

Design of an Extremely Low Input Voltage Isolation Conversion Circuit

Jing Guo^{1,2} Zhuliu Yuan^{1,2*} Pengfei Sun^{1,2}

1. The 43rd Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Hefei, Anhui, 230088, China
2. Microsystem Key Laboratory of Anhui Province, Hefei, Anhui, 230088, China

Abstract

With the increasing complexity of electronic device functions, the demand for electricity is becoming more diverse. In some special power supply systems with low input voltages, it is necessary to solve the problem that conventional pulse width modulators cannot meet the low operating voltage. Therefore, this paper adopts BOOST boost circuit to provide auxiliary source technology solutions for pulse width modulators, and provides key parameter calculations in the circuit. Finally, experimental results are presented to verify the feasibility of the technical solution.

Keywords

power conversion; BOOST circuit; single ended flyback; Royer circuit

一种极低输入电压隔离变换电路设计

郭靖^{1,2} 袁柱六^{1,2*} 孙鹏飞^{1,2}

1. 中国电子科技集团公司第四十三研究所, 中国·安徽 合肥 230088
2. 微系统安徽省重点实验室, 中国·安徽 合肥 230088

摘要

随着电子设备功能复杂化, 对用电需求呈现多样化, 一些输入电压较低的特殊供电系统中, 需要解决常规的脉宽调制器无法满足较低的工作电压问题。故此, 论文采用BOOST升压电路, 为脉宽调制器提供辅助源技术方案, 同时给出了电路中关键参数计算, 最后给出了试验结果, 验证技术方案的可行性。

关键词

功率变换; BOOST电路; 单端反激; Royer电路

1 引言

随着电子设备功能复杂化, 对用电需求呈现多样化趋势, 中间母线架构(IBA)作为电子设备主要供电架构, 中间母线架构(IBA)中的中转母线转换器(IBC)是将一次母线电压通过变压器变压和隔离变换为较低电压, 再经过非隔离负载点转换器(POL)为负载提供稳定的电压。该结构转换效率高, 减小体积和重量, 同时负载点转换器(POL)更靠近负载端, 可以提供良好的动态响应和低噪声, 在供电系统中广泛应用。

中转母线转换器(IBC)为了提高非隔离负载点转换器(POL)转换效率, 将一次母线电压隔离变压到负载端电压

越来越低(约为2.5~5.5V), 而负载端的信号数字电路器件需要5V或者12V等更高的供电电压, 同时需要隔离主功率电路和信号电路的相互干扰, 从而保证电路信号精密度、完整性, 如果从一次母线电压直接功率变换, 则其转换效率低、体积大、重量重。

论文是应电子设备供电需求, 设计一款输入电压为2~6V, 输出电压为5V, 输出功率为5W, 体积为 $12.7 \times 12.7 \times 10\text{mm}^3$ 的微功率隔离直流-直流(DC-DC)变换电路。

2 电路设计方案

单端反激式电路结构简单, 在中小功率直流-直流变换器中大量应用, 目前因脉宽调制器(PWM)的工作电压最低为4V, 而中转母线转换器(IBC)隔离变换电压较低(约为2.5~5.5V), 难以满足脉宽调制器(PWM)的工作电压要求, 为此, 需要设计BOOST升压电路作为辅助源电路, 将较低的输入电压变换为脉宽调制器(PWM)所需的工作电压, 如图1所示。

【作者简介】郭靖(1977-), 女, 中国陕西韩城人, 本科, 高级工程师, 从事DC/DC变换电路技术研究。

【通讯作者】袁柱六(1980-), 男, 中国安徽合肥人, 本科, 研究级高级工程师, 从事DC/DC变换电路技术研究。

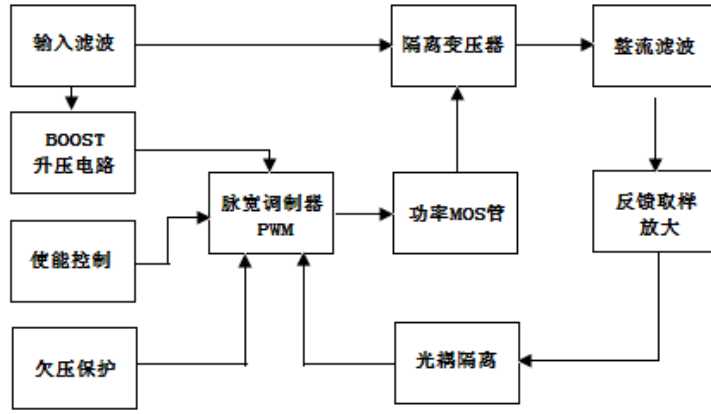


图1 电路原理框图

针对输入电压为 2~6V 时，选用单端反激式电路拓扑与 BOOST 升压电路的技术方案，通过 BOOST 升压电路给脉宽调制器（PWM）提供工作电压。

3 BOOST 电路设计及参数计算

升压脉冲宽度调制器选用上海贝岭公司的一款输入电压 2~24V，开关频率达 1.2MHz，内置 4A 功率 MOS 管，设计电路如图 2 所示。

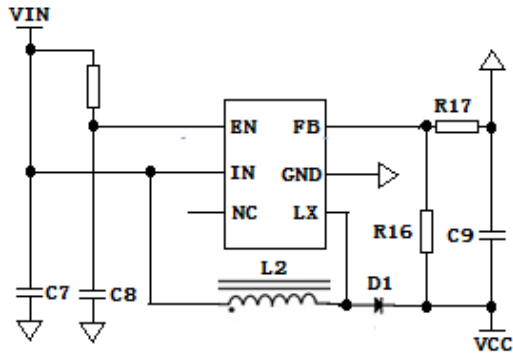


图2 BOOST 电路原理图

3.1 储能电感参数计算

储能电感设计是依据所需的纹波电流大小，一般建议选择波纹电流约为最大平均值输出电流 40%，由下列公式可计算储能电感感量：

$$L_2 = \left(\frac{V_{IN}}{V_{OUT}} \right)^2 \times \frac{(V_{OUT} - V_{IN})}{40\% \times F_{SW} \times I_{OUT_MAX}}$$

储能电感额定饱和电流值必须大于满载条件下电感峰值电流，由下列公式可计算出所需储能电感电流：

$$I_{SAT_MIN} \geq \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} \times I_{OUT_MAX} + \frac{V_{IN} \times (V_{OUT} - V_{IN})}{2 \times F_{SW} \times L_2 \times V_{OUT}}$$

3.2 稳压反馈电阻参数计算

通过电阻 R16 和电阻 R17 来设定输出电压。为了最小化轻负载下的功耗，电阻 R16 和电阻 R17 选择电阻值较大。一般推荐选取 10k 和 1M 之间，计算公式如下：

$$V_{OUT} = \frac{0.6 \times (R_{17} - R_{16})}{R_{17}}$$

4 单端反激电路设计及参数计算

脉冲宽度调制器选用源特科技公司的一款输入电压 4~100V，支持断续（DCM）/ 连续（CCM）模式单端反激式拓扑结构，具备输入欠压保护、输出短路保护、输出过压保护、过温保护等功能，全范围保证开关电源的高可靠性，设计电路如图 3 所示。

4.1 变压器参数计算

由法拉第电磁感应定律，关系式如下：

$$V_{in} = N_p \times \frac{d\phi}{dt}$$

变压器工作在第 I 象限，磁感应强度由 Br 至 +Bs 的变化，变压器原边绕组匝数由下列公式可得：

$$N_p = \frac{V_{in} \times T_{on}}{\Delta B \times A_e}$$

变压器副边绕组匝数由下列公式可得：

$$N_s = \frac{V_o \times N_p \times (1 - D_{max})}{D_{max} \times V_{in}}$$

4.2 功率 MOS 管参数计算

对于单端反激电路拓扑结构，功率 MOS 管耐压和电流的参数由下列公式可得：

$$V_Q = V_{in} + V_{OUT} \times \frac{N_p}{N_s}$$

$$I_Q = \frac{I_o}{N_s} + V_{OUT} \times \frac{N_p}{N_s}$$

5 试验验证

采用上述的变换电路设计方案，脉宽调制器正常工作所需电流约为 0.05A，通过参数计算，BOOST 电路开关频率设置为 1.3MHz，储能电感感量为 22mH/0.5A，R16 为 100KΩ、R17 为 7.5KΩ，输出电压为 8.6V，整流管 D1 为 1N4148。

通过试验，输出电流为 0.05A 条件下，图 4 为输入电压 6V 时，脉宽调制器的 LX 端口电压波形。

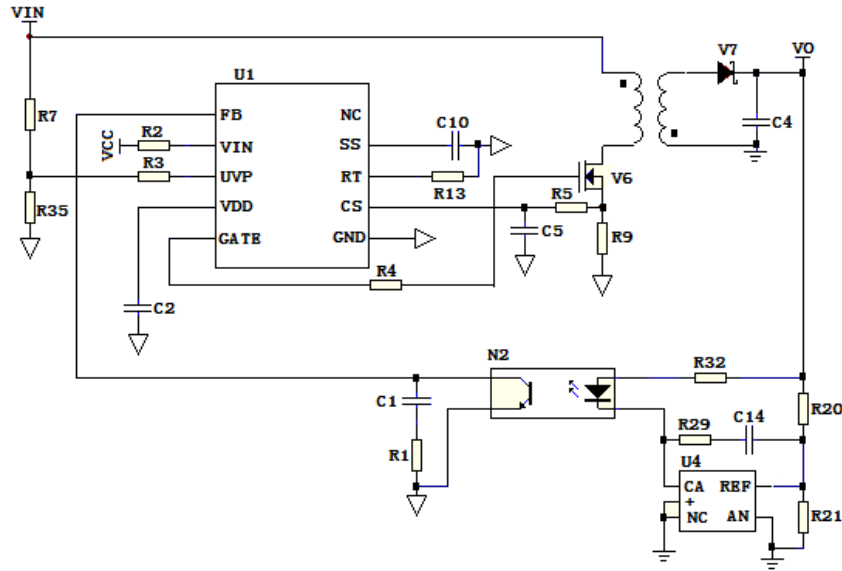


图3 单端反激电路原理图

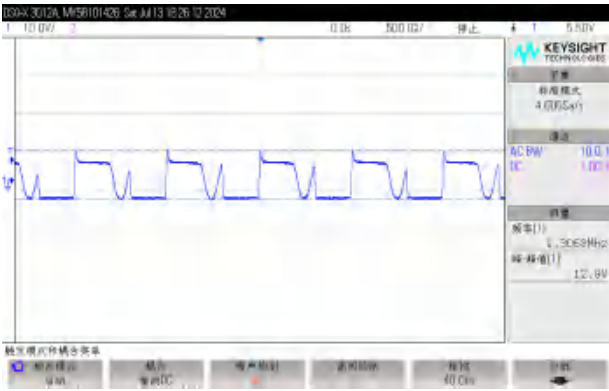


图4 输入电压 6V 时 LX 端电压波形 (12.9V)

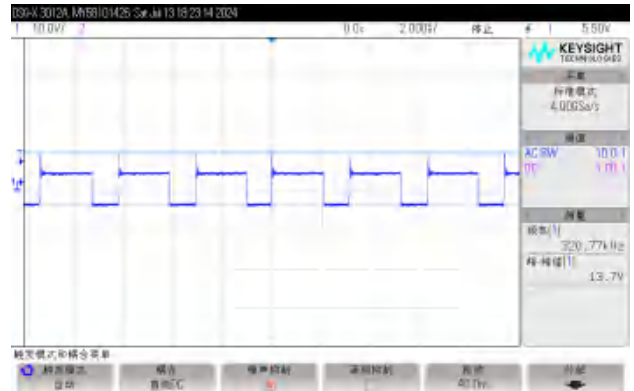


图6 VDMOS 管电压波形 (13.7V)

从测试电路中电压波形可以看出，BOOST 电路的开关频率为约 1.31MHz，输出电压无过冲，LX 端口电压 12.9V，在该端口 26V 要求的可靠工作范围。

单端反激变压器参数计算为 5 : 10，D1 选用 DSL34，功率 MOS 管选用 JMTQ35N06A。

通过试验，输出电流为 1A 条件下，图 5 为输出电压波形，图 6 为功率 MOS 管电压波形，图 7 满足时，输出纹波电压。

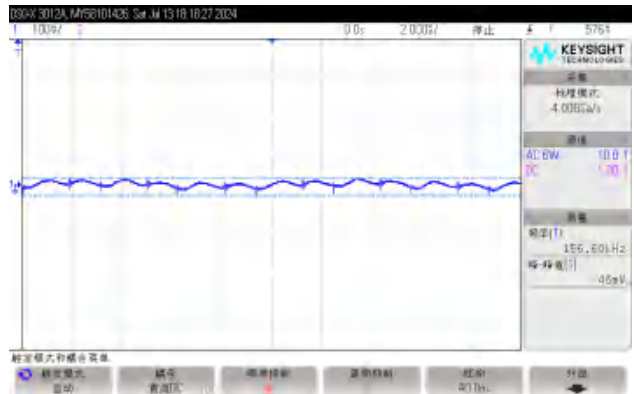


图7 输出纹波电压 (满载, 46mV)

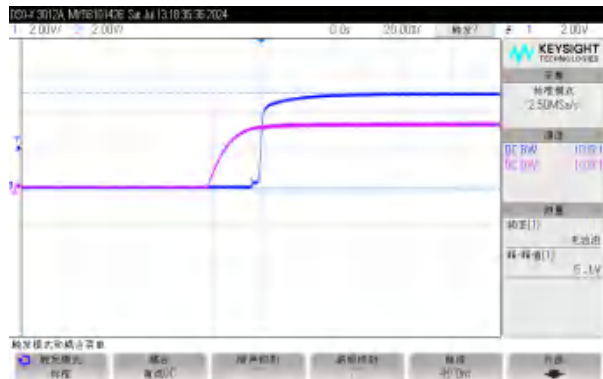


图5 启动延迟和输出电压 (延迟: 20mS)

在 $12.7 \times 12.7 \times 10\text{mm}^3$ 体积内集成该变换电路，样品如图 8 所示。

样品电性能测试如表 1 所示。

通过试验样品验证，该电路方案开启电压为 2.0V，输出电压精度良好，转换效率高，宜于产品小型化。



图 8 样品效果图

表 1 样品电性能测试结果

参数名称	试验实测数据		
	-45℃	25℃	105℃
BOOST 升压电路部分电参数			
开启电压	1.95V	1.97V	2.0V
输出电压	8.68V	8.65V	8.61V
输出电流	0.05A	0.05A	0.05A
启动过冲	0V	0V	0V
工作频率	1.30MHz	1.31MHz	1.33MHz
DC-DC 电参数			
输入电压范围	2V~6V	2V~6V	2V~6V
输出电压	5.06V	5.05V	5.03V
输出电流	1.0A	1.0A	1.0A
效率	81.0%	80.6%	80.3%
电压调整率	0	0	0
电流调整率	0.1%	0.1%	0.1%
输出纹波电压	42mV	46mV	48mV
启动过冲	0V	0V	0V

6 结论

随着现代科技的飞速发展，电子设备对微功率直流-直流变换的需求向输入电压更低、体积更小和芯片化技术发展。

论文主要是为适应低电压输入、隔离要求的电子设备应用要求，采用 BOOST 电路为脉宽调制器提供稳定可靠的辅助供电电压，通过对电路中关键参数进行计算，最后原理样机验证，进行试验实测，输入电压开启低至 2.0V，输出功率达 5W，效率达 80% 以上，体积为 $12.7 \times 12.7 \times 10\text{mm}^3$ ，

满足电子设备的应用要求。

参考文献

- [1] 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,2005.
- [2] 张兴柱.开关电源功率变换器拓扑与设计[M].北京:中国电力出版社,2009.
- [3] 童诗白.模拟电子技术基础[M].北京:高等教育出版社,1988.
- [4] 吴润宇.实用稳定电源[M].北京:人民邮电出版社,2010.
- [5] 赵修科册.实用电源技术手册,磁性元器件分册[M].沈阳:辽宁科学技术出版社,2002.