

第三节 一般交流电路的分析

【提示】在前面几节中我们已经看到，当交流电路中同时有电感、电容元件时，电路往往表现出直流电路不可能出现的现象。在学习本节内容时，建议初学者除了继续关注方法以外，还应该对计算结果进行思考，尽量从物理概念（尤其是相位差）去理解这些结果，加深印象，为运用这些知识解决实际问题打基础。记住：只有理解了的东西才可能更深刻地感受它，才有可能做到运用自如。

本节将举例说明如何像直流电路那样运用节点法、网孔法、戴维南定理等来分析正弦交流电路。

例 5-10 电路如图 5-11a 所示，试用节点法求各支路电流，并作相量图。

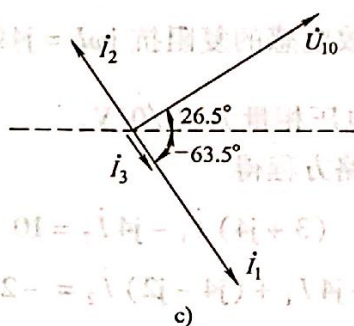
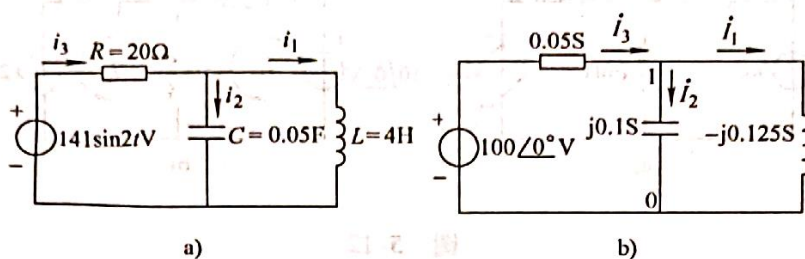


图 5-11

解 (1) 作出相量模型如图 5-11b 所示。在用节点法解题时，各元件如用复导纳来表示，计算较为方便。由于 $\omega = 2\text{rad/s}$ ，所以电容的复导纳为 $j\omega C = j0.1\text{S}$ ，电感的复导纳为 $-j\frac{1}{\omega L} = -j\frac{1}{8}\text{S} = -j0.125\text{S}$ 。电源电压相量为 $100\angle 0^\circ\text{V}$ ，设节点电压的相量为 \dot{U}_{10} 。

(2) 根据相量模型，应用弥尔曼定理，得

$$\dot{U}_{10} = \frac{0.05 \times 100\angle 0^\circ}{0.05 + j0.1 - j0.125}\text{V} = \frac{5}{0.05 - j0.025}\text{V} = \frac{5}{0.0558\angle -26.5^\circ}\text{V} = 89.5\angle 26.5^\circ\text{V}$$

由此可求得各支路电流的相量

$$\dot{I}_1 = -j0.125\dot{U}_{10} = (0.125\angle -90^\circ)\text{S} \times (89.5\angle 26.5^\circ)\text{V} = 11.2\angle -63.5^\circ\text{A}$$

$$\dot{I}_2 = j0.1\dot{U}_{10} = (0.1\angle 90^\circ)\text{S} \times (89.5\angle 26.5^\circ)\text{V} = 8.95\angle 116.5^\circ\text{A}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_3 &= \dot{I}_1 + \dot{I}_2 = (11.2 / -63.5^\circ + 8.95 / 116.5^\circ) \text{ A} = (5 - j10 - 4 + j8) \text{ A} = (1 - j2) \text{ A} \\ &= 2.23 / -63.5^\circ \text{ A} \end{aligned}$$

(3) 根据求出的相量, 写出相应的正弦电流

$$i_1 = 11.2 \sqrt{2} \sin(2t - 63.5^\circ) \text{ A}$$

$$i_2 = 8.95 \sqrt{2} \sin(2t + 116.5^\circ) \text{ A}$$

$$i_3 = 2.23 \sqrt{2} \sin(2t - 63.5^\circ) \text{ A}$$

根据已求得的相量, 绘出相量图如图 5-11c 所示。图中, \dot{I}_3 的模比 \dot{I}_1 、 \dot{I}_2 的模都小, 说明电流 I_3 比任一分支电流 I_1 、 I_2 都小。这是由于 \dot{I}_1 与 \dot{I}_2 反相的缘故。

例 5-11 图 5-12a 的电路中, 已知 $u_s = 10\sqrt{2}\sin 1000t \text{ V}$, 求 i_1 与 i_2 。

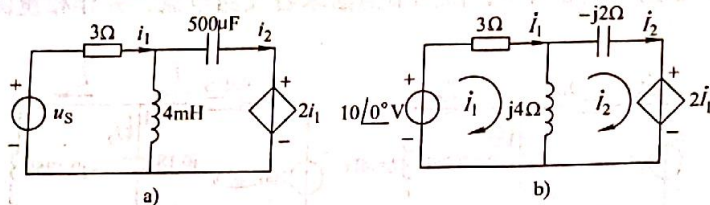


图 5-12

解 (1) 作相量模型如图 5-12b 所示。在运用网孔法解题时, 各元件的特性宜用复阻抗来表征。由于 $\omega = 1000 \text{ rad/s}$, 故电感的复阻抗 $j\omega L = j4 \Omega$, 电容的复阻抗 $\frac{1}{j\omega C} = -j2 \Omega$ 。待求电流的相量为 \dot{I}_1 和 \dot{I}_2 。电源电压相量为 $10 / 0^\circ \text{ V}$ 。

(2) 根据相量模型, 列出回路方程得

$$\begin{aligned} (3 + j4) \dot{I}_1 - j4 \dot{I}_2 &= 10 \\ -j4 \dot{I}_1 + (j4 - j2) \dot{I}_2 &= -2 \dot{I}_1 \end{aligned}$$

整理后得方程组

$$\begin{cases} (3 + j4) \dot{I}_1 - j4 \dot{I}_2 = 10 & (1) \\ (2 - j4) \dot{I}_1 + j2 \dot{I}_2 = 0 & (2) \end{cases}$$

(1) + 2 × (2) 得

$$(7 - j4) \dot{I}_1 = 10$$

解 \dot{I}_1 得

$$\dot{I}_1 = \frac{10}{7 - j4} \text{ A} = \frac{10}{8.06 / -29.8^\circ} \text{ A} = 1.24 / 29.8^\circ \text{ A}$$

将 \dot{I}_1 代入 (2), 解 \dot{I}_2 得

$$\dot{I}_2 = 2.77 / 56.3^\circ \text{ A}$$

(3) 根据算得的相量, 写出各正弦电流

$$i_1 = 1.24 \sqrt{2} \sin(1000t + 29.8^\circ) \text{ A}$$

$$i_2 = 2.77\sqrt{2}\sin(1000t + 56.3^\circ) \text{ A}$$

例 5-12 相量模型如图 5-13 所示。当 X_C 为何值时, I_C 可以取得最大值? 其最大值是多少?

解 本题宜用戴维南定理求解。为此, 把 $(-jX_C)$ 作为负载支路, 移去该支路后的电路如图 5-14a 所示。

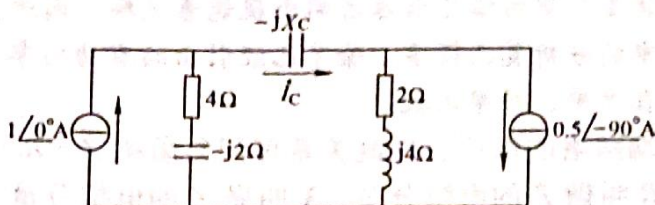


图 5-13

$$\dot{U}_1 = [(4 - j2) \times 1\angle 0^\circ] \text{ V} = (4 - j2) \text{ V}$$

$$\dot{U}_2 = [(2 + j4) \times 0.5\angle -90^\circ] \text{ V} = (2 - j1) \text{ V}$$

$$\dot{U}_{oc} = \dot{U}_1 + \dot{U}_2 = (4 - j2 + 2 - j1) \text{ V} = (6 - j3) \text{ V} = 6.71\angle -26.4^\circ \text{ V}$$

戴维南等效复阻抗为

$$Z_1 = (4 - j2)\Omega + (2 + j4)\Omega = (6 + j2)\Omega \quad (\text{感性})$$

因此, 图 5-13 可简化为图 5-14b, 故

$$\dot{i}_c = \frac{\dot{U}_{oc}}{Z_1 - jX_C} = \frac{6.71\angle -26.4^\circ}{6 + j(2 - X_C)} \text{ A}$$

其有效值为

$$I_C = \frac{6.71}{\sqrt{6^2 + (2 - X_C)^2}}$$

显然, 当 $X_C = 2\Omega$ 时, I_C 最大, 且

$$I_{CM} = \frac{6.71}{6} \text{ A} = 1.12 \text{ A}$$

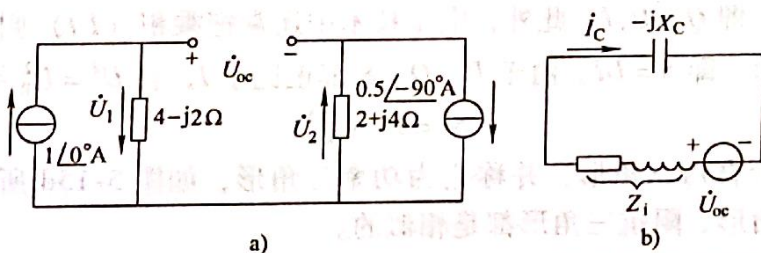


图 5-14

练习与思考

5-3-1 在例 5-10 中, 若将电感改为 $L = 5\text{H}$, 试求题中各项, 并画出电流相量图。

5-3-2 例 5-11 中, 如把受控源用短路来代替, 试用网孔法求题中各项。

第四节 交流电路的功率

【导读】前面曾经指出，在交流电路的许多问题中，相位差都起着重要作用。本节将会看到，由于二端网络的电流与电压之间有相位差，使交流电路的功率也出现一种在直流电路中所没有的现象，这就是二端网络与电源之间出现能量交换。因此，对一般交流电路功率的分析要比直流电路功率的分析复杂得多，除了已经引出的有功功率、无功功率之外，还需要引入新的概念，如视在功率、功率因数。

前已述及，无源二端网络的电压、电流关系可用复阻抗 $Z = R + jX = z \angle \varphi_z$ 来表征，如图 5-15a 所示。这里的 R 叫做 Z 的电阻分量， X 叫做 Z 的电抗分量， z 是阻抗， φ_z 是阻抗角，四者之间的关系如图 5-15b 的阻抗三角形所示（图中设 $\varphi_z > 0$ ）。

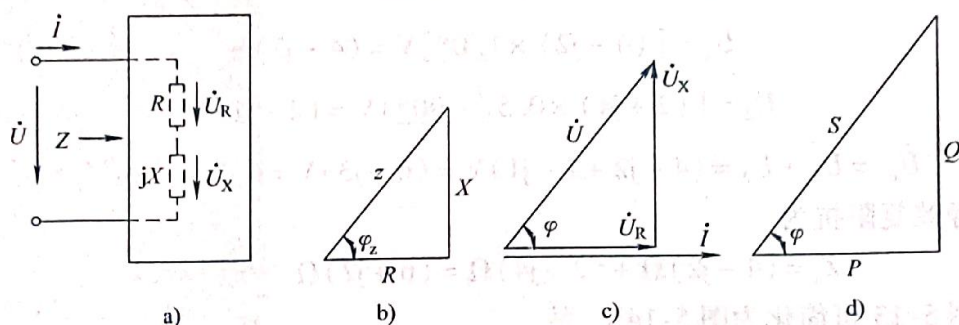


图 5-15

图 5-15a 是一个阻抗串联电路，取 i 为参考相量，画出相量图如图 5-15c 所示。图中，三个电压相量 \dot{U}_R 、 \dot{U}_X 、 \dot{U} 构成一个以 \dot{U} 为斜边的直角三角形，叫做电压三角形。由于 $U_R : U_X : U = R : X : z$ ，电压三角形与阻抗三角形相似。电压 \dot{U} 与电流 i 的相位差角 φ 就等于阻抗角 φ_z ，即 $\varphi_z = \Psi_u - \Psi_i$ 。

图 5-15a 的等效电路中， R 是等效电阻，系耗能参数； X 是等效电抗，系储能参数。二端网络消耗的功率，就是电阻 R 的有功功率，即 $P = U_R I$ ；二端网络吸收的无功功率，就是电抗 X 的无功功率，即 $Q = U_X I$ 。此外，电工技术中还常把乘积 (UI) 叫作二端网络的视在功率，并用 S 来表示，即 $S = UI$ 。由于 P 、 Q 、 S 都正比于 I ，且 $U^2 = U_R^2 + U_X^2$ ，因此有

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

P 、 Q 、 S 也构成一个直角三角形，并称它为功率三角形，如图 5-15d 所示。显而易见，功率三角形、电压三角形、阻抗三角形都是相似的。

这样，交流网络的功率可分为 P 、 Q 、 S ，现逐一讨论如下。

一、有功功率 P

由电压三角形知 $U_R = U \cos \varphi$ ，所以无源二端网络的有功功率

$$P = U_R I = UI \cos \varphi \quad (5-7)$$

可见，在交流电路中，有功功率一般并不等于视在功率，它还与二端网络的 $\cos \varphi$ 值有关。这里， φ 是端电压 \dot{U} 超前电流 i 的相位角。

式 (5-7) 中的 $\cos \varphi$ 称为无源二端网络的功率因数，它是表征交流电路性质的重要数

据。由阻抗三角形可知

$$\cos\varphi = \frac{R}{z}$$

因此,在电源频率一定时,功率因数的大小是由电路本身的参数决定的。

如要计算电路的功率因数,除了运用阻抗三角形以外,还可运用电压三角形和功率三角形求得,即

$$\cos\varphi = \frac{U_R}{U} = \frac{U_R}{\sqrt{U_R^2 + U_X^2}} \quad \cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

计算时应视具体情况灵活运用。

注意:功率因数是一个很重要的概念,它既反映了二端网络的性质,也涉及电源设备的“利用率”。若功率因数为1,则表示二端网络和电源之间不存在能量互换,这时,有功功率等于视在功率,电源向电路最大限度地输出有功功率,电源得到充分利用。若功率因数小于1,电路和电源之间出现能量互换,这时有功功率小于视在功率,电源的利用率降低。

二、视在功率 S

视在功率绝非是一个形式上的量,它是有实际意义的。在电力系统中,任何电器设备都有一定的额定电压和额定电流。要提高它的额定电压,就要增加导线绝缘层的厚度;要提高它的额定电流,就要增加导线的横截面积。总之,这两者都使设备的体积和重量加大,耗费更多的电工材料。所以,电器设备的容量 S 都是以它的额定电压 U 和额定电流 I 的乘积来表示的,即

$$S = UI \quad (5-8)$$

视在功率的单位用伏安 ($V \cdot A$) 或千伏安 ($kV \cdot A$),以便和有功功率相区别。

三、无功功率 Q

由电压三角形可知 $U_X = U \sin\varphi$, 因此无源二端网络吸收的无功功率

$$Q = U_X I = UI \sin\varphi \quad (5-9)$$

应该注意:由于 φ 有正负之分,因而无功功率可能出现负值。若二端网络呈现感性,则 $\varphi > 0$, 无功功率为正值,因此我们约定电感是“吸收”无功功率。若二端网络呈现容性,则 $\varphi < 0$, 无功功率便是负值,故同时约定电容是“发出”无功功率。

为了从物理概念上理解无功功率正负号的意义,我们不妨讨论一下 L 、 C 串联电路中的能量交换过程。在例 4-24 中,等效电抗 $X = X_L - X_C$, 因而无功功率

$$Q = U_X I = I^2 X = I^2 (X_L - X_C) = I^2 X_L - I^2 X_C = Q_L - Q_C \quad (5-10)$$

可见,感性无功功率 Q_L 与容性无功功率 Q_C 具有相互补偿的作用。如设电流 $i = \sqrt{2}I \sin\omega t$, 则电感和电容的瞬时功率

$$p_L = u_L i = (\sqrt{2}U_L \cos\omega t)(\sqrt{2}I \sin\omega t) = U_L I \sin 2\omega t$$

$$p_C = u_C i = (-\sqrt{2}U_C \cos\omega t)(\sqrt{2}I \sin\omega t) = -U_C I \sin 2\omega t$$

它们的波形如图 5-16 所示。图中 p_L 与 p_C 的符号总是相反的。当电感吸入能量 ($p_L > 0$) 时,电容便释放储能 ($p_C < 0$) 予以补偿;反之,当电容吸入能量 ($p_C > 0$) 时,电感却释放储能给予补偿。可见,电感与电容在电路内部有部分能量用于相互交换,其差额才是与外部之间交换的能量。因此,二端网络吸收的无功功率 Q 应为 Q_L 与 Q_C 的差额,即 $Q = Q_L - Q_C$ 。

式 (5-10) 也适用于其他无源二端网络。

例 5-13 RL 串联电路的相量模型如图 5-17 所示, 电源电压 $\dot{U} = 100\angle 0^\circ \text{V}$, 试计算有功功率 P 、无功功率 Q 、视在功率 S 以及功率因数 $\cos\varphi$ 。

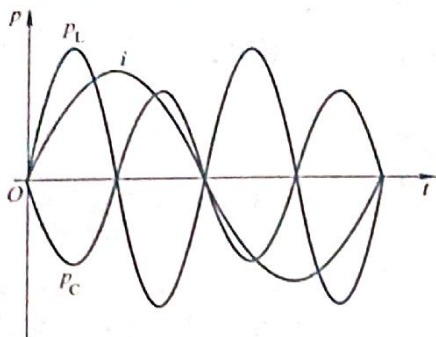


图 5-16

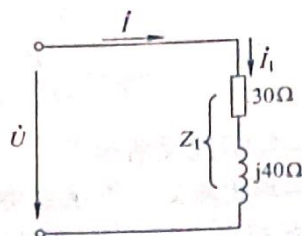


图 5-17

解 $Z_1 = (30 + j40)\Omega = 50\angle 53.1^\circ\Omega$ (感性)
 阻抗角 $\varphi_1 = 53.1^\circ$, 故功率因数

$$\cos\varphi_1 = \cos 53.1^\circ = 0.6$$

在例 5-4 中已求得 Z_1 的电流 $I_1 = 2\text{A}$ 。由式 (5-7) 得

$$P = P_1 = UI_1 \cos\varphi_1 = (100 \times 2 \times 0.6) \text{W} = 120\text{W}$$

由式 (5-9) 得

$$Q = Q_1 = UI_1 \sin\varphi_1 = (100 \times 2 \times \sin 53.1^\circ) \text{var} = 160\text{var} \quad (\text{感性})$$

由式 (5-8) 得

$$S = S_1 = UI_1 = (100 \times 2) \text{V} \cdot \text{A} = 200\text{V} \cdot \text{A}$$

在本例中, 电源提供的电流 I 就是 Z_1 中的电流, 即 $I = I_1 = 2\text{A}$; \dot{U} 与 \dot{i} 之间的相位差为 $\varphi = \varphi_1 = 53.1^\circ$ 。

顺便指出, 异步电动机是工农业生产中最常用的感性负载, 可用本例中的 RL 串联电路作为它的电路模型。电动机在运行时, 除了从电源上吸取有功功率之外, 还要取用较多的感性无功功率。由功率三角形知, 功率因数 $\cos\varphi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$ 与无功功率 Q 有关。只有当 $Q = 0$

时, $\cos\varphi = 1$; 否则功率因数将小于 1。本例中 $Q = 160\text{var}$, 故功率因数仅有 0.6。

例 5-14 求例 5-4 二端网络的 P 、 Q 、 S 与 $\cos\varphi$ 。

解 例 5-4 中已求得各支路电流为

$$\dot{i}_1 = 2\angle -53.1^\circ \text{A}$$

$$\dot{i}_2 = 1.6\angle 90^\circ \text{A}$$

$$\dot{i} = 1.2\angle 0^\circ \text{A}$$

本例将说明, 可以通过多种途径求得二端网络的有功功率和无功功率。

(1) 利用二端网络的端电压、端电流来计算

例 5-4 中已求得 $Z = 83.3\angle 0^\circ\Omega$, 由于阻抗角 $\varphi = 0$, 所以功率因数 $\cos\varphi = 1$ 。

$$P = UI\cos\varphi = (100 \times 1.2 \times 1) \text{W} = 120\text{W}$$

$$Q = UI \sin \varphi = (100 \times 1.2 \times 0) = 0$$

(2) 在二端网络内部按支路来计算

Z_1 支路的有功功率和无功功率已在例 5-13 中求得, 即

$$\begin{aligned} P_1 &= 120\text{W} \\ Q_1 &= 160\text{var} \end{aligned} \quad (\text{感性})$$

对 Z_2 支路, 有

$$\begin{aligned} P_2 &= 0 \\ Q_2 &= UI_2 = (100 \times 1.6)\text{var} = 160\text{var} \end{aligned} \quad (\text{容性})$$

根据能量转换和守恒定律, 对整个二端网络来说, 有

$$\begin{aligned} P &= P_1 + P_2 = 120\text{W} \\ Q &= Q_1 - Q_2 = 160 - 160 = 0 \end{aligned}$$

由于感性无功功率 Q_1 与容性无功功率 Q_2 完全抵消, 故 $Q = 0$ 。

(3) 由网络内部各个耗能元件来计算二端网络吸收的有功功率。

网络中只有 Z_1 中 30Ω 电阻系耗能元件, 因此

$$P = P_R = I_1^2 R = 2^2 \times 30\text{W} = 120\text{W}$$

电路的视在功率

$$S = UI = (100 \times 1.2)\text{V} \cdot \text{A} = 120\text{V} \cdot \text{A}$$

例 5-15 电路的相量模型如图 5-18 所示, 试求负载 Z_L 消耗的功率 P_L , 若:

- (1) $Z_L = R = 5\Omega$
- (2) $Z_L = |Z_i| = 11.2\Omega$
- (3) $Z_L = (5 - j10)\Omega$

解 电源的复阻抗

$$Z_i = (5 + j10)\Omega = 11.2 / 63.5^\circ \Omega$$

(1) 当 $Z_L = 5\Omega$ 电阻时

$$\begin{aligned} \dot{i} &= \frac{14.1 / 0^\circ}{5 + j10 + 5} \text{A} = \frac{14.1}{10 + j10} \text{A} = 1 / -45^\circ \text{A} \\ P_L &= I^2 R = (1^2 \times 5)\text{W} = 5\text{W} \end{aligned}$$

(2) 当 $Z_L = |Z_i| = 11.2\Omega$ 电阻时

$$\begin{aligned} \dot{i} &= \frac{14.1 / 0^\circ}{5 + j10 + 11.2} \text{A} = \frac{14.1}{16.2 + j10} \text{A} = 0.745 / -31.7^\circ \text{A} \\ P_L &= I^2 R = (0.745^2 \times 11.2)\text{W} = 6.22\text{W} \end{aligned}$$

(3) 当 $Z_L = (5 - j10)\Omega$ 复阻抗时

$$\begin{aligned} \dot{i} &= \frac{14.1 / 0^\circ}{(5 + j10) + (5 - j10)} \text{A} = \frac{14.1 / 0^\circ}{10 / 0^\circ} \text{A} = 1.41 / 0^\circ \text{A} \\ P_L &= I^2 R = (1.41^2 \times 5)\text{W} = 10\text{W} \end{aligned}$$

计算结果说明, 当 Z_L 是 Z_i 的共轭复数 (Z_L 与 Z_i 实部相等, 虚部相反) 时, 负载 Z_L 获得的功率最大, 这叫共轭匹配。第二种情况称为模匹配, 这时负载 Z_L 获得的功率比第一种情况多一些。

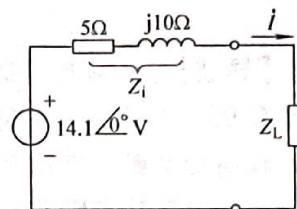


图 5-18

练习与思考

5-4-1 某二端网络输入端的等效复阻抗 $Z = 20 \angle 60^\circ \Omega$ ，端电压有效值 $U = 100\text{V}$ ，求该二端网络的 P 、 Q 、 S 及 $\cos\varphi$ 值。

5-4-2 电路如图 5-19 所示，求电路消耗的功率 P 及功率因数 $\cos\varphi$ 。

5-4-3 一台接在 220V 电源上的电动机消耗功率 0.5kW，功率因数 $\cos\varphi = 0.8$ ，试求所需电流。若功率因数为 1，其他均不变化，所需电流是多少？电流比原来下降了多少？

5-4-4 一台电动机的额定电压和额定电流分别是 220V 和 3A，功率因数 $\cos\varphi = 0.8$ ，试求它的视在功率、有功功率及绕组的复阻抗。

5-4-5 某负载的有功功率为 100W，无功功率为 100VAR。则视在功率为_____。

- A. 200VA B. 100VA C. 141.4VA D. 141.4W

5-4-6 如果某一驱动电路的输出阻抗是 $(50 - j10) \Omega$ ，为了向后续负载提供最大功率，问负载阻抗应该是多少？

5-4-7 某交流电源的内阻抗为 $(50 + j100) \Omega$ ，其对应的共轭复阻抗应为_____。

- A. $(50 - j50) \Omega$ B. $(100 + j50) \Omega$ C. $(100 + j50) \Omega$ D. $(50 - j100) \Omega$

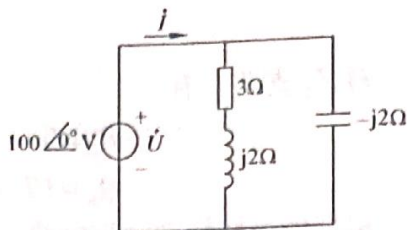


图 5-19

第五节 功率因数的提高

【导读】 根据我国供用电有关规定，高压供电的工业企业用户，其平均功率因数不得低于 0.95，其他单位不得低于 0.9。为了提高工业企业功率因数，还配有专门的功率补偿电容。提高功率因数有什么意义？应如何接入功率补偿电容？

一、提高功率因数的意义

在电力系统中，任何电器设备的额定容量都是以它的额定视在功率来衡量的。例如，一台交流发电机的额定电压是 10kV，额定电流是 1500A，则它的额定容量 $S = 15000\text{kV} \cdot \text{A}$ 。但是，它能否输出那么多的有功功率呢？这就要视负载的功率因数而定。当功率因数 $\cos\varphi = 0.6$ 时，它实际输出 $(15000 \times 0.6) \text{kW} = 9000\text{kW}$ 的有功功率。如果把功率因数提高到 $\cos\varphi = 0.95$ ，它将提供 $(15000 \times 0.95) \text{kW} = 14250\text{kW}$ 功率。可见，同样容量的发电机，当 $\cos\varphi$ 由 0.6 提高到 0.95 时，可使它多提供 $(14250 - 9000) \text{kW} = 5250\text{kW}$ 的有功功率！

电力系统中，输电线的的作用就是有效地输送电能供用户使用。在负载电压 U 与有功功率 P 都一定时，线路电流 $I = \frac{P}{U\cos\varphi}$ 与功率因数 $\cos\varphi$ 成反比， $\cos\varphi$ 愈大， I 就愈小，输电线上的功率损耗 $I^2 R_l$ (R_l 为线路电阻) 也就愈少，输电效率也就愈高。

总之，提高功率因数既能使发电设备的容量得以充分利用，又能使电能得到大量节约。提高电网的功率因数对国民经济的发展有着极为重要的意义。

二、提高功率因数的方法

异步电动机是工业生产中最常用的感性负载，其功率因数约为 0.7 ~ 0.85 左右，轻载时就更低了。荧光灯的功率因数只有 0.45 ~ 0.6 左右。其他如工频炉及电焊变压器也都是低功率因数的感性负载。

感性负载的功率因数之所以不高，是由于它在运行时需要一定的无功功率 Q_L 。由功率三角形知道，负载的功率因数

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

一般地说，式中 $Q = Q_L - Q_C$ 。若利用 Q_L 与 Q_C 这一相互补偿作用，让容性无功功率 Q_C 在负载网络内部就地补偿感性负载所需的无功功率 Q_L ，使电源提供的无功功率 Q 接近或等于零（见例 5-14），这样就可以使功率因数接近于 1。因此，从技术经济的观点出发，提高感性负载网络功率因数的有效方法，是在负载两端并联适当大小的电容器（装在用户或变电所），其电路如图 5-20 所示，它与例 5-4、例 5-14 的电路完全相同。

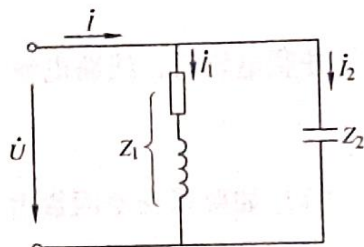


图 5-20

为了说明这种方法的效果，现将例 5-13 和例 5-14 计算所得的 P 、 Q 、 S 、 $\cos\varphi$ 、 I 列于表 5-2 中，以资比较。

表 5-2

	例 5-13 (并电容前)	例 5-14 (并电容后)	说明
P/W	120	120	未变
Q/var	160	$Q_L - Q_C = 0$	Q_L 、 Q_C 完全抵消
$S/V \cdot A$	200	120	降 40%
$\cos\varphi$	0.6	1.0	提高
I/A	2	1.2	降 40%

对比可知，在感性负载 Z_1 两端并联适当的电容后，起到了这样几个作用：

- 1) 电源向负载 Z_1 提供的有功功率未变。
- 2) 负载网络（包括并联电容）对电源的功率因数提高了。
- 3) 线路电流下降了（其原理见例 5-4 和例 5-8）。

4) 电源与负载之间不再进行能量的交换（ $Q=0$ ）。这时感性负载 Z_1 所需的无功功率全部由电容器就地提供，能量的互换完全在电感和电容之间进行，电源只提供有功功率。

例 5-16 有一感性负载的有功功率 $P = 1600kW$ ，功率因数 $\cos\varphi_1 = 0.8$ ，接在电压 $U = 6.3kV$ 的电源上，电源频率 $f = 50Hz$ 。(1) 如把功率因数提高到 $\cos\varphi_2 = 0.95$ ，试求并联电容器的容量和电容并联前后的线路电流；(2) 如要将功率因数从 0.95 再提高到 1，试问并联电容器的容量还需增加多少？

解 先导出一个公式，然后再代入数据进行计算。

由图 5-21 可知，功率因数角由 φ_1 减小到 φ_2 所需的 Q_C 为

$$Q_C = Q_L - Q' = P(\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2)$$

将 $Q_C = \omega CU^2$ 代入上式，则可得出所需并联电容

$$C = \frac{P}{\omega U^2} (\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2)$$

- (1) $\cos\varphi_1 = 0.8, \quad \varphi_1 = 36.9^\circ$
 $\cos\varphi_2 = 0.95, \quad \varphi_2 = 18.2^\circ$

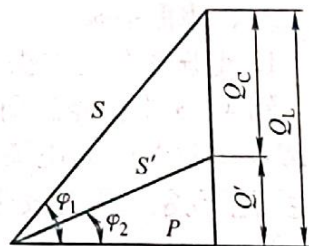


图 5-21

$$\text{所需电容量 } C = \frac{1600 \times 10^3}{2 \times 3.14 \times 50 \times (6300)^2} (\text{tg}36.9^\circ - \text{tg}18.2^\circ) \text{F} = 54.2 \mu\text{F}$$

并联电容前, 线路电流 (即负载电流)

$$I_1 = \frac{P}{U \cos \varphi_1} = \frac{1600 \times 10^3}{6300 \times 0.8} \text{A} = 317 \text{A}$$

并联电容后, 线路电流

$$I = \frac{P}{U \cos \varphi_2} = \frac{1600 \times 10^3}{6300 \times 0.95} \text{A} = 267 \text{A}$$

(2) 如要将功率因数由 0.95 再提高到 1, 尚需增加电容

$$C = \frac{1600 \times 10^3}{2 \times 3.14 \times 50 \times (6300)^2} (\text{tg}18.2^\circ - \text{tg}0^\circ) \text{F} = 42.2 \mu\text{F}$$

这时的线路电流

$$I = \frac{P}{U \cos \varphi} = \frac{1600 \times 10^3}{6300 \times 1} \text{A} = 254 \text{A}$$

如果将功率因数从 0.95 再提高到 1, 需要再增加电容 42.2 μF, 是原有电容值的 78%, 但线路电流仅降至 254A, 只下降了 5%。这说明将功率因数提高到 1 在经济上是不可取的。通常只将功率因数提高到 0.9 ~ 0.95 之间。

练习与思考

5-5-1 将 $U=220\text{V}$ 、 $P=40\text{W}$ 、 $\cos \varphi=0.5$ 的荧光灯电路的功率因数提高到 0.9, 试求需要并联多大的电容。

5-5-2 在例 5-16 中, 试问并联电容后感性负载本身的功率因数是否提高了呢?

5-5-3 提高功率因数 (即 $\cos \varphi$ 值), 就是要减小电路中端电压与总电流之间的相位差角 φ 。给感性负载并一适当大小的电容可以达到这一目的。试结合例 5-8 中的相量图分析其原理。

第六节 谐振电路

【导读】 电感、电容是交流电路中性质相反的两种电抗元件。正因为这样, 在调节 LC 电路的参数或电源频率时, 电路两端的电压和其中的电流会出现同相的情况, 这种现象称为谐振, 这样的 LC 电路叫做谐振电路。谐振电路在无线电工程中应用很广, 例如收音机、振荡器等。

谐振分为两种: 串联谐振和并联谐振。研究谐振, 主要是研究谐振发生的条件、谐振时的特征以及谐振电路的选频特性。

一、串联谐振

1. 谐振条件与谐振频率

例 4-23 中曾经提到, 当 $X_L = X_C$ 时, 图 5-22a 所示 RLC 串联电路的电流与端电压同相, 这时电路中发生谐振现象。因为发生在串联电路中, 所以称为串联谐振。

$X_L = X_C$ 是发生串联谐振的条件。根据 $\omega L = \frac{1}{\omega C}$ 可

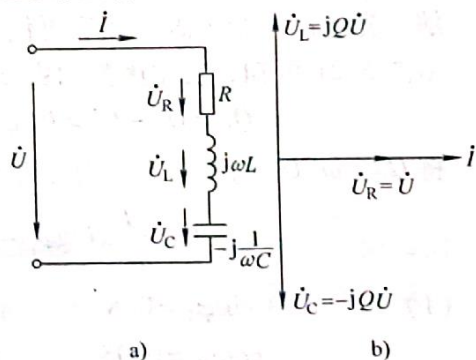


图 5-22