

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2016.05.011

基于LM25116的车用开关电源

任于涵, 文定都, 皮松涛

(湖南工业大学 电气与信息工程学院, 湖南 株洲 412007)

摘要: 设计了一种基于LM25116的车用开关电源, 输入直流电压为24 V, 输出电压为12 V。采用BUCK电路拓扑结构, 将阻抗较小的MOS管代替传统的二极管, 以实现同步整流, 提高电源的输出效率。分析了主电路、控制电路、驱动电路的工作原理。实物测试结果表明, 本电路能稳定输出电压, 输出效率可达90%以上, 性能满足设计要求。

关键词: LM25116; 车用开关电源; 同步整流

中图分类号: U463.63

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2016)05-0051-06

On the Automotive Switching Power Supply Based on LM25116

REN Yuhan, WEN Dingdu, PI Songtao

(School of Electrical and Information Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: A kind of automotive switch power supply, which is based on LM25116, has been designed, with 24 V its input DC voltage, and 12 V its output DC voltage. By adopting BUCK circuit topological structure, the system substitutes MOS tubes with lower impedance for the traditional diodes, thus achieving the synchronous rectification and improving the efficiency of the power output. A thorough analysis has been made of the working principles of the main circuit, the control and drive circuit. The experimental results show that a stable output voltage can be achieved, with an output efficiency even higher than 90%, an indication that its function and performance meet the design requirements.

Keywords: LM25116; automotive switch power supply; synchronous rectification

0 引言

开关电源已被广泛应用于各种电子设备, 如通讯、医疗、汽车等领域的电子设备中。受传统功率器件频率和功耗的限制, 开关电源的效率比较低。

随着生活水平的提高, 人们对乘车舒适度的要求越来越高, 导致车载电气设备越来越多, 如车窗除霜器、电加热座椅、倒车雷达等。在汽车系统中, 由车用开关电源将蓄电池的电能变换为12 V直流电源, 为车辆的中央控制器、灯光、雨刷等车载电气提供电

能。但是, 车上的干扰源较多, 如继电器等, 使得车用开关电源的应用环境更加恶劣, 且车上的功率器件工作时, 发热较为严重^[1-4], 会影响开关电源的输出稳定性。因此, 车用开关电源需要效率高、抗干扰性好, 能稳定输出电压。

车用开关电源由于受空间限制, 如何在减小开关电源体积的同时, 提高其效率, 是一个重要的研究方向^[5-8]。采用同步整流技术可有效解决这一问题。同步整流BUCK型开关电源变换器, 即同步整

收稿日期: 2016-06-05

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61503131), 湖南省教育厅科学研究基金资助项目(14C0327)

作者简介: 任于涵(1994-), 男, 安徽宿州人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为电力电子技术,

E-mail: 1398098111@qq.com

流降压型开关电源,是目前比较常见的一类开关电源的拓扑结构^[9-12]。因此,本文采用TI公司(Texas Instruments)的LM25116同步整流降压控制器电源芯片,设计了一种同步整流BUCK变换器^[13-15]作为车用开关电源。

1 电路设计

1.1 电路总体结构

本系统包括主电路、PWM(pulse width modulation)控制电路和驱动电路、输出电路、取样电路,如图1所示。其工作原理是:输入直流电压24V,经过主电路、输出电路后,得到12V直流电压;同时,采用电流取样和电压取样构成双闭环控制系统,再由控制芯片调节PWM波形驱动功率开关管和续流开关管的开通与关断,从而实现12V的稳定输出。

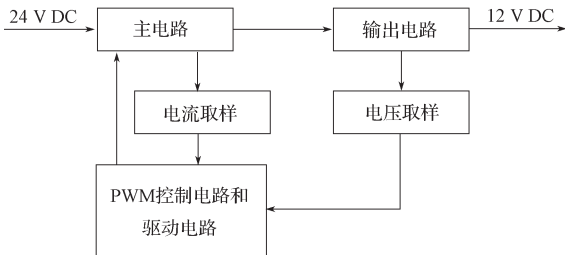


图1 系统结构框图

Fig. 1 System structure diagram

1.2 主电路

图2是同步整流BUCK电路的主电路结构图。本课题组是在基本的BUCK电路上,将续流二极管换成开关管Q2,构成同步整流电路。

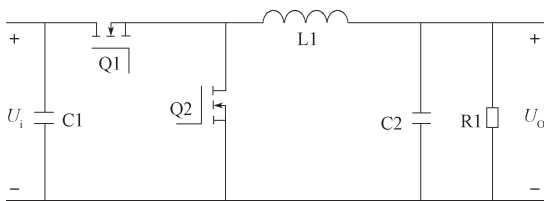


图2 同步整流BUCK电路主电路图

Fig. 2 The main circuit diagram for synchronous rectification BUCK converter

同步整流BUCK电路的工作原理是:在一个控制周期中,当主开关管Q1导通时,开关管Q2关断,由电源 U_i 向负载R1供电,电感L1储能;当主开关管Q1关断时,开关管Q2导通,电感L1释放能量,通过Q2和负载R1构成回路,给负载R1供电。本电路在一个周期内的平均输出电压小于电源电压,起到降压的作用。由于使用MOS管Q2代替了续流二极管,其导通内阻小,大大降低了整流损耗,提高了电源效率。

1.3 PWM控制电路和驱动电路

对于开关电源来说,PWM控制电路和驱动电路是十分重要的,其影响整个系统是否能正常工作。本课题组舍弃传统PWM控制芯片与驱动芯片单独使用的方法,选取同步整流BUCK专用芯片LM25116。LM25116是TI公司生产的一款宽范围同步降压控制器,具有两个输出驱动端^[11]。该芯片具有低功耗、精密基准电压、欠电压锁定以及软启动等优点,不仅可以实现PWM的产生和控制,而且能够驱动上、下两个MOS管,同时能简化外围电路的设计。LM25116的工作频率为50kHz至1MHz,输入电压范围为6~42V,输出电压范围为1.215~36.000V。LM25116的结构框图如图3所示。

1脚VIN:芯片的电源输入电压端。

2脚UVLO:欠压关断引脚。如果电压低于1.215V,稳压器处于待机模式(VCC稳压器运行时,开关稳压器禁用)。如果电压高于1.215V,稳压器正常工作。外部分压器可用于设置欠压关断阈值。

3脚RT/SYNC:内部振荡器设置。频率由RT和引脚AGND之间的外部电阻进行设置。

4脚EN。如果EN低于0.5V时,稳压器处于低功耗状态。EN高于3.3V时,稳压器才能正常运行。

5脚RAMP:斜坡控制信号。连接在此引脚和引脚AGND之间的外部电容用于设置电流模式控制的斜坡斜率。

6脚AGND:模拟地。其连接到引脚PGND。

7脚SS:软启动设定端。通过外部电容和内部10 μ A电流源设定软启动的时间。10 μ A电流源也为误差放大器的同相参考端。

8脚FB:反馈信号。该引脚连接到内部误差放大器的反相输入端,该调节的阈值是1.215V。

9脚COMP:内部误差放大器的输出端。环路补偿网络连接在此引脚和FB引脚之间。

10脚VOUT:电压输出端。

11脚DEMB:低边MOS管的源极电压监视器。

12脚CS:电流检测放大器的反相输入端。该引脚连接到检测电阻器的顶部,用于检测低边MOS管漏源极开通时的电流。

13脚CSG:电流检测放大器的同相输入端。该引脚连接到检测电阻器的底部,用于检测低边MOS管漏源极开通时的电流。

14脚PGND:电源地。

15脚LO:低边MOS管栅极驱动输出端。

16脚VCC:7.4V的基准电压源输出端。

17脚VCCX:可选输入端。其用于从外部提供的

VCC 输入端口。如果 VCCX 高于 4.5 V, VCCX 内部连接到 VCC, 使内部 VCC 稳压器被禁用。如果 VCCX 未被使用, 通过外部电容连接到地。

18 脚 HB: 高边驱动器电源的自举栅极驱动。其连接到自举二极管的阴极和自举电容器的正极。

19 脚 HO: 高边 MOS 管栅极驱动输出端。

20 脚 SW: 开关节点。其连接到自举电容的负极和高边 MOS 管的源极。

EP: 裸露的焊盘。其焊接到地。

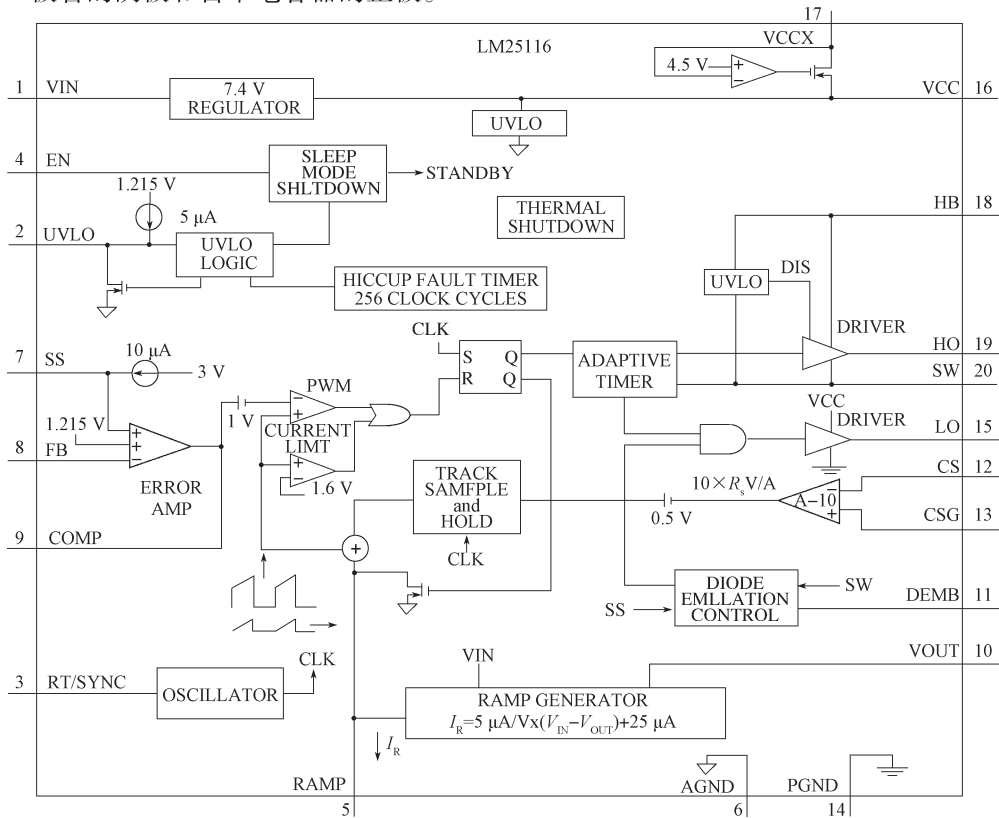


图3 LM25116 的结构框图

Fig. 3 The structure diagram of LM25116

PWM 的控制和驱动主要是由芯片 LM25116 来完成。LO 和 HO 两个引脚分别控制和驱动同步整流的两个开关管。LO 驱动下 MOS 管 Q2 的栅极。HO 驱动上 MOS 管 Q1 的栅极。PWM 的产生及控制是由输出反馈到 LM25116, 通过内部的误差放大器及 PWM 产

生器等进行控制。

在图 2 的基础上, 由 LM25116 进行控制与驱动两个开关管, 同时对相关参数进行计算, 得到样机的电路原理图, 如图 4 所示。

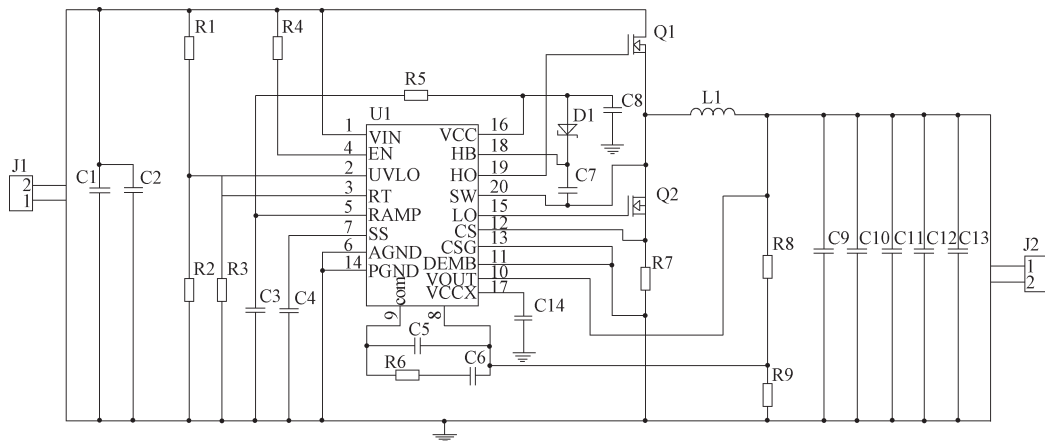


图4 电路设计原理图

Fig. 4 The circuit design schematic diagram

UVLO的外部分压器通过电阻R1和R2设置欠压关断阈值。频率通过电阻R3进行设置。RAMP外接一个电容C3,设置电流模式控制的斜坡斜率。该电路的软启动时间通过外接电容C4进行设置。通过电阻R8、R9分压原理将输出电压反馈到内部误差放大器的反相输入端,进行PWM的调节。电容C5、C6和电阻R6在FB和COMP构成环路补偿网络。CS和CSG之间接一个检测电阻器R7,是用于检测开关管的电流并反馈到内部的电流误差比较器。LO输出驱动下MOS续流管Q2。HO输出驱动上MOS主开关管Q1。由于VCCX未使用,故通过外部电容C14接地。二极管D1和电容C7构成自举电路,通过芯片驱动上MOS管的栅极。

2 系统参数设计

本文设计的开关电源系统参数为:开关频率 $f=535\text{ kHz}$,输入电压 $U_i=24\text{ V}$,输出电压 $U_o=12\text{ V}$,输出电流 $I_o=5\text{ A}$ 。经过相关计算,系统的主要器件参数如下。

1) 输入滤波电容 C_i

$$\Delta U_i = \frac{I_o}{4fC_i} \quad (1)$$

通过计算可得,输入滤波电容为 $10\text{ }\mu\text{F}$ 。而在实际电路中,本文采用 $22\text{ }\mu\text{F}/50\text{ V}$ 的铝电解电容,再并联一个 $0.1\text{ }\mu\text{F}$ 的瓷片电容,以减小电压纹波。

2) 主开关管Q1,续流开关管Q2

在开关管的选择上,首先考虑MOS管的阈值电压,此值一定要小于驱动电压,MOS管的导通电阻越小,MOS管工作时的损耗越小。因此,本文选用 $500\text{ V}/8\text{ A}$ 的IRF840作为主开关管Q1和续流开关管Q2。

3) 储能电感 L_1

$$L_1 = \frac{U_o}{I_{pp}f} \left(1 - \frac{U_o}{U_{i_{\max}}} \right) \quad (2)$$

式中: I_{pp} 为满载时电流的20%~40%; $U_{i_{\max}}$ 为最大输入电压。式(2)中代入相关数据,可得电感 $L_1=6.5\text{ }\mu\text{H}$ 。因此,本文选用线径 0.1 cm 的工字电感。

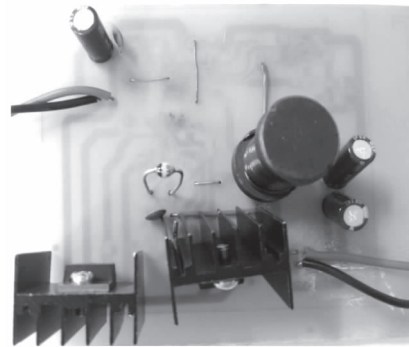
4) 输出滤波电容 C_o

$$\Delta U_o = I_{pp} \sqrt{R_{\text{ESR}}^2 + \left(\frac{I}{8fC_o} \right)^2} \quad (3)$$

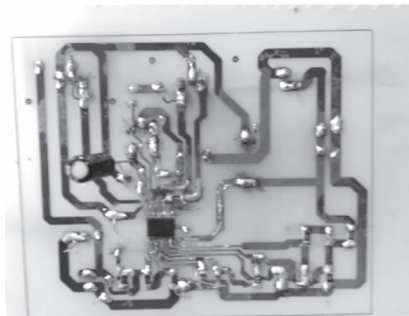
式中 R_{ESR} 为电容的等效串联电阻。式(3)中代入相关数据,计算可得输出滤波电容的容量为 $56\text{ }\mu\text{F}$ 。为降低输出电压纹波,本文选用两个 $68\text{ }\mu\text{F}/50\text{ V}$ 的铝电解电容并联。

3 样机测试结果与分析

根据上述图4的电路原理制作了一块同步整流BUCK电路的样机测试板。该样机的开关频率为 $f=535\text{ kHz}$,输入电压为 $U_i=24\text{ V}$,输出电压为 $U_o=12\text{ V}$ 。图5所示为同步整流BUCK电路的样机PCB板的正面和背面。



a) 正面



b) 背面

图5 样机PCB板实物图

Fig. 5 A sample physical diagram of prototype PCB

输入直流电压为 24 V 时,对样机进行测试,主开关管Q1的PWM驱动信号波形如图6所示。从图可以看出,驱动波形的占空比为55%左右,波形满足设计要求,开关管能够正常工作。

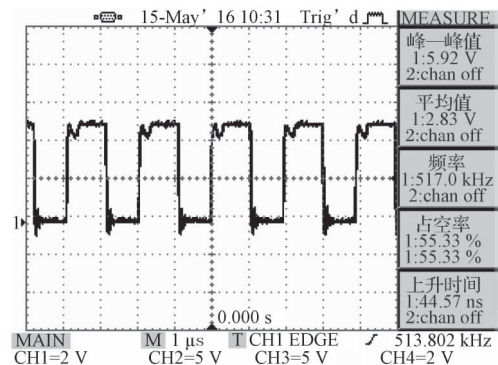


图6 主开关管Q1的PWM驱动波形图

Fig. 6 A PWM oscillogram of switch Q1

续流开关管Q2的PWM驱动信号波形如图7所示。从图可以看出,驱动波形的占空比为45%左右,

这说明 Q2 能够代替传统的二极管进行续流。

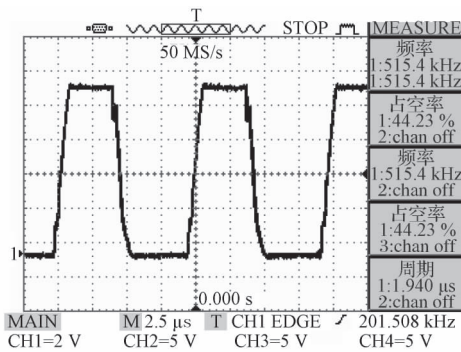


图7 续流开关管 Q2 的 PWM 波形图

Fig. 7 A PWM oscillogram of freewheeling switch Q2

主开关管 Q1 的 U_{ds} 波形 (CH1 通道) 以及续流开关管 Q2 的 U_{ds} 波形 (CH2 通道) 如图 8 所示。从图 6~8 可以看出, 主开关管 Q1 和续流开关管 Q2 的 PWM 驱动波形互补, 两个开关管的开关过程迅速, 开关损耗较小。主开关管在关断的瞬间有尖峰存在, 但其数值较小, 对电路影响较小。

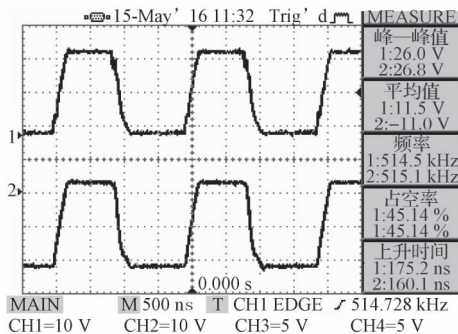


图8 主开关管 Q1 和续流开关管 Q2 的 U_{ds} 波形图

Fig. 8 U_{ds} wave-forms of the main switch Q1 and freewheeling switch Q2

样机测试的输出电压波形如图 9 所示。从图 9 可以看出, 系统的输出电压稳定在 12 V 左右, 除示波器探头引起的杂波干扰外, 其自身的纹波很小, 达到了输出的预期效果。

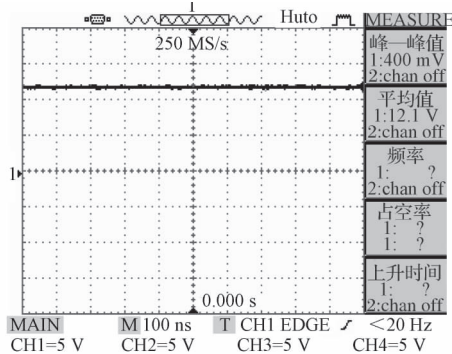


图9 输出电压波形图

Fig. 9 The output voltage waveform

输入电压为 $U_i=24$ V 且满载时, 测得输入电流为 $I_i=2.67$ A, 计算得到输入功率为 $P_i=U_i I_i=64.08$ W。满载时, 输出电流为 $I_o=4.85$ A, 输出功率为 $P_o=U_o I_o=58.2$ W。因此, 整机的效率为 $\eta=P_o/P_i=0.908$, 该效率达到了设计要求。

4 结语

本文设计了一款基于 LM25116 的车用开关电源。先分析了电路的工作原理, 给出了系统参数计算及选取原则。测试结果表明, 样机能够稳定输出电压, 电压纹波较小, 电源整机效率得到提高, 性能满足设计要求。可见, 使用开关管代替续流二极管构成同步整流电路, 减少了开关损耗, 提高了电源效率。本文所设计的车用开关电源具有较强的实用性和良好的推广价值。

参考文献:

- [1] 张 建, 王建冈. 电动汽车用高效率 DC/DC 电源变换器设计[J]. 现代仪器, 2012, 18(6): 51-54.
ZHANG Jian, WANG Jianguo. Design on High Efficiency Power DC/DC Converter Used by Electric Vehicle[J]. Modern Instruments & Medical Treatment, 2012, 18(6): 51-54.
- [2] 周鹏飞, 钟再敏. 基于 LM5175 的 Buck-Boost 车用开关电源设计[J]. 电子科技, 2016, 29(2): 129-133.
ZHOU Pengfei, ZHONG Zaimin. An Automotive Buck-Boost Type Switching Power Supply Based on LM5175 [J]. Electronic Science and Technology, 2016, 29(2): 129-133.
- [3] 王富强. 一种新型降压式同步整流开关电源设计[J]. 电子科技, 2015, 28(1): 20-23.
WANG Fuqiang. Design of a Novel Buck Synchronous Rectifier Switch Power Supply[J]. Electronic Science and Technology, 2015, 28(1): 20-23.
- [4] 杨思捷, 马智超. 基于 LM2575 降压型 DC/DC 电源的设计[J]. 绵阳师范学院学报, 2012, 31(5): 28-31.
YANG Sijie, MA Zhichao. Design of Buck DC Power Supply Based on LM2575[J]. Journal of Mianyang Normal University, 2012, 31(5): 28-31.
- [5] 文立群, 肖强晖. 基于 UC3846 的有源钳位单极 PFC 开关电源[J]. 湖南工业大学学报, 2014, 28(2): 52-55.
WEN Liqun, XIAO Qianghui. UC3846-Based Active Clamp and Signale-Stage PFC Switched Power Supply[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2014, 28(2): 52-55.
- [6] 姚欣瑞, 肖强晖, 廖无限. 由恒流二极管串联分压组成的直流辅助电源[J]. 湖南工业大学学报, 2015, 29(4): 72-75.

- YAO Xinrui, XIAO Qianghui, LIAO Wuxian. DC Auxiliary Power Supply Composed of a Series of Constant Current Diode[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2015, 29(4): 72-75.
- [7] 刘冠廷, 谭 兮. 基于HV9120的恒压源设计[J]. 湖南工业大学学报, 2015, 29(4): 67-71.
LIU Guanting, TAN Xi. Design of Constant Voltage Source Based on HV9120[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2015, 29(4): 67-71.
- [8] 张文鼎, 肖强晖, 廖无限. 用于EPS的12 V/48 V软开关电源变换器研究[J]. 湖南工业大学学报, 2015, 29(1): 70-74.
ZHANG Wending, XIAO Qianghui, LIAO Wuxian. Research of 12 V/48 V Soft Switching Power Converter for EPS[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2015, 29(1): 70-74.
- [9] 陈 坚. 电力电子学: 电力电子变换和控制技术[M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 2004: 56-65.
CHEN Jian. Power Electronics: Transformation and Control Technology[M]. 2nd ed. Beijing: Higher Education Press, 2004: 56-65.
- [10] 张占松, 蔡宣三. 开关电源的原理与设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 1998: 16-18.
ZHANG Zhansong, CAI Xuansan. Principles and Design of Switch Power Supply[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 1998: 16-18.
- [11] 李定宣. 开关稳定电源设计与应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006: 18-24.
LI Dingxuan. Design and Application of Switching Power Supply[M]. Beijing: China Power Press, 2006: 18-24.
- [12] 何惠森. 基于AC-DC开关电源系统的电磁兼容设计及稳定性研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2012.
HE Huisen. Study of EMC and Stability for AC-DC Switch Power Supply System[D]. Xi'an: Xidian University, 2012.
- [13] 邓超玄. 同步整流BUCK型DC-DC过零检测电路设计[D]. 成都: 西南交通大学, 2014.
DENG Chaoxuan. A Design for Zero-Detection Circuit of Synchronous[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2014.
- [14] 叶 俊, 张 峰. Buck同步整流电路MOSFET损耗的计算[J]. 电力电子技术, 2007, 41(12): 109-111.
YE Jun, ZHANG Feng. The Loss Calculation of the MOSFET in Synchronous Buck Circuit[J]. Power Electronics, 2007, 41(12): 109-111.
- [15] 高 庆, 孙金中, 郭 锐. 同步整流buck变换器低功耗驱动电路设计[J]. 中国集成电路, 2016(5): 39-42.
GAO Qing, SUN Jinzhong, GUO Rui. Design of Low-Power Driver Circuit of Synchronous Rectifier Buck Converter[J]. China Integrated Circuit, 2016(5): 39-42.

(责任编辑: 邓 彬)