

1.1) $n = 3$
 $r = 6$
 $x = r - n + 1 = 3$

1ª LK
 Nó A: $I_{AC} + I_{AB} - I_{AD} = 0$ (1)

Nó B: $I_{BC} = I_{BD} + I_{AB}$ (2)

Nó C: $I_{AC} + I_{BC} + I_{CD} = 0$ (3)

Nó D: $I_{AD} + I_{BD} + I_{CD} = 0$ (4) (L2)

2ª LK
 Malha 1: $66 + 20I_{BC} + 30I_{AB} = 0$ (5)

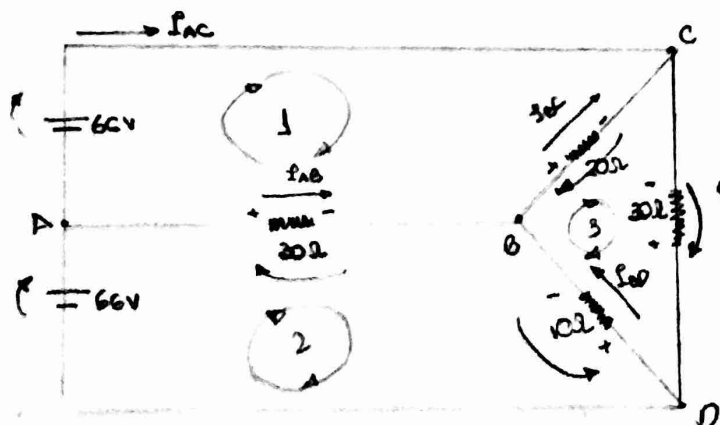
Malha 2: $66 - 30I_{AB} - 10I_{BD} = 0$ (6)

Malha 3: $-20I_{BC} - 30I_{CD} - 10I_{BD} = 0$ (7)

I_{AB}	I_{AC}	I_{AD}	I_{BC}	I_{BD}	I_{CD}	
1	1	-1	0	0	0	I_{AB}
1	0	0	-1	1	0	I_{AC}
0	1	0	1	0	1	I_{AD}
20	0	0	20	0	0	I_{BC}
-30	0	0	0	10	0	I_{BD}
0	0	0	-20	-10	30	I_{CD}

0	$I_{AB} = 0,6 \text{ A}$	$I_{BC} = -4,2 \text{ A}$
0	$I_{AC} = 8,6 \text{ A}$	$I_{BD} = -4,8 \text{ A}$
0	$I_{AD} = 9,2 \text{ A}$	$I_{CD} = -4,4 \text{ A}$

b) $V_{BC} = -20 \cdot 4,2 = -84 \text{ V}$
 $V_{BD} = -10 \cdot 4,8 = -48 \text{ V}$
 $V_{CD} = -30 \cdot 4,4 = -132 \text{ V}$



1.2) a) 1ª LK ENUNCIADO DOS EXERCÍCIOS ESTÃO NAS ÚLTIMAS PÁGINAS

Nó A: $I_1 + I_2 + I_3 = 0$ (1)

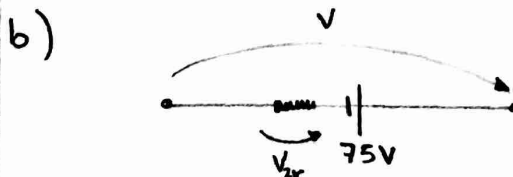
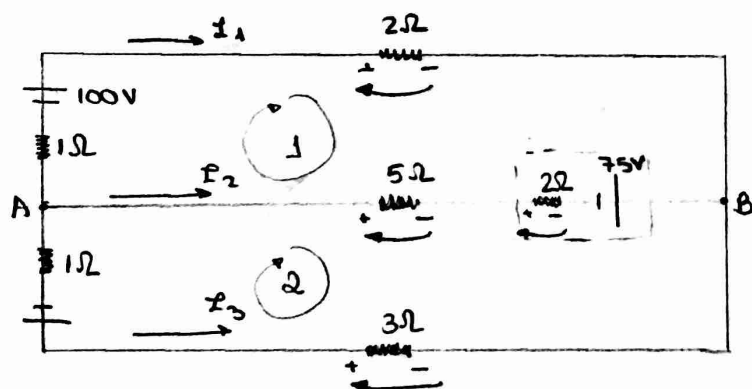
2ª LK

Malha 1: $-2I_1 - 75 + 2I_2 + 5I_2 - I_1 - 100 = 0$
 $7I_2 - 3I_1 = -25$ (2)

Malha 2: $-5I_2 - 2I_2 + 75 + 3I_3 - 100 + I_3 = 0$
 $-7I_2 - 4I_3 = -25$ (3)

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ -3 & 7 & 0 \\ 0 & -7 & 4 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -25 \\ 25 \end{bmatrix}$$

$I_1 \approx 1,640 \text{ A}$; $I_2 \approx -2,869$; $I_3 \approx 1,229 \text{ A}$



$V = V_r + 75 \rightarrow V = 5,738 + 75 \rightarrow V = 80,738 \text{ V}$

c) $\eta = \frac{75 \cdot \frac{1}{2}}{80,738 \cdot \frac{1}{2}} \rightarrow \eta = 0,929$

1.3) $n = 2$; $n - 1 = 1$
 $r = 3$; $x = r - n + 1 = 2$

1ª LK
 Nó B: $I_1 + I_2 + I_3 = 0$ (1)

2ª LK
 Malha 1: $2I_1 + 3I_1 + 10 - 13 - 9I_2 = 0 \rightarrow 5I_1 - 9I_2 = 3$ (2)

Malha 2: $9I_2 + 13 + 25 - 4I_3 = 0 \rightarrow 9I_2 - 4I_3 = -38$ (3)

$$\begin{matrix} (1) \\ (2) \\ (3) \end{matrix} \begin{bmatrix} I_1 & I_2 & I_3 \\ 1 & 1 & 1 \\ 5 & -9 & 0 \\ 0 & 9 & -4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 3 \\ -38 \end{bmatrix}$$

$$I_1 = -3A, I_2 = -2A, I_3 = 5A$$

14) Em série, a corrente será a mesma para ambas as lâmpadas

$$40 = \frac{120^2}{R_1} \rightarrow R_1 = 360 \Omega$$

$$50 = \frac{120^2}{R_2} \rightarrow R_2 = 288 \Omega$$

$$R_{eq} = 648 \therefore I = \frac{120}{648} = 0,185A$$

Em paralelo, a tensão será a mesma para ambas as lâmpadas

$$40 = 120 I_{40} \rightarrow I_{40} = 0,333A$$

$$50 = 120 I_{50} \rightarrow I_{50} = 0,417A$$

16) a) $V = \mathcal{E} - rI$

Quando K_1 está fechado e K_2 aberto, temos um curto circuito, portanto:

$$0 = \mathcal{E} - rI \rightarrow \mathcal{E} = rI \rightarrow \mathcal{E} = 0,1rA$$

Quando fechamos K_2 e abrimos K_1 , temos

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R+r} \rightarrow 0,05 = \frac{\mathcal{E}}{50+r} \rightarrow$$

$$\rightarrow 2,5 = 0,05r = 0,1r \rightarrow 0,05r = 2,5 \rightarrow$$

$$\rightarrow r = 50 \Omega \therefore \mathcal{E} = 5V$$

b) 1º caso $\eta_1 = 0$ (curto-circuito)

2º caso $\eta_2 = \frac{(RI_2) \frac{I_2}{2}}{\mathcal{E} \frac{I_2}{2}} \rightarrow \eta_2 = \frac{2,5}{5} = 0,5$

c) 1º caso $P_1 = I_1^2 r = 50 \cdot 10^{-2} = 0,5W$

2º caso $P_2 = I_2^2 r = 50 \cdot 25 \cdot 10^{-4} = 0,125W$

15) a) Da 2ª L.V. $V = \mathcal{E} - rI$

Em curto-circuito: $\mathcal{E} = rI_{cc} \rightarrow \mathcal{E} = 10r$

$$VI = \mathcal{E}I - rI^2 \rightarrow P(I) = \mathcal{E}I - rI^2$$

Vamos encontrar o valor de I para o qual a potência é máxima

$$P'(I) = 0 \rightarrow \mathcal{E} - 2rI = 0 \rightarrow I = \frac{\mathcal{E}}{2r}$$

$$P\left(\frac{\mathcal{E}}{2r}\right) = 125 \rightarrow \frac{\mathcal{E}^2}{2r} - \frac{r\mathcal{E}^2}{4r^2} = 125 \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{100r^2}{2r} - \frac{100r^3}{4r^2} = 125 \rightarrow$$

$$\rightarrow 50r - 25r = 125 \rightarrow 25r = 125 \rightarrow r = 5 \Omega$$

$$\therefore \mathcal{E} = 10 \cdot r = 50V$$

b) $I = \frac{\mathcal{E}}{2r} \rightarrow I = \frac{10r}{2r} = 5A$

$$V = 50 - 5 \cdot 5 \rightarrow V = 25V$$

c) Corrente no circuito: $I' = \frac{\mathcal{E}}{R+r} = \frac{50}{10+5} \rightarrow$

$$\rightarrow I' = 3,33A \therefore V' = 10 \cdot 3,33 = 33,3V$$

$$\eta = \frac{V' \cdot I'}{\mathcal{E} \cdot I'} \rightarrow \eta = \frac{33,3}{50} = 0,67$$

d) $I'' = \frac{\mathcal{E}}{2r} = \frac{50}{10} = 5A$

$$\therefore V'' = 5 \cdot 5 = 25V$$

$$\eta = \frac{V'' \cdot I''}{\mathcal{E} \cdot I''} = \frac{25}{50} = 0,5$$

17) a) $\eta = 0,5 \rightarrow \frac{V}{\mathcal{E}} = 0,5 \rightarrow \mathcal{E} = \frac{25}{0,5} = 50V$

Pelo gráfico, sabemos que o bipolo em questão é um gerador: $V = 50 - rI \rightarrow 40 = 50 - 2r \rightarrow$
 $\rightarrow r = 5 \Omega$

b) $I = \frac{50}{25} = 2A \therefore V' = 20 \cdot 2 = 40$

$$\eta = \frac{40}{50} = 0,8$$

c) $VI = \mathcal{E}I - rI^2 \rightarrow P(I) = \mathcal{E}I - rI^2$
 $P'(I) = 0 \rightarrow \mathcal{E} - 2rI = 0 \rightarrow I = \frac{\mathcal{E}}{2r} \rightarrow$
 $\rightarrow I = \frac{50}{10} \rightarrow I = 5A \cdot P = 250 - 125 = 125W$

$125 = 25R \rightarrow R = 5\Omega$

18) Como o bipolo Δ consome potência elétrica então ele é um receptor em (a)

Da 2ª LK: $V = \mathcal{E} + rI$

(a) $V \cdot I = \mathcal{E}I + rI^2 \rightarrow 60 = \mathcal{E} + r$

(b) Receptor R : $V = 20 + 5I = 30V$

Gerador Δ : $30 = \mathcal{E} - 2r$

$$\begin{cases} 60 = \mathcal{E} + r \\ 30 = \mathcal{E} - 2r \end{cases}$$

$30 = 3r \rightarrow r = 10\Omega \cdot \mathcal{E} = 50V$

19) 1ª LK

Nó A: $I_A + I_D = I_B$ (1)

2ª LK

Malha 1: $-0,05I_A + 115 - 0,1I_A - I_A + 0,1I_D = 0$

$-1,15I_A + 0,1I_D = -115$ (2)

Malha 2: $115 - 0,05I_B - 0,1I_D - 0,8I_B - 0,1I_B = 0$

$-0,95I_B - 0,1I_D = -115$

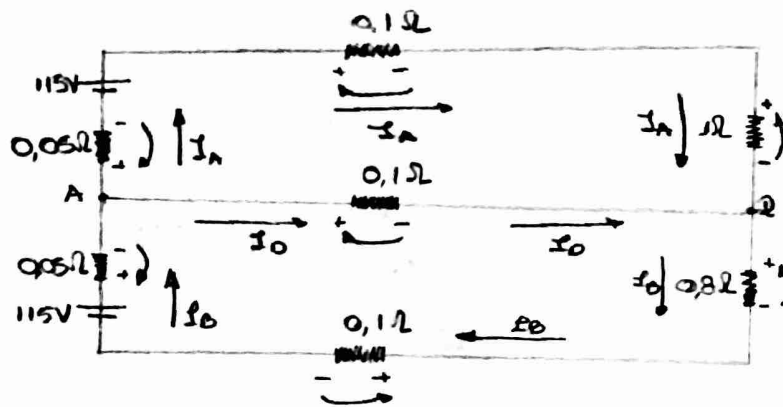
$0,95I_B + 0,1I_D = 115$ (3)

$$\begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 \\ -2,15 & 0 & 0,1 \\ 0 & 0,95 & 0,1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -115 \\ 115 \end{bmatrix}$$

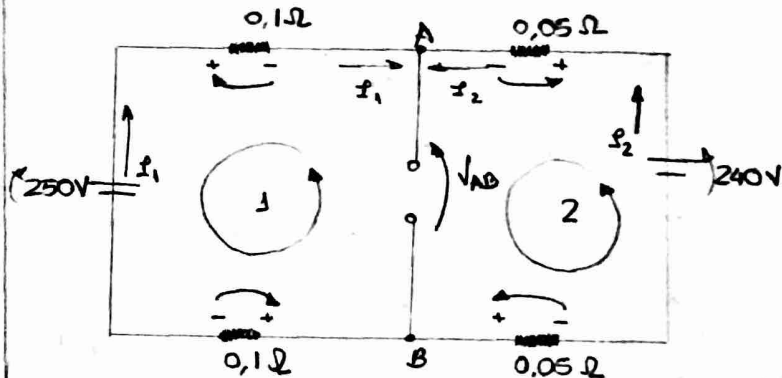
$I_A = 101,535A$; $I_B = 119,193A$; $I_D = 17,659A$

esquerda para a direita

O esquema utilizado para a resolução foi



110) a)



1ª LK:

Nó A: $I_1 + I_2 = 0$ (1)

2ª LK:

Malha 1: $V_{AB} + 0,1I_1 - 250 + 0,1I_1 = 0 \rightarrow$

$\rightarrow 0,2I_1 + V_{AB} = 250$ (2)

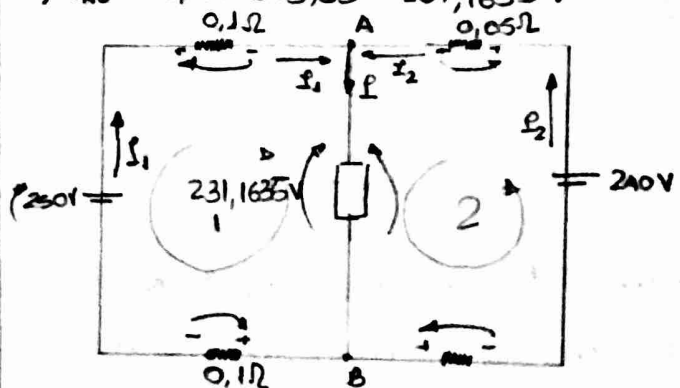
Malha 2: $240 - 0,05I_2 - V_{AB} - 0,05I_2 = 0 \rightarrow$

$\rightarrow 0,1I_2 + V_{AB} = 240$ (3)

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0,2 & 0 & 1 \\ 0 & 0,1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ V_{AB} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 250 \\ 240 \end{bmatrix}$$

$I_1 = 33,3A$; $I_2 = -33,3A$; $V_{AB} = 243,33V$

b) $V_{AB}' = 0,95 \cdot 243,33 = 231,1635V$



1ª LK

Nó A: $i = i_1 + i_2$ (1)

2ª LK

Malha 1: $231,1635 + 0,2i_2 - 250 = 0 \rightarrow$

$\rightarrow 0,2i_2 = 18,8365$

Malha 2: $0,1i_2 = 8,8365$

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & -1 \\ 0,2 & 0 & 0 \\ 0 & 0,1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 18,8365 \\ 8,8365 \end{bmatrix}$$

$i = 182,5475A$; $P = 42198W$

12) 1ª LK

Nó A: $i_1 - i_2 - i_3 = 0$ (1)

Nó B: $i_2 - i_4 - i_6 = 0$ (2) (LD)

Nó C: $-i_1 + i_4 + i_5 = 0$ (3)

Nó D: $i_3 - i_5 + i_6 = 0$ (4)

2ª LK

Malha 1: $3i_2 - 20 + i_1 + 4i_4 = 0 \rightarrow$

$\rightarrow i_1 - 3i_2 + 4i_4 = 20$ (5)

Malha 2: $-i_1 + 20 - 2i_3 - 5i_5 = 0 \rightarrow$

$\rightarrow i_1 - 2i_3 + 5i_5 = 20$ (6)

Malha 3: $-4i_4 + 5i_5 + 6i_6 = 0$ (7)

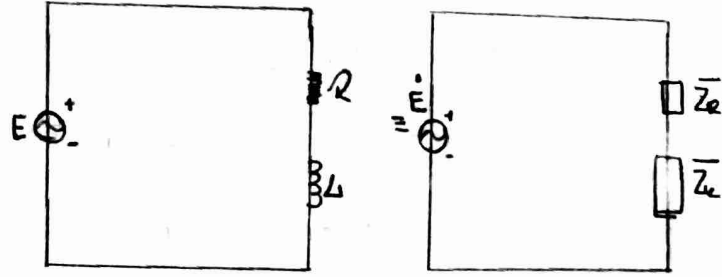
$$\begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 1 \\ 1 & 3 & 0 & 4 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 2 & 0 & 5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -4 & 5 & 6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \\ i_4 \\ i_5 \\ i_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 20 \\ 0 \\ 20 \\ 20 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$i_1 = 4,471A$, $i_2 = 2,079A$, $i_3 = 2,392A$

$i_4 = 2,322A$, $i_5 = 2,149A$, $i_6 = -0,243A$

21) $\dot{E} = 110 \angle 0^\circ V$

$\bar{Z}_R = 50 \angle 0^\circ \Omega$; $\bar{Z}_L = 2\pi 60 \cdot 0,129^\circ = 37,7 \angle 90^\circ \Omega$



$\bar{Z} = \bar{Z}_R + \bar{Z}_L = 50 \angle 0^\circ + 37,7 \angle 90^\circ = 62,62 \angle 37^\circ \Omega$

$\dot{E} = \bar{Z} \cdot \dot{I} \rightarrow \dot{I} = \frac{110 \angle 0^\circ}{62,62 \angle 37^\circ} \rightarrow \dot{I} = 1,76 \angle -37^\circ A$

22) $\dot{V} = 10 \angle 0^\circ V$

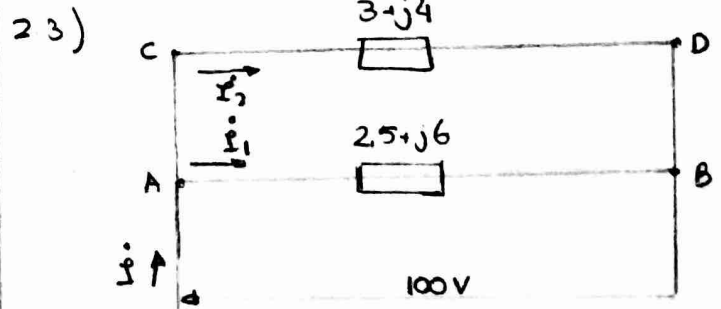
$\bar{Z}_C = \frac{1}{5 \cdot 10^3 \cdot 10^8} \angle -90^\circ = 20000 \angle -90^\circ \Omega$

$\bar{Z}_R = 10000 \angle 0^\circ \Omega$

$\bar{Z} = \bar{Z}_C + \bar{Z}_R = 22360,68 \angle -63,43^\circ \Omega$

$\dot{V} = \bar{Z} \cdot \dot{I} \rightarrow 10 \angle 0^\circ = 22360,68 \angle -63,43^\circ \dot{I} \rightarrow$
 $\rightarrow \dot{I} = 4,47 \cdot 10^{-4} \angle 63,43^\circ A$

$\dot{V}_R = \bar{Z}_R \cdot \dot{I} = 4,47 \angle 63,43^\circ V$



$V_{AB} = V_{100} = 100V$

$\dot{I}_1 = \frac{100 - 0j}{2,5 + 6j} = 5,92 - 14,2j A$

$\dot{I}_2 = \frac{100 + 0j}{3 + j4} = 12 - 16j A$

$\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 = 17,92 - 30,2j A$

$\dot{I} = 35,11 \angle -59,31^\circ A$

$\dot{V} = 100 \angle 0^\circ V$

$$\varphi = 0 - (-59,31^\circ) = 59,31^\circ$$

$$|\bar{S}| = |\bar{I}| \cdot |\bar{V}| = 35,11 \cdot 100 = 3511 \text{ VA}$$

$$P = |\bar{S}| \cos \varphi = 3511 \cos(59,31^\circ) \approx 1792 \text{ W}$$

$$Q = |\bar{S}| \sin \varphi = 3511 \sin(59,31^\circ) = 3019,25 \text{ VAR}$$

$$24) \omega = 2\pi f = 2\pi \cdot 100 = 628,32 \text{ rad/s}$$

$$\bar{Z} = 20 + j60 - j40 = 20 + 20j \Omega$$

$$\bar{V} = 200 \text{ V} = 200 \angle 0^\circ \text{ V}$$

$$\bar{I} = \frac{\bar{V}}{\bar{Z}} = \frac{200}{20 + 20j} = \frac{200 \angle 0^\circ}{28,28 \angle 45^\circ} \approx 7,07 \angle -45^\circ \text{ A}$$

$$\varphi = 0 - (-45^\circ) = 45^\circ$$

$$|\bar{S}| = |\bar{V}| \cdot |\bar{I}| = 200 \cdot 7,07 = 1414 \text{ VA}$$

$$P = |\bar{S}| \cos \varphi = 1414 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \approx 1000 \text{ W}$$

$$Q = |\bar{S}| \sin \varphi = 1414 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \approx 1000 \text{ VAR}$$

$$25) \bar{Z} = 20 + j30 - j80 = 20 - 50j$$

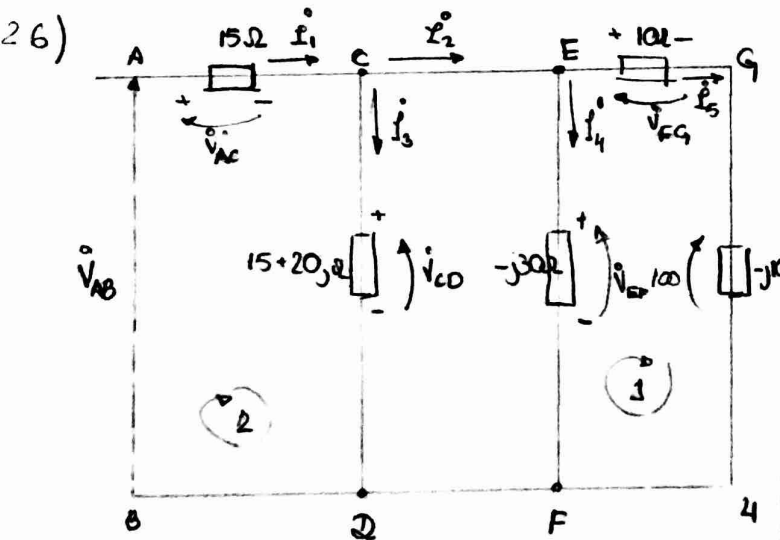
$$\bar{I} = \frac{200}{20 - 50j} = 3,71 \angle 68,2^\circ$$

$$\varphi' = 0 - 68,2^\circ = -68,2^\circ$$

$$|\bar{S}| = 200 \cdot 3,71 = 742 \text{ VA}$$

$$P = |\bar{S}| \cos(-68,2^\circ) \approx 275,5 \text{ W}$$

$$Q = |\bar{S}| \sin(-68,2^\circ) \approx -688,9 \text{ VAR}$$



$$\bar{I}_5 = \frac{100}{-j10} = 10 \angle 90^\circ$$

$$\bar{V}_{EG} = \bar{I}_5 \cdot 10 = 100 \angle 90^\circ$$

$$29) \text{LK} : \bar{V}_{EF} - \bar{V}_{EG} - 100 \angle 0^\circ = 0 \rightarrow$$

Malha 3 $\rightarrow \bar{V}_{EF} = 100 \angle 90^\circ + 100 \angle 0^\circ \rightarrow$

$$\rightarrow \bar{V}_{EF} = 141,42 \angle 45^\circ$$

$$\bar{I}_4 = \frac{141,42 \angle 45^\circ}{30 \angle -90^\circ} = 4,71 \angle 135^\circ \text{ A}$$

$$19) \text{LK} (\text{no } E) : \bar{I}_2 = 10 \angle 90^\circ + 4,71 \angle 135^\circ = 13,73 \angle 104^\circ \text{ A}$$

$$\bar{V}_{CO} = \bar{V}_{EF} = 141,42 \angle 45^\circ \text{ V}$$

$$\bar{I}_3 = \frac{141,42 \angle 45^\circ}{25 \angle 53^\circ} = 5,66 \angle -8^\circ$$

$$19) \text{LK} (\text{no } C) : \bar{I}_1 = 5,66 \angle -8^\circ + 13,73 \angle 104^\circ \rightarrow$$

$$\rightarrow \bar{I}_1 = 12,74 \angle 79,67^\circ \text{ A}$$

$$\bar{V}_{AC} = 12,74 \angle 79,67^\circ \cdot 15 \angle 0^\circ \rightarrow$$

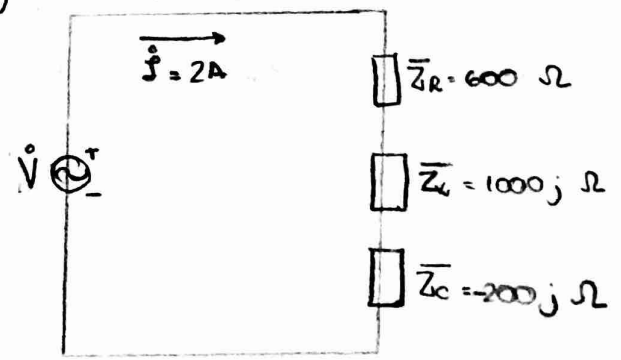
Malha 2 $\rightarrow \bar{V}_{AC} = 191,1 \angle 79,67^\circ \text{ V}$

$$29) \text{LK} : \bar{V}_{AB} - \bar{V}_{AC} - \bar{V}_{CO} = 0 \rightarrow$$

$$\rightarrow \bar{V}_{AB} = 191,1 \angle 79,67^\circ + 141,42 \angle 45^\circ \rightarrow$$

$$\rightarrow \bar{V}_{AB} = 317,76 \angle 65^\circ \text{ V}$$

27) a)



$$\text{Super } \bar{I} = 2 = 2 \angle 0^\circ$$

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \frac{250}{\pi} = 500 \text{ rad/s}$$

$$\bar{Z} = 600 + 800j = 1000 \angle 53,1^\circ$$

$$\bar{V} = \bar{Z} \cdot \bar{I} = 2000 \angle 53,1^\circ \text{ V}$$

$$b) |\bar{I}| = \hat{V} / |\bar{Z}| = 4000 \text{ VA}$$

$$\varphi = 53,1^\circ - 0 = 53,1^\circ$$

$$P = |\bar{I}| \cos 53,1^\circ \approx 2402 \text{ W}$$

$$Q = |\bar{I}| \sin 53,1^\circ \approx 3200 \text{ VAR}$$

c) Para que tenhamos ressonância, devemos ligar outro capacitor para girar a parte imaginária da impedância.

$$\bar{Z} = 600 + j \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} - \frac{1}{\omega C'} \right)$$

0 \rightarrow ressonância

$$\omega L - \frac{1}{\omega C} - \frac{1}{\omega C'} = 0 \Rightarrow 1000 - 200 = \frac{1}{\omega C'} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \omega C' = \frac{1}{800} \Rightarrow C' = \frac{1}{800 \cdot 200} \Rightarrow C' = 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ F}$$

$$\Rightarrow C' = 2,5 \text{ mF}$$

d) A tensão não muda!

$$\hat{I}' = \frac{\hat{V}}{\bar{Z}'} \Rightarrow \hat{I}' = \frac{2000 \angle 53,1^\circ}{600 \angle 0^\circ} \approx 3,333 \angle 53,1^\circ \text{ A}$$

Quando há ressonância temos que $|\bar{I}| \approx P \leftarrow Q = 0$.

$$|\bar{I}| = P = \hat{V} / |\bar{Z}'| \approx 6667 \text{ W}$$

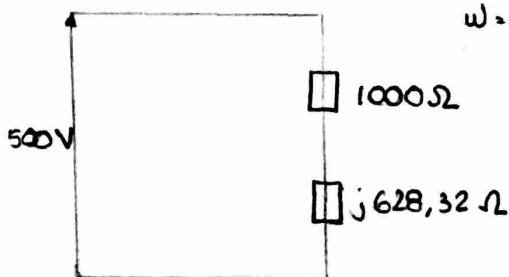
$$e) \hat{V}_R = 3,333 \angle 53,1^\circ \cdot 600 \angle 0^\circ \approx 2000 \angle 53,1^\circ \text{ V}$$

$$\hat{V}_C = 200 \angle -90^\circ \cdot 3,333 \angle 53,1^\circ \approx 667 \angle -36,9^\circ \text{ V}$$

$$\hat{V}_{C'} = 800 \angle -90^\circ \cdot 3,333 \angle 53,1^\circ \approx 2667 \angle -36,9^\circ \text{ V}$$

$$\hat{V}_L = 1000 \angle 90^\circ \cdot 3,333 \angle 53,1^\circ \approx 3333 \angle 143,1^\circ \text{ V}$$

28) a)



$$\omega = 6283,2 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$a) \bar{Z} = 1000 + j628,32 \Omega$$

$$b) \hat{I} = \frac{\hat{V}}{\bar{Z}} = \frac{500 \angle 0^\circ}{1000 + j628,32} = 0,42 \angle -32,1^\circ \text{ A}$$

$$c) \hat{V}_R = 1000 \angle 0^\circ \cdot 0,42 \angle -32,1^\circ = 420 \angle -32,1^\circ \text{ V}$$

$$\hat{V}_C = 628 \angle 90^\circ \cdot 0,42 \angle -32,1^\circ = 264 \angle 57,9^\circ \text{ V}$$



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PEA - Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas

Eletrotécnica Geral

Lista de Exercícios 1

- 1. Circuitos em corrente contínua**
- 2. Circuitos monofásicos em corrente alternada**
- 3. Circuitos trifásicos**

Agosto de 2015

1. CIRCUITOS EM CORRENTE CONTÍNUA

Exercício 1.1

Para o circuito da Figura 1.1, pede-se determinar:

- todas as correntes;
- a diferença de potencial entre os pontos B-C, B-D, e C-D.

Resposta:

- $I_{AB} = 0,6 \text{ A}$; $I_{AC} = 8,6 \text{ A}$; $I_{AD} = -9,2 \text{ A}$; $I_{BC} = -4,2 \text{ A}$; $I_{BD} = 4,8 \text{ A}$; $I_{CD} = 4,4 \text{ A}$;
- $V_{BC} = -84 \text{ V}$; $V_{BD} = 48 \text{ V}$; $V_{CD} = 132 \text{ V}$.

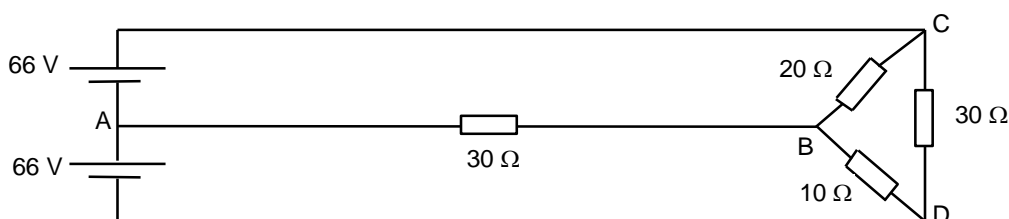


Figura 1.1 - Circuito para o Exercício 1.1

Exercício 1.2

No circuito da Figura 1.2, estão dispostos 2 geradores, cada um com f.e.m. de 100 V e resistência interna de 1 Ω, e um motor com força contra-eletromotriz de 75 V e resistência interna de 2 Ω. Pede-se determinar:

- a corrente nos 3 condutores;
- a diferença de potencial nos extremos do motor;
- o rendimento elétrico do motor.

Resposta:

- $I_1 = 1,640 \text{ A}$; $I_2 = -2,868 \text{ A}$; $I_3 = 1,228 \text{ A}$;
- 80,736 V ;
- 92,9%.

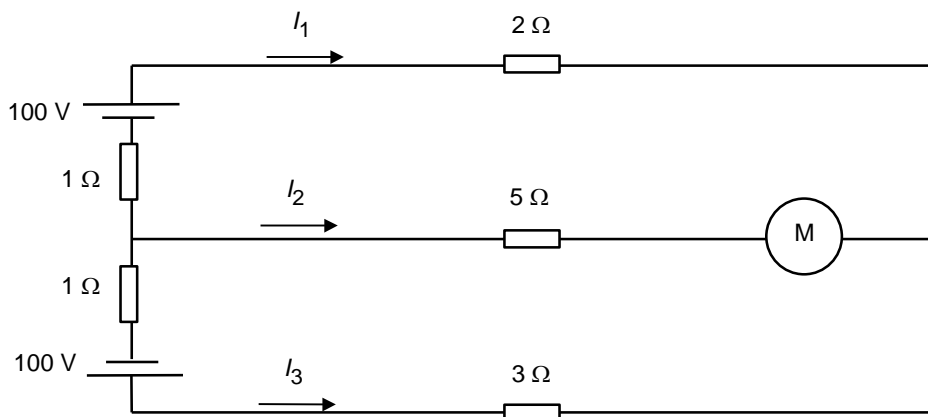


Figura 1.2 - Circuito para o Exercício 1.2

Exercício 1.3

Determinar as correntes I_1 , I_2 e I_3 no circuito da Figura 1.3.

Resposta:

$$I_1 = -3 \text{ A}; I_2 = -2 \text{ A}; I_3 = 5 \text{ A}.$$

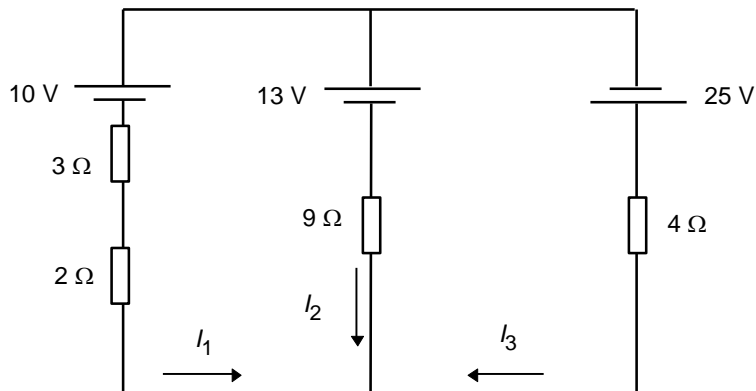


Figura 1.3 - Circuito para o Exercício 1.3

Exercício 1.4

Duas lâmpadas para 120 V, uma de 40 W e outra de 50 W, são ligadas primeiro em série e depois em paralelo. Indique como se distribuem as correntes em ambos casos.

Resposta:

- Ligação em série: $I_{40} = I_{50} = 0,185 \text{ A}$;
- Ligação em paralelo: $I_{40} = 0,333 \text{ A}$; $I_{50} = 0,417 \text{ A}$.

Exercício 1.5

Uma fonte de tensão contínua tem corrente de curto-circuito igual a 10 A e pode fornecer potência máxima igual a 125 W. Pede-se determinar:

- a) a força eletromotriz e a resistência interna da fonte;
- b) a corrente na fonte e a tensão entre seus terminais quando ela fornece a máxima potência;
- c) o rendimento da fonte quando ela alimenta um resistor de resistência igual a 10 Ω;
- c) o rendimento da fonte quando ela está ligada a um resistor de resistência igual à sua resistência interna.

Resposta:

- a) 50 V e 5 Ω;
- b) 5 A e 25 V;
- c) 66,7%;
- d) 50%.

Exercício 1.6

No circuito da Figura 1.4, quando a chave K_1 está fechada e a chave K_2 está aberta, a corrente no gerador G é $I_1 = 100$ mA. Abrindo-se a chave K_1 e fechando-se a chave K_2 a corrente passa a ser $I_2 = 50$ mA. Pede-se determinar:

- os parâmetros do gerador;
- o rendimento do gerador nas duas situações;
- a potência dissipada no circuito em cada uma das situações.

Resposta:

- 5 V e 50Ω ;
- 0 e 50%;
- 0,5 W e 0,25 W.

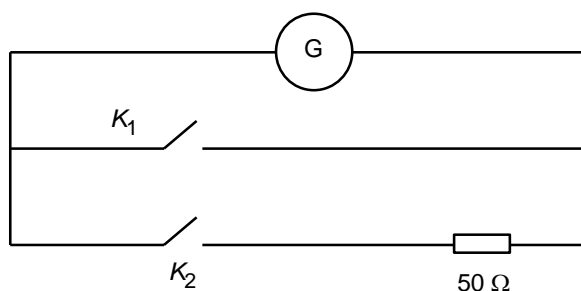


Figura 1.4 - Circuito para o Exercício 1.6

Exercício 1.7

Um bipolo tem a característica indicada no gráfico da Figura 1.5, e tem rendimento de 50 % quando a tensão em seus terminais é de 25 V. Pede-se determinar:

- os parâmetros do bipolo;
- o seu rendimento quando ligado a um resistor de resistência igual a 20Ω ;
- a máxima potência que o bipolo pode fornecer e qual o resistor capaz de consumir essa potência.

Resposta:

- 50 V e 5Ω ;
- 80%;
- 125 W e 5Ω .

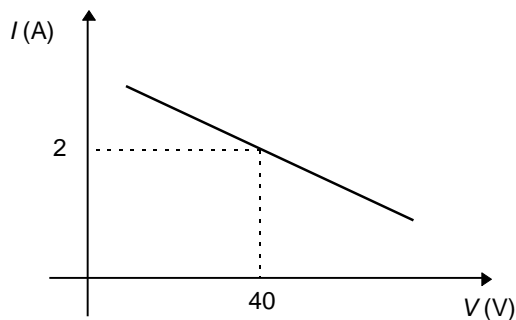


Figura 1.5 - Característica externa para o Exercício 1.7

Exercício 1.8

O bipolo S , quando percorrido pela corrente $I_1 = 1 \text{ A}$ no sentido indicado na Figura 1.6a, consome potência elétrica de 60 W . Quando o bipolo S é ligado em paralelo com o bipolo receptor R , de força contra-eletromotriz igual a 20 V e resistência interna igual a 5Ω , a corrente no bipolo S passa a ser $I_2 = 2 \text{ A}$ no sentido indicado na Figura 1.6b. Pedese determinar as características do bipolo S .

Resposta:

50 V e 10Ω .

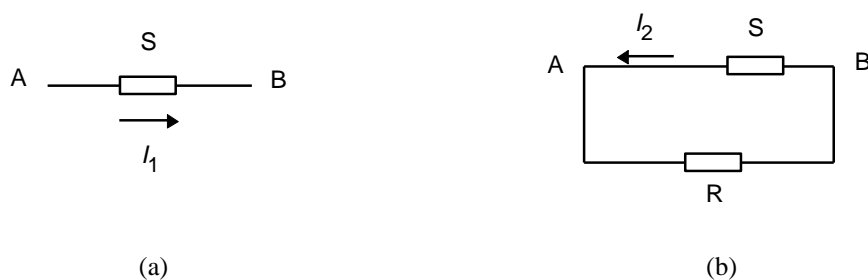


Figura 1.6 - Circuitos para o Exercício 1.8

Exercício 1.9

Determinar a intensidade e o sentido da corrente no trecho A-D do circuito da Figura 1.7.

Resposta: $I_{AD} = 17,659 \text{ A}$.

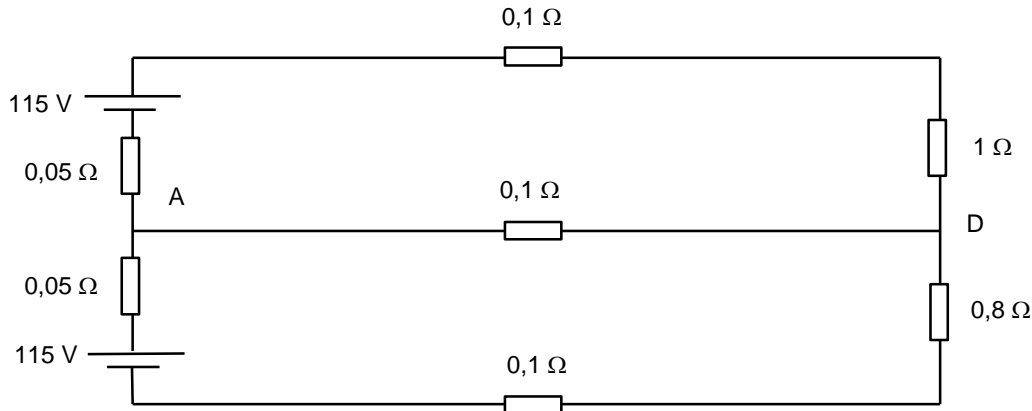


Figura 1.7 - Circuito para o Exercício 1.9

Exercício 1.10

Uma carga é alimentada por duas centrais conforme indicado na Figura 1.8. Determinar:

- a tensão entre os pontos A e B quando a carga for nula (tensão em vazio);
- a potência de carga para a qual a tensão cai de 5 % (em relação à condição em vazio).

Resposta:

- a) 243,333 V ;
b) 42.188 W .

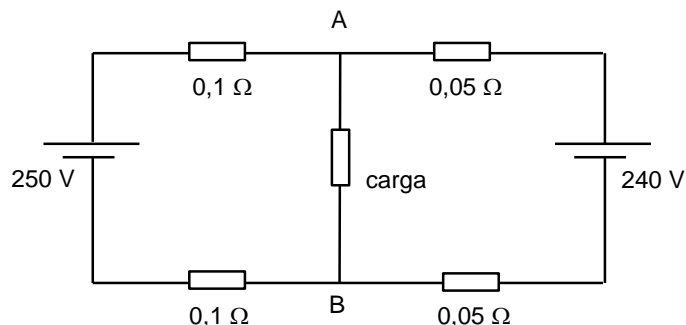


Figura 1.8 - Circuito para o Exercício 1.10

Exercício 1.11

Dois bipolos ativos têm as seguintes características:

- a) Bipolo I: Para corrente de 50 A o rendimento é 75 %, e para rendimento de 50 % a potência útil é de 300 W;
b) Bipolo II: Para corrente de 60 A a tensão é de 5 V, e para corrente de 20 A a potência total é de 160 W.

Pede-se:

- a) característica de cada bipolo;
b) característica externa do bipolo constituído pela associação em série dos dois bipolos;
c) característica externa do bipolo constituído pela associação em paralelo dos dois bipolos;
d) curva da potência útil em função da corrente para os bipolos dos itens (b) e (c);
e) corrente fornecida pelo bipolo do item (b) alimentando uma carga de resistência igual a 0,2 Ω;
f) corrente fornecida pelo bipolo do item (c) alimentando uma carga de resistência igual a 0,2 Ω;
g) valor da resistência a ser ligada ao bipolo do item (b) e ao bipolo do item (c) para que ambos forneçam a máxima potência útil;

Resposta:

- a) Bipolo I: 6 V e 0,03 Ω ; bipolo II: 8 V e 0,05 Ω ;
b) 14 V e 0,08 Ω ;
c) 6,75 V e 0,0188 Ω ;
d) Bipolo I: $P_{ur}(I) = 14 \cdot I - 0,08 \cdot I^2$; Bipolo II: $P_{ur}(I) = 6,75 \cdot I - 0,0188 \cdot I^2$;
e) 50 A ;
f) 30,850 A ;
g) Bipolo I: 0,08 Ω ; bipolo II: 0,0188 Ω .

Exercício 1.12

Calcular as correntes I_1 (fornecida pela bateria), I_2 e I_3 no circuito da Figura 1.9.

Resposta:

$$I_1 = 4,471 \text{ A} ; I_2 = 2,080 \text{ A} ; I_3 = 2,391 \text{ A} .$$

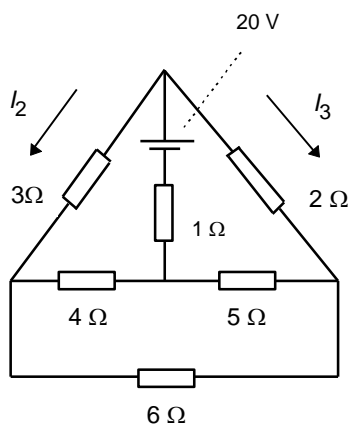


Figura 1.9 - Circuito para o Exercício 1.12

Exercício 1.13

Na associação de resistores do circuito representado na Figura 1.10 a potência dissipada por efeito Joule é igual a 270 W quando a tensão entre A e B é 90 V. Determinar a resistência equivalente do circuito e o valor da resistência R .

Resposta:

$$R_{eq} = 30 \Omega ;$$

$$R = 30 \Omega .$$

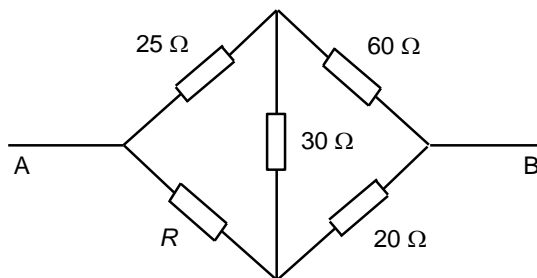


Figura 1.10 - Circuito para o Exercício 1.13

Exercício 1.14

Na associação representada na Figura 1.11, quando se aplica tensão de 20 V entre os pontos A e B, a potência consumida pela mesma é 80 W. Determinar:

- a) a resistência equivalente entre os pontos A e B;
- b) o valor de R .

Resposta:

$$R_{AB} = 5 \Omega ;$$

$$R = 20 \Omega .$$

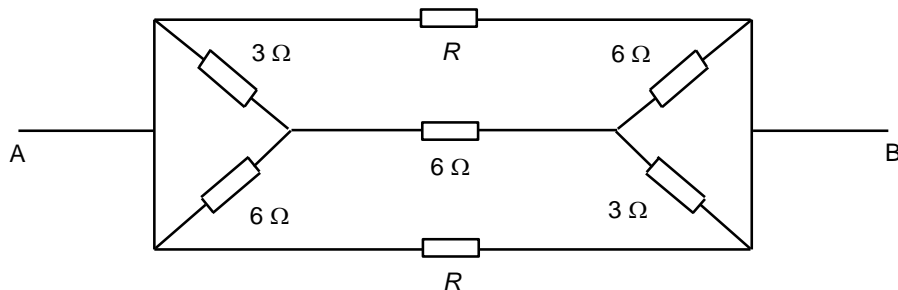


Figura 1.11 - Circuito para o Exercício 1.14

Exercício 1.15

Resolver o exercício da Figura 1.12 (isto é, determinar tensão e corrente em todos os ramos) utilizando os seguintes métodos:

1. Lei de Ohm e Leis de Kirchhoff;
2. Princípio da superposição de efeitos;
3. Gerador equivalente de Thévenin, substituindo todo o circuito exceto o ramo GH pelo circuito equivalente. Neste caso, determinar apenas a corrente I_{GH} e a tensão V_{GH} ;
4. Método das correntes fictícias de Maxwell.

Dados:

$$E_1 = 2 \text{ V}$$

$$E_3 = 4 \text{ V}$$

$$E_5 = 4 \text{ V}$$

$$R_1 = 2 \Omega$$

$$R_2 = 3 \Omega$$

$$R_4 = 3 \Omega$$

$$R_5 = 5 \Omega$$

$$R_6 = 4 \Omega$$

Resposta:

$$I_{DC} = 0,713 \text{ A}$$

$$I_{HC} = -0,189 \text{ A}$$

$$I_{CB} = 0,524 \text{ A}$$

$$I_{BG} = 0,828 \text{ A}$$

$$I_{FA} = 0,304 \text{ A}$$

$$I_{GH} = 0,524 \text{ A}$$

$$V_{AF} = 2,480 \text{ V}$$

$$V_{BG} = 2,480 \text{ V}$$

$$V_{BC} = 4,0 \text{ V}$$

$$V_{GH} = 2,096 \text{ V}$$

$$V_{CH} = 0,567 \text{ V}$$

$$V_{DK} = 0,567 \text{ V}$$

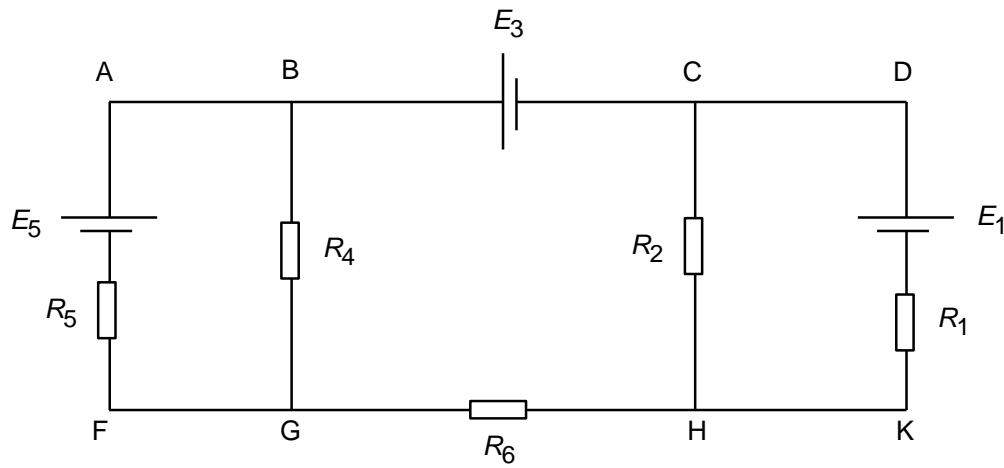


Figura 1.12 - Circuito para o Exercício 1.15

2. CIRCUITOS MONOFÁSICOS EM CORRENTE ALTERNADA

Exercício 2.1

Uma carga composta pela associação série de um resistor de resistência 50Ω com um indutor de $0,1 \text{ H}$ é alimentada com tensão senoidal de valor eficaz 110 V e frequência de 60 Hz . Pede-se determinar a corrente, em módulo e fase, adotando-se tensão com fase nula.

Resposta: $I = 1,76 \angle -37^\circ \text{ A}$

Exercício 2.2

Um circuito RC série é alimentado com tensão de valor eficaz 10 V e pulsação de 5000 rad/s . Sabendo-se que $R = 10^4 \text{ ohm}$ e $C = 0,01 \text{ microfarad}$, pede-se determinar a queda de tensão em R .

Resposta: $V_R = 4,47 \text{ V}$

Exercício 2.3

No circuito da Figura 2.1 pede-se determinar a corrente I e a potência fornecida ao circuito.

Resposta: $I = (17,92 - j 30,20) \text{ A}$ (adotando fase nula para a tensão); $P = 1792 \text{ W}$; $Q = 3020 \text{ VAR}$; $S = 3512 \text{ VA}$.

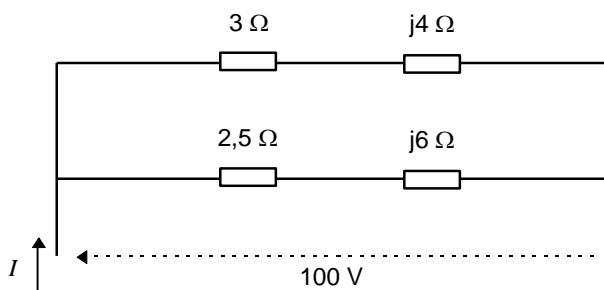


Figura 2.1 - Circuito para o Exercício 2.3

Exercício 2.4

Para o circuito da Figura 2.2, alimentado por uma fonte de 200 V e 100 Hz , pede-se determinar a corrente, a potência ativa e a potência reativa.

Resposta: $I = 7,07 \angle -45^\circ \text{ A}$; $P = 1000 \text{ W}$; $Q = 1000 \text{ VAR (ind.)}$

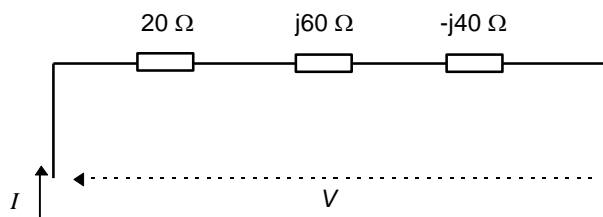


Figura 2.2 - Circuito para o Exercício 2.4

Exercício 2.5

Repetir o exercício anterior para uma fonte de 200 V e 50 Hz. Observar que a nova frequência é igual à metade da anterior, em consequência a reatância indutiva cai à metade e a reatância capacitiva dobra.

Resposta: $I = 3,71 \angle 68,2^\circ$ A ; $P = 275$ W ; $Q = 690$ VAr (cap.)

Exercício 2.6

Para o circuito da Figura 2.3 pede-se determinar o valor de V_{AB} a fim de que a tensão entre os pontos G e H seja 100 V.

Resposta: $V_{AB} = 317,6 \angle 65^\circ$ V (adotando-se $V_{GH} = 100 \angle 0^\circ$ V).

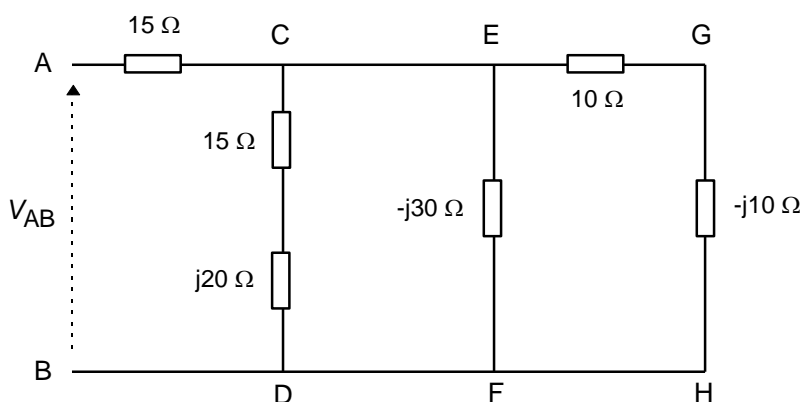


Figura 2.3 - Circuito para o Exercício 2.6

Exercício 2.7

Um circuito é constituído pela associação série de um resistor de $R = 600 \Omega$, um indutor de $L = 2$ H, e um capacitor de 10 microfarad. Quando alimentado com tensão senoidal de frequência $(250/\pi)$ Hz, é percorrido por uma corrente de 2 A. Pede-se:

- a tensão aplicada ao circuito;
- as potências ativa, reativa e aparente absorvidas pelo circuito;
- qual o elemento de circuito e seu valor, que ligado em série com o circuito produz ressonância série (fator de potência unitário);
- as potências ativa, reativa e aparente nas condições do item c);
- os valores das tensões nos elementos do circuito nas condições do item c).

Resposta:

- $V = 2000/53,1^\circ \text{ V}$ (adotando $I = 2/0 \text{ A}$)
- $P = 2400 \text{ W}$; $Q = 3200 \text{ VAR (ind.)}$; $S = 4000 \text{ VA}$
- capacitor de 2,5 microfarad
- $P = 6667 \text{ W}$; $Q = 0$; $S = 6667 \text{ VA}$
- $V_R = 2000/0 \text{ V}$; $V_L = 3333/90^\circ \text{ V}$; $V_{C1} = 667/-90^\circ \text{ V}$; $V_{C2} = 2667/-90^\circ \text{ V}$
(adotando-se corrente com fase nula)

Exercício 2.8

Uma carga é composta pela associação série de um resistor de 1000Ω e um indutor de $0,1 \text{ H}$. Sabendo-se que esta carga é alimentada por uma tensão senoidal de 500 V e frequência de 1000 Hz , pede-se determinar:

- a impedância da carga;
- a corrente, adotando-se a tensão como referência de fase;
- a queda de tensão no resistor e no indutor.

Resposta:

- $Z = (1000 + j 628) \Omega$
- $I = 0,423/-32,1^\circ \text{ A}$
- $V_R = 423/-32,1^\circ \text{ V}$; $V_L = 266/57,9^\circ \text{ V}$.

Exercício 2.9

Um chuveiro elétrico deve ser alimentado, a partir do quadro de distribuição de uma residência, com fio de seção nominal adequada. Sabendo-se que a distância entre o quadro de distribuição e o ponto de instalação do chuveiro é de 25 m , e que o chuveiro é de 6000 W e 220 V , pede-se:

- qual deve ser a tensão no quadro de forma a manter a tensão no chuveiro igual a 220 V , utilizando-se um fio de seção nominal $2,5 \text{ mm}^2$
(dados do fio: $r = 0,0148 \Omega/\text{m}$, $x = 0,00024 \Omega/\text{m}$);
- a queda de tensão no circuito, nas condições do item a);
- repetir os itens (a) e (b) utilizando um fio de seção nominal 4 mm^2
(dados do fio: $r = 0,0092 \Omega/\text{m}$, $x = 0,00022 \Omega/\text{m}$);
- sabendo-se que a queda de tensão no circuito deve ser inferior a 3% , qual dos fios deverá ser utilizado?

Observação: os valores de resistência e reatância dos fios são por circuito (ou seja, já levam em conta o trecho de ida e o trecho de volta do circuito)

Resposta:

- $V = 230,1 \text{ V}$
- $10,1 \text{ V}$ ou $(10,1/220)*100 = 4,6 \%$
- $V = 226,3 \text{ V}$; queda de tensão = $6,3 \text{ V}$ ou $2,9 \%$
- deverá ser utilizado um fio de seção 4 mm^2 .

Exercício 2.10

Uma fábrica possui três máquinas indutivas ligadas em paralelo e alimentadas por uma fonte de tensão alternada de valor eficaz 100 V e frequência 60 Hz. Sabe-se que a máquina 1 absorve 600 W e 10 A, a máquina 2 absorve 1600 W e 20 A e a máquina 3 absorve potência reativa de 1732 VAR e 20 A. Pede-se determinar:

- qual o valor dos capacitores que ligados em paralelo com cada máquina torna o fator de potência de cada uma delas unitário?
- qual o valor do capacitor que ligado em paralelo com a fonte torna unitário o fator de potência da instalação?
- qual o valor da corrente fornecida pela fonte antes e depois da correção do fator de potência?

Resposta:

- $C_1 = 212 \mu\text{F}$; $C_2 = 318 \mu\text{F}$; $C_3 = 459 \mu\text{F}$
- $C = C_1 + C_2 + C_3 = 989 \mu\text{F}$
- $I_{antes} = 49,2 \text{ A}$; $I_{depois} = 32,0 \text{ A}$

Exercício 2.11

Uma carga indutiva absorve 30 kW com fator de potência 0,75. A tensão nos terminais da carga é 3000 V e a frequência é 60 Hz. Pede-se determinar o capacitor que se deve ligar em paralelo com a carga a fim de se ter fator de potência 0,93 indutivo.

Resposta: $C = 4,3 \mu\text{F}$

3. CIRCUITOS TRIFÁSICOS

Exercício 3.1

Uma carga equilibrada ligada em estrela é alimentada por um sistema trifásico simétrico e equilibrado com seqüência de fases inversa. Sabendo-se que $\dot{V}_{BC} = 220/\underline{37^\circ}$ V, pede-se determinar as tensões de fase e de linha na carga e desenhar o correspondente diagrama de fasores.

Resposta:

$$\text{Tensões de fase: } \dot{V}_{AN} = 127/\underline{-53^\circ} \text{ V}; \dot{V}_{BN} = 127/\underline{67^\circ} \text{ V}; \dot{V}_{CN} = 127/\underline{-173^\circ} \text{ V};$$

$$\text{Tensões de linha: } \dot{V}_{AB} = 220/\underline{-83^\circ} \text{ V}; \dot{V}_{BC} = 220/\underline{37^\circ} \text{ V}; \dot{V}_{CA} = 220/\underline{157^\circ} \text{ V}.$$

Exercício 3.2

Um alternador trifásico ligado em estrela alimenta uma carga trifásica equilibrada ligada em triângulo por meio de uma linha também equilibrada de 200 m de comprimento. Sabendo-se que:

1. o gerador opera com tensão de linha de 380 V em 60 Hz;
2. cada fio da linha possui uma impedância por metro igual a $(0,002 + j0,0005) \Omega$;
3. a carga é formada por três impedâncias de $(9 + j6) \Omega$,

pede-se:

- a) desenhar o circuito elétrico correspondente;
- b) substituindo a carga em triângulo por uma equivalente em estrela, calcular as tensões de linha e de fase na mesma;
- c) calcular as correntes de linha.

Resposta:

- b) Adotando no gerador $\dot{V}_{AB} = 380/\underline{30^\circ}$ V e seqüência de fases direta:

$$\dot{V}_{A'N'} = 198,491/\underline{2,0^\circ} \text{ V}; \dot{V}_{B'N'} = 198,491/\underline{-118,0^\circ} \text{ V}; \dot{V}_{C'N'} = 198,491/\underline{122,0^\circ} \text{ V};$$

$$\dot{V}_{A'B'} = 343,796/\underline{32,0^\circ} \text{ V}; \dot{V}_{B'C'} = 343,796/\underline{-88,0^\circ} \text{ V}; \dot{V}_{C'A'} = 343,796/\underline{152,0^\circ} \text{ V}.$$

- c) $\dot{I}_A = 55,052/\underline{-31,7^\circ}$ A; $\dot{I}_B = 55,052/\underline{-151,7^\circ}$ A; $\dot{I}_C = 55,052/\underline{88,3^\circ}$ A.

Exercício 3.3

Uma carga trifásica equilibrada constituída por três impedâncias de $10/\underline{60^\circ} \Omega$ (cada uma), ligadas em estrela, é alimentada por um sistema trifásico com tensão eficaz de linha igual a 380 V, 60 Hz, seqüência de fases A-B-C. Adotando-se a tensão de linha V_{CA} com fase nula, pede-se determinar:

- a) tensões de linha;
- b) tensões de fase;
- c) correntes de fase e de linha;
- d) potência absorvida pela carga.

Resposta:

- a) $V_{AB} = 380 \angle -120^\circ \text{ V}$; $V_{BC} = 380 \angle 120^\circ \text{ V}$; $V_{CA} = 380 \angle 0^\circ \text{ V}$;
- b) $V_{AN} = 220 \angle -150^\circ \text{ V}$; $V_{BN} = 220 \angle 90^\circ \text{ V}$; $V_{CN} = 220 \angle -30^\circ \text{ V}$;
- c) $I_A = 22 \angle -210^\circ \text{ A}$; $I_B = 22 \angle 30^\circ \text{ A}$; $I_C = 22 \angle -90^\circ \text{ A}$;
- d) $P = 7260 \text{ W}$; $Q = 12575 \text{ VAr}$; $S = 14520 \text{ VA}$.

Exercício 3.4

Dada uma carga trifásica equilibrada constituída por três impedâncias iguais de $20 \angle 50^\circ \Omega$ (cada uma), alimentada por um sistema trifásico simétrico, ligação Δ , com seqüência de fases A-B-C e sabendo-se que $I_{CB} = 22 \angle 0^\circ \text{ A}$, pede-se calcular:

- a) as correntes de fase I_{AB} , I_{BC} e I_{CA} ;
- b) as correntes de linha I_A , I_B e I_C ;
- c) as tensões de linha V_{AB} , V_{BC} e V_{CA} .

Resposta:

- a) $I_{AB} = 22 \angle -60^\circ \text{ A}$; $I_{BC} = 22 \angle -180^\circ \text{ A}$; $I_{CA} = 22 \angle 60^\circ \text{ A}$;
- b) $I_A = 38 \angle -90^\circ \text{ A}$; $I_B = 38 \angle 150^\circ \text{ A}$; $I_C = 38 \angle 30^\circ \text{ A}$;
- c) $V_{AB} = 440 \angle -10^\circ \text{ V}$; $V_{BC} = 440 \angle -130^\circ \text{ V}$; $V_{CA} = 440 \angle 110^\circ \text{ V}$.

Exercício 3.5

Um gerador trifásico simétrico, com tensão de linha de 380 V, alimenta, através de uma linha, uma carga equilibrada constituída por três impedâncias de $20 \angle 30^\circ \Omega$ (cada uma) ligadas em estrela. A impedância de cada fio da linha é $2 \angle 30^\circ \Omega$. Pede-se determinar:

- a) tensões de fase e de linha no gerador;
- b) correntes de fase e de linha na carga;
- c) tensões de linha e de fase na carga;
- d) queda de tensão de fase e queda de tensão de linha;
- e) potência absorvida pela carga;
- f) potência fornecida pelo gerador;
- g) perdas na linha.

Resposta:

- a) adotando-se seqüência de fases direta e fase nula para V_{AN} :
tensões de fase: $V_{AN} = 220 \angle 0^\circ \text{ V}$; $V_{BN} = 220 \angle -120^\circ \text{ V}$; $V_{CN} = 220 \angle 120^\circ \text{ V}$;
tensões de linha: $V_{AB} = 380 \angle 30^\circ \text{ V}$; $V_{BC} = 380 \angle -90^\circ \text{ V}$; $V_{CA} = 380 \angle 150^\circ \text{ V}$;
- b) correntes de linha e de fase (ligação Y): $I_A = 10 \angle -30^\circ \text{ A}$; $I_B = 10 \angle -150^\circ \text{ A}$; $I_C = 10 \angle 90^\circ \text{ A}$;
- c) tensões de fase: $V_{A'N'} = 200 \angle 0^\circ \text{ V}$; $V_{B'N'} = 220 \angle -120^\circ \text{ V}$; $V_{C'N'} = 220 \angle 120^\circ \text{ V}$;
tensões de linha: $V_{A'B'} = 346 \angle 30^\circ \text{ V}$; $V_{B'C'} = 346 \angle -90^\circ \text{ V}$; $V_{C'A'} = 346 \angle 150^\circ \text{ V}$;
- d) fase: $V_{AA'} = 20 \angle 0^\circ \text{ V}$; $V_{BB'} = 20 \angle -120^\circ \text{ V}$; $V_{CC'} = 20 \angle 120^\circ \text{ V}$;
linha: $V_{AB} - V_{A'B'} = 34 \angle 30^\circ \text{ V}$; $V_{BC} - V_{B'C'} = 34 \angle -90^\circ \text{ V}$; $V_{CA} - V_{C'A'} = 34 \angle 150^\circ \text{ V}$;
- e) $P = 5196 \text{ W}$; $Q = 3000 \text{ VAr}$; $S = 6000 \text{ VA}$;
- f) $P = 5716 \text{ W}$; $Q = 3300 \text{ VAr}$; $S = 6600 \text{ VA}$;
- g) $P = 520 \text{ W}$; $Q = 300 \text{ VAr}$; $S = 600 \text{ VA}$.

Observação: Note que a potência aparente total gerada vale $6600 = 6000 + 600 \text{ VA}$ (= carga + perdas). Isto se deve unicamente a que a impedância da linha e a impedância da carga têm a mesma fase (30°). No caso geral (impedâncias com fase distintas) isto não se verifica. O balanço de potências *geração* = carga + perdas é sempre válido apenas para as potências ativas e reativas.

Exercício 3.6

Um gerador trifásico simétrico com tensão de linha de 300 V alimenta, através de uma linha, uma carga equilibrada constituída por três impedâncias de $24 \angle 60^\circ \Omega$ (cada uma) ligadas em triângulo. A impedância de cada fio da linha é 1Ω . Pede-se determinar:

- tensões de fase e de linha no gerador;
- correntes de linha e de fase na carga;
- tensão de linha na carga;
- queda de tensão de fase e queda de tensão de linha;
- potência absorvida pela carga;
- potência gerada;
- perda na linha.

Resposta:

- adotando seqüência de fases direta e fase nula para V_{AB} :
tensões de fase: $V_{AN} = 173,2 \angle -30^\circ \text{ V}$; $V_{BN} = 173,2 \angle -150^\circ \text{ V}$; $V_{CN} = 173,2 \angle 90^\circ \text{ V}$;
tensões de linha: $V_{AB} = 300 \angle 0^\circ \text{ V}$; $V_{BC} = 300 \angle -120^\circ \text{ V}$; $V_{CA} = 300 \angle 120^\circ \text{ V}$;
- correntes de linha: $I_A = 20,272 \angle -84,2^\circ \text{ A}$; $I_B = 20,272 \angle 155,8^\circ \text{ A}$; $I_C = 20,272 \angle 35,8^\circ \text{ A}$;
correntes de fase: $I_{A'B'} = 11,704 \angle -54,2^\circ \text{ A}$; $I_{B'C'} = 11,704 \angle -174,2^\circ \text{ A}$; $I_{C'A'} = 11,704 \angle 65,8^\circ \text{ A}$;
- $V_{A'B'} = 280,896 \angle 5,8^\circ \text{ V}$; $V_{B'C'} = 280,896 \angle -114,2^\circ \text{ V}$; $V_{C'A'} = 280,896 \angle 125,8^\circ \text{ V}$;
- fase: $V_{AA'} = 20,227 \angle -84,1^\circ \text{ V}$; $V_{BB'} = 20,227 \angle 155,9^\circ \text{ V}$; $V_{CC'} = 20,227 \angle 35,9^\circ \text{ V}$;
linha: $V_{AB} - V_{A'B'} = 35,039 \angle -54,1^\circ \text{ V}$; $V_{BC} - V_{B'C'} = 35,039 \angle -174,1^\circ \text{ V}$;
 $V_{CA} - V_{C'A'} = 35,039 \angle 65,9^\circ \text{ V}$
- $P = 4931 \text{ W}$; $Q = 8541 \text{ VAR}$; $S = 9863 \text{ VA}$;
- $P = 6162 \text{ W}$; $Q = 8541 \text{ VAR}$; $S = 10534 \text{ VA}$;
- $P = 1231 \text{ W}$; $Q = 0$; $S = 1231 \text{ VA}$ (ver observação no Exercício 3.5).

Exercício 3.7

Um gerador simétrico ligado em estrela com seqüência direta e $\dot{V}_{AB} = 220 \angle 35^\circ \text{ V}$ alimenta, através de uma linha equilibrada, duas cargas equilibradas ligadas em paralelo, uma ligada em estrela e outra ligada em triângulo. Pede-se determinar a corrente de linha e a tensão de linha na carga.

Dados:

- impedância por fase da carga em estrela: $(4 + j6) \Omega$;
- impedância por fase da carga em triângulo: $(3 + j4) \Omega$;
- impedância por fase da linha: $(0,2 + j0,3) \Omega$.

Resposta:

$$\dot{I}_A = 74,080 \angle -49,3^\circ \text{ A}; \dot{I}_B = 74,080 \angle -169,3^\circ \text{ A}; \dot{I}_C = 74,080 \angle 70,7^\circ \text{ A};$$

$$\dot{V}_{AB} = 173,745 \angle 34,5^\circ \text{ V}; \dot{V}_{BC} = 173,745 \angle -85,5^\circ \text{ V}; \dot{V}_{CA} = 173,745 \angle 154,5^\circ \text{ V}.$$

Exercício 3.8

No Exercício 3.7 indicar a ligação de dois wattímetros, segundo o teorema de Blondel, para medir a potência total fornecida pelo gerador. Qual é a leitura de cada um dos wattímetros?

Resposta:

Ligação dos wattímetros conforme indicado na Figura 3.1. Os terminais “ponto” das bobinas de corrente estão do lado do gerador, e os das bobinas de tensão estão nas fases A e C.

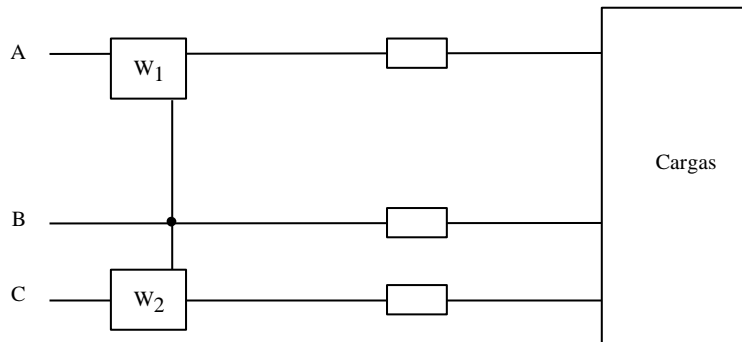


Figura 3.1 - Uma ligação possível para os wattímetros do Exercício 3.8

$$W_1 = 1618 \text{ W} ; W_2 = 14854 \text{ W} ; P_{3\phi} = W_1 + W_2 = 16472 \text{ W}.$$

Exercício 3.9

Uma carga trifásica equilibrada absorve, sob tensão de linha de 220 V, corrente de linha igual a 10 A. Sabendo-se que em cada fase a tensão de linha está adiantada de 90° em relação à respectiva corrente de linha pede-se determinar a potência absorvida pela carga.

Resposta:

Adotando-se seqüência de fases direta: $P = 1905 \text{ W} ; Q = 3300 \text{ VAR} ; S = 3810 \text{ VA}$ (ligação Δ ou Y).

Exercício 3.10

No circuito da Figura 3.2, sabendo-se que a seqüência de fases é A-B-C, pede-se determinar:

- correntes de fase na carga;
- correntes de linha;
- tensões de fase na carga;
- potência absorvida pela carga.

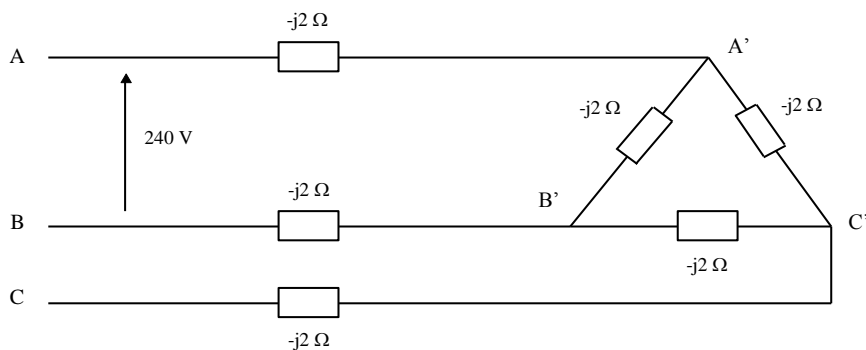


Figura 3.2 - Circuito para o Exercício 3.10

Resposta:

- a) adotando-se $V_{AB} = 240\angle 0^\circ$ V; $I_{A'B'} = 30\angle 90^\circ$ A; $I_{B'C'} = 30\angle -30^\circ$ A; $I_{C'A'} = 30\angle 210^\circ$ A;
 b) $I_A = 52,0\angle 60^\circ$ A; $I_B = 52,0\angle -60^\circ$ A; $I_C = 52,0\angle 180^\circ$ A;
 c) $V_{A'B'} = 60\angle 0^\circ$ V; $V_{B'C'} = 60\angle -120^\circ$ V; $V_{C'A'} = 60\angle 120^\circ$ V;
 d) $P = 0$; $Q = -5400$ VAR; $S = 5400$ VA.

Exercício 3.11

Sabendo-se que a seqüência de fases é A-B-C e que a tensão de linha na carga é 380 V, 60 Hz, pede-se determinar para o circuito da Figura 3.3:

- a) as correntes de fase nas duas cargas;
 b) as correntes de linha (considerando as duas cargas);
 c) o fator de potência das duas cargas em paralelo;
 d) a tensão no início da linha.

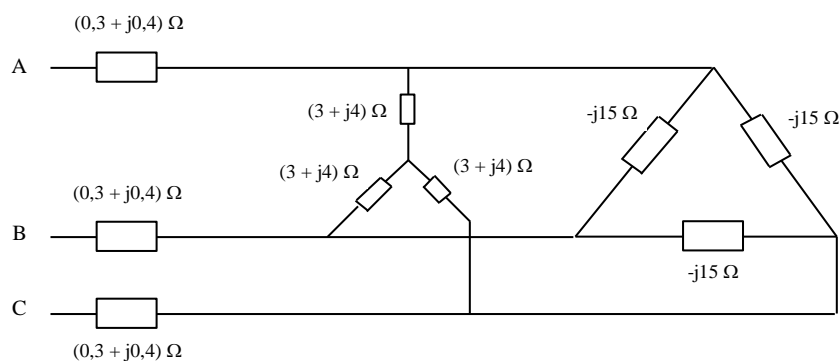


Figura 3.3 - Circuito para o Exercício 3.11

Resposta:

- a) adotando-se $V_{A'B'} = 380\angle 0^\circ$ V:
 carga em Y: $I_{A'N'} = 44\angle -83,1^\circ$ A; $I_{B'N'} = 44\angle -203,1^\circ$ A; $I_{C'N'} = 44\angle 36,9^\circ$ A;
 carga em Δ : $I_{A'B'} = 25,33\angle 90^\circ$ A; $I_{B'C'} = 25,33\angle -30^\circ$ A; $I_{C'A'} = 25,33\angle 210^\circ$ A;
 b) $I_A = 27,81\angle -11,8^\circ$ A; $I_B = 27,81\angle -131,8^\circ$ A; $I_C = 27,81\angle 108,2^\circ$ A;
 c) 0,950 capacitivo;

d) $V_{AB} = 389,43 \angle 3,4^\circ \text{ V}$; $V_{BC} = 389,43 \angle -116,6^\circ \text{ V}$; $V_{CA} = 389,43 \angle 123,4^\circ \text{ V}$.

Exercício 3.12

No circuito da Figura 3.4 sabe-se que:

1. as leituras nos wattímetros 1' e 2' foram 2239 W e 4661 W, respectivamente;
2. corrente de linha: 10 A;
3. seqüência de fases: A-B-C;
4. sistema trifásico simétrico e equilibrado.

Pede-se determinar:

- a) fator de potência total do circuito;
- b) fator de potência da carga;
- c) tensão na carga;
- d) leituras dos wattímetros W_1 e W_2 ;
- e) potência absorvida pela carga.

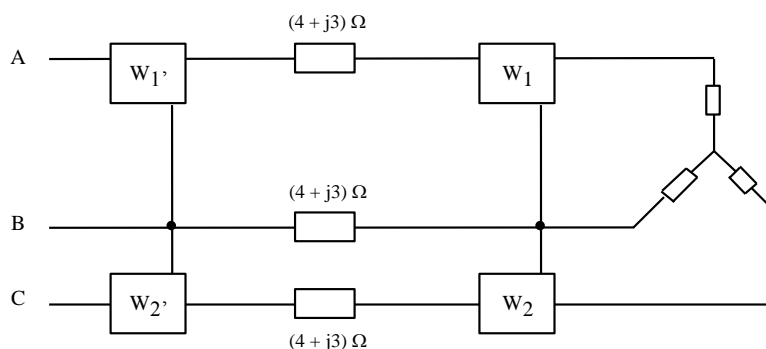


Figura 3.4 - Circuito para o Exercício 3.12

Resposta:

- a) 0,85447 indutivo;
- b) 0,86575 indutivo;
- c) $V_f = 219,46 \text{ V}$; $V_L = 380,12 \text{ V}$;
- d) $W_1 = 1898,79 \text{ W}$; $W_2 = 3801,21 \text{ W}$;
- e) $P = 5700,00 \text{ W}$; $Q = 3295,03 \text{ VAr}$; $S = 6583,86 \text{ VA}$.

Exercício 3.13

Uma carga trifásica composta por três capacitores ligados em triângulo quando alimentada com tensão de linha de 200 V absorve corrente de linha de 20 A. Quais serão as leituras de dois wattímetros corretamente ligados de acordo com o teorema de Blondel e qual será a potência absorvida pela carga?

Resposta:

- a) $W_1 = 2000 \text{ W}$ e $W_2 = -2000 \text{ W}$;
- b) zero.

Exercício 3.14

Uma linha trifásica alimenta um motor trifásico ligado em estrela e uma máquina ligada em triângulo, cuja impedância equivalente por fase é uma associação série de resistor com capacitor. Sabe-se que:

1. a impedância por fase do motor é $5 + j5 \Omega$;
2. a impedância por fase da máquina é $10 - j5 \Omega$;
3. a impedância da linha é desprezível;
4. a tensão de linha é 230 V;
5. a seqüência de fases é A-B-C;
6. adota-se V_{AB} com fase nula.

Pede-se determinar:

- a) corrente de fase no motor;
- b) corrente de fase na máquina;
- c) corrente de linha;
- d) potência fornecida ao motor, à máquina e total;
- e) as leituras de dois wattímetros ligados junto à máquina de acordo com o teorema de Blondel (com o motor desligado);
- f) as leituras de dois wattímetros ligados junto ao motor de acordo com o teorema de Blondel (com a máquina desligada);
- g) as leituras de dois wattímetros ligados no início da linha de acordo com o teorema de Blondel (com a máquina e o motor ligados);

Resposta:

- a) $I_{AN} = 18,8 \angle -75^\circ \text{ A}$; $I_{BN} = 18,8 \angle -195^\circ \text{ A}$; $I_{CN} = 18,8 \angle 45^\circ \text{ A}$;
- b) $I_{AB} = 20,6 \angle 26,6^\circ \text{ A}$; $I_{BC} = 20,6 \angle -93,4^\circ \text{ A}$; $I_{CA} = 20,6 \angle 146,6^\circ \text{ A}$;
- c) $I_A = 45,3 \angle -26,6^\circ \text{ A}$; $I_B = 45,3 \angle -146,6^\circ \text{ A}$; $I_C = 45,3 \angle 93,4^\circ \text{ A}$;
- d) motor: $P = 5290 \text{ W}$; $Q = 5290 \text{ VAR}$; $S = 7481 \text{ VA}$;
máquina: $P = 12692 \text{ W}$; $Q = -6356 \text{ VAR}$; $S = 14195 \text{ VA}$;
total: $P = 17982 \text{ W}$; $Q = -1066 \text{ VAR}$; $S = 18014 \text{ VA}$;
- e) $W_1 = 8181 \text{ W}$; $W_2 = 4511 \text{ W}$;
- f) $W_1 = 1118 \text{ W}$; $W_2 = 4172 \text{ W}$;
- g) $W_1 = 9299 \text{ W}$; $W_2 = 8683 \text{ W}$.

Exercício 3.15

Uma fábrica possui um gerador que alimenta suas diversas cargas com tensão de linha 220 V e frequência 60 Hz. Essas cargas, admitidas ligadas em estrela, podem ser agrupadas do seguinte modo:

1. iluminação: 25 kW, fator de potência 1,0;
2. compressor acionado por motor de indução de 100 cv (1 cv = 735 W) com rendimento de 90,6% e fator de potência 0,90 indutivo;
3. máquinas diversas acionadas por motores de indução totalizando 50 cv com rendimento de 79% e fator de potência 0,75 indutivo, considerado o fator de diversidade.

Sabendo-se que essas cargas são equilibradas pede-se determinar:

- a) a potência fornecida pelo gerador;
- b) a corrente de linha;
- c) o fator de potência da indústria;
- d) a leitura em dois wattímetros ligados na saída do gerador;
- e) o que fazer para conduzir o fator de potência ao valor 1,0.

Resposta:

- a) $P = 152,6 \text{ kW}$; $Q = 80,3 \text{ kVAr}$; $S = 172,5 \text{ kVA}$;
- b) $|I_A| = 453 \text{ A}$;
- c) 0,885 indutivo;
- d) $W_1 = 53,1 \text{ kW}$; $W_2 = 99,5 \text{ kW}$;
- e) $C_\Delta = 1467 \text{ }\mu\text{F}$; $C_Y = 4402 \text{ }\mu\text{F}$.

Exercício 3.16

Uma fábrica tem um compressor instalado para recalcar água de um poço semi-artesiano (sistema *air-lift*). O motor do compressor é alimentado por uma linha trifásica que parte de uma cabine primária. Sabe-se que:

1. a tensão de linha na cabine primária vale 220 V;
2. a corrente absorvida pelo motor do compressor (ligado em estrela) vale 100 A com fator de potência 0,7 indutivo;
3. a impedância dos fios da linha vale $0,1 + j0,05 \text{ }\Omega$;
4. a seqüência de fases é A-B-C.

Pede-se determinar:

- a) a tensão aplicada ao motor e a tensão na cabine;
- b) as leituras de dois wattímetros ligados junto ao motor;
- c) as leituras de dois wattímetros ligados na cabine primária;
- d) os capacitores que devem ser ligados em paralelo com o motor para que o conjunto trabalhe com fator de potência 0,9 indutivo (considerar capacitores ligados em estrela e em triângulo);
- e) potência reativa fornecida pelos capacitores;
- f) potência total na cabine, considerando os capacitores ligados.

Resposta:

- a) adotando-se seqüência de fases direta e $V_{A'N'}$ com fase nula:

tensões de fase na cabine:

$$V_{AN} = 127,017 \angle -1,64^\circ \text{ V} ; V_{BN} = 127,017 \angle -121,64^\circ \text{ V} ; V_{CN} = 127,017 \angle 118,36^\circ \text{ V};$$

tensões de linha na cabine:

$$V_{AB} = 220 \angle 28,36^\circ \text{ V} ; V_{BN} = 220 \angle -91,64^\circ \text{ V} ; V_{CN} = 220 \angle 148,36^\circ \text{ V};$$

tensões de fase no motor:

$$V_{A'N'} = 116,394 \angle 0^\circ \text{ V} ; V_{B'N'} = 116,394 \angle -120^\circ \text{ V} ; V_{C'N'} = 116,394 \angle 120^\circ \text{ V};$$

tensões de linha no motor:

$$V_{A'B'} = 201,600 \angle 30^\circ \text{ V} ; V_{B'C'} = 201,600 \angle -90^\circ \text{ V} ; V_{C'A'} = 201,600 \angle 150^\circ \text{ V};$$

- b) $W_1 = 5024 \text{ W}$; $W_2 = 19420 \text{ W}$;
- c) $W_3 = 6090 \text{ W}$; $W_4 = 21353 \text{ W}$;
- d) hipótese: a tensão na carga não se altera com a colocação dos capacitores.
 $C_\Delta = 285 \text{ }\mu\text{F}$; $C_Y = 855 \text{ }\mu\text{F}$;
- e) $Q_\Delta = Q_Y = 13097 \text{ VAR}$;
- f) $P = 26259 \text{ W}$; $Q = 12745 \text{ VAR}$; $S = 29189 \text{ VA}$.

Exercício 3.17

Uma carga trifásica equilibrada absorve 18 600 W quando alimentada por um sistema trifásico simétrico com seqüência de fase inversa e $\dot{V}_{AB} = 220 \angle 47^\circ \text{ V}$. Sabendo-se que a carga possui fator de potência igual a 0,85 indutivo, pede-se determinar a impedância da carga e o fasor das correntes de linha.

Resposta:

- adotando carga ligada em estrela: $\bar{Z}_Y = 2,212/\underline{31,8^\circ} \Omega$;
- adotando carga ligada em triângulo: $\bar{Z}_\Delta = 6,636/\underline{31,8^\circ} \Omega$;
 $\dot{I}_A = 57,426/\underline{45,2^\circ} \text{ A}$; $\dot{I}_B = 57,426/\underline{165,2^\circ} \text{ A}$; $\dot{I}_C = 57,426/\underline{-74,8^\circ} \text{ A}$.

Exercício 3.18

Dado o sistema do Exercício 3.17, qual é o valor dos capacitores de uma associação em estrela (banco de capacitores) que ligado em paralelo com a carga conduz a um fator de potência total de 0.95 indutivo?

Resposta:

$$C = 297 \mu\text{F}.$$