

# 一种 Boost 型双输入推挽全桥双向 DC/DC 变换器

顾维忠, 宋佩云, 王勤, 肖岚

(南京航空航天大学 江苏省新能源发电与电能变换重点实验室, 江苏 南京 210016)

**摘要:** 在多输入双向变换器应用需求逐渐增多的背景下, 介绍了一种 Boost 型双向双输入推挽全桥 DC/DC 变换器的电路拓扑, 由于采用了双向脉冲电流源单元, 拓扑结构得到简化, 元器件数量较少、降低了系统的成本, 并且变压器起到了良好的隔离作用。详细分析了拓扑的五种工作模式, 具有实际应用价值, 推导了拓扑的输入输出关系。最后分析了仿真和实验结果, 验证了理论分析的正确性。

**关键词:** 多输入; 脉冲源; 双向; 推挽; 全桥

**DOI:**10.3969/j.issn.1000-3886.2015.04.025

[中图分类号] TM72; TN624 [文献标志码] A [文章编号] 1000-3886(2015)04-0074-03

## A Boost-type Push-pull Full-bridge Bidirectional DC/DC Converter with Two Inputs

GU Wei-zhong, SONG Pei-yun, WANG Qin, XIAO Lan

(Jiangsu Key Laboratory of New Energy Generation and Power Conversion in Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing Jiangsu 210016, China)

**Abstract:** In the background of gradually increasing demand on application of multiple-input bidirectional converters, this paper presents a circuit topology of a boost-type push-pull full-bridge bidirectional DC/DC converter with two inputs. Through adoption of a bidirectional pulse current source, the topological structure is simplified and the number of components reduced, thus lowering the cost of the system. Furthermore, the transformer isolation plays a good role. The paper analyzes in detail five working topology modes with practical application values and derives its input-output relationship. Finally, it analyzes the simulation and experimental results and verifies the correctness of the theoretical analysis.

**Keywords:** multiple-input; pulse source; bidirectional; push-pull; full-bridge

### 0 引言

随着科技和社会生产的发展, 对双向直流变换器的需求逐渐增多, 主要包括电池的充放电、电动汽车、不间断电源系统, 太阳能发电系统、航空电源系统等应用场合。随着应用场合的逐渐增多, 双向直流变换器研究的重要性日益突出。

另一方面, 新能源的发展解决了能源危机和环境污染等问题, 新能源联合供电也变得日益广泛, 这就要求变换器也要满足多种能源联合供电<sup>[1]</sup>的要求。如图 1 所示为基于多输入直流变换器<sup>[2-5]</sup> (Multilevel-Input DC-DC Converter, MIC) 的新能源联合发电系统。其中燃料电池和超级电容可以双向供电。

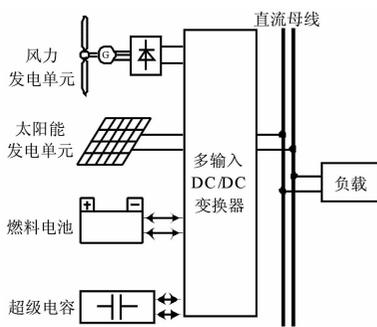


图 1 基于多输入直流变换器的新能源联合发电系统

文献[6]提出了一种基于推挽电路的双向直流变换器, 如图 2 所示, 该变换器原边采用推挽电路, 副边采用全桥电路, 可以实现能量的双向流通。

本文在此基础上介绍了一种推挽 Boost 型双输入推挽全桥双向 DC/DC 变换器<sup>[6-7]</sup>的工作原理, 推导了该拓扑的输入输出关系, 最后制作了一台原理样机进行试验, 验证理论分析的正确性。

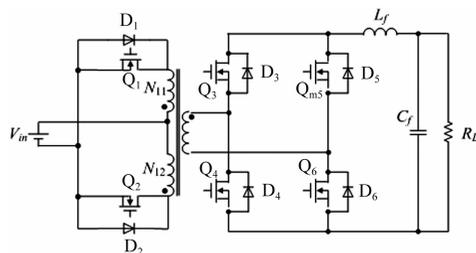


图 2 推挽全桥双向 DC/DC 变换器

### 1 Boost 型双输入推挽全桥双向 DC/DC 变换器工作原理

图 3 为 Boost 型双输入双向 DC/DC 变换器原理图, 变换器前级采用双向脉冲电流源单元 (Bidirectional Pulsating Current Source Cell, 简称 BPCSC)<sup>[8]</sup>, 原副边的电气隔离是通过变换器来实现的, 原边为推挽型电路, 副边为全桥电路, 该变换器有五种工作模式:

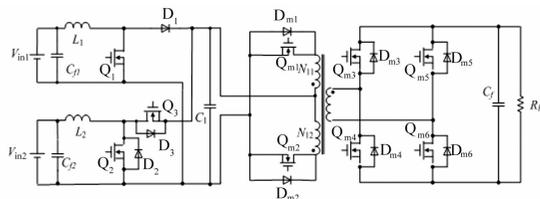


图 3 Boost 型双输入推挽全桥 DC/DC 变换器

工作模式 I:如图 4

(a)所示,1#源单独供电,开关管  $Q_2$ 、 $Q_3$  关断,1#源经过 Boost 电路升压后经过变压器给负载供电,变压器原边开关管推挽工作状态,副边二极管全桥整流。

工作模式 II:如图 4

(b)所示,2#源单独供电,只需给开关管  $Q_2$  提供 Boost 闭环驱动信号,  $Q_3$  不需要工作,变压器原边开关管推挽工作状态,副边二极管全桥整流。

工作模式 III:如图 4(c)所示,1#源和 2#源联合供电,  $Q_1$ 、 $Q_2$  工作在 Boost 闭环状态,  $Q_3$  不工作,变压器原边开关管推挽工作状态,副边二极管全桥整流。

工作模式 IV:如图 4(d)所示,负载给 2#源反馈电能,此时  $Q_3$  工作在 Buck 闭环状态,  $Q_2$  不工作,变压器原边  $D_{m1}$ 、 $D_{m2}$  工作在全波整流状态,副边  $Q_{m3}$ 、 $Q_{m4}$ 、 $Q_{m5}$ 、 $Q_{m6}$  工作在全桥双极性控制状态。

工作模式 V:如图 4(e)所示,1#源直接给 2#源充电,此时只有  $Q_3$  工作在 Buck 闭环状态,  $Q_1$ 、 $Q_2$ 、 $Q_{m1}$ 、 $Q_{m2}$  都不工作。

## 2 输入输出关系

为了保证推挽正常工作,必须协调 BPCSC 和母变换器单元开关管的工作。其控制原则为:调节 BPCSC 单元开关管实现输出电压的稳定和能量分配;调节母变换器单元开关管实现能量传递,并保证变压器不至饱和<sup>[9]</sup>。

现假设开关管占空比分别对应为  $D_{Q1}$ 、 $D_{Q2}$ 、 $D_{Q3}$ 、 $D_{Qm1}$ 、 $D_{Qm2}$ 、 $D_{Qm3}$ 、 $D_{Qm4}$ 、 $D_{Qm5}$ 、 $D_{Qm6}$ ,其中正向时推挽开关管在防直通前提下接近 50% 占空比工作,反向时全桥对管也在防直通前提下以接近

50% 占空比工作;而 Boost 前级工作在电感电流连续方式下,变压器匝比为  $n$ ,推导出输入输出关系为:

正向:

$$V_o = \frac{V_{in1}}{n(1 - D_{Q1})} \quad (1)$$

$$V_o = \frac{V_{in2}}{n(1 - D_{Q2})} \quad (2)$$

$$I_o = nI_{in1}(1 - D_{Q1}) \quad (3)$$

$$I_o = nI_{in2}(1 - D_{Q2}) \quad (4)$$

当 1#源单独供电时,输出电压为公式(1)中  $V_o$ ,输出电流为公式(3)中的  $I_o$ ;当 2#源单独供电时,输出电压为公式(2)中的  $V_o$ ,输出电流为公式(4)中的  $I_o$ ;当 1#源和 2#源联合供电时,由于母线电容的存在,输出电压会取公式(1)、公式(2)中的较高的电压,而输出电流则为公式(3)中  $I_o$  + 公式(4)中的  $I_o$ ,相当于联合供电提供了不足的电能。

反向反馈电能时:

$$V_{in2} = nV_o D_{Q3} \quad (5)$$

$$I_{in2} = nI_o D_{Q3} \quad (6)$$

1#源给 2#源充电时:

$$V_{in2} = V_{in1} D_{Q3} \quad (7)$$

$$I_{in2} = I_{in1} D_{Q3} \quad (8)$$

## 3 仿真实验

为了验证该 Boost 型双输入推挽全桥双向 DC/DC 变换器工作原理的正确性,利用 Saber 软件搭建电路模型对电路进行仿真,电路结构如图 9 所示,仿真参数如下:

- (1) 1#源输入电压:  $V_{in1} = 48 \text{ V}$
- (2) 2#源输入电压:  $V_{in2} = 36 \text{ V}$
- (3) 母线电压:  $V_{bus} = 60 \text{ V}$
- (4) 前级开关管开关频率: 100 kHz
- (5) 推挽电路开关管频率: 50 kHz

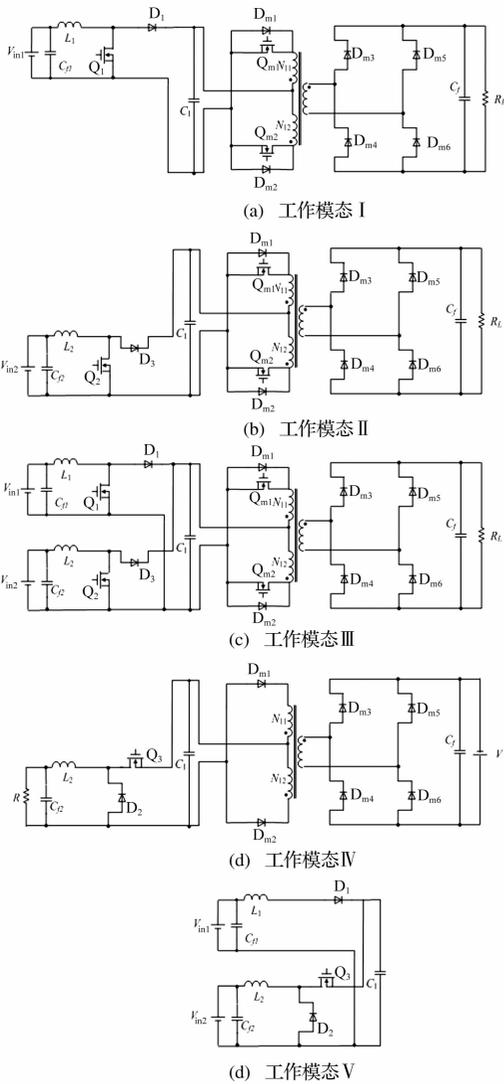
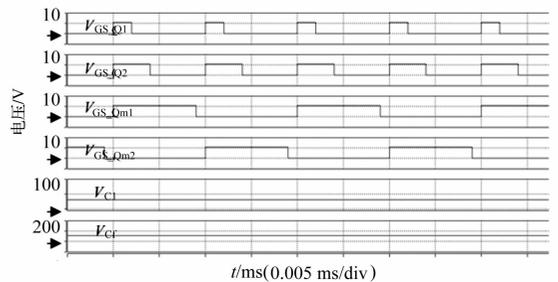
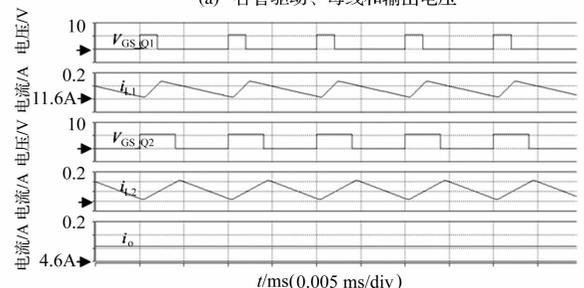


图 4 主要工作模式



(a) 各管驱动、母线和输出电压



(b) 各端口输入电流和输出电流

图 5 1#源和 2#源联合供电时的主要波形

(6) 额定输出功率:  $P_o = 600 \text{ W}$

(7) 额定输出电压:  $V_o = 120 \text{ V}$

图5给出了1#源和2#源联合供电时的主要波形,图中无特别标度的箭头表示参考点0。图5(a)自上到下  $V_{GS\_Q1}$ ,  $V_{GS\_Q2}$ ,  $V_{GS\_Qm1}$ ,  $V_{GS\_Qm2}$ ,  $V_{Cl}$ ,  $V_{cf}$  分别为1,2#驱动波形,推挽母变器驱动波形,母线电压,输出端电压。由波形可以看出前级两个 Boost 电路输出可以在母线电容上稳定,通过推挽母变器隔离传送到输出端。图5(b)从上到下  $V_{GS\_Q1}$ ,  $i_{L1}$ ,  $V_{GS\_Q2}$ ,  $i_{L2}$ ,  $i_o$  分别为1#驱动波形,1#后接 Boost 电感波形,2#驱动波形,2#后接 Boost 电感波形,输出电流,由图可以看出 Boost 都工作在电流连续状态,输出电流能够稳定。

图6给出了负载给2#源反馈能量时的主要波形。图中从上到下  $V_{GS\_Qm3}$ ,  $V_{GS\_Q2m4}$ ,  $V_{GS\_Qm5}$ ,  $V_{GS\_Qm6}$ ,  $V_{Cl2}$ ,  $i_{L2}$  依次为全桥四个开关管的驱动波形,  $Q_3$  相当于 Buck 单元的驱动波形,输入电压,输入电流,由图可以看出,全桥单元能够将能量隔离反馈到2#充电,电压电流稳定。

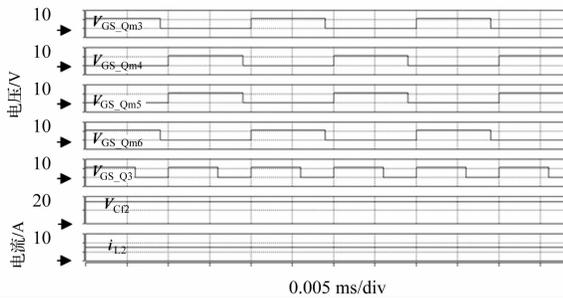


图6 全桥各管驱动、 $Q_3$  驱动、2#源充电电压及电流

从仿真波形可以验证该电路正反向工作的可行性,同时电路各输出电压电流都和理论分析一致。

### 4 实验结果及分析

在仿真基础上,根据给定参数制作了一台原理样机,并给出与仿真相对应的实验波形(见图7)。

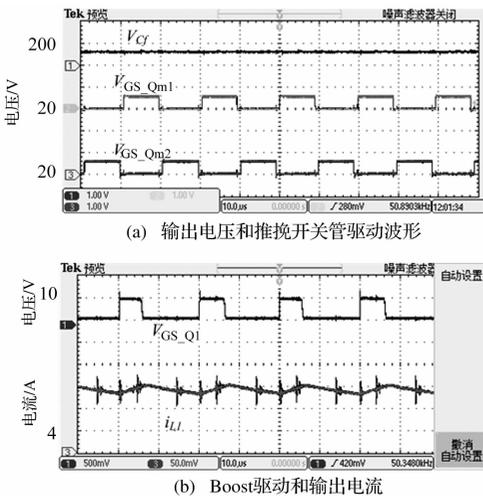
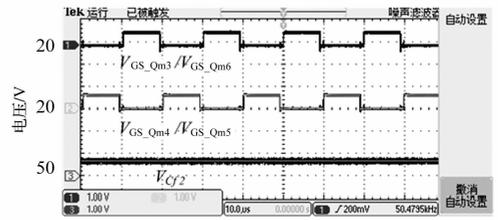
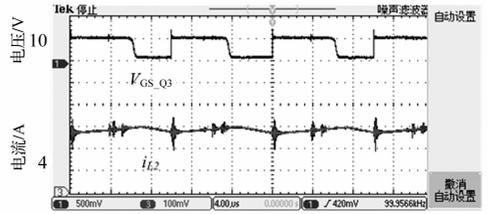


图7 1#源单独供电时的主要波形

从实验波形可以看出,正反向输出电压电流都稳定,电路能正常工作。由于漏感和开关管寄生电容的存在,开关管开断瞬间



(a) 全桥驱动波形和充电电压



(b) BUCK电路驱动和充电电流

图8 负载给2#源反馈能量时的主要波形

都有电流尖峰存在,而且前级开关管和母变器开关管都会产生电流尖峰,所以需要一定的吸收电路加以限制。

### 5 结束语

在新能源和双向变器广泛应用的今天,本文采用 BPCSC 并联组合给出了一种 Boost 型双向双输入推挽全桥 DC/DC 变换器的电路拓扑,并且详细分析了该拓扑的五种工作模式,推导了输入输出关系,最后通过仿真和实验验证了理论分析的正确性。

#### 参考文献:

- [1] 李艳. 多输入直流变换器电路拓扑及控制策略研究 [D]. 南京:南京航空航天大学, 2009.
- [2] KIM S K, JEON J H, CHO C H, et al. Dynamic modeling and control of a grid-connected hybrid generation system with versatile power transfer [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2008, 55 (4): 1677 - 1688.
- [3] WAI R J, LIN C Y, LIN C Y, et al. High-efficiency power conversion system for kilowatt-level stand-alone generation unit with low input voltage [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2008, 55 (10): 3702 - 3710.
- [4] 王勤. 单原边绕组隔离型多输入变换器的研究 [D]. 南京:南京航空航天大学, 2011.
- [5] 王蕾. Boost 型单原边绕组双向双输入全桥 DC/DC 变换器 [M]. 南京:南京航空航天大学, 2012.
- [6] 刘玉龙. 一种基于推挽电路的双向直流变换器的研究 [M]. 河北:燕山大学, 2010.
- [7] 马兰, 钱荔. 电流型推挽全桥双向变换器的研究 [J]. 电力电子技术, 2008, 42 (1): 21 - 23.
- [8] 阮洁. 多端口直流变换器的研究 [M]. 南京:南京航空航天大学, 2011.
- [9] 程慕宇. Boost 型单原边绕组电流源型多输入全桥变换器 [J]. 电源学报, 2012, (1): 64 - 70.

【作者简介】顾维忠(1989-),男,江苏张家港人,硕士生,主要研究领域为多输入直流变换器。宋佩云(1991-),女,江苏泰州人,硕士生,主要研究领域为并网逆变器。王勤(1967-),男,江苏江阴人,教授,主要研究领域为多输入变换器电力电子变换以及新能源发电系统。肖岚(1971-),女,江苏南京人,教授,主要研究领域为航空电源系统,新能源发电系统。