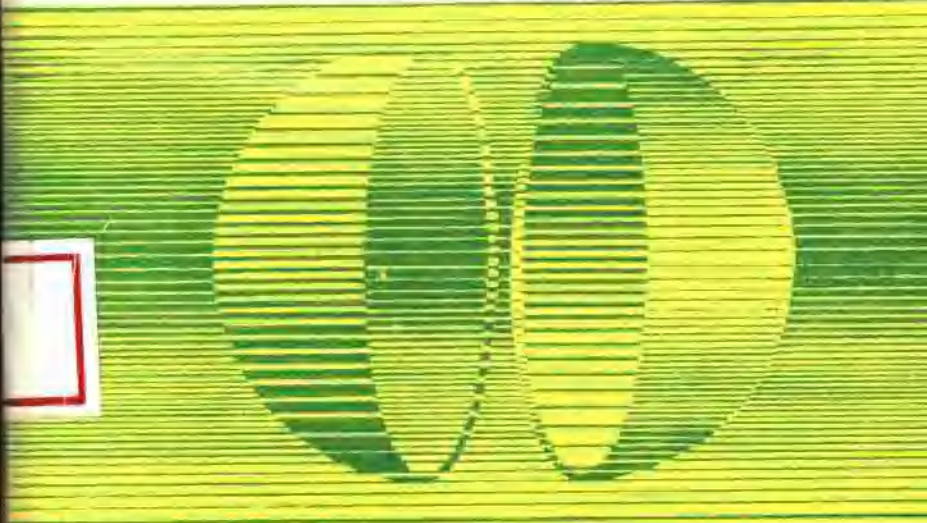


常用节电技术

肖绍渊 编著

孟昭利 翟克俊 黄日林 审



农业出版社

常用节电技术

肖绍洲 编著

孟昭利 翟克俊 黄日林 审

农业出版社

(京)新登字060号

常用节电技术

肖绍湘 编著

孟昭利 翟克俊 黄日林 审

• • •
责任编辑 舒薇

农业出版社出版(北京市朝阳区农展馆北路2号)
新华书店北京发行所发行 通县曙光印刷厂印刷

787×1092mm 32开本 7.75印张 168千字

1993年2月第1版 1993年2月北京第1次印刷

印数 1—4,000册 定价 5.35元

ISBN 7-109-02664-7/TM·15

前 言

能源是发展国民经济的重要物质基础。节约能源是企业降耗增益的长期方针。为减少电能浪费，确保城乡工农业生产和人们生活用电的需要，根据长期积累的实践经验和参阅了有关资料编著了《常用节电技术》一书。该书重点介绍了城乡企事业单位中若干实用节电技术措施，主要包括企业用电功率因数和补偿，企业供电线损和节电措施，电动机损耗和节电措施，电焊机节电装置，电光源选择和节电措施，交流电器直流运行，可控硅串级调速节电装置，可控硅节电装置，节电测试法和节电计算法等内容。本书可供城乡能源管理人员和电气技术人员阅读，也可作大专院校理工科师生课外参考书。

本书在编写过程中，得到中国铁道建筑总公司节能办公室和工厂局蔺长海工程师，养马河桥梁厂陈长金、付在品等领导的大力支持，书稿完成后，送请清华大学核能技术研究室副教授、北京能源培训中心主任孟昭利，国家合理用电委员会副主任、北京市三电办公室主任工程师、高级工程师翟克俊，中国铁道建筑总公司节能办工程师黄日林审稿。另外，陈献忠、罗海梅、李屏珍为本书誊写和制图，在此一并致以感谢！由于本人水平有限，错误之处在所难免，请读者不吝赐教。

作 者

一九九〇年十月三十日

目 录

第一章 企业用电功率因数和补偿	1
一、无功功率与节电	1
二、提高用电功率因数的方法	4
三、提高功率因数的效果	6
四、用移相电容器补偿功率因数	9
五、移相电容器自动补偿装置	23
附 低压移相电容器放电回路节电	25
第二章 企业供电线损和节电	28
一、供电线路损耗	28
二、变压器损耗	31
三、降低线路损耗	36
四、降低变压器损耗	42
第三章 电动机损耗和节电	67
一、电动机损耗	67
二、电动机节电	68
附 电动机节电测试法	113
第四章 可控硅串级调速节电装置	119
一、基本原理	119
二、实用电路	120

第五章 电光源的选择和节电	128
一、电光源的选择.....	128
二、照明节电.....	129
三、白炽灯节电.....	133
四、日光灯节电.....	137
五、道路照明节电.....	141
六、路灯自动开闭装置.....	145
七、电子自熄开关.....	150
 第六章 电焊机节电装置	155
一、电焊机空载自停节电.....	155
二、电焊机自停遥控节电.....	167
三、交流焊机节电器.....	174
附 电焊节电注意事项.....	181
 第七章 交流电器直流运行	182
一、交流接触器.....	182
二、交流电磁铁.....	193
附 交流接触器无声运行节电测试方法.....	195
 第八章 可控硅节电装置	198
一、可控硅半控调压节电器.....	198
二、可控硅节电器.....	206
 第九章 节电测试方法	215
一、用有功功率表测无功功率.....	215
二、用单相有功电度表测电动机功率.....	218
三、用单相有功电度表测功率因数.....	222

第十章 节电计算方法	226
一、无功补偿容量速算方法	226
二、无功补偿效益计算方法	228
三、配电网功率因数速算法	230
四、同步电动机调相运行节电计算方法	233
五、均衡用电节电计算方法	236
六、移相电容个别补偿节电计算方法	238
七、节电量计算方法	239

第一章 企业用电功率因数和补偿

一、无功功率与节电

电力系统生产和消费的电能分为有功电力和无功电力两种。

有功电力是实际做功的电力。有功功率用 P 表示，单位为瓦(W)或千瓦(kW)。例如：220V100W的灯泡，可将100瓦的有功功率转换为光能及热能，如图1—1(a)所示。而10kW电动机，则可将10kW有功功率转换为机械能。

无功电力与有功电力不同，它是不做功的电力。无功功率用 Q 表示，单位为乏(var)或千乏(kvar)。如40W的日光灯，除消耗40W的有功功率外，还需80var左右的无功功率在整流器中建立交换磁场，10kW交流电动机在额定工作状态下，除要消耗10kW的有功功率外，还需大约5kvar的无功功率来建立旋转磁场，才能正常工作。

应该着重指出，无功功率尽管不做功，却并非“无用”或“可有可无”，因为没有无功功率建立起来的交变磁场，电机、变压器等用电设备就根本无法工作（实际上无功功率是建立交变电磁场时用的）。无功功率是在半个周期的时间内电容或电感从电源取得电能量，建立交变磁场；而在另半个周期时间内，又把用电器中贮藏的磁场能量还给电源。假设电路中没有阻抗，那么，无功功率就不会引起电能的损耗，而仅

仅是在电源与用电器之间来回交换。因此，无功功率还可以称为交换性电功率，如图1-1(b)、(c)所示。

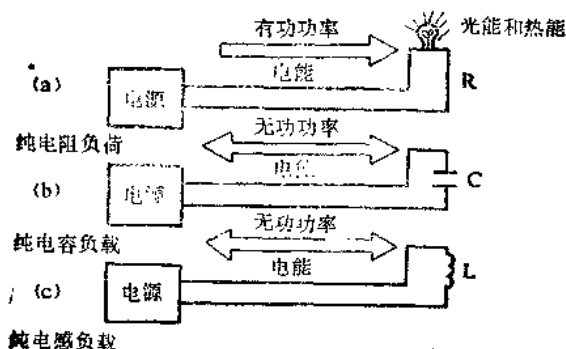


图 1-1 电能功率转换示意图

(a) 纯电阻负载 (b) 纯电容负载 (c) 纯电感负载

具有电阻及电抗的电路中，电压（ U ）与电流（ I ）有效值的乘积称为“视在功率”，用 S 表示，单位为伏安（VA）或千伏安（kVA）。视在功率、有功功率及无功功率之间是直角三角形关系，称为功率三角形，如图1-2所示。

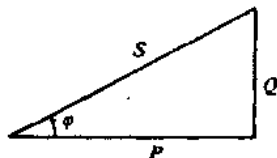


图 1-2 功率三角形

$$S^2 = P^2 + Q^2, \quad S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$P = \sqrt{S^2 - Q^2}, \quad Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

有功功率与视在功率之比称为功率因数，用 $\cos\varphi$ 表示。很明显：

$$\cos\varphi = \frac{P}{S}$$

$$P = IU \cos \phi$$

$$Q = IU \sin \phi$$

功率因数反映了电源支出的视在功率被利用的程度。它的数值越接近于1，有功功率就越接近于视在功率，电源的视在功率就被利用得越充分。由此可见，要节约电，就要提高功率因数，要提高功率因数，就得补偿无功功率。

电力生产与消费的一个最大特点是：任何时刻生产的电力，都等于同一时刻消耗的电力。即生产与消耗处于平衡状态。

无功电力的平衡，关系到系统电压的稳定性。只有当生产的无功电力与用户需要的无功电力恰好相等时，电压才能保持额定。若无功电力供不应求，交流电动机、变压器等用电设备得不到足够的无功功率，不能建立正常的电磁场，用电设备的端电压就得下降，以减少对无功电力的需要，维持无功电力不足情况下的平衡。反之，当无功电力供过于求时，用电设备的端电压就会升高，建立更强的电磁场，吸收过剩的无功电力，从而维持无功电力过剩情况下的平衡。

综上所述，为了保持用电设备处于高效率的工作状态，使之在额定电压下工作，就必须供给用电设备额定的无功电力。

在电力网路中传输无功电力时，由于输电线路和变压器有阻抗存在，同传输有功电力一样，将造成电能损耗（每供给1kvar的无功电力，将造成约0.1kW的损耗），因而，减少无功电力，即减少传输时的网损，是节约用电的一个重要途径。

怎样保持用电设备在额定电压下高效率地工作，而又减少无功网损呢？解决的办法是就地补偿无功电力。能提供无

功电力的设备叫做无功补偿设备，常用的有移相电容器、调相机和调相运行的同步电动机等，如图1—3所示。

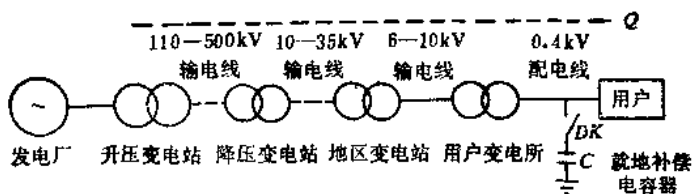


图 1—3 安装无功补偿器示意图

工厂安装无功补偿设备，不仅节约了电能，而且提高了电压。例如某厂安装了移相电容器1500kvar，功率因数由0.8提高到0.98，电压提高10%。10个月内节省的电费，就可收回全部安装电容器的投资。

二、提高用电功率因数的方法

工矿企业的用电负载，主要是电感性的异步电动机。因此，电网除了供给有功功率外，还要供给一定的无功功率。一般工矿企业用电功率因数约为0.70，即电网输送的电流仅有70%用于做功。由于异步电动机处于供电线路的末端，因此，大量的有功功率都要被供电线路和变压器损耗掉。工矿企业常用并联电力电容器等方法，提高功率因数，减低线路损耗，提高设备利用率，保证供电质量，改善供电和设备的运行条件。

为使工矿企业的用电功率因数提高到0.95以上，首先要解决的问题是合理使用变压器、电动机和电焊机等设备，其次才是进行人工补偿。此外，还可以采用照明节电、交流电

器直流运行和均衡用电等技术措施。

变压器在铜损和铁损相等时效率最高。一般中小型电力变压器在60~70%额定负载下运行时，具有较高的效率。因此，要尽量避免变压器在空载或轻载下运行。当负载长期轻载时，应考虑更换小容量的变压器或由一台变压器供给两个（或多个）车间的负载用电。

怎样才能合理使用异步电动机和电焊机呢？首先是正确选用异步电动机的容量，将平均负载长期低于额定容量40%的电动机，更换为较小容量的电动机。其次是加装自动断电停车装置，借以避免电动机和电焊机的空载损耗。

采用上述方法后，功率因数仍然低于0.95时，就应该采用人工补偿，其方法有：

1.充分利用同步电动机，将它的多余容量作为无功功率电源

同步电动机的直流励磁在过激的情况下，可使功率因数由滞后变为超前，能送出滞后的无功电流（或吸取超前的无功电流），补偿感性负载。

2.异步电动机同期化

绕线式异步电动机经过改造，在启动完毕后，变成同步电动机运行，能象上述同步电动机一样补偿感性负载。此法需改造设备，比较麻烦。

3.并联或串联移相电容器，补偿感性负载所需的无功功率。

目前，工矿企业已普遍采用并联移相电容器。它的损耗小（每1kvar消耗0.003~0.006kW）、效率高（可达99%以上），可分期投资，安装维修也比较简单，适用于分散在末端的感性装置，能消除线路中大量的滞后无功电流，减少能量

损耗和电压降。

4. 装置调相机

调相机是专门发出无功功率的旋转电机，结构基本与同步电动机相同，但是，它不带任何机械负载，只作为提供无功功率的补偿装置。它可以很方便地平滑调节输出的无功功率。调相机的容量一般大于5000千伏安，额定电压为6~10kV，通常安装在降压变电站中，向用电单位直接提供大量的无功功率。

调相机和移相电容器比较，因为调相机有旋转部分，所以造价高，维修不便，并且有功功率损耗高（每发出1kvar无功功率，大约消耗0.02~0.05kW的有功功率），大大高于移相电容器提供同样无功功率所消耗的有功功率，所以，目前很少使用调相机。

三、提高功率因数的效果

1. 减少线损节约用电

线损包括供电线路损耗和变压器损耗，在三相交流电路中，当电流通过线路和变压器时，有功功率损失为：

$$\begin{aligned}\Delta P &\approx 3I^2R \times 10^{-3} \\ &= 3\left(\frac{P}{\sqrt{3}U\cos\varphi}\right)^2 R \times 10^{-3} \\ &= \frac{P^2}{U^2(\cos\varphi)^2} R \times 10^{-3} \quad (1-1)\end{aligned}$$

式中 ΔP ——线路和变压器的有功功率损耗(kW)

I ——通过供电线路和变压器的电流(A)

R ——线路相电阻(变压器即为等值相电阻(Ω))

P ——线路和变压器输送的有功功率 (kW)

U ——线路和变压器的额定电压 (kV)

$\cos\varphi$ ——线路和变压器的负荷功率因数

从1—1式中可以看出, 供电线路和变压器的有功功率损耗与负荷功率因数的平方成反比, 所以提高功率因数, 有功功率损耗大大降低。有功功率损耗降低, 可使供电线路和变压器的电能损失减少, 从而节约大量的电能。

2. 增大供电容量

供电线路和变压器的容量:

$$S = \sqrt{3} IU \cos\varphi$$

所以, 提高功率因数就能增大供电容量。

对供电线路增大的容量为:

$$\frac{XQ_c}{R\cos\varphi + X\sin\varphi} \quad (1-2)$$

式中 ΔS ——增大供电线路容量 (kVA)

Q_c ——安装移相电容器容量 (kvar)

X ——线路相电抗 (Ω)

R ——线路相电阻 (Ω)

φ ——补偿前的功率因数角

对变压器增大的供电容量为:

$$\Delta S = S_0 (\cos\varphi_2 - \cos\varphi_1) \quad (1-3)$$

式中 ΔS ——增大变压器供电容量 (kVA)

S_0 ——变压器额定容量 (kVA)

$\cos\varphi_1$ ——补偿前的功率因数

$\cos\varphi_2$ ——补偿后的功率因数

〔例〕某供电线路电压10kV, 相电阻 $R=7.5\Omega$, 相电抗 $X=12.5\Omega$, 安装移相电容器的容量 $Q_c=400\text{kvar}$, 功率因

数从0.7提高到0.9，变压器容量 $S_0 = 1000$ 千伏安，求它们增大的供电容量。

解：根据1—2式求得线路增大的供电容量为：

$$\begin{aligned}\Delta S &= \frac{12.5 \times 400}{7.5 \times 0.6997 + 12.5 \times 0.7145} \\ &= 352.6 \text{ kVA}\end{aligned}$$

根据1—3式求得变压器增大的供电容量为：

$$\begin{aligned}\Delta S &= 1000(0.9 - 0.7) \\ &= 200 \text{ kVA}\end{aligned}$$

3. 改善电压质量

供电线路的电压损失为：

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U} \times 10^{-3} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中 ΔU ——线路电压损失 (%)

U ——线路电压 (kV)

P ——通过线路的有功功率 (kW)

Q ——通过线路的无功功率 (kvar)

R ——线路电阻 (Ω)

X ——线路感抗 (Ω)

提高功率因数减少了线路中的无功功率，从(1—4)式可以看出，无功功率在感抗上造成的电压降将减小，从而使电压损失降低，电压相对稳定。

4. 减少用户电费支出

提高功率因数可使企业直接得到经济效益。为了合理用电，国家制定了电价制度，对不同企业的功率因数规定了不同的标准，低于规定标准，增收电费；高于规定标准，减收电费。对于企业用电功率因数的高低与增加或减少电费百分

数详见第十章，无功补偿节电算法。

四、用移相电容器补偿功率因数

电力电容器是一种专门用于就地提供无功功率的补偿设备。由于它为电感线圈提供在相位上超前电压的无功电流，所以又称为移相电容器。它的安装地点愈接近负载端，则无功补偿愈有效。由于同等容量的高压电容器比低压电容器价廉，所以，选择电容器时，应该进行技术经济分析，择优选用。

(一) 并联补偿原理

一般工业用户负载电流的相位都滞后于电压一个相角。负载电流 I ，可分为有功分量 I_R 和无功分量 I_L 两部分，其无功分量滞后电压90度，如图1—4所示。并联补偿电容器在正弦交变电压作用下，产生一个正弦变化的电容电流 I_C ，其相位超前电压90度，所以电容电流和电感电流的矢量方向正好相反。当电容器并联在感性负载线路上，电容电流 I_C 可抵消一部分电感电流 I_L ，也就是补偿部分电感电流（见图1—5）。

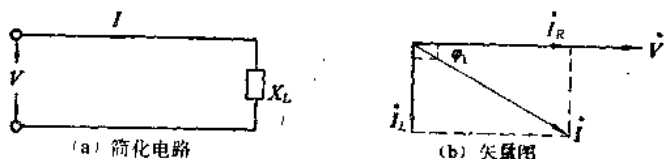


图1—4 电感负载简化电路与矢量图

从矢量图中可知，补偿后的 φ 角比补偿前的 φ_1 角减小了，

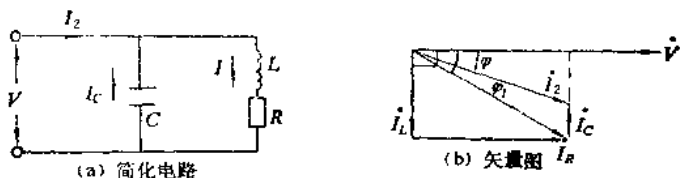
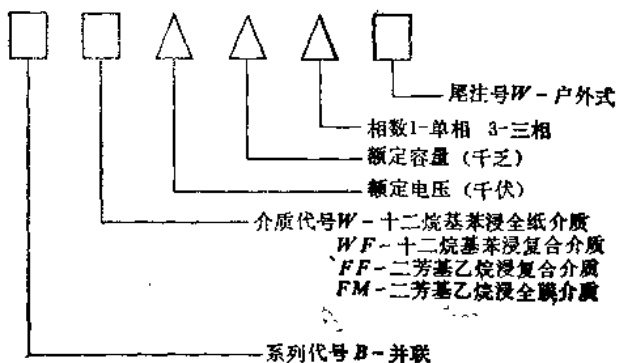


图 1—5 电感负载并联移相电容器的简化电路与矢量图

即提高了功率因数，同时补偿后的负载电流 I_2 也比补偿前的电流 I 减小了。

(二) 型号所代表的意义



【例】BW0.4—12—1型表示并联移相电容器，用十二烷基苯浸全纸介质，额定电压400V12kvar，单相。

(三) 移相电容器的选择

1. 按无功功率经济当量选择电容器的安装地点

电路在输送有功功率和无功功率的过程中，有功功率损