

# 方向性結合器使用上の諸問題

吉 田 昭 二

Attention for Power Measurement and V. S. W. R. Measurement using  
a Directional Coupler.

Shoji YOSHIDA

A directional coupler is used for the high frequency power measurement on transmission line and also often for the V. S. W. R. measurement of load.

In these measurements, the directivity of coupler is wished to be as perfect as possible. If the directivity is bad and the load is not matched to the transmission line, the measured result will accompany the remarkable error. This kind of errors have not been discussed systematically.

This paper is concerned with the estimation of the error due to the directivity of directional coupler and the loss of transmission line, and the tables calculated show on the errors in these measurements.

## ま え が き

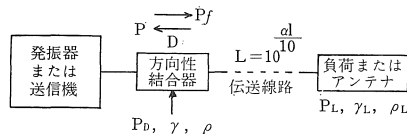
方向性結合器は通過形の高周波電力測定器<sup>1)2)3)</sup>の結合器として広く用いられ、また簡易な定在波測定器<sup>6)</sup>としても使用できる。これらの電力あるいは定在波の測定において測定値に影響を与えるものとしては、1つは方向性結合器自身の特性であり他は使用上の条件である。前者は方向性結合器設計、製造上の問題で種々検討<sup>2)</sup>がなされ、より良好な性能のものへと努力が払われている。後者はその方向性結合器によって測定を実施する負荷の特性、線路の特性などによって生ずる問題で、従来余り系統的な検討<sup>4)</sup>がなされていない。

元来方向性結合器は被測定負荷と高周波電源との間に挿入して測定を行うものであるから、方向性結合器を挿入したことにより測定系に変化を生じてはならないことは言うまでもない。したがってこうした一般的な問題は除外し、ここでは方向性結合器についてはその方向分離度(方向性)、負荷についてはその反射係数または定在波比、線路についてはその損失を採り上げ、電力測定、定在波比測定の場合について検討を加え、その測定値および誤差の関係を明らかにした。

## 1. 電力測定

周知のように方向性結合器による電力測定は、負荷と電源との間の伝送線路の途中に方向性結合器を挿入して、その電圧または電流成分をピックアップして前進波

電力と反射波電力を別個に測定し、その差から実際に負荷に供給される電力を求めるもので、測定の系統図を第1図に示す。



第 1 図 測定の系統図

ここで、 $P_D$ ; 方向性結合器挿入位置における電力測定値、 $P_f, P_r, \gamma, \rho$ ; それぞれ方向性結合器挿入位置における前進波電力、反射波電力、電圧反射係数、電圧定在波比 (VSWR)、 $P_L$ ; 負荷に供給される電力、 $r_L, \rho_L$ ; それぞれ負荷の反射係数および VSWR、 $D$ ; 電圧比で表わした方向性結合器の方向性、 $L$ ; 方向性結合器挿入位置から負荷までの伝送線路の損失とする。なお方向性 $D$ は方向性結合器の前進波と反射波の分離能力であって、無反射端を接続して前進波測定および反射波測定の状態としたときの結合器出力電圧の比で一般に  $dB$  値で表わされている。また線路損失も普通  $al$  ( $dB$ ) で表わされる。

一般に電力の測定値はこの方向性の値、線路損失の有無によって次の4つの場合に分けることができると考えられる。

1.1. 方向性完全で線路損失のない場合 ( $D=\infty, L=1$ )  
 これは理想的な場合であるが、われわれは測定系をこのようにみなして実施している場合が多い。電力測定値、すなわち方向性結合器挿入位置における電力は、前進波電力と反射波電力との差

$$P_D = P_f - P_r = P_f \left(1 - \frac{P_r}{P_f}\right) = P_f(1-r^2) \quad (1.1)$$

となり、負荷に供給される電力は線路損失がないので、  
 $P_L = P_D$   
 となる。

1.2. 方向性完全で線路損失のある場合 ( $D=\infty, L>1$ )

これは測定場所と負荷とか離れている場合、すなわち高所に設置されたアンテナに供給される電力を測定するときのような場合である。方向性結合器挿入位置において測定される電力は1.1の場合と同様に、

$$P_D = P_f(1-r^2)$$

となるが、負荷における前進波成分は方向性結合器挿入位置における値より線路損失分だけ減衰し、方向性結合器挿入位置における反射波成分は負荷における値より損失分だけ減衰することになるので、

$$P_L = \frac{P_f}{L} - LP_r = \frac{P_f}{L}(1-r^2L^2) \quad (1.2)$$

となり、方向性結合器を用いて測定された電力と、負荷に供給される電力とは異なることになる。

1.3. 方向性不完全で線路損失のない場合 ( $D \neq \infty, L=1$ )

実際には方向性結合器の方向性は完全ではなく、仕様に定められた或る値をもっているの、これは実際に実験室などで測定を実施する場合に相当する。方向性結合器によって測定される前進波成分の結合出力にも反射波成分の一部が混入し、また反射波成分にも前進波成分の一部が混入することになるので電力測定値は、

$$\begin{aligned} P_D &= \left(\sqrt{P_f} \pm \sqrt{\frac{P_r}{D}}\right)^2 - \left(\sqrt{P_r} \mp \sqrt{\frac{P_f}{D}}\right)^2 \\ &= P_f - P_r \pm P_f \left(\frac{4r \mp \frac{1-r^2}{D^2}}{D}\right) \\ &= P_f - P_r + P_f \delta_1 = P_f \{(1-r^2) + \delta_1\} \quad (1.3.1) \end{aligned}$$

となる。しかし線路損失はないので、

$$P_L = P_D$$

となる。ただし

$$\delta_1 = \pm \left(\frac{4r \mp \frac{1-r^2}{D^2}}{D}\right) \approx \pm \frac{4r}{D} = \pm \frac{4(\rho-1)}{D(\rho+1)} \quad (1.3.2)$$

ここで、 $r < 1, D^2 \gg 1$ 、また、 $\rho = (1+r)/(1-r)$ 、この  $\delta_1$  は方向性が完全でないための付加分となっている。

1.4. 方向性不完全で線路損失のある場合 ( $D \neq \infty, L > 1$ )

これは実際の場合で、測定場所と負荷とか離れていて線路損失が無視できない場合に担当する。方向性結合器による測定値には方向性不完全による付加分が加わり、

負荷に供給される電力には更に線路損失が影響するのでそれぞれ

$$\begin{aligned} P_D &= P_f \{(1-r^2) + \delta_1\} \\ P_L &= \frac{\left(\sqrt{P_f} \pm \sqrt{\frac{P_r}{D}}\right)^2}{L} - L \left(\sqrt{P_r} \mp \sqrt{\frac{P_f}{D}}\right)^2 \\ &= \frac{P_f}{L} - LP_r \pm \frac{P_f}{L} \left\{ \frac{2r}{D}(1+L^2) \mp \frac{L^2-r^2}{D} \right\} \\ &= \frac{P_f}{L} - LP_r + \frac{P_f}{L} \delta_2 = \frac{P_f}{L} \{(1-r^2L^2) + \delta_2\} \quad (1.4.1) \end{aligned}$$

上式は方向性結合器挿入位置における電力を基準としたときの電力測定値および負荷電力を示す一般式である。ただし、

$$\begin{aligned} \delta_2 &= \pm \left\{ \frac{2r}{D}(1+L^2) \pm \frac{L^2-r^2}{D} \right\} \approx \pm \frac{2r(1+L^2)}{D} \\ &= \pm \frac{2(\rho-1)(1+L^2)}{D(\rho+1)} \quad (1.4.2) \end{aligned}$$

ここで、 $D^2 \gg L^2$

この  $\delta_2$  は方向性不完全および線路損失による付加分を表わしている。

以上の関係をまとめると第1表のようになる。

第 1 表 電力測定の関係

方向性	損失	電力測定値 $P_D$	負荷電力 $P_L$	誤差関係
完全 ( $D=\infty$ )	なし ( $a=0$ ) ( $L=1$ )	$P_f - P_r$ $= P_f(1-r^2)$	$P_f - P_r$ $= P_f(1-r^2)$	
	あり ( $a>0$ ) ( $L>1$ )	$P_f - P_r$ $= P_f(1-r^2)$	$\frac{P_f}{L} - LP_r$ $= \frac{P_f}{L}(1-r^2L^2)$	
不完全 ( $D \neq \infty$ )	なし ( $a=0$ ) ( $L=1$ )	$P_f - P_r + P_f \delta_1$ $= P_f \{(1-r^2) + \delta_1\}$	$P_f - P_r + P_f \delta_1$ $= P_f \{(1-r^2) + \delta_1\}$	
	あり ( $a>0$ ) ( $L>1$ )	$P_f - P_r + P_f \delta_1$ $= P_f \{(1-r^2) + \delta_1\}$	$\frac{P_f}{L} - LP_r + \frac{P_f}{L} \delta_2$ $= \frac{P_f}{L} \{(1-r^2L^2) + \delta_2\}$	

## 2. 電力測定誤差

実際に電力測定を実施したときにどのような場合に誤差を生じるかは、第1表の誤差関係がそれを示し次のようになる。

2.1. 方向性完全で線路損失のある場合 ( $D=\infty, L>1$ )

この場合負荷に供給される電力  $P_L$  は (1.2) 式によって求めればよく、言い換えれば線路損失の補正を行えばよいが、もし損失補正を行わなかったとすると次のような誤差を生じることになる。

$$\begin{aligned} \epsilon_{P1} &= \frac{\frac{P_f}{L}(1-r^2L^2) - P_f(1-r^2)}{P_f(1-r^2)} \\ &= \frac{(1-r^2L^2) - L(1-r^2)}{L(1-r^2)} \quad (2.1.1) \end{aligned}$$

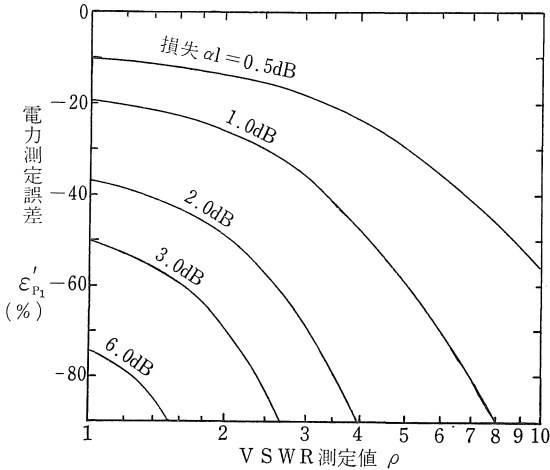
これを方向性結合器挿入位置からみた VSWR で表現すると

$$\begin{aligned} \epsilon_{p1}' &= \frac{1 - \left(\frac{\rho-1}{\rho+1}\right)^2 L^2 - L \left\{1 - \left(\frac{\rho-1}{\rho+1}\right)^2\right\}}{L \left\{1 - \left(\frac{\rho-1}{\rho+1}\right)^2\right\}} \\ &= \frac{(\rho+1)^2 - (\rho-1)^2 L^2 - 4L\rho}{\rho} \end{aligned} \quad (2.1.2)$$

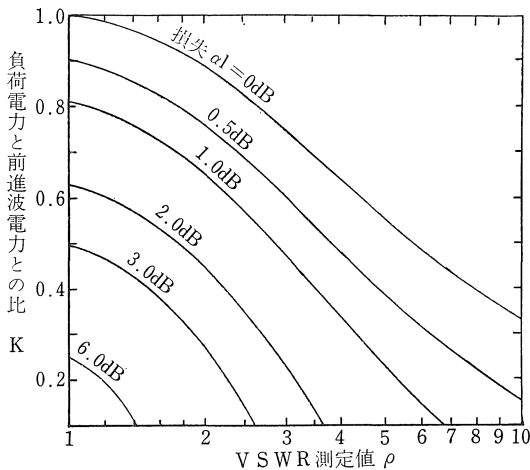
となり、これを線路損失 0.5~6 dB について示したものが第2図である。しかし利用価値を考えると補正係数の形で表わした方がよいので、(1.2)式から、

$$\begin{aligned} P_L &= \frac{P_f}{L} (1-r^2 L^2) = P_f K \\ K &= \frac{1-r^2 L^2}{L} = \frac{1}{L} \left\{1 - \left(\frac{\rho-1}{\rho+1}\right)^2 L^2\right\} \end{aligned} \quad (2.1.3)$$

このK、すなわち負荷電力と前進波電力との比を線路損失 0.5~6 dB について示したものが第3図である。ここで損失  $al=0dB$  の曲線は周知の“電力反射損”を示していることになる。



第2図 方向性完全で線路損失があるとき、方向性完全で線路損失がないとしたときの電力測定誤差



第3図 方向性完全で線路損失があるときの負荷電力と前進波電力との比

2.2. 方向性不完全で線路損失のない場合<sup>4)</sup> ( $D \neq \infty$ ,  $L=1$ )

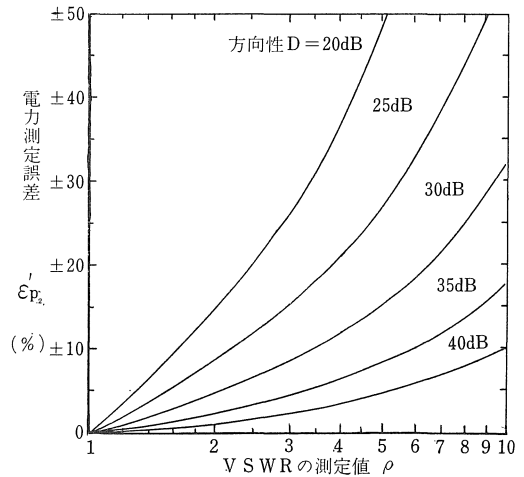
この場合は(1.3.2)式が示す $\delta_1$ によって生じるものであって、方向性が不完全であるものを完全とみなしたことによる誤差で

$$\begin{aligned} \epsilon_{p2} &= \frac{P_f \{(1-r^2) + \delta_1\} - P_f(1-r^2)}{P_f(1-r^2)} = \frac{\delta_1}{1-r^2} \\ &= \pm \frac{4r}{(1-r^2)D} \end{aligned} \quad (2.2.1)$$

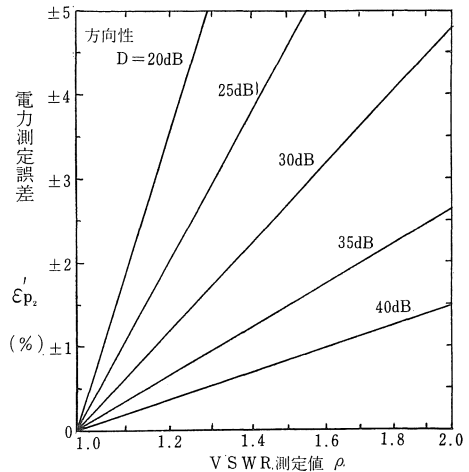
となる。これを VSWR で表現すると

$$\begin{aligned} \epsilon_{p2}' &= \pm \frac{4\left(\frac{\rho-1}{\rho+1}\right)}{\left\{1 - \left(\frac{\rho-1}{\rho+1}\right)^2\right\} D} = \\ &= \pm \frac{4(\rho-1)(\rho+1)}{\{(\rho+1)^2 - (\rho-1)^2\} D} = \pm \frac{\rho^2 - 1}{\rho D} \end{aligned} \quad (2.2.2)$$

となり、最大誤差で正負の値をもつ、すなわち誤差の範囲を示している。この $\epsilon_{p2}'$ を方向性 20~40dB について



第4図 (a) 方向性不完全で線路損失がないとき方向性完全で線路損失がないとしたときの電力測定誤差 ( $\rho < 10$ )



第4図 (b) 方向性不完全で線路損失がないとき方向性完全で線路損失がないとしたときの電力測定誤差 ( $\rho < 2$ )

で示したものが第4図(a)であり、利用価値を考慮 VSWR 2 以下を拡大表示したものが同図(b)である。

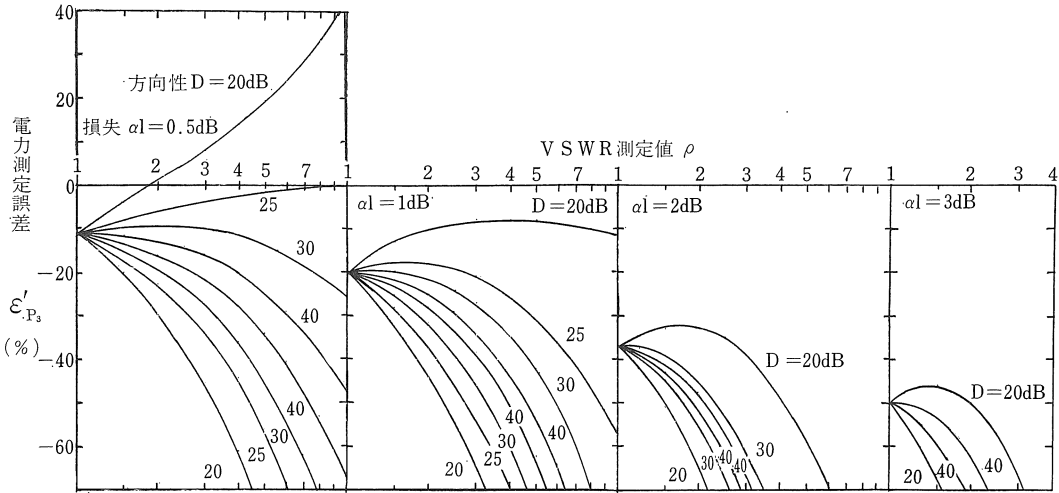
2.3. 方向性不完全で線路損失のある場合 ( $D \neq \infty, L > 1$ )

この場合は方向性不完全で線路損失のあるものを、方向性完全で損失がないとみなしたときの誤差と、方向性完全で損失があるとみなしたときの誤差との2つの場合

$$\epsilon_{p_8} = \frac{\frac{P_f}{L}\{(1-r^2L^2)+\delta_2\}-P_f(1-r^2)}{P_f(1-r^2)} = \frac{(1-r^2L^2)-L(1-r^2)+\delta_2}{L(1-r^2)} = \frac{(1-r^2L^2)D-(1-r^2)LD \pm 2r(1+L^2)}{(1-r^2)D} \tag{2.3.1.1}$$

$$\epsilon'_{p_8} = \frac{\left\{1-\left(\frac{\rho-1}{\rho+1}\right)^2L^2\right\}D-\left\{1-\left(\frac{\rho-1}{\rho+1}\right)^2\right\}LD \pm 2\left(\frac{\rho-1}{\rho+1}\right)(1+L^2)}{\left\{1-\left(\frac{\rho-1}{\rho+1}\right)^2\right\}LD} = \frac{(\rho+1)^2D-(\rho-1)^2DL^2-4\rho LD \pm 2(\rho^2-1)(1+L^2)}{4\rho LD} \tag{2.3.1.2}$$

となりやはり誤差の範囲を示す。この  $\epsilon'_{p_8}$  を損失 0.5~3dB, 方向性 20~40dB について示したものが第5図



第5図 方向性不完全で線路損失があるとき方向性完全で線路損失がないとしたときの電力測定誤差

2.3.2. 方向性不完全で線路損失のある場合 ( $D \neq \infty, L > 1$ ) を方向性完全で損失がある ( $D = \infty, L > 1$ ) とみなしたとき<sup>4)</sup>

このときの誤差を反射係数および VSWR で表現すると、それぞれ

$$\epsilon_{p_4} = \frac{\frac{P_f}{L}\{(1-r^2L^2)+\delta_2\}-\frac{P_f}{L}(1-r^2L^2)}{\frac{P_f}{L}(1-r^2L^2)} = \frac{\delta_2}{1-r^2L^2} = \pm \frac{2r(1+L^2)}{(1-r^2L^2)D} \tag{2.3.2.1}$$

$$\epsilon'_{p_4} = \pm \frac{2\left(\frac{\rho-1}{\rho+1}\right)(1+L^2)}{\left\{1-\left(\frac{\rho-1}{\rho+1}\right)^2L^2\right\}D} = \pm \frac{2(\rho^2-1)(1+L^2)}{\{(\rho+1)^2-(\rho-1)^2L^2\}D} \tag{2.3.2.2}$$

が考えられる。

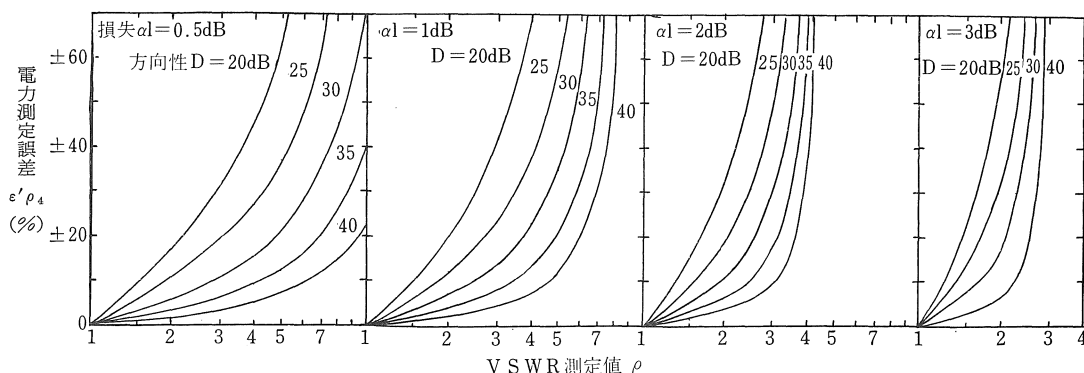
2.3.1 方向性不完全で線路損失のある場合 ( $D \neq \infty, L > 1$ ) を方向性完全で損失がない ( $D = \infty, L = 1$ ) とみなしたとき

このときの誤差を反射係数および VSWR で表現すると、それぞれ

となり、これも正負の値をもち誤差の範囲を示している。この  $\epsilon'_{p_4}$  を損失 0.5~3dB, 方向性 20~40dB について示したものが第6図である。

一般に市販の方向性結合器は同軸形、導波管形いずれの場合もその方向性は 20~30dB<sup>5)</sup> である。いまこれらの方向性結合器を使用して電力を測定する場合の例をあげると、方向性結合器から負荷までのケーブルの損失が無視できるような長さおよび周波数であったとして、例えば方向性 20dB の方向性結合器のとき方向性結合器から負荷側をみた VSWR が 1.2で±3.5%, VSWR 2で±15%の最大誤差を生じることになり、また方向性 30dB のときそれぞれ ±1.2%, ±5.0%となる可能性があることが第4図からわかる。

また、ケーブルの損失が無視できないとして例えばそ



第6図 方向性不完全で線路損失があるとき方向性完全で線路損失があるとしたときの電力測定誤差

れが1 dB, 方向性 20dB のとき, VSWR 1.2 で ±4.5%, VSWR 2 で ±20% の最大誤差を生じる可能性があることを第6図が示している, もしケーブルの損失1dBを無視してしまったとすると, 方向性 20dB でそれぞれ -16% ~ -25%, -10% ~ 44% の誤差を生ずる可能性を第5図が示している.

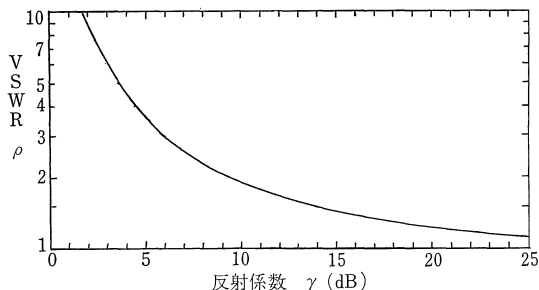
3. 反射係数または定在波比の測定

インピーダンスの測定はインピーダンス・ブリッジまたは定在波測定器が使用されるが, 一般に負荷の反射係数または定在波比のみを知れば充分である場合が多い. 勿論その場合も定在波測定器を使用すればよいが, 方向性結合器を用いてその反射波成分および前進波成分を知ればその比から簡単に求めることができる. すなわち第1図の電力測定の場合と全く同じ構成によればよい. この場合も電力測定のとくと同様に反射係数および VSWR の測定値は, その方向性の値, 線路の損失の有無によって, 電力測定の場合に対応して次の4つの場合にわかれる.

3.1. 方向性完全で線路損失のない場合 ( $D = \infty, L = 1$ )  
負荷の反射係数および VSWR はそれぞれ

$$r_L = \sqrt{\frac{P_r}{P_f}} = r \quad \rho_L = \frac{1+r}{1-r} = \rho \quad (3.1)$$

となり. 一般に反射係数よりも VSWR で表すことが多いので, 方向性結合器の出力と指示装置の間に減衰器を備えておけば, その減衰量から第7図によって直ちに



第7図 VSWR と反射係数 (dB) との関係

VSWR を知ることができる.

3.2. 方向性完全で線路損失のある場合 ( $D = \infty, L > 1$ )

$$r_L = \sqrt{\frac{L P_r}{P_f}} = L r, \quad \rho_L = \frac{1+Lr}{1-Lr} = \frac{(\rho+1)+L(\rho-1)}{(\rho+1)-L(\rho-1)} \quad (3.2)$$

3.3. 方向性不完全で線路損失のない場合 ( $D \neq \infty, L = 1$ )

$$r_L = \frac{\sqrt{(\sqrt{P_r} \mp \frac{\sqrt{P_f}}{D})^2}}{\sqrt{(\sqrt{P_f} \pm \frac{\sqrt{P_r}}{D})^2}} = \sqrt{\frac{P_r}{P_f}} \frac{1 \mp \frac{\sqrt{P_f}}{\sqrt{P_r} D}}{1 \pm \frac{\sqrt{P_r}}{\sqrt{P_f} D}} = r \delta_s$$

ここで,

$$\delta_s = \frac{1 \mp \frac{1}{rD}}{1 \mp \frac{r}{D}} = \frac{Dr \mp 1}{Dr \pm r^2} \approx \frac{Dr \mp 1}{Dr} = \frac{D(\rho-1) \mp (\rho+1)}{D(\rho-1)}$$

ただし,  $Dr \gg r^2$ , この  $\delta_s$  が方向性不完全による付加分となっている.

$$\rho_L = \frac{1+r\delta_s}{1-r\delta_s} = \frac{D+Dr \mp 1}{D-Dr \pm 1} = \frac{2D\rho \mp (\rho+1)}{2D \pm (\rho+1)} \quad (3.3)$$

3.4. 方向性不完全で線路損失のある場合 ( $D \neq \infty, L > 1$ )

$$r_L = \frac{L \sqrt{(\sqrt{P_r} \mp \frac{\sqrt{P_f}}{D})^2}}{\sqrt{(\sqrt{P_f} \pm \frac{\sqrt{P_r}}{D})^2}} = L \sqrt{\frac{P_r}{P_f}} \frac{1 \mp \frac{\sqrt{P_f}}{\sqrt{P_r} D}}{1 \pm \frac{\sqrt{P_r}}{\sqrt{P_f} D}} = L r \delta_s$$

$$\rho_L = \frac{1+rL\delta_s}{1-rL\delta_s} = \frac{1 + \frac{LDr \mp L}{D}}{1 - \frac{LDr \mp L}{D}} = \frac{D(\rho+1) + LD(\rho-1) \mp L(\rho+1)}{D(\rho+1) - LD(\rho-1) \pm L(\rho+1)} \quad (3.4)$$

上式は方向性結合器による VSWR 測定値と負荷の VSWR との関係を示す一般式である. 以上の関係をまとめると第2表のとおりとなる.

第 2 表 VSW測定の関係

方向性	損失	負荷の VSWR $\rho_L$	誤差関係
完全 ( $D=\infty$ )	なし ( $\alpha l=0$ $L=1$ )	$\rho$	$\epsilon_{\rho_1}$
	あり ( $\alpha l>0$ $L>1$ )	$\frac{(\rho+1)+L(\rho-1)}{(\rho+1)-L(\rho-1)}$	
不完全 ( $D\neq\infty$ )	なし ( $\alpha l=0$ $L=1$ )	$\frac{2D\rho\mp(\rho+1)}{2D\pm(\rho+1)}$	$\epsilon_{\rho_2}$
	あり ( $\alpha l>0$ $L>1$ )	$\frac{D(\rho+1)+LD(\rho-1)\mp L(\rho+1)}{D(\rho+1)-LD(\rho-1)\pm L(\rho+1)}$	

4. 定在波比測定誤差

実際に方向性結合器を使用して負荷の VSWR を測定した場合に生じる誤差は、第 2 表に示した誤差関係のようになる。

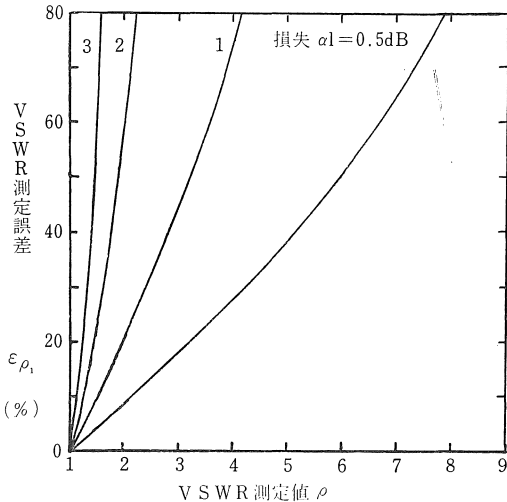
4.1. 方向性完全で線路損失のある場合 ( $D=\infty, L>1$ )  
線路損失があるにもかかわらずそれを無視したことによって生じる誤差で、反射係数の誤差および VSWR の誤差はそれぞれ

$$\epsilon_{r_1} = \frac{rL-r}{r} = L-1$$

$$\epsilon_{\rho_1} = \frac{\frac{(\rho+1)+L(\rho-1)}{(\rho+1)-L(\rho-1)} - \rho}{\rho} = \frac{(1-L)(1-\rho^2)}{\rho^2(1-L)+\rho(1-L)}$$

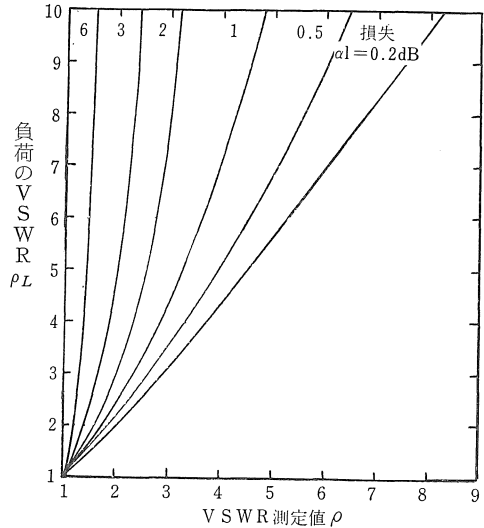
(4.1)

この  $\epsilon_{\rho_1}$  を損失 0.5~3dB について示したものが第 8 図である。しかし利用価値を考えると (3.1) 式で表現した方がよく、この関係を損失 0.2~6dB について示したものが第 9 図(a)で、これはまた周知の“損失または減衰器挿入による VSWR の改善”を示していることに

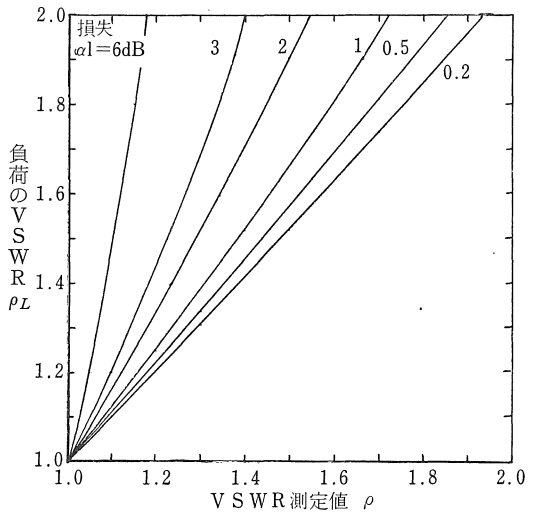


第 8 図 方向性完全で線路損失があるとき方向性完全で線路損失がないとしたときの定在波比測定誤差

なる。なお、VSWR 2 以下を拡大表示したものが同図 (b)である。



第 9 図 (a) 方向性完全で線路損失があるときの負荷の VSWR と VSWR 測定値との関係 ( $\rho < 9$ )



第 9 図 (b) 方向性完全で線路損失があるときの負荷の VSWR と VSWR 測定値との関係 ( $\rho < 2$ )

4.2. 方向性完全で線路損失のない場合 ( $D=\infty, L=1$ )

これは方向性が不完全のものを完全とみなしたことによる誤差でそれぞれ

$$\epsilon_{r_2} = \frac{r\delta_s - r}{r} = \delta_s - 1 = \frac{Dr\mp 1}{Dr} - 1 = \pm \frac{1}{Dr}$$

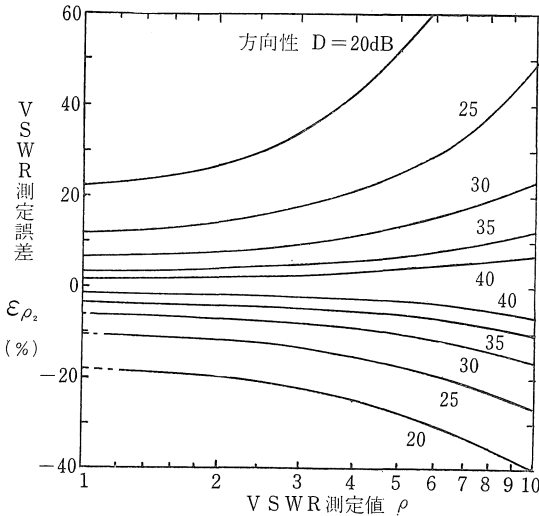
$$\epsilon_{\rho_2} = \frac{\frac{2D\rho\mp(\rho+1)}{2D\pm(\rho+1)} - \rho}{\rho} = \pm \frac{\rho(\rho+1)+(\rho+1)}{2D\rho\pm\rho(\rho+1)}$$

(4.2)

となり、正負の最大誤差すなわち誤差範囲を示すことに

なる。この  $\epsilon_{\rho_2}$  を方向性 20~40dB について示したものが第10図である。なお VSWR は 1 以下になることはないので

$$\frac{2D\rho - (\rho + 1)}{2D + (\rho + 1)} < 1$$



第10図 方向性不完全で線路損失がないとき方向性完全で線路損失がないとしたときの定在波比測定誤差

の範囲は同図以下の各図では点線で表示した。またこの誤差は  $\delta_s$  によって生じるもので、 $Dr \gg r^2$  の条件によって求めているからこれが成立しないとき、すなわち方向性が悪く VSWR が大きいところでは更に大きくなることが予想される。

4.3. 方向性不完全で線路損失のある場合 ( $D \neq \infty$ ,  $L > 1$ )

この場合も方向性不完全で線路損失があるものを、方向性完全で損失がないとみなしたときと、方向性完全で損失があるとみなしたときの2つの誤差が考えられる。

4.3.1. 方向性不完全で線路損失がある場合 ( $D \neq \infty$ ,  $L > 1$ ) を方向性完全で損失がない ( $D = \infty$ ,  $L = 1$ ) とみなしたとき、

誤差はそれぞれ

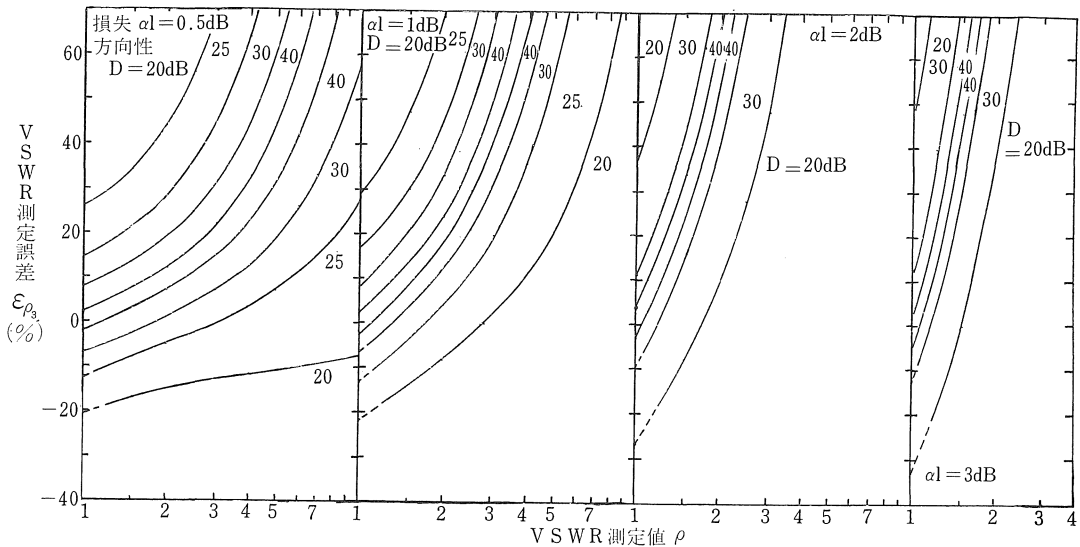
$$\epsilon_{r_3} = \frac{rL\delta_s - r}{r} = L\delta_s - 1 = \frac{Dr(L-1) \mp L}{Dr}$$

$$\epsilon_{\rho_3} = \frac{D(\rho+1) + LD(\rho-1) \mp L(\rho+1)}{D(\rho+1) - LD(\rho-1) \pm L(\rho+1)} - \rho$$

$$= \frac{D(\rho+1) + LD(\rho-1) \mp L(\rho+1)}{\rho\{D(\rho+1) + LD(\rho-1) \pm L(\rho+1)\}} - 1$$

(4.3.1)

となり、この  $\epsilon_{\rho_3}$  を方向性 20~40dB、損失 0.5~3dB について示したものが第11図である。



第11図 方向性不完全で線路損失があるとき方向性完全で損失がないとしたときの定在波比測定誤差

4.3.2. 方向性不完全で線路損失がある場合 ( $D \neq \infty$ ,  $L > 1$ ) を方向性完全で損失がある ( $D = \infty$ ,  $L > 1$ ) とみなしたとき、

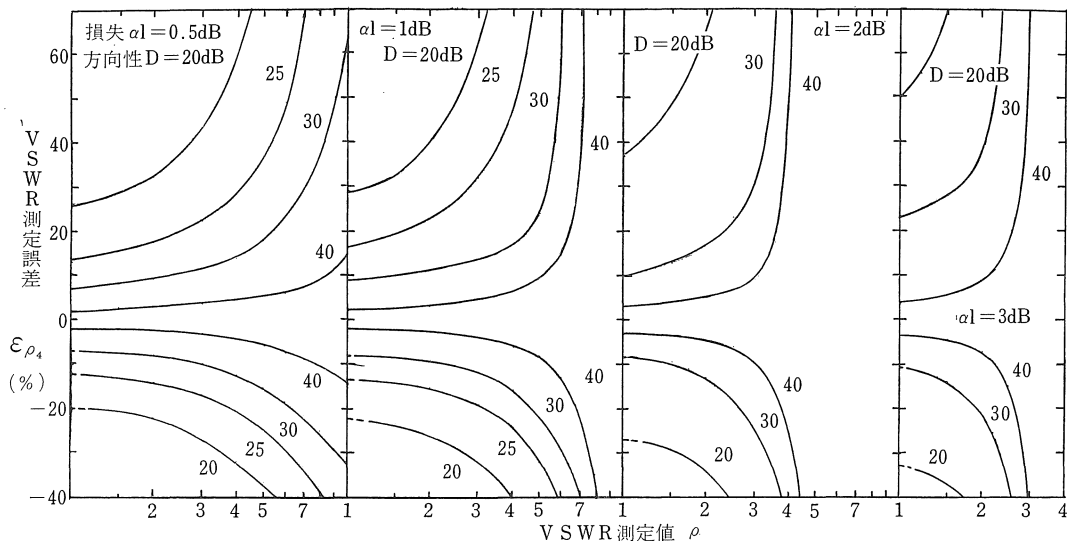
誤差はそれぞれ

$$\epsilon_{r_4} = \frac{rL\delta_s - rL}{rL} = \delta_s - 1 = \mp \frac{1}{Dr}$$

$$\epsilon_{\rho_4} = \frac{D(\rho+1) + LD(\rho-1) \mp L(\rho+1)}{D(\rho+1) - LD(\rho-1) \pm L(\rho+1)} \frac{(\rho+1) + L(\rho-1)}{(\rho+1) - L(\rho-1)}$$

$$= \frac{\{(\rho+1) - L(\rho-1)\} \{D(\rho+1) + LD(\rho-1) \mp L(\rho+1)\} - 1}{\{(\rho+1) + L(\rho-1)\} \{D(\rho+1) - LD(\rho-1) \pm L(\rho+1)\}} - 1$$

となり、この  $\epsilon_{\rho_4}$  を方向性 20~40dB、損失 0.5~3dB について示したものが第12図である。



第12図 方向性不完全で線路損失があるとき方向性完全で線路損失があったときの定在波比測定誤差

一般に方向性結合器によって VSWR を測定する場合は、電力測定の場合のように負荷の VSWR が良好でないことが多いので、問題は一層大きくなる。例えば室内実験などのように方向性結合器に直接負荷を接続した場合、方向性が  $20\text{dB}$  では VSWR 測定値が1であっても22%，VSWR 測定値が2で  $+27\sim-22\%$  の最大誤差を示す可能性があることを第10図が示している。またもし測定場所と負荷とが離れていてケーブルの損失が無視できないような、例えば高所に設置されたアンテナの VSWR 測定のような場合には、そのケーブルの損失を補正したとしても第12図に示す誤差を生ずる可能性がある。したがって VSWR 測定では VSWR 2 以下のものの測定において許容誤差10%以下とすると、方向性  $30\text{dB}$  以上の方向性結合器が要求されることになる。

### む す び

この種の問題を系統的に解析してみるために、特に利用価値の少ないと思われる誤差について取扱ってみたがこの結果から、

- (1) 線路損失のみに起因するものは補正が可能であるが、
- (2) 方向性に起因するものは補正が不可能であり、
- (3) 方向性、損失両方に起因するものは一層複雑となっている。

一般に方向性は完全であれば問題はないし、良好であればあるにこしたことはないが技術的にみて実現可能な限界がある。したがって製造上はこの方向性の向上に努力する一方、使用上はこれらの問題を充分知っていなければならない。すなわち方向性結合器の使用にあたっては、

- (1) 方向性既知のものについてはそれによって生ずる誤差の限界を知り、
- (2) 使用目的によってはそれに必要な方向性のものを選択する、

必要があると考えられ、現在市販されている方向性結合器については更に方向性の向上が期待される。

終りに本学竹松英夫教授始め電子工学教室の各位に対し、日頃の御援助を深謝する次第である。

### 参 考 文 献

- 1) F. E. Terman, J.M. Pettit; *Electronic Measurements*.
- 2) 土屋、高橋; VHF CM 電力計 通研月報, 6, No. 4, 1953
- 3) 黒川、高橋、新井; 不要発射電力測定の一方式 電波研究所季報, No. 4, July, 1955
- 4) 福田; 方向性結合器による電力測定誤差 電波研究所季報, Vol. 7. No. 28, 1961
- 5) 電子機械工業会編; '66 電子応用測定器総覧, 部門 9
- 6) 電気通信学会編; 通信工学ハンドブック, 第5編