

双 Boost 逆变及用于高频链矩阵式逆变器

闫朝阳, 李建霞, 贾民立, 邹伟扬

(燕山大学电力电子节能与传动控制河北省重点实验室, 河北 秦皇岛 066004)

摘要:适应高频链能量变换的特点,提出一种新型双 Boost 高频逆变电路,该拓扑由两个全控开关和两个储能电感构成,通过占空比大于 0.5 的控制方法实现高频升压及逆变输出。相对普通的全桥高频逆变电路,该拓扑可减少开关个数以提高变换效率,缩小高频变压器变比进而减小其体积和分布参数,因此可广泛应用于具有高频逆变要求的电路中。在分析其结构特点及工作原理的基础上,提出一种以双 Boost 高频逆变电路与典型三相输出型高频链矩阵变换器相结合的新拓扑,详细分析了 Boost 电感电流连续模式(CCM)下该电路高频开关周期内的工作状态,给出了相应的仿真和实验波形,结果证实了该拓扑在高频链能量变换器中应用的可行性及其控制方案的合理性。

关键词:逆变器; 高频链; 矩阵变换器

中图分类号: TM464

文献标识码: A

文章编号: 1000-100X(2010)05-0023-03

Research on Dual-Boost Invert and Its Application in High Frequency linked Matrix Inverter

YAN Zhao-yang, LI Jian-xia, JIA Min-li, WU Wei-yang

(Key Lab of Power Electronics for Energy Conservation and Motor Drive of Hebei Province,
Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China)

Abstract: According to the characteristics of high-frequency linked energy conversion, a new type of topology-double Boost high-frequency inverter circuit is proposed. The new topology consists of two fully-controlled switches and two storage inductors, and can achieve boost in any switching cycles by duty ratio greater than 0.5 control method. Compared to full-bridge high frequency inverter circuit, it can reduce the inverter circuit switches, and the high-frequency transformer turns ratio, it also can reduce the size of the transformer and distribution parameters. The topology can be widely used in many high-frequency conversion circuits as the invert circuit. Based on the description of the structural features and work principles of the new circuit, a new type of high frequency linked inverter is proposed based on the combination of dual-Boost invert and matrix converter, and the various working conditions in one high frequency AC cycle are analyzed, and the relevant simulation and experimental waveforms are also shown. The results prove that the application of the new topology and its control strategy of energy change in the high-frequency link converter are feasibility.

Keywords: inverter; high frequency link; matrix converter

Foundation Project: Supported by the Key Program of the National Natural Science Foundation of China (No.50237020, No.50837003); Qinhuangdao Foundation for Development of Science and Technology (No.200901A019)

1 引言

1976年 L Gyugyi 和 B R Pelly 提出经典矩阵变换器(Matrix Converter, 简称 MC)的概念和电路拓扑。1977年 P M Espelage 和 B K Bose 提出了高频链逆变技术的新概念^[1]。高频链逆变技术与常规逆变技术的最大不同在于其利用高频变压器实现能量传递以及输入与输出的电气隔离,从而减小了变压器的体积和重量,降低了成本,提高了电能利用率,改善了逆变器的工作特性。

按电路拓扑结构形式,高频链逆变器通常可分为 DC/DC 变换型(DC-HFAC-DC-LFAC)和矩阵变换

型(DC-HFAC-LFAC)^[2-4]两种。矩阵变换型逆变器在变压器初级通过 DC/HFAC 逆变(简作“前级”)获得高频交流;在变压器次级采用交流双向开关构成的矩阵变换器(简作“后级”)实现 HFAC/LFAC 转变,省去了中间直流储能环节,可实现单级功率变换和双向能量传输,通态损耗小,整机效率和可靠性高,正日益成为研究热点。

提出一种 Boost 变换型高频逆变电路,采用两只功率开关和两个升压电感实现既升压又逆变的功能^[5]。针对高频链逆变器以高频交流环节耦合能量的特点,又将其用于矩阵型逆变器的前级,构建出一种新的三相输出型高频链矩阵逆变器。

首先介绍经典的和所提出的高频链单相/三相矩阵变换式逆变器拓扑;在给出双 Boost 高频逆变电路设计思路的基础上,对所构建的基于双 Boost 逆变前级的三相输出型高频链逆变器进行工作模式分析;然后通过仿真和实验验证其可行性。

基金项目:国家自然科学基金重点项目(50237020,50837003);

秦皇岛市科学技术研究与发展项目(200901A019)

定稿日期: 2009-11-25

作者简介: 闫朝阳(1976-),男,河北望都人,博士研究生,研究方向为电力电子与电力传动。

2 拓扑结构及其原理分析

2.1 三相输出型高频链矩阵式逆变器

提出一种双 Boost 高频逆变电路, 可适用于变压器前级 DC/AC 环节, 用以产生后级矩阵变换器所需的高频交流输入, 据此构建的新型三相输出型矩阵逆变器如图 1 所示。

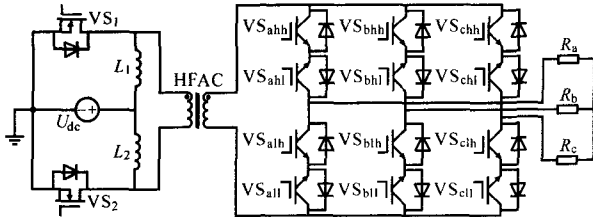


图 1 双 Boost 前级高频链单相/三相矩阵变换式逆变器

2.2 双 Boost 高频逆变器

2.2.1 双 Boost 高频逆变器的推衍

图 2a 为传统单管 Boost 直流斩波器, 由全控型开关 VS、二极管 VD、升压电感 L 和电容 C 构成, 其功能是以斩控方式实现输入直流电压的升压输出。图 2b 为交错并联型双 Boost DC/DC 变换电路。

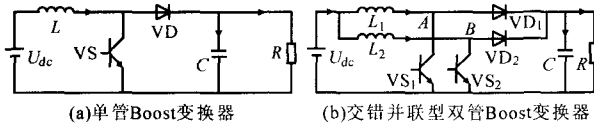


图 2 Boost 变换器拓扑

图 1 所示的前级双管 Boost 高频逆变电路可由交错并联双管 Boost 变换器衍化而来: 将图 2b 中的二极管 VD₁ 和 VD₂ 省去, 把负载跨接于 A, B 两点 (VD₁ 和 VD₂ 的阳极处) 即可得到, 这里在 A, B 处接入高频变压器及其后级单相/三相矩阵变换器, 从而构建出图 1 所示的新型高频链逆变器。

对于双管 Boost 高频逆变器, 以两重两相的 PWM 方式控制两套 Boost 电路可实现直流向高频交流的转换, 由此可知, 该拓扑具有广泛的应用扩展性, 通过适当的拓扑组合, 可应用于多种具有高频交流需求的直接或隔离型变换电路中。

2.2.2 主要工作特性及数量关系

以下主要给出有关升压电感以及占空比确定的数量关系。Boost 电路有电感电流连续 (CCM) 和断续 (DCM) 两种工作模式。临界连续时的临界电感值为:

$$L_0 = \frac{Rd(1-d)^2}{2f} \quad (1)$$

式中: d 为电路开关占空比, f 为开关频率, R 为负载电阻。

当 $L > L_0$ 时, Boost 电路工作在 CCM, 当 $L < L_0$ 时, Boost 电路工作在 DCM。这里设计电路工作于 CCM, 此时输出电压满足:

$$u_0 = \frac{1}{1-d} U_{dc} \quad (2)$$

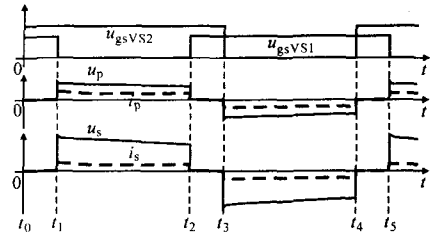
此外该 Boost 高频逆变的特别之处在于两套电路的开关有重叠导通时段, 即应满足 $d > 0.5$ 。这样既

可给后级矩阵变换器提供带有死区的交流电压以创造可能的软开关环境, 又可在死区期间给变压器漏感提供能量回路以消除其造成的矩阵变换器开关应力, 从而实现安全换流。

下面结合图 1 所示的电路拓扑就前级 CCM 模式下的工作状态进行分析。

2.3 双 Boost 前级 CCM 方式下逆变器工作模式

当后级的矩阵式变换电路采用方波调制, 前级 Boost 电路工作在 CCM 模式时, 将双 Boost 电路一个高频逆变周期的电路工作状态分成 4 个工作时间段, 如图 3 所示。



u_p, i_p 为变压器初级电压、电流; u_s, i_s 为变压器次级电压、电流

图 3 CCM 下高频逆变周期内的理想波形

前级对应标号的开关驱动信号 u_{gsVS1} 和 u_{gsVS2} 的幅值相同, 图中以不同值绘出主要为了体现 $d > 0.5$ 的工作特征。设 a, b, c 三相输出电流 $i_a > 0, i_b < 0, i_c > 0$, 针对此扇区任意高频交流周期, 分别列出各时间段的工作模式。

(1) 模态 1 ($t_0 \sim t_1$) VS_1, VS_2 同时导通。一方面变 u_p 被箝位为零, 若考虑其漏感的存在, 此时变压器漏感中贮存的能量将通过 VS_1, VS_2 以及电源的负端形成续流回路, 从而可以避免过电压的出现; 另一方面两个储能升压电感 L_1 和 L_2 分别与两个开关形成通路, 此时两电感均处于储能状态。

(2) 模态 2 ($t_1 \sim t_2$) t_1 时刻, VS_1 关断, VS_2 导通。由于 VS_1 的关断, L_1 中的电流将通过变压器初级形成续流通路, 且处于逐渐减小的状态, 感应出与电源同方向的电压, 此时 u_p 为两者电压的叠加, 实现升压输出。此外由于 VS_2 一直处于导通状态, L_2 一直处于储能阶段。该时段初级电压表达式为:

$$u_p = U_{dc} + L_1 \frac{di_p}{dt} \quad (3)$$

(3) 模态 3 ($t_2 \sim t_3$) t_2 时刻, VS_1, VS_2 同时导通。此阶段的工作状态类同模态 1。 $t_0 \sim t_3$ 时段 L_2 一直处于储能状态, 高频时且 CCM 模式下可认为电感电流的平均值为直流输入侧电流的一半, 即为 $I_{dc}/2$, 则 t_3 时刻 L_2 的储能为:

$$W = \frac{1}{2} L_2 \left(\frac{1}{2} I_{dc} \right)^2 = \frac{1}{8} L_2 I_{dc}^2 \quad (4)$$

(4) 模态 4 ($t_3 \sim t_4$) t_3 时刻, VS_2 由导通变为关断, VS_1 保持导通。类似模态 2, 一方面 L_2 的感应电压和电源串联完成变压器初级的升压输出; 另一方

面 L_1 通过 VS_1 进行储能。 u_p 的表达式及 L_1 的储能同样分别可类同由式(3),(4)的形式表示。

至此,完成了 Boost CCM 模式下的一个高频逆变周期工作状态的分析,可知 CCM 模式下可实现升压及逆变功能,当开关频率较高时,两电感中的电流可视为恒定,且两电流之和等于电源电流。

3 实验验证

实验参数为:直流电压 30 V;变压器变比 1:1;三相阻性对称负载 $R=30 \Omega$;Boost 电路的开关频率 $f=50 \text{ kHz}$, $d=0.75$,则由式(1)可得 $L_0 \approx 14.063 \mu\text{H}$,升压电感 $L_1=L_2=20 \mu\text{H}$ 。图 4 示出实验波形。

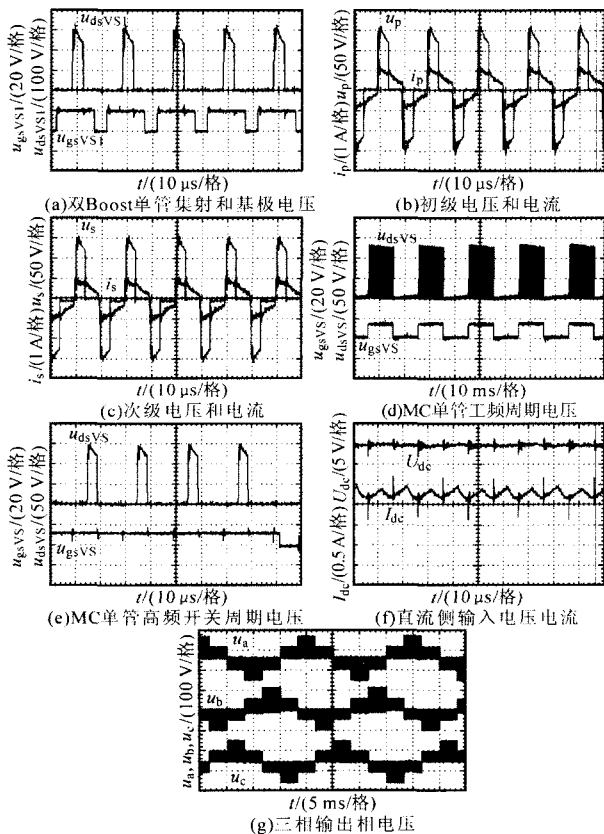


图 4 实验波形

可见图 4b,c 中当变压器的输出电压为零时电流却不为零,其原因是实际变压器中的漏感及回路电感储能所致,由此也从实验的角度证明了该拓扑能够实现系统电流的安全流动;图 4d,e 为 MC 单管的集射受压和基极驱动波形,可见受压均匀,无过冲产生,说明此时系统换流安全;由图 4f 可见直流输入侧电流有一定的波动,且其波动频率是升压电感中电流波动频率的 2 倍;图 4g 所示三相输出相电压波形的对称度良好,从而证实了所提拓扑的可行性及方案的合理性。

4 结论

双 Boost 型高频逆变电路具有结构简单、总开关损耗低的特点。另外,通过适当的升压电感设计和占空比大于 0.5 控制可保证新型 Boost 高频逆变电路的高频升压输出,进而可降低高频链变压器的匝比,减小其分布参数对系统的影响。由于双 Boost 逆变电路实现的是 DC/HFAC 的能量变换,故该新型拓扑还可广泛推广到多种需要高频逆变交流的电路中,可知对其工作特性的进一步研究具有一定的实用价值。

参考文献

- [1] P M Espelage, B K Bose. High Frequency Link Power Conversion[J]. IEEE Trans. on IA, 1977, 13(5): 338-394.
- [2] 张承慧,周 廷,杜春水,等.基于 FPGA 的高频链逆变器控制电路的设计[J].电力电子技术,2006,40(3): 39-41.
- [3] 缙黎明,吴保芳,赖向东,等.高频环及周波变流器组合式三相变频器的分析[J].电力电子技术,1999,33(3): 8-11.
- [4] 孙向东,钟彦儒,任碧莹.一种新颖的高频环节 DC/AC 变换器的控制方法研究[J].电工技术学报,2003,18(6): 19-22,36.
- [5] 闫朝阳,李建霞,郑颖楠,等.基于 SPWM 调制的双 Boost 单级 DC/AC 电路研究[J].电力电子技术,2007,40(9): 17-18,95.

(上接第 12 页)电网,电能质量高,是永磁同步风力发电机并网的理想平台。

4 结论

永磁同步发电机由于结构简单、无需励磁绕组、效率高的特点而在中小型风力发电机中应用广泛;AC/DC/AC 方式的系统与电网并联运行由于采用频率变换装置进行输出控制,因此并网时没有电流冲击,对系统几乎没有影响。

通过实验进行验证,经过上述变换后,输出信号的相位、谐波、功率因数均满足设计要求,功率效率高,并网输出电能质量好,是永磁同步风力发电机并网的理想平台。

参考文献

- [1] 刘细平,林鹤云.风力发电机及风力发电控制技术综述[J].大电机技术,2007,(3): 7-19.
- [2] 郭新生.风能利用技术[M].北京:化学工业出版社,2007.
- [3] 邱阿瑞,柴建云,孟 朔,等.现代电力传动与控制[M].北京:电子工业出版社,2004.
- [4] 姜淑忠.空间矢量 PWM 算法的理解[J].伺服控制技术,2006,2(1): 38-40.
- [5] ZENG Q, CHANG L, SONG P. SVPWM-based Current Controller with Grid Harmonic Compensation for Three-phase Grid-connected VSI[A]. Proceedings of IEEE 35th Annual Power Electronics Specialists Conference, PESC'04[C]. Aroheia, Germany, 2004, (4): 2494-2500.