



**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**

**Novembro de 2010**

---

### 1. CIRCUITOS EM CORRENTE CONTÍNUA

#### Exercício 1.1

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

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

Resposta:

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

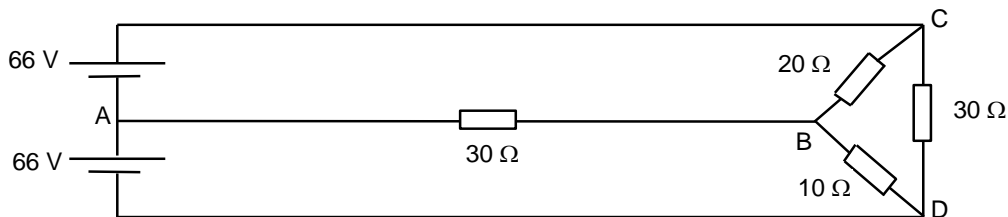


Figura 1.1 - Circuito para o Exercício 1.1

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

Resposta:

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

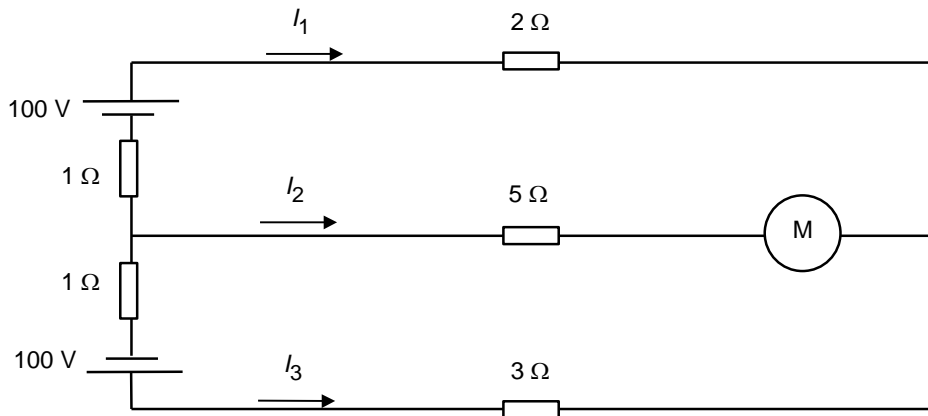


Figura 1.2 - Circuito para o Exercício 1.2

**Exercício 1.3**

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

Resposta:

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

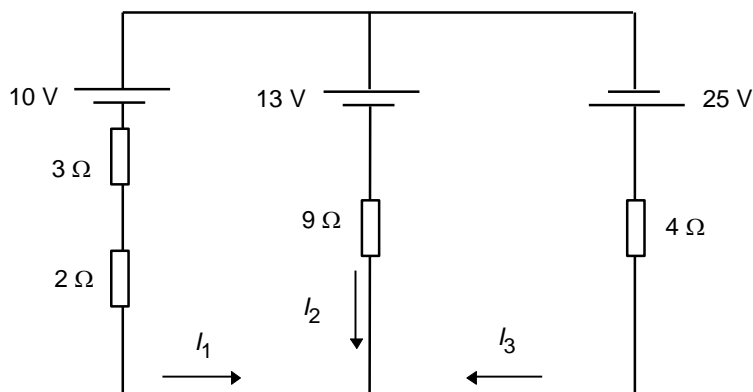


Figura 1.3 - Circuito para o Exercício 1.3

**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  $50 \Omega$ ;
- 0 e 50%;
- 0,5 W e 0,25 W.

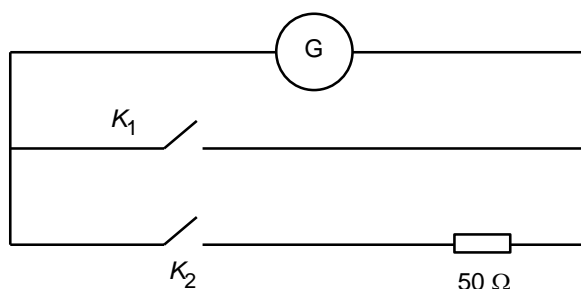


Figura 1.4 - Circuito para o Exercício 1.6

**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  $20 \Omega$ ;
- a máxima potência que o bipolo pode fornecer e qual o resistor capaz de consumir essa potência.

Resposta:

- 50 V e  $5 \Omega$ ;
- 80%;
- 125 W e  $5 \Omega$ .

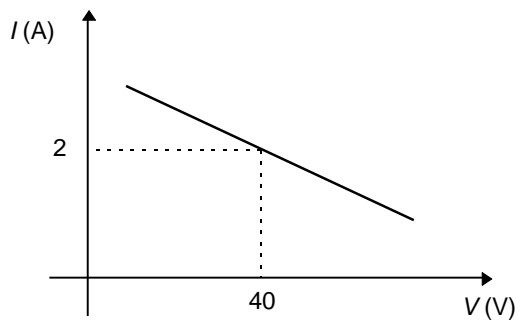


Figura 1.5 - Característica externa para o Exercício 1.7

**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  $60 \text{ W}$ . Quando o bipolo  $S$  é ligado em paralelo com o bipolo receptor  $R$ , de força contra-eletromotriz igual a  $20 \text{ V}$  e resistência interna igual a  $5 \Omega$ , 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:

$50 \text{ V}$  e  $10 \Omega$ .

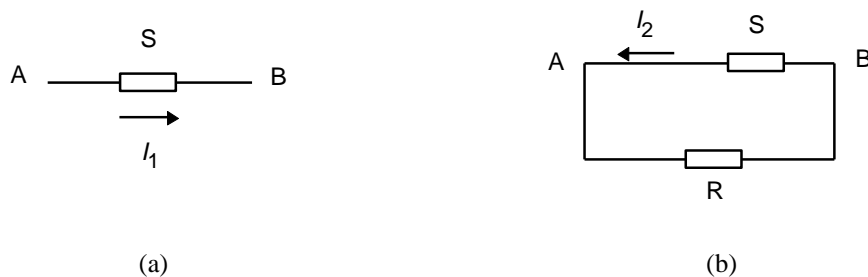


Figura 1.6 - Circuitos para o Exercício 1.8

**Exercício 1.9**

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

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

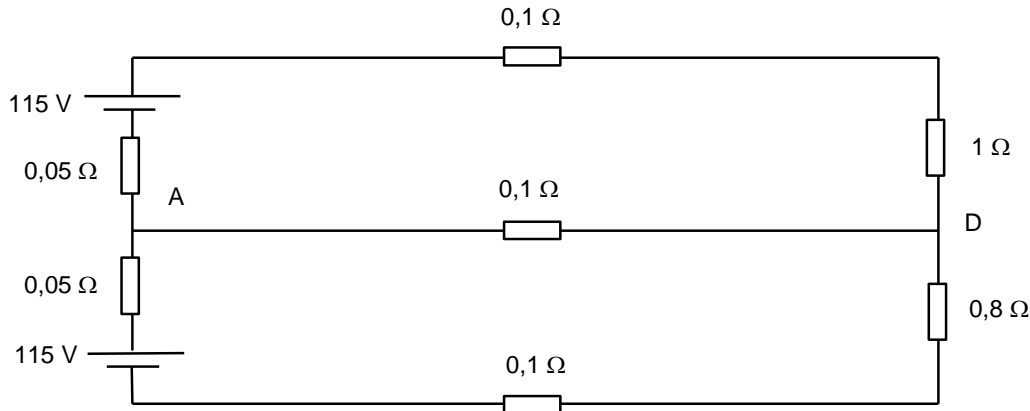


Figura 1.7 - Circuito para o Exercício 1.9

**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 .

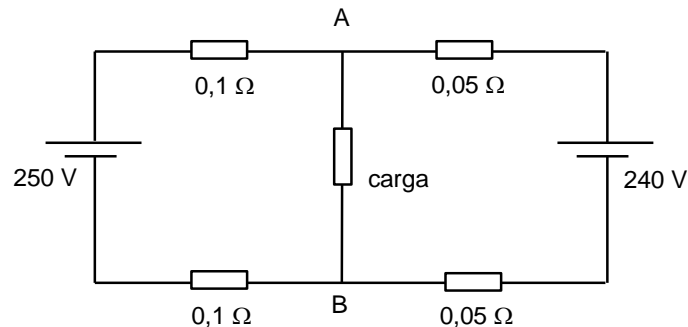


Figura 1.8 - Circuito para o Exercício 1.10

### 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:

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

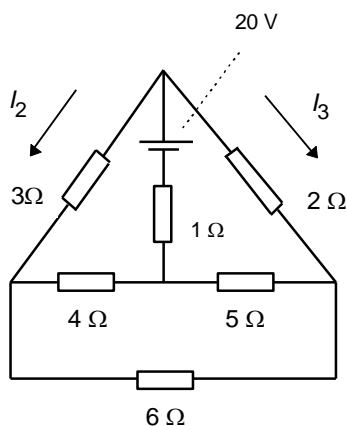


Figura 1.9 - Circuito para o Exercício 1.12

**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:

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

$$R = 30 \Omega .$$

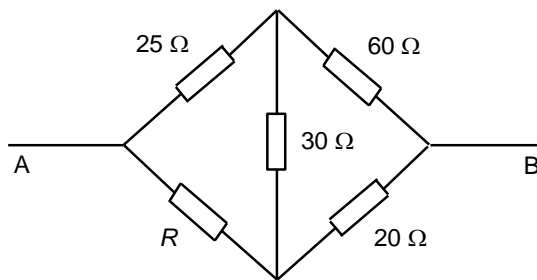


Figura 1.10 - Circuito para o Exercício 1.13

**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:

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

$$R = 20 \Omega .$$

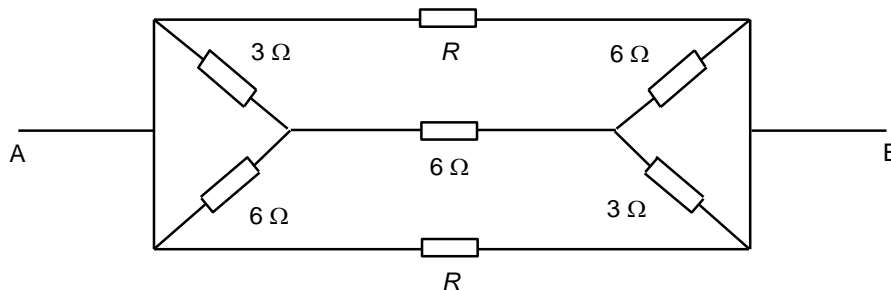


Figura 1.11 - Circuito para o Exercício 1.14

### 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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



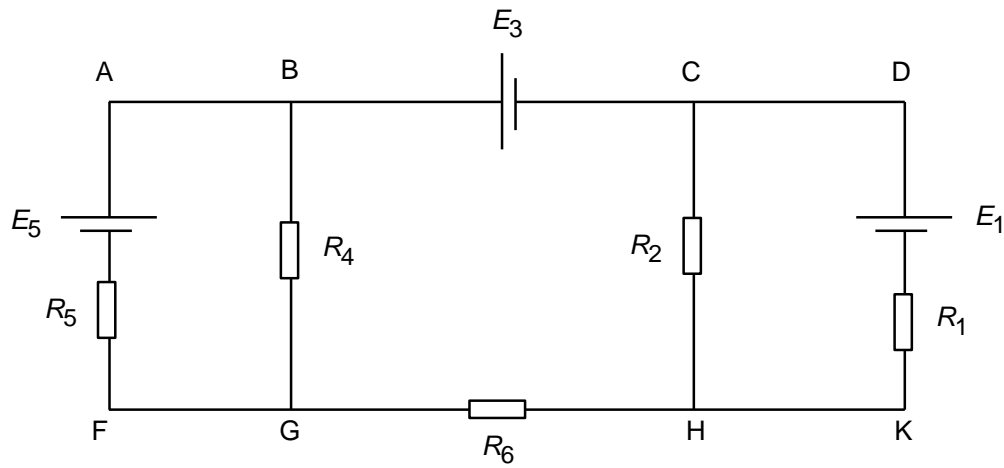


Figura 1.12 - Circuito para o Exercício 1.15

## 2. CIRCUITOS MONOFÁSICOS EM CORRENTE ALTERNADA

### Exercício 2.1

Uma carga composta pela associação série de um resistor de resistência  $50 \Omega$  com um indutor de  $0,1 \text{ H}$  é alimentada com tensão senoidal de valor eficaz  $110 \text{ V}$  e frequência de  $60 \text{ Hz}$ . 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  $10 \text{ V}$  e pulsação de  $5000 \text{ rad/s}$ . 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);  $P = 1792 \text{ W}$ ;  $Q = 3020 \text{ VAr}$ ;  $S = 3512 \text{ VA}$ .

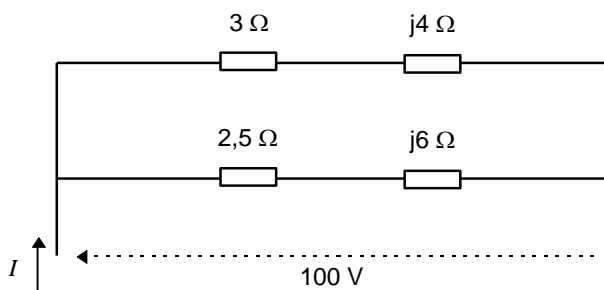


Figura 2.1 - Circuito para o Exercício 2.3

### Exercício 2.4

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

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

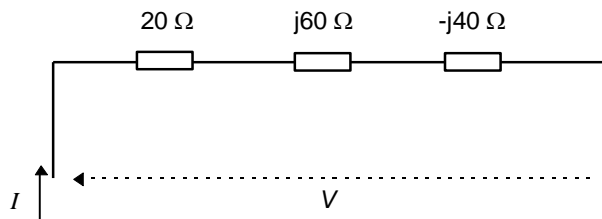


Figura 2.2 - Circuito para o Exercício 2.4

**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).

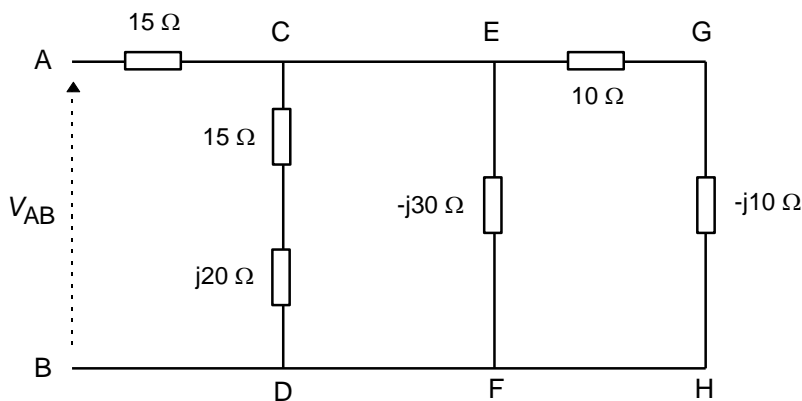


Figura 2.3 - Circuito para o Exercício 2.6

**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  $1000 \Omega$  e um indutor de  $0,1 \text{ H}$ . Sabendo-se que esta carga é alimentada por uma tensão senoidal de  $500 \text{ V}$  e frequência de  $1000 \text{ Hz}$ , 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  $25 \text{ m}$ , e que o chuveiro é de  $6000 \text{ W}$  e  $220 \text{ V}$ , pede-se:

- qual deve ser a tensão no quadro de forma a manter a tensão no chuveiro igual a  $220 \text{ V}$ , 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  $4 \text{ mm}^2$   
(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  $4 \text{ mm}^2$ .

**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  $\dot{V}_{BC} = 220/37^\circ$  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  $\Delta$ , 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 ( $30^\circ$ ). 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  $1 \Omega$ . 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.

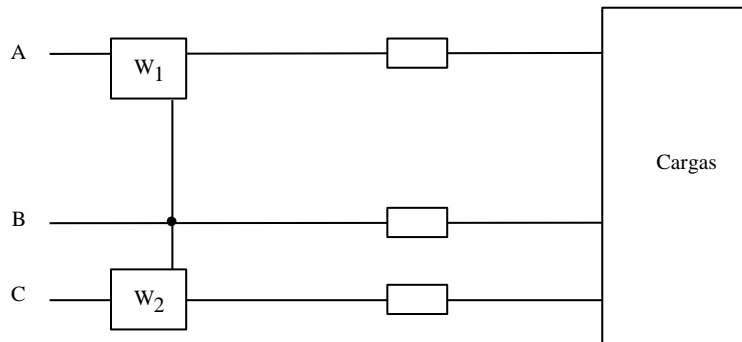


Figura 3.1 - Uma ligação possível para os wattímetros do Exercício 3.8

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

**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  $90^\circ$  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  $\Delta$  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.

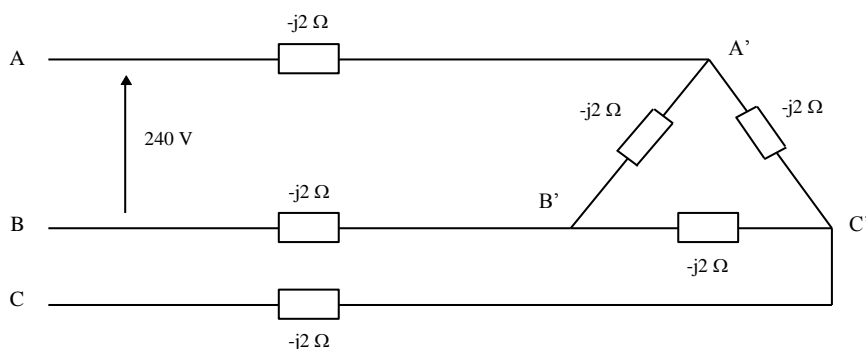


Figura 3.2 - Circuito para o Exercício 3.10

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.

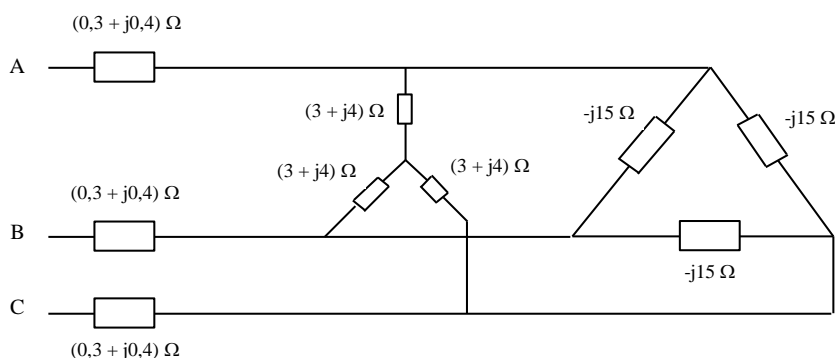


Figura 3.3 - Circuito para o Exercício 3.11

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.

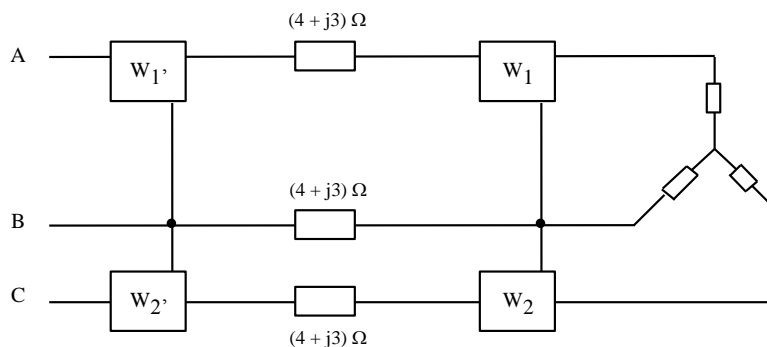


Figura 3.4 - Circuito para o Exercício 3.12

Resposta:

- a) 0,8547 indutivo;
- b) 0,8660 indutivo;
- c)  $V_f = 220 \text{ V}$  ;  $V_L = 380 \text{ V}$ ;
- d)  $W_1 = 1900 \text{ W}$  ;  $W_2 = 3800 \text{ W}$ ;
- e)  $P = 5700 \text{ W}$  ;  $Q = 3291 \text{ VAr}$  ;  $S = 6582 \text{ VA}$ .

### 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:

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

### 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 da cabina primária. Sabe-se que:

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

Pede-se determinar:

- a tensão aplicada ao motor e a tensão na cabina;
- as leituras de dois wattímetros ligados junto ao motor;
- as leituras de dois wattímetros ligados na cabina primária;
- 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);
- potência reativa fornecida pelos capacitores;
- potência total na cabina, considerando os capacitores ligados.

Resposta:

- adotando-se seqüência de fases direta e  $V_{A'N'}$  com fase nula:  
tensões de fase na cabina:  $V_{AN} = 127|-1,6^\circ \text{ V}$  ;  $V_{BN} = 127|-121,6^\circ \text{ V}$  ;  $V_{CN} = 127|118,4^\circ \text{ V}$  ;  
tensões de linha na cabina:  $V_{AB} = 220|28,4^\circ \text{ V}$  ;  $V_{BN} = 220|-91,6^\circ \text{ V}$  ;  $V_{CN} = 220|148,4^\circ \text{ V}$  ;  
tensões de fase no motor:  $V_{A'N'} = 116,4|0^\circ \text{ V}$  ;  $V_{B'N'} = 116,4|-120^\circ \text{ V}$  ;  $V_{C'N'} = 116,4|120^\circ \text{ V}$  ;  
tensões de linha no motor:  $V_{A'B'} = 201,6|30^\circ \text{ V}$  ;  $V_{B'C'} = 201,6|-90^\circ \text{ V}$  ;  $V_{C'A'} = 201,6|150^\circ \text{ V}$ ;
- $W_1 = 5014 \text{ W}$  ;  $W_2 = 19417 \text{ W}$ ;
- $W_1 = 6064 \text{ W}$  ;  $W_2 = 21347 \text{ W}$ ;
- hipótese: a tensão na carga não se altera com a colocação dos capacitores.  $C_\Delta = 285 \text{ }\mu\text{F}$  ;  $C_Y = 855 \text{ }\mu\text{F}$ ;
- $Q_\Delta = Q_Y = 13093 \text{ VAr}$ ;
- $P = 25035 \text{ W}$  ;  $Q = 12134 \text{ VAr}$  ;  $S = 27821 \text{ VA}$ .

### Exercício 3.17

Uma carga trifásica equilibrada absorve 18 600 W quando alimentada por um sistema trifásico simétrico com seqüência de fase inversa e  $\dot{V}_{AB} = 220/47^\circ \text{ V}$ . 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:

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