざまな入力周波数範囲に対応しています(詳細は [CN-0150](#) を参照)。

AD7466 は、SPI インターフェースを備えたシングル・チャンネル 12 ビット ADC です。実際の用途でマルチチャンネル ADC が必要な場合は、デュアル 12 ビット [AD7887](#) が使用できます。さらに複数の ADC と DAC を必要とするマルチチャンネル・アプリケーションでは、[AD7294](#) が使用できます。このチップは 4 チャンネルの 12 ビット DAC 出力を持っているほか、汎用かつ多目的な ADC を 4 チャンネル、ハイサイド電流センスを 2 入力、3 個の温度センサーも内蔵されています。電流と温度の計測値もデジタル変換され、I<sup>2</sup>C 互換インターフェースを介して読み出すことができます。

## 回路評価とテスト

この回路では、EVAL-CN0178-SDPZ 回路ボードと EVAL-SDP-CB1Z システム・デモ用プラットフォーム (SDP) 評価用ボードを使用します。この 2 つの基板は 120 ピンの嵌合 (かんごう) コネクタを備えており、セットアップと回路の性能評価を簡単に行うことができます。EVAL-CN0178-SDPZ ボードは、このノートで説明したような評価ができる回路を備えています。SDP 評価用ボードは CN0178 評価用ソフトウェアと共に使用し、EVAL-CN0178-SDPZ 回路ボードからデータを取り込みます。

### 必要な装置

- USB ポートと Windows<sup>®</sup> XP、Windows Vista<sup>®</sup> (32 ビット)、または Windows<sup>®</sup> 7 (32 ビット) を搭載した PC
- EVAL-CN0178-SDPZ 回路評価用ボード
- EVAL-SDP-CB1Z SDP 評価用ボード
- CN0178 評価用ソフトウェア
- 電源: +6 V、または +6 V AC アダプタ
- 環境評価用恒温槽
- RF 信号源
- 同軸 RF ケーブル、SMA コネクタ付き

### 測定の準備

CN0178 評価用ソフトウェア・ディスクを PC の CD ドライブに挿入し評価用ソフトウェアをインストールします。「マイコンピュータ」から評価用ソフトウェア・ディスクのあるドライブを探し、Readme ファイルを開きます。Readme ファイルの指示に従って、評価用ソフトウェアをインストールして使用してください。

## 機能ブロック図

回路の機能ブロック図は図 1 を参照し、回路図は EVAL-CN0178-SDPZ-SCH-Rev0.pdf ファイルを参照してください。このファイルは [CN0178 設計支援パッケージ](#) に含まれています。

## セットアップ

EVAL-CN0178-SDPZ 回路ボードの 120 ピン・コネクタを EVAL-SDP-CB1Z 評価用 (SDP) ボードの「CON A」コネクタに接続します。ナイロン製の固定用部品を使って 2 つの基板をしっかりと固定します。120 ピン・コネクタの端部に固定用の穴があります。所定の RF ケーブルを使って、EVAL-CN0178-SDPZ ボードの SMA RF 入力コネクタに RF 信号源を接続します。電源スイッチをオフにして、基板上に「+6V」と記されたピンと「GND」と記されたピンに、+6V 電源を接続します。+6 V の AC アダプタがある場合は、それを基板上の AC アダプタ用ジャックに接続して、+6 V 電源の代わりに使用することができます。SDP ボードに付属している USB ケーブルを PC の USB ポートに接続します。この時点では、USB ケーブルは SDP ボードのミニ USB コネクタに、まだ接続しないでください。

## テスト

EVAL-CN0178-SDPZ 回路ボードに接続された +6 V 電源 (または AC アダプタ) をオンにします。評価用ソフトウェアを起動し、PC と SDP ボードの USB ミニ・コネクタ間を USB ケーブルで接続します。

USB 通信が確立すれば、SDP ボードを使って EVAL-CN0178-SDPZ ボードとシリアル・データで送信、受信、取込みを行うことができます。

この回路ノート内のデータは、Rohde & Schwarz SMT-03 RF 信号源と Agilent E3631A 電源を使って測定しました。グラフに示す周波数に信号源を設定し、入力電力を段階的に上げていき、1 dB 単位でデータを取得しました。

温度テストでは、Test Equity Model 107 環境評価用恒温槽を使用しました。CN0178-SDPZ 評価用ボードは、恒温槽のドアのスロットから中に入れ、SDP 評価用ボードは外側に出たままの状態にしました。

評価用ソフトウェアを使用してデータを取り込む方法については、CN0178 評価用ソフトウェアの readme ファイルを参照してください。

SDP ボードについては、[SDP ユーザー・ガイド](#) (英語) を参照してください。

## さらに詳しくは

CN0178 Design Support Package:

<http://www.analog.com/CN0178-DesignSupport>

SDP ユーザー・ガイド (英語)

Analog Dialogue 39 :

高速プリント回路基板 レイアウトの実務ガイド

CN-0150 Circuit Note :

Software-Calibrated, 1 MHz to 8 GHz, 70 dB RF Power  
Measurement System Using the AD8318 Logarithmic Detector

MT-031 Tutorial : [Grounding Data Converters and Solving the Mystery  
of “AGND” and “DGND,”](#)

MT-073 Tutorial : [High Speed Variable Gain Amplifiers \(VGAs\)](#)

MT-077 Tutorial : [Log Amp Basics](#)

MT-078 Tutorial : [Jitter and Timing Skew](#)

MT-081 Tutorial : [RMS-to-DC Converters](#)

MT-101 Tutorial : [Decoupling Techniques](#)

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-0178 回路評価用ボード (EVAL-CN0178-SDPZ)

システム・デモ用プラットフォーム (EVAL-SDP-CB1Z)

ADL5902 データシート/評価用ボード

AD7466 データシート/評価用ボード

## 改訂履歴

## 3/11—Rev. 0～Rev. A

Added Evaluation and Design Support Section..... 1

Added Circuit Evaluation and Test Section..... 4

## 10/10—Rev. 0: Initial Version

I<sup>2</sup>C は、Philips Semiconductors 社 (現在の NXP Semiconductors 社) が独自に開発した通信プロトコルです。

「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。