

Agilent Pシリーズ・パワー・センサ

RFパワー・センサの内部ゼロ調整／校正

Application Note



Agilent Technologies

はじめに

RFパワー・センサ／メータは、トレーサビリティと高精度RFパワー測定に用いられます。通常高精度測定には、ゼロ調整／校正手順をパワー・センサとパワー・メータで行う必要がありますが、それには外部校正信号源に何度も接続する必要があります。このアプリケーション・ノートでは、Agilentの内部ゼロ調整／校正手法を紹介します。この手法を用いると、外部信号源を使った校正に関連する測定の不確かさを低減できます。

RFパワー・センサとRFパワー・メータの組み合わせは、高精度のRFパワーの絶対値測定を行うためだけでなく、テスト・システムにトレーサビリティと精度を持たせるために用いられます。レーダ・システム、移動機、基地局のラボ・テスト・ベンチや製造ラインでも、環境が変化する場合があります。しかし、ほとんどの場合、パワー・メータ／センサはトレーサブルな絶対パワー測定を実現するための主要な手段として用いられます。

精度の高いRFパワー測定では、その後の測定を正確なものにするために、ゼロ調整／校正手順が必要です。このアプリケーション・ノートでは、この手順の役割について説明するとともに、この手順の適用方法について検討します。特に、Agilentの「内部ゼロ調整／校正」手法について説明します。この手法を用いると、外部校正信号源を使用して何ども接続する必要がないので、測定の不確かさやコネクタの磨耗が低減され、テスト時間が短縮されるという利点があります。

センサ・テクノロジーとゼロ調整／校正

市販のセンサは、3種類のRFダイテクタ（サーミスタ、熱電対、ダイオード）に依存しています。各センサ・タイプは通常、RFコネクタ・インタフェース（内部アッテネータまたは直流（DC）を含む場合がある）、ブロック・キャパシタ、RFダイテクタで構成され、シグナル・コンディショニング／プロセッシング回路が後に続きます。図1は、ダイオード・ダイテクタのセンサを示したものです。

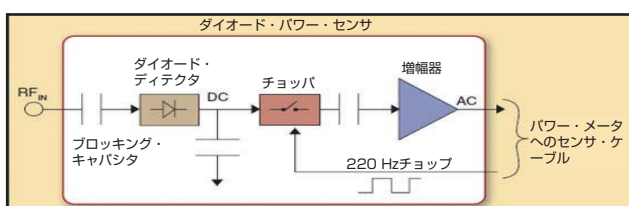


図1. ダイオード・ベースのパワー・センサのブロック図

サーミスタ・ダイテクタの場合は、ダイテクタを加熱し、抵抗の変化による入射RFパワーの損失を測定します。このため、ブリッジ回路を使用し、RFパワーの閉ループ測定を行います。ブリッジのRFによる発熱のバランスをとるために印加した電力量を測定することにより、50 Ω負荷で消費されるパワーが測定できます（DC置換）。

この測定の精度を向上するために、校正係数を使用します。これにより、完全な50 Ω負荷でないサーミスタの不整合損失が除去されます。また、RFパワーがすべてサーミスタ自体で消費されるわけではないので、実効効率も考慮されます。[1]校正係数は、センサのRF周波数レンジに対して変化し、センサを製造したときの校正時に、または定期的な校正サイクルの一環として作成されます。校正係数は通常、パワー・レベルおよび温度に対して一定です。

このため、DC置換手法によるサーミスタ・パワー・センサを使用したパワー測定では、ユーザがさらに校正を行う必要はありません。しかし、測定システムのオフセット効果をゼロにするために、ゼロ調整操作が必要です。

熱電対およびダイオード・ダイテクタの場合は本来、デバイスを校正する前にRFパワーを測定することはできません。これらのダイテクタは、使用前の校正に依存するので、通常は「開ループ」と呼ばれています。それぞれ、入力RFパワーに比例する電圧を出力しますが、意味のある値にするには、スケール係数も必要です。スケール係数は通常、センサを既知のRF信号源（通常は50 MHz、0 dB校正器（基準発振器とも呼ばれる））に接続して、導出します。これにより、スケール係数を求めることができます。このプロセスを「ユーザ校正」と呼びます。

熱電対またはダイオード・センサからの出力が2 mVである場合を考えます。これは、50 MHzで未知のパワーを入射したときの結果です。この出力値は、約1 mVの出力を発生させる0 dBm、50 MHzでセンサを校正した場合のみ意味があります。このため、スケール係数を1 V当たり1 Wとして計算し、2 mVの出力に適用することにより、2 mWという測定値が求められます。また、サーミスタ・パワー・センサに対して導入した校正係数を適用して、このスケール係数を他の周波数に適用します。ただし、校正係数は、適用前に行われる閉ループ校正に依存します。

さらに、ダイオードと熱電対のどちらも、パワー測定を行う前にゼロ調整する必要があります。パワーを印加しない場合は、ゼロ調整機能は測定システム内の残留オフセットを除去します。通常は、ユーザ校正とゼロ調整操作は同時に実行されるため、「ゼロ調整／校正」と呼ばれています。

校正プロセスを検証する前に、ゼロ調整を行う必要があります。ディテクタにRFパワー入射がないときに、パワー・メータでセンサの出力を測定します。さらに、ゼロ測定により0.2 mVが得られたとすると、それまで1 mVであったゼロ調整後の校正値は、 $1\text{ mV} - 0.2\text{ mV} = 0.8\text{ mV}$ となります。この値を用いることにより、1 V当たり0.8 Wというスケール係数が作成されます。

通常、パワー・メータとパワー・センサは別々の製品になっています。このため、パワー・メータとパワー・センサは離れたところにあり、ユーザ校正とゼロ調整プロセスはパワー測定の直前に実施します。パワー・メータとパワー・センサを分離する主な理由は、以下のとおりです。

- 測定基準面を被試験デバイス (DUT) にできるだけ近づける。配線損失による確度の低下やインピーダンス整合の低下による不整合の不確かさを最小限に抑える。
- RFセンサの互換性を高め、システムの部分的な交換を可能にすることにより、柔軟性の高いパワー出力範囲/周波数カバレッジをより安価に実現する。

したがって、多くの場合、パワー・センサ、ケーブル、パワー・メータを最初に接続します。また、テスト・ステーションを組み立てながら切断/再接続を繰り返す場合があります。このため、確度を最大にするには、測定前にユーザ校正とゼロ調整を実施します。

ゼロ調整と校正の評価

今日のRFパワー・センサでは[2]、ディテクタは有効範囲の一部で非線形です(すなわち、検出される出力電圧が必ずしも入力パワーに正比例するとは限りません)。したがって、校正係数はパワー/温度範囲に対して一定ではないので、周波数校正係数以上のレベル補正が必要です。

例えば、ダイナミック・レンジが拡大されたダイオード・ディテクタは、パワー・レベル全体のリニアリティ補正を行い(通常は50 MHzでのリニアリティ特性評価を含む)、それを他のすべての周波数に適用します。校正係数補正とリニアリティ補正を併用する最も簡単な方法は、すべての補正をユーザ校正に使用したRF信号源の周波数とパワー・レベルを基準に行う方法です。

さまざまな周波数で、さらにリニアリティ補正を適用することもできます。この補正は周波数依存リニアリティ補正(FDLC)と呼ばれています[3]。また、リニアリティ補正をさまざまな温度で用いることにより、温度による補正も可能です。このようなリニアリティ、校正係数、FDLCを

組み合わせて、センサの出力電圧と入力RFパワーを関連付けるには、各温度、周波数、パワー・レベル毎に固有の補正係数が必要です。これらの補正は、定期的な校正サイクルの一環として、またはユーザ校正用の基準信号源を基準にして、センサ製造時に作成された特性評価データに基づいて行われます。

ユーザ校正は、GPSを基準にして自分の位置を求め、それに従って地図上における自分の位置を特定するのと似ています。ある時点での地図上の自分の位置がわかっても、他の場所に移動した場合は、自分の居場所が確実にわかるわけではありません。それを知る唯一の方法は、動き回っている自分の高度や居場所を地図の細部によって確認できると信じることです。GPSはユーザ校正の役割を果たし、地図の細部はセンサの特性です。この場合、自分の位置を知ること(測定)は、初期基準の確立、その妥当性、地図がどの程度最新で正確なものであるかということと極めてよく似ています。

2乗則領域で動作する従来のセンサは制限された領域のフラットな部分で動作しますが、ダイナミック・レンジが拡大された今日のピーク/アベラージュ・センサ動作領域には、広い領域の大きな山や谷があります。このため、最新のセンサでは、最初のGPSの測定値よりも、地図(校正係数および特性評価)の正確さが重視されています。図2は、AgilentのPシリーズ・パワー・センサの応答、すなわち「地図」を示したものです。センサの定期的な校正は、本質的に地図の細部の確認または更新と同じです。

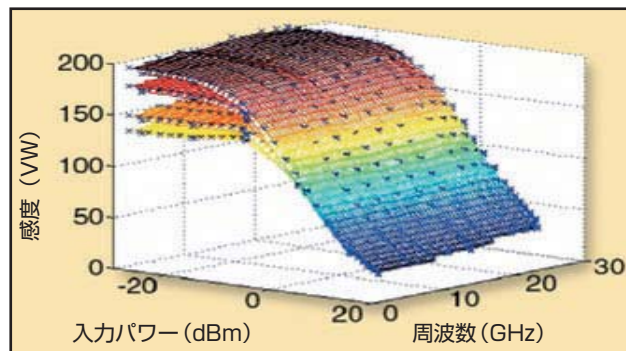


図2. Pシリーズ・パワー・センサの4次元補正係数(パワー、温度、周波数全体に対する検出された電圧の特性)

このパワー・センサの進化の過程で、ユーザ校正に微妙な変化が生じています。すなわち、高い確度を確保するために、工場での特性評価や定期的な校正サイクルへの依存度がますます高まっています。

ユーザ校正についてのよくある誤解は、ユーザ校正によってセンサの応答の変化を検出し、調整することができるということです。しかし、センサとメータという組み合わせが変化した可能性もあるので、RFディテクタの動作の変化に関して何らかの結論を出すことはできません。閉ループには、コネクタ・インタフェース、増幅回路、配線、パワー・メータも含まれます。このため、ユーザ校正の主な役割は、センサ、メータ、ケーブルを一体化することであり、ディテクタの動作の変化を検出することではありません。

このことを認識した上で、Agilent N1921/2A Pシリーズ広帯域パワー・センサは、ユーザ校正に新しい手法を取り入れています。センサをDUTから切り離して、50 MHz、0 dBmの基準信号に接続する必要はもうありません。RF-DC検出プロセスの後で既知のDC基準信号を導入することにより、ユーザ校正の役割を簡単に達成できます。これをさらに一歩進めて、RFディテクタにRF入射がある間にゼロ調整が行われるように、トランジスタ・スイッチがディテクタの後に存在します(図3を参照)。この特許出願中の手法は、「内部ゼロ調整/校正」と呼ばれています。

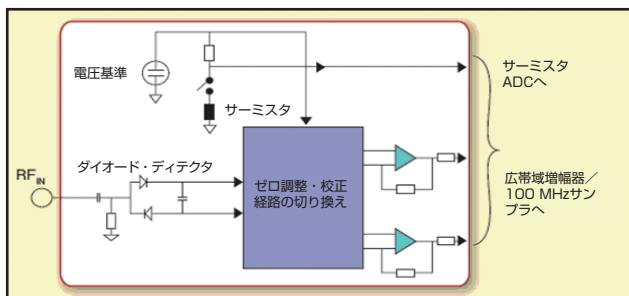


図3. Pシリーズ・パワー・メータの「内部ゼロ調整/校正」のブロック図

この機能により、校正信号源の接続/切断が不要になるため、テスト時間、測定の不確かさ、コネクタの磨耗を低減できます。これは、製造環境や自動テスト環境では特に有用です。

高精度電圧基準は、 ± 3 ppmの確度で始まり、減衰/バッファリング後は、安定度が ± 500 ppm ($\pm 0.05\%$)になります。これは、ほとんどのパワー・センサの0 dBm、50 MHz校正器と比べても遜色はありません。N1911/2Aパワー・メータでは、確度仕様は $\pm 0.4\%$ ($25 \pm 10^\circ\text{C}$) と $\pm 1.2\%$ ($0 \sim 5^\circ\text{C}$)です。このため、この内部校正により、センサとパワー基準の間の不整合の不確かさが除去され、校正プロセスの確度が向上します。

N1921/2Aパワー・センサの校正は、外部校正器に依存しないので(校正器は、既存のAgilentセンサの校正用にパワー・メータに内蔵されています)、内蔵校正器に接続することにより、ディテクタ回路やコネクタのインテグリティ

を確認できます。ただし、システムが全動作範囲においてフル確度で動作していることを証明/保証することはできないので、これには限界があります。

次に校正によりどのようなエラーが検出できるかを、いくつかの例を挙げて説明します。パワー・センサに、絶対最大定格(損傷レベル)を超えるパワーが入力された場合、次のようないくつかの影響が生じる可能性があります。

- センサ内にあるアッテネータがRFパワーをディテクタに伝送できない可能性があります。ユーザ校正、またはPシリーズ・パワー・センサの場合は既知の正常な信号源を測定することにより、この障害を検出することができます。
- 実際のディテクタが、破壊されたり、ストレスを受けて経年変化が進んでいる可能性があります。前者の影響は、既知の信号源に接続することにより検出できますが、経年変化による影響は捕らえ難く、ユーザ校正でも、既知の正常な信号源を使用しても、すぐに検出することはできません。
- 熱電対の場合は、最大パワーを超えると、センサの「スケール係数」が変更されている可能性があります。これはユーザ校正を繰り返すことにより補正できますが、センサの寿命が短くなる可能性があります。

パワー・センサ/メータはさまざまな状況/環境で使用されますが、システム校正や敷設テストなどでは数回の接続/切断が必要です。何回も接続することにより、コネクタが磨耗する可能性があります。こうした磨耗による確度への影響は、次の2つの形で現われます。

1. センサのVSWRが低下し、不整合の不確かさが大きくなります。
2. ディテクタ回路へのRF結合が変化し、適用された補正係数が有効でない可能性があります。このため、50 MHzでは正確な測定のように見えますが、校正器では、別の周波数での影響がかなり大きくなる可能性があります。

コネクタ標準器を基準面に移動するために、ネットワーク・アナライザ用の校正キットを用いますが、コネクタを締め過ぎないように注意するだけでなく、DUTコネクタのゲージを正常な状態に保つように注意する必要があります。パワーの確度をDUTにトランスファするのにパワー・センサを用いる場合にも、同様の注意が必要です。

まとめ

Agilentのパワー・センサ/メータ用の内部ゼロ調整/校正機能を使用すると、外部校正信号源を使用して何度も接続する必要がないので、測定の不確かさやコネクタの磨耗が低減され、テスト時間が短縮できます。RFパワー・センシング・テクノロジーでは、最適な確度を実現するために、何らかの補正が必要です。内部と外部のいずれのセンサ校

正信号源を使用しても、適用したコネクタの妥当性を保証するものでも、測定全体の確度を保証するものでもありません。センサとそのRFインタフェースの取扱い／使用に注意して、校正と確度の高い特性評価を組み合わせ使用した場合(補正係数が作成された場合)に、確度の高い測定が実現します。

リファレンス

1. イタリアック体の用語は一般的なパワー測定関連の用語です。詳細な定義については、アプリケーション・ノート 1449-3 『Fundamentals of RF and Microwave Power Measurements (Part 3), Power Measurement Uncertainty per International Guides』(カタログ番号5988-9215EN)を参照してください。
2. 『Modern RF sensors are considered as sensors with internal memory (EEPROM) in order to retain Calibration and Correction Factor data, with an extended operating range』。
3. 以下のWebサイトの『Measuring Power Levels in Modern Communication Systems』(Microwaves & RF, October 2000)をご覧ください：
www.home.agilent.co.jp/upload/cmc_upload/All/EP5G090442.pdf。

メモとしてお使いください

メモとしてお使いください



電子計測UPDATE

www.agilent.co.jp/find/emailupdates-Japan

Agilentからの最新情報を記載した電子メールを無料でお送りします。



Agilent Direct

www.agilent.co.jp/find/agilentdirect

テスト機器ソリューションを迅速に選択し使用できます。



www.agilent.co.jp/find/open

Agilentは、テスト・システムの接続とプログラミングのプロセスを簡素化することにより、電子製品の設計、検証、製造に携わるエンジニアを支援します。Agilentの広範囲のシステム対応測定器、オープン・インダストリー・ソフトウェア、PC標準I/O、ワールドワイドのサポートは、テスト・システムの開発を加速します。

確実なサービス

修理／校正サービスは機器を新品同様の動作状態に戻し、お約束した納期に短期間で返却いたします。Agilentでは、Agilent機器を十分活用できるように、さまざまなサポートを提供しています。またAgilentの技術者による最新の工場校正、自動修理診断、純正部品を使用したサービスを受けられます。さらに、必要に応じて、工場の専門家にもアクセスできます。これは測定に対する最高の信頼性を意味し、不安感を抱くことなく、Agilentの修理／校正サービスを利用できます。

Agilentでは、デザイン／システム・インテグレーション／プロジェクト管理に加えて、最初のスタートアップ・アシスタンス、オンサイト教育／トレーニングなどの、機器に対するさまざまなテスト／測定サービスを提供しています。

修理／校正サービスの詳細情報については、以下をご覧ください。

www.agilent.co.jp/find/removealldoubt

アジレント・テクノロジー株式会社

本社〒192-8510 東京都八王子市高倉町9-1

計測お客様窓口

受付時間 9:00-19:00 (土・日・祭日を除く)

FAX、E-mail、Webは24時間受け付けています。

TEL ■■■ 0120-421-345
(042-656-7832)

FAX ■■■ 0120-421-678
(042-656-7840)

Email contact_japan@agilent.com

電子計測ホームページ
www.agilent.co.jp

●記載事項は変更になる場合があります。
ご発注の際はご確認ください。

Copyright 2007
アジレント・テクノロジー株式会社



Agilent Technologies

April 5, 2007
5989-6509JAJP
0000-00DEP