

基于 MC68332 的同步断路器控制器的设计

刘斌, 段雄英, 邹积岩

(大连理工大学电气工程与应用电子技术系, 辽宁 大连 116024)

Design of Controller of Synchronous Circuit Breaker Based on MC 68332

LIU Bin, DUAN Xiong-ying, ZOU Ji-yan

(Department of Electrical and Electronics Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

摘要: 基于 32 位单片机 MC68332 技术, 利用其强大的外围功能, 设计了同步断路器的控制器。该控制器采用零交越相位分析算法, 快速、准确地提取电网的相位信息, 产生同步跟踪脉冲; 当远方控制指令到达时, 断路器根据电网的相位信息进行同步动作, 以保证真空开关触头能精确地在正确的位置上开、合。实验室调试情况表明, 该装置工作稳定、实时性好, 能够正确地完成对同步断路器的监测与操动。

关键词: 同步断路器; 相位; 控制器

中图分类号: TM561

文献标识码: A

Abstract: The controller of the synchronous circuit breaker is developed by using strong peripheral function. Based on the single chip microprocessor MC68332, in which the algorithm of average series for zero-crossover phase difference is adopted, so the phase information of power grid can be extracted rapidly and accurately, and synchronous tracking pulses can be produced. When remote control instructions are received, according to the phase information of power grid the VCB acts synchronously to ensure that the contactors of VCB can be opened or closed in right position. The equipment is measured in the test and the test result shows that this equipment is stable and real-time, which can monitor and manage the synchronous circuit breaker.

Key words: synchronous circuit breaker; phase; controller

0 引言

随着微机控制技术的发展和智能化断路器的出现, 采用同步相控技术投切无功补偿电容器组、电抗器、变压器组成为可能^[1-2]。同步相控技术可有效减少开关动作中的暂态过电压过程, 降低安装以及维护的费用^[3-6]。根据 1993 年国际大电网会议

(CIGRE) 的统计数字, 国外已有大量中、高压同步断路器应用在电容器组、变压器的投切操作过程中, 1998 年的 CIGRE 还对其作用给予了积极肯定。ABB、三菱电机等断路器生产公司已在高压同步断路器方面进行了多年的研究。目前国内主要的进口产品是 ABB 公司的 SCB 型产品。

笔者利用基于永磁操动机构的真空开关, 结合以 MC68332 单片机为核心的控制器, 设计了智能型同步断路器。该装置能实时、准确地跟踪电网相位信息, 在接收到就地或远方控制指令后自适应补偿断路器的动作时间, 根据电容器组的结构以及真空开关的特性, 柔性地关合、切断电容器组。介绍了该控制器的硬件结构与软件算法。试验结果表明, 该控制器工作稳定, 实时性好。

1 同步断路器的结构与工作原理

设计的同步断路器的工作原理见图 1, 主要由同步开关控制器、真空开关(基于永磁操动机构)、永磁机构操作电源以及电容放电等装置组成^[7-9]。同步断路器采用双稳态永磁机构作为操动系统。同步开关控制器采集电网电压与电流信号以及计算电网的无功、周期与相位等信息, 并产生同步跟踪脉冲; 同时实时采集操作环境数据, 不断调整同步断路器动作时间的补偿参数。当控制器接收到本地或远方的控制指令时, 根据电网相位信息发出驱动信号; 通过控制永磁操动机构使真空开关准确地完成选相分、合闸任务。

2 同步断路器控制器的硬件平台

同步断路器控制器模块简图见图 2。该模块以 32 位单片机 MC68332 为控制核心, 选用大容量

收稿日期: 2006-04-25

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50107001)。

作者简介: 刘斌(1969-), 男, 博士研究生, 从事电力系统自动化与高电压开关技术方面的研究工作。

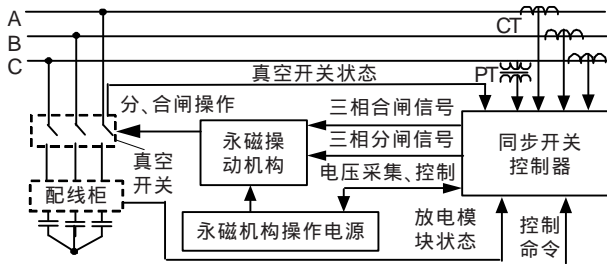


图1 同步断路器的工作原理简图

TC554161FTL 为片外 RAM, 使其在保证足够的数据存储空间基础之上, 为 BDM 后台调试方式预留出足够的程序空间。电网电压、电流信号的同步采样采用模/数(A/D)转换芯片 ADS7864, 作为计算电网的无功参数与提取电网相位信息的依据。使用串行接口 A/D 转换芯片 MAX176 采集操作环境数据(温度、湿度、操作电压等), 该芯片与单片机 MC68332 之间采用 SPI 接口, 较易做到数字地与模拟地之间的光电隔离, 并可有效防止外界环境对数字系统的电磁干扰。16 位开关量输入主要是放电模块与真空开关的状态, 以防止操作过程中的误动作。数字输出主要用于产生分、合闸控制信号以及操作电源的充、放电控制信号。数字输入、输出信号与控制模块之间全部采用光电隔离, 以增强装置的可靠性。

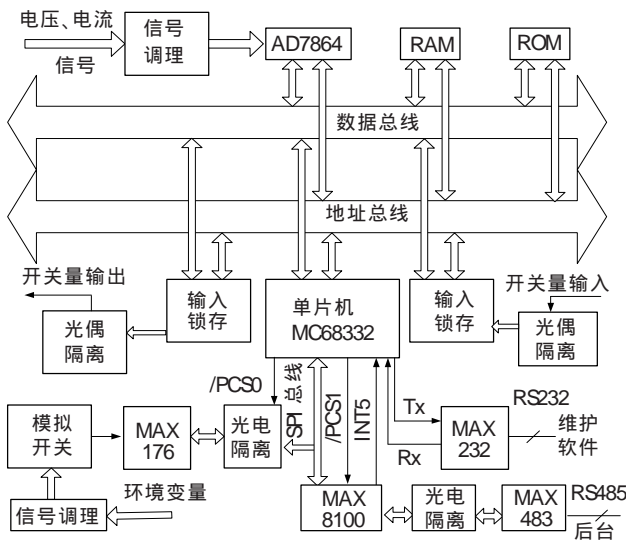


图2 控制模块结构简图

3 同步断路器控制器的软件设计

3.1 控制策略

同步断路器投、切无功补偿电容器组的控制策略应结合电网的具体接线方式进行分析。首动相控操作时序见图3, 图中 t_f 为断路器分闸时间; t_h 为合闸时间。每台同步断路器的分、合闸动作时间由型式试验测量得到, 并通过维护软件在控制器中设定与存储。实际运行过程中控制器根据环境温度、操作次数、操作电压等影响因素对分、合闸动作时间进行相应的补偿。

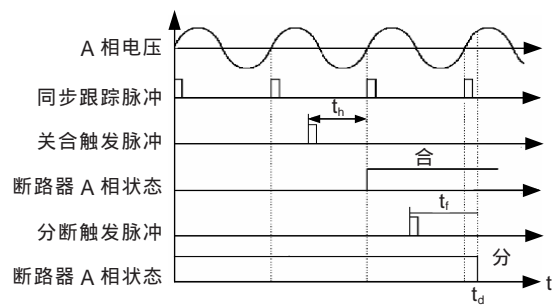


图3 同步断路器分、合闸时序图

电容器组关合的最佳时刻是在系统电压过零点时刻。对于中性点接地与不接地2种形式, 合闸控制策略并不相同, 文[3]对这2种接线形式的合闸策略进行了详细的分析与仿真。

电容器组最佳断开时刻的确定应结合无功补偿电容器组充放电特性以及高压真空开关的熄弧特性进行综合考虑^[10-11]。首先分析首开相A相的分断过程。根据弧隙介质强度恢复理论, 交流电弧熄灭的条件是电流过零后, 弧隙介质恢复强度在任何时刻始终高于弧隙上的恢复电压。动、静触头在交流过零点前应分开一定的距离, 以保证介质恢复强度总是大于恢复电压, 使电弧不发生重燃。

在首开相分断之后, 对于中性点接地系统, 其余两相的断开时序与首开相相同; 对于中性点不接地系统, 其余两相应经 $T/4$ 时间后同时分断。触头分离时刻 t_d 由开关型式试验的最小燃弧时间确定。

同步断路器通过控制动作相角与动作速度能够在确定时刻投、切电容器组。与随机投、切相比, 可极大地减小断路器动作过程中的暂态过程, 有益于提高断路器的寿命与系统的稳定性。

3.2 相位提取

准确提取电网电压的相位信息是实现同步关断的前提。在数字信号处理中通常采用在相邻两个符号改变的采样数据间进行线性插值来获得过零点。由于过零点附近的采样误差较大, 且绝对值较低, 因此简单的线性插值计算可能带来较大的误差。笔者采用交越零点相位分析算法提取信号的相位信息以及周期, 信号加噪声的复指数模型为:

$$x_n = A e^{j(\omega_0 n + \theta)} + W_n, \quad (n=1, 2, \dots, N-1) \quad (1)$$

式中: W_n 为零均值、方差为 σ^2 的噪声序列; N 为数据窗长度。信噪比较高且满足 $(\sigma^2/A^2) \ll 1$ 时, 则式(1)可转换为:

$$x_n = A e^{j(\omega_0 n + \theta + u_n)} \quad (2)$$

式中: u_n 为零均值、方差为 σ^2/A^2 的噪声序列。为避免相位展开, 令 $\theta_n = x_{n+1} - x_n$, 其中 $x_n = A e^{j(\omega_0 n + \theta + u_n)}$, 则有 $\theta_n = A e^{j(\omega_0(n+1) + \theta + u_{n+1})} - A e^{j(\omega_0 n + \theta + u_n)}$, $(n=0, 1, 2, \dots, N-2)$ 。考虑到式(2)中复指数模型的实数过零点, 当 $x(t) = \text{Re}\{A e^{j(\omega_0 t + \theta + u(t))}\} = 0$ 时, $\omega_0 t + \theta + u(t) = k\pi + (\pi/2)$, 则过

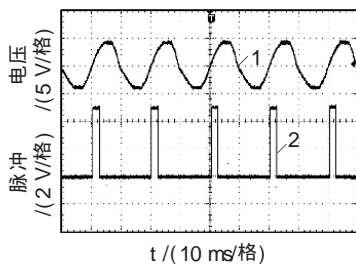
零发生时刻为:

$$t_n = k_n T + \frac{U_n}{\omega} \quad (n=0, 1, 2, \dots, N-1) \quad (3)$$

式中: $T = \frac{1}{\omega}$ 为正弦信号半周期, 且 $\omega = 1/\omega_0$ ($\omega_0 = 2\pi f$)。对式(3)进行差分运算可得:

$$t_n - t_{n-1} = T + \frac{(U_{n+1} - U_n)}{\omega} \quad (4)$$

由于电网的频率及相位变化缓慢, 在短时间内不会发生急剧变化, 因此对频率以及过零点相位进行二次均分在一定程度上可抑制虚假过零点的出现。图4为采用该方法产生的同步跟踪脉冲与交流信号相位关系图。可以看出, 采用的平均序列交越零点相位分析算法可快速、精确地提取电网的相位信息, 避免简单的线性插值引入的较大误差。



1——电网电压 2——单片机在过零点处产生的同步跟踪脉冲
图4 同步跟踪脉冲与交流信号相位关系图

3.3 软件结构

软件设计是整个装置设计的核心, 它是系统可靠运行的基础。因该控制的实时性要求较高, 程序量较大且结构复杂, 因而结合模块化的设计思想, 采用了C嵌入汇编的混合编程方式。设计在SDS74集成环境中编辑、编译、链接, 通过BDM方式在线仿真调试, 极大地提高了编程的质量和调试的效率。

该设计程序主要包括主程序、零点相位提取程序、串行口中断服务程序、定时中断程序。主程序主要完成系统上电后的初始化、各变量的赋初值、判断系统的运行状态以及各种故障的判断处理。零点相位提取程序根据定时中断采集的电网数据信息, 应用上述相位分析算法进行相位提取, 并根据得到的周期, 及时调整采样频率。串行口中断服务程序在上位机定时查询该系统状态时, 及时将所需数据按照规定格式上传, 以协助完成远方监控任务; 当上位机下达开、合命令时, 及时调整状态, 进行分合闸操作。

4 试验分析

试验选用10 kV、24 kA真空开关, 电磁回路系统参数见表1。真空开关单相动触头的运动速度及动作分散性见表2。

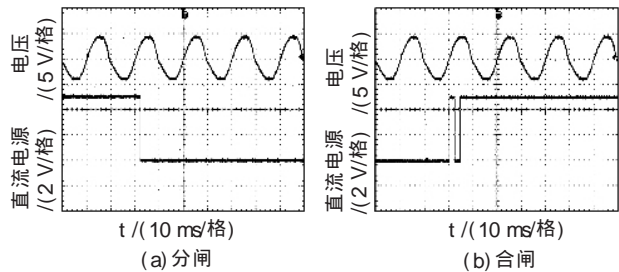
图5为同步断路器单相空载开、合闸波形。试验中分闸时刻确定在电流过零点前3 ms处, 合闸时刻在电压过零点处。试验表明, 同步断路器能够在控制

表1 激磁回路参数

动作	线圈线径/mm	线圈匝数	电容/ μF	充电电压/V
分闸	2.24	150	2 200	220
合闸	2.24	200	2 200	240

表2 动触头动作时间表

动作	平均速度/(m·s ⁻¹)	平均时间/ms	时间分散性/ms
分闸	1.45	5.72	0.4
合闸	0.78	10.26	0.5



1——电网电压信号
2——12 V辅助测试直流电源, 串接在真空开关测试回路中

图5 同步操作波形

误差范围内正确动作。示波器型号为TEK-TDS3032B。

选用10 kV、2 Mvar单组电容器进行有载试验, 接线形式为中性点不接地, 动作10次。表3为同步断路器同步关合时首动相母线的过电压 U_{over} 纪录, 表4为同步断路器同步开断的燃弧时间 T_{arc} 。由文[3]可知该同步断路器能够满足1 ms的动作精度要求。

表3 同步关合时首动相母线过电压

序号	U_{over} /kV	序号	U_{over} /kV
1	16.3	6	16.3
2	15.6	7	16.5
3	16.4	8	16.2
4	16.5	9	15.8
5	15.9	10	16.0

表4 同步开断燃弧时间

序号	T_{arc} /ms	序号	T_{arc} /ms
1	3.2	6	3.5
2	3.4	7	3.3
3	3.1	8	2.9
4	2.9	9	3.1
5	2.8	10	3.2

5 结语

无功补偿电容器组的投切是电力系统中一项非常频繁的操作, 其引起的暂态过电压与涌流不仅对电力设备不利, 还会引起保护的误动作与电能质量的下降, 同步开关技术可有效改善电容器组投切操作引起的暂态过程。笔者设计的同 (下转第409页)

由表3可以看到,地面标称电场强度随分裂间距的减小而减小,而合成电场强度和离子流密度随分裂间距的减小先减小后增加,有一个最小值,但变化不大。

由表4和表5可以看到,导线对地高度越高、极间距越小,地面标称电场强度、合成电场强度和离子流密度越小。

由此可见,地面标称电场强度受线路对地高度的影响很大,而合成电场强度和离子流密度除受导线对地高度的影响较大外,受导线直径和分裂数影响也很大。由于地面标称电场强度和合成电场强度的变化规律不同,而实际场强为合成电场强度,因此,直流输电线路设计时应当以合成电场强度的限值作为电场效应的设计指标,而将标称电场的限值作为参考。从表1~表5可以看到,对于±800 kV直流线路,上述导线结构方案的地面场效应均可满足相应的限值。由于导线对地高度为18 m时,所有参数刚好满足相应的限值,因此在这种情况下,导线最小对地高度应取18 m。

3 结论

(1) 半经验公式法可以有效地分析极导线水平排列时直流线路的合成场强和离子流密度。

(2) 分裂导线直径越大、分裂数越多,地面标称电场强度越大,而合成电场强度和离子流密度越小。

(3) 地面标称电场强度随分裂间距的减小而减

小,而合成电场强度和离子流密度随分裂间距的减小先减小后增加,有一个最小值,但变化不大。

(4) 导线对地高度越高、极间距越小,地面标称电场强度、合成电场强度和离子流密度越小。

(5) 地面标称电场强度受线路对地高度的影响很大,而合成电场强度和离子流密度除受导线对地高度的影响较大外,受导线直径和分裂数影响也很大。

(6) 由于实际场强为合成电场强度,直流输电线路设计时应当以合成电场强度的限值作为电场效应的设计指标,而将标称电场的限值作为参考。

参考文献:

- [1] 吴桂芳. 我国±500 kV直流输电工程的电磁环境问题[J]. 电网技术, 2005, 29(11): 5-8.
- [2] 侯远航, 邬雄, 万保权, 等. ±500 kV直流线路极导线垂直排列的合成场强[J]. 高电压技术, 2005, 31(5): 37-38.
- [3] DL 436-1991. 高压直流架空送电线路技术导则[S].
- [4] EPRI Report TR-102764. HVDC Transmission Line Reference Book[R]. EPRI, 1993.
- [5] Sarma P, Janischewskyj W. Analysis of Corona Losses on DC Transmission Lines, Part II-Bipolar Lines [J]. IEEE Trans. PAS, 1969, 88(10): 1476-1491.
- [6] EPRI Report EL-2257. Conductor Development [R], EPRI, 1982.
- [7] Janischewskyj W, Gela G. Finite Element Solution for Electric Fields of Coronating DC Transmission Lines[J]. IEEE Trans. PAS, 1979, 98(3): 1000-1012.
- [8] 傅宾兰. 高压直流输电线路地面合成场强和离子流密度的计算[J]. 中国电机工程学报, 1987, 29(5): 5-8.

(上接第403页)

Transient Electromagnetic Phenomena in the Secondary Circuits of Voltage and Current Transformers in GIS (Measurements and Calculations)[J]. IEEE Trans on PD., 1992, 7(1): 434-441.

- [7] Dommel H W. Simulating Traveling Waves Inside and

Outside GIS Enclosures with EMTP [R]. Canadian Electrical Association, 1994.

- [8] Povh D. Modeling and Analysis Guidelines for Very Fast Transients[J]. IEEE Trans on PD., 1996, 4(11): 2028-2035.

(上接第406页)

步断路器控制器在满足控制要求的基础上,运行稳定,调试方便;软件算法合理,精度高,运算速度快,满足断路器同步投切的实时性的要求。

参考文献:

- [1] 邹积岩, 丛吉远, 董恩源. 电子操动的概念与实践 [J]. 高压电器, 2000, 36(5): 29-31.
- [2] CIGRE Working Group Task Force. Controlled Switching of HVAC Circuit Breakers-guide for Application Lines, Reactors, Capacitors, Transformers(Part I)[J]. Electra, 1999, 183(4): 43-57.
- [3] 段雄鹰, 邹积岩, 方春恩, 等. 相控真空开关同步关合电容器组控制策略及其实现 [J]. 大连理工大学学报, 2003, 43(4): 58-60.
- [4] 丁富华, 邹积岩, 方春恩, 等. 相控断路器投切空载变压器的

应用研究[J]. 中国电机工程学报, 2003, 25(3): 89-93.

- [5] 钱家骥, 袁大陆, 徐国政. 对1000 kV电网操作过电压及相位控制高压断路器的讨论[J]. 电网技术, 2005, 29(10): 1-4.
- [6] 钱家骥. 相位控制高压断路器的动向[J]. 高压电器, 2001, 37(1): 38-40.
- [7] 林 莘, 徐建源, 高会军. 永磁操动机构动态特性计算与分析[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(6): 85-88.
- [8] ZOU Ji-yan, DUAN Xiong-ying, DONG En-yuan. Permanent Magnetic Actuator and Electronic Drive for Vacuum Switches [C]// Proceeding of 5th International Conference on Electrical Machines and Systems, Shenyang, 2001: 1323-1326.
- [9] 马少华, 王季梅. 72.5 kV 高压真空断路器永磁操动机构的研究与设计[J]. 中国电机工程学报, 2001, 21(12): 109-114.
- [10] 王其平. 电器电弧理论[M]. 北京: 机械工业出版社, 1991.
- [11] 王季梅. 真空电弧理论研究及其测试 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1993.