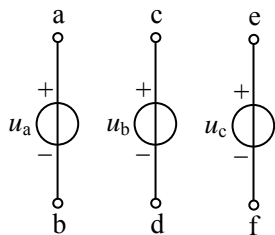


第 14 章 三相电路

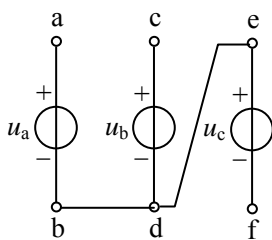
14-1 三个理想电源如题图 14-1 所示。问这些电源应如何连接以组成：（1）星形连接的对称三相电源；（2）三角形连接的对称三相电源。设 $u_a = \sqrt{2}U_s \sin \omega t$ ， $u_b = \sqrt{2}U_s \sin(\omega t - 120^\circ)$ ， $u_c = \sqrt{2}U_s \sin(\omega t - 60^\circ)$ 。



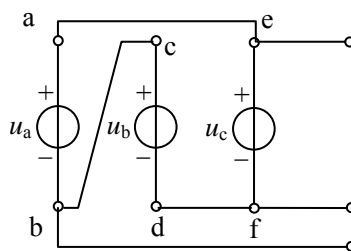
题图 14-1

解 （1）若要组成星形连接的对称三相电源，则接线如题图 14-1(a)所示，即将 b、d、e 连接在一点，a、c、f 引出线。

（2）若要组成三角形连接的对称三相电源，则接线如题图 14-1(b)所示，即将 b、c 相连，d、f 相连，e、a 相联组成 Δ 连接，由 Δ 三个顶点引出线。

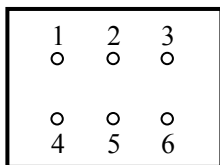


题图 14-1(a)



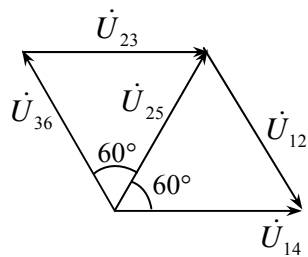
题图 14-1(b)

14-2 将电压表接在三相发电机端子 1 与 4，或 2 与 5，或 3 与 6 之间时(如题图 14-2 所示)，读数为 220V。将端子 4、5、6 连接在一起后，电压表测出端子 1 与 2 间电压为 220V，端子 2 与 3 间电压也是 220V。试问端子应如何连接才能得到三相对称线电压为 380V。



题图 14-2

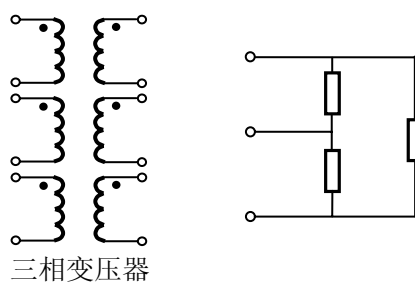
解 由第一组测量结果可知，1 与 4、2 与 5、3 与 6 之间分别为发电机的三个绕组，对外为三个电压源；将端子 4、5、6 连接在一起后的测量结果可用相量图说明，令 $\dot{U}_{14} = 220 \angle 0^\circ \text{V}$ ，则相量图如题图 14-2(a)所示。



题图 14-2(a)

因为每相电压为 220V，若要得到线电压为 380V 的三相对称电源，则需 Y 接：可将 4、2、6 连接成一点，由 1、5、3 引出线；或 1、5、3 连接成一点，由 4、2、6 引出线。

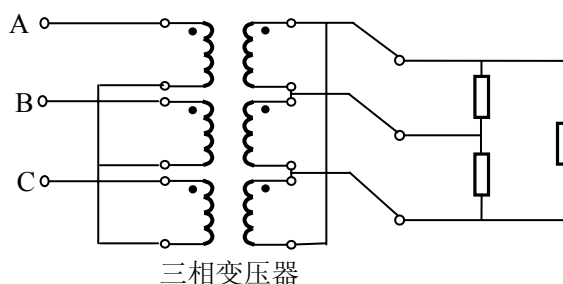
14-3 额定电压为 220V 的三相对称负载(Δ 接)，通过变比为 3300V/380V 的三相降压变压器接到线电压为 3300V 的高压线上供电。试画出联接线路图。



三相变压器

题图 14-3

解 接线图如题图 14-3(a)所示可以满足要求，即三相变压器原边为 Y 接，副边 Δ 接。



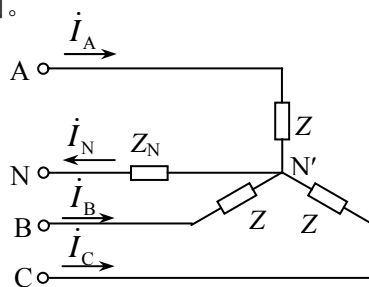
三相变压器

题图 14-3(a)

14-4 三相电路如题图 14-4 所示。已知对称三相负载 $Z=40+j30\Omega$ ，电源线电压为 380V。

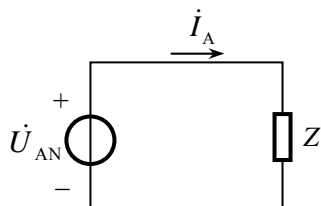
(1) 求电路中各线电流：(a) 设 $Z_N=0$ ；(b) 设 $Z_N=\infty$ ；(c) 设 $Z_N=40+j50\Omega$ 。

(2) 作出三相电压相量图。

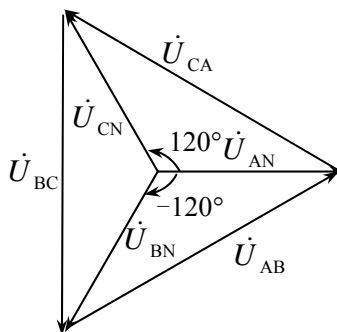


题图 14-4

解 (1) 因为图示电路是对称三相电路, 因此无论中线阻抗是多少, 都不会对各线电流产生影响。所以原电路的单相等效电路如题图 14-4(a)所示。



题图 14-4(a)



题图 14-4(b)

令 $\dot{U}_{AN} = 220\angle 0^\circ \text{ V}$, 则

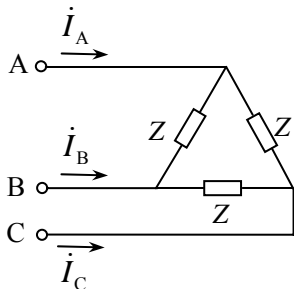
$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_{AN}}{Z} = \frac{220\angle 0^\circ}{40 + j30} = 4.4\angle -36.9^\circ \text{ A}$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_A \angle -120^\circ = 4.4\angle -156.9^\circ \text{ A}$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_A \angle 120^\circ = 4.4\angle 83.1^\circ \text{ A}$$

(2) 三相电压的相量图如题图 14-4(b)所示。

14-5 如题图 14-5 所示, 对称三相电压线电压为 380V , 负载阻抗 $Z=50+j80\Omega$ 。求输电线路中电流 \dot{I}_A 、 \dot{I}_B 、 \dot{I}_C , 并画出三相电流相量图。



题图 14-5

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

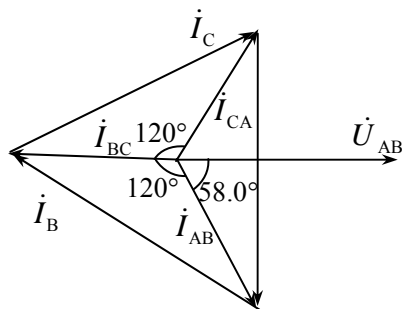
$$\dot{I}_{AB} = \frac{\dot{U}_{AB}}{Z} = \frac{380\angle 0^\circ}{50 + j80} = 4.03\angle -58.0^\circ \text{ A}$$

由线电流与相电流的关系有

$$\dot{I}_A = \sqrt{3}\dot{I}_{AB} \angle -30^\circ = 6.98\angle -88.0^\circ \text{ A}$$

由对称性, 得 $\dot{I}_B = 6.98\angle 152.0^\circ \text{ A}$, $\dot{I}_C = 6.98\angle 32.0^\circ \text{ A}$ 。

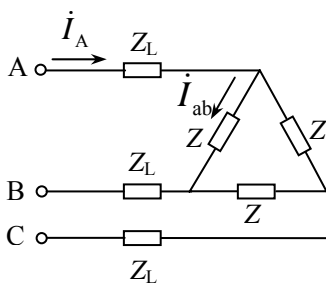
三相电流的相量图如题图 14-5(a)所示。



题图 14-5(a)

14-6 三相对称电路如题图 14-6 所示。试问下列算式哪些对哪些不对？

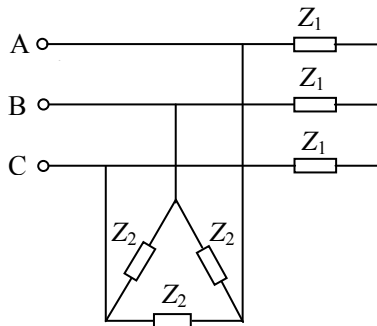
$$\begin{aligned}
 (1) \quad \dot{I}_{ab} &= \frac{\dot{U}_{AB}}{Z} & (2) \quad \dot{I}_{ab} &= \frac{\dot{U}_{AB}}{Z_L + Z} & (3) \quad \dot{I}_{ab} &= \frac{\dot{U}_{AB}}{2Z_L + Z}; \\
 (4) \quad \dot{I}_A &= \frac{\dot{U}_{AB}}{Z_L + Z/3} & (5) \quad \dot{I}_A &= \frac{\dot{U}_{AN}}{Z_L + Z/3} & (6) \quad \dot{I}_A &= \frac{\dot{U}_{AB}}{2Z_L + Z}
 \end{aligned}$$



题图 14-6

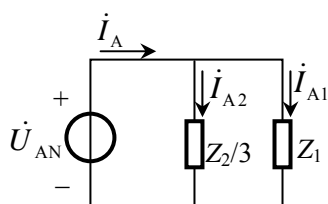
解 只有 (5) 对，其余均不正确。

14-7 两组三相负载接成如题图 14-7 所示电路。电源对称，线电压为 380V， $Z_1=100+j60\Omega$ ， $Z_2=50-j80\Omega$ 。求电源线电流。



题图 14-7

解 原电路的单相等效电路如题图 14-7(a)所示。



题图 14-7(a)

令 $\dot{U}_{AN} = 220\angle 0^\circ \text{V}$ ，则

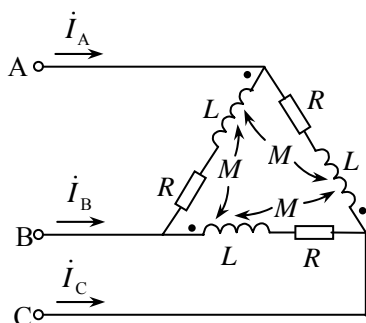
$$\dot{I}_{A1} = \frac{\dot{U}_{AN}}{Z_1} = \frac{220\angle 0^\circ}{100 + j60} = 1.886\angle -31.0^\circ \text{A}$$

$$\dot{I}_{A2} = \frac{\dot{U}_{AN}}{Z_2/3} = \frac{220\angle 0^\circ \times 3}{50 - j80} = 6.996\angle 58.0^\circ \text{A}$$

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{A1} + \dot{I}_{A2} = 5.326 + j4.963 = 7.28\angle 43.0^\circ \text{A}$$

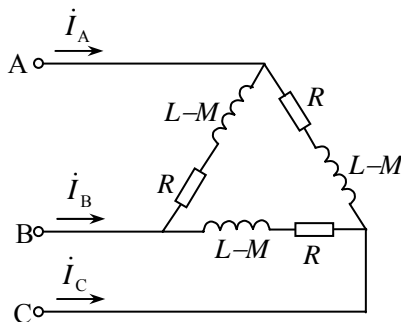
由对称性，可得 $\dot{I}_B = 7.28\angle -77.0^\circ \text{A}$ ， $\dot{I}_C = 7.28\angle 163^\circ \text{A}$ 。

14-8 对称工频三相电路如图 14-8 所示。线电压 $U=380\text{V}$ ，耦合三角形负载参数是 $R=30\Omega$ ， $L=0.4\text{H}$ ， $M=0.1\text{H}$ 。求线电流 \dot{I}_A 、 \dot{I}_B 、 \dot{I}_C 。



题图 14-8

解 可先将耦合三角形负载的互感两两去耦，再经过 $\Delta \rightarrow Y \rightarrow \Delta$ 变换，可得题图 14-8(a) 所示等效电路。



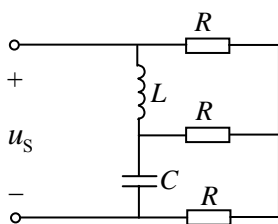
题图 14-8(a)

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

$$\begin{aligned}\dot{I}_A &= \sqrt{3}\angle -30^\circ \times \frac{\dot{U}_{AB}}{R + j\omega(L-M)} \\ &= \sqrt{3}\angle -30^\circ \times \frac{380\angle 0^\circ}{30 + j314(0.4-0.1)} = 6.66\angle -102.3^\circ \text{ A}\end{aligned}$$

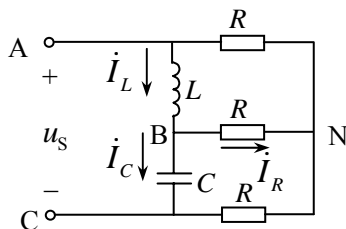
由对称性，得 $\dot{I}_B = 6.66\angle 137.7^\circ \text{ A}$ ， $\dot{I}_C = 6.66\angle 17.7^\circ \text{ A}$ 。

14-9 给功率较小的三相负载(如测量仪器和继电器等)供电，可利用所谓相数变换器，从单相电源获得对称三相负载电压，电路如题图 14-9 所示。已知负载 $R=20\Omega$ ，求 R 上得到对称三相电流所需的 L 、 C 之值。



题图 14-9

解 各参考方向如题图 14-9(a)所示（相量模型）。



题图 14-9(a)

根据设计目标，应有

$$\left. \begin{array}{l} \dot{U}_{AN}, \dot{U}_{BN}, \dot{U}_{CN} \\ \dot{U}_{AB}, \dot{U}_{BC}, \dot{U}_{CA} \end{array} \right\} \text{ 对称}$$

令 $\dot{U}_{AB} = U_S\angle 0^\circ$ ，则 $\dot{U}_{BC} = U_S\angle -120^\circ$ ， $\dot{U}_{CA} = U_S\angle 120^\circ$ 。

负载的相电压分别为

$$\dot{U}_{AN} = \frac{U_S}{\sqrt{3}}\angle -30^\circ, \quad \dot{U}_{BN} = \frac{U_S}{\sqrt{3}}\angle -150^\circ, \quad \dot{U}_{CN} = \frac{U_S}{\sqrt{3}}\angle 90^\circ$$

方法 1: 直接列方程设计参数 L 、 C 。

对节点 B 列写 KCL 方程得

$$\dot{I}_L = \dot{I}_C + \dot{I}_R$$

代入参数得

$$\frac{U_s \angle 0^\circ}{j\omega L} - \frac{\frac{U_s}{\sqrt{3}} \angle -150^\circ}{R} - j\omega C U_s \angle -120^\circ = 0$$

整理得

$$-j\frac{1}{\omega L} - \left(-\frac{1}{2R} - j\frac{1}{2\sqrt{3}R}\right) - \omega C\left(\frac{\sqrt{3}}{2} - j\frac{1}{2}\right) = 0$$

可以得到两个实数方程：

$$\begin{cases} \frac{1}{2R} - \frac{\sqrt{3}\omega C}{2} = 0 \\ -\frac{1}{\omega L} + \frac{1}{2\sqrt{3}R} + \frac{\omega C}{2} = 0 \end{cases}$$

解得 $C = \frac{1}{\sqrt{3}R\omega}$, $L = \frac{\sqrt{3}R}{\omega}$ 。对于工频 50Hz, 则有

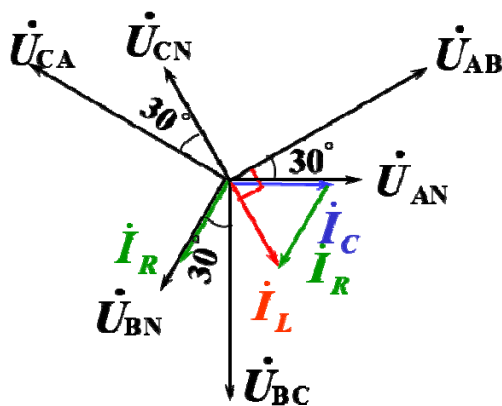
$$C = \frac{1}{\sqrt{3}R\omega} = \frac{1}{\sqrt{3} \times 20 \times 314} = 91.9 \times 10^{-6} \text{F} = 91.9 \mu\text{F}$$

$$L = \frac{\sqrt{3}R}{\omega} = \frac{\sqrt{3} \times 20}{314} = 0.110 \text{H} = 110 \text{mH}$$

方法 2: 可借助相量图求解。

令 $\dot{U}_{\text{AN}} = \frac{U_s}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ$, 则相量图如题图 14-9(b) 所示。其中 \dot{I}_L 滞后 \dot{U}_{AB} 90° , \dot{I}_C 领先 \dot{U}_{BC}

90° , \dot{I}_R 与 \dot{U}_{BN} 同相。 \dot{I}_L , \dot{I}_C 和 \dot{I}_R 组成等边三角形, 所以, $I_L = I_C = I_R$ 。



题图 14-9(b)

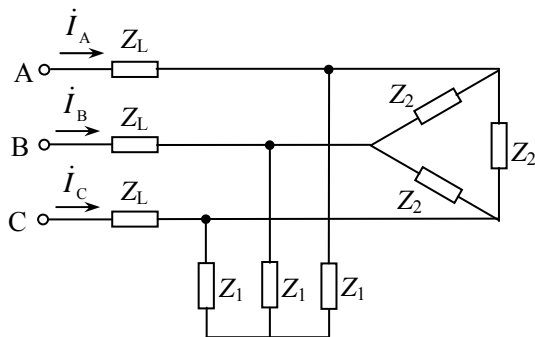
因为 $I_L = I_R$ ，所以

$$\frac{U_s}{\omega L} = \frac{U_s / \sqrt{3}}{R}, \quad L = \frac{\sqrt{3}R}{\omega} = \frac{\sqrt{3} \times 20}{314} = 0.110 \text{H} = 110 \text{mH}$$

因为 $I_C = I_R$ ，所以

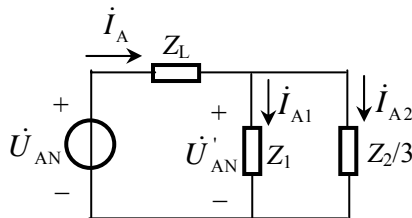
$$\omega C U_s = \frac{U_s / \sqrt{3}}{R}, \quad C = \frac{1}{\sqrt{3} R \omega} = \frac{1}{\sqrt{3} \times 20 \times 314} = 91.9 \mu\text{F}$$

14-10 在题图 14-10 所示三相电路中，有 Y 接的三相电动机和 Δ 接的变压器作负载。三相电源通过阻抗 $Z_L = 1 + j2 \Omega$ 的输电线向负载供电，负载处线电压为 380V，电动机等值阻抗为 $Z_1 = 12 + j16 \Omega$ ，变压器每相等值阻抗为 $Z_2 = 48 + j36 \Omega$ 。求电源端线电压。



题图 14-10

解 题图 14-10 所示电路的单相计算电路如题图 14-10(a)所示。



题图 14-10(a)

由已知条件，令 $\dot{U}'_{AN} = 220 \angle 0^\circ \text{V}$ 。由单相计算电路可得

$$\dot{I}_{A1} = \frac{\dot{U}'_{AN}}{Z_1} = \frac{220 \angle 0^\circ}{12 + j16} = 11.0 \angle -53.1^\circ \text{A}$$

$$\dot{I}_{A2} = \frac{\dot{U}'_{AN}}{Z_2/3} = \frac{220 \angle 0^\circ}{16 + j12} = 11.0 \angle -36.9^\circ \text{A}$$

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{A1} + \dot{I}_{A2} = 21.8 \angle -45.0^\circ \text{A}$$

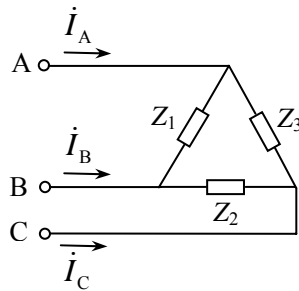
$$\begin{aligned}
 \dot{U}_{AN} &= \dot{U}'_{AN} + Z_L \dot{I}_A \\
 &= 220\angle 0^\circ + 21.8\angle -45.0^\circ \times (1 + j2) \\
 &= 267\angle -3.31^\circ \text{V}
 \end{aligned}$$

所以

$$\dot{U}_{AB} = \sqrt{3}\dot{U}_{AN}\angle 30^\circ = 462\angle 26.7^\circ \text{V}$$

即源端线电压为 $U_l = 462\text{V}$ 。

14-11 不对称三相电路如图 14-11 所示。 $Z_1=100+j50\Omega$, $Z_2=50\Omega$, $Z_3=30+j30\Omega$, 电源线电压为 380V。求电源各线电流 \dot{I}_A 、 \dot{I}_B 、 \dot{I}_C 。



题图 14-11

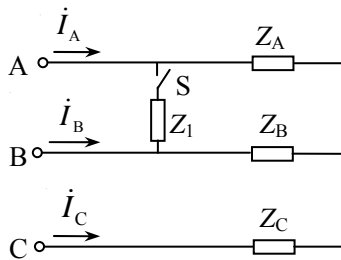
解 令 $\dot{U}_{AB} = 380\angle 0^\circ \text{V}$, 则由对称性有 $\dot{U}_{BC} = 380\angle -120^\circ \text{V}$, $\dot{U}_{CA} = 380\angle 120^\circ \text{V}$ 。

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_{AB}}{Z_1} - \frac{\dot{U}_{CA}}{Z_3} = \frac{380\angle 0^\circ}{100 + j50} - \frac{380\angle 120^\circ}{30 + j30} = 10.2\angle -85.9^\circ \text{A}$$

$$\dot{I}_B = \frac{\dot{U}_{BC}}{Z_2} - \frac{\dot{U}_{AB}}{Z_1} = \frac{380\angle -120^\circ}{50} - \frac{380\angle 0^\circ}{100 + j50} = 8.51\angle -143^\circ \text{A}$$

$$\dot{I}_C = \frac{\dot{U}_{CA}}{Z_3} - \frac{\dot{U}_{BC}}{Z_2} = \frac{380\angle 120^\circ}{30 + j30} - \frac{380\angle -120^\circ}{50} = 16.4\angle 68.1^\circ \text{A}$$

14-12 电路如题图 14-12 所示。对称电源线电压为 380V, $Z_1=50+j50\Omega$, $Z_A=Z_B=Z_C=50+j100\Omega$ 。求下列两种情况下电源线电流 \dot{I}_A 、 \dot{I}_B 、 \dot{I}_C : (1) S 打开; (2) S 闭合。



题图 14-12

解 令 $\dot{U}_{AN} = 220\angle 0^\circ \text{ V}$ 。

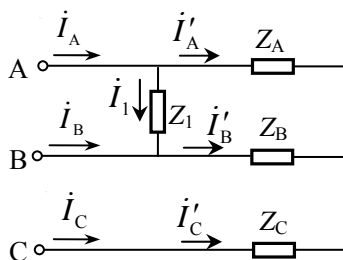
(1) S 打开, 此时电路为三相对称电路, 可抽单相计算。

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_{AN}}{Z_A} = \frac{220\angle 0^\circ}{50 + j100} = 1.968\angle -63.43^\circ \text{ A}$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_A \angle -120^\circ = 1.968\angle 176.6^\circ \text{ A}$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_A \angle 120^\circ = 1.968\angle 56.57^\circ \text{ A}$$

(2) S 闭合, 此时电路为不对称三相电路, 各电流参考方向如题图 14-12(a)所示。



题图14-12(a)

\dot{I}'_A , \dot{I}'_B , \dot{I}'_C 仍是三相对称电流。由 (1) 中结果得

$$\dot{I}'_A = 1.968\angle -63.43^\circ \text{ A}$$

$$\dot{I}'_B = 1.968\angle 176.57^\circ \text{ A}$$

$$\dot{I}'_C = 1.968\angle 56.57^\circ \text{ A}$$

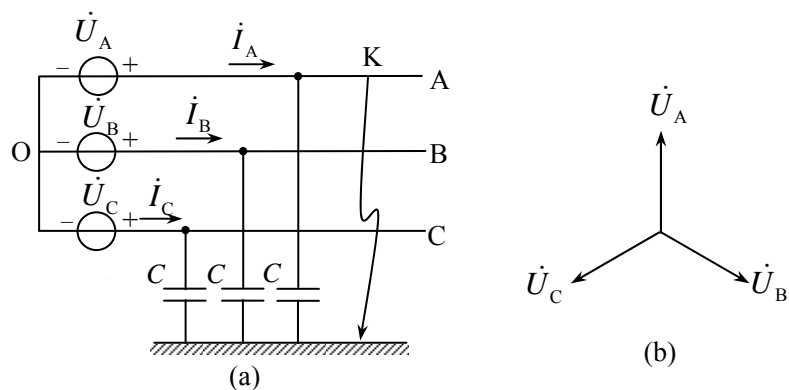
又 $\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_{AB}}{Z_1} = \frac{380\angle 30^\circ}{50 + j50} = 5.374\angle -15^\circ \text{ A}$, 所以

$$\dot{I}_A = \dot{I}'_A + \dot{I}_1 = 6.071 - j3.151 = 6.84\angle -27.43^\circ \text{ A}$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}'_B - \dot{I}_1 = -7.155 + j1.509 = 7.31\angle 168.1^\circ \text{ A}$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}'_C = 1.968\angle 56.57^\circ \text{ A}$$

14-13 题图 14-13(a)所示电路为一对称三相电源(未接任何负载), C 为每相对地电容, 电源电压相量图如图(b)所示。设在 K 点发生接地短路。试在同一相量图中画出各相对地电压 \dot{U}_{AK} 、 \dot{U}_{BK} 、 \dot{U}_{CK} , 各线电流 \dot{I}_A 、 \dot{I}_B 、 \dot{I}_C 。



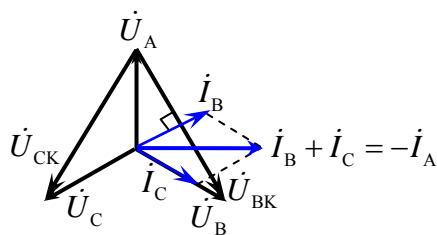
题图 14-13

解

$$\dot{U}_{AK} = 0, \quad \dot{U}_{BK} = \dot{U}_B - \dot{U}_A = \dot{U}_{BA}, \quad \dot{U}_{CK} = \dot{U}_C - \dot{U}_A = \dot{U}_{CA}$$

$$\dot{I}_B = j\omega C \dot{U}_{BK}, \quad \dot{I}_C = j\omega C \dot{U}_{CK}, \quad \dot{I}_A = -\dot{I}_B - \dot{I}_C$$

相量图如题图 14-13(a)所示。

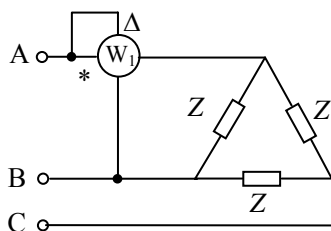


题图 14-13(a)

14-14 三相负载接成三角形，如题图 14-14 所示。电源线电压为 220V， $Z=20+j20\Omega$ 。

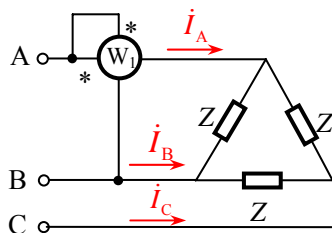
(1) 求三相总有功功率；

(2) 若用两表法测三相总功率，其中一表已接好，如题图所示，画出另一功率表的接线图，并求出其读数。



题图 14-14

解 (1) 各线电流如题图 14-14(a)所示。



题图 14-14(a)

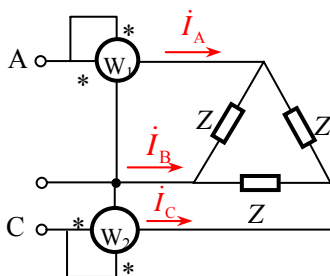
令 $\dot{U}_A = \frac{220}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ \text{ V}$ 。则 A 相线电流为

$$\dot{I}_A = \frac{220/\sqrt{3} \angle 0^\circ}{Z/3} = 13.47 \angle -45.0^\circ \text{ A}$$

三相总有功功率为

$$P = \sqrt{3} U_{AB} I_A \cos \varphi_p = \sqrt{3} \times 220 \times 13.472 \times \cos 45^\circ = 3.630 \text{ kW}$$

(2) 两表法测功率的接线图如题图 14-14(b)所示。



题图14-14(b)

功率表 W_1 的读数为

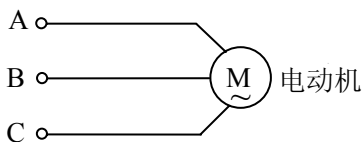
$$P_1 = U_{AB} I_A \cos(\varphi_{U_{AB}} - \varphi_{i_A}) = 220 \times 13.472 \times \cos 75^\circ = 767.1 \text{ W}$$

功率表 W_2 的读数为

$$P_2 = U_{CB} I_C \cos(\varphi_{U_{CB}} - \varphi_{i_C}) = 220 \times 13.472 \times \cos 15^\circ = 2.863 \text{ kW}$$

注: $\varphi_{U_{CB}} = \varphi_{U_{BC}} + 180^\circ = -90^\circ + 180^\circ = 90^\circ$, $\varphi_{i_C} = \varphi_{i_A} + 120^\circ = -45^\circ + 120^\circ = 75^\circ$ 。

14-15 电路如题图 14-15 所示。三相电动机的参数为 $P=1.7\text{kW}$, $\cos\varphi=0.82$, $U=380\text{V}$ 。求出该电动机满载时的电流大小。若用两表法测该电动机的功率, 试画出两功率表的接线, 并求出两表的读数。

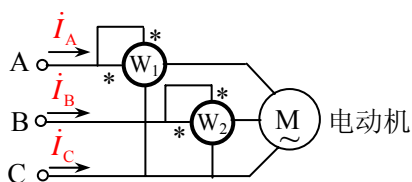


题图 14-15

解 (1) 由电动机的额定参数及三相功率的表达式可得

$$I_l = \frac{P}{\sqrt{3} U_l \cos \varphi} = \frac{1700}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.82} = 3.15 \text{ A}$$

(2) 两表法测该电动机功率的接线如题图 14-15(a)所示 (共 C 接法)。



题图 14-15(a)

令相电压 $\dot{U}_A = 220\angle 0^\circ \text{ V}$ ，则由线电压与相电压的关系有

$$\dot{U}_{AB} = 380\angle 30^\circ \text{ V}, \quad \dot{U}_{BC} = 380\angle -90^\circ \text{ V}, \quad \dot{U}_{CA} = 380\angle 150^\circ \text{ V}$$

各线电流分别为

$$\dot{I}_A = 3.15\angle -34.9^\circ \text{ A}, \quad \dot{I}_B = 3.15\angle -154.9^\circ \text{ A}, \quad \dot{I}_C = 3.15\angle -85.1^\circ \text{ A}$$

功率表 W_1 的读数为

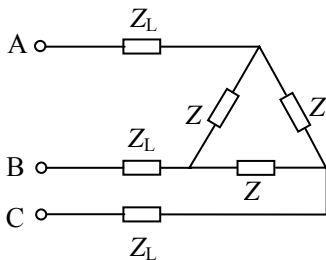
$$P_1 = U_{AC} I_A \cos(-30^\circ + 34.9^\circ) = 1.19 \text{ kW}$$

功率表 W_2 的读数为

$$P_2 = U_{BC} I_B \cos(-90^\circ + 154.9^\circ) = 508 \text{ W}$$

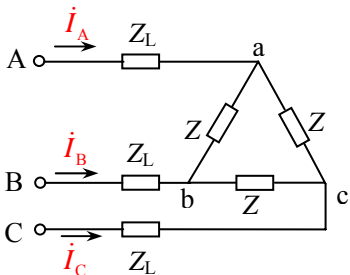
说明：也可用共 A 或共 B 接法测量。

14-16 电路如题图 14-16 所示，三相对称电源经输电线给三角形连接的电力变压器供电。已知电源线电压为 **110kV**，输电线阻抗为 $Z_L = 2 + j4\Omega$ ，变压器每相等值阻抗为 $Z = 42 + j24\Omega$ 。求输电线上电流、变压器端电压(线电压)及变压器吸收的功率。

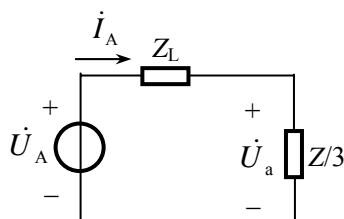


题图 14-16

解 参考方向如题图 14-16(a)所示，单相计算电路如题图 14-16(b)所示。



题图 14-16(a)



题图 14-16(b)

令 $\dot{U}_A = \frac{110}{\sqrt{3}}\angle 0^\circ = 63.5\angle 0^\circ \text{ kV}$ 。由单相计算电路得

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_A}{Z_L + Z/3} = \frac{63.5 \times 10^3 \angle 0^\circ}{2 + j4 + (42 + j24)/3} = 3.18 \angle -36.9^\circ \text{ kA}$$

$$\dot{U}_a = \frac{Z}{3} \dot{I}_A = (14 + j8) \times 3.18 \times 10^3 \angle -36.9^\circ = 51.3 \angle -7.16^\circ \text{ kV}$$

所以

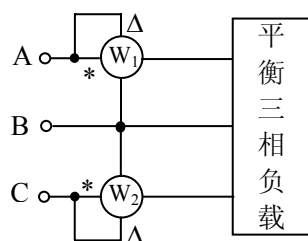
$$\dot{U}_{ab} = \sqrt{3} \dot{U}_a \angle 30^\circ = 88.9 \angle 22.8^\circ \text{ kV}$$

变压器吸收的功率为

$$P = 3U_a I_A \cos \varphi = 3 \times (51.3 \times 10^3) \times (3.18 \times 10^3) \cos(-7.16^\circ + 36.9^\circ) = 424 \text{ MW}$$

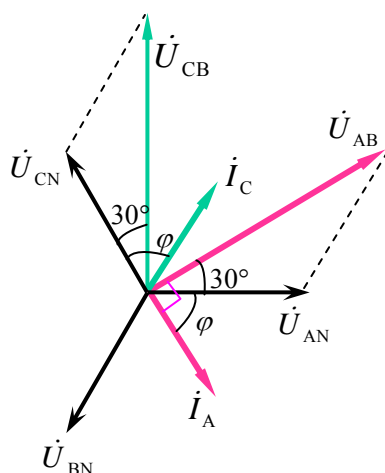
说明：书后答案为 $\dot{I}_A = 318 \angle -66.9^\circ \text{ A}$ ， $\dot{U}_{ab} = 8868.5 \angle -7.1^\circ \text{ V}$ ， $P = 4.24 \times 10^6 \text{ W}$ 是电源线电压为 11kV 给出的，且参考相量不同。题中电源线电压为 110kV，所以所求电压、电流均为书后答案的 10 倍，功率为 100 倍。可改题中的电源电压，或改答案。

14-17 电路如题图 14-17 所示，用二功率表法测平衡三相负载的功率，两表的读数分别为 $W_1=0$ ， $W_2=3.42\text{kW}$ ，电源线电压对称，大小为 220V。求每相负载阻抗(感性)。



题图 14-17

解 有关电压、电流的相量图如所示，图中 φ 为负载的阻抗角。



题图 14-17(a)

W_1 的读数应为

$$P_1 = U_{AB} I_A \cos(30^\circ + \varphi) = 0$$

可知 $30^\circ + \varphi = 90^\circ$ ，所以 $\varphi = 60^\circ$ 。

W_2 的读数为

$$P_2 = U_{CB} I_C \cos[90^\circ - (120^\circ - \varphi)] = 220 I_l \cos(\varphi - 30^\circ) = 3420$$

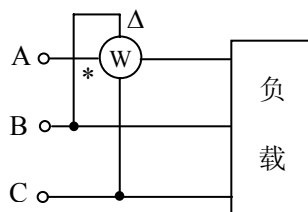
可求得 $I_l = 17.95 \text{ A}$ 。

所以，星形联接负载阻抗为

$$Z = \frac{U_l / \sqrt{3}}{I_l} \angle 60^\circ = \frac{127}{17.95} \angle 60^\circ = 3.54 + j6.13 \Omega$$

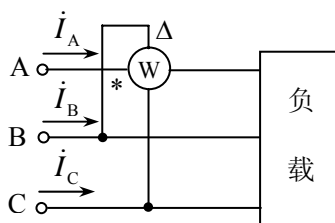
注：负载不可能是容性。若是容性， \dot{I}_A 要领先 \dot{U}_{AB} 90° ($w_1=0$)，即 \dot{I}_A 领先 \dot{U}_{AN} 120° ，负载中一定含有受控源。

14-18 题图 14-18 所示为测量对称三相负载无功功率的电路。若图中功率表的读数为 4000W。试求负载吸收的无功功率。



题图 14-18

解 参考方向如题图 14-18(a)所示。



题图 14-18(a)

以 $\dot{U}_A = U \angle 0^\circ$ 为参考相量，则

$$\dot{U}_{AB} = \sqrt{3}U \angle 30^\circ, \quad \dot{U}_{BC} = \sqrt{3}U \angle -90^\circ, \quad \dot{U}_{CA} = \sqrt{3}U \angle 150^\circ$$

若负载阻抗角为 φ ，则 $\dot{I}_A = I_l \angle -\varphi$ 。所以图中功率表的读数表达式应为

$$P = U_{BC} I_A \cos(-90^\circ + \varphi) = U_l I_l \sin \varphi$$

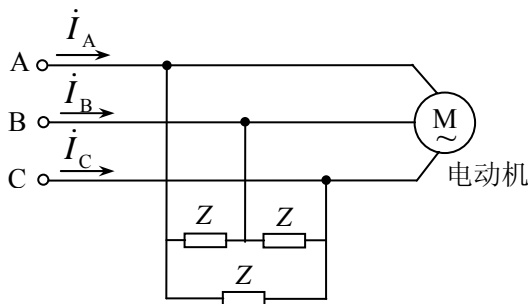
三相负载的无功功率为

$$Q = \sqrt{3}P = 6.93 \text{ kvar}$$

14-19 题图 14-19 所示电路中, 已知工频对称三相电源线电压为 $U_l=380\text{V}$, 电动机负载三相总功率为 $P=1.7\text{kW}$, $\cos\varphi=0.8$ (感性), 对称三相负载阻抗 $Z=50+j80\Omega$ (Δ 接)。

(1) 求输电线电流 \dot{I}_A 、 \dot{I}_B 、 \dot{I}_C ;

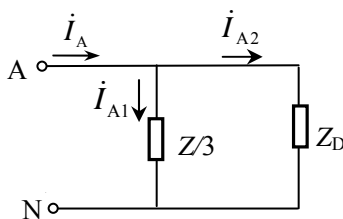
(2) 为使电源端功率因数 $\cos\varphi=0.9$, 在负载处并联一组三相电容(Y 接), 求所需电容 C 。



题图 14-19

解 (1) 单相计算电路如题图 14-19(a)所示, 其中 Z_D 为电动机 Y 接一相等效阻抗, 其值为

$$Z_D = 68.36\angle 36.9^\circ = 54.7 + j41\Omega \quad (\text{不必算出})$$



题图14-19(a)

令 $\dot{U}_{AB} = 380\angle 30^\circ\text{V}$, 即 $\dot{U}_{AN} = 220\angle 0^\circ\text{V}$, 则

$$\dot{I}_{A1} = \frac{220\angle 0^\circ}{Z/3} = 7.00\angle -58.0^\circ\text{A}$$

$$I_{A2} = \frac{P}{0.8U_{AN}} = 3.22\text{A}, \quad \cos\varphi = 0.8(\text{滞后}) \rightarrow \varphi = 36.9^\circ,$$

$$\dot{I}_{A2} = 3.22\angle -36.9^\circ\text{A}$$

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{A1} + \dot{I}_{A2} = 10.06\angle -51.4^\circ\text{A}$$

由对称性, 可得 $\dot{I}_B = 10.06\angle -171.4^\circ\text{A}$, $\dot{I}_C = 10.06\angle 68.6^\circ\text{A}$ 。

(2) 求补偿电容

方法 1: 补偿前三相负载消耗的平均功率, 即电源发出的总平均功率为

$$P = 3 \times 220 \times 10.06 \times \cos 51.4^\circ = 4143 \text{ W}$$

功率因数为 $\cos \varphi_1 = \cos[0^\circ - (51.4^\circ)] = 0.6239$ 。

要求将功率因数补偿到 $\cos \varphi_2 = 0.9$, 则 $\varphi_2 = 25.84^\circ$ 。

则需补偿的电容无功为

$$|Q_C| = P(\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) = 3183 \text{ var}$$

所以

$$C = \frac{|Q_C|}{3\omega U_p^2} = \frac{3183}{3 \times 314 \times 220^2} = 69.8 \mu\text{F}$$

方法 2: 根据补偿要求, 补偿后 A 的总电流应为

$$\begin{aligned} \dot{I}_A' &= \dot{I}_A + j\omega C \dot{U}_{AN} = 10.06 \angle -51.4^\circ + j\omega C \dot{U}_{AN} = 6.28 + j(-7.87 + \omega C U_{AN}) \\ &= I_A' \angle -\varphi_2 = I_A' \angle -25.8^\circ \end{aligned}$$

即应有

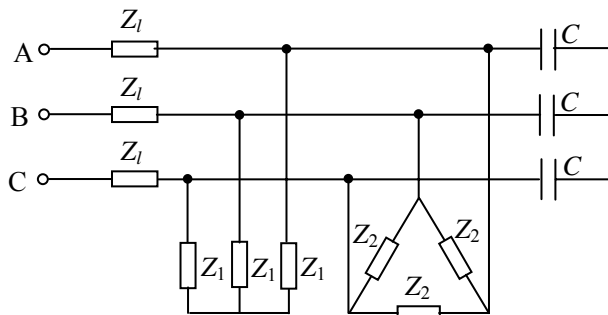
$$\frac{-7.87 + 220\omega C}{6.28} = \tan(-25.8^\circ)$$

求得 $C = 70.0 \mu\text{F}$ 。

14-20 题图 14-20 所示电路中, Y 型连接的三相电动机和 Δ 型连接的变压器由线电压为 380V 的三相对称电源供电。电动机每相等值阻抗为 $Z_1 = 12 + j16 \Omega$, 变压器每相等值阻抗为 $Z_2 = 48 + j36 \Omega$, 输电线阻抗为 $Z_l = 1 + j2 \Omega$ 。

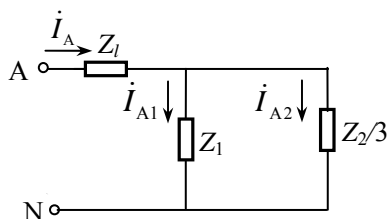
(1) 求输电线上电流、两负载上电流及电源端的功率因数;

(2) 为使电源端的功率因数 $\cos \varphi = 1$, 在负载处并联一组三相电容器进行无功补偿(Y 型连接)。求所需电容 C 的大小。



题图 14-20

解 (1) 补偿前由题图 14-20 得单相计算电路如题图 14-20(a)所示。



题图14-20(a)

令 $\dot{U}_{AN} = 220\angle 0^\circ \text{V}$ ，则 A 相总线电流为

$$\begin{aligned}\dot{i}_A &= \frac{\dot{U}_{AN}}{Z_l + Z_1 // (Z_2 / 3)} = \frac{220\angle 0^\circ}{1 + j2 + (16 + j22) / (12 + j16)} \\ &= \frac{220\angle 0^\circ}{12.24\angle 48.31^\circ} = 18.0\angle -48.31^\circ \text{A}\end{aligned}$$

两组负载的线电流分别为

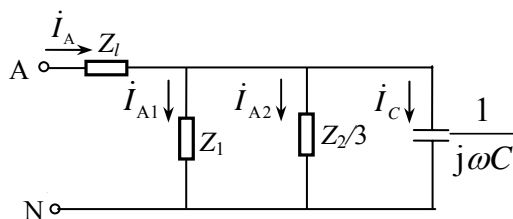
$$\dot{i}_{A1} = \frac{Z_2 / 3}{Z_1 + Z_2 / 3} \dot{i}_A = 9.09\angle -40.2^\circ \text{A}$$

$$\dot{i}_{A2} = \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2 / 3} \dot{i}_A = 9.09\angle -56.4^\circ \text{A}$$

则 Δ 解负载的相电流为 $I_{AB2} = 5.25 \text{A}$ 。电源端的功率因数为

$$\cos \varphi = \cos 48.31^\circ = 0.665$$

(2) 无功补偿后的单相计算电路如题图 14-20(b)所示。



题图14-20(b)

负载和补偿电容部分的总并联导纳为

$$Y_{\text{load}} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2 / 3} + j\omega C = 0.07 - j0.07 + j\omega C$$

电源端总入端阻抗为

$$Z_{\text{in}} = Z_l + \frac{1}{Y_{\text{load}}} = 1 + j2 + \frac{0.07 - j(\omega C - 0.07)}{0.07^2 + (\omega C - 0.07)^2}$$

为使电源端的功率因数 $\cos\varphi=1$ ，则应使 $\text{Im}[Z_{\text{in}}]=0$ ，即

$$2 + \frac{-(\omega C - 0.07)}{0.07^2 + (\omega C - 0.07)^2} = 0$$

整理得

$$(\omega C)^2 - 0.64\omega C + 0.0448 = 0$$

解得

$$\omega C = \frac{0.64 \pm \sqrt{0.64^2 - 4 \times 0.0448}}{2} = \frac{0.64 \pm 0.48}{2}$$

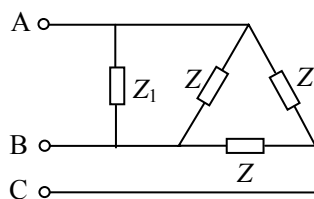
即

$$C = \frac{\omega C}{\omega} = \frac{1.12}{314} = 1.78\text{mF} \quad \text{或} \quad C = \frac{\omega C}{\omega} = \frac{0.08}{314} = 255\mu\text{F}$$

考虑实际情况，取 $C = 255\mu\text{F}$ 。

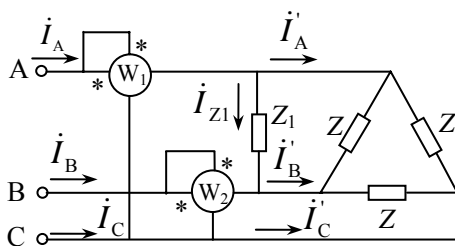
说明：本题由于线路有阻抗，电源电压不变时，负载端电压随负载改变而变化，这意味着，无功补偿前后负载端电压是不同的。所以不能套用负载接理想电压源时导出的结果。

14-21 电路如题图 14-21 所示。画出用两表法测电路总功率的接线图，并求两功率表的读数及负载总功率。已知 $Z=120+\text{j}54\Omega$ ， $Z_1=30+\text{j}25\Omega$ ，电源线电压为 380V 。



题图 14-21

解 各电流参考方向及功率表的接线（共 C 接法）如题图 14-21(a)所示。



题图 14-21(a)

令 $\dot{U}_{\text{AN}} = 220\angle 0^\circ\text{V}$ ，则有各线电压分别为

$$\dot{U}_{\text{AB}} = 380\angle 30^\circ\text{V}, \quad \dot{U}_{\text{BC}} = 380\angle -90^\circ\text{V}, \quad \dot{U}_{\text{AC}} = 380\angle -30^\circ\text{V}$$

各电流分别为

$$\dot{I}'_A = \frac{\dot{U}_{AN}}{Z/3} = \frac{220\angle 0^\circ}{40 + j18} = 5.02\angle -24.2^\circ \text{ A}$$

$$\dot{I}'_B = 5.02\angle -144.2^\circ \text{ A}, \quad \dot{I}'_C = 5.02\angle 95.8^\circ \text{ A}$$

$$\dot{I}_{Z1} = \frac{\dot{U}_{AB}}{Z_1} = \frac{380\angle 30^\circ}{30 + j25} = 9.73\angle -9.81^\circ \text{ A}$$

$$\dot{I}_A = \dot{I}'_A + \dot{I}_{Z1} = 14.6\angle -14.7^\circ \text{ A}$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}'_B - \dot{I}_{Z1} = 13.7\angle -175^\circ \text{ A}$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}'_C = 5.02\angle 95.8^\circ \text{ A}$$

功率表 W_1 的读数为

$$P_1 = U_{AC} I_A \cos(-30^\circ + 14.7^\circ) = 5.35 \text{ kW}$$

功率表 W_2 的读数为

$$P_2 = U_{BC} I_B \cos(-90^\circ + 175^\circ) = 454 \text{ W}$$

所以负载的总功率（三相电源发出的总功率）为

$$P = P_1 + P_2 = 5.80 \text{ kW}$$

说明：若采用共 B 接法，则两表的读数分别为

$$P_1 = U_{AB} I_A \cos(30^\circ + 14.7^\circ) = 3.94 \text{ kW}$$

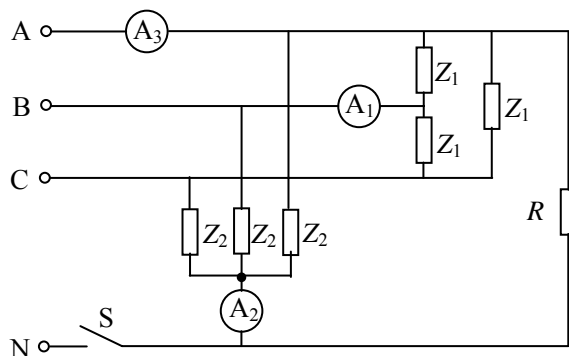
$$P_2 = U_{CB} I_C \cos(90^\circ - 95.8^\circ) = 1.90 \text{ kW}$$

若采用共 A 接法，则两表的读数分别为

$$P_1 = U_{BA} I_B \cos(-150^\circ + 175^\circ) = 4.72 \text{ kW}$$

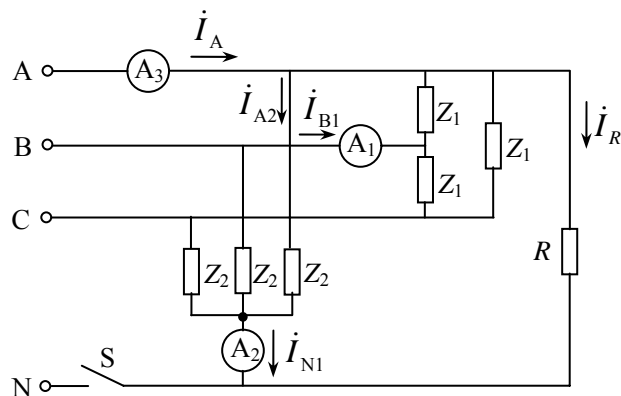
$$P_2 = U_{CA} I_C \cos(150^\circ - 95.8^\circ) = 1.12 \text{ kW}$$

14-22 电路如题图 14-22 所示，电源为对称三相电源， $Z_1 = -j10\Omega$ ， $Z_2 = 5 + j12\Omega$ ， $R = 5\Omega$ ，电源线电压 $U_l = 380\text{V}$ 。求下面两种情况下各电流表的读数：（1）S 打开；（2）S 闭合。



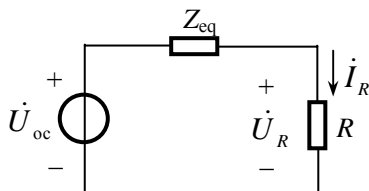
题图 14-22

解 各电流的参考方向如题图 14-21(a)所示, 令 $\dot{U}_{AN} = 220\angle 0^\circ \text{V}$ 。



题图 14-22(a)

(1) S 打开时, 可先用戴维南定理求电阻 R 中的电流, 其等效电路如题图 14-22(b)所示。



题图 14-22(b)

等效电路中, 因 R 断开后, 余下的电路为对称三相电路, 所以开路电压为 $\dot{U}_{oc} = \dot{U}_{AN} = 220\angle 0^\circ \text{V}$; 等效阻抗为 $Z_{eq} = Z_2 // Z_2 // Z_2 = 1.67 + j4 \Omega$ 。所以

$$\dot{U}_R = \frac{R}{R + Z_{eq}} \dot{U}_{oc} = \frac{5}{5 + 1.67 + j4} \times 220\angle 0^\circ = 141.4\angle -31.0^\circ \text{V}$$

$$\dot{I}_R = \frac{\dot{U}_R}{R} = \frac{141.4\angle -31.0^\circ}{5} = 28.3\angle -31.0^\circ \text{A}$$

再由题图 14-22(a)所示电路得

$$\dot{I}_{N1} = -\dot{I}_R = -28.3\angle -31.0^\circ \text{A}$$

$$\dot{I}_{A2} = \frac{\dot{U}_R}{Z_2} = \frac{141.4\angle -31.0^\circ}{5 + j12} = 10.9\angle -98.4^\circ \text{A}$$

$$\dot{I}_{B1} = \frac{\dot{U}_{BC}}{Z_1} - \frac{\dot{U}_{AB}}{Z_1} = \frac{380\angle -90^\circ}{-j10} - \frac{380\angle 30^\circ}{-j10} = 65.8\angle -30.0^\circ \text{A}$$

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{A2} + \dot{I}_{B1}\angle 120^\circ + \dot{I}_R = 46.4\angle 60.7^\circ \text{A}$$

即此时电流表 A_1 、 A_2 和 A_3 的读数分别为 65.8A、28.3A 和 46.4A。

(2) 当 S 闭合, 由题图 14-22(a)所示电路可知, $\dot{I}_{B1} = 65.8\angle -30.0^\circ \text{A}$ 不变。 \dot{I}_{N1} 为对

称三相负载的中线电流，所以 $\dot{I}_{N1} = 0$ 。

$$\begin{aligned}\dot{I}_A &= \dot{I}_{A2} + \dot{I}_{B1} \angle 120^\circ + \dot{I}_R \\ &= \frac{\dot{U}_{AN}}{Z_2} + \dot{I}_{B1} \angle 120^\circ + \frac{\dot{U}_{AN}}{R} \\ &= 16.9 \angle -67.4^\circ + 65.8 \angle 90.0^\circ + 44 \angle 0^\circ \\ &= 71.2 \angle 44.8^\circ \text{A}\end{aligned}$$

即此时电流表 A₁、A₂ 和 A₃ 的读数分别为 65.8A、0 和 71.2A。

第 14 章 三相电路

14-1 (1) b, d, e 联接在一点, a, c, f 引出线; (2) b, c 相联, d, f 相联, e, a 相联组成 Δ 联接, 由 Δ 三个顶点引出线。

14-2 4, 2, 6 联接成一点, 由 1, 5, 3 引出线 (Y 接); 或 1, 5, 3 联接成一点, 由 4, 2, 6 引出线

14-3 星形—三角形—三角形

$$14-4 \quad \dot{I}_A = 4.4\angle -36.9^\circ \text{ A}, \quad \dot{I}_B = 4.4\angle -157^\circ \text{ A}, \quad \dot{I}_C = 4.4\angle 83.1^\circ \text{ A}$$

$$14-5 \quad \dot{I}_{AB} = 4.03\angle -58.0^\circ \text{ A}, \quad \dot{I}_A = 6.98\angle -88.0^\circ \text{ A}, \quad I_{\text{线}} = 6.98 \text{ A}$$

14-6 只有 5 对, 其余全错

$$14-7 \quad \dot{I}_A = 7.28\angle 43^\circ \text{ A}, \quad \dot{I}_B = 7.28\angle -77^\circ \text{ A}, \quad \dot{I}_C = 7.28\angle 163^\circ \text{ A}$$

$$14-8 \quad \dot{I}_A = 6.66\angle -102.3^\circ \text{ A}, \quad \dot{I}_B = 6.66\angle 137.7^\circ \text{ A}, \quad \dot{I}_C = 6.66\angle 17.7^\circ \text{ A}$$

$$14-9 \quad L = 1.732R/\omega, \quad C = 1/(1.732R\omega)$$

$$14-10 \quad \dot{U}_{AB} = 462\angle 26.7^\circ \text{ V}$$

$$14-11 \quad \dot{I}_A = 10.2\angle -85.9^\circ \text{ A}, \quad \dot{I}_B = 8.54\angle -143^\circ \text{ A}, \quad \dot{I}_C = 16.4\angle 68.1^\circ \text{ A}$$

$$14-12 \quad (1) \quad \dot{I}_A = 1.968\angle -63.4^\circ \text{ A}, \quad \dot{I}_B = 1.968\angle -183.4^\circ \text{ A}, \quad \dot{I}_C = 1.968\angle 56.6^\circ \text{ A}; (2)$$

$$\dot{I}_A = 6.84\angle -27.4^\circ \text{ A}, \quad \dot{I}_B = 7.3\angle 168^\circ \text{ A}, \quad \dot{I}_C = 1.968\angle 56.6^\circ \text{ A}$$

$$14-14 \quad (1) P_{\text{总}} = 3.62 \text{ kW}; (2) W_1 = 766 \text{ W}, W_2 = 2.86 \text{ kW}$$

$$14-15 \quad 3.15 \text{ A}, \text{ 两功率表读数分别为 } 508 \text{ W 和 } 1.19 \text{ kW}$$

$$14-16 \quad \dot{I}_A = 3.18\angle -36.9^\circ \text{ kA}, \quad \dot{U}_{ab} = 88.9\angle 22.8^\circ \text{ kV}, \quad P = 424 \text{ MW}$$

$$14-17 \quad Z = 3.54 + j6.13 \Omega \text{ (星接)}$$

$$14-18 \quad Q = 6.93 \text{ kvar}$$

$$14-19 \quad \dot{I}_A = 10.06\angle -51.4^\circ \text{ A}, \quad C = 70 \mu\text{F}$$

$$14-20 \quad (1) \quad \dot{I}_A = 18\angle -48.3^\circ \text{ A}, \quad \cos\varphi = 0.665, \quad 5.25 \text{ A}, \quad 9.09 \text{ A}; (2) \quad 255 \mu\text{F}$$

$$14-21 \quad \text{若采用共 C 接法, 两功率表读数分别为 } 5.35 \text{ kW 和 } 454 \text{ W; 负载总功率为 } 5.80 \text{ kW}$$

$$14-22 \quad (1) A_1、A_2 \text{ 和 } A_3 \text{ 的读数分别为 } 65.8 \text{ A、} 28.3 \text{ A 和 } 46.4 \text{ A}; (2) A_1、A_2 \text{ 和 } A_3 \text{ 的读数分别为 } 65.8 \text{ A、} 0 \text{ 和 } 71.2 \text{ A}$$