

高精度数控可调直流稳压电源设计*

吴茂成¹, 许宜申¹, 顾济华¹, 陶智¹, 卜树坡²

(1. 苏州大学 物理科学与技术学院, 江苏 苏州 215006;

2. 苏州工业职业技术学院 电子工程系, 江苏 苏州 215104)

摘要: 针对常规直流稳压电源的输出电压精度不高和调节较为繁琐的缺点, 设计了一款高精度数控可调直流稳压线性电源。该电源输出电压 0~30 V 可调, 输出电流最大值可达 4 A。通过输出电压/电流取样电路、差动放大电路及电压/电流调整电路等所构成的闭环负反馈环节和软件上的双线性插值误差补偿方法, 提高了输出电压的精度。该电源输出电压和电流的最大值既可通过旋转编码器和实体按键进行调节, 也可以通过在所用触控液晶模块中创建的虚拟键盘直接进行设置, 操作简便。实际测试结果表明, 该电源的输出电压精度高, 12 V 输出时的负载调整率仅为 0.15%, 且参数设置操作简便, 可满足一般教学、科研的应用需求。

关键词: 直流稳压电源; 闭环负反馈控制; 双线性插值

中图分类号: TM919

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2013)14-0028-04

Design of a digitally-controlled high-precision DC power supply with adjustable output voltage

Wu Maocheng¹, Xu Yishen¹, Gu Jihua¹, Tao Zhi¹, Bu Shupo²

(1. Department of Physics Science and Technology, Soochow University, Suzhou 215006, China;

2. Department of Electronic Engineering, Suzhou Institute of Industrial Technology, Suzhou 215104, China)

Abstract: With a view to the shortcomings of conventional DC power supply's output voltage in low precision and cumbersome regulation, a digitally-controlled high-precision linear DC power supply with adjustable output voltage is presented. The voltage regulation range of the proposed power supply is from 0 V to 30 V, and the maximum output current is 4 A. The precision of the output voltage has been improved by adopting the closed-loop feedback segment which comprises a voltage and current sampling circuit, a differential amplifier and parameters adjusting circuit in hardware, and the bilinear interpolation error-amended algorithm in software. The values of output voltage and maximum output current can be regulated by a conventional rotary encoder and some buttons, and also can be set up directly by means of the established virtual keyboard on LCD touch screen. The test results indicate that the output voltage's precision of the designed power supply is high and the load regulation is only 0.15% at 12 V output voltage. Moreover, the manipulation of the setting parameters is simple and convenient meeting the application demands for ordinary teaching and research.

Key words: DC voltage-stabilized power supply; negative feedback closed-loop control; bilinear interpolation

直流稳压电源是电子技术领域的常用仪器设备之一, 能在电网电压产生波动或负载发生变化时提供稳定的直流输出电压。常规的直流稳压电源由电源变压器、整流、滤波和稳压电路等部分组成, 大多采用串联反馈式稳压原理, 通过调节输出端取样支路中的电位器来改

变输出电压值。由于电位器阻值变化的非线性和调节范围限制, 普通直流稳压电源的输出电压精度不高。随着使用时间的增加, 用于粗调的波段开关和用于细调的电位器的接触不良也会对输出电压产生较大影响, 且调节较为繁琐^[1-2]。

* 基金项目: 江苏省属高校自然科学研究面上项目(12KJD480001); 江苏省网络电视工程技术研究开发中心开放基金项目(SIIT111004); 江苏省产学研前瞻性联合研究项目(BY2012118)

针对常规直流稳压电源的上述缺点, 设计了一款数控可调直流稳压电源, 其输出电

硬件纵横

Hardware Technique

压 0~30 V 可调,输出电流最大值可达 4 A,输出电压精度高且稳定性强,参数设置操作简便,还可实时监测并显示实际的电压/电流输出值。

1 系统设计方案

系统的总体设计方案如图 1 所示,主要包括整流滤波单元、输出电压/电流采样及调整电路、微处理器单元、显示控制单元以及常用电压输出单元等。



图 1 数控电源原理框图

该电源利用运算放大器放大输出设定值与实际输出值之间的误差,通过电路闭环负反馈方式调节 MOSFET 管的工作点,实现电压/电流的稳定可控输出,具有恒压、恒流两种工作模式。

系统配备了两套显示控制模式:一是传统的实体按键加旋钮参数设置调节方式,以满足操作习惯需求;二是触摸控制显示方式,参数设置通过虚拟按键完成,显示信息丰富,操作灵活多变。两套显示控制模式协同工作,都有步进切换、输出使能和按键锁定等功能。电压步进值可以为 1 V、0.1 V 和 0.01 V,电流步进值可以为 100 mA、10 mA 和 1 mA。另外,为了满足部分场合的常规电压应用需求,借助于稳压开关电源模块和直流电源转换电路,实现 3.3 V/3 A、5 V/3 A 以及 ±12 V/1 A 4 路固定电压输出。

2 主要硬件电路设计

2.1 微处理器单元

微处理器单元是系统的控制核心,主要完成机械式按键、旋钮和触控显示单元的输入采集和输出显示控制,具体控制电路如图 2 所示^[3]。本设计中选用 ST 公司

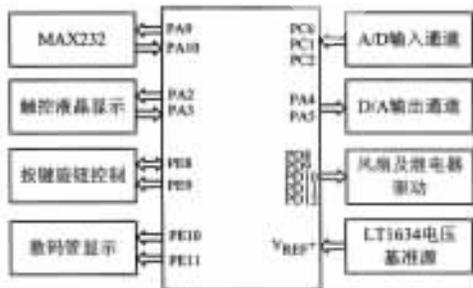


图 2 微处理器控制电路

基于 ARM 32 位 Cortex-M3 内核的 STM32F103VCT6 芯片,其最高工作频率为 72 MHz,最大速度可达 90 MIPS,芯片内部集成两个 12 位 A/D 转换器和两个 12 位 D/A 转换器,使得外围电路设计得以简化,并且可以满足最小输出电压/电流分辨率要求。

2.2 输出电压/电流采集电路

输出电压/电流采集电路如图 3 所示。输出电压采集由运算放大器构成的差分衰减电路完成,运放选用 OP07,其输入失调电压极低,可以保证电源输出精度。两差分输入端实时采样输出电压并按比例衰减,一路低通滤波后接至微处理器内部集成的 A/D 转换器,另一路接至电压误差放大电路。为保证衰减系数的准确性, R_{28} 、 R_{17} 、 R_{31} 和 R_{15} 均为高精度、低温漂电阻,电源输出电压在 0~30 V 内调节时,电压采样值在 0~2.44 V 内同步线性变化。

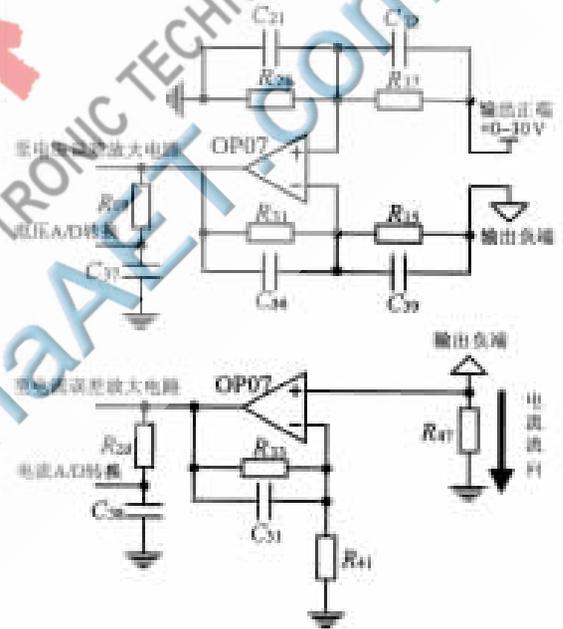


图 3 输出电压/电流采集电路

输出电流采集是由运放构成的同相放大电路完成的。 R_{47} 为 5 W 大功率、低温漂精密电阻,阻值为 0.05 Ω ,由其实现 0~4 A 电流值到 0~0.2 V 电压值的线性转换,取样电阻两端电压信号经放大,一路低通滤波后接至微处理器内部集成的 A/D 转换器,另一路接至电流误差放大电路。

2.3 电压/电流误差放大电路设计

当该电源工作于恒压模式时,电流反馈回路只起限流作用,当实际输出电流值小于设定限流值时电流误差放大器工作在正饱和区,电压误差放大器工作在线性区。当负载变动使得输出电压瞬间略有上升时,电压误差放大电路的输出使得 MOSFET 管栅源极间电压减小,其导通程度随之减小,从而降低输出电压,直到实际输

硬件纵横

Hardware Technique

输出电压等于设定电压;当负载变化使得输出电压瞬间略有下降时,电压误差放大电路的输出将增大 MOSFET 管的导通程度,使输出电压增大并最终等于设定电压。

该电源工作于恒流模式时,电流误差放大电路的调节原理同上。

2.4 调整管温度采集电路

系统设计中,调整管温度采集电路主要有两个作用:(1)为系统过热保护提供实时温度数据,当温度小于 35℃时关闭散热风扇,温度大于 55℃且小于 80℃时打开风扇,温度超过 80℃时关闭电源输出;(2)为电压输出值的误差补偿提供参数:调整管温度或负载电流大范围变化时电源输出电压精度会受到影响,系统采用二维线性差值算法进行补偿以实现高精度输出,调整管温度是算法的重要参数之一。

本系统选用 LM35 芯片实现调整管温度的实时采集,该芯片具有使用方便、线性度高、测量温度范围广、自发热小等诸多优点,同时该芯片在使用时免调试、免标定、接线简单、输出阻抗低。

2.5 辅助电源电路

为了满足部分场合的常规电压应用需求,借助于稳压开关电源模块对 220 V 交流电进行 AC-DC 变换得到 ± 15 V 直流输出,再经过直流电源转换电路,实现 3.3 V/3 A、5 V/3 A 以及 ± 12 V/1 A 4 路固定电压输出。3.3 V 和 5 V 直流电源的实现选用的是美国国家半导体公司(National Semiconductor)的 LM2596,该开关电源调节器是降压型电源管理单片集成电路,最大能够输出 3 A 驱动电流,同时具有很好的线性和负载调节能力。LM2596 有多种固定输出版本,本设计的 3.3 V 电源和 5 V 电源分别选用 LM2596-3.3 和 LM2596-5.0,其外围电路配置简单,如图 4 所示。 ± 12 V 电源则选用常规的 7812 和 7912 三端稳压器电路设计。



图 4 3.3 V 辅助电源电路

3 系统软件设计

本系统软件采用 C 语言模块化编程方式^[4],利用 Keil MDK-ARM 完成编译,软件设计流程如图 5 所示。软件系统主要由以下几个模块组成:

(1)主函数模块:主函数先对系统进行初始化,开机读取 D/A 校准值并显示初始设置的电压和电流;然后开始扫描是否有按键按下,若有按键按下,就通过 D/A 设定输出电压大小并读取调整管温度采样值,判断是否打开风扇或进行过热保护。

(2)按键定时扫描函数模块:系统每 5 ms 检测一次控制面板,若有新的电压/电流设定值输入,则立即更新



图 5 系统软件设计流程图

相应标志位。

(3)数码管显示更新函数模块:每当实时电压或电流信号发生改变时,微控制器会主动更新数码管的显示结果。

(4)串口通信函数模块:微控制器通过串行口与触摸液晶屏进行通信。从液晶屏接收触控信息时采用中断方式,提高了 CPU 实时性和工作效率;向液晶屏发送电压/电流和步进值显示信息时采用轮询等待方式,以保证每帧数据的完整性。

(5)D/A 数模转换函数模块:为了数据处理方便,程序算法中采用 0.00~30.00 和 0.000~4.000 范围内的浮点数分别表示设定电压/电流值,本函数模块将这种表示范围线性地转换到 12 位 D/A 所需的 0~4 095 范围。

(6)电压/电流步进调节函数模块:电压步进值可以为 1 V、0.1 V 和 0.01 V,电流步进值可以为 100 mA、10 mA 和 1 mA,本函数模块实现不同步进值基础上的加减调节。

4 误差分析与补偿

电源正常工作时,大电流、重负载情况下调整管的最高温度为 60℃左右,而小电流、轻负载时约在常温上下浮动。如何保证调整管温度或负载电流在大范围内变

硬件纵横

Hardware Technique

化时输出电压的精度是该电源设计的难点之一。输出电压精度主要由以下几个方面决定:电压取样电路中运放外围电阻的精度和温漂;运算放大器的失调电压及温漂;D/A转换器的性能和电压基准源的温漂。本设计首先从硬件上选用高精度、低温漂及性能良好的关键器件,同时针对所选硬件再进行D/A输出值的软件二维线性插值补偿,以确保调整管温度或负载电流大范围变化时输出电压的精确。

基于上述分析,若要保证全负载电流范围和全工作温度范围内输出电压的精确性,送至电压误差放大电路的D/A值需要根据负载电流 I 和环境温度 T 进行补偿。系统所采用的二维线性插值算法^[5]原理如图6所示。

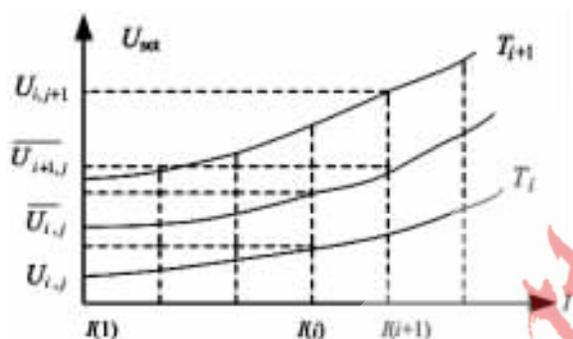


图6 二维线性插值法原理图

(1)在全负载电流范围内取 N 个电流校验点 I_1, I_2, \dots, I_N ,在全工作温度范围内取 M 个温度校验点 T_1, T_2, \dots, T_M ,设定D/A输出电压值对应的电源标称输出电压值 U_{set} ,交叉测试校验得到 $N \times M$ 个电源实际输出电压值 $U_1, U_2, \dots, U_{N \times M}$ 。

(2)D/A转换器校验后,在调整过程中要求根据设定的电源标称输出电压值 U_{set} 和调整管温度值 T 确定负载电流。将实际调整管温度值 T 与各温度校验点进行比较,确定 T 在 T_j 和 T_{j+1} 之间。

(3)在 T_i, T_{i+1} 两条 $U_{set}-I$ 关系曲线上,各校验负载电流点 $I_j(j=1,2,\dots,N)$ 保持不变,用线性插值法求出对应实际温度 T 的设定电压 $\overline{U}_{i,j}$ 如下:

$$\overline{U}_{i,j} = U_{i,j} + (T - T_i) \cdot \frac{U_{i,j+1} - U_{i,j}}{T_{i+1} - T_i} \quad (j=1,2,\dots,N) \quad (1)$$

其中, $U_{i,j}$ 和 $U_{i,j+1}$ 是两个电压校验值(对应电流校验点 I_j 和温度校验点 T_i, T_{i+1})。

5 实验结果

依据上述方案设计制作了数控电源,实际工作状态如图7所示。

对所设计电源的主要参数之一负载调整率进行了测试。实验设置如下:电源输出端所加的负载为12V直流供电的150W微型车载逆变器(其交流输出电压有效值为220V,频率为50Hz),该逆变器连接一个50W可调光白炽灯光源,以实现负载可调。设置数控电源输出电压为12.00V,最大输出电流为4.000A,调节白炽灯



图7 所设计数控电源的实际工作状态图

亮度调节旋钮,利用6位半安捷伦万用表Agilent 34401A测量不同负载情况下的输出电压。

测试数据如表1所示,计算可得12V输出时该电源的负载调整率为0.15%。

表1 负载调整率测试数据

负载电流/A	电压测试值/V
0.507	12.001
0.993	12.000
1.210	12.001
1.609	11.998
2.014	11.999
2.403	12.000
2.823	11.998
3.212	11.995
3.605	11.994
3.945	11.981

本文设计并制作了一款高精度数控电源,该电源输出电压0~30V可调,输出电流最大可达4A,电压最小步进值为0.01V,电流最小步进值为1mA,负载调整率小于0.2%。电源配备了两套显示控制方案,既可以通过实体按键和旋钮控制,也可以通过触摸液晶屏对输出电压/电流值进行触控控制,触摸液晶屏操作方案的一大特色是增加了直接键盘设定功能,操作更简便。同时,该电源还配备了4路常用固定电压输出,且保护功能较为完善,可满足一般实验和教学活动的要求。另外,通过系统软件编程,该电源可实现输出电压波形自定义等扩展功能。

参考文献

- [1] 朱贵宪.基于单片机的数控稳压电源设计[J].自动化与仪表,2011(6):50-53.
- [2] 刘楚湘,杜勇,尤双枫.基于单片机的数控直流稳压电源设计[J].新疆师范大学学报(自然科学版),2007,26(1):50-52.
- [3] 阿莫电子论坛.电子技术交流[EB/OL].(2013-03-22)[2013-05-01].http://www.amobbs.com.
- [4] 林应荃,李洪文.经纬仪开关电源监控模块设计[J].仪表技术与传感器,2010(11):15-17.
- [5] 伍泓屹,陈波,俞舟平.基于温度传感器的DAC非线性补偿系统设计[J].传感器与微系统,2011,30(9):82-84.

(收稿日期:2013-05-06)

作者简介:

吴茂成,男,1971年生,实验师,本科,主要研究方向:大学物理实验技术与教学。

《微型机与应用》2013年第32卷第14期