

滞环电流控制双 Buck – Boost 逆变器*

敖志勇, 张加胜, 陈荣

(中国石油大学(华东), 信息与控制工程学院, 山东 青岛 266580)

摘要:提出了一种滞环电流控制双 Buck – Boost 逆变器拓扑。通过将两个 Buck – Boost 变换器的输出端反并联, 恰当增加负载电流续流通路, 并采用滞环电流控制技术, 成功实现了对单相交流电的跟踪输出。文中详细分析了新型逆变器的工作原理和控制策略, 并在 MATLAB/SIMULINK 平台上进行了仿真实验, 该逆变器在两输入电压相等或相差较大的范围内均能实现对给定电流波形的快速跟踪, 并取得较好的波形质量, 仿真结果验证了新型逆变器方案的可行性。

关键词:Buck – Boost; 滞环电流; 逆变器; 交流输出

中图分类号: TM464

文献标识码: B

文章编号: 1001 – 1390(2014)05 – 0087 – 04

Hysteresis Current Controlled Dual Buck-Boost Inverter

AO Zhi-yong, ZHANG Jia-sheng, CHEN Rong

(College of Information and Control Engineering, China University of Petroleum, Qingdao 266580, Shandong, China)

Abstract: A novel hysteresis current controlled dual Buck-Boost inverter is presented in this paper. In order to obtain an inverter which can realize single-phase alternating current tracking output, two Buck-Boost topologies are combined which are inverse parallel connected on output side. The load current reflowing circuit is added to the novel inverter, and the hysteresis current control method is used. Working principle and control strategy of the novel inverter are analyzed in detail in this paper. Simulation model is built with MATLAB/SIMULINK, and simulation experiment is carried out. No matter the input DC voltages are equal or different, the novel inverter can track the preset current wave quickly with good output waveform. The simulation results show the feasibility of the novel inverter scheme.

Key words: Buck-Boost, hysteresis current, inverter, AC output

0 引言

DC/AC 逆变器是应用电力电子器件, 将直流电能转换成满足交流负载供电要求电能的一种静止式交流装置, 可用于向负载供给交流电或并网发电^[1]。目前, DC/AC 逆变器已广泛应用于很多领域, 比如在光伏发电并网系统中, 逆变器就是其核心部件^[2]。传统逆变器大多采用桥式逆变主电路结构, 为了获得更高性能的逆变器, 作为有别于传统逆变器的另一种实现方案, 基于基本 DC/DC 变换器拓扑的 DC/AC 逆变器, 越来越受到人们的关注^[3], 这类逆变器大致可以分为两类: 一类是由单个 DC/DC 变换器进行双向化改造而来, 通常由 DC/DC 逆变器和输出电压极性变换电路两部分组成, 参考文献[4 – 5]提出

的基于 Buck 变换的新型逆变器属于这种结构, 该逆变器与传统逆变器相比具有开关损耗小, 成本低等优点。另一类是由两个 DC/DC 变换器输出端组合而来, 是近年来才出现的一种新型逆变器, 本文将它称为组合式逆变器。参考文献[6]提出的 Buck DC – AC 逆变器即属于这种结构, 采用双环控制, 与传统逆变器相比, 输出电压纹波小, 总谐波失真度 (THD) 较小, 电流动态响更快。参考文献[7 – 8]提出的双 Buck 逆变器以及参考文献[9]提出的双 Buck – Boost 单级逆变器也属于这种结构, 采用输出端并联组合的方式, 并应用半周控制策略, 即每个 DC/DC 变换电路只在输出电压的半个周期内工作, 正半周内变换电路 1 工作, 变换电路 2 不工作, 输出正极性电压, 负半周内变换电路 2 工作, 变换电路 1 不工作, 输出负极性电压。

* 基金项目: 山东省科技发展计划项目 (2013GSF11607)

本文提出了一种滞环电流控制双 Buck - Boost 逆变器,通过将两个 Buck - Boost 变换器拓扑的输出端反并联,恰当增加负载电流续流通路,并应用滞环电流控制技术,实现对交流正弦电流的跟踪输出,并取得良好效果。

1 双 Buck - Boost 逆变器的工作原理

1.1 工作原理

本文提出的滞环电流控制双 Buck - Boost 逆变器拓扑如图 1 所示,正/反组 Buck - Boost 变换器输出端反并联连接,开关器件 S_1 、 S_2 、 S_3 和 S_4 均采用全控器件,其中 S_1 、 S_2 控制反组变换器工作, S_3 、 S_4 控制正组变换器工作,增加的二极管 D_2 、 D_4 分别在正/反组变换器工作期间为阻感负载提供续流回路。为实现 DC/AC 变换,正/反组变换器需要配合工作,按照图 1 中给出的正负参考极性,在正半周内只有正组变换器工作,提供正极性输出电流, D_2 和反组的部分电路为阻感负载提供续流回路,在负半周内只有反组变换器工作,提供负极性输出电流, D_4 和正组的部分电路为阻感负载提供续流回路。在正组变换器工作期间, S_3 由固定脉宽的 PWM 脉冲驱动,控制正组变换器输出直流电压, S_4 采用滞环电流控制,使负载电流跟随给定值变化, S_3 的 PWM 驱动信号只有在 S_4 导通期间才有效,当 S_4 关断时, S_3 也必须关断,反组变换器在负半周内也按相同的规律控制。

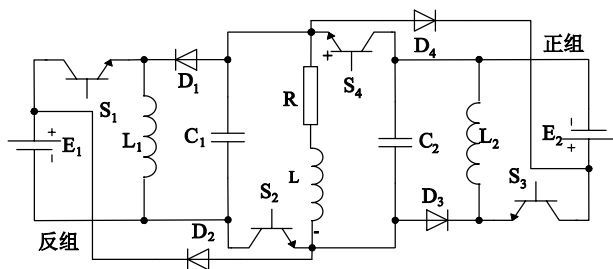


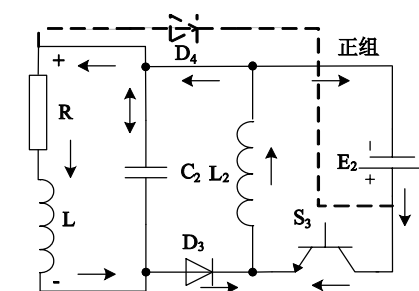
图 1 双 Buck-Boost 逆变器主电路

Fig. 1 Main circuit of dual Buck-Boost inverter

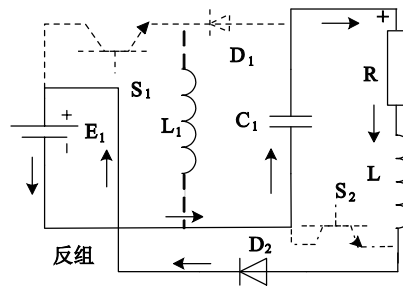
1.2 双 Buck-Boost 逆变器工作模式

由于正/反组变换器工作过程相同,简化起见,只对正组进行分析,按照 S_4 的通断状态可将正组工作过程分为输出阶段和续流阶段,图 2 是正组变换器工作模式图。

图 2(a)对应输出阶段: S_4 导通, S_3 的 PWM 驱动信号有效,正组变换器向阻感负载提供正极性电压,负载电流上升,当负载电流增加到大于给定电流值时, S_4 关断,进入续流阶段。



(a) 输出阶段



(b) 续流阶段

图 2 正组变换器工作模式

Fig. 2 Operation modes of the forward converter

图 2(b)对应续流阶段: S_4 关断, S_3 的 PWM 驱动信号无效,正组变换器停止工作,续流二极管 D_2 导通,由于 S_1 、 S_2 均关断,阻感负载 $\rightarrow D_2 \rightarrow E_1 \rightarrow C_1$ 形成回路,负载向 E_1 回馈能量,负载电流逐渐减小,当减小到小于给定电流值时, S_4 重新导通,返回到输出阶段,完成一个循环。正/反组变换器结构对称,工作模式相同。

2 双 Buck-Boost 逆变器控制方案

为了实现以上工作原理,对双 Buck-Boost 逆变器采用图 3 所示控制方案。为实现负载电流对给定信号的跟踪, S_2 、 S_4 采用滞环电流控制,滞环电流控制作为开关功率变换器的一种主要控制方式,具有结构简单、易于实现、动态响应快等优点^[10-11],当逆变器的输入电压或阻感负载大范围变化时,能够通

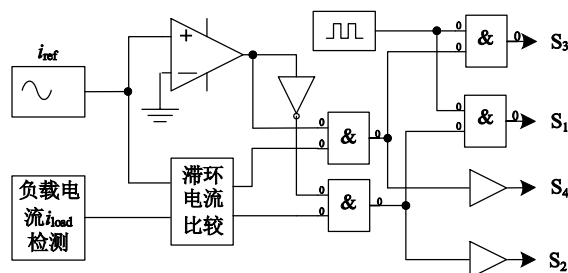


图 3 系统控制框图

Fig. 3 System control diagram

过电流闭环控制使输出电流紧随给定量变化,提高系统的鲁棒性、改善动态性能。设 S_4 的驱动信号为 v_4 , 滞环电流比较器的环宽为 $2h$, 给定电流为 i^* , 阻感负载电流为 i_{load} , 在正半周内, 当 $i_{load} - i^* > h$ 时, v_4 为低电平, S_4 关断, 正组变换器进入续流阶段; 当 $i_{load} - i^* < -h$ 时, v_4 为高电平, S_4 导通, 正组变换器进入输出阶段。 v_4 与固定脉宽的 PWM 信号相与后产生 S_3 的驱动信号, 也就是说只有在 v_4 有效时才允许 PWM 信号驱动 S_3 工作, 在其他情况下 S_3 都处于关断状态。在负半周内, 当 $i^* - i_{load} > h$ 时, v_2 为低电平, S_2 关断, 反组变换器进入续流阶段; 当 $i^* - i_{load} < -h$ 时, v_2 为高电平, S_2 导通, 反组变换器进入输出阶段。 v_2 与固定脉宽的 PWM 信号相与后产生 S_1 的

驱动信号, 也就是说只有在 v_2 有效时才允许 PWM 信号驱动 S_1 工作, 在其他情况下 S_1 处于关断状态。

3 仿真及试验结果分析

本文在 MATLAB/SIMULINK 平台搭建了滞环电流控制双 Buck-Boost 逆变器的仿真模型, 如图 4 所示, 图 4(a) 是电路仿真模型, 其中 i_c^* 模块用于给定参考电流, Multimeter 模块用于检测负载电流, 图 4(b) 是 Current Tracking 子模块内部结构图, 用于实现滞环电流控制。电路参数: 电容 $C_1 = C_2 = 22\mu\text{F}$, 电感 $L_1 = L_2 = 10\mu\text{H}$, 阻感负载 $R = 10\Omega$, $L = 10\text{mH}$, S_1/S_3 的 PWM 脉冲占空比 25%, 频率为 15.36kHz, 环宽 $\pm 0.05\text{A}$, 开关器件选用 MOSFET。

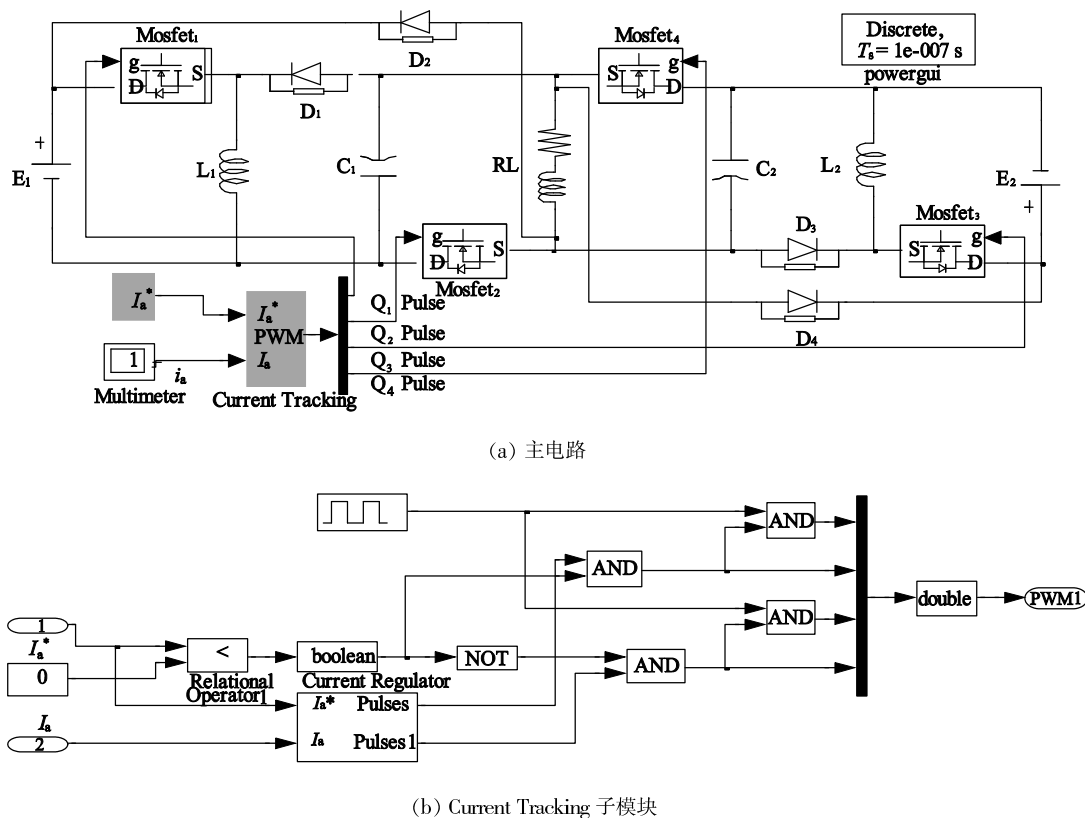


图 4 电路仿真模型

Fig. 4 Circuit simulation model

图 5 是续流二极管 D_2/D_4 的电流波形, 可见, 续流二极管 D_2/D_4 只在正/负半周内导通, 在正半周内 D_2 为正组变换器续流, D_4 处于关断状态, 在负半周内 D_4 为反组变换器续流, D_2 处于关断状态。仿真结果与理论分析一致。

图 6(a) 是在 $E_1 = E_2 = 12\text{V}$, 给定电流幅值 1A, 频率 50Hz 时的负载电流波形, 为了缩短电路进入稳态的

时间, 电容电压的初始值设置为 $U_{C1} = U_{C2} = 30\text{V}$ 。可见, 双 Buck-Boost 逆变器对幅值 1A 的电流波形跟踪效果很好, 同时, 可以发现在过零点跟踪波形出现缺口, 这是由于环宽的存在, 逆变器不能跟踪小于环宽的电流波形, 如果环宽减到足够小, 则可以减小过零点的缺口, 但这是以升高 S_2/S_4 的开关频率为代价的, 实际应用时应权衡考虑跟踪精度和开关频率。

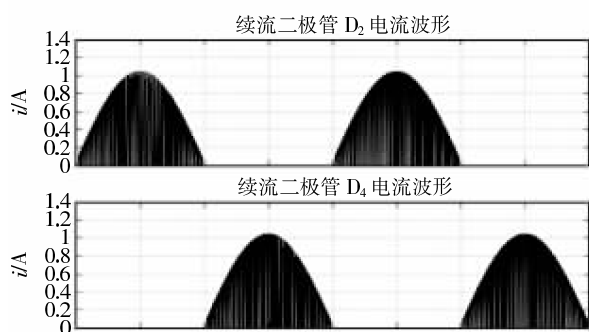
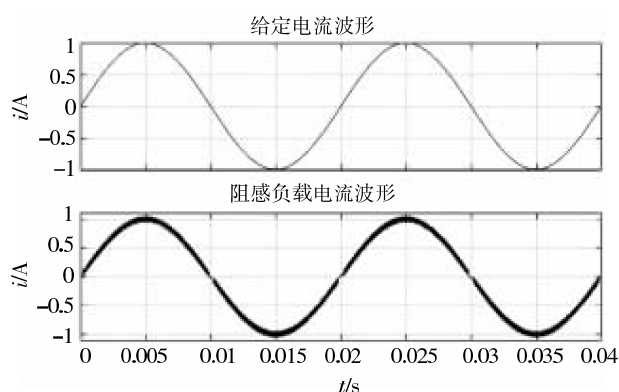
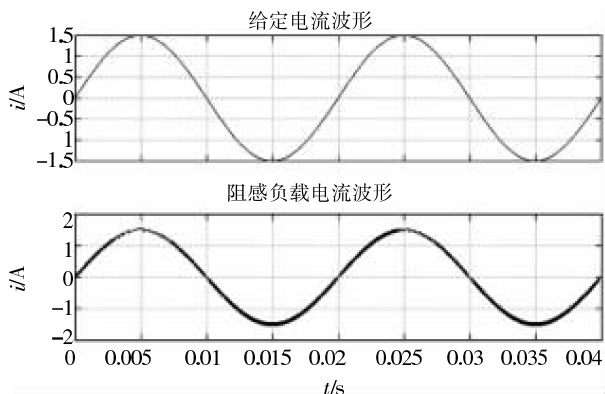


图5 续流二极管电流波形

Fig. 5 Current waveforms of fly-wheel diodes



(a) $E_1=E_2=12V$



(b) $E_1=100V, E_2=12V$

图6 阻感负载电流波形

Fig. 6 Current waveforms of inductive load

图6(b)是在 $E_1=100V, E_2=12V$, 给定电流幅值 $1.5A$, 频率 $50Hz$ 时的负载电流波形, 电容电压的初始值改为 $U_{C1}=250V, U_{C2}=30V$ 。分析波形可知, 虽然反组电源电压远大于正组电源电压, 但负载电流仍能保持对给定电流的快速跟踪, 对比正/反组电流跟踪波形, 正组输出的正半周电流波形顶部较稀疏, 这是因为正组输入电压小, 在 S_1/S_3 的 PWM 脉冲占

空比相同的情况下其输出电压也小, 对大电流的跟踪能力有限, 如果增大 S_1/S_3 的 PWM 脉冲占空比, 则可以提高逆变器对大电流的跟踪能力, 消除电流波形的畸变。可见, 在不同输入电压情况下, 该逆变器仍能正常工作。仿真结果验证了滞环电流控制双 Buck-Boost 逆变器的可行性。

4 结束语

在基本 Buck-Boost 变换器拓扑之基础上, 提出了一种滞环电流控制双 Buck-Boost 逆变器, 详细分析了该逆变器的工作原理和控制方案。利用 MATLAB/SIMULINK 建立了新型逆变器的仿真模型, 进行了仿真分析, 该逆变器可以实现对单相交流电的快速跟踪输出, 且在两输入电压相差较大的情况下, 仍能正常工作, 并取得良好效果。仿真实验结果验证了新型逆变器方案的可行性。

参考文献

- [1] 张友军. DC/AC 逆变器技术及其应用综述[J]. 电气开关, 2004, (6): 18-22.
ZHANG You-jun. Summarization of DC/AC Inverter Technology and Application[J]. Electric Switchgear, 2004, (6): 18-22.
- [2] 邹晓, 易灵芝, 张明和, 等. 光伏并网逆变器的定频滞环电流控制新方法[J]. 电力自动化设备, 2008, 28(4): 58-62.
ZOU Xiao, YI Ling-zhi, ZHANG Ming-he, et al. Constant-frequency Hysteresis Current Control of PV Grid-connected Inverter[J]. Electric Power Automation Equipment, 2008, 28(4): 58-62.
- [3] 黄敏俊, 谢运祥, 陈江辉. 基于 DC/DC 变换的新型逆变电路研究[J]. 通信电源技术, 2008, 25(3).
HUANG Min-jun, XIE Yun-xiang, CHEN Jiang-hui. The Introduction of Control Techniques and Strategy of Inverter[J]. Telecom Power Technologies, 2008, 25(3).
- [4] 邱添泉, 谢运祥. 一种基于 Buck 变换的新型逆变器[J]. 通信电源技术, 2005, 22(5): 8-11.
QIU Tian-quan, XIE Yun-xiang. A Novel Inverter Based on Buck Converter[J]. Telecom Power Technologies, 2005, 22(5): 8-11.
- [5] 谢运祥, 邱添泉. 基于 Buck 变换的新型逆变器及其稳定性分析[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2006, 34(10).
XIE Yun-xiang, QIU Tian-quan. A Novel Inverter Based on Buck Conversion and Its Stability Analysis[J]. Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition), 2006, 34(10).
- [6] 陈江辉, 谢运祥, 黄敏俊, 等. 基于双环控制的 Buck DC-AC 逆变器[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2009, 37(2).
CHEN Jiang-hui, XIE Yun-xiang, HUANG Min-jun, et al. Buck DC-AC Inverter Based on Double-Loop Control[J]. Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition), 2009, 37(2).
- [7] 洪峰, 单任仲, 王慧贞, 等. 一种新型的磁集成双 Buck 逆变器[J]. 电工技术学报, 2007, 22(6): 76-81.

(下转第 95 页)