维普资讯 http://www.cqvip.com

文章编号:1671-4598(2006)12-1629-03　　中图分类号:TP273　　文献标识码:A

基于 DSP+FPGA 的断路器同步关合控制平台的研制

闫　湛，虞鹤松
(西安交通大学 电气工程学院，陕西 西安　710049)

摘要：介绍了基于新型高性能 DSP 芯片 TMS320F2812 和现场可编程门阵列 ACEX EP1K 208_3 FPGA 实现的断路器同步关合控制平台的设计，控制单元采用嵌入式实时多任务操作系统 μC/OS-II 作为系统软件平台，以 DSP 作为主控制单元，FPGA 作为执行单元，用 VHDL 语言实现执行电路的设计，该方案提高了系统运行的可靠性并且利于系统功能扩展，并已在实验室调试通过。

关键词：同步；TMS320F2812；FPGA；μC/OS-II

Design of Synchronization Controller for Breaker Based on DSP + FPGA

Yan Zhan, Yu Hesong
(Institute of Automation, Xi' an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: The design of synchronization controller of breaker based on a high performance DSP of TMS320F2812 and a field programmable gate array of ACEX EP1K 208_3 are introduced, and embedded real-time operating system C/OS-II is adopted as software of system, DSP is used as the core control unit, accompanied with FPGA as the executive unit. VHDL language is used realizing the design of executive circuit. The scheme advances the credibility of system running, and is good for function expanding. It has already passed the experiment.

Key words: synchronization; TMS320F2812; FPGA; μC/OS-II

0　引言

随着微处理器技术，电力电子技术和智能控制理论的迅速发展及其在电器领域的广泛应用，人们提出了电器智能化的概念。断路器是电力系统终端设备之一，其智能化的水平对电力系统的稳定和自动化程度将产生深远的影响。断路器的同步操作是电器智能化的前沿课题。

目前，系统中的断路器在关合电力设备的瞬时，系统电压的初相角通常都是随机的和不确定的，因此会产生过电压。例如，在关合空载变压器、电容器和空载线路时，常常产生幅值很高的涌流和过电压。这样不仅对系统中的设备不利，还可能引起保护误动作，影响电力系统的稳定。而采用同步关合技术不仅可以减少合闸操作的涌流和过电压，提高电能质量和系统的稳定性，而且还可以使系统中的瞬态过程缩短，因此同步关合技术可以大大提高断路器的分断能力。

由 FPGA 作为执行单元来完成对永磁机构的同步控制可使系统具有很好的可靠性、快速性、以及稳定性，本文就是用 DSP+FPGA 为核心来实现对永磁机构真空断路器的同步关合的智能控制，其中状态量的采集和执行信号输出将由 FPGA 来完成，基于 FPGA 内部的硬件电路结构，可使该系统完全满足控制实时性及可靠性的要求。

1　同步关合技术及其关合过程

同步关合技术是指断路器动、静触头在控制系统的控制下，在系统电压波形的指定相角处关合，使得空载变压器、电容器和空载线路等电力设备在对自身和系统冲击最小的情况下投入电力系统的一种智能控制技术。同步关合技术可以减低合闸操作暂态过程中的过电流和过电压，从而可以提高电力设备的寿命和系统的稳定性。

同步关合过程如图 1 所示。

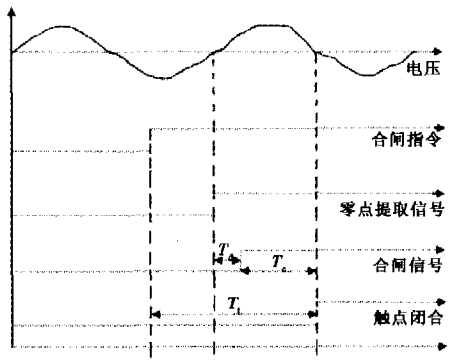


图 1　同步关合过程

T_t 为目标合闸时间，T_d 为延迟时间，T_c 为断路器的合闸时间。

断路器在接到合闸指令后，根据上次实际断路器合闸时间，计算出距离指定合闸相角的合闸时间 T_c 和延迟时间 T_d，在经过 T_d 的延迟时间后启动断路器的操动机构进行合闸操作。

2　同步关合控制器的工作原理

由于永磁机构的合分闸时间受控制电压 U 和环境温度 T 的影响，为了减小控制电压和环境温度带来的操作误差，在控制器发出就地或远方关合指令后，先测量出控制电压和环境温度，然后通过查表和线性插值获得因控制电压和环境温度的变化所造成的对同步关断时间的补偿时间。

另一方面，由于断路器操动机构的机械老化、触头电磨损

收稿日期:2006-01-24;　**修回日期**:2006-03-09。

作者简介:闫湛(1981-),男,陕西西安人,工学硕士,主要从事计算机测控方向的研究。
虞鹤松,男,教授,硕士生导师,主要从事微机控制原理方向的研究。

中华测控网
chinamca.com

维普资讯 http://www.cqvip.com

和机构运动部件阻尼系数的改变等不确定因素也可能导致永磁机构断路器操作时间的改变。因此，为了补偿这一不确定因素的影响，采用自适应算法加以补偿。由于断路器的机械老化、触头磨损和阻尼系数的改变是一种缓慢过程，为了减小偶然因素造成的干扰，对 10 次历史操作记录的补偿操作时间采用加权滤波，从而可预测出下一次操作需补偿的操作时间。

3 同步控制器硬件结构设计

基于 DSP+FPGA 技术的永磁机构真空断路器的同步关合装置的硬件组成结构见图 2。

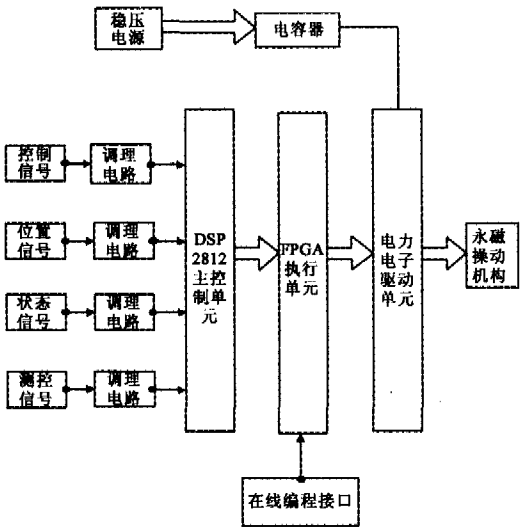


图 2 硬件结构图

本控制单元是采用 DSP+FPGA 实现的。FPGA 器件集成度高、体积小，具有通过用户编程实现专门应用的功能。它允许电路设计者利用基于计算机的开发平台，经过设计输入、仿真、测试和校验，直到达到预期的效果。在此处应用 FPGA 更重要的是，由于该同步控制平台主要用来控制断路器的关合，而断路器的关合过程中会产生强的电磁效应，如果直接由 DSP 的 IO 管脚驱动，外部电磁干扰有可能使 DSP 的程序跑飞或使 DSP 复位，严重影响执行后果，所以本系统由 FPGA 来做执行单元，其可靠程度将加强。

该同步关合控制平台的主要功能：

(1) 三相电容器同步关合控制：能够根据合/分闸命令和断路器的操作，控制电子开关的通断；

(2) 就地命令 5 路：合闸命令、分闸命令以及合闸位置信号，采用 12 V 开关量输入；

(3) 能够实现遥控操作，以便通过测控单元实现保护动作以及远程控制：远方命令（保护测控单元命令）5 路：保护分闸命令、操作分闸命令、操作合闸命令，采用 220 V 开关量输入；

(4) IGBT 驱动信号 6 路；

(5) 信号指示开关量输出 5 路；能够在不具备操作条件和机构故障等情况下，报警和禁止操作断路器；能够分析断路器的运行状态，给出相应的指示；能够分析判断断路器是否具备正常合/分闸的条件，如电源是否满足要求，机械位置是否正确等；

4 智能同步控制器的软件设计

4.1 DSP 系统软件设计

4.1.1 实时操作系统 μC/OS－II

μC/OS－Ⅱ是著名的实时操作系统，是专为嵌入式应用设计的，可用于各类 8 位、16 位及 32 位单片机或 DSP。它的源代码公开且可移植、可固化、可裁剪，其性能完全可以与商业产品竞争，其绝大部分源码是用 ANSIC 写的。

4.1.2 μC/OS－II 在 F2812 上的移植

要使用 μC/OS－II，首先要把这个内核成功移植到所使用的 F2812 上。μC/OS－II 在 F2812 上的移植工作包括以下几个内容：

(1) 在 OS_CPU. H 中定义与处理器相关的常量、宏及数据类型，例如关中断和开中断的定义分别为 # define OS_ENTER_CRITICAL () asm "DINT" 及 # define OS_EXIT_CRITICAL () asm "EINT"。

(2) 调整和修改头文件 OS_CFG. H，以裁减或修改 μC/OS－II 的系统服务，减少资源损耗。例如 # define OS_MBOX_EN 0 即禁止使用邮箱相关的代码。

(3) 编写 C 语言文件 OS_CPU. C。由于本次设计中未用到其他几个函数，因此这里主要完成函数 OSTaskStkInit () 的编写。OSTaskStkInit () 用来初始化任务的堆栈结构，使其看起来象刚发生过中断并将所有的寄存器保存到堆栈的情形一样。

(4) 编写汇编语言文件 OS_CPU. ASM。本文件包括 4 个子函数程序：OSStartHighRdy()(运行最高优先级任务)、OSCtxSw()(任务级的任务切换)、OSIntCtxSw()(中断级的任务切换)和 OSTickISR()(μC/OS－II 的时间节拍中断函数)。

4.2 DSP 应用软件设计

系统根据同步关合控制器的功能要求，分为电压采集模块、温度采集模块、断路器动作时间预测模块以及与 FPGA 的接口模块等任务，每个任务根据其系统实时性的要求分配一定的优先级。

优先级最高的是开始任务 TaskStart，这是系统启动后运行的第一个任务。在该任务中要完成系统及相关外设的初始化，并进行必要的自检测，然后创建其余的各个任务。在完成其余各个任务的创建之后，该任务要删除自己，把系统资源让给其它的任务，整个系统开始正常运行。任务流程如图 3 所示。

4.3 FPGA 软件设计

此软件部分由 VHDL 编写，由三个部分组成：滤波，测电压周期，计算开关动作时间和控制断路器动作。考虑到由于

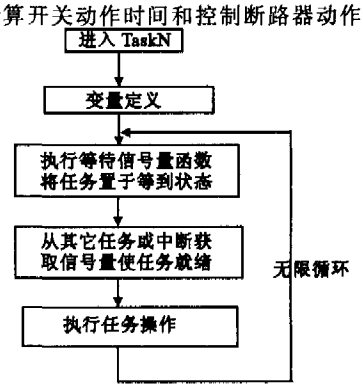


图 3 任务流程图

中华测控网
chinamca.com

维普资讯 http://www.cqvip.com

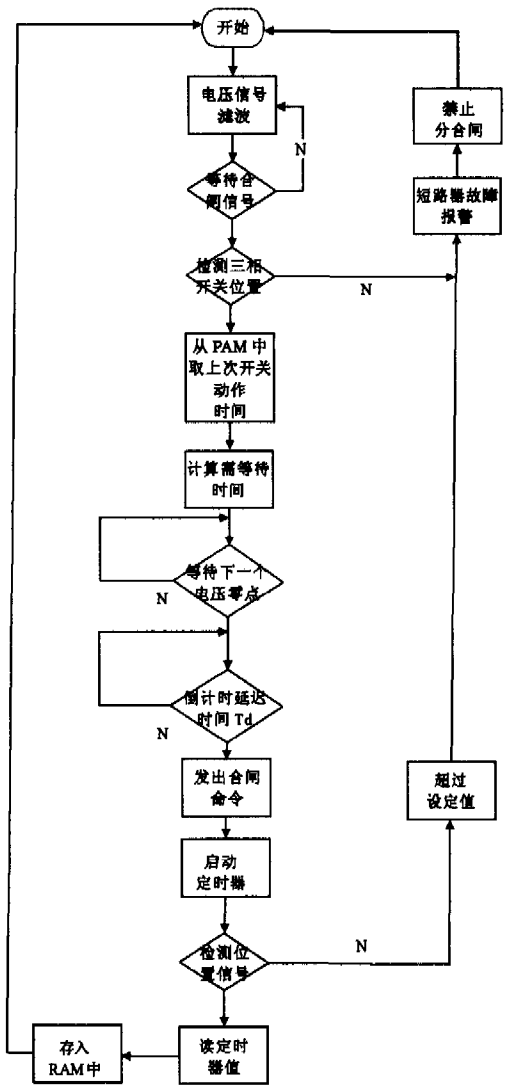


图 4　软件流程图

各种干扰的存在，有可能使微控制器在有些情况下无法正常向执行电路发出命令信号，因此，我们在设计中也使此执行电路可以独立完成断路器的关合控制，软件流程图如图 4 所示。

FPGA 执行电路采用 ALTERA 公司的 ACEX EP1K 208_3 FPGA，负责对三相电压周期进行测试，检测开关的状态量，计算开关动作等待时间，并发出对同步开关的控制命令。

5　结论

本装置采用 DSP+FPGA 技术实现了对永磁机构断路器的同步关合控制，实现了系统的智能化。

采用 FPGA 作断路器的执行部件，使其与传统的真空开关无论在可靠性、快速性、稳定性以及机械寿命等方面都有着巨大的优越性，必将得到广泛使用，具有很好的市场前景。

设计中使用新型高性能 DSP TMS320F2812，并采用嵌入式实时多任务操作系统 μC/OS－II 作为系统软件平台，满足了系统对实时性方面的要求，并为以后控制器可能的功能扩展预留了资源。

同步关断技术在目前还是一个很热门的研究课题，作者在本文中提出的 DSP+FPGA 这一模式来解决这一课题，用 DSP 做主控制器，FPGA 作执行部件，这一设计思想可以更好的应用在对可靠性要求较高的场合，在许多领域可以参考应用这一模式。

参考文献：

[1] 候伯亨，顾　新. VHDL 硬件描述语言与数字逻辑电路设计 [M]. 西安：西安电子科技大学出版社，1997.

[2] 张俊民，徐国政，钱家骊，等. 基于 CPLD 的真空断路器智能控制单元的设计 [J]. 电工技术，2002.

[3] 段雄英，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. 7

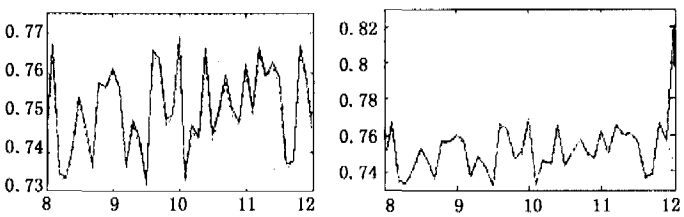
[4] 邹积岩，丛吉远，董恩源. 真空开关的电子操动与同步开关技术 [J]. 电工技术，2001.

[5] 林　莘. 永磁机构与真空断路器 [M] 北京：机械工业出版社，2003.

[6] Labrosse J J，邵贝贝. 嵌入式实时操作系统 μC/OS－II（第 2 版）[M]. 北京：北京航空航天大学出版社，2003.

[7] 方春恩，邹积岩 等. 基于 DSP 的无功补偿电容器组同步投切装置 [J]. 高压电器，2003，39（6）：21－23.

（上接第 1625 页）



(1) 传感器 1 实际输出与观测器输出值　(2) 传感器 2 实际输出与观测器输出值

（图中实线代表观测输出，虚线代表传感器输出）

图 6　传感器实际输出与观测器预测值的对比

4　结语

通过仿真实验可以看出，复合小波网络收敛速度快、预测精度高，较 BP 网络和普通的小波网络更适合作为观测器用于故障的在线检测。文中的故障检测方法，不但可以快速进行传感器故障检测，同时还可避免由于传感器输入信号突变，引起的传感器实际输出与观测器预测值之间产生偏差而导致的误诊断。此检测方法可节约大量不必要的检测时间，提高生产效率，具有很大的应用前景。

参考文献：

[1] Bakshi B R，Stephanopoulos G. Wavenet：a multiresolution hierachical neural network with localized learning [J]. AICHEJ，1993，39（1）：57－81.

[2] Daubechies I. Orthonormal base of compactly supported wavelets [J]. Communications on Pure and Applied Mathematics，1988，41（2）：909－996.

[3] 崔锦泰. 小波分析导论 [M]. 程正兴，译. 西安：西安交通大学出版社，1995.

[4] Yeung D Y，Constructive neural networks as estimator of Bayesian discriminent function [J]. Pattern Recognition，1993，26（1）.

中华测控网
chinamca.com