

一、例题精解

【例题 4.1】 有一三相电路如图 4.1 所示，负载为星形联接，电源为三角形联接，

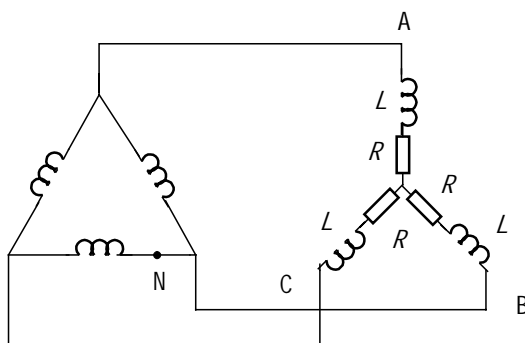


图 4.1 例题 4.1 的图

已知 $R = 12\Omega$ ， $X_L = 9\Omega$ ， $U_l = 380V$ 。试求：

- (1) 负载的相电流；
- (2) 电源的相电流；
- (3) 负载消耗的总功率；
- (4) 在电路工作过程中，如果 C 线断开，这时各相负载电流是多少？
- (5) 在电路工作过程中，如果 N 点断开，电源与负载的相电流、线电流各为多少？

【解】

(1) 负载的相电流

$$I_p = \frac{U_p}{Z} = \frac{U_l}{\sqrt{3}} \times \frac{1}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} = \frac{380}{\sqrt{3}} \times \frac{1}{\sqrt{12^2 + 9^2}} \approx 14.6A$$

(2) 电源的相电流

由于电源的线电流等于负载的线电流，而负载为星形联接，所以电源的相电流为

$$I'_p = \frac{1}{\sqrt{3}} I'_l = \frac{1}{\sqrt{3}} I_p = \frac{1}{\sqrt{3}} \times 14.6 = 8.45A$$

(3) 负载消耗的总功率

$$P = 3I_p^2 R = 3 \times 14.6^2 \times 12 \approx 7.7kW$$

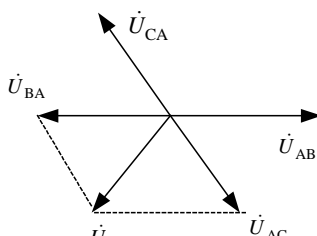
(4) C 线断开时各相负载电流

这时 C 相电流为零，A、B 两相变为串联接于 380V 的线电压上，所以

$$I_{pA} = I_{pB} = \frac{U_l}{\sqrt{(2R)^2 + (2X_L)^2}} = \frac{380}{\sqrt{(2 \times 12)^2 + (2 \times 9)^2}} = 12.7A$$

(5) N 点断开时，由图 4.1 可知电源 BC 相不再向负载提供电流。此时，线电压相量 $\dot{U}_{BC} = \dot{U}_{BA} - \dot{U}_{CA}$ ，以相量 \dot{U}_{AB} 为参考相量，可画出如图 4.2 所示的相量图。

由于相量 \dot{U}_{AB} 、 \dot{U}_{BC} 、 \dot{U}_{AC} 构成一等边三角形，



所以 $U_{BC} = U_{AB} = U_{CA}$ ，而且相量 \dot{U}_{BC} 滞后 \dot{U}_{AB} 120° 。这样，在 N 点断开时，电源输出的线电压与原来一样，仍然是对称的，对负载的工作没有影响。所以负载的相电流、线电流与 N 点断开前相同。

电源的相电流分别为：

$$I_{BC} = 0$$

$$I_{AB} = I_{CA} = I_l = 14.6 \text{ A}$$

图 4.2 电压相量图

可见，N 点断开后负载仍能正常工作，但加重了电源某些相的负担，如果电源已处于额定运行状态，则 N 点断开后电源将过载。

【例题 4.2】 在线电压为 380V 的三相电源上，接两组电阻性对称负载，如图 4.3 所示。已知 $R_1 = 38\Omega$, $R_2 = 22\Omega$ ，试求电路的线电流。

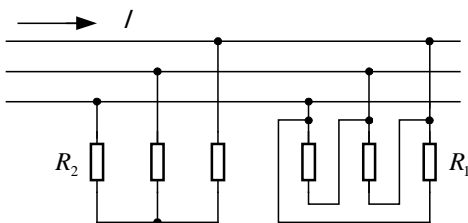


图 4.3 例题 4.2 的图

【解】 因为电源和负载都是对称的，所以计算一相即可。设线电压 $\dot{U}_{AB} = 380\angle 0^\circ \text{ V}$ ，则相电压 $\dot{U}_A = 220\angle -30^\circ \text{ V}$ 。

(1) 对于星形联接负载，其线电流等于相电流

$$\dot{i}_{AYl} = \dot{i}_{AYp} = \frac{\dot{U}_A}{R_2} = \frac{220\angle -30^\circ}{22} = 10\angle -30^\circ \text{ A}$$

(2) 对于三角形联接负载，其相电流为

$$\dot{i}_{\Delta p} = \frac{\dot{U}_{AB}}{R_1} = \frac{380\angle 0^\circ}{38} = 10\angle 0^\circ \text{ A}$$

则其线电流为

$$\dot{i}_{\Delta l} = \sqrt{3}\dot{i}_{\Delta p}\angle -30^\circ = 17.3\angle -30^\circ \text{ A}$$

(3) 线路总电流为

$$\dot{i}_A = \dot{i}_{AYl} + \dot{i}_{\Delta l} = 10\angle -30^\circ + 17.3\angle -30^\circ = 27.3\angle -30^\circ \text{ A}$$

【例题 4.3】 两组星形联接的负载并联如图 4.4 所示。其中一组对称，另一组不对称。不对称负载各相的阻抗分别为 $Z_A = 10\Omega$, $Z_B = j10\Omega$, $Z_C = -j10\Omega$ 。已知电源线电压对称，其有效值为 380V。如果图中伏特表的电阻为无穷大，求此伏特表的读数。

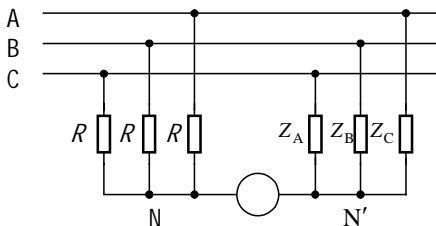


图 4.4 例题 4.3 的图

【解】 根据题中的已知条件可设电源的相电压分别为

$$\dot{U}_A = 220\angle 0^\circ \text{ V}$$

$$\dot{U}_B = 220\angle -120^\circ \text{ V}$$

$$\dot{U}_C = 220\angle 120^\circ \text{ V}$$

由于对称的一组负载的中点电位等于电源的中点电位，所以在计算时不必考虑，如取 N 点为电位参考点，根据节点电压法，有

$$\begin{aligned}\dot{U}_{NN'} &= \frac{\frac{\dot{U}_A}{10} + \frac{\dot{U}_B}{j10} + \frac{\dot{U}_C}{-j10}}{\frac{1}{10} + \frac{1}{j10} + \frac{1}{-j10}} = \frac{j\dot{U}_A + \dot{U}_B - \dot{U}_C}{j} = \\ &= 220(1 - j\angle -120^\circ + j\angle 120^\circ) = \\ &= 220 \times (-0.73) = \\ &= -160.6 \text{ V}\end{aligned}$$

由此可知伏特表的读数为 160.6V。

【例题 4.4】 三相电路如图 4.5 所示，已知 $R = 5\Omega$ ， $X_L = X_C = 5\Omega$ ，接在线电压为 380V 的三相四线制电源上。求：(1) 各线电流及中线电流；(2) A 线断开时的各线电流及中线电流；(3) 中线及 A 线都断开时各线电流。

【解】(1) 设电源线电压分别为

$$\dot{U}_{AB} = 380\angle 0^\circ \text{ V}$$

$$\dot{U}_{BC} = 380\angle -120^\circ \text{ V}$$

$$\dot{U}_{CA} = 380\angle 120^\circ \text{ V}$$

则各相电压为

$$\dot{U}_A = 220\angle -30^\circ \text{ V}$$

$$\dot{U}_B = 220\angle -150^\circ \text{ V}$$

$$\dot{U}_C = 220\angle 90^\circ \text{ V}$$

由此可求得各相电流(即线电流)为

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_A}{jX_L} = \frac{220\angle -30^\circ}{j5} = 44\angle -120^\circ \text{ A}$$

$$\dot{I}_B = \frac{\dot{U}_B}{-jX_C} = \frac{220\angle -150^\circ}{-j5} = 44\angle -60^\circ \text{ A}$$

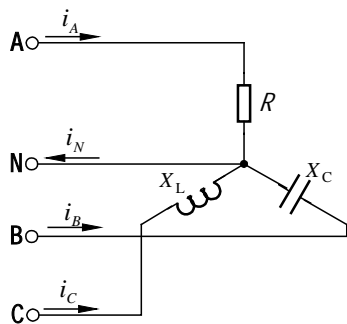


图 4.5 例题 4.4 的图

$$\dot{I}_C = \frac{\dot{U}_C}{R} = \frac{220\angle 90^\circ}{5} = 44\angle 90^\circ$$

中线电流为

$$\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 44\angle -120^\circ + 44\angle -60^\circ + 44\angle 90^\circ = 32.2\angle -90^\circ \text{ A}$$

(2) 若 A 线断开, 则 A 线电流为零; B、C 两相电流不变; 中线电流为

$$\dot{I}_N = \dot{I}_B + \dot{I}_C = 44\angle -60^\circ + 44\angle 90^\circ \text{ A} = 22.8\angle 15^\circ \text{ A}$$

(3) 如果中线和 A 线都断开, 则 B、C 两相负载串联, A 线电流为零; B、C 两相电流为:

$$\dot{I}_B = -\dot{I}_C = \frac{\dot{U}_{BC}}{R - jX_C} = \frac{380\angle -120^\circ}{5 - j5} = 53.7\angle -75^\circ \text{ A}$$

【例题 4.5】在图 4.6 所示的三相电路中, 电源线电压 $U_l = 380\text{V}$, 频率 $f=50\text{Hz}$, 对称负载的功率 $P = 10\text{kW}$, 功率因数 $\cos\varphi_1 = 0.5$ (感性负载)。为了将线路功率因数提高到 $\cos\varphi = 0.9$, 问补偿电容应采取哪种联接 (三角形联接或星形联接) 方式较好?

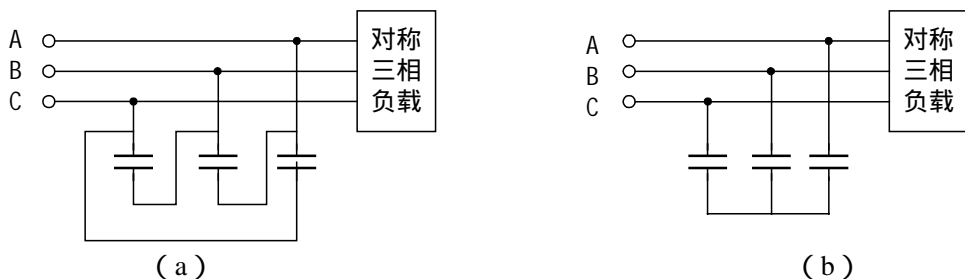


图 4.6 例题 4.5 的图

【解】 由于

$\cos\varphi_1 = 0.5$	$\varphi_1 = 60^\circ$	$\tan\varphi_1 = 1.73$
$\cos\varphi = 0.9$	$\varphi = 26^\circ$	$\tan\varphi = 0.48$

根据图 4.7 所示的功率三角形可知, 所需补偿电容器的无功功率为

$$Q = P \tan\varphi_1 - P \tan\varphi = 10\,000 \times (1.73 - 0.48) = 12.5 \times 10^3 \text{ Var}$$

(1) 电容器三角形联接:

流过电容器的相电流为

$$I_{pC} = \omega C U_l$$

线电流为

$$I_{lC} = \sqrt{3} I_{pC} = \sqrt{3} \omega C U_l$$

电容器的无功功率为

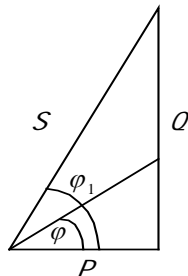


图 4.7 功率三角形

$$Q = \sqrt{3}U_l I_{IC} = \sqrt{3}U_l \cdot \sqrt{3}\omega C U_l = 3\omega C U_l^2$$

则每相电容器的电容为

$$C = \frac{Q}{3\omega U_l^2} = \frac{12500}{3 \times 314 \times 380^2} = 92 \mu\text{F}$$

(2) 电容器星形联接：

与前者不同,在图 4.6(b)中,每相电容器上加的电压是电源的相电压,这时每相电容器的电容为

$$C = \frac{Q}{3\omega U_l^2} = \frac{12500}{3 \times 314 \times 220^2} = 274 \mu\text{F}$$

通过以上计算可以看出,电容器星形联接时要比三角形联接大 3 倍,所以提高三相感性电路的功率因数时,电容器常联接成三角形。

【例题 4.6】有一台三相异步电动机,其绕组联成三角形接于线电压 380V 的电源上,从电源所取用的功率是 11.43kW,功率因数 $\cos \varphi = 0.87$ 。(1) 试求电动机的相电流、线电流;(2) 如果在电源线上并联一组三角形联接的电容器为了提高线路的功率因素,则每相电容 $C = 20 \mu\text{F}$ 。求线路的总电流和提高后的功率因素。

【解】

(1) 根据题意,其线电流为

$$I_l = \frac{P_1}{\sqrt{3}U_l \cos \varphi} = \frac{11430}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.87} \approx 20\text{A}$$

由于是三角形联接,其相电流为

$$I_p = \frac{I_l}{\sqrt{3}} = \frac{20}{\sqrt{3}} \approx 11.5\text{A}$$

(2) 由例 4.5 可知,补偿电容器所需的无功功率为

$$Q = P \tan \varphi_1 - P \tan \varphi = 3\omega C U_l^2$$

则有

$$\tan \varphi = \tan \varphi_1 - \frac{3\omega C U_l^2}{P} = 0.57 - \frac{3 \times 314 \times 20 \times 10^{-6} \times 380^2}{11430} = 0.332$$

这样

$$\varphi = \arctan(0.332) = 18.4^\circ$$

功率因数为

$$\cos \varphi = 0.949$$

由 $P = \sqrt{3}U_l I_l' \cos \varphi_1$ 可得加补偿电容后线路的总电流

$$I'_l = \frac{P}{\sqrt{3}U_l \cos \varphi_1} = \frac{11\,430}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.949} = 18.3\text{A}$$

【例题 4.7】在图 4.8 中,对称负载联成三角形,已知电源电压 $U_l = 220\text{V}$, 安培计读数 $I_l = 17.3\text{A}$, 三相功率 $P = 4.5\text{kW}$, 试求:

- (1) 每相负载的电阻、感抗;
- (2) 当 AB 相断开时, 图中各安培计的读数和总功率;
- (3) 当 A 线断开时, 图中各安培计的读数和总功率。

【解】

- (1) 每相负载的电阻、感抗

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{3}U_l I_l} = \frac{4\,500}{\sqrt{3} \times 220 \times 17.3} = 0.68$$

$$|Z| = \frac{U_p}{I_p} = \frac{U_l}{I_l / \sqrt{3}} = \frac{220}{17.3 / \sqrt{3}} = 22\Omega$$

由此可得每相负载的电阻、感抗为

$$R = |Z| \cos \varphi = 22 \times 0.68 = 15\Omega$$

$$X_L = |Z| \sin \varphi = 22 \times 16.1\Omega$$

(2) 由于该对称负载为三角形联接, AB 相断开后对其它两相负载的工作没有影响, 所以 C 线所接的安培计读数不变, 即 $I_C = 17.3\text{A}$, A、B 线所接安培计中通过的是负载的相电流, 这样其读数为

$$I_A = I_B = \frac{U_p}{|Z|} = \frac{220}{22} = 10\text{A}$$

所消耗的总功率为

$$P_1 = \frac{2}{3}P = \frac{2}{3} \times 4\,500 = 3\text{kW}$$

(3) A 线断开后, A 线所接安培计的读数为零, 即 $I_A = 0$; B、C 线所接安培计读数相同, 即

$$I_B = I_C = \frac{U_p}{|Z|} + \frac{U_p}{\sqrt{(2R)^2 + (2X_L)^2}} = \frac{220}{22} + \frac{220}{\sqrt{(2 \times 15)^2 + (2 \times 16.1)^2}} = 15\text{A}$$

所消耗的功率为

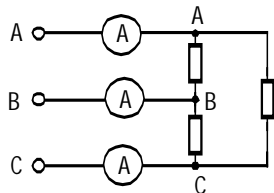


图 4.8 例题 4.7 的图

$$P = \left(\frac{U_p}{|Z|} \right)^2 R + \left(\frac{U_p}{\sqrt{(2R)^2 + (2X_L)^2}} \right)^2 \times 2R =$$

$$\left(\frac{220}{22} \right)^2 \times 15 + \left(\frac{220}{\sqrt{(2 \times 15)^2 + (2 \times 16.1)^2}} \right)^2 \times (2 \times 15) = 2\,250 \text{ W}$$

【例题 4.8】 在图 4.9 所示电路中, $R_1=3.9\text{k}\Omega$, $R_2=5.5\text{k}\Omega$, $C_1=0.47\text{ }\mu\text{F}$, $C_2=1\text{ }\mu\text{F}$, 电源对称, $\dot{U}_{AB}=380\angle 0^\circ\text{V}$, $f=50\text{Hz}$ 。试求电压 \dot{U}_o 。

【解】 因为电源对称, 所以

$$\dot{U}_{BC} = 380\angle -120^\circ\text{V}$$

$$\dot{U}_{CA} = 380\angle 120^\circ\text{V}$$

$$\dot{U}_{C1} = \frac{\dot{U}_{CA}}{R_1 - jX_{C1}} \cdot (-jX_{C1})$$

$$\dot{U}_{C2} = \frac{\dot{U}_{BC}}{R_2 - jX_{C2}} \cdot R_2$$

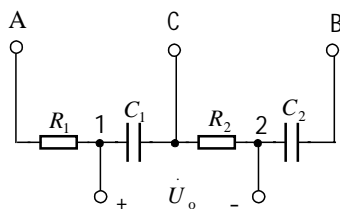


图 4.9 例题 4-8 的图

$$X_{C1} = \frac{1}{\omega C_1} = \frac{1}{2\pi f \times 0.47 \times 10^{-6}} = 6.8\text{k}\Omega$$

$$X_{C2} = \frac{1}{\omega C_2} = \frac{1}{2\pi f \times 1 \times 10^{-6}} = 3.2\text{k}\Omega$$

解得

$$\begin{aligned} \dot{U}_o = \dot{U}_{12} &= -(\dot{U}_{C2} + \dot{U}_{C1}) = \\ &= -\frac{380\angle -120^\circ}{5.5 - j3.2} \times 5.5 + \frac{380\angle 120^\circ}{3.9 - j6.8} \times j6.8 = \\ &= -j = -90^\circ\text{V} \end{aligned}$$

二、习题精选

【习题 4.1】 某对称三相负载的每相复阻抗为 Z , 试求:

(1) 负载为三角形接法, 接于线电压为 220V 的三相电源, 及负载为星形接法接于线电压为 380V 的三相电源时, 这两种情况下负载的相电流、线电流和总有功率的比值?

(2) 负载为三角形接法, 接于线电压为 220V 的三相电源, 及负载为星形接法接

于线电压为 220V 的三相电源上时,这两种情况下负载的相电流、线电流和总有功率的比值?

【习题 4.2】有一星形联接的三相负载,电源的相电压为 220V, A、B、C 三相的负载都是电阻,阻值分别等于 40Ω 、 80Ω 和 100Ω , 试求负载各相的相电流和中线电流。

【习题 4.3】图 4.10 所示电路中,负载为对称性三角形负载。当 S_1 和 S_2 都接通时,各电流表的读数均为 38A, 求下面两种情况下各电流表的读数是多少?

(1) S_1 闭合, S_2 断开。

(2) S_1 断开, S_2 闭合。

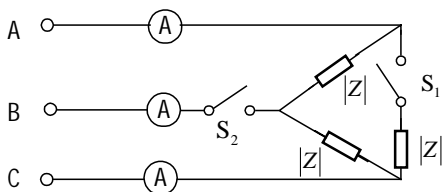


图 4.10 习题 4.3 用图

【习题 4.4】线电压 $U_l = 220V$ 的三相电源上接有两组对称三相负载, 一组是联

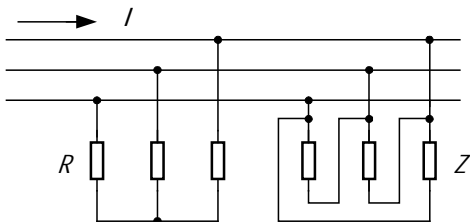


图 4.11 习题 4.4 用图

接成三角形的感性负载, 每相功率为 $4.8kW$, $\cos\varphi = 0.8$, 另一组是联接成星形的纯电阻负载, 每相阻值为 10Ω , 如图 4.11 所示。求各组负载的相电流和总的线电流, 并画出一相的相量图。

【习题 4.5】线电压为 380V 的对称三相电源向两组对称负载供电。其中, 一组是星形联接的电阻性负载, 每相电阻为 10Ω ; 另一组是感性负载, 功率因数 0.866, 消耗功率为 $5.69kW$, 求电源的有功功率、视在功率、无功功率及输出电流。

【习题 4.6】拟用电阻丝制造一台三相加热炉, 功率为 $10kW$, 电源线电压为 380V, 若三相电阻接成对称星形, 每相电阻应多大? 若接成对称三角形, 每相电阻又应为多大?

三、习题答案

【习题 4.1】 (1) $P_\Delta : P_Y = 1:1$ $I_{p\Delta} : I_{pY} = 1:1$ $I_{l\Delta} : I_{lY} = 3:1$

(2) $P_\Delta : P_Y = 3:1$ $I_{p\Delta} : I_{pY} = 1 : \frac{1}{\sqrt{3}}$ $I_{l\Delta} : I_{lY} = 3:1$

【习题 4.2】

$$\text{【习题 4.3】} \quad \dot{I}_A = 5.5\text{A} \quad \dot{I}_B = 2.75\angle -120^\circ \text{A} \quad \dot{I}_C = 2.2\angle -240^\circ \text{A}$$

$$(\quad 1 \quad) \quad \dot{I}_N = 3.06\angle -9^\circ \text{A}$$

$$I_A = 22\text{A} \quad I_B = 22\text{A} \quad I_C = 38\text{A}$$

$$(2) \quad I_A = 33\text{A} \quad I_B = 33\text{A} \quad I_C = 0$$

【习题 4.4】 对于三角形联接的负载：

每相电流为

$$\dot{I}_{AB} = 27.5\angle -36.8^\circ \text{A} \quad \dot{I}_{BC} = 27.5\angle -156.8^\circ \text{A} \quad \dot{I}_{CA} = 27.5\angle 83.2^\circ \text{A}$$

线电流分别为

$$\dot{I}_{AA} = 47.6\angle -66.8^\circ \text{A} \quad \dot{I}_{BA} = 47.6\angle -186.8^\circ \text{A} \quad \dot{I}_{CA} = 47.6\angle 53.2^\circ \text{A}$$

对于星形联接的负载：

每相电流为

$$\dot{I}_{AY} = 12.7\angle -30^\circ \text{A} \quad \dot{I}_{BY} = 12.7\angle -150^\circ \text{A} \quad \dot{I}_{CY} = 12.7\angle 90^\circ \text{A}$$

总的线电流为

$$\dot{I}_{AY} = 58.29\angle -59.2^\circ \text{A} \quad \dot{I}_B = 58.29\angle -179.2^\circ \text{A} \quad \dot{I}_C = 58.29\angle 60.8^\circ \text{A}$$

$$\text{【习题 4.5】} \quad P = 20.1\text{kW} \quad Q = 3.29\text{kvar}$$

$$S = 20.37\text{kVA} \quad I = 30.95\text{A}$$

$$\text{【习题 4.6】} \quad 14.4\Omega \quad 43.2\Omega$$