

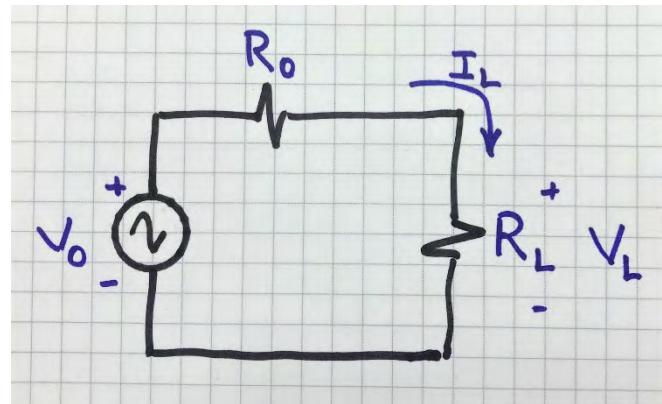
# Teorema da máxima transferência de potência e o amplificador de áudio

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.

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

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  $P_L$

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

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

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

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

$$R_0 - R_L = 0$$

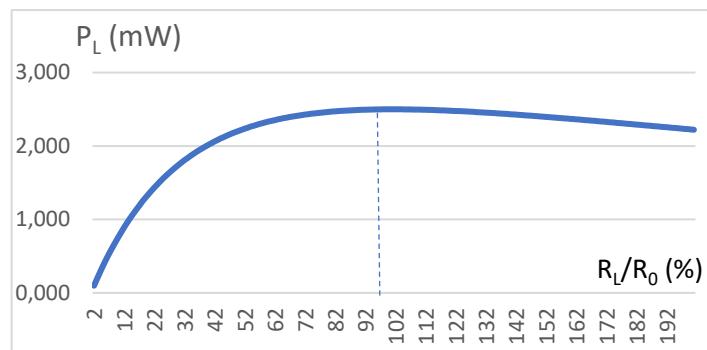
finalmente

$$R_L = R_0$$

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).

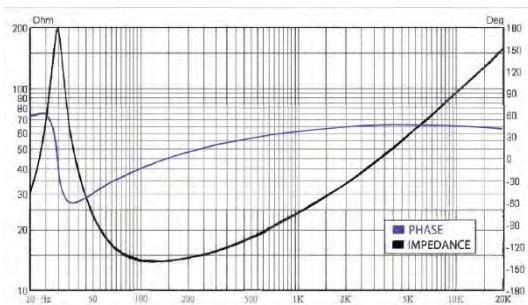
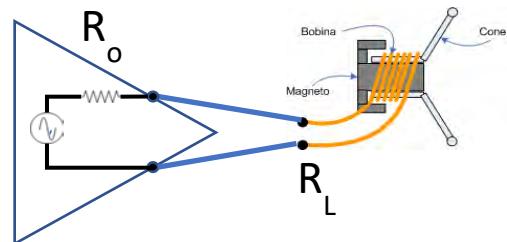
No mundo real, a resistência nominal da carga varia na faixa de 2 a 32  $\Omega$ , sendo mais comum estar na faixa de 2 a 8  $\Omega$ .

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  $120 \text{ Hz}$  e um valor máximo de  $200 \Omega$  para  $40 \text{ Hz}$ . Após o valor mínimo, a resistência vai crescendo com a frequência até chegar em  $150 \Omega$  para  $20 \text{ kHz}$ . 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  $120 \text{ Hz}$ . Por outro lado, ele ficaria mais “tranquilo” se tivesse que amplificar um sinal de  $10 \text{ kHz}$ , 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 Rox Network, mestre em Engenharia Elétrica pela UnB e autor de livros na área de telecomunicações. Contato: (61) 3051-5800

