



## IMPEDÂNCIA

A prática V foi convertida em laboratório de simulação usando o software PSIM, tendo sido mantido os objetivos da prática original.

### OBJETIVOS

- Explorar o conceito de impedância.
- Medir ângulo de defasagem entre tensão e corrente a partir da impedância.
- Observar a existência de componente resistiva no indutor e capacitor.
- Fazer uso de ponteiros de tensão e corrente para capturar formas de onda.

### MATERIAL A SER UTILIZADO NA PRÁTICA

- Microcomputador
- Simulador PSIM.

### CONCEITO TEÓRICO

Impedância é a medida de oposição à passagem de corrente em um circuito elétrico *ca*, resultante dos efeitos combinados da resistência e reatância ôhmicas.

No domínio dos fasores, a impedância é expressa pela razão entre a representação complexa da tensão senoidal nos terminais de um componente do circuito e a representação complexa da corrente que flui através dele.

$$Z = \frac{\vec{v}}{\vec{i}} = \frac{v e^{j(\omega t + 0^\circ)}}{i e^{j(\omega t + \theta)}} = \frac{v e^{j\omega t} \cdot e^{j0^\circ}}{i e^{j\omega t} \cdot e^{j\theta}} = \frac{v}{i} e^{\pm j\theta} = |Z| e^{\pm j\theta} \equiv |Z| \angle \pm \theta \equiv |Z|(\cos\theta \pm j\sin\theta) = R \pm jX \quad (1)$$

Embora impedância seja a relação entre o fasor de tensão e o fasor de corrente, a impedância não é fasor, mas uma grandeza complexa constante no tempo, que possui uma parte real referente à resistência  $R$  e uma parte imaginária que representa a reatância  $X$ . A unidade da impedância é ohms [ $\Omega$ ], sendo a mesma unidade para a resistência e reatância.

Resistência e reatância variam com a frequência. A resistência varia com a frequência devido a distribuição não uniforme da corrente no condutor. A reatância indutiva é diretamente proporcional à frequência e a reatância capacitiva varia inversamente com a frequência.

$$X_L = \omega L \quad (2)$$

$$X_C = 1/\omega C \quad (3)$$

Em (2) e (3), pode ser visto que para frequência nula (sinal *cc*) a reatância indutiva é nula (curto-circuito) e a reatância capacitiva é infinita (circuito aberto). Portanto, em circuito *cc* não se verifica a presença de reatâncias.

## PROCEDIMENTO

Em todos os circuitos desta prática, considere cada indutor individual  $L_i = 1,5\text{ H}$ , cada capacitor individual  $C_i = 9,2\text{ }\mu\text{F}$  e cada resistor individual  $R_i = 150\text{ }\Omega$ .

1. No simulador PSIM, crie um projeto e na área de trabalho monte o circuito  $RL$ -série como mostrado na Figura 1, com a fonte de tensão senoidal ajustada para tensão eficaz de  $100\text{ V}$ ,  $60\text{ Hz}$  e ângulo de fase  $0^\circ$ .  $L$  representa a combinação em paralelo de indutores e  $R$  a associação de resistores em paralelo, como definidos no Quadro 1.

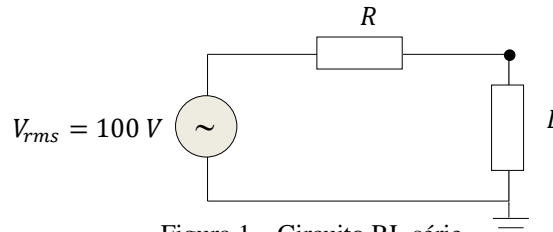


Figura 1 – Circuito RL série.

Quadro 1 - Valores  $rms$  medidos no PSIM e calculados.

Associação		$V_F [V]$	$I [A]$	$\theta^\circ$	$ Z  [\Omega]$	$R [\Omega]$	$X_L [\Omega]$	$\angle V_R / V_F$
$R = 9$	$L = 9$							
$R = 9$	$L = 3$							
$R = 3$	$L = 9$							

R=no. de resistores em paralelo

L=no. de indutores em paralelo

- a) Usando uma ponteira de tensão (*node-to-ground voltage probe*) e uma ponteira de corrente (*current probe*) para medição da tensão de entrada e corrente do circuito, simule o circuito (*Simulate*→*Simulation Control*), plote as formas de ondas dos pontos de medição e meça o valor eficaz de  $v_F$  e  $i$ . Qual a posição angular de  $i$  em relação a  $v_F$ ?

### Dicas:

- i) Na janela *Simulation Control*, vista na Figura 2, ajuste o parâmetro *Total Time* para  $0,15\text{ s}$ , que corresponde a 9 ciclos em  $60\text{ Hz}$ , o parâmetro *Print Time* para  $0,05\text{ s}$  e default para os demais parâmetros. *Print Time* indica o tempo a partir do qual a curvas serão plotadas, neste caso, deixando de mostrar o transitório das ondas.

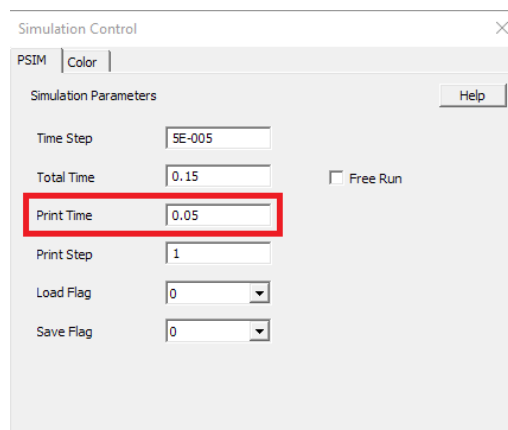


Figura 2 – Configuração do controlador de simulação.

- ii) O valor  $rms$  deve ser obtido somente para a condição de regime permanente, portanto, os ciclos transitórios iniciais não devem estar incluídos no cálculo do  $rms$ . Para que o  $rms$  seja calculado quando o circuito está em regime permanente, na janela com as curvas plotadas deve-se ajustar o período para o qual se deseja calcular o valor  $rms$  das curvas. Para isso, deve-se clicar na barra de ferramentas em *Edit X-Axis* e, no campo 'Range' informar os valores inicial *From* e final *To* do eixo X, em segundos, que correspondem, nessa prática, aos

tempos do *Print Time* e *Total Time*, respectivamente, conforme Figura 3. Observe que o intervalo de tempo considerado para o eixo X é igual 0,10 s que corresponde a 6 ciclos de uma onda em 60 Hz. É sobre esse número inteiro de ciclos em regime permanente que se deseja calcular o valor *rms*.

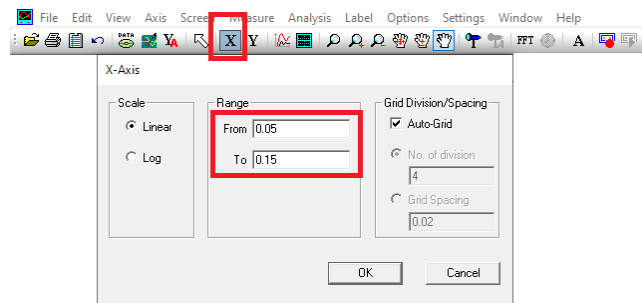


Figura 3 – Configurações do eixo X no simulador do PSIM.

- iii) Na barra de ferramentas na janela *Run Simulation* selecionar o botão *rms* (Figura 4).



Figura 4 – Cálculo do valor *rms*.

- b) Calcule o ângulo de defasagem entre as ondas  $v_F$  e  $i$ , para isso na janela de plotagem das curvas, selecione o botão como indicado na Figura 5 para medir o ângulo de defasagem  $\theta$  para cada uma das associações de resistores e indutores definidas no Quadro 1.



Figura 5 –Habilitação do botão de medição de defasagem angular.

- Calcule manualmente a impedância  $|Z|$  equivalente do circuito e suas componentes  $R$  e  $X_L$ . Desenhe o diagrama de impedâncias do circuito.
  - Com uma ponteira de tensão, capture a tensão sobre  $v_R$  e meça o ângulo de fase entre  $v_R$  e  $v_F$ . Que defasagem representa  $\angle V_R/V_F$ ?
  - Capture e plote a tensão sobre  $v_L$  e  $i$ . Qual a defasagem entre as ondas?
- Normalmente os indutores não são dispositivos ideais com apenas indutância, mas seu enrolamento tem uma componente resistiva. Considere o valor de resistência em série igual a  $R_{L_1} = 30 \Omega$  para cada indutor na associação  $R_9$  e  $L_3$ , do circuito da Figura 3. Repita a operação para resistências de cada indutor,  $R_{L_2} = 60 \Omega$  e  $R_{L_3} = 200 \Omega$ .

#### Dicas:

Na janela de especificação do indutor, selecionar *Model Level* como *Level 2*, conforme Figura 6 e inserir em *Series Resistance* o valor desejado para a resistência interna do indutor. Então, utilizar o valor de resistência indicado acima no campo *Series Resistance*.

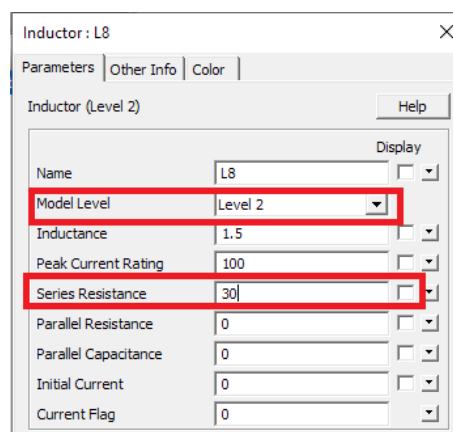


Figura 6 - Configurações do indutor não-ideal.

- Com a ponteira de tensão (*node-to-node voltage probe*), plote as ondas de tensão  $v_L$  e  $i$  do circuito para os diferentes valores de resistência do indutor. Como se apresenta o deslocamento angular da tensão no indutor e a corrente que flui através dele? Compare com o resultado da questão 1.e), e comente.
  - Desenhe o diagrama fasorial de tensão e corrente e o diagrama de impedância para os circuitos da questão 2.
- Para o circuito da Figura 1, considere as associações de resistores e capacitores, conforme mostrado no Quadro 2, e repita os procedimentos da questão 1. Considere o capacitor como sendo ideal.

Quadro 2- Valores *rms* medidos e calculados.

Associação		$V_F [V]$	$I [A]$	$\theta^\circ$	$ Z  [\Omega]$	$R [\Omega]$	$X_c [\Omega]$	$\angle V_R/V_F$
$R = 3$	$C = 6$							
$R = 6$	$C = 6$							
$R = 6$	$C = 3$							

R=no. de resistores em paralelo

C=no. de capacitores em paralelo

- Do ponto de vista de uso da energia, comente sobre as características dos circuitos  $RL$  e  $RC$ .

## QUESTÕES

- Calcule a potência complexa para os arranjos de circuito dos Quadros 1 e 2.
- O que é efeito pelicular em condutores? Explique o fenômeno.

## REFERÊNCIAS

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