

一种高稳定数控交流恒流源的设计*

谢志远, 贡振岗, 杨星, 吴晓燕

(华北电力大学, 河北 保定 071000)

摘要: 设计了一种频率及幅度可数控的交流恒流源。以单片机为控制核心, 用高精度 D/A 实现数字控制, 恒流源由大功率运放电路产生, 可提供交流有效值 10mA~1A 输出的恒流, 并用高精度采样电路采集输出电流反馈软件动态调整, 提高了恒流输出的稳定性和精度。经测试, 该设计方案有较好的恒流输出稳定度, 数字调整功能可靠。

关键词: ARM, 恒流源, 数控增益, 电流采样

中图分类号: TM932

文献标识码: B

文章编号: 1001-1390(2013)03-0102-05

The Design of a High Stable and Digitally Controlled Alternating Constant-Current Source

XIE Zhi-yuan, GONG Zhen-gang, YANG Xing, WU Xiao-yan

(North China Electric Power University, Baoding 071000, Hebei, China)

Abstract: This paper devises a alternating constant-current source of digitally adjustable frequency. With Single-chip Microcomputer as the control core to realize digital control with high precision D/A, constant-current can be generated by high power operational amplifier circuit. It can provide AC RMS 10mA~1A output current and realize dynamically software adjustment using high precision sampling circuit to collect output current and feedback. The stability and accuracy are improved. The test results show that the output of the constant-current source is stable when digital setup changes.

Key words: ARM, constant current source, digital controlled gain, current sampling

0 引言

在半导体器件性能测试、传感器、医疗诊断仪器等电子设备中恒流源有着不可或缺的作用, 在特殊应用领域中并且要求恒流源输出频率、幅度可调, 同时具有良好的稳定性和精度^[1]。传统的恒流源电路一般是利用二极管、三极管或集成稳压源制作的, 输出电流范围小, 稳流精度不高, 效率较低。

随着计算机技术和电子技术的发展, 以单片机为控制核心的数控恒流源在通用性、稳定性以及可靠性方面有着很大的优势^[2]。本文在方案选择、硬件电路设计、软件设计、稳定性分析等方面给出了一种基于单片机为控制核心的频率、幅度数控的恒流源设计方案^[3]。

1 电路设计及原理

本电路设计的原理框图如图1所示, 本设计主要由单片机控制系统, 信号发生电路, 由 D/A 和压控增

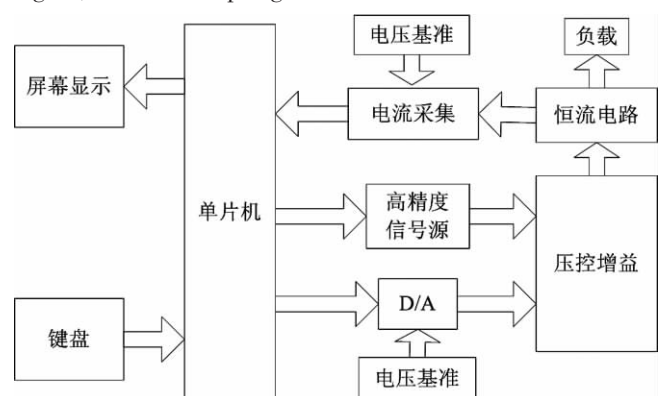


图1 系统结构框图

Fig.1 System structure diagram

益组成的数控增益电路, 压控恒流源电路, 恒流采集电路, 液晶屏显示, 按键电路构成。

信号发生电路由单片机控制产生高精度频率可调的正弦信号^[4-6], 经过数控增益放大电路输出到压控恒流源电路, 压控恒流源电路产生恒流输出, 输出

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61172075)

的恒流经采样、处理返回给微处理器,单片机控制液晶屏显示,按键操作通过微处理器设定恒流输出的频率和幅度,微处理器选用ARM7系列LPC2214。

1.1 高精度信号方案选择

信号发生电路采用高精度DDS芯片AD9833数字可编程波形产生器件,AD9833频率数字可编程,采用3线SPI串口控制,占用资源少,低功耗特性符合精密电路的芯片选择。用AD9833可产生高精度频率的正弦信号,若采用1M的工作时钟,频率可精确到0.004Hz。应用电路如图2所示。

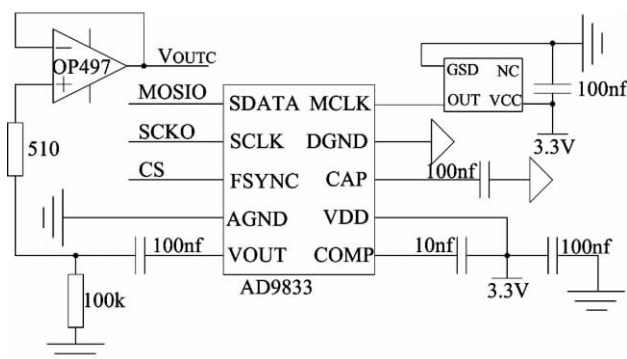


图2 AD9833应用电路

Fig.2 AD9833 application circuit

为了增大AD9833产生信号的驱动能力及抗干扰的能力,在信号输出端加一级由运放OP497构成的电压跟随器,增加信号的驱动能力及稳定性。

1.2 数控增益放大电路

AD9833产生的信号频率可调,但是幅度不可调,产生的信号要经过增益放大。数控增益放大电路由两部分构成,一部分是经过高精度D/A芯片产生模拟电压量^[7],第二部分是压控增益放大电路将D/A产生的电压量转化成相应的增益放大^[8]。D/A选用12位高速转化芯片TLV5618,12位的控制长度可以准确控制增益步进,压控增益芯片选用VCA822。由TLV5618和VCA822构成的数控增益电路如图3所示。

压控增益芯片VCA822是宽频带、V/V线性、持续可变增益的放大器。应用电路基本增益公式为:

$$V_{out}/V_{OUTC} = \frac{R_{10}}{R_8} \cdot V_G + \frac{R_{10}}{R_8} - \frac{R_{10}}{R_{13}} \quad (1)$$

在电路中选择阻值 $R_8=R_{13}$,因此增益公式变为:

$$V_{out} = \frac{R_{10}}{R_8} \cdot V_G \cdot V_{OUTC} \quad (2)$$

为了保证D/A产生电压量的驱动能力和抗干扰能力,D/A信号输出端加上一级由OP497构成的电压跟随器。在压控增益电路后加上一级由高精度、低温漂运算放大器OP27构成的增益微调电路,可以把压

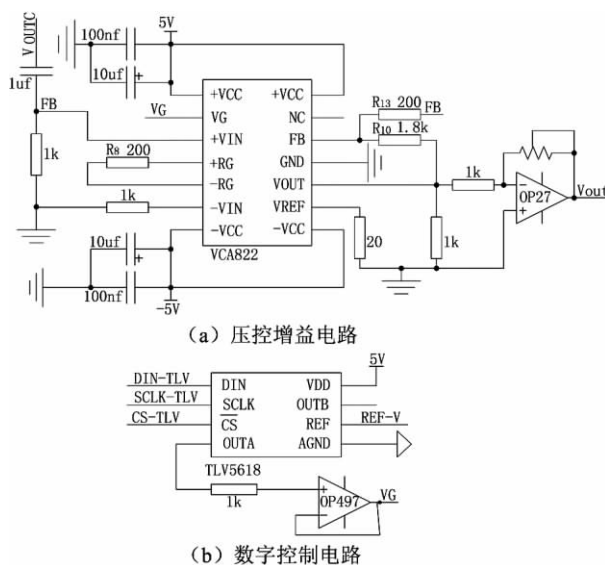


图3 数控增益放大电路

Fig.3 Digital control amplifier circuit

控增益电路的增益微调整到需要的比例,微调电位器选用3296系列。选用ADP3330-5电源芯片为TLV5618提供高稳定5V电源,选用MC1403为TLV5618提供基准电压,MC1403是高精度、低噪声、低温漂的集成基准电压源,输出基准2.5V。

1.3 恒流源电路方案选择

此电路设计选用OPA564功率运放^[9-11],OPA564是一种可以提供大电流输出的运算放大器,双极性电源供电,极限电流输出达1.9A。OPA564的器件特性满足设计方案的需求,基于OPA564的VI变换电路如图4所示。

运放OPA564限流电阻 R_5 数值确定公式为:

$$I_{Limit} = 20000 \times 1.2 \div (5000 + R_5) \quad (3)$$

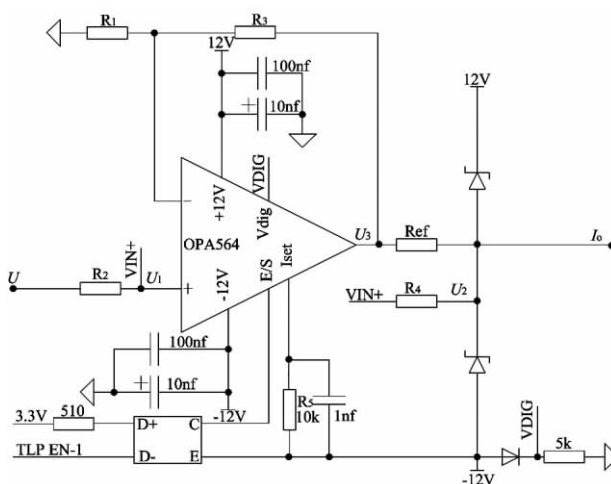


图4 恒流源电路

Fig.4 Constant current source circuit

在式(3)中 I_{Limit} 为OPA564允许最大输出的电流,超过限流值将发生饱和,限流措施的运用可以有效防止误操作输出电流过大烧坏器件。OPA564的限流电阻取值范围是 $7.5k\Omega \sim 55k\Omega$,即电流最大幅值限制为1.9A。为了得到有效值为1A的交流电流,本设计方案中选择限流阻值 $10k\Omega$,输出电流最大幅值限定在1.6A内。有自我保护功能,这是OPA564的一个优势所在。

OPA564构成同相求和运算电路,图中电阻 $R_1=R_2=R_3=R_4$,输出恒流 I_0 的推导过程:

$$U_1 = \frac{R_4}{R_2+R_4} \cdot U + \frac{R_4}{R_2+R_4} \cdot U_2 = 0.5U + 0.5U_2 \quad (4)$$

$$U_3 = \left(1 + \frac{R_3}{R_1}\right) \cdot U_1 = 2U_1 \quad (5)$$

将式(4)带入式(5)得:

$$U_3 = U + U_2 \quad (6)$$

电阻 R_{Ref} 上的电压为:

$$U_{Ref} = U_3 - U_2 = U \quad (7)$$

流过电阻 R_{Ref} 的电流为:

$$I_0 = \frac{U_{Ref}}{R_{Ref}} = \frac{U}{R_{Ref}} \quad (8)$$

电阻 R_{Ref} 选用功率精密电阻。

1.4 电流采集电路

采集芯片选用ATT7022B,ATT7022B是一颗高精度电能专用计量芯片,集成了二阶ADC、参考电压电路以及所有功率、能量、有效值、以及频率测量的数字信号处理等电路,可以满足测量交流恒流源有效值的需求。ATT7022B应用电路图如图5所示。

在信号输送到ATT7022B之前,电流要经过电流互感器和电流采样电路,互感器选择精密型电流互感器,经过电流采样电路将采集信号直接给ATT7022B芯片VIP、VIN管脚。电流采样电路如图6所示。

应用ATT7022B时,需要通过软件编程与标准表进行参数校准,参数校准方式根据ATT7022B使用资料。同时为ATT7022B提供高精度稳压电源芯片,可以减小电源纹波对ATT7022B采样计算的影响,稳压芯片选用ADP3330-5系列,可以输出高精度、高稳定度的5V电压。

ATT7022B提供一个SPI接口,方便与ARM7之间进行计量参数的传递。ATT7022B实时采集信号线上的交流量,并将采集处理的数据存储到相应的有效值寄存器中,通过软件编程读取ATT7022B电流有效值寄存器中的数据,将数据用于软件计算处理和液晶屏幕上显示。

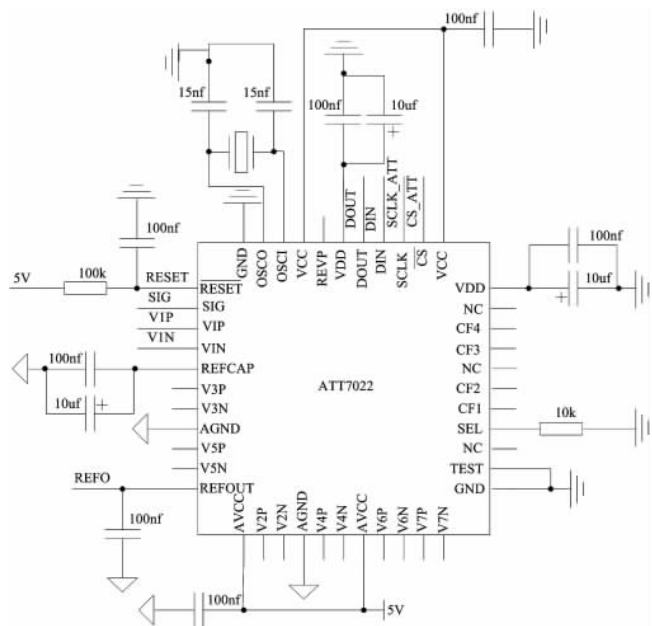


图5 ATT7022B应用电路

Fig.5 ATT7022B application circuit

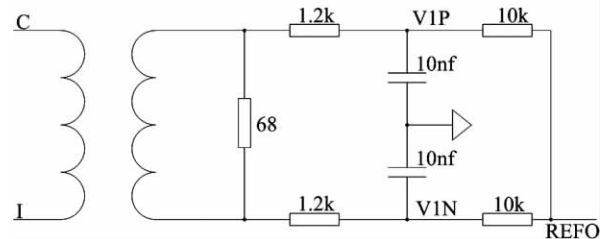


图6 电流采样电路

Fig.6 Current sampling circuit

1.5 软件参数补偿

随着电流输出从小增大,由于温度或元件电气特性等因素电流的输出特性不是成线性增长,这会造成恒流设定值与实际输出值之间产生偏差,为了消除偏差采用软件的方式进行参数补偿。补偿方法为,通过软件编程将设定值与采样返回值进行比较,采用步长变化的多次比较动态调整进行参数补偿。

软件补偿方法为,首先比较采集的数值与设定值的大小,计算误差率,并对输出参数进行增减补偿,有三种步长等级,分别为1mA、0.1mA、0.01mA,补偿步进的等级选择由每次补偿结束后计算的测试值与真实值之差的绝对值决定,参数补偿周期为5ms,补偿周期选用5ms是保证在ATT7022B有效值寄存器更新后可以立即读取有效值寄存器,保证参数补偿的实时性,每次参数补偿时都会读取有效值,并在读取的有效值基础上做增减补偿,当有效值没有更新时,补偿的幅度不会变化,而参数实际更新的周期为ATT7022B有效值更新周期,约为三分之一秒。通过软

件比较参数动态调整维持恒流输出。

1.6 显示模块

采用一块三线串口操作的液晶显示屏 ,三条线分别为写数据线、时钟线、片选线 ,软件编程选用 ARM7-LPC2214 三个 I/O 口即可驱动液晶 ,显示设置信息和测试信息。

1.7 按键检测模块

采用 ZLG7290 按键专用检测芯片 ,ZLG7290 是一种 I²C 接口键盘驱动管理器件 ,方便与处理器接口。应用 ARM7-LPC2214 内部 I²C 资源结合软件编程读取 ZLG7290 按键扫描的信息。通过按键可以控制恒流的幅度及频率。

幅度有 1mA、10mA、100mA 三个步进快速设置 ,频率有 1Hz、10Hz 两个步进快速设置 ,频率可调范围 30~80Hz ,频率可调功能的引入主要是方便用于测试一些器件在工频附近波动的频率下的性能。

2 系统软件设计

程序流程图如图 7 所示。程序开始执行后进行系统初始化 ,初始化时将程序中预先设定的默认值送到 AD9833 和 TLV5618 中 ,由液晶屏幕显示各种设置信息和测试信息 ,ATT7022B 采集电流并由程序读出 ATT7022B 寄存器中的数值 ,将寄存器读出数值与设定值比较看是否在误差范围内 ,如果没有在误差范围内执行软件参数补偿 ,将补偿参数写到 TLV5618 ,直到满足误差要求为止。通过按键中断可以扫描到是否有按键按下 ,如果有按键按下并判断按键操作是对 AD9833 操作还是对 TLV5618 操作 ,然后返回液晶显示。

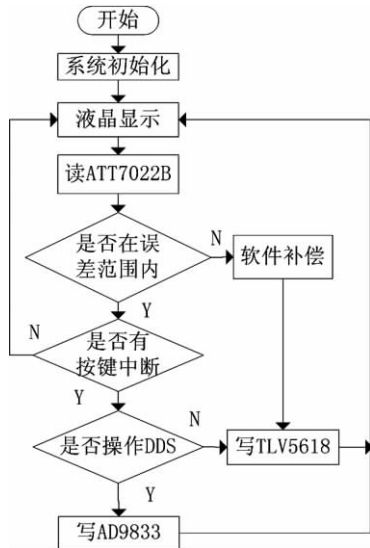


图7 软件流程图

Fig.7 Program flow chart

3 试验与结论

本系统设计完成后 ,为了比较显示与真实值之间

的误差 ,对系统的性能进行了测试 ,在 10mA 到 1000mA 之间选择了 9 个值进行测试 ,选用 FLUKE 8846A 万用表测试恒流输出值 ,将显示值与标准表测试值进行比较 ,并计算误差 ,误差计算公式为 :

误差率=|液晶显示值-万用表测量值| / 万用表测量值 ×100%

显示值与测量值均为有效值 ,实验数据如表 1。

表1 实验数据

Tab.1 The experiment data

设定值/ mA	液晶显示/ mA	万用表测量值/ mA	误差率/ (%)
10	9.98	9.95	0.301
30	30.05	30.11	0.199
50	49.94	50.02	0.159
80	79.96	79.84	0.150
100	100.10	100.22	0.119
300	299.72	300.05	0.109
500	500.48	499.93	0.110
800	800.62	799.80	0.102
1000	998.98	999.96	0.098

测试数据表明显示值与万用表测试值之间的误差大部分都在 0.2% 以内 ,100mA 以上误差基本在 0.1% ,满足了恒流输出的需求。

4 结束语

本文介绍了一种基于单片机控制系统的高稳定数控交流恒流源的设计。输出电流的幅度可以根据需要连续设定 ,通过软件参数补偿的方式电流输出误差小 ,稳定度高。频率可设定功能的引入可以满足特殊应用领域测量需求。

参考文献

[1]吴茂成. 高精度宽范围恒流源设计[J]. 电测与仪表, 2011, 48(1): 64- 66.
WU Mao- cheng. Design of a High- precision Wide- range Constant- current Source[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2011, 48(1): 64- 66.
[2]Yi Xue. Design of a High Precision Program - controlled Constant- current Source[Z]. Process Automation Instrumentation, vol. 30, Apr.2009: 63- 65.
[3]苗新法. 基于可调稳压芯片的数控恒流源[J]. 电子测量技术, 2011, 34 (7): 13- 15.
MIAO Xin- fa. Digital Constant Current Source Based on the Adjustable Votage Regulator [J]. Electronic Measurement Technology, 2011, 34(7): 13- 15.
[4]杨永辉, 颜晓燃, 郭恒, 等. 高精度工频恒流源设计[J]. 电测与仪表, 2009, 46(10): 72- 75.
YANG Yong- hui, YAN Xiao- yan, GUO Heng, et al. The Design of AC High Precision Constant Current Source[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2009,46(10): 72- 75.

- [5]杨守良, 张东. 基于NIOS的数控直流电流源研究与设计[J]. 电测与仪表, 2010, 47(2): 64- 67.
YANG Shou-liang, ZHANG Dong. The Research and Design of Digital Control Direct Current Source Based on NIOS[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2010, 47(2): 64- 67.
- [6]范新强, 姚兴辉. 基于单片机控制的高精度直流电流源系统的开发[J]. 工矿自动化, 2006, 12(6): 49- 50.
FAN Xin-qiang, YAO Xing-hui. Based on Microcomputer Control of High Precision DC Current System Development [J]. Industry and Mine Automation, 2006, 12(6): 49- 50.
- [7]张洪川, 滕召胜, 林海军, 等. 低功耗单电源压控精密恒流源设计[J]. 仪器仪表学报, 2008, 29(12): 2678- 2682.
ZHANG Hong-chuan, TENG Zhao-sheng, LIN Hai-jun, et al. Design of Precision Voltage-controlled Vconstant Current Source with Low Power Dissipation Single-supply[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2008, 29(12): 2678- 2682.
- [8]张玉宝, 曹会云, 张滨. 基于单片机的数控恒流源的设计[J]. 电测与仪表, 2011, 48(6): 75- 78.
ZHANG Yu-bao, CAO Hui-yun, ZHANG Bin. The Design of Numerical Control Constant Current Source Based on Microcontroller[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2011, 48(6): 75- 78.
- [9]钱如竹. 用运算放大器构成压控恒流源的研究[J]. 电测与仪表, 2002, 39(4): 31- 33.
QIAN Ru-zhu. Analysis of Voltage Controlled Constant-current Sources on Operational Amplifiers [J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2002, 39(4): 31- 33.
- [10]贾宏志, 姜博实, 李倩倩, 等. 一种双极性输出大功率压控恒流源的设计[J]. 电测与仪表, 2008, 45(9): 62- 64.
JIA Hong-zhi, JIANG Bo-shi, LI Qian-qian, et al. Design of a High-power Bipolar Output Voltage-controlled Current Source[J]. Electrical

Measurement & Instrumentation, 2008, 45(9): 62- 64.

- [11]吉慧芳, 王菊叶, 王浩, 等. 基于OPA549的多路电流恒流源设计[J]. 测控技术, 2011, 30(9): 4- 7.
JI Hui-fang, WANG Ju-ye, WANG Hao, et al. The Constant-current Source Design with OPA549 [J]. Measurement and Control Technology, 2011, 30(9): 4- 7.

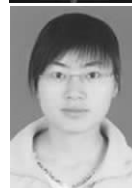
作者简介:



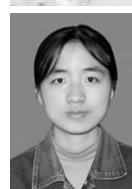
谢志远(1964—),男,河北省辛集市人,工学博士,华北电力大学教授,主要从事信息与通信工程领域的教学与科研工作。Email: zhiyuanxie@263.net



贡振岗(1986—),男,河北省衡水市人,华北电力大学在读硕士研究生,主要从事电力系统通信技术的研究。Email: gongzhengang1@163.com



杨星(1987—),女,河北省保定市人,华北电力大学在读硕士研究生,主要从事电力系统通信技术的研究。Email: yangxing876@126.com



吴晓燕(1988—),女,安徽省安庆人,华北电力大学在读硕士研究生,主要从事电力系统通信技术的研究。Email: wuxiaoyan0601@163.com

收稿日期 2012- 05- 30;修回日期 2012- 11- 09

(王艳丽 编发)

DC-1020 圆型塑料铅封产品说明: 本产品由选进品PC聚碳酸脂材料与ABS树脂模压内外件用铜丝封表线组装而成。结构特征 防盗性能良好,易施封,可编号,印标识。适用范围:适用于电表、水表、军械、化工、矿山、海关、铁路、金融、货柜,外贸商检、企业产品检验、包装桶封装、能源计量、罐装器皿,防止偷盗泄密封存等行业。产品优点:生产的塑料电表封最突出的一个特点就是可以按贵单位的要求制作商标代码,激光打字和编排顺序号码,加强管理,方便使用,主要成份系“聚碳酸脂”塑料,高温压制,具有硬度高,韧性强,透明清晰等优点,无铅中毒,无污染,是最经济的环保产品。



永嘉县大成五金电器制造有限公司 <http://www.yjdcwj.com>
地址 浙江省永嘉县上塘后横巷101-3# 电话 0577-83936528
业务一部 电话 :18958926528 传真 0577-67226528