

基于 LM5117 的降压型直流开关稳压电源设计

Design of Buck DC Switching Power Supply Based on LM5117

江苏科技大学电子信息学院 胡红东 (Hu Hongdong) 朱保鹏 (Zhu Baopeng) 魏海峰 (Wei Haifeng)

摘要: 降压型直流开关稳压电源具有功耗小、效率高、输出稳定电压范围宽等优点,使其在当今电子设备中充当着重要角色。本文通过研究降压型直流开关稳压电源的转换机理,对降压型直流开关稳压电源进行建模并进行了电路设计,以及对电路模型进行理论计算和进行电路验证,根据对电路的转换功率、输出电压以及纹波的分析,得到了降压型直流开关稳压电源的电压调整率、负载调整率以及稳压波动的影响。整个电路设计采用 LM5117 主控芯片,通过 CSD18532KCS MOS 场效应管调节电路,实现电压的稳定输出。整个电路包括 LM5117 降压芯片、驱动电路、H 桥电路、滤波电路、自举电路以及过流保护电路。最终实现小于 0.5% 的电压调整率和 1% 的负载调整率。

关键词: 降压型直流; 开关稳压电源; 电压调整率; 负载调整率; 电路设计

Abstract: Buck DC switching power supply has the advantages of low power consumption, high efficiency and wide output voltage range, which makes it play an important role in today's electronic devices. In this paper through the study of Buck Switching DC regulated power supply conversion mechanism, to buck DC switching regulator power supply model and the circuit is designed, and the circuit model through theoretical calculation and are performed to verify the circuit, according to the analysis of the circuit of power conversion, output voltage and ripple, Buck DC switching regulator power supply voltage regulation, load regulation and voltage fluctuation influence. The whole circuit is designed using LM5117 master chip, through the MOS CSD18532KCS field effect transistor regulation circuit, to achieve the stable output voltage. The circuit comprises a LM5117 buck the chip, drive circuit, H bridge circuit, filter circuit, self holding circuit and over-current protection circuit. The voltage regulation rate of less than 0.5% and the load regulation rate of 1% are finally realized.

Key words: Buck DC power supply; Switching power supply; Voltage regulation rate; Load regulation rate; Circuit design

【中图分类号】TN86 【文献标识码】B 文章编号 1561-0330 (2016) 10-0092-04

1 引言

降压型直流开关稳压电源具有体积小、重量轻、转换效率高、控制精度高、速度快等特点,因而在电子、通信、能源、航空航天、军事、及家电领域应用非常广泛。降压型 DC/DC 转换器可分为三类: 升压型 DC/DC 转换器、降压型 DC/DC 转换器以及升降压型 DC/DC 转换器。其中由 PWM 波

控制的降压型 DC/DC 转换器电路简单,电路稳定,是非常理想的电源结构。本文介绍了以 TI 公司生产的 LM5117 芯片为核心的搭建了降压控制电路,电路最终实现了由 16V 转 5V,纹波小于 50mV,效率 85% 的转化效果。

2 方案分析论证

方案 1: Buck-Boost 变换器

Buck-Boost 变换器是输出电压既可以同时也可以低于输入电压的单管不隔离 DC-DC 拓扑结构。从图 1 可以看出其主电路的元件由开关管、二极管、电感、电容等构成。输出电压的极性与输入电压相反。其工作方式有两种: 电感电流连续和断续两种方式。然而输出、输入电流具有脉动,对输入电源有电磁干扰且输出纹波。

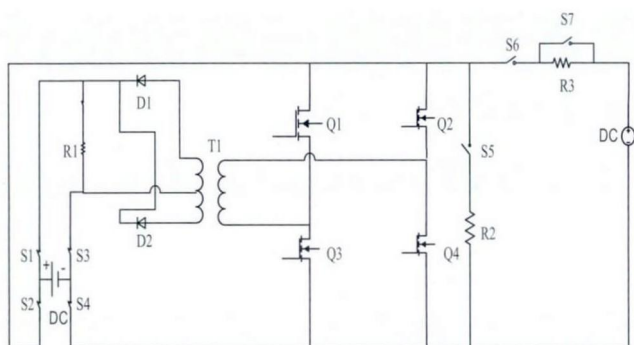


图 1 Buck-Boost 变换器

其电路不适用于当今追求快速、节能的电子产品。

方案 2: H 桥电路与继电器结合

从图 2 电压电压型单向 H 全桥 DC-DC 变换主拓扑结构可以看出, 隔离变压器两侧的流、逆变单元均是电压型全桥结构, 即降压侧和升压侧均是电压型全桥结构。U1 侧为高压侧 (电源端), U2 侧为低压侧 (电池端), 高频变压器连接高压侧和低压侧实现电气隔离。工作时有两种模式: 升压模式和降压模式。

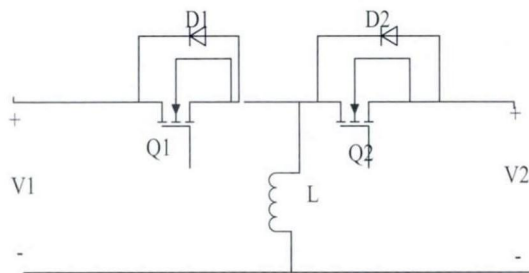


图 2 DC-DC 变换器拓扑图

H 桥可实现对电流电压的精确控制, 结合双刀双掷继电器实现电路的充放电状态。其如图 2 所示, 通过 PWM 波对 H 桥的控制实现恒压恒流控制, 当充电时, 继电器往上拨; 当放电时继电器往下拨。但由于采用多次变换, 电路中的损耗较大, 效率较低, 继电器会产生不必要的纹波和速度限制而且结构较为复杂。所以本电路不采用这种电路。

方案3: 基于LM5117的Buck变换器

如图 3 所示, 这种电路采用专用 DC 控制芯片 LM5117, 其具有电路稳定, 输出特性优良等特点, 输入的电源通过 LM5117 驱动芯片产生 PWM 波, 通过 HO、LO 引脚控制 MOS 管的通断, 高与低侧 NMOS 管一个周期内轮流导通以达到降压效果, 另外加滤波电路, 定电压。该电路的好处是将各种电路全部封装在一块小的芯片里, 体型小, 效率高, 理论上能达到 90% 以上, 实践证明可以达到。而且速度快, 具有高达 750kHz 的时钟。低功耗。所

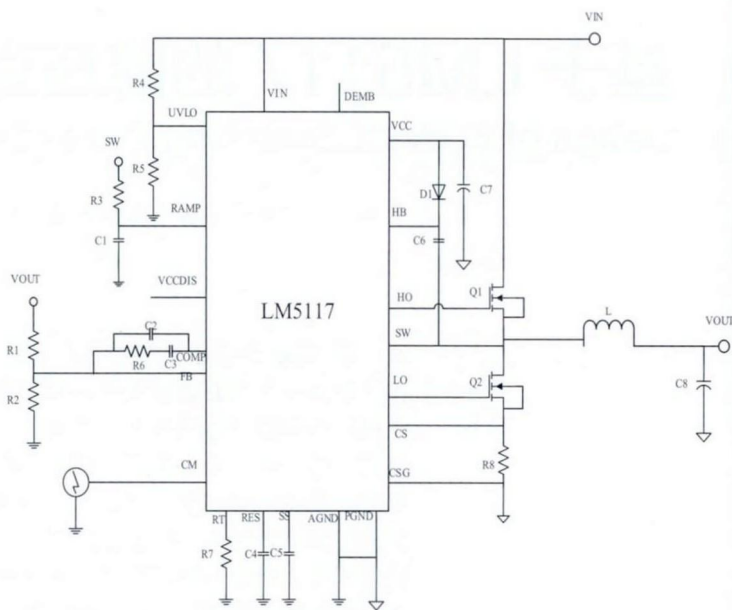


图 3 基于 LM5117 的 Buck 电路

以符合当今电子产品的高标准要求。

现今电子产品需要符合节能、高速、电源稳定性高、噪声低等要求; Buck-Boost 变换器噪声纹波较大, 电路复杂化; H 桥电路与继电器结合的电路中有转换有很大的损耗, 继电器有延迟; 综上考虑: 基于 LM5117 的 Buck 变换器设计降压型直流开关稳压电源最合适。

3 系统工作原理

本方案采用 LM5117 的典型电路, 从图 4 工作流程图 4 可知, 直流电通过 H 桥输出到负载, 通过 CSD18532KCS MOS 场效应管的通断对 H 桥进行控制, 使得高侧与低侧 NMOS 管一个周期内轮流导通以达到直流降压效果。另外加滤波电路, 从而控制输出电压的稳定性。电路由 LM5117 降压芯片、H 桥驱动电路、滤波电路、反馈电路以及过流保护电路等组成。系统电路图如图 5 所示。其中 CM 端口为 LM5117 自带的电流检测端口, 会导致节点 2 电压变化, 从而导致 S8550 的通断, 控制 RAMP 口的点平高低变化, RAMP 在为高电平的时候会自动关断输出 HB, HO 将其置于高阻态, 从而保护了电路。

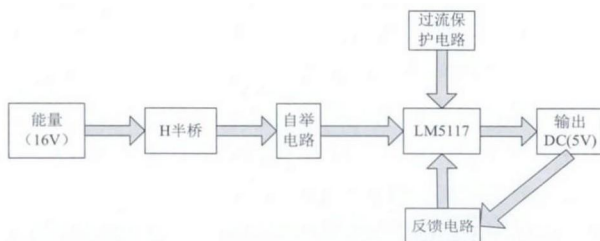


图 4 降压型直流开关稳压电源工作流程图

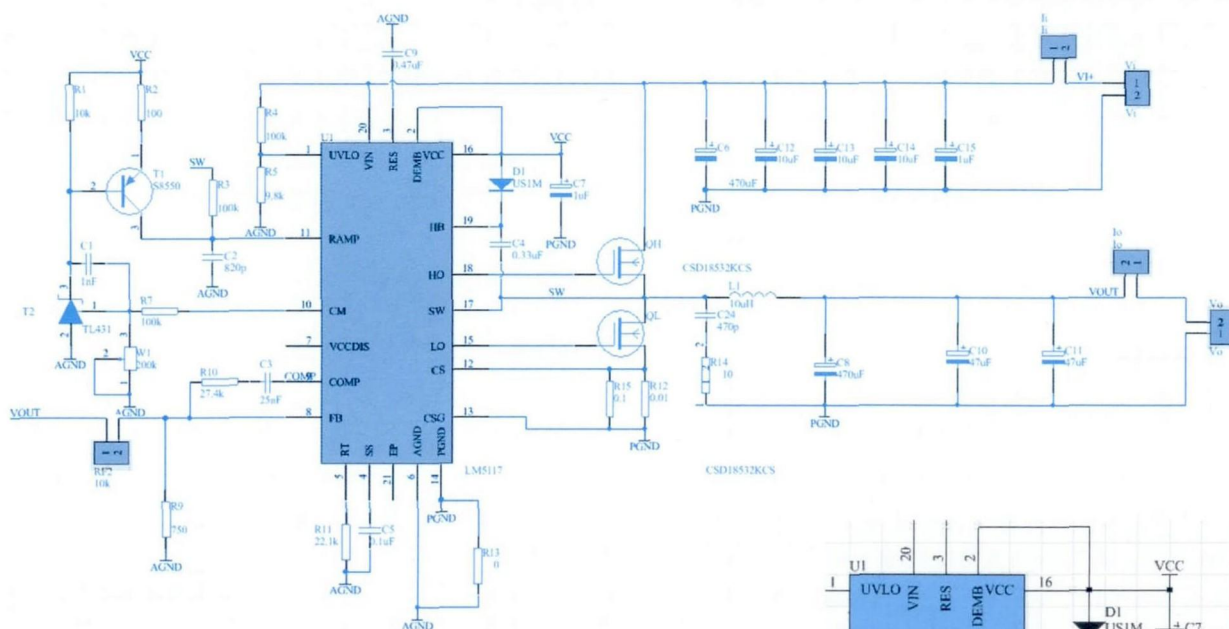


图 5 系统电路图

H 桥驱动电路如图 6 所示，由于 LM5117 降压模块包含有稳定的稳压器，其通过反馈补偿来最大可实现环路带宽其实是由采样增益电感极点来限制的。在传统电流模式控制下，最大可实现环路带宽随输入电压而有所不同。利用 LM5117 独特的斜坡补偿电路，采样增益电感极点可独立于输入电压的变化。这就解决了用户各种不同输入范围应用的问题，这也是 LM5117 的优势。而防止次谐波振荡影响输出电压的稳定，通过在检测到的电感电流的上边增加一个额外的电压斜坡（斜率补偿）的方法，就可以防止次谐波振荡，通过选择 $K \leq 1$ ，稳压器将不会受到由变化的输入电压引起的次谐波振荡的影响。从而达到稳压控制的效果，电路利用电流电容储能的作用，当在输入的上半周期时，驱动器 OH 打开，驱动器 OL 关闭，电路通过 LM5117 降压，此时电感在不断地充电，后经过滤波电路输出电压，由于 OH 端的电压被提升而使 OH 被截止，在后半周期，驱动器 OH 关闭，OL 打开，

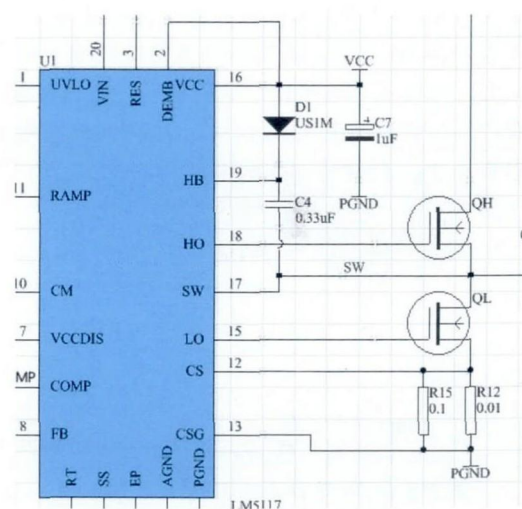


图 6 H 桥驱动电路

此时二极管导通，这时输入的电压无法输出，而是把电感储能特性作为电源，达到充分利用能量，节能的效果，此时由于自举电路中电容的也在不断地充电，而提高 OH 基极的电压，使 OH 又导通，OL 截止的效果，最终达到循环。

滤波电路如图 7 所示，开关电源输出纹波主要来源为输入低频纹波、高频纹波寄生参数引起的共模纹波噪声、功率器件开关过程中产生的超高频谐振噪声、闭环调节控制引起的纹波噪声等。针对低频纹波的抑制，可调节电感与电容之间的参数，适当提高开关频率，以提高高频纹波频率，减小与控制功率器件与板级之间的寄生电容，同时可以缩短驱动信号到开关管走线的距离，加宽走线，在反馈通道中增加纯滞后滤波环节，使延时滞后降到最小，

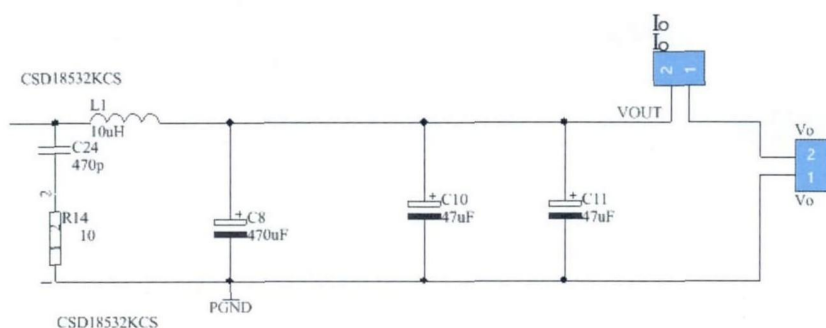


图 7 滤波电路

以提高闭环调节的快速性和及时性。由于在上管关断时，下管并不会立即导通而是存在一定的死区时间，在这个极短的时间内储能电感中的能量无处释放，会在回路中来回振荡，产生理论无穷大的高频脉冲，为了削弱它，避免造成器件损坏，在 NMOS 管的栅极与源极之间连接一个 102（1μf）的电容，一个 IN4148 二极管与 103 的电容并联后接在 NMOS 管的源极漏极之间，以此来保护电路并降低纹波。

4 实验与结果分析

实验采用 3A/30V 双路稳压电源保持恒压 16V 进行输入，使用 4 位半万用表测量输入电流电压值和输出端电流电压值。使用高分辨率的数字示波器测量输出端的纹波电压峰值。通过电位器调节输出端的电压恒定在 5V，电流恒定在 3A 左右，调节滑动变阻器使输出端的电流变为 0.2I_{oA}，通过式（1）计算 I_o 从满载 I_omax 变到轻载 0.2I_omax 时，获得的负载调整率（U_o 轻载、U_o 满载分别为满载 I_omax 和轻载 0.2I_omax 时输出端的电压）。

$$Si = \left| \frac{U_{o\text{轻载}}}{U_{o\text{满载}}} - 1 \right| \times 100\% \leq 5\% \tag{1}$$

通过式（2）计算 U_{IN} 变化到 17.6V 和 13.6V，获得的电压调整率。

$$Sv = \frac{\max(|U_{o17.6V}-U_{o16V}|, |U_{o16V}-U_{o13.6V}|)}{U_{o16V}} \times 100\% \tag{2}$$

通过式（3）计算输出效率（U_{IN} = 16V，I_o = I_omax）。

$$\eta = \frac{U_o I_o}{U_{in} I_{in}} \times 100\% \tag{3}$$

理论上，当输入的直流电压为 16V，输出的电压为 5V，电流为 3A，可计算得负载调整率为 0，电压调整率为 0，效率为 100%，但是，由于导线上的电阻以及板上连线间的电阻、电容的影响导致计算值和实际值也存在差距，所以在测试的时候，尽量减少导线的长度，增加导向的横截面积。如附表所得的数据可知：在可控范围内测得效率 88.8%，负载调整率为 0.2%，电压调整率为 2%，纹波电压为 24mV。

附表 测得的数据	
U _{in}	16V
I _{in}	1.09A
U _o (U _{in} =16V/U _{in} =17.6V/ U _{in} =13.6V/I _o =0.2I _{max})	5.03V/5.04V/5.03V/4.93V
I _o	3.08A
Si	0.2%
Sv	2%
η	88.8%
U _{opp}	24mV

5 结论

论文阐述了基于降压控制器 LM5117 芯片和 CSD18532KCS MOS 场效应管为核心器件的稳压电源电路原理，并搭建了降压型直流开关稳压电源电路。得到了较为理想的转换效率、负载调整率以及电压调整率。进一步提升了降压型直流开关电源的性能。

参考文献

[1][日] 铃木雅臣著，彭军译. 晶体管电路设计 [M]. 北京：科学出版社，2004:227-243.

[2] 沙占友，庞志锋，等. 开关电源外围元器件选择与检测 [M]. 北京：中国电力出版社，2009,1-141.

[3] 王兆安，刘进军. 电力电子技术 [M]. 北京：机械工业出版社，2009,7:53-61.

[4] 沙占友，王彦鹏. 单片开关电源的最新应用技术 [M]. 北京：机械工业出版社，2002,9:4-16.

[5] 王水平，田庆安. 开关稳压电源 [M]. 西安电子科技大学出版社，1997,3:2-12.

[6] 马瑞卿. 一种基于 TOP223Y 的单片开关电源设计 [J]. 计算机测量与控制，2007,15.

[7] 沙占友. 新型单片开关电源的设计与应用 [M]. 电子工业出版社，2001,6:10.

[8] 潘腾，李强. 基于 TOP224Y 芯片的单端反激式开关电源 [J]. 东南大学学报，2003,4:12-13.

[9] 杨素行. 模拟电子技术基础简明教程 [M]. 高等教育出版社，1995,4:5-32.

[10] 余孟尝. 数字电子技术基础简明教程 [M]. 高等教育出版社，1984,7:22-33.

[11] 张成，由永峰. TOP Switch 芯片单端反激式开关电源的工作原理以及设计方法 [J]. 杨凌职业技术学院学报，2007,3:2-4.

[12] 张占松，蔡宣三. 开关稳压电源的原理与设计 [M]. 电子工业出版社，1998,5:45-52.

[13] 王小双. 基于 TOP227Y 的单片反激电源设计 [J]. 微电机，2009,4:3-6.

[14] 翁嘉民，陶春鸣. 单片机应用开发技术 [M]. 中国电力出版社，2009,5:2-5.

[15] 陈纬. TOP Switch 单片开关电源的原理及应用 [J]. 机械工程与自动化，2004,5:5-6.

[16] Breitenberger G. Power Supply for a Fast Scanning System [R]. GSI Inner Report.