

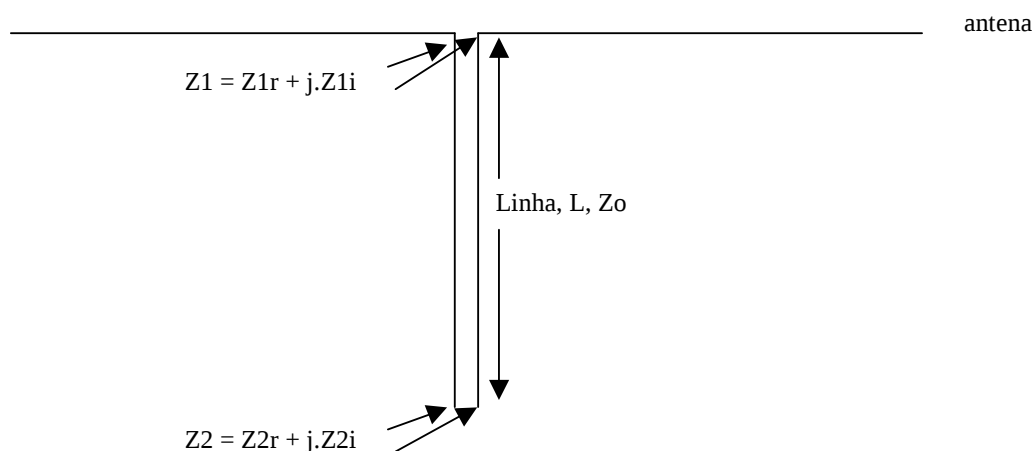
MEDINDO IMPEDÂNCIAS DE ENTRADA DE ANTENAS

Por Luiz Amaral
PY1LL/PY4LC

Utilizando-se equipamentos medidores de impedâncias de antenas (alguns muito conhecidos da comunidade radioamadorística), de medidores gerais de impedâncias (como alguns medidores vetoriais, não tão conhecidos assim) ou até mesmo de medidores caseiros, é relativamente simples se medir a impedância no extremo inferior da linha de transmissão conectada a uma antena. Mas isso não diz muito sobre a impedância de entrada da própria antena, pois esta se mostra transformada pela linha em seu extremo inferior.

A medida da impedância de entrada da própria antena feita localmente é difícil, pois se abaixarmos a antena a um nível fisicamente mais cômodo, as características elétricas mudam e a medida não tem nenhum valor. Efetuar a medição no local definitivo da antena apresenta a dificuldade física da eventual altura, além da perturbação dos parâmetros elétricos da antena pela proximidade do corpo de quem efetua a medição e do próprio equipamento de medida, o que, dependendo da frequência e outras grandezas incontrolláveis, pode ser fatal.

A melhor maneira de fazê-lo é com linha conectada, porém com parâmetros controlados, isto é, conhecendo-se a impedância característica da linha, seu comprimento físico, seu fator de velocidade e, se necessário, sua perda na frequência de operação. Com esta linha conhecida conectada à antena, mede-se a impedância refletida em seu extremo inferior e infere-se, então, a impedância de carga (a própria antena no extremo superior da linha). Veja a Figura abaixo.



Para efeitos práticos, pode-se considerar a linha como ideal (sem perdas) já que devemos sempre diminuir ao máximo estas últimas, mas os mais puristas podem executar o trabalho considerando as perdas também.

Para uma linha ideal de impedância Z_0 , de comprimento físico L , carregada por uma impedância Z_1 , a impedância refletida em seu outro extremo é Z_2 , dada por:

$$Z_2 = Z_0 \cdot [Z_1 + Z_0 \cdot j \cdot \tan(\beta \cdot L)] / [Z_0 + Z_1 \cdot j \cdot \tan(\beta \cdot L)] \quad [1]$$

Onde $\beta = 2 \cdot \pi \cdot L / \lambda$, com λ sendo o comprimento de onda no cabo, isto é, levando-se em conta o fator de velocidade:

$\lambda = v / f = \gamma \cdot c / f$, com v = velocidade da luz no cabo, γ = fator de velocidade do cabo, f = frequência de operação e j = unidade imaginária.

$$\text{Assim, } \beta = 2 \cdot \pi \cdot L \cdot f / (\gamma \cdot c) \quad [2]$$

De [1], pode-se tirar Z_1 , isto é, qual a impedância de carga Z_1 que corresponde a uma refletida medida Z_2 :

$$Z_1 = Z_0 \cdot [Z_2 - Z_0 \cdot j \cdot \tan(\beta \cdot L)] / [Z_0 - Z_2 \cdot j \cdot \tan(\beta \cdot L)] \quad [3]$$

Assim, o valor medido de Z_2 no extremo inferior da linha colocado na expressão [3], fazendo-se uso de [2], nos permite conhecer a impedância apresentada pela antena à linha no seu extremo superior.

Claro que tanto Z_1 como Z_2 podem ter componentes resistivas e reativas⁽¹⁾. Se a antena é uma carga ressonante, sua componente reativa é nula e, portanto, Z_2 é real.

Analisando [1], verifica-se que $Z_2 = Z_0$ se e somente se $Z_1 = Z_0$ ⁽²⁾, quando a relação de ondas estacionárias ROE = 1:1.

Este processo nos permite ajustar uma antena por medições sucessivas até que se consiga, quando possível, o desejado, isto é, $Z_2 = Z_0$ para um comprimento L qualquer, ou seja, uma ROE = 1:1, quando a perda total introduzida pelo cabo é mínima.

Para aumentar a velocidade do processo, a expressão [3] pode ser calculada por computador (ou calculadora programável) utilizando-se programa muito simples, lembrando que, na verdade, são calculadas separadamente as componentes reativa e resistiva da impedância Z_1 .

**Por Luiz Amaral
PY1LL/PY4LC**

⁽¹⁾ A parte resistiva das impedâncias é real e a reativa imaginária. Como foram desconsideradas as perdas, aqui Z_0 é real.

⁽²⁾ Para comprimento de cabo finito, o que é o caso aqui.

Assim, se Z_1 e Z_2 têm as componentes Z_{1r} e Z_{1i} e Z_{2r} e Z_{2i} , onde r = real e i = imaginária^{3}, temos:

$$Z_1 = Z_{1r} + j \cdot Z_{1i}$$

$$Z_2 = Z_{2r} + j \cdot Z_{2i}$$

Pode-se escrever [3] como:

$$Z_{1r} + j \cdot Z_{1i} = Z_0 \cdot [Z_{2r} + j \cdot Z_{2i} - j \cdot Z_0 \cdot \operatorname{tg}(\beta \cdot L)] / [Z_0 - j \cdot (Z_{2r} + j \cdot Z_{2i}) \cdot \operatorname{tg}(\beta \cdot L)]$$

Igualando-se os termos reais e imaginários nos dois membros, tem-se:

$$Z_{1r} = Z_0^2 \cdot Z_{2r} \cdot [1 + \operatorname{tg}^2(\beta \cdot L)] / \{ [Z_0 + Z_{2i} \cdot \operatorname{tg}(\beta \cdot L)]^2 + Z_{2r}^2 \cdot \operatorname{tg}^2(\beta \cdot L) \} \quad [4]$$

$$Z_{1i} = Z_0 \cdot \{ (Z_{2i}^2 + Z_{2r}^2 - Z_0^2) \cdot \operatorname{tg}(\beta \cdot L) + Z_0 \cdot Z_{2i} \cdot [1 - \operatorname{tg}^2(\beta \cdot L)] \} / \{ [Z_0 + Z_{2i} \cdot \operatorname{tg}(\beta \cdot L)]^2 + Z_{2r}^2 \cdot \operatorname{tg}^2(\beta \cdot L) \} \quad [5]$$

Dessa forma mede-se Z_{2r} e Z_{2i} com o medidor de impedâncias no extremo inferior do cabo aplicando-se seus valores em [4] e [5], obtendo-se, então, Z_{1r} e Z_{1i} .

Vejam os um caso especial, quando a antena é ressonante, ou seja, $Z_{2i} = 0$ e o comprimento do cabo é múltiplo de $\frac{1}{2}$ onda, ou seja, $\beta = 0$ ou $\operatorname{tg}(\beta \cdot L) = 0$. Nesse caso, temos:

$$Z_{1r} = Z_0^2 \cdot Z_{2r} / Z_0^2$$

$$Z_{1i} = Z_0^2 \cdot Z_{2i} / Z_0^2$$

ou $Z_{1r} = Z_{2r}$ e $Z_{1i} = 0$, como já era esperado.

Se além disso, $Z_{2r} = Z_0$, isto é, ROE = 1:1, $Z_{1r} = Z_0$, obviamente.

O processo de medida, apesar de indireto, tem vantagens por levar a um resultado mais confiável devido à não interferência de fatores espúrios como as modificações introduzidas por proximidades de condutores, etc.

É importante lembrar que, antes de a antena ser posta em seu lugar onde serão efetuadas as medidas, a linha de transmissão deve ser medida em seu comprimento físico L . Não se pode esquecer de ter em mãos sua impedância característica Z_0 , seu fator de velocidade γ e a frequência f em que se vai trabalhar com a antena.

Se a medida levar a resultados não satisfatórios, modificações na antena como altura, comprimento, ângulo no ápice (se couber), etc, devem ser efetuadas e nova medida executada. O processo se repete até se obter os resultados desejados.

Desenvolvi um programa que roda em Windows, chamado aria.zip que executa todos esses cálculos.

**Por Luiz Amaral
PY1LL/PY4LC**

^{3} Tanto a componente real como a imaginária são números reais nessa notação.