

低压配电网智能无功补偿系统软硬件设计

姚 舜, 罗 安, 范瑞祥, 唐 杰
(湖南大学 电气与信息工程学院, 湖南 长沙 410082)

摘要: 根据晶闸管投切并联电容器(TSC)的无功补偿原理,介绍了以 16 位工业级单片机 80C196KC 为核心的智能无功优化控制器。该控制器硬件由单片 80C196KC、存储器与 I/O 接口、电量测量、温度检测、执行机构、键盘/液晶显示器、通信等模块组成。控制器软件采用模块化结构设计,使用 KC196 汇编语言编程,包括显示、模数转换、看门狗、键盘扫描、参数计算、投切电容、通信等模块。该智能无功优化控制器采用电压-无功综合补偿自适应控制方式,在满足电压合格的前提下使功率因数最优为目标函数,根据低压配电网的电压和无功功率变化,具备自动调整相关控制系统参数以实现控制目标的能力,实现电容先投先切的功能,并且可避免投切振荡和过补偿。该控制器装置挂网运行后,效果良好。

关键词: TSC; 无功补偿; 电能质量; 80C196KC

中图分类号: TM 761⁺.1; TP 399 **文献标识码:** B **文章编号:** 1006-6047(2006)12-0090-03

0 引言

在配电系统中广泛存在大量的感性负荷,这些负荷在配电系统中会消耗大量的无功功率,降低系统的功率因数,造成线路电压损失加大和电能损耗增加。此外,对于诸如电弧炉、轧钢机这些冲击性无功负荷,还会产生电压的剧烈波动,使电网的供电质量恶化^[1-3]。解决这些问题的有效方法就是进行无功功率补偿,即在系统中采用固定安装或自动投切的方式接入并联电容器等容性设备,这些设备可以供给感性负荷所消耗的部分无功功率,减少无功功率在电网中的流动,从而降低线路的电能损耗并提高系统的功率因数。目前,基于并联电容器补偿的无功功率补偿装置已经成为国内无功补偿的主要形式,机械式投切电容器^[1](MSC)虽然投资成本低,但其响应速度慢、机械开关投切次数有限等缺点制约它的发展,晶闸管投切并联电容器^[1]TSC 技术得到广泛应用。本文根据 TSC 的自动无功补偿原理,介绍以 16 位工业级单片机 80C196KC 为核心的智能无功优化控制器。该智能无功补偿系统控制策略采用电压-无功综合自适应控制方式,在满足电压合格的前提下使功率因数最优为目标函数,根据低压配电网的电压和无功功率变化,具备自动调整相关控制系统参数以实现控制目标的能力,实现先投先切和循环投切的功能,并且可避免投切振荡^[4-6]和过补偿^[7],具有快速、准确和针对性强的特点。

1 工作原理

该智能无功补偿系统主电路由 8 组 Δ 型连接三相电力电容器构成,其主电路结构图如图 1 所示。 V_T 为晶闸管, V_D 为反并联的二极管, C 为补偿电容, R 为与 C 并联的大阻值的泻荷电阻, L 为限制电流暂态分量^[8]的小型电抗器,同时与电容调谐到某次谐波之间以滤掉该次谐波。

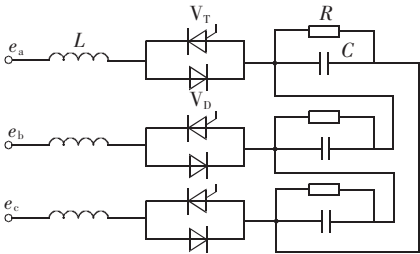


图 1 TSC 系统主电路结构
Fig.1 Main circuit of TSC system

采用晶闸管和二极管反并联的方式代替 2 个反并联的晶闸管,可以使导通前电容充电电压维持在电源电压的峰值。如图 1 所示,一旦电容电压比电源电压峰值有所降低,二极管都会将其充电至峰值电压,因此不会发生两晶闸管反并联的方式中电容器充电电压下降的现象。但是,由于二极管是不可控的,当要切除此电容支路时,最大的时间滞后为 1 个周期,其响应速度比两晶闸管反并联的方式稍慢,但成本要低,在实际工业应用中,该方法能满足补偿快速性的要求,可以保证当晶闸管不工作时,电容两端的电压能动态地跟踪电网的最高电压变化而变化,减少晶闸管导通电容投入时所产生的冲击电流。

2 硬件结构

该智能无功补偿系统控制器主要由 16 位工业用单片机 80C196KC、存储器与 I/O 接口、电量测量、温度检测、执行机构、键盘/液晶显示器、通信模块等组成。电压互感器、电流互感器传变的电压、电流信号经过相应转换后由单片机进行交流采样,在计算出各项电网参数后,根据控制规律输出控制信号给执行机构完成电容器的投切。

2.1 核心控制器硬件结构

控制器系统的核心控制器硬件结构如图 2 所示。

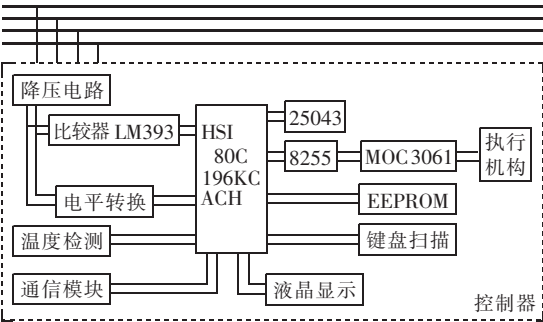


图 2 核心控制器硬件结构

Fig.2 Hardware structure of controller kernel

控制系统中,以 80C196KC 单片机为主芯片接收采样信号和发出控制命令,控制 8 路电力电容器的投切。其中,比较器 LM 393 得到 A、C 线电压和 B 相电流的方波过零信号输入到单片机的高速输入口 HSI0、HSI1,比较过零点的时间差得到电网中的功率因数 $\lambda = \cos \varphi$;EEPROM 是 32 KByte 的程序存储器,存储程序运行的主程序;X 25043 是串行 EEPROM 存储器,存储参数的修改设定值,及其硬件看门狗和程序中的软件看门狗组成双看门狗电路,同时还有上电复位的作用;MOC 3061 是光电双向晶闸管驱动器,检测过零信号控制晶闸管投切电容器,可实现无功补偿的无级调节^[9-10]。

2.2 配电网无功补偿无级调节的实现

晶闸管的触发采用 MOC 3061 光电双向晶闸管驱动器,由于输入与输出采用光电隔离,绝缘电压可达 7 500 V。并且,内部采用了过零检测电路,可很方便地使电容两端的电压动态地跟随电网的最高电压变化而变化,减少晶闸管导通投入电容时所产生的冲击电流。该器件(MOC 3061)由输入、输出 2 部分组成。1、2 脚为输入端,输入极是一个砷化镓红外发光二极管(LED),该二极管在 5~15 mA 正向电流作用下,发出足够的红外光触发输出部分。3、5 脚为空脚,4、6 脚为输出端,输出极为具有过零检测的光控双向晶闸管。当红外发光二极管发射红外光时,光控双向晶闸管触发导通。MOC 3061 控制双向晶闸管和二极管反并联所组成的 TSC 电容器投切电路,原理图如图 3 所示。在 MOC 3061 未导通时,双向晶闸管处于未触发导通状态,当电容电压比电网侧电压低

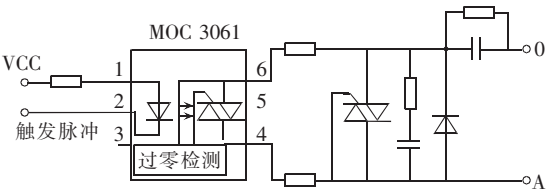


图 3 单相无级投切电容器输出部分原理图

Fig.3 Output circuit of steplessly switching for single-phase capacitor

时,二极管会正向导通,电容将充电并将电容电压维持在电源电压的峰值,当 MOC 3061 前向触发端有触发脉冲时,MOC 3061 内部采用的过零检测电路在过零点触发晶闸管,当电网实时电压上升到了峰值电压时晶闸管导通,此时将电容器投入,用以补偿电网中的无功功率。

无功补偿容量大小可采用通断率控制实现无级补偿,即改变固定周期内晶闸管交流开关的通断时间比例,调节输出到电网的无功电功率。在实际应用中,通断周期为 0.5~1 s,因为 1 个工频周期为 20 ms,故最小的调节容量为最小电容器的 1/50~1/25,基本可以看作是无级调节。

3 软件实现

该智能无功补偿系统控制器采用模块化结构的程序设计,软件系统在伟福(WAVE)V2.00 下,使用 KC196 汇编语言开发完成,其中包括的模块主要有显示、AD 转换、看门狗、键盘扫描、参数计算、投切电容、通信等模块。其整体软件流程图如图 4 所示。

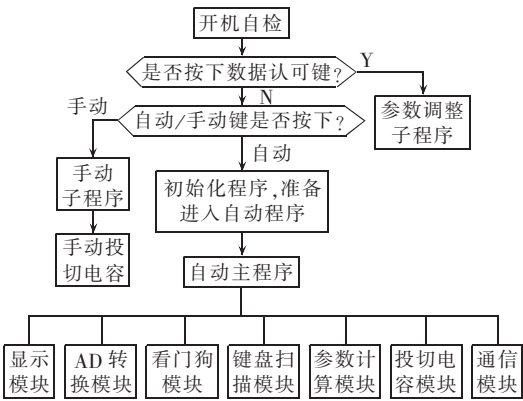


图 4 软件总体框图

Fig.4 Software overall architecture

其核心子程序功率因数 $\lambda = \cos \varphi$ 求取子程序和投切电容子程序流程图分别如图 5 和图 6 所示。其中, U_{ac} 、 U_b 、 I_b 分别为 A、C 相线电压及 B 相电压和电流; I_{br} 、 U_{br} 、 U_{acr} 、 $\cos \varphi_r$ 为实时值; I_{lg} 、 U_{lg} 、 U_{ag} 、 $\cos \varphi_g$ 为给定值。

4 现场应用

本装置在某地 380/220 V 低压电网运行,电容器分 20 组三相△连接电容器,单组容量为 16 kvar。运行效果良好,电容投运后,电网功率因数迅速提

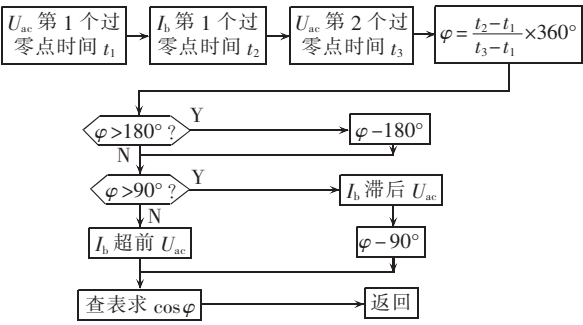


图 5 功率因数求取子程序

Fig.5 Subroutine of power factor computation

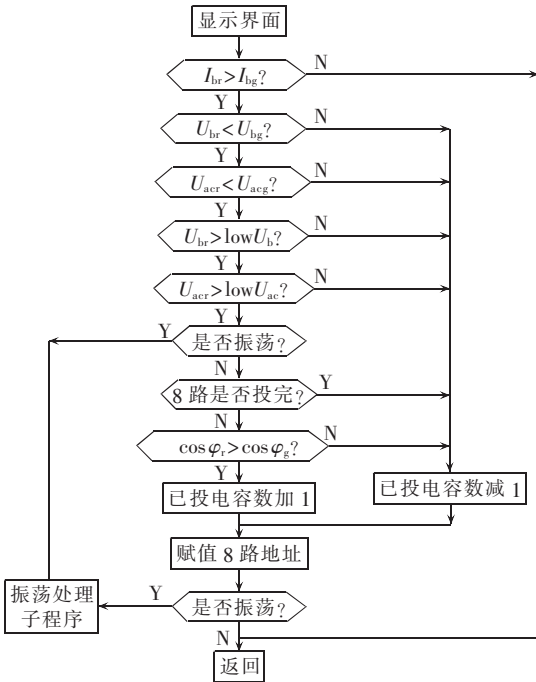


图 6 投切电容器子程序

Fig.6 Subroutine of capacitor switching

高,相应的负荷电流明显下降,其具体现场应用效果见表 1。本装置不但实现了提高功率因数的作用,而且根据功率因数的变化能自动改变电容器的投切,避免了投切振荡和过补偿,实现了无功自动跟踪补偿。

表 1 投入电容后电网参数表

Tab.1 Network parameters after capacitor is put in

N_c	λ	I/A	N_c	λ	I/A
0	0.60	440	11	0.86	305
5	0.70	377	12	0.90	293
8	0.76	343	13	0.94	280
10	0.82	319			

注: N_c 为投入电容组数; λ 为功率因数; I 为负荷电流。

5 结论

本智能无功补偿系统采用高性能 16 位单片机 80C196KC 为控制核心,对低压配电网无功进行自动动态跟踪补偿,运行效果良好。具有控制简单、性能可靠、功能强大、界面友好、操作方便和价格便宜等特点,对于改善配电站电压质量和提高配电站监控可靠性具有明显的社会效益和经济效益,具有广阔

的市场前景。

参考文献:

[1] 王兆安,杨君,刘进军. 谐波抑制与无功功率补偿[M]. 北京:机械工业出版社,1998.

[2] 涂春鸣. 新型谐振阻抗型混合有源滤波器 RITHAF 研究[D]. 长沙:中南大学,2003.

TU Chun-ming. The resonant impedance type hybrid active filter [D]. Changsha:Central South University,2003.

[3] 唐欣. 新型大功率串联谐振注入式混合有源滤波器的研究[D]. 长沙:中南大学,2005.

TANG Xin. High power series resonant injecting type hybrid active filter[D]. Changsha:Central South University, 2005.

[4] 韩俊玉,胡晓岑,郭来成. 电容器组投切实验中产生振荡的分析[J]. 山西电力技术,1999,10(3):40-41.

HAN Jun - yu,HU Xiao - cen, GUO Lai - cheng. Analysis on high frequency resonance in startup and withdraw test of capacitor group[J]. Shanxi Electric Power,1999,10(3):40-41.

[5] 程晓东,刘万顺. 配电补偿电容器的模糊控制[J]. 现代电力,2001,18(3):52-56.

CHENG Xiao - dong,LIU Wan - shun. Fuzzy control of compensation capacitors in distribution networks [J]. Modern Electric Power,2001,18(3):52-56.

[6] 张敏,罗安. 包含静止无功发生器的电力系统吸引域[J]. 中国电机工程学报,2003,23(6):25-28.

ZHANG Min,LUO An. The domain of attraction for power system with STATCOM[J]. Proceedings of the CSEE,2003,23(6):25-28.

[7] 徐瑜. 功率因数过补偿的危害及对策[J]. 惠州大学学报,1995,15(4):11-14.

XU Yu. Harm of super compensation of power factor and its solution[J]. Journal of Huizhou University,1995,15(4):11-14.

[8] MATHUR R M,VARMA R K. 基于晶闸管的柔性交流输电控制装置[M]. 徐政,译. 北京:机械工业出版社,2004.

[9] 孙宏国. 动态无功无级柔性补偿控制系统的研究[J]. 电力自动化设备,2002,22(12):30-31.

SUN Hong - guo. Research on dynamic continuous flexible control system of reactive power compensation [J]. Electric Power Automation Equipment,2002,22(12):30-31.

[10] 李民族,唐晓玲,李颖,等. 新型电容无功补偿方法及其接线[J]. 电网技术,2004,28(16):64-68.

LI Min - zu,TANG Xiao - ling,LI Ying,et al. A novel capacitor reactive power compensation method and its circuit connection [J]. Power System Technology,2004,28(16):64-68.

(责任编辑:汪仪珍)

作者简介:

姚 舜(1981-),男,湖南湘阴人,硕士研究生,研究方向为电力系统谐波抑制和无功功率补偿(E-mail:yaoshun18@126.com);

罗 安(1957-),男,湖南长沙人,教授,博士研究生导师,主要从事电力有源滤波、无功补偿和控制理论、技术等方面的教学与科研工作;

范瑞祥(1977-),男,湖南湘潭人,博士研究生,主要从事有源电力滤波器和无功补偿技术的研究;

唐 杰(1975-),男,湖南邵阳人,博士研究生,主要从事有源电力滤波器和无功补偿技术的研究。

Software & hardware design of intelligent var compensation system for low-voltage distribution system

YAO Shun, LUO An, FAN Rui-xiang, TANG Jie
(Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: According to the reactive power compensation theory of TSC(Thyristor Switched Capacitor), an intelligent reactive power compensation controller based on 16-bit Intel 80C196 KC is introduced. Its hardware is composed of modules: 80C196 KC, memorizer and I/O interface, parameter measuring, temperature detection, actuator, keyboard / liquid crystal display, communication and so on. Its software is modularized and programmed with KC196 assemble language, including modules of display, analog-to-digital conversion, watchdog, keyboard scanning, parameter calculation, capacitor switching, communication and so on. It uses adaptive control of integrated V-var compensation, taking the optimal power factor as objective function with the precondition of qualified voltage. According to voltage and var changes in low-voltage distribution system, the controller adjusts automatically parameters of control system to approach the optimal objective: switching on/off the capacitor first to avoid oscillation and over compensation. The site operation proves its effectiveness.

This project is supported by the National High Technology Research and Development Foundation of China(863 Program)(2004AA001032).

Key words: TSC; reactive power compensation; power quality; 80C196KC