

三相不平衡电流补偿控制器的设计

刘勇, 杨仁刚, 冯小明

(中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083)

摘要: 针对当前三相不平衡所造成的危害,建立三相四线制接线形式下的不平衡无功补偿模型,设计基于主控芯片 Freescale 56F807 的补偿控制器,采集数据,对不平衡情况进行补偿,结果表明,该补偿控制器可以使三相不平衡情况得到有效的改善,依据相应的补偿控制策略,获得较好的电能质量,并且达到较好的节电效果。

关键词: 不平衡; 补偿; 控制器

Design of unbalanced current compensation controller

LIU Yong, YANG Ren-gang, FENG Xiao-ming

(China Agricultural University, Beijing 10083, China)

Abstract: In view of the harm that caused by the three-phase unbalanced load current, based on the algorithm of compensation of 3-phase 4-wire unbalanced load current system, this paper establishes compensation controller based on Freescale 56F807, collects real-time data and compensates the situation of unbalanced load current. The results show that the compensation controller makes three-phase unbalanced load current effectively improved, according to the corresponding compensation strategy, a better power quality and energy-saving obtained.

Key words: unbalanced; compensation; control appliance

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)04-0070-03

0 引言

随着电力电子技术的发展,电网中冲击性、非线性负载不断增加,使得电网功率因数低、三相不平衡、高次谐波放大等电能质量问题日益严重^[1]。系统三相不平衡度如果超过一定范围,将会影响系统的安全运行,产生的负序电压和负序电流将导致旋转电机发热和振动,变压器漏磁增加和局部过热,电网线损增大及各种保护和自动装置误动等等。不平衡电流可以分解为正序、负序和零序的电流分量,因此会对计量仪表的精度产生影响。对于三相不平衡电流,通常采取的解决办法是尽量合理地分配负荷,但是由于各用户的负荷量不一致且用电的时间不一致,因此不能从根本上解决问题。

本文专为三相四线的低压供电系统设计的三相不平衡补偿装置不但可以将三相的功率因数均补偿到0.9以上,而且可以将三相间的不平衡有功电流校正到合理范围内。

1 不平衡补偿算法

设系统各相的有功功率和无功功率分别为 P_a 、

P_b 、 P_c 和 Q_a 、 Q_b 、 Q_c , 实际系统负荷部分是由 Δ 接线形式和 Y 接线形式组合而成,其有功功率和无功功率是由两部分联合产生的,但各自的实际比例并不确定^[2]。

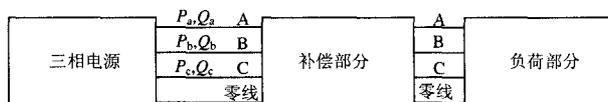


图1 三相四线制不平衡补偿示意图

Fig.1 3-phase four-wire unbalanced compensation

假定参数 Q_x , 得到如下的补偿公式:

$$Q_{ab}^{\Delta} = \frac{2}{\sqrt{3}}(P_a - P_b) - Q_x \quad (1)$$

$$Q_{bc}^{\Delta} = \frac{2}{\sqrt{3}}(P_b - P_c) - Q_x \quad (2)$$

$$Q_{ca}^{\Delta} = \frac{2}{\sqrt{3}}(P_c - P_a) - Q_x \quad (3)$$

$$Q_a^Y = \frac{1}{\sqrt{3}}(P_b - P_c) - Q_x \quad (4)$$

$$Q_b^Y = \frac{1}{\sqrt{3}}(P_c - P_a) - Q_x \quad (5)$$

$$Q_c^Y = [\frac{1}{\sqrt{3}}(P_a - P_b) - Q_c] + Q_x \quad (6)$$

公式中 Q_{ab}^A 表示 A 相与 B 相间的无功补偿值, Q_{bc}^A 表示 C 相与 B 相间的无功补偿值, Q_{ca}^A 表示 A 相与 C 相间的无功补偿值, Q_a^Y 表示 A 相与零线间的无功补偿值, Q_b^Y 表示 B 相与零线间的无功补偿值, Q_c^Y 表示 C 相与零线间的无功补偿值。

不平衡无功补偿的原则是^[3,4]:

(1) 只补偿电容;

(2) 尽量使三相功率因数接近 1, 三相有功电流平衡;

(3) 在满足上述条件基础上, 尽量减小电容的使用数量。

在满足上面三个条件下, 根据实际电容分布情况调节 Q_c , 达到无论在补偿效果上还是电容器配置上都是最优。

2 控制器硬件设计

2.1 系统主控芯片 Freescale 56F807 的功能

Freescale 56800 系列 DSP 是 16 位定点的 DSP 芯片, 集实时信号处理能力和控制外设功能于一身, 关键部分采用双哈佛结构, 支持并行处理, 在 80 MHz 时钟频率下可达到 40 兆条指令/s(MIPS)的指令执行速度, JTAG/OnCE 程序调试接口, 允许在系统设计过程中随时进行调试, 并可对软件进行实时调试。

2.2 硬件设计

硬件设计上从实际情况出发, 采用点阵式的液晶显示器、全中文和图形化的界面, 控制器内部的高精度实时时钟保证在断电的情况下正常走时 10 年, 交流电和电池两种供电模式能够保证在停电的情况下控制器正常工作 3~4 个小时。硬件电路主体分为三个部分: 控制板、通讯板和驱动板。

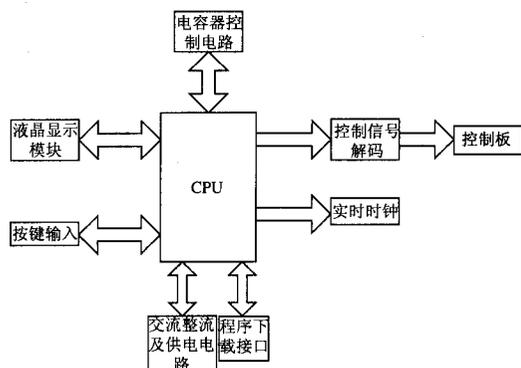


图 2 控制板电路原理框图

Fig.2 Circuit principle of control board

控制板提供人机界面处理、读取实时时钟、校时、控制信号输出以及电容器智能控制等功能, 控制板原理框图见图 2 所示。

通信板提供对控制器远程控制的 GPRS 模块, RS485 接口, 以及本地的 RS232 接口, 通信板原理框图见图 3 所示。

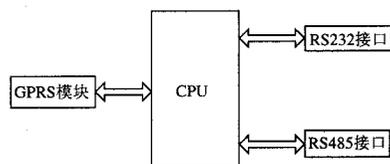


图 3 通信板电路原理框图

Fig.3 Circuit principle of communication board

驱动板提供驱动输出, 通过控制板的控制信号驱动智能复合开关, 控制电容器组的投切。驱动板的原理框图见图 4 所示。

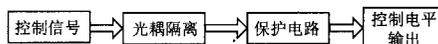


图 4 驱动板电路原理框图

Fig.4 Circuit principle of driver board

3 控制器软件设计

软件代码采用 C 语言和 DSP 芯片相关汇编语言混合编写, 控制器软件主要包括下面几个功能模块: 底层驱动模块, 计算模块, 保护模块, 电容器投切控制模块, A/D 模块, 人机交互模块和通信模块等。其中 A/D 模块采用的是抗谐波电能计量芯片 ADE7758。

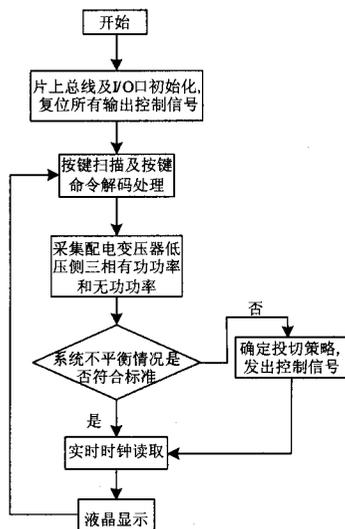


图 5 主程序流程图

Fig.5 Flow chart of the main program

电容器的分组的具体方法比较灵活, 一般希望

能组合产生的电容级数越多越好，但是综合考虑到系统复杂性以及经济性问题，可以采用二进制的方案，即采用k-1个电容值均为C的电容和一个电容值为C/2的电容，这样的分组法可以组合成的电容值为2k级^[5]。

主程序是整合几个模块进行处理及响应中断，主程序流程图见图5。

4 控制器的测试

对控制器性能进行测试。测试的内容包括：

(1) 控制器是否能够将电力系统中的电压、电流、功率因数和无功功率等参数正确显示和测量。

(2) 验证控制器是否能够正常的对电力系统状况进行判断，正确地投切电容器。

(3) 验证控制器的其他功能是否正常，如通信、时钟等功能。

5 实验数据分析

(1) 功率因数：补偿前功率因数平均值为0.6，补偿后功率因数均上升为0.9以上。

(2) 不平衡度：补偿前三相不平衡度为13.7%，补偿后三相不平衡度为0.03%。

表1所示为采集到的补偿前与补偿之后的两组数据。

表1 数据对比

Tab.1 Data comparison

采样值	电压/V			电流/A			功率因数		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	相	相	相	相	相	相	相	相	相
补偿前	233	223	231	69	40	78	0.34	0.56	0.66
补偿后	235	226	231	38	42	40	0.92	0.93	1.00
补偿前	232	242	254	22	15	16	0.78	0.58	0.88
补偿后	234	238	257	14	10	12	0.92	0.99	0.94

从图6, 7中可以看出恰当的选择电容器的接法，就可以达到既补偿功率因数又调整不平衡电流的目的。

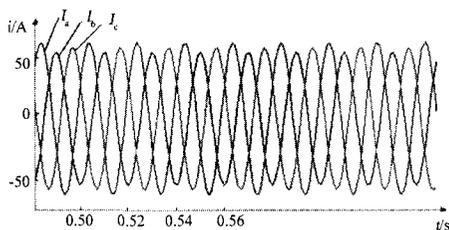


图6 补偿前电流不平衡情况示意图

Fig.6 The imbalance of current before compensation

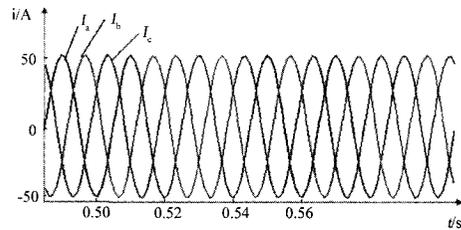


图7 补偿后电流不平衡情况示意图

Fig.7 The imbalance of current after compensation

6 结束语

使用调整不平衡电流功率因数补偿装置可以取得较好的节能效果，并且零线电流很小，完全符合国家关于零线电流不超过变压器额定电流25%的要求，因此在三相严重不平衡的供电系统中具有重要的现实意义。

参考文献

- [1] 王永民, 景有泉, 王涛. 基于电容器跟踪投切的无功补偿装置控制分析[J]. 电源世界, 2006, (1):29-33. WANG Yong-min, JING You-quan, WANG Tao. Control Analysis of Var Compensator Based on Switched Capacitor[J]. The World of Power Supply, 2006, (1): 29-33.
- [2] Lee San-Yi. On-line Reactive Power Compensation Schemes for Unbalanced Three Phase Four Wire Distribution Feeders[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1993, 18(4):1928-1965.
- [3] 谢连富, 单铁铭. 不平衡电流无功补偿方法的研究[J]. 继电器, 2006, 34(9):76-79. XIE Lian-fu, SHAN Tie-ming. Research on Unbalanced Reactive Current Compensation Method[J]. Relay, 2006, 34(9):76-79.
- [4] Lee S Y, Wu C J. Reactive Power Compensation and Load Balancing for Unbalanced Three-Phase Four-Wire System by a Combined System of an SVC and a Series Active Filter[J]. IEEE Proceeding Electric Power Apply, 2000, (6):563-568.
- [5] 丁洪发. 电力系统三相不对称补偿理论及技术研究. (博士学位论文)[D]. 武汉: 华中科技大学, 2000. DING Hong-fa. Three-phase Power System Asymmetry Compensation Theory and Technology Research, Doctoral Dissertation[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2000.

收稿日期: 2008-04-07; 修回日期: 2008-04-15

作者简介:

刘勇 (1984-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统自动控制; E-mail: liuyongchina2008@sina.com

杨仁刚 (1953-), 男, 教授, 从事无功, 谐波补偿以及配网自动化等方面的研究工作;

冯小明 (1975-), 男, 博士, 主要从事电气自动化方向的研究。