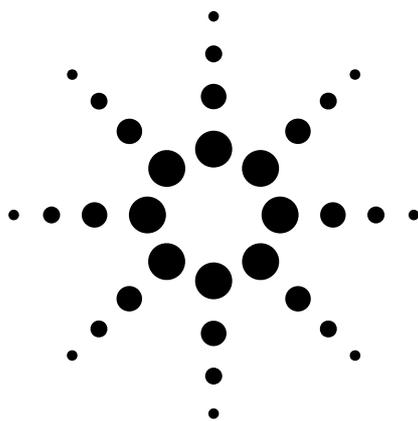


# 4

# Hints

4つのヒント  
マイクロ波カウンタの  
より優れた測定



## ご注意

2002年6月13日より、製品のオプション構成が変更されています。  
カタログの記載と異なりますので、ご発注の前にご確認をお願いします。



**Agilent Technologies**

Innovating the HP Way

# マイクロ波カウンタ測定のための 4つのヒント

技術の進歩につれ、測定器の各々の機能が重複する傾向が増えてきました。例えばスペクトラム・アナライザは周波数測定(かつてはカウンタに限定された機能)、マイクロ波カウンタはパワー測定(同じくパワー・メータに限定された機能)、ユニバーサル・カウンタはマイクロ波周波数測定(同じくマイクロ波カウンタに限定された機能)その他の例にもみられるような機能を持つようになりました。さらにはこの一般技術の進歩によって、新たな測定問題が生じています。本書では、マイクロ波カウンタに関するそのような測定の問題の一部を取り上げます。

マイクロ波周波数の測定を行うカウンタには、次のような数種のタイプがあります。

- ユニバーサル・カウンタ(タイマ/カウンタ)およびRFカウンタ(周波数カウンタ)：測定周波数レンジを、低～中マイクロ波レンジにまで広げています(通常5GHz、さらには12.4GHzも)。

- CWマイクロ波カウンタ：一般に最低で20GHzまで、さらには50GHzまでも測定できるものもあります。カウンタは同一の入力を使用して周波数とパワーの両測定ができるパワー測定機能を併せ持つものがほとんどです。
- CWマイクロ波カウンタ/パワー・メータ：一台の測定器に、マイクロ波周波数カウンタと真のパワー・メータを組み合わせたものです。周波数測定とパワー測定は、別の入力を使って行います。パワーは外部パワー・センサを使って測定するため、より正確な測定を行えます。
- パルス/CWマイクロ波カウンタ：パルスド・マイクロ波信号(典型的な軍用)およびCW信号を測定します。

この中でCWマイクロ波カウンタが他に比較してはるかに一般的なため、本書では主にこれについて取り上げます。

## スペクトラム・アナライザに対して マイクロ波カウンタをいつ使用するか

スペクトラム・アナライザは強力な測定器で、大多数の人が基本的なマイクロ波ツールと考えています。しかしスペクトラム・アナライザを使用しているマイクロ波周波数測定が、最適な選択でない場合もあります。このような例では、マイクロ波カウンタの購入が明らかにより経済的な選択となります。一般に20GHzスペクトラム・アナライザの価格は、20GHzマイクロ波カウンタの少なくとも3倍です。マイクロ波信号の周波数を測定するだけのアプリケーションでは、スペクトラム・アナライザは経済的とは言えません。

マイクロ波カウンタは、いくつか他の長所も持っています。高分解能の周波数測定や高速な測定時間が必要な場合には、マイクロ波カウンタは常に1秒で1Hzの分解能を提供します。これはすべてのスペクトラム・アナライザで可能な性能ではありません。またもちろん、特に初心者にとって、カウンタは使いやすい測定器でもあります。さらに、カウンタの重さやサイズは一般にスペクトラム・アナライザよりも小さく、内部バッテリーを装備すれば真のフィールド・ポータブル測定器となります。例えばAgilent Technologies 53150シリーズは、これらの長所をすべて兼ね備えたマイクロ波カウンタです。



## デジタル変調信号の測定

マイクロ波カウンタを使用して、変調信号の搬送波周波数や中心周波数を測定するのは簡単な作業ではありません。周波数変調(FM)の場合、測定の精度は変調信号の対称性と変調器の直線性の両方に関係していますが、どちらも測定に先立って十分に知ることはできません。振幅変調(AM)では信号は常にカウンタの感度内になければならず、パルス変調された信号や単側波帯信号の場合には、遅延ラインやエンベロープ検波など特殊な手法がなければほとんど測定は無理です。このような困難さのために、次のような典型的な経験則が生み出されました。つまり搬送波の変調をオフにしたがってサービスを中断するか、変調の前に信号を測定します。この経験則は、デジタル変調信号にも用いられています。

今日のデジタル変調はAMと位相変調、またときにはパルス変調を組み合わせたものです。パルス変調は時分割マルチプル・アクセス(TDMA)で使用され、ユーザは特定のチャンネル周波数の他にタイムスロットが割り当てられて、その間に通信が許されます。TDMAを使用した典型的な規格にはNADC(米国)、PHS/PDC(日本)、GSM(世界)などがあり、これらの規格は音声およびデータ用のセルラ/PCSやWireless Local Loop(WLL)に使用されています。

さらに信号スペクトルは、周波数ホッピング(FHSS)または擬似ランダム・シーケンス(CDMA)を使用して、多くの場合に故意に拡散されています。前者はいくつかのワイヤレス・ローカル・エリア・ネットワーク(WLAN)で使用され、後者はWLAN、セルラ/PCS、低地球軌道衛星(Iridium、Globalstar)を含む様々なCDMAネットワークの中心技術となっています。

デジタル信号は、どのような精度にしても、搬送波周波数の測定において特別な問題をもたらします。図1(a、b、c)はPHS、NADC、GSMの典型的な信号スペクトルを示しています。これらの規格はそれぞれ異なったデータ・レート、変調方式、スペクトル整形フィルタを使用しているため、測定では異なった不確かさの程度をもたらします。マイクロ波カウンタは測定(ゲート)時間における平均周波数を表示するため、伝送データが真にランダムなとき、ゲート時間が長いほど精度も向上します。データ自体、または不十分な変調によって真にランダムでなければ、スペクトルが一方に偏って予期できない読取り値のバイアスが起きます。このバイアスは一見したところ、解決不能の測定問題のように思えます。しかしある状況のもとでは、これを実際に測定精度向上のために使用することができます。

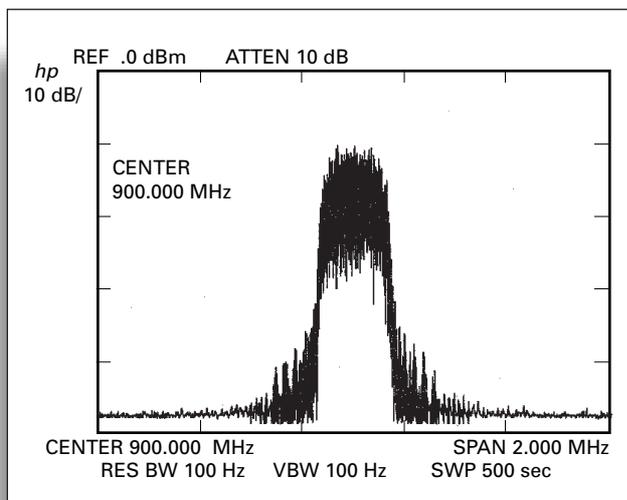


図1a. 典型的なPHSのスペクトル

これを理解するには、通常デジタル変調方式で使用される変調器が一般に直交変調器であることを考慮することが助けとなります。このような変調器は基本的に、単側波帯の抑圧搬送波変調器です。連続ゼロ・データ・ストリームを使用して表示すると、スペクトルは基本的にシングル・トーン(側波帯)を伴う抑圧搬送波となります。この側波帯の抑圧搬送波からのオフセットはデータ・レートと変調方式に関係しますが、それは常にデジタル規格によって固定されています。これは、データに連続ゼロを使ったGSMスペクトルとしての、図2でグラフィックに表示されています。単側波帯は抑圧搬送波の上、正確にビット・レートの4分の1(67.708 kHzまたは270.833kビット/秒割る4)だけオフセットしています。このようにデータ・レートが既知でありデータを連続ゼロに設定できる場合は、側波帯自体の測定によって正確な搬送波周波数を簡単に計算することが可能です。

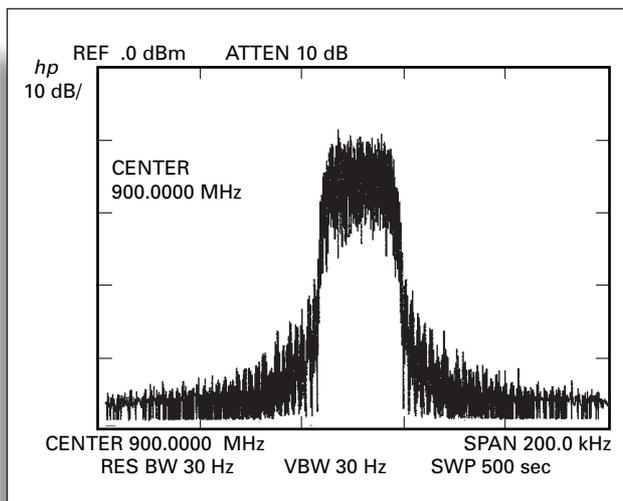


図1b. NADC

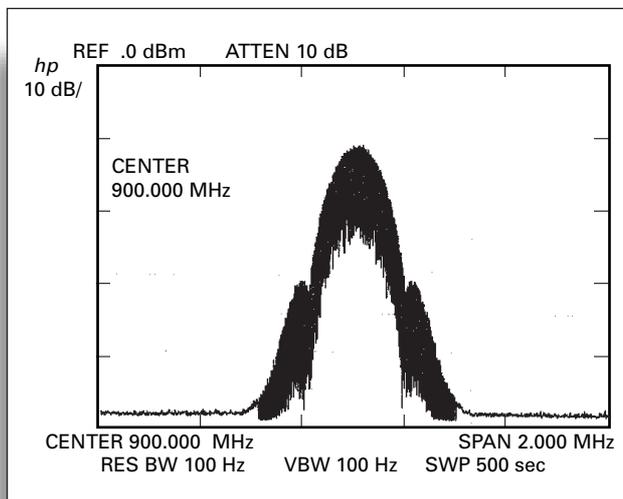


図1c. GSM

Agilent 53150シリーズのような新しいマイクロ波カウンタにはオフセット機能があり、この計算を自動的に行えます。その他の変調方式を使用する伝送規格でもオフセットは同様に固定で、表1で示すように予測が可能です。

この連続ゼロ法では、搬送波信号がパルス変調またはバースト(TDMA規格のみ)されていないかも考慮する必要があります。このようなバースト信号の直接測定には、パルス測定が可能なカウンタを使用しなければなりません。その他、CWマイクロ波カウンタを使用してパルス変調の前に周波数を測定することもできます。

スペクトラム拡散システムの場合は、この測定方法が拡散方式(CDMAやFHSS)とは本質的に相容れないために、これを用いた測定できません。このようなシステムに対し、マイクロ波カウンタは割り当てチャンネルの中心値の近似のみを測定できます。

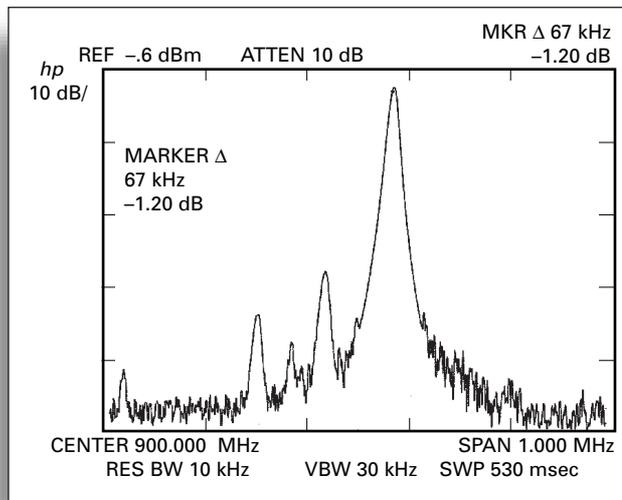


図2. 連続ゼロ・パターンを使用したGSMのスペクトル

表1

規格	変調タイプ	データ・レート	連続ゼロ側波帯
GSM	GMSK	270.833 kb/s	データ・レート/4を超える (+67.708 kHz)
NADC	$\pi/4$ DQPSK	48.608 kb/s	データ・レート/16を超える (+3.038 kHz)
PHS	$\pi/4$ DQPSK	384 kb/s	データ・レート/16を超える (+24 kHz)
PDC	$\pi/4$ DQPSK	42 kb/s	データ・レート/16を超える (+2.625 kHz)
DECT	GFSK	1152 kb/s	データ・レート/4未満 (-288 kHz)
TETRA	$\pi/4$ DQPSK	36 kb/s	データ・レート/16を超える (+2.250 kHz)

# マイクロ波カウンタを使用した パワー測定の実験

ほとんどのマイクロ波カウンタは、入力信号の周波数だけでなくそのマイクロ波パワーを測定する機能も持っています。そのパワー・センシング・デバイスとしては、一般にショットキー・ダイオードが使われます。このダイオードは、マイクロ波信号をカウンタが実際にカウントする中間周波数へと変換する、サンプラのダウンコンバート・アセンブリの一部です。SWRは、複雑なサンプラ構造の全体によって制限を受けます。その結果、マイクロ波カウンタのSWR代表値は、ただ1つのダイオードまたは熱電対デバイスを持つパワー・メータ・センサのそれよりも劣ることになります。

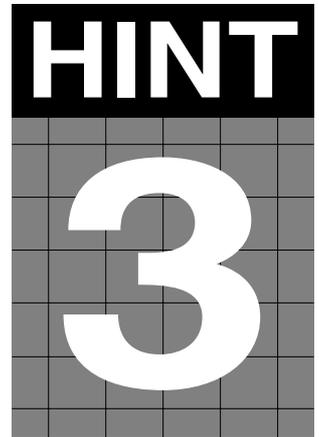
加えて、マイクロ波カウンタのパワー測定およびダウンコンバートは実質的にフロントパネルの入力コネクタで行われるため、信号を測定器の入力まで運ぶためのケーブルを使用しなくてはなりません。このケーブルがその損失と整合の特性を測定に付加することになり、これはマイクロ波パワー・メータを使用した測定では一般に発生しないことです。このため、マイクロ波カウンタを使用したパワー測定の整合と、したがって精度は、マイクロ波パワー・メータを使用したパワー測定ほど正確でないのは明らかです。

それでも、Agilent 53150シリーズ・マイクロ波カウンタは、非常に有用なパワー測定を行います。短い高品質のケーブルを使用すれば、代表的な全体の測定精度は約20GHzまで±2.5dB以内が可能です。このような精度を得るには、周波数とレンジ両方についてのカウンタ・パワー測定の慎重な工場校正がキーとなります。例えばカウンタ・ダイオードの周波数応答は50MHzからカウンタの最大周波数まで、50MHz刻みで測定されます。これは20GHzカウンタの場合約400ポイント、46GHzカウンタでは約1,000ポイントにも上る精度です。カウンタは入力信号の周波数を測定するため、パワー測定ダイオード周波数応答の調整は内部マイクロプロセッサにとっては簡単な問題です。またこれが、カウンタがパワー測定の前に周波数測定を行う必要のある理由ともなっています。周波数を測定しない限り、パワー測定ダイオードの周波数応答のための補正は既知でなく、結果の測定精度は非常に粗いものとなります。

マイクロ波カウンタは入力パワー・レンジ代表値+10~-30dBmで動作するため、そのパワー・センシング・ダイオードも同様のレンジで動作します。残念なことに、このレンジでパワー・センシング・ダイオードは、遷移ゾーン

を間に挟んで2乗則からリニア特性へと変化します。これに対しては複雑な多項式を用いて数学的に補正するのではなく、カウンタのメモリに格納されたパワー校正一覧テーブルが使用されます。このテーブルではサンプラ中の実際のパワー・センシング・ダイオードが、40dBのダイナミック・レンジにわたり1dBステップで4~6周波数(カウンタの周波数レンジによる)において特性評価されています。これにより、2乗則からの偏移に対する適正な校正が可能となっています。

このような結果、Agilent 53150シリーズのパワー測定の精度は、カウンタの入力コネクタにおいて非常に優れたものとなっています(55°C動作温度範囲で、20GHzまで±1.5dB以内)。これに短くて高品質のマイクロ波ケーブルを組み合わせると、約20GHzまで±2.5dB以内の精度が期待できます。



# HINT

## 4

### カウンタ・パワー測定 of 確度向上

より良い確度が要求されるときでも、マイクロ波カウンタが十分なお役に立ちます。カウンタのパワー測定 of 確度向上のためには、いくつかの測定テクニックを使用できます。カウンタに必要な信号を導く場合 of、ケーブルによる挿入損失 of 整合(補正)向上によって、測定 of 不確実さ of 改善が可能となります。これらのテクニックは、一般にテスト・ポイントにおけるパワー測定 of 不確実さを、広い周波数レンジにおいて  $\pm 1.0\text{dB}$  以下に改善します。また低周波数(3GHz以下) or 狭い帯域幅(1GHzなど)では、さらに優れた確度が得られます。

このようなテクニック of 第1は、カウンタ入力とそれに接続するマイクロ波ケーブルとの相互作用を最小にすることによる、測定 of 整合改善です。このためには、高品質 of 固定マイクロ波アッテネータ(パッド)を入力ケーブルとカウンタの間に挿入します。4~6dBが望まれますが、3dBでも有効です。例えばAgilent 53150シリーズ of 入力整合は代表値で10GHzまで10dB(2:1 SWR)ですが、3dBパッドはそれを約16dB(1.4:1

SWR)に、6dBパッドなら22dB(1.17:1 SWR)に向上させます。これは、パッド of 整合が25dB以上を仮定した場合です。実際 of 高品質パッド of 整合は20~25dB辺りのため、およそ6dB以上 of 減衰はカウンタ入力 of 実効整合を改善しません。この周波数レンジにおけるパワー・メータ・センサ of 一般 of 整合は、約16~20dBという値です。

テスト・ポイントにおける同様 of パッドは、測定する信号源からケーブルを分離します。このような測定テクニックを図3で示しています。この方法 of 不利な点としては、テスト・セットアップ of 全減衰量による信号レベル of 低下が挙げられます。ケーブル of 挿入損失 - 高品質 1 m ケーブル of 最大 1.5dB(1GHzにおける)に加えて、2パッドによる6~12dBが数えられます。これにより測定 of 実効低限は約10dB減って、例えば-30dBm of 測定限度が-20dBmとなります。もしこのような量 of 挿入損失が問題となる場合は、ワーストSWRポイント(一般にカウンタ側)でパッドを1つだけにします。

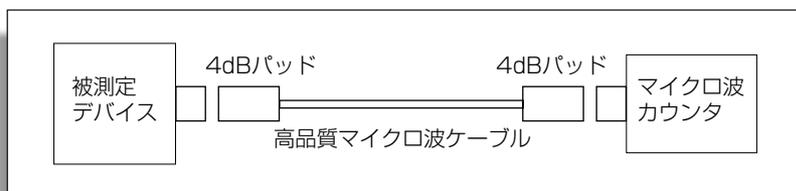


図3. パワー測定のおすすめセットアップ

さらに他のテクニックとして、測定する周波数レンジにわたって周波数に伴うケーブルの挿入損失変動を校正することにより、不確実さを低減させる方法があります。このためには、必要な各周波数ポイントで基準パワー・メータを使用して挿入損失を測定します。この挿入損失を実際のマイクロ波カウンタの読取り値から差し引いて、測定の不確実さを改善します。Agilent 53150シリーズの持つユニークなパワー補正モードでは、挿入損失データの保存とそれに続く減算とが自動的に行われます。このモードは最大10個の挿入損失/周波数ポイントを記憶し、測定がそれらの間に相当すればポイント間を

直線的に補間します。また最大9種類のフロントパネル設定を記憶できるため、最大9本のケーブル特性も保存が可能です。または、1本のケーブルの最大90校正ポイントを保存できます。

もちろん可能な場合には前述の2テクニックを組み合わせれば、最高の測定精度が達成できます。

# アジレント・テクノロジーのCWマイクロ波カウンタ選択ガイド

- 3つのモデル  
53150A 20GHzカウンタ  
53151A 26.5GHzカウンタ  
53152A 46GHzカウンタ
- アナログ・ピーク・インジケータによる周波数とパワーの同時測定。パワー測定精度は±2dB以内
- ケーブル損失補正のためのパワー補正モード
- 優れたフィールド・ポータブル性—小型、軽量、堅牢、オプションの内部バッテリー、オプションのソフト・キャリング・ケース
- すぐにATEが可能—GPIBおよびRS-232インタフェース、SCPI言語プログラミング、オプションのラック・マウント・キット
- 開発部門向け機能—周波数/パワー・オフセット、測定アベレーシング、相対(デルタ)頻度/パワー測定、分解能とサンプリング・レートの制御、測定器セットアップの保存/リコール、オプションのオープン・タイムベース

より詳しい情報は、アジレント・テクノロジーのWebサイト

<http://www.tm.agilent.com/>にあります。  
または計測お客様窓口まで、Agilent 53150シリーズのProduct Overviewをご請求ください。



フィールド、工場、開発部門用、アジレント・テクノロジーの多機能CWマイクロ波カウンタ



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 9:00~17:00  
(土・日・祭日を除く)  
※FAXは24時間受け付け

TEL ☎0120-421-345  
(0426-56-7832)

FAX ☎0120-421-678  
(0426-56-7840)

E-mail: mac\_support@agilent.com

電子計測ホームページ

<http://www.agilent.co.jp/find/tm>

- 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。



**Agilent Technologies**

Innovating the HP Way

5967-6195J  
040001302-L/H