

Keysight Technologies

無線機器製造のための

広いダイナミックレンジでの高速で正確な

マルチチャネルパワー測定

Application Note

1.0 はじめに

無線チップセットやパワーアンプの製造時にRFパワー測定を行う場合、従来は再現性、測定速度、確度の高さが主要な要件とされてきました。現在はこれに加えて、新しい要件の重要性が増しつつあります。それはパワー測定範囲の広さであり、特に低パワーレベルが重視されています。これは、高いデータスループットと広いエリアカバレッジをサポートするために、広いパワー出力範囲を処理できるように設計されたチップセットの出現が原因です。

このアプリケーションノートでは、無線チップセットやパワーアンプの製造における代表的なパワー測定テストセットアップを示し、さまざまな信号フォーマットに適したセンサ設定を紹介します。これらのセットアップを使うことで、最高の測定速度と、最も正確なパワー測定を広いパワー測定範囲にわたって実現できます。最後に、キーサイト・テクノロジーのU2040 Xシリーズパワーセンサの主な特長と利点を紹介します。このセンサは、世界最高の96 dBというダイナミックレンジを備えています。U2040 Xシリーズは、製造スループットの向上と最大化に必要な速度、確度、広いパワー測定範囲を提供します。

2.0 代表的なテストセットアップ

図1に、無線チップセット製造テストの代表的なテストセットアップを示します。3台のパワーセンサを使用して、チップセットの入力パワー、出力パワー、反射パワーを測定します。キーサイト・テクノロジーのMXAなどのスペクトラム・アナライザを使用して、ACPR、EVM、高調波などのその他の重要なパラメータを測定します。センサを損傷しないために、測定するパワーがセンサの測定可能パワー範囲を超えないように注意する必要があります。これは特にパワーアンプの出力において重要です。信号フォーマットによっては、信号源からのトリガ出力信号をパワーセンサのトリガ入力ポートに接続して、信号とセンサでの測定を同期させる必要があります。

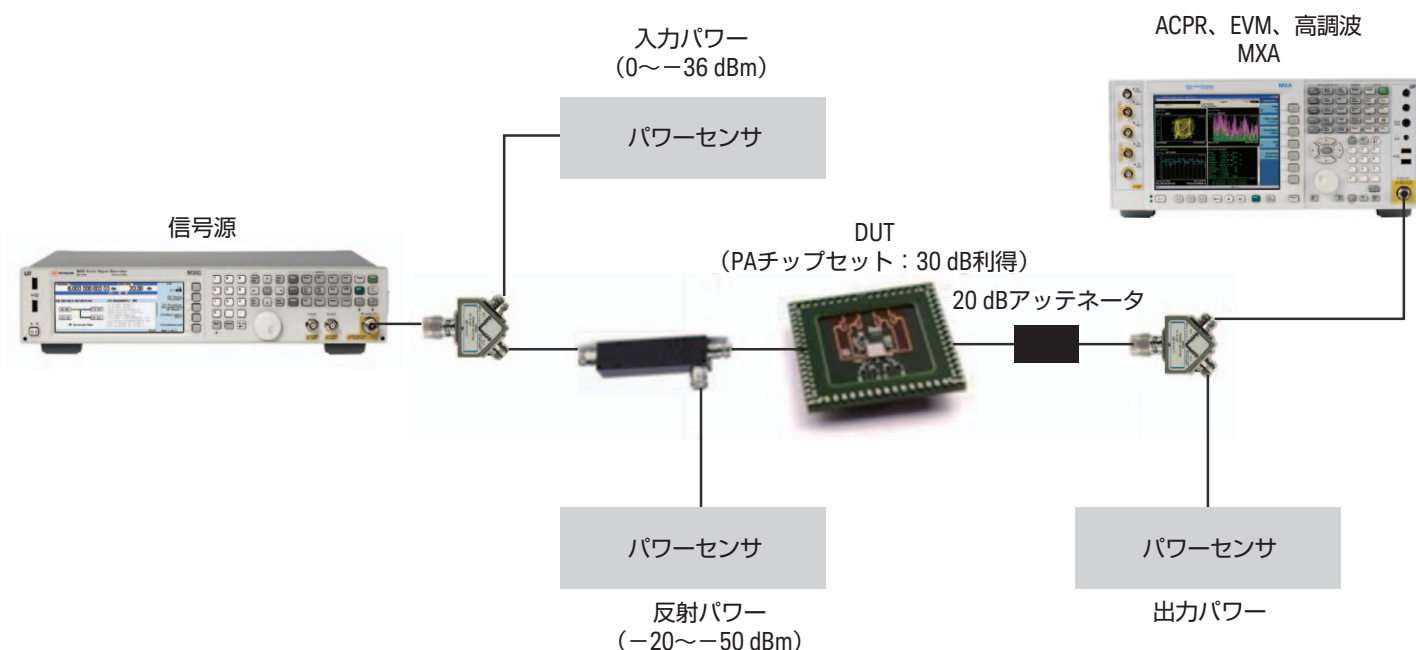


図1. 無線チップセット製造テストの代表的なテストセットアップ

3.0 無線テスト用の推奨センサ設定

最も正確で高速な測定を実現するために、U2040 Xシリーズは、信号フォーマットに基づいて異なるモードに設定できます。いくつかの一般的な無線信号フォーマットと推奨されるセンサ設定を以下に示します。

表1. 一般的な無線信号フォーマットと推奨設定

測定タイプ	信号	推奨センサ設定	参照トピック
バースト/フレーム構造を持つ信号に対するバースト平均パワー	LTE-TDD、GSM、EDGE、無線LAN	アベレージ モードタイムセレクト ティビティ	例1
バースト/フレーム構造を持つ信号に対する波形平均パワー	LTE-TDD、GSM、EDGE、無線LAN	アベレージ モードタイムセレクト ティビティ	例2
連続変調信号に対する波形平均パワー	W-CDMA、LTE-FDD	フリーラン、 高速モード	例3
外部トリガ信号のないタイムスロット信号	GSM、EDGE	ノーマル・モード・ タイムゲーテッド・ パワー測定	例4
外部トリガ信号のあるタイムスロット信号	GSM、EDGE	ノーマル・モード・ タイムゲーテッド・ パワー測定、または アベレージ モードタイムセレクト ティビティ	例5 例6
マルチフォーマット信号	信号フォーマットを順番に切り替えるシーケンス	アドバンス・リスト・ モード	

4.0 アベレージモードタイムセレクトティビティ測定

Keysight U2040 Xシリーズには、アベレージモードタイムセレクトティビティという新しい機能があります。これにより、測定のアパーチャ持続時間を、即時トリガまたは外部トリガを基準にして設定することができます。アパーチャ持続時間は、100 μ s ~ 200 msの範囲で、100 nsの分解能で設定できます。これはどのような無線フォーマットに対しても十分小さい分解能です。この新しい機能を使えば、波形のどの部分を測定するかを制御できるので、従来のノーマルモード(ピークモード)のタイムゲーテッドパワー測定と同じ結果が得られます。この機能の最大の利点は、センサが波形平均パワー測定とタイムセレクトティビティ平均パワー測定の両方を96 dBのダイナミックレンジ全体にわたって実行でき、最大10,000回/秒のリアルタイム測定が可能なことです。従来のセンサでは、タイムゲーテッド・パワー・ダイナミック・レンジ測定は通常50 dB付近でクリッピングされ、最大速度は1000回/秒程度だったので、これは大きな進歩です。

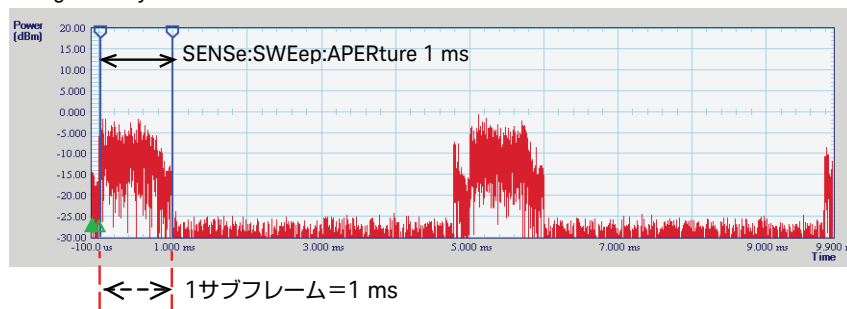
下の例1と2で、LTE信号に対してアベレージモードタイムセレクトティビティ測定を行う方法を紹介します。

例1. LTE-TDDにおけるバースト平均パワー測定

例えば、1 msのLTE-TDDサブフレームに対しては、アパーチャ持続時間をサブフレーム長(この例では1 ms)に等しくすることにより、1サブフレームのバースト平均パワーを測定できます。外部トリガ設定では、U2040A Xシリーズは平均カウント1で-50 dBmまでの正確な測定が可能です。これにより、連続するすべての1 msサブフレームを測定できます。

1 msのLTEサブフレーム1個の測定 (バースト平均パワー)

TRIGger:DElAY 0



```
SENS:MRATE FAST
TRIG:COUN 100
TRIG:SOUR EXT
SENS:SWE:APER 1 ms
TRIG:DEL 0
*OPC?
FETC? //100個のデータの配列に
バースト平均パワーを読み取る
```

図2. 1 msのLTEサブフレームのバースト平均パワー測定

例2. LTE-TDDにおける波形平均パワー測定

LTE-TDD波形全体の平均パワーを測定するには、アパーチャ持続時間をLTEフレーム持続時間の10 ms(バーストのオンとオフの両方の期間を含む)に設定する必要があります。センサは常にバーストの全期間を測定するため、トリガ位置調整(TRIG : SOUR IMM)や大きなアベレーシングカウントの設定が不要で、LTE波形全体のパワーを高速に測定しながら、きわめて正確で再現性の高いパワー測定値が得られます。

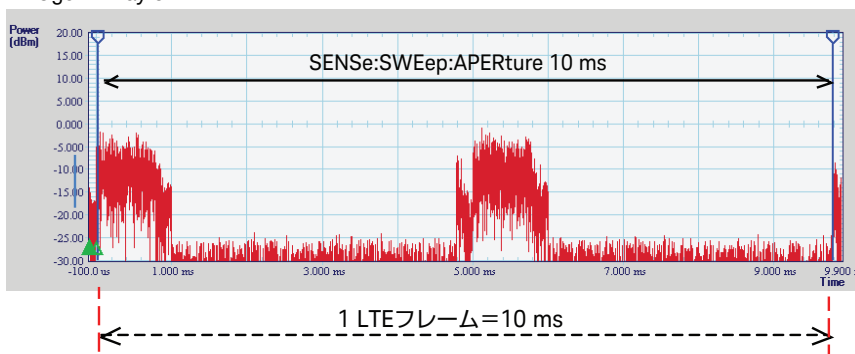
別の方法として、アベレーシングカウントとアパーチャ持続時間の積を、パルス周期の整数倍に設定することもできます。

$$\text{アベレーシングカウント} \times \text{アパーチャ持続時間} = N \times \text{パルス周期}$$

同じ測定を従来のセンサで実行するには、大きなアベレーシングカウントが必要です。この理由は、アパーチャ持続時間をパルス周期に合わせる必要がありますが、アパーチャ持続時間を制御する方法がないからです。

10 msのLTEフレーム1個の測定

TRIGger:DElAY 0



```
SENS:MRATE FAST
TRIG:COUN 100
SENS:SWE:APER 10 ms
SENS:SOUR IMM
TRIG:DEL 0
*OPC?
FETC? //100個のデータの配列に
波形平均パワーを読み取る
```

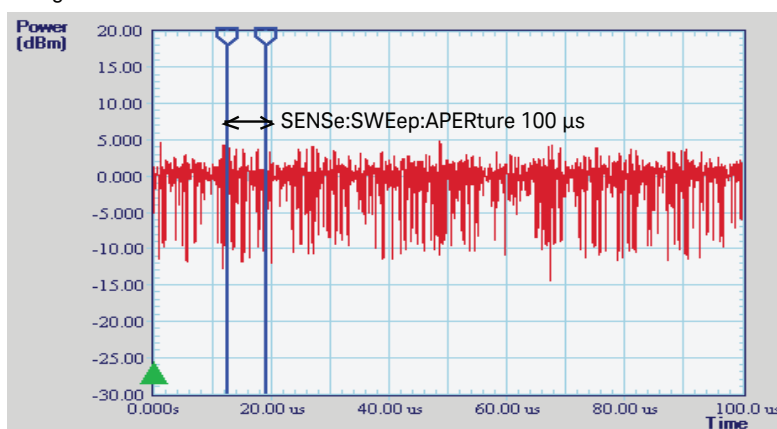
図3. 10 msのLTEフレームの波形平均パワー測定

例3. W-CDMAにおける波形平均パワー測定

新しいアベレージモードタイムセレクトビリティは、W-CDMAやLTE-FDDなどの連続変調信号に対しても使用できます。この種の信号に対しては、通常波形の平均パワーだけが測定されます。U2040を使用すれば、センサをデフォルトのフリーランに設定して、特別な設定なしにこの測定が可能です。U2040 Xシリーズでは、きわめて正確な平均パワー測定が可能です。測定速度を最高にするには、速度モードを高速、アパーチャ持続時間を100 μ s、トリガカウントを100に設定します。この設定では、10,000回/秒のリアルタイム測定が可能です。

連続するW-CDMA波形 (フリーラン平均パワー)

TRIGger:SOURce:IMMediate



10,000個/秒のリアルタイム測定値を得るための設定:

```
CAL:AUTO OFF //オプションの設定
SENS:AVER:COUN 1 //オプションの設定
SENS:AVER:SDET OFF //オプションの設定
TRIG:DEL:AUTO OFF //オプションの設定
UNIT:POW W //オプションの設定
FORM REAL
SENS:MRATE FAST
TRIG:COUN 100
SENS:SOUR IMM
SENS:SWE:APER 100 μs
TRIG:DEL 0
*OPC?
FETC? //100個のデータの配列に
波形平均パワーを読み取る
```

図4. フリーランによる連続するW-CDMA波形の平均パワー測定

5.0 ノーマルモード・タイムゲーティッド・パワー測定

無線モジュールやボード・レベル・テストなど、一部の無線アプリケーションでは、被試験デバイス(DUT)あるいは信号発生器から外部トリガ信号が得られません。このため、パワーセンサが内部トリガ機能を備えている必要があります。内部トリガ機能を使用すれば、DUTの出力信号レベルをセンサの内部トリガレベルと比較して、有効なトリガを判定できます。

前のセクションで説明したように、新しいアベラージュモードタイムセレクトビリティ機能は、測定タイミング制御として即時トリガと外部トリガだけをサポートしています。外部トリガ信号が利用できず、測定のタイミングが重要であるアプリケーションでは、ノーマルモード(ピークモード)でタイムゲーティッド測定モードを使用することを推奨します。このモードでは、トリガソースを即時、内部、外部のいずれかに設定できます。

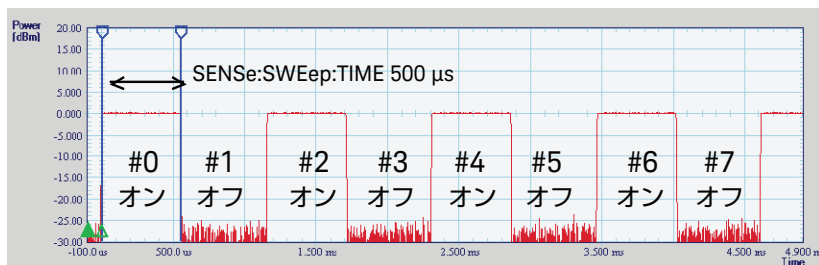
例4. GSMにおける内部トリガ・タイムゲーティッド平均パワー測定

測定値をできるだけ早く得るには、速度モードを高速に設定し、ゲート開始とゲート長をGSMタイムスロットに合わせて設定します。

この例では、スロットを交互にオンとオフにして、GSMタイムスロットを測定することが目的です。U2040 Xシリーズは、内部トリガを使用することにより、タイムスロットと同期して、1回の測定を1.2 ms(2タイムスロット分の時間)で行えます。

GSM交互タイムスロットの測定 (内部トリガタイムゲーティッド平均パワー)

SENSe:SWEp:OFFSet:TIME 50 μ s



```

SENS:MRATE FAST
TRIG:COUN 100
TRIG:SOUR INT
TRIG:SEQ:LEV -10
SENS:SWE:OFFS:TIME 500  $\mu$ s
SENS:SWE:TIME 50  $\mu$ s
CALC:FEED "POW:AVER ON SWEEP"
FETC? //100個のデータの配列に
ゲーティッド平均パワーを読み取る
  
```

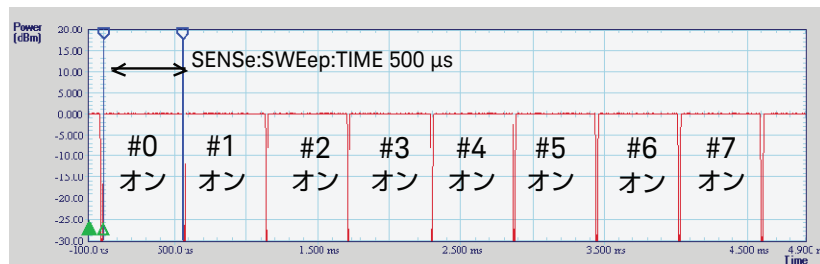
図5. 内部トリガによるGSM交互タイムスロットのタイムゲーティッド平均パワー測定

例5. GSMにおける外部トリガタイムゲーティッド平均パワー測定

GSMフレームの全タイムスロットを測定するには、外部トリガの使用を推奨します。U2040 X シリーズは、すべてのタイムスロットを577 μs の測定時間で測定できます。これはGSMタイムスロットの持続時間と同程度の速度です。

GSM全タイムスロットの測定 (外部トリガタイムゲーティッド平均パワー)

SENSe:SWEp:OFFSet:TIME 50 μs



```
SENS:MRATE FAST
TRIG:COUN 100
TRIG:SOUR EXT
SENS:SWE:OFFS:TIME 500 μs
SENS:SWE:TIME 50 μs
CALC:FEED "POW:AVER ON SWEEP"
FETC? //100個のデータの配列に
ゲーティッド平均パワーを読み取る
```

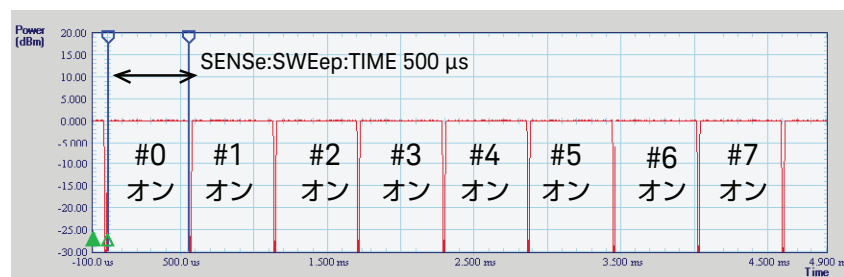
図6. 全GSMタイムスロットでの外部トリガタイムゲーティッド平均パワー測定

例6. GSMにおける外部トリガを使用したアベレージモードタイムセレクトィビティ測定

外部トリガタイムゲーティッド平均パワー測定を使用する代わりに、アベレージモードタイムセレクトィビティ測定を使用して、GSMフレームのすべてのタイムスロットを測定できます。この方法の利点は、ダイナミックレンジが大幅に広がることです。

GSM全タイムスロットの測定 (外部トリガ・アベレージモードタイムセレクトィビティ)

SENSe:SWEp:OFFSet:TIME 50 μs



```
SENS:MRATE FAST
TRIG:COUN 100
TRIG:SOUR EXT
SENS:SWE:APER 500 μs
TRIG:DEL 50 μs
*OPC?
FETC? アベレージモードの
タイムセレクトィビティ機能で
測定した平均パワー100個の
データ配列を読み出す。
```

図7. 外部トリガを使用した全GSMタイムスロットでのアベレージモードタイムセレクトィビティ測定

6.0 アドバンス・リスト・モード

ほとんどの無線チップセットは、複数のモードで動作するか、複数の信号フォーマットをサポートするように設計されています。したがって、チップセットが仕様を満たすことを検証するには、サポートされるすべてのフォーマットをテストすることが必要になります。しかし、サポートされているすべてのフォーマットをテストするのは、非常に時間がかかります。U2040 Xシリーズが備えているアドバンス・リスト・モードを使用すれば、このようなテストを高速化できます。

アドバンス・リスト・モードでは、ある測定から次の測定へと、センサの設定をリアルタイムで柔軟に変更できます。例えば、最初の3回の測定GSMタイムスロットを500 μ sのアパーチャサイズで900 MHzで行い、次の3回の測定ではLTEサブフレームを1 msのアパーチャサイズで700 MHz、その後、無線LANプリアンブルを192 μ sのアパーチャサイズで測定できます。

センサとDUT/信号源の同期は、パワーセンサの内蔵トリガ入力およびトリガ出力ポートによるハードウェアハンドシェイクにより行われます。トリガ入力信号が受信されるたびに、センサは定義済みの設定に基づいて測定し、測定値をバッファメモリに保存します。シーケンス全体が完了した後で、1回の読み取りですべての測定値を取得できます。これにより、プログラミングのオーバーヘッドが減少し、センサまたはDUT/信号源のセットアップのアイドル時間を短縮できます。

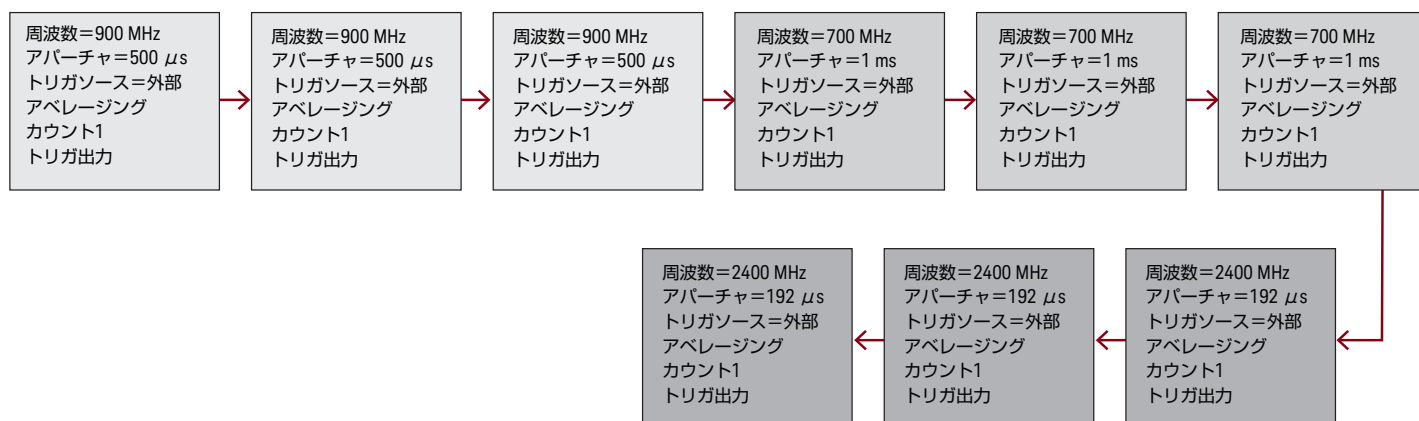


図8. マルチフォーマットの測定を高速化するU2040シリーズのアドバンス・リスト・モード

7.0 Keysight U2040 Xシリーズの主な特長と利点

Keysight U2040 Xシリーズは、高い確度と再現性を維持しながら、テストコストを削減し、製造スループットを改善するために最適なソリューションです。この製品には、以下のような独自の特長があります。

- 広いダイナミックレンジによるテストカバレッジの拡大
- 広帯域のLTE-Advanceや無線LAN 802.11acを含む広範囲の無線信号フォーマットへの対応
- 仕様の動作温度範囲および周波数レンジ全体にわたって0.2 dBという優れた確度を実現
- 柔軟な構成とコストパフォーマンスの高いマルチチャネルパワー測定が可能

高速測定

U2040 Xシリーズは、アベレージングモードで10,000回/秒のリアルタイム測定が可能です。これは、キーサイトの従来のセンサ製品に比べて10倍の高速です。この測定速度により、測定収集の間に時間ギャップを生じずに、連続するすべてのパルスを測定できます。

世界で最もダイナミックレンジが広いパワーセンサ

96 dBという全ダイナミックレンジを持つセンサは、Keysight U2040 Xシリーズ以外にありません。業界最高のダイナミックレンジにより、パワーアンプ(PA)の大きな出力から、高整合のPAからの小さな反射信号まで、広い範囲の信号を測定できます。

高い確度と再現性

このパワーセンサは、0.2 dB未満という高い確度を、0 ~ 55 °Cの動作温度範囲と、33 GHzまでの周波数レンジ全体で実現しています。これだけ広い温度範囲と周波数レンジで同等のレベルの確度を実現できる測定器は他にありません。これに匹敵する確度を持つスペクトラム・アナライザやネットワーク・アナライザはありますが、その確度が有効なのは特定のパワーレベルや特定の温度だけです。U2040 Xシリーズなら、許容範囲が狭い場合や仕様マージンが限定されている場合でも、良品を誤って不合格にしてしまうおそれが少なくなります。U2040 Xシリーズで得られたすべての測定値は、国家/国際標準機関が定めた標準値にトレーサブルです。

広帯域への対応

U2040 Xシリーズは、あらゆる変調信号に対して正確な平均/タイムゲーテッド平均パワー測定が行え、LTE、LTE-Advanced(100 MHz帯域幅)、無線LAN 802.11ac(80/160 MHz帯域幅)といった一般的なすべての無線信号に対応しています。またA/Dコンバータには並列経路を持つ4パスのダイオード・スタック・デザインが採用され、高い確度と再現性でシームレスなレンジ切り替えを実現しています。4パスのダイオード・スタック・デザインにより、すべてのダイオードが2乗則領域で動作するため、U2040 Xシリーズは熱電対パワーセンサのように動作して、広帯域変調信号の正確なRMSパワーを測定できます。

マルチチャネルパワー測定用のコストパフォーマンスの高い柔軟なソリューション

このセンサのシリーズは、図1に示すように、マルチチャネルパワー測定用のコストパフォーマンスの高いソリューションです。PAのチップセットの入力パワー、出力パワー、反射パワーのマルチチャネルパワー測定を3台のU2040 Xシリーズ センサで実現でき、あらゆる広帯域無線信号フォーマットに適した高い確度と測定速度を達成できます。このセンサによるソリューションはきわめて柔軟性が高いため、他の校正目的に再利用して、テストシステムの確度を広い周波数/パワー/温度範囲に対して改善できます。

myKeysight



www.keysight.co.jp/find/mykeysight
ご使用製品の管理に必要な情報を即座に手に入れることができます。



www.axiestandard.org

AXIe (AdvancedTCA® Extensions for Instrumentation and Test) は、AdvancedTCA® を汎用テストおよび半導体テスト向けに拡張したオープン規格です。Keysight は、AXIe コンソーシアムの設立メンバーです。



www.lxistandard.org

LXI は、Web へのアクセスを可能にするイーサネットベースのテストシステム用インタフェースです。Keysight は、LXI コンソーシアムの設立メンバーです。



www.pxisa.org

PXI (PCI eXtensions for Instrumentation) モジュラ測定システムは、PC ベースの堅牢な高性能測定 / 自動化システムを実現します。



www.keysight.com/go/quality

Keysight Technologies, Inc.
DEKRA Certified ISO 9001:2008
Quality Management System

契約販売店

www.keysight.co.jp/find/channelpartners
キーサイト契約販売店からもご購入頂けます。
お気軽にお問い合わせください。

キーサイト・テクノロジー合同会社

本社 〒192-8550 東京都八王子市高倉町9-1

計測お客様窓口

受付時間 9:00-18:00 (土・日・祭日を除く)

TEL ☎ 0120-421-345 (042-656-7832)

FAX ☎ 0120-421-678 (042-656-7840)

Email contact_japan@keysight.com

ホームページ www.keysight.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。