

一种新型智能数字触发器的设计与实现

周 洋,申群太,邹润民,毛金花

(中南大学 信息科学与工程学院,湖南 长沙 410083)

摘要:设计了一种新型大功率晶闸管整流装置智能数字触发控制器。该控制器硬件核心由基于 16 位微控制器 MC9S12DP256B 与 TI DSP TMS320LF2407 的双处理器系统构成。算法上采用模糊自适应比例积分(PI)进行稳流控制,整流变压器档位与控制角解耦控制优化功率因数。为满足该系统的实时性及高可靠性的要求,为主控制器移植了嵌入式操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 。实验结果表明,采用该方案的智能数字触发器获得了令人满意的性能,主电路电流稳态精度高、抗干扰能力强、换档期间电流无冲击。

关键词:晶闸管整流;模糊自适应 PI;双处理器; $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$

中图分类号:TM 46;TP 21

文献标识码:B

文章编号:1006-6047(2006)07-0075-03

目前,晶闸管整流设备以其稳流精度高、整流效率高、电路简单可靠的优点在有色冶金、电化学等行业得到了广泛应用。最常见的模拟触发装置,由于固有的稳定性差,触发脉冲对称度差,无检测、自诊断、联网能力的诸多缺点,在大功率整流场合已濒临淘汰^[1]。本文基于 16 位微控制器 MC9S12DP256B 与 TI 公司数字信号控制器 TMS320LF2407^[2]的双处理器系统,以单片机与数字信号处理器(DSP)并行处理技术为基础,设计了集检测、控制、通信于一体的多功能大功率晶闸管整流电路智能数字触发控制器。

1 硬件设计

系统硬件结构如图 1 所示。

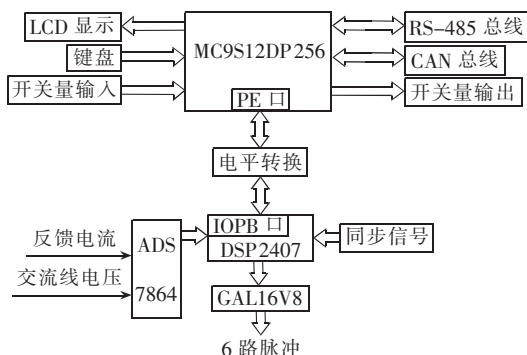


图1 系统硬件结构

Fig.1 The hardware structure of system

由图 1 可知,该控制器分别由微控制器(MCU)子系统与 DSP 子系统 2 大部分构成。MCU 子系统以飞思卡尔高集成度 16 位单片机 MC9S12DP256B 为核心。该单片机内嵌丰富的资源,包括 256 KByte Flash ROM、4 KByte EEPROM、12 KByte RAM、CAN 总线、串行通信接口(SCI)、串行外设接口(SPI)等多

种接口,使其能真正运行在单片模式下^①。相对于目前广泛使用的 Intel 196 系列单片机,MC9S12DP256B 有诸多优势。MCU 子系统在整个数字触发器中主要实现人机交互、网络通信及各种继电保护的功能。DSP 子系统以 TI 公司 TMS320LF2407 为核心,该 DSP 定点运算最高可达到 30 兆条指令每秒^[3]。该芯片由于集成了强大的电机控制用内部外设,在 PWM 整流、逆变等场合得到了广泛的应用。文中介绍的为大功率晶闸管相控整流系统,只用到了该 DSP 的高速运算及高速输入/输出功能。DSP 子系统与 MCU 子系统分别利用其 1 个 8 位普通 I/O 口以并行通信交换数据,由于单片机工作在 5 V 电源下,而 DSP 系统采用 3.3 V 供电,所以需要为其添加 1 块电平转换芯片^[4]。

扩展 ADS7864 作为反馈电流及交流线电压的数模转换通道。该器件为快速多通道全差分输入的双 12 位 ADC 转换器,其内部有 2 个可同时转换的 12 位 ADC。DSP 通过并行接口读出转换得到的数据。

在数字触发电路中,对同步信号的要求非常高。常规的做法是硬件同步信号进中断,虽然使用三相同步,克服了电源波动,但同步信号往往带有干扰,须加阻容滤波网络,防止误同步信号,同时,电容参数会随环境变化造成三相不对称,解决的方法是数字同步。本系统的三相同步信号进入 DSP 后,经过数字锁相、频率自适应算法能得到高可靠的同步信号。

输出电流给定及整流变压器档位检测与控制由 MCU 系统中的 CAN 总线网络与上位机及档位操作器联系。最后,通过 DSP 的比较输出通道输出 6 路单脉冲,再由 1 块可编程逻辑器(PLD)GAL16V8 实现双窄脉冲输出到隔离功放电路。在脉冲输出部分,为了解决并联桥臂的均流问题,须提高脉冲前沿的陡度,采用了快速光耦 6N137 及强触发电路。

该系统的一个重要特点是使用的外围芯片很

少,MCU 子系统及 DSP 子系统的总线都未引出,从根本上提高了装置的抗干扰能力,满足在恶劣环境下的可靠运行(触发装置与大功率晶闸管主电路相隔很近)。不扩展的单片机在电力行业,尤其在继电保护装置上首先得到了应用,相信今后在更多的领域得到广泛应用。

2 控制策略及软件设计

由于该系统采用双处理器结构,设计程序时,单片机与 DSP 需要很好地配合才能完成整个控制功能。以 MCU 为核心的人机交换模块主要包括单片机本身初始化、键盘中断、液晶显示、CAN 总线、RS-485 通信及与 DSP 并行通信各子模块。为进一步满足控制中高可靠性与实时性的要求,该单片机移植了嵌入式操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 。

$\mu\text{C}/\text{OS}$ 最先是为 68 HC 11 单片机设计的,而基于 HCS12 的 MC9S12DP256B 正是在 68HC11 的基础上发展的,加之该单片机内部资源丰富,而 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 只占用不到 2 KByte 的内部 RAM 资源,因此,MC9S12DP256B 移植 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 是很适合的^[5]。MCU 子系统的软件结构框图如图 2 所示。

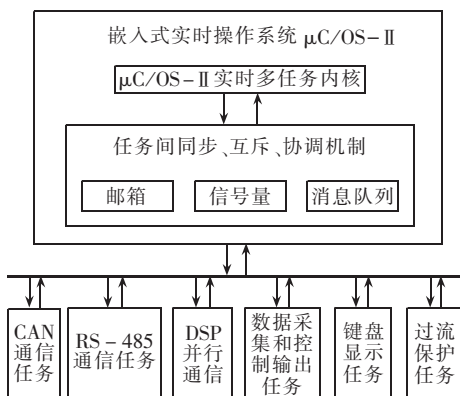


图 2 MCU 子系统软件结构框图

Fig.2 The software framework of MCU subsystem

DSP 系统主要实现数据处理算法功能,能实现较复杂的算法。本控制器在某一整流变压器档位下采用了模糊自适应 PI 策略进行高精度稳流输出^[6],控制器结构如图 3 所示。

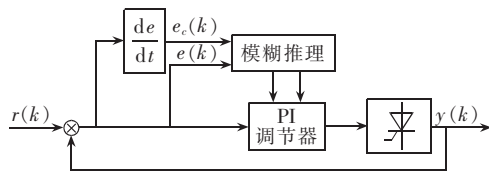


图 3 控制器结构图

Fig.3 The structure of controller

模糊自适应 PI 控制器以误差 e 和误差变化 e_c 为输入,利用模糊规则进行模糊推理,查询模糊规则表进行参数调整[略]^[7]。

模糊控制器的输出为 PI 控制器的控制参数组 K_p, K_i 。一般偏差 e 绝对值较小时, K_p 取较小值;反之取较大值,这样有利于加快响应速度,同时,保证有

很好的稳定性; K_i 在偏差 e 绝对值较小时,取较大值;反之取较小值,这样既有利于保证稳态无静差,又不会引起积分饱和而使超调增大、调节时间延长^[8]。模糊控制器对输入变量的量化等级一般取 7~9,这样既能限制模糊控制器模糊规则的数目,同时系统又有较好的实时性和足够的控制精度。模糊自适应 PI 的程序流程如图 4 所示。

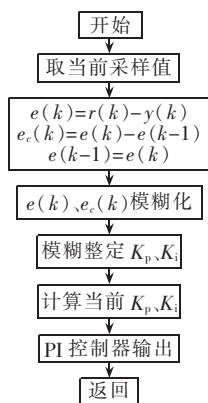


图 4 模糊自适应 PI 程序流程

Fig.4 Flowchart of fuzzy self-adaptive PI program

晶闸管变流装置的总功率因数 λ 等于位移因数 $\cos \varphi$ 与基波因数 ν 之积^[9],即

$$\lambda = \nu \cos \varphi$$

将变压器一次矩形波电流 I_1 分解为傅氏级数计算,可得:

$$0.9 \leq \nu < 1.0$$

若忽略基波因数的影响,则

$$\lambda \approx \cos \varphi = \cos \alpha$$

由此可知:晶闸管变流装置在滞后相控时,其功率因数随控制角 α 的增加而降低。实际控制角 α 限制在 $0^\circ \sim 10^\circ$ 变化,整流变压器从 700~825 V 共分 29 档调节。因为整流变压器档位为离散量,且不能频繁调节,所以既要满足给定电流输出,又要使功率因数尽可能高,即控制角 α 尽可能小。为了达到上述目的,本控制器实现了整流变压器档位与 α 角解耦控制。

3 现场运行

该数字触发器已在某国有特大型冶炼企业稳定运行数月效果好。负载为带反电动势的电阻性负载,触发脉冲可自动适应不同的输入相序,从而提高了系统可靠性。 $\alpha = 60^\circ$ 的实验波形如图 5 所示。运行结果表明,该触发器实现了触发脉冲的高精度对称,而且提高了脉冲稳定性,直流纹波大为减少,功率因数达到最优,晶闸管并联支路均流系数高,变压器自动换档期间电流无任何冲击。

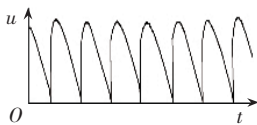


图 5 实验波形
Fig.5 Experiment waveform

4 结语

该触发器综合了当今诸多的先进技术,硬件采用 DSP 与 MCU 双处理器结构,充分发挥 DSP 运算速度快、适合信号处理、MCU 控制能力强,适合人机交互及网络通信的特点。并且各子系统工作在单片状态,内部总线未引出,大大提高了装置可靠性。在同步信号的获取上使用了数字锁相环技术,为得到

稳定的触发脉冲奠定了基础。MCU 子系统移植了嵌入式操作系统,提高了系统的可靠性与实时性,也便于系统维护与升级。整个控制系统的核心算法是基于模糊自适应 PI 调节及整流变压器档位与 α 角智能解耦的控制策略,提高了整流系统的稳流精度、功率因数及整流效率。现场运行结果表明该控制器具有广泛的应用前景,稍加改进还可应用于大功率同步电机的励磁及大功率交-交直接变频等场合。

参考文献:

[1] 王喜莲,王旭东. 高精度晶闸管电压线性数字触发[J]. 电力电子技术,2000,34(3):40-42.
WANG Xi-lian,WANG Xu-dong. Voltage linear digital triggering of thyristor with high precision[J]. Power Electronics,2000,34(3):40-42.

[2] 陈革辉,申群太. 基于 DSP 的晶闸管全数字控制器[J]. 中南工业大学学报:自然科学版,2003,34(6):671-673.
CHEN Ge-hui,SHEN Qun-tai. Digital controller for thyristor based on DSP[J]. J Cent South Univ Technol:Natural Science, 2003,34(6):671-673.

[3] 刘和平. TMS 320 LF 240 x DSP 结构、原理及应用[M]. 北京:

北京航空航天大学出版社,2002.

[4] MOHAMMED S A,STAFFORD J. Configuring digital I/Os of the TMS 320 F 240 DSP control[R]. Houston:Texas Instruments Corporation,1998.

[5] 邵贝贝. μ C/OS-II——源码分开的实时嵌入式操作系统[M]. 北京:中国电力出版社,2001.

[6] 沈春林. 数字控制系统[M]. 北京:航空工业出版社,1993.

[7] 陶永华. 新型 PID 控制及其应用[M]. 北京:机械工业出版社,2002.

[8] 谭冠政,陈勇旗,王越超. 基于 DSP 和模糊 PD 控制的智能人工腿位置伺服控制系统[J]. 中南工业大学学报:自然科学版, 2001,32(4):418-421.
TAN Guan-zheng,CHEN Yong-qi,WANG Yue-chao. Servo control system for intelligent artificial legs based on DSP chip and fuzzy PD control strategy[J]. J Cent South Univ Technol: Natural Science,2001,32(4):418-421.

[9] 黄俊. 电力电子变流技术[M]. 北京:机械工业出版社,1995.

(责任编辑:汪仪珍)

作者简介:

周 洋(1981-),男,湖南衡南人,硕士研究生,主要研究方向为电力电子及其微机智能控制技术(E-mail:yangyang196@163.net);

申群太(1944-),男,湖南衡阳人,教授,博士研究生导师,主要研究方向为电力电子变流技术、电气传动。

Design and realization of intelligent digital trigger

ZHOU Yang,SHEN Qun-tai,ZOU Run-min,MAO Jin-hua
(Central South University,Changsha 410083,China)

Abstract: An intelligent digital trigger is designed for large power SCR(Silicon Controlled Rectifier) unit. Its core is a dual-processor system based on 16-bit microcontroller MC 9 S 12 DP 256 B and DSP(Digital Signal Processor) TMS 320 LF 2407. The software of fuzzy self-adaptive PI(Proportional Integral) is used to stabilize current and the decoupled control of rectifier transformer taps and control angle to optimize power factor. The operating system μ C/OS-II is embedded into microcontroller to meet the real time and reliability requirements. Experiment results show that the designed intelligent digital trigger has accurate steady current and strong anti-jamming capability,and there is no current impulse during tap change.

Key words: SCR; fuzzy self-adaptive PI; dual processors; μ C/OS-II
