



## 基于 STM32 微控制器的数控稳压稳流电源设计

杨伟明, 刘全玺, 刘成臣, 刘玉良  
(天津科技大学电子信息与自动化学院, 天津 300222)

**摘要:** 基于 STM32 微控制器设计了数控稳压稳流电源. 该电源由数控模块、稳压稳流调整模块与 LCD 显示模块组成, 采用 STM32 调整和控制稳压稳流调整模块的工作状态及监测电路的输出电压电流的大小, 再经过运算放大器隔离放大、输出控制功率管的基极, 随着功率管基极电压的变化, 集电极输出不同的电压和电流. 实验表明, 电源输出的最大相对误差为 0.25%, 具有较高的精度, 其输出稳定, 受负载变化影响小.

**关键词:** 数控电源; STM32; 基准源; 恒压恒流源

**中图分类号:** TP303      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1672-6510(2012)05-0056-05

## Numerical Control of Stable Voltage and Current Power Based on STM32

YANG Weiming, LIU Quanxi, LIU Chengchen, LIU Yuliang

(College of Electronic Information and Automation, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China)

**Abstract:** Based on STM32, a numerical control model of stable voltage and current power was designed. It was composed of a numerical control module, a voltage and current regulator adjustment module, and a LCD display module. By using STM32 to adjust and control the status of numerical control module and monitor the output of the circuit, and using the op-amp isolation to control the power transistor base, the collector outputs different voltage and current. Experimental results show that the maximum relative error of the power output is less than 0.25%, and the power can work stably with high precision and small influence of load.

**Key words:** numerical power control; STM32; reference source; stable voltage and current source

数控稳压稳流电源是一种常用的电子仪器. 目前, 使用的可控电源<sup>[1-2]</sup>中大部分是采用分立器件制作而成, 有体积大、效率低、可靠性差、操作不方便、故障率高等缺点. 随着电子技术的发展, 各种电子电器设备对电源的性能要求提高, 电源设计不断朝数字化、高效和智能等方向发展, 取得了一定的研究成果, 但是存在电源<sup>[3-4]</sup>输出电压范围小、转换效率低、功耗大、功率密度小等不足.

本文以直流电压源为核心, MC1403 为电压基准源, STM32 微控制器<sup>[5]</sup>为控制单元, 在检测与控制软件的支持下实现对电压电流输出的数字控制. 通过调节数模转换器的输出电压, 调整和控制稳压稳流调整模块的工作状态及监测电路的输出电压、电流大小,

再经过运算放大器隔离放大, 输出控制功率管的基极, 随着功率管基极电压的变化而输出不同的电压和电流, 实现了基于 STM32 微控制器的数控稳压稳流电源.

### 1 系统结构

系统整体结构如图 1 所示.

输入电压采用多路电压切换, 用多继电器控制各种电压组合, 实现 0~30 V 每 2 V 步进调节, 保持稳压稳流调整模块的输入电压始终比输出高 2 V, 不仅能够解决功率管的散热问题, 而且能够提高电源效率.

收稿日期: 2012-02-16; 修回日期: 2012-06-12

基金项目: 天津科技大学实验室开放基金(1102A206); 天津科技大学科学研究基金(20110123)

作者简介: 杨伟明(1980—), 男, 山东郓城人, 实验师, yangwm@tust.edu.cn.

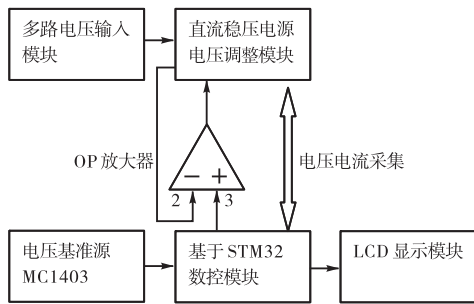


图 1 系统整体结构图

Fig. 1 Structure of the whole system

MC1403 作为电压基准, 输出 2.5 V 基准电压, 初始电压误差  $\pm 5$  mV, 输入电压范围较宽, 在 4.5 ~ 40 V 的电压输入范围内都可以正常工作, 电路较简洁, 工作电流 1.2 mA, 输出驱动能力 10 mA, 典型温漂  $10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ , STM32 中 AD 和 DA 模块的基准电压都由其提供。

数控模块采用 STM32F103VC6 微控制器, 其片内有两路 12 位的 DA 模块和 3 个独立的 12 位 AD 模块, 利用其采集输出电压和电流值, 在软件的支持下实现对电压和电流输出的数字控制。

OP 放大器的裸增益较大 (100 ~ 140 dB), 作为误差放大器, 其强大的负反馈作用, 不仅使输出残留纹波完全消失, 而且由于负反馈的优点, 输出的残留噪声也会变小。OP 放大器是在两个输入端间的电位差为 0 V 时进行工作的, 所以 OP 放大器的反向输入端 (引脚 2) 的电压被控制在与正向输入端 (引脚 3) 的电

压相同, 因此利用数控模块输出不同的电压值, 能够使系统输出不同的电压电流<sup>[6]</sup>。

## 2 工作原理

### 2.1 稳压稳流调整模块电路

数控稳压稳流电源工作在稳压状态或者工作在稳流状态, 并在稳压、稳流状态间自动切换<sup>[7-8]</sup>。当流经负载的电流小于预设电流值时, 电源工作在稳压状态, 当流经负载的电流大于预设电流值时, 电源工作在稳流状态。

电源稳压稳流调整模块电路见图 2。电路工作在稳压状态时,  $Q_2$ 、 $Q_3$  饱和导通,  $Q_1$  受控于  $DA_1$  完成电压调整; 当检测到负载电流大于设定电流值时, 在控制软件作用下使  $U_{1A}$  工作在比较器状态, 使  $U_{1B}$  工作在线性放大状态, 此时  $U_{1A}$  输出 VCC,  $Q_1$  饱和导通,  $Q_2$  受控于  $DA_2$  进行电流调整, 完成稳压状态向稳流状态的切换。电路工作在稳流状态时,  $Q_1$ 、 $Q_3$  饱和导通,  $Q_2$  受控于  $DA_2$  完成电流调整; 当检测到负载电压大于设定电压值时, 在控制软件作用下使  $U_{1B}$  工作在比较器状态, 使  $U_{1A}$  工作在线性放大状态, 此时  $U_{1B}$  输出 VCC,  $Q_2$  饱和导通,  $Q_1$  受控于  $DA_1$  进行电压调整, 完成稳流状态向稳压状态的切换。当设定好输出电压、电流值时, 电源根据负载变化情况, 在稳压、稳流状态间自动切换。

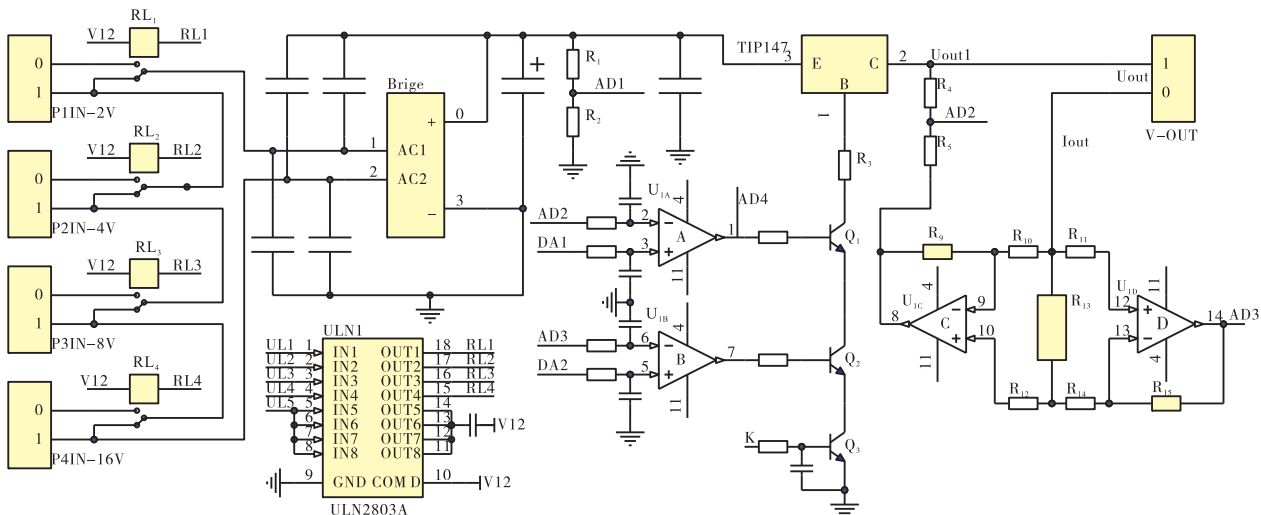


图 2 电源稳压稳流调整模块电路

Fig. 2 Schema of voltage and current adjustment module

### 2.2 稳压稳流电源的工作原理

由运算放大器  $U_{1A}$ 、 $U_{1C}$ , 大功率达林顿三极管 TIP147, 三极管  $Q_1$ 、 $Q_3$  等组成稳压电路, 其中  $Q_3$  控

制稳压稳流电源是否工作: 当  $Q_3$  基极输入高电平时,  $Q_3$  饱和导通, 稳压稳流电源处于工作状态; 当  $Q_3$  基极输入低电平时稳压稳流电源关闭。

运算放大器  $U_{1C}$  是为消除电源电流取样电阻  $R_{13}$  上的电压降对电源输出电压的影响, 它与  $R_{10}$ 、 $R_{12}$  共同组成负阻转换器 (NIC), 对电源的输出电压进行取样.  $R_{13}$  上负载电流形成的压降为正,  $U_{1C}$  为反向差动放大器, 输出为负, 目的是在 AD2 的取样信号中减去  $R_{13}$  上的压降, 使 LCD 显示的电压值为真实的电压输出值. 输出电压经  $R_4$  和  $R_5$  组成的分压电路由 AD2 取出进行 AD 转换并显示, 同时送入由  $U_{1A}$  组成的反相放大器, 完成电压调节和稳压. 稳压稳流调整模块输出电压为

$$U_{out} = \frac{R_4 + R_5}{R_5} V_{DA1} + \left[ -\frac{R_4}{R_5} \left( -\frac{R_9}{R_{10}} I_{out} R_{13} \right) \right] \quad (1)$$

$R_{13}$  上的电压为

$$U_{R13} = I_{out} R_{13} \quad (2)$$

电源输出电压为

$$U_{out} = U_{out1} - U_{R13} \quad (3)$$

把式(1)、式(2)代入式(3)得

$$U_{out} = \frac{R_4 + R_5}{R_5} V_{DA1} + \left[ -\frac{R_4}{R_5} \left( -\frac{R_9}{R_{10}} I_{out} R_{13} \right) \right] - I_{out} R_{13}$$

式中:  $I_{out}$  是流经负载电流;  $V_{DA1}$  是 STM32 的 DA1 输出电压, 根据设定条件可产生 0 ~ 2.5 V 的电压.  $R_{13}$  是测量电源电流的取样电阻. 当满足  $R_4 \times R_9 / (R_5 \times R_{10}) = 1$  时, 能够消除电源电流取样电阻  $R_{13}$  上的电压降对电源输出电压的影响. 得到

$$U_{out} = \frac{R_4 + R_5}{R_5} V_{DA1} \quad (4)$$

由式(4)计算可知, 当满足  $R_4/R_5 = 11$ 、 $V_{DA1}$  为 2.5 V 时, 输出电压为 30 V.

由运放  $U_{1B}$ 、 $U_{1D}$  和三极管  $Q_2$  等组成稳流电路. 流经取样电阻  $R_{13}$  上的电流与  $U_{1D}$  组成跨阻放大器, 输出电压由 AD3 取出进行 AD 转换和显示, 同时送入由  $U_{1B}$  组成的反相放大器, 完成电流调节和稳流. 输出电流的大小由式(5)决定.

$$I_{out} = V_{DA2} / \frac{(R_{14} + R_{15})R_{13}}{R_{14}} \quad (5)$$

式中,  $V_{DA2}$  是 STM32 的 DA2 输出电压, 根据设定条件可产生 0 ~ 2.5 V 的电压, 控制输出电流的大小.

电源工作在稳压状态或者稳流状态是通过微控制器 AD4 端口, 测量运放  $U_{1A}$  输出电压大小来判断的, 当运放  $U_{1A}$  输出电压 > 11V,  $Q_1$  进入饱和状态, 电路工作在稳流状态, LCD 相关位置显示电源状态为“稳流”. 当运放  $U_{1A}$  输出电压 < 1 V 时, 电路工

作在稳压状态, LCD 相关位置显示电源状态为“稳压”. 为了降低调整管功耗, 电源的输入电压分为 4 档输入 (2 V、4 V、8 V、16 V), 由 ULN2803 与 STM32 组成控制电路, 控制继电器  $RL_1$ 、 $RL_2$ 、 $RL_3$ 、 $RL_4$  的吸合、释放, 实现 0 ~ 30 V 每 2 V 步进调节.

### 2.3 报警单元设计

报警单元电路由蜂鸣器和驱动三极管组成. 报警电路采用 5 V 的无源蜂鸣器, 当 TIP147 的功率损耗 ( $V_{AD1-AD2} \times I_{out}$ ) 大于其正常工作功率时, 通过控制三极管的导通和闭合时间来调节蜂鸣器的频率, 并驱动其发出不同的声音, 从而达到报警的目的.

### 2.4 软件设计

STM32 控制程序采用 C 语言编写, 主要完成从键盘读入预置输出电压、电流值, 通过 DA 模块输出控制电源的输出和在稳压稳流状态间切换, 并通过 LCD 实时显示电压、电流数值. 主程序流程见图 3.

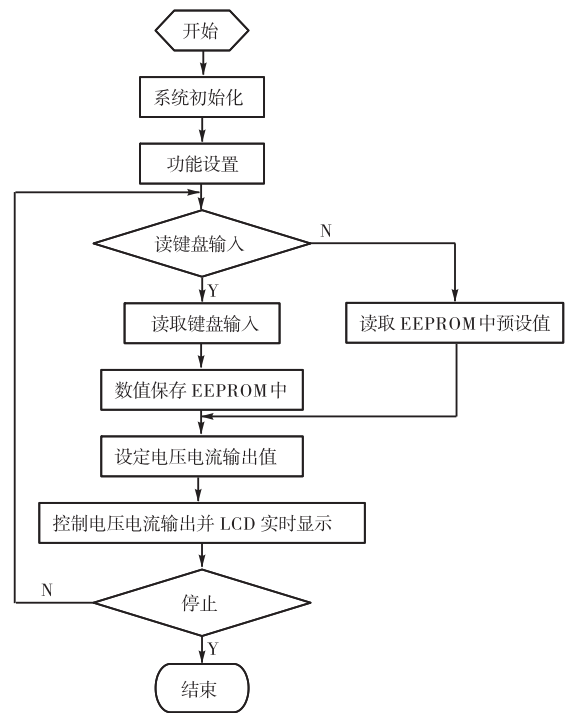


图 3 STM32 微控制器主程序流程图  
Fig. 3 Main program flow chart of MCU

### 2.5 用户界面

用户界面显示电源工作状态、电源输出的设定值、输出实时电压和电流值、电源的工作温度. 当电源工作在稳压状态时, 电流输出显示负载的实时电流; 当电源工作在稳流状态时, 电压输出显示负载的实时电压. 设定输出电压 24 V, 电流 2 A, 负载为 1 kΩ 的输出显示界面如图 4 所示.

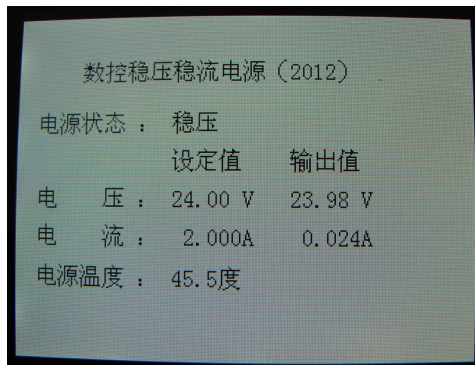


图4 用户界面

Fig. 4 Interface of user

### 3 实验

采用数字万用表 GDM-8145 为测量仪器,通过键盘预置输出电压、电流值,在不同负载下测量电源的输出电压与电流. 预设输出电压/电流为 12.00 V/2.000 A、24.00 V/2.000 A 时,测量负载分别为空载、4  $\Omega$ 、5  $\Omega$ 、100  $\Omega$ 、1 k $\Omega$  的电源输出电压、电流值,实验结果见表 1. 随电源负载的变化,电源在稳压、稳流状态间自动切换,电源输出电压和电流相对稳定,但

与预设输出存在一定的误差,最大相对误差为 1.25%. 分析其原因,可能是由于 ADC 采样精度不高造成的,在选定微控制器后,要提高 ADC 的分辨率,可以通过软件方式,即过采样技术<sup>[9]</sup>.

软件过采样技术就是牺牲速率来换取分辨率的一种软件手段,其通过产生一个与采样频率对应的 PWM 波叠加到输入端,人为叠加白噪声. 按照过采样理论,每增加 4 倍采样,可以得到额外的 1 位分辨率,因此进行 256 倍过采样,理论上可以增加 4 位分辨率<sup>[10]</sup>,此时的 ADC 每秒可采样约 4 000 次,仍能够满足系统需要. 采用过采样技术,使 STM32 内部自带 ADC 的分辨率由 12 位提升至 16 位.

应用过采样技术处理后的稳压电源输出见表 1. 通过对比可知,电源输出与预设输出的误差变小,最大相对误差 0.25%,更接近预设值. 应用过采样技术,有效地利用低精度的 ADC 获得高精度的采样结果,节约了成本.

实验结果表明,系统输出稳定,不随负载变化,电源的输出电压 0 ~ 30.00 V 连续可调,电源的输出电流 0 ~ 3.000 A 连续可调,分辨率为 0.05 V/0.005 A.

表 1 稳压稳流电源实验结果

Tab. 1 Results of stable voltage and current test

预设输出	负载值	电源状态	未处理		过采样处理	
			实际输出	相对误差/%	实际输出	相对误差/%
12.00 V/2.000 A	空载	稳压	12.00 V/0.000 A	0.00	12.00 V/0.000 A	0.00
12.00 V/2.000 A	4 $\Omega$	稳流	7.95 V/1.975 A	1.25	7.98 V/1.996 A	0.20
12.00 V/2.000 A	5 $\Omega$	稳流	9.94 V/1.975 A	1.25	9.98 V/1.996 A	0.20
12.00 V/2.000 A	100 $\Omega$	稳压	11.92 V/0.116 A	0.67	11.98 V/0.119 A	0.17
12.00 V/2.000 A	1 k $\Omega$	稳压	11.92 V/0.011 A	0.67	11.98 V/0.012 A	0.17
24.00 V/2.000 A	空载	稳压	24.00 V/0.000 A	0.00	24.00 V/0.000 A	0.00
24.00 V/2.000 A	4 $\Omega$	稳流	7.95 V/1.975 A	1.25	7.98 V/1.995 A	0.25
24.00 V/2.000 A	5 $\Omega$	稳流	9.94 V/1.975 A	1.25	9.98 V/1.995 A	0.25
24.00 V/2.000 A	100 $\Omega$	稳压	23.94 V/0.236 A	0.25	23.98 V/0.239 A	0.08
24.00 V/2.000 A	1 k $\Omega$	稳压	23.94 V/0.023 A	0.25	23.98 V/0.024 A	0.08

### 4 结语

本文以 STM32 微控制器为控制核心,实现了数控稳压稳流电源的设计. 对输入电压采用多路电压切换,有效地降低了功率管的功耗,提高了电源效率. 对采样电阻分压进行补偿,使得电源输出电压和电流更接近预设值. 使用过采样技术,采样精度进一步提高,使得电源输出电压电流更接近预设的电压电

流,误差更小. 本设计可用于需要高稳定度小功率稳压稳流源的领域.

#### 参考文献:

- [1] 张东,黄莉,潘德情. 高精度智能遥控式数控电源设计[J]. 重庆文理学院学报:自然科学版,2010,29(6): 28-32.
- [2] 谢建华,任毅,李文峰,等. 数控电源的模块化设计[J]. 研究与设计,2010(11):21-24.
- [3] 张立祥. 一种基于单片机的数控开关电源设计[J]. 电

- 源世界, 2009(4): 36-39.
- [4] 赵玲玲, 包晓安, 高君, 等. 基于 STC 单片机的智能数控电源[J]. 工业控制计算机, 2012, 25(2): 95-96.
- [5] Joseph Yiu. ARM Cortex-M3 权威指南[M]. 宋岩, 译. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2011.
- [6] 铃木雅臣. 晶体管电路设计[M]. 周南生, 译. 北京: 科学出版社, 2011: 195-211.
- [7] 赛尔吉欧·弗朗哥. 基于运算放大器和模拟集成电路的电路设计[M]. 刘树棠, 朱茂林, 荣玫, 译. 3 版. 西安: 西安交通大学出版社, 2011.
- [8] 冈村迪夫. OP 放大电路设计[M]. 王玲, 徐雅真, 李武平, 译. 北京: 科学出版社, 2010.
- [9] 周晓正, 徐熙宗. 过采样方法的应用研究[J]. 北京石油化工学院学报, 2011, 19(2): 27-30.
- [10] 吴家平, 沈建华. 基于 STM32 微控制器的过采样技术研究及实现[J]. 计算机技术与发展, 2010, 20(2): 209-212.

责任编辑: 常涛

(上接第 42 页)

大, 因此该复合凝胶吸水性能提高; 加入 MMT 的 PAA/BC 复合凝胶的微孔变得更多且存在“孔套孔”的海绵结构, 表明加入 MMT 使得复合凝胶内部的储水空间变大, 所以复合凝胶吸水性能提高较为明显; 加入硅藻土的 PAA/BC 复合凝胶的孔径总体相对变小, 结构变得紧密, 使水分不易流失, 所以复合凝胶保水性能提高较为明显.

### 3 结 论

(1) 通过在聚合过程中添加 BC, 制备了 PAA/BC 复合凝胶, 吸水及保水性能均有一定提高, BC 用量为 0.4% 的复合凝胶的吸水及保水综合性能较好.

(2) 在 BC 用量为 0.4% 基础上, 添加无机填料 MMT 和硅藻土, 其吸水及保水性能均有一定程度的提高, 添加 MMT 的 PAA/BC 复合凝胶的吸水性能提高较为显著; 而添加硅藻土的 PAA/BC 复合凝胶的保水性能提高较为明显.

(3) 根据红外光谱分析, PAA 与 BC 之间形成了氢键, 无机填料 MMT 和硅藻土也与 PAA 和 BC 存在一定的相互作用.

(4) SEM 显示复合凝胶与纯 PAA 凝胶相比, 内部微孔较多且结构变得疏松, 与保水性能及吸水性能提高的结果一致.

#### 参考文献:

- [1] 肖雨亭, 陈明清, 陆天虹, 等. 聚 *N*-异丙基丙烯酰胺-丙烯酸共聚微凝胶与 Tb(III) 相互作用的研究[J]. 高分子学报, 2005(3): 458-462.
- [2] 胡晖, 刘郁杨, 范晓东, 等. 温度及 pH 敏感的  $\beta$ -环糊精聚合物微球的合成及药物控制释放研究[J]. 高分子学报, 2005(3): 357-362.
- [3] Rihei T, Isao K, Satoru K, et al. Structures of glucomano / oligosaccharides from the hydrolytic products of konjac glucomannan produced by a  $\beta$ -mannanase from streptomyces[J]. Agric Boil Chem, 1984, 48(2): 2943-2950.
- [4] Eichhorn S J, Baillie C A, Zafeiropoulos N, et al. Review: Current international research into cellulosic fibres and composites [J]. Journal of Materials Science, 2001, 36(9): 2107-2131.
- [5] Legeza V I, Galenko-Yaroshevskii V P, Zinov'ev E V, et al. Effects of new wound dressings on healing of thermal burns of the skin in acute radiation disease [J]. Bulletin of Experimental Biology and Medicine, 2004, 138(9): 311-315.
- [6] Okiyama A, Motoki M, Yamanaka S. Bacterial cellulose-processing of the gelatinous cellulose for food material [J]. Food Hydrocolloids, 1993, 6: 503-511.
- [7] Mormino R, Bungay H. Composites of bacterial cellulose and paper made with a rotating disk bioreactor [J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2003, 62(5/6): 503-513.

责任编辑: 周建军