

高性能升压型 DC-DC 电源变换器的设计与实现^{*}

陈 涛 彭政达

(桂林电子科技大学电子工程与自动化学院 桂林 541004)

摘 要:利用 STM32F103RBT6 单片机为主控芯片,采用推挽式拓扑结构及脉冲宽度调制技术,设计制作了一款高性能升压型 DC-DC 电源变换器。该电源变换器的直流输入电压范围为 15~25 V,直流输出电压可调范围为 30~36 V,最大输出电流为 1 A。实验测试结果表明,设计的电源变换器具有较好的负载调整率和电压调整率,输出电压波纹较低,转换效率高,并且具有输出电压的步进调整和测量、显示以及过流、过压保护等功能,在中小型升压型开关电源中具有较好的应用价值和发展前景。

关键词:DC-DC 电源变换器;推挽式;脉冲宽度调制

中图分类号: TN86 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 470.4031

Design and implementation of high-performance boost DC-DC power converter

Chen Tao Peng Zhengda

(School of Electronic Engineering and Automation, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: A high-performance boost DC-DC power converter is developed by using push-pull topology and pulse width modulation (PWM) controlling technique based on STM32F103RBT6 microcontroller. The DC-DC power converter has input voltage range from 15 to 25 V, output voltage range from 30 to 36 V, and maximum output current can be up to 1 A. The experiment results show that the DC-DC power converter have excellent line regulation and load regulation, low ripple, high efficiency, as well as overcurrent and overvoltage protection. Also this converter can display output voltage and current values, and it has potential applications in the field of small and medium-sized boost switching power supply.

Keywords: DC-DC power converter; push-pull topology; pulse width modulation

1 引 言

在目前全球低碳环保、高效节能的消费理念转型和便携式电子设备广泛应用于各个领域的影响下,现代电力电子装置的电源系统正面临着高效率、高集成等方面的挑战,一款节能高效、安全可靠、简易便携的电源正成为研究的热点^[1]。

开关电源是利用现代电力电子技术,控制开关晶体管导通和关断的时间比率,维持稳定输出电压的一种电源^[2-3]。以升压型 DC-DC 电源变换器为核心的开关电源具有高效率、低噪声、小型化、结构简单等诸多优点^[4-6],可以大幅度地提高便携式电子设备的供电性能,因此研究升压型 DC-DC 电源变换器具有重要的意义和广阔的

应用前景。但目前国内外在研制升压型 DC-DC 电源变换器的过程中,在控制方式的选择上,大多数都是采用专用集成芯片产生脉冲宽度调制(pulse width modulation, PWM)或脉冲频率调制(pulse frequency modulation, PFM)信号进行控制,如文献[7]以电压型 PWM 集成芯片 TL494 为核心,设计了一款 Boost 型 DC-DC 电源。这些实现方法具有电路实现简单,性能稳定可靠等优点,但成本相对较高,且微控制器输出的数字量还需通过 D/A 转换器转换为模拟量,才能调节 PWM 集成芯片的输出占空比。基于此,本文尝试应用单片机结合低成本的 74LS 系列逻辑芯片产生 PWM 驱动信号,设计一款具有成本低、性能好等特点的升压型 DC-DC 电源变换器。

收稿日期:2016-05

^{*} 基金项目:广西自动检测技术与仪器重点实验室基金(YQ15104)、广西自然科学基金(2015GXNSFBA139252)项目资助

2 系统总体设计方案

2.1 系统结构

本设计的 DC-DC 升压电源变换器主要由 STM32F103 RBT6 单片机电路、高频变压器电路、整流滤波电路、功率 MOS 管控制驱动电路、电压电流反馈电路、键盘和液晶显示电路等组成。系统结构如图 1 所示。

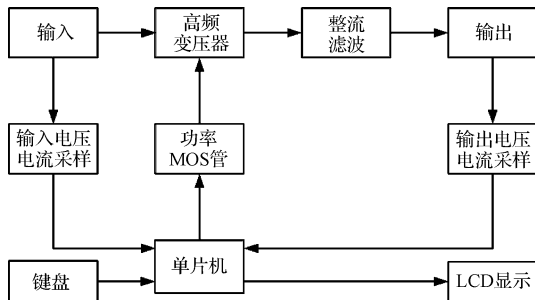


图 1 系统结构

2.2 拓扑结构选择

在设计 DC-DC 电源变换器之前,必须首先选择拓扑结构,因为电路元器件(如功率开关管、高频变压器等)的选择,以及反馈环节等都取决于拓扑结构。常用的隔离式 DC-DC 电源变换器的拓扑结构有单端正激式、单端反激式、全桥式、半桥式和推挽式等^[8-9]。由于推挽式拓扑结构具有输出电流瞬间响应速度快、电压输出特性好、输出功率大以及转换效率高等优点,故本设计选择推挽式拓扑结构作为主回路拓扑结构。推挽式变换器属于双端式变换

电路,主回路中高频变压器的初级端、次级端由两个对称的线圈绕组组成,两个功率开关管也连接成对称关系,在一个工作周期内,两个开关管相互交换导通与关断,其电路原理如图 2 所示。

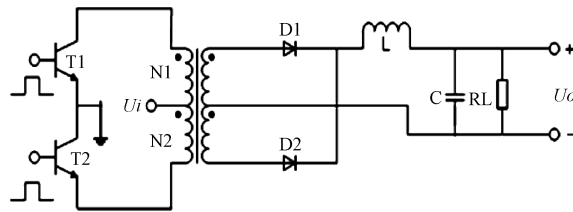


图 2 推挽式拓扑结构

2.3 控制方式选择

本设计采用 PWM 控制方式来控制功率 MOS 管。PWM 控制是将输出信号的脉冲周期固定,通过改变脉冲宽度来实现改变占空比,从而达到稳定输出电压的目的。PWM 控制方式具有效率高、频率高、可靠性和功率密度高等特点^[10-12]。本文通过 STM32F103RBT6 单片机的内部定时器产生 PWM 输出信号,并采用 74LS 系列逻辑芯片设计了具有一定死区时间的功率 MOS 管控制驱动电路。

3 硬件电路设计

3.1 DC-DC 变换器主电路

本设计采用功率 MOS 管 IRF3205、EE40 铁氧体高频变压器等器件设计了推挽式 DC-DC 变换器的主回路,如图 3 所示。

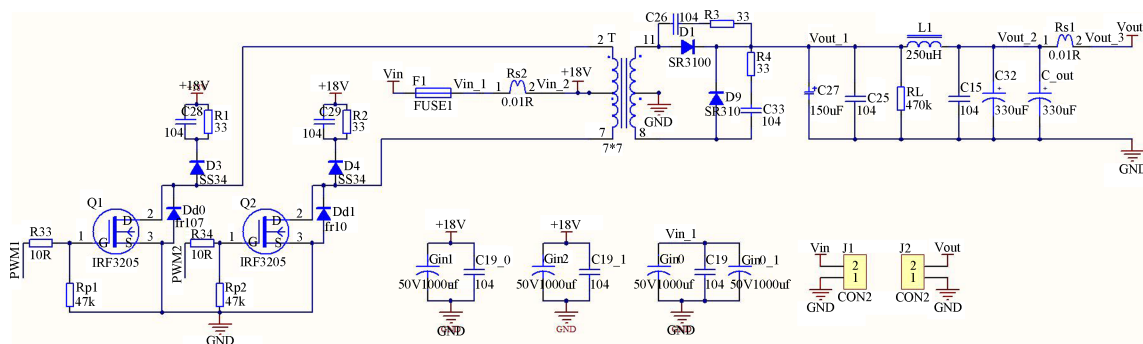


图 3 推挽式主电路原理

主电路由 STM32F103RBT6 单片机利用内部定时器产生 PWM 信号,经过 MOS 管控制驱动电路获得两路具有一定死区时间的 PWM 信号(PWM1 和 PWM2),驱动两个功率 MOS 管 Q1 和 Q2 交替轮流导通,并通过高频变压器将能量传递到次级电路。当场效应管 Q1 导通时,整流二极管 D1 处于导通状态;当场效应管 Q2 导通时,整流二极管 D9 处于导通状态。当 D1 和 D9 导通时,电感 L1 的电流逐渐上升,次级绕组电压经 D1 和 D9 全波整流后,向负载提供能量。

3.2 功率 MOS 管控制驱动电路

目前功率 MOS 管的 PWM 控制驱动信号大多是应用专用集成电路产生,输出占空比需要微控制器通过 D/A 转换器给出控制电压来改变,电路实现成本相对较高。为了降低成本,本设计主电路的 PWM 信号通过 STM32F103RBT6 单片机利用内部定时器产生。同时考虑到实际应用场合,由于外界干扰等因素无法保证单片机输出的两路 PWM 信号间会预留一定的死区时间,为了防止单片机发生故障导致两个功率开关管 Q1 和 Q2 出现同时导通而损坏。本文应用单片机结

合 74LS 系列逻辑芯片设计了一种具有一定死区时间的功率 MOS 管控制驱动电路,如图 4 所示。

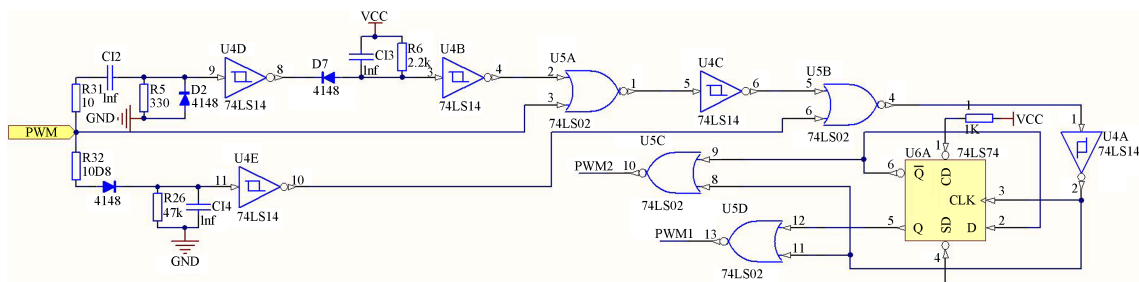


图 4 功率 MOS 管控制驱动电路

3.3 电压电流反馈电路

由于电压跟随器具有较高的输入阻抗和较低的输出阻抗,是常用的阻抗变换和匹配电路,常被应用于电路的输入缓冲级和输出缓冲级,因此本设计中输入输出电压的反馈采样电路采用由集成运放 LM358 组成的电压跟随器来实现,如图 5 所示。

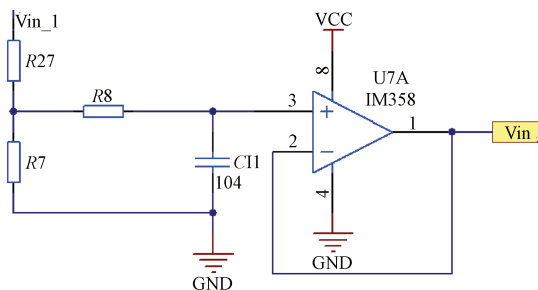


图 5 电压反馈电路

图中电压跟随器的输出电压为:

$$U_o = \frac{R7}{R7 + R27} V_{in_1} \quad (1)$$

由于差分放大器具有较高的共模抑制比和较高的输入阻抗,因此本设计中输入输出电流的反馈采样电路采用由集成运放 LM358 组成差分放大电路来实现,如图 6 所示。

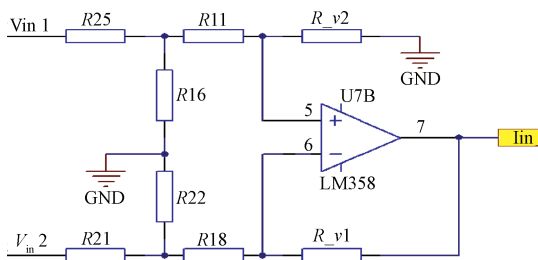


图 6 电流反馈电路

图中,当 $R11 = R18, R_{v1} = R_{v2}$ 时,差分放大器的输出电压为:

$$U_o = \frac{R_{v1}}{R18} \left[\left(\frac{R16}{R16 + R25} \right) V_{in_1} - \left(\frac{R22}{R21 + R22} \right) V_{in_2} \right] \quad (2)$$

3.4 STM32 单片机控制电路

STM32 单片机是整个控制电路的核心,除了完成产

生系统所需要的 PWM 控制信号外,还负责输入输出电压和电流的采集、参数的输入及显示、输出电压的控制和调整等功能。STM32F103RBT6 是 ST 公司基于 ARM 最新 Cortex-M3 架构内核设计的 32 位处理器产品,内置 128 KB 的 Flash、20 K 的 RAM、12 位 ADC、4 个 16 位定时器和 3 路 USART 通信口等多种资源,时钟频率最高可达 72 MHz,是一款功能齐全、性价比高、操作简易的微型处理器,广泛应用于各种不同的领域^[13],完全能够满足本系统控制功能的需求,因此本设计中采用 STM32F103 RBT6 微处理器芯片设计了相关的控制电路。整个控制电路由核心器件 STM32F103RBT6 单片机芯片以及相关的外围电路组成,外围电路主要包括电源转换电路、外部时钟及复位电路、键盘输入电路和液晶显示电路。

4 软件设计

本设计基于 MDK-ARM 软件提供的 C 开发环境,使用 C 语言编程对 STM32F103RBT6 单片机的相关功能进行配置,实现单片机对外部扩展电路的控制。按照模块化的程序思想开发系统单片机程序,整个程序可以划分为以下几个不同功能模块,每个功能模块实现一定的功能。1)主程序模块,主要完成系统的初始化,包括芯片初始化、变量初始化等,并同时包括调用各子程序完成各相应功能;2)PWM 信号产生子程序模块;3)闭环反馈控制(PID 控制算法)子程序模块^[14];4)电压和电流 A/D 采集子程序模块;5)按键和 LCD 显示子程序模块。系统程序流程如图 7 所示。

5 实验结果与分析

本课题设计并制作一台推挽式升压型 DC-DC 电源变换器(如图 8 所示),同时对 DC-DC 电源变换器的参数指标进行测试,实验测试结果如下文所述。

1)输出电压可调范围(输入电压 $U_i = 18 \text{ V}$,负载 $R_L = 36 \Omega$)如表 1 所示。

2)电压调整率(输出电压 $U_o = 36 \text{ V}$,输出电流 $I_o = 1 \text{ A}$)如表 2 所示。

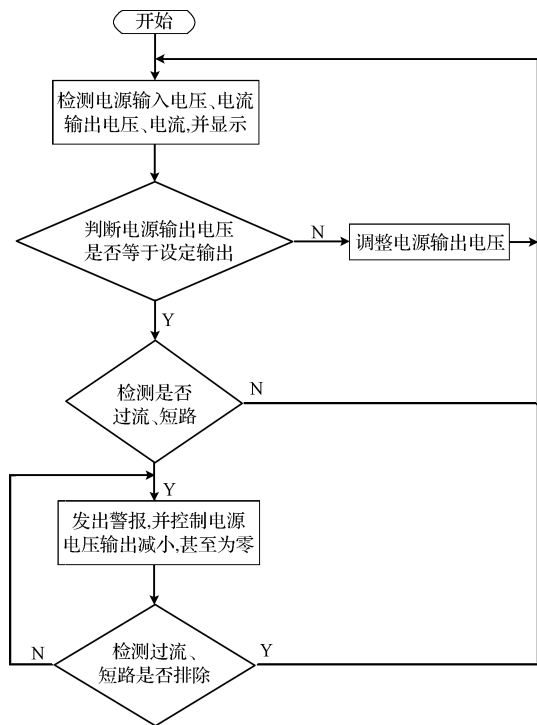


图7 软件流程



图8 升压型 DC-DC 电源变换器实物

则电压调整率 $S_U = (36.17 - 35.72) / 36 \times 100\% = 1.25\%$ 。

则负载调整率 $S_I = (36.83 - 35.59) / 36 \times 100\% \approx 3.44\%$ 。

表1 输出电压可调范围

预设电压/V	实测电压/V
30.00	30.32
31.00	30.86
32.00	32.28
33.00	33.25
34.00	34.19
35.00	35.01
36.00	35.68

表2 电压调整率

输入电压/V	输出电压/V
15.00	35.72
17.00	36.02
19.00	36.12
21.00	36.17
23.00	35.95
25.00	35.76

3) 负载调整率 ($U_I = 18\text{ V}$, $U_O = 36\text{ V}$) 如表3所示。

表3 负载调整率

输出电流/A	输出电压/V
0.00	36.83
0.20	36.64
0.40	36.10
0.60	35.96
0.80	35.85
1.00	35.59

实验测试结果表明,该电源变换器能够实现 $15 \sim 25\text{ V}$ 直流输入,直流输出电压可调范围达到 $30 \sim 36\text{ V}$,输入电压从 15 V 变到 25 V 时,电压调整率(输出电流 1 A) 小于 2% ,负载调整率(输入电压 18 V) 小于 4% 。与文献[6]相比,本文设计的 DC-DC 电源变换器的负载调整率与文献[6]相当,但在电压调整率性能指标上得到了提升。

6 结 论

本设计采用推挽式拓扑结构及 PWM 控制技术设计制作了一款高性能升压型 DC-DC 电源变换器。系统采用 ST 公司的 32 位处理器产品 STM32F103RBT6 实现了人机互动的全数字控制;采用 74LS 系列逻辑芯片设计功率 MOS 管的控制驱动电路,简化了驱动信号的控制,实现了驱动信号的死区时间锁定;闭环电压电流反馈控制环节引入数字算术平均值滤波和 PID 控制算法,有效提高了输出电压的精确性和稳定性。DC-DC 电源变换器中还有一些关键问题本文尚未进行深入分析和研究,如电压电流环路稳定性的改善及小信号分析等,这些问题有待进一步研究,以设计出性能更加优越的 DC-DC 电源变换器。

参 考 文 献

- [1] 沙占友. 单片开关电源的发展及其应用[J]. 电子技术应用, 2000, 26(1): 4-6.
- [2] 陈继广, 高长志. 单片机在开关电源设计中的应用[J]. 电源世界, 2013(4): 26-29.
- [3] 赵亚范, 刘佳琪, 王坤. 基于 AT89S52 单片机的开关电源设计[J]. 电子测量技术, 2012, 35(10): 77-79.
- [4] 杨永华, 邱福来. 新型数控开关稳压电源设计[J]. 计算机科学与技术, 2009, 27(4): 59-62.

(下转第 66 页)

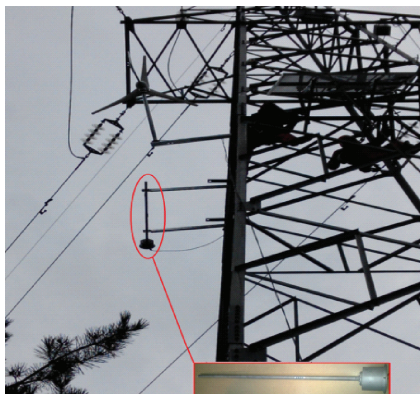


图7 本系统在杆塔上运行效果示意

模拟导线与输电线路的覆冰厚度之间的数学模型,可求出输电线路的覆冰厚度。实际使用时可在易覆冰区域的输电线路系统上安装多个此探测系统,同时结合气象参数综合分析输电线路覆冰情况,以及对某一地区的输电线路覆冰进行分析。因而具有良好的应用前景,目前此系统正逐步进入应用阶段。

参 考 文 献

- [1] 王黎明,李海东,梅红伟,等. 输电线路覆冰在线监测系统国内外研究综述[J]. 高压电器, 2013, 49(6): 48-56.
- [2] 王森,杜毅,张忠瑞. 无人机辅助巡视及绝缘子缺陷图

(上接第58页)

- [5] 郑晓庆,杨日杰,杨立永,等. 多路输出 DC-DC 电路设计[J]. 国外电子测量技术, 2012, 31(9): 31-33.
- [6] 贾正松,罗凌,余青松. 基于 TL494 升压型 DC-DC 稳压电源的设计[J]. 兵工自动化, 2014, 33(6): 86-89.
- [7] 江超,闻长远,王雨曦,等. 一种基于 TL494 Boost 型 DC-DC 电源设计[J]. 通信电源技术, 2009, 26(4): 39-41.
- [8] 陈洁. 基于推挽式结构的开关电源设计[J]. 机械制造与自动化, 2009(4): 170-173.
- [9] 夏涛,吴云峰,王胜利,等. 基于功率 MOSFET 的高压纳秒脉冲源研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(12): 1852-1861.
- [10] 田冠枝,黄玉平,司宾强. 新型 PWM 波故障保护与诊断电路设计[J]. 电子测量技术, 2015, 38(9): 125-127.
- [11] BABAEI E. A new pulse width modulation technique for inverters[J]. Arabian Journal for Science and En-

像识别研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(12): 1862-1869.

- [3] 李立涅,阳林,郝艳捧. 架空输电线路覆冰在线监测技术评述[J]. 电网技术, 2012, 36(2): 237-243.
- [4] 黄新波,孙钦东,程荣贵,等. 导线覆冰的力学分析与覆冰在线监测系统[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(14): 98-101.
- [5] 刘春城,刘佼. 输电线路导线覆冰机理及雨淞覆冰模型[J]. 高电压技术, 2011, 37(01): 241-248.
- [6] MAKKONEN L. Modeling of ice accretion on wires[J]. Journal of Applied Meteorology, 1984, 23(6): 929-939.
- [7] 蒋兴良,易辉. 输电线路覆冰及防护[M]. 北京: 中国电力出版社, 2001.
- [8] 林伟,马新春. 便携式光通信综合测试仪的研制[J]. 国外电子测量技术, 2015, 34(5): 43-47.
- [9] 周灿,葛俊锋,叶林,等. 飞机过冷大水滴结冰探测器设计及试验[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34(10): 2213-2218.
- [10] 雷爱强,赵昕,乔立岩. 基于插入帧机制的串行通信模块设计[J]. 电子测量技术, 2014, 37(11): 132-135.

作 者 简 介

闫泽豪, 1989 年出生, 男, 河南许昌人, 华中科技大学硕士研究生, 主要研究方向为检测技术与自动化装置。
E-mail: yanzehao19@163.com

gineering, 2014, 39(8): 6235-6247.

- [12] LIAW C M, LIN Y M, WU C H, et al. Analysis, design, and implementation of a random frequency PWM inverter[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2000, 15(5): 843-854.
- [13] 何乃龙,沙奕卓,行鸿彦. 新型 PWM 波故障保护与诊断电路设计[J]. 电子测量技术, 2015, 38(6): 92-96.
- [14] 郭红霞,刘磊. 基于 PID 控制算法的自动取暖控制器的设计[J]. 国外电子测量技术, 2014, 33(2): 29-32.

作 者 简 介

陈涛(通讯作者), 1984 年出生, 工学博士, 主要研究方向为自动测试与控制系统、太赫兹检测技术等。
E-mail: tchen@guet.edu.cn