

Rig Expert Ukraine 社のアンテナアナライザは、連続する広範囲の周波数に応じて SWR がグラフ表示されるので、アンテナ系の調整に便利な測定器です。さらに R および X も測定でき、簡易な複素インピーダンス測定器として使えます。しかし、 $50\Omega$  を基準とする SWR 測定は良いとしても、R および X の幅広い値に対する測定誤差には不安があります。そこで、測定原理を検討するとともに、実際の測定結果から複素インピーダンスの測定精度に目安を立ててみました。

製品シリーズには測定対象周波数等によって現在次の機種（測定周波数の範囲）があり、日本国内でも販売されています。

AA-30 (0.1 ~ 30MHz)      AA-54 (0.1 ~ 54MHz)      AA-230 (0.3 ~ 230MHz)  
AA-230PRO (0.3 ~ 230MHz)      AA-520 (1 ~ 520MHz)

筆者の実験において実際に R および X の測定に用いた AA-30 について、以下にその測定原理の解明と性能検証をして、複素インピーダンス測定の評価をしてみます。。

#### 動作原理

各々の機種ごとのマニュアルには動作原理の説明はされていないので、Rig Expert Ukraine 社のホームページから「panoramic-SWR-meter」（ロシア語）を参照します。ここでの説明は AA シリーズ各機種に共通するでしょう。

<http://www.rigexpert.com/index?s=articles&f=panoramicswrmeter&l=ru>

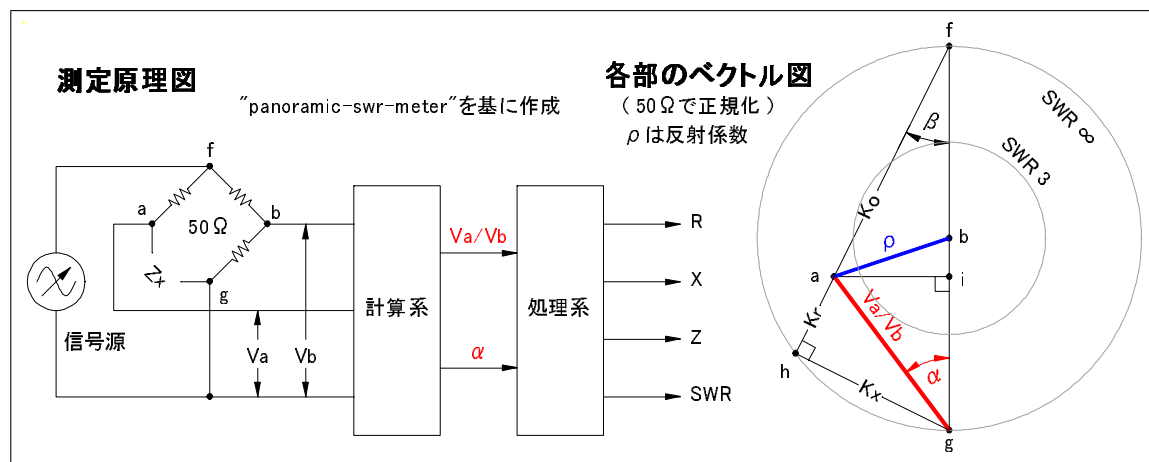


図 1: RigExpert アンテナアナライザの測定原理

図 1 の  $50\Omega$  の抵抗素子で構成されるブリッジにおいて、端子  $a$  の電圧  $V_a$  は未知のインピーダンス  $Z_x$  によって異なるが、端子  $b$  の電圧  $V_b$  は周波数に関係のない一定電圧となります。この両者を計算系で比較することにより図 1 のベクトル図に示す電圧比  $V_a/V_b$  および位相差  $\alpha$  が得られます。図は  $50\Omega$  で正規化されており、 $b-f$  間または  $b-g$  間の大きさは 1.0 です。

$\triangle afi$ 、 $\triangle abg$  および  $\triangle fgh$  から、次の関係式が成り立ちます。

$$K_0 = \sqrt{\left(\frac{V_a}{V_b}\right)^2 - 4\frac{V_a}{V_b} \cos \alpha + 4}$$

$$\beta = \arcsin\left(\frac{\frac{V_a}{V_b} \sin \alpha}{K_0}\right)$$

$$K_r = 2 \cos \beta - K_0$$

$$K_x = 2 \sin \beta$$

$$\rho = \sqrt{\left(\frac{V_a}{V_b}\right)^2 - 2 \frac{V_a}{V_b} \cos \alpha + 1}$$

これらの値を用いると、次式から  $R$ 、 $X$ 、 $Z$  および  $SWR$  の実際の値を得ることができます。

$$R = \frac{K_r}{K_0} 50 = \left(\frac{2 \cos \beta}{K_0} - 1\right) 50 \quad (1)$$

$$X = \frac{K_x}{K_0} 50 = \frac{2 \sin \beta}{K_0} 50 \quad (2)$$

$$Z = R + jX \quad |Z| = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (3)$$

$$SWR = \frac{1 + \rho}{1 - \rho} \quad (4)$$

### 検出感度

$R$  の測定を例として、検出感度を検討します。式 1 のとおり  $R$  は  $K_r/K_0$  に基づき計算されるので、これを被測定抵抗値  $R_x$  を変数とする関数で表すと次式になります。

$$\frac{K_r}{K_0} = \frac{2R_x}{R_x + 50}$$

この関係を表した図 2 で分かるとおり、 $R_x > 500\Omega$  または  $R_x < 5\Omega$  の場合には検出感度が低くなり誤差が大きくなりそうです。 $R_x = 50\Omega$  を代表とする中央が最もよい測定対象となります。

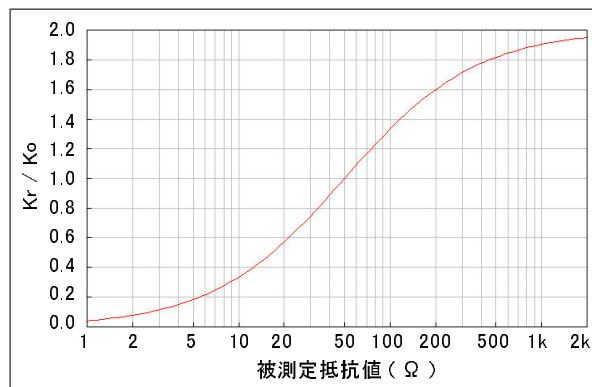


図 2: 被測定  $R_x$  と  $K_r/K_0$  の関係

複素インピーダンスを測定する場合にもこの影響は及ぶので、 $R_x > 500$  の場合には測定誤差が大きくなると予想できます。

### 既知の複素インピーダンスとその測定結果

では、実際に値の分かっている抵抗とキャパシティの直列インピーダンスを計測してみます。

図 3 のとおり、 $R_x > 500\Omega$  では  $R$  と  $X$  とともにデータがバラつきます。また、 $X_x > 300\Omega$  では  $X$  はもちろん  $R$  の測定値も誤差が増えます。この結果は、前項の理論検討が正しいことを示しています。

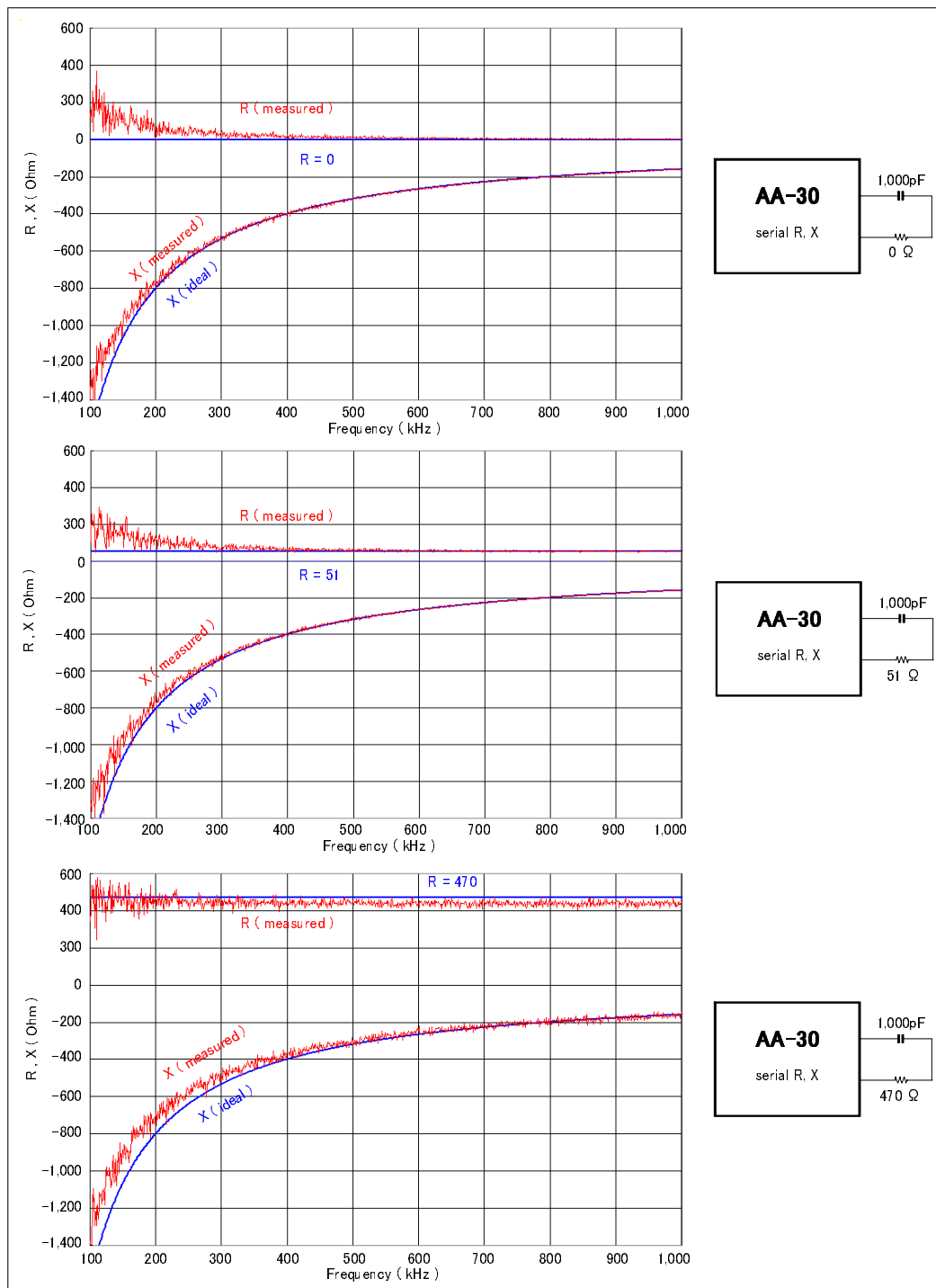


図 3: RigExpert アンテナアナライザの R、X 測定結果