

基于FPGA的工业冷水机的控制系统

袁光礼,赵 剑,欧 锐,宋欣欣

(南京邮电大学,江苏 南京 210003)

摘要:以工业用冷水机为控制对象,探讨了一种基于FPGA的控制器的硬件组成及软件实现方法。因FPGA很强的逻辑控制能力和数字信号处理能力,所以把它作为整个系统的控制器。它控制和处理AD7328(片内集成2个同时工作的12位AD转换器)所采集的数据。并给出了相关的主要的电路。在NiosII处理器的SOPC开发环境中实现该系统。给出本系统的NiosII定制最佳方案和顶层原理图。软件方面,给出了主程序的流程图,同时对数字增量式PID控制算法以及实现程序作了介绍。通过硬件和软件的完好配置,生成了一个低成本、控制可靠的温度控制系统。

关键词:冷水机;控制器;数据采集;温度控制;控制算法

中图分类号:TP39

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2013)04-0237-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2013.04.058

Control System of Cool-water Machine for Industry Based on FPGA

YUAN Guang-li, ZHAO Jian, OU Rui, SONG Xin-xin

(Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: Take the cool-water machine for industry as control object, discuss the hardware components and software realization method based on FPGA. Because of the strong logic control ability and digital signal processing ability, FPGA is as the controller of the entire system. Control and process the data collected by AD7328 which is integrated two AD converters with 12 bits working at the same time. And the main circuit was given. This system was realized in development environment of SOPC with NiosII processor. The best solution of customizing NiosII and the top-level schematic were shown. On the software side, it was given the flow chart of the main program. At the same time the incremental digital PID control algorithm and realization of the program were introduced. By the perfect configuration of hardware and software, a low-cost, reliable temperature control system was generated.

Key words: cool-water machine; controller; data acquisition; temperature control; control algorithm

0 引言

冷水机是一种通过蒸汽压缩或吸收式循环达到制冷效果的机器。这些液体能够流过热交换器达到对空气或设备降温的目的。冷水机应用于数控机床、组合机床以及各类精密机床主轴润滑和液压系统传动媒的冷却,能够精确地控制油温,有效地减少机床的热变形,提高机床的加工精度。它也应用于医药、化工等特殊行业。它要求控制器具有完善的保护措施,压缩机频繁动作保护,非常灵活地显示设定温度,压缩机工作情况,有较强的抗干扰能力。数据采集模块是文中的主要部分。一般的数据采集模块通常采用单片机或DSP作为重要的控制中心,控制相关模块的工作。随着数据采集系统对速度的要求越来越高,传统采集系

统已经在很多方面不能满足需求。单片机的时钟频率缺陷,使得采集效率降低。而FPGA有单片机无法比拟的优点,时钟频率高,延时小,控制逻辑由硬件完成,速度更快,效率更高^[1]。

为了满足数据采集对速度的需求,文中介绍了一种基于FPGA的快速数据采集模块,利用其内部数据处理模块对经过AD转换后的信号分别进行处理,并把处理后的信息传输到PCI总线上,从而对信息进行数据分析。

1 FPGA的简介与控制总体结构

1.1 FPGA的简介

FPGA技术发展迅速,已经逐渐融合CPU和DSP的功能。现在的FPGA芯片性能很强大,具有超强的逻辑控制能力和数字信号处理能力。FPGA不但解决了电子系统小型化、低功耗等问题,而且其开发时间短、投入少、价格低,所以FPGA已经被广泛地应用在各类电子产品的设计中。FPGA的最小系统主要包

收稿日期:2012-07-18;修回日期:2012-10-20

基金项目:青年科学基金项目(51107057)

作者简介:袁光礼(1986-),男,湖北襄阳人,硕士,主要从事测控系统和智能仪器系统方面的研究。

括:FPGA 芯片、下载电路、外部时钟、复位电路、电源。如果需要使用 NiosII 软嵌入式处理器还要包括:SDRAM 和 FLASH。FPGA 的高集成度、规模小、引脚数目足够、易修改,且能够很好地处理并行信号,因此更能把 FPGA 应用于信号采集与处理领域。文中使用的是 Altera 公司开发的红色飓风 II 代产品 EP2C5Q208C8 芯片。

1.2 控制器总体结构

冷水机控制器结构^[2]如图 1 所示。

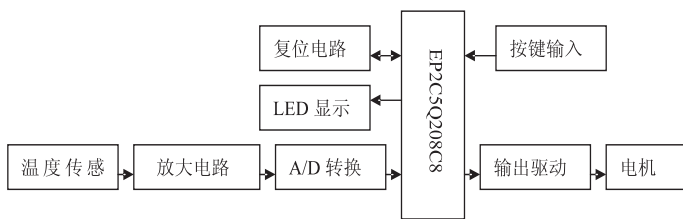


图 1 冷水机控制器结构

控制器^[3]采用了 EP2C5Q208C8 的 FPGA 芯片作为微处理器,对冷水机的整个工作过程进行控制。其主要电路组成部分如下所述。

1.2.1 按键输入电路

采用独立式按键结构^[4],S0~S3 由 FPGA 的 EP2C5Q208C8 的 PIN_5,PIN_39,PIN_43,PIN_82 引脚输入,分别定义 SET,+1,-1,ENTER,可实现设定温度输入值和实际温度校验。设定温度值及实际温度值的设定次序用奇偶数循环输入,即第一次按 SET 设置设定温度值,设置结束后返回;再一次按 SET 设置实际的温度值,每次返回前修改标志位。

1.2.2 输出驱动电路

引脚 PIN_107,PIN_108,PIN_110,PIN_112 用于输出,信号经光耦隔离,继电器和接触器放大后控制电机运转,输出低电平有效。对按键相关电路编程时操作应使用位操作,以避免产生误操作。

1.2.3 复位电路

X5045 是一种可编程电路,其中的看门狗保护电路。如果发生故障,电路中的看门狗将通过 RESET 值向 CPU 做出响应。X5045 的存储器与 CPU 可通过串行通信方式连接。

看门狗 X5045 与 EP2C5Q208C8 的接线如图 2 所示。

1.2.4 显示电路

LG192641-SLV 图形液晶显示模块是一款高性价比显示器,它可显示各种文字、字符和图像。

1.2.5 A/D 转换电路-采集

AD 的选择首先要考虑系统的动态特性及静态特

性的相互协调,动态特性主要指的是 AD 芯片的动态特性,静态特性特别针对外界数据采集的模拟信号,主要考虑实际测试模块与理想的常线性模块的接近程

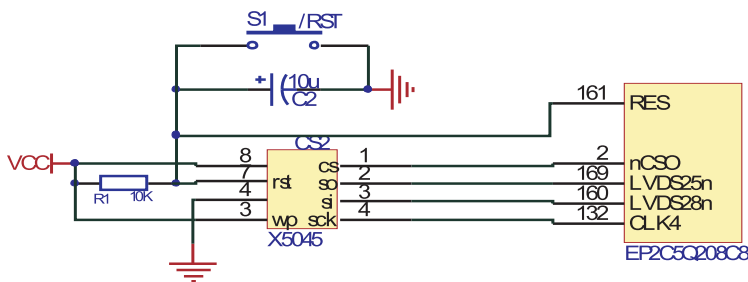


图 2 复位电路

度。由于模拟信号自身条件,使得在通过传感器进入 AD 器件的时候会有相应的误差,这是模拟信号在转化为数字信号时生成的,是主要误差。再者,根据奈奎斯特采样定理,采样速率是判别一个 A/D 好坏的重要指标,同时决定着采集系统^[5]的主要性能。

在本设计中,使用 Analog Devices 公司推出的 12 位高速 A/D 转换芯片-AD7862,作为模数转换模块的核心部分。它是一个速度快、功耗低的双路 12 位 AD 转换器件,该 AD 转换芯片具有以下特性^[6]:

片内集成 2 个同时工作的 12 位 AD 转换器,使用 4 通道模拟信号输入,并可以同时两路输入信号进行操作;工作电压是 +5V;250ksps 的采样速率,转换时间为 4μs;模拟的输入范围可选: -10V~+10V (AD7862-10),-2.5V~+2.5V (AD7862-3),0V~2.5V (AD7862-2);12 位高速并行输出。

AD7862 的工作原理^[6]是:AD7862 内部集成了两个同时工作的 AD 芯片,可以同时采样 AB 两组通道信号(VA1、VA2、和 VB1、VB2)中的任一通道的两路模拟信号,转换时间为 4μs。A0 为多路选择信号,作用是决定模拟信号的输入方向,即若 A0 为低电平时对 A 通道的 2 路输入模拟信号同时进行转换,若 A0 为高电平时对 B 通道进行同样操作。CS 为芯片的片选信号,由它来控制芯片工作与否。RD 为低电平时,可以从数据总线一次读取经过 AD 处理后的数字信号^[7]。A/D 转换电路^[8]如图 3 所示。

2 在 NiosII 处理器的 SOPC 开发环境中实现该系统

SOC 技术^[9]在嵌入式系统设计中得到广泛应用,但 SOC 是专用的集成电路系统,成本高,设计复杂。为了让 SOC 技术得到广泛应用,ALTERA 公司推出 SOPC 技术,SOPC 被称为片上可编程系统^[10],它提供了一种相当灵活的嵌入式解决方案。

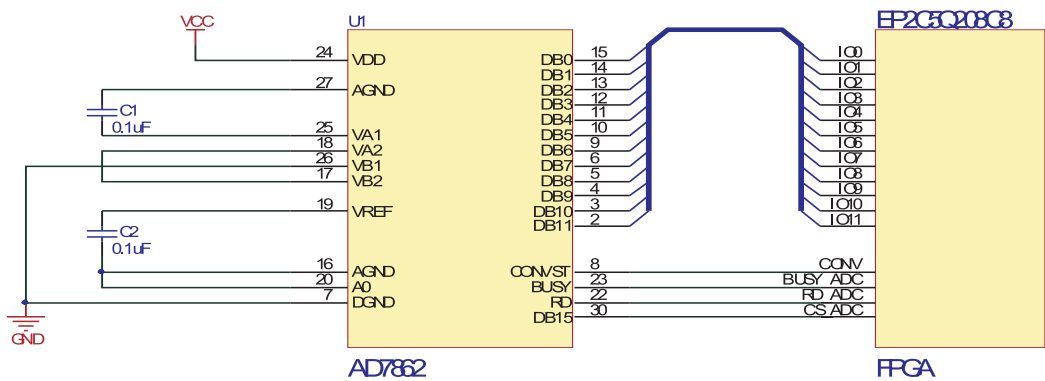


图3 A/D转换电路

	<input checked="" type="checkbox"/> cpu	Nios II Processor		
	clk	Clock Input	clk	
	instruction_master	Avalon Memory Mapped Master		
	data_master	Avalon Memory Mapped Master		
	d_irq	Interrupt Receiver		IRQ 0
	jtag_debug_module	Avalon Memory Mapped Slave		0x00001000
	custom_instruction_m...	Custom Instruction Master		
	<input checked="" type="checkbox"/> sdr	SDRAM Controller	clk	0x01000000
	<input checked="" type="checkbox"/> jtag_uart	JTAG UART	clk	0x00001950
	<input checked="" type="checkbox"/> led_pio	PIO (Parallel I/O)	clk	0x00001940
	<input checked="" type="checkbox"/> clk	Clock Source		
	clk	Clock Output	clk	
	<input checked="" type="checkbox"/> tri_state_bridge_0	Avalon-MM Tristate Bridge	clk	
	<input checked="" type="checkbox"/> timer_0	Interval Timer	clk	0x00001800
	<input checked="" type="checkbox"/> epcs_flash_controlle...	EPCS Serial Flash Controller	clk	0x00000000
	<input checked="" type="checkbox"/> onchip_memory2_0	On-Chip Memory (RAM or ROM)	clk	0x00008000
	<input checked="" type="checkbox"/> AD7862_CONV_pio	PIO (Parallel I/O)	clk	0x00008800
	<input checked="" type="checkbox"/> AD7862_BUSY_pio	PIO (Parallel I/O)	clk	0x00008810

图4 定制 NiosII 配置情况

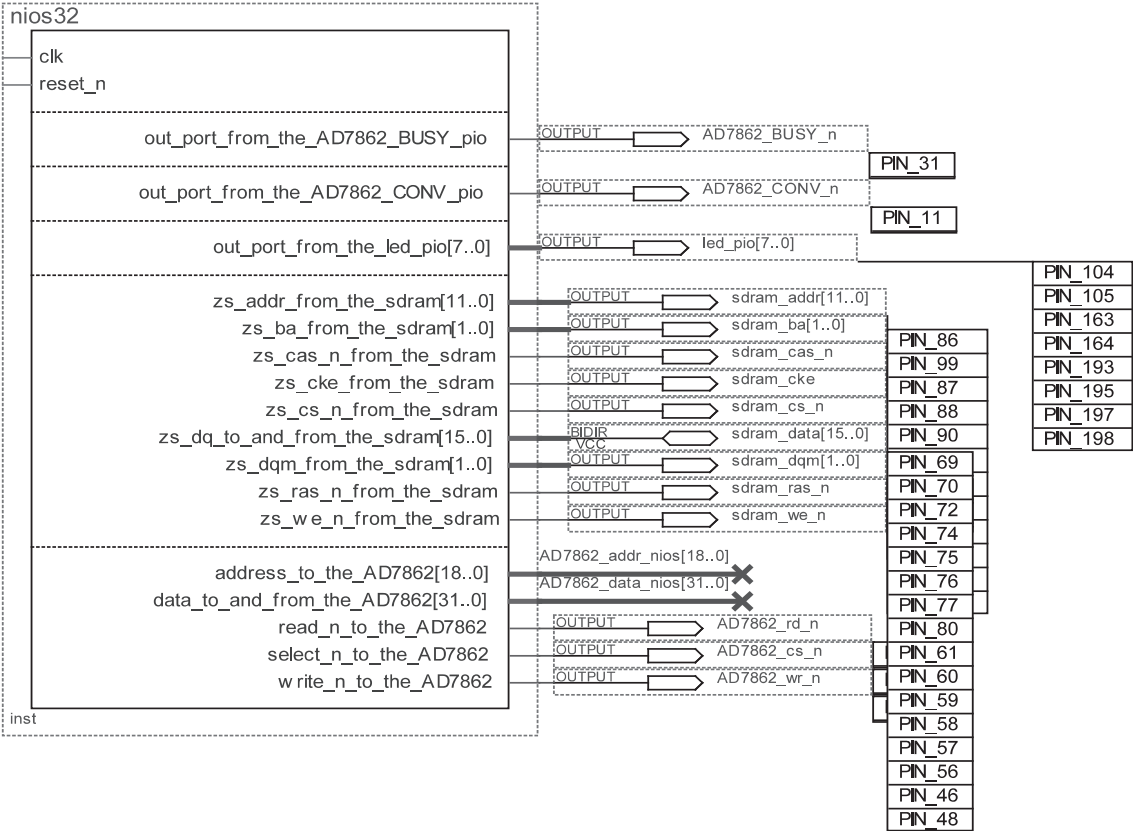


图5 主要系统顶层原理图

SOPC 系统设计的基本软件工具包括:

QuartusII, 用于完成 NiosII 系统的分析综合、硬件优化、适配、配置文件编程下载以及硬件系统测试等;

SOPC Builder, 它是 NiosII CPU 软核处理器的开发包, 用于实现 NiosII 系统配置、生成以及与 NiosII 系统相关的监控和软件调试平台的生成。在进行 SOPC 设计时, 用户必须先在 SOPC Builder 定制 NiosII 软核, 选择合适 IP 组件, 然后用 QuartusII 编译整个系统, 应用到开发板上, 最后设计 NiosII IDE。

本系统的 NiosII 硬件配置如图 4 所示。主要硬件系统设计如图 5 所示。

3 软件设计

程序在 NiosiiII 集成开发环境中进行编辑、编译和调试。NiosII IDE 提供了一个统一的开发平台, 用于所有的 NiosII 处理系统。它基于开放式的、可扩展 Eclipse IDE Project 工程以及 Eclipse C/C++ 开发工具工程。本主程序功能是温度数据采集及处理等, 其流程如图 6 所示。

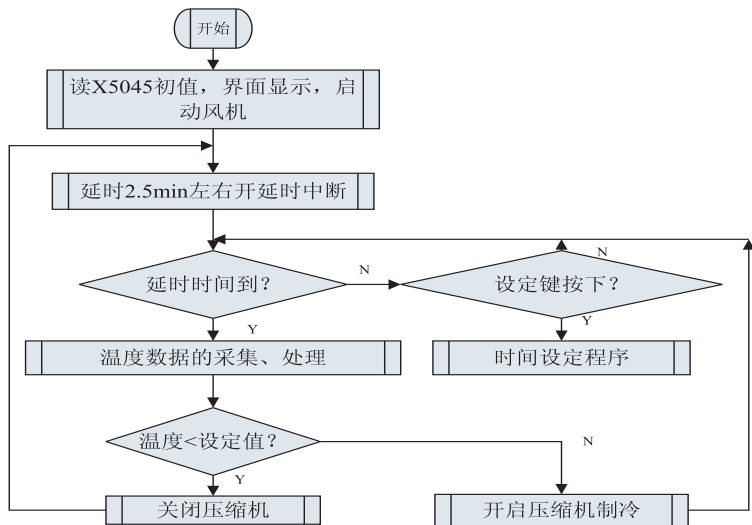


图 6 主程序流程

4 PID 算法分析

控制算法包括 PID 算法、大林算法、模糊算法及分段拟合等方法^[11]。PID 控制是过程控制领域中应用最普遍的算法, 它是通过改变调节器的参数来实现的。PID 控制算法^[12]的控制过程如下, 首先计算控制量的增量: $\Delta\mu_k = \mu_k - \mu_{k-1}$ 。

又可写为: $\Delta\mu_k = k_p[e_k - e_{k-1}] + k_i e_k + k_d[e_k - 2e_{k-1} + e_{k-2}]$

其中 μ_k 为第 k 次采样时刻的控制信号, e_k 为第 k 次

采样时刻的偏差信号。 k_p 为比例系数, k_i 为积分系数, k_d 为微分系数。

控制模块的工作过程为: FPGA 每隔固定时间 T 将现场温度与用户设定目标温度的差值带入增量式 PID 算法公式, 由公式输出量决定加热器功率大小。由温度偏差来决定电压导通个数, 从而调节实测值与设定值的偏差。

5 结束语

文中设计的温度控制系统具有结构简单、控制可靠等优点。同时, 该控制系统也可以在其他小型控制场合发挥作用。通过使用 12 位的高精度 A/D 转换器, 使测量结果更为精确。

参考文献:

- [1] 华清远见嵌入式培训中心. FPGA 应用开发入门与典型实例[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2008.
- [2] 潘新民, 王燕芳. 微型计算机控制技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.
- [3] Puyal D, Barragan L A, Acero J, et al. An FPGA-based digital modulator for full or half-bridge inverter control[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2006, 21(5): 1479-1483.
- [4] 崔葛瑾, 沈利芳, 李伟民. 基于 FPGA 的数字电路系统设计[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2008.
- [5] Wang Fei, Wu Zhijie, Chen Hong, et al. High-speed Data Acquisition System Based on FPGA/SoPC[C]//Proc of 10th International Conference on Electronic Measurement & Instruments. [s. l.]: [s. n.], 2011: 24-27.
- [6] AD 公司产品数据手册 AD7862[EB/OL]. 1996. <http://www.cghw.com.cn>.
- [7] 肖祖胜, 程明. 基于 FPGA 的数据采集分析系统设计[J]. 电子技术应用, 2009(3): 49-51.
- [8] 单天昌, 陆达. 基于 FPGA 的 PCI 接口 DMA 传输的设计与实现[J]. 计算机技术与发展, 2010, 20(4): 216-219.
- [9] 丁晓贵, 刘桂江. 基于 SOPC 的远程数据采集系统设计[J]. 计算机技术与发展, 2010, 20(1): 230-232.
- [10] 周立功. SOPC 嵌入式系统基础教程[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2006.
- [11] 文定都, 谢永芳. 基于模糊控制的水温控制系统[J]. 自动化与仪器仪表, 2006(3): 62-64.
- [12] Lippman S B, Lajoie J, Moo B E. C++ Primer[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2006.