

基于单片机的数控恒流源的设计

张玉宝¹, 曹会云¹, 张滨²

(1. 内蒙古科技大学, 内蒙古 包头 014010 2 哈尔滨电工仪表研究所, 哈尔滨 150081)

摘要: 该数控恒流源基于单片机控制, 采用模块化设计, 提高了恒流源的输出精度和稳定度。通过开关和键盘来设置输出电流值, 配合 NTEL AT89C55 单片机的编程实现数字控制和显示; 同时用 DAC0832 实现 D/A 转换, 输出模拟控制电压, 再由运算放大器和功率三极管组成的深度电流负反馈系统来实现输出电流的恒定。经过实验及 MATLAB 仿真分析, 测出系统的输出电流误差小于 1mA, 纹波电流不大于 0.2mA。

关键词: 数控直流恒流源; 运算放大器; DAC0832

中图分类号: TM 932

文献标识码: B

文章编号: 1001-1390(2011)06-0075-04

The Design of Numerical Control Constant Current Source Based on Microcontroller

ZHANG Yu-bao¹, CAO Hui-yun¹, ZHANG Bin²

(1. Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010, Inner Mongolia, China

2. Harbin Research Institute of Electrical Instrumentation, Harbin 150081, China)

Abstract The numerical control constant current source uses microcontroller's control and modularity's design to improve its output accuracy and stability. It uses the switch and the keyboard to set the output current value to achieve digital control and display with NTEL AT89C55 microcontroller's programming. At the same time, it achieves D/A converter with the DAC0832 to output analog control voltage, then the depth of the current negative feedback system composed by operational amplifier and power transistor to achieve a constant output current. Through experiments and MATLAB simulation, it measures the system output current error less than one milliamper and ripple current less than 0.2 milliamper.

Key words numerical controlled constant-current source, operational amplifier, DAC0832

0 引言

恒流源也称电流源或稳流源。能够向负载提供恒定电流的电源称作恒流源。理想的恒流源其输出是绝对不变的, 但实际的恒流源只能在一定范围内保持输出电流的稳定性, 只有有限的几档电流值, 稳定性比较低, 通用性不强^[1-2]。目前, 恒流源被广泛用于传感技术、电子测量仪器、现代通信、激光、超导等高新技术领域, 并且有良好的发展前景。

恒流源有多种设计方法, 其中最简单的恒流源电路是由 FET 或恒流二极管构成, 它的电流值比较有限而且稳定度比较差。传统的恒流源电路采用调整管, 主要特点在于它输出采用线性调压电源, 以改变其基准电压的方式来使步进增加或减少, 这样整流滤

波后的纹波对输出影响比较大。开关电源调整方式的恒流源,

采用了开关电源来实现输出电压调整, 由于它工作在饱和区和截止区, 因而本身功耗小, 电源效率高, 但相对调整管方式, 开关电源存在纹波大的特点^[3-4]。本方案采用了单片机控制, 使电流档数增多, 控制方便, 提高了输出精度和稳定度。

1 系统组成和工作原理

本数控恒流源系统可分为单片机控制部分、变压整流和供电部分、A/D 和 D/A 转换电路、恒流源电路、键盘或显示器接口电路等几部分组成。系统框图如图 1 所示。

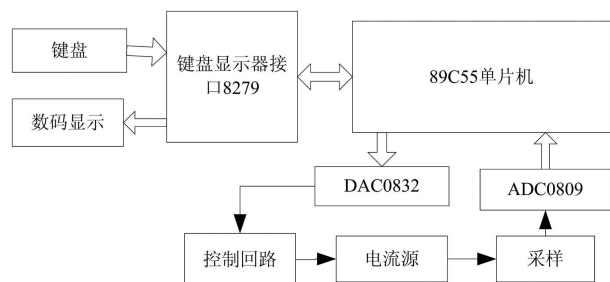


图 1 数控恒流源系统框图

Fig 1 Functional block diagram of the numerical control constant current source

系统采用 AT89C55 单片机为核心, 控制、比较调整单元基准的变化, 实现高精密度电压控制。交流电压经变压, 整流, 滤波, 稳压后输出电路所需电压, CPU 根据预置开关设定的数据或键盘输入的数据, 计算出相应的基准电压值, 送给 DAC0832 转换成模拟电压, 再送主控电路通过反馈控制, 使电流稳定输出。在经过 ADC0809 转换成数字信号输入单片机。由按钮选择配合软件分别实现设定值与测试值的交替显示。

控制核心采用单片机 NTEL89C55 用此来控制提高了精度, 人工干预自由度大, 功能扩展, 升级余地比较大, 兼容性强, 成本低廉, 易于制作, 生产。采样部分使用运算放大器具有很大的电源电压控制化, 可以大大减少输出端的纹波电流。显示部分采用键盘 / 显示器接口控制器 8279 不仅简化接口电路, 而且还减少了软件对键盘 / 显示器的查询时间, 提高了 CPU 的利用率。

2 主要电路设计与计算

2.1 变压整流和供电部分

供电部分输出 200~240V, 50Hz 的交流电, 经过变压器的变压, 整流, 滤波, 得到系统所需的三种电压: +5V、+12V 和 -12V。主要是供数控部分和 D/A 转换芯片使用电源, 同时也是稳压输出电路的主电源。系统框图如图 2 所示。

对于滤波电容的选择, 要考虑: 整流管的压降; 7812/7912/7815/7805 的最小允许压降为 U_d ; 电网波动为 10%^[5], 所以考虑电容为 4700 μ F/16V。因 7815 和 7812 负载重功率大, 所以应加装散热器; 电源为了使输出的电流纹波 ≤ 0.2 mA, 在稳压器的输出端都加上了滤波器, 来除去电流的纹波。

2.2 恒流源电路

单片机的输出经过 D/A 转换为模拟信号后, 经

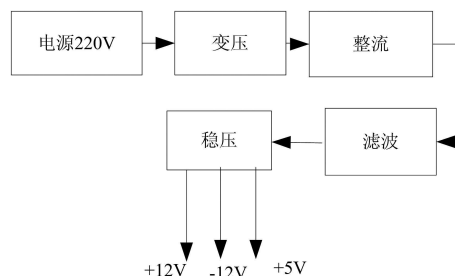


图 2 变压整流和供电部分的系统框图

Fig 2 System chart of the transformer rectifier and power section

过双运放集成块放大后, 再经过 MOS 管 (2SK1062 N 沟道) 引入深度电流负反馈。引入电流负反馈可以稳定输出电流, 提高放大倍数的稳定性, 扩展频带, 减小非线性失真^[6-7]。采用场效应管的优点是双极性晶体管输出几乎是不可取电流, 而 MOS 管电压与电流控制范围好, 因而输出电阻较高, 并且低噪声抗辐射, 热稳定性以及功耗小等优点。电路如图 3 所示。

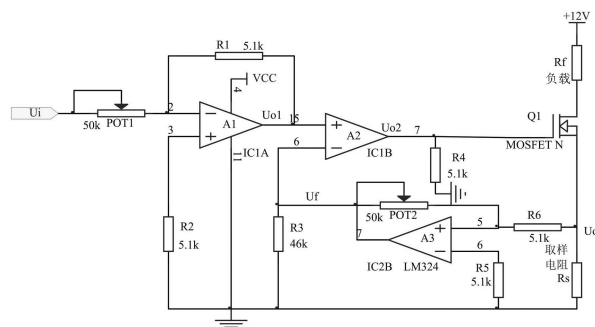


图 3 恒流源电路

Fig 3 Constant-current source circuit

采样电阻 R_s 的反馈信号送到 A_3 放大器的同相端, 经放大后输出作为反馈电压 U_f 送入 A_2 的反相端, A_2 的同相端为 D/A 送来的控制信号经 A_1 放大后的信号, 两个信号进行比较, 对 MOS 管的栅极电压进行调整, 进而对输出电流调整, 实现了输出电流稳定的目的。如果输出电流 I_o 增大, 则采样电阻上的采样电压 U_{RS} 也增大, 反馈电压 U_f 增大, 运放 A_2 的反相端电压 U_{2-} 增大, 同相端 U_{2+} 不变, 运放 A_2 的输出电压 $U_{O2} = U_{2+} - U_{2-} = K(U_{O1} - U_f)$, 因此, A_2 的输出端电压 U_{O2} 下降, MOS 管的栅极电压 U_G 下降, 栅源电压 $U_{GS} = U_G - U_S$ 也下降, 从而使输出电源下降, 则输出电流保持稳定, 实现了恒流作用。

根据运放虚短路原理^[5], 可以推出:

$$U_{o1} = - \frac{R_1}{POT_1} \times U_i \tag{1}$$

补偿电阻:

$$R_4 = \frac{POT_1 \times R_1}{POT_1 + R_1} = \frac{50 \times 5}{50 + 5} \approx 4.6 (\Omega) \tag{2}$$

所以取 R_4 为 $5\text{ k}\Omega$, 较为精确。

反馈电压为:

$$\frac{U_{3+} - U_f}{POT_2} = \frac{U_o - U_{3+}}{R_6} \tag{3}$$

$$U_{3+} = U_{3-} = 0 \tag{4}$$

将式 (4)代入式 (3)得:

$$U_f = - \frac{POT_2}{R_6} \times U_o \tag{5}$$

输出电压为:

$$U_o = - I_d \times R_s \tag{6}$$

将式 (6)代入式 (5)中得出:

$$U_f = \frac{POT_2 \cdot R_s}{R_6} \times I_d \tag{7}$$

由 $U_{o1} = U_f$ 得出:

$$- \frac{R_1}{POT_1} \times U_i = \frac{POT_2 \cdot R_s}{R_6} \times I_d \tag{8}$$

$$\text{求得: } I_d = - \frac{R_1 \cdot R_6}{POT_1 \cdot R_s \cdot POT_2} \times U_i \tag{9}$$

由式 (9)可以得出输出电流只与电阻 POT_1 , R_s , POT_2 , R_1 , R_6 有关, 与场效应管的参数无关, 选择合适的电阻值可提高恒流源的精度。场效应管与 BJT 最基本的差别在于场效应管是电压控制元件, 输出漏极电流是由输出栅极电压控制的。

$$\text{跨导定义为: } g_m = \frac{I_d}{V_{gs}} \tag{10}$$

式中 I_d 为输出电流; V_{gs} 为输出电压。从栅极看进去的输入电阻近似为无穷大, 漏极电流可以忽略不计。负载电阻改变及纹波电流的抑制均由深度电流负反馈来实现。输出电流范围在 $0.02 \sim 2\text{ A}$, 改变负载电阻 R_f 时, 输出电压在 10 V 以内变化时, 输出电流变化范围小于输出电流值的 $1\% + 1\text{ mA}$ 。供电采用 $+12\text{ V}$ 电压供电, 用一个 $4.7\mu\text{F}$ 的电解电容和一个 $0.1\mu\text{F}$ 的瓷片电容去耦。

2.3 数控部分

89C55 单片机基本系统: 数控核心采用 89C55 单片机与 EEPROM, RAM, 地址锁存器 74LS373 组成单片机的基本系统, 并对 P2 口的 P2.0 经 74LS138 地址译码后作为 8279 的选通信号。在 89C55 引脚 X1 和 X2 接入晶振 Y1 和微调电容 C_5 , C_6 就构成了时钟电

路, 值为 $12\text{ MHz}^{[8-10]}$ 。

系统采用了上电自动复位和按键手动复位两种方式。上电复位要求接通电源后, 单片机自动实现复位操作。手动复位要求在电源接通的条件下, 在单片机运行期间, 操作按钮开关 10 使单片机复位。上电自动复位通过外部复位电容 C_4 的充电来实现。按键手动复位是通过复位端经电阻和 V_{cc} 接通来实现。

键盘为 8×2 按键式键盘, 当有按下时, 向 CPU 申请中断, CPU 在中断程序中读取键盘编码, 作相应处理。 $0 \sim 9$ 号按键用来输入 $0.02 \sim 2\text{ A}$ 的预置电流, 在输出端输出相对应的电流, 10 号按键为单片机手动复位清零键。

键盘 / 显示接口电路: 在设计键盘 / 显示接口电路时, 使用 8279 键盘 / 显示控制器, 它能实现对键盘的自动扫描, 并对显示器进行自动刷新。单片机控制电路图如图 4 所示。

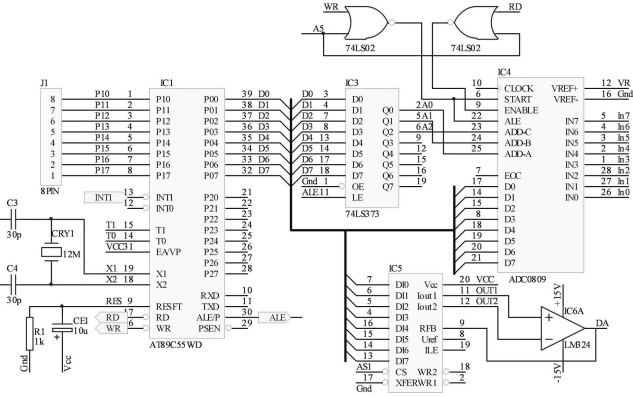


图 4 单片机控制原理图

Fig 4 Microcontroller schematic

3 电路测试与分析

3.1 测试方法

测试所用仪器: 数字万用表, 外接 220 V 交流电源, 低频毫伏表。测试方法框图如图 5 所示。图中 R_L 为负载电阻, R_s 为取样电阻, 0.5Ω 。

用万用表测 1 和 2 两端的值为实测电流值; 用低频毫伏表测 3 和 4 两端的值为输出纹波电压值。误差百分率测试: 为了比较测量值和真实值的误差, 我们在 $20 \sim 2000\text{ mA}$ 之间选定了六个值相比较, 误差百分率计算公式为。

$$\text{误差百分率} = \frac{I_1 - I_2}{I_2} \times 100\% \tag{11}$$

式中 I_1 为显示值; I_2 为测量值。

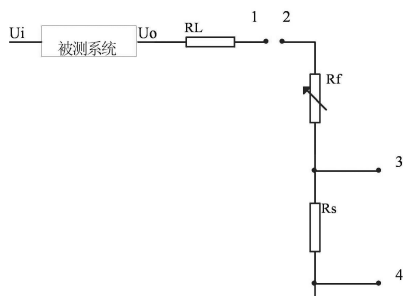


图 5 测试方法框图

Fig 5 Diagram of test method

3.2 测试结果记录

恒定电流为 100mA, 负载为 5Ω, 测量 10 次所得结果如图 6 所示。输出电流的平均值为 $I_d = 100.0580\text{mA}$, 标准差 $\sigma = 0.1455\text{mA}$, 稳流精度 $\sigma/I_d \times 100\% = 0.15\%$, 纹波电流变化范围在 0.12~0.19mA 之间。当改变负载 R_L 的阻值时, 输出电流值变化不大, $R_L = 8\Omega$ 输出电流的平均值为 $I_d = 100.099\text{A}$, 标准差 $\sigma = 0.613\text{A}$, 稳流精度 $\sigma/I_d \times 100\% = 0.61\%$; $R_L = 14\Omega$ 时, $I_d = 100.229\text{A}$, $\sigma = 0.359\text{A}$, $\sigma/I_d \times 100\% = 0.36\%$ 。

当改变负载电阻时测量 10 次, 测量值与设定值之间的误差为: $R_L = 8\Omega$ 时, 测量误差为 $\gamma_1 = (I_2 - I_3)/I_3$, I_3 为设定值。测量误差的标准偏差 $S_1 = 0.0037\text{mA}$; $R_L = 20\Omega$, $S_1 = 0.0032\text{mA}$ 。显示值与设定值之间的误差为: $R_L = 8\Omega$ 时, 测量误差为 $\gamma_2 = (I_1 - I_3)/I_3$, 测量误差的标准偏差 $S_2 = 0.0042\text{mA}$; $R_L = 20\Omega$, $S_2 = 0.0125\text{mA}$ 。误差百分率变化范围在 0.018~0.35 之间。

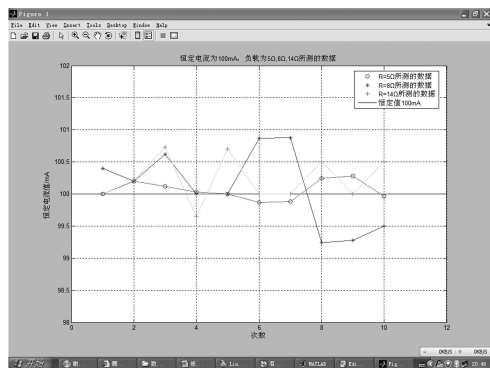


图 6 改变负载电阻, 恒定值与测量值的比较

Fig 6 Change the load resistance, compare steady state value and measured value

4 结论

本文由运算放大器和功率三极管组成的电流负反馈电路, 提高了电流的稳定性。单片机作为控制部分, 使输出电流的误差大大减小, 精度进一步提高, 测

量误差百分率小于 0.35, 稳流精度小于 0.61%。该系统电路简单、成本低、功耗小、可靠性高, 具有较为广阔的市场前景和应用价值。

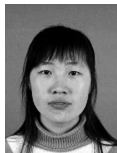
参考文献

- [1] William J. Mundl. Constant-current source for an electrolytic micro-infusion transducer system [J]. Journal of Neuroscience Methods, Volume 4, Issue 3, October 1981, Pages 287-290.
- [2] 曲学基, 王增福. 稳定电源实用电路选编 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- [3] 熊伟林. 模拟电子技术基础及应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.7.
- [4] 蔚广军, 朱宇虹. 几种恒流源电路的设计 [J]. 电子与自动化, 2000 (1): 45-46.
WEI Guang-jun, ZHU Yu-hong. The Design Circuit of Several Constant-current source [J]. Electronic & Automation, 2000 (1): 45-46.
- [5] 康华光. 模拟电子技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2005.
- [6] Thomas L. Floyd, David M. Buchla. The Science of Electronics Analog Devices [M]. Bilingual edition, 2001.
- [7] 古天祥, 王厚军, 习友宝. 电子测量原理 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [8] 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.
- [9] 何立明, 张俊谋. 单片机中级教程 (原理与应用) [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002.
- [10] 耿振野, 鲍学良, 陈广秋. 大功率精密恒流源系统设计 [J]. 中国新技术新产品, 2010, (13): 22.
Geng Zhen-ye, Bao Xue-liang, Chen Guang-qiu. The Design of a High Power Precision Constant Current Source [J]. China New Technologies and Products, 2010, (13): 22.

作者简介:



张玉宝 (1962-), 男, 汉, 博士, 教授, 研究方向为机械设计制造及测试技术。Email: btzyt@126.com



曹会云 (1985-), 女, 汉, 硕士研究生, 研究方向为机械电子工程。Email: xh270056393@163.com

张滨 (1962-), 男, 哈尔滨市人, 硕士研究生, 从事电磁测量及计量检定工作。

收稿日期: 2011-03-02
(杨长江 编发)