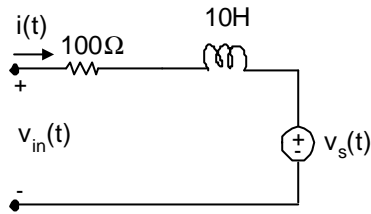


## PARTE IV - Regime Forçado Sinusoidal

### Problema 4.1 - Análise dum circuito RL no domínio da frequência



No circuito da figura 4.1, a fonte de tensão  $v_s$  é da forma  $v_s(t) = 50 \text{ sen}(20t - 53^\circ)$  [V]. Para obter  $i(t) = 0,8 \text{ sen}20t$  [A], qual deve ser a tensão de entrada  $v_{in}(t)$ ?

Figura 4.1- Circuito RL série

### Problema 4.2 - Impedâncias complexas

No circuito da figura 4.2, considere que a tensão de excitação  $v$  é sinusoidal e de frequência angular  $\omega = 500 \text{ rad/s}$ .

- Determine a tensão  $v$  (amplitude e fase) para que a corrente no condensador  $i_c$  tenha uma amplitude complexa  $I_c = 2 e^{j30^\circ}$  [A]. Qual é a expressão de  $v(t)$ ?
- Determine a impedância complexa aos terminais  $\pm$ .

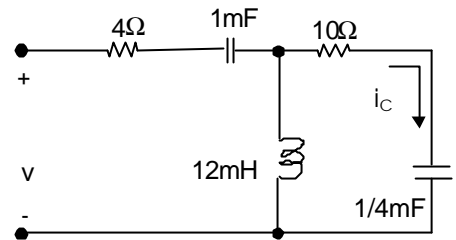
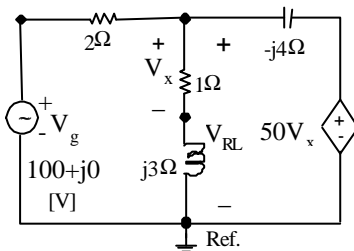


Figura 4.2 - Rede RLC

### Problema 4.3 - Amplitudes complexas - Método nodal no domínio da frequência



Estude o circuito da figura 4.3 utilizando o método nodal. Determine a amplitude complexa da tensão  $V_{RL}$ , aos terminais da série RL.

Figura 4.3 - Circuito RLC em regime alternado sinusoidal

### Problema 4.4 - Método das malhas no domínio da frequência

Escreva as equações das malhas para o circuito da figura 4.4. Sabendo que a corrente  $i_s(t) = 10 \cos(10^4 t + 30^\circ)$ , determine a corrente de malha  $i_3(t)$ .

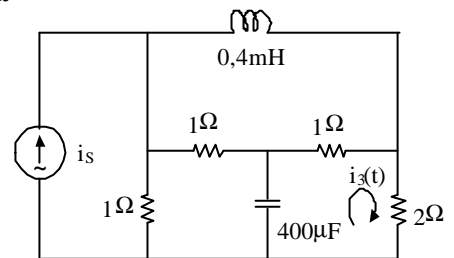


Figura 4.4 - Circuito RLC

### Problema 4.5 - Diagrama de amplitudes complexas (vectorial)

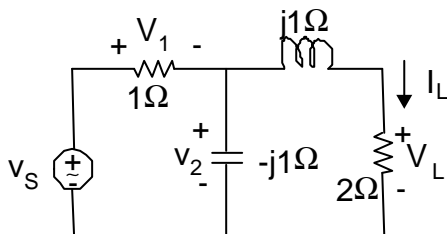


Figure 4.5 - Circuito RLC

- Considere o circuito da figura 4.5. Escolhendo um valor de referência para  $i_L$ , trace o diagrama das amplitudes complexas de  $V_L$ ,  $V_2$ ,  $V_1$  e  $V_s$ . Determine a razão entre os módulos das seguintes amplitudes complexas:
  - $V_1$  e  $V_s$
  - $V_2$  e  $V_s$
  - $V_L$  e  $V_s$

- Qual o valor de  $i_L(t)$  quando  $v_s(t) = \cos \omega t$ , com  $\omega = 10 \text{ rad/s}$ ?

### Problema 4.6 - Função de transferência $F(\omega)$

Considere o circuito da figura 4.6. Calcule o quociente entre as amplitudes complexas da tensão de saída  $v_o$  e da tensão do gerador  $v_s$  (função de transferência  $F(\omega) = \frac{\overline{V_o}}{\overline{V_s}}$ ) em função da frequência angular  $\omega$ . Esboce o gráfico de  $F(\omega)$  determinando pontos que considere notáveis.

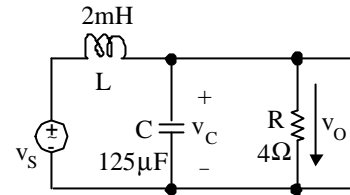


Figura 4.6 - Circuito RLC

### Problema 4.7 - Adaptação de impedâncias

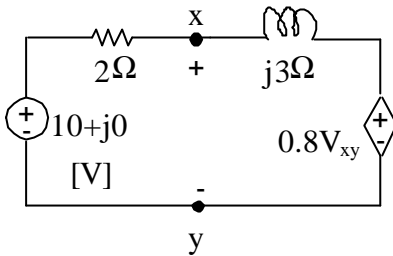


Figura 4.7 - Circuito RL com geradores

Determine o valor da impedância a ligar entre os terminais x e y da figura 4.7 para que esta absorva a máxima potência disponível no circuito (potência média). Qual é o valor desta potência?

Sugestão: utilize o equivalente de Thévenin do circuito da figura em relação aos terminais xy.

### Problema 4.8 - Método nodal / Sobreposição

No circuito da figura 4.8 as impedâncias são dadas em Ohm e as correntes em Ampere.

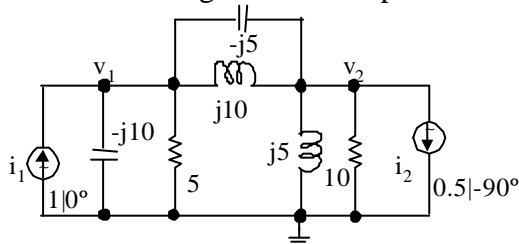


Figura 4.8 - Circuito RLC em  $\Pi$

- Calcule a expressão da tensão nos nós 1 e 2, sabendo que os geradores independentes  $i_1$  e  $i_2$  são sinusoidais e de frequência idêntica  $\omega$ , caracterizados pelas respectivas amplitudes complexas  $I_1 = 1\angle 0^\circ$  [A] e  $I_2 = 0.5\angle -90^\circ$  [A].
- Trace o andamento no tempo das correntes  $i_1(t)$  e  $i_2(t)$  e das tensões  $v_1(t)$  e  $v_2(t)$ .
- A tensão  $v_1$  está avançada ou atrasada em relação à tensão  $v_2(t)$ ? E  $i_1(t)$  em relação a  $i_2(t)$ ? Comente.

Sugestão: utilize o método nodal ou o princípio da sobreposição.

### Problema 4.9 - Equivalente de Thévenin. Máxima transferência de potência

No circuito da figura 4.9, as impedâncias são dadas em Ohm, a tensão em Volt e a corrente em Ampere.

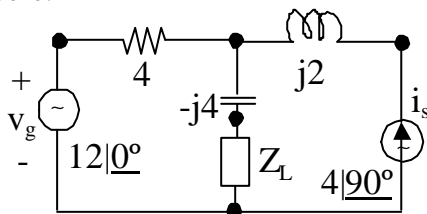


Figura 4.9 - Circuito RLC em T

- Calcule a carga  $Z_L$  que proporciona a máxima transferência de potência média do circuito para essa carga.
- Qual é o valor dessa potência?

Sugestão: utilize o teorema de Thévenin.

## PARTE V - Domínio da Frequência Complexa $s$

### Problema 5.1 - Função de transferência $H(s)$

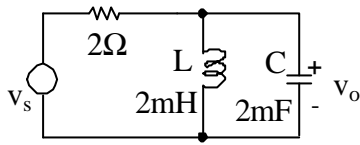


Figura 5.1 - Filtro LC passa-banda

Supondo  $v_s(t) = u(t)$  Volt resolva as alíneas seguintes.

- c) Determine a resposta permanente ou forçada  $v_{Cp}(t)$ .
- d) Escreva a expressão da resposta natural  $v_{Cn}(t)$ .
- e) Calcule as condições iniciais  $v_C(0^+)$  e  $[dv_C(t)/dt]_{t=0^+}$ .
- f) Escreva a expressão da resposta total  $v_C(t)$  e esboce o seu andamento no tempo.

Considere o circuito RLC representado na figura 5.1.

- a) Obtenha a sua função de transferência  $H(s) = V_o(s)/V_s(s)$  e calcule as frequências dos seus polos.
- b) Calcule o coeficiente de amortecimento  $\alpha$ , a frequência de ressonância  $\omega_0$  e a frequência natural  $\omega_n$  do circuito.

### Problema 5.2 - Função de transferência. Frequência complexa. Diagramas de Bode

- a) Para o circuito da figura 5.2, calcule as funções de transferência  $K_1(s) = V_1(s)/I_s(s)$  e  $K_2(s) = V_2(s)/I_s(s)$  e as suas singularidades (zeros e polos).

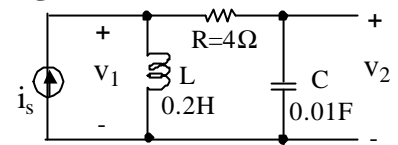


Figura 5.2 - Filtro passivo

- b) Calcule a amplitude complexa de  $v_1$  ( $\overline{v_1}$ ) para uma excitação de amplitude complexa  $\overline{I_s} = 5 \angle 70^\circ$ , em Ampère, para as seguintes frequências complexas  $s$ : (1) 0; (2)  $j\infty$ ; (3)  $-20 s^{-1}$ ; (4)  $j20 s^{-1}$ ; (5)  $-10 + j10 s^{-1}$ . Comente o significado dos resultados obtidos.
- c) Se o gerador de corrente é uma senoide amortecida dada por  $i_s(t) = 4 e^{-10t} \cos(5t + 40^\circ)$ , calcule  $v_2(t)$  em  $t=0$  e  $t=0.25s$ .
- d) Trace o diagrama de Bode de  $K_1(\omega)$  e  $K_2(\omega)$ .

### Problema 5.3 - Função de transferência. Diagrama de Bode

Um filtro com um amplificador operacional ideal (filtro activo) está representado na figura 5.3. Quatro dos componentes externos valem:  $R_1=R_2=1k\Omega$ ,  $L=10mH$  e  $C=10\mu F$ .

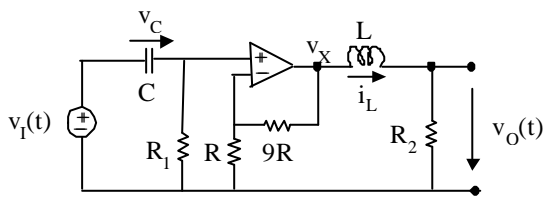


Figura 5.3 - Filtro activo LC

- a) Calcule a função de transferência  $\overline{H}(s) = \frac{\overline{V_o(s)}}{\overline{V_i(s)}}$ , evidenciando os polos e zeros.
- b) Indique a forma geral da resposta natural  $v_{On}(t)$ .
- c) Desenhe os diagramas de Bode assintóticos (amplitude e fase) de  $\overline{H}(j\omega)$ .
- d) Qual o valor de  $R_2$ , mantendo os restantes componentes o seu valor, para que  $\overline{H}(s)$  apresente um polo duplo? Desenhe, de forma esquemática, o diagrama de Bode de amplitude para este caso. Qual o valor de  $|\overline{H}(j100)|$ ?
- e) Supondo  $v_1(t) = \cos(10^5 t) u(t)$ , calcule as condições iniciais e a resposta total  $v_o(t)$  para  $-\infty < t < \infty$ . Pode recorrer aos diagramas de Bode da alínea b) tendo em atenção que são apenas assintóticos.

**Problema 5.4 - Função de transferência. Diagramas de Bode**

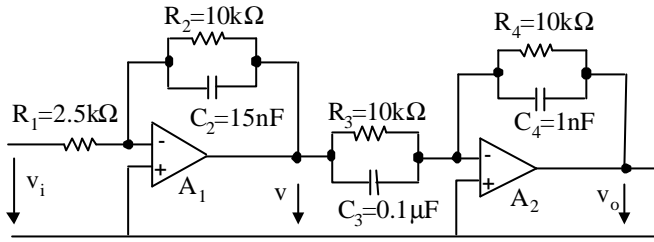


Figura 5.4 - Filtro RC activo

No circuito da figura 5.4 admita que os amplificadores operacionais  $A_1$  e  $A_2$  são ideais.

- a) Calcule a função da transferência  $F(s) = \frac{V_o}{V_i}$  do circuito. Qual o valor dos seus polos e zeros? Qual o seu valor na origem? Interprete este resultado.

- b) Trace os diagramas de Bode, módulo e fase, da função de transferência calculada na alínea a).  
 c) Qual é a frequência de ganho de tensão unitário  $f_0$  ( $|F(j2\pi f_0)|=1$ ) e a respectiva fase ( $\phi_F(j2\pi f_0)$ )?  
 d) Repita as alíneas anteriores se  $C_2=0.1\mu F$ ,  $C_4=3.3nF$  e  $R_3=1k\Omega$ .

**Problema 5.5 - Diagramas de Bode**

Um circuito tem a seguinte função de transferência:  $G(s) = \frac{10^4 s}{(s+1)(s+10^4)}$

- a) Trace os digramas de Bode (aproximação assintótica) de  $G(j\omega)$ . Determine os valores de  $\omega$  para que  $|G(j\omega)| = \frac{|G(j100)|}{10}$   
 b) Calcule os valores exactos de  $\omega$  onde  $|G(j\omega)| = \frac{|G(j100)|}{\sqrt{2}}$

**Problema 5.6 - Diagramas de Bode**

Trace os diagramas de Bode (aproximação assintótica) da seguinte função de transferência:

$$G(s) = \frac{1000s}{s^2 + 10s + 400}$$

Qual é o seu tipo de filtragem? Comente.

**Problema 5.7 - Diagramas de Bode**

Para a aproximação assintótica do diagrama de Bode de amplitude representado na figura 5.7, obtenha a respectiva função de transferência  $H(s)$ . Qual o valor e ordem das singularidades (pólos e zeros)? Trace o respectivo diagrama de fase assintótico.

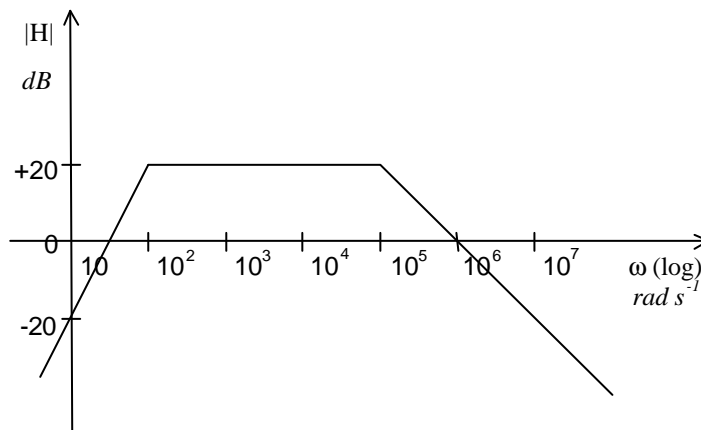


Figura 5.7 - Diagrama de Bode (amplitude) de um amplificador de banda larga