

基于 ARM 和 CPLD 的三相可控硅调压控制

The Three-phase Voltage Regulation of SCR based on ARM and CPLD

(中国科学院上海应用物理研究所) 谢华忠 王君 郭洪雷 张宇田
XIE Hua-zhong WANG Jun GUO Hong-lei ZHANG Yu-tian

摘要: 本文提出了一种基于嵌入式微处理器(ARM)和复杂可编程逻辑器件(CPLD)的移相调压控制的方法。将模糊 PID 控制技术应用到调压控制中,实现了 PID 参数的自我整定。该系统抗干扰能力强、触发脉冲同步性好、控制精度高,工作稳定,适用于具有非线性、时变不确定性等复杂特性的负载。

关键词: 可控硅; 数字移相触发; 模糊 PID 控制器

中图分类号: TP273 文献标识码: A

Abstract: This paper describes the design of three-phase voltage regulation of SCR based on ARM (Advanced RISC Machine) and CPLD (Complex Programmable Logic Device). The fuzzy-PID control technology is used in the voltage regulation, and the PID parameters can be self-tuning. The system is applicable to the load with the complex characteristics of nonlinearity and time varying uncertainty, and has many advantages such as better synchronism of trigger pulses, better anti-jamming, high control precision and stable running.

Key words: SCR; Digital phase-shift trigger; Fuzzy-PID controller

1 引言

单独采用可编程逻辑器件(CPLD 或 FPGA)、嵌入式微处理器 ARM 或者数字信号处理器 DSP 均可实现三相可控硅移相调压控制。由于可编程逻辑器件可利用数字逻辑资源实现硬件上的完全并行,其在数字移相脉冲的同步性和稳定性上比 ARM 和 DSP 更具优势。但是针对具有非线性、时变不确定性等复杂特性的负载,相对于 ARM 和 DSP,可编程逻辑器件在实现复杂的算法时,往往需要相对较长的开发周期。为此本文提出了一个以 ARM 和 CPLD 为核心架构的数字式三相可控硅移相调压控制器。采用 ARM+CPLD 架构可充分利用 ARM 芯片资源丰富、处理速度快、编程方便等优点,也可充分发挥 CPLD 灵活的大规模高速逻辑运算处理能力、信号同步性好、I/O 资源丰富和无需外部配置存储器等优势,缩短开发周期,提高工程开发效率。

2 系统设计原理及硬件实现

2.1 Y 型三相交流调压原理

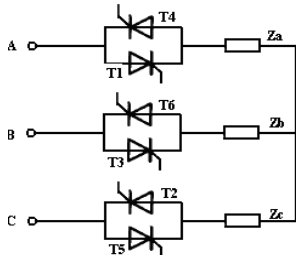


图 1 Y 型三相交流调压原理图

采用相位控制实现负载的三相调压。如图 1 所示,三对反并联的可控硅与负载的三相输入端连接,此时负载为 Y 型连接。可控硅的触发相序为 T1~T6,依次间隔 60°。

谢华忠: 硕士研究生

2.2 系统的硬件实现

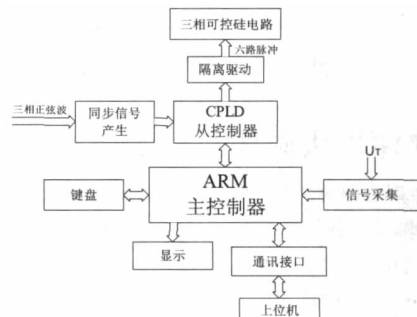


图 2 系统结构框图

本系统的结构如图 2 所示。系统将 ARM 微处理器 LPC2220 作为主控制器,负责调压控制算法的实现、与 CPLD 控制器和上位机的通信、对信号的采集和处理、键盘控制和 LCD 显示以及可控硅的故障保护等。将 CPLD 芯片 EPM1270 作为从控制器,用于形成三相移相触发脉冲。

同步信号产生电路,提供三相触发脉冲的基准信号。通过三相同步变压器降压的三相正弦波信号,经 RC 电路(30°)移相、过零点电压比较和光电隔离后,为 CPLD 提供三相同步方波信号。

隔离驱动电路,负责数字量和模拟量的隔离、脉冲信号的功率放大以及信号的高低电压隔离。CPLD 产生的六路双窄脉冲信号经过高速光耦 6N137 进行数字量和模拟量的隔离,再经排阻、高压大电流达林顿晶体管阵列 MC1413P、脉冲变压器等元件构成隔离驱动电路。

信号采集电路,主要是对可控硅三相输出电压中的任意两相之间的线电压进行采集,采用 AC/DC 器件 TV2033-01D(非线性度 ≤ 1%) 将可控硅输出的交流电压信号转换为直流电压信号,再经调理电路转换为 0~3.3V 电压信号,最后由 ARM 处理器自带的 10 位 A/D 转换器采样、数字滤波和线性化处理获取。

控制器 ARM 与 CPLD 之间利用并行总线进行数据传送和控制,而 ARM 和上位机之间则采用 RS232 或者 RS485 接口进行通讯。

3 数字移相触发电路

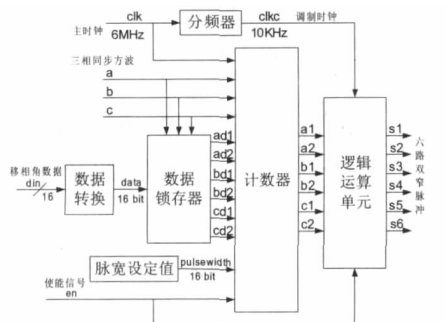


图 3 数字移相触发实现原理图

数字移相触发原理是通过改变可控硅每周导通的起始点即触发控制角 α 的大小,达到改变输出电压的目的。

本文所采用的数字移相触发脉冲电路是以 CPLD 为核心,由硬件描述语言 VHDL 设计完成。其实现原理,如图 3 所示。CPLD 从控制器把 ARM 主控制器运算得到的控制角 α ,折算成计数脉冲数 $data = \alpha \cdot T_{clk} / 360$ (T 为可控硅交流电源周期),依据三路同步信号的上升沿和下降沿,进行数据锁存、计数器计数来产生六路单脉冲,最后经逻辑运算单元实现六路双窄脉冲。设计中还实现了脉冲宽度的软件设定、脉冲波形的使能和闭锁以及脉冲波形的调制等功能。通过改变 16 位移相角数据 ($0 \sim 65535$),线性地调节移相角 ($0 \sim 150^\circ$),其移相角控制精度可以达到 0.003° 。

4 软件算法原理及实现

4.1 软件算法原理

可控硅调压控制软件算法即模糊 PID 控制算法的原理,如图 4 所示。将电压的设定值 r_{in} 与采样值 y_{out} 的偏差 e 以及偏差的变化率 ec 作为模糊控制器的输入,把 PID 三个参数的整定量 Δkp 、 Δki 和 Δkd 作为模糊控制器的输出,叠加在上一次的 PID 参数值 kp' 、 ki' 、 kd' 上获得当前的 PID 参数 kp 、 ki 、 kd ,由 PID 控制器输出可控硅移相触发的移相角增量 $\Delta \alpha$,从而获得当前的移相角 α 。

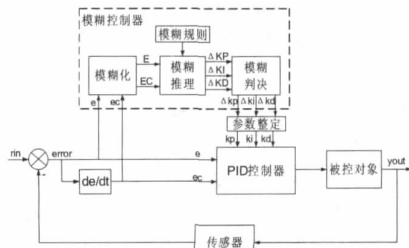


图 4 模糊 PID 算法原理图

4.2 软件算法实现

主程序完成系统初始化、键盘控制、上位机通信以及显示等功能;将模糊 PID 算法的控制表存入相应的存储器,在程序中通过查表计算出可控硅的移相角,并将使能信号、移相角数据发送给 CPLD 控制器,图 5 为模糊 PID 算法程序流程图。对 10 位 A/D 信号采集的信号进行数字滤波,并实现对可控硅的保护处理。用 NI 的图形化设计软件 Labview 完成上位机界面、通讯控

制和数据处理等设计。

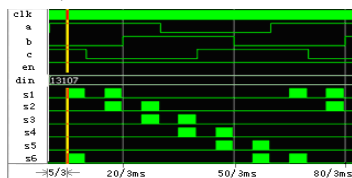


图 5 模糊 PID 算法流程

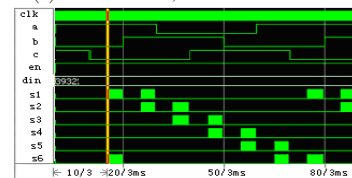
5 仿真与实验结果

5.1 触发脉冲仿真结果

图 6 所示为 ModelSim 6.3c 软件中移相角 α 分别是 30° 和 90° 、脉冲宽度均为 27° 时 CPLD 触发脉冲仿真波形。在仿真图中,左侧为系统的输入输出信号列表,右侧为仿真波形。输入信号为 6MHz 的时钟 clk, 三相同步方波 a、b、c, 16 位移相角数据 din 以及使能信号 en, 输出则为六路触发脉冲 s1、s2、s3、s4、s5、s6。



(a) α 为 30° 时, 触发脉冲波形



(b) α 为 90° 时, 触发脉冲波形

图 6 Modelsim 软件仿真波形

5.2 模糊 PID 控制的 Matlab 仿真结果

从图 7 可以看出, 模糊 PID 参数控制较常规 PID 控制具有较小的超调量和较短的调节时间, 且具有较好的动态响应特性和稳态特性。

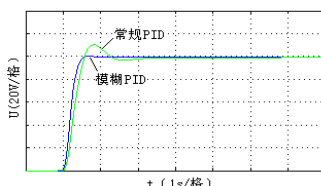
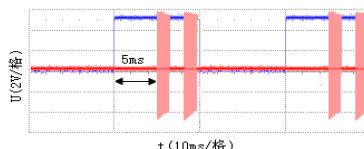
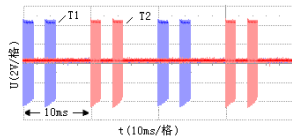


图 7 两种 PID 控制的阶跃响应特性曲线

5.3 实验测试结果



(a) α 为 90° 时, 触发脉冲波形



(b)同一相中两只可控硅的脉冲波形

图 8 实测可控硅触发脉冲波形

用 Y 型接法的三只 220V/60W 灯泡做负载实验,测试获得的脉冲波形和可控硅输出波形分别如图 8、图 9 所示。图 8(a)为当移相角为 90° 时的触发脉冲波形,图 8(b)为同一相中两只可控硅的触发脉冲波形。

图 9(a)、(b)所示分别为当移相角为 30° 、 90° 时,可控硅输出电压波形 U_{SCR} 。图中正弦波 U 为可控硅输入电压移相 30° 后的电压波形。实验表明,可控硅输出电压随着移相角的增大而减小。

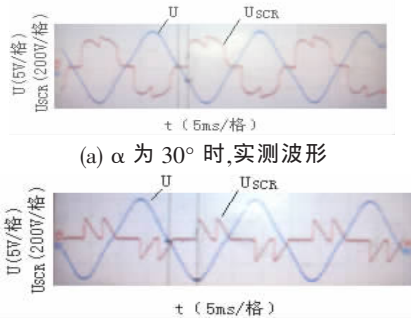
(a) α 为 30° 时,实测波形(b) α 为 90° 时,实测波形

图 9 可控硅输出波形

6 结论

根据仿真和实验结果可以看出,以 ARM 和 CPLD 为核心,以模糊 PID 控制为控制方式,设计出的三相可控硅移相调压控制系统,充分地发挥了 ARM 和 CPLD 的各自优势,提高了系统的动态特性和静态特性,适用于非线性、时变不确定性等复杂特性的负载。

本文作者创新点:基于 ARM 和 CPLD 的三相可控硅调压控制系统,充分发挥了 ARM 和 CPLD 的各自优势,并采用了模糊 PID 控制方式,特别适用于非线性和时变不确定性等复杂特性的负载。

参考文献

- [1]钱建,安刘玉.基于 ARM 和 CPLD 的可重构检测系统设计[J].微计算机信息,2007,10-2:113-114.
- [2]王兆安,黄俊等.电力电子技术[M].北京:机械工业出版社,2005.
- [3]刘艳萍,李素玲,李志军,马军.励磁系统中可控硅触发脉冲的 FPGA 编程实现[J].大电机技术,2007(01):49-51.
- [4]陶永华.新型 PID 控制及其应用[M].北京:机械工业出版社,2001.
- [5]曾光奇,胡均安,王东,刘春玲主编.模糊控制理论与工程应用[M].华中科技大学出版社,2006.

作者简介:谢华忠(1985-),男,浙江温州人,硕士研究生,研究方向:嵌入式控制系统的开发与应用;王君(1978-),男,安徽淮南人,博士研究生,研究方向:工业辐照加速器控制技术的研究;郭洪雷(1977-),男,上海崇明人,硕士,主要从事工业辐照加速器控制技术的研究;张宇田(1955-),男,甘肃兰州人,中国科学院上海应用物理研究所研究员,硕士生导师,主要从事工业辐

照加速器的应用研究。

Biography:XIE Hua-zhong (1985-), Male, Zhejiang Province, Master Candidate, Research Direction: Research and Application on Embedded Control System.

(201800 上海 中国科学院上海应用物理研究所) 谢华忠 王君 郭洪雷 张宇田

(Shanghai Institute of Applied Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China) XIE Hua-zhong

WANG Jun GUO Hong-lei ZHANG Yu-tian

通讯地址:(201800 上海市嘉定区嘉罗公路 2019 号 中国科学院上海应用物理研究所) 谢华忠

(收稿日期:2009.10.12)(修稿日期:2010.01.12)

(上接第 74 页)

参考文献

- [1]曹名扬.从嵌入式系统到片上系统[DB/OL].www.embedded.com.cn,2004/嵌入式系统
- [2]G.Sumit Large-scale systems design: A revolutionary new approach in software hardware co-design .13th International Conference on AI,Simulation,and Planning in High Autonomy Systems: 270-274,2005
- [3]杨宏业;张跃清华嵌入式软件系统的解决方案[J].微计算机信息,2004,1-1:21-23.
- [4]杨著等,嵌入式系统中 BSP 的作用及其关联环节的分析[z],通信学报,2004,12:71-74
- [5]Bolsens, De Man, Lin, Van Rompaey, Vercauteren and Verkest, "Hardware/software co-design of digital telecommunication systems" Proceedings of the IEEE, Vol. 85, No. 3, March 1997.
- [6]微软公司 Win CE 开发开发[M],电子工业出版社,2007 :53-55
- [7]周敏林 Windows CE.net 内核定制及应用[M] 电子工业出版社 2005:131-132
- [8]KEEL Software Inc. RTX51 Real-time Kernel [OL].http://www.keil.com/rtx51.2004

作者简介:郝丹 1981 年 3 月 女 汉 四川省达州市 硕士 工程师 中国测试技术研究院 主要研究方向:计算机应用、嵌入式技术;杨著 1963 年 2 月 男 汉 四川省绵阳市 硕士 副教授 主要研究方向:嵌入式技术、计算机应用等;范太华 1962 年 9 月 男 汉 四川省绵阳市 学士 高级工程师 主要研究方向:计算机系统结构、计算机应用等。

Biography:DAN Hao (1981.03), female, (Han), Sichuan, National Institute of Measurement and Testing Technology, engineer. Research area: computer application, the embedded technology.

(610021 中国测试技术研究院) 郝丹 贺昌蓉

(621000 西南科技大学) 杨著 范太华

(National Institute of Measurement and Testing Technology Chengdu ,610021, China) HAO Dan HE Chang-rong

(Southwest University of Science and Technology Mianyang, 621010, China) YANG Zhu FAN Tai-hua

通讯地址:(610021 成都市玉双路 10 号) 郝丹

(收稿日期:2009.10.20)(修稿日期:2010.01.20)

您的才能 + 阅读本刊 = 您的财富