

A impedância característica de um cabo qualquer pode ser medida numa dada frequência aplicando-se um sinal senoidal numa das extremidades, medindo-se a tensão e a corrente no cabo. Para “baixas frequências” ($R \gg j\omega L$), faz-se a medida com a outra extremidade do cabo em aberto, obtendo-se a impedância pela expressão :

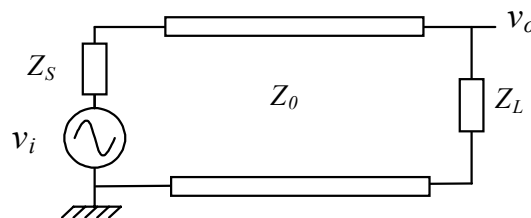
$$Z_{0LF} = \frac{\vec{v}_c}{\vec{i}_c}$$

Os valores de \vec{v}_c e \vec{i}_c são complexos, devendo-se levar em consideração na medida tanto sua amplitude quanto a fase.

Para “altas frequências”, faz-se necessário duas medidas efetuadas numa dada frequência, uma com a extremidade do cabo em aberto (Z_{OC}) e outra com a extremidade em curto circuito (Z_{SC}), obtendo-se a impedância pela expressão :

$$Z_{0HF} = \sqrt{Z_{OC} \cdot Z_{SC}}$$

Em altas frequências, para que haja um perfeito casamento de impedâncias entre a fonte e a carga, é necessário que a impedância do cabo Z_0 seja idêntica à Z_S e Z_L . Pelo gráfico mostrado anteriormente é evidente que essa condição só é atingida a partir de uma determinada frequência de operação.



Nesta condição, a potência transferida para a carga Z_L é máxima e igual a:

$$P_{L_{\max}} = \frac{1}{2} \frac{v_i^2}{(Z_S + Z_L)} = \frac{v_i^2}{4Z_L}$$

A potência "dissipada" em Z_S é idêntica à P_{Lmax} , considerando-se as perdas no cabo desprezíveis. Apesar da impedância do cabo ser idêntica à Z_S e Z_L , este não absorve potência da fonte pois possui apenas componentes reativos.

Nessa condição a tensão de saída v_o é :

$$v_o = \frac{v_i}{2}$$

ou seja, metade da tensão da fonte v_i permanece na sua impedância equivalente Z_S sendo a outra metade transferida efetivamente para a carga. O conceito tradicional do divisor de tensão não se aplica à impedância do cabo Z_0 .

Se a impedância da carga Z_L for puramente resistiva e $Z_0=Z_L$, a impedância total "vista" pela fonte é puramente resistiva e igual à Z_0 , ou seja, as componentes reativas (capacitiva e indutiva) presentes no cabo não são "vistas" pela fonte.

Quando o comprimento do cabo é muito curto comparado ao comprimento de onda do sinal (tipicamente $l < \lambda/10$), a impedância do cabo passa a ter um efeito desprezível no circuito e o cabo pode ser considerado como um "curto-circuito", não necessitando ter uma impedância igual à Z_S .

Reflexão de sinais

Dado um sistema elétrico composto por fonte de sinal + cabo + carga, caso as impedâncias entre os elementos não esteja corretamente casada, ocorre um retorno de parte do sinal emitido pela fonte de volta para a própria fonte, após ter atingido a carga. Esse retorno é chamado reflexão pois se assemelha à reflexão da luz ao atingir uma superfície que não absorve completamente a radiação. Caso as impedâncias estejam casadas, toda a potência emitida é absorvida pela carga, de modo semelhante à luz que incide em um corpo negro.

Supondo $Z_S = Z_0 \neq Z_L$, ao sair da fonte, o sinal se propaga pelo cabo até à carga onde sofre uma reflexão e retorna à fonte. O tempo decorrido entre a emissão do sinal e o retorno da reflexão à fonte (t_r) é o dobro do tempo de propagação da OEM no cabo :

onde l é o comprimento do cabo e v a velocidade de propagação da OEM.

O sinal refletido tem a mesma forma do sinal original (se a carga for puramente resistiva), sendo que sua amplitude depende do descasamento entre as impedâncias. O parâmetro utilizado para analisar a reflexão em uma carga é definido como coeficiente de reflexão (Γ_L) e representa a amplitude do sinal refletido na carga em relação à amplitude do sinal original (incidente) :

Uma vez que a impedância da fonte do sinal está corretamente casada com a impedância do cabo, o coeficiente de reflexão Γ_L pode ser calculado a partir das impedâncias complexas do cabo (Z_0) e da carga (Z_L) pela seguinte expressão :

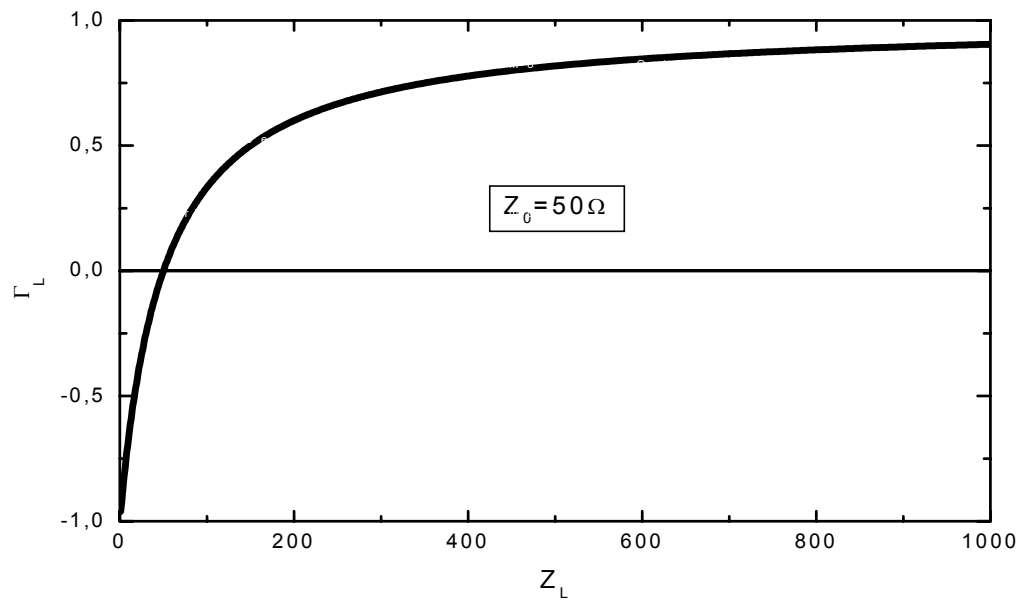
$$\Gamma_L = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$

Em alguns casos é interessante normalizar Z_L em relação à Z_0 , levando à expressão :

$$\Gamma_L = \frac{z - 1}{z + 1} \quad z = \frac{Z_L}{Z_0}$$

onde z é a impedância da carga normalizada.

Γ_L é um número complexo, podendo ter ou não sua parte imaginária igual à zero dependendo de Z_L , uma vez que Z_0 é uma impedância real (considerando-se uma frequência do sinal suficientemente elevada para que a parte imaginária de Z_0 possa ser desprezada). O coeficiente de reflexão varia de -1 ($Z_L = 0 \rightarrow$ curto circuito) à + 1 ($Z_L = \infty \rightarrow$ circuito aberto), sendo igual à zero quando as impedâncias estão perfeitamente casadas. A figura a seguir mostra a variação do coeficiente de reflexão Γ_L em função da impedância Z_L , para uma impedância do cabo $Z_0 = 50\Omega$.



Observa-se que o sinal refletido pode apresentar tanto polaridade positiva quanto negativa em relação ao sinal original. Havendo "descasamento" de impedâncias, a potência do sinal refletido retorna à fonte e nela é dissipada, podendo em alguns casos ser suficiente para danificar seu estágio de saída.

O coeficiente de reflexão Γ_L é também chamado de parâmetro S_{11} , nomenclatura utilizada pelo analisador de parâmetros de redes (*Network Analyzer*, instrumento de medida dos parâmetros "S" de dispositivos), encontrada também em catálogos de componentes para altas frequências.

Alterações na geometria do cabo (tais como emendas, conexões mal feitas, conectores inadequados, dobras acentuadas) alteram localmente a sua impedância e provocam conseqüentemente reflexões adicionais no sinal. Dessa forma é importante que sejam utilizados cabos sem emendas e conectores com impedância característica igual à do próprio cabo.

Numa medição em alta frequência, o instrumento (osciloscópio, analisador de espectros, etc) é em geral considerado como uma carga. Para minimização dos erros de medição, é importante que a impedância de entrada do instrumento seja "casada" com o sistema a ser medido. As pontas de prova convencionais em geral não permitem este casamento, sendo portanto desaconselhadas para medidas em altas frequências. Neste caso são utilizados cabos coaxiais padrão (50Ω ou 75Ω) para conexão e uma carga "puramente" resistiva o mais próximo possível da entrada do instrumento, de valor idêntico à impedância do cabo. Alguns instrumentos já possuem a opção de 50Ω como impedância de entrada.

Após o casamento de impedâncias do instrumento com o sistema, a amplitude (tensão) medida fica igual à metade da amplitude original da fonte sem carga. Isso não representa um erro pois o sistema já prevê uma operação nestas condições de tensão e impedância.

Em determinadas situações é necessário a medida do sinal com a entrada do instrumento em alta impedância. Neste caso pelo menos uma das cargas ligadas às extremidades do cabo deve estar "casada" com o mesmo de modo a evitar reflexões.