

功率因数的提高

功率因数 $\cos\varphi$ 是对电源利用率程度的衡量。

在电源容量一定的情况下， $\cos\varphi$ 的大小直接影响电源输出功率的大小。

交流电路的有功功率 $P = UI \cos\varphi$ ，当电压 U 和电流 I 一定时， $\cos\varphi$ 越低，有功功率越小，则电源利用率低。为了提高电源的利用率，必须想办法提高电路的功率因数 $\cos\varphi$ 。

1. 提高功率因数的意义

在电力工业中，和电源相连接的用电器如电灯、日光灯电路、电炉等电器通常称为负载。应该注意，负载是一个笼统的称呼，在讨论具体问题时，必须先判明负载包含哪些用电器，不同的负载，其功率因数可能相差很大。例如，全部由白炽灯组成的负载，功率因数很高（ $\cos\varphi = 1$ ），而由日光灯电路组成的负载，其功率因数很低（ $\cos\varphi = 0.5$ ）。负载的功率因数低，会产生以下两个问题：

(1) 发电设备(或配电设备)的容量不能充分利用

例如：某容量为 1000 千伏安的变压器，即 $S_N = U_N I_N = 1000 \text{ kVA}$

当用户： $\cos\varphi = 0.6$ 时， $P = UI \cos\varphi = 600 \text{ kW}$

$$Q = UI \sin\varphi = 800 \text{ kV a}$$

当用户： $\cos\varphi = 1$ 时， $P = UI \cos\varphi = 1000 \text{ kW}$ 电源发出的能量全部用来作功。

由此可见，负载的功率因数低，发、配电设备就不能得到充分利用。

(2) 增大线路和发电机绕组的功率损失

我们知道，当负载的电压和有功功率一定时，线路中的电流与功率因数成反比，即

$$I = \frac{P}{U \cos\varphi}$$

功率因数愈低，线路电流 I 就愈大，因而线路上的功率损失， $\Delta P = I^2 r$ 也就愈大（ r 为线路的电阻）。

(3) 举例

设某负载 $P = 3.8 \text{ kW}$ ， $U = 220 \text{ V}$ ， $r = 0.2 \Omega$ 。

当功率因数 $\cos\varphi = 0.8$ 时，线路电流及功率损失分别为

$$I = \frac{P}{U \cos\varphi} = \frac{3800}{220 \times 0.8} = 21.6 \text{ A}$$

$$\Delta P = I^2 r = 21.6^2 \times 0.2 = 93.3 \text{ W}$$

当功率因数 $\cos \varphi = 0.5$ 时, $I = \frac{3800}{220 \times 0.5} = 34.6 \text{ A}$

$$\Delta P = 34.6^2 \times 0.2 = 238.7 \text{ W}$$

由上述可知, 提高负载的功率因数对国民经济的发展有着极为重要的意义。功率因数的提高, 能使发电设备的容量得到充分利用, 同时亦能节约电能。

2. 提高功率因数的方法

(1) 功率因数低的根本原因

感性负载的存在。对于供电系统来说, 大量用电设备多属感性负载, 如日光灯电路可以把它等效为 RL 相串联的电路模型, 其 $\cos \varphi$ 在 0.5 左右; 工矿企业中用得最多的异步电动机, 其等效电路也是 RL 相串联的电路模型, 即使在满载运行时 $\cos \varphi$ 也只有 0.85 左右, 轻载时 $\cos \varphi$ 则更低, 由此可见, 功率因数不高的根本原因是由于感性负载的存在。

(2) 提高功率因数的方法

在感性负载两端并联电容器。为了提高供电系统功率因数, 通常在感性负载两端并联电容器, 用电容的无功功率补偿电感的无功功率, 如图 1 所示。

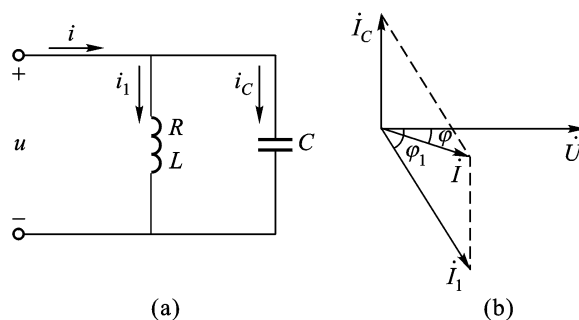


图 1 功率因数的提高

(a) 电路图 (b) 相量图

未并联电容器前, 供电线路上的电流 \dot{I} 就是 RL 支路的电流 \dot{I} , 供电系统的功率因数就是负载的功率因数 $\cos \varphi_1$, 这时负载的有功功率为 $P = UI_1 \cos \varphi_1$ 。

并联电容器后, 由图 1 (b) 相量图可知, 供电线路的总电流 $\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_C$, 电容器的无功电流 \dot{I}_C 的相位超前电压 90° , 而负载的无功电流 $I_1 \sin \varphi_1$, 是滞后电压 90° , 两者相位相差 180° , 所以起到了互相补偿的作用。其结果使总电流 \dot{I} 的无功分量减少, 这一方面使得总电流有效值 I 比原先小了, 因而减少了线路的功率损耗; 另一方面线路电流 \dot{I} 与电压 \dot{U} 的相位角也从 φ_1 减少到 φ , 使供电系统的功率因数得到了提高。从功率关系看, 这就是用电容的无功功率来补偿感性负载的无功功率, 使能量交换大部分在电感 L 和电容 C 之间进行, 这样就有可能让电源输出更多的有功功率, 提供其它负载, 使变压器容量得到了充分利用。

但要注意的是, 由于电容器不消耗功率, 即 $P_C = 0$, 又因为并联电容器前后,

电源电压和感性负载参数都没变，所以有功功率 P 不变，即

$$P = UI_1 \cos \varphi_1 = UI \cos \varphi$$

(3) 电容值 C 的计算

为使功率因数由 $\cos \varphi_1$ 提高到 $\cos \varphi$ ，所需并联的电容 C 的大小，可由图 2(b) 相量图计算求得。

$$\text{电容支路电流有效值 } I_C \text{ 为} \quad I_C = I_1 \sin \varphi_1 - I \sin \varphi \quad (1)$$

$$\text{由相量图可求得} \quad I_1 = \frac{P}{U \cos \varphi_1} \quad I = \frac{P}{U \cos \varphi}$$

$$I_C = \frac{U}{X_C} = U\omega C$$

$$\text{代入 (1) 式} \quad U\omega C = \frac{P}{U \cos \varphi_1} \sin \varphi_1 - \frac{P}{U \cos \varphi} \sin \varphi$$

$$\text{得} \quad C = \frac{P}{U^2 \omega} (tg \varphi_1 - tg \varphi)$$

例：有一只 40W 的日光灯，接在电源电压 $U = 220V$ ， $f = 50Hz$ 的交流电源上，已知 $I_1 = 0.364A$ ，日光灯的 $\cos \varphi_1 = 0.5$ 。试问当并联接入 $4\mu f$ 的电容后，其功率因数 $\cos \varphi$ 为多少？线路总电流 $I = ?$

解：由电容计算公式

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

$$\cos \varphi_1 = 0.5 \quad \varphi_1 = 60^\circ \quad tg \varphi_1 = tg 60^\circ = 1.732$$

代入上式得

$$tg \varphi = \frac{40 \times 1.732 - 4 \times 10^{-6} \times 220^2 \times 314}{40} = 0.212$$

$$\varphi = 11.98^\circ \quad \text{得} \cos \varphi = 0.978$$

$$\text{线路总电流 } I \text{ 为} \quad I = \frac{P}{U \cos \varphi} = \frac{40}{220 \times 0.978} = 0.186 \text{ A}$$

由此可见，当日光灯电路并联 C 后，功率因数由 $\cos \varphi_1 = 0.5$ 提高到 $\cos \varphi = 0.978$ ，线路总电流由 $I_1 = 0.364 \text{ A}$ 降到 $I = 0.186 \text{ A}$ 。因此，它不仅使供电设备的容量得到充分利用，而且也减少了功率消耗。