T1 - O circuito RLC como filtro de frequência (série e paralelo)

1 Introdução

Neste trabalho iremos analisar o comportamento e algumas aplicações de circuitos RLC, em ressonância, quer em série quer em paralelo.

Entre outras aplicações, como por exemplo modelação ou acoplamento, os circuitos contendo combinações de bobinas, condensadores e resistências (RL, RC e RLC) são vulgarmente usados como filtros de frequência, podendo operar como filtros passa-banda, em que apenas uma gama seleccionada de frequências é transmitida, filtros de rejeição de banda, com uma função complementar dos anteriores, ou como filtros passa-alto/baixo, em que as baixas/altas frequências associadas a um sinal original são eliminadas de acordo com um critério previamente estabelecido. A figura abaixo ilustra algumas das configurações possíveis.

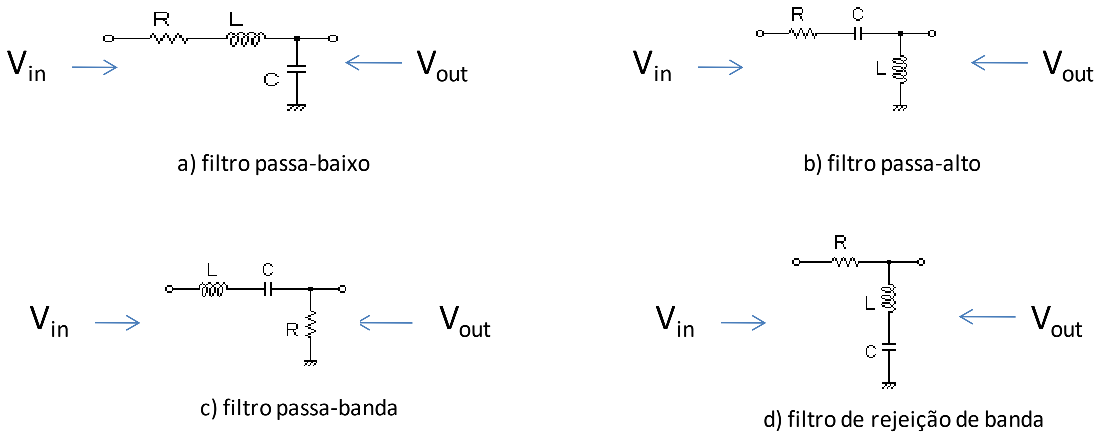

Figura 1 – Aplicações de configurações RLC como filtros de frequência.

Vejamos, a título de exemplo, as configurações das figuras 1 c) e 1 d). Na situação de ressonância, a diferença de fase de

180° que se estabelece entre as reactâncias indutiva (Z_L) e capacitiva (Z_C) faz com que a reactância total se anule:

$$Z_L\left(= j\omega L\right)+ Z_C\left(=\frac{1}{j\omega C}\right)=0 \quad , \tag{1}$$

o que resulta numa frequência de ressonância dada por:

$$\omega_0=\frac{1}{\sqrt{LC}} \quad , \tag{2}$$

para a qual o circuito é então puramente resistivo (a saída está em fase com a entrada).

Assim, no circuito RLC da figura 1 d) teremos, na vizinhança da frequência de ressonância, uma baixa impedância de saída (no limite nula) e por isso sinais de pequena amplitude. Pelo contrário, no circuito RLC da figura 1 c) teremos, na vizinhança da frequência de ressonância, uma elevada impedância de saída e por isso sinais de grande amplitude. Na figura 2, onde se traça o ganho ($|V_{out}/V_{in}|$).em função da frequência, ilustra-se a resposta destes circuitos.

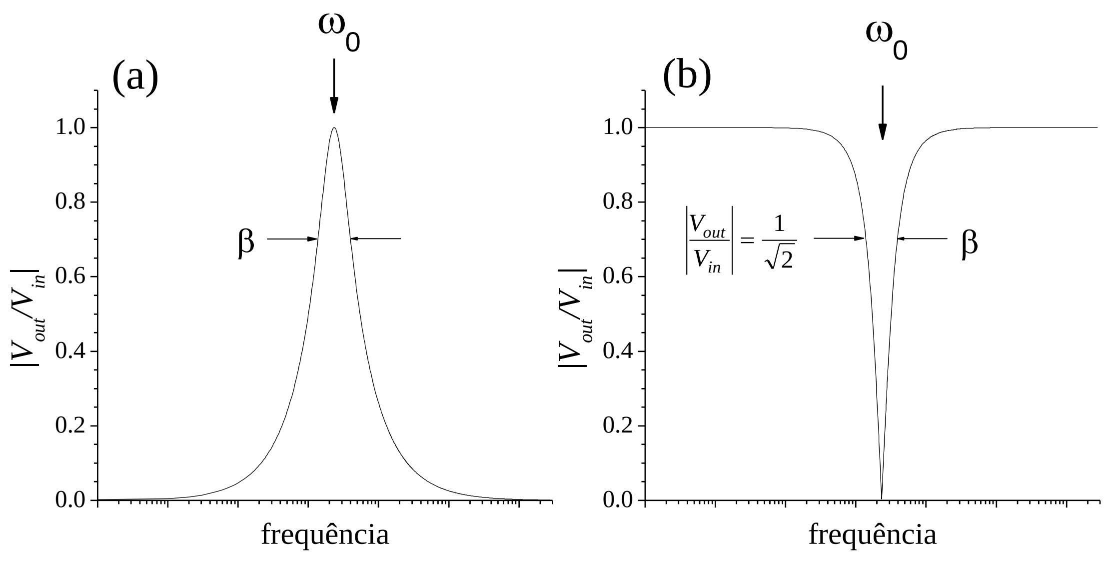

Figura 2 – Resposta de um filtro passa-banda (a) e de um filtro de rejeição de banda (b).

Assim, o sinal de saída medido aos terminais da série condensador/bobina configurará um filtro de rejeição de banda, enquanto o sinal aos terminais da resistência configurará um filtro passa-banda.

Quando o condensador e a bobina são ligados em paralelo (ver figura 3) as correntes respectivas (i_C e i_L) estarão, em ressonância, desfasadas de 180°, anulando-se entre si. Ou seja, um circuito RLC paralelo, em ressonância, não deixa passar corrente o que significa a existência de uma resistência muito elevada (no limite um circuito aberto). Nestes circuitos e para frequências na vizinhança da frequência de ressonância, a saída será então constituída por sinais de grande amplitude. Ou seja, a saída, medida aos terminais do paralelo condensador/bobina configurará um filtro passa-banda.

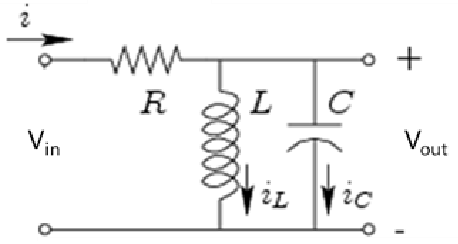

Figura 3 – Circuito RLC paralelo.

Esta capacidade de selecção de frequências faz com que este tipo de aplicação seja, obviamente, muito importante, por exemplo em receptores de rádio e televisão

Define-se largura de banda (usualmente representada pela letra β) como a gama de frequências para as quais a amplitude dos sinais de saída é superior (no caso do filtro passa-banda) ou inferior (no caso do filtro rejeição de banda) à amplitude do sinal de entrada a dividir por $\sqrt{2}$. Isto é, as duas frequências ω_1 e ω_2 para as quais:

$$\left|\frac{V_{out}}{V_{in}}\right| = \frac{1}{\sqrt{2}} \tag{3}$$

permitem definir a largura de banda β:

$$\beta = \omega_2 - \omega_1 \tag{4}$$

As larguras de banda dos filtros passa-banda e rejeição de banda estão marcadas na figura 2.
Obviamente que, se pretendermos um circuito que faça uma grande selectividade de frequências, teremos de garantir uma pequena largura de banda. A escolha das frequências a selecionar dependerá então quer da frequência de ressonância quer da largura de banda. Esta característica é expressa pelo chamado factor de qualidade (ou abreviadamente factor *Q*) para o circuito RLC em ressonância, definido por $Q = \omega_{\text{Ress}}/\beta$ $(=\omega_0/\beta)$.

Para o caso particular do <u>circuito RLC série</u> teremos:

$$\beta = \omega_2 - \omega_1 = \frac{R}{L} \tag{5}$$

e

$$Q = \frac{\omega_0}{\beta} = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}} \tag{6}$$

E para o <u>circuito RLC paralelo</u> teremos:

$$\beta = \omega_2 - \omega_1 = \frac{1}{RC} \tag{7}$$

e

$$Q = \frac{\omega_0}{\beta} = \omega_0 R = R\sqrt{\frac{C}{L}} \tag{8}$$

2 Procedimento experimental

Material necessário

Resistência (1 KΩ), condensador (10 nF) e bobina (39 mH)

Fonte AC

Multímetros

Osciloscópio

Fios de ligação

- Monte inicialmente o circuito representado na figura 1 c). Como sinal de entrada use uma tensão sinusoidal com 10 V_{p-p}.
- Determine a frequência de ressonância desse circuito: Varie a frequência entre 3 KHz e 13 KHz em intervalos de 0.5 KHz e meça os respectivos valores de V_{out}.

PS: Certifique-se que efetuou as medidas necessárias para o cálculo de β e de Q. - Utilizando agora resistências de valor diferente da utilizada anteriormente, avalie a importância do valor da resistência na definição da largura de banda do filtro que construiu.

- Qual será o efeito da variação da relação L/C nessa mesma largura de banda? Confirme experimentalmente variando o valor de C.
- Repita os passos anteriores para o circuito da figura 3.
- Represente graficamente os valores de V_{out} em função de f.
- Calcule os valores esperados de ω_0, β e Q e compare com os valores obtidos experimentalmente.
- Mostre que, para o circuito da figura 1 c), o ganho é dado por:

$$ganho \equiv \left| \frac{V_{out}}{V_{in}} \right| = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - {}^{1}\!/_{\omega C} \right)^2}}$$

e a diferença de fase entre os sinais de saída e de entrada é dada por:

$$\theta = \arctan \left(\frac{\omega L - {}^{1}\!/_{\omega C}}{R} \right)$$

- Analise criticamente todos os resultados obtidos.