

はじめに

現在の私たちの周りではテレビやラジオの放送はもちろん、携帯電話や無線LAN、Bluetoothなど電波を使った電子機器が当たり前のように使われています。このように電波は私たちの生活に欠かすことができないものになりました。

また電波を使用する機器が普及するに伴い、電波自体や不要輻射が生体やほかの機器に与える影響も問題視されるようになってきました。そのため、今まで以上に電波に対する法律も厳しくなり、デジタル信号を高速で伝送するためには電波の質も重要になってきました。

RF (Radio Frequency) を対象にした測定器はいろいろな種類がありますが、中心となるのはスペクトラム・アナライザです。スペクトラム・アナライザも世の中のデジタル化に合わせるように多機能、高機能化の方向に進んでいます。最近ではシグナル・アナライザという名称で、スペクトラム・アナライザが一つの機能として組み込まれているタイプの測定器もあります(本書では「スペクトラム・アナライザ」を総称として使用する)。

また最近の機種では測定が自動化されているものも多く、ボタン一つで測定結果を画面に表示してくれるようになりました。

しかし測定の基本原理を理解しておかなければ、正しい測定結果が得られない場合もあります。最悪のケースではスペクトラム・アナライザを破損してしまうこともあります。

本書では高周波の測定に欠かせないスペクトラム・アナライザの基本的な使い方を解説します。測定部分は前著「スペクトラム・アナライザ入門(2006年9月発行)」を元に、より実践的に書き下ろしました。そのため測定原理やスペクトラム・アナライザの内部構造などに関しては、「スペクトラム・アナライザ入門」を参考にして頂ければと思います。また、測定器に付属している取扱説明書とともに活用して頂ければ幸いです。

最後に本書の執筆にあたり、CQ出版社ならびにアジレント・テクノロジー株式会社各位のさまざまな協力を頂きましたことに心から感謝申し上げます。

2010年5月
高橋 朋仁

第1章

スペクトラム・アナライザとは

スペクトラム・アナライザとは、周波数と振幅レベル（電力）を測ることができる測定器です。しかし周波数を測るには周波数カウンタを、電力を測るには電力計（パワー・メータ）を使うほうが高精度に測定することができます。

では、なぜスペクトラム・アナライザを使うのでしょうか。

スペクトラム・アナライザを使用した測定例

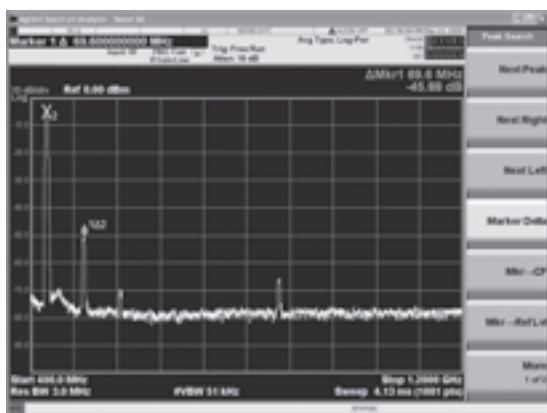
スペクトラム・アナライザは周波数ごとの電力を測定することが可能です。周波数の分布と電力を同時に測定することで、高調波や不要輻射、変調、ひずみ、位相ノイズなど、さまざまなことがわかります。スペクトラム・アナライザを使用した測定例を画面1.1～画面1.4に示します。

画面1.5は、トラッキング・ジェネレータを併用して測定した例で、被測定物の伝送特性も測定できます。

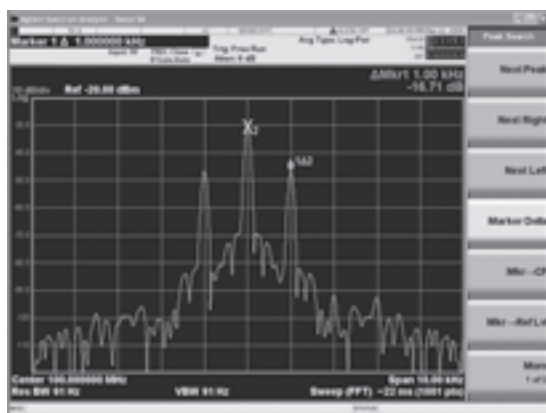
そのほか、基準アンテナを使用した電界強度の測定や、バンドスコープとして無線局のモニタリングも可能です。

時間ドメインと周波数ドメイン

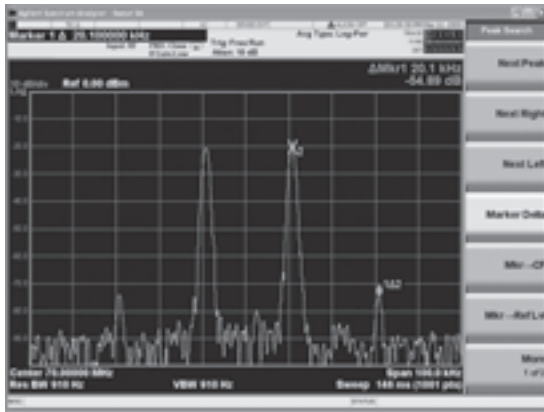
信号を観測する際、図1.1に示すように、時間軸で観測する場合（時間ドメイン）と周波数軸で観



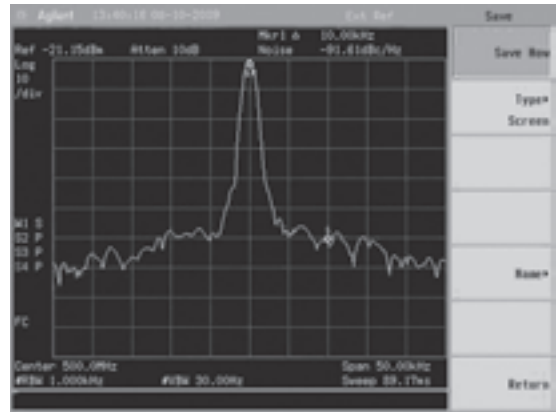
画面1.1 高調波，不要輻射の測定例



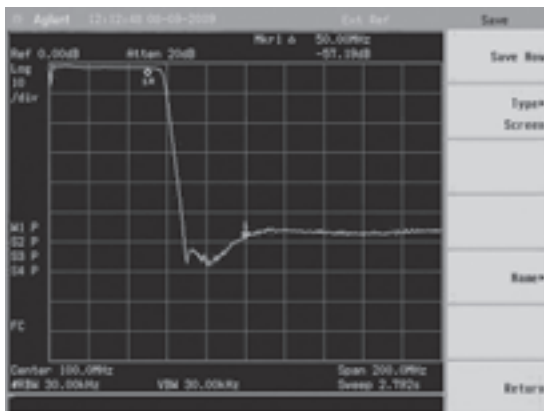
画面1.2 変調の測定例



画面1.3 ひずみの測定例



画面1.4 位相ノイズの測定例



画面1.5 フィルタの伝送特性の測定例

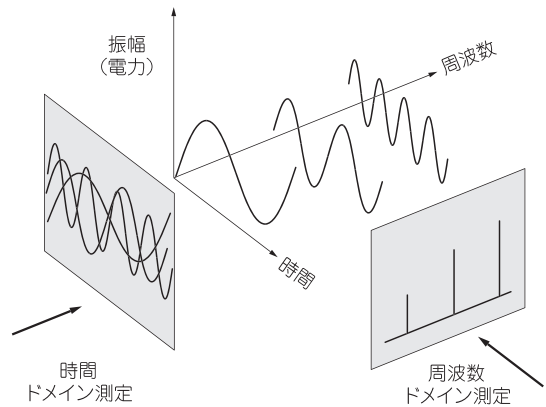


図1.1 時間ドメイン測定と周波数ドメイン測定

測する場合(周波数ドメイン)があります。

時間と振幅の関係を表したものを「時間ドメイン」と呼び、代表的な測定器は写真1.1、画面1.6に示すオシロスコープです。

「周波数ドメイン」は周波数と振幅(電力)の関係を表したもので、スペクトラム・アナライザが代表的な測定器です(写真1.2、画面1.7)。

画面1.6に示したオシロスコープの画面は横軸が時間、画面1.7に示したスペクトラム・アナライザの画面は横軸が周波数であることを理解してください。

スペクトラム・アナライザは、指定範囲の周波数分布と電力を表示するために、いくつかの種類があります。

信号をデジタル化しFFT(Fast Fourier Transform)と呼ばれる演算で周波数を分離するFFT方式のアナライザや、周波数別のフィルタを並べることで周波数の分離を行うフィルタ方式のアナライザなどがあります。もっとも一般的なタイプは、掃引同調方式を採用したスーパーヘテロダイン方式

第2章

スペクトラム・アナライザの基本操作

スペクトラム・アナライザを使用して測定を始める前に、基本的な操作方法を解説します。

2-1

スペクトラム・アナライザを使用するための前知識

スペクトラム・アナライザのフロント・パネルの操作

写真2.1.1に、スペクトラム・アナライザのフロント・パネルを示します。

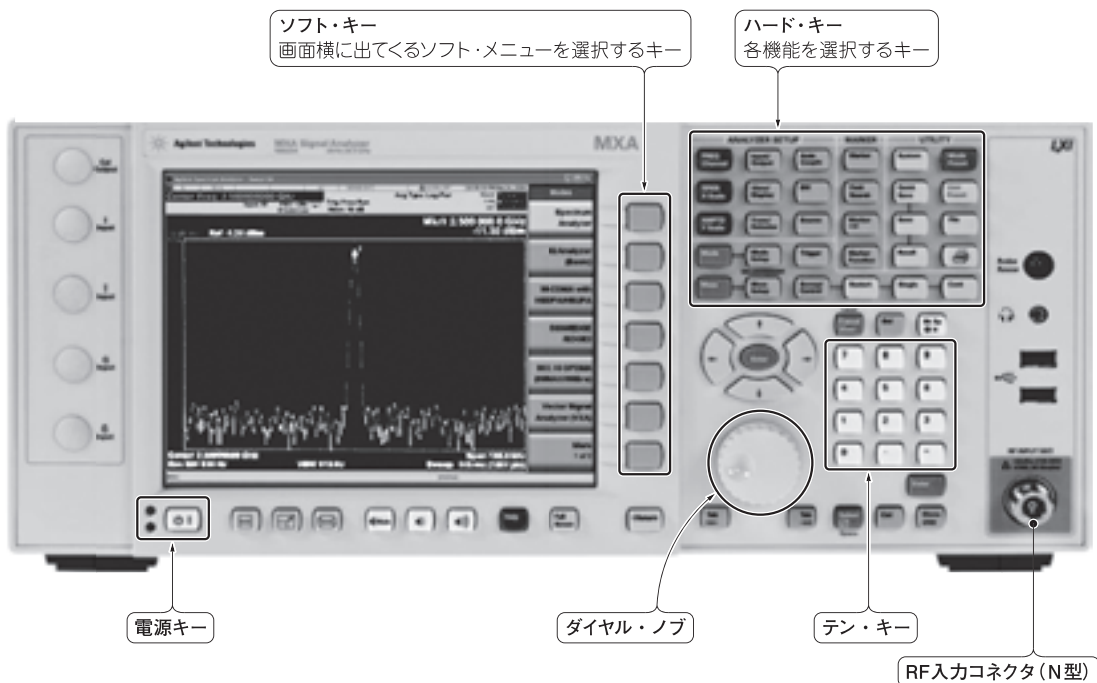


写真2.1.1 シグナル(スペクトラム)アナライザ N9020A (アジレント・テクノロジー社)のフロント・パネル

●電源キー

電源キーでスペクトラム・アナライザの起動と終了を行います。バック・パネルにメインの電源スイッチが付いている機種もあります。そのような機種では、メイン電源をONにした後で操作を行います。OS内蔵タイプのスペクトラム・アナライザでは、OSのシャットダウンにも使用します。

●RF入力コネクタ

RF入力コネクタには測定信号を入力します。インピーダンスは50Ωもしくは75Ωです。一般的に高周波特性のよいN型コネクタが使われています。

●ハード・キー

ハード・キーには、よく使う機能が設定されていて直接呼び出すことができます。

●テン・キー

周波数などの数値を直接打ち込む際に使用します。

●ソフト・キー

ハード・キーで呼び出した機能のサブメニューがディスプレイに表示され、ディスプレイ横のボタンに複数の機能を与えます。

●ダイヤル・ノブ

マーカ・ポイントを移動させたり、アナログ的に値を変更するときに使用します。

●COLUMN

インピーダンスとは

インピーダンスとは、交流回路における抵抗です。抵抗ですから単位は Ω が用いられます。

通常の抵抗器は直流から高周波まで同じ抵抗値ですが、インピーダンスはコイルとコンデンサが作り出す抵抗が主になります。そのため周波数によって同じ回路でもインピーダンスが変化します。

機器間や機器と伝送路、機器とアンテナなどを接続する場合にはインピーダンスを適合させて接続します（インピーダンスの整合）。インピーダンスが異なると電圧か電流のどちらかの損失を招き、結果的に電流×電圧（＝電力）の損失が発生します。

しかしインピーダンスが各機器でバラバラだと機器間を接続するたびに整合をとる必要があり不便なので、基本的には50Ωか75Ωに統一されています。

75Ωはダイポール・アンテナのインピーダンスを基本として設定され、テレビ系の受信設備のアンテナやビデオ信号、映像系の測定器で使用されています。

電波の送受信機器は50Ωのインピーダンスが原則です。スペクトラム・アナライザの入力インピーダンスも映像用に使用するタイプは75Ω、それ以外は50Ωです。

第3章

スペクトラム・アナライザを使った各種測定事例

ここではスペクトラム・アナライザを使用した基本的な測定方法を説明します。
まず測定前の注意点について説明します。

入力信号レベルの範囲

入力する信号レベルの範囲は機種により異なりますが、通常最低レベルが -140dBm ～ -100dBm 、最大レベルが定格上の最大入力可能電力になっています。

入力信号のレベルに合わせて、リファレンス・レベルと入力アッテネータの設定を行うことで、最大のダイナミック・レンジを得ることができます。

適切に設定されていない場合には、レベルの低い信号は観測できなくなり、レベルの高い信号ではスペクトラム・アナライザの利得が圧縮され、内部で高周波ひずみを生じ測定値に誤差が発生します。

超えてはならない最大入力電力/最大入力電圧の警告

スペクトラム・アナライザのRF入力コネクタの横には、かならず最大入力電力と最大入力電圧が書かれています(写真3.1)。この値は一瞬でも超えてはいけません。内部のアッテネータやミキサに重大な損傷を与えることがあります。

またスペクトラム・アナライザの入力アッテネータの設定がスルー(0dB)の状態では、最大入力電力に近い信号を入力すると、入力ミキサを損傷する場合があります。このレベルの信号を入力する場合にはかならず入力アッテネータを設定してください。

被測定機器の発生する信号の電力がスペクトラム・アナライザの耐入力以下でも、実験中や調整中では異常発振などの影響で多大な電力が発生する場合もあるので、測定中は外部にアッテネータやケーブルなどを常に使用して計測することを心がけてください(後述する低レベルの信号測定以外)。



写真3.1
スペクトラム・アナライザのRF入力コネクタ部に
書かれている最大入力電力と最大入力電圧

3-1

単一信号の測定

周波数が分かっている単一信号の測定手順を説明します。単一信号の測定は、スペクトラム・アナライザを使用したもっとも基本的な測定です。基本操作はシグナル（スペクトラム）アナライザ N9020A を使って説明します。

被測定機器とスペクトラム・アナライザの接続














被測定機器とスペクトラム・アナライザは図3.1.1のように接続します。機器の接続は、スペクトラム・アナライザの入力と同じインピーダンスのできるだけ短い同軸ケーブルを使って接続します。

被測定信号の電力がスペクトラム・アナライザの耐入力電力以下の場合には外部のアッテネータは必要ありませんが、スペクトラム・アナライザを保護するためと被測定物と信号源のインピーダンス・マッチング精度の向上のためにも、アッテネータは接続することを推奨します。

また被測定物のインピーダンスが測定機器のインピーダンスと異なる場合には、減衰量3dB～6dBのアッテネータ（整合PAD）を挿入します。

単一信号の測定手順

ここでは周波数100MHzの信号を測定します（パネル3.1.1）。

- ① Mode Preset キー（イニシャル・キー）（1.1）を押し、設定を初期値に戻す（画面3.1.1）
- ② センタ周波数を100MHzに設定する（画面3.1.2）
ハード・キー [FREQ Channel]（1.2）→ ソフト・キー [Center Freq]（1.3）を選択し、テン・キーで周波数を入力後（1.4）[1][0][0]，ソフト・キーで単位 [MHz]（1.3）を指定してセンタ周波数を設定する
- ③ スパン周波数を10MHzに設定する（画面3.1.3）。ハード・キー [SPAN X Scale]（1.5）→ ソフト・キー [Span]（1.6）を選択し、テン・キーで周波数を入力後（1.4）[1][0]，ソフト・キーで単位 [MHz]（1.3）を指定してスパン周波数を設定する
- ④ ディスプレイの目盛りから信号のレベルを読み取る。リファレンス・レベルが0dBmで縦軸1目盛りが-10dBなので約-30dBmと読み取ることができる（画面3.1.4）
- ⑤ マーカ機能を使って正確な信号レベルを読み取る（画面3.1.5）。ハード・キーの [Marker]（1.7）を選択するだけで表示される
- ⑥ 信号の正確な周波数を調べる際にはカウンタ機能を使用する。ハード・キーの [Marker]（1.7）→ ソフト・キーの [More 1 of 2]（1.8）→ [Marker Count]（1.3）→ [Counter] を [On]。画面右上に周波数が表示される（画面3.1.6）

第4章

トラッキング・ジェネレータを使った測定事例

トラッキング・ジェネレータをスペクトラム・アナライザと組み合わせて使用すると、ネットワーク測定を行うことができます。ネットワーク測定とは、信号をデバイス/システムの入力に印加し、その出力を観測することで応答特性を測定することです。

ネットワーク測定には被測定物に信号を与える信号源と、被測定物の出力信号を解析する測定器が必要です。主に高周波回路網の通過・反射電力の周波数特性を測定するネットワーク・アナライザやスペクトラム・アナライザとトラッキング・ジェネレータの組み合わせで測定されます。この場合、信号源がトラッキング・ジェネレータ、出力信号を解析する装置がスペクトラム・アナライザになります。

伝達特性はスペクトラム・アナライザとトラッキング・ジェネレータを使用することで測定できます。位相情報が必要な場合には、ネットワーク・アナライザを使用する必要があります。

4-1

トラッキング・ジェネレータと スペクトラム・アナライザの関係

トラッキング・ジェネレータとスペクトラム・アナライザの関係は図4.1.1のようになります。

トラッキング・ジェネレータはスペクトラム・アナライザ本体の掃引発振器の信号と、スペクトラム・アナライザの第1中間周波数と同じ周波数の信号をミキサで混合し出力します。

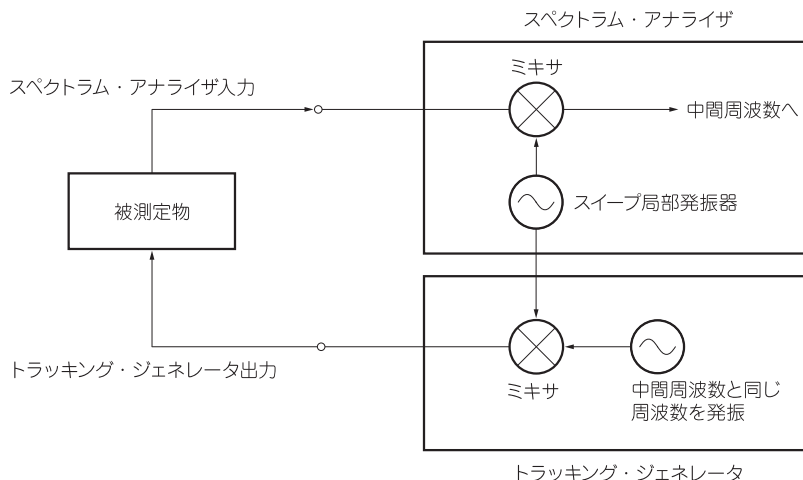


図4.1.1 トラッキング・ジェネレータの原理

スペクトラム・アナライザでは、入力された信号と掃引発振器の信号をミキサで混合して第1中間周波数に変換します。そのためトラッキング・ジェネレータの出力周波数とスペクトラム・アナライザの受信周波数は一致するので、トラッキング・ジェネレータの出力とスペクトラム・アナライザの入力を接続すると、画面4.1.1に示すように横1本の線になります。

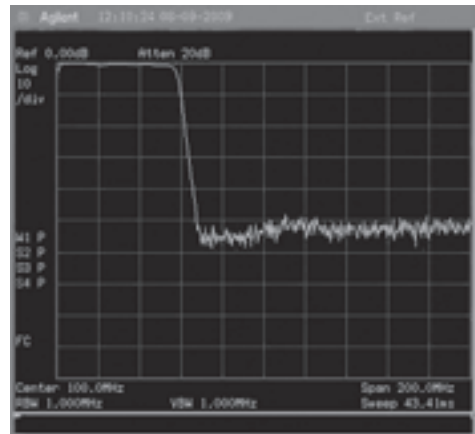
トラッキング・ジェネレータの出力とスペクトラム・アナライザの入力の間被測定物を接続することで、画面4.1.2に示すように被測定物の伝達特性を測定できます。

伝送路測定には、周波数応答、リターン・ロス、損失や利得などの測定項目があります。

トラッキング・ジェネレータは、別筐体になっていてケーブルによってスペクトラム・アナライザと接続するタイプと、スペクトラム・アナライザ本体に内蔵するタイプ(写真4.1.1)があります。



画面4.1.1 トラッキング・ジェネレータの出力とスペクトラム・アナライザの入力を直結したときの出力



画面4.1.2 トラッキング・ジェネレータを使用した伝達特性の測定

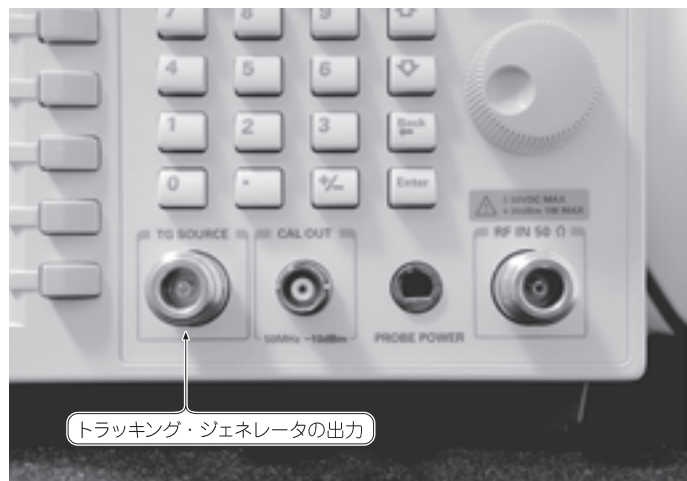


写真4.1.1
内蔵トラッキング・ジェネレータの出力

第5章

スペクトラム・アナライザとともに使うアクセサリ

スペクトラム・アナライザを使って測定する際に使用するアクセサリを紹介します。

● アッテネータ/ステップ・アッテネータ

アッテネータ (Attenuator; 減衰器) は、電気信号の電圧を減衰させるアクセサリです。減衰量の単位はデシベル (dB) が一般的です (写真5.1, 写真5.2)。

減衰量が固定のタイプと可変できるタイプがあり、可変できるタイプにはプログラマブル・アッテネータやステップ・アッテネータなどがあります。

アッテネータにはインピーダンスと耐入力電力が決まっています。正しく使用しないと測定精度の悪化やアッテネータの損傷を招くことがあります。アッテネータは、信号の減衰のほかにインピーダンスのマッチングにも使用します。アッテネータは、信号源とスペクトラム・アナライザの間に接続して使用するアクセサリです (図5.1)。

通常トラッキング・ジェネレータを使用する場合、入力レベル (トラッキング・ジェネレータの出力レベル) がスペクトラム・アナライザの耐入力電力を超えることはありません。被測定物の入出力インピーダンスと整合を取る場合には、整合^{パッド}PADとして挿入します。

また増幅器の特性を測定する場合、トラッキング・ジェネレータの出力レベルが被測定物の耐入力レベルを超えたり、過大入力で飽和してしまうときにはアッテネータをトラッキング・ジェネレータと被測定物との間に挿入します。

増幅器の出力レベルが大きくて正しく測定できない場合には、増幅器の出力とスペクトラム・アナライザの入力の間にアッテネータを挿入します (図5.2)。



写真5.1 アッテネータの製品例
同軸アッテネータ 8493B (アジレント・テクノロジー社)



写真5.2 ステップ・アッテネータの製品例
マニュアル・ステップ・アッテネータ 8495B (アジレント・テクノロジー社)

図5.1
信号源とスペクトラム・アナライザ
をアッテネータで接続

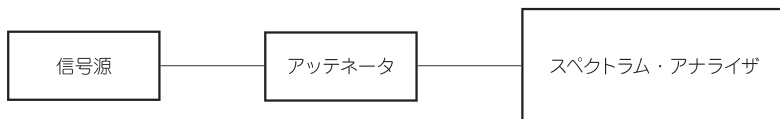




図5.2 被測定物とトラッキング・ジェネレータ、スペクトラム・アナライザをアッテネータで接続

写真5.3 DC ブロッキング・キャパシタの製品例

DC ブロッキング・キャパシタ 11742A
(アジレント・テクノロジー社)

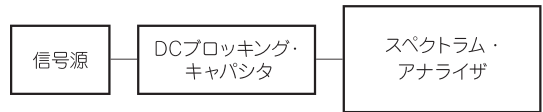


図5.3 信号源とスペクトラム・アナライザをDC ブロッキング・キャパシタで接続

● DC ブロッキング・キャパシタ

DC ブロッキング・キャパシタは、直流からスペクトラム・アナライザのRF 部分を保護するためのものです(写真5.3)。これを、被測定物とスペクトラム・アナライザ入力との間に接続します(図5.3)。

そのほか増幅器の入力に直流(DC)が入ってDCオフセットが生じるのを防ぎます。DC ブロッキング・キャパシタは耐電圧と周波数レンジを確認して使用します。

● パワー・リミッタ

パワー・リミッタは、被測定物とスペクトラム・アナライザ入力との間に接続し、規定値以上の電力からスペクトラム・アナライザを保護するために使用します(写真5.4、図5.4)。

パワー・リミッタの耐電力を超える電力が加わった場合にも、パワー・リミッタ本体がオープン、もしくはグラウンドとショート状態になり、スペクトラム・アナライザを破損から保護します。

パワー・リミッタを選択する際には、リミット電力や周波数レンジはもちろんですが、突発的なパルス波にも対応できる反応速度があることも確認してください。

トラッキング・ジェネレータを使用して増幅器の特性を測定する際には、増幅器とスペクトラム・アナライザの間に接続します(図5.5)。



写真5.4 パワー・リミッタの製品例
パワー・リミッタ N9356B (アジレント・テクノロジー社)

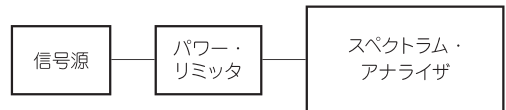


図5.4 信号源とスペクトラム・アナライザをパワー・リミッタで接続

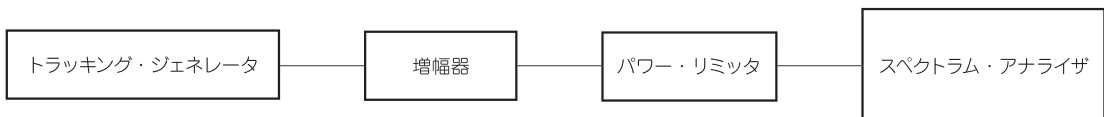


図5.5 トラッキング・ジェネレータ、増幅器とスペクトラム・アナライザをパワー・リミッタで接続

Appendix 2

スペクトラム・アナライザの確度とデータシートの読み方

カタログやデータシートには必要な情報が記載されています。すべての項目の説明は行いませんが導入する前はもちろん、使用する前にも一度目を通しておくようにしてください。

A-1 スペクトラム・アナライザの確度

スペクトラム・アナライザは信号の周波数とレベルを測定する測定器ですから、確度（ある一定条件下で測定器に生じる最大の誤差）の仕様は重要です。

確度は絶対精度と相対精度で示すことがあります。通常のマーカで測定する精度は絶対精度、デルタ・マーカで測定する精度は相対精度です。相対精度は絶対精度よりも精度が高くなります（図A.1）。

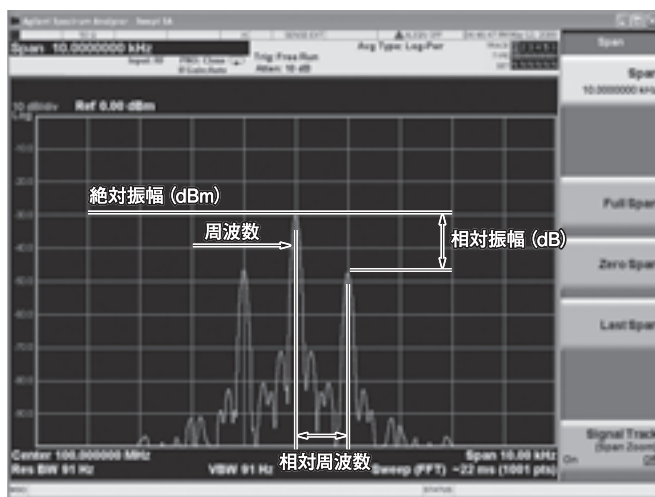


図 A.1
絶対値と相対値の表し方

スペクトラム・アナライザの周波数の確度

スペクトラム・アナライザでは、測定した信号の周波数が表示されますが、その表示周波数には誤差が含まれています。周波数の確度には以下のような規格値があります。

- 基準周波数の確度