



## RESSONÂNCIA

### OBJETIVOS

- Compreender o conceito de ressonância.
- Analisar o estado ressonante em um circuito *RLC* série e paralelo.

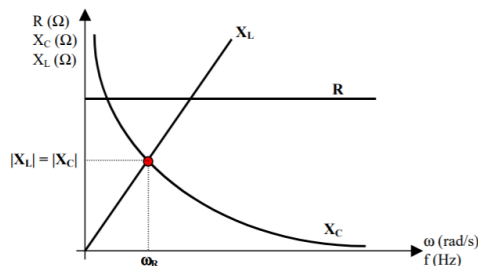
### EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

- Microcomputador
- Software de Simulação - PSIM

### CONCEITO TEÓRICO

Os componentes passivos *RLC* apresentam comportamentos típicos quando a frequência da fonte varia.

Figura 1 – Comportamento da resistência, reatância indutiva e reatância capacitiva com a variação da frequência



Fonte: Mussoi, F.L. Resposta em Frequência de Filtros Passivos, 2004.

Quando a reatância indutiva se iguala à reatância capacitiva, o circuito é dito operar em ressonância. Na ressonância, a potência reativa indutiva é igual à potência reativa capacitiva, tornando o circuito resistivo quando visto pela fonte de suprimento. A condição de ressonância pode ser obtida independente do arranjo dos componentes LC, em série ou em paralelo. Uma característica comum aos circuitos ressonantes é apresentar fator de potência unitário, ou seja, a tensão e a corrente nos terminais de entrada do circuito estão em fase [1]. A ressonância pode ou não ser desejável, dependendo dos propósitos para o qual o sistema físico irá servir. Na ressonância ocorre a máxima transferência de potência da fonte, porém a corrente (ressonância série) ou a tensão (ressonância paralela) atingem valores elevados, pondo em risco a integridade do componente se não projetado para operar sob essa condição. Se o arranjo LC é série, na ressonância a impedância equivalente é mínima e a corrente máxima. No entanto, no arranjo LC paralelo, a impedância é máxima e a corrente mínima.

Considere o circuito *RLC* série, mostrado na Figura 2.

Figura 2 – Circuito *RLC* série.



A impedância  $Z$  do circuito é a soma das impedâncias dos elementos passivos:

$$Z = R + j(\omega L - 1/\omega C) = R + jX \quad (1)$$

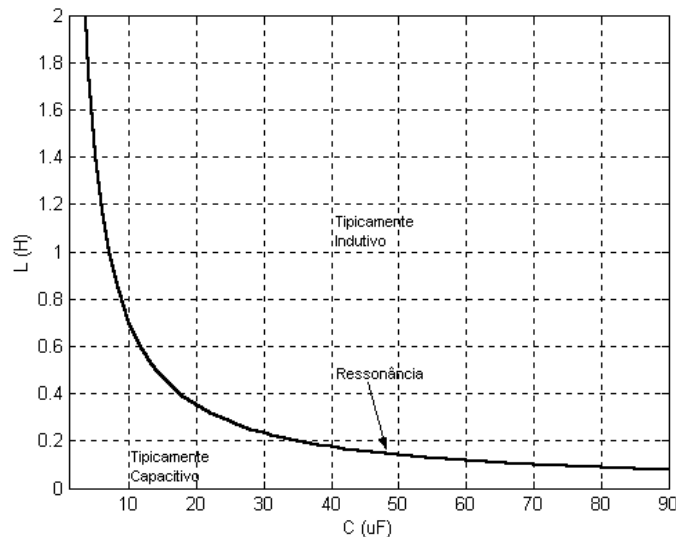
O circuito está em ressonância quando  $X = 0$ , isto é, quando  $X_L = X_C$ , ou seja,  $\omega L = 1/\omega C$ . A frequência responsável por  $X_L = X_C$  é denominada de frequência ressonante  $\omega_0$  e é calculada por:

$$\omega_0 = 1/\sqrt{LC} \quad (2)$$

Como  $\omega = 2\pi f$ , a frequência de ressonância, em Hz, é igual a  $f_0 = 2\pi / \omega_0$ .

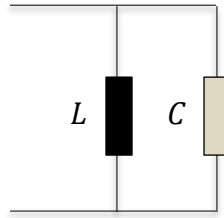
A ressonância pode também ser obtida pela variação de  $L$  e  $C$ . Para uma dada frequência, a curva da Figura 3 apresenta valores correspondentes de  $L$  e  $C$  que definem a condição de operação do circuito LC série no modo *indutivo* (acima da curva), no modo *capacitivo* (abaixo da curva) e em *ressonância* (sobre a curva).

Figura 3. Característica do circuito LC em função de  $L$  e  $C$ .



Para um circuito *RLC* paralelo, a ressonância ocorre quando a corrente reativa no ramo indutivo é igual à corrente reativa no ramo capacitivo ( $-jI_L + jI_C = 0$ ).

Figura 4 – Circuito RLC paralelo.



Como LC estão em paralelo, tem-se que a tensão é a mesma,  $X_L \vec{I}_L = X_C \vec{I}_C$ . Na ressonância, a magnitude das correntes reativa indutiva e reativa capacitiva são iguais, o que resulta para frequência ressonante igual a (2).

Se a resistência do indutor  $R_L$  e a resistência do capacitor  $R_C$  são pequenas em relação às respectivas reatâncias, pode ser verificado que a frequência de ressonância  $\omega_0$  no circuito paralelo é a mesma da expressão (2).

## PROCEDIMENTO

1. Montar e simular o circuito da Figura 5 usando o software de simulação PSIM. O circuito é suprido por fonte senoidal de 60 V eficaz, em 60 Hz. Ajustar os valores de resistência  $R$ , indutância  $L$  e capacitância  $C$  de acordo com as associações mostradas na Tabela 1.

Figura 5. Circuito RLC série para ensaio de simulação.

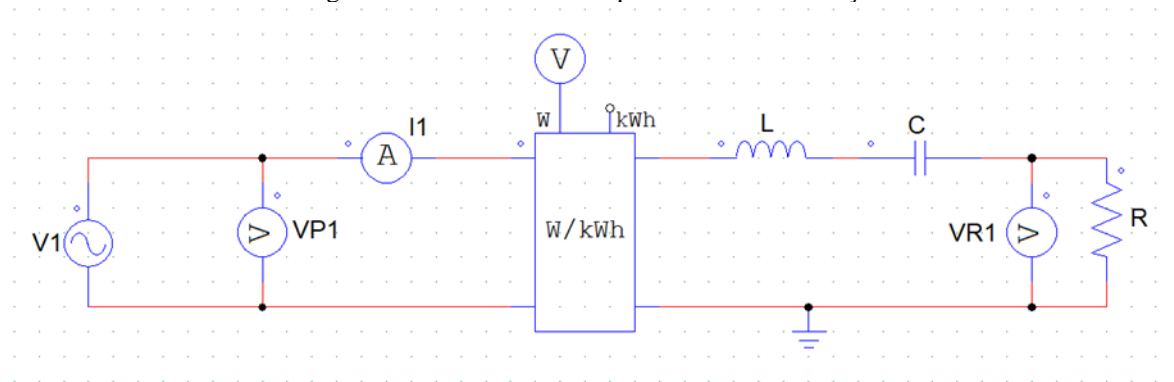


Tabela 1 – Medições no circuito RLC série.

Parâmetros			$I_1$ [A]	$\theta$ [°]	$V_R$ [V]	$V_X$ [V]	$ Z_{EQ} $	$P$ [W]	$S$ [VA]	$FP$ (ind/cap)
$R$ [Ω]	$L$ [H]	$C$ [μF]								
60	$L = 0,4$	$C = 30$								
	$L = 0,3$	$C = 30$								
	$L = 0,2$	$C = 35$								

- a. Capturar e plotar em um mesmo gráfico as ondas de tensão de alimentação e corrente do circuito. Medir os valores eficazes e o ângulo de defasagem dessas ondas. Qual a potência aparente suprida ao circuito?

**Dica:** Ao plotar a onda de corrente, caso esteja muito pequena em relação à tensão, multiplique-a por uma constante a fim de melhorar a representação, obtendo a imagem de  $i(t)$ , para melhor visualização da defasagem angular.

- Plotar a potência ativa registrada pelo wattímetro.
- Capturar e plotar a diferença angular entre as ondas de tensão de alimentação e tensão sobre o resistor. O que representa essa diferença angular de tensão? Desenhe o diagrama fasorial da tensão na carga  $RLC$ .
- Preencher a Tabela 1 com valores eficazes de tensão e corrente, potência ativa e potência aparente.
- Comente os resultados obtidos com a mudança dos parâmetros  $L$  e  $C$ . Qual o fator de potência e qual a natureza do circuito?

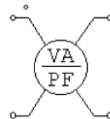
**Dica:**

- Wattmeter:** O equipamento *Wattmeter* pode ser encontrado em **Library Browser** na barra de ferramentas
- Tempo de simulação:** Ajustar para 0.5 s o tempo de simulação no botão *Simulation Control*;
- Time step (Simulation Control):** A versão free do PSIM apresenta limitação na largura do passo de simulação para plotar curvas. Para capturar a potência média do circuito, use na janela *Simulation Control* valor de *Time Step* de 0,00166.

- Montar e simular no PSIM o circuito da Figura 6 com os componentes  $R$ ,  $L$  e  $C$  em paralelo de acordo com as associações mostradas na Tabela 2. O circuito é suprido por fonte senoidal de 60 V eficaz, em 60 Hz.
  - Plote as correntes nos ramos indutivo e capacitivo para valores de  $L$  e  $C$  da Tabela 2.
  - Preencha a Tabela 2 com valores eficazes de tensão e corrente, potência média, potência aparente e fator de potência.
  - Substitua o wattímetro pelo instrumento VA-Power Factor Meter e compare aos valores anteriormente obtidos.

**Dica:**

- O instrumento **VA-Power Factor Meter** pode ser selecionado na lista de elementos do PSIM.



- Qual a influência de  $R$  sobre a condição de ressonância?

Figura 6 - Circuito RLC paralelo.

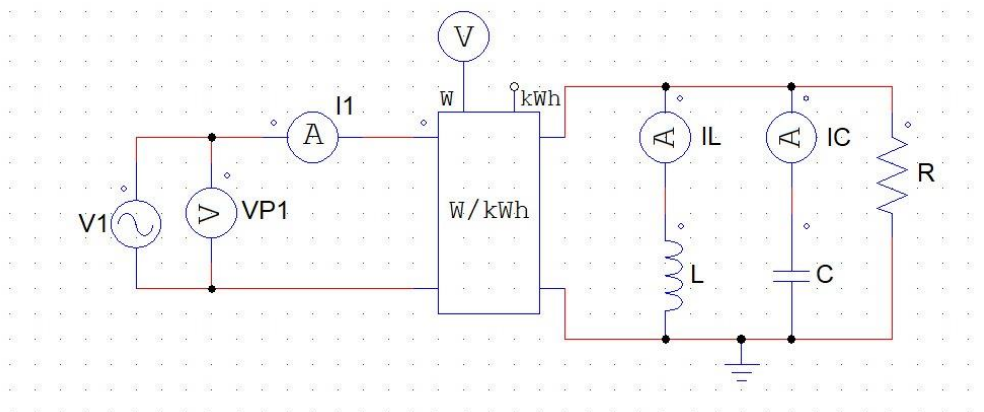


Tabela 2 – Medições no circuito *RLC* paralelo.

Parâmetros			$I_1$ [A]	$I_L$ [A]	$I_C$ [A]	$ Z_{EQ} $	$P$ [W]	$S$ [VA]	$FP$ (ind/cap)
$R$ [Ω]	$L$ [H]	$C$ [μF]							
60	$L = 0,4$	$C = 30$							
	$L = 0,3$	$C = 30$							
	$L = 0,2$	$C = 35$							

### QUESTÕES

1. Para o circuito *RLC* série com tensão eficaz de 60 V,  $R = 60\ ohms$ ,  $L = 0,4\ H$  e  $C = 30\ \mu F$ , plote no simulador SciLab a magnitude da impedância para uma varredura em  $\omega$ .
2. Repita a questão anterior para um circuito *RLC* paralelo.
3. Qual o comportamento da impedância no circuito ressonante série e paralelo?
4. Por que os sistemas de potência não operam normalmente na condição de ressonância?

### REFERÊNCIAS

HAYT, Jr., W.H., KEMMERLY, J.E. **Análise de Circuitos em Engenharia**. McGraw-Hill do Brasil, São Paulo, 1973.

EDMINISTER, J.A. **Circuitos Elétricos**. São Paulo: Editora McGraw-Hill, 2ª Ed. São Paulo, 1991.