

一种新颖低成本程控直流电源设计方案

徐玮巍,高 颂,孙晨晨,成 杰,叶文武,徐寅林

(南京师范大学物理科学与技术学院,江苏 南京 210023)

[摘要] 宽范围、高分辨率、大功率输出一直是程控电源设计中的难点. 借助高分辨率数模转换器间接调节开关型稳压电路,同时通过反馈电路利用高分辨率模数转换器监测输出电压的大小,实现了一个闭环的程控宽范围、高分辨率和大功率的直流电源. 以 STM32 为测量控制核心,利用其片内 12 bit 数模转换器及模数转换器,控制廉价的开关型电压调节器 LM2596S,实现了一个程控高分辨率、宽范围和大功率的低成本直流电源. 该电路设计方案具有体积小、输出稳定、使用方便等优点.

[关键词] 宽范围,高分辨率,大功率,低成本,直流电源

[中图分类号] TH711 [文献标志码] A [文章编号] 1672-1292(2018)03-0074-05

A Novel and Inexpensive Programmable DC Power Design

Xu Weiwei, Gao Song, Sun Chencheng, Cheng Jie, Ye Wenwu, Xu Yinlin

(School of Physics and Technology, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

Abstract: Wide range, high resolution and high power output are difficulties of a programming power design. A scheme is designed by means of high-resolution digital-analog converter to adjust the switching regulator circuit, while the feedback circuit makes use of high-resolution analog-digital converter to monitors the size of the output voltage indirectly, thus achieving a closed loop programmable high-resolution wide range, high-power DC power. The scheme uses the STM32 as a control core, and uses its on-chip 12 bit digital-analog converter and analog-digital converter and low-voltage switching regulator LM2596S specifically to achieve a high-resolution wide-range programmable high-power and inexpensive DC power. The circuit design has the advantages of small size, stable output, easiness to use and so on.

Key words: wide range, high resolution, high power, low cost, DC power

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越来越高,电源设计不断朝着程控数字化、智能化和高效率等方向发展^[1-2]. 但是,目前的电源设计方案^[3-4]普遍存在输出电压范围小,转换效率低、功率小、调节分辨率低等不足. 例如,比较主流的设计方案是使用数控电位器代替直流电源芯片周边相匹配的调节电阻^[5-6],这种方案较难同时做到宽电压和高分辨率的电压输出调节. 本文以开关型稳压源为核心,通过调节 STM32 片上的数模转换器的输出电压,进而高分辨率控制开关型电源电路的输出电压,同时运用 STM32 片上的模数转换器配合采集反馈回路实现闭环的精准控制电源的输出电压. 本文解决了主流程控电源方案中不易同时实现高分辨率、宽范围和大功率的难点.

1 程控电源输出控制方案分析

在低成本程控电源的设计方案中,最常见的方案是使用数字电位器代替电路中的调节电阻. 以 LM2596S 开关电源电路为例,电路如图 1 所示.

图 1 中的 DigitalPot 为数字电位器,FB 为反馈点. 通过调节数字电位器的值,就可以改变输出电压的值. 具体输出电压值为

$$V_{\text{out}} = V_{\text{ref}}(1 + R_p/R_1). \quad (1)$$

收稿日期:2018-03-02.

基金项目:江苏省高等学校自然科学研究面上项目(18KJB510020).

通讯联系人:徐寅林,博士,教授,研究方向:精密仪器设计. E-mail: xuyinlin@njnu.edu.cn

式中, V_{out} 为程控电源的输出电压; V_{ref} 为 LM2596 的内部基准电压, 正常工作情况下为 1.23 V; R_p 为图 1 中的数字电位器。

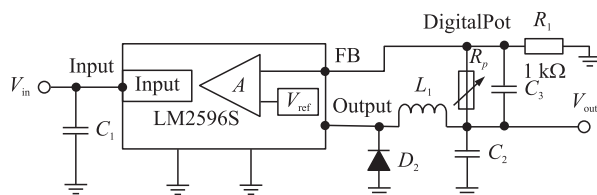


图 1 使用数字电位器的 LM2596S 开关电源电路

Fig. 1 The circuit of LM2596S switching power using a digital potentiometer

若设计电源输出的电压需求是 3~23 V, 根据式(1)计算, 则需要 20 kΩ 左右的数字电位器 (R_p)。如果选用价格较贵的步进数量为 256 步的数字电位器, 理想状态下最小的调节步进电压值为

$$\Delta U = V_{ref} \times \frac{\Delta R_p}{R_1} \approx 0.1 \text{ V}. \quad (2)$$

由于制程工艺等限制因素, 数字电位器通常阻值规格少、精度低并且有阻值等分非线性等缺点, 所以此方案较难同时做到宽范围的输出电压和高分辨率的调节电压。

另一种常见的方案是通过 DAC 控制运放电路输出, 再通过功率放大电路后输出电压。主要硬件结构框图如图 2 所示。

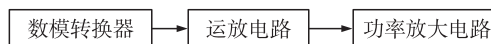


图 2 功放方案结构

Fig. 2 The structure diagram of power amplifier scheme

若采用轨到轨的运放, 此种方案可做到宽范围的输出电压和高分辨率的调节电压, 但是由于高精度、高效率和大功率的线性功率放大电路价格昂贵不易实现, 并且其热耗通常很大, 所以此方案较难输出比较大功率。

为了解决这些常规方案的缺点, 提出一种采用 DAC 配合开关电源的方式的新颖低成本程控电源方案, 其核心调节电压电路如图 3 所示。

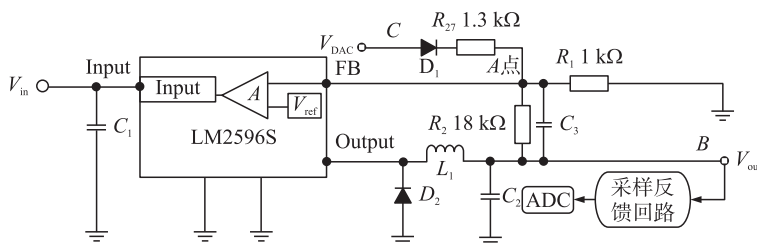


图 3 新颖的程控电源的调节电压电路

Fig. 3 The circuits of novel programmable regulated voltage

图 3 中的 C 点为 STM32 片内的 DAC 经过电压跟随器的输出点, 将此点的输出电压设为 V_{DAC} , 将 D_1 肖特基二极管的导通压降记为 V_{D1} , 正常工作时约为 0.2 V。B 点为程控电源的电压输出点, 将此点的输出电压设为 V_{out} , 将 LM2596S-ADJ 的片内基准电压记为 V_{ref} , 正常工作情况下为 1.23 V。

当二极管正向导通时, 即当 $V_{DAC} > V_{D1} + V_{ref} = 1.43 \text{ V}$ 时, 若采用 12 bit 的 DAC, 即当 DAC 的数字量值大于 1 775 时, 起到调节电压的作用, 程控直流电源处于正常工作状态。

对图 3 中的 A 点使用基尔霍夫电流定律进行分析, 易得

$$\frac{V_{ref}}{R_1} = \frac{V_{DAC} - V_{D1} - V_{ref}}{R_{27}} + \frac{V_{out} - V_{ref}}{R_2}. \quad (3)$$

整理得

$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_{ref} - \frac{R_2}{R_{27}} (V_{DAC} - V_{ref} - V_{D1}). \quad (4)$$

从式(4)中可以得知 V_{out} 的值受到了 V_{DAC} 的控制。由于此方案用的 STM32F103VET6 片内的 DAC 是 12 位的, 所以输出电压的调节可以较容易达到高分辨率。

若 STM32F103VET6 使用工作电源电压为常规的 3.3 V, 当 DAC 有一个 LSB 的输出变化时, 理想状态

下最小的调节步进电压值,可计算得

$$\Delta U = \frac{R_2}{R_{27}} \Delta V_{\text{DAC}} = 0.011 \text{ V}. \quad (5)$$

考虑到 DAC 本身的精度问题、电源输出纹波和电子元器件的精度等带来的误差,实际的调节步进电压值会大于 0.011 V,但是此方案还是能较易做到 0.1 V 的步进电压值.

根据式(4)通过合理地设置 R_1, R_2, R_{27} 的电阻值,就可以设定相应的输出电压调节范围. 假如输入电源 V_{in} 采用普通 24 V 固定直流电源,当 V_{DAC} 取最大值输出 3.3 V 时,代入式(4)可得电源最小输出电压 V_{out} 为 2.52 V;当 V_{DAC} 取最小值为 $V_{\text{D1}} + V_{\text{ref}} = 1.43 \text{ V}$ 时,代入式(4)可得最大输出电压为 23.37 V,综上所述可以得出此方案的输出电压范围为 2.6~23.3 V. 这样就同时达到了高调节分辨率和宽范围的输出电压. 由于开关电源本身就具有高输出功率的特性,所以此方案同时具备了大功率、宽范围和高调节分辨率的优点. 为了更好地监控和调节输出电压,此方案采用了闭环控制,即电源输出经过采集反馈回路后送至 ADC,再由微控制器分析处理,不断通过 PI 调节控制算法去调节输出电压.

2 新颖低成本程控电源系统硬件结构

新颖低成本程控电源系统的硬件整体结构如图 4 所示.

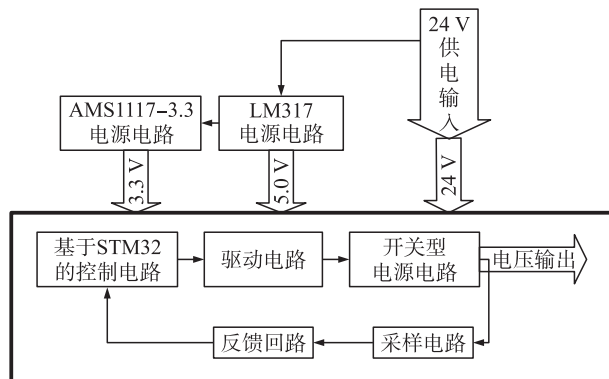


图 4 新颖低成本程控电源系统的硬件结构

Fig. 4 The hardware structure diagram of novel and inexpensive program-power

本方案的外部供电电源采用直流 24 V 供电,经过 LM317、AMS1117-3.3 降压,提供给系统 CPU 及驱动电路所需的 3.3 V、5 V 电压.

图 4 中核心部分为可调节“开关电源电路”,如图 3 所示. 该电路采用开关型降压电源管理单片电压调节器 LM2596S 进行 DC-DC 变换,能够输出 3 A 的驱动电流,同时具有很好的线性和负载调节特性^[7]. 该器件具有功率大和线性较好的特点,并且具有完善的保护电路、电流限制、热关断电路等.

控制系统以 STM32F103 作为控制核心^[8],其片内集成了 12 bit 的 ADC 和 12 bit 的 DAC,可以不用外增模数、数模相关芯片就能方便的进行高分辨率的电压的采集和输出电压的控制. 考虑到其片内的 DAC 输出驱动能力较弱,所以在其输出后又增加了电压跟随器作为其驱动电路,并接一个低导通压降的肖特基二极管,防止大电流误灌入运放,如图 5 所示.

图 4 为采样电路和反馈回路,考虑到电源输出电压可能会超过 STM32F103VET6 的 ADC 工作范围,因此需先将输出电压做一定的衰减,即由多个电阻按比例进行分压后,通过由 LM358 构成的电压跟随器输出至 STM32F103VET6 的 ADC 中进行电压采样,从而监控电源输出端的电压值,如图 6 所示.

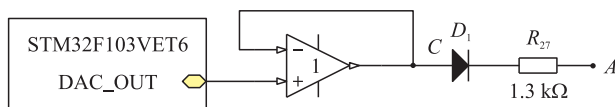


图 5 控制驱动电路

Fig. 5 The circuit of control the drive

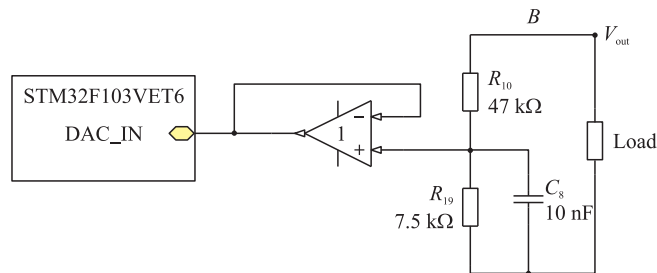


图 6 采样反馈电路

Fig. 6 The circuit of sampling feedback

3 固件程序设计和实验验证

为了实时控制电源的输出电压,需要定时采集电源输出反馈回的电压,再调节输出电压值. 本方案中通过定时器实现 100 ms 周期的采样,同时根据用户的设置电压请求命令和微调电压的请求对 DAC 的输出量进行控制. 其中主要完成了 DAC 的驱动程序用于输出调节控制电压和 ADC 模块的程序用于采集电源的反馈电压,解析上位机命令数据帧程序得到所需设定的电压值和监测按键输入程序进行相关的电压微调. 程序中 100 ms 周期的任务函数主要逻辑流程图见图 7 所示.

为了验证此方案的性能指标,本文采用数字万用表 VC890 为主要测量仪器,通过上位机设置不同的输出电压值,分别在 30 Ω、1 kΩ 的负载的情况下进行多次测量,着重测试此程控电源的调节电压范围、步进电压值和输出功率的指标. 具体测试的结果,如表 1 和表 2 所示.

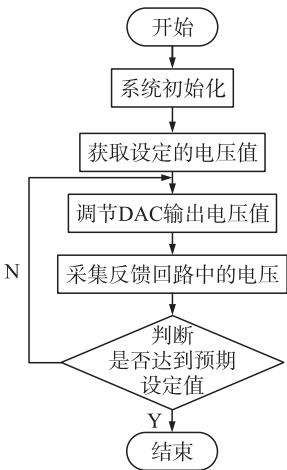


图 7 主要逻辑流程图

Fig. 7 The main logic flow chart

表 1 输出电压范围和功率测试

Table 1 The test of output voltage range and power

预设输出电压值/V	负载值/Ω	实际输出电压值/V	误差值/V	输出功率/W
3.0	30	3.02	0.02	0.3
3.3	30	3.31	0.01	0.37
5.0	30	5.10	0.10	0.87
9.0	30	9.10	0.10	2.76
12.0	30	12.10	0.10	4.88
20.0	30	20.20	0.20	13.60
22.0	30	22.10	0.10	16.28

表 2 调节步进电压测试

Table 2 The test of adjust the step voltage

预设输出电压值/V	负载值/Ω	实际输出电压值/V	误差值/V
0.0	1 000	10.00	0.00
10.1	1 000	10.11	0.01
10.2	1 000	10.20	0.00
10.3	1 000	10.31	0.01
10.4	1 000	10.40	0.00
10.5	1 000	10.52	0.02

由此可以得出,此程控电源的可调节范围为 3~23 V,最大功率可以达到 16 W,调节步进可以达到 0.1 V.

4 结语

本文采用基于 STM32 微控制器的控制电路、LM2596 开关型稳压电路、反馈运放回路等设计的低成本程控电源,解决了主流程控电源方案中不易同时实现高调节分辨率、宽调节电压范围和大功率的缺点,此方案具有电路简单、可靠性高和成本低等优点。

[参考文献] (References)

- [1] 张东,黄莉,潘德情,等. 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(3):28-32.
ZHANG D,HUANG L,PAN D Q,et al. Design of the digital control source of high precision intelligent remote control[J]. Journal of Chongqing university of arts and science(natural science edition),2010,29(3):28-32.(in Chinese)
- [2] 谢建华,任毅,李文峰,等. 数控电源的模块化设计[J]. 电源世界,2010,10(11):21-24.
XIE J H,REN Y,LI W F,et al. Modular design of digital power supply[J]. The world of power supply,2010,10(11):21-24.(in Chinese)
- [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,2009,9(4):36-39.
ZHANG L X. A kind of digital control switching power of one-chip computer[J]. The world of power supply,2009,9(4):36-39.(in Chinese)
- [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.
ZHAO L L,BAO X A,GAO J,etc. Intelligent CNC power based on STC single chip[J]. Industrial control computer,2012,25(2):95-96.(in Chinese)
- [5] 杨伟明,刘全玺,刘成臣,等. 基于 STM32 微控制器的数控稳压稳流电源设计[J]. 天津科技大学学报,2012,27(5):56-60.
YANG W M,LIU Q X,LIU C C,et al. Numerical control of stable voltage and current power based on STM32[J]. Journal of Tianjin university of science and technology,2012,27(5):56-60.(in Chinese)
- [6] 张方元. 模块化数控开关电源并联系统[J]. 科技创新与应用,2016,5(15):42-43.
ZHANG F Y. Parallel system of modular numerical control switching power[J]. Technology innovation and application,2016,5(15):42-43.(in Chinese)
- [7] 张京,张根灿. 基于 CN3705 和 LM2596 的锂电池充放电系统[J]. 电子技术与软件工程,2013,2(17):167-168.
ZHANG J,ZHANG G C. Lithium battery charging and discharging system based on CN3705 and LM2596[J]. Electronic technology and software engineering,2013,2(17):167-168.(in Chinese)
- [8] 刘超,史宏鑫,朱嘉乐,等. 基于 STM32 单片机的智能宠物穿戴设备设计[J]. 电子技术与软件工程,2017,5(23):254-255.
LIU C,SHI H X,ZHU J L,et al. Design of intelligent pet wearable device based on STM32 single chip microcomputer[J]. Electronic technology and software engineering,2017,5(23):254-255.(in Chinese)

[责任编辑:陈 庆]