

第2章

電力の測定

～高周波測定の基礎中の基礎，あらゆる機器の評価に必須～

高周波回路は電力で信号を伝えます。従って電力の測定が高周波測定の基本です。本章では精度，コスト，ダイナミック・レンジが全く違う，三つの測定方法を紹介します。

各測定方法の比較を表2-1に示します。また，電力測定のフローチャートを図2-1に示します。本章で説明する電力の測定は，以下の評価で必要になります。

- 信号レベルの測定(第4章，第5章，第6章参照)
- 発振回路の評価
- 送信機の評価
- 信号発生器の出力信号レベルの確認

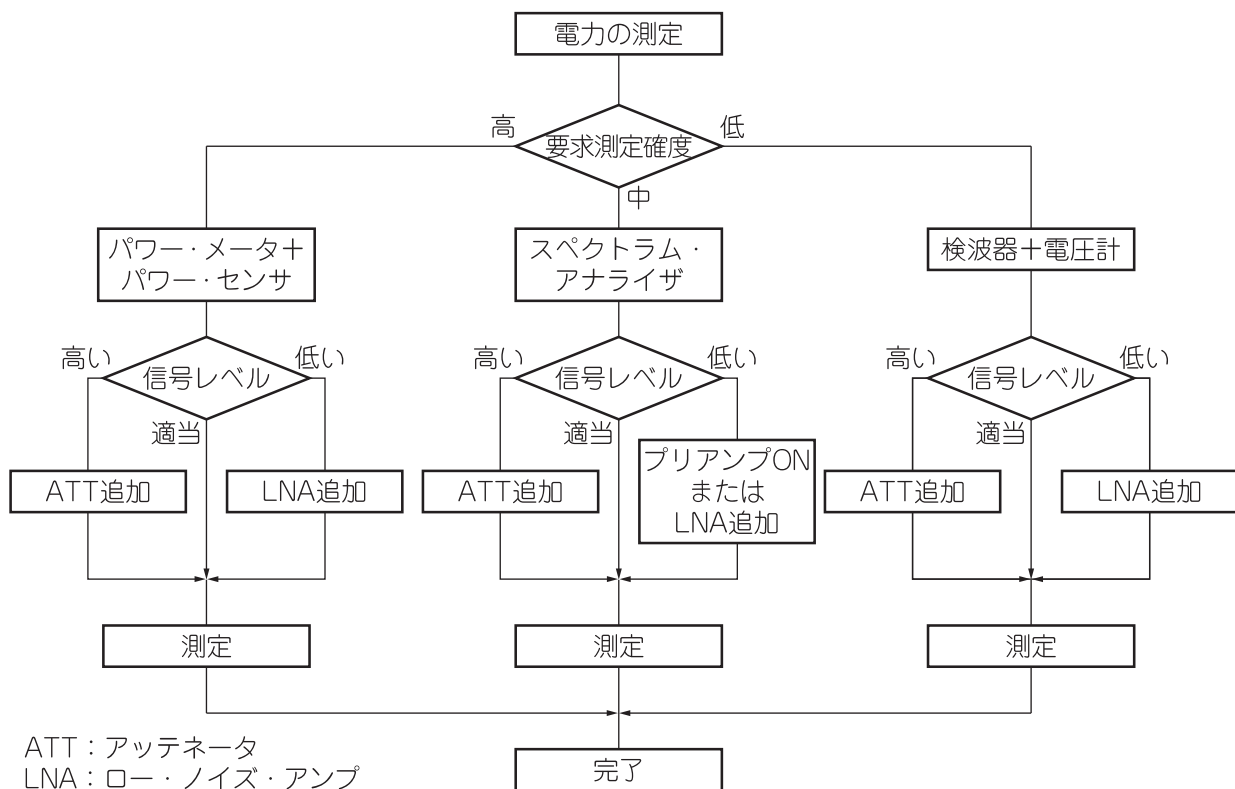
2-1	パワー・メータによる測定
-----	--------------

パワー・メータによる測定の場合，測定可能な周波数範囲とレベル範囲は，パワー・メータ本体と組み合わせて使用するパワー・センサの仕様によって決まります。従って，測定対象の周波数とレベルをカバーするパワー・センサを用意する必要があります。パワー・メータの基本的な測定系の構成を図2-2に示します。

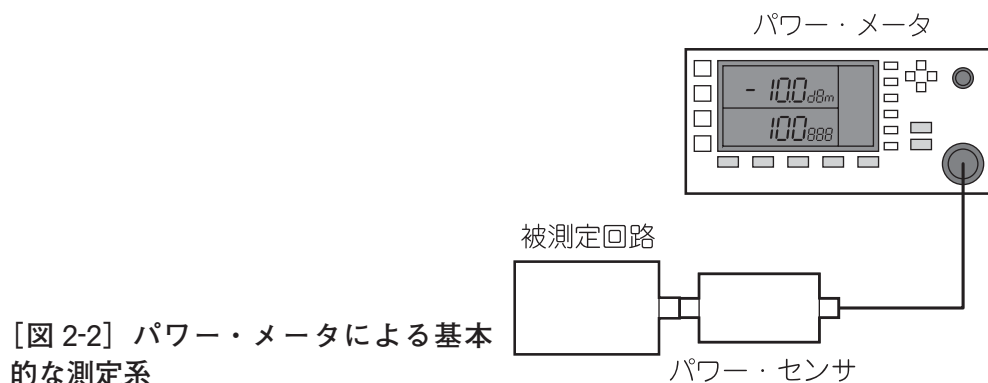
[表 2-1] 本章で紹介する三つの測定方法の比較

使用測定器	測定精度	ダイナミック・レンジ	およその価格
パワー・メータ+パワー・センサ	高	60 ～ 90dB	数十万円～
スペクトラム・アナライザ	中～高	100dB 超	50 万円～ ^注
検波器+電圧計	低～中	50 ～ 60dB	数万円～

注：測定周波数帯によって大きく違う



【図 2-1】 電力測定の流れチャート



【図 2-2】 パワー・メータによる基本的な測定系

● 校正と測定の基本手順

パワー・メータで測定を行う際には、パワー・メータの校正が必要です。パワー・メータの電源を投入後、少なくとも 30 分程度のウォームアップを行ってから校正を行います。

- ① パワー・センサに何も入力しない状態で、パワー・メータの「ゼロ調整」を行う。アジレント・テクノロジーの 4418B の場合、写真 2-1 下側のボタンでメニューを呼び出す
- ② 使用するパワー・センサの基準校正係数 Ref CF (写真 2-2) を、パワー・メータに設定する。なお、パワー・センサ内の EEPROM に校正係数を格納し、自動

第3章

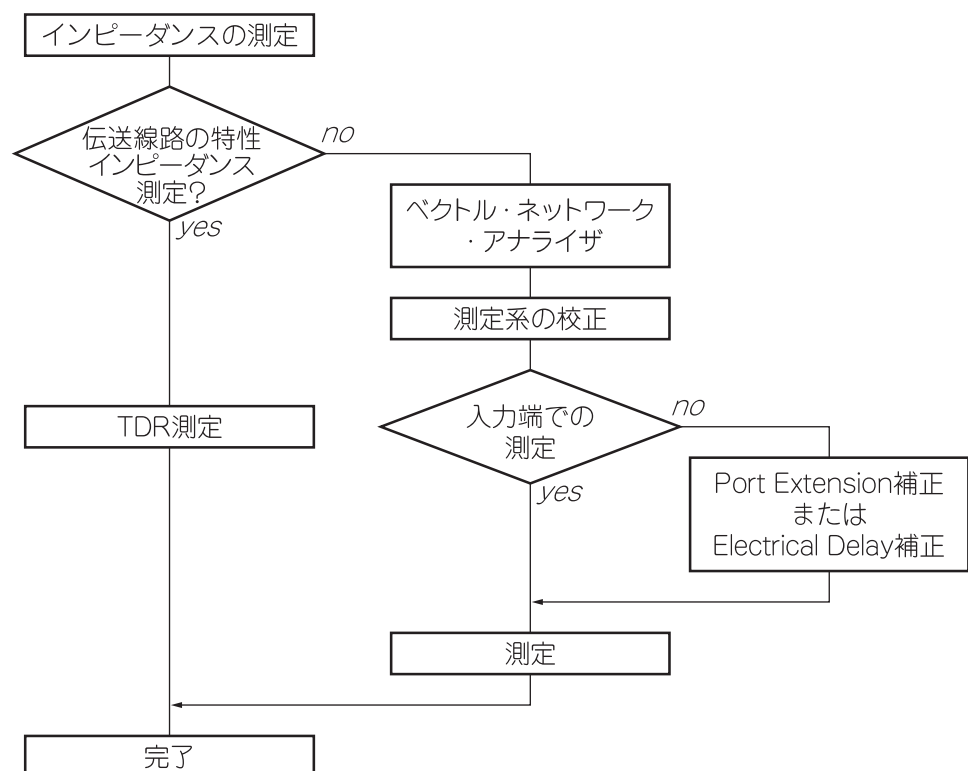
インピーダンスの測定

～インピーダンスが判らないと回路どうしを上手くつなげられない～

高周波回路では、回路のインピーダンスや回路間のインピーダンス整合、伝送線路の特性インピーダンスなど、インピーダンスにかかわる特性が非常に重要になります。インピーダンス測定は高周波回路の調整、評価において常に必要です。

一般に高周波におけるインピーダンス測定には、ベクトル・ネットワーク・アナライザが使われます。そして伝送線路などの特性インピーダンスの測定には、オシロスコープを使ったTDR (Time Domain Reflectometry) という方法が使われます。

図3-1にインピーダンス測定のフローチャートを示します。
本章で説明する測定は、以下の評価などで必要になります。



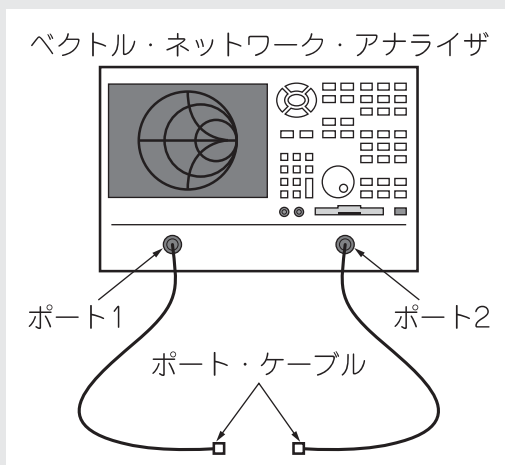
[図3-1] インピーダンス測定のフローチャート

- さまざまな回路の入力，出力端子のインピーダンス評価
- 回路内の任意の点から見たインピーダンスの評価
- インピーダンス整合
- 測定系のインピーダンス確認(第14章 14-2節，第16章 16-5節など)
- 特性インピーダンスの測定
- 伝送線路(プリント基板パターン)の評価
- 同軸ケーブルの評価
- 同軸コネクタの評価

3-1

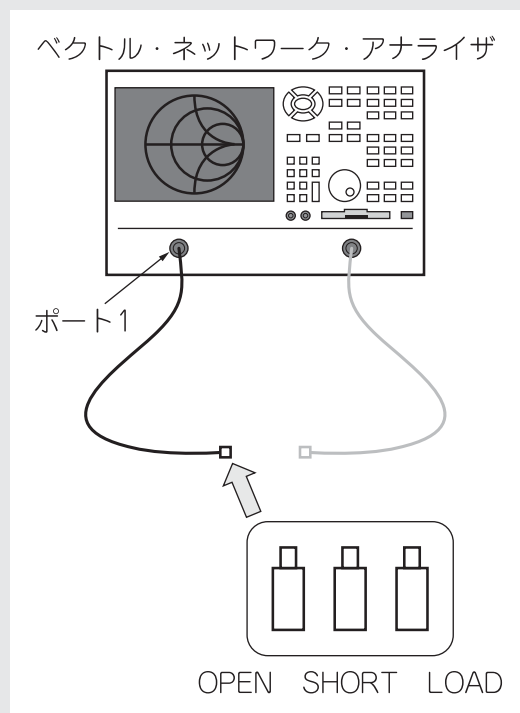
回路の入口/出口における測定

ベクトル・ネットワーク・アナライザを使用すれば，高周波における回路や部品のインピーダンスを簡単に測定できます。



【図3-2】 ベクトル・ネットワーク・アナライザは二つの測定ポートによる測定が基本

片方から信号を送り出し，もう片方でその戻りを受ける



【図3-3】 ポート1の校正…OPEN, SHORT, LOADをそれぞれ接続し，それぞれの状態で校正を行っておく

第4章

反射特性の測定

～高周波回路では反射を減らして電力を伝えることが大事～

高周波回路では電力の伝達が重要になります。つなぎ合わせる回路間でインピーダンスが合っていないと信号の反射が起こってしまい、伝達される信号電力が減るばかりでなく周波数特性の乱れなども生じ、さまざまな部分に悪影響を及ぼします。

高周波回路では、この反射をできる限り少なくする作業(インピーダンス・マッチング)が必要になります。そのためには反射を正確に測る必要があります。

本章では確度の全く違う反射特性のさまざまな測定方法を紹介します。

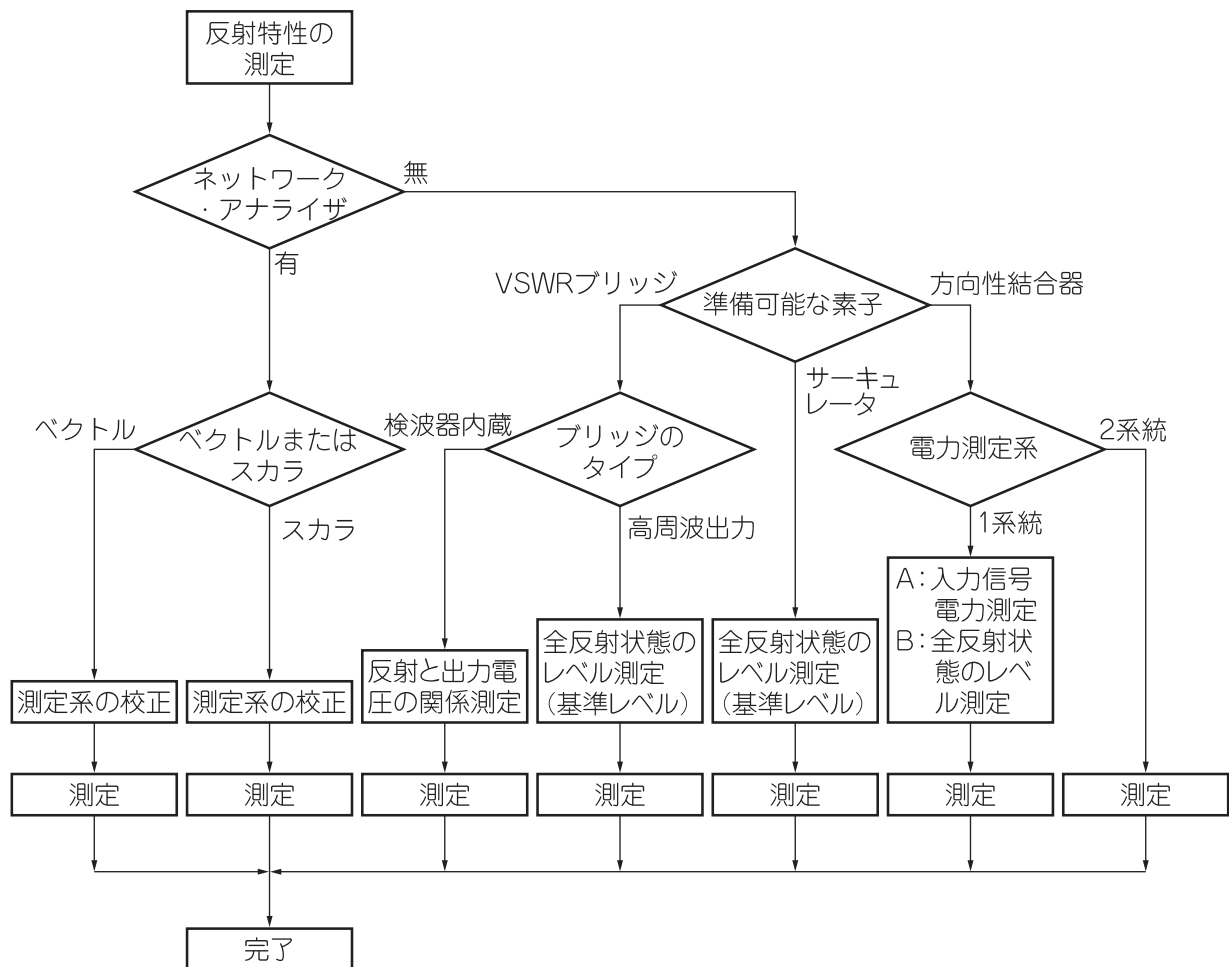
本章で紹介する各測定方法の比較を表4-1に示します。さらに、図4-1に反射特性測定フローチャートを示します。

また、本章で説明する反射特性の測定は、以下の評価で必要になります。

- スイッチの特性評価(ONになっている端子の反射特性)
- フィルタの特性評価

[表 4-1] 本章で紹介する各測定方法と測定精度

使用測定器または測定素子		測定精度	測定対象
ベクトル・ネットワーク・アナライザ		(信号発生器) 高	反射係数, インピーダンス, リターン・ロス, VSWR など
スカラ・ネットワーク・アナライザ		中～高	リターン・ロス, VSWR
VSWR ブリッジ	パワー・メータ	中	リターン・ロス
	スペクトラム・アナライザ	中	
	検波器+電圧計	低	
方向性結合器	パワー・メータ	中	リターン・ロス
	スペクトラム・アナライザ	中	
	検波器+電圧計	低	
サーキュレータ	パワー・メータ	中	リターン・ロス
	スペクトラム・アナライザ	中	
	検波器+電圧計	低	



〔図4-1〕 反射特性測定のフローチャート

- アンプの特性評価
- 伝送線路の評価
- ケーブルの評価
- そのほか各種回路の特性評価
- マッチングの調整

スイッチ、フィルタなどの受動回路，伝送線路，ケーブルなどの場合，反射特性としてVSWRが1.2以下またはリターン・ロスが20dB以上であることが一般的に求められます(電力の反射がおよそ1/100以下)。

アンプの場合，その用途や種類によって要求される反射特性が異なります。例えばLNA (Low Noise Amplifier；低雑音増幅器)の場合には，入力の反射特性の規格は $VSWR \leq 3$ 程度です。

第5章

通過特性の測定

～通過ゲインや通過損失など，回路の電力の伝達を正しく評価～

高周波回路には，アンプ，フィルタ，スイッチなど，複数の信号入出力端子を持ったさまざまな回路があります．複数の端子を持った回路では，第4章の反射特性の測定と並んで，端子間の信号の通過特性(ゲイン，減衰量)の測定がとても重要になります．通過特性の測定は高周波における基本測定の一つです．本章では，通過特性のさまざまな測定方法を紹介します．

本章で紹介する各測定方法の比較を表5-1に示します．また図5-1に通過特性測定フローチャートを示します．

通過特性は，一つの端子から信号を入力したときに，ほかの端子に信号がどれだけ伝わるかを測定したものです．Sパラメータの $S_{ij} (i \neq j)$ で表されるものが通過特性になります．

図5-2に示す二つの端子を持つ回路の場合，二つの通過特性があります．一つは

[表 5-1] 本章で紹介する各測定方法と測定精度

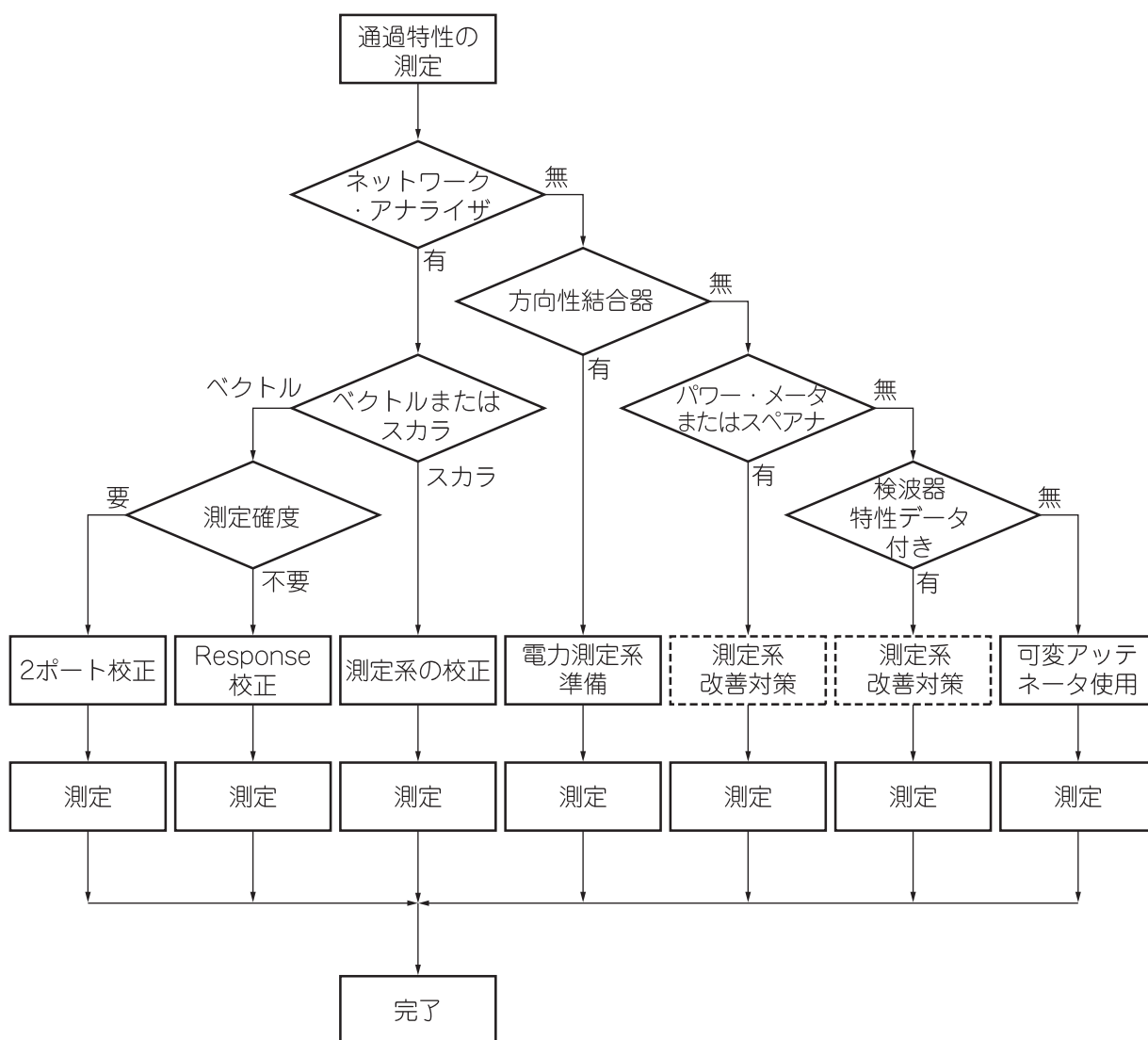
使用測定器または測定素子		測定精度	測定結果
ベクトル・ネットワーク・アナライザ		高 (2ポート校正)	ゲイン, 減衰量, 通過位相, 群遅延など
		中 (Response 校正)	
スカラ・ ネットワーク・アナライザ	検波器：1 個	低～中	ゲイン, 減衰量
	検波器：2 個	中	
パワー・メータ		中	ゲイン, 減衰量
スペクトラム・アナライザ		中	
検波器 + 電圧計		低	
方向性結合器	パワー・メータ	中	ゲイン, 減衰量
	スペクトラム・アナライザ	中	
	検波器 + 電圧計	低	

ポート1から信号を入力したときに、ポート2へどれだけ伝わるかという通過特性(S_{21})です。もう一つはポート2へ信号を入力したときに、ポート1へどれだけ伝わるかという通過特性(S_{12})です。

フィルタやスイッチなどの受動回路(passive circuit)の場合には、 S_{21} と S_{12} はほぼ等しくなります。しかしアンプなどの能動回路(active circuit)の場合には、 S_{21} と S_{12} では全く違う特性になるので、測定する方向が意味を持ちます。

本章で説明する通過特性の測定は、以下の評価で必要になります。

- スwitchの特性評価(ON/OFF)
- フィルタの特性評価
- アンプの特性評価(ゲイン)



[図5-1] 通過特性測定のプロフローチャート

第6章

アイソレーション特性の測定

～大きな減衰量を正確に測るには技術が必要～

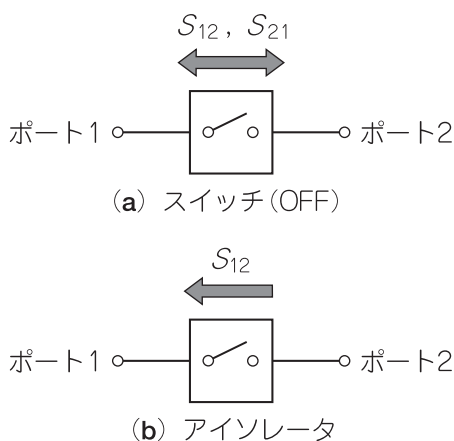
アイソレーションとは、スイッチがOFFのときの通過特性など、信号が漏れないで欲しい経路の通過損失のことです。良いアイソレーション特性を持つ回路の場合、その値は80dBを超えることもあり(1億分の1以下)、測定が難しくなります。

アイソレーション特性と同じように、フィルタやアッテネータで80dBを超えるような大きな減衰量を測定する場合も技術が必要です。

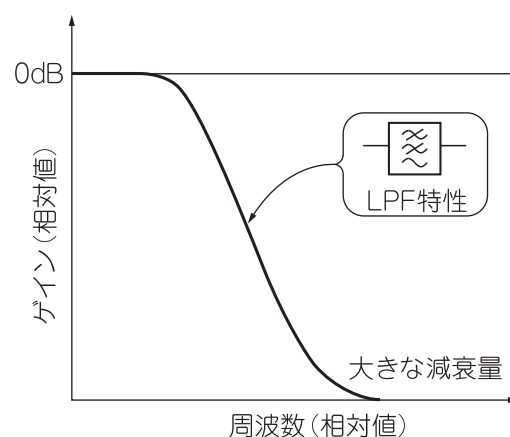
本章ではさまざまな回路における、80dBを超えるようなアイソレーションや減衰量の測定方法を紹介します。

スイッチのアイソレーション(図6-1)、フィルタの減衰量(図6-2)、どちらも基本的には通過特性を測定するのですが、通常の通過特性の測定とは設定の異なる部分もあります。

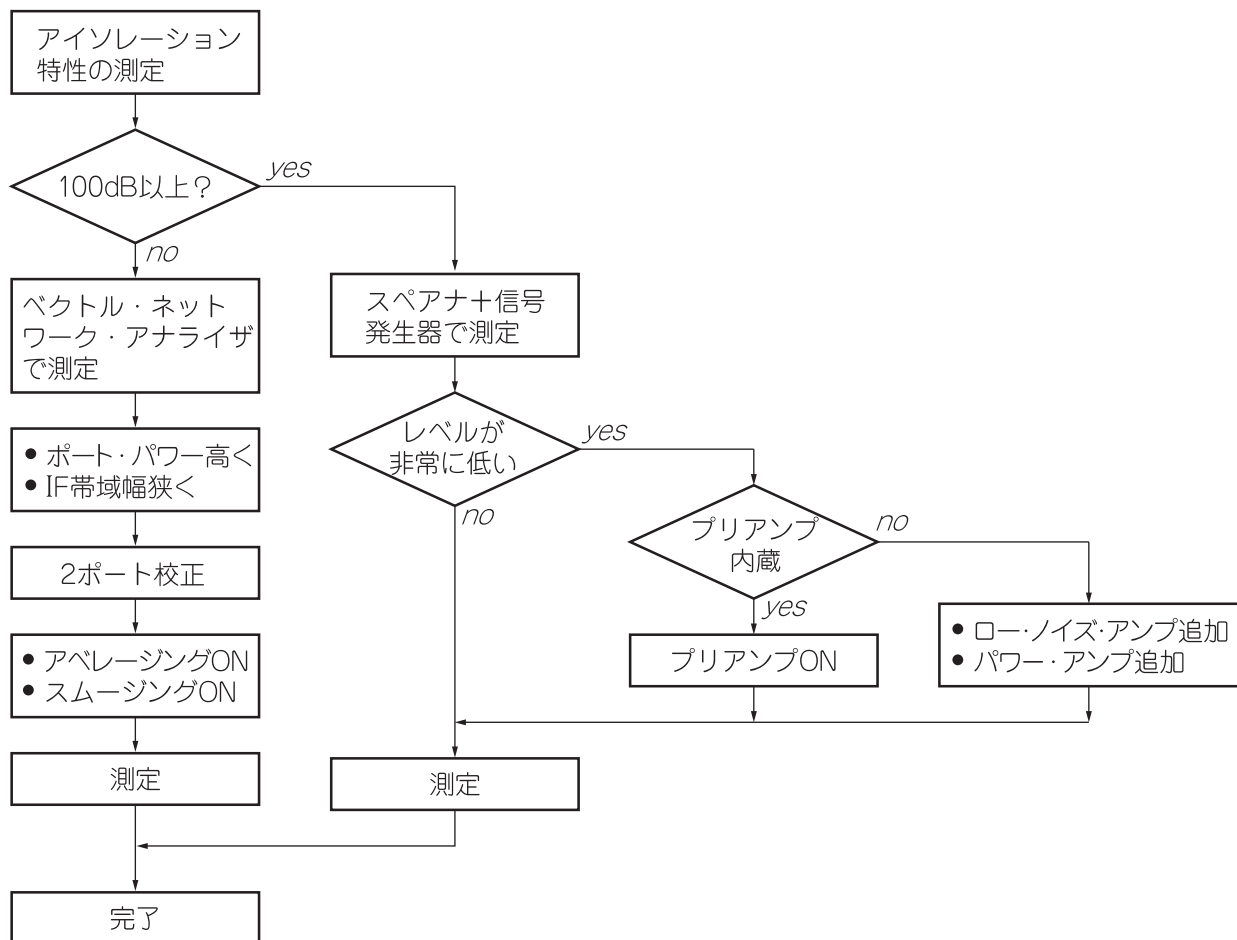
図6-3にアイソレーション特性の測定フローチャートを示します。



[図6-1] アイソレーションとは、スイッチがOFFのときの通過特性など、信号が漏れないで欲しい経路の通過損失のことでもある



[図6-2] フィルタやアッテネータにおいて、80dBを超えるような大きな減衰量を測定するのは難しい



【図6-3】 アイソレーション特性の測定フローチャート

本章で説明するアイソレーションの測定は、次の評価で必要になります。

- 高アイソレーション・スイッチの特性評価
- フィルタの特性評価(阻止域の減衰量が80dB以上と大きい場合)
- アッテネータの特性評価(減衰量が80dB以上)
- 直接つながっていない系の間の結合の評価
- その他、大きな減衰量を持つ回路の特性評価

6-1

ベクトル・ネットワーク・アナライザによる測定

ベクトル・ネットワーク・アナライザを利用して大きなアイソレーションや減衰量の測定を行う場合には、第5章の通過特性の測定と同じように、2ポート校正(またはフル2ポート校正)を行います。ただし、設定などが通常の場合とは少し異なります。

第7章

周波数の測定

～発振回路，送信機，受信機，信号発生器など～

周波数の測定は第2章の電力の測定と並んで、最も基本的な測定の一つです。本章では、専用測定器を用いた方法から、オシロスコープを使った方法まで、さまざまな測定方法を紹介します。

本章で紹介する各測定方法の比較を表7-1に示します。また、周波数測定の流れチャートを図7-1に示します。

周波数の測定は、以下の評価で必要になります。

- 発振回路の特性評価
- 送信機の評価(送信周波数)
- 受信機の評価(局部発振回路を内蔵している場合、局部発振周波数の評価)
- 信号発生器(SG)の出力確認、評価

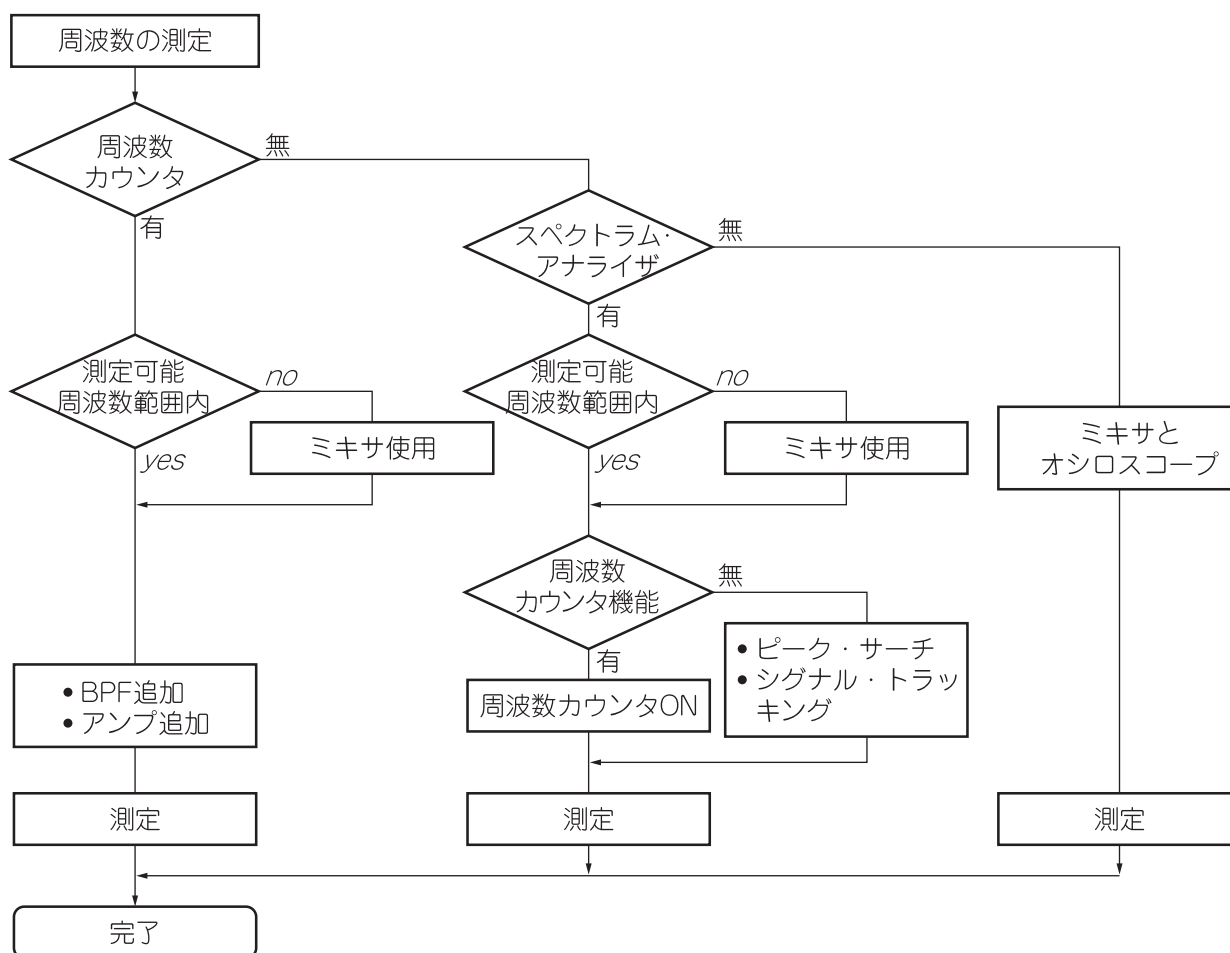
7-1	周波数カウンタによる測定
-----	--------------

周波数カウンタは周波数測定専用の測定器です。数百MHzまでしか測定できないものから数十GHzまで測定できるものまで、さまざまな周波数カウンタがあります。

周波数カウンタの場合、測定可能な信号のレベル範囲がある程度限られているので注意が必要です。ほとんどの周波数カウンタで、-20dBm～+10dBm前後が測

[表7-1] 本章で紹介する測定器および測定精度

使用測定器		測定精度	測定レベル範囲（目安）
周波数カウンタ		高	-20dBm～+10dBm
スペクトラム・アナライザ	カウンタ機能あり	高	-百数十dBm～+30dBm
	カウンタ機能なし	中	
ミキサ+オシロスコープ+信号発生器		中	-60dBm～+10dBm



【図 7-1】 周波数測定の流れチャート

定可能なレベル範囲です。

周波数カウンタの測定確度は、周波数測定の基準となるタイムベースの確度によって決まります。測定器のオプションとして高安定、超高安定なタイムベースが用意されています。標準タイムベースと超高安定タイムベースでは、測定確度が3けた程度違うので、高い確度での周波数測定が必要な場合には、要求に見合ったタイムベースを組み込む必要があります。

また、基準となるタイムベース(一般に10MHz)は、外部から周波数カウンタの10MHz Reference Input (写真 7-1)に供給することもできます。従って高安定なタイムベースが別にある場合には、それを使って高い確度の周波数測定を行えます。

● 基本測定手順

- ① 図 7-2 に示すように、周波数カウンタと被測定回路(DUT)を接続する
- ② 周波数を測定する

第8章

高調波の測定

～信号の陰に高調波！基本波に付随する高調波を正しく評価～

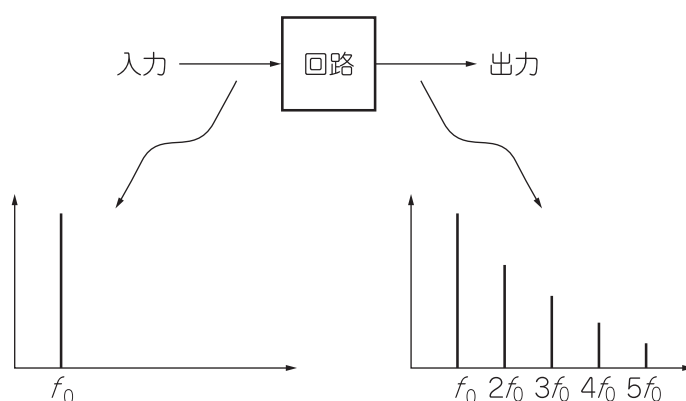
高調波は回路内部のひずみ(非線形特性)によって発生します。非線形特性を持った回路に周波数 f_0 の信号が入力されると、その出力には f_0 (基本波)のほかに $2f_0$ (2次高調波)、 $3f_0$ (3次高調波)、 $4f_0$ (4次高調波)…が出てきます。

高調波の測定は、スペクトラム・アナライザを使えば簡単にできますが、測定時に注意しなければならないことがあります。本章ではその注意点を含め、高調波の測定手順を紹介します。

高調波は回路内部のひずみによって発生します(図8-1)。図8-2に高調波測定のフローチャートを示します。

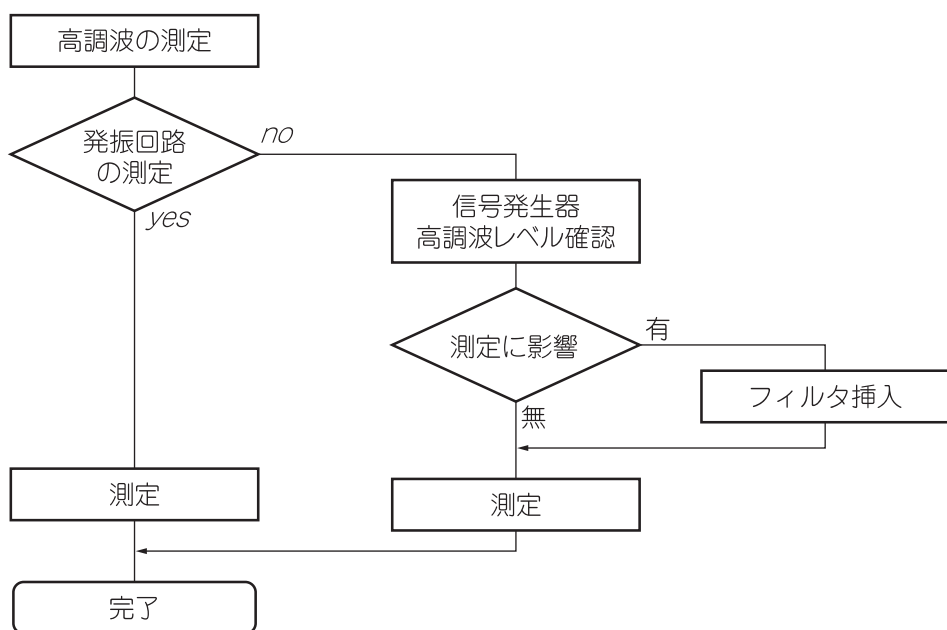
高調波はアンプや発振回路などの能動回路だけでなく、スイッチなどの受動回路でも発生します。高調波の測定は以下の評価で必要になります。

- スwitchの特性評価(特に送信系のスィッチ)
- アンプの特性評価



〔図8-1〕 高調波は回路内部のひずみ(非線形特性)によって発生する

非線形特性を持った回路に周波数 f_0 の信号が入力されると、その出力には f_0 (基本波)のほかに $2f_0$ (2次高調波)、 $3f_0$ (3次高調波)、 $4f_0$ (4次高調波)…が生じる



〔図 8-2〕 高調波測定のプロフローチャート

- 発振回路の特性評価
- 信号発生器 (SG) の評価

8-1

アンプやスイッチなどの高調波の測定

アンプやスイッチ回路などにおいて、出力信号の高調波を測定する方法を以下に示します。

● 測定系の確認

測定に使用する信号発生器 (SG) の出力にも高調波成分が含まれています (写真 8-1)。信号発生器によってはそのレベルが高いものもあります (写真 8-2)。従って測定に入る前に測定系 (信号発生器の高調波成分のレベル) の確認を行う必要があります。

- ① 図 8-3 に示すように測定に使用する信号発生器とスペクトラム・アナライザを直接接続する
- ② 信号発生器の出力周波数を高調波測定の入力周波数 f_0 に設定する
- ③ 信号発生器の出力レベルを被測定回路 (DUT) に入力する信号レベルに設定する
- ④ 入力信号 f_0 のスペクトル表示が、スペクトラム・アナライザ画面の上から 1 目盛り以内に入るように Reference Level を設定する (写真 8-3)

第9章

P1dBの測定

～超えてはならないP1dB. P1dBから始まる信号のレベル・ダイヤ設計～

P1dB (ピー・ワン・デービー)は、1dB Compression Pointの略で、1dB ゲイン圧縮レベルとも呼ばれます. アンプの場合には最大出力の目安になります. また、スイッチやミキサなどの場合には、その回路に入力可能な、あるいはその回路が取り扱い可能な、最大信号レベルの目安になります.

複数の回路ブロックが接続された高周波回路のシステムを設計する場合には、各回路ブロックのP1dBを基に半導体を選択し、信号のレベル配分を決めます. 従って、P1dBは高周波回路を評価する際の重要な測定項目の一つです.

本章ではP1dB特性の概略を説明した後、その測定手順を一般の回路とミキサに分けて紹介します.

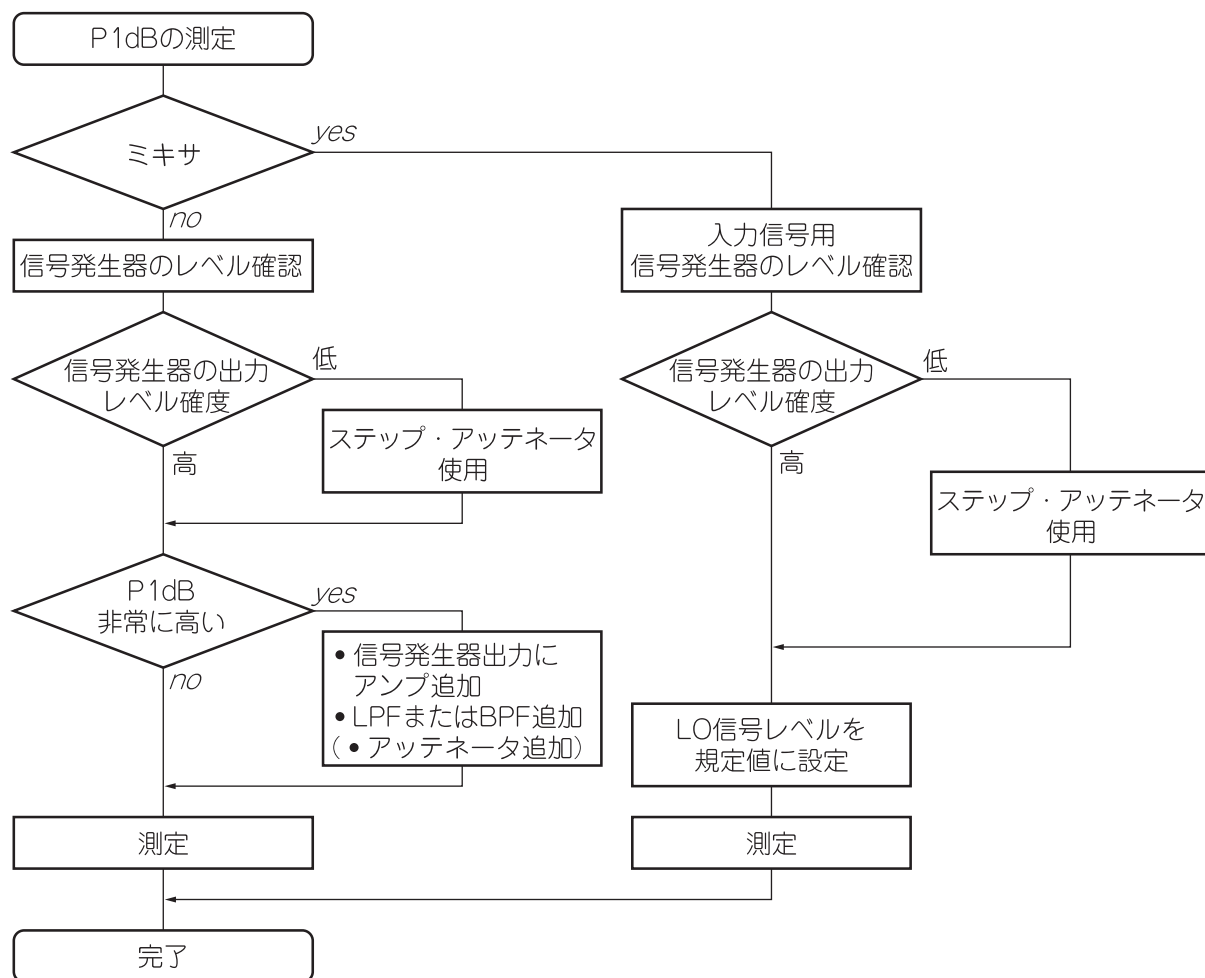
図9-1にP1dB測定のプロフローチャートを示します.

P1dBの測定は次の評価で必要になります.

- スwitchの特性評価
PIN ダイオード・スswitchの場合：+ 40dBm 以上
FET スwitchの場合：+ 20dBm ～+ 40dBm 程度
- アンプの特性評価
LNA (Low Noise Amplifier, 低雑音増幅器)などの小信号アンプの場合：0dBm ～+ 20dBm 程度
PA などの大信号アンプの場合：+ 20dBm 以上
- ミキサの特性評価
受動ミキサの場合：0dBm ～+ 10dBm 程度

9-1	P1dBの基礎
-----	---------

P1dBは、図9-2の回路ブロックで測定した、図9-3に示す入出力特性(回路の入力信号電力と出力信号電力の関係をプロットしたグラフ)から求められます. 回路



【図9-1】 P1dB測定の流れチャート

の入力電力が小さい領域(図9-3の領域A)では、入力信号レベルを1dB上げれば、出力信号レベルも1dB上昇し、グラフの傾きは1になります(線形領域)。

そこから、入力信号レベルを大きくしていくと、入力信号レベルを1dB上げても、出力信号レベルは1dB上昇しなくなり、傾き1の直線から次第に外れていきます(図9-3の領域B)。さらに入力信号レベルを上げていくと、入力信号レベルを上げても出力信号レベルがほとんど変化しなくなり、出力電力は飽和します(図9-3の領域C)。

この入出力特性で、理想的な傾き1の直線に対して、実際の出力レベルが1dB低下してしまったポイントが、1dB Compression Pointです。アンプの場合、線形領域(図9-3の領域A)でのゲインに対して、P1dBのポイントではゲインが1dB低下します。一般にミキサ以外の回路では、そのときの出力信号レベルがP1dBになります。ミキサの場合には、そのときの入力信号レベルでP1dBを表します。

一般に狭帯域な回路の場合には中心周波数でP1dBを測定します。一方、広帯域

第10章

IM, IP3の測定

～回路で発生する相互変調ひずみを正しく評価～

IM (アイ・エム)は、Inter Modulation (相互変調)の略です。一般に相互変調によって生じるひずみの評価としてよく用いられているのが、IP3 (アイ・ピー・スリー)です。

IP3は3rd Order Intercept Point, 3次インターセプト・ポイント、あるいは単にインターセプト・ポイントとも呼ばれます。IP3の値が高ければ高いほど、その回路がひずみにくいことを表しています。

本章では相互変調の概略を説明した後、IMとIP3の測定手順を紹介します。

図10-1にIM測定、IP3測定のフローチャートを示します。

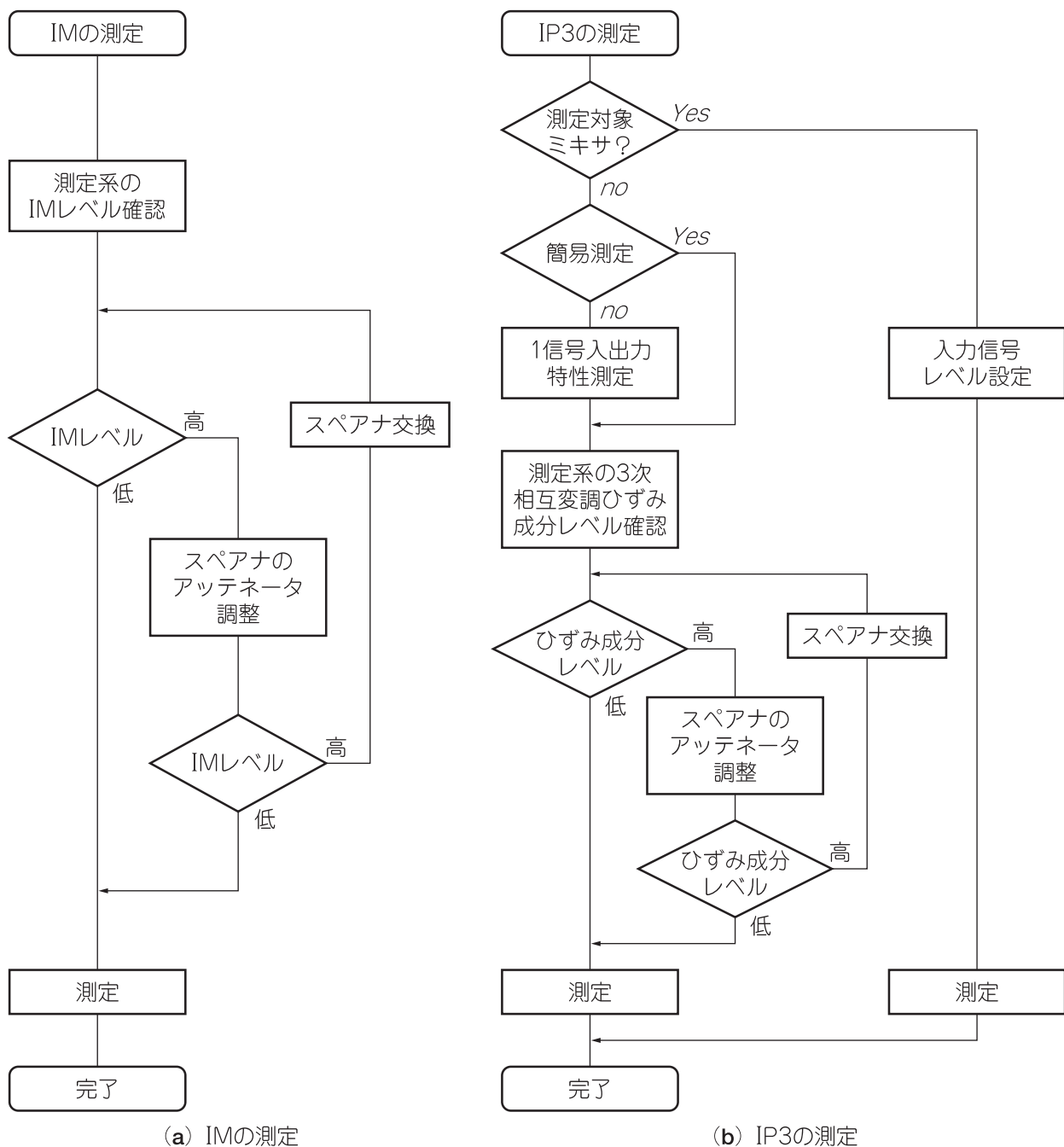
IMの測定は、テレビ放送などの受信機および受信回路のひずみ評価でよく利用されます。10-2節に示す手順で測定したIMの値(例えば80dBc)が、大きければ大きいほどひずみにくいことを表します。

IP3の測定は、アンプ、スイッチ、ミキサの特性評価で必要になります。10-3節以降の測定手順で測定したIP3の値(例えば+ 30dBm)が、大きければ大きいほどひずみにくいことを表します。

10-1	相互変調ひずみ
------	---------

相互変調は、回路に二つ以上の信号が同時に入力されたときに、回路の非線形特性によって起こります。非線形特性はアンプなどの能動回路だけでなく、受動回路にもあります。相互変調によって生じるさまざまな周波数成分のことを、相互変調ひずみ(IMD, Inter Modulation Distortion)と呼びます。

図10-2に示すように二つの信号(f_1 , f_2)を合成したものを回路に入力すると、その出力からは f_1 , f_2 以外のさまざまな周波数成分も出てきます。 f_1 , f_2 以外の周波数成分が相互変調ひずみで、その周波数は $af_1 + bf_2$ (a と b は整数)で表されます。写真10-1にアンプにおける相互変調ひずみの例を示します。



【図10-1】 IM測定，IP3測定のプロフローチャート

各相互変調ひずみ成分は， n 次相互変調ひずみという呼び方をします． n の値は， f_1 と f_2 の係数 (a, b) の絶対値を足し合わせたもので，次式で表されます．

$$n = |a| + |b|$$

例えば， $2f_1 - f_2$ の相互変調ひずみ成分の場合，

$$n = |+2| + |-1| = 3$$

係数の絶対値の和が3になるので，3次相互変調ひずみ成分と呼ばれます．同じよ

第 11 章

NF の測定

～回路で発生する雑音を雑音指数で正しく評価～

NF (エヌ・エフ) は Noise Figure (雑音指数) の略です。NF は微弱な信号を取り扱う受信回路において重要な特性です。雑音指数の値が低ければ低いほど、ノイズの発生の少ない回路であることを表し、より微弱な信号まで取り扱うことができます。

本章では NF の概略を説明した後、その測定手順を紹介します。

図 11-1 に NF 測定のプロチャートを示します。

NF の測定は次のような場面で必要になります。

- LNA (Low Noise Amplifier, 低雑音増幅器) の特性評価 (バイポーラ・トランジスタを使った LNA の場合：1dB ～ 2dB 程度, HEMT を使った LNA の場合：0.3dB ～ 1dB 程度)
- 受信回路の特性評価 (LNA, フィルタ, ミキサなどを含んだ受信回路全体の評価)

11-1	NF の基礎
------	--------

図 11-2 に示す回路において、回路の入力での SN 比を、回路の出力での SN 比で割ったものが、この回路の雑音指数になります。

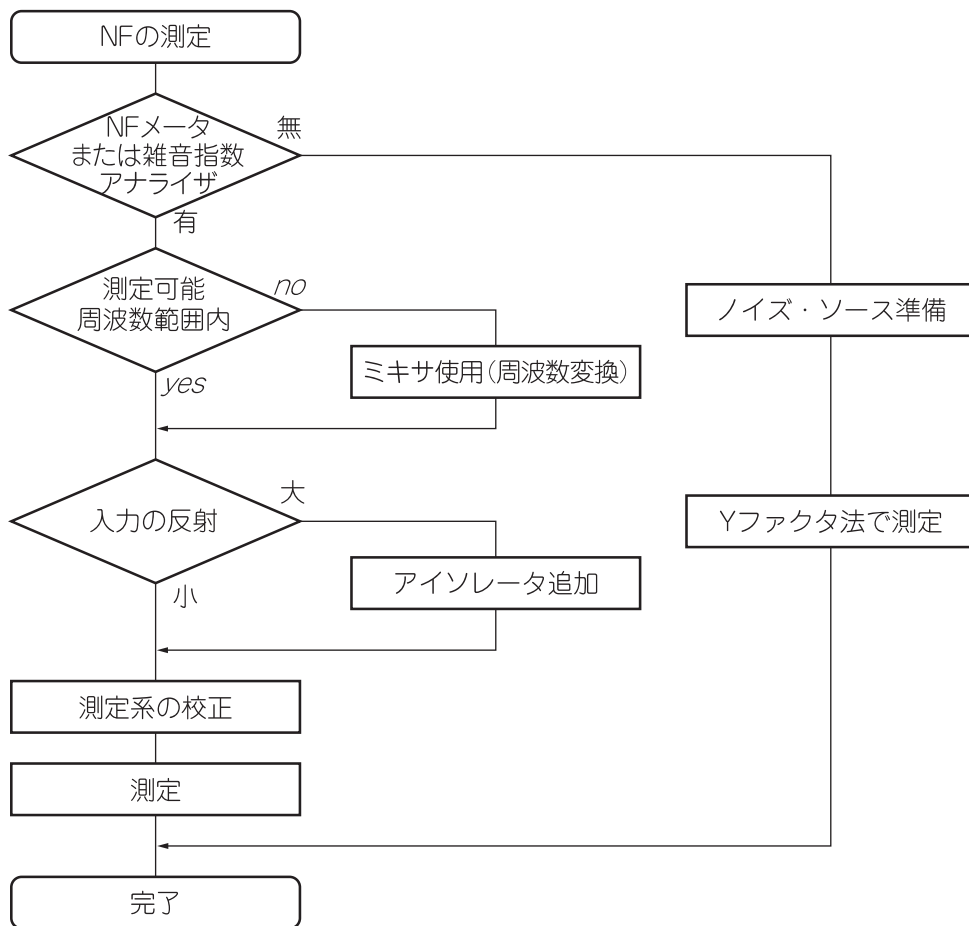
$$F = \frac{S_i/N_i}{S_o/N_o} \dots\dots\dots (11-1)$$

ただし、 S_i ：入力信号電力[W], N_i ：入力雑音電力[W],
 S_o ：出力信号電力[W], N_o ：出力雑音電力[W]

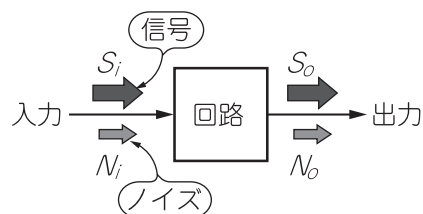
つまり回路を通過したときの SN 比の悪化量を表したものが雑音指数です。また、雑音指数を dB 単位で表したものが NF になります。

$$NF = 10\log_{10}F \dots\dots\dots (11-2)$$

また、回路の入出力の SN 比が dB 単位で表されていれば、NF は次式で表されます。



【図 11-1】 NF測定のプロフローチャート



【図 11-2】 回路入力における SN 比を回路出力における SN 比で割ったものが，この回路の雑音指数になる

$$NF = SN_i - SN_o \dots\dots\dots (11-3)$$

ただし SN_i : 入力信号 SN 比 [dB], SN_o : 出力信号 SN 比 [dB]

従ってノイズの発生が全くない回路では， $F = 1$, $NF = 0\text{dB}$ になります。

ある回路のゲインを G ，その回路で発生するノイズを N_a とすると，出力信号電力は入力信号電力が G 倍されたもの，そして出力雑音電力は入力雑音電力が G 倍され，さらに N_a が加わったものになります。従って式 (11-1) は，

第 12 章

スイッチング・スピードの測定

～信号の立ち上がり/立ち下がりをついて正しく評価～

高周波回路においても、スイッチをはじめさまざまな回路で、スイッチング・スピードの測定が求められます。一般に低周波回路やデジタル回路の場合、電圧振幅で信号を伝えるので、スイッチング・スピードの測定は、電圧の立ち上がり/立ち下がりで行います。従ってオシロスコープを使って簡単に測定できます。

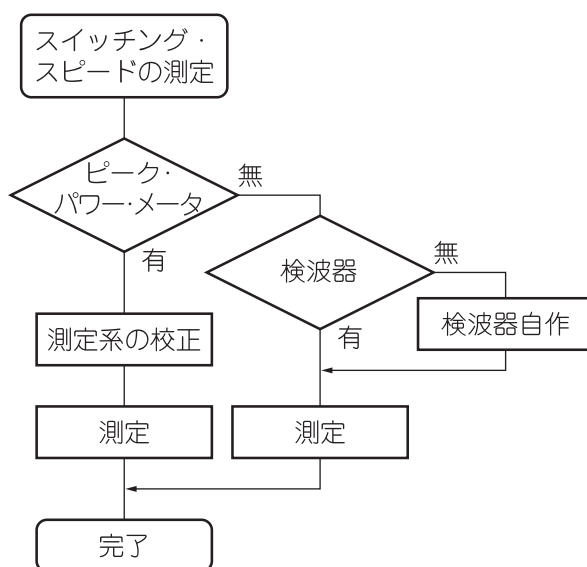
ところが高周波回路の場合には、電力で信号を伝えるので、スイッチング・スピードの測定は、高周波電力の立ち上がり/立ち下がりで行う必要があります。

本章では、高周波電力のスイッチング・スピード(立ち上がり/立ち下がり)の測定方法を紹介します。

図12-1にスイッチング・スピード測定のプロフローチャートを示します。
スイッチング・スピードの測定は次の評価で必要になります。

- 高周波スイッチの特性評価

PIN ダイオード・スイッチの場合：数百n～数 μ s程度



[図12-1] スwitchング・スピード測定のプロフローチャート

FETスイッチの場合：数n～数百ns程度

- アンプのスイッチング特性評価

LNA (Low Noise Amplifier, 低雑音増幅器)などの小信号アンプの場合：数百n～数 μ s程度

PA (パワー・アンプ)などの大信号アンプの場合：数 μ ～数十 μ s程度

12-1

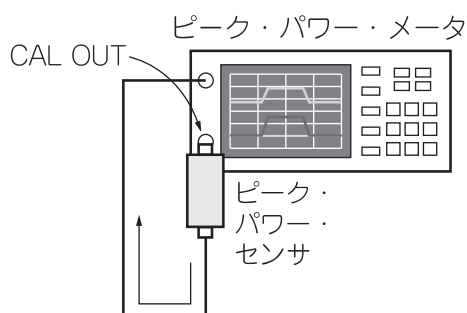
ピーク・パワー・メータによる測定

高周波電力を測定するパワー・メータには、短い時間内でのパワー変化も測定可能な、ピーク・パワー・メータという測定器があります。このピーク・パワー・メータと、専用のパワー・センサを使い、スイッチング・スピードの測定が可能です。

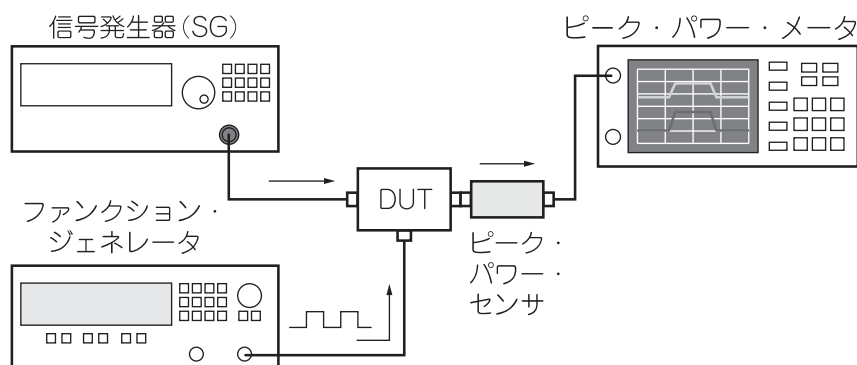
ただし、メーカーや機種によって測定可能な立ち上がり/立ち下がり時間に大きな差があるので注意が必要です。

● 測定手順

- ① 図12-2に示すように、ピーク・パワー・メータとピーク・パワー・センサを接続し校正を行う



[図12-2] ピーク・パワー・メータの校正



[図12-3] ピーク・パワー・メータによるスイッチング・スピードの測定系

第 13 章

フィルタに関する測定

～カットオフ、帯域幅、中心周波数、群遅延などを正しく評価～

フィルタ回路の評価は、通過特性(第5章参照)と反射特性(第4章参照)の測定で行われます。その際に、フィルタ回路特有のいくつかの評価項目の測定が必要になります。

本章ではフィルタ回路特有の特性評価項目と、その測定方法を紹介します。

図13-1にフィルタ測定の流れチャートを示します。

13-1 カットオフ周波数(Cutoff Frequency, 遮断周波数)の測定

第5章の通過特性の測定を行い、フィルタの種類に応じて、以下に示す点の周波数を測定します。

● LPFの場合

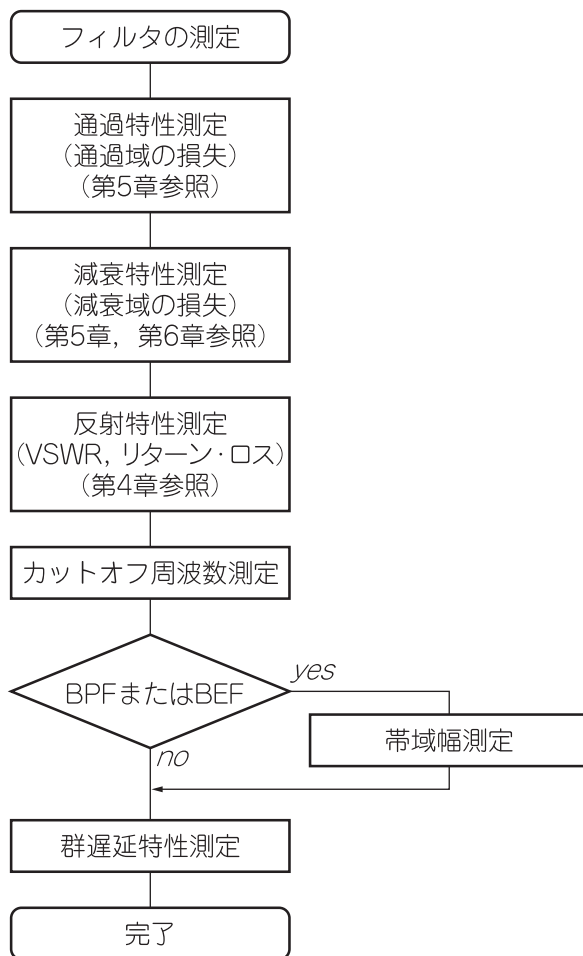
LPF (Low Pass Filter, 低域通過フィルタ)は低い周波数帯域を通過させて、周波数の高い帯域を減衰させる特性のフィルタです。図13-2に示すように、通過特性の減衰量が3dBの点がカットオフ周波数 f_c になります。

● HPFの場合

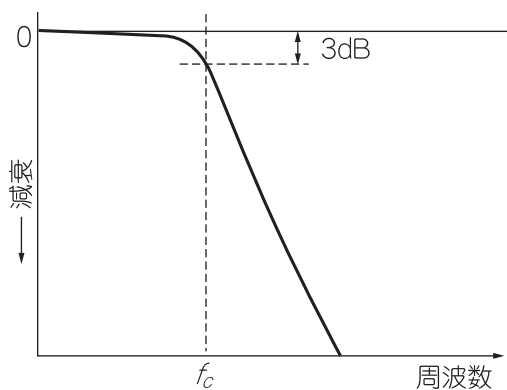
HPF (High Pass Filter, 高域通過フィルタ)は高い周波数帯域を通過させて、周波数の低い帯域を減衰させる特性のフィルタです。図13-3に示すように、通過特性の減衰量が3dBの点がカットオフ周波数 f_c になります。

● BPFの場合

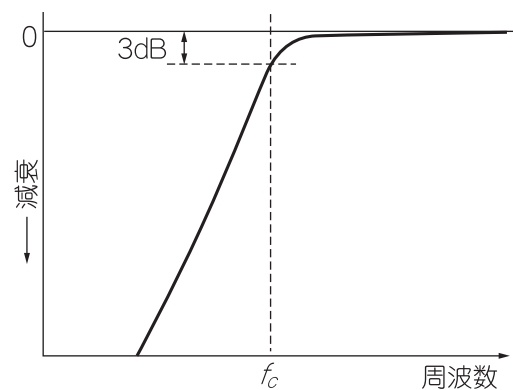
BPF (Band Pass Filter, 帯域通過フィルタ)はある特定の周波数帯域だけを通過させ、その上下の帯域の信号は減衰させる特性のフィルタです。BPFには、図



[図 13-1] フィルタに関する測定のフローチャート



[図 13-2] ローパス・フィルタの周波数特性例



[図 13-3] ハイパス・フィルタの周波数特性例

13-4に示すように、低域カットオフ周波数 f_L と、高域カットオフ周波数 f_H 、二つのカットオフ周波数があります。BPFの場合、カットオフ周波数の定義がいくつかあります。一般的には①が用いられます。

① 通過特性の減衰量が3dBの点をカットオフ周波数とする[図 13-5(a)]

第14章

アンプに関する測定

～ロード・プル，ソース・プル，効率などパワー・アンプの諸特性を正しく評価～

アンプ回路の評価では，反射特性(第4章参照)，通過特性(第5章参照)，P1dB(第9章参照)などの測定が行われますが，送信回路で使われるパワー・アンプの場合には，それ以外にも特有のいくつかの評価項目があります。

本章ではアンプ回路(パワー・アンプ回路)特有の特性評価項目と，その測定方法を紹介します。

図14-1にアンプ測定フローチャートを示します。

14-1	効率の測定
------	-------

アンプ回路を外から見ていると，入力した信号を増幅する回路ですが，実際にはトランジスタやFETに供給した直流電力を，高周波の電力に変換する回路がアンプ回路です。

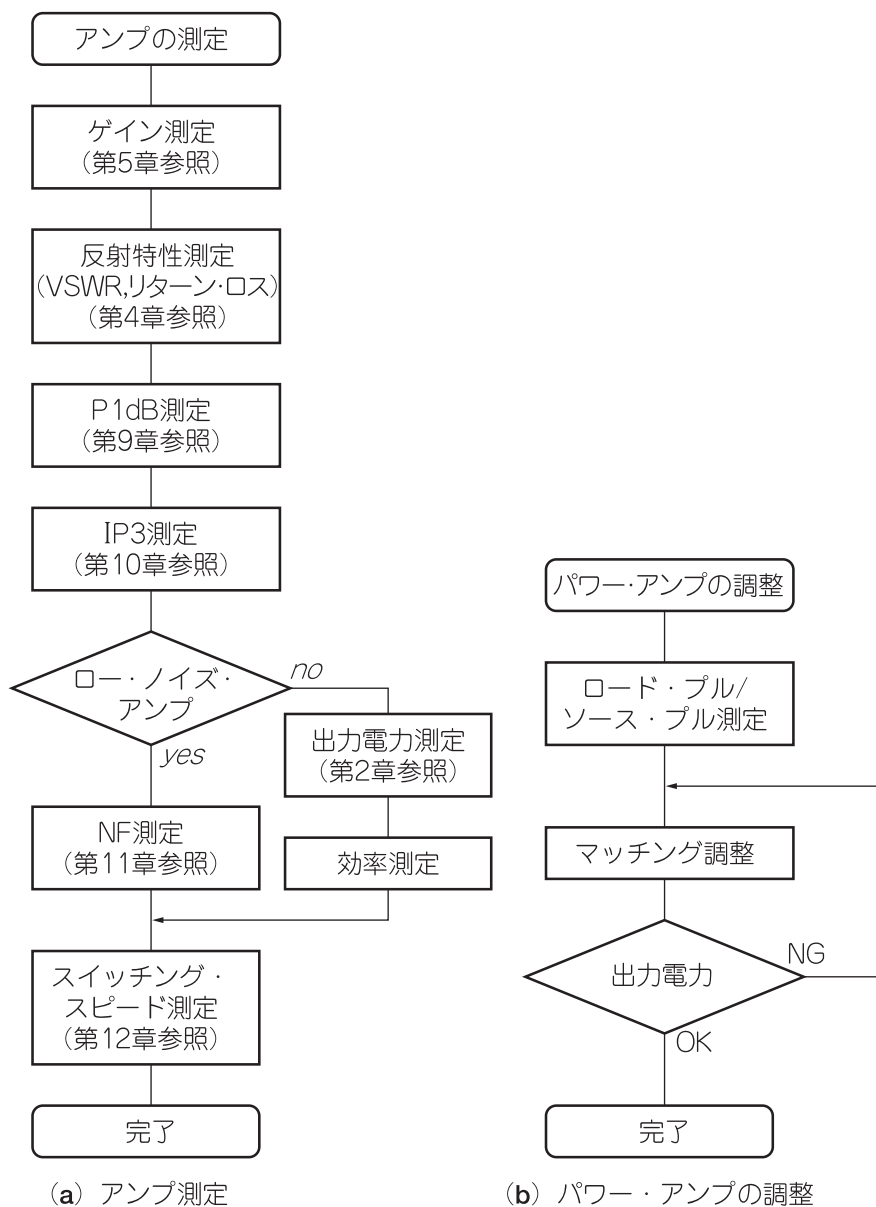
アンプ回路に供給した直流バイアスの電力のうち，高周波電力に変換できなかった部分はすべて熱に変わってしまいます。パワー・アンプ回路の場合，大きな出力電力を取り出すために，それに応じた大きな直流バイアス電力を供給しているので，直流電力から高周波電力への変換効率がとても重要になります。

アンプ回路の効率が低いと，さまざまな悪い影響が起こります。特に携帯電話のように電池で駆動される小型機器の場合，以下のような影響が問題になります。

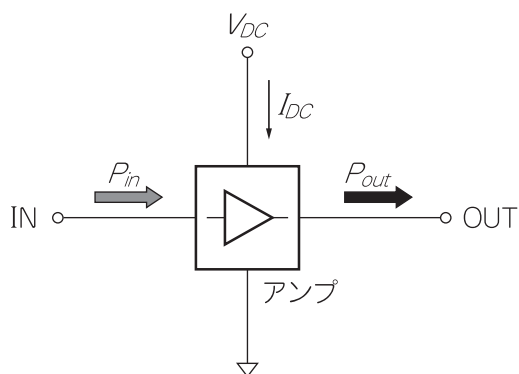
- 発熱による温度上昇
- 電池寿命の低下

● アンプの効率の定義

アンプの効率 η (図14-2)は，直流供給電力と高周波の出力電力の比として，次式で表されます。



[図 14-1] アンプに関する測定のフローチャート



[図 14-2] アンプの効率 η は直流供給電力と高周波の出力電力の比

第 15 章

ミキサに関する測定

～変換ゲインや変換損失，アイソレーションなどの諸特性を正しく評価～

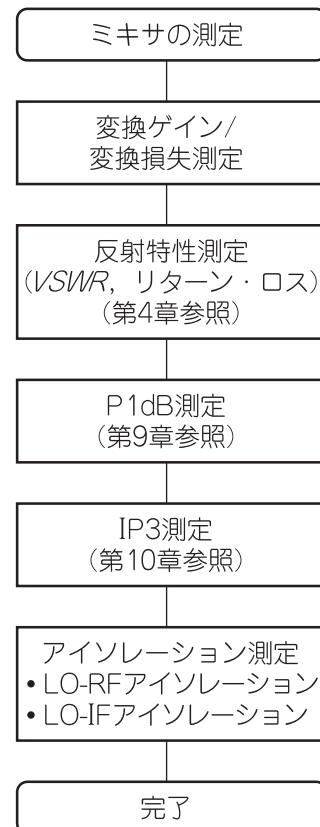
アンプやフィルタなどの回路では，入力信号と出力信号は同じ周波数です．しかしミキサは二つの周波数の異なる信号を入力し，内部で周波数変換を行う回路のため，入力信号の周波数と出力信号の周波数が異なります．そのためミキサのゲインまたは損失や，P1dB，IP3などの測定方法は他の回路と異なります．

ミキサは周波数変換を行うための回路です．本章では，ミキサ回路特有の特性評価項目と，その測定方法を紹介します．

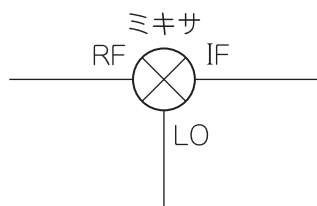
図15-1にミキサ測定の流れチャートを示します．

ミキサの測定は次のような場面で必要になります．

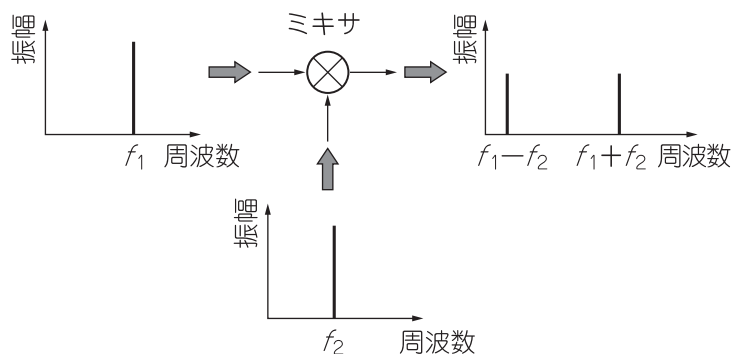
- 自作ミキサの特性評価
- 実使用条件における市販ミキサの特性評価
- 市販ミキサの特性比較



〔図15-1〕 ミキサに関する測定の流れチャート



【図 15-2】 ミキサの回路記号



【図 15-3】 ミキサの動作概要

15-1

ミキサの役割

図 15-2 の回路記号に示すように、ミキサには RF、LO、IF の三つの端子があります。このうちの二つの端子に別の周波数の信号 (f_1 , f_2) を入力すると、残りのもう一つの端子から、二つの周波数の和 ($f_1 + f_2$) と差 ($f_1 - f_2$, $f_1 > f_2$) の信号を取り出すことができます(図 15-3)。

新しく発生した周波数成分は、 f_1 , f_2 の持つ情報(振幅, 位相, 周波数などの変化, 変調情報)を引き継いでいます。つまりミキサを使うと周波数変換を行えます。

ミキサで入力信号を高い周波数の信号に変換することを、アップ・コンバージョン(Up-conversion)と呼びます。その逆に、低い周波数の信号に変換することを、ダウン・コンバージョン(Down-conversion)と呼びます。

15-2

変換ゲイン, 変換損失の測定

ミキサを使って周波数変換を行うと、周波数変換された信号の出力レベルは、入力信号レベルに対して変化します。

変換素子としてダイオードを使った受動ミキサ(passive mixer)の場合には、周波数変換された信号の出力レベルが減衰し、その信号レベルの減衰分のことを変換損失(conversion loss)と呼びます。一般的な受動ミキサの場合、6 ~ 7dB 程度の変換損失があります。

$$\text{変換損失} = | \text{周波数変換出力電力[dBm]} - \text{入力信号電力[dBm]} | \quad \cdots (15-1)$$

ただし、周波数変換出力電力 $\leq$ 入力信号電力とする。

一方、変換素子として能動素子(トランジスタや FET)を使った能動ミキサ(active