

# 新型双BUCK恒流源的研究

李中启, 肖强晖, 廖无限

(湖南工业大学 电气与信息工程学院, 湖南 株洲 412008)

**摘要:** 为解决电源设计中片面追求高频化所带来的一系列问题, 设计了一种双BUCK拓扑结构的开关恒流源。分析了其工作原理, 并用Saber软件对电路进行仿真分析, 再通过实验验证了其正确性、可行性和有效性。

**关键词:** 恒流源; 双BUCK; 开关损耗; 倍频

**中图分类号:** TN86

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9833(2011)04-0070-03

## Research on the New Double-BUCK Constant Current Source

Li Zhongqi, Xiao Qianghui, Liao Wuxian

(College of Electrical and Information Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412008, China)

**Abstract:** In order to solve a series of questions caused by one-sided pursuit of high-frequency power, a switched constant current source based on double-BUCK topology is presented. Its working principle is analyzed and the circuit is simulated and analyzed by the software of Saber, then the correction, feasibility and effectiveness of the circuit are verified through experiments.

**Keywords:** constant current source; double BUCK; switching losses; double frequency

随着开关电源技术的发展, 高频化BUCK型开关恒流源在LED照明电源等行业中得到广泛应用。然而, 片面追求高频化所带来的一系列问题, 严重影响开关电源的性能。如: 增加电源的开关损耗, 开关损耗越大, 电源效率越低, 散热器体积也越大, 同时电感线圈导线的集肤效应越明显, 如果线圈层数不止一层, 还会导致邻近效应, 这2种效应都会产生涡流损耗<sup>[1]</sup>。本文给出一种双BUCK拓扑电路代替单BUCK拓扑电路设计开关恒流源的方法, 以有效地解决上述问题。

## 1 拓扑结构及其原理分析

### 1.1 电路结构

双BUCK开关恒流源是在单BUCK开关恒流源基

础上改进而成, 如图1所示。实线部分为单BUCK电路, 虚线的部分与实线部分相加为双BUCK电路。双BUCK开关恒流源由主电路、控制电路、驱动电路、主电源和辅助电源构成。

主电路采用MOSFET管Q1和Q2作为开关器件。其外围电路有栅极电阻 $r_{14}$ 和 $r_{15}$ , 栅源电阻 $r_{12}$ 和 $r_{17}$ , 储能电感L1和L2, 滤波电容C2。其中, 由Q1, L1和C2组成的是单BUCK电路, 由Q1, Q2, L1, L2和C2组成的是双BUCK电路。

控制电路主要以脉冲宽度调制控制器TL494, 芯片U1为中心, 其外围由电阻 $r_1$ ,  $r_2$ ,  $r_3$ ,  $r_7$ 和电容C1, C3构成。另外, 还包括了电流检测电阻 $r_9$ , 运算放大器TL084, 芯片U2和电阻 $r_6$ ,  $r_{10}$ ,  $r_{16}$ 组成的反馈电路; 通过同相运算放大器U2进行放大后, 送入U1

收稿日期: 2011-04-13

作者简介: 李中启(1985-), 男, 湖南岳阳人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为直流开关电源及逆变电源,

E-mail: lzq19851202@126.com

内部的误差放大器与外部电路组成PI调节器。

驱动电路主要由互补驱动管T1~T4及脉冲变压器X1和X2组成<sup>[2]</sup>。

主电源V1为可变电电压源,

辅助电源是由V2和V3构成的 $\pm 15\text{ V}$ 电源。

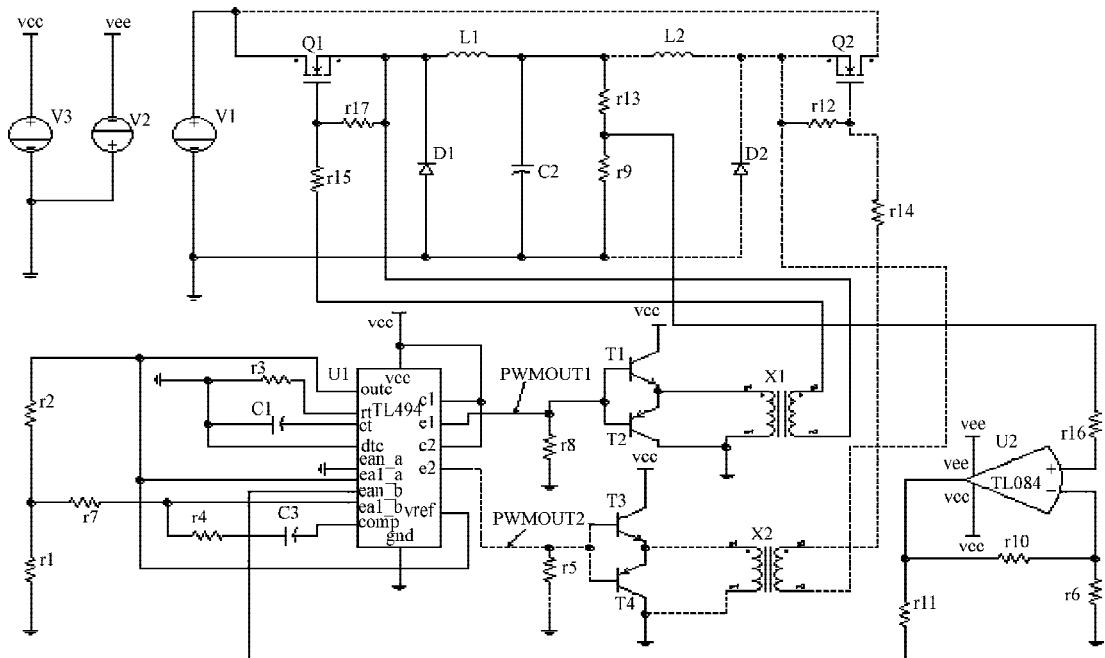


图1 双BUCK/单BUCK开关恒流源电路图

Fig. 1 Circuit diagram of double/single BUCK switch constant current source

## 1.2 工作原理

工作原理仅以单/双BUCK电路的异同之处进行说明。

单BUCK在开关管闭合时,储能电感通过负载构成回路,这时电感处于储能状态,负载吸收外部电源的能量;在开关管断开时,负载通过续流二极管吸取储能电感能量来维系电流<sup>[3]</sup>。如果电感量较小或开关管占空比较小,负载可能处于断续状态;另外,为减少电源输出的纹波,滤波容量相应增大。

双BUCK开关恒流源是在单BUCK开关恒流源基础上改进而成。当一个BUCK电路在开关管处于断开状态时,负载不但可以从当前BUCK电路的电感吸取能量,而且也可以从另一个BUCK电路吸取能量。因为使用功率和电感量越大的电感,其成本和发热的问题也越大。而双BUCK电路不需增加太多的电感量,也不需太大的电容器来滤波,负载电流就可达到持续的目的,同时电源也可实现倍频。

单/双BUCK开关恒流源相同的部分是,用检测电阻取得负载上电流信号<sup>[4]</sup>,把此电流信号经过同相放大器后送到PWM控制芯片的误差放大器一端,与误差放大器的参考端进行比较,用以调节PWM的占空比。

## 2 仿真分析与实验结果

### 2.1 Saber 仿真分析

根据双BUCK开关恒流源的工作原理和设计要求来进行参数计算,并利用仿真软件Saber提供的通用器件模型<sup>[5-6]</sup>,对其进行仿真验证。

#### 1) 开关恒流源设计要求。

输入电压范围为35~70 V DC;输出电压范围为5~15 V DC;恒流输出为 $(500 \pm 10)\text{ mA}$ 。

#### 2) 开关频率。

TL494是一个固定频率的脉冲宽度调制芯片,内置了线性锯齿波振荡器,振荡频率可通过外部的一个电阻和一个电容进行调节<sup>[7]</sup>。当设置振荡电阻为8.3 k $\Omega$ ,振荡电容为3.3 nF时,实际振荡频率约为20 kHz。相对于双BUCK开关恒流源,相当于倍频,即开关频率可达40 kHz<sup>[8-9]</sup>。

#### 3) Saber 软件仿真。

借助Saber仿真来进行参数设计,确定系统工作的稳定性,具有一定的指导意义<sup>[10]</sup>。根据上述设计要求,电感量取3 mH,电容取3  $\mu\text{F}$ 。Saber软件仿真结果如图2和图3所示。

图2为PWM调制芯片TL494产生的2路控制信

号 PWMOUT1 和 PWMOUT2, 2 路开关频率均约为 20 kHz。两者处于交替工作方式, 即通过互补驱动管和脉冲变压器驱动 2 个 MOSFET 开关管, 实现了 2 个 BUCK 电路交替工作。

图 3 为负载处的电流波形, 其中 Currentwave1 是输入电压为 35 V DC 时的电流波形; Currentwave2 是输入电压为 55 V DC 时的电流波形; Currentwave3 是输入电压为 70 V DC 时的电流波形。由图可知, 输出电流最终恒流并拟合在一起, 达到了恒流的目的。

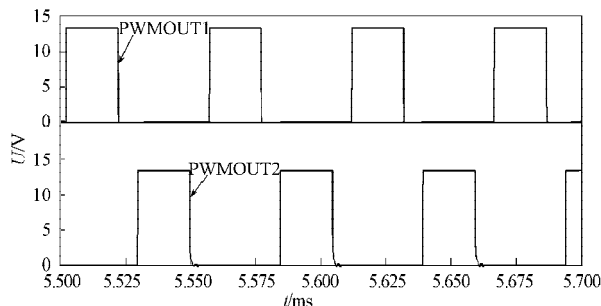


图 2 仿真的 PWM 输出波形

Fig. 2 PWM output waveform in simulation

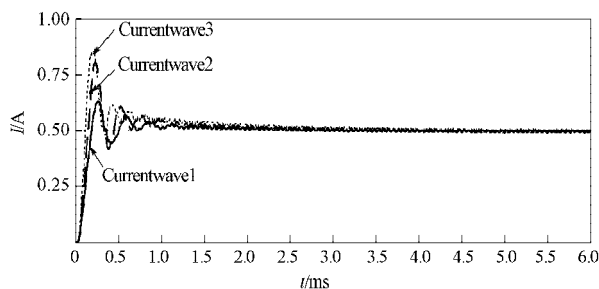


图 3 仿真的负载电流输出波形

Fig. 3 Current waveform of load in simulation

## 2.2 实验结果

根据上述双 BUCK 开关恒流源的工作原理、设计要求和参数计算, 设计出实际电路。采用泰克示波器 TDS2014 及其提供的图像捕捉软件对 2 路 PWM 波和输出电压进行测量, 实测结果如图 4 和图 5。

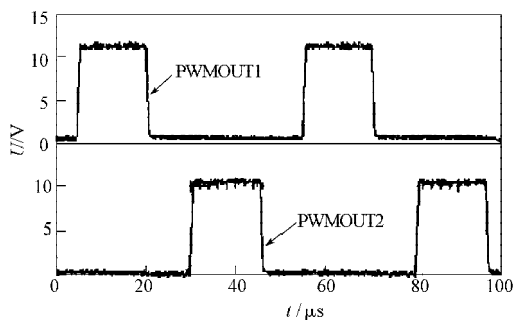


图 4 实测的 PWM 输出波形

Fig. 4 PWM output waveform in experiment

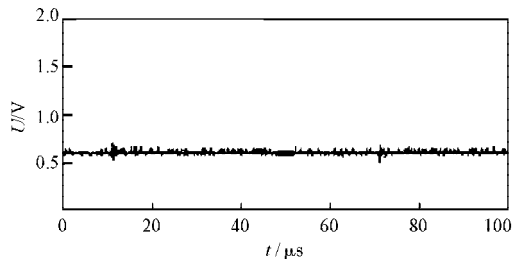


图 5 实测的输出电压波形

Fig. 5 Output voltage waveform in experiment

图 4 为 PWM 调制芯片 TL494 产生的 2 路控制信号, 2 路开关频率均约为 20 kHz, 两者处于交替工作方式。图 5 为实测的阻值为 1.2  $\Omega$  时, 金属膜电阻上的电压波形, 用电阻上的电压来代替输出电流, 并且在负载变化或电源电压变化时, 输出电流在设计要求的范围内变化。

由以上仿真和实验可得如下结论。

1) 双 BUCK 开关恒流源较单 BUCK 开关恒流源的主电路拓扑结构稍微复杂, 但控制回路基本相同。

2) 双 BUCK 开关恒流源采用 2 个回路给负载提供电能, 相对单 BUCK 开关恒流源拓扑结构, 功率开关管变为 2 个, 电源能量分摊, 又实现了倍频, 其电感量比单 BUCK 开关恒流源小, 其成本和损耗等指标得到明显改善。

3) 双 BUCK 开关恒流源中有一路不工作 (变成单 BUCK 电路), 在不考虑性能指标的情况下, 电源也能正常运行, 从而提高了系统的可靠性。

4) 采用一个阻值为 1.2  $\Omega$  的金属膜电阻把电流信号转换成电压信号, 用泰克示波器 TDS2014 对电阻上的电压进行了测量。由图 5 可知, 电阻上的电压值为 0.6 V, 从而电流值是 0.5 A, 达到了预期的效果。

## 3 结语

开关电源损耗和发热量的高低是衡量电源好坏的重要指标。开关损耗与频率以及开关时间成正比, 过高的开关频率是电源发热的主要原因。本文设计的双 BUCK 开关恒流源, 采用 Saber 提供的器件模型仿真设计, 并通过实际验证, 不但实现了倍频, 而且降低了开关损耗和电感体积, 有效地改善了开关恒流源的发热状况, 为高频化 BUCK 电路的设计提供了一种新思路。

## 参考文献:

- [1] 李明勇, 陈敏, 翟建勇, 等. 高频电感线圈损耗的分析和计算[J]. 电力电子技术, 2007, 41(9): 47-49.

(下转第 100 页)