

はじめに： RigExpert 社は DDS・マイコン・LCD など을組合わせて、プロ用機器のような SWR 周波数特性表示など、多機能・高性能なアンテナ・アナライザを製品化した。製品に搭載のリターンロスブリッジ(RLB)と RF/IF ゲイン位相検出器 AD8302 の関係について考察した。

X=0 時の RLB 考察

アンテナ調整とは所定周波数でリアクタンス (X) をゼロまたは微小値に追い込む作業なので、アンテナを放射抵抗のみ (X=0 Ω) として RLB の振舞を調べるだけで十分だが、後ほど X 成分を含んだ一般形で RLB を考察する。

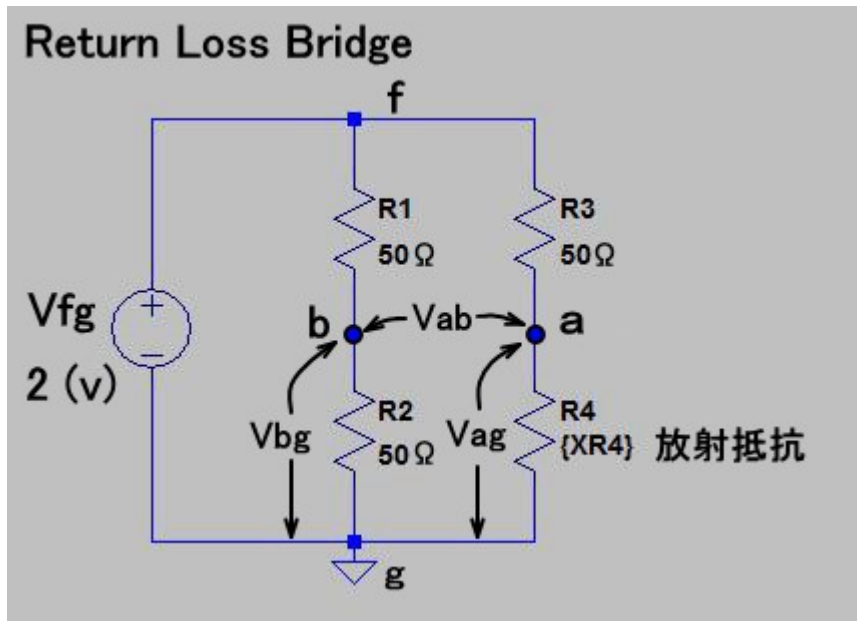


図 1

RLB (図1) は R1~R3 (各 50 Ω) と R4 (アンテナの放射抵抗) で構成されます。RLB の基準辺は R1 と R2 で構成され電圧 Vfg (2Vdc, Rg=0 Ω, 便宜上 DC 解析) を加えたときの b 点の電圧を Vbg とし、測定辺は R3 と R4 で構成され a 点の電圧を Vag とすると(1)~(3)式が成立します。Vab は反射波電圧、Vbg は進行波電圧に相当しますので(電圧)反射係数 Γ は式(4)になります。Γ が求まると SWR は式(5)で計算できます。以上より Vag と Vbg を測定すれば SWR を計算できることが判りました。

$$V_{ag} = \frac{R4}{R3+R4} \cdot V_{fg} \dots\dots\dots(1)$$

$$V_{bg} = \frac{R2}{R1+R2} \cdot V_{fg} = \frac{V_{fg}}{2} \dots\dots\dots(2)$$

$$V_{ab} = V_{ag} - V_{bg} = \frac{R4-R3}{2 \cdot (R4+R3)} \cdot V_{fg} \dots\dots\dots(3)$$

反射係数 $\Gamma = V_{ab}/V_{bg} = \frac{R4-R3}{R4+R3} = \frac{R4-50}{R4+50} \dots\dots(4)$

定在波比 $SWR = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \dots\dots\dots(5)$

(1)~(4)式で明らかなように、Vfgのレベルが変動しても、反射係数 Γ および SWR の計算に影響しないのが判ります。相対値(比)の測定だけで製品を具体化できるのは、大きなメリットだし、従来機のように煩雑なキャリブレーション操作が不要なのは嬉しいことです。

RLBの正規化について

RLBを直流的な正規化の概念で眺めて見ます。R1(50Ω)とR2(50Ω)が直列接続されている基準辺図2-(イ)を50Ωで正規化すると(ロ)になります。測定辺ではどうでしょう？

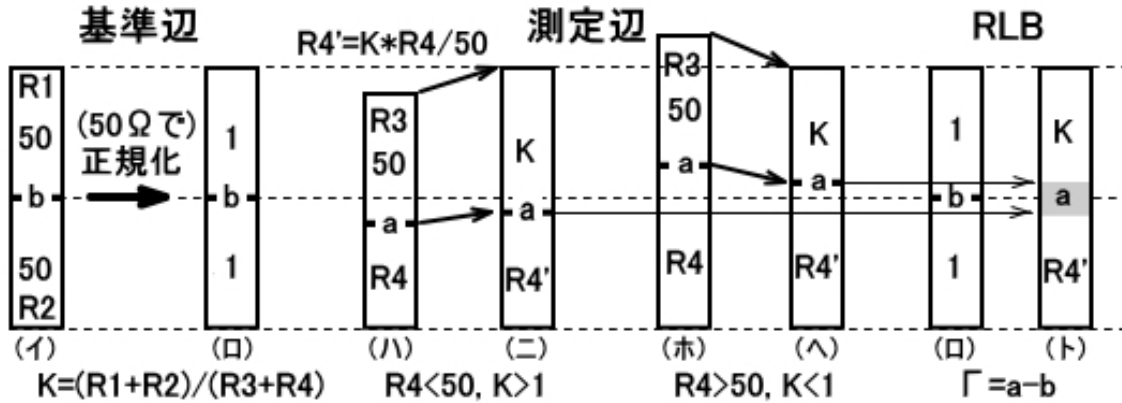


図2

$R4 < 50\Omega$ の場合は(ニ)になり、 $R4 > 50\Omega$ の場合は(ヘ)になります。即ち、 $R4$ の大小に関わらず $R3$ は K 、 $R4'$ は $K \cdot R4 / 50$ と表わせます。従って、正規化後のRLBは(ロ)と(ト)の関係に、つまり反射係数 Γ は $R4'$ から1を差引いた値になります。交流的な正規化概念は図7を参照。

それでは Γ の様子をグラフで眺めて見ます。

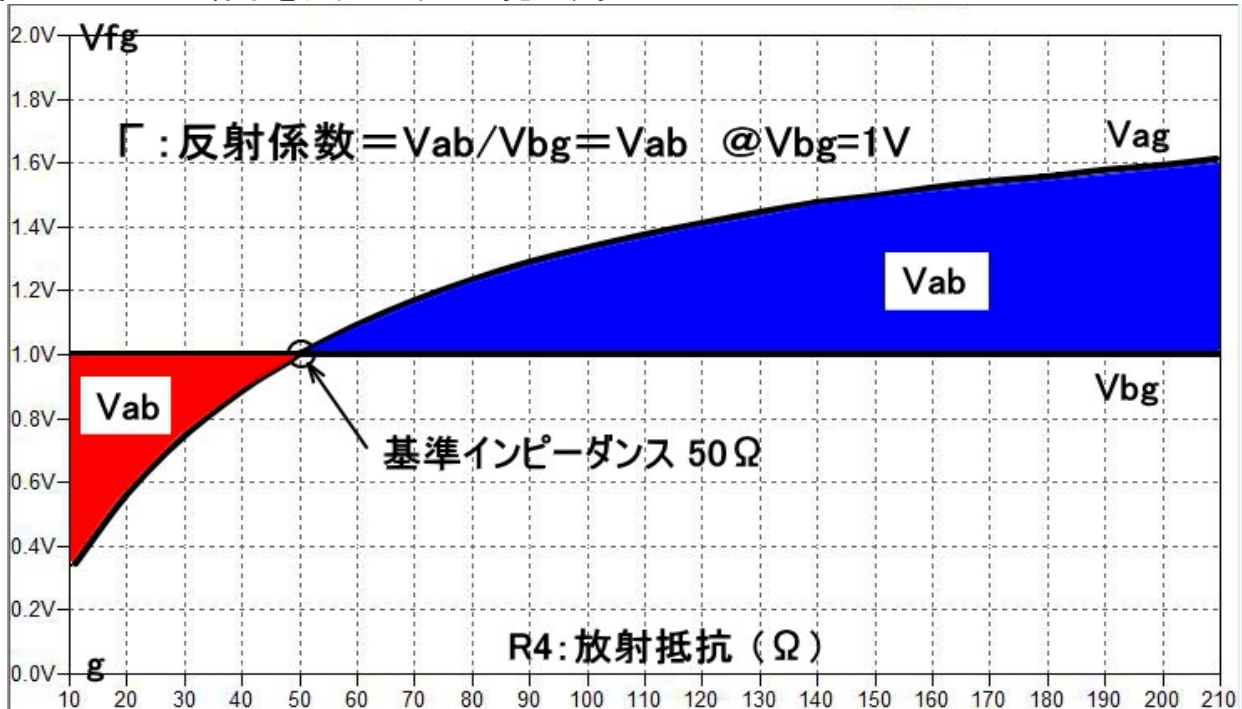


図3

図3はVfgを2(V)として、 $R4$ を10~210Ωの範囲で変化させた時のa点の電圧Vag(式(1))の様子です。式(2)のVbgは $R4$ の値に関わらず1V固定になります。式(3)のVabは $R4$ の値に応じて赤△と青△になります。式(4)の反射係数 Γ は各々の $R4$ に対応するVab値になります。

次に SWR の様子をグラフで眺めて見ます。

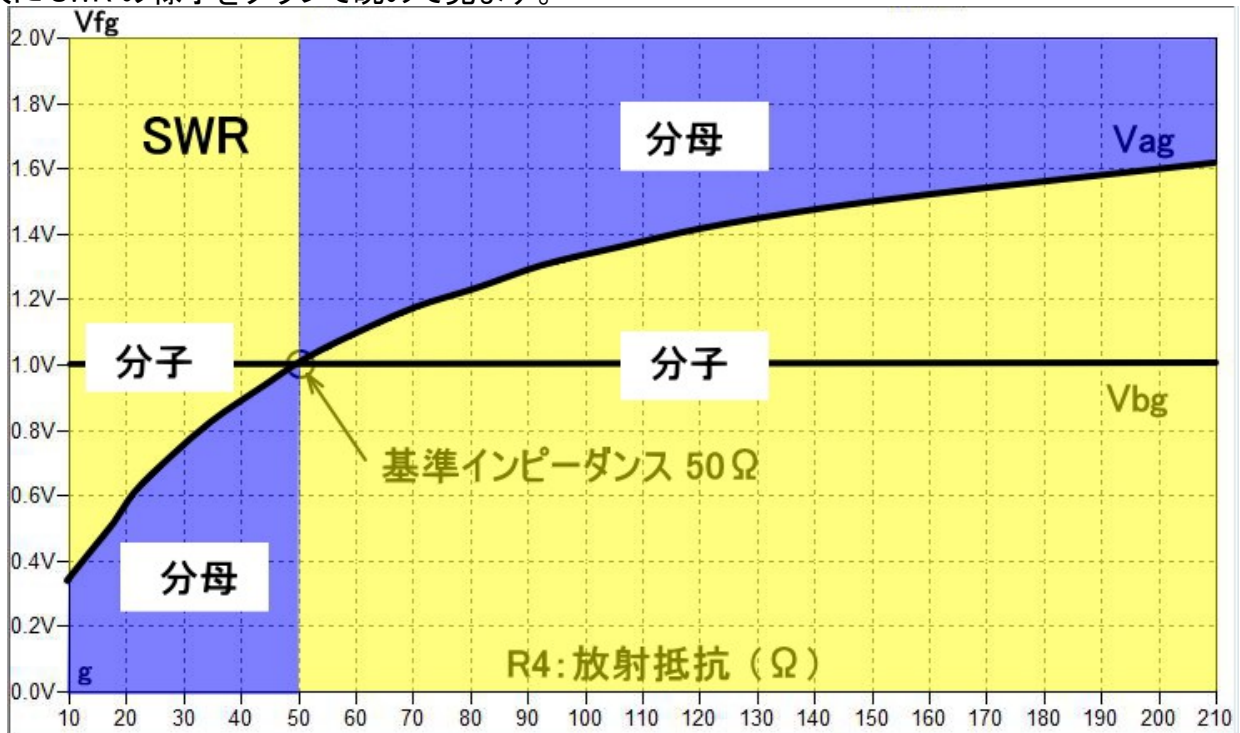


図4

式(5)の分子は図4に於いて黄色、分母は青色の部分に相当します。各々の R4 に対応する Vag から SWR の良否の予測ができると思います。

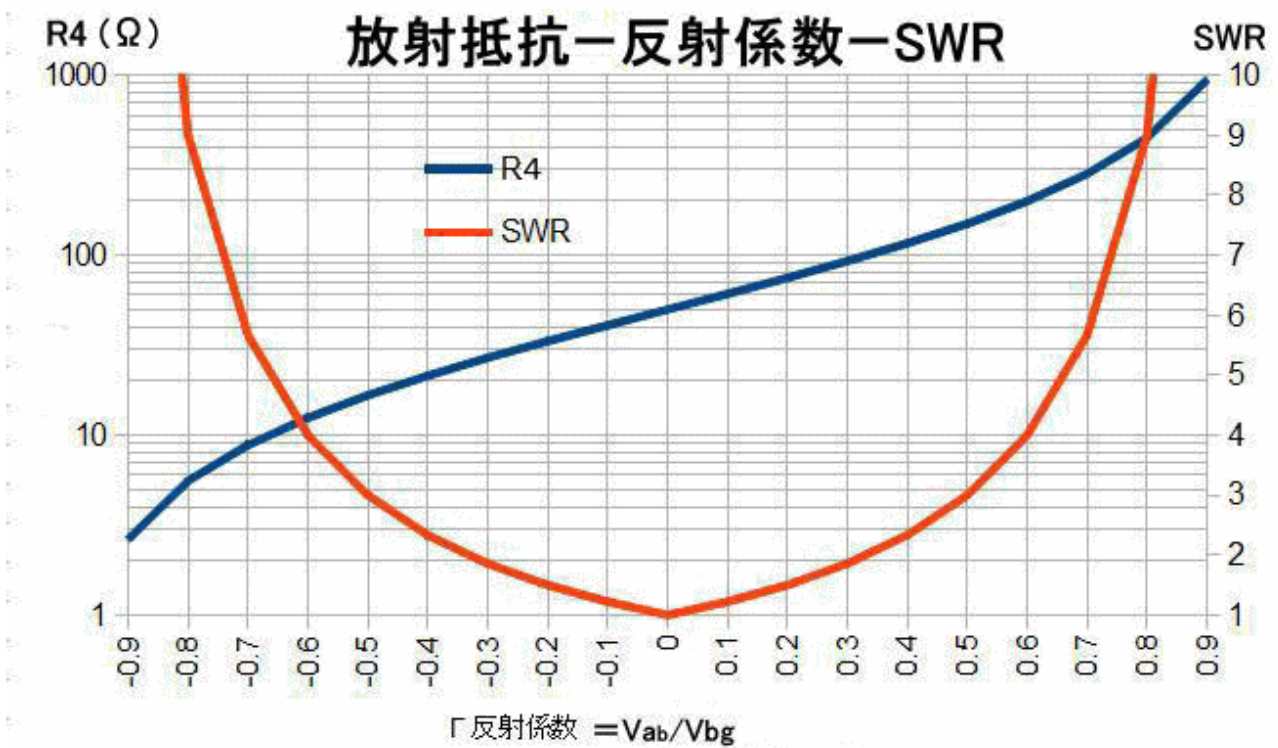


図5

図5は反射係数を-0.9~+0.9 の範囲で変化させた時の、放射抵抗 R4 と SWR の様子です。

以上より、 V_{ab} (すなわち反射係数 Γ) が正確に測定できれば、**ザックリ!** $SWR=1\sim 10$ 、 $R_4=1\sim 1000\ \Omega$ の範囲で実用的なアンテナ・アナライザが作れそうなのが判る。幸いこの目的にはアナログデバイス社の優れもの IC: [AD8302](#) LF ~ 2.7 GHz の RF/IF ゲインおよび位相検出器(概略図: 図6)が最適です。この IC は V_{ag} と V_{bg} の電圧比とその位相差 α を 60dB もの広いレンジで精度良く検出してくれます。位相差 α が検出できるので後述のようにアンテナの複素インピーダンスの測定(計算)が可能になります。

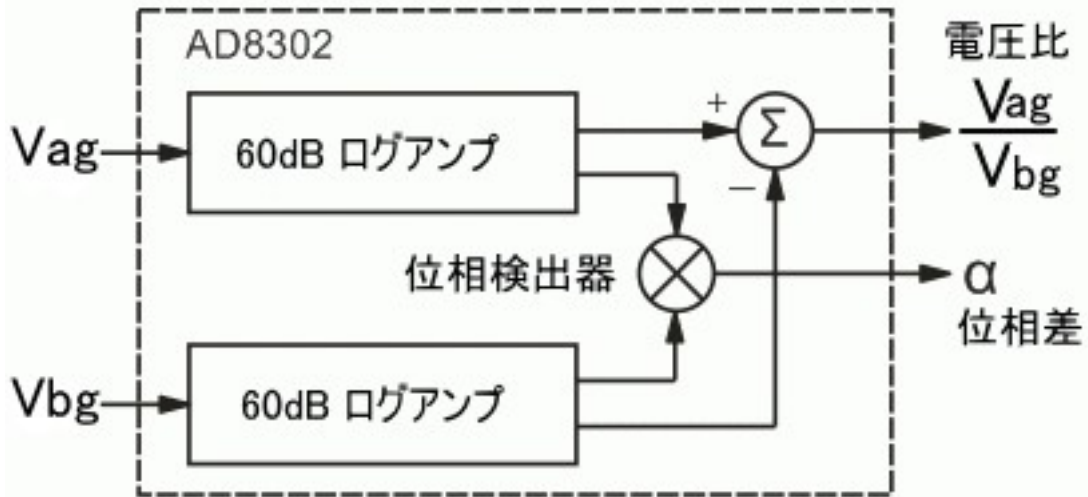


図 6

RLB の AC 的正規化

測定辺の正規化過程

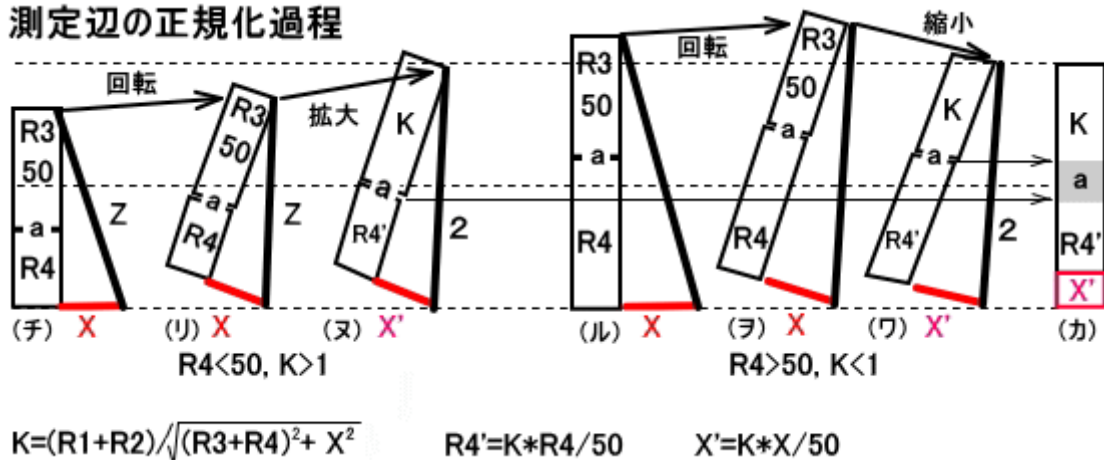


図 7

基準辺の正規化は AC/DC に関わらず同じで図2-(イ)、(ロ)を参照ください。測定辺にリアクタンス成分 X (図7はインダクタンスの例、キャパシタンスでは左右反転の図になります) が加わりますので $R_3 \cdot R_4$ との合成インピーダンスは上図 Z になります。それらの概念は図7-(チ)または(ル)です。正規化するには Z 軸を基準辺の軸まで回転させ、Z の大きさを基準辺の大きさに合わせます。

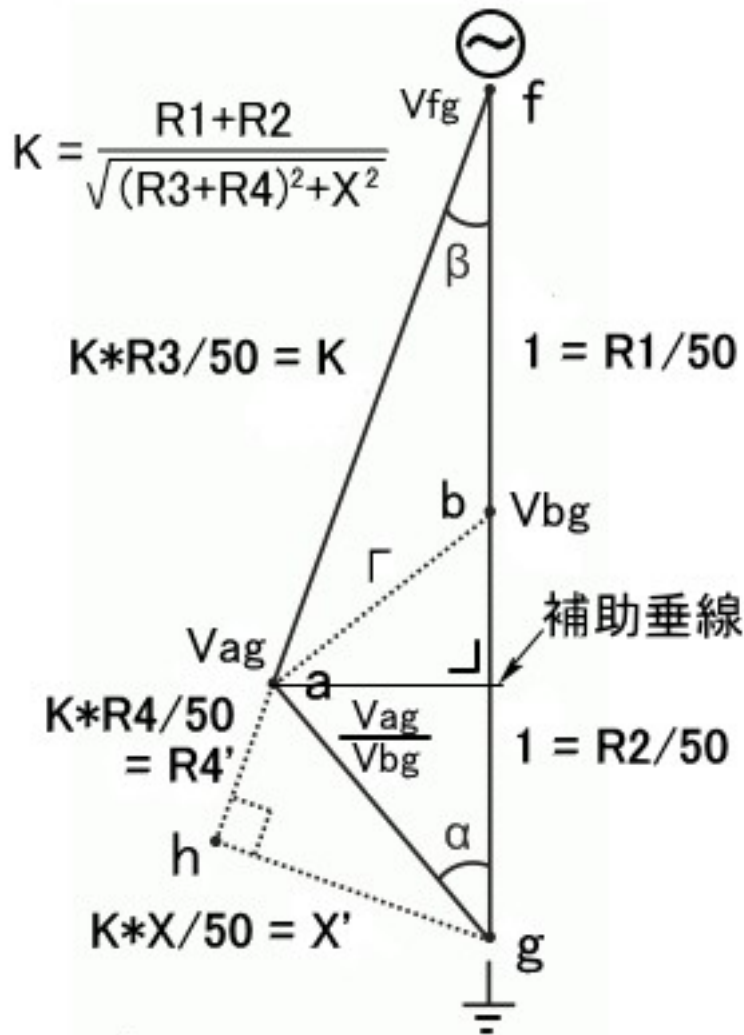


図 8

以上より諸量の比率は図8の関係になります。RLB で検出できる電圧 Vag と Vbg から AD8302 (図6)により電圧比 Vag/Vbg とその2信号の位相差 α を得て次式(6)により反射係数 Γ を Γ より定在波比 SWR を、さらには後続の式により R4、X を算出します。

AD8302 の出力 Vag/Vbg と α の関係は $\triangle abg$ になります。その $\triangle abg$ に着目し、点 a から辺 bg に補助垂線を引き Vag/Vbg と α で反射係数 Γ を表すと(6)式になります。

$$\begin{aligned}
 \text{反射係数 } \Gamma &= \sqrt{\left(1 - \frac{V_{ag}}{V_{bg}} \cdot \cos\alpha\right)^2 + \left(\frac{V_{ag}}{V_{bg}} \cdot \sin\alpha\right)^2} \\
 &= \sqrt{\left(\frac{V_{ag}}{V_{bg}}\right)^2 + 1 - \frac{2 \cdot V_{ag}}{V_{bg}} \cdot \cos\alpha} \quad \dots\dots\dots (6)
 \end{aligned}$$

定在波比 SWR は(6)式で計算した Γ より前出の(5)式で計算する。

$$\text{定在波比 SWR} = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad \dots\dots\dots (5)$$

アンテナの放射抵抗 R4 とリアクタンス X は、 $\angle afg$ に着目し同様の手法で V_{ag}/V_{bg} と α から K を計算して、その後に β を計算する。

$$K = \sqrt{\left(2 - \frac{V_{ag}}{V_{bg}} \cdot \cos\alpha\right)^2 + \left(\frac{V_{ag}}{V_{bg}} \cdot \sin\alpha\right)^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{V_{ag}}{V_{bg}}\right)^2 + 4 - \frac{4 \cdot V_{ag}}{V_{bg}} \cdot \cos\alpha} \quad \dots\dots(7)$$

$$\beta = \arcsin\left(\frac{V_{ag} \cdot \sin\alpha}{R3 \cdot K}\right) \quad \dots\dots\dots(8)$$

$\angle fgh$ に着目し、上で計算した K および β よりアンテナの放射抵抗 R4 を式(9)で、リアクタンス X を式(10)で計算します。

$$R4' = 2 \cdot \cos\beta - K = \frac{K \cdot R4}{50}$$

$$\therefore R4 = \frac{(2 \cdot \sin\beta - K)}{K} \cdot 50 \quad \dots\dots\dots(9)$$

$$X = \frac{2 \cdot \sin\beta}{K} \cdot 50 \quad \dots\dots\dots(10)$$

$$Z = \sqrt{R4^2 + X^2} \quad \dots\dots\dots(11)$$

$$K = \frac{R1 + R2}{\sqrt{(R3 + R4)^2 + X^2}} \quad \dots\dots\dots(12)$$

これで RLB の a 点と b 点の電圧より、アンテナのインピーダンス $Z=R4+jX$ を求めることができるのが判りました。アナライザのメモリスロットには周波数と R4 および X の値がセットで保存されます。SWR とかりターンロスなどはその3値から計算されてグラフまたは数値で表示されます。

それではその過程を眺めて見ます。1 ページの式(4)にリアクタンスを追加します。

反射係数 $\Gamma = V_{ab}/V_{bg} = \frac{R4 - R3}{R4 + R3} = \frac{R4 - 50}{R4 + 50} \quad \dots\dots(4)$

$$= \frac{(R4 - 50 + jX)}{(R4 + 50 + jX)} = \frac{((R4 - 50) + jX) \cdot ((R4 + 50) - jX)}{((R4 + 50) + jX) \cdot ((R4 + 50) - jX)}$$

$$= \frac{(R4^2 - 50^2 + X^2) + j2 \cdot 50 \cdot X}{R4^2 + 50^2 + X^2}$$

$$\Gamma \text{ real} = \frac{R4^2 - 50^2 + X^2}{R4^2 + 50^2 + X^2}$$

$$\Gamma \text{ imag} = \frac{2 \cdot 50 \cdot X}{R4^2 + 50^2 + X^2}$$

$$\Gamma = \sqrt{\Gamma \text{ real}^2 + \Gamma \text{ imag}^2}$$

定在波比 SWR $= \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad \dots\dots\dots(5)$

リターンロス RL $= 20 \cdot \log\left(\frac{SWR + 1}{SWR - 1}\right) \quad \dots\dots\dots(13)$

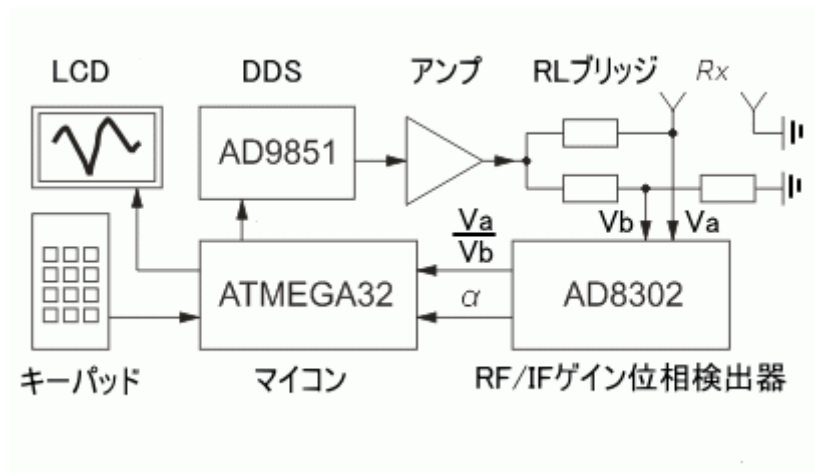


図-9

未完成 続く……