

Prática de Circuitos Eletrônicos 1

Tutorial 09

Análise Temporal de Capacitores e Indutores

Professor: Marcus Vinícius Chaffim Costa

Tutora: Camilla Ferrer

Qual a relação entre a magnitude da tensão e da corrente no capacitor?

$$i(t) = C \frac{dV_C(t)}{dt}$$

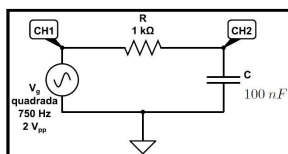
$$i(t) = \omega C V_C \cos(\omega t + \varphi) = i_C \cos(\omega t + \varphi)$$

$$i(t) = i_C \sin\left(\omega t + \varphi + \frac{\pi}{2}\right)$$

- A reatância capacitiva é dada de forma análoga à Lei de Ohm e é definida por meio da relação abaixo:

$$X_C = \frac{V_C}{i_C} = \frac{V_C}{\omega C V_C} = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$

Encontre as expressões matemáticas dos sinais $i_C(t)$ e $V_C(t)$ para o circuito da Figura abaixo.



- Vendo o circuito como um divisor de tensão, vemos que a tensão sobre o capacitor é dada por:

$$v_C(t) = \frac{X_C}{R + X_C} v_g(t) = \frac{1/2\pi f C}{R + 1/2\pi f C} v_g(t)$$

$$v_C(t) = \frac{1}{1 + R2\pi f C} v_g(t)$$

Considerando um sinal senoidal $i(t) = I \sin(\omega t + \varphi)$ aplicado entre os terminais de um indutor, encontre a fórmula para a relação $v_L(t)/i_L(t)$.

- Indutância é um parâmetro dos circuitos lineares que relaciona a tensão induzida por um campo magnético variável Φ à corrente i responsável pelo campo.

$$L = \frac{\Phi(t)}{i_L(t)}$$

$$v_L(t) = \frac{d\Phi(t)}{dt}$$

$$v_L(t) = L \frac{di(t)}{dt}$$

Considerando um sinal senoidal $V(t) = V \sin(\omega t + \varphi)$ aplicado entre os terminais de um capacitor, encontre a fórmula para a relação $V_C(t)/i_C(t)$.

- A capacidade elétrica, ou capacitância, é a grandeza escalar determinada pela quantidade de energia elétrica que pode ser acumulada em si por uma determinada tensão e é dada pela fórmula abaixo:

$$C = \frac{Q}{V(t)} \quad i(t) = \frac{dQ}{dt}$$

$$i(t) = \frac{dQ}{dt} = C \frac{dV_C(t)}{dt}$$

Qual a diferença de fase entre os sinais $i_C(t)$ e $V_C(t)$?

- A diferença de fase (φ) entre os sinais $i_C(t)$ e $V_C(t)$ é dada por:

$$\varphi_{V_C} = \arctg(-R\omega C) = \arctg(-R2\pi f C)$$

$$\varphi_{i_C} = \arctg\left(\frac{1}{R\omega C}\right) = \arctg\left(\frac{1}{R2\pi f C}\right)$$

$$\phi = \varphi_{V_C} - \varphi_{i_C}$$

- No capacitor pode-se observar que a tensão e a corrente estão defasadas $\pi/2$ rad ou 90° com a corrente adiantada em relação à tensão.

- E a tensão sobre o resistor é dada por:

$$v_R(t) = \frac{R}{R + X_C} v_g(t) = \frac{R}{R + 1/2\pi f C} v_g(t)$$

$$v_R(t) = \frac{R2\pi f C}{1 + R2\pi f C} v_g(t)$$

- A corrente no circuito é a mesma em todos os lugares, pois o circuito apresenta somente ligações série:

$$i_C(t) = \frac{v_g(t)}{R + X_C} = \frac{v_g(t)}{R + 1/2\pi f C}$$

$$i_C(t) = \frac{2\pi f C}{1 + R2\pi f C} v_g(t)$$

Qual a relação entre a magnitude da tensão e da corrente no indutor?

$$v_L(t) = L \frac{di(t)}{dt}$$

$$v_L(t) = \omega L i_L \cos(\omega t + \varphi) = V_L \cos(\omega t + \varphi)$$

$$v_L(t) = V_L \sin\left(\omega t + \varphi + \frac{\pi}{2}\right)$$

- A reatância indutiva é dada de forma análoga à Lei de Ohm e é definida por meio da relação abaixo:

$$X_L = \frac{V_L}{i_L} = \frac{\omega L i_L}{i_L} = \omega L = 2\pi f L$$

Qual a diferença de fase entre os sinais $i_L(t)$ e $V_L(t)$?

- A diferença de fase(ϕ) entre os sinais $i_L(t)$ e $V_L(t)$ é dada por:

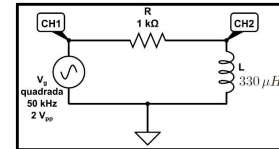
$$\phi_{VL} = \arctg\left(\frac{R}{\omega L}\right) = \arctg\left(\frac{R}{2\pi fL}\right)$$

$$\phi_{iL} = \arctg\left(-\frac{\omega L}{R}\right) = \arctg\left(-\frac{2\pi fL}{R}\right)$$

$$\phi = \phi_{VL} - \phi_{iL}$$

- No indutor pode-se observar que a tensão e a corrente estão defasadas $\pi/2$ rad ou 90° com a tensão adiantada em relação à corrente.

Encontra as expressões matemáticas dos sinais $i_L(t)$ e $V_L(t)$ para o circuito da Figura abaixo.



- Vendo o circuito como um divisor de tensão, vemos que a tensão sobre o indutor é dada por:

$$v_L(t) = \frac{X_L}{R + X_L} v_g(t) = \frac{2\pi fL}{R + 2\pi fL} v_g(t)$$

- E a tensão sobre o resistor é dada por:

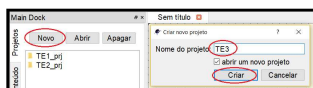
$$v_R(t) = \frac{R}{R + X_L} v_g(t) = \frac{R}{R + 2\pi fL} v_g(t)$$

- A corrente no circuito é a mesma em todos os lugares, pois o circuito apresenta somente ligações série:

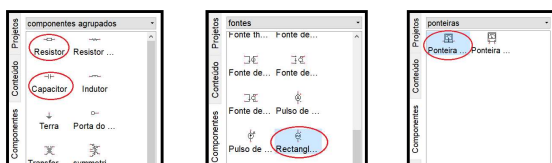
$$i_L(t) = \frac{v_g(t)}{R + X_L} = \frac{1}{R + 2\pi fL} v_g(t)$$

SIMULAÇÃO: V_g sendo uma onda quadrada

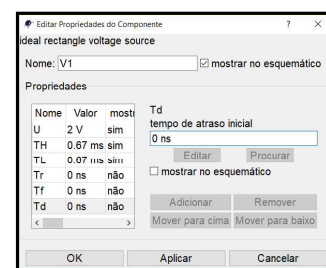
- Abra o QUCS, vá em *Main Dock* e crie um novo projeto.



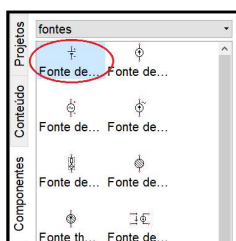
- Em *componentes agrupados* pegue um resistor e um capacitor. Em *Fontes* pegue uma fonte *rectangle voltage* e em *Ponteiras* pegue um amperímetro.



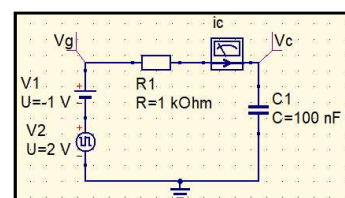
- Queremos uma onda quadrada com $V_{pp}=2V$. Atenção: a *rectangular voltage* sempre inicia em 0V. Como a frequência é de 750 Hz, o período será 1,33ms, logo TH e TL serão 0,67ms. T_r e T_f devem ser igual a zero, pois a mudança de nível é instantânea.



- Para deslocar a onda na metade da amplitude e colocar para ela variar entre +1V e -1V, será utilizada uma fonte DC de -1V.



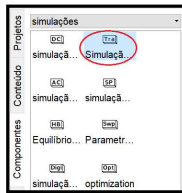
- Conecte os componentes sem esquecer da referência do terra, ajuste seus valores para os pedidos no exercício e nomeie os nós para medir a tensão V_C e V_g .



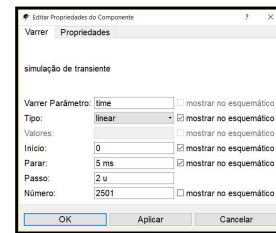
- Para medir a tensão no resistor, utilizou-se uma equação para calcular a diferença de potencial entre V_g e V_c .

$$\text{Equação} \\ \text{Tensao_Resistor} \\ VR=Vg-Vt-Vc.Vt$$

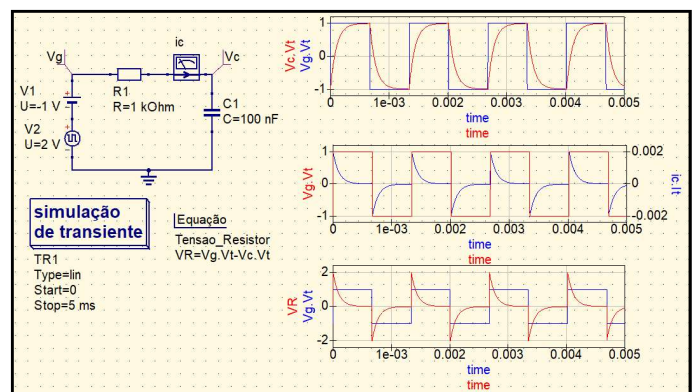
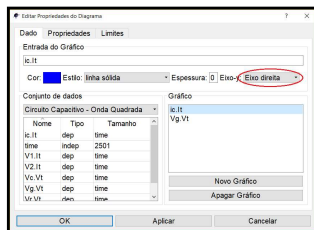
- Será utilizada a simulação transiente para se observar o comportamento do circuito ao longo do tempo.



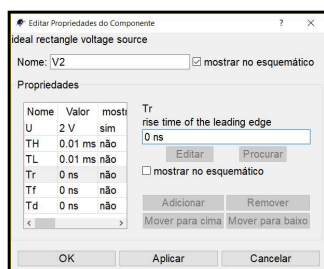
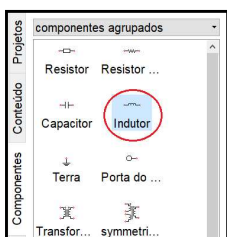
- Como o período da onda é de 1,33ms, coloque tempo suficiente para visualizar o comportamento da onda e resolução grande o suficiente para gerar a onda.



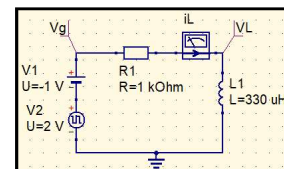
- Vá em *Diagramas* e insira um plano cartesiano para $V_g.Vt$ e $V_c.Vt$, outro para $V_g.Vt$ e $i_C.I$ e outro para $V_g.Vt$ e V_R .
- No gráfico com a corrente, vai parecer que seu valor é zero. Selecione a corrente e coloque para exibir os seus valores no Eixo-y a direita do gráfico.



- Vá em *Arquivo* > *Salvar como...* Exclua o capacitor e na aba *Componentes*, vá em *componentes agrupados* e coloque um indutor no esquemático.
- Como a frequência é de 50 kHz, o período é 0,02 ms, logo TH e TL serão 0,01 ms.



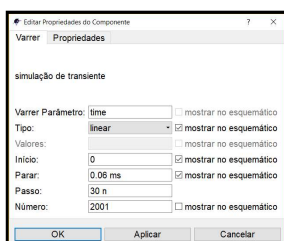
- Ajuste seus valores para os pedidos no exercício. Nomeie os nós para medir a tensão V_L e V_g .



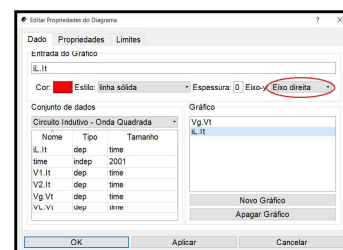
- Para medir a tensão no resistor, utilizou-se uma equação para calcular a diferença de potencial entre V_g e V_L .

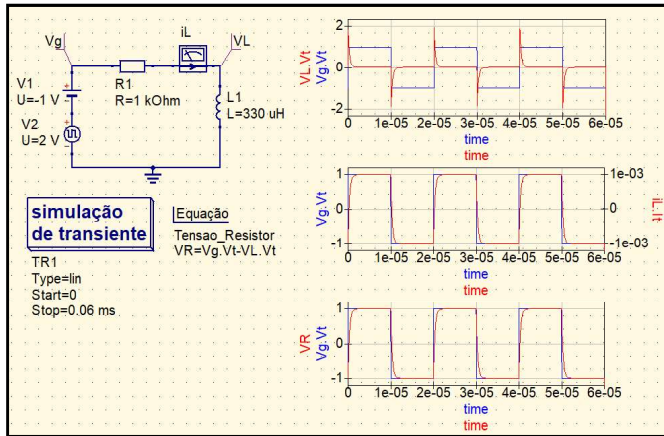
$$\text{Equação} \\ \text{Tensao_Resistor} \\ VR=Vg-Vt-VL.Vt$$

- Como o período da onda é de 0,02ms, coloque tempo suficiente para visualizar o comportamento da onda e resolução grande o suficiente para gerar a onda.

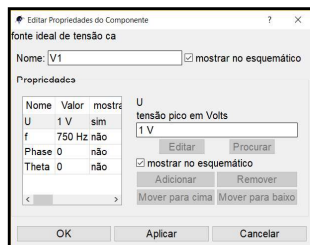
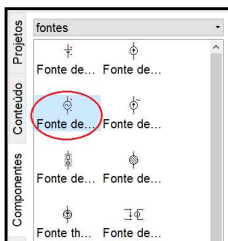


- Vá nos planos cartesianos para atualizar o nome das tensões e correntes.
- Selecione a corrente e coloque para exibir os seus valores no Eixo-y a direita do gráfico.

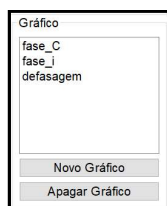
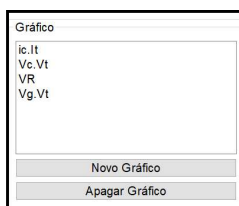
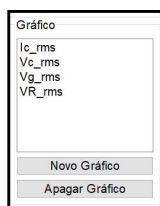




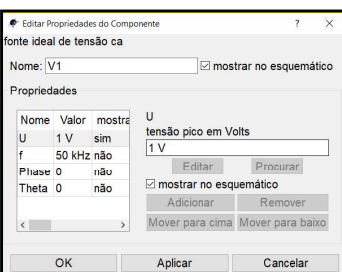
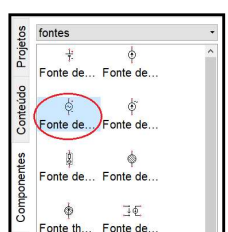
- Vá em *Arquivo > Salvar como...* e exclua a fonte retangular e a fonte de tensão DC. Na aba *Componentes* vá em *Fontes* e coloque uma fonte de tensão AC no esquemático.



- Salve e simule o circuito. Vá em *Diagramas* e insira um plano para $V_g.Vt$, $V_c.Vt$, VR e $i_c.It$. Insira uma tabela para VR_{rms} , Vg_{rms} , Vc_{rms} e ic_{rms} e outra para $fase_i$, $fase_C$ e $defasagem$.



- Vá em *Arquivo > Salvar como...* e exclua a fonte retangular e a fonte de tensão DC. Na aba *Componentes* vá em *Fontes* e coloque uma fonte de tensão AC no esquemático.



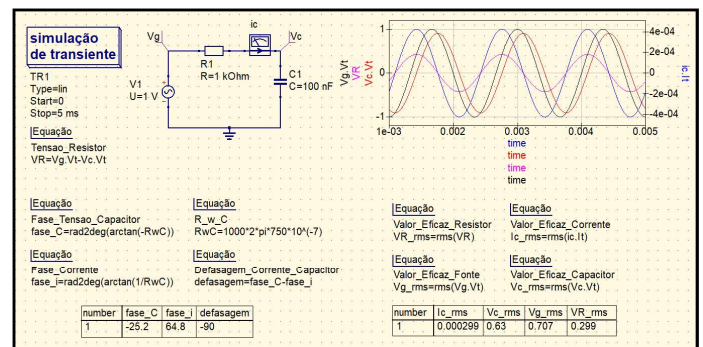
SIMULAÇÃO: V_g sendo uma onda senoidal

- Adicione as equações para calcular o valor eficaz das tensões e corrente do circuito.

Equação	Equação
Valor_Eficaz_Resistor $VR_{rms} = rms(VR)$	Valor_Eficaz_Corrente $Ic_{rms} = rms(i_c.It)$
Equação	Equação
Valor_Eficaz_Fonte $Vg_{rms} = rms(Vg.Vt)$	Valor_Eficaz_Capacitor $Vc_{rms} = rms(Vc.Vt)$

- Adicione as equações para calcular a diferença de fase das tensões com relação à corrente.

Equação	Equação
Fase_Tensao_Capacitor $fase_C = rad2deg(arctan(-RwC))$	R_w_C $RwC = 1000 * 2 * pi * 750 * 10^{-7}$
Equação	Equação
Fase_Corrente $fase_i = rad2deg(arctan(1/RwC))$	Defasagem_Corrente_Capacitor $defasagem = fase_C - fase_i$



- Adicione as equações para calcular o valor eficaz das tensões e corrente do circuito.

Equação	Equação
Valor_Eficaz_Resistor $VR_{rms} = rms(VR)$	Valor_Eficaz_Corrente $I_L_{rms} = rms(I.Lt)$
Equação	Equação
Valor_Eficaz_Fonte $Vg_{rms} = rms(Vg.Vt)$	Valor_Eficaz_Indutor $VL_{rms} = rms(VL.Vt)$

- Adicione as equações para calcular a diferença de fase das tensões com relação à corrente.

Equação	Equação
Fase_Tensao_Indutor $fase_L = rad2deg(arctan(RwL))$	R_div_w_L $RwL = 1000 / (2 * pi * 50 * 10^{-3} * 330 * 10^{-6})$
Equação	Equação
Fase_Corrente $fase_i = rad2deg(arctan(-1/RwL))$	Defasagem_Corrente_Indutor $defasagem = fase_L - fase_i$

- Salve e simule o circuito. Vá em *Diagramas* e insira um plano para $V_g.Vt$, $V_C.Vt$, V_R e $i_C.It$. Insira uma tabela para V_R_{rms} , V_g_{rms} , V_c_{rms} e i_c_{rms} e outra para $fase_i$, $fase_C$ e defasagem.



Gráfico

fase_L
fase_i
defasagem

Novo Gráfico

Apagar Gráfico

Gráfico

VL.Vt
iL.It
VR.Vt
VR

Novo Gráfico

Apagar Gráfico

Gráfico

IL_rms
VL_rms
VR_rms
Vg_rms

Novo Gráfico

Apagar Gráfico

