



26155
XIANCHANG GONGCHENGSHI CONGSHU

现场工程师丛书

功率因数调整技术

吉林省电机工程学会 编译
吉林省电力试验研究所

吉林科学技术出版社

现场工程师丛书

功率因数调整技术

吉林省电机工程学会
吉林省电力试验研究所 编译

吉林科学技术出版社

现场工程师丛书

功率因数调整技术

吉林省电机工程学会 编译
吉林省电力试验研究所

责任编辑：张允麟 刚大鹏

封面设计：杨玉中

出版 吉林科学技术出版社
发行

787×1092毫米32开本 11.375印张
247,000字

1991年5月第1版 1991年5月第1次印刷

印数：1-5000册 定价：5.00元

印刷 长春市第五印刷厂

ISBN 7-5384-0729-4/TM·6

内 容 提 要

本书包括改善功率因数的基本设想，装设电力电容器研究的要点，功率因数过补偿产生的危害，改善功率因数的实践，功率因数测量新技术，电压、无功功率控制新技术，电容器运行上的注意事项，应用电容器的节能分析等八章。综合介绍了改善功率因数方面的基本技术内容、主要经验与常用的计算公式、数据和曲线，同时概要介绍了数字式功率因数表、VQ控制系统、SVC无功补偿装置。可供电力系统、农电系统和工矿企业工程技术人员、管理人员参考使用。

本册编译的分工：第一至四章，由白世海翻译，关铭川校对，马昌祚审稿。第五八章由刘玉琦翻译，关二奎校对，任泽兑审稿。最后由刚大鹏总校并统稿。

编 辑 委 员 会

主任委员 陈溶年

副主任委员 汪礼文

委 员（按姓氏笔画为序）

丁振亚 马昌祚 王春和 关二奎 关铭川

任译兑 刚大鹏 刘曼如 宋斌成

推荐一套好丛书

日本电气书院于1985年出版一套《现场工程师丛书》。该书由日本近年发表在杂志上有学术水平和实用价值的近三百篇论文，分门别类汇集而成，内容丰富，是理论结合实际的新成果，是强电弱电互相渗透并融汇声和光等多学科的综合性论著，这是一般专业书籍和手册之类所见不到的，可以满足现代电气工程技术人员的多技能的需要。丛书分六分册。

1. 功率因数调整技术
2. 设备诊断技术
3. 电力管理技术
4. 提高效率技术
5. 系统保护和安全技术
6. 电力变换技术

书中分章节，但每篇论文是独立的，适用于发电、变电、供电和用电的设计、安装、调试、运行维护和管理等工程技术人员参考。

吉林省电机工程学会和吉林省电力试验研究所组织了精通日文的工程技术人员进行翻译，将陆续与读者见面，这是电力系统、农电系统和用电工矿企业的工程技术人员的佳音。我们认为吉林省的同志翻译和出版这套丛书是很有意义的。

推荐人 沈根才 蒙定中 霍宏烈

序 言

日本电气书院于1985年出版一套《现场工程师丛书》，共六册。1986年在北京参加图书展览后，赠送给北京图书馆，被水电部白世海同志发现，介绍给吉林省电业同行，大家看了很感兴趣，请教了有关专家。经原水电部副总工程师、中国电力企业联合会顾问沈根才，原水电部生产司供电处长蒙定中，能源部农电司副司长霍宏烈等国内资深望重专家的推荐，认为是一部好书。吉林省电机工程学会和吉林省电力试验研究所共同组织精通日文的工程技术人员进行翻译，并由编辑委员会对章节内容加以取舍，经一年多努力，现在付印，即将陆续和读者见面。

在此，我们向本书介绍人白世海同志，推荐人沈根才、蒙定中、霍宏烈等同志表示谢意。

同时，对给予本书支持和赞助的单位表示感谢：

长春市电机工程学会

吉林市电机工程学会

白城地区电机工程学会

四平市电机工程学会

辽源市电机工程学会

通化市电机工程学会

延边朝鲜族自治州电机工程学会

吉林省电力工业局和所属的科技处、用电处

吉林电力实业开发公司

由于我们水平有限，经验不足，对本书的错误或不妥之处，请读者提出意见。

《现场工程师丛书》编辑委员会

目 录

第一章 改善功率因数的基本设想	(1)
关于改善功率因数及其投资和收益	(1)
第二章 装设电力电容器研究的要点	(8)
改善功率因数用电容器装设位置的确定方法	(8)
确定改善功率因数用电容器容量的方法	(23)
电容器的投切控制及其效益	(41)
功率因数自动控制设备的应用	(58)
第三章 功率因数过补偿产生的危害	(78)
电容器的最佳容量和过补偿	(78)
功率因数100 %时应注意的要点	(91)
过补偿对电力系统、负荷设备的影响	(102)
第四章 改善功率因数的实践	(121)
改善异步电动机的功率因数	(121)
可控硅整流设备功率因数的改善	(139)
第五章 功率因数测量新技术	(150)
功率因数的简易测量技术	(150)
现场简易测量功率因数	(174)
数字功率因数表及其使用方法	(187)
第六章 电压、无功功率控制新技术	(200)
新式VQ控制系统	(200)
新型无功功率补偿装置及其应用	(211)
应用SVC补偿闪烁	(224)
第七章 电容器运行上的注意事项	(240)

消除谐波的对策.....	(240)
电容器过载、过热的对策.....	(258)
电容器的维护措施.....	(271)
电容器的保护方式.....	(288)
第八章 应用电容器的节能分析.....	(306)
关于功率因数的几点分析.....	(306)
功率因数的变化与电压的改善.....	(319)
功率因数与变压器容量的关系.....	(334)

第一章 改善功率因数的基本设想

关于改善功率因数及其投资和收益

电力用户希望有效地使用电力，提高经济效益，同时，出于国家节省能源的需要，有必要安装电容器。本文，首先论述节能与功率因数及电容器运行方式的关系。

1. 节能法与功率因数

关于节能，日本国家公布有节能法（1979年法律第49号，1979年6月公布，当年10月开始实施），其中关于减少能源损耗及合理地使电能转化为动能及热能等有如下规定：（以下是法律规定的摘抄）

○通商产业省告示467号

7. 要减少电阻等产生的能源损耗

7-1. 受电设备及配电设备管理标准

对使用电能的设备（以下简称“用电设备”）的供电管理，要根据用电设备的种类，运行状态及容量，规定出受电及配电设备的电压、电流、功率因数、负荷率及需求率的标准。

7-3 减少电能损耗的改善措施

- ①要通过调整变压器的运行台数及合理分配负荷，来维持最合理的需求率。
- ②变压器的容量应与用电容量相匹配。
- ③调整用电设备的运行方式，使工厂用电均衡化，降低高峰电流。
- ④通过合理配置受电设备和改变配电方式，使配电线路缩短，配电电压合理，以减少配电损失。
- ⑤受电端的功率因数要提高到95%以上，以此为目标，通过安装无功补偿电容

器等，提高下表所列设备（小于表中列举的容量除外）和变电设备的功率因数。

⑨无功补偿电容器要随主设备启停。

需提高功率因数的设备

设 备 名 称	容 量 kW
鼠笼式感应电动机	100
绕线式感应电动机	100
塔式感应电炉	100
槽型感应电炉	100
真空感应电炉	100
炼钢用电弧炉	—
可倾式电弧炉	—
电火花对焊机（便携式除外）	10
弧焊机（便携式除外）	10
整流设备	10 000

注：防爆型设备除外

以上是通产省告示中给出的衡量标准，关于功率因数，可由上述内容做如下规定：

①受电端的功率因数为95%以上。

②无功补偿电容器设置在受电端或负荷末端均可。

③无功补偿电容器始终投入，将会增加线路损耗，因此要求随着负载的运行和停止，控制其投入和切除。

④这里所说的受电端，是表示和电力公司的责任分界点。所以，即使用户内部的局部功率因数不佳，只要受电端功率因数较理想即可。

⑤但是，节能是主要目的，因此，有必要从减少损耗的观点去谋求改善用户局部的极端的低功率因数问题。

⑥上表中列举的设备通常是负荷容量较大、功率因数较低的，在表中单列出来是说明要作为重点予以改善。

2. 节能法与电容器的运行

为谋求合理使用电力，节能法要求电力用户受电端的功率因数应为95%以上，并力求随着负载的运行和停止，控制电容器的投入和切除。

改善功率因数可以减少电费。如图1所示，视在电流减少（ I_0 与 I_1 相比），具有减少变压器和配电线路损耗的效果。从这个观点出发，规定功率因数应为95%以上。

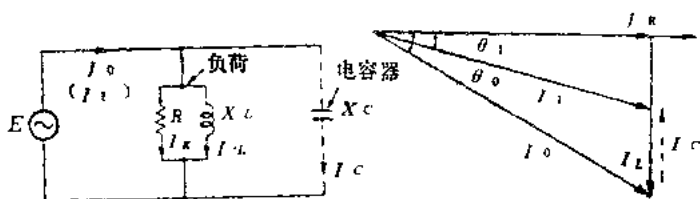


图1 改善功率因数的原理

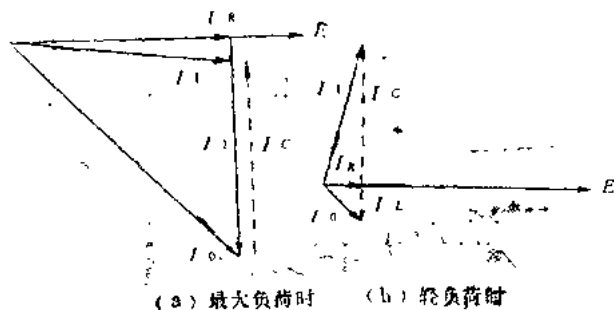


图2 使用一定容量的电容器的矢量图

下面对电容器的投切控制加以说明，图2（a）是用向

量表示的选定电容器容量在最大负荷时功率因数达到99%以上的关系图。而图2(b)则是负荷减少到最大负荷的20%，电容器仍全部投入状态时的向量图。当电容器没有投入时，电源侧流过的电流为 I_0 [A]见(b)图。而在电容器的作用下，其电流将会增加到 I_1 [A]，表明电源系统的电阻损耗增大。反之，当电容器处于切除状态，负荷增加时而电容器未能随之投入，功率因数就不能提高，不仅得不到减少电费的效益，而且也不能减少前面谈到的变压器等的损耗。因此，在节能法中，从这个观点出发，为了防止系统内的损耗增加，规定随负荷变化要控制电容器的投切。控制电容器的投切，除了减少前述的损耗之外，可以减少用户的电压变动幅度，还可以防止因轻负荷时，投入过大的无串联电抗器的电容器造成的波形畸变（主要是低次谐波）。

用户母线电压的变动主要是无功功率的影响，可通过控制电容器减少无功功率变动幅度，抑制电压的变动幅度。

随着负荷的变动，控制电容器投切的目的归结如下：

- (a) 经常保持受电端的最佳功率因数，按功率因数电价制度，降低电费；
- (b) 经常保持适宜的功率因数，减少用户的功率损耗；
- (c) 减少母线电压的变动幅度；
- (d) 防止由于轻负荷时的过补偿致使电压升高和产生高次谐波。

3. 改善功率因数的目标和投资效益

前面叙述的以改善功率因数，获得各种效益为目的安装电容器时，其投资效益成为主要问题。为此，下而对改善功

率因数目标和投资效益举例说明。

【例题】

受电输入电压	6.6kV
变压器容量	2000kVA
合同电力功率	1500kW
平均功率	1200kW
平均工作时间	200h/月
负荷功率因数	80%或者95%
改善目标功率因数	90%、95%、100%

〈减少电费的效果〉

改善前电费（功率因数80%时）

基本电费 $1200 \text{ [日元/kW]} \times 1500 \text{ [kW]} = 1\,800\,000 \text{ [日元]}$

电量电费 $10.32 \text{ [日元/kW]} \times 1200 \text{ [kW]} \times 200 \text{ [h/月]} = 2\,476\,800 \text{ [日元]}$

按功率因数电费增加 $1200 \text{ [日元/kW]} \times 1500 \text{ [kW]}$

$$\times \frac{85-80}{100} = 90\,000 \text{ [日元]}$$

合计 $4\,366\,800 \text{ [日元]}$

同样，可求得改善前功率因数为95%时的电费：

基本电费 $= 1\,800\,000 \text{ [日元]}$

电量电费 $= 2\,476\,800 \text{ [日元]}$

按功率因数电费减 $= -18\,000 \text{ [日元]}$

合计 $= 4\,096\,800 \text{ [日元]}$

改善后的电费也可同样求得：

改善后功率因数为90%时， $4\,186\,800 \text{ [日元]}$

改善后功率因数为95%时， $4\,096\,800 \text{ [日元]}$

改善后功率因数为100%时, 4 006 800 [日元]

如改善前功率因数为80%, 改善目标功率因数为90%, 则达到改善功率因数目标所需要的电容器容量: Q_c :

$$Q_c = \text{平均功率} \times \left(\sqrt{\frac{1}{\cos^2 \theta_0} - 1} - \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \theta_1} - 1} \right)$$

$$= 1200 \text{ kW} \times \left[\sqrt{\frac{1}{(0.80)^2} - 1} - \sqrt{\frac{1}{(0.90)^2} - 1} \right]$$

$$= 319 [\text{kVA}] \approx 350 [\text{kVA}]$$

用同样方法, 可以求得改善前的功率因数 80% 和 95% 时, 达到改善功率因数目标, 所需要的电容器容量以及电费减少额, 整理后如表 1 和表 2 所示。

表 1 改善功率因数目标和电费减少额及电容器容量
(改善前功率因数 80%)

改善功率因数目标 [%]	电费减少额 [日元]	电容器所需容量 [kVA]
90	180 000 (100%)	350 (100%)
95	270 000 (150%)	550 (157%)
100	360 000 (200%)	900 (257%)

注: () 内表示的是, 改善后功率因数为90%时的电费减少额以及此时电容器所需容量为100%, 改善后不同功率因数下的百分率。

表2 改善功率因数目标和电费减少额以及电容器容量
(改善前功率因数为95%)

改善功率因数目标 [%]	电费减少额 [日元]	所需电容器容量 [kVA]
100	90 000	400

在表 1 中，设改善功率因数目标为 90% 时的电费减少额和所需电容器容量为 100% 时，可以看出，所需电容器容量的增加比提高改善功率因数目标时电费减少额的增加比率大。

更进一步，取改善功率因数目标为 100% 时，对于改善前功率因数为 80% 和 95% 两种情况，虽然所需电容器容量两者相同，但后者的电费减少额较小（见表 2）。

假设电容器的价格与电容器的容量成正比，那么改善功率因数目标越接近 100%，所需要的电容器容量越大；反之，电费减少额与改善功率因数目标和改善前功率因数的差值成正比。换言之，受电功率因数越接近 100% 的电力用户，越不可能期望基本电费得到降低，投资效果就越差。因此可以说，要真正地实现节能这一目标，有必要研究制定 5~10 年这样一个长远的规划。