

基于高速 SoC 单片机的 新型调容式消弧调谐控制器

严干贵¹, 周 军¹, 车晓涛¹, 肖龙章², 王 磊¹, 张正茂¹

(1. 东北电力大学 研究生部, 吉林 吉林 132012;

2. 吉林市供电公司, 吉林 吉林 132001)

摘要: 以 C8051F 为核心, 设计了主、从机结构的配电网调容式自动跟踪消弧线圈补偿控制器。调容式消弧线圈是采用晶闸管投切电容器 TSC (Thyristor Switched Capacitor) 技术, 通过改变并联于消弧线圈二次绕组电容的大小, 等效地实现消弧线圈电感量的调节。介绍了 SoC (System on Chip) 技术, 同时对控制器的数据采集监控、出口、通信和人机界面等模块的功能和设计进行了详细分析。调容式消弧线圈装置已经通过调试, 运行良好, 达到了电容电流智能化补偿的要求。

关键词: 自动跟踪消弧补偿控制器; SoC 高速单片机; 模块化

中图分类号: TM 475; TP 368

文献标识码: B

文章编号: 1006-6047(2006)09-0068-04

为提高配电网运行的安全可靠, 在电网发生单相接地故障时, 由消弧线圈自动跟踪补偿装置自动调节消弧线圈电感, 使之与对地电容电流发生并联谐振, 从而减小故障点电流, 使电弧自行熄灭, 有效地提高系统带故障运行的安全性^[1]。消弧补偿控制器能实时采集电网运行参数, 及时测量系统当前运行状态和对地电容参数, 并能迅速对消弧线圈电感进行调节。该控制器整合了对电网运行状态进行实时监控、对单相接地故障进行正确识别和对消弧线圈电感进行快速调节 3 大功能, 实现了控制器一体化设计。

1 调容式自动跟踪消弧补偿装置简介

调容式自动跟踪消弧补偿装置是采用晶闸管投切电容器 TSC (Thyristor Switched Capacitor) 技术^[2], 通过改变并联于消弧线圈二次绕组电容的大小, 等效地实现消弧线圈电感量的调节。图 1 所示为该装置的结构示意图。

调容式自动跟踪消弧补偿系统包括接地变压器 T_{Z-T} 、干式消弧线圈 L_{ASC} (带测量电压互感器 TV、电流互感器 TA)、电容器调节柜 (TSC) 和消弧补偿控制器等。其中, 消弧补偿控制器主要实现以下功能: 定时测量配电网正常运行时的对地电容参数; 自动识别配电网单相接地故障, 并补偿系统对地电容电流; 故障录波及报警显示等。为提高控制器的实时性、可靠性和抗干扰能力, 本控制器选用了 Silicon 公司的高速 SoC (System on Chip) 混合信号单片机。

2 SoC 高速单片机简介

SoC 是一种高度集成化、固件化, 并以功能 IP (Intellectual Property) 核为基础的系统集成技术^[3]。

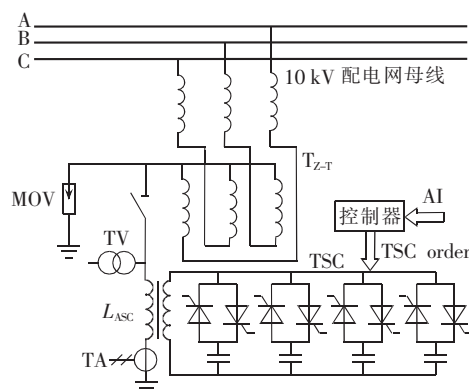


图 1 调容式消弧补偿装置结构图

Fig.1 The structure of arc-suppression compensator with parallel capacitor switching mode

片上系统与以功能电路为基础的分布式综合技术相比, SoC 有 2 个突出优点: 系统功能的实现不再针对功能电路进行综合, 而是针对系统固件进行电路综合; 电路设计的最终结果与 IP 功能模块和固件特性有关, 而与 PCB 板上电路分块的方式和连线技术基本无关。因此, 电磁兼容特性和抗干扰能力大为提高。

在 MCU (Micro Control Unit) 向 SoC 过渡的数模混合集成过程中, Cygnal 公司的 C8051F 实现了单片机系统的集成, 图 2 是本控制器 SoC 单片机 C8051F020 结构框图^[4]。C8051F 主要有 5 个特点。

a. 由逐次逼近型 ADC、多路通道模拟输入选择器和可编程增益放大器组成 ADC 子系统。ADC 可被编程为差分或单端输入, 同时可以产生窗口比较中断, 这一方式允许 ADC 以后台方式监视一个关键电压, 并能向 CPU 申请中断。

b. 2 个模拟电压比较器, 每个比较器都能在上升和下降沿产生中断, 同时输出可接到 I/O 端口。

c. 可编程数字 I/O 和交叉开关, 改变了以往内

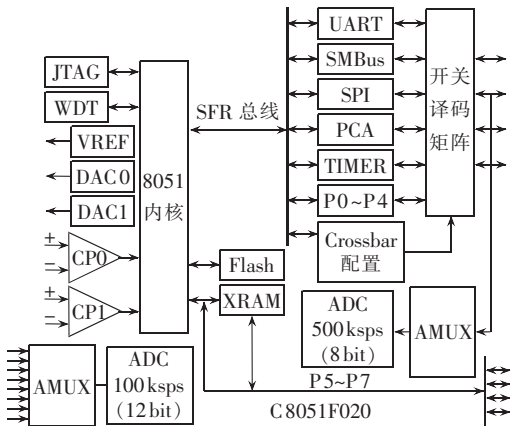


图 2 控制器 SoC 单片机功能结构图

Fig.2 The structural block diagram of SoC MCU

部与外部引脚的固定对应关系,交叉开关是个大的数字开关网络,允许内部数字系统分配给 I/O 引脚。

d. C8051F 单片机中具有片内 JTAG 和调试电路,通过 JTAG 接口可对应用系统进行非侵入式、全速的在线系统调试,完全保证了外设性能的精确模拟。

e. 片内可编程定时/计数器阵列(PCA)可灵活实现分频、高速 I/O、PWM 输出和对外部事件的捕捉功能。

采用 C8051F 系列单片机作为消弧补偿控制器芯片具有 3 个优点^①。

a. 消弧补偿控制要求在发生单相接地故障时快速而准确地对消弧线圈进行调节,CPU 的执行速度成为首要的评价指标。C8051F 系列单片机对指令运行采用流水作业,平均每个时钟周期执行 1 条单周期指令,较普通单片机 12 个晶振周期 1 条指令,指令的运算速度大为提高。如果系统时钟频率为 25 MHz,执行 1 条单周期指令仅需 40 ns。如此高的指令执行速度,使得采用复杂数字滤波控制算法成为可能。

b. 消弧补偿控制器需要对电网电压和电流进行数据采集和监测,同时需要大量的 I/O 口,C8051F 提供了丰富的模拟和数字资源,实现方便灵活,可靠性和抗干扰性较高。

c. C8051F 高度集成化,便于模块化设计,调试简单方便,开发周期短。

3 消弧补偿控制器设计

调容式消弧补偿控制器,在正常运行时采集中性点电压、母线电压和中性点零序电流对线路对地电容参数进行跟踪测量,通过对中性点电位监视^[4-7],正确识别出单相接地故障,快速发出晶闸管投切命令,完成消弧线圈的档位调整,实现对地电容电流的完全补偿。其功能结构如图 3 所示。

整个控制器包括信号调理电路、采样控制模块、监视诊断模块和驱动出口 4 大部分。其中,信号调理电路完成信号的转换,采样控制模块完成电网对地电容参数的测量和补偿算法,监视诊断模块实现对整个装置的运行状态的监视。为了通过开断晶闸管投

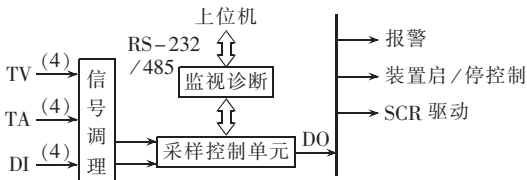


图 3 控制器功能结构图

Fig.3 The function structure of the controller

切电容实现对消弧线圈电感量的快速调节,必须设计可靠的驱动出口电路,同时,控制器应具有良好的人机界面,以及故障记录、远程通信等辅助功能。

为了实现上述功能,本文基于高速 SoC 单片机设计了自动调谐控制器,其硬件结构如图 4 所示。整个控制器采用主、从机结构,主机采用 SoC 高速单片机,实现控制算法,从机采用普通 51 单片机,负责人机界面、故障记录 and 通信等辅助功能。为了实现事故追忆、接地查询等系统历史数据,需要大容量的 Flash 存储器,同时为了充分保证主机的实时性,克服主、从机之间大批数据交换时对主机速度的影响,对从机的 RAM 区进行了大容量的扩充,普通的单片机寻址仅达到 64 KByte,为了实现更大容量存储器的访问,采用 GAL 和 74LS273 进行地址译码锁存,以满足其分步寻址的要求。

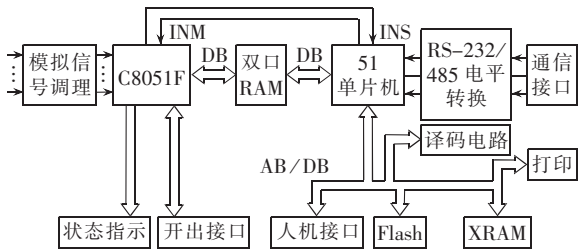


图 4 消弧补偿控制器硬件结构图

Fig.4 The hardware structure of the controller

3.1 模拟信号调理模块

C8051F020 内部集成了逐次逼近式 12 位 ADC 模块,共有 8 个外部输入端,可编程为单端或差分输入,最大转换速率 100 Kbit/s,且内置增益放大器,放大倍数 0.5、1、2、4、8、16,采样结果可被编程为左对齐或右对齐。A/D 参考为单极性,可通过内部编程允许其内部电压基准输出(2.4 V),为了满足采样通道输入信号的要求(0~2.4 V),需要对模拟信号进行滤波和电平幅值转换(双极性转换为单极性),本控制器在 A/D 通道前设计了模拟信号调理电路,增强电路的抗干扰能力和完成电平转换任务。如图 5 所示,整个模拟调理电路包括电压跟随、加法器和简单的 RC 滤波 3 部分。通过调节电位器 R_{w1} 和 R_{w2} 可灵活实现对信号幅值的调整。

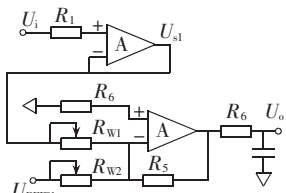


图 5 模拟信号调理电路

Fig.5 The conditioning circuit for analog signals

① 潘琢金. C8051F020/1/2/3 混和信号 ISP FLASH 微控制器数据手册. 2002.

3.2 主、从机通信模块

控制器的通信包括主机(C8051F020)与从机(51单片机)间的通信及控制器与监控软件的通信。通常主机完成消弧补偿算法,实时性要求高,而故障记录、人机界面、通信等实时性要求不高,由从机承担。当电网发生单相接地故障时,为在最短时间内把系统运行状态和消弧补偿装置的运行信息写入Flash中,采用双口RAM实现主、从机间的数据传送。

双口RAM采用IDT7134^[6]芯片,它是一种容量为4Kbit×8的双口静态RAM,芯片本身不具备硬件仲裁、中断仲裁和令牌仲裁,在正常情况下,2个CPU对双口RAM同一地址进行非同步操作时,不会发生冲突;但是当两侧CPU同时对双口RAM同一地址进行操作时,将发生读、写错误^[7]。为了保证对双口RAM的正确读、写,主、从机之间设置了2个联络信号。当主机向双口RAM中读、写数据时,将INS拉低,此时从机检测到INS为低,只能等待;主机完成对双口RAM的读、写时,重新将INS置高,此时双口RAM的使用权交给从机。同样,从机对双口RAM的使用,通过INM作为联络信号^[8]。其中,故障记录、手动调节、系统状态及报警信息等数据,按照RAM分块的原则进行存取,保证了主、从机数据传输速度和数据完整性。

3.3 控制信号输出模块

输出通道大部分用于驱动大功率晶闸管,电力电子器件的驱动必须要有较好的强、弱电隔离措施和合适的驱动功率^[9]。C8051F数字I/O口的输出配置为推挽式,当端口为逻辑“1”时,输出3.3V电平弱电信号,直接控制晶闸管是不可能的。在本控制器的设计中,开关量的输出采用了光电耦合隔离和达林顿驱动器件相结合的方法,可完全满足驱动SCR的要求。在图6所示驱动电路中,TC是单片机I/O口,输出信号经过光耦隔离和达林顿放大后驱动晶闸管。

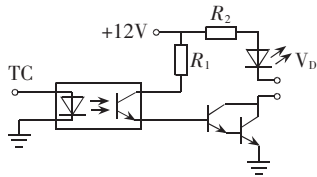


图6 出口电路原理图

Fig.6 The principle diagram of outlet circuit

3.4 人机交互模块

人机交互模块采用OCMJ中文液晶显示模块,内含GB2312 16×16点阵国标一级汉字和ASCII 8×8、8×16点阵英文字库,可实现汉字、ASCII码、点阵图形和变化曲线的同屏显示,且模块具有上/下/左/右移动屏幕及清屏等命令,一改传统使用大量设置命令进行初始化的方法,使用方便、灵活。接口采用REQ/BUSY握手协议,简单可靠。键盘采用4个弹簧式点触按键,质感优良,可实现向上、向下、确认和取消等功能。人机交互模块可实现系统运行状态显示、接地故障记录查询、手动调节、参数设置和时间调整等功能。从机和监控软件的通信采用RS-232/485标准接口,并采用全双工异步通信方式,完全具备电力系统综合自动化的通信能力。

4 结语

本文介绍了基于SoC系列高速单片机的主、从机配电网消弧补偿控制器的总体结构及相关模块的设计原理。通过在对自主开发的调容式自动跟踪消弧补偿装置的调试运行,控制器各模块已经正常工作,完全实现了对地容性电流的准确测量、电网运行状态的实时监控和单相接地故障的可靠识别,消弧补偿调谐、控制等功能,达到了实用化的程度。

参考文献:

- [1] 车晓涛,王磊,付育颖. 自动跟踪消弧补偿系统综述[C]//第二十一届中国电力系统自动化年会论文集2. 南宁:广西大学,2005:1107-1110.
CHE Xiao-tao, WANG Lei, FU Yu-ying. Review of automatically compensation earth capacitive current for arc suppression coil [C]//Proceeding of the 21st CUS - EPSA. Nanning:Guangxi University,2005:1107-1110.
- [2] 常思哲,杨学昌,闫兴中. 查表式可控硅投切电容消弧线圈的研制[J]. 高电压技术,2004,30(4):11-13.
CHANG Si-zhe, YANG Xue-chang, YAN Xing-zhong. Design of Petersen coil with thyristor series capacitors based on table look-up technique[J]. High Voltage Engineering,2004,30(4):11-13.
- [3] 何立民. 从Cygnal C8051F看8位单片机的发展之路[J]. 单片机与嵌入式系统应用,2002(5):5-8.
HE Li-min. The road of development from Cygnal C8051F to 8 bit single chip[J]. Microcontroller and Embedded Systems,2002(5):5-8.
- [4] 陈仲仁,吴维宁,陈家宏. 配电网自动消弧装置的测量跟踪问题[J]. 电力系统自动化,2004,28(10):83-84.
CHEN Zhong-ren, WU Wei-ning, CHEN Jia-hong. Measuring and tracing of automatic arc-suppression devices in distribution network[J]. Automation of Electric Power Systems,2004,28(10):83-84.
- [5] 王剑峰,叶传良,徐耀良,等. 双口RAM7130在数据采集系统中的应用[J]. 上海电力学院学报,1997,13(3):51-55.
WANG Jian-feng, YE Chuan-liang, XU Yao-liang, et al. Application of duplicate port RAM ID7130 in data acquisition system [J]. Journal of Shanghai Institute of Electric Power,1997,13(3):51-55.
- [6] 赵志丽,杨学昌,常思哲. 新型TSC式自动调谐消弧线圈[J]. 高压电器,2004,40(5):339-341.
ZHAO Zhi-li, YANG Xue-chang, CHANG Si-zhe. Improved design of automatic tuning arc suppression coil with thyristor series capacitors[J]. High Voltage Apparatus,2004,40(5):339-341.
- [7] 刘艳村,鲁铁成,文习山,等. 基于TSC控制技术的快速响应自动消弧装置[J]. 电力系统自动化,2004,28(20):88-93.
LIU Yan-cun, LU Tie-cheng, WEN Xi-shan, et al. Automatic arc-suppression equipment with fast response based on TSC control technique [J]. Automation of Electric Power Systems,2004,28(20):88-93.
- [8] 徐鹏,蔡远文. 基于双口RAM的并行数据通信方法研究[J]. 指挥技术学院学报,1998,9(4):47-52.
XU Peng, CAI Yuan-wen. Study of parallel data communication [J]. Journal of Institute of Command and Technology,1998,9(4):47-52.
- [9] 都洪基,叶婷. 基于单片机的新型消弧装置设计[J]. 电力自动化设备,2005,25(5):74-76.
DU Hong-ji, YE Ting. Design of arc-suppression device based on singlechip [J]. Electric Power Automation Equipment,2005,25(5):74-76.

(责任编辑:汪仪珍)

车晓涛(1979-),男,河南平顶山人,硕士研究生,研究方向为电力电子在电力系统中的应用(E-mail:chexiaotao@sohu.com);

王磊(1982-),男,河南内乡人,硕士研究生,研究方向为电力电子在电力系统中的应用;

张正茂(1980-),男,山东济南人,硕士研究生,研究方向为电力电子在电力系统中的应用。

Novel automatic resonance arc suppression controller based on high speed SoC MCU

YAN Gan-gui¹, ZHOU Jun¹, CHE Xiao-tao¹, XIAO Long-zhang², WANG Lei¹, ZHANG Zheng-mao¹

(1. Northeast China Dianli University, Jilin 132012, China; 2. Jilin Power Supply Company, Jilin 132001, China)

Abstract: Taking C 8051F MCU (Micro Control Unit) as its core, an auto-tracking arc-suppressing controller with master-slave structure is designed. The inductance value of arc-suppression coil is changed by using the TSC (Thyristor Switched Capacitor) technique to switch on-off the parallel connected secondary capacitors. The SoC (System on Chip) technique is introduced. Functions and designs of controller modules are analyzed in detail, including data sampling monitoring, outlet, communication and human-machine interface. The equipment is already commissioned and operates well, and its characteristics meet requirements of automatic compensation of earthing fault capacitive current.

Key words: auto-tracking arc-suppression controller; high speed SoC MCU; modularization

特高压输变电技术研讨会在威海召开

(本刊讯)2006年8月17至20日,全国高校“特高压输变电技术研讨会”在山东威海召开。会议由山东大学电气工程学院院长赵建国教授主持。国家电网公司舒印彪副总经理在会议报告中强调,在中国发展特高压输变电技术一定要符合国情,要建设有中国特色的特高压电网,同时介绍了特高压输电需要解决的关键技术问题,呼吁国内高校师生积极开展相关技术研究,为特高压工程做出贡献。中国工程院院士、山东大学特聘教授薛禹胜做了特邀报告。会议中,各高校代表结合各自情况做了专题报告,对前期国内高校在特高压研究方面所做工作进行了总结,集中展现了与会高校在开展特高压输变电技术研究方面所取得的成果、基础条件以及所具备的开展特高压研究工作的能力。

代表们一致认为:在中国建设以交流1000kV和直流±800kV特高压为核心的坚强国家电网,在技术上是可行的,在经济上是合理的,关系到国家的能源战略和能源安全,有利于国民经济的可持续发展,对我国长期的能源发展规划,实现全国范围内的能源资源优化配置,达到“西电东送、南北互供、水火互济、全国联网”的电力规划目标,完成电力工业的全面协调发展,都将产生积极的影响。同时,特高压电网的规划建设对于高校电气工程学科的教育事业也将产生重要影响,为电气工程学科的可持续发展带来了新的发展机遇。建设特高压电网是世界电网发展领域一项崭新的课题,可以增强我国的科技自主创新能力,占领世界电力科技的制高点。发展特高压输变电技术,在理论和工程实际方面,必将会遇到一些在高压电网和超高压电网中不曾遇到的理论和工程技术难题。要发挥国内高校技术密集和人才密集的优势、发挥在电网理论研究和人才培养等方面的优势,结合我国实际,深入开展特高压输变电技术以及超大规模电网的安全稳定性等方面的研究,培养更多更高水平的专门人才,积极开展与特高压输变电技术相关的科研工作,形成我国自己的特高压研究和工程技术人才队伍,在汲取别人经验的基础上,自主创新,形成一批具有自主知识产权的理论和应用成果。

附件:大会报告题录

- 1.《中国特高压输电的发展前景与关键技术》——国家电网公司副总经理舒印彪;
- 2.《特高压电网的安全防御》——中国工程院院士薛禹胜教授;
- 3.《特高压交流输电对日咨询考察情况汇报》——山东大学电气工程学院赵建国教授;
- 4.《特高压电网安全保障体系中的多元复合储能系统研究》——华中科技大学电气工程学院程时杰教授;
- 5.《特高压电网实时运行的理论与其可视化实践》——四川大学电气工程学院刘俊勇教授;
- 6.《特高压电网继电保护分析与评价系统的设计》——山东大学电气工程学院潘贞存教授;
- 7.《电力系统故障限流技术》——山东大学电气工程学院李庆民教授;
- 8.《特高压电网——过电压与绝缘配合》——武汉大学电气工程学院鲁铁成教授;
- 9.《新型换流变压器及其滤波系统研究》——湖南大学国际教育学院罗隆福教授;
- 10.《华北电力大学特高压输变电工程科研平台、基础研究和科研规划——电磁场与电磁兼容部分》——华北电力大学电气与电子工程学院崔翔教授;
- 11.《轻型直流输电试验工程项目建议》——华中科技大学电气工程学院文劲宇教授;
- 12.《华北电力大学特高压输变电工程科研平台、基础研究和科研规划——保护与控制部分》——华北电力大学电气与电子工程学院黄少峰教授;
- 13.《特高压超大规模电网的安全稳定运行》——山东大学电气工程学院刘玉田教授;
- 14.《1000kV特高压交流输电的关键技术研究》——浙江大学电气工程学院曹一家教授;
- 15.《华北电力大学特高压输变电工程科研平台、基础研究和科研规划——高电压与绝缘技术部分》——华北电力大学电气与电子工程学院詹花茂副教授。