

## Design of Constant Current Source of BUCK Converter Based on Synchronous Rectification Control of TL494\*

NI Yunfeng\* XIA Jun ZHOU Panliang

(School of Communication and Information Engineering Xi'an University of Science and Technology Xi'an 710054 China)

**Abstract:** For the drawbacks of large power consumption and small output current of linear constant current source, a constant current source of BUCK converter based on synchronous rectification control of TL494 is proposed. It can be adjusted from 0 to 20A stability adjustably and continuously. The duty cycle D of main switch and synchronous rectifier is regulated by PWM control principle to achieve a stable output current. For the sampling output voltage, when output voltage exceeds a predetermined voltage of 10 V, the switches is shutdown, output voltage is stabilized to 10 V to achieve over-voltage protection. The design of the schematic is presented and prototype is made, test results show that its current precision relative error maximum is 0.75%, so the program is feasible.

**Key words:** constant current source of BUCK converter; synchronous rectification; PWM control; TL494; over-voltage protection

EEACC: 1210 doi: 10.3969/j.issn.1005-9490.2015.02.015

## 基于 TL494 控制的同步整流 BUCK 恒流源的设计\*

倪云峰\* 夏 军 周攀亮

(西安科技大学通信与信息工程学院, 西安 710054)

**摘 要:** 为了解决线性恒流源功耗大、输出电流小的缺点, 提出了一种基于 TL494 控制的同步整流 BUCK 开关恒流源。该恒流源采用 PWM 控制原理调节主开关管和同步整流管的占空比来实现输出电流从 0 到 20 A 稳定连续可调。控制器采样输出电压, 当输出电压超过预定的 10 V 电压时, 主开关管关断, 输出电压稳到 10 V, 实现过压保护。另外, 给出了电路原理图并进行了样机的制作与测试。测试结果表明, 其恒流精度相对误差最大值为 0.75%, 因此该方案是可行的。

**关键词:** BUCK 开关恒流源; 同步整流; PWM 控制; TL494; 过压保护

中图分类号: TM933 文献标识码: A 文章编号: 1005-9490(2015)02-0300-06

恒流源是能够向负载提供恒定电流的电源。现代电子技术的广泛应用, 促进了对恒流源的需求。例如, 大电流高精度恒流源在白光 LED 照明、蓄电池的快速充电器、电气触点电阻测量、实验室等领域有着多方面的应用<sup>[1]</sup>。上述应用都对恒流源有精确、稳定、电流连续可调等要求。

当前的恒流源主要以传统的线性恒流源为主, 线性恒流源的优点在于可以保证较高的精度, 但是当电流较大时, 会有较大的损耗, 从而影响了恒流源的效率。针对此种状况, 提出了一种基于 TL494 控制的同步整流的 BUCK 开关恒流源。整个系统由 BUCK 拓扑电路, TL494 主控制器和 IR21834 驱动芯片组成。实现了 0—20A 连续可调且具有过压保护

的大电流、高精度恒流源。

### 1 基本原理

电路采用了单端式高频变换器 PWM 集成开并电源技术, 电路由桥式整流滤波、高频变换器、整流滤波、取样电路、脉宽调制器、及辅助电源组成, 如图 1。

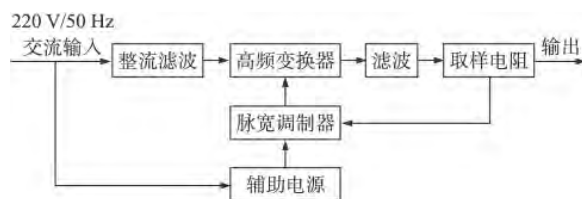


图 1 恒流源电路框图

项目来源: 本质安全型开关电源产品研究项目(GG05047)

收稿日期: 2014-04-19 修改日期: 2014-06-03

市电经过变压器降压、整流滤波后, 形成了直流电压。BUCK 变换器的高功率开关管将直流电压斩成高频脉冲方波。然后再经整流滤波, 可得到输出电流。串联在回路中的采样电阻对输出电流进行采样, 采样信号送至调制器的比较端与基准信号不断进行比较、放大, 使调制器产生一个随采样信号变化的 PWM, 调节高频开关管的占空比  $D$  从而输出所需电流。输出电流  $I_o$  与占空比  $D$  之间的关系如式 (1) 所示。

$$I_o = \frac{1}{D} I_i \quad (1)$$

其中  $I_i$  为市电经过整流之后的直流输入电流。

对输出电流进行环路补偿校正, 使输出电流在负载范围内可以恒定到预定的电流值, 同时经过分压采样电阻采样输出电压, 当负载增大时, 输出电压超过预定的 10 V 电压时, 主控制芯片关断主开关管, 输出电压稳到 10 V, 达到电源过压保护的目的。

## 2 电路分析

整个电路系统由 BUCK 拓扑主电路、脉宽调制电路、自举驱动电路三部分构成。电路原理图如图 2 所示。

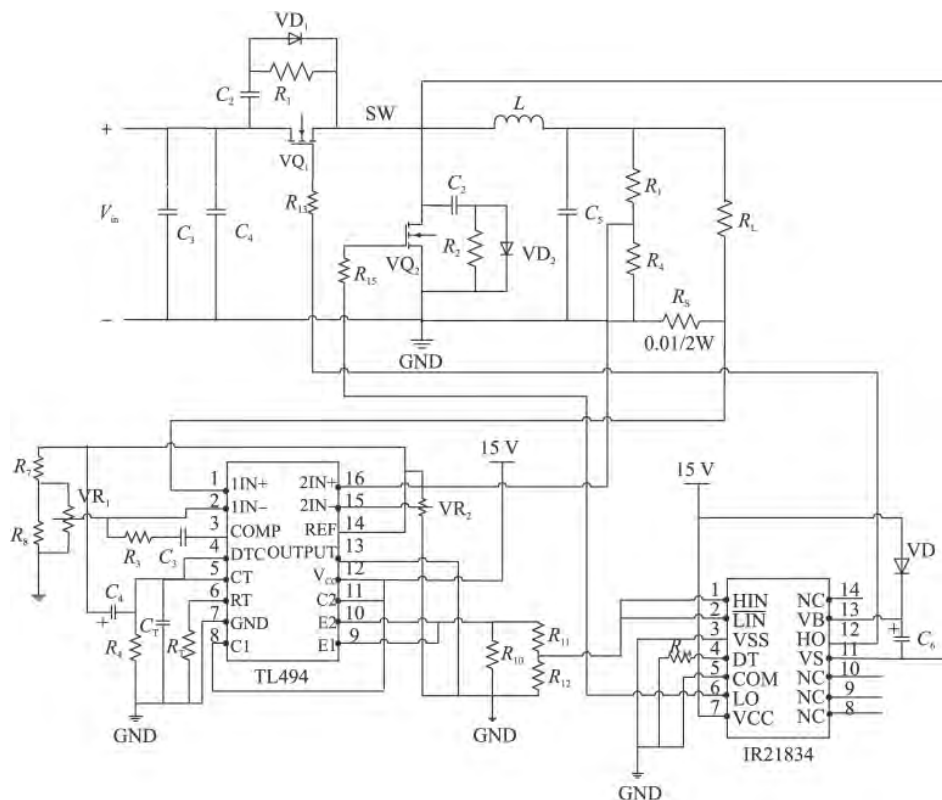


图 2 恒流源电路原理图

### 2.1 BUCK 拓扑主电路

主拓扑 BUCK 电路如图 3 所示, 输入  $V_{in}$  为 20 V ~ 25 V 直流电压, 输出电流  $I_o$  为 0 ~ 20 A 连续可调直流

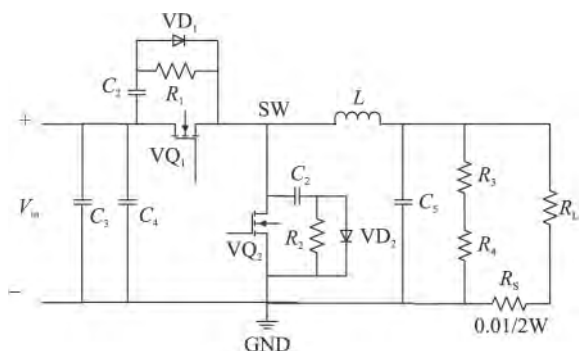


图 3 BUCK 主电路原理图

电流, 输出电压为 10 V 的过压保护。

#### 2.1.1 采样电阻的选取

当输出电流增大时, 采样电阻  $R_s$  会持续发热, 电流越大, 取样电阻发热越严重, 温漂亦越大, 对采样的精确性有很大的影响。因此如何降低取样电阻发热是设计中的一个重要问题。本设计中采用康铜丝作为采样电阻, 康铜丝阻值大约 0.01  $\Omega$ , 可以很好地抑制温漂, 而且采样精度灵敏。

#### 2.1.2 同步整流

由于输出电流较大, 最大可达 20 A, 故需要选择耐压和耐流较大的功率开关管, 续流二极管选为肖特基二极管, 很难承受 10 A 以上的大电流, 故需用同步整流管取代肖特基二极管续流, 实现同步整

流。主功率开关管  $VQ_1$  选为 IRF3205 ,其开关两端最大承受电压  $V_{DSS} = 55 \text{ V}$  ,导通电阻  $R_{DS(on)} = 8.0 \text{ m}\Omega$  ,流过的最大电流  $I_{DS} = 110 \text{ A}$  。采用同步整流 ,可以进一步降低功耗 ,加快开关的开关速度。

### 2.1.3 RCD 缓冲电路

由文献 [3]与文献 [4]可知 ,主开关管  $VQ_1$  的电压尖峰主要由同步整流管的体二极管  $VD$  和寄生电感  $L_1$ 、 $L_2$  共同作用产生 ,如图 4 所示为同步整流管电压尖峰产生的等效原理图。当  $VQ_2$  栅极关断之后 ,进入死区时间 ,主开关  $VQ_1$  还未开通 ,电感  $L$  的电流全部流过体二极管  $VD$  。而当  $VQ_1$  导通后 ,正在导通的  $VD$  突然被加上反向电压 ,在  $SW$  到  $GND$  之间会瞬间产生一个很大的反向电流 ,通过寄生电感  $L_2$  就能产生很高的  $L_2$  电压尖峰 ,之后寄生电感  $L_1$ 、 $L_2$  又会与  $VQ_2$  的等效电容  $C_2$  形成  $LC$  谐振 ,从而可能产生更大的电压尖峰。

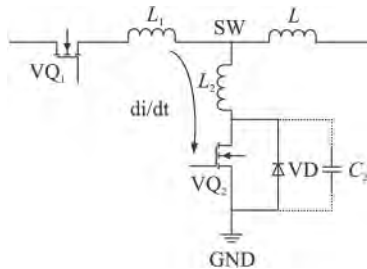


图 4 电压尖峰产生的等效原理图

## 2.2 脉宽调制电路

脉宽调制电路以 TL494 为主控制芯片及外围元器件组成 ,如图 7 所示。核心元件 TL494 是双端输出式的脉冲宽度调制器 ,它包括输出  $5 \text{ V}$  的基准源、误差放大器、电压比较器 PWM、触发器、两个或非门、两只输出推动管。它的功能方框图如图 8 所示。

### 2.2.1 频率设置

调制器的工作频率由 TL494 的管脚“6”和“5”外接电阻  $R_T$  和电容  $C_T$  决定 ,满足式(2) :

$$f_{osc} = \frac{1.1}{R_T \cdot C_T} \quad (2)$$

电压尖峰对开关管  $VQ_1$  和  $VQ_2$  影响极大 ,它会使开关损耗增大 ,影响整机效率 ,严重时还会烧坏开关管 ,因此必须消除。本设计中 ,采用 RCD 缓冲电路吸收电压尖峰 ,如图 5 所示。

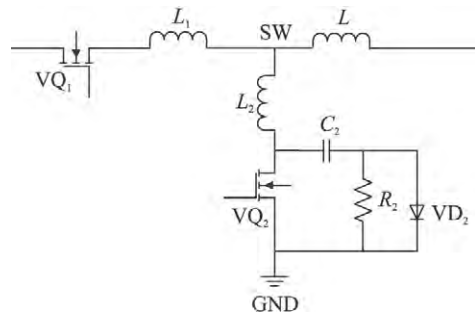


图 5 RCD 缓冲电路

当  $VQ_1$  刚导通 , $VQ_2$  刚关断时 , $L_2$ 、 $C_2$ 、 $VD_2$ 、 $GND$  形成一个续流回路 ,对电容  $C_2$  充电 ;

当  $VQ_1$  关断 , $VQ_2$  导通时 , $C_2$ 、 $VQ_2$ 、 $R_2$  形成一个放电回路 ,存储在电容中的尖峰能量在电阻  $R_2$  上消耗掉。 $R_2$  为  $2 \text{ W}$  的功率电阻 , $VD_2$  为超快恢复二极管。

通过使用 RCD 缓冲电路 ,功率开关管的电压尖峰可得到明显改善 ,通过示波器测得的 BUCK 变换器的  $SW$  点的波形 ,如图 6 所示。

### 2.2.2 输出电流调制原理

TL494 的管脚“2”接电位器 ,可实现电压基准可调 ,输出电流经过采样电阻转化为电压信号 ,与基准电压分别接入调制器的管脚“1”、“2” ,经误差放大器放大后输出控制电压接到脉宽调制器 PWM 的反相端。D 触发器输出为两个相差为  $180^\circ$  的方波脉冲 ,分别送至两个“或非”门输入端 ,接入到两个晶体管的基极 ,晶体管的射级输出的脉冲电压。为了使调制器的输出电流增大 ,将管脚“9”和“10”两输出端并接起来 ,这样可提供较大的驱动电流。输出作为 IR21834 的输入 ,经过自举输出两路反相的

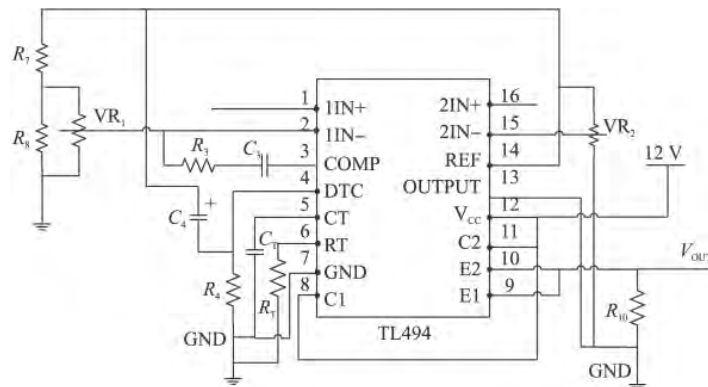


图 7 脉宽调制电路

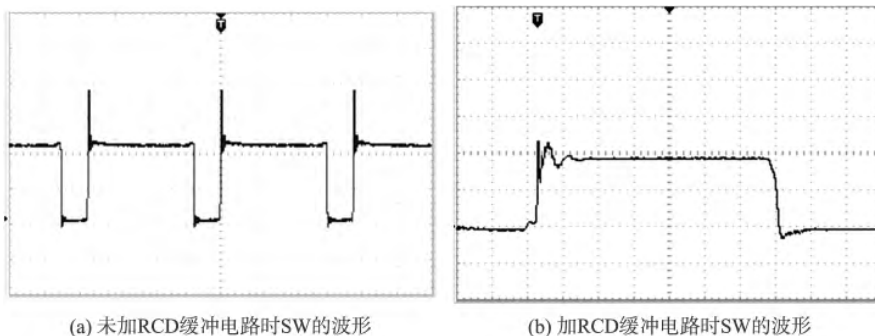


图 6 SW 的波形

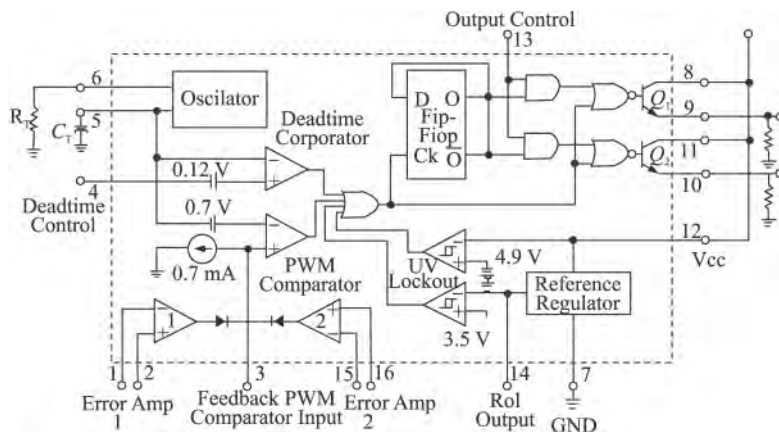


图 8 TL494 的功能方框图

PWM 方波。

### 2.2.3 过压保护

经过分压采样电阻的电压信号接至 TL494 的“16”脚, 当输出采样电压高于管脚“15”设定的基准电压时, 两个“或非”门输出低电平, 两个晶体管  $Q_1$  和  $Q_2$  射极输出低电平, 所以主开关管  $VQ_1$  关断, 实现了电流源的过压保护。

### 2.3 自举驱动电路

由于 BUCK 电路的结构比较特殊, 主开关管  $VQ_1$  的源极  $S$  没有接地, 如图 9 所示。此时不能采用在栅极上直接加 TTL 逻辑电平来控制, 驱动功率 MOS 管, 必须要保证栅源之间的电压  $V_{GS}$  在  $10\text{ V} \sim 18\text{ V}$  之间。因此需要一个自举电路输出一个  $V_{GS} = 15\text{ V}$  的浮地脉冲方波。同时要完成 BUCK 电路的同步整流, 需要另外一个对地脉冲方波驱动同步整流管。

因此选择带有自举功能且能够输出两路反相的 PWM 的芯片 IR21834, IR21834 芯片及外围电路如图 10 所示。此芯片能够同时输出两路具有一定死区时间且相位相反的两路 PWM 脉冲方波, 如图 11 所示为示波器测得的 IR21834 芯片的两路输出波形。

HIN 和为逻辑输入电平, 接 TL494 的输出。VCC

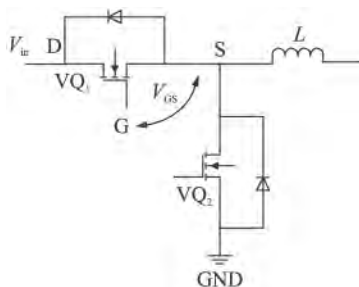


图 9 BUCK 电路的主开关管与同步整流管

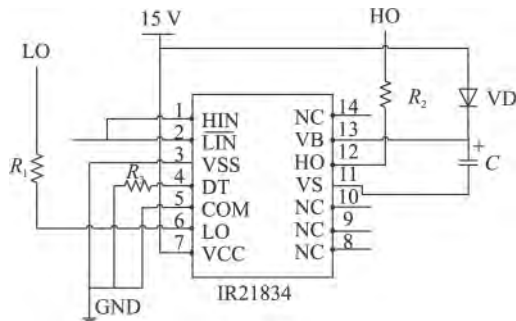


图 10 IR21834 自举电路

与  $V_B$  之间的二极管  $VD$  为超快恢复二极管, 其反向耐压要大于  $600\text{ V}$ 。  $V_B$  与  $V_S$  之间接一个自举电容  $C$ , 一般选择高稳定、低串联电感、高频率特性的钽电容。  $HO$  输出端接主功率开关管  $VQ_1$  的栅极  $G$ ,  $V_S$  接  $VQ_1$  的源极  $S$ ,  $LO$  端接同步整流管  $VQ_2$  的栅极  $G$ 。 IR21834 的内部结构及工作原理如图 12 所示。

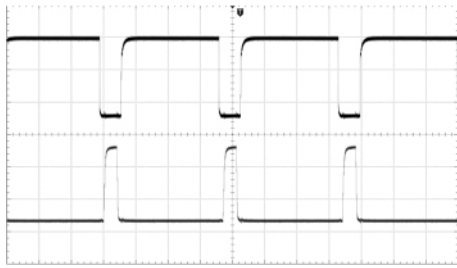


图 11 IR21834 的两路输出脉冲方波

采用上述电路,设计了一款输出为 0 ~ 20 A 电流连续可调且具有过压保护的开关恒流源,通过对样机的测试结果表明:本文中所设计的恒流源的输出电流连续可调范围较大,并且具有较高的恒流精度。与传统的电路相比较,在相同的功能下,电路结构较为简单,可靠性高,而且效率一般可以达到 80% 以上。因此,本文中所设计的 BUCK 开关恒流源在工程上具有一定的参考价值。

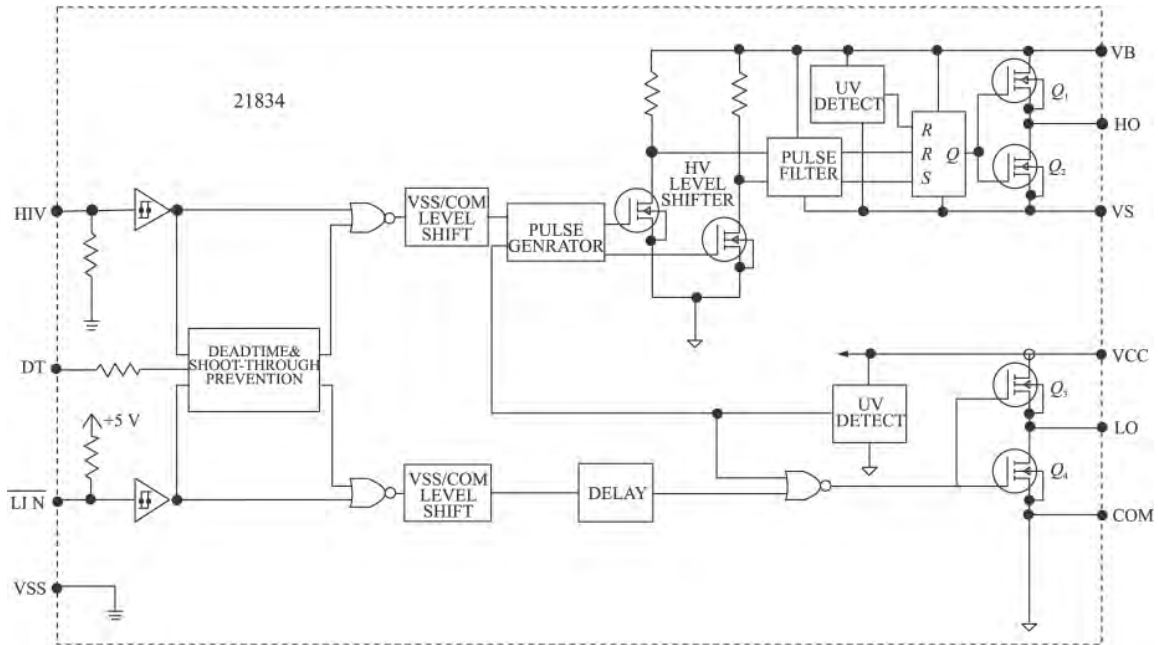


图 12

当 IR21834 的 HIN 输入为逻辑高电平时, IR21834 的 MOS 管  $Q_1$  导通,  $Q_2$  关断, VB 端电压等于 HO 端的电压, VB 与 VS 间有钽电容,钽电容的电压为 15 V。如此, HO 与 VS 之间有 15 V 的压差,能够使得主开关管  $VQ_1$  的栅源之间的高电平电压  $V_{GS} = 15\text{ V}$ ,从而可以驱动开关管  $VQ_1$ 。当 IR21834 的 HIN 输入为逻辑低电平, MOS 管  $Q_1$  关断,  $Q_2$  导通, HO 与 VS 之间的电压为零,  $VQ_1$  的栅源之间的低电平电压  $V_{GS} = 0$ , 开关管  $VQ_1$  关断。当 IR21834 的输入为逻辑高电平时, MOS 管  $Q_3$  导通,  $Q_4$  关断, LO 端电压为 VCC。当 IR21834 的输入为逻辑低电平时, MOS 管  $Q_3$  关断,  $Q_4$  导通, LO 端电压为 0。

### 3 结论与测试

本设计的恒流源可以输出 0 ~ 20 A 连续可调的直流电流,最大输出电压为 10 V,当输出电压高于 10 V 时,开关管关断,输出电压恒定到 10 V,实现过压保护功能。经测试,在不同的负载条件下,恒流源的实际输出电流如表 1 所示。

表 1 不同负载条件下恒流源的输出电流 单位: A

额定输出电流 $I_E / \text{A}$	负载阻抗 / $\Omega$		
	0.1	0.2	0.5
5	4.99	5.01	4.99
10	10.04	10.06	10.02
15	15.03	15.05	15.09
20	20.09	20.13	20.15

### 参考文献:

- [1] 钟乃元,高飞. 大电流高精度恒流源[J]. 电子测量技术, 2007, 30(9): 176-178.
- [2] 陶华,贺平. 新型开关恒流源[J]. 电测与仪表, 1993, 2(5): 31-34.
- [3] 毛昭祺,吕征宇. 抑制 BUCK 电路同步整流管漏极尖峰的方法[J]. 电力电子技术, 2006, 40(1): 55-56.
- [4] 杨世彦,韩明武,孔治国. 大功率 BUCK 变换器电压电流尖峰的分析及抑制措施[J]. 电子器件, 2004, 27(2): 257-260.
- [5] 荣军,杨学海,陈超. 基于单片机的简易恒流源系统的设计[J]. 电子器件, 2013, 36(2): 225-229.
- [6] 吴茂成. 高精度宽范围恒流源设计[J]. 电测与仪表, 2011, 54(48): 64-66.
- [7] 田俊杰,董威,陈静,等. 基于场效应管的恒流源设计[J]. 中

- 国测试 2009, 35(1): 118-121.
- [8] 常铁原,朱桂峰,胡重九. 一种高稳定数控恒流源的设计[J]. 电测与仪表 2010, 53(47): 59-61.
- [9] 刘艳,汪毅,贾雯杰,等. 一种常见精密恒流源的改进与应用[J]. 电测与仪表 2011, 54(48): 93-95.
- [10] 米卫卫,杨风,徐丽丽. 高精度恒流源的设计与制作[J]. 电子测试 2012, 12: 65-71.
- [11] 白炳良,周慰君. 基于TL494开关电源的设计[J]. 大学物理实验 2009, 22(2): 73-77.



倪云峰(1968-)男,汉族,陕西韩城人,西安科技大学,博士,教授,主要研究方向为电路与系统,niyunfeng@xust.edu.cn;



夏军(1988-)男,汉族,陕西榆林人,西安科技大学在读硕士研究生,研究方向为电路与系统,1040050062@qq.com。