

レーダおよびパルス・アプリケーションにおける Agilent EPM-Pシリーズ・パワー・メータの使用

Application Note 1438

はじめに

このアプリケーション・ノートでは、パルスおよびピーク・パワー測定を行うための新しい手法について説明します。本ノートで扱うのは、EPM-Pシリーズ・パワー・メータおよびE9320ピーク・アベレージ・センサのパルス測定機能と、EPM-Pアナライザ・ソフトウェアのパルス解析機能です。

パルス・パワー

パルス・パワー測定従来の方法は、下のように、パルスのアベレージ・パワーを測定したあと、測定結果をパルスのデューティ・サイクル値で割ってパルス・パワー測定値を得るというものでした。

$$P_p = P_{avg} / \text{デューティ・サイクル}$$

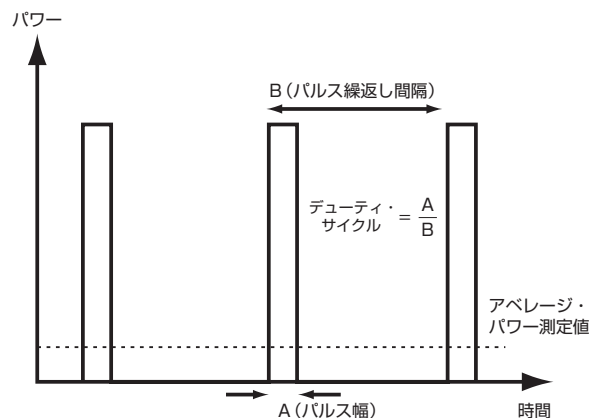


図1：パルス・パワー測定

この測定結果は、パルス・パワーの実際の測定値というよりは数学的表現で、ピーク・パワーが一定であることを仮定しています。このパルス・パワーでは、オーバーシュートやリングングなどのパルスの異常はすべて平均化されて消えてしまいます。このため、この測定はパルス・パワーと呼ばれており、レーダに関する多くの文献に現れるピーク・パワーやピーク・パルス・パワーとは区別されます。パルス・パワー測定値が正確であるためには、入力信号は既知の一定のデューティ・サイクルを持つ繰り返し方形パルスである必要があります。これ以外のパルス形状(三角やガウシアン)の場合、誤った結果が得られます。この方法はまた、デジタル変調システムにも適用できません。デューティ・サイクルが一定でなく、パルス振幅や形状が変化するからです。

デューティ・サイクルを使ってパワーを計算する方法には、いくつかの利点があります。アベレージ・パワー・メータおよびセンサはピーク・アベレージ・パワー・メータおよびセンサよりも安価なので、低コストのソリューションを実現できます。また、測定可能なパワーと周波数の範囲が広いという利点もあります。Agilent 8480およびE9300アベレージ・パワー・センサのパワー・レンジは-70 dBm (E9300センサは-60 dBm) ~ +44 dBm、周波数レンジは9 kHz (8480センサは100 kHz) ~ 110 GHz (E9300センサは24 GHz) です。

Agilent EPMシリーズ・パワー・センサを使って、パワー・メータ・デューティ・サイクル法の仕組みを見てみましょう。この例では、図2のように、パルス幅が10 μ s、パルス周期すなわちパルス繰り返し間隔 (PRI) が40 μ s のパルス信号を供給します。パルス信号のパワー・レベルは約0 dBmに設定します。

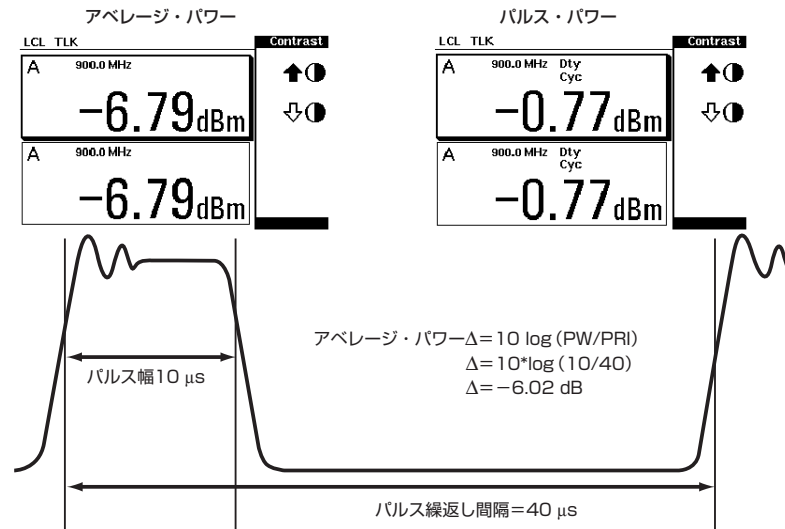


図2：デューティ・サイクルを使ったパルス・パワー測定

パワー・メータを使って信号のアベレージ・パワーを測定すると、アベレージ・パワー表示に-6.79 dBmという結果が表示されます。デューティ・サイクルは10 μ s割る40 μ sすなわち25%とわかっているため、この値をパワー・メータに入力します。これにより、-0.77 dBmというパルス・パワー測定値が得られます。パワー・メータが何をしているかを理解するために、デューティ・サイクルでの計算について見てみましょう。

アベレージ・パワー Δ = 10 log (パルス幅/PRI)

上の式は、アベレージ・パワーとパルス・パワーの差を示します。この計算の結果、この例では、アベレージ・パワーはパルス・パワーよりも6.02 dB小さくなります。パワー・メータはこの補正を行って、入力されたデューティ・サイクルからパルス・パワーを表示します。

多くの場合、図2のように、パルスは完全な方形波ではありません。信号の立ち上がり/立ち下がり時間や、オーバershoot、リングングなどがあるからです。これらの現象の組み合わせにより、計算結果に誤差が生じます。

EPM-Pシリーズ・パワー・メータによるパルス・パワー測定

レーダ、電子兵器、ナビゲーションなどの分野の最新のシステムの多くには、パルスおよびスペクトラム拡散を利用した複雑なテクノロジーが採用されています。このため、パルスRFパワーを測定するためのより高度な方法が開発されています。EPM-Pシリーズ・パワー・メータは、このような高度なパワー測定方法の実現に大きく貢献します。E9320Aセンサと組み合わせることにより、タイム・ゲート・ピーク、アベレージ、ピーク・アベレージ比パワーの測定とパルス・プロファイル表示が可能です。

EPM-Pパワー・メータは連続サンプリング法を採用しており、計算を使うのではなく、指定した期間で測定を行います。EPM-Pパワー・メータの連続サンプリング・レートは20 Mサンプル/sで、測定対象の信号の正確なプロファイルを得ることができます。サンプリング・パワー・メータのデザインには連続サンプリングとランダム・サンプリングの2つの方法がありますが、パルス測定に対しては明らかに連続サンプリングのほうが有利です。例えば、連続サンプリングを使えばシングル・ショット測定でも信号を捕捉できます。これは、捕捉しようとするのが繰返しパルスでない場合に有効です。また、連続サンプリング法を使うと、パワー・メータでデジタル・フィルタリング・アーキテクチャと帯域幅補正が使用できます。デジタル・フィルタリングはパワー・メータとセンサの組み合わせのダイナミック・レンジを拡大する効果があり、帯域幅補正はピークおよび統計パワー測定の確度を最適化する働きをします。これに対して、ランダム・サンプリングを使った場合、ピーク信号が捕捉される保証はありません。繰返し信号に対してはトレースを構築することができますが、このためには複数のトレースが必要なので、表示までに時間がかかります。

図3では、図2のデューティ・サイクルの例と同じ信号を測定しています。

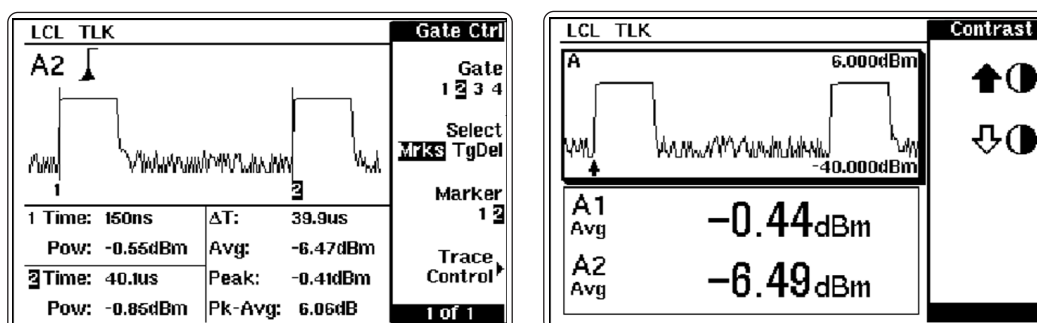


図3：EPM-Pパワー・メータを使ったパルス・パワー測定

EPM-Pのディスプレイから、デューティ・サイクル法との違いを見ることができます。最も明らかな違いは、パルス信号を観察できることです。左の画面のように、トレースを使って測定を設定できます。この例では2つのゲートを設定しています。1つは信号のパルス幅に設定され、パルス自体のパワーを測定するために使います。もう1つのゲートは、左の画面のマーカー1と2で示され、パルス繰返し間隔 (PRI) 全体におけるパワーを測定します。

右側の画面は、上のウィンドウにトレース、下のウィンドウに2つの数値を表示するようにパワー・メータのディスプレイを設定したものです。2つの数値のウィンドウには、2つのゲートのアベレージ・パワー (A1およびA2アベレージ・パワー) を表示するように設定しています。この結果から、PRI全体のアベレージ・パワーがパルス自体のアベレージ・パワーよりも6.05 dB小さいことがわかります。この測定値は、デューティ・サイクル法によって計算された差である6.02 dB、すなわち完全なパルス形状を仮定した値ときわめて近くなっています。

レーダおよびパルス・アプリケーション

レーダおよびパルス・アプリケーションにおいては、タイム・ゲート・パワー測定がきわめて重要です。タイム・ゲート測定はEPM-Pパワー・メータの豊富なトリガ機能に支えられており、単一または複数のパルスに対して最大4つの独立した測定が可能です。その1つの例を図4に示します。ここでは、単一パルスに対するトリガ・イベントから4つの独立したスタート遅延とゲート長が設定されています。

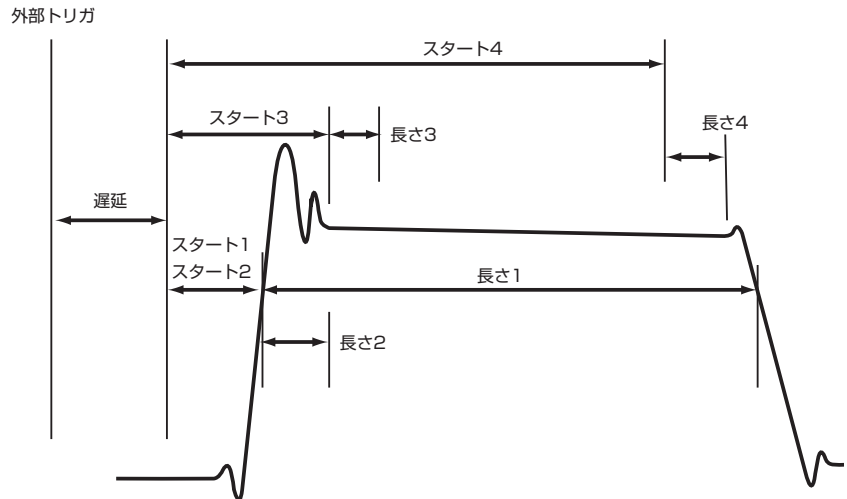


図4：EPM-Pシリーズ・パワー・メータの豊富なタイム・ゲート機能

これら4つの測定はそれぞれ、ピーク、アベレージ、またはピーク・アベレージ比を測定するように設定できます。これにより強力な測定条件設定が可能となります。例えば、オーバーシュートのピークを測定し(長さ2のピーク・パワー)、パルス・バーストのアベレージ・パワーを測定し(長さ1のアベレージ・パワー)、長さ3と4の2つのパワーの差を取ることでパルス・ドループを測定できます。

図5に示すのは、複数パルスに対するEPM-Pパワー・メータの測定機能です。

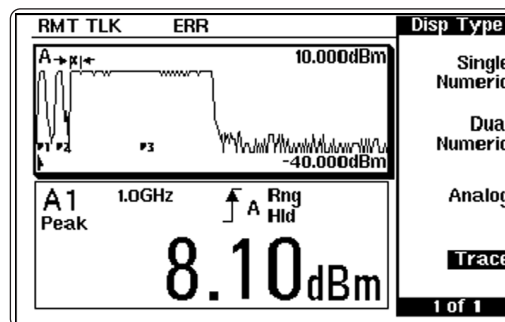


図5：複数パルスに対するパワー測定

レベル・トリガ機能を使ってパルスP1でトリガすることができます。スタートと長さを使って、P1、P2、P3に示されたマーカの間(長さX)のピーク・パワーを測定できます。また、パルス・プロファイルの観察には、安定した信頼性の高いトリガが不可欠です。このために、パワー・メータのトリガ・ホールドオフ機能が利用できます。この機能は、ユーザが指定した期間内のトリガを禁止します。

レーダおよびパルス信号の測定には、表1に示すような重要なパルス・パラメータと、それらと被試験信号との関連を理解することが重要です。

主要パラメータ	EPM-P E9323A/7Aの仕様
ダイナミック・レンジ	52 dBピーク (80 dBアベレージ)
周波数レンジ	E9323A : 50 MHz~6 GHz、 E9327A : 50 MHz~18 GHz
立上がり時間	200 ns
立下がり時間	200 ns
最小パルス幅	300 ns
パルス繰返し周波数	2 MHz
パルス繰返し間隔	500 ns
パルス解析	EPM-Pアナライザ・ソフトウェアを使用

表1：パルス関連の仕様

表1に示す52 dBというダイナミック・レンジはピーク・パワー測定のもので、-32 dBm~+20 dBmをカバーします。アベレージ・パワー測定の最大ダイナミック・レンジは80 dBで、-60 dBm~+20 dBmをカバーします。

主な仕様の定義は以下の通りです。

立上がり時間：パルス・トップ振幅の10%と90%のポイントの間の時間

立下がり時間：立上がり時間と同じ測定を末尾の遷移に対して行ったもの

パルス幅：50%パワー・レベルで測定したパルス持続時間

パルス繰返し間隔 (PRI)：周期的パルス列における最初のパルス波形のパルス開始時間と、次のパルス波形のパルス開始時間との間隔

パルス繰返し周波数：PRIの逆数

EPM-Pアナライザ・ソフトウェア

図6に、EPM-Pアナライザ・ソフトウェアの機能を示します。本アナライザ・ソフトウェアは、PCまたはラップトップ環境でGPIB経由で動作し、統計、パワー、周波数、時間測定を提供します。本アナライザ・ソフトウェアはパワー・メータを完全に制御し、パワー・メータ側の機能や定義済みのセットアップはいっさい用いられません。本アナライザ・ソフトウェアはAgilent VEEのランタイム・プログラムであり、すべてのEPM-Pパワー・メータに無料で付属するCD-ROMに収録されているほか、www.agilent.com/find/powermetersからダウンロードすることもできます。

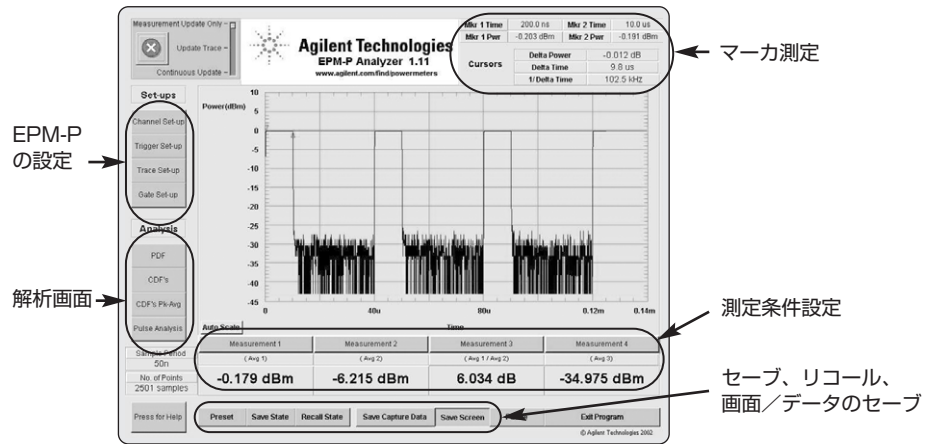


図6：EPM-Pアナライザ・ソフトウェア

パルス測定のためのパワー・メータの設定方法はすでに紹介したので、ここではEPM-Pアナライザ・ソフトウェアの測定機能について説明します。図6には、特長的な項目が表示されています。

EPM-Pの設定：本ソフトウェアはパワー・メータを制御し、フロントパネルに示されるチャンネル、トリガ、ゲートの設定を行います。トレースは、ユーザが捕捉時間を指定するところで設定する必要があります。

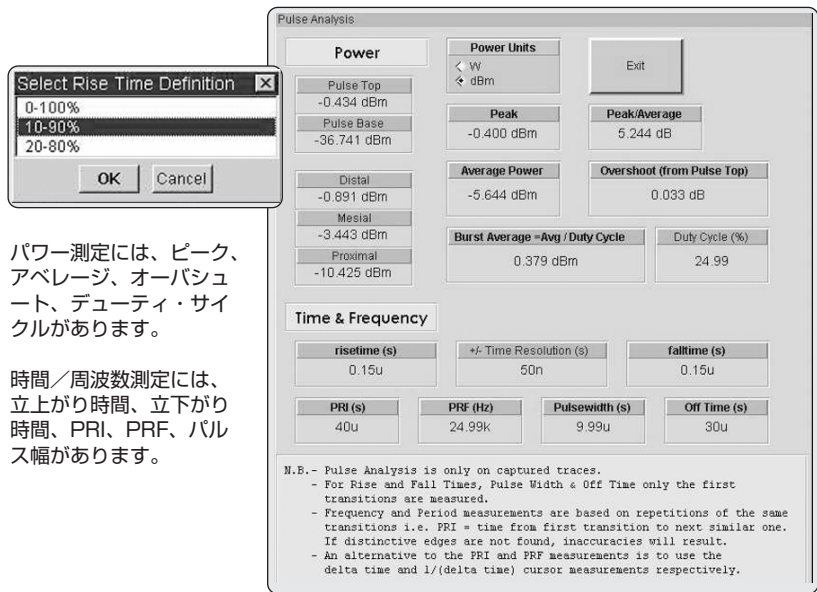
解析画面：パワー・メータの設定が終わると、トレースが開始され、捕捉されたトレース・データの解析が可能になります。確率密度関数(PDF)、相補累積分布関数(CCDFまたは1-CDF)などの統計解析やパルス解析のためのさまざまな解析画面が用意されています。

マーカ測定：トレースが完了したあと、マーカ測定を使って時間やパワーに関する情報を得ることができ、トレースにズーム・インして興味のある部分を詳細に観察することもできます。

測定条件設定：画面には4つまでのリアルタイム・パワー測定を表示できます。これらはパワー・メータのディスプレイと同様に構成され、タイム・ゲート・アベレージ、ピーク、ピーク・アベレージ比測定と、測定の組み合わせを表示できます。

セーブ、リコール、画面/データのセーブ：アナライザの表示をレポートにしたり他のアプリケーションにインポートしたりしたい場合は、JPGまたはBMPファイルで画面を保存できます。また、捕捉したトレースのパワーと時間のデータは、CSVファイルで保存できます。アナライザ・ソフトウェアでは、10個のステートを保存してリコールできます。これにより、アナライザ・ソフトウェアを容易に設定でき、再現性のある測定結果を得ることができます。これらのステートは独立のファイルとしてPCまたはディスクに保存できるので、別のPCを使っているユーザが同じセットアップを使用して同じ測定を実行することができます。

パルス解析画面を選択すると、図7の画面が表示されます。立上がり時間の選択が提示され、最も一般的な定義である10%～90%が示されています。



パワー測定には、ピーク、アベレージ、オーバシュート、デューティ・サイクルがあります。

時間／周波数測定には、立上がり時間、立下がり時間、PRI、PRF、パルス幅があります。

図7：パルス解析画面

パルス解析では、図7に示すようなさまざまなパワー、時間、周波数パラメータを計算します。パルス解析画面の下部の注記は、測定値を求める方法の説明です。測定の対象は捕捉されたトレース・データだけで、ズームしている場合でも、捕捉されたデータすべてが使用されます。測定は、パワー情報と、時間／周波数情報の2つに分けられます。パワー情報には、パルス・トップ・パワー、ピーク・パワー、ピーク・アベレージ比、パルス・トップからのオーバシュート、デューティ・サイクルがあります。時間／周波数測定では、立上がり／立下がり時間、パルス幅、オフ時間が、最初に測定された遷移またはパルスを使って計算されます。レベル・トリガを使用する場合、最初のパルスの立上がり時間を完全に捕捉するために、負の時間遅延を設定することをお勧めします。2番目のパルスを解析したい場合、最初のパルスがデータに含まれないように、トリガ遅延を使って2番目のトレースだけを取り込むようにします。PRIなどの周波数／周期測定は、同じ遷移またはパルスの繰返しを使って計算されます。パルスが1個しか捕捉されなかった場合、測定値は表示されません。

時間分解能の精度は±50 nsです。これは、EPM-Pパワー・メータのサンプリング・レートが20 Mサンプル/sだからで、1/(20 Mサンプル/s)は50 nsとなります。

パルス解析表示で測定される各項は、IEEEの定義¹に基づきます。パルス・パワーの測定が難しいのは、パワー・フローの特性を記述するために対象波形エンベロープに関する多くの異なるパラメータが必要となるからです。1990年の8990ピーク・パワー・アナライザ・シリーズの発売時に、Agilentはビデオ・パルス特性に関するIEEEの従来の定義をRF/マイクロ波領域に拡張することを決定しました。元になった標準は、ビデオ・パルスに関するANSI/IEEE標準194-1977です。立上がり時間やオーバシュートなどのパルス・パラメータの測定が意味を持つためには、測定に使用する波形のポイントが明確に定義されている必要があります。このために、時間パラメータはすべてパルス上の特定の振幅ポイント、例えば半値点の間で測定され、すべての振幅ポイントはパルス・トップとパルス・ベースという2つのレベルを基準として定められます。

1. IEEE STD 194-1977, IEEE Standard Pulse Terms and Definitions, 1977年7月26日

まとめ

まとめると、EPMシリーズ・アベレージ・パワー・メータを使えばデューティ・サイクル法によるパルス・パワー測定が可能ですが、EPM-Pシリーズ・パワー・メータによるタイム・ドメインのピーク、アベレージ、ピーク・アベレージ比パワー測定のほうが、パルス信号のパワーを測定するための優れたソリューションとなります。

過去においては、すでに製造中止となった899XAピーク・パワー・アナライザがパルス測定のための最高の測定器でした。EPM-Pパワー・メータは899XAアナライザの直接の後継ではありませんが、レーダおよびパルス・アプリケーションの多くに対して、特にEPM-Pアナライザ・ソフトウェアと組み合わせることにより、最適なソリューションとなります。

付録A： パルス測定のための EPM-Pパワー・メータの 設定の最適化

最初に設定するキーはChannelハードキーです。ここにはパワー・メータの基本的な設定があります。パルス測定に関係する主な項目は以下の通りです。

Sensor Mode (センサ・モード)：E9320パワーセンサには、Average Only (アベレージのみ) と Normal (ノーマル) の2つのモードがあります。ピーク測定またはタイム・ゲート測定を行う場合は、Normalモードを選択します。Average Onlyモードは、-20 dBm以下の信号のアベレージ・パワーを測定するのに適しています。-20 dBmを超える信号の場合、このモードで正しい結果が得られるのはCW信号に対してだけです。

Range (レンジ)：これはパルス測定において、特に幅の狭いパルスを測定する場合に重要な設定です。オートレンジを選択すると、センサのレンジが立上がりエッジで下から上、立下がりエッジで上から下に切り替わる可能性があります。これによる時間遅延は、ビデオ帯域幅がオフに設定されている場合で4 μ sであり、測定に悪影響を与えるおそれがあります。レンジを上または下に設定すれば、この遅延をなくすることができます。測定対象のパルス信号が-15 dBmを超える場合、上のレンジを選択します。入力信号の最大パワーがオーバシュートを含めて-5 dBm未満なら、下のレンジを選択します。

Frequency (周波数)：E9320Aピーク・アベレージ・パワー・センサは校正係数に関して完全に補正されており、この補正はEEPROMに記録されているので、最適な確度を得るには測定対象の信号の周波数を指定することが重要です。

Video Bandwidth (ビデオ帯域幅)：ビデオ帯域幅には、High (高)、Medium (中)、Low (低)、Off (オフ) の4つの設定があります。High、Medium、Lowは、変調する信号の帯域幅を表し、使用されるフィルタは帯域幅内できわめてフラットに設計されています。Off設定を使うと、最大帯域幅で約3 dBのロールオフが生じます。Off設定では急峻なフィルタから生じるリングング現象がないので、パルス測定に適しています。

High、Medium、Low設定では、いくつかの帯域幅を選択でき、帯域幅とダイナミック・レンジがトレードオフの関係になります。すなわち、表2に示すように、ビデオ帯域幅が広いほどダイナミック・レンジは狭くなります。

High (5 MHz)	Medium (1.5 MHz)	Low (300 kHz)	Off (5 MHz)
-32 dBm~ +20 dBm	-34 dBm~ +20 dBm	-36 dBm~ +20 dBm	-32 dBm~ +20 dBm

表2：E9323A/7Aセンサのビデオ帯域幅とピーク・パワー・ダイナミック・レンジの関係

Step Detect (ステップ検出)：ステップ検出をOnに設定した場合、測定パワーに大きなステップが生じた後のセトリング時間が短くなります。この場合、ステップ状の増加または減少が観察されると、フィルタが再初期化されます。

Trigger (トリガ) ハードキー：パルス測定に測定ゲートを使う場合、シングルまたは連続収集を使用します。トリガ設定では、立上がりまたは立下がりエッジを使用する内部トリガ、あるいは外部トリガ入力またはGPIBトリガを選択できます。トリガ・モードでは、オート・レベルまたはトリガ・レベルを設定するノーマル・モードを選択できます。安定した測定値を得るために、トリガ・オールドオフ、ヒステリシス、遅延などの制御機能も用意されています。

Meas Setup (測定条件設定) ハードキー：このハードキーで、特定の測定を表示するように画面を設定することができます。パルス測定の場合はトレース表示が役立つことが多く、これを1つまたは2つの数値表示と組み合わせることができます。数値表示では、ゲートの入力タイプ (アベレージ、ピーク、ピーク・アベレージ比) を選択できます。デュアル・チャンネル・メータの場合、A-B、B-A、A/B、B/Aの演算結果を表示することもできます。

Meas Display (測定表示) ハードキー：このハードキーでは、トレース表示、シングルまたはデュアル数値、アナログ表示の表示タイプを選択できます。アナログ表示は、最大または最小パワー調整の監視に便利です。

Agilentの関連カタログ

『Agilent EPMシリーズ・パワー・メータ』 Brochure、カタログ番号5965-6380J

『Agilent EPMシリーズ・パワー・メータEシリーズ/8480シリーズ・パワー・メータ』
Data Sheet、カタログ番号5965-6382J

『Agilent E4416A/E4417A EPM-P Series Power Meters and E-Series E9320 Peak and
Average Power Sensors』 Data Sheet、カタログ番号5965-1469E

『Agilent EPM-Pシリーズ シングル/デュアル・チャンネル・パワー・メータE9320フ
ァミリ ピーク/アベレージ・パワー・センサ』 Product Overview、
カタログ番号5980-1471J

サポート、サービス、およびアシスタンス

アジレント・テクノロジーが、サービスおよびサポートにおいてお約束できることは明確です。リスクを最小限に抑え、さまざまな問題の解決を図りながら、お客様の利益を最大限に高めることにあります。アジレント・テクノロジーは、お客様が納得できる計測機能の提供、お客様のニーズに応じたサポート体制の確立に努めています。アジレント・テクノロジーの多種多様なサポート・リソースとサービスを利用すれば、用途に合ったアジレント・テクノロジーの製品を選択し、製品を十分に活用することができます。アジレント・テクノロジーのすべての測定器およびシステムには、グローバル保証が付いています。製品の製造終了後、最低5年間はサポートを提供します。アジレント・テクノロジーのサポート政策全体を貫く2つの理念が、「アジレント・テクノロジーのプロミス」と「お客様のアドバンテージ」です。

アジレント・テクノロジーのプロミス

お客様が新たに製品の購入をお考えの時、アジレント・テクノロジーの経験豊富なテスト・エンジニアが現実的な性能や実用的な製品の推奨を含む製品情報をお届けします。お客様がアジレント・テクノロジーの製品をお使いになる時、アジレント・テクノロジーは製品が約束どおりの性能を発揮することを保証します。それらは以下のようなことです。

- 機器が正しく動作するか動作確認を行います。
- 機器操作のサポートを行います。
- データシートに載っている基本的な測定に係わるアシストを提供します。
- セルフヘルプ・ツールの提供。
- 世界中のアジレント・テクノロジー・サービス・センタでサービスが受けられるグローバル保証。

お客様のアドバンテージ

お客様は、アジレント・テクノロジーが提供する多様な専門的テストおよび測定サービスを利用することができます。こうしたサービスは、お客様それぞれの技術的ニーズおよびビジネス・ニーズに応じて購入することが可能です。お客様は、設計、システム統合、プロジェクト管理、その他の専門的なサービスのほか、校正、追加料金によるアップグレード、保証期間終了後の修理、オンサイトの教育およびトレーニングなどのサービスを購入することにより、問題を効率良く解決して、市場のきびしい競争に勝ち抜くことができます。世界各地の経験豊富なアジレント・テクノロジーのエンジニアが、お客様の生産性の向上、設備投資の回収率の最大化、製品の測定精度の維持をお手伝いします。



電子計測UPDATE

www.agilent.com/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電子計測ソフトウェアおよびコネクティビティ

Agilentの電子計測ソフトウェアおよびコネクティビティ製品、ソリューション、デベロッパ・ネットワークは、PC標準に基づくツールによって測定器とコンピュータとの接続時間を短縮し、本来の仕事に集中することを可能にします。詳細についてはwww.agilent.com/find/connectivityを参照してください。

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
(12:00~13:00も受付中)
※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
(0426-56-7832)

FAX ☎ 0120-421-678
(0426-56-7840)

E-mail: contact_japan@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。

Copyright 2003

アジレント・テクノロジー株式会社



Agilent Technologies

April 1, 2003
5988-8522JA
0000-00DEP