

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2014.01.009

大功率电器智能识别系统设计

周维龙, 欧阳洪波, 胡 姣, 何小梅

(湖南工业大学 电气与信息工程学院, 湖南 株洲 412007)

摘要: 针对各种各样的大功率用电器走进学生公寓所带来的安全隐患, 提出了一种基于FPGA的大功率电器智能识别系统的设计方案。该系统采用EP3C25E1448CN作为主控制器, 外围电路由保护模块、数据检测模块、A/D转换模块、数据显示模块以及数据传输模块组成; 给出了控制系统模型, 简述了各功能模块的作用, 并采用自顶向下的设计思想, 实现了大功率用电器智能识别器的设计; 详细论述了系统硬件电路的设计以及A/D变换与乘法器的FPGA实现。测试结果表明: 本系统存在一定误差, 但能满足对大功率用电器的控制, 系统是可行的。

关键词: 大功率电器; 功率采集; 智能识别; FPGA

中图分类号: TM769

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2014)01-0044-05

Design of Intelligent Cognitive System of High-Power Electrical Appliances

Zhou Weilong, Ouyang Hongbo, Hu Jiao, He Xiaomei

(School of Electrical and Information Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: In view of the hidden dangers of various high-power electrical appliances into student's apartment, proposes a cognitive system of high-power electric appliances based on FPGA. The system uses EP3C25E1448CN as the microprocessor and the peripheral circuit consists of protection module, data detection module, A/D conversion module, data display module and data communication module. Provides the control system model and describes the role of each functional module, and with top-to-down design ideas, realizes the intelligent cognitive device design for high-power electrical appliances. Elaborates the system hardware circuit design and FPGA implementation of A/D conversion and multiplier. The test results indicate that the system exists some error but it is feasible and can meet the use of high-power electrical control.

Keywords: high-power electrical appliances; power acquisition; intelligent cognitive; FPGA

0 引言

随着人们生活水平的不断提高, 各类大功率电器(加湿器、烤火炉、空调、电磁炉、电热淋浴器等)已悄然走进千家万户, 这导致了用电管理越来越

越难。学校公寓由于学生人数多, 人口密度大, 如果对学生用电管理不当, 不仅会造成电能源的大量损耗, 甚至引起火灾, 造成巨大的经济损失, 以及人员伤亡^[1]。

针对以上问题, 目前一般做法是限时送电或在

收稿日期: 2013-11-12

基金项目: 湖南省教育厅一般基金资助项目(13C024), 湖南工业大学大学生研究性学习和创新性实验计划基金资助项目(湖工大教字[2013]9号-47), 湖南省科学技术厅科技计划一般基金资助项目(2011FJ3128)

作者简介: 周维龙(1978-), 男, 湖南邵阳人, 湖南工业大学教师, 主要研究方向为嵌入系统设计及应用, 无线传感器网络技术, E-mail: weilong_12345@163.com

室内安装限流器,但是装了限流器后,限制了大功率电器的使用,同时也影响了电脑等常规电器的使用,这样达不到合理管理的目的。本文设计了一种基于FPGA(field programmable gate array)的大功率检测器,通过检测用电器的瞬时功率,判断用电器是否为大功率用电器(禁用电器),并控制其电源的通断,从而实现了对公寓内大功率用电器的有效管理。

1 系统硬件电路设计与实现

1.1 系统总体方案

本系统将ALTERA公司生产的EP3C20作为主控制器模块,外围电路由保护模块、数据检测模块、A/D转换模块(AD7701)、数据显示模块以及数据传输模块(RS485)组成^[2],如图1所示。其中,主控制模块完成数据处理、数据显示和通信控制功能^[3];保护模块完成短路保护功能^[4];数据检测模块完成对负载用电回路功率采集的功能;系统通过继电器的通断控制回路的通断,当用电器功率大于设定值时,继电器断开,切断用电器的电源,该控制实现简单,易于开发。

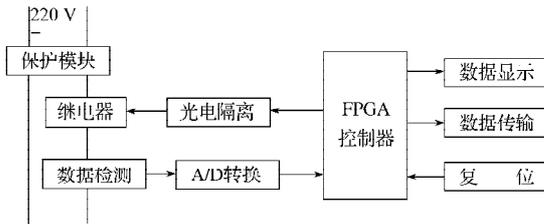


图1 系统总体方框图

Fig. 1 System block diagram

1.2 功率检测电路设计与实现

用电器功率有视在功率 S 、有功功率 P 与无功功率 Q 之分,其中,有功功率指的是元件消耗的能量;无功功率指的是元件与能量的交换;视在功率反映了电路提供的最大能量。本系统主要是为了保护供电线路的安全,考虑的是传输线路的总负荷,因此,检测用电器的视在功率。对视在功率的检测最常用的方法主要有3种:

1) 通过测量用电器两端的电压和通过用电器的电流,计算得 $S=UI$;

2) 通过测量用电器的电流和用电器的电阻,计算得 $S=I^2R$;

3) 通过测量用电器两端的电压和用电器的电阻,计算得 $S=U^2/R$ 。

如要快速测出不同用电器的电阻,同时测得其电流或电压值,在同一电路中是很难实现的,因此,本系统采用第一种方案。由霍尔电流传感器测出被

测对象的电流值,电压传感器测出电压值,再由主控制器FPGA将2个数值相乘,得到功率值。该测试实物如图2所示。

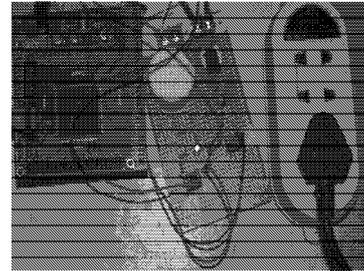


图2 功率检测实物图

Fig. 2 Physical picture of power testing

2 系统控制算法分析

本文对数据的处理主要包括2方面:1)如何检测用电器的功率;2)如何判断公寓内是否使用大功率用电器。

2.1 用电器功率检测

在主控制器FPGA中,可通过一个多位数字乘法器,将采集到的电压和电流值相乘,即可得到用电器的功率。乘法器可采用各种不同的设计技巧,综合后的电路亦有不同的执行效能。常用的乘法器有移位乘法器、定点乘法器及布斯(Booth)乘法器。不带符号的8位乘法器若采用连加方式,则最差情况需要 2^8-1 次加法才能完成计算;而移位乘法器则最多需要8次即可完成乘法计算。移位乘法器是通过逐项移位相加原理实现,从被乘数的最低位开始,第 n 位若为1,则乘数左移 n 位,再与上一次的和相加;若为0,乘数左移 n 位后以全零相加,直至被乘数的最高位。因此,最多判断8次即可获得2个数的乘积^[4]。

2.2 大功率用电器识别

对公寓大功率用电器的识别,可通过不停检测每间宿舍的总功率,若在某时刻总功率突然增加(ΔP)较大,则表明该宿舍启动了大功率电器,从而切断该宿舍电源。因此,本文采用乒乓控制法。宿舍可以使用的电器仅局限于普通充电器、电风扇以及电脑等。台式电脑的功率一般在350W左右,阈值的大小可设定在450W左右。通过一个16位数据比较器对采集的瞬时功率与设定值进行比较,即可实现对大功率用电器的识别。该系统精度高达0.1%,对于大功率的比较,完全满足实际要求。

3 控制系统的功能分析

随着微电子技术不断发展,FPGA技术取得了飞

速发展。由于其具有集成度高,工作速度快和可现场编程等特点,因此,在数字信号处理中得到了广泛应用^[5]。在本系统中, FPGA 控制器主要完成对 A/D 转换器控制、功率采集、大功率电器的识别、数据显示以及数据传输等功能^[5]。系统控制电路框图如图 3 所示。

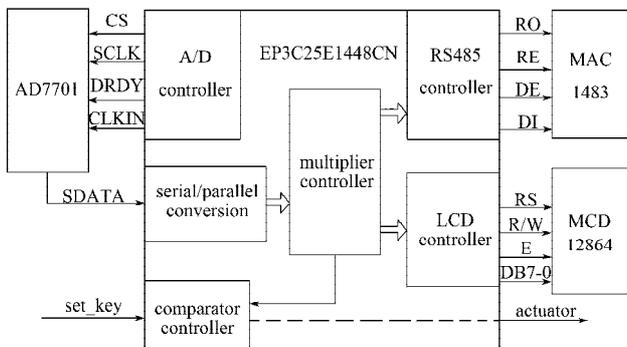


图3 系统控制电路框图

Fig. 3 System control circuit diagram

1) A/D 转换控制模块

该模块的主要功能是完成模/数变换,将传感器采集到的电压与电流值转换成数字量。系统采用美国 Analog 公司生产的 AD7701 作为 A/D 转换芯片,因其具有功耗低、精度高、抗干扰能力强等特点,被广泛应用于仪器仪表、参数检测、数据采集等设备中。CS 为片选端,低电平有效,可由 FPGA 对时钟信号分频得到; SCLK 为串行时钟端,由 FPGA 对时钟信号进行分频与 PWM (pulse width modulation) 处理后得到; DRDY 为数据准备端,数据寄存器数据准备好时为低电平,数据传送完毕后为高电平,可作为数据是否传输完毕的控制信号; CLKIN 为主时钟信号 (4 MHz) 输入端,可由 FPGA 对时钟信号经 10 分频得到; SDADT 为串行数据输出端,将转换后的数据以串行通信的方式输出,当 FPGA 给 AD7701 的 CS 端第一个下降沿时, AD7701 开始发送第一帧 A/D 转换数据 (高 8 位 DB8~DB15),低位在前,当给 CS 端第二个下降沿时, AD7701 输出第二帧 8 位数据 (低 8 位 DB0~DB7)。

2) 串/并转换模块

本模块为一个 8 位串/并转换器,将 AD7701 串行数据输出端 SDADT 输出的数据,分 2 次转换成 16 位并行数据输入到乘法电路中。其中第一次为高 8 位数据,第二次为低 8 位数据。

3) 比较器控制模块

比较器控制电路是实现乒乓控制法的关键部件。将乘法器输出的数据与设定功率阈值进行比较,当用电器工作的瞬时功率小于或等于设定功率时,输

出低电平;否则,输出高电平,并通过系统执行部件,切断用电器工作电源,实现对大功率电器的智能控制。

4) 乘法电路模块

传感器采集的电压与电流,经信号调理后输入到乘法器中,通过乘法电路实现两者相乘,从而得到用电器的功率。

5) LCD 控制模块

系统采用 MCD12864 作为显示器模块,主要显示用电器的工作电压、电流、功率及当前的工作状态。其中, E 为使能信号控制端; R/W 为读/写操作控制端,当 FPGA 输出高电平时进行读操作,输出低电平时进行写操作; RS 为寄存器选择控制,高电平为数据,低电平为指令; DB7-0 为数据总线。

6) RS485 控制模块

RS485 接口芯片已被广泛应用于工业控制、仪器、仪表、多媒体网络、机电一体化产品等诸多领域^[6-7]。系统采用 MAX1483 芯片作为数据传输模块,将采集的功率传输到上位机,可实现对用电器的远程监控。RO 为接收器输出控制端; RE 为接收器输出使能,低电平有效; DI 为发送器输入端; DE 为发送器输出使能控制端。

4 FPGA 仿真实现

4.1 A/D 转换

由文献[6]可知: $f_{SCLK}=5\text{ MHz}$, SCLK 高电平脉冲宽度 $t_{11} \geq 35\text{ ns}$, SCLK 低电平脉冲宽度 $t_{12} \geq 160\text{ ns}$, 数据以 $f_{out}=4\text{ kHz}$ 速率更新 16 位数据输出寄存器的内容。因此, SCLK 时钟信号可由 EP3C 时钟 (40 MHz) 经 8 分频,得到 $f_{SCLK}=5\text{ MHz}$ 。为简化脉宽调制器的设计,取占空比为 1:3 (即 2:6),此时 $t_{11}=80\text{ ns}$, $t_{12}=160\text{ ns}$ 。采用 VHDL (very-high-speed integrated circuit hardware description language) 语言实现分频器的设计, F_SCLK 时序仿真如图 4 所示。从图中可以看出,设计完全符合要求。

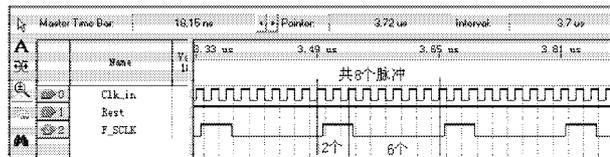


图4 F_SCLK 时序仿真图

Fig. 4 Timing simulation diagram of F_SCLK

4.2 8 位移位乘法器

根据乘法器原理与二进制法原理分析可得,整个乘法器系统包括计数模块、乘法移位模块、被乘数输入模块、二进制加法模块和乘积寄存器模块等

构成^[8]。移位乘法器采用模块化设计, 先用 VHDL 语言实现各模块的逻辑功能, 并生成相应的元件, 在

顶层把功能模块连接成如图 5 所示电路, 编译后仿真, 可得图 6 所示波形。

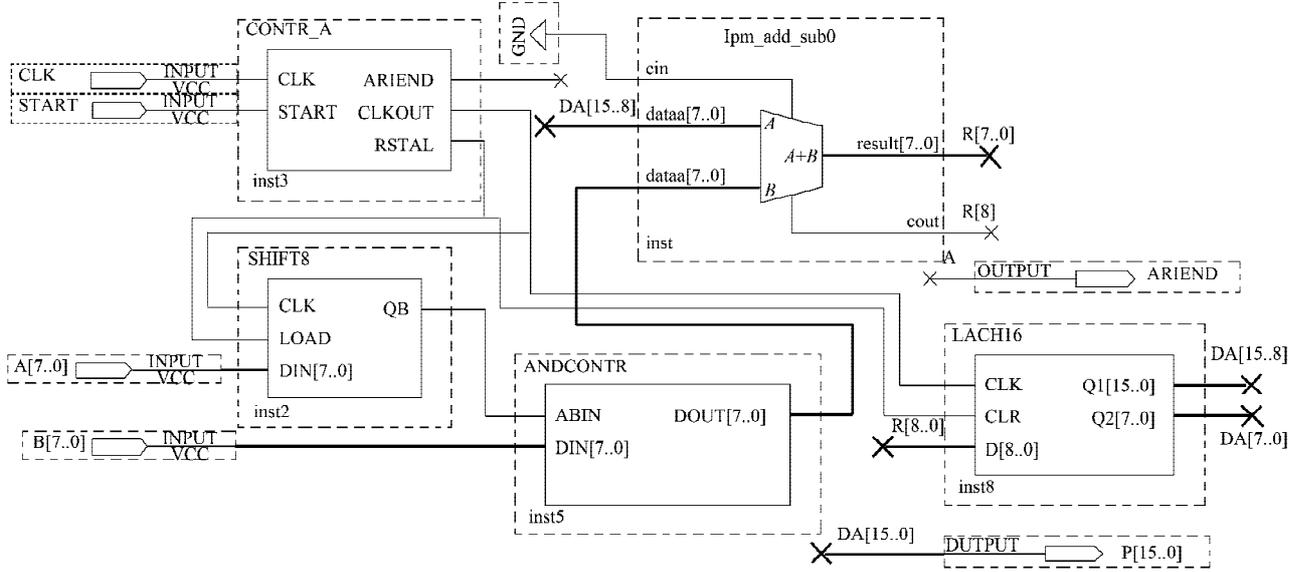


图 5 8 位移乘法器电路原理图
Fig. 5 The schematic of 8-bit multiplier

图 6 是使用 Quartus II 8.0 对移位乘法器进行时序仿真的结果。a, b, p 均采用十六进制, 由图可以看出, 输入 a=05, b=05 时, 乘积输出 p 应为 5 × 5=25, 实际仿真输出为 0019H 即 25, 这说明仿真结果是正确的。

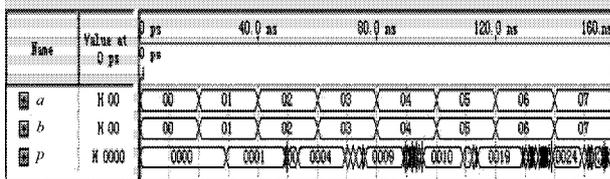


图 6 8 位移乘法器时序仿真结果
Fig. 6 Timing simulation diagram of 8-bit multiplier

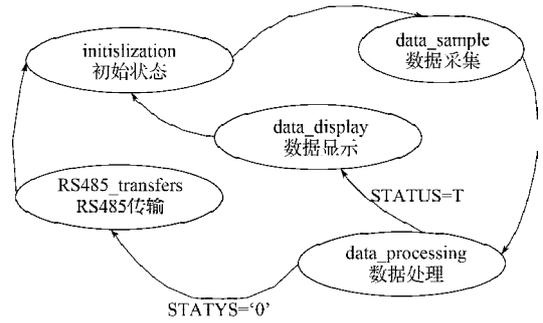


图 7 系统状态转换图
Fig. 7 System state transition diagram

4.3 顶层控制

运用原理图输入的设计方法是, 将各单元模块所生成的元件在顶层按图 3 的方式连接, 即可构成整个系统的硬件原理图。该系统以 Alter 公司生产的 EP3C25E1448CN 为主控制器, 整个系统主要包括初始状态 (initialization)、数据采集状态 (data_sample)、数据处理状态 (data_processing)、RS485 传输状态 (RS485_transfers)、数据显示状态 (data_display) 5 种状态, 因此, 可以利用有限状态机的设计方案来实现。其状态转换如图 7 所示^[9]。通过开发工具 Quartus II 8.0 对各个模块的 VHDL 源程序及顶层电路进行编译、逻辑综合, 电路的纠错、验证、自动布局布线及仿真等各种测试, 最终将设计编译的数据下载到芯片中即可。

5 系统测试结果与展望

在图 2 的基础上, 外接 MCD12864 显示模块, 得到本系统的整个硬件电路, 再将不同的用电器接到图中的插线板上进行测试。表 1 为一组测试数据。

表 1 测试结果

Table 1 Results of test

用电器名称	用电器标称功率	测试结果
普通灯泡	100.00	95.00
台式电脑	300.00	320.00
热得快	1 000.00	998.00
电热水器	1 800.00	1 803.00

由测试数据可看出, 系统存在一定的误差。引起误差的主要原因有 2 个方面: 1) 用电器的标称值本身就是一个估计值, 与实际功率有一定偏差; 2) 电流传感器的输出电压为

$$V_{\text{out}} = \frac{V_{\text{CC}}}{2} + 0.04I_{\text{测}} = 2.5 + 0.04I_{\text{测}}$$

而实际工作电压小于 5 V。尽管如此,对大功率用电器的识别,几瓦的误差对实际运用不会造成大的影响,因此,本系统是切实可行的。

本方案可实现对用电器功率的即时采集,在下一步研究工作中,通过 RS485 远程通信,实现大功率用电器的远监控,这对实现学生公寓安全用电、绿色照明具有较大的市场价值。

参考文献:

- [1] 大连鑫盛科技有限公司. 近年来中外高校学生宿舍火灾事例[EB/OL]. [2012-04-12]. <http://www.dlxskj.cpopoo.com/news/22742.html>.
Dalian Xinsheng Technologies Co., Ltd. Chinese and Foreign University Student's Dormitory Fire Case in Recent Years [EB/OL]. [2012-04-12]. <http://www.dlxskj.cpopoo.com/news/22742.html>.
- [2] 綦磊, 张涛, 梅玮, 等. 基于 FPGA 的高速信号采集平台设计[J]. 传感器与微系统, 2011, 30(9): 79-81.
Qi Lei, Zhang Tao, Mei Wei, et al. Design of High-Speed Signal Acquisition Platform Based on FPGA[J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2011, 30(9): 79-81.
- [3] 周维龙, 肖伸平, 陈刚, 等. 基于物联网的大功率电器监控系统设计[J]. 湖南工业大学学报, 2012, 26(5): 95-99.
Zhou Weilong, Xiao Shenping, Cheng Gang, et al. Design of High-Power Electrical Monitoring System Based on the Internet of Things[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2012, 26(5): 95-99.
- [4] Analog Devices Inc. LC2MOS16-Bit A/D Converter AD7701 [EB/OL]. [2013-04-12]. http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD7701.pdf.
- [5] 胡紫英, 谭立志, 周维龙. 基于 FPGA 的智能温度变送器的设计[J]. 微计算机信息, 2010(11): 137-139.
Hu Ziying, Tan Lizhi, Zhou Weilong. The Design of Intelligent Temperature Transmitter Based on FPGA[J]. Microcomputer Information, 2010(11): 137-139.
- [6] Wang Jun, Zhang Wenhao, Zhang Yuxi, et al. Design and Implementation of HDLC Procedures Based on FPGA[C]/The 3rd International Conference on Anti-Counterfeiting, Security, and Identification in Communication ASID 2009. Hong Kong: IEEE, 2009: 336-339.
- [7] 刘纯虎, 付斌, 连琏. 基于 STM32 的水下运载器控制系统多串口远程转发器开发[J]. 计算机测量与控制, 2013, 21(6): 1537-1540.
Liu Chunhu, Fu Bin, Lian Lian. Design of Multiport Serial Transponder Module Based on STM32[J]. Computer Measurement & Control, 2013, 21(6): 1537-1540.
- [8] 袁博, 刘红侠. 针对乘法器内部加法运算次数的优化算法[J]. 西安电子科技大学学报, 2013, 40(3): 123-131.
Yuan Bo, Liu Hongxia. Optimization Methodology for the Number of Additions in Multiplier[J]. Journal of Xidian University, 2013, 40(3): 123-131.
- [9] 樊辉娜. 基于状态机的 8 路彩灯 VHDL 设计[J]. 制造业自动化, 2011, 33(1): 176-178.
Fan Huina. 8 Based on State Machine VHDL Design Lantern [J]. Manufacturing Automation, 2011, 33(1): 176-178.

(责任编辑: 邓彬)