

基于 H 桥的 DC-DC 变换器理论分析与仿真研究

夏益辉, 赵镜红, 张俊洪

(海军工程大学电气工程学院, 武汉 430033)

摘要: 传统的 Buck 电路只能实现单极性输出, 而对于一些需要双极性输出的场合如直流电机励磁控制器等, 则不能满足应用要求。基于 H 桥的 DC-DC 变换器在保证与 Buck 电路相同输出性能的前提下, 可以实现双极性输出。分析了基于 H 桥的 DC-DC 变换器基本结构, 探讨了其基本工作原理, 并对其在开环控制下输出性能进行了仿真研究。仿真结果表明基于 H 桥的 DC-DC 变换器是可行的。

关键词: 单极性输出 双极性输出 H 桥 DC-DC 变换器

中图分类号: TM46

文献标识码: A

文章编号: 1003-4862 (2017) 12-0015-04

DOI:10.13632/j.meee.2017.12.004

Simulation Research and Theoretical Analysis on DC-DC Converter Based on H-Bridge

Xia Yihui, Zhao Jinghong, Zhang Junhong

(College of Electric Engineering, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

Abstract: Traditional Buck converter only can output unipolar voltage, it does not satisfy application requirements of occasions which need bipolar output voltage such as DC motor excitation controller. On the premise of same output performances between H-bridge DC-DC converter and Buck converter, H-bridge DC-DC converter can achieve bipolar output. Basic structure of DC-DC converter based on H-bridge was analyzed and its basic principal also is discussed, and its output performances are emulated with open-loop control. Emulated results indicate that the proposed DC-DC converter based on H-bridge is feasible.

Keywords: unipolar output, bipolar output, H-bridge, DC-DC converter

0 引言

随着经济的快速发展和科学技术的不断进步, 电子产品种类不断增加, 电源作为电子产品的重要部件, 广泛的应用于国民经济、航空航天、船舶业和国防军事等各个领域和部门。相对于传统的线性电源, DC-DC 变换器因其具有变换效率和功率密度高等优异性能而得到越来越广泛的应用, 并正朝着高可靠性、高变换效率、低噪声、高频和高功率密度等方向发展^[1-3]。

传统的 Buck 电路由于电路简单、易于控制和技术成熟等优点, 目前在 DC-DC 变换器中应用依然比较广泛。文献[4,5]针对 Buck 电路小 ESR

电容时输出易发生谐波振荡问题进行了分析和抑制, 取得了较好的效果; 文献[6,7]提出采用固定关断时间控制用于提高 Buck 电路动态响应速度和轻载效率等, 可满足 VRM 对动态响应速度和轻载效率的要求; 文献[8]对固定关断时间控制进行了改进, 有效提高了系统稳定性。此外, 文献[9]对于 Buck 电路的控制方法进行了分析和研究。

针对传统 Buck 电路无法实现双极性输出的问题, 对其电路结构进行了改进, 提出基于 H 桥的 DC-DC 变换器, 通过对其进行理论分析和仿真研究, 基于 H 桥的 DC-DC 变换器可以获得与传统 Buck 电路相同的输出性能, 并可以实现双极性输出。

1 H 桥 DC-DC 变换器拓扑结构

收稿日期: 2017-09-22

作者简介: 夏益辉 (1987-), 男, 讲师, 博士。研究方向为电力电子与电力传动。

E-mail: xiayihui2005@163.com

H 桥 DC-DC 变换器电路结构如图 1 (a) 所示, 主要包括直流供电电源、功率管、滤波电感和滤波电容。滤波电感用于滤除高频谐波电流, 滤波电容用于滤除高频谐波电压。图 1 (b) 为传统 Buck 电路结构图。从图中可以看出, 基于 H 桥的 DC-DC 变换器比传统 Buck 电路多了 3 个功率管, 但少了一个续流二极管。

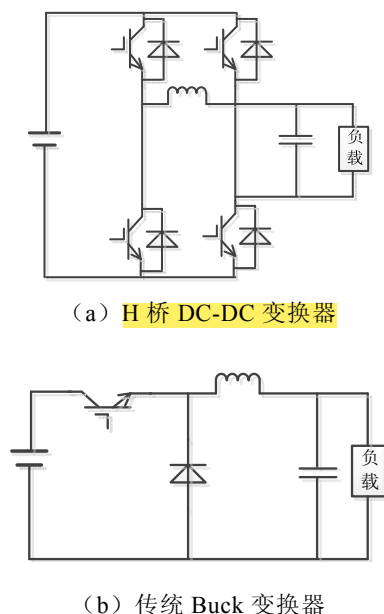


图 1 两种 DC-DC 变换器基本结构

2 H 桥 DC-DC 变换器工作原理

2.1 电容上端“+”下端“-”

等效电路如图 2 所示。 V_1 作为方向管, 用于控制电容输出极性, V_4 为斩波管, 用于调整电容两端输出电压大小。

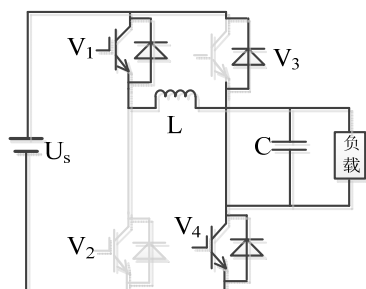


图 2 电容上端“+”下端“-”等效电路

图 2 共有两种工作模式: V_1 和 V_4 同时导通、 V_1 导通 V_4 关断。 V_1 和 V_4 同时导通如图 3 (a) 所示, 电流由直流电源“+”端流出, 经 V_1 、电感 L 向电容 C 和负载供电, 经 V_4 流向直流电源“-”端, 输出电压 U_c 为上“+”下“-”。 V_1 导通, V_4 关断如图 3 (b) 所示, 电流经 V_1 、电感 L 和电容 C (负载) 以及 V_3 的二极管续流, 在 V_4 下一个

开关周期导通前, 若电感中的电流不为 0, 则为续流模式; 若电感电流为 0, 则称为断流模式。

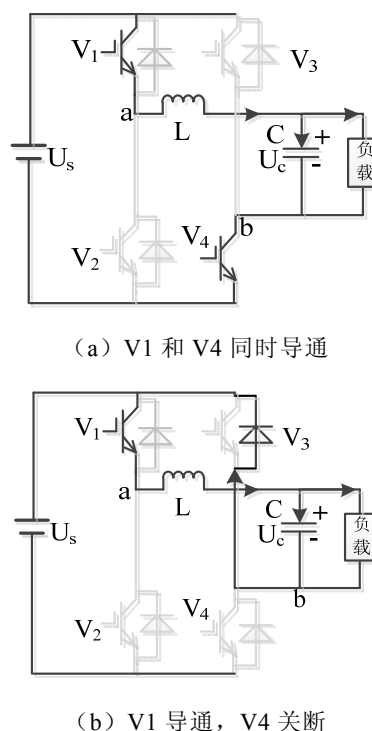


图 3 V_1 和 V_4 不同开关状态工作模式

假定功率器件、电感和电容都为理想器件, 线路中等效阻抗为零, 从图 3 可以获得在一个开关周期 T_s 内输出电流输出电压如图 4 所示。

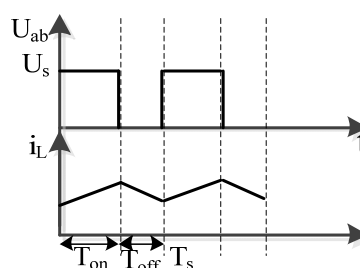


图 4 电感电流输出电压波形 (连续模式)

由图 4 可得输出电压 U_{ab} 及其平均值 U_c 为:

$$U_{ab} = \begin{cases} U_s & kT_s \leq t \leq T_{on} + kT_s \\ 0 & T_{on} + kT_s \leq t \leq (k+1)T_s \end{cases} \quad (1)$$

$$k = 0, 1, 2, \dots$$

$$U_c = \frac{T_{on}}{T_s} U_s \quad (2)$$

2.2 电容上端“-”下端“+”

等效电路如图 5 所示。 V_3 作为方向管, 用于控制电容输出极性, V_2 为斩波管, 用于调整电容两端输出电压大小。

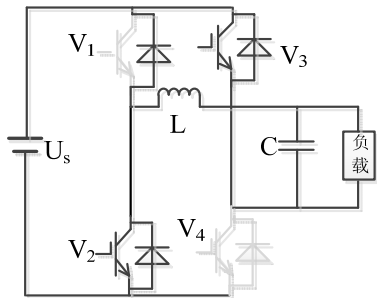


图 5 电容上端“-”下端“+”等效电路

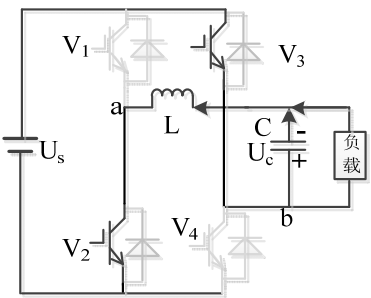
图 5 共有两种工作模态:V2 和 V3 同时导通、V3 导通 V2 关断。V2 和 V2 同时导通如图 6 (a) 所示, 电流由直流电源“+”端流出, 经 V3、电容 C (负载) 和电感 L, 再由 V2 流向直流电源“-”端, 输出电压 U_c 为上“-”下“+”。V3 导通, V2 关断如图 6 (b) 所示, 电流经 V3、电容 C (负载) 电感 L 以及 V1 的二极管续流。从图中可以看出, 输出电压平均值 U_c 为负的。

由上述分析可知, 采用基于 H 的 DC-DC 变换电路, 可以实现双极性的电压输出。

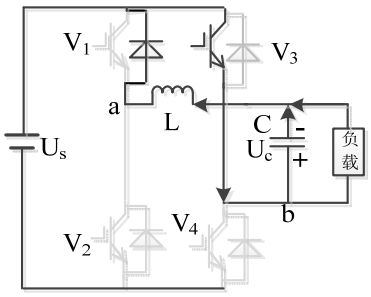
3 仿真验证

为了验证所提 H 桥的 DC-DC 变换器是否可行, 对其进行了仿真研究, 仿真参数如表 1 所示。

图 7 (a) 为输出电压正极性时 H 桥 DC-DC 变换器 (上面三个) 和传统 Buck 电路 (下面三个) 输出电压、电感电流和负载电流波形。图 7 (b) 为输出电压由正极性突变为负极性。



(a) V2 和 V3 同时导通



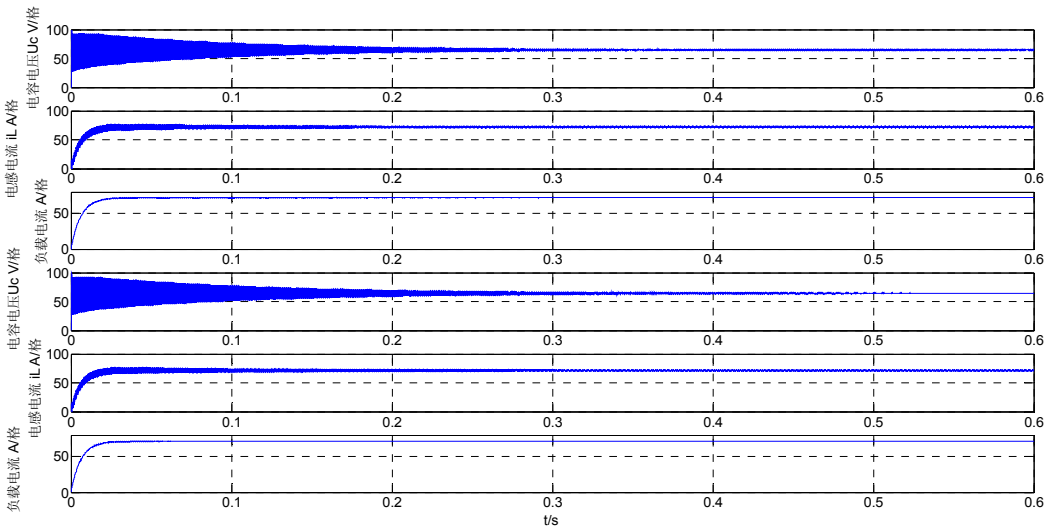
(b) V3 导通, V2 关断

图 6 V2 和 V3 不同开关状态工作模式

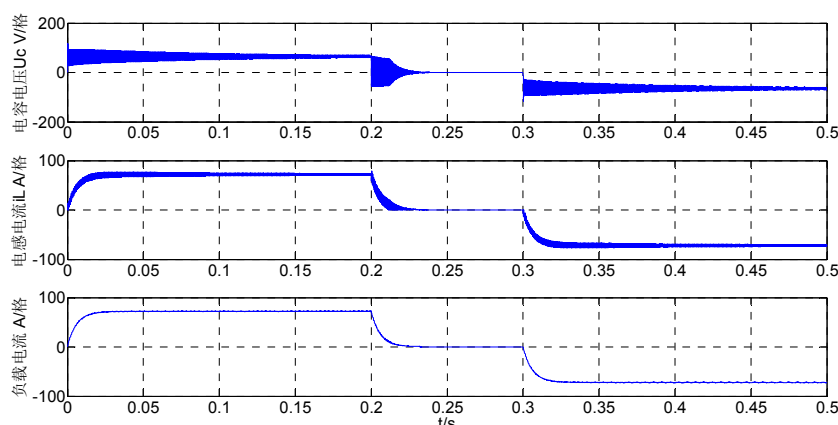
表 1 H 桥 DC-DC 变换器参数

变量	参数
直流电压	260 V
开关频率	10 kHz
输出滤波器	L=0.5 mH, C=20 μ F
阻感负载	$R_o=0.9 \Omega$, $L_o=5$ mH

从图 7 (a) 可以看出, H 桥 DC-DC 变换器和传统 Buck 电路输出性能相当; 从图 7 (b) 可以看出, 通过改变开关管导通顺序, 可以实现输出电压的极性转换。开关管占空比为 0.3, 输出电压为 75 V, 基本实现了输出期望电压的目的。



(a) 正极性输出



(b) 输出电压由正极性转换为负极性

图7 输出电压、电感电流和负载电流仿真结果

4 结论

针对传统 Buck 电路无法实现双极性输出的问题,提出一种基于 H 桥的 DC-DC 变换器电路结构,对其工作原理进行了分析,并进行了仿真对比研究。仿真结果表明,采用所提的 H 桥 DC-DC 变换电路不仅可以获得与传统 Buck 电路相当的输出性能,同时可以双极性输出。

参考文献:

- [1] Ni L Q, Dean J, Patterson J L. High power current sensorless bidirectional 16-phase interleaved DC-DC converter for hybrid vehicle application[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2012, 27(3): 1141-1151.
- [2] De D, Klumpener C, Patel C, et al. Modeling and control of a multi-stage interleaved DC-DC converter with coupled inductors for super-capacitor energy storage system[J]. IET Power Electronics, 2013, 6(7): 1360- 1375.
- [3] Hegazy O, Van M J, Lataire P. Analysis modeling and implementation of a multidevice interleaved DC/DC converter for fuel cell hybrid electric vehicles[J].

IEEE Transactions on Power Electronics, 2012, 27(11): 4445- 4458.

- [4] Lin Y C, Chen C J, Chen D, et al. A novel ripple-based constant on-time control with virtual inductance and offset cancellation for DC Power converters [C]. Energy Conversion Congress and Exposition, 2011: 1244- 1250.
- [5] 刘德尚. 片上纹波补偿高精度 AOT 控制 Buck 变换器的研究与设计[D]. 电子科技大学, 2014.
- [6] Redl R, Sun J. Ripple-based control of switching regulators an overview[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2009, 24(12): 2669-2680.
- [7] Bao B C, Zhang X, Xu J P, etc. Critical ESR of output capacitor for stability of fixed off-time controlled buck converter[J]. Electronics Letters, 2013, 49(4): 287-288.
- [8] 张希, 许建平, 包伯成, 等. 固定关断时间控制 Buck 变换器斜坡补偿技术及其机理研究[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(36): 6426-6434.
- [9] 杨航, 刘凌, 阎治安, 等. 双闭环 Buck 变换器系统模糊 PID 控制[J]. 西安交通大学学报, 2016, 50(4): 35-40.