

## ● インピーダンスとほかの高周波(回路)特性の表現方法

スミス・チャートの原理に入る前に、ほかの高周波回路の特性(状態)を表現する方法(手段)について考えてみましょう。

### ▶ インピーダンス( $Z$ )

1-1で見たように、インピーダンスは交流回路において回路(アンテナも含む)や素子(部品)の特性や状態を示すための一つの方法です。

直流回路の抵抗と同じように、回路や素子に加わる電圧とそこを流れる電流の比によって表し、単位は $\Omega$ を使用します。

インピーダンスは、今まで見てきたように直交座標やこれから説明するスミス・チャート上にプロットすることにより表現でき、視覚的に捉えることができます。

### ▶ 反射係数( $\Gamma$ )

反射係数( $\Gamma$ )は、回路や素子(部品)の特性や状態を示すもう一つの方法です。回路や素子に加わる電力と、そこから反射される電力の比によって表し、その反射量の大きさ $\rho$ (MAG)と、位相 $\theta$ (ANG)によって回路や素子(部品)の特性や状態を示すことができます。これを**反射係数( $\Gamma$ )ガンマ**といいます。

この大きさ $\rho$ (MAG)と位相 $\theta$ (ANG)は、一つの円(極座標)上にプロットすることによって視覚的に捉えることができます(図1-4)。



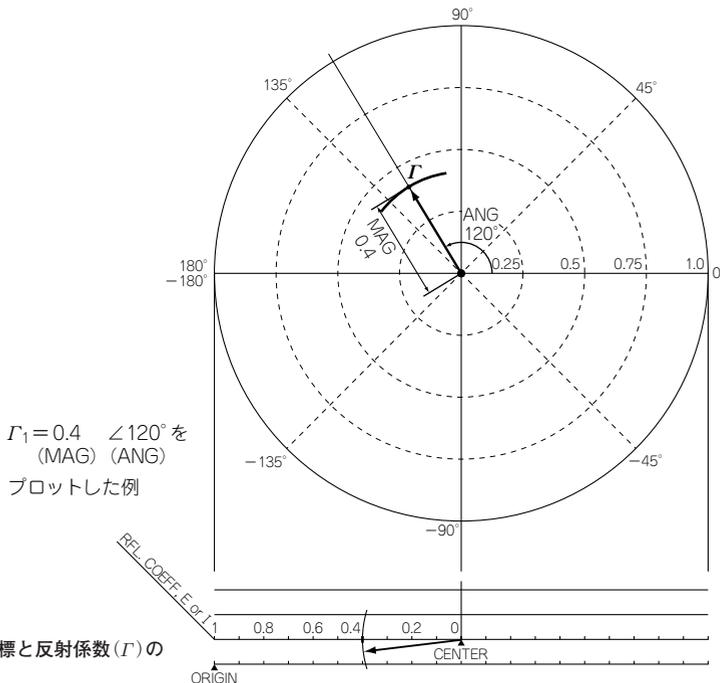
インピーダンス( $Z$ )と反射係数( $\Gamma$ )は、ある一つの回路や素子(部品)の特性や状態を、それぞれ別の観点から捉えて表現しています。

### ▶ Sパラメータ

SHF帯(3 GHz～30 GHz)以上では波長が極めて短くなります。電圧や電流を測定することが難しくなり、 $h$ パラメータなどにより回路や素子(部品)の特性や状態を表すことが困難になるので、 $S$ パラメータで示すことが多くなります。

$S$ パラメータは、ネットワーク・アナライザを使って、入力ポートと出力ポートをそれぞれ特性インピーダンス( $Z_0$ )の伝送線路で接続して測定します。

$S$ パラメータは、2ポート回路(1～ $N$ ポート回路の場合もある)の場合、加わる入



【図 1-4】 極座標と反射係数 ( $\Gamma$ ) のプロット例

射波と、反射される反射波の比とその位相差を、それぞれのポートから測定し、二つの反射係数と二つの伝達係数の四つのパラメータによって表現します。

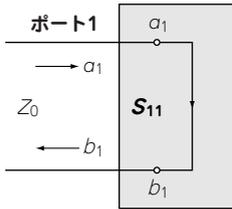
反射係数 ( $\Gamma$ ) や  $S$  パラメータの ( $S_{11}$ ), ( $S_{22}$ ) はそれぞれ MAG と ANG で表します。このパラメータと反射係数 ( $\Gamma$ ) をスミス・チャート上にプロットすることによって特性を視覚的に捉えることができます。



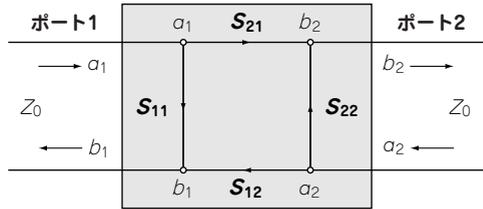
1 ポート回路の  $S$  パラメータ ( $S_{11}$ ) は、上記の反射係数 ( $\Gamma$ ) と同様に考えてもかまいません (図 1-5)。

1 ポート回路 ( $S_{11}$ ) と 2 ポート回路 ( $S_{11}$ ), ( $S_{22}$ ) は、それぞれ MAG と ANG で表します。

2 ポート回路 (図 1-6) において、入射波と反射波の関係を  $S$  マトリクスで表すと次のようになります。



[図 1-5] 1ポート回路



[図 1-6] 2ポート回路

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix}$$

$a_1$ は入力ポートに入射する電力  
 $a_2$ は出力ポートに入射する電力  
 $b_1$ は入力ポートから反射する電力  
 $b_2$ は出力ポートから反射する電力

入力反射係数  $(S_{11}) = \frac{b_1}{a_1} (a_2 = 0)$       順方向伝達係数  $(S_{21}) = \frac{b_2}{a_1} (a_2 = 0)$

逆方向伝達係数  $(S_{12}) = \frac{b_1}{a_2} (a_1 = 0)$       出力反射係数  $(S_{22}) = \frac{b_2}{a_2} (a_1 = 0)$

### ▶ SWR(定在波比)とリターン・ロス

SWRとリターン・ロスは、伝送線路と回路間などのインピーダンス整合の状態を示すパラメータで、反射情報の別の表し方ですが、反射波の位相情報は含まれません。

SWRは、比較的大きい高周波電力で、給電線とアンテナ間の整合状態を表すときなどに使用されます。

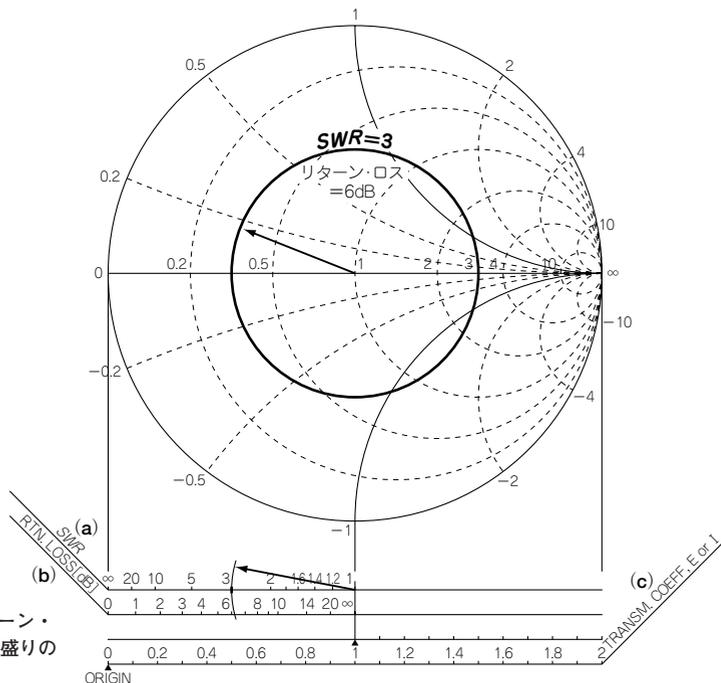
方向性結合器により検出した進行波電力  $P_f$  と反射波電力  $P_r$  から求めることができます。1~∞の数値で表し、単位はありません。

$$SWR = \frac{1 + \sqrt{P_r/P_f}}{1 - \sqrt{P_r/P_f}}$$

実際の測定回路は、検出した電力をダイオードで整流し、直流メータを振らせるので、測定には数W以上の電力が必要です。

SWRは、スミス・チャート上ではチャートの中心〔抵抗軸 ( $X=0$ ) 直線の1点を中心〕にした定SWR円として表現できます(図 1-7)。

SWRの目盛りは、スミス・チャートの下部にリターン・ロスの目盛りなどと一緒に表示されています(図 1-8)。



【図1-7】  $SWR$ とリターン・ロス (RTN LOSS) の目盛りの使い方

リターン・ロスは、小電力で伝送線路と電子回路や部品間の整合状態を精密に表すために使用されます。

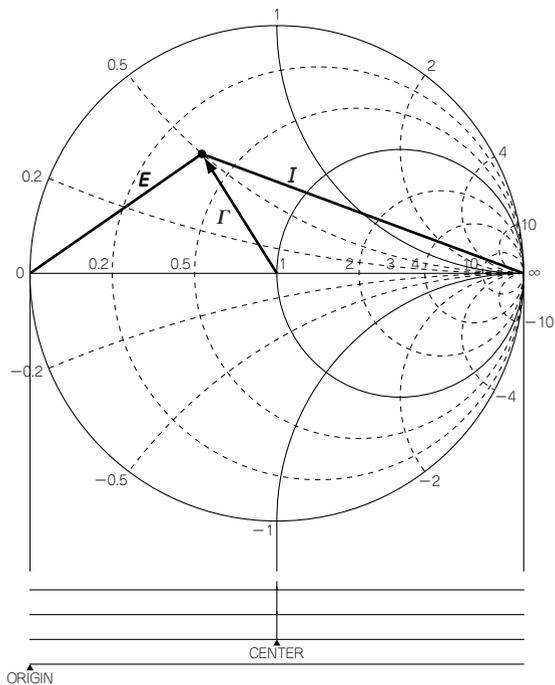
実際の測定回路は、シグナル・ジェネレータと受信機の組み合わせ、または、トラッキング・ジェネレータとスペクトラム・アナライザとの組み合わせで構成します。

信号発信器の出力レベルは、数dBmまたはそれ以下で測定します。

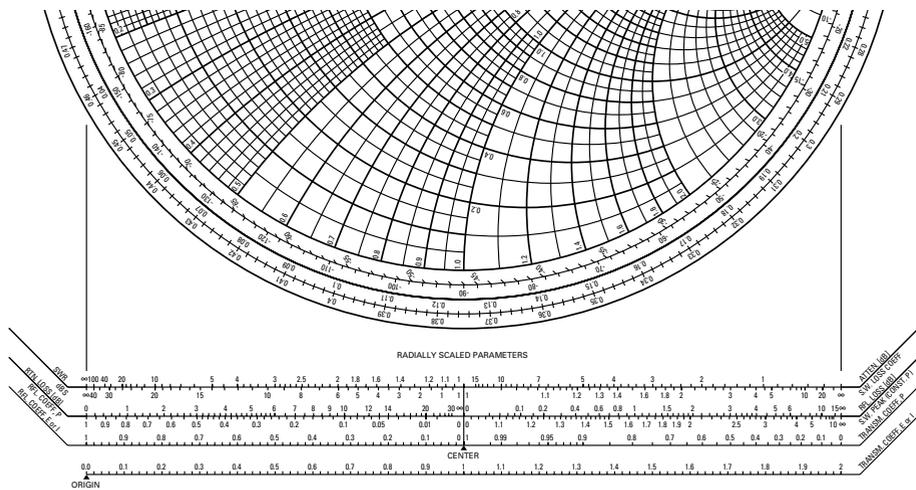
リターン・ロスも  $SWR$ と同様に、スミス・チャート上ではチャートの中心〔抵抗軸 ( $X=0$ )直線の1点を中心〕にした定リターン・ロス円として表現できます(図1-7)。

### ▶ 負荷点の電圧と電流

スミス・チャートの図表に、極座標の目盛りは描かれていません。しかし、スミス・チャート下部の目盛りには、極座標上に反射係数( $\Gamma$ )をプロットするための目盛りがあるので、それを利用すれば、直接スミス・チャート上に、反射係数( $\Gamma$ )をプロットでき、負荷点の電圧と電流のベクトルを直接作図することができます(図1-8)。



[図 1-8] 負荷点の電圧と電流目盛りの使い方



[図 1-9] スミス・チャート下部の目盛りの例

負荷点の電圧と電流の目盛りも、スミス・チャートの下部にともに表示されています(図1-9)。具体的な使い方は後述します。

このようにスミス・チャートは、各種の情報が一度に得られる高周波回路解析の万能チャートなのです。

### ● 極座標⇔スミス・チャート(反射係数⇔インピーダンス)

インピーダンス( $Z$ )は、直交座標やスミス・チャートで、反射係数( $\Gamma$ )は、極座標で表すことができます。同じ「もの」=「回路や素子(部品)の特性や状態」を別の観点から見ているので、反射係数( $\Gamma$ )⇔インピーダンス( $Z$ )、すなわち、極座標⇔スミス・チャートとは相互に変換することができます。

#### ▶ 定抵抗円と定リアクタンス円は、なぜ完全な円と円弧なのでしょう

結果だけを次に示します(詳細は、章末に記載)。

( $u, v$ )極座標上で、下記の各項を作図すると、高周波回路解析の万能チャートであるスミス・チャートができあがります。

特性インピーダンスは $Z_0$ とし、負荷インピーダンスを $Z=R+jX$ として、その正規化インピーダンスを $(z)=r+jx$ とします。

定抵抗円は、

$$\text{円の中心が}\left(\frac{r}{r+1}, 0\right)\text{で半径は}\frac{1}{r+1}$$

です(図1-10)。

定リアクタンス円は、

$$\text{円の中心が}\left(1, \frac{1}{x}\right)\text{で半径は}\frac{1}{x}$$

です(図1-11)。

この二つの図を重ねるとスミス・チャートになります(図1-12)。

同様に、アドミタンス・チャートの場合、正規化アドミタンス( $y$ )= $g+jb$ とすると、定コンダクタンス円は、

$$\text{円の中心が}\left(-\frac{g}{g+1}, 0\right)\text{で半径は}\frac{1}{g+1}$$

です(図1-13)。

定サセプタンス円は、

$$\text{円の中心が}\left(-1, \frac{1}{b}\right)\text{で半径は}\frac{1}{b}$$