

Aula Prática P5

MATÉRIA: análise de circuitos em regime forçado sinusoidal, resposta em frequência, função de transferência e filtros.

AULA PRÁTICA: serão resolvidos alguns dos problemas ou algumas alíneas dos problemas aqui propostos; os restantes problemas e/ou alíneas são deixados como exercício para trabalho autónomo (as soluções estão no final).

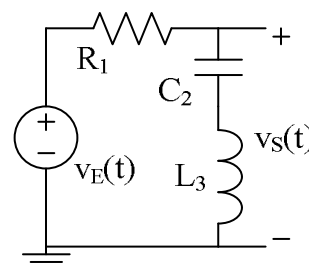
AULA ONLINE: o acesso à sessão zoom é enviado por email para os alunos inscritos em cada horário das aulas práticas. A validação é feita através das credenciais oficiais no domínio do Técnico. O endereço para envio do email é o que está registado no fenix.

O QUE É PRECISO: acesso simultâneo ao enunciado e ao conteúdo da sessão zoom (2 monitores e écran estendido, enunciado em papel, etc.), lápis e papel para notas (ou equivalente digital) e máquina de calcular.

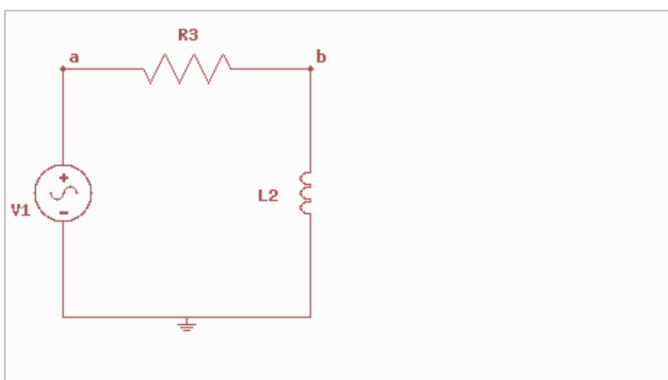
Problema 1

Considerando $v_E(t)$ o sinal de entrada e $v_S(t)$ o sinal de saída, diga qual a função de filtragem realizada pelo circuito da figura.

- a) Rejeita-banda.
- b) Passa-alto.
- c) Passa-baixo.
- d) Nenhuma das respostas anteriores.



Problema 2



Find the apparent power on element V1.

$$\therefore v_1(t) = |V1| \cos(\omega t + \phi) \therefore f = 89\text{kHz} \therefore \phi (^{\circ}) = -93^{\circ} \therefore |V1| = 3\text{V} \therefore L2 = 12\text{mH} \therefore R3 = 24\text{k}\Omega \therefore$$

-178.76μVA

502μVA

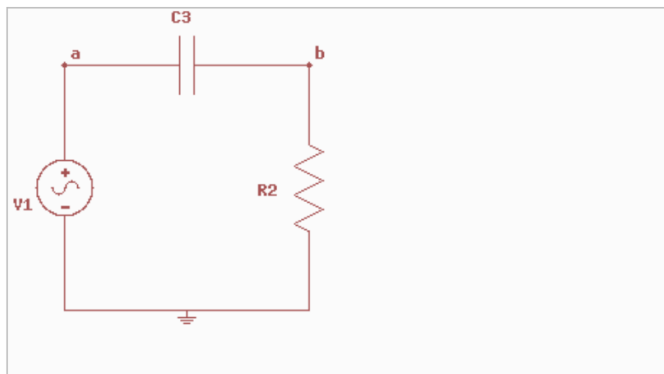
180.57μVA

- a) Calcule a potência aparente em V1.
- b) Calcule a potência reactiva em L2.
- c) Considere como sinal de entrada $v_1(t)$ e como sinal de saída a tensão em L_2 , $v_2(t)=v_b(t)$. Identifique o tipo de filtragem realizada.

Aula Prática P5

- d) Nas condições da alínea anterior, apresente equações simbólicas que permitam calcular o ganho (em dB) e a fase da função de filtragem. Valide a resposta da alínea anterior.
- e) Considere agora a função de transferência e identifique os pólos e os zeros.
- f) Trace o diagrama de Bode assintótico (módulo e fase).

Problema 3



What is the complex power on R2?

$$\therefore v_1(t) = |V_1| \cos(\omega t + \phi) \therefore f = 2.5 \text{ kHz} \therefore \phi (^{\circ}) = 89^{\circ} \therefore$$

$$|V_1| = 4.3 \text{ V} \therefore R_2 = 220 \text{ k}\Omega \therefore C_3 = 9.1 \text{ nF} \therefore$$

$$509 \angle -4^{\circ} \mu\text{VA}$$

$$41.98 \mu\text{VA}$$

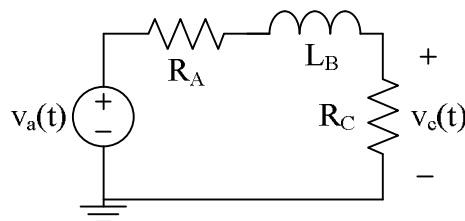
$$854.46 \angle -12.6^{\circ} \mu\text{VA}$$

- a) Calcule a potência complexa em R2.
- b) Calcule a potência aparente em C3.
- c) Considere como sinal de entrada $v_1(t)$ e como sinal de saída a tensão em R2, $v_2(t) = v_b(t)$. Identifique o tipo de filtragem realizada.
- d) Nas condições da alínea anterior, apresente equações simbólicas que permitam calcular o ganho e a fase da função de filtragem. Valide a resposta da alínea anterior.
- e) Determine a função de transferência e identifique os zeros e os pólos. Trace o diagrama de Bode assintótico.

Problema 4

Considere o circuito da figura a funcionar em regime forçado sinusoidal.

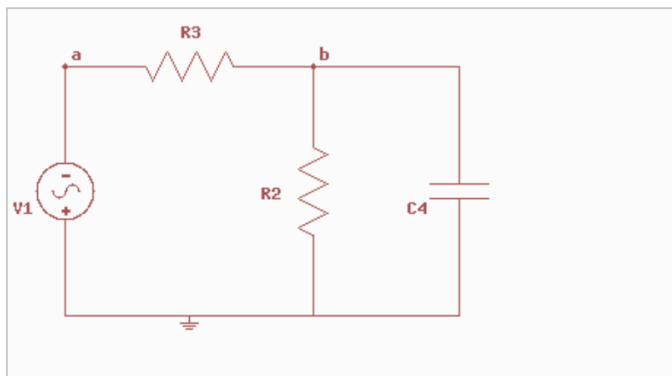
- a) Apresente equações simbólicas para poder calcular o módulo e a fase do ganho de tensão, $V_c(j\omega)/V_a(j\omega)$.
- b) Diga qual é a função de filtragem realizada pelo circuito quando se considera $v_c(t)$ o sinal de saída.
- c) Calcule $v_c(t)$ quando $v_a(t) = 8.6 \cos(\omega t - \pi/3) \text{ V}$ e $f = 10 \text{ kHz}$.



$$R_A = 2.2 \text{ k}\Omega \quad R_C = 1.5 \text{ k}\Omega \quad L_B = 84.1 \text{ mH}$$

Aula Prática P5

Problema 5



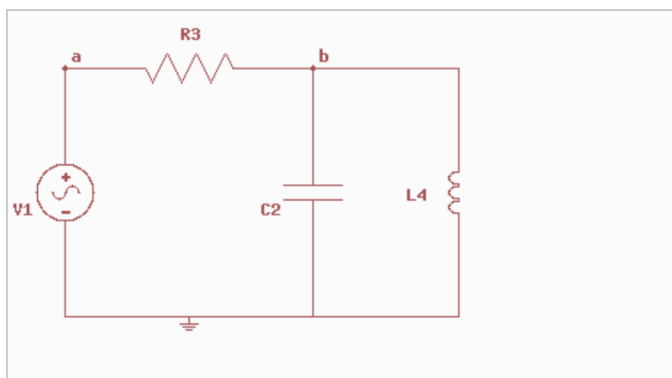
What is the complex power on C4?

$\therefore v_1(t) = |V1| \cos(\omega t + \phi) \therefore f = 7.1 \text{ kHz} \therefore \phi (^{\circ}) = -74^{\circ} \therefore$
 $|V1| = 3 \text{ V} \therefore R2 = 33 \text{ k}\Omega \therefore R3 = 56 \text{ k}\Omega \therefore C4 = 1.5 \text{ nF} \therefore$

13.99 $\angle 32^{\circ}$ μVA -j14.13 μVA 14.27 $\angle 32.2^{\circ}$ μVA

- Calcule a potência complexa posta em jogo no condensador.
- Considere como sinal de entrada $v_1(t)$ e como sinal de saída a tensão em R2, $v_2(t)=v_b(t)$. Identifique o tipo de filtragem realizada.
- Nas condições da alínea anterior, apresente equações simbólicas que permitam calcular o ganho e a fase da função de filtragem. Valide a resposta da alínea anterior.
- Determine a função de transferência e trace o diagrama de Bode assintótico.

Problema 6



What is the complex power on V1?

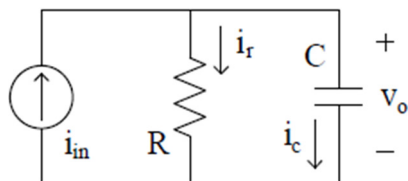
$\therefore v_1(t) = |V1| \cos(\omega t + \phi) \therefore f = 60 \text{ kHz} \therefore \phi (^{\circ}) = -130^{\circ} \therefore$
 $|V1| = 2.3 \text{ V} \therefore C2 = 30 \text{ nF} \therefore R3 = 820 \Omega \therefore L4 = 1.3 \text{ mH} \therefore$

3.2 $\angle -187.5^{\circ}$ mVA 675.69 $\angle 28.4^{\circ}$ mVA
 3.2 $\angle -185.6^{\circ}$ mVA

- Calcule a potência complexa posta em jogo no gerador.
- Considere como sinal de entrada $v_1(t)$ e como sinal de saída a tensão em L4, $v_4(t)=v_b(t)$. Determine a função de transferência. Identifique o tipo de filtragem realizada e os pólos e os zeros.
- Nas condições da alínea anterior, apresente equações simbólicas que permitam calcular o ganho e a fase da função de filtragem.
- Trace o diagrama de Bode assintótico (módulo e fase) do ganho de tensão.

Aula Prática P5

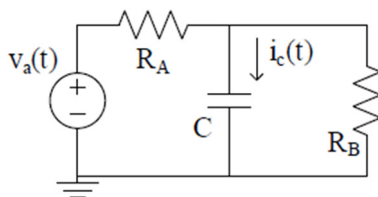
Problema 7



Considere o circuito da figura com $R=1\text{k}\Omega$, $C=10\mu\text{F}$.

- Considere como entrada o sinal do gerador e como saída a tensão no condensador. Apresente equações simbólicas que permitam calcular o módulo e a fase associada à transimpedância.
- Calcule a tensão de saída para um sinal de entrada sinusoidal com $f=50/\pi\text{Hz}$, valor eficaz 4mA e fase na origem dos tempos 45° .
- Considere agora como sinal de saída a corrente no condensador. Determine a função de transferência. Diga qual é a função de filtragem realizada. Apresente equações simbólicas que permitam calcular o ganho de corrente em dB e a desfasagem entre a corrente de saída e a de entrada. Faça o diagrama de Bode assintótico (módulo e fase).
- Nas condições da alínea c), em que frequência é que um sinal sinusoidal de entrada é atenuado 20dB?
- Nas condições da alínea c), em que frequência é que o sinal sinusoidal de saída apresenta uma desfasagem de 30° relativamente à entrada.

Problema 8



Considere o circuito da figura com $R_A=R_B=10\text{ k}\Omega$, $C=10\mu\text{F}$.

- Assuma regime forçado sinusoidal e calcule $i_c(t)$ e $v_c(t)$ (+ em cima), para $v_a(t)=10\cos(20t)\text{ V}$.
- Apresente equações simbólicas que permitam calcular o módulo e a fase associada à transadmitância (considere como entrada o sinal do gerador e como saída a corrente no condensador). Valide o cálculo da alínea anterior.
- Considere agora a tensão no condensador (+ em cima) como o sinal de saída. Determine a função de transferência associada ao ganho de tensão. Identifique a função de filtragem realizada. Identifique os zeros e os pólos. Trace o diagrama de Bode assintótico (módulo e fase). Valide o cálculo da alínea a).

Aula Prática P5

Problema 9

Considere o circuito RLC-série da figura P8.5 a funcionar em regime forçado sinusoidal com $R = 50\ \Omega$ e $L = 510\ \mu\text{H}$.

- Determine simbolicamente a resposta em frequência correspondente ao ganho de tensão, $G_v(\omega) = \overline{V}_s / \overline{V}_e$.
- Escolha o valor da capacidade por forma a que o circuito entre em ressonância a 7780 Hz.
- Faça um esboço de $|G_v(\omega)|$ e identifique o tipo de filtragem realizado.
- Calcule $v_s(t)$ quando o sinal de entrada tem 13.6 V de amplitude, fase nula em $t = 0\text{ s}$ e frequência igual à frequência de ressonância e uma década acima e uma década abaixo dessa frequência.

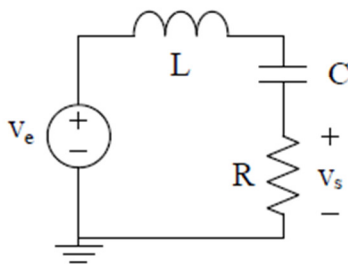
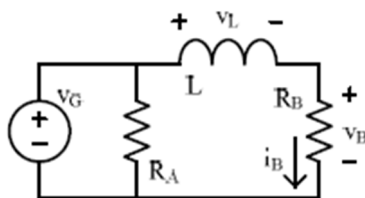


Figura P8.5

Problema 10

Considere o circuito do problema anterior e trace o diagrama de Bode assintótico (módulo e fase).

Problema 11



- Determine a função de transferência quando a entrada é o sinal do gerador e a saída é a tensão na bobine.
- Repita a alínea anterior quando a saída é a corrente em R_B .
- Indique os tipos de filtragem realizada pelo circuito nas condições das alíneas anteriores.

Aula Prática P5

Soluções

As soluções aqui publicadas não incluem os gráficos que são necessários nas respostas a algumas das questões colocadas.

P1

A

P2

- a) 180.57μVA
- b) 46.62μVAr
- c) Passa-alto

$$d) \quad G_{dB}(\omega) = 20 \log \frac{\omega}{\sqrt{\omega^2 + (R_3/L_2)^2}} \quad \Phi(\omega) = 90^\circ - \arctan\left(\frac{\omega}{R_3/L_2}\right)$$

$\omega \rightarrow 0$	$\omega = \frac{R_3}{L_2}$	$\omega \rightarrow +\infty$
+20dB/dec	-3dB	0dB

$$e) \quad T(s) = \frac{sL_2}{R_3 + sL_2} = \frac{s}{s + 2 \times 10^6}$$

zero: $s_z=0$ pólo: $s_p=-2E6$ $f_p=318.3$ kHz

P3

- a) 41.98μVA
- b) 1.33μVA
- c) Passa-alto

$$d) \quad G_{dB}(\omega) = 20 \log \frac{\omega R_2 C_3}{\sqrt{1 + (\omega R_2 C_3)^2}} \quad \Phi(\omega) = 90^\circ - \arctan(\omega R_2 C_3)$$

$\omega \rightarrow 0$	$\omega = \frac{1}{R_2 C_3}$	$\omega \rightarrow +\infty$
+20dB/dec	-3dB	0dB

$$e) \quad T(s) = \frac{s}{s + 499.5}$$

zero: $s_z=0$ pólo: $s_p=-499.5$ $f_p=79.5$ Hz

P4

a)

$$\frac{V_c(j\omega)}{V_a(j\omega)} = \frac{R_C}{R_A + R_C} \frac{1}{1 + j \frac{\omega L_B}{R_A + R_C}}$$

$$G_v(\omega) = \left| \frac{V_c(j\omega)}{V_a(j\omega)} \right| = \frac{R_C}{R_A + R_C} \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega L_B}{R_A + R_C} \right)^2}} \quad \Phi(\omega) = \angle \left[\frac{V_c(j\omega)}{V_a(j\omega)} \right] = -\tan^{-1} \left(\frac{\omega L_B}{R_A + R_C} \right)$$

Aula Prática P5

b) Passa-baixo

c)
$$v_c(t) = 2 \cos\left(2\pi 10^4 t - 115^\circ \frac{\pi}{180^\circ}\right) \text{V}$$

P5

 a) $-j14.13 \mu\text{VA}$

b) Passa-baixo

c)
$$G_{dB}(\omega) = 20 \log \frac{R_2}{R_2 + R_3} - 20 \log \sqrt{1 + [\omega(R_2 // R_3)C_4]^2} \quad \Phi(\omega) = 180^\circ - \arctan[\omega(R_2 // R_3)C_4]$$

$\omega \rightarrow 0$	$\omega = \frac{1}{(R_2 // R_3)C_4}$	$\omega \rightarrow +\infty$
-8.6dB	-11.6dB	-20dB/dec

d)
$$T(s) = -\frac{R_2}{R_2 + R_3} \frac{1}{1 + s(R_2 // R_3)C_4}$$

P6

a) $3.2e^{j172.5^\circ \pi/180^\circ} \text{mVA}$

b) Passa-banda
$$T(s) = \frac{\frac{L_4}{R_3} s}{1 + \frac{L_4}{R_3} s + C_2 L_4 s^2}$$

 zeros: 0, $+\infty$ pólos: $-20325.2 \pm j158833$

c)
$$G_{dB}(\omega) = -20 \log \sqrt{1 + \left[\frac{R_3 C_2}{\omega} \left(\frac{1}{L_4 C_2} - \omega^2 \right) \right]^2} \quad \Phi(\omega) = 90^\circ - \arctan \left[\frac{\omega}{R_3 C_2} \left(\frac{1}{L_4 C_2} - \omega^2 \right)^{-1} \right]$$

$\omega \rightarrow 0$	$\omega = \frac{1}{\sqrt{L_4 C_2}}$	$\omega \rightarrow +\infty$
+20dB/dec	0dB	-20dB/dec

P7

a) $|Z(j\omega)| = \frac{R}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}} \quad \angle\{Z(j\omega)\} = -\arctan[\omega RC]$

b) $v_o(t) = 4 \cos(100t) \text{V}$

Aula Prática P5

c) $\frac{I_{out}(s)}{I_{in}(s)} = \frac{sRC}{1+sRC}$ Passa-alto

$$G_{dB}(\omega) = 20 \log \frac{\omega RC}{\sqrt{1+(\omega RC)^2}} \quad \Phi(\omega) = 90^\circ - \arctan[\omega RC]$$

d) 1.6 Hz

e) 27.6 Hz

P8

a) $i_c(t) = \frac{\sqrt{2}}{2} \cos\left(20t + \frac{\pi}{4}\right) \text{ mA}$ $v_c(t) = \frac{5}{\sqrt{2}} \cos\left(20t - \frac{\pi}{4}\right) \text{ V}$

b) $\left| \frac{I_c(j\omega)}{V_a(j\omega)} \right| = \frac{1}{R_A} \frac{\omega}{\sqrt{\omega^2 + [(R_A // R_B)C]^2}}$ $\angle \left\{ \frac{I_c(j\omega)}{V_a(j\omega)} \right\} = 90^\circ - \arctan[\omega(R_A // R_B)C]$

$$\omega = 20 \text{ rad/s} \rightarrow \left| \frac{I_c(j\omega)}{V_a(j\omega)} \right| = \frac{1}{10\sqrt{2}} \text{ mS} \quad \angle \left\{ \frac{I_c(j\omega)}{V_a(j\omega)} \right\} = 45^\circ$$

c) $\frac{V_c(s)}{V_a(s)} = \frac{R_B}{R_A + R_B} \frac{1}{1 + s(R_A // R_B)C}$ Passa-baixo

$$\omega = 20 \text{ rad/s} \rightarrow \left| \frac{V_c(j\omega)}{V_a(j\omega)} \right| = \frac{1}{2\sqrt{2}} \quad \angle \left\{ \frac{V_c(j\omega)}{V_a(j\omega)} \right\} = -45^\circ$$

Zero: em frequência infinita Pólo: $s_p = -\frac{1}{(R_A // R_B)C}$ $f_p = \frac{10}{\pi} \text{ Hz}$

P9

(a) $G_v(\omega) = \frac{R}{R + j(\omega L - \frac{1}{\omega C})}$

(b) 820 nF

(c) Passa-banda.

(d) $v_e(t) = 13.6 \cos(2\pi ft) \text{ V}$

f	$v_s(t)$
$f_R/10$	$2.7 \cos(2\pi ft + 79^\circ \frac{\pi}{180^\circ}) \text{ V}$
$f_R = 7780 \text{ Hz}$	$13.6 \cos(2\pi ft) \text{ V}$
$10f_R$	$2.7 \cos(2\pi ft - 79^\circ \frac{\pi}{180^\circ}) \text{ V}$

Aula Prática P5

P10

Diagrama Bode assintótico

P11

a) $T_L(s) = \frac{s}{s + R_B/L}$

c) passa-alto

b) $T_B(s) = \frac{1/L}{s + R_B/L}$

c) passa-baixo