

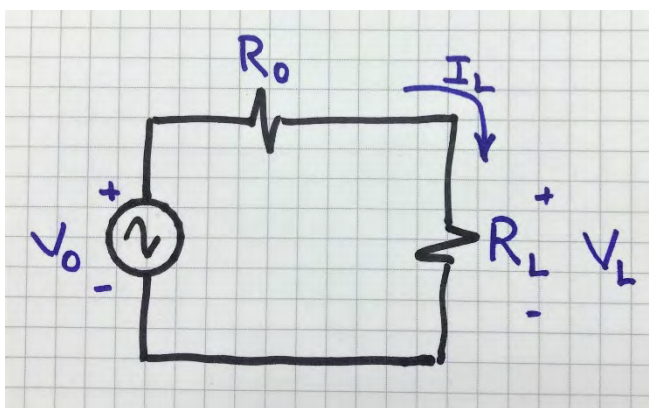
# Teorema da máxima transferência de potência e o amplificador de áudio

10 março 2018  
Fabio Montoro

O teorema afirma que “**dada uma fonte com uma determinada resistência interna, a máxima transferência de potência para uma carga resistiva se dará quando a resistência interna da fonte for igual à da carga**”.

A figura ao lado mostra uma fonte de tensão ( $V_0$ ) com sua resistência interna ( $R_0$ ), e uma carga resistiva ( $R_L$ ), para onde se deseja transferir o máximo de potência oriunda da fonte.

O circuito fechado gera uma corrente  $I_L$  que passa pela carga, provocando a potência  $P_L$ .



Para se entender bem o texto do teorema é preciso atentar para a condição inicial.

$$\begin{aligned} P_L &= V_L \cdot I_L \\ I_L &= \frac{V_0}{R_0 + R_L} \\ P_L &= \frac{V_L \cdot V_0}{R_0 + R_L} \end{aligned} \quad \begin{array}{l} \text{e} \\ \\ \therefore \end{array} \quad \begin{aligned} V_L &= \frac{R_L \cdot V_0}{R_0 + R_L} \\ P_0 &= \frac{R_L \cdot V_0^2}{(R_0 + R_L)^2} \end{aligned}$$

fazendo

$$V_0 = 1$$

fica

$$P_L = \frac{R_L}{(R_0 + R_L)^2} \quad (1)$$

Para calcular o valor máximo da potência (equação 1) em função da variação da resistência da carga, consideramos que a resistência da fonte é conhecida e constante, e temos que derivar a equação em relação à variável “ $R_L$ ”

Sabendo que

$$\partial \left( \frac{u}{v} \right) = \frac{v \cdot \partial u - u \cdot \partial v}{v^2} \quad (2)$$

Para obter o  
máximo  $P_L$

$$\frac{\partial P_L}{\partial R_L} = 0$$

$$(2) \rightarrow (1) \quad \frac{(R_0 + R_L)^2 \cdot 1 - R_L \cdot 2 \cdot (R_0 + R_L)}{(R_0 + R_L)^4} = 0$$

$$\therefore (R_0 + R_L)^2 - R_L \cdot 2 \cdot (R_0 + R_L) = 0$$

$$(R_0 + R_L) - R_L \cdot 2 = 0$$

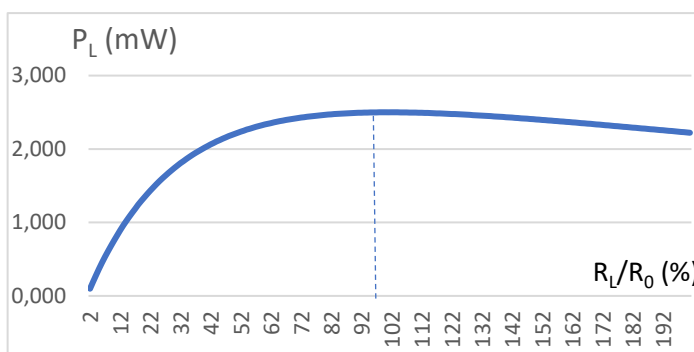
$$R_0 - R_L = 0$$

finalmente

$$R_L = R_0$$

A conclusão é que, para se obter a máxima transferência de potência, a resistência da carga deve ser igual à resistência de saída da fonte.

O gráfico ao lado mostra a variação da potência na carga em função da relação percentual entre as resistências (eixo horizontal). Considerei  $R_0 = 100 \, \Omega$ . O valor máximo ocorre quando a relação entre as resistências é de 100%, ou seja, elas são iguais.



Quando se trata de amplificador de áudio, é comum haver um falso entendimento de que a resistência de saída do amplificador deve ser igual à resistência nominal da carga (alto-falante).

Apesar de ser chamado de “amplificador de potência”, sua função verdadeira é amplificar a tensão elétrica em sua entrada e entregar uma tensão elétrica maior para a carga. Podemos até dizer que o nome “amplificador de potência” é inadequado, mas isso é outra história!

Já que ele é um “amplificador de tensão”, o teorema da máxima transferência de potência não se aplica ao amplificador de áudio. Na verdade, o amplificador deve executar a “máxima transferência de tensão elétrica” e, para isso, sua resistência interna deve ser bem menor que a da carga (e não igual).

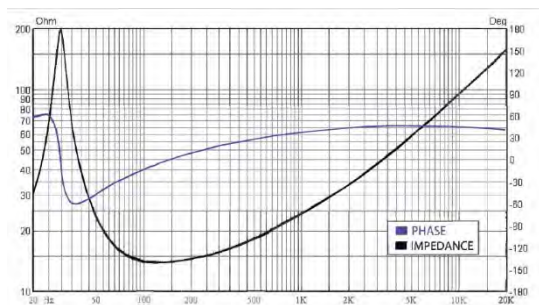
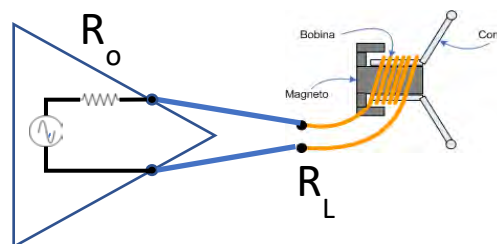
No mundo real, a resistência nominal da carga varia na faixa de 2 a 32  $\Omega$ , sendo mais comum estar na faixa de 2 a 8  $\Omega$ .

Assim, o amplificador deve ter uma resistência “bem menor” que 2  $\Omega$ . Mas o que se entende por “bem menor”? Em áudio, podemos considerar que seria uma relação de pelo menos, dez vezes. Então, um amplificador de áudio, para alimentar uma carga de 2  $\Omega$ , com um mínimo de qualidade, teria que ter uma resistência de saída menor que 0,2  $\Omega$ . Importante ressaltar que quanto menor a resistência de saída do amplificador, melhor ele é. Um exemplo prático: o amplificador modelo nXp1504, fabricado pela Ashly, possui uma

resistência de saída de apenas  $0,032\ \Omega$ , ou seja, 250 vezes maior que uma resistência de carga nominal de  $8\ \Omega$ .

Na prática, a carga de um amplificador de áudio não é uma “resistência pura”. É uma impedância, principalmente em função de sua bobina interna, assim, sua resistência varia com a frequência.

A figura ao lado representa um amplificador alimentando um alto-falante (carga).



A figura à esquerda mostra a curva de resistência de um alto-falante de  $16\ \Omega$  (em preto), onde pode-se ver que há um valor mínimo em torno  $14\ \Omega$  para 120 Hz e um valor máximo de  $200\ \Omega$  para 40 Hz. Após o valor mínimo, a resistência vai crescendo com a frequência até chegar em  $150\ \Omega$  para 20 kHz. Então, o fabricante divulga o valor nominal da resistência do alto-falante, que é de  $16\ \Omega$ .

O amplificador deve ser capaz de fornecer corrente para a carga que o fabricante diz que ele suporta, até atingir a potência que o fabricante indica em sua especificação.

Quanto menor a resistência da carga, mais difícil fica para o amplificador, pois ele deve fornecer mais corrente. Então, pelo gráfico do alto-falante, a pior situação para o amplificador seria ele ter que amplificar um sinal senoidal de 120 Hz. Por outro lado, ele ficaria mais “tranquilo” se tivesse que amplificar um sinal de 10 kHz, por exemplo.

Quanto menor a resistência de saída do amplificador, melhor ele é, pois é mais capaz de transferir a tensão de entrada para a carga.

É comum os fabricantes indicarem o parâmetro chamado de “Fator de Damping” em seus folhetos técnicos, que nada mais é que a relação entre a resistência de carga e a resistência de saída do amplificador e, conforme vimos, é desejável que seja a maior possível. Então, no exemplo citado, o amplificado Ashly tem um fator de damping de 250.

- o - O - o -

Fabio Montoro é Diretor de Tecnologia da Rhox Networking, mestre em Engenharia Elétrica pela UnB e autor de livros na área de telecomunicações. Contato: (61) 3051-5800

