

パワー測定の基礎

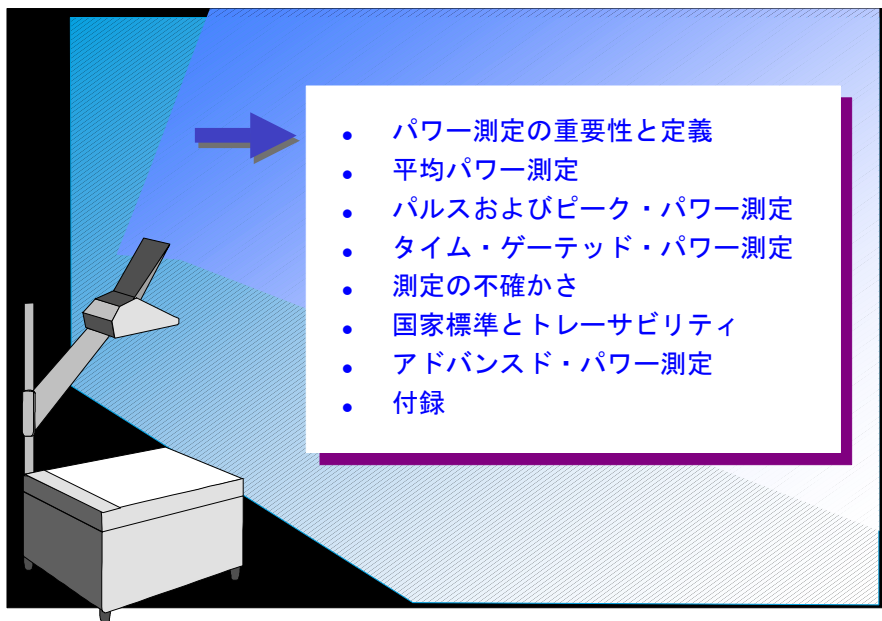


Agilent Technologies

パワー測定の基礎

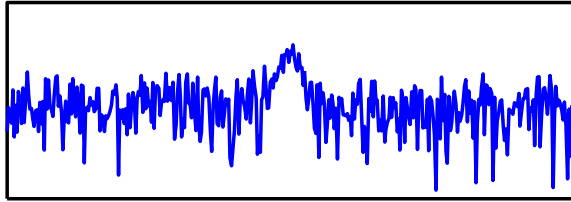


テーマ

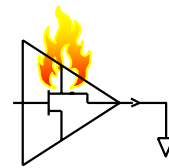
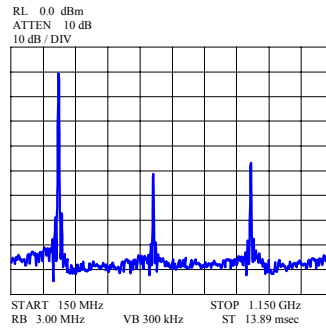


適切な信号レベルの重要性

- 小さすぎる場合
- 信号が雑音に埋もれる



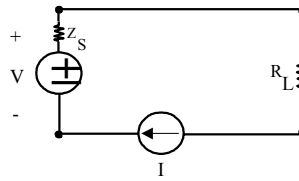
- 大きすぎる場合
- 非線形歪みが発生



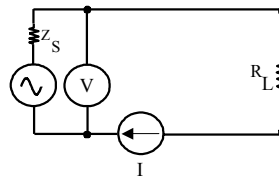
- もっと悪い事態も

電圧測定ではだめなのか？

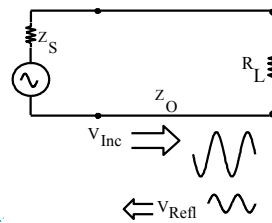
- DC



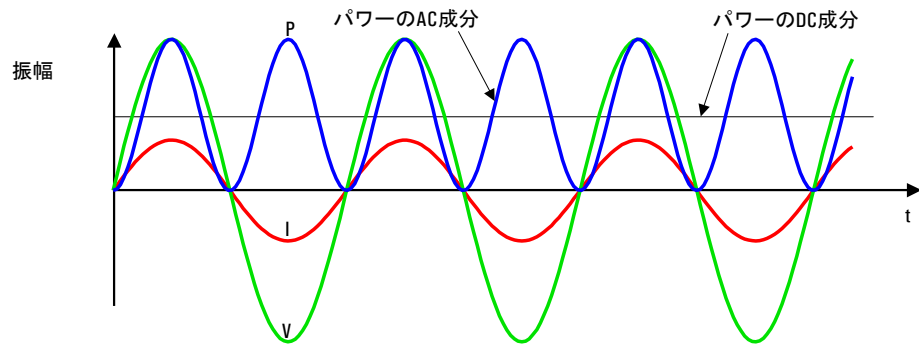
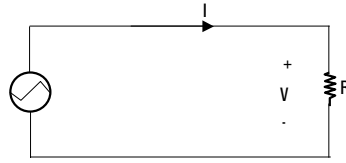
- 低周波



- 高周波

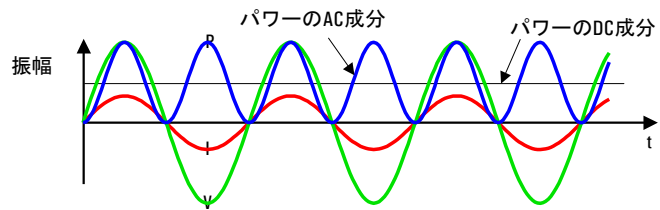


パワー: $P = (I)(V)$



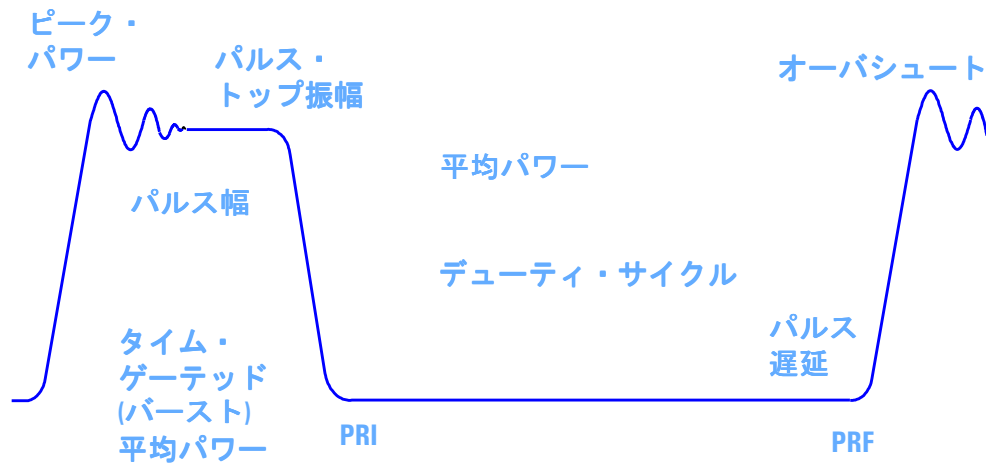
単位と定義

パワー: $P = (I)(V)$



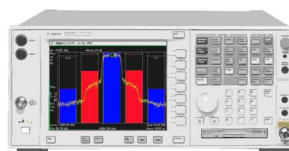
- パワーの単位はワット(W): $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$
- いくつかの電気単位がワットから導かれる: $1 \text{ V} = 1 \text{ W/A}$
- 相対パワー測定はdBで表す: $P(\text{dB}) = 10 \log(P/P_{\text{ref}})$
- 絶対パワー測定はdBmで表す: $P(\text{dBm}) = 10 \log(P/1 \text{ mW})$

パワー測定の種類

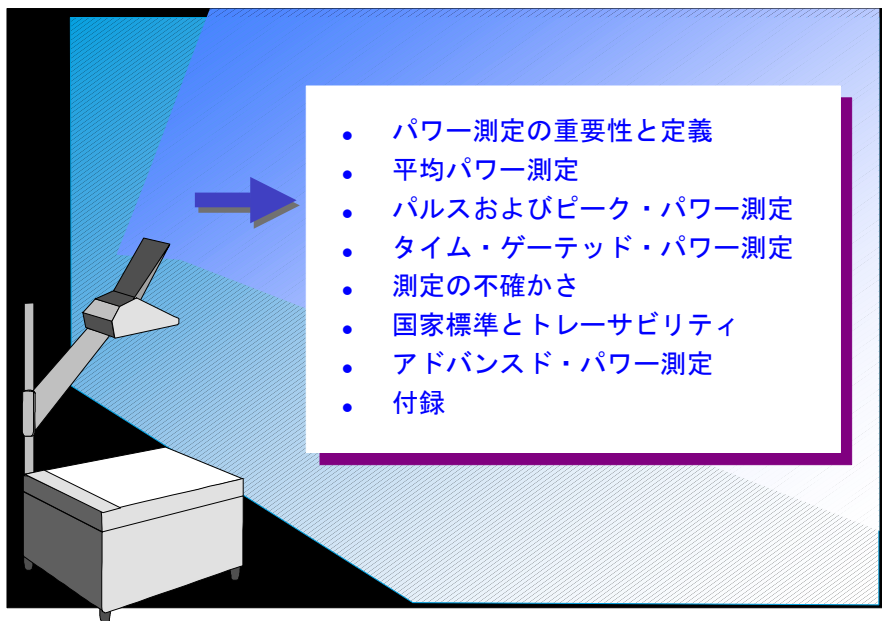


RFおよびマイクロ波パワーの測定に用いられる測定器

- ベクトル・シグナル・アナライザ
- スペクトラム・アナライザ
- ネットワーク・アナライザ
- パワー・メータとパワーセンサ

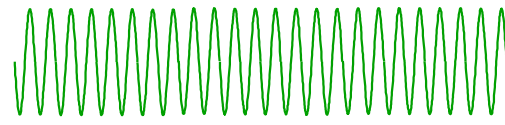


テーマ

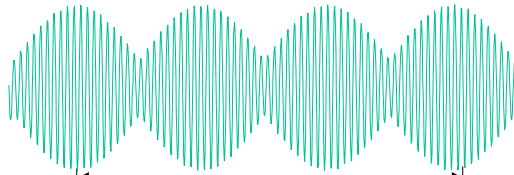


- パワー測定の重要性と定義
- 平均パワー測定
- パルスおよびピーク・パワー測定
- タイム・ゲートッド・パワー測定
- 測定の不確かさ
- 国家標準とトレーサビリティ
- アドバンスド・パワー測定
- 付録

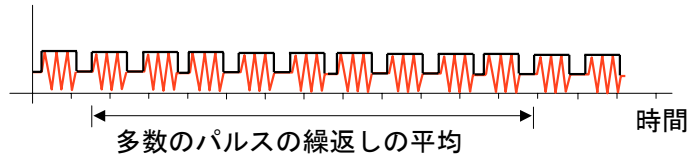
平均パワー



CW信号



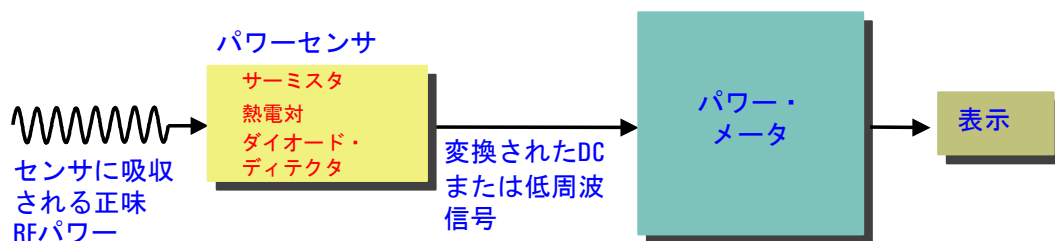
複数の変調サイクルの平均



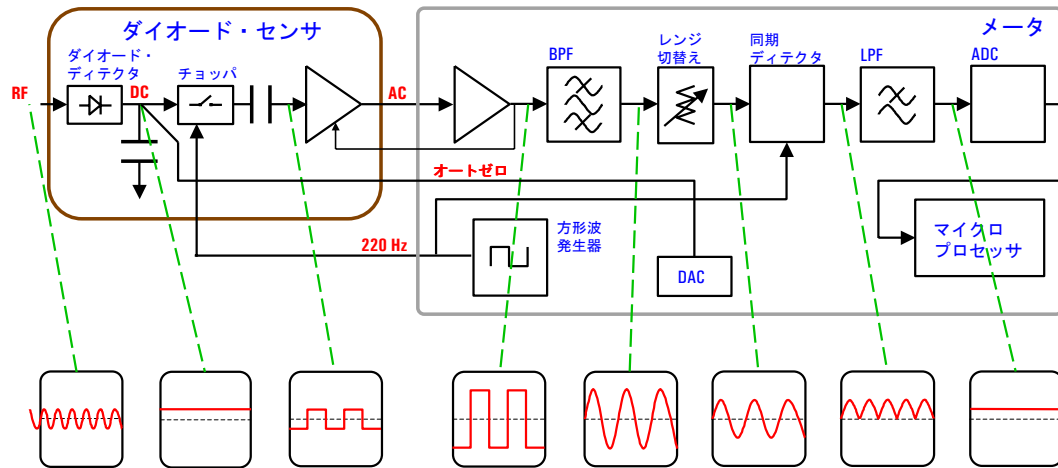
多数のパルスの繰返しの平均

時間

基本的な測定手法: パワー・メータの使用



基本的な測定方法の解説



さまざまなセンサのパワー・レンジ

サーミスタ

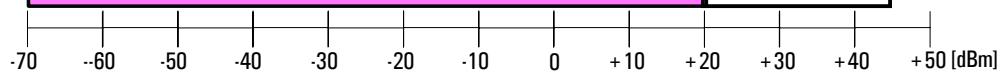
熱電対のダイナミック・レンジ

アッテネータを使って
レンジを移動

ダイオード・ディテクタの
ダイナミック・レンジ

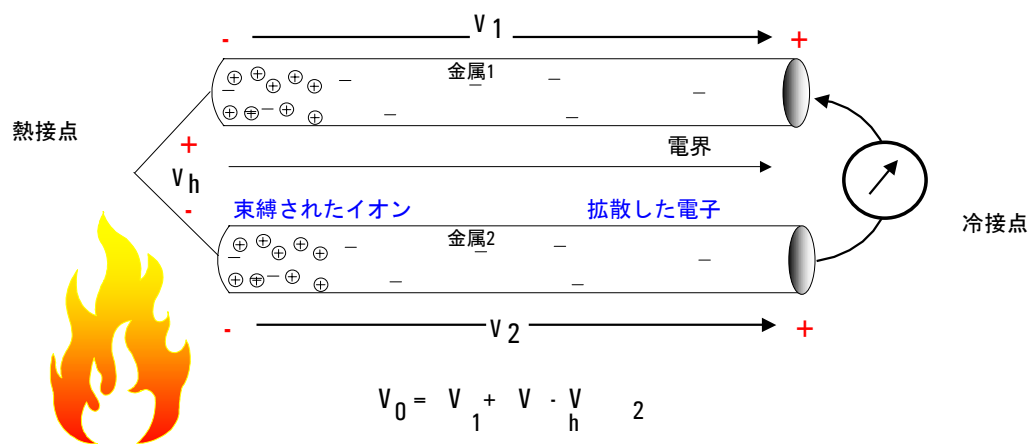
ダイオード・ディテクタをCWのみまたは変調信号に
使った場合の広いダイナミック・レンジ

アッテネータを使って
レンジを移動



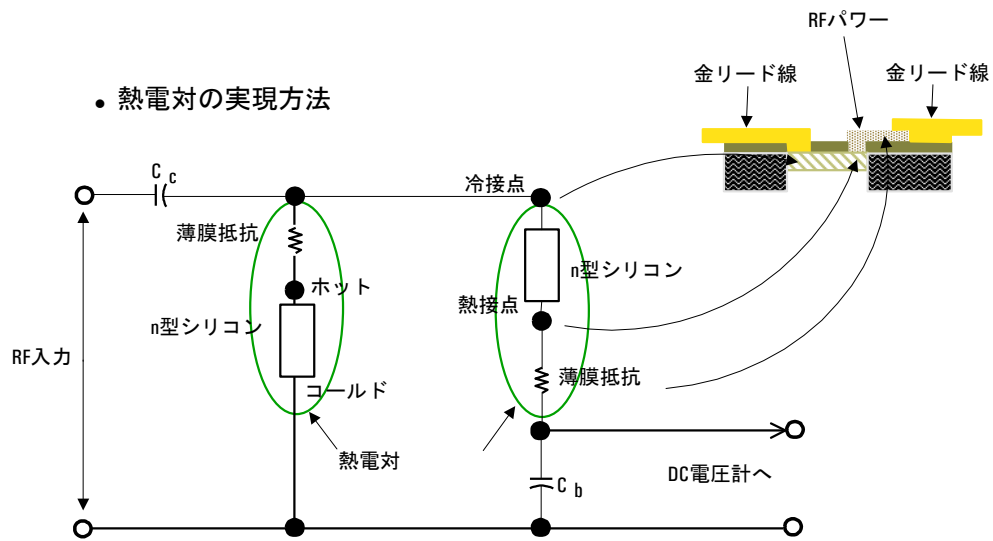
熱電対

• 熱電対の動作原理



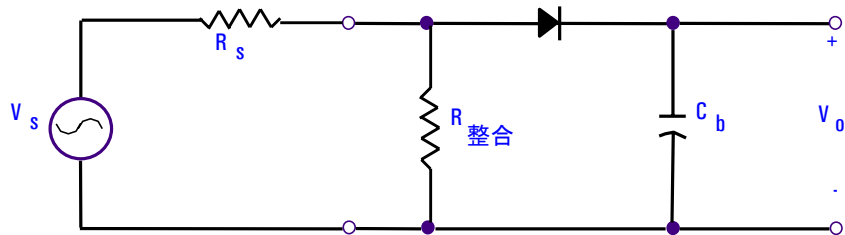
熱電対

・熱電対の実現方法

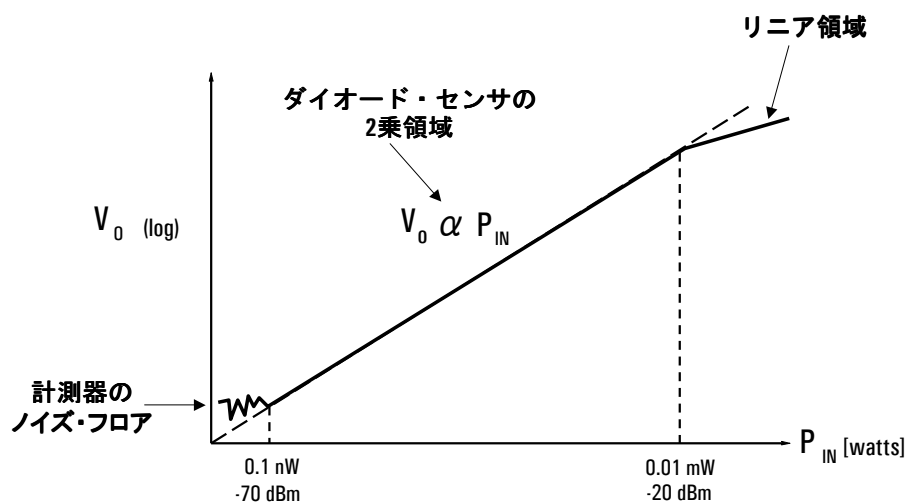
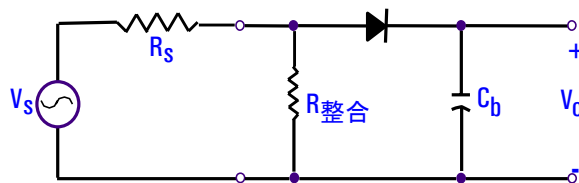


ダイオード・ディテクタ

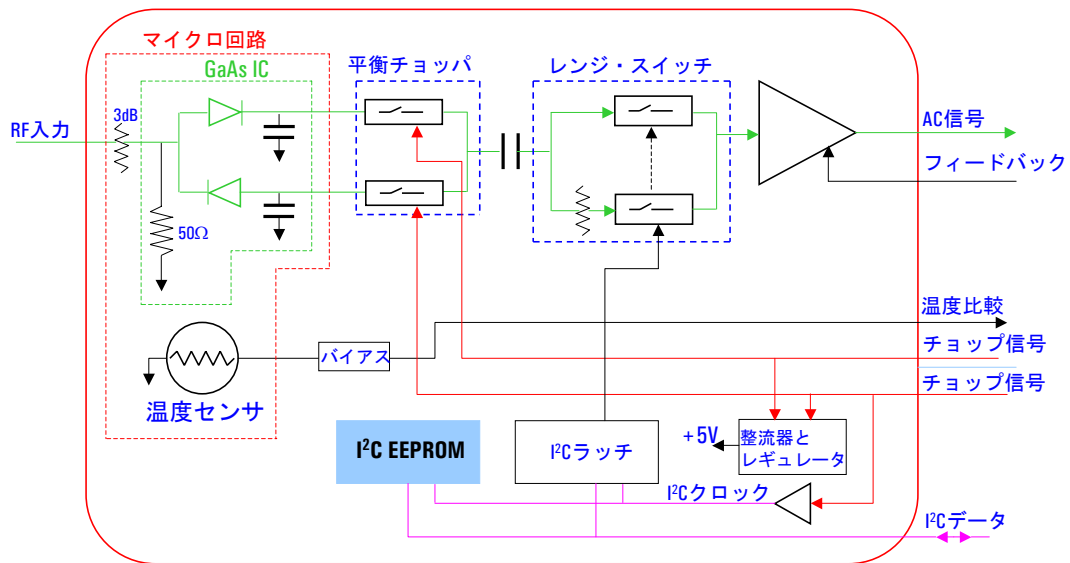
- ダイオード・ディテクタの仕組み



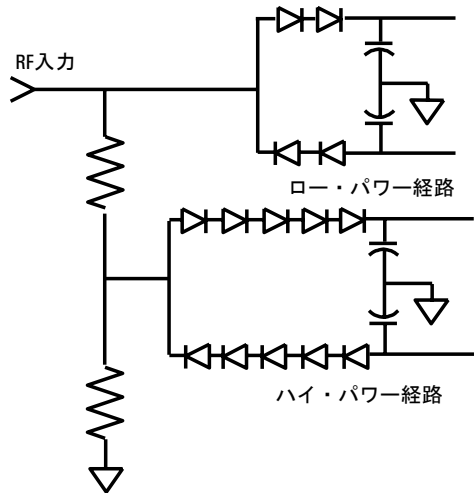
ダイオード・ ディテクタ



高ダイナミック・レンジのCW専用パワー・センサ



EシリーズE9300平均パワー・センサのテクノロジー

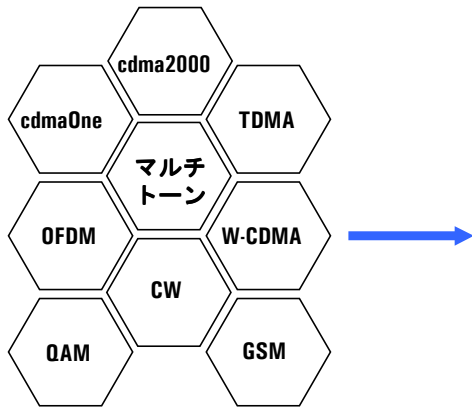


革新的デザイン:

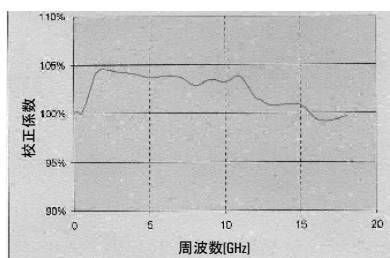
- ダイオード・スタック・アッテネータ・ダイオード・スタック・トポロジー
- 自動切替えポイントを持つ2つの経路

EシリーズE9300センサのアーキテクチャの特長

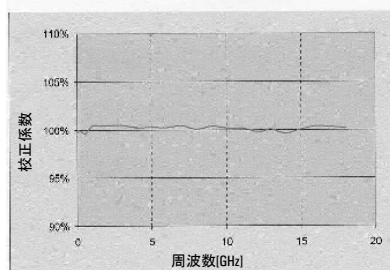
- センサ・ダイオードが常に2乗領域で動作:
 - 任意の広い変調帯域幅を持つ信号や、ピーク/平均比が高い信号の正確な測定が可能



EシリーズE9300センサのアーキテクチャの特長



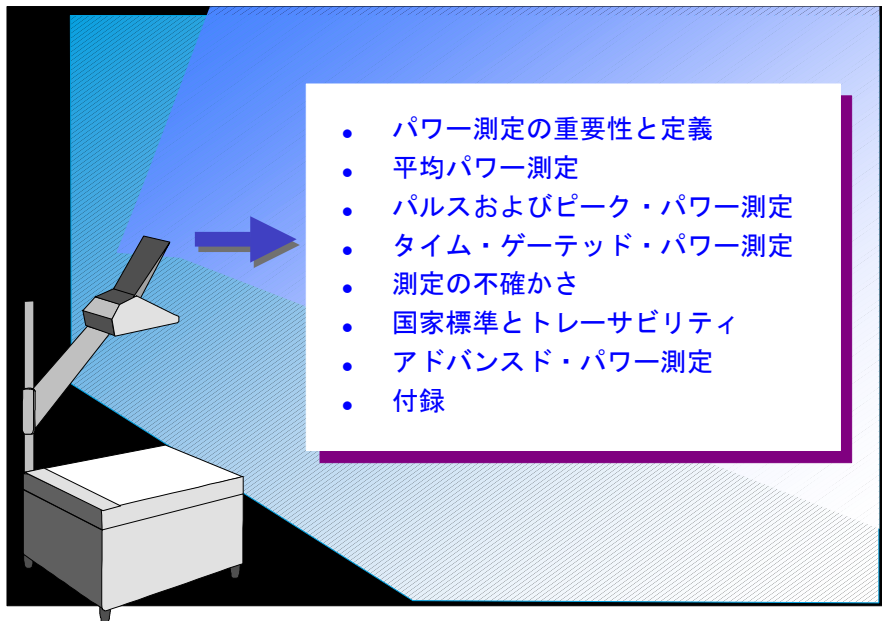
ハイ・パワー経路校正係数



ロー・パワー経路校正係数

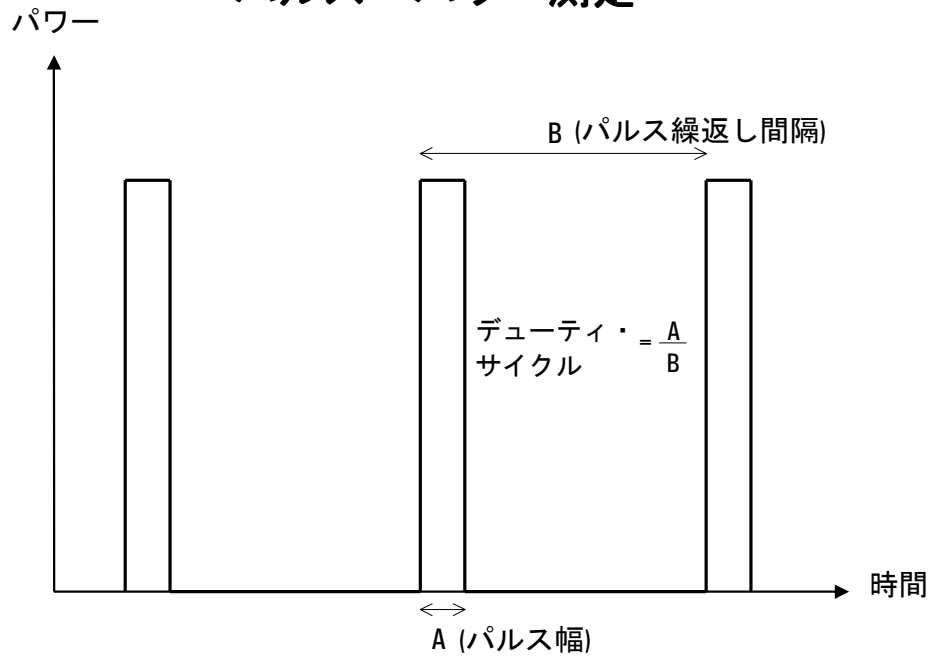
- フラットな校正係数により、マルチトーン信号の正確な測定が可能

テーマ



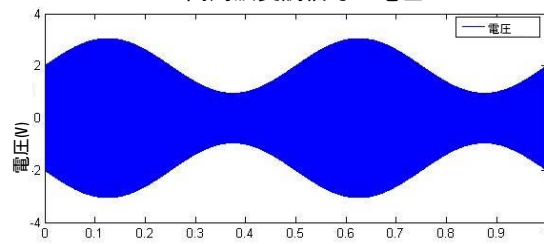
- パワー測定の重要性と定義
- 平均パワー測定
- パルスおよびピーク・パワー測定
- タイム・ゲートッド・パワー測定
- 測定の不確かさ
- 国家標準とトレーサビリティ
- アドバンスド・パワー測定
- 付録

パルス・パワー測定

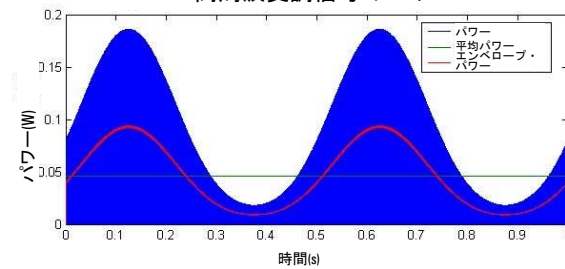


エンベロープ・パワーと ピーク・エンベロープ・パワー

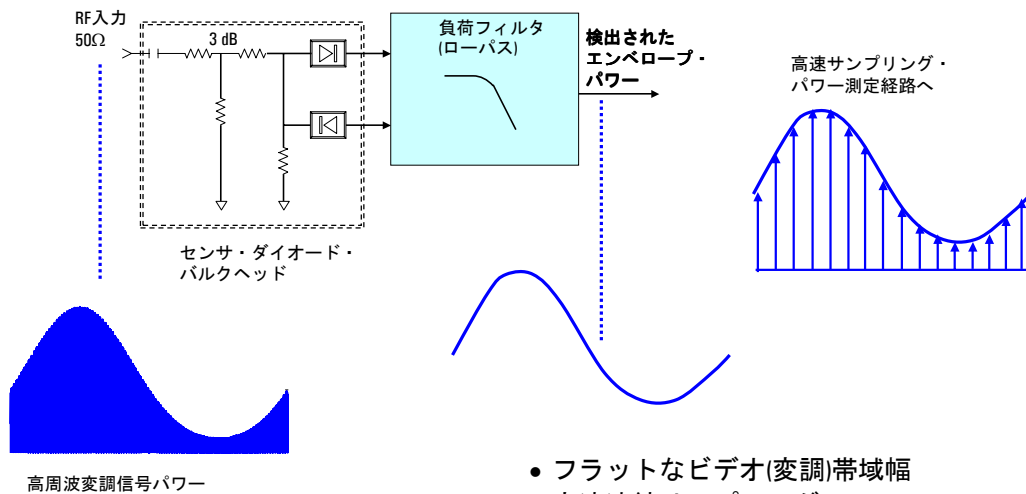
高周波変調信号の電圧



高周波変調信号のパワー



ピーク・パワー測定システムの特徴



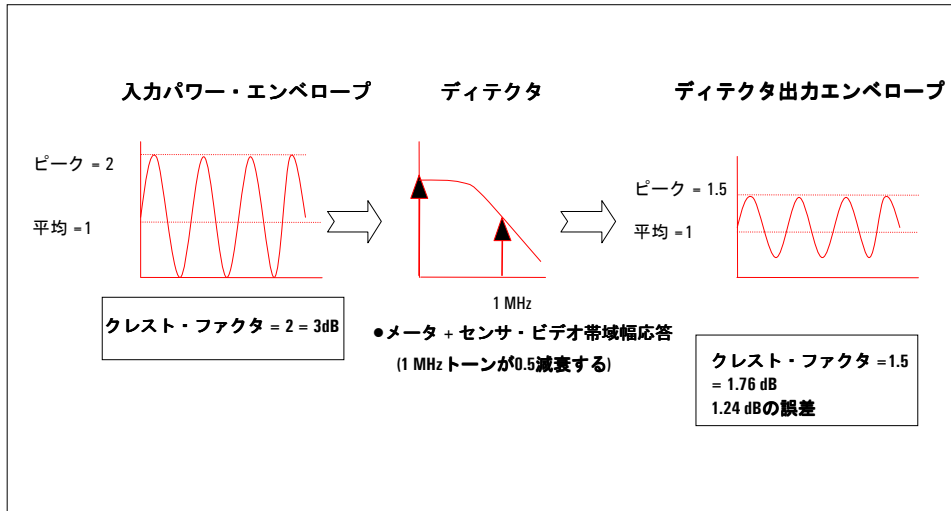
- フラットなビデオ(変調)帯域幅
- 高速連続サンプリング
- 広いダイナミック・レンジ

連続サンプリングとランダム・サンプリング

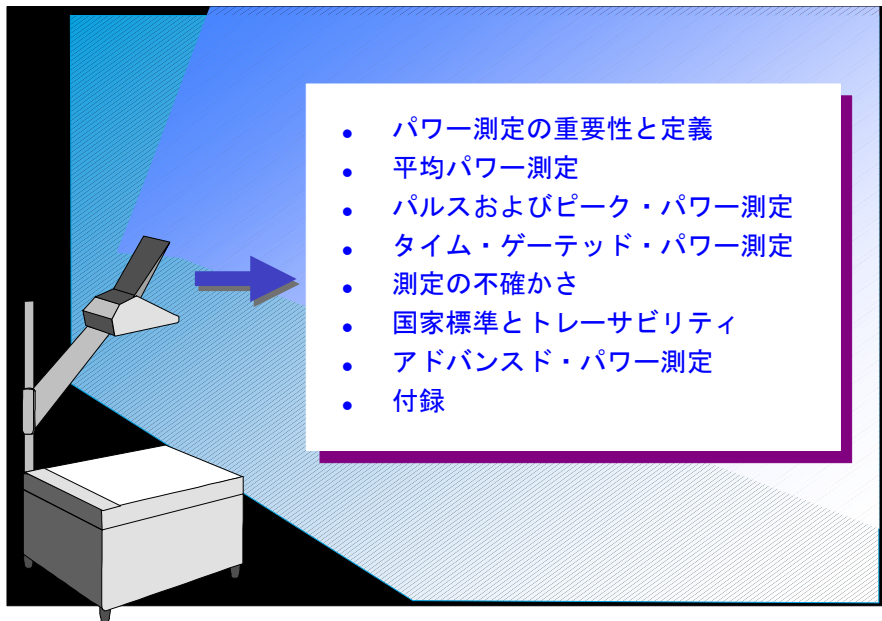
20Mサンプル/sの連続サンプリングはランダム・サンプリングに比べてパワー測定にどのような利点があるのか？

- 連続サンプリングでは単発信号のピーク・パワーを逃がさずにサンプリングできる
- ランダム・サンプリングではトレース表示に時間がかかる

帯域幅不足の影響

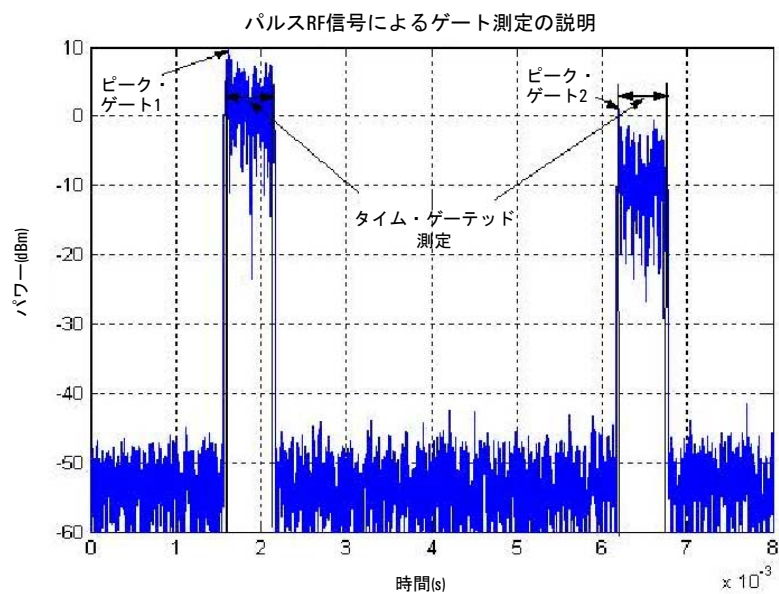


テーマ

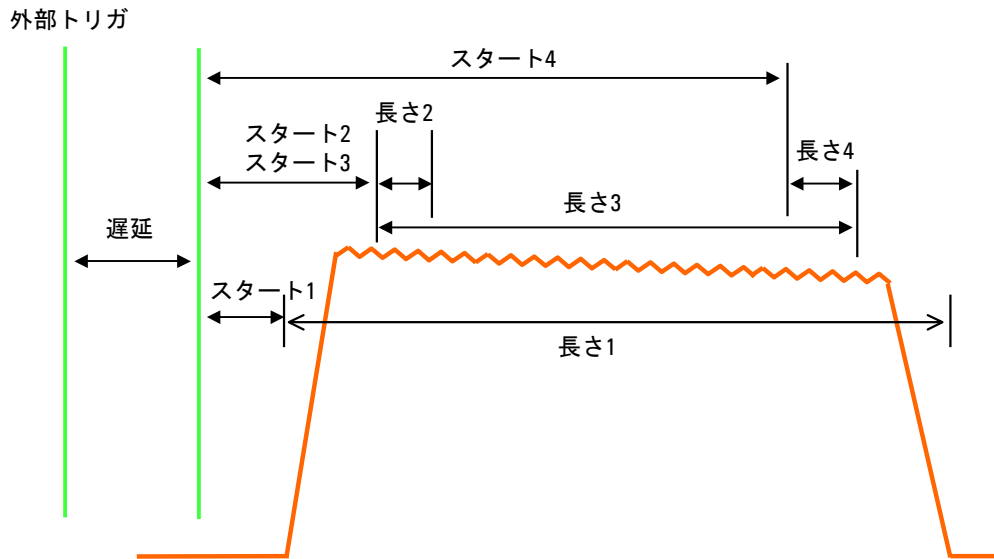


- パワー測定の重要性と定義
- 平均パワー測定
- パルスおよびピーク・パワー測定
- タイム・ゲートッド・パワー測定
- 測定の不確かさ
- 国家標準とトレーサビリティ
- アドバンスド・パワー測定
- 付録

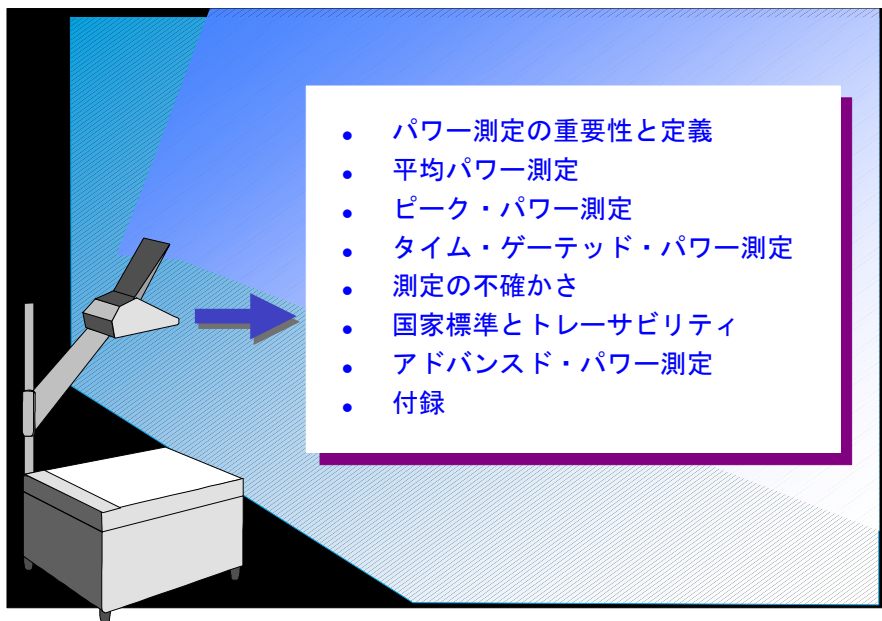
タイム・ゲーテッド・パワー測定



タイム・ゲートッド・パワー測定



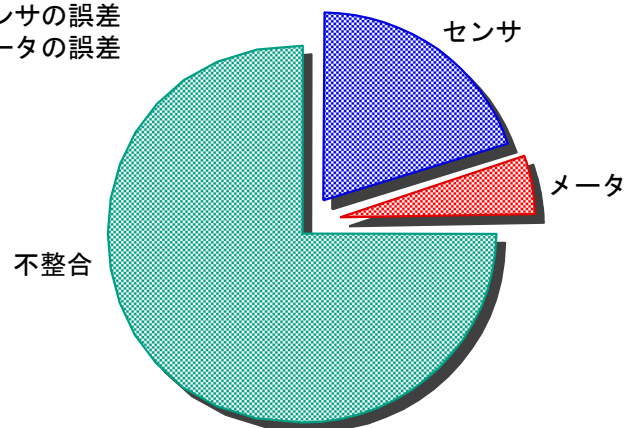
テーマ



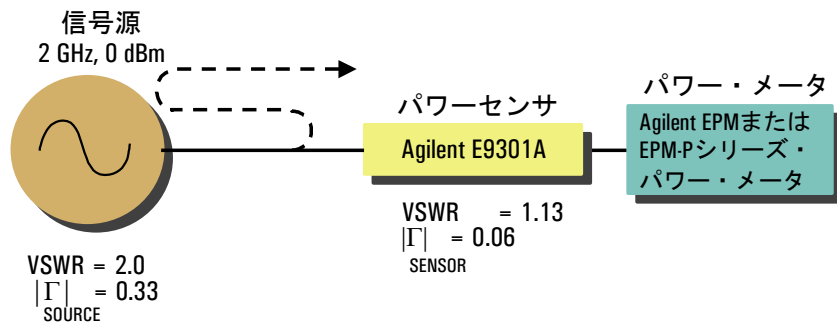
- パワー測定の重要性と定義
- 平均パワー測定
- ピーク・パワー測定
- タイム・ゲートッド・パワー測定
- 測定の不確かさ
- 国家標準とトレーサビリティ
- アドバンスド・パワー測定
- 付録

パワー測定の不確かさの原因

- センサと信号源の不整合誤差
- パワー・センサの誤差
- パワー・メータの誤差



不整合不確かさの計算

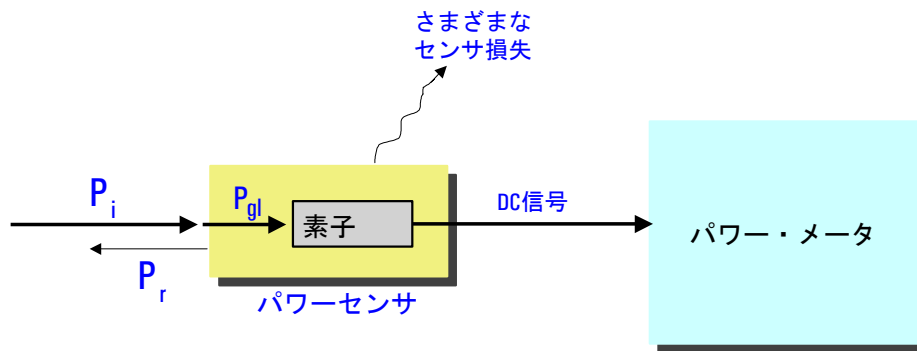


$$\text{不整合不確かさ} = \pm 2 \times |\Gamma|_{\text{SOURCE}} \times |\Gamma|_{\text{SOURCE}} \times 100\%$$

$$\text{不整合不確かさ} = \pm 2 \times 0.33 \times 0.06 \times 100\% = \pm 3.96\%$$

$$|\Gamma| = \frac{\text{VSWR} - 1}{\text{VSWR} + 1}$$

パワーセンサの不確かさ



校正係数: $K_b = \eta_e \frac{P_{gl}}{P_i}$

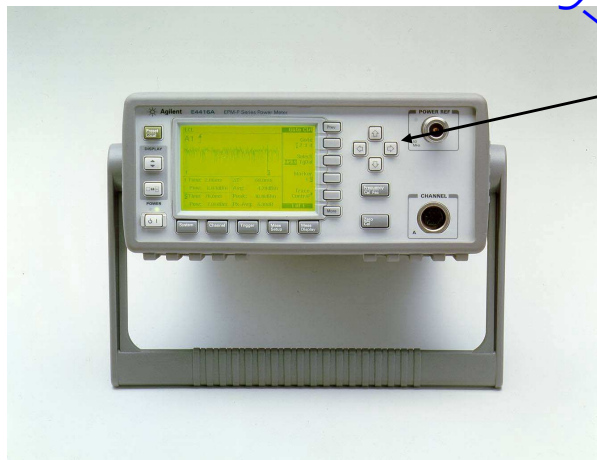
P_i = 入射パワー、 P_r = 反射パワー

P_{gl} = 信号源から負荷に伝達される正味のパワー

η_e = 実効効率

パワー・メータの計測不確かさ

雑音



パワー基準不確かさ

ドリフト

ゼロ設定

計測不確かさ

判断: 許容可能な測定不確かさはどれだけか



• 妥当な誤差リミット:

- 0.5 dB?
- あるいは12%

どちらの誤差が大きいか?

パワー測定不確かさの計算

不整合不確かさ:	$\pm 3.96\%$
パワー・リニアリティ:	$\pm 2.0\% ^1$
校正係数不確かさ:	$\pm 1.8\% ^1$
パワー基準不確かさ:	$\pm 1.07\% ^1$
計測不確かさ:	$\pm 0.5\%$

¹ 仕様は、E9301AセンサおよびEPMまたはEPM-Pシリーズ・パワー・メータで、 $25 \pm 10^\circ\text{C}$ の温度範囲に対して適用される

求めた不確かさをどのように合成するか

ワースト・ケースの不確かさ

- この例でのワースト・ケースの不確かさは:

$$= 3.96\% + 2.0\% + 1.8\% + 1.07\% + 0.5\% = \pm 9.33\%$$

$$+9.33\% = 10 \log (1 + 0.093) = +0.39 \text{ dB}$$

$$-9.33\% = 10 \log (1 - 0.093) = -0.42 \text{ dB}$$

*測定不確かさの合成

不確かさの原因	値 ±%	確率分布	除数	標準 不確かさ $u_i (k=1)$
2 GHzでの信号源/センサ 不整合	3.96	U形	1.414	2.8
2 GHzでの校正係数 不確かさ	2.0	正規	2	1.0
0 dBmでのリニアリティ	1.8	正規	2	0.9
パワー基準不確かさ	1.07	正規	2	0.53
計測不確かさ	0.5	正規	2	0.25

合成標準不確かさ $u_c = \text{RSS of } u_i$
 拡張不確かさ $(k=2) = 2 \times u_i$

* "ISO Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement"および"ANSI/NCSL Z540-2:1996 US Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement"に記載された指針に基づく

合成標準不確かさ(u_c)、RSS(2乗和平方根)を使用

・この例での u_c は以下の通り:

$$= \sqrt{(2.8)^2 + (1.0)^2 + (0.9)^2 + (0.53)^2 + (0.25)^2}$$

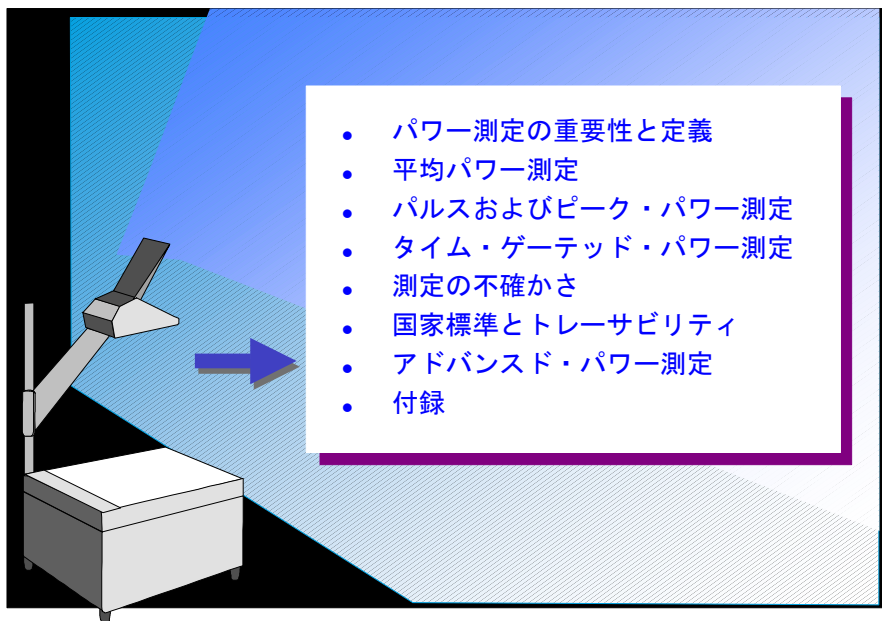
$$= \pm 3.16\%$$

•拡張された不確かさ (u) = $2 \times 3.16 = \pm 6.32\%$

$$+ 6.3\% = 10 \log (1 + 0.063) = +0.27 \text{ dB (ワースト・ケース+0.39 dB)}$$

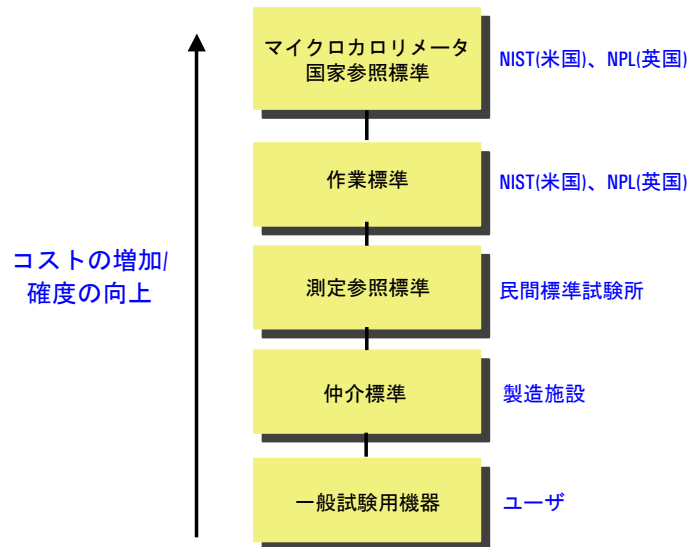
$$- 6.3\% = 10 \log (1 - 0.063) = -0.28 \text{ dB (ワースト・ケース最悪値-0.42 dB)}$$

テーマ

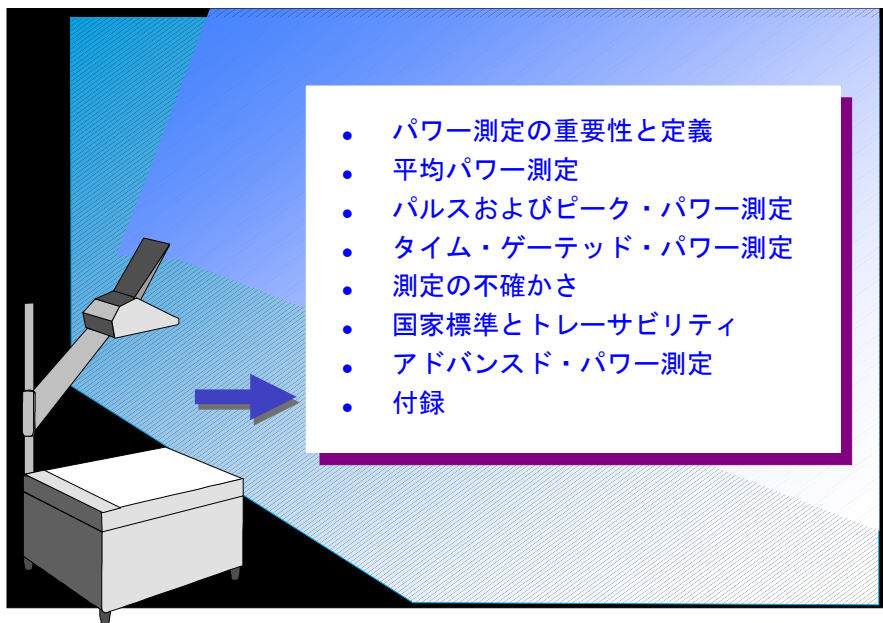


- パワー測定の重要性と定義
- 平均パワー測定
- パルスおよびピーク・パワー測定
- タイム・ゲートッド・パワー測定
- 測定の不確かさ
- 国家標準とトレーサビリティ
- アドバンスド・パワー測定
- 付録

国家標準とトレーサビリティ



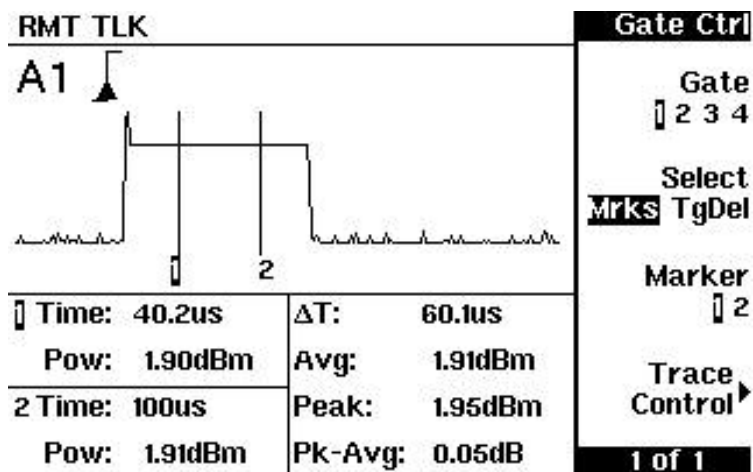
テーマ



- パワー測定の重要性と定義
- 平均パワー測定
- パルスおよびピーク・パワー測定
- タイム・ゲートッド・パワー測定
- 測定の不確かさ
- 国家標準とトレーサビリティ
- アドバンスド・パワー測定
- 付録

アドバンスド・パワー測定

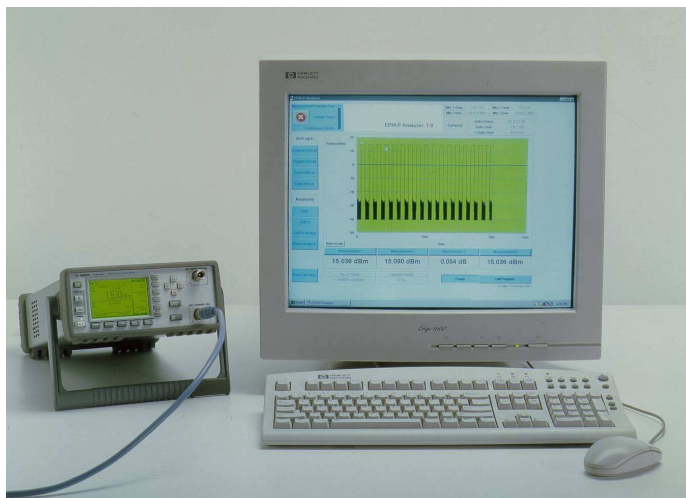
- トレース表示(パルス・プロファイル)
- マーカ測定およびディスプレイ解析



Agilent EPM-Pパワー・メータのトレース表示および解析画面

アドバンスド・パワー測定

- PCまたはラップトップ環境での新しいアナライザ機能と測定



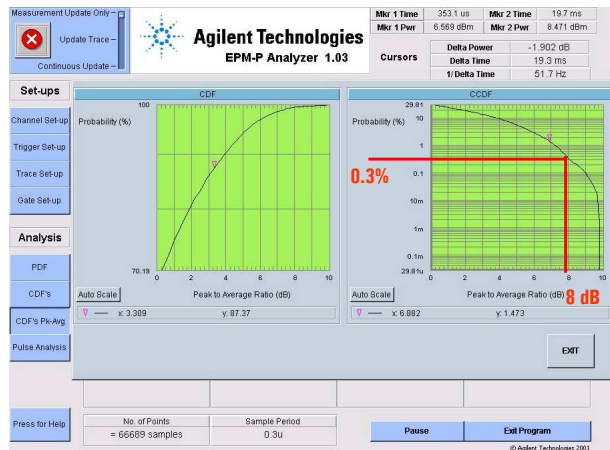
Agilent EPM-Pアナライザ・ソフトウェア

アドバンスド・パワー測定

- 統計解析:
 - 累積分布関数(CDF)
 - 相補累積分布関数(CCDFまたは1-CDF)
 - 確率密度関数(PDF)

Y軸は、信号のパワーがX軸で表されるパワーと同じかそれを超える時間の割合を表す

例: このCCDF曲線の場合、信号のパワーが8 dBのピーク/平均比またはそれ以上の時間の割合は0.3%



アドバンスド・パワー測定

●パルス解析:

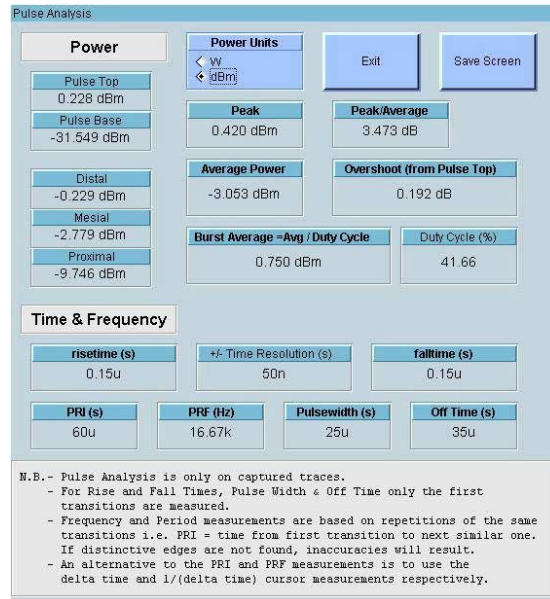
➤パワー*:

パルス・トップ、パルス・ベース、Distal(パワーの90%の位置)、Mesial(パワーの50%の位置)、Proximal(パワーの10%の位置)、ピーク、平均、ピーク/平均比、バースト平均、デューティ・サイクル

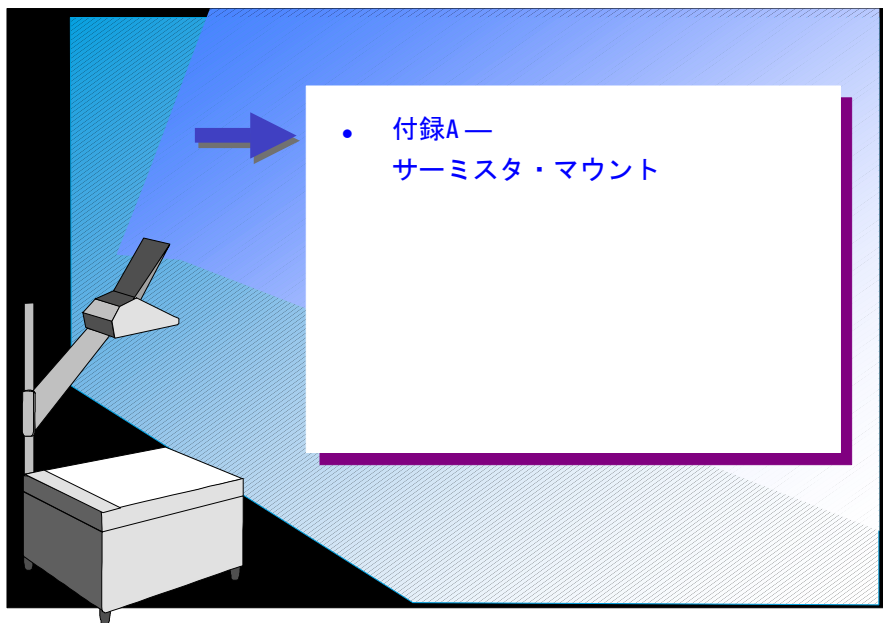
➤時間と周波数:

立上がり時間、立下がり時間、パルス繰返し周波数(PRF)、パルス繰返し間隔(PRI)、パルス幅、オフ時間

* IEEEのパルス定義とビデオ・パラメータの標準をマイクロ波パルス・エンベロープに適用
ANSI/IEEE Std. 194-1977

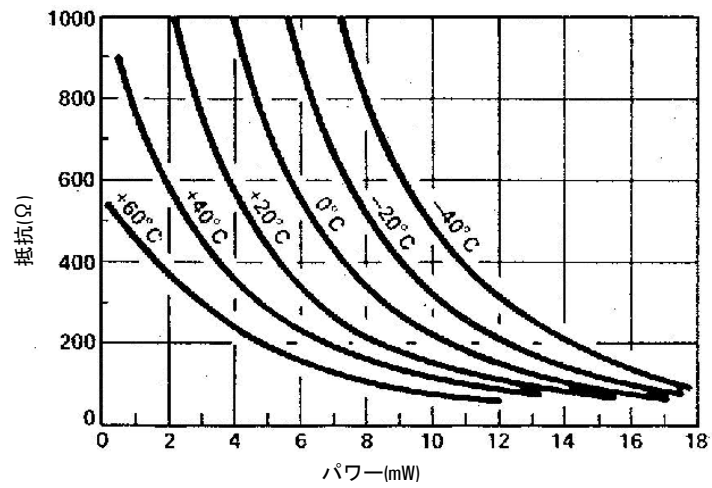


テーマ



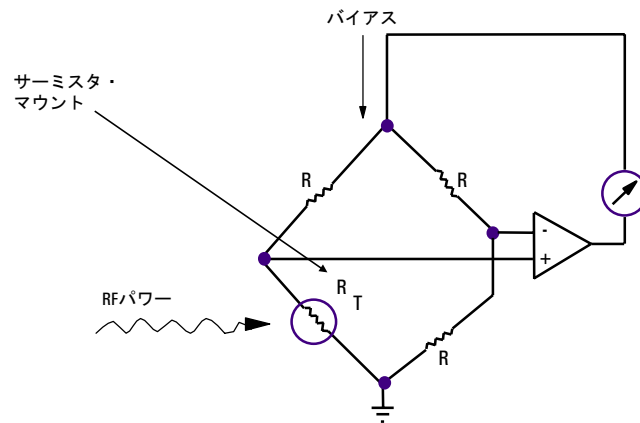
サーミスタ

代表的なサーミスタ素子の特性曲線



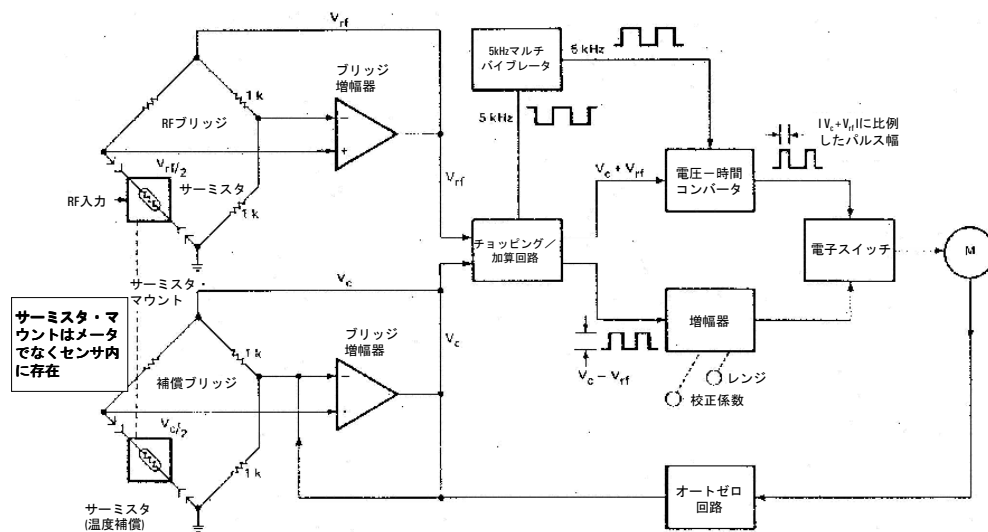
サーミスタ

サーミスタを含む自己平衡ブリッジ

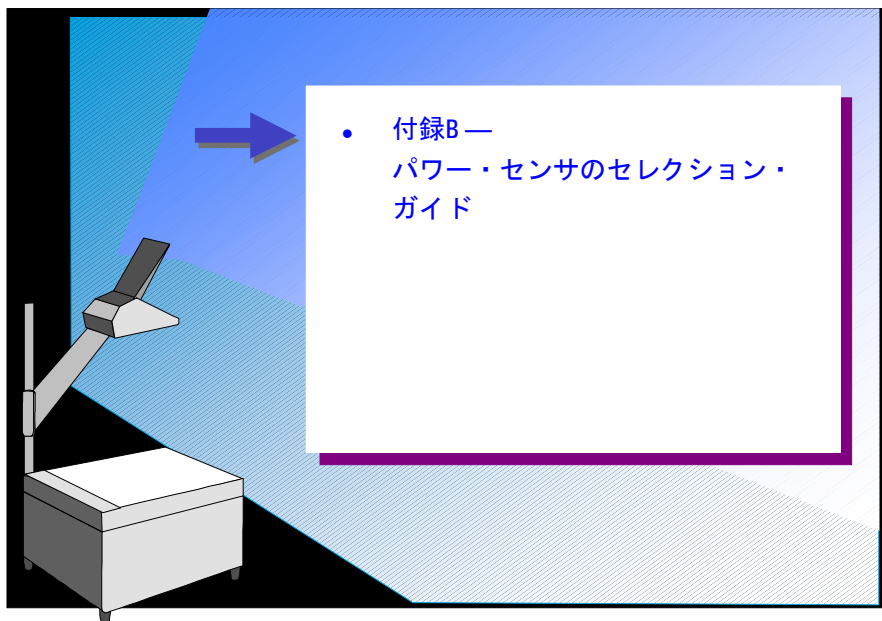


サーミスタ・マウント用パワー・メータ

・ 432Aパワー・メータ



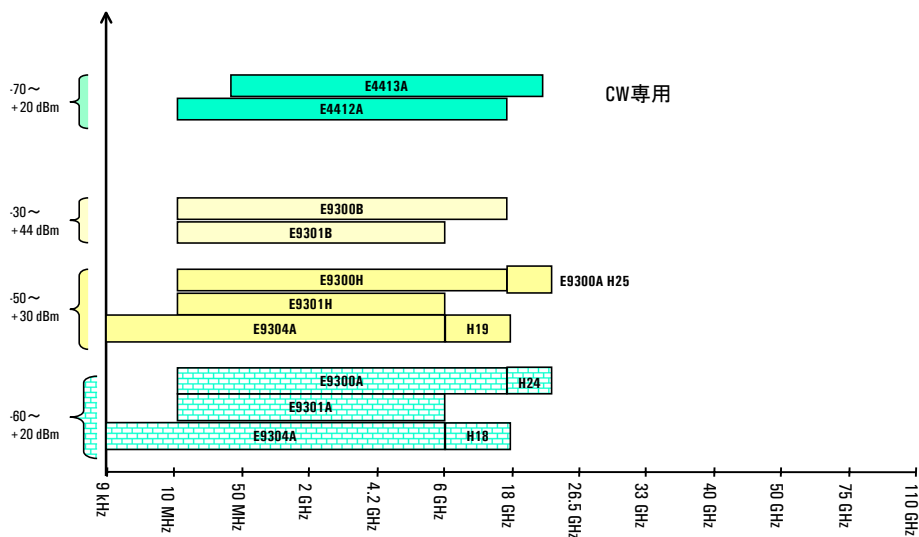
テーマ



The chart displays the frequency range and power level for various models of the 84800 series. The x-axis represents frequency from 100 kHz to 110 GHz. The y-axis represents power level. Models are listed on the bars, with some models having multiple frequency ranges.

Power Level (dBm)	Model	Frequency Range (kHz/Hz)
0 dBm ~ +44 dBm	8481B	100 kHz ~ 18 GHz
0 dBm ~ +44 dBm	8482B	100 kHz ~ 10 MHz
-10 ~ +35 dBm	8481H	10 MHz ~ 18 GHz
-10 ~ +35 dBm	8482H	100 kHz ~ 10 MHz
-30 ~ -20 dBm	Q8486A	33 GHz ~ 40 GHz
-30 ~ -20 dBm	V8486A	75 GHz ~ 110 GHz
-30 ~ -20 dBm	W8486A	75 GHz ~ 110 GHz
-30 ~ -20 dBm	R8486A	26.5 GHz ~ 40 GHz
-30 ~ -20 dBm	8487A	50 MHz ~ 50 GHz
-30 ~ -20 dBm	8485A	50 MHz ~ 26.5 GHz
-30 ~ -20 dBm	オプション033	26.5 GHz ~ 40 GHz
-30 ~ -20 dBm	8481A	10 MHz ~ 18 GHz
-30 ~ -20 dBm	8482A	100 kHz ~ 10 MHz
-30 ~ -20 dBm	8483A (75 Ω)	100 kHz ~ 10 MHz
-30 ~ -20 dBm	Q8486D	33 GHz ~ 40 GHz
-30 ~ -20 dBm	R8486D	26.5 GHz ~ 40 GHz
-30 ~ -20 dBm	8487D	50 MHz ~ 50 GHz
-30 ~ -20 dBm	8485D	50 MHz ~ 26.5 GHz
-30 ~ -20 dBm	オプション033	26.5 GHz ~ 40 GHz
-30 ~ -20 dBm	8481D	100 kHz ~ 18 GHz

Agilent パワーセンサのセクション・ガイド: Eシリーズ高ダイナミック・レンジ、CWおよび 平均センサ



Agilentパワーセンサのセクション・ガイド: EシリーズE9320ピークおよび平均センサ

平均のみの
ダイナミック・レンジ

-65 ~
+20 dBm

-60 ~
+20 dBm

-60 ~
+20 dBm

E9325A
E9321A

300 kHzビデオ帯域幅

E9326A
E9322A

1.5 MHzビデオ帯域幅

E9327A
E9323A

5 MHzビデオ帯域幅

9 kHz 10 MHz 50 MHz 2 GHz 4.2 GHz 6 GHz 18 GHz 26.5 GHz 33 GHz 40 GHz 50 GHz 75 GHz 110 GHz

ノーマル・モードおよび最大ピーク・パワーのダイナミック・レンジについてはデータ・シート5980-1469Eを参照

パワー測定的基础



Agilent Technologies

56

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は24時間受付

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。
ご注文の際はご確認ください。

Copyright 2002

アジレント・テクノロジー株式会社



Agilent Technologies

June 14 2002

5965-7919J

0000-00DEP