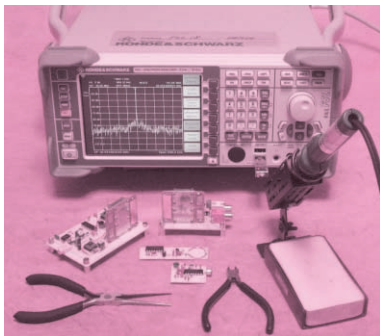


特集



第3章 SWR, インピーダンス, 抵抗, リアクタンスなどを測定できる

アンテナ・アナライザの製作

渡辺 明禎
Akiyoshi Watanabe

アンテナ・アナライザとは

アンテナ・アナライザは、アンテナ、伝送路、同調回路、フィルタ回路などの、定在波比(SWR)、インピーダンス(純抵抗分およびリアクタンス分)、周波数などを測定できる携帯型のツールです。SWRアナライザとか、RFアナライザとも呼ばれます。1994年ごろに米国MFJ社が発売したのを皮切りに各社から類似の製品が発売されています。写真1は現行品のMFJ-259Bで、写真2が製作したアナライザです。

測定できる周波数範囲は、HF～UHFと広範囲です。小型のためアンテナ給電点でインピーダンスを測定でき、アンテナの調整などに威力を発揮します。ま

た、同軸ケーブルなどのロス、電気長の測定などができ、無線システムの効率よい構築やメンテナンスにかかせない測定器の一つです。

回路は、おもに高周波発振器とSWRブリッジで構成され、SWRブリッジでインピーダンスを測定することにより、さまざまな測定値を得ることができます。

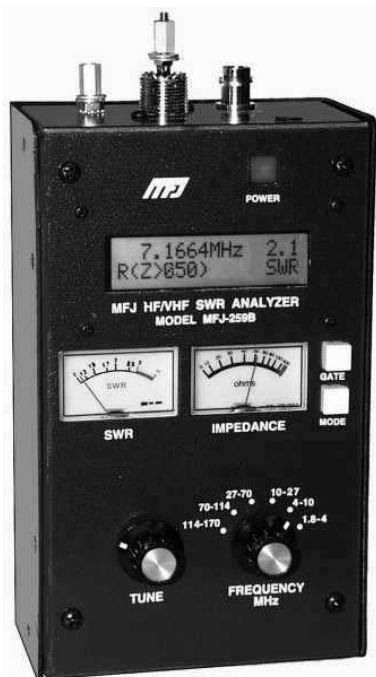
SWRブリッジとは

■ SWR について

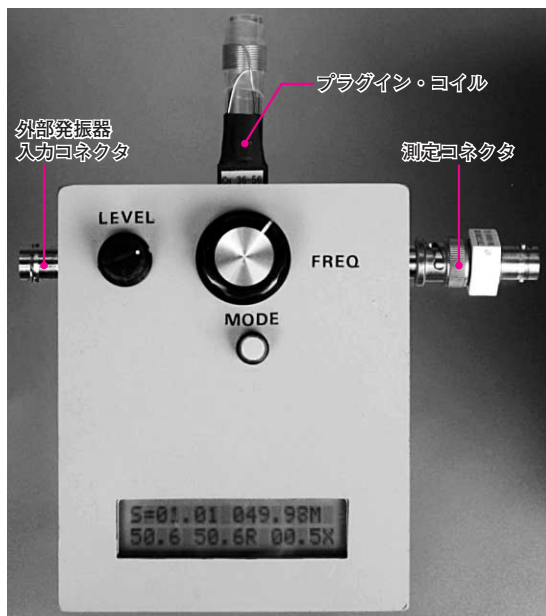
● 反射係数と定在波比

定在波比(SWR)は、伝送線路上における進行波と反射波の関係を示す数値です。電圧比として扱うことが多いため、電圧定在波比(VSWR)とも呼ばれます。

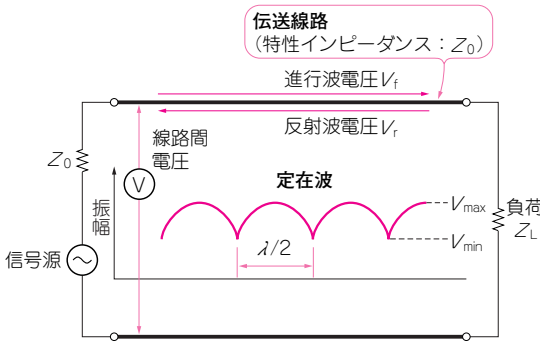
図1のように、特性インピーダンスが Z_0 の伝送線路上にインピーダンス $Z_L (\neq Z_0)$ の負荷が接続されてい



〈写真1〉市販のSWRアナライザMFJ-259B [米国MFJ社]



〈写真2〉製作したアンテナ・アナライザ



〈図1〉 定在波は反射波が進行波と干渉して生じる

る場合、不整合が起きるので、負荷端で信号は反射され、進行波と反射波の干渉によって、伝送線路の長さ方向に \$\lambda/2\$ の周期で信号の強度分布が生じます。これを定在波といいます。その電圧振幅の最大値 \$V_{max}\$ と最小値 \$V_{min}\$ の比が定在波比です。これらの関係を式で表すと、以下ようになります。

$$V_{max} = |V_f| + |V_r| \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$V_{min} = |V_f| - |V_r| \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに \$V_f\$: 進行波電圧, \$V_r\$: 反射波電圧

定在波比を \$S\$ で表すと、

$$S = \frac{V_{min}}{V_{max}} = \frac{|V_f| - |V_r|}{|V_f| + |V_r|} = \frac{1 - \frac{|V_r|}{|V_f|}}{1 + \frac{|V_r|}{|V_f|}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\therefore S = \frac{1 + \rho}{1 - \rho} \quad \dots\dots\dots (4)$$

ただし、\$\rho\$ は反射係数で、 $\rho = \frac{|V_r|}{|V_f|}$

また、反射係数 \$\rho\$ は、次式で求めることもできます。

$$\rho = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad \dots\dots\dots (5)$$

● リターン・ロス

反射係数をデシベル値で表現したものがリターン・ロスと呼ばれ、これを \$\delta\$ で表すと、次式で示されます。

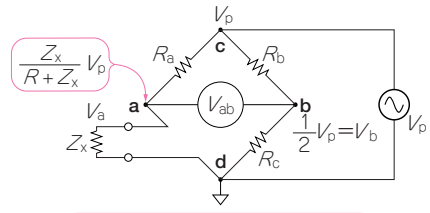
$$\delta = -20 \log(\rho) \quad \dots\dots\dots (6)$$

SWRとリターン・ロスの関係は次式で表すことができ、表1のようになります。

$$\delta = -20 \log\left(\frac{\rho - 1}{\rho + 1}\right) \quad \dots\dots\dots (7)$$

例えば、定在波比 \$S = 1.22\$ の場合、リターン・ロスは 20 dB なので、進行波の 10% (-20 dB) が電圧反射波となり信号源側に戻ります。電力で考えると、20 dB は \$1/100 = 1\%\$ なので、1% の電力が信号源側に戻り、99% の電力が負荷に供給されることになります。この 99% は電力効率 (\$\eta\$) であり、以下の式で表されます。

$$\eta = \frac{P_f - P_r}{P_f} \quad \dots\dots\dots (8)$$



● 平衡時 $V_{ab} = 0V$
 平衡条件 $R_a R_c = R_b Z_x$
 ここで $R_a = R_b = R_c = R = 50\Omega$
 $\therefore Z_x = R = 50\Omega$

● 不平衡時
 $V_{ab} = \frac{Z_x}{R + Z_x} V_p - \frac{1}{2} V_p$
 $Z_x = \frac{\frac{V_p}{2} + V_{ab}}{\frac{V_p}{2} - V_{ab}} R$
 $= \frac{V_p + V_{ab}}{V_p - V_{ab}} R$
 SWR
 $S = \frac{Z_x}{R} = \frac{V_p + V_{ab}}{V_p - V_{ab}}$
 $Z_x < 50$ ならば $S = \frac{50}{Z_x}$
 $Z_x \geq 50$ ならば $S = \frac{Z_x}{50}$

〈図2〉 SWRブリッジの原理

ただし、\$P_f\$: 進行波電力 [W], \$P_r\$: 反射波電力 [W]

● 実用的には SWR が 1.5 以下で使う

定在波比 \$S = 3\$ の場合、リターン・ロスは 6 dB なので、進行波電力の 25% が戻り、負荷には 75% しか供給されないこととなります。一般に \$S \le 1.5\$ (\$\eta \ge 96\%\$) で使うことが理想で、最悪でも 3 を越えない範囲で使用します。

負荷を短絡または開放すると、進行波が 100% 戻ってくる (SWR は無限大) ので、最悪の場合は送信機が壊れてしまうこともあります。低周波回路では、短絡すると壊れるイメージがありますが、開放で壊れると

〈表1〉 SWRとリターン・ロスの関係

定在波比 S	リターン・ロス \$\delta\$ [dB]
1.01	46.0
1.1	26.4
1.2	20.8
1.3	17.6
1.4	15.5
1.5	13.9
2	9.54
3	6.02
4	4.44
5	3.52
6	2.92