

无功补偿技术对低压电网功率因数的影响

杨惠

(成都铁路工程总承包有限责任公司, 四川 成都 610081)

摘要: 依据用电设备的功率因数, 可测算出输电线路的电能损失。通过现场技术改造, 可使低于标准要求的功率因数达标, 实现节能降耗的目的。分析了影响无功功率因数的因素, 根据无功补偿配置的原则, 有针对性的提出无功补偿的方法, 分析了无功补偿的作用和补偿容量的选择方法, 着重论述了低压电网和异步电动机无功补偿容量的配置。结合实际分析说明采用无功补偿技术, 提高低压电网和用电设备的功率因数, 增加设备容量储备, 提高设备效率, 减少能量损耗, 达到节能降耗的目的。

关键词: 功率因数; 因素; 无功补偿; 方法; 效益

Effects of reactive power compensation on power factors in low voltage power net

YANG Hui

(Chengdu Railway Engineering Contracting Co., Ltd, Chengdu 610081, China)

Abstract: Based on the power factor of electric power equipment, this paper figures out the energy loss of transmission line. Technical information on spot makes the lower-standard power factors reach a set standard. The influential factors which affect on reactive power are proposed and analyzed. The functions of reactive power compensation and the selection of compensation capacity are discussed, especially the capacity allocation of LV power network and asynchronous motor. Adopting reactive power compensation technology and equipment capacitance storage can enhance the power factors of LV power network and electrical equipment and equipment efficiency (ETD).

Key words: power factor; factor; reactive power compensation; method; benefit

中图分类号: TM714 文献标识码: B 文章编号: 1003-4897(2007)03-0034-03

0 前言

由于电力系统中存在各种无功消耗, 占用了系统设备容量, 造成无功损耗, 电力系统的设计和研究工作人员一直以来都致力减少无功损耗, 提高设备效率。本文从影响电网功率因数的因素着手, 提出合理措施, 借助于无功补偿设备提供必要的无功功率, 以提高系统的功率因数, 降低能耗, 改善电网电压质量, 达到补偿目的。

1 无功补偿的合理配置原则

从电力网无功功率消耗的基本状况可以看出, 各级网络和输配电设备都要消耗一定数量的无功功率, 尤以低压配电网所占比重最大。为了最大限度地减少无功功率的传输损耗, 提高输配电设备的效率, 无功补偿设备的配置, 应按照“分级补偿, 就地平衡”的原则, 合理布局。

- 1) 总体平衡与局部平衡相结合, 以局部为主。
- 2) 电力部门补偿与用户补偿相结合。

在配电网中, 用户消耗的无功功率约占50%~60%, 其余的无功功率消耗在配电网中。因此, 为了减少无功功率在网络中的输送, 要尽可能地实现就地补偿, 就地平衡, 所以必须由电力部门和用户共同进行补偿。

- 3) 分散补偿与集中补偿相结合, 以分散为主。

集中补偿, 是在变电所集中装设较大容量的补偿电容器。分散补偿, 指在配电网中分散的负荷区, 如配电线路, 配电变压器和用户的用电设备等进行的无功补偿。集中补偿, 主要是补偿主变压器本身的无功损耗, 以及减少变电所以上输电线路的无功电力, 从而降低供电网络的无功损耗。但不能降低配电网的无功损耗。因为用户需要的无功通过变电所以下的配电线路向负荷端输送。所以为了有效地降低线损, 必须做到无功功率在哪里发生,

就应在哪里补偿。所以，中、低压配电网应以分散补偿为主。

4) 降损与调压相结合，以降损为主。

2 影响功率因数的主要因素

功率因数的产生主要是因为交流用电设备在其工作过程中，除消耗有功功率外，还需要无功功率。当有功功率 P 一定时，如减少无功功率 Q ，则功率因数便能够提高。在极端情况下，当 $Q=0$ 时，则其力率=1。因此提高功率因数问题的实质就是减少用电设备的无功功率需要量。

1) 异步电动机和电力变压器是耗用无功功率的主要设备

异步电动机的定子与转子间的气隙是决定异步电动机需要较多无功的主要因素。而异步电动机所耗用的无功功率是由其空载时的无功功率和一定负载下无功功率增加值两部分所组成。所以要改善异步电动机的功率因数就要防止电动机的空载运行并尽可能提高负载率。变压器消耗无功的主要成份是它的空载无功功率，它和负载率的大小无关。因而，为了改善电力系统和企业的功率因数，变压器不应空载运行或长期处于低负载运行状态。

2) 供电电压超出规定范围也会对功率因数造成很大的影响

当供电电压高于额定值的 10% 时，由于磁路饱和的影响，无功功率将增长得很快，据有关资料统计，当供电电压为额定值的 110% 时，一般工厂的无功将增加 35% 左右。当供电电压低于额定值时，无功功率也相应减少而使它们的功率因数有所提高。但供电电压降低会影响电气设备的正常工作。所以，应当采取措施使电力系统的供电电压尽可能保持稳定。

3) 电网频率的波动也会对异步电机和变压器的磁化无功功率造成一定的影响

4) 以上论述了影响电力系统功率因数的一些主要因素，因此必须要寻求一些行之有效的、能够使低压电力网功率因数提高的一些实用方法，使低压网能够实现无功的就地平衡，达到降损节能的效果。

3 低压配电网无功补偿的方法

提高功率因数的主要方法是采用低压无功补偿技术，我们通常采用的方法主要有三种：随机补偿、随器补偿、跟踪补偿。

3.1 随机补偿

随机补偿就是将低压电容器组与电动机并接，通过控制、保护装置与电机，同时投切。随机补偿适用于补偿电动机的无功消耗，以补励磁无功为主，此种方式可较好地限制用电单位无功负荷。

随机补偿的优点是：用电设备运行时，无功补偿投入，用电设备停运时，补偿设备也退出，而且不需频繁调整补偿容量。具有投资少、占位小、安装容易、配置方便灵活，维护简单、事故率低等。

3.2 随器补偿

随器补偿是指将低压电容器通过低压保险接在配电变压器二次侧，以补偿配电变压器空载无功的补偿方式。配变在轻载或空载时的无功负荷主要是变压器的空载励磁无功，配变空载无功是用电单位无功负荷的主要部分，对于轻负载的配变而言，这部分损耗占供电量的比例很大，从而导致电费单价的增加。

随器补偿的优点：接线简单、维护管理方便、能有效地补偿配变空载无功，限制低负荷用电单位无功负荷，使该部分无功就地平衡，从而提高配变利用率，降低无功网损，具有较高的经济性，是目前补偿无功最有效的手段之一。

3.3 跟踪补偿

跟踪补偿是指以无功补偿投切装置作为控制保护装置，将低压电容器组补偿在大用户 0.4 kV 母线上的补偿方式。适用于 100 kVA 以上的专用配变用户，可以替代随机、随器两种补偿方式，补偿效果好。

跟踪补偿的优点是运行方式灵活，运行维护工作量小，比前两种补偿方式寿命相对延长、运行更可靠。但缺点是控制保护装置复杂、首期投资相对较大。但当这三种补偿方式的经济性接近时，应优先选用跟踪补偿方式。

4 无功功率补偿容量的选择方法

无功补偿容量以提高功率因数为主要目的时，补偿容量的选择分两大类讨论，即单负荷就地补偿容量的选择（主要指电动机）和多负荷补偿容量的选择（指集中和局部分组补偿）。

4.1 单负荷就地补偿容量选择的几种方法

(1) $Q_c=(1/3)P_e$ [额定容量的 1/3] 目前国内设计单位通常采用的计算公式

考虑负载率及极对数等因素，按式 (4) 选取的补偿容量，在任何负载情况下都不会出现过补

偿,而且功率因数可以补偿到0.90以上。此法在节能技术上广泛应用,对一般情况都可行,特别适用于 I_0/I_e 比值较高的电动机和负载率较低的电动机。但是对于 I_0/I_e 较低的电动机额定负载运行状态下,其补偿效果较差。

(2) 经验系数法:由于电机极数不同,按极数大小确定经验系数选择容量比较接近实际需要的电容器,采用这种方法一般在70%负荷时,补后功率因数可在0.95~0.97之间。经验系数表如下:

电机类型:一般电机,起重电机,冶金电机

极数:2, 4, 6, 8, 10

补偿容量(kvar/kw): 0.2, 0.2~0.25, 0.25~0.3, 0.35~0.4, 0.5

电机容量大时选下限,小时选上限;电压高时选下限,小时选上限。

实际测试比较准确,此法适用于任何一般感性负荷需要精确补偿的就地补偿容量的计算。

(3) 如果测试比较麻烦,可以按下式

$$Q_c \leq \sqrt{3} U_e I_0 \times 10^{-3} \text{ (kvar)}$$

$$I_0 - \text{空载电流} = 2I_e(1 - \cos \phi_e)$$

(4) 按电动机额定数据计算:

$$Q = k(1 - \cos^2 \phi_e) 3U_e I_e \times 10^{-3} \text{ (kvar)}$$

k 为与电动机极数有关的一个系数。

极数:2, 4, 6, 8

k 值:0.7, 0.8, 0.85, 0.9

4.2 多负荷补偿容量的选择

多负荷补偿容量的选择是根据补偿前后的功率因数来确定。

(1) 对已生产企业欲提高功率因数,其补偿容量 Q_c 按下式选择:

$$Q_c = K_m K_j (\text{tg } \phi_1 - \text{tg } \phi_2) / T_m$$

式中: K_m 为最大负荷月时有功功率消耗量,由有功电能表读得; K_j 为补偿容量计算系数,可取0.8~0.9; T_m 为企业的月工作小时数; $\text{tg } \phi_1$ 、 $\text{tg } \phi_2$ 意义同前, $\text{tg } \phi_1$ 由有功和无功电能表读数求得。

(2) 对处于设计阶段的企业,无功补偿容量 Q_c 按下式选择:

$$Q_c = K_n P_n (\text{tg } \phi_1 - \text{tg } \phi_2)$$

式中: K_n 为年平均有功负荷系数,一般取0.7~0.75; P_n 为企业有功功率之和; $\text{tg } \phi_1$ 、 $\text{tg } \phi_2$ 意义同前。

$\text{tg } \phi_1$ 可根据企业负荷性质查手册近似取值,也可用加权平均功率因数求得 $\cos \phi_1$ 。

多负荷的集中补偿电容器安装简单,运行可靠、利用率较高。但电气设备不连续运转或轻负荷

运行时,会造成过补偿,使运行电压抬高,电压质量变坏。因此这种方法选择的容量,对于低压来说最好采用电容器组自动控制补偿,即根据负荷大小自动投入无功补偿容量的多少,对高压来说应考虑采取防过补偿措施。

5 无功补偿的效益

在现代用电企业中,在数量众多、容量大小不等的感性设备连接于电力系统中,以致电网传输功率除有功功率外,还需无功功率。如自然平均功率因数在0.70~0.85之间。企业消耗电网的无功功率约占消耗有功功率的60%~90%,如果把功率因数提高到0.95左右,则无功消耗只占有功消耗的30%左右。所以减少了电网无功功率的输入,会给用电企业带来可观的经济效益。

1) 节省企业电费开支

提高功率因数对企业的直接经济效益是明显的,因为国家电价制度中,从合理利用有限电能出发,对不同企业的功率因数规定了要求达到的不同数值,低于规定的数值,需要多收电费,高于规定数值,可相应地减少电费。可见,提高功率因数对企业有着重要的经济意义。

2) 提高设备的利用率

对于原有供电设备来讲,在同样有功功率下,因功率因数的提高,负荷电流减少,因此向负荷传送功率所经过的变压器、开关和导线等供配电设备都增加了容量储备,从而满足了负荷增长的需要;如果原网络已趋于过载,由于功率因数的提高,输送无功电流的减少,使系统不致于过载运行,从而发挥原有设备的潜力;对尚处于设计阶段的新建企业来说则能降低设备容量,减少投资费用,在一定条件下,改善后的功率因数可以使所选变压器容量降低。因此,使用无功补偿不但减少初次投资费用,而且减少了运行后的基本电费。

3) 降低系统的能耗

补偿前后线路传送的有功功率不变, $P = IU \cdot \cos \phi$,由于 $\cos \phi$ 提高,补偿后的电压 U_2 稍大于补偿前电压 U_1 ,为分析问题方便,可认为 $U_2 \approx U_1$ 从而导出 $I_1 \cos \phi_1 = I_2 \cos \phi_2$ 。即 $I_1/I_2 = \cos \phi_2 / \cos \phi_1$,这样线损 P 减少的百分数为:

$$\Delta P\% = (1 - I_2^2 / I_1^2) \times 100\% =$$

$$(1 - \cos^2 \phi_1 / \cos^2 \phi_2) \times 100\%$$

(下转第60页 continued on page 60)

平台在开发的过程中已经进行了充分的考虑,所以能够满足这些复杂情况的要求。

现场运行表明,通信网关规约转换平台的通用性比较好,能够适应目前各个二次设备厂家的多种设备的通信。

参考文献

- [1] 赵祖康,徐石明.变电站自动化技术综述[J].电力自动化设备,2000,11(3):38-42.
ZHAO Zu-kang,XU Shi-ming.Summarizing of Substation Automation Technology[J].Electric Power Automation Equipment,2000,11(3):38-42.
- [2] 任雁铭,操丰梅,秦立军,等.基于嵌入式以太网的变电站自动化系统通信网络[J].电力系统自动化,2001,17(8):36-38.
REN Yan-ming,CAO Feng-mei,QIN Li-jun,et al. Substation Automation System Communication Network Basing of Embedded Ethernet[J].Automation of Electric Power Systems,2001,17(8):36-38.
- [3] DL/T667-1999. 远动设备及系统 第5部分:传输规约 第103篇 继电保护设备信息接口配套标准[M].北京:中国电力出版社,1999.
DL/T667-1999. IEC 60870-5-103:1997 Telecontrol Equipment and Systems Part 5:Transmission Protocols

Section 103 Companion Standard for the Information Interface of Protection Equipment[M].Beijing: China Electric Power Press,1999.

- [4] DL/T634.5104-2002. 远动设备及系统 第5-104部分:传输规约采用标准传输协议子集的IEC60870-5-101网络访问[M].北京:中国电力出版社,2002.
DL/T634.5104-2002.idt IEC 60870-5-104:2002 Telecontrol Equipment and Systems Part 5:Transmission Protocols Section 104 Network Access for IEC 60870-5-101 Using Standard Transport Profiles [M].Beijing: China Electric Power Press,2002.
- [5] 邹思轶.嵌入式Linux设计与应用[M].北京:清华大学出版社,2002.
ZOU Si-yi. Designs and Applications of Embedded Linux[M].Beijing: Tsinghua University Press,2002.

收稿日期:2006-05-24; 修回日期:2006-11-01

作者简介:

徐云松(1972-),男,硕士,研究方向为电力系统通信;E-mail:yunsongx@xjgc.com

崔占平(1973-),女,工程师,研究方向为测控技术;

徐冰(1967-),女,工程师,研究方向为计算机应用技术。

(上接第36页 continued from page 36)

当功率因数从0.70~0.85提高到0.95时,由式(2)可求得有功损耗将降低20%~45%。

4) 改善电压质量

以线路末端只有一个集中负荷为例,假设线路电阻和电抗为 R 、 X ,有功和无功为 P 、 Q ,则电压损失 ΔU 为:

$$\Delta U = (P_R + Q_X) / U_e \times 10^{-3} (\text{kV})$$

两部分损失: $P_R / U_e \rightarrow$ 输送有功负荷 P 产生的;

$Q_X / U_e \rightarrow$ 输送无功负荷 Q 产生的。

配电线路: $X = (2 \sim 4) R$, ΔU 大部分为输送无功负荷 Q 产生的。

变压器: $X = (5 \sim 10) R$ $Q_X / U_e = (5 \sim 10) P_R / U_e$ 变压器 ΔU 几乎全为输送无功负荷 Q 产生的。

可以看出,若减少无功功率 Q ,则有利于线路末端电压的稳定,有利于大电动机的起动。因此,无功补偿能改善电压质量(一般电压稳定不宜超过3%)。但是如果只追求改善电压质量来装设电容器是很不经济的,对于无功补偿应用的主要目的是改善功率因数,减少线损,调压只是一个辅助作用。

5) 三相异步电动机通过就地补偿后,由于电流的下降,功率因数的提高,从而增加了变压器的容量,计算公式如下:

$$\Delta S = P / \cos \phi_1 \times [(\cos \phi_2 / \cos \phi_1) - 1]$$

如一台额定功率为155 kW水泵的电机,补前功率因数为0.857,补偿后功率因数为0.967,根据上面公式计算其增容量为:

$$(155 \div 0.857) \times [(0.967 \div 0.857) - 1] = 24 (\text{kVA})$$

6 结论

文中集中探讨了无功补偿技术对用电单位的低压配电网的影响以及提高功率因数所带来的经济效益和社会效益,介绍了影响功率因数的主要因素和提高功率因数的方法,讨论了如何确定无功功率的补偿容量,确保补偿技术经济、合理、安全可靠,达到节约电能的目的。

收稿日期:2006-11-03; 修回日期:2006-12-13

作者简介:

杨惠(1971-),男,本科,工程师,从事工程技术管理。
E-mail:cdyanghui@163.com