

文章编号:1671-6833(2010)06-0112-04

无功补偿后工厂内部供电线路降低电耗的计算

杨育霞¹, 侯海森²

(1. 郑州大学 电气工程学院, 河南 郑州 450001; 2. 郑州中法原水有限公司, 河南 郑州 450045)

摘 要: 分析了在保证电力部门规定的高压供电的工业用户无功补偿要求的前提下进一步节能降耗的必要性和可行性, 以郑州中法原水有限公司的一泵站5台三相鼠笼式异步电动机机旁低压侧进行分散无功补偿为研究对象, 推导出了低压侧补偿后的电流计算公式, 提出了一套实用的以电流为基本变量的供电线路的节能降耗计算方法. 利用此方法计算无功补偿后公司内部供电线路降低的电耗, 为公司提供了可靠的无功补偿投资决策依据.

关键词: 无功补偿; 功率因数; 有功电流; 无功电流

中图分类号: TM714

文献标识码: A

0 引言

目前, 通过并联电容器补偿供电系统的无功功率, 是提高功率因素和改善电压质量的有效途径之一, 合理计算无功补偿后的节能效果是企业面临的实际问题. 随着国家节能减排政策的大力推广, 对采用无功补偿装置进行节能降耗, 改善电压质量等方面的作用已得到电力用户的重视^[1-4]. 但由于整个行业缺乏切实可行的节能降耗的计算方法, 企业要达到节电的效果还存在很大困难. 因此, 迫切需要一套针对企业实用的节能降耗的计算方法.

郑州中法原水有限公司在一泵站5台380 V三相鼠笼式异步电动机机旁没有采取无功补偿措施前, 变电所10 kV高压配电柜的功率因数显示为0.93, 已经达到了电力部门规定的高压供电的工业用户必须保证用电率在0.9以上的要求. 2008年初, 郑州中法原水有限公司为了降低生产成本, 想尽一切办法节能降耗, 拟定在其一泵站低压分散补偿, 但补偿后每年为公司节约多少电能, 是个未知数. 公司要求在进行无功补偿前必须算出无功补偿后每年为公司节电的度数, 把无功补偿投资资金与每年的节电资金相比之后, 决定是否进行无功补偿. 然而无功补偿后在企业内部降低多少电能, 目前还没有现成的计算方法. 笔者以

有功电流、无功电流和电流3个相量之间的关系为突破点, 利用有关的理论, 推出了实用的计算公式, 归纳了一整套计算方法. 算出了无功补偿后本公司内部补偿区每年总的节约电能数值, 为公司提供可靠的无功补偿决策依据.

公司一泵站厂内供电线路如图1所示. 厂内补偿区包括厂10 kV架空线路、变压器、变压器低压侧供电线路.

变压器低压侧5台Y355L1-12型号三相鼠笼式异步电动机的技术数据为: 额定电流267 A, 额定功率110 kW, 频率50 Hz, Δ 接法, 额定电压380V, 绝缘等级F, 负荷电流267A.

S7-1250/10型变压器的技术数据为: 容量1250 kVA, 阻抗电压4.86, 变比10/0.4, 高压侧额定电流72.2 A, 低压侧额定电流1804 A, 连接组标号Y, yn0.

1 无功补偿后公司内部供电线路降低电耗的计算

供电线路的电流是节能降耗计算的关键变量, 但目前还没有一个以电流为基本变量计算节能降耗的整套方法. 因此笔者提出基于电流的一套切实可行的节能降耗计算途径.

下面是郑州中法原水有限公司无功补偿后在

收稿日期: 2010-03-21; 修订日期: 2010-06-13

基金项目: 河南省教育厅自然科学研究计划项目(2008A470010)

作者简介: 杨育霞(1956-), 女, 河南郑州市人, 郑州大学教授, 主要从事电气工程和信号处理方面的研究, E-mail: yangyx@zzu.edu.cn.

其内部供电线路降低电耗的计算过程(郑州中法原水有限公司一泵站几乎都是每天开5个水泵机组且运行8 h,因此都按此运行方式计算)。

1.1 变压器低压侧的节能降耗计算

变压器低压侧有5台电动机,拟采用就地分散无功补偿方式,5组电容器分别与电动机并联连接,如图1所示。

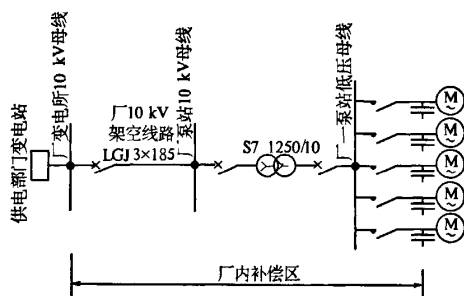


图1 公司一泵站厂内供电线路

Fig.1 In a company pumping station factory supply line

1.1.1 无功补偿后变压器低压侧的电流计算公式

图2是无功补偿前后变压器低压侧单个电动机支路的电流相量图。 \dot{I}_{s1} 是补偿前的电流相量, \dot{I}_{Q1} 是 \dot{I}_{s1} 的无功分量, \dot{I}_P 是 \dot{I}_{s1} 的有功分量, \dot{I}_{s2} 是补偿后的电流相量, \dot{I}_{Q2} 是 \dot{I}_{s2} 的无功分量, \dot{I}_{s2} 的有功分量仍是 \dot{I}_P , \dot{I}_{QC} 是电容电流相量, ϕ 是补偿前的功率因数角。从图2可以看到

$$I_{s2} = \sqrt{I_P^2 + I_{Q2}^2} \quad (1)$$

将 $I_{Q2} = I_{Q1} - I_{QC}$, $I_{s1}^2 = I_{Q1}^2 + I_P^2$, $I_{Q1} = I_{s1} \sin \phi$ 代入式(1)得

$$\begin{aligned} I_{s2} &= \sqrt{I_P^2 + (I_{Q1} - I_{QC})^2} \\ &= \sqrt{I_P^2 + I_{Q1}^2 + I_{QC}^2 - 2I_{QC}I_{Q1}} \\ &= \sqrt{I_{s1}^2 + I_{QC}^2 - 2I_{QC}I_{s1} \sin \phi} \end{aligned}$$

即无功补偿后变压器低压侧单个电动机支路开关上流过的电流计算公式为

$$I_{s2} = \sqrt{I_{s1}^2 + I_{QC}^2 - 2I_{QC}I_{s1} \sin \phi} \quad (2)$$

式(2)中的变量 I_{s1} 可以实测得到, I_{QC} 和 ϕ 可以通过计算很容易得到,因此式(2)是一个很实用的公式。如果有 n 台电动机,则利用式(2)就可以快捷准确地计算整个无功补偿后变压器低压侧的电流,即

$$I_{ns2} = \sqrt{\sum_{k=1}^n (I_{s1k}^2 + I_{QCk}^2 - 2I_{QCk}I_{s1k} \sin \phi_k)} \quad (3)$$

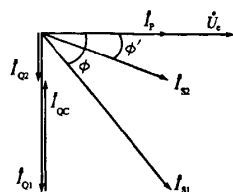


图2 补偿前后变压器低压侧电流相量图

Fig.2 Around the compensation the transformer low pressure side electric current measures the chart

1.1.2 每台电动机的 I_{QC} 和 ϕ 计算^[5]

用功率因数表直接测出功率因数。此种方法只要保证功率因数表电压、电流回路接线正确,就能测出准确的功率因数。经测试,5台电动机的功率因数分别为 $\cos \phi_1 = 0.73$, $\cos \phi_2 = 0.75$, $\cos \phi_3 = 0.75$, $\cos \phi_4 = 0.75$, $\cos \phi_5 = 0.76$ 。

为了计算方便,每台电动机的功率因数均取0.75。所以补偿前的功率因数角 $\phi = \arccos 0.75 = 41^\circ 24'$ 。

若使每台电动机的功率因数由0.75提高到0.92,应补偿的无功功率为

$$Q_C = \alpha p_{js} (\tan \phi - \tan \phi') = \alpha p_{js} \Delta q_c$$

$$= 0.75 \times 110 \text{ kW} \times 0.48 \text{ kvar/kW} = 39.6 \text{ kvar}$$

其中, α 为负荷系数, p_{js} 为计算负荷,kW, Δq_c 为补偿容量,kvar/kW。

故选电容器的型号为BSM J0.4-40-3。

电容器的额定电流为

$$I_{QC} = \frac{Q_C}{\sqrt{3} U_e} = \frac{40 \text{ kvar}}{1.732 \times 0.4 \text{ kV}} = 57.74 \text{ A}$$

1.1.3 变压器低压侧的节能降耗计算

无功补偿前变压器低压侧的电流 $I_{s1} = 5 I_s$,将 I_{s1} (每台电动机低压配电柜上无功补偿前显示的电流)=267 A代入,得 $I_{s1} = 1335 \text{ A}$ 。

根据式(3)无功补偿后变压器低压侧的电流

$I_{s2} = 5 \sqrt{I_{s1}^2 - 2I_{s1} \sin \phi I_{QC} + I_{QC}^2}$,将 I_{s1} , $\sin \phi$, I_{QC} 式代入(3),得 $I_{s2} = 1164 \text{ A}$ 。

无功补偿前变压器低压侧的每月电能损耗 $W_1 = 3 I_{s1}^2 R_{t1}$,将 I_{s1} 、低压侧等效电阻 $R = 0.0025 \Omega$ 、每月5台电动机的运行时间 $t_1 = 8 \text{ h} \times 30 = 240 \text{ h}$ 代入,得 $W_1 = 3280 \text{ kWh}$ 。

无功补偿后变压器低压侧的每月电能损耗 $W_2 = 3 I_{s2}^2 R_{t1}$,将 I_{s2} , R , t_1 代入,得 $W_2 = 2439 \text{ kWh}$ 。

无功补偿后低压侧每年节约电能

$$W_3 = (W_1 - W_2) \times 12 = 9228 \text{ kWh}$$

1.2 变压器的节能降耗计算

空载时总的无功功率损耗^[5,7]

$$\Delta Q_0 = \frac{I_0/100}{100} S_e \quad (4)$$

总的短路无功功率损耗^[5,7]

$$\Delta Q_d = \frac{U_d/100}{100} S_e \quad (5)$$

装电容器前变压器的负荷^[8]

$$S_1 = \frac{S_e \times I_{ss1}}{I_e} \quad (6)$$

装电容器后变压器的负荷^[8]

$$S_2 = \frac{S_e \times I_{ss2}}{I_e} \quad (7)$$

查变压器技术数据表^[6]得短路功率空载电流 $I_0/100 = 1.4$, 阻抗电压 $U_d/100 = 4.86$. 将 I_{ss1} , I_{ss2} , I_e 代入式(4)~(7), 得

$$\Delta Q_0 = 17.5 \text{ kvar}, \Delta Q_d = 60.75 \text{ kvar}, S_1 = 925 \text{ kVA}, S_2 = 807 \text{ kVA}$$

装电容器前变压器的电能损耗^[7-8]

$$\Delta P_1 = (\Delta P_0 + C\Delta Q_0) + (\Delta P_d + C\Delta Q_d) \left(\frac{S_1}{S_e} \right)^2 \quad (8)$$

查变压器技术数据表^[6]得 $\Delta P_d = 13.8 \text{ kW}$, 空载功率 $\Delta P_0 = 2.2 \text{ kW}$. C 是无功功率的经济当量系数^[7], 取 0.08 kW/kvar . 将 ΔP_0 , C , ΔQ_0 , ΔP_d , ΔQ_d , S_1 , S_e 代入(8)式, 得 $\Delta P_1 = 13.82 \text{ kW}$. 装电容器后变压器的电能损耗^[7-8]

$$\Delta P_2 = (\Delta P_0 + C\Delta Q_0) + (\Delta P_d + C\Delta Q_d) \left(\frac{S_2}{S_e} \right)^2 \quad (9)$$

将 ΔP_0 , C , ΔQ_0 , ΔP_d , ΔQ_d , S_2 , S_e 代入(9)式, 得 $\Delta P_2 = 11.38 \text{ kW}$. 则

$$\Delta P = \Delta P_1 - \Delta P_2 = 2.44 \text{ kW}$$

因此变压器每年可节约电能为

$$W_4 = 8 \times 30 \times 12 \times \Delta P = 7027 \text{ kWh}$$

1.3 厂内 10 kV 高压架空线节能降耗计算

5 台电动机无功补偿前变压器高压侧电流^[8]

$$I_{G1} = \frac{I_{1e} \times I_{ss1}}{I_{2e}} \quad (10)$$

无功补偿后变压器高压侧电流^[8]

$$I_{G2} = \frac{I_{1e} \times I_{ss2}}{I_{2e}} \quad (11)$$

将 I_{1e} , I_{ss1} , I_{ss2} , I_{2e} 分别代入(10)、(11)两式, 得 $I_{G1} = 53.43 \text{ A}$, $I_{G2} = 46.59 \text{ A}$.

厂内 10 kV 高压架空线是 $3 \times 185 \text{ mm}^2$ 的钢芯铝绞线, 其长度为 3 km.

高压架空线单根电阻

$$r = 0.1542 \Omega/\text{km} \times 3 \text{ km} = 0.4626 \Omega$$

无功补偿前一年电能损耗 $W_5 = 3I_{G1}^2 r t_2$, 将 I_{G1} , r , t_2 (每年 5 台电动机的运行时间) 代入, 得 $W_5 = 11410 \text{ kWh}$.

无功补偿后一年电能损耗 $W_6 = 3I_{G2}^2 r t_2$. 将 I_{G2} , r , t_2 代入, 得 $W_6 = 8676 \text{ kWh}$.

无功补偿后一年节约电能 $W_7 = W_5 - W_6 = 2734 \text{ kWh}$.

1.4 厂区内每年节约总电能

郑州中法原水有限公司在其一泵站就地补偿后在厂内补偿线路上一年可共降低电耗为

$$W = W_3 + W_4 + W_7 = 18989 \text{ kWh}$$

经计算, 此无功功率补偿工程需投入的资金在 1 年之内就能全部收回. 因此公司决定进行就地无功补偿.

2 结束语

用容性的无功功率来补偿感性的无功功率, 除了降低线路电能损耗和提高功率因数后能够得到供电部门的奖励外, 还可以减少线路的电压损耗和提高供电系统的供电能力.

笔者提出了一整套利用电流作为基本变量计算节能降耗的方法. 此计算方法不仅适用于中低压配电系统, 也适用于整个电力系统节能降耗的计算.

企业无功补偿后对工厂内部供电线路的节能效果评价时, 首先找出自己内部的无功补偿区域, 灵活运用该计算方法, 节能数值就会呈现出来.

参考文献

- [1] 张润果. 浅谈低压电容器无功补偿技术及其经济性[J]. 科技情报开发与经济, 2010, 20(11): 190-191.
- [2] 王培波. 从节能角度谈低压无功补偿装置应注意的问题[J]. 电力电容器与无功补偿, 2010, 31(2): 18-20.
- [3] 张婉琳, 蒋松辉. 无功补偿对节能的意义[J]. 应用能源技术, 2007, 9(1): 39-41.
- [4] 金立军, 安世超, 廖黎明, 王永鑫, 陆干文. 国内外无功补偿研发现状与发展趋势[J]. 高压电器, 2008, 44(5): 463-465.
- [5] 成都无线电机械学校. 工厂供电[M]. 北京: 机械工业出版社, 1978: 10-33.
- [6] 电力工业西部电力设计院. 电力工程电气设备手册[M]. 北京: 中国电力出版社, 1998: 399-400.
- [7] 北京供电局用电管理处. 实用电工问答[M]. 北

京:水利电力出版社,1982.

2004,9(1):37-38.

[8] 侯海森.谈变压器的经济运行[J].安阳大学学报,

Calculation of Reduced Power Consumption of Enterprise Internal Power Supply Lines using Reactive Power Compensation

YANG Yu-xia¹, HOU Hai-sen²

(1. College of Electric Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. Zhongfa Raw Water Co. Ltd. Company, Zhengzhou 450045, China)

Abstract: The necessity and feasibility of the further reduction of power consumption with the reactive power compensation mandated by power administrative department for industry consumer of high-voltage power is presented in this paper. After analyzing the distributed var-power compensation of low voltage sides of 5 three-phase squirrel-age induction motors owned by one pump station of Zhengzhou ZHONGFA raw-water Co. Ltd, a formula of electric current using power compensation of low-voltage side is given. Using the proposed basic variables of electric current, this work therefore gives a practical solution to calculate the reduced power consumption of electricity supply. The proposed solution, calculating the reduced power consumption of enterprise internal power supply lines with the reactive power compensation, provides the enterprise a reliable investment decision for making basis for reactive power compensation.

Key words: reactive power compensation; power factor; active current; reactive current; apparent power

(上接第111页)

[10] 薛定宇. 控制系统计算机辅助设计——MATLAB 语言与应用[M]. 2版. 北京:清华大学出版社,2006: 260-275.

2007,34(1):71-73.

[11] 路桂明,周美兰,林治楠,等. 采用 PIC 单片机的电锅炉智能控制系统的研究[J]. 黑龙江水专学报,

[12] 王巍,侯利民. 基于混沌优化 PID 控制的渗碳炉温度控制系统的研究[J]. 机电工程技术,2008,37(3):22-23.

Fuzzy PID Temperature System Control of Carburization Furnace Based on PIC Single Chip

LIU Jing-yan, ZHANG Su-yan, GUO Shun-jing

(School of Electricity & Automation Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China)

Abstract: Carburization furnace temperature control system is a nonlinear one, which has characteristics of big inertia and great delay. It has low control accuracy and high overshoot with the conventional PID control. The fuzzy PID controller based on PIC single chip is presented, which is used in the carburization furnace temperature control system. The variations of PID parameters are solved by fuzzy inference and the parameters can be self-tuned. So the controller has stronger self-adaptive ability. And the system is simulated with Matlab software. The simulation results show that the system can maintain a good steady-state response characteristics of PID controller, but also has the flexibility and fast response characteristics of fuzzy controller, which can effectively restrain the impact of great delay. And this system is more dynamic and highly precise.

Key words: PIC single chip; carburization furnace; fuzzy PID control