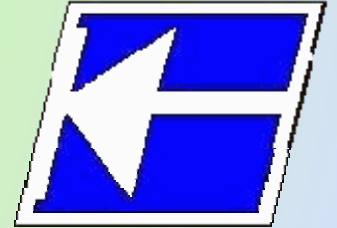


Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina
Departamento Acadêmico de Eletrônica
Retificadores



Circuitos em CA
Série, Paralelo e Misto

Prof. Clóvis Antônio Petry.

Florianópolis, agosto de 2008.

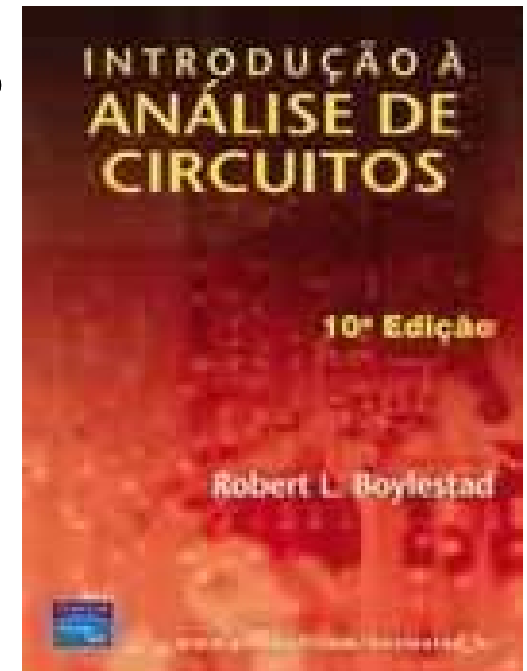
Bibliografia para esta aula

Capítulo 15: Circuitos de CA em Série e em Paralelo

1. Revisão;
2. Circuitos CA série;
3. Circuitos CA em paralelo.

Capítulo 16: Circuitos de CA em Série-Paralelo

1. Circuitos mistos de impedâncias em CA.



Nesta aula

Seqüência de conteúdos:

1. Revisão;
2. Circuitos CA série;
3. Circuitos misto de impedâncias.

Fasores – Elementos resistivos

Revisão

Na forma fasorial:

$$v_R(t) = V_m \cdot \text{sen}(\omega t)$$

Valor eficaz (RMS)

Aplicando a lei de Ohm:



$$V_R = V \underline{0^\circ} \quad \therefore V = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

$$I_R = \frac{V_R \underline{0^\circ}}{R \underline{\theta_r}} = \frac{V_R}{R} \underline{0^\circ - \theta_r} \quad \therefore \theta_r = 0^\circ$$

$$I_R = \frac{V_R}{R} \underline{0^\circ - 0^\circ} = \frac{V_R}{R} \underline{0^\circ} \quad \Rightarrow \quad i_R(t) = \sqrt{2} \cdot \frac{V_R}{R} \cdot \text{sen}(\omega t)$$

A impedância de um resistor é:

$$Z_R = R \underline{\theta_r} = R \underline{0^\circ}$$

Reatância resistiva??

Fasores – Elementos indutivos

Revisão

Na forma fasorial:

$$v_L(t) = V_m \cdot \text{sen}(\omega t)$$

Valor eficaz (RMS)



$$V_L = \underline{V|0^\circ} \quad \therefore V = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

Aplicando a lei de Ohm:

$$I_L = \frac{\underline{V_L|0^\circ}}{\underline{X_L|\theta_L}} = \frac{V_L}{X_L} \underline{0^\circ - \theta_L} \quad \therefore \theta_L = +90^\circ$$

$$I_L = \frac{V_L}{X_L} \underline{0^\circ - 90^\circ} = \frac{V_L}{X_L} \underline{-90^\circ}$$

Fasores – Elementos indutivos

Revisão

No tempo:

$$i_L(t) = \sqrt{2} \cdot \frac{V_L}{X_L} \cdot \text{sen}(\omega t - 90^\circ)$$

A impedância de um indutor é:

$$Z_L = X_L \angle \theta_L = X_L \angle 90^\circ \quad \leftarrow \quad \text{Reatância indutiva}$$

$$\therefore X_L = \omega \cdot L = 2\pi \cdot F \cdot L$$

Fasores – Elementos capacitivos

Revisão

Na forma fasorial:

$$v_C(t) = V_m \cdot \text{sen}(\omega t)$$

Valor eficaz (RMS)



$$V_C = \underline{V|0^\circ} \quad \therefore V = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

Aplicando a lei de Ohm:

$$I_C = \frac{\underline{V_C|0^\circ}}{\underline{X_C|\theta_C}} = \frac{V_C}{X_C} \underline{0^\circ - \theta_C} \quad \therefore \theta_C = -90^\circ$$

$$I_C = \frac{V_C}{X_C} \underline{0^\circ + 90^\circ} = \frac{V_C}{X_C} \underline{+90^\circ}$$

Fasores – Elementos capacitivos

No tempo:

$$i_C(t) = \sqrt{2} \cdot \frac{V_C}{X_C} \cdot \text{sen}(\omega t + 90^\circ)$$

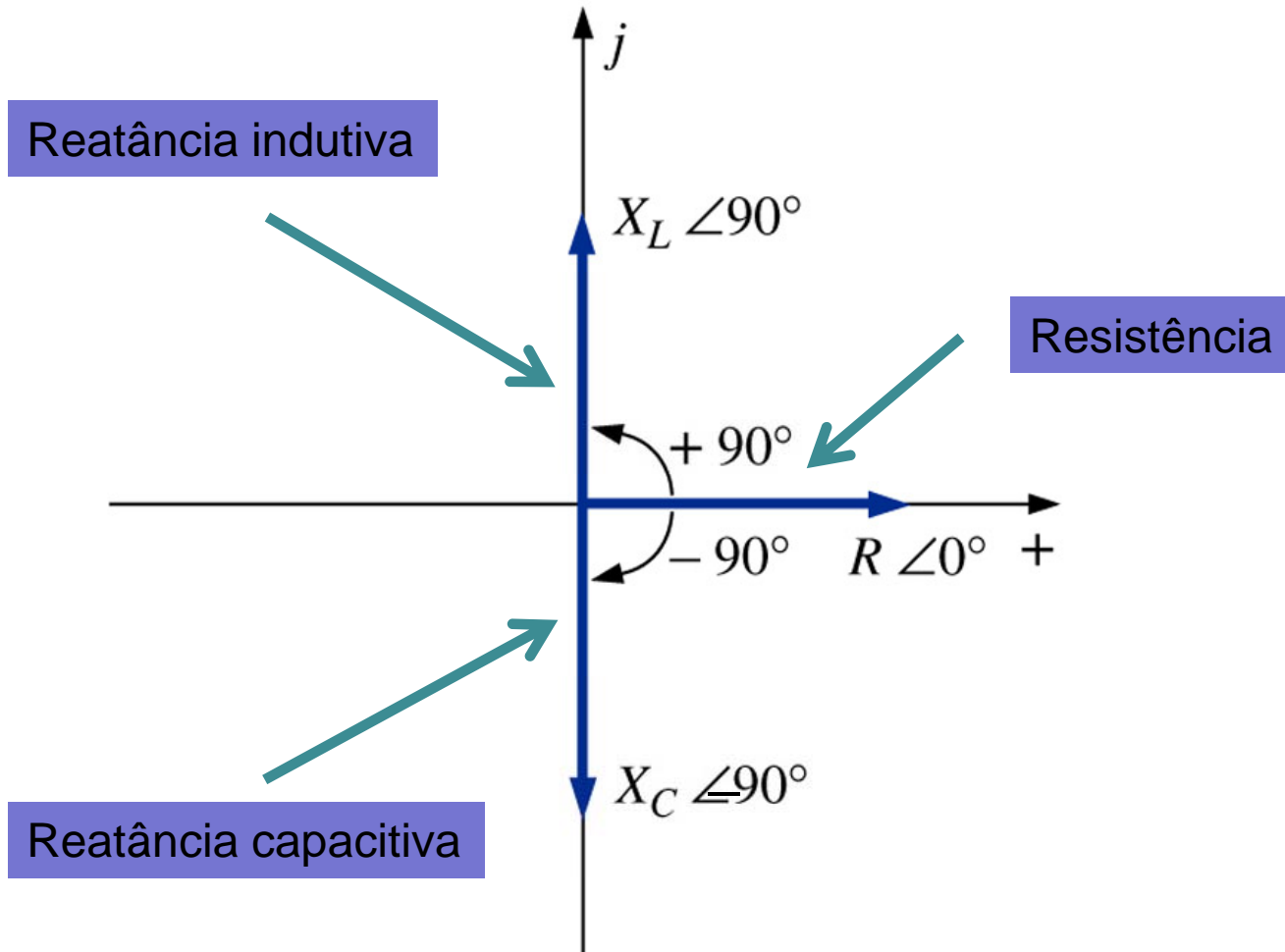
A impedância de um capacitor é:

$$Z_C = X_C \angle \theta_C = X_C \angle -90^\circ \leftarrow \text{Reatância capacitiva}$$

$$\therefore X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2\pi \cdot F \cdot C}$$

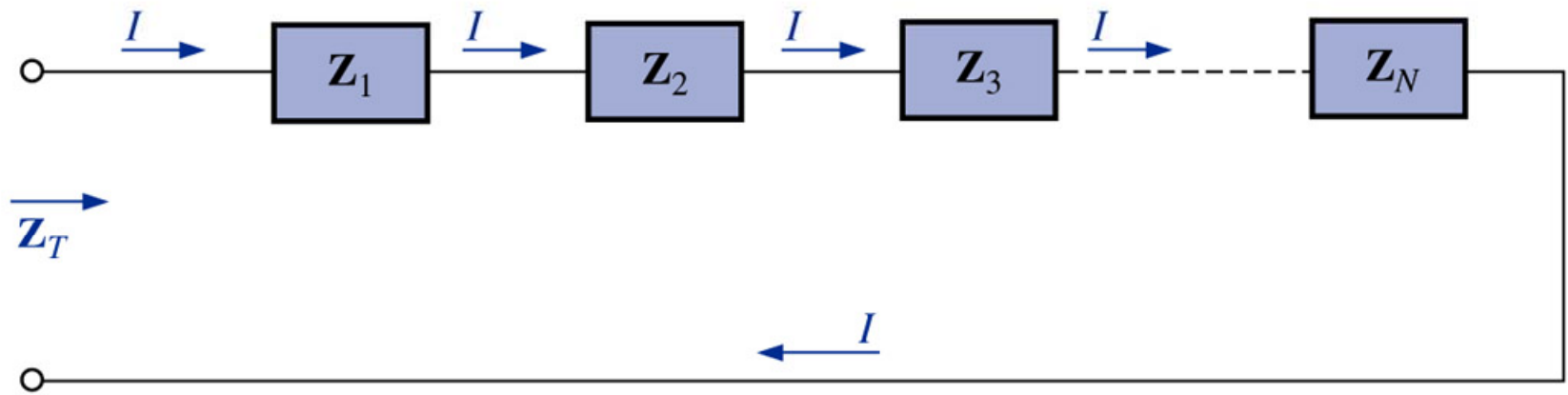
Diagrama de impedâncias

Revisão



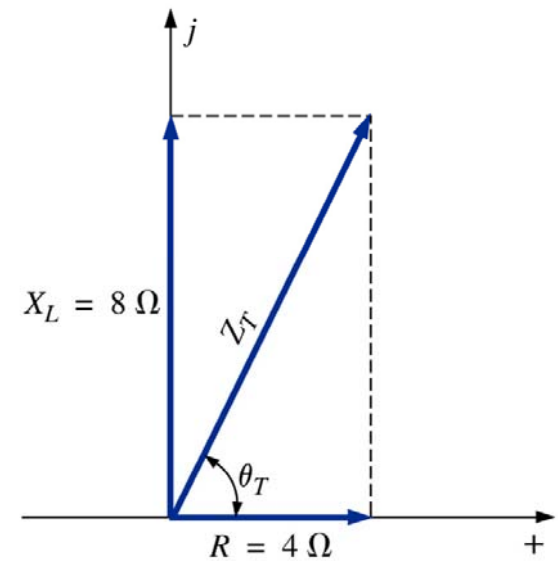
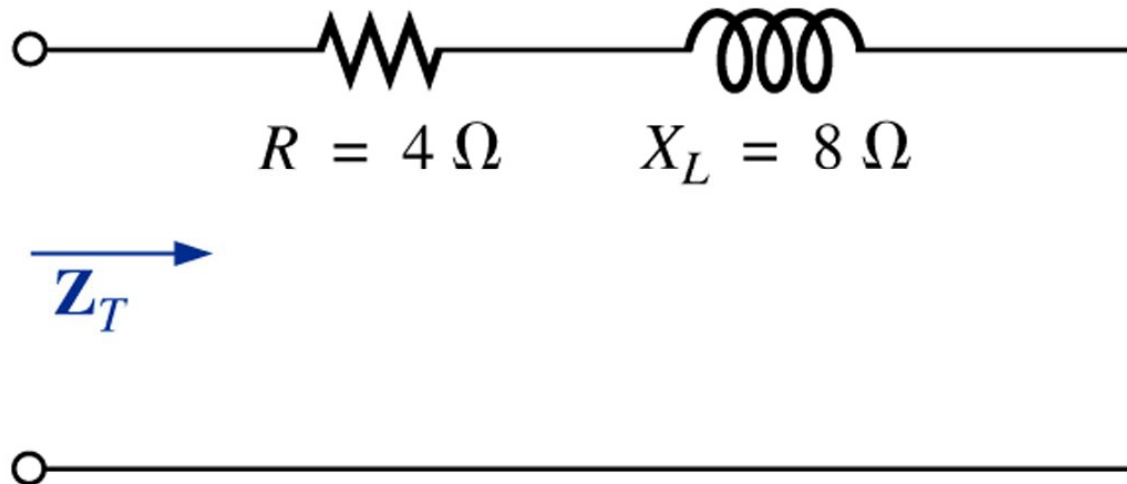
Configuração série de impedâncias

$$Z_T = Z_1 + Z_2 + Z_3 + \dots + Z_N$$



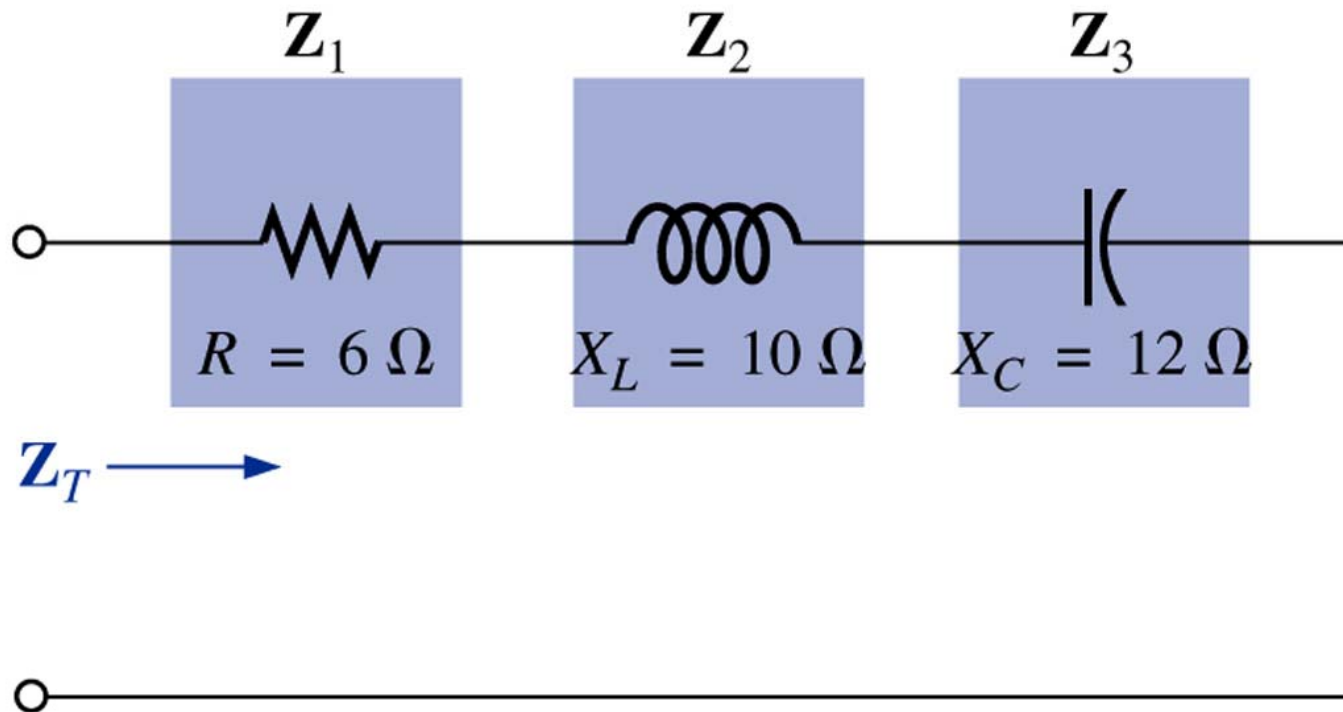
Configuração série de impedâncias

Exemplo 15.7: Construa o diagrama de impedâncias para o circuito abaixo e determine a impedância total:



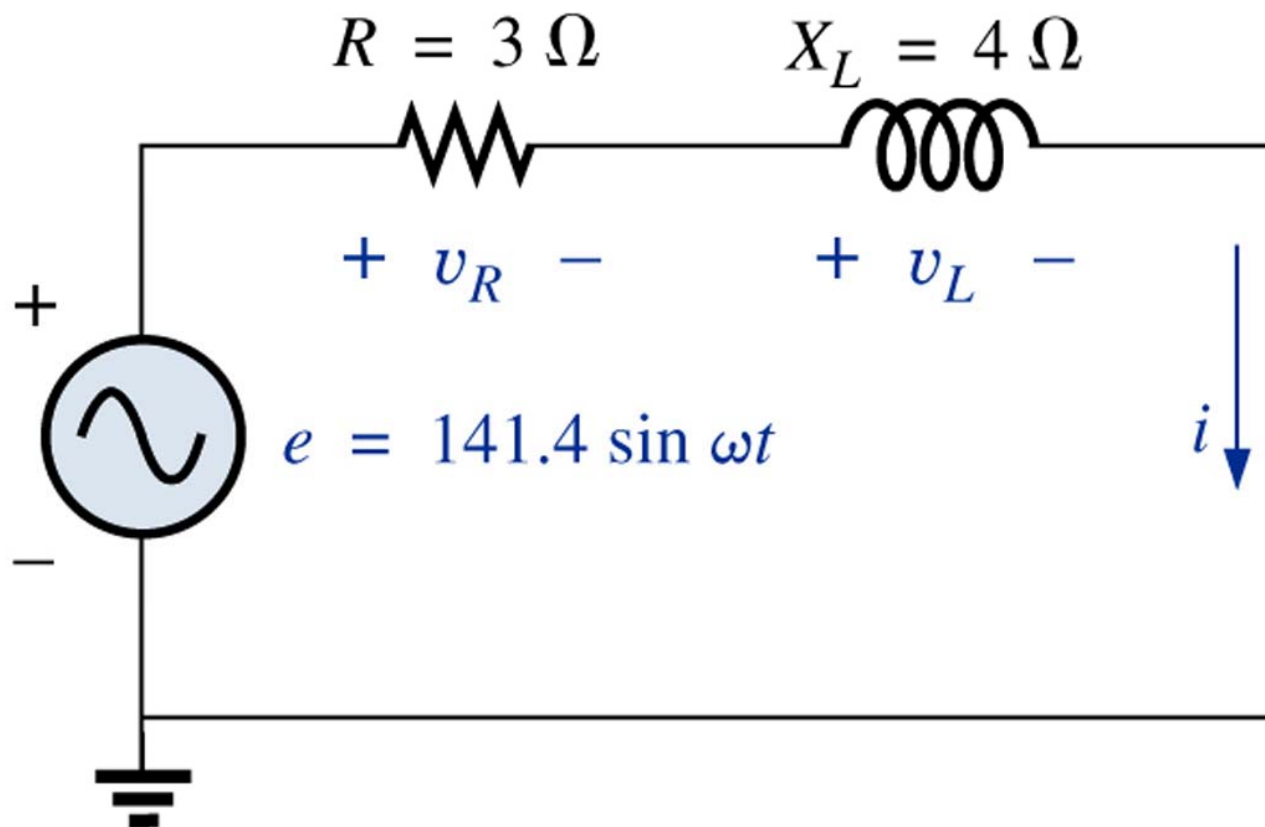
Configuração série de impedâncias

Exemplo 15.8: Calcule a impedância de entrada do circuito abaixo:



Configuração série de impedâncias

Considere o circuito abaixo:



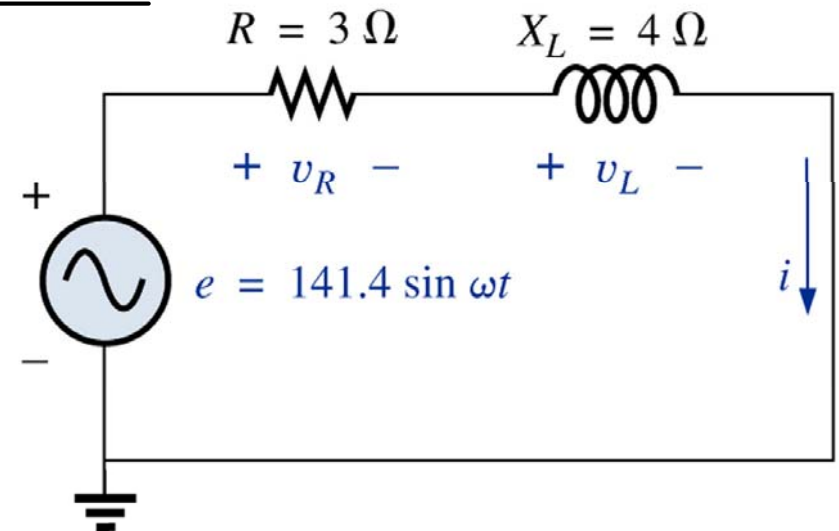
Configuração série de impedâncias

A impedância total será:

$$Z_T = Z_1 + Z_2$$

$$Z_T = 3\angle 0^\circ + 4\angle 90^\circ = 5\angle 53,13^\circ \Omega \quad \text{ou} \quad Z_T = 3 + j4 \Omega$$

$$I = \frac{E}{Z_T} = \frac{100\angle 0^\circ}{5\angle 53,13^\circ} = 20\angle -53,13^\circ \text{ A}$$

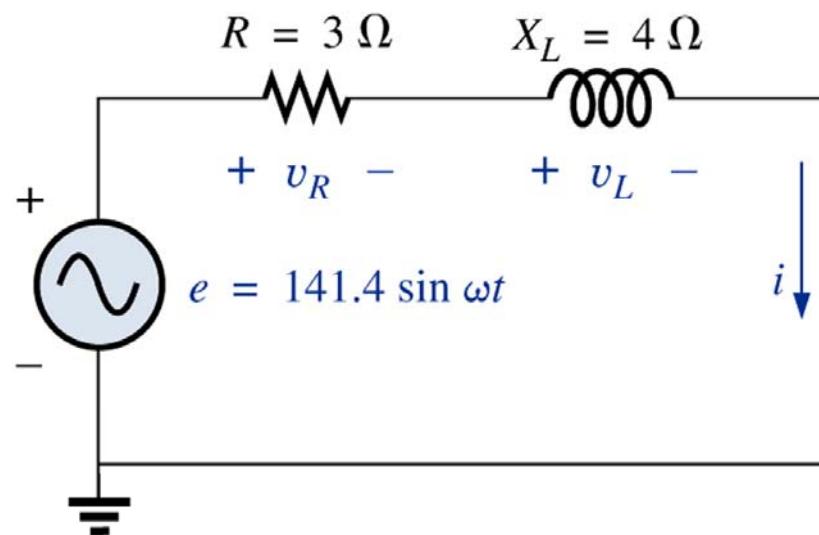
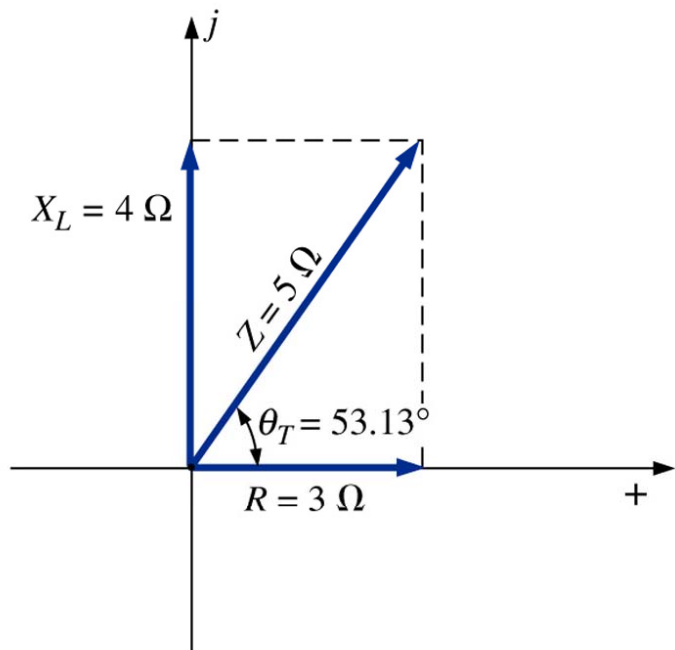


Configuração série de impedâncias

Tensão sobre os elementos:

$$V_R = Z_R \cdot I = 3 \angle 0^\circ \cdot 20 \angle -53,13^\circ = 60 \angle -53,13^\circ \text{ V}$$

$$V_L = Z_L \cdot I = 4 \angle 90^\circ \cdot 20 \angle -53,13^\circ = 80 \angle 36,87^\circ \text{ V}$$



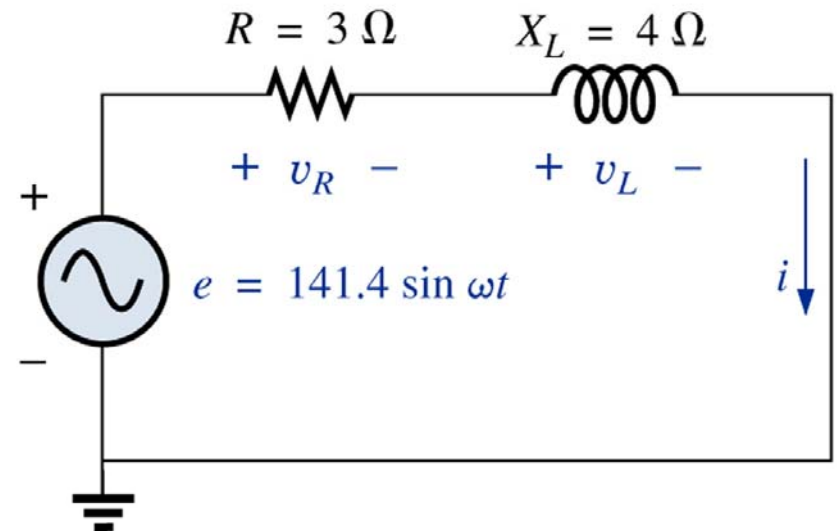
Configuração série de impedâncias

Potência média:

$$P_T = E \cdot I \cdot \cos(\theta_T) = 100 \cdot 20 \cdot \cos(53,13^\circ) = 1200 \text{ W}$$

$$P_R = V_R \cdot I \cdot \cos(\theta_R) = 60 \cdot 20 \cdot \cos(0^\circ) = 1200 \text{ W}$$

$$P_L = V_L \cdot I \cdot \cos(\theta_L) = 80 \cdot 20 \cdot \cos(90^\circ) = 0 \text{ W}$$



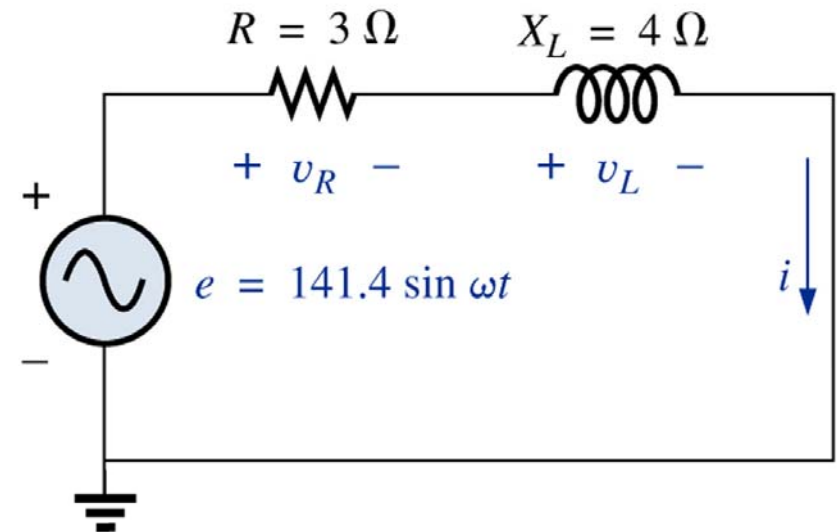
Configuração série de impedâncias

Fator de potência:

$$P_T = E \cdot I \cdot \cos(\theta_T) \quad \therefore \cos(\theta_T) = \frac{P_T}{E \cdot I}$$

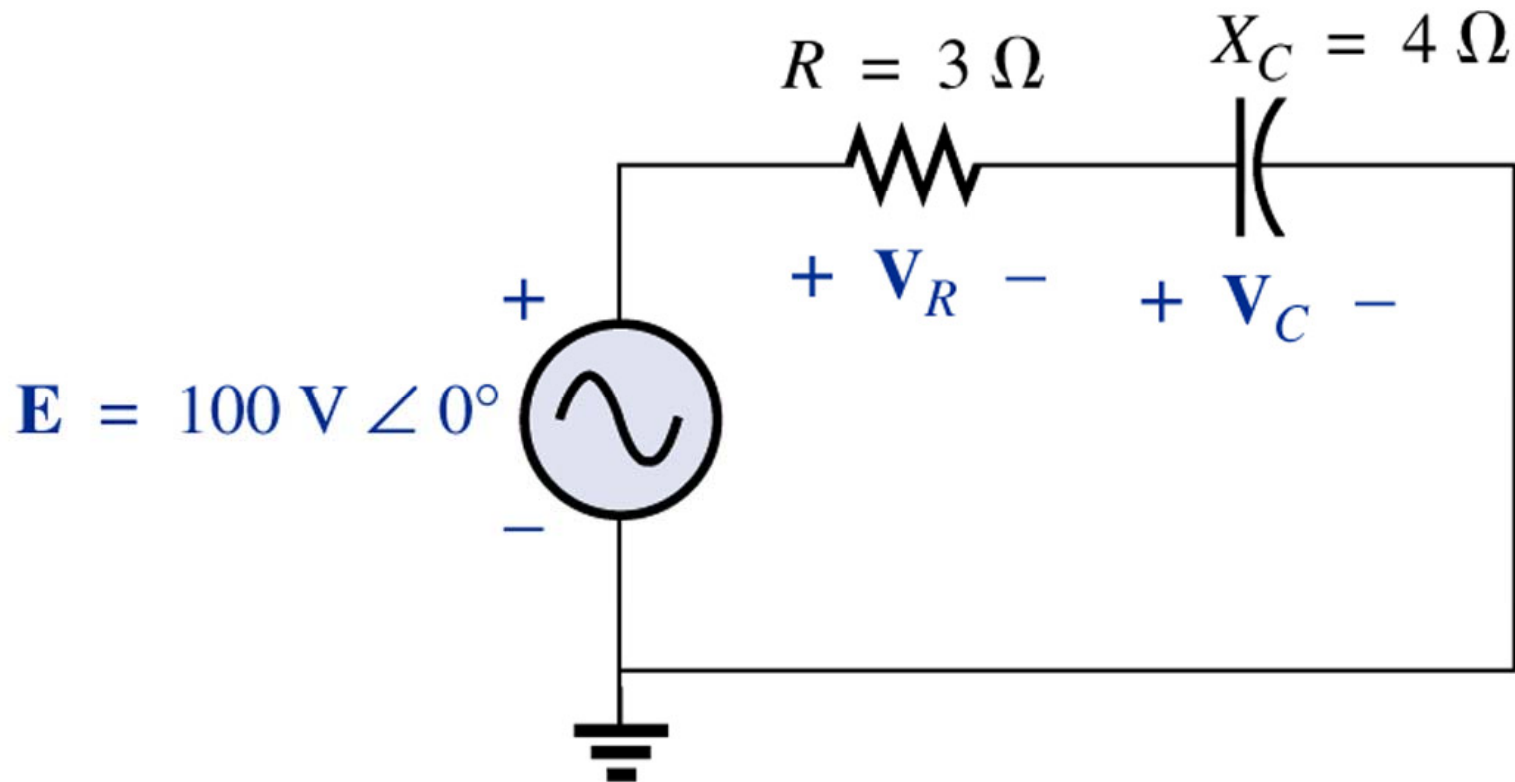
$$\cos(\theta_T) = \frac{P_T}{E \cdot I} = \frac{R \cdot I^2}{E \cdot I} = \frac{R \cdot I}{E} = \frac{R}{E/I} = \frac{R}{Z_T}$$

$$FP = \cos(\theta_T) = \frac{R}{Z_T}$$



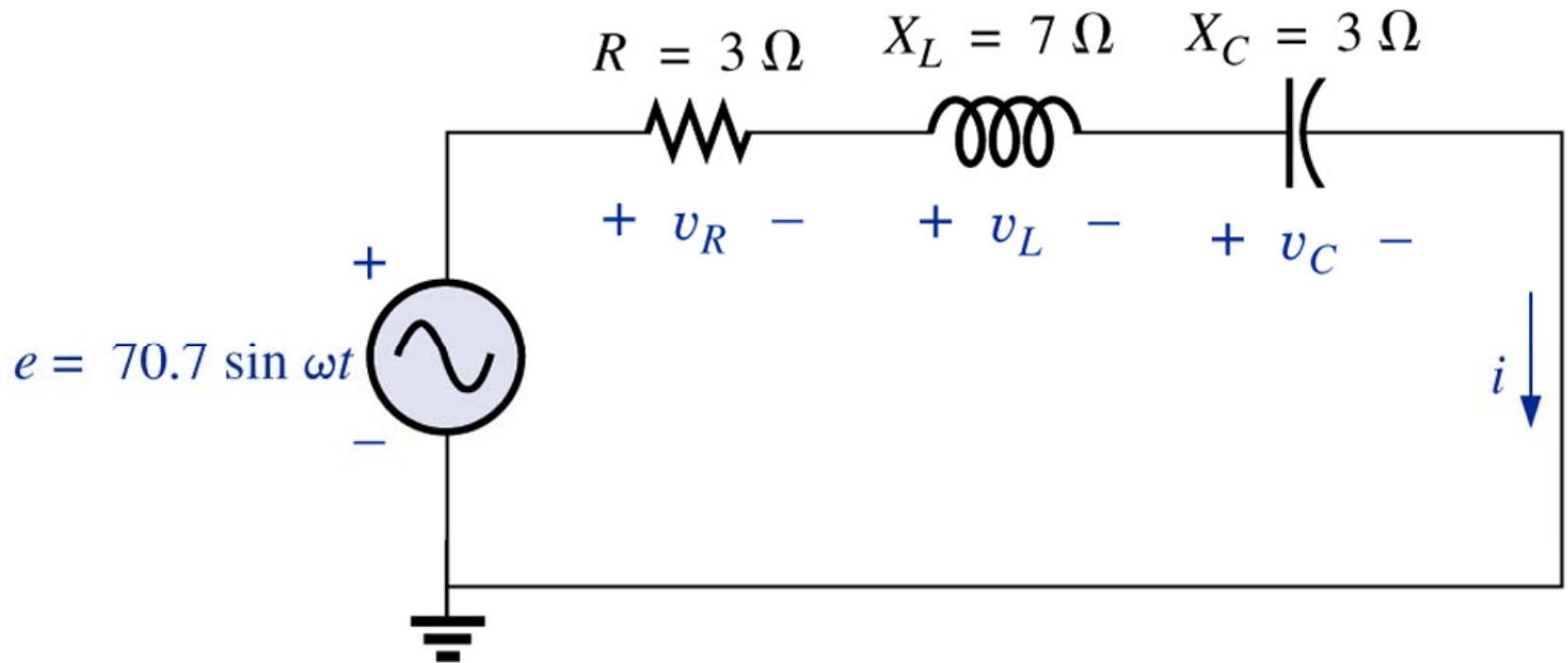
Configuração série de impedâncias

Exemplo 15.9: Calcule a tensão em cada elemento do circuito abaixo:



Configuração série de impedâncias

Exercício: Calcule as tensões nos elementos do circuito abaixo:



Admitância e susceptância

Condutância nos circuitos CC:

$$G = \frac{1}{R}$$

Condutância: inverso da resistência.

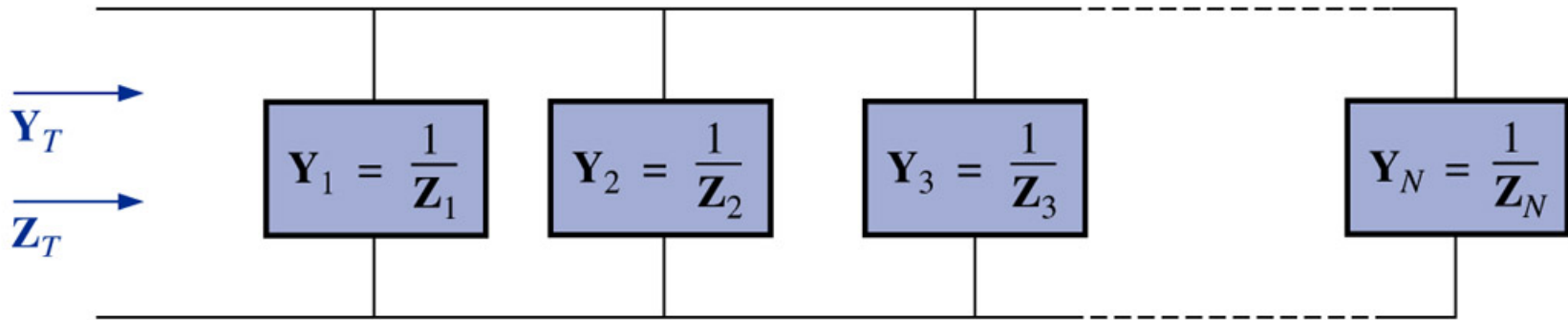
Admitância nos circuitos CA:

Unidade de medida siemens, S.

$$Y = \frac{1}{Z}$$

Admitância: inverso da impedância.

Configuração em paralelo de admitâncias



$$Y_T = Y_1 + Y_2 + Y_3 + \cdots + Y_N$$

$$Z = \frac{1}{Y}$$

$$\frac{1}{Z_T} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} + \cdots + \frac{1}{Z_N}$$

Admitância e susceptância

Para um resistor:

$$Y_R = \frac{1}{Z_R} = \frac{1}{R|0^\circ} = G|0^\circ$$

Condutância: inverso da resistência.

Para um indutor:

$$Y_L = \frac{1}{Z_L} = \frac{1}{X_L|90^\circ} = \frac{1}{X_L}|-90^\circ$$

Susceptância: inverso da reatância.

$$B_L = \frac{1}{X_L} \quad (\text{siemens, S})$$

$$Y_L = B_L|-90^\circ$$

Admitância e susceptância

Para um capacitor:

$$Y_C = \frac{1}{Z_C} = \frac{1}{X_C \angle -90^\circ} = \frac{1}{X_C} \angle 90^\circ$$

Susceptância: inverso da reatância.

$$B_C = \frac{1}{X_C} \quad (\text{siemens, S})$$

$$Y_C = B_C \angle 90^\circ$$

Diagrama de admitâncias

Diagrama de impedâncias

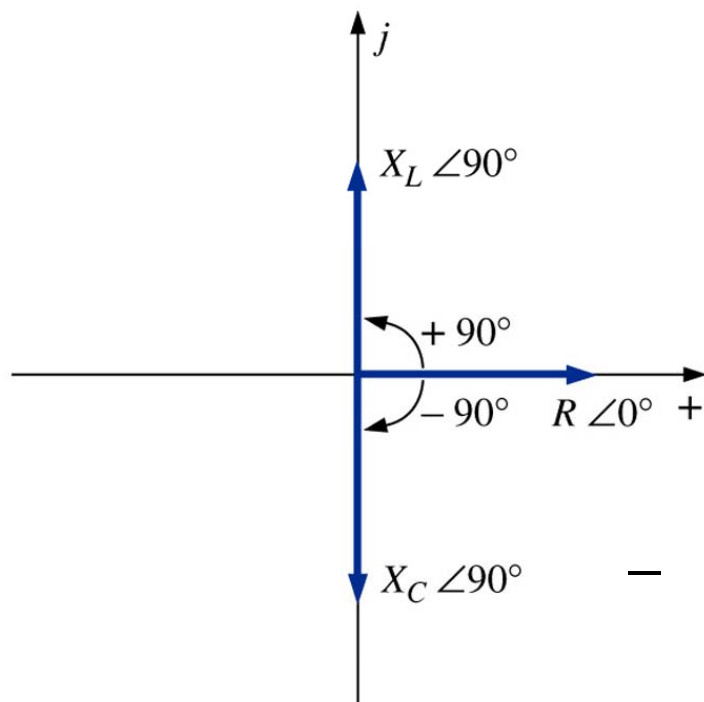
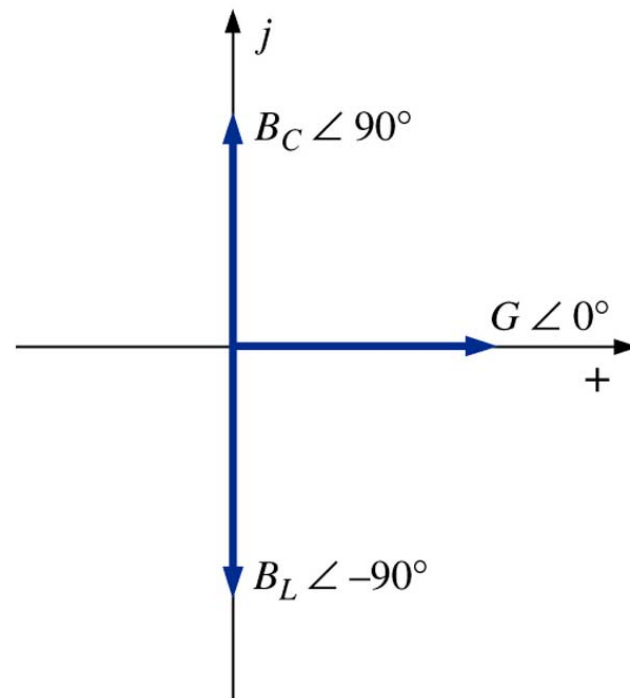
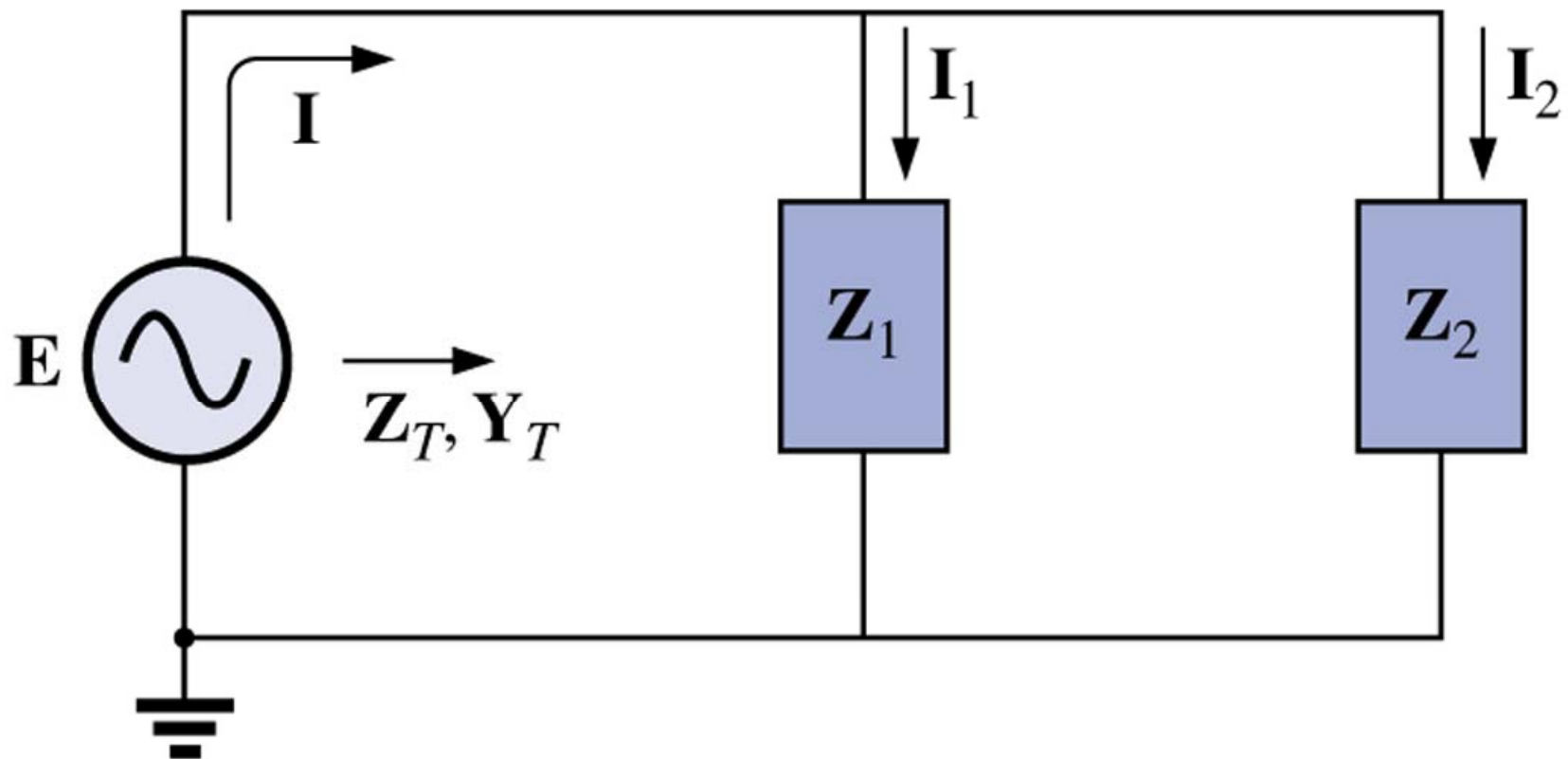


Diagrama de admitâncias



Circuitos CA em paralelo

Considere o circuito:



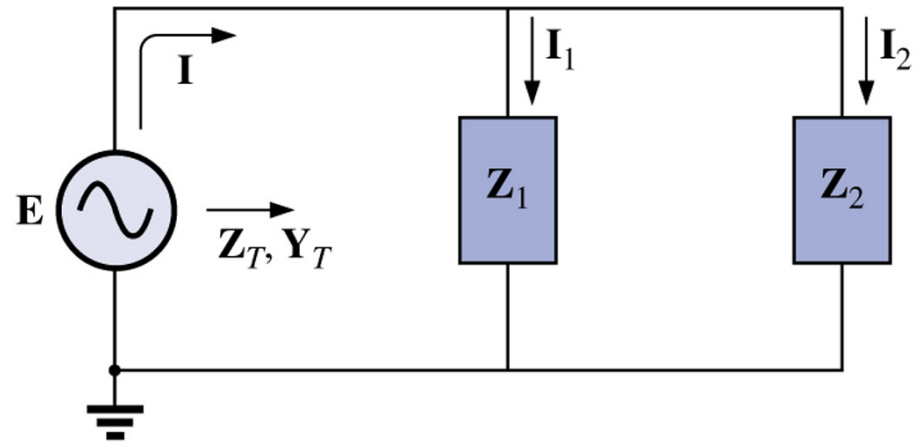
Circuitos CA em paralelo

As correntes serão:

$$I = \frac{E}{Z_T} = E \cdot Y_T$$

$$I_1 = \frac{E}{Z_1} = E \cdot Y_1$$

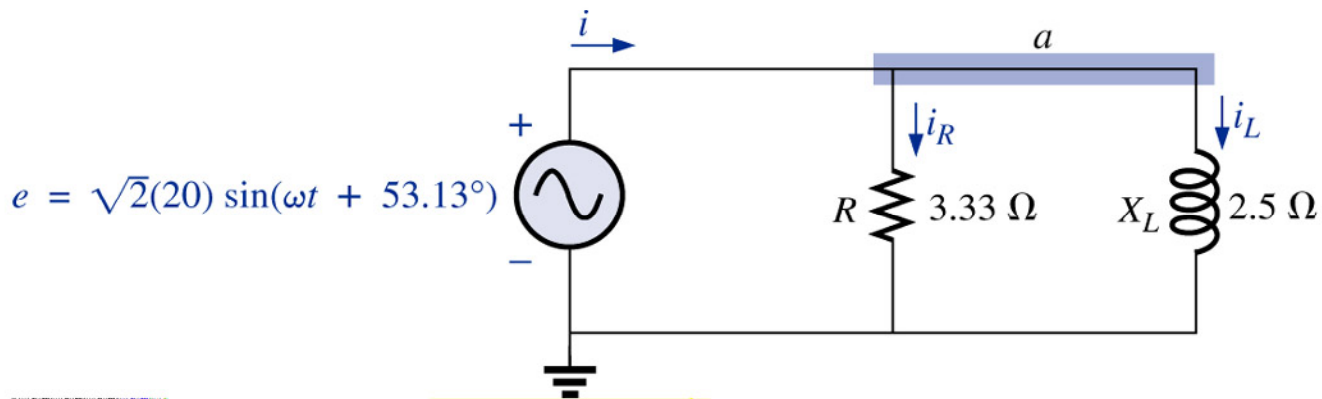
$$I_2 = \frac{E}{Z_2} = E \cdot Y_2$$



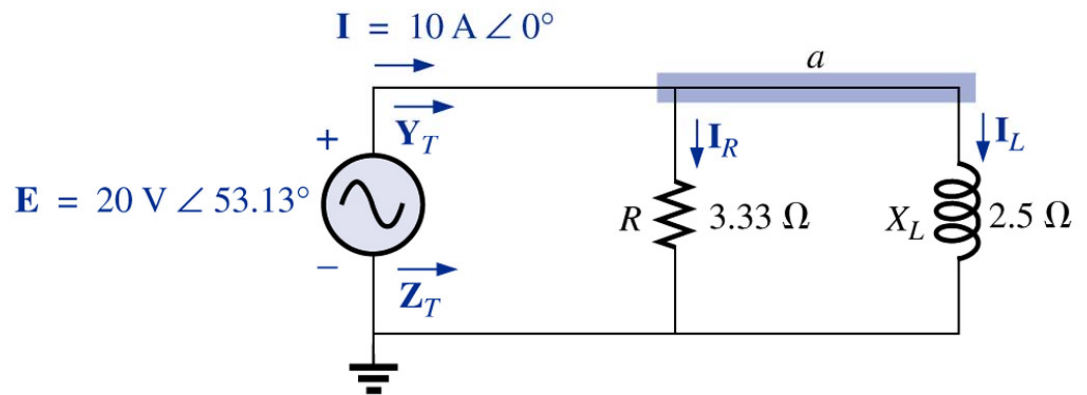
$$I_T = I_1 + I_2$$

Circuitos CA em paralelo

Considere os circuitos:



Usando notação fasorial:

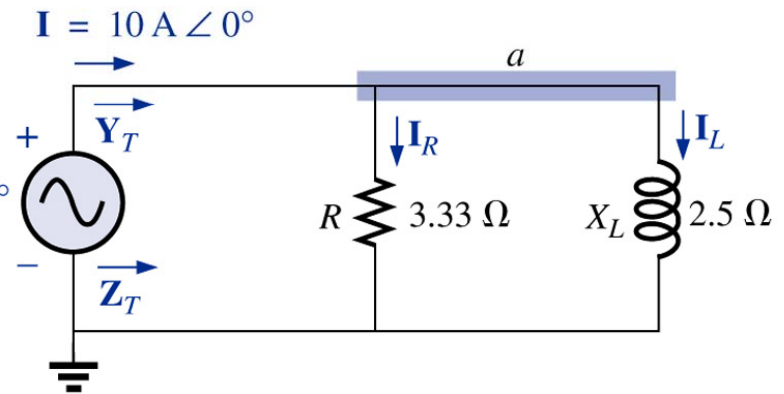


Circuitos CA em paralelo

Resolvendo com o uso de admitâncias:

$$Y_T = Y_R + Y_L$$

$$E = 20 \text{ V} \angle 53.13^\circ$$



$$Y_R = G \angle 0^\circ = \frac{1}{3,3} \angle 0^\circ = 0,3 \angle 0^\circ \text{ S}$$

$$Y_L = B_L \angle -90^\circ = \frac{1}{2,5} \angle -90^\circ = 0,4 \angle -90^\circ \text{ S}$$

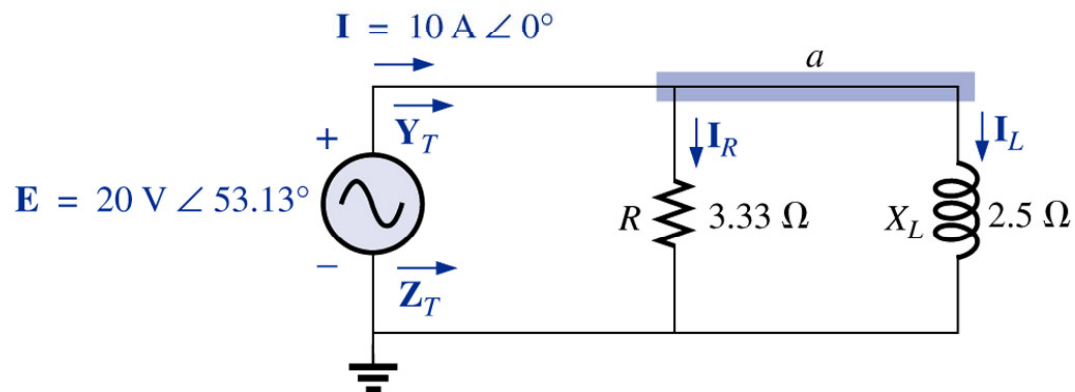
$$Y_T = Y_R + Y_L = 0,5 \angle -53,13^\circ \text{ S}$$

Circuitos CA em paralelo

Resolvendo com o uso de admitâncias:

$$Z_R = \frac{1}{Y_T} = \frac{1}{0,5 \angle -53,13^\circ} = 2 \angle 53,13^\circ \Omega$$

$$I = \frac{E}{Z_T} = E \cdot Y_T = 20 \angle 53,13^\circ \cdot 0,5 \angle -53,13^\circ = 10 \angle 0^\circ \text{ A}$$

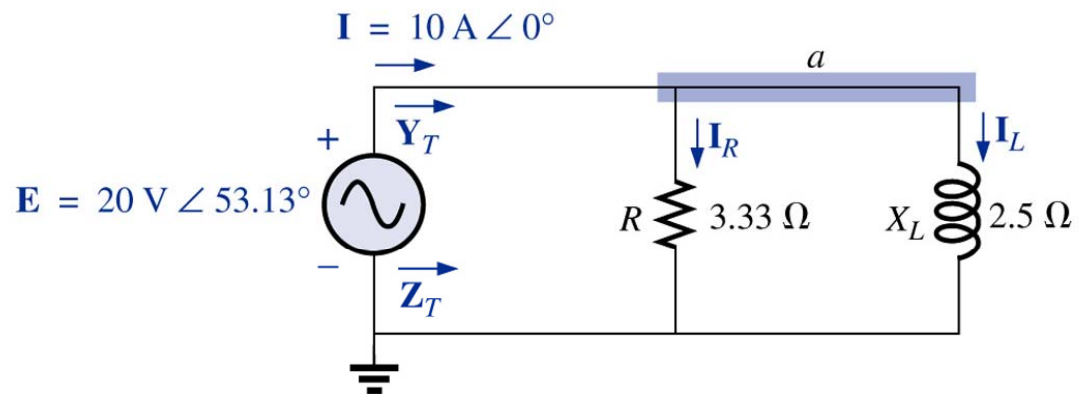


Circuitos CA em paralelo

Resolvendo normalmente:

$$Z_T = \frac{Z_R \cdot Z_L}{Z_R + Z_L} = \frac{3,33 \cdot 2,5 \angle 90^\circ}{3,3 + 2,5 \angle 90^\circ} = 2 \angle 53,13^\circ \Omega$$

$$I_T = \frac{E}{Z_T} = \frac{20 \angle 53,13^\circ}{2 \angle 53,13^\circ} = 10 \angle 0^\circ \text{ A}$$



Circuitos CA em paralelo

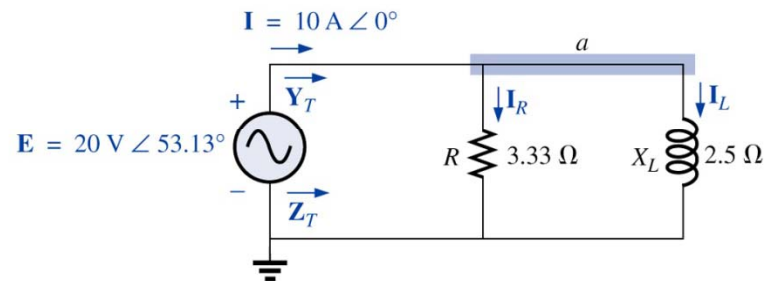
Resolvendo normalmente:

$$I_R = \frac{E}{Z_R} = \frac{20 \angle 53,13^\circ}{3,3 \angle 0^\circ} = 6,06 \angle 53,13^\circ \text{ A}$$

$$I_L = \frac{E}{Z_L} = \frac{20 \angle 53,13^\circ}{2,5 \angle 90^\circ} = 8 \angle -36,87^\circ \text{ A}$$

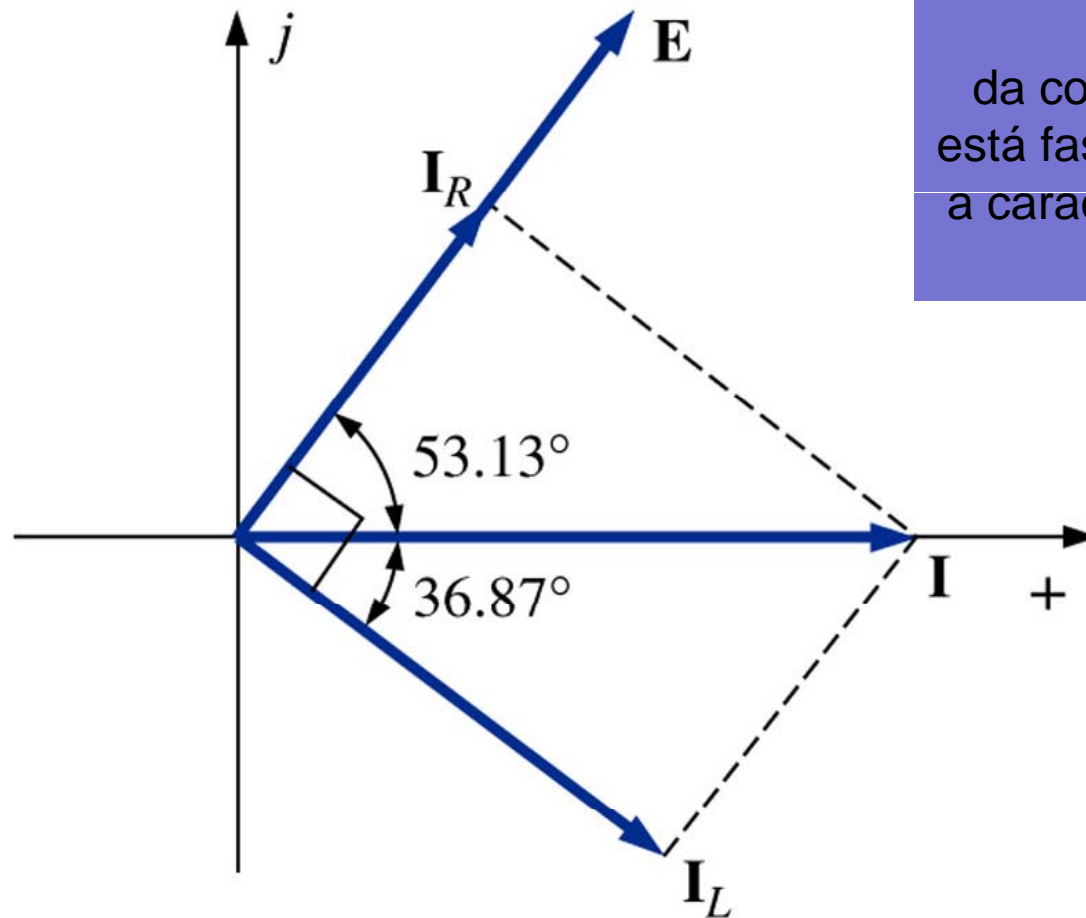
$$I_T = I_R + I_L = 6,06 \angle 53,13^\circ + 8 \angle -36,87^\circ$$

$$I_T = 10 \angle 0^\circ \text{ A}$$



Circuitos CA em paralelo

Diagrama de fasores:

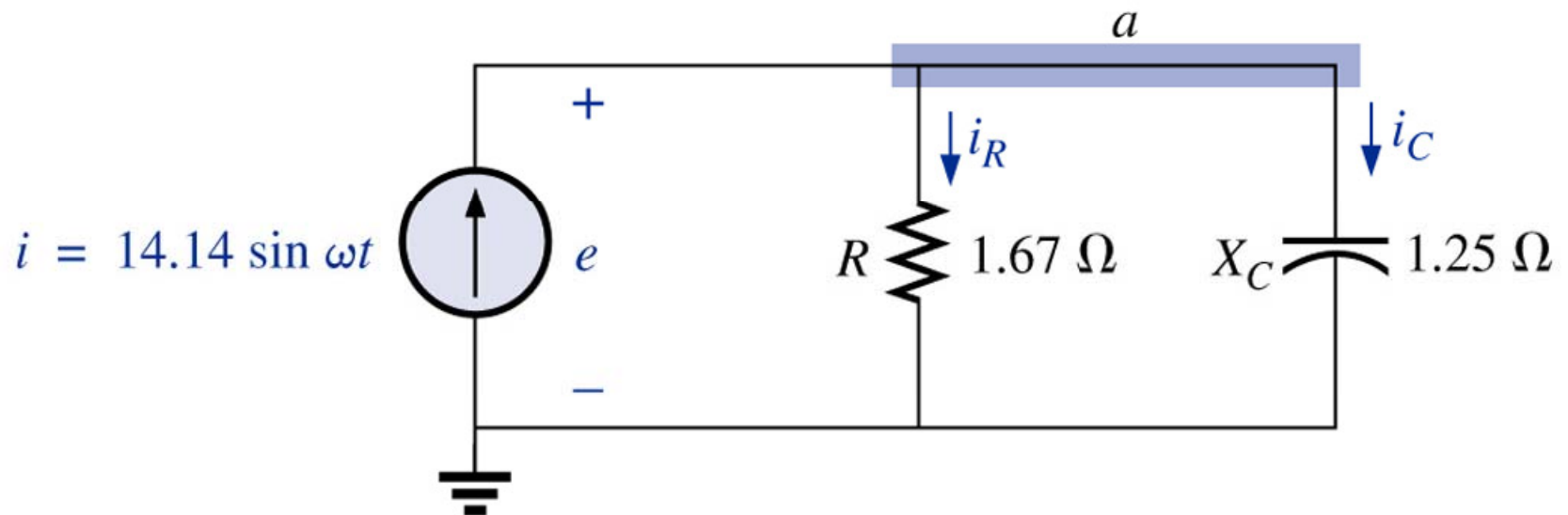


Importante:

Apesar do ângulo da corrente ser zero, esta não está fase com a tensão, portanto, a característica do circuito não é resistiva pura.

Circuitos CA em paralelo

Considere o circuito:



Determine as correntes em cada elemento aplicando a regra do divisor de corrente e usando software Mathcad.

Circuitos CA em paralelo

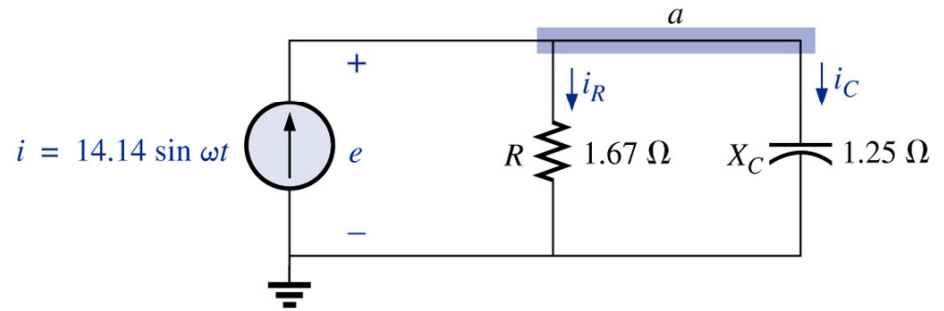
Escrevendo os fasores:

$$I = \frac{14,14}{\sqrt{2}} \angle 0^\circ = 10 \angle 0^\circ \text{ A}$$

$$I = 10 + j0 \text{ A}$$

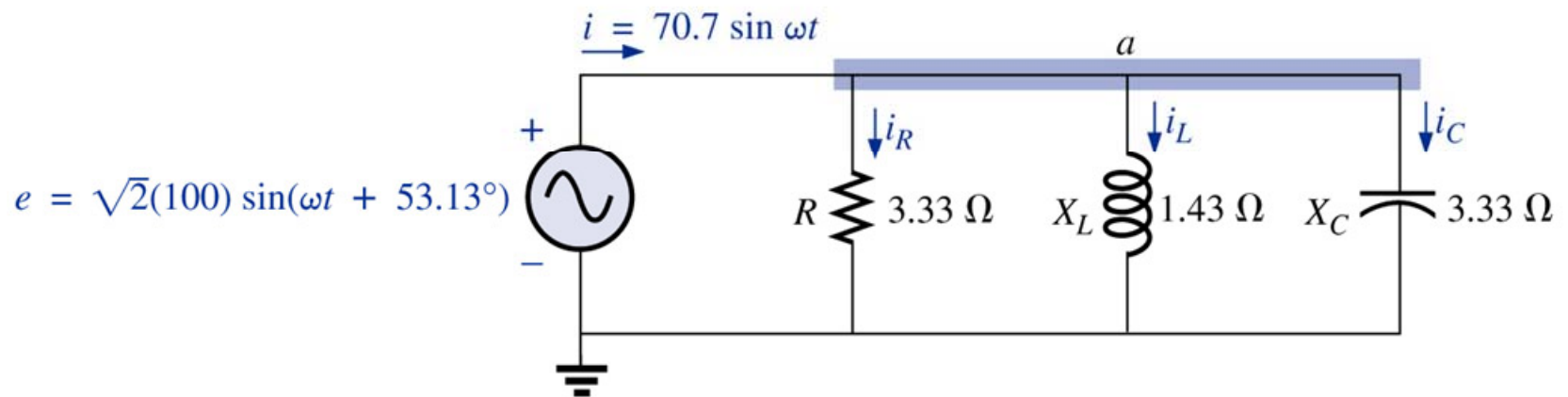
$$Z_R = 1,67 \angle 0^\circ = 1,67 + j0 \Omega$$

$$Z_C = 1,25 \angle -90^\circ = -j1,25 \Omega$$



Circuitos CA em paralelo

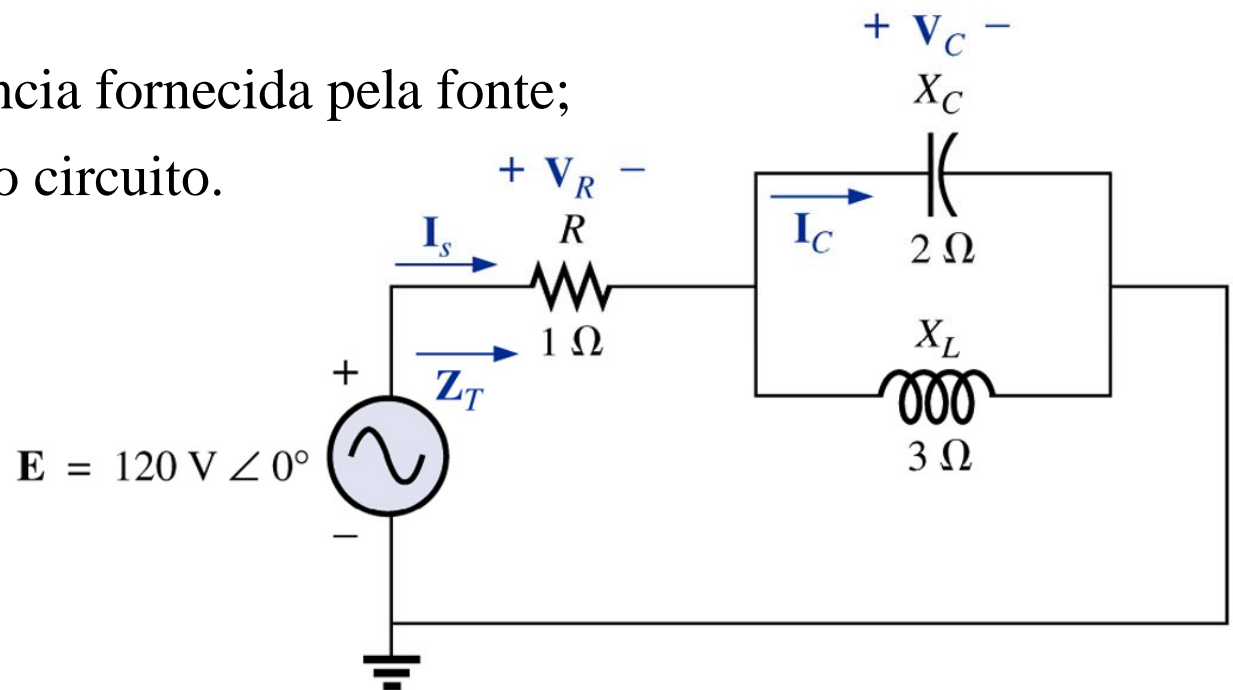
Para o circuito abaixo, determine todas as correntes:



Configuração série-paralelo de impedâncias

Exemplo 16.1: Para o circuito da figura abaixo, determinar:

- Calcule Z_T ;
- Determine I_S ;
- Calcule V_R e V_C ;
- Determine I_C ;
- Calcule a potência fornecida pela fonte;
- Calcule o FP do circuito.



Configuração série-paralelo de impedâncias

Escrevendo os fasores:

$$E = 120 \angle 0^\circ = 100 + j0 \text{ V}$$

$$Z_R = 1 \angle 0^\circ = 1 + j0 \Omega$$

$$Z_C = 2 \angle -90^\circ = -j2 \Omega$$

$$Z_L = 3 \angle 90^\circ = j3 \Omega$$

Usando Mathcad

Mathcad - [Exercício Circuito Misto]

File Edit View Insert Format Tools Symbolics Window Help

Normal Arial 10 B I U

My Site

$j := \sqrt{-1}$

$V(j) := 100$

$Z_R(j) := 1$

$Z_C(j) := -j2$

$Z_L(j) := j3$

a) Determinar a impedância total:

$Z_1(j) := Z_R(j) \quad Z_1(j) = 1$

$Z_2(j) := \frac{Z_C(j) \cdot Z_L(j)}{Z_C(j) + Z_L(j)} \quad Z_2(j) = -6i$

$Z_T(j) := Z_1(j) + Z_2(j) \quad Z_T(j) = 1 - 6i$

b) Determinar a corrente total:

$I_T(j) := \frac{V(j)}{Z_T(j)} \quad I_T(j) = 2.703 + 16.216i$

c) Calcular a tensão no resistor e no capacitor:

$V_R(j) := Z_R(j) \cdot I_T(j) \quad V_R(j) = 2.703 + 16.216i$

Calculator

Calculus

Graph

Evaluation

Boolean

Matrix

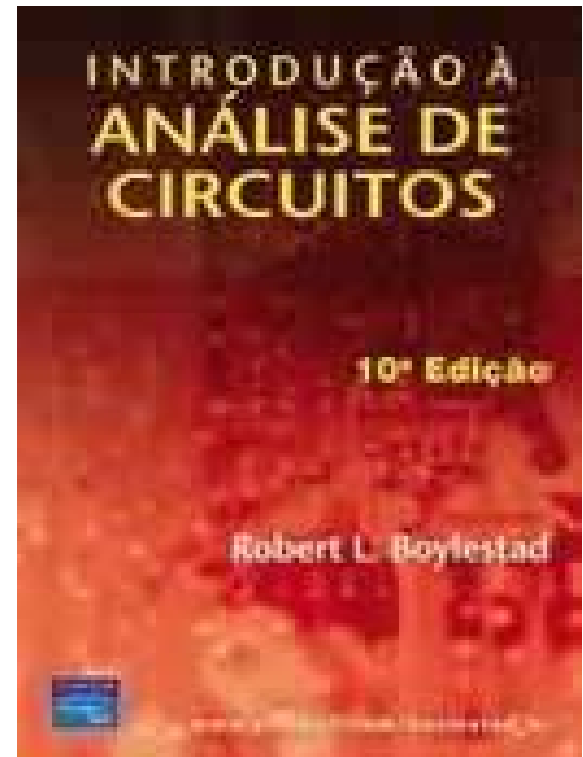
Press F1 for help.

AUTO NUM Page 1

Capítulos 17 e 18

Capítulo 17: Métodos de Análise e Tópicos Seleccionados

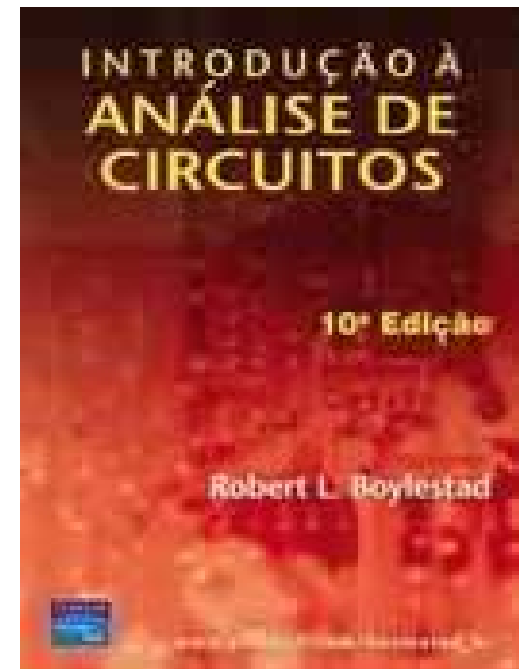
1. Fontes independentes e dependentes;
2. Conversão de fontes;
3. Análise de malhas;
4. Análise nodal;
5. Circuitos em ponte.



Capítulos 17 e 18

Capítulo 18: Teoremas sobre Circuitos

1. Teorema da superposição;
2. Teorema de Thévenin;
3. Teorema de Norton;
4. Teorema da máxima transferência de potência;
5. Teorema da substituição.



Na próxima aula

Capítulo 19: Potência (CA)

1. Revisão;
2. Circuitos resistivos;
3. Potência aparente;
4. Circuitos capacitivos;
5. Circuitos indutivos.

