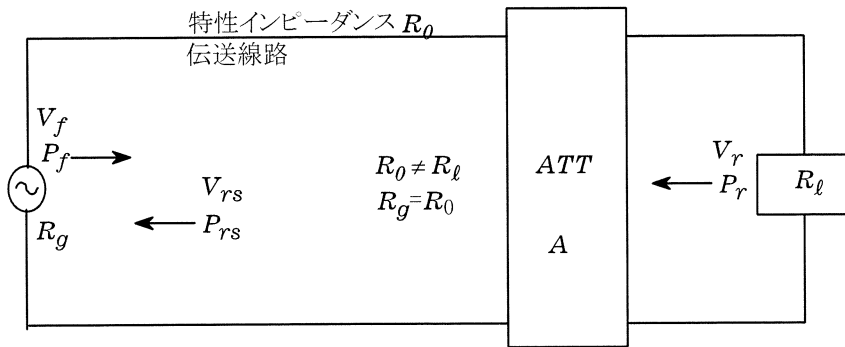


バイコニアアンテナ、ログペリアアンテナ等の広帯域アンテナの入力インピーダンスは50[Ω]と表示されているが、仕様範囲全域で50[Ω]に保たれているわけではない。周波数が変わることによって、また、グランドプレーンからアンテナまでの高さが変わることによって、その値は大きく変動する。インピーダンスが50[Ω]から外れたアンテナを特性インピーダンス50[Ω]の同軸ケーブルに接続すると、インピーダンスの不整合による反射が発生し、アンテナで捕捉された高周波電力を正確に測定出来なくなる。

そこでアンテナで捕捉された高周波電力を減衰器を介して同軸ケーブルに供給し、不整合による測定誤差を軽減させる方法がとられる。インピーダンスの不整合が減衰器によって改善される様子は、下図のような信号発生器、伝送線路、負荷からなる回路網を考えると理解しやすい。



- R_g : 信号発生器の内部インピーダンス
- P_f : 信号発生器から伝送路へ送出される電力
- V_f : 信号源送出電圧
- P_r : 負荷の反射電力
- P_{rs} : 信号源に戻った反射電力
- V_r : 負荷近傍の反射電圧
- A : ATT の減衰量
- V_{rs} : 信号源に戻った反射電圧
- R_l : 負荷抵抗

伝送路の特性インピーダンス R_0 と負荷インピーダンス R_l とが等しくない場合、負荷に向かって進行してきた電力は一部反射されて反射波 P_r となり、信号源に向かって戻る。伝送路の途中に減衰器 ATT があると、信号源に戻る反射電力は ATT による減衰を受け P_{rs} となる。これを数式で表すと次のようになる。

$$P_{rs} = AP_r \tag{1}$$

伝送路の特性インピーダンスを R_0 、負荷近傍での反射波電圧を V_r 、反射電力を P_r とすると

$$P_r = \frac{V_r^2}{R_0} \tag{2}$$

(1) 式と(2) 式から、信号源まで戻った反射電力 P_{rs} は

$$P_{rs} = A \frac{V_r^2}{R_0} \tag{3}$$

$$= \frac{V_{rs}^2}{R_0} \tag{4}$$

(3) 式と(4) 式とから、信号源に戻ってきた反射波電圧 V_{rs} は

$$V_{rs} = \sqrt{A} V_r \quad (5)$$

となる。

信号源から負荷を見た電圧定在波比を ρ_s とすると、電圧定在波比の定義から

$$\rho_s = \frac{V_s + V_{rs}}{V_s - V_{rs}} \quad (6)$$

(5)式と(6)式とから

$$\rho_s = \frac{V_s + \sqrt{A} V_r}{V_s - \sqrt{A} V_r} \quad (7)$$

負荷近傍の電圧定在波を ρ_l とする。

負荷近傍の負荷への入射電圧を V_{sl} とすると、 V_s が減衰器によって V_{sl} に減衰するのであるから

$$V_{sl} = \sqrt{A} V_s \quad (8)$$

従って ρ_l は電圧定在波比の定義から

$$\rho_l = \frac{V_{sl} + V_r}{V_{sl} - V_r} \quad (9)$$

(9)式に(8)式を代入すると

$$= \frac{\sqrt{A} V_s + V_r}{\sqrt{A} V_s - V_r} \quad (10)$$

(10)式を変形して V_r を求める

$$\sqrt{A} V_s + V_r = \rho_l \{ \sqrt{A} V_s - V_r \} \quad (11)$$

(11)式から

$$V_r (1 + \rho_l) = \sqrt{A} V_s (\rho_l - 1) \quad (12)$$

従って V_r は

$$V_r = \frac{\sqrt{A} V_s (\rho_l - 1)}{\rho_l + 1} \quad (13)$$

(13)式を (7)式に代入すると

$$\rho_s = \frac{V_s + \frac{A V_s (\rho_l - 1)}{\rho_l + 1}}{V_s - \frac{A V_s (\rho_l - 1)}{\rho_l + 1}} \quad (14)$$

$$= \frac{(\rho_l + 1) + A(\rho_l - 1)}{(\rho_l + 1) - A(\rho_l - 1)} \quad (15)$$

負荷と信号源との間に減衰器ATTを挿入した場合、信号源から見た見かけ上の電圧定在波(VSWR) ρ_s は(15)式から求めることが出来る。

逆に、信号源から見た見かけ上のVSWR ρ_s が測定によって判明しているとき、負荷のVSWR ρ_l を求める。

(15)式を変形すると

$$(\rho_\ell + 1) + A(\rho_\ell - 1) = \rho_S \{ (\rho_\ell + 1) - A(\rho_\ell - 1) \} \quad (16)$$

整理すると

$$\rho_\ell + 1 + A\rho_\ell - A = \rho_S \rho_\ell + \rho_S - A\rho_\ell \rho_S + A\rho_S$$

$$\rho_\ell (A+1) + (1-A) = -\rho_\ell \rho_S (A-1) + \rho_S (1+A)$$

$$\begin{aligned} \rho_\ell \{ (A+1) + \rho_S (A-1) \} &= \rho_S (A+1) - (1-A) \\ &= \rho_S (A+1) + (A-1) \end{aligned} \quad (17)$$

$$\rho_\ell = \frac{\rho_S (A+1) + (A-1)}{(A+1) + \rho_S (A-1)} \quad (18)$$

例題

1. 負荷のVSWR $\rho_\ell = 3$ の時、負荷と伝送線の接続点に電力減衰量 10dB の減衰器を挿入すると、伝送路入力から負荷を見た改善された見かけ上の VSWR ρ_S を求める。

(15)式を用いて

$$\begin{aligned} \rho_S &= \frac{(\rho_\ell + 1) + A(\rho_\ell - 1)}{(\rho_\ell + 1) - A(\rho_\ell - 1)} \\ &= \frac{(3+1) + 0.1(3-1)}{(3+1) - 0.1(3-1)} \\ &= \frac{4.2}{3.8} \\ &\cong 1.105 \end{aligned}$$

答え $\rho_S = 1.105$

VSWR:3 が 1.105 に改善された

2. 負荷と伝送線路との接続点に電力減衰量 10dB の減衰器が入っている。伝送線路の入力から見た VSWR ρ_S が 1.105 であるとき、負荷のVSWRを求める。

(18)式を用いて

$$\begin{aligned} \rho_\ell &= \frac{\rho_S (A+1) + (A-1)}{(A+1) + \rho_S (A-1)} \quad (19) \\ &= \frac{1.105 (0.1+1) + (0.1-1)}{(0.1+1) + 1.105 (0.1-1)} \\ &= \frac{0.3155}{0.1055} \\ &= 2.99052 \cong 3 \end{aligned}$$

答え $\rho_\ell \cong 3$

例題 1 の別解

信号源から送出される電力を P_f 、 ATT の減衰量を A 、負荷の電力反射係数を Γ とする。

ATT を通って負荷に入射する電力を P_{fA} とすると

$$P_{fA} = AP_f \quad (20)$$

負荷で反射する電力を P_{rA} とすると

$$P_{rA} = P_{fA}\Gamma \quad (21)$$

$$= AP_f\Gamma \quad (22)$$

信号源に戻ってきた反射を P_{rAA} とすると

$$P_{rAA} = P_{fA}^2\Gamma \quad (23)$$

信号源から見た見かけ上の電力反射係数を Γ_A とすると

$$\Gamma_A = \frac{P_{rAA}}{P_f} = \frac{P_{fA}^2\Gamma}{P_f} \quad (24)$$

$$= A^2\Gamma \quad (25)$$

ATT の減衰量は 10dB であるから、これを真数 A_{ATT} で表すと

$$A_{ATT} = 10^{-1.0} \quad (26)$$

$$= 0.1 \quad (27)$$

負荷の $VSWR$ $S_\ell = 3$ であるから、また電圧反射係数は $\sqrt{\Gamma}$ となるから

$$\sqrt{\Gamma} = \frac{3-1}{3+1} \quad (28)$$

$$\therefore \Gamma = 0.25 \quad (29)$$

(25) 式と (27), (29) 式の値から

$$\Gamma_A = 0.1^2 \times 0.25 = 2.5 \times 10^{-3} \quad (30)$$

ATT を挿入した時の見かけ上の $VSWR$ を S_A とすると

$$S_A = \frac{1+\sqrt{\Gamma_A}}{1-\sqrt{\Gamma_A}} \quad (31)$$

$$= \frac{1+0.05}{1-0.05} \quad (32)$$

$$= 1.10526 \quad (33)$$

同じ結果が得られた

また、(30) 式から、これをリターンロス R_{ls} で表すと、

$$R_{ls} = -10 \log(\Gamma_A) \quad (34)$$

$$= -10 \log(2.5 \times 10^{-3})$$

$$= 26.02 \quad [dB] \quad (35)$$

負荷の反射係数 Γ は(29)式から 0.25 であるから、負荷のリターンロス R_{lsld}

$$R_{lsld} = -10 \log(0.25)$$

$$= 6.02 \quad [dB] \quad (36)$$

(35),(36)式から 10dB のATT 挿入によって、負荷のリターンロス 6dB が
見かけ上 26 dB に改善された。

すなわち減衰量 10dB のATT を挿入することによって、信号源に戻ってくる反射電力は見かけ上 20 dB 小さくなり、
リターンロスは20dB 改善されたことになる。計算式を次式に示す。

$$R_{ls} [dB] = R_{lsld} [dB] + 2A_{ATT} [dB] \quad (37)$$

ここに

R_{ls} : ATT 挿入で改善された、送端から見た見かけ上のリターンロス

R_{lsld} : 負荷のリターンロス

A_{ATT} : ATT の減衰量

ただし、ATT を挿入することによって伝送すべき信号のレベルも減衰することに注意しなければならない。

参考資料

高周波・マイクロ波測定	コロナ社	大森俊一
マイクロ波回路	オーム社	林周一
高周波測定	電気通信学会	山本博