

基于 NIOS 的数控直流电流源研究与设计 *

杨守良 张东

(重庆文理学院 电子电气工程学院 重庆 402160)

摘要 针对普通直流电流源普遍存在的精度低、调节范围小、稳定性差等缺点,采用嵌入在 FPGA 中的 NIOSII 软核处理器作为数控直流电流源的控制核心,实现了电流设置、控制、输出、测量和显示。经测试表明,其电流调整步进可达 1mA,纹波电流 $\leq 0.2\text{mA}$,最大误差小于 3mA。系统具有功耗低、性能可靠、结构简单、使用直观方便的优点。

关键词 直流电流源 数控电源 软核处理器 高精度 低纹波

中图分类号:TP273

文献标识码:B

文章编号:1001-1390(2010)02-0064-04

The Research and Design of Digital Control Direct Current Source Based on NIOS

YANG Shou-liang ZHANG Dong

(College of Electron and Electrical Engineering, Chongqing University of Arts and Sciences, Chongqing 402160, China)

Abstract As DC current source for the general prevalence was low precision, small adjustment range and poor stability, the paper used the NIOSII embedded in the FPGA soft-core processor as Digital Control Direct Current Source of control core to realize current sett up, control, output, measure and display. The tests show that the current adjustment step up to 1mA, ripple current is $\leq 0.2\text{mA}$, maximum error is less than 3mA. System has advantages, such as low power consumption, reliable performance, simple structure, easy and intuitive to use.

Key words: DC current source, digitally controlled source, NIOS, high precision, low ripple

0 引言

直流电流源是一种在仪器标定和校验、设备试验与检测中经常使用的电子仪器,同时它也是组成自动测试系统和校验系统的必需仪器,广泛用于工矿企业、科研、国防、军工等单位的计量仪表、自动化标定等设备中。通常的直流电流源只有几种固定的输出电流值,通用性不好,而且最大输出电流幅度也十分有限^[1-3]。笔者按照可编程片上系统(SOPC)的思想,利用 Altera 中的 Cyclone II 系列 EP2C5Q208 器件作为恒流源控制部分,通过 D/A 变换实现输出电流可调,采用精密运算放大器和达林顿管进行扩流,从而大大提高了系统的恒流精度和稳定度。同时,利用嵌入在 EP2C5Q208 器件中的 Nios 处理器,还提供了与上位机进行语音通信和文字通信,以及键盘控制和电流数值显示等功能。

* 重庆文理学院内科研资助项目(Y2007WX48)

目前的嵌入式处理器种类繁多,Altera 公司的 Nios 处理器是用于可编程逻辑器件的可配置的软核处理器,与 Altera 的低成本的 Cyclone FPGA 组合,具有很高的性价比。系统以 Cyclone FPGA 为硬件核心,128×64 的 OLED 显示屏、3×5 的键阵列、送话器、受话器、蜂鸣器等外围器件构成。基于 Nios 软核心的 FPGA 系统构成灵活,可裁减性强,可以根据实际情况及时修改设计。这样既减小了系统体积,简化了系统规模,又使系统可以及时更新、升级^[4,5]。

1 系统硬件结构

整机系统结构如图 1 所示,由供电电源、数控部分、恒流源三大部分构成。供电电源为整个系统提供需要的稳定电源;恒流源是系统的核心部分,它本身是一个独立的线性负反馈恒流源,它的性能好坏直接影响系统的精度,数控部分是附加在恒流源上的一个

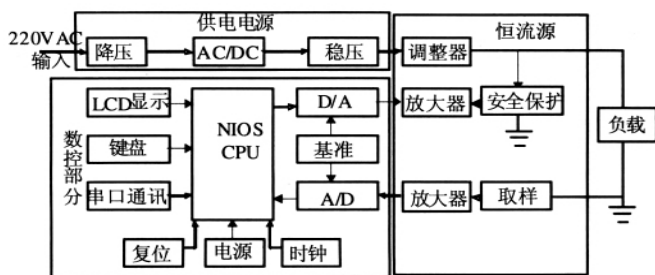


图 1 系统结构框图

Fig.1 System structure diagram

独立系统。其中的 AD 转换用于电流测量、DA 转换用来输出模拟量控制恒流源输入端、键盘用来输入预设值。系统工作流程如下:通过 3×5 键盘输入预定电流前设定值,同时将数据送入 DA, DA 输出的电压作为数控电流源输出电流的控制信号,采用达林顿管进行扩流,能精确的输出 $20 \sim 2000\text{mA}$ 数控可调直流恒流源值,利用 NIOSII 将数据送入液晶显示器显示电流数值^[6-8]。

1.1 数控电压产生电路的设计

数控部分采用 MAX1076 芯片来实现。MAX1076 是电流型 10 位 DAC,需要对地接电阻以得到电压控制量。在该设计中,采用对地接电位器来实现,以便得到 0~2V 可调电压。分别对应成 -2~2A 的电流,再经过一个电压跟随器进行隔离,取出控制恒流源的控制电压值^[8-10]。该部分电路如图 2 所示。

1.2 恒流源电路的设计

恒流源电路如图 3 所示。其中,运算放大器 U_3 是一个反相加法器,一路输入为控制信号 V_{in} ,另一路输入为运放 U_1 的输出反馈。针对运算放大器输出电流小的不足,采用达林顿管 TIP122 和 TIP127 组成推挽式电路进行扩流。 U_2 是电压跟随器,由于输入阻抗高,因此

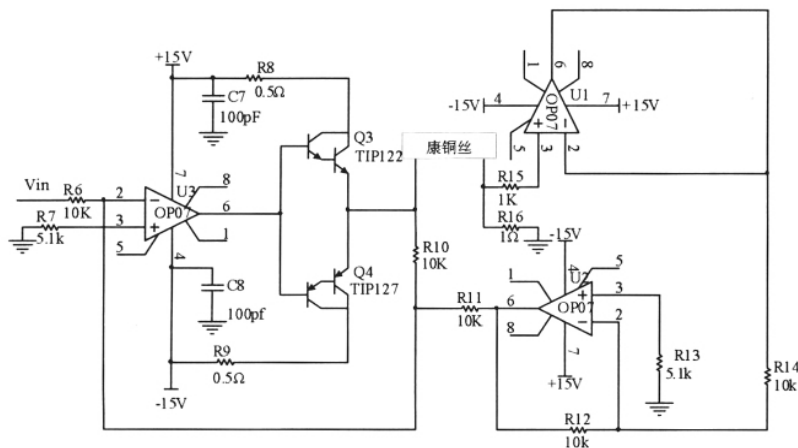


图 3 恒流源输出电路

Fig.3 Constant current power supply output circuit

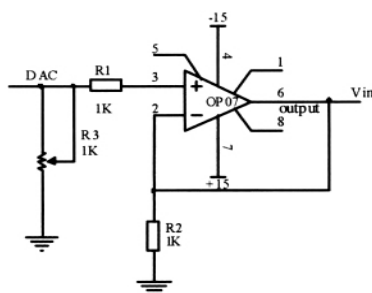


图 2 数控电压产生电路图

Fig.2 Numerical controlled voltage source generator circuit

基本没有分流,即流经 R_2 的电流全部流入负载 R_{16} 。 U_1 是反相放大器,取 $R_{14}=R_{11}$ 时,放大倍数为-1,即构成反相器^[8-10]。

若 U_3 的输入电压为 V_{in} 根据叠加原理, 有 $V_1 = -(V_{in} + V_4)$ 。由 U_2 的电压跟随特性和 U_1 的反相特性, 有 $V_2 = V_3 = -V_4$, 将此式代入式 $V_1 = -(V_{in} + V_4)$ 得到 $V_1 - V_2 = -(V_{in} + V_4) - V_2 = -V_{in}$, 即流经康铜丝的电流完全由输入控制电压 V_{in} 决定:

$$I_{\text{康铜丝}} = \frac{V_1 - V_2}{\text{康铜丝电阻}} = -\frac{V_{\text{in}}}{\text{康铜丝电阻}}$$

由于 U_2 的输入端不取电流,流经负载 R_{10} 的电流完全由输入控制电压 V_{in} 决定,实现了压控直流电流源的功能。

1.3 电流测量采样电路的设计

如前所述,恒流源的输出电流值完全由康锰铜电阻丝决定的,可以通过测量康锰铜电阻丝的两端电压来测量恒流源的输出电流。图4完成的是对康锰铜电阻丝两端电压的提取和转换功能。图中电流采集点即为康锰铜电阻丝。 V_1 为正电流流入点, V_2 为正电流流出点。 U_1 和 U_3 两个运算放大器作为电压跟随器,分别提取出 V_1 和 V_2 两点的电压值。由于电压跟随器输入阻抗很高,因此不会影响恒流源的输出值。电压 V_2 经过 U_3 的同相跟随和 U_4 的反相,得到的电压值为 $-V_2$, V_1 和 $-V_2$ 两路电压接入反相加法器 U_5 ,输出电压为:

$$V_o = -\frac{R_f}{R}(V_1 - V_2)$$

由于恒流源的输出电流范围为 $\pm 2\text{A}$, V_1 、 V_2 的差值是正负对称的,因此通过调整电位器的值,可以将反相加法器的输出固定在 $-1.5\sim 1.5\text{V}$,作为反相加法器 U_5 的一个输入端;从电源电路引出的 $\pm 12\text{V}$ 直流信号分别通过LM7805和LM7905,将电压稳定在 $\pm 5\text{V}$,然后通过电位器取出 -1.5V 直流电平,作为反相

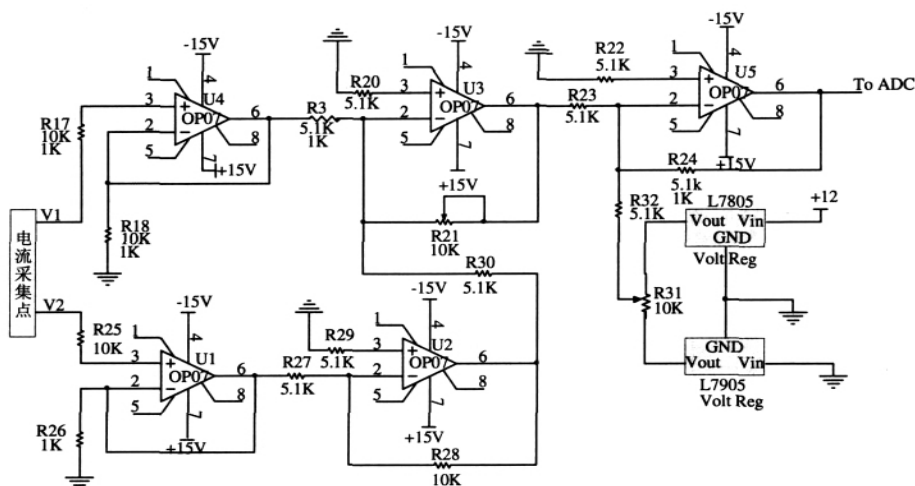


图 4 电流采样及电平转换电路

Fig.4 DC sampling and electrical level transfer circuit

加法器的另外一个输入端。则 U_5 的输出电压范围为 $0 \sim 3V$ ，将该电平输入到 ADC，则通过 V_1 、 V_2 和 $0 \sim 3V$ 以及 A/D 的数字采样之间的线性对应关系，就可以通过 NIOSII 测量出 V_1 、 V_2 的电压值，从而计算出恒流源的输出电流。

2 软件设计

2.1 主程序流程图

现以 32 位 Nios II 软核处理器作为系统核心，负责执行指令。各种 IP Core 包括自主编写及开发工具自带的 IP 核 (UART, LCD, PIO 和自主双口 RAM 的 IP Core) 都使用开发工具中的 SOPC Builder，并通过 AVALON 总线连接到 Nios II 处理器上。程序存储器

Flash 则由 FPGA 内部的片上存储器来实现，并通过 AVALON 总线规范，实现了 IP 间的无缝结合，方便了数据的读写及时序控制。其中，Nios II (包括调试模块) 是该系统的 CPU，片上存储器通过 AVALON 总线，接受 CPU 的读写访问。双口 RAM 接口模块用作实现自主编写双口 RAM 与 AVALON 总线通讯而编写的 IP 接口电路。UART 模块用作与其他设备的通信及程序调试。LCD IP 负责 128×64 点阵液晶的显示控制。键盘接口电路用于连接 3×5 键盘和 AVALON 总线连接。

软件的主程序流程如图 5 所示。主程序不断检测是否有按键输入，如果有按键，则进行相应的键值处理，根据按键改变设定的电流值，实现数控输入。再根据设定值，对应改变显示内容和 DAC 输出的控制电压。当设定电流值为正的时候，通过 FPGA 的 I/O 口控制两个模拟开关的导通与截止。

2.2 中断服务函数流程

中断服务函数主要处理测量电流时的采集数据，每 0.5s 进行一次电压的 A/D 采集，根据采集得到的电压换算成被测电流值，并且显示相应的数据。另外，为了使改变电流设定值的时候界面显得更加友好，在被修改的一位上加上闪烁功能，因此每隔 0.5s 改变一次标志位的值。中断服务函数流程如图 7 所示。

3 测试说明

3.1 电源部分测试

在该项测试中，使用瓷盘变阻器作为负载电阻，使用 VC9806+ 四位半数字万用表测试电源输出电流，DA-16 晶体管毫伏表测试负载两端输出电压，改变瓷盘变阻器的阻值，测试电源的输出电压，负载电

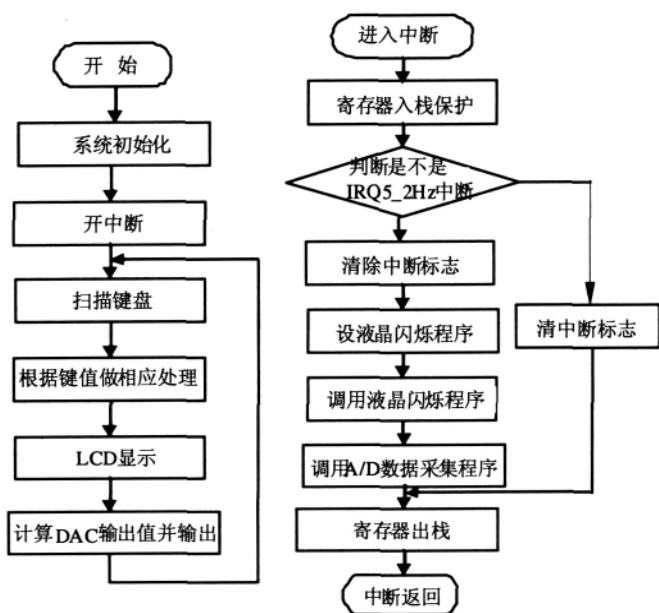


图 5 程序流程图

Fig.5 Program flow chart A

表 1 电源部分测试结果
Tab.1 Power part of the index test results

次数	输出电压/V	负载电流/mA	负载电阻/ Ω	纹波电压有效值/ μV
1	12.14	0	空载	250
2	12.14	25.14	482.9	180
3	12.14	50.06	242.5	140
4	12.14	100.1	121.3	130
5	12.14	509	23.9	122
6	12.14	1114	10.9	122
7	12.13	2234	5.4	180

表 2 恒流源电路测试结果
Tab.2 Constant current source circuit test results

设定电流/mA	实测输出电流/mA	纹波电流/ μA	负载电阻/ Ω
20	20	55	0
40	40	60	0
100	101	75	0
300	299	90	0
800	798	160	0
1000	998	223	0
1200	1200	302	0
1500	1496	330	0
1800	1792	385	0
2000	1990	414	0
20	20	153	30
40	40	167	30
100	99	180	30
300	298	223	30

流以及纹波电压。测试数据如表 1 所示。

由测试数据可以看出,当负载电流超过 2A 时,电源的输出电压仍然能稳定在 12V 左右,可知电源的输出功率超过足以驱动电流源电路,使其产生最大 20W 的功率,符合电流源的功率要求。通过毫伏表估读出其纹波电压,都是微伏数量级的小纹波电压,不足以引起电流源很大的纹波电流。综上所述,电源部分满足指标要求。

3.2 恒流源电路测试

使用自制电源作为恒流源的电源,首先将负载电

阻短路,通过控制面板输入所需电流值,测得恒流源在 0 负载条件下的性能指标。改变负载电阻,测试恒流源电路的带负载能力。测试数据如表 2 所示。

从测试数据来看,本设计成功地实现了以下技术指标:(1)输出电流范围:20~2000mA,步进 1mA;(2)纹波电流小于 0.2mA;(3)可同时显示输出电流的设定值和实测值,测量误差的绝对值 \leq 测量值的 0.1%。

4 结束语

文中提出的数控直流电流源,以嵌入在 FPGA 的 Nios 软核处理器为核心,采用串联反馈调整方式,通过合理的软、硬件设计,实现了高精度、低纹波、宽范围的技术要求,并且具有方便的键盘输入控制及输出显示功能。由此可见,采用 Nios 处理器体现了嵌入式系统全新的设计理念和 SOPC 设计方法的灵活性。该系统可以根据实际情况及时修改设计,这样既减小了系统体积,简化了系统规模,又使系统可以及时更新、升级,具有较高的应用价值。

参 考 文 献

- [1] 郝统关,程明.基于 FPGA NiosII 的等精度频率计设计[J].电测与仪表,2009,42(2):56-58.
- [2] 陈明杰,王向乔,蔡忠见.一种高精度数控直流电流源的设计与实现[J].微计算机信息(测控自动化),2008,24(2):178-179,231.
- [3] 刘晓娟,赵庆明,唐君明,刘颜琼,王明哲,于晓微.基于单片机的数控恒流源设计[J].哈尔滨师范大学自然科学学报,2008,24(6):39-42.
- [4] 李现华,卞东进,陈家胜.高精度数控直流电流源[J].仪表技术,2006,(2):73-74.
- [5] 刘辉,何东陆,肖宇,杨兴.数控直流电流源的设计[J].仪表技术,2006,(2):68-70.
- [6] 李小松.一种简易数控直流电流源的设计[J].科技情报开发与经济,2006,16(15):280-281.
- [7] 李婷婷,李洪波.数控大功率精密恒流源设计[J].通信电源技术,2006,23(5):35-37.
- [8] 欧伟明,罗三定,张继红.智能数控电流源的设计[J].通信电源技术,2006,23(5):53-54.
- [9] 刘润,谭薇,程荣贵.一种高精度数控直流源的设计[J].现代电子技术,2006,7(222):135-137.
- [10] 吴谨绎,张永忠,张凌涛.一种新型低纹波高精度数控直流电流源[J].中南林业科技大学学报,2007,27(3):159-162.

作者简介:

杨守良(1970-),男,硕士,副教授,从事 ASIC 设计、嵌入式系统设计、测控技术研究工作。Email:ysw7512@yahoo.com.cn

张东(1977-),男,硕士,讲师,从事测试计量技术及仪器研究工作。Email:zhangdong770915@163.com

收稿日期 2009-09-29

(常会敏 编发)