

Analysis on Reducing Power-Factor-Adjusted Electricity for High-Voltage Power Customers

Aifang WANG¹, Jibin CHEN², Meng KANG³

¹ Department of Electric Charge Administration, Zhengzhou Power Supply Company, 9# Huaihe Rd., Zhengzhou, Henan, 450006;

² College of Electric and Information Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Henan Zhengzhou, 450002;

³ Air Defense Force Command Academy, Zhengzhou, Henan, 450006

Email: fangfang5077@163.com

Abstract: At present, reactive power compensation technology has been widely used, but there are still some electricity customers to pay higher power-factor-adjusted electricity just because of unqualified power factor. In response to this phenomenon, power-factor-adjusted electricity calculation method and reactive power compensation principle are analyzed at first, then the relationship between reactive power compensation level in high-voltage side measurement and lower-voltage side measurement when power is located in high side of transformers and electricity adjustment based on power factor is presented. After power-factor-adjusted electricity in the case of ideal compensation state is studied, the main methods decreasing power-factor-adjusted electricity in two different ways of measuring are recommended.

Keywords: reactive power compensation; power-factor-adjusted electricity; high-voltage side measurement; lower-voltage side measurement

高压电力客户降低力调电费支出方法分析⁽¹⁾

王爱芳¹, 陈继斌², 康猛³

¹ 郑州供电公司电费管理中心, 河南郑州, 中国, 450006;

² 郑州轻工业学院电气信息工程学院, 河南郑州, 中国, 450002;

³ 防空兵指挥学院, 河南郑州, 中国, 450006

Email: fangfang5077@163.com

摘要: 在当前无功补偿技术已经普及的情况下, 仍有部分电力客户因为功率因数不合格使力调电费支出较高, 针对这一现象, 本文从力调电费的计算方法和无功补偿原理入手, 分别分析了高压侧计量和低压侧计量两种不同计量方式下的无功补偿水平与功率因数调整电费的关系, 并对理想补偿状态下的力调电费支出进行了分析, 进而提出了电力客户在两种不同的计量方式下降低力调电费支出的主要方法。

关键词: 无功补偿; 功率因数调整电费; 高压侧计量; 低压侧计量

1. 引言

“力调电费”是供电企业根据原水利电力部、国家物价局下发的《功率因数调整电费办法》和客户当月平均功率因数对客户当月电费的增减电费。如果客户平均功率因数低于标准值, 就按规定百分比增加当月电费; 如果客户平均功率因数高于标准值, 就按规定百分比减少当月电费。实行功率因数调整电费的目的是为了督促客户提高用电功率因数, 减少供用电损失和用电设备的工作效率。

目前无功补偿技术已经得到普及, 很多客户因为功

率因数较高得以减少电费, 节约了电费支出; 但同时仍有部分高压客户因为功率因数低于标准值而使电费增加, 有的增加比例甚至超过了百分之百, 而这些客户大部分都是低侧压计量方式, 且力调电费较高时的用电量较小或为零。基于此, 笔者从功率因数调整电费的计算方法和无功补偿原理入手, 在分析影响客户力调电费因素的基础上, 提出了客户减少力调电费支出所应采用的方法。

2. 高压客户功率因数调整电费的计算方法

高压客户功率因数调整电费的计算方法如图 1 所示。

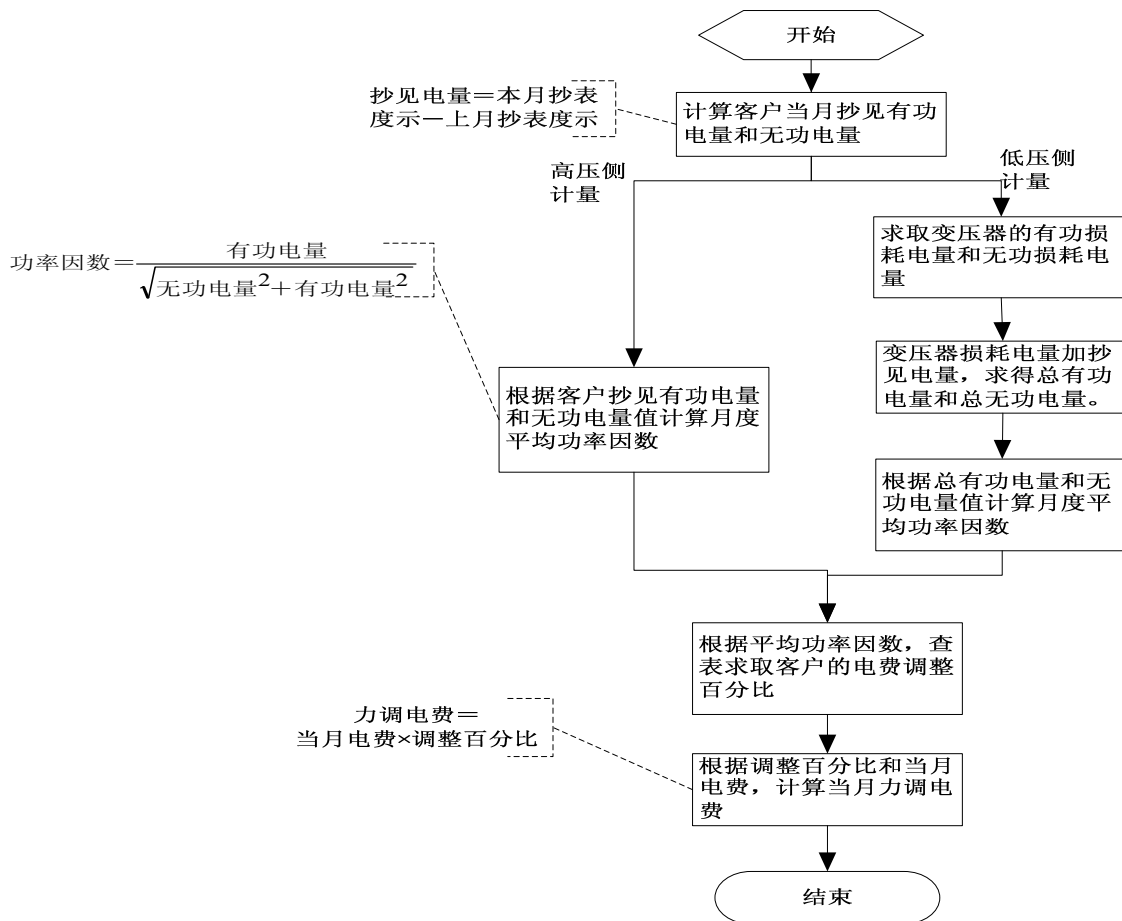


Figure 1. Schematic diagram of power-factor-adjusted electricity calculation

图 1 功率因数调整电费计算示意图.

3. 高压侧计量方式下无功补偿水平与功率因数调整电费的关系

高压侧计量是指电能计量装置安装在变压器的高压侧，如图 2 所示。由图可见，此方式下电能计量装置能够同时记录客户用电设备和用电变压器从电网吸取的无功电能，以及无功补偿设备可能倒送至电网的无功电量。

图中补偿设备电容器发出的无功功率为 Q_c ，用电设备所需无功功率为 $Q_{f1} + Q_{f2}$ ，配电变压器所需无功功率为 Q_b ，配电变压器供给的有功功率和无功功率分别为 P_w 和 Q_w ，显然它们之间的关系满足 $Q_c + Q_w = Q_b + Q_{f1} + Q_{f2}$ 。

若无补偿，即 $Q_c = 0$ ，则 $Q_w = Q_b + Q_{f1} + Q_{f2}$ ，电网的功率因数较低，同时电网的有功损耗较大。如果 $Q_c = Q_b + Q_{f1} + Q_{f2}$ ，则 $Q_w = 0$ ，显然对电网来说这是一种

理想的补偿水平，我们称之为理想补偿状态。

调整电费用的月平均功率因数计算公式可用式 1 所示。

$$\cos \phi_{av} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad (1)$$

其中， $\cos \phi_{av}$ ——月平均功率因数； P ——抄见有功电量； Q ——抄见无功电量。

高压侧计量方式下，由图 2 可知 $P = P_w$ 、 $Q = Q_w$ ，理想补偿状态时 ($Q_w = 0$)，有

$$\cos \phi_{av} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = \frac{P_w}{\sqrt{P_w^2 + Q_w^2}} = \frac{P_w}{P_w} = 1$$

根据《功率因数调整电费办法》，假设客户的功率因数考核标准为 0.90，查表可知，此种情况下可减收费额度最大，为当月所收电费的 0.75%，显然这对客户来讲是一种最理想的补偿状态，能使客户最大程度地减少电费支出，同时也使电网供应的无功电力达到最少。

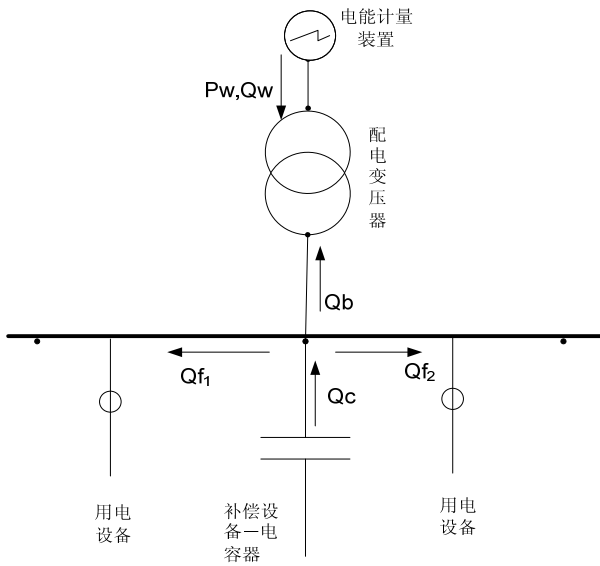


Figure 2. Schematic diagram of high-voltage side measurement

图 2 高压侧计量示意图

4. 低压侧计量方式下无功补偿水平与功率因数调整电费的关系

低压侧计量是指电能计量装置装设在变压器的低压侧，如图 3 所示。

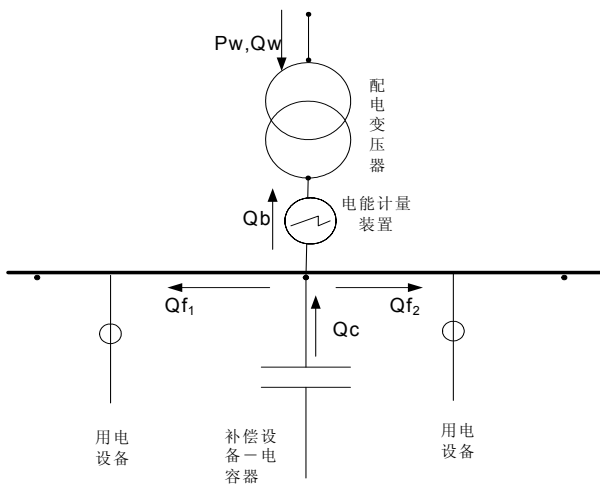


Figure 3. Schematic diagram of lower-voltage side measurement

图 3 低压侧计量示意图

由图可知，电能计量装置所记录的是客户用电设备消耗的电能以及补偿设备送到变压器低压侧的无

功电量，但不能记录变压器的损耗电量。调整电费用的平均功率因数的计算公式可用式 2 表示。

$$\cos \phi_{av} = \frac{P + \Delta P}{\sqrt{(P + \Delta P)^2 + (Q + \Delta Q)^2}} \quad (2)$$

其中 ΔP 、 ΔQ ---变损有功电量和变损无功电量

理想补偿状态下，即 $Q_C = Q_b + Q_{f1} + Q_{f2}$ 时，若 P_{LD} 为用电设备实际消耗的有功电量； Q_+ 为正向无功抄见电量； Q_- 为反向无功抄见电量。

则有 $P = P_{LD}$ (不含变损电量)； $Q_+ = 0$ ； $Q_- = -\Delta Q$

根据《功率因数调整电费办法》的规定，“应按倒送的无功电量与实际用无功电量两者的绝对值之和，计算月平均功率因数”，公式中的抄见无功电量为：

$$Q = Q_+ + |Q_-| = 0 + |Q_-| = Q_- = \Delta Q \quad (3)$$

将式 3 代入式 2，可得调整电费用的平均功率

$$\text{因数为: } \cos \phi_{av} = \frac{P + \Delta P}{\sqrt{(P + \Delta P)^2 + (2\Delta Q)^2}}$$

由于一般情况下，变损无功电量远大于变损有功电量，即 $\Delta Q \gg \Delta P$ ，则 $\cos \phi_{av} < 1$ ，对用户而言，不能达到最好的水平，这是因为无功补偿设备供应给配电变压器的无功电量，被作为客户倒送电网的无功电力参与了功率因数计算。显然，在低压侧计量方式下，如果客户无功补偿设备发出的无功电力正好满足供用电设备的无功消耗，将使电网供应的无功电力达到最少（为零），但客户却不能最大程度地减少力调电费支出。

5. 客户减少力调电费支出的方法

5.1 高压侧计量客户减少力调电费支出的主要措施

高压侧计量客户减少力调电费支出的最有效的方法，就是控制补偿容量，使无功补偿设备发出的无功电力最大可能地接近供用电设备（包括变压器）消耗的无功电力，避免过补偿或补偿容量明显不足。

5.2 低压侧计量客户减少力调电费支出的主要措施

5.2.1 将补偿容量控制在与用电设备的无功消耗最接近的水平

由前面的分析可知，抄见反向无功电量的存在，降低了平均功率因数。因此，客户应将补偿容量控制

在与用电设备需求相当的水平，不必考虑变压器的无功损失补偿。

5.2.2 合理控制生产，避免用电量过低

由式 2 可知，低压侧计量客户在抄见电量较少的情况下，平均功率因数将受到变损电量的极大影响，若抄见电量为 0，平均功率因数将完全取决于变损电量，这将使客户的功率因数很低。

以客户装设一台 S7-315 型变压器为例（变压器参数：空载无功损耗 $\Delta Q_0 = 3679k \text{ var h}$ ，空载有功损耗 $\Delta P_0 = 611kwh$ ，无功负载损失比例 $\Delta Q_{LD}\% = 2.8\%$ ，有功负载损失率 $\Delta P_{LD}\% = 1.2\%$ ）。

如果 $P = 0$ ，要使式 2 中的 $\cos \phi_{av}$ 取得最大值，则 $Q = 0$ ，此时根据公式 2，有 $\cos \phi_{av} = \frac{0+611}{\sqrt{(0+611)^2 + (0+3679)^2}} = 0.16$ ，查表可知，力调电费比例将为 +113%。

因此，客户要有一定的用电量，才能使功率因数保持在较高的水平。设客户功率因数考核标准为 0.90，则客户功率因数达到 0.95 时，将享受最大的电费减少比例。

根据公式法求取变损，有 $\Delta P = \Delta P_0 + P \times \Delta P_{LD}\%$ ， $\Delta Q = \Delta Q_0 + P \times \Delta Q_{LD}\%$ ，要使式 2 中的 $\cos \phi_{av}$ 达到最好水平 (0.95-1.0)，则取 $Q = 0$ ，即理想的补偿状态。此时

$$\cos \phi_{av} = \frac{P + \Delta P}{\sqrt{(P + \Delta P)^2 + (Q + \Delta Q)^2}} = \frac{P + \Delta P}{\sqrt{(P + \Delta P)^2 + \Delta Q^2}}$$

$$= \frac{P + (\Delta P_0 + P \times \Delta P_{LD}\%)}{\sqrt{(P + \Delta P_0 + P \times \Delta P_{LD}\%)^2 + (\Delta Q_0 + P \times \Delta Q_{LD}\%)^2}}$$

则有：

$$\cos \phi_{av} = \frac{611 + 1.012P}{\sqrt{(611 + 1.012P)^2 + (3679 + 0 + 0.028P)^2}} = 0.95$$

得出： $P = 11418 \text{ kwh}$ ，即客户用电量至少要达到 11418kwh，才能使功率因数达到 0.95。相当于变压器满负荷运行约 40 小时，正常情况下这样的用电量，是比较容易达到的。

由此得出结论，低压侧计量客户要想最大限度地

降低力调电费支出，就要在合理控制补偿容量的同时，合理安排生产，避免用电量过低。变压器长时间空载时应及时办理报停手续，避免无谓的电量损耗和功率因数调整电费支出。

5.2.3 调整力调电费的计算方法

除了客户加强自身管理之外，应考虑调整功率因数算法，将反向无功电量扣除补偿给变压器的无功损耗之后再行计算，便可在电网供给客户无功电力最小的情况下，使客户的力调电费支出也降到最低，更有利于激励客户全面治理功率因数。

6. 结束语

无功功率就地补偿对提高电网功率因数有着十分重要的意义，只要供用电双方紧密配合与努力，使客户科学进行无功功率管理，提高用电功率因数，从而提高电网功率因数，就能最大程度的降低电网运营成本 and 客户的生产成本，促进供用电双方的共赢发展。

References (参考文献)

- [1] ZHAO Cai-hong, TANG Yin-sheng, The 4 Key Problems of Energy Saving and Loss Reducing for Power Grid[J], ELECTRICAL EQUIPMENT, 2007, 8(7), 14-18
赵彩虹, 唐寅生. 电网降损节能面临的四大问题[J], 电力设备, 2007, 8(7), 14-18
- [2] LI Xiaoming, LOU Ying, YIN Xianggen, etc., Reactive Power Compensation and Energy-saving in Distribution System of Industry Enterprises[J], HIGH VOLTAGE ENGINEERING, 2006, 36(6), 116-118
李晓明, 娄颖, 尹项根等. 工业企业供用电系统无功补偿与节电[J], 高电压技术, 2006, 36(6), 116-118
- [3] WANG Zheng-feng, XU Xian-yong. A Brief Discussion on Reactive Power Optimization and Compensation in Power System[J], EAST CHINA ELECTRIC POWER, 2002(11): 13-15
王正风, 徐先勇. 浅谈电力系统的无功优化和无功补偿[J], 华东电力, 2002(11): 13-15
- [4] HU Hai-yan, LIU Jian, WU Xiao-meng. Optimal placement of automatic reactive compensation equipment on the low voltage side of distribution transformers[J], RELAY, 2004, 32(19), 21-25
胡海燕, 刘健, 武晓滕. 配电网低压侧自动无功补偿装置安装位置的优化规划[J], 继电器, 2004, 32(19), 21-25
- [5] CHEN Zong-mu. Transformer Principles and Applications[M]. Changsha: Hunan University Press, 1987
陈宗穆. 变压器原理与应用[M]. 长沙: 湖南大学出版社, 1987
- [6] LU An-ding. Power substation and power system reactive power[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2003
陆安定. 发电厂变电所及电力系统的无功功率[M]. 北京: 中国电力出版社, 2003