

# 基于 dsPIC 的智能无触点开关控制器设计

黄志方, 牟龙华

(同济大学电气工程系, 上海 201804)

**摘要:** 笔者设计了一种智能无触点开关控制器, 该控制器是由智能微控制器 dsPIC 和电力电子器件 IGCT 组成的一种新型开关器件。与电磁式有触点开关相比, 具有无触点、快速、无火花、低开关损耗、可靠性高、使用寿命长等特点, 并且通过微控制器实现对开关的监控和保护。整个开关控制器系统实现了控制功能、保护功能、测量功能、显示功能。

**关键词:** 无触点开关; dsPIC; IGCT; 光纤触发

中图分类号: TM211

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2009)02-0099-03

## Design of dsPIC Based Intelligent Contactless Switch Controller

HUANG Zhi-fang, MU Long-hua

(Department of Electrical Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

**Abstract:** An intelligent contactless switch controller is designed by combining the intelligent microcontroller dsPIC and the power electronic component IGCT, with the advantages of rapid reaction, arc-free, lower loss, higher reliability, and longer lifetime. This new switch controller can prevent its circuit from voltaic arc and impact current, and can be monitored and protected by microcomputer device. The switch controller system can implemented the functions of control, protection, measuring and displaying.

**Key words:** contactless switch; dsPIC; IGCT; fiber triggering

### 0 引言

目前我国电力系统大量使用的各种开关电器多为电磁式有触点开关, 这类开关的结构简单, 操作较为方便, 且稳态导通时无压降、能耗少, 但在闭合、关断期间有响声, 触头间会产生电火花和电弧, 对触头磨损很大, 需要经常清理和维护。而且会产生很大的浪涌电流, 尽管采用带预投电阻的专用接触器一定程度上可以降低浪涌, 但是综合效果并非理想。

无触点开关是相对于带触头的靠机械部件运动的有触点开关来说的。传统的无触点开关是由半导体器件结合集成电路构成的, 在电力半导体的保护和使用的方便易用性方面显得不足, 在使用中不尽人意。随着电力电子技术的发展, 一种由电力电子元件构成的新型无触点开关诞生, 它通过控制可控元件触发脉冲来控制导通角, 从而控制其导通时间, 而当其电压自然过零时, 可控元件会自动关断。由于这种无触点开关在工作过程中, 不存在机械触点的位

移和产生电火花的可能, 具有动作快、维修工作量少、没有噪音等优点, 目前已经在很多领域受到重视并得到了一定的应用。

智能无触点开关是将电力电子开关和微处理器结合起来, 采用电力电子开关实现电力线路或负载的无触点闭合和断开, 同时采用微机技术实现开关的智能化。微机处理技术的发展是实现智能化控制的前提, 它是集测量、运算、决策、控制、保护及遥控于一体的综合化智能体系, 可以安装于开关设备内部, 直接面向一次设备或设备组合; 能完成各自对象的实时控制、继电保护、实时电量监控、状态信息记录及历史记录等功能。微机处理技术还可作为计算机分层网络的终端, 具有多种可选的通用网络接口, 便于事故分析和状态监视; 形成微机防误操作和安全保障系统, 适应电力系统自动化发展的需要<sup>[1,2]</sup>。

### 1 智能无触点开关的结构

智能无触点开关系统主要由电力电子开关和基于微处理器的保护测控元件组成, 其原理结构框图

收稿日期: 2008-06-19; 修回日期: 2008-11-23

作者简介: 黄志方(1985-), 女, 硕士研究生, 研究方向为电力系统微机保护与嵌入式系统开发。

见图 1<sup>[1-4]</sup>。

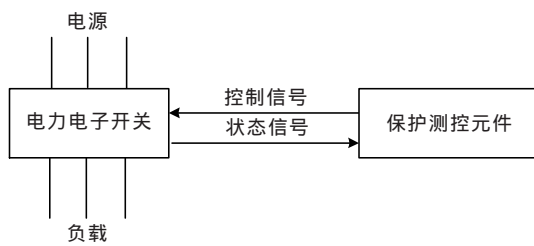


图 1 智能无触点开关结构框图

可用作无触点开关的电力电子器件有普通晶闸管(可控硅)、门极可关断晶闸管(GTO)、MOSFET、绝缘栅双极晶体管(IGBT)、集成门极换流晶闸管(IGCT)等。

可控硅为半控元件，导通需要施加正向电压和触发脉冲电流，关断需要利用外电压和外电路的作用使电流降到接近于零的某一数值以下，因此用它作为开关器件，结构比较复杂，成本较高。

GTO 的开通特性与晶闸管一致，关断需要在门极施加负的脉冲电流，其通断控制对触发极的要求不一样，导通触发电路和关断触发电路各自独立，同样增加了结构的复杂程度和成本。但是其电压电流容量大，多用于兆瓦级以上大功率场合。

MOSFET 和 IGBT 的通断特性基本一致，其开通和关断由栅极和发射极间的电压决定，电压为正且大于开启电压则开通，电压为负或不加电压时则关断，驱动电路简单，开关速度快。但它们都是中小功率器件，用于电力系统中的高压大电流回路需用多只管子进行串并联，这就降低了可靠性。

IGCT 是基于 GTO 结构的一个新型电力半导体器件，它不仅具有与 GTO 相同的高阻断能力和低通态压降，而且有与 IGBT 相同的开关性能，兼有 GTO 和 IGBT 之所长，是一种较理想的兆瓦级、中压开关器件<sup>[5]</sup>。

## 2 基于 dsPIC 的智能无触点开关控制器

### 2.1 原理及结构框图

笔者设计的智能无触点开关控制器由微控制器、主开关电路、测量回路、控制回路、状态监测电路及电源、键盘显示器电路、通信接口等组成。其原理框图见图 2。

主开关电路由采用光纤触发的集成门极换流晶闸管 IGCT 组成；微控制器选择 dsPIC30F 系列单片机 dsPIC30F6015；测量回路的模拟量为  $I_a$ 、 $I_b$ 、 $I_c$ 、 $3I_0$ 、 $U_a$ 、 $U_b$ 、 $U_c$ 、 $3U_0$  等 8 个模拟量，经过电流/电压变换器(UA/UV)、低通滤波器(LPF)和采样保持器(S/H)，

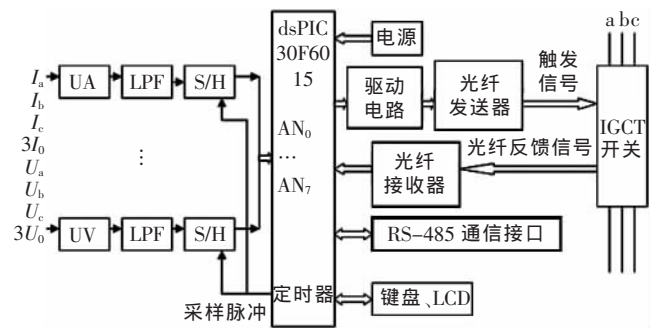


图 2 智能无触点开关控制器原理框图

送入 dsPIC30F6015 的内部 A/D 转换器，且 8 路采样保持器的采样脉冲由 dsPIC30F6015 内部定时器给出；控制回路由 dsPIC 单片机发出 PWM 控制信号送入驱动电路和光纤发送器，为 IGCT 提供触发光纤信号；状态监测电路由光纤接收器组成，将由 IGCT 自身发出的状态光纤信号转换为电信号送入 dsPIC 单片机，实现无触点开关状态的实时监测<sup>[6]</sup>。

### 2.2 dsPIC 单片机简介

dsPIC 是 Microchip Technology Inc. (美国微芯科技公司) 新近推出的高性能 16 位单片机，以 dsPIC30F 系列 MCU 为主，非常适合微机继电保护和测控等场合的应用。由于其兼容了单片机和 DSP 芯片这两类产品的优点，具有以下特点：丰富的外围部件；完整的 DSP 引擎；改进的中断能力；Flash 存储器，灵活的重编程能力；强大的开发环境；引脚数少；使用优化的高级语言；熟悉的类似单片机的用户开发平台。此外，dsPIC 还可以支持 4 M×24 位的可寻址 Flash 程序存储体，以及 32 k×16 位的数据存储空间。相对于其它许多单片机的 5 V 供电及 DSP 的 3.3 V 供电，dsPIC 支持 2.5~5.5 V 的宽范围供电电压<sup>[7]</sup>。

### 2.3 主开关电路

该设计选用集成门极换流晶闸管 IGCT 作为无触点开关的主控元件，在作用上代替传统的电磁式有触点开关，在电网发生故障时实现对电气设备的保护和控制作用。线路的每一相由两个 IGCT 反向并联连接组成无触点开关，见图 3。使用的 IGCT 型号为 5SHX26L4510(4.5kV/2.2kA)。

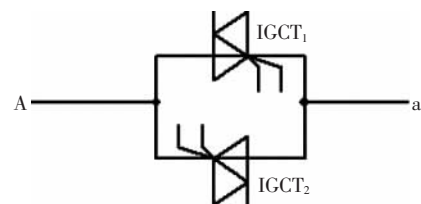


图 3 主开关电路

IGCT 采用光纤信号触发，并提供本身工作状态的

光纤反馈信号,开关特性优异(最小开通时间  $10\ \mu\text{s}$ ; 最小关断时间  $10\ \mu\text{s}$ ),因此可以实现没有熔断器的大功率无触点开关,且IGCT的通态压降相对较低,用于大功率场合下,其通态损耗也可忽略不计。

#### 2.4 开关触发电路

由dsPIC30F6015的PWM输出端口输出的6路PWM波,分别经过6个光纤发送器,将电信号转换为光纤信号,再分别送入6个IGCT的触发端。光纤发送器采用HFBR1521发送模块,其最大传输速率为5 Mbd。以A相其中一个IGCT为例,其触发电路见图4,其中DS75451为驱动芯片。

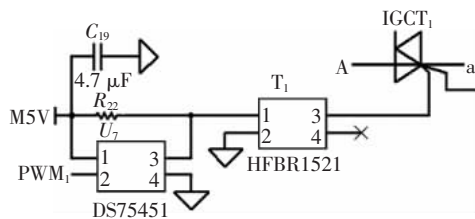


图4 光纤触发电路

#### 2.5 状态反馈电路

IGCT提供本身工作状态的光纤反馈信号,于是可以由光纤接收器将其光纤反馈信号转换为电平信号送入dsPIC30F6015,便于dsPIC30F6015分析处理,并显示开关状态。同样以A相的一个IGCT为例,其状态反馈电路见图5,光纤接收器采用与HFBR1521模块配套使用的HFBR2521接收模块,其最大传输速率也是5 Mbd<sup>[1]</sup>。

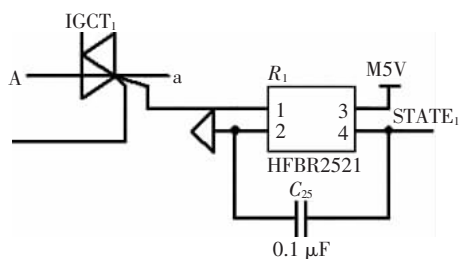


图5 状态反馈电路

#### 2.6 键盘及LCD显示电路

键盘模块提供了用户对智能开关控制器系统操控的路径,对其设计的要求是既要灵敏,同时减少干扰所带来的误操作。键盘系统共有9个按键,分别是“合闸”、“分闸”、“上”、“下”、“左”、“右”、“确认”、“退出”、“复位”,用作控制操作、参数整定修改、查询故障记录和复位等功能。为避免外部干扰对微机系统的影响,键盘输入电路采用光电耦合隔离方式进行处理,见图6<sup>[6]</sup>。

该设计中LCD采用MGLS19264型图形点阵液晶显示器,实时显示开关的各种运行参数、开关状态和故障类型等信息。

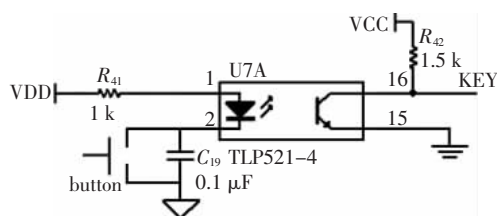


图6 键盘电路

### 3 软件设计

该智能无触点开关控制器主要具有控制、保护、测量、显示和通信等功能,其软件设计分为两大部分,第1部分实现保护与测控功能,第2部分实现人机接口及通过键盘实现控制功能。

保护测控功能是通过定时采样测量输入模拟量的值,经过CPU进行分析计算和判断是否采取动作,该设计中主要对8路模拟量进行数据采集、滤波和计算,完成过流、接地、缺相等保护算法,并对8路测量模拟量进行基波分析,可显示测量值。该功能程序流程图见图7。

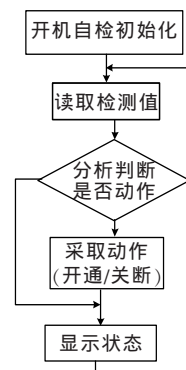


图7 保护测控流程图

对于键盘的输入操作与开关的分合闸操作控制命令,CPU采用中断方式进行处理,一旦有输入键盘命令,即进入中断处理子程序,根据键盘输入的命令或参数进行控制和整定参数。该部分的简要程序流程图见图8。

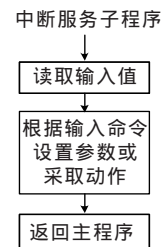


图8 键盘中断程序

### 4 结语

笔者设计的智能无触点开关控制器系统,开关由耐压高、电流大、开关频率高、(下转第105页)

误差,不应大于被检电流互感器误差限值的1/10。在整个事件中,厂家一直在质疑的信号波形畸变以及与测试工作有关的电磁场对其产品产生影响,但无法从规程或指导书中拿出很令人信服的条款来证明用于测试工作的升流器、调压器、大电流电缆等引起的测量误差没有大于被检电流互感器误差限值的1/10。实际上,由于被试品没有采取屏蔽措施,试验设备产生的电磁场对被试品的测量误差产生了较大的影响,甚至远远超过了被检电流互感器误差限值的1/10,但这是由于被试品没有采取屏蔽措施所致,而不是其他原因。

(上接第98页)

(2)均压电容器采用硅橡胶垫圈与盖子密封。而电容器油(二芳基乙烷、苄基甲苯等)本身就是有机溶剂,可将橡胶上的杂质(填充剂、颜料、润滑剂、硫化剂等)溶于油中,造成 $\tan\delta$ 上升。国外有使用氟胶材料做密封垫圈,如杜邦公司Viton胶,效果非常好,但价格昂贵,无法接受。可采用前处理溶解方法,以二芳基乙烷为例,将成形的硅橡胶密封垫圈,在100℃热二芳基乙烷中预先处理10~12h后使用,可以得到二芳基乙烷的 $\tan\delta$ 上升接近零<sup>[5]</sup>。

(3)此外,在装配过程中应尽可能地减少杂质混入产品的可能。比如,在有油装配、无法戴手套时,操作者手中的汗水就有可能混入溶剂中,汗水中的离子杂质对介质损耗的影响比空调过滤的灰尘( $\text{SiO}_2$ 、

(3)由于国内缺少大容量的适用于现场的升流设备,对近几年进口的国外GIS中的大变比电流互感器,显得越来越无能为力。因为国外的厂家均不允许从地刀送入一次电流,仅同意从高压一次套管加电流信号,这给从事互感器现场误差试验的人员带来了很大的挑战。

#### 参考文献:

- [1] 徐家恒. 126 kV GIS中互感器的误差试验[J]. 高压电器, 2003, 39(2): 56-58.
- [2] JJG 313-94. 测量用电流互感器 检定规程[S].
- [3] 电能计量装置现场检验作业指导书[S].

$\text{Al}_2\text{O}_3$ 等非离子)<sup>[5]</sup>的影响要大得多。汗水这些不被人注意的杂质就有可能为产品 $\tan\delta$ 的变大留下隐患。

#### 参考文献:

- [1] 李建明, 朱康. 高压电气设备试验方法[M]. 四川电力试验研究院, 2001.
- [2] 电力设备预防性试验规程(试用版)[M]. 安徽省电力公司, 2005.
- [3] 许沛丰, 高军委, 张予洛, 等. 对断路器电容器电容及介损测量预试方法的探讨[J]. 电力电容器, 2007(4): 17-19.
- [4] 宁风辉. 浅谈断路器电容器介质损耗问题[J]. 电力电容器, 2002(4): 13, 14.
- [5] 宁风辉. 550 kV双断口 $\text{SF}_6$ 断路器用全膜断路器电容器的研究[M]. 西安交通大学, 2002.

(上接第101页)

控制功率小的电力电子器件IGCT反并联组成,通过智能微控制器dsPIC根据输入控制命令控制其通断,实现开关的无触点分合闸控制,并可实现保护、测量、显示及通信等功能,进一步完善应用后,可极大地提高供电系统的可靠性,提高开关设备的性能指标,具有很高的实用价值和应用前景。系统采取EMC对策,如设计PCB板布局走线、设计屏蔽体、设计安全的电源与接地系统、采取干扰滤波或隔离措施、软件抗干扰等,可达到较好的电磁兼容性。

#### 参考文献:

- [1] 于庆广, 官荷林, 李建勋. 智能无触点开关及双回路电源自动投切装置[J]. 电工技术杂志, 2004(5): 72-73.
- [2] 卢宇. 智能开关技术在电力系统中的应用[D]. 武汉: 华中

科技大学, 2003.

- [3] DHALAAN S M S. Contactless Circuit Breaker Protection For AC Line Commutated Thyristor Converter [C]// Proceedings of the 2002 IEEE Canadian Conference on Electrical & Computer Engineering, 2002: 236-239.
- [4] SCHRODER S, BLOH J V, DE DONCKER R W. A GCT-driver Optimized for Soft-dwitching High-power Inverters with Short Circuit Protection [C]// 2004 35th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference, 2004: 105-111.
- [5] 程健, 冯士芬, 许成金. 新一代无触点开关——电子断路器[J]. 电气开关, 1999(4): 1-3.
- [6] 杨奇逊, 黄少锋. 微型机继电保护基础(第2版)[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [7] Microchip dsPIC30F Family Reference Manual [DB/CD]. Microchip Technology Inc., 2005.