

耦合电感低电压应力 Boost 变换器

段玉波 伍旭灿 闫俊泉 张弈鹏

(东北石油大学 大庆 163000)

摘要:提出了一种可应用于光伏发电系统的含耦合电感低电压应力 Boost 变换器。因传统的 Z-源 Boost 变换器开关元件直接与负载相连而具有较高的电压应力,所提出的变换器通过耦合电感将开关元件与负载进行了隔离,可以有效减小开关元件的电压应力。新的变换器不仅保留原 Z-源网络优点,同时可以在占空比相同的情况下通过调节耦合电感匝比来获得更高的电压增益。简要分析了所提拓扑的运行流程,并通过仿真验证了所提拓扑的可行性。

关键词:耦合电感;低电压应力;Z-源

中图分类号: TM131 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 470.4031

Low voltage Boost converter with coupled inductor

Duan Yubo Wu Xucan Yan Junquan Zhang Yipeng

(Northeast Petroleum University, Daqing 163000, China)

Abstract: This paper presents a low voltage stress Boost converter which can be applied to photovoltaic system. Because of the switch of the traditional Z-source Boost converter connected with load directly with high voltage stress, the proposed converter isolations switch element and load by coupled inductor, the voltage stress of the switching element reduced effectively. The new converter not only retains the advantages of the original Z-source network, but also can obtain higher voltage gain by adjusting the ratio of the coupled inductor at the same duty cycle. The operation process of the proposed topology is analyzed, and the feasibility of the proposed topology is verified by simulation.

Keywords: coupled inductor; low voltage stress; Z-source

0 引言

随着经济社会的迅猛发展,能源危机及环境日益恶化等问题迫切需要得到解决,风能、太阳能、生物质能等一些可再生的清洁能源成为人们研究的重点^[1-4]。在由光伏电池、燃料电池、储能装置(如蓄电池、超级电容)等组成的并网发电系统中,由于光伏电池、燃料电池、储能装置的电压远远不能满足并网逆变所要求的输入侧电压值,具有较高增益及效率的 DC/DC 变换器在其中扮演者不可替代的角色^[5-9]。

因此,对满足需求的 DC/DC 变换器的设计成为众学者的研究课题。到目前为止,多种多样的电压增益技术被广泛的研究,例如电压倍增器、开关电感、开关电容、耦合电感、电压提升以及级联 Boost 等技术。

Z-源网络的概念首次是 Peng 提出来的^[10]。如图 1 所示,Z-源网络是一个由电感和电容串并联的 X 型结构,可

以应用在各种各样的电力变换器中。传统逆变器没有直通这一状态,因此电压增益受限制,但 Z-源逆变器可以充分利用这一状态来获得更高的电压增益,因此对 Z-源逆变器的研究快速成为人们的焦点。但它依旧有许多不足之处,例如输入电流不连续、高电压应力以及有限的电压增益。此外,输入电源与输出侧逆变桥不共地。为了克服这些问题,许多新的阻抗网络结构在大量的研究中被提出^[11-15]。这些改进的 Z-源网络结构中,准 Z-源网络结构简单但有效的克服了那些缺点。相比于普通的 Z-源网络,准 Z-源结构的输入电流连续,输入电源与输出侧逆变桥共地并且电容的电压应力得到了显著的降低。文献[16]提出了一类混合型 Z-源 Boost 变换器,如图 2 所示。这类变换器通过不同的方法结合传统 Z-源网络与准 Z-源网络获得,保留了前面所说的那些优点的同时还有更高的电压增益。略有不足的是,变换器中的开关元件直接与输出相连,具有较高的电压应力。

收稿日期:2017-04

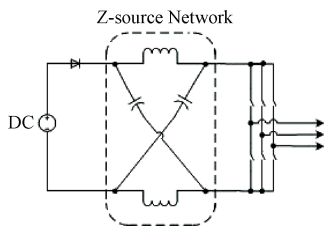


图1 Z-源逆变器

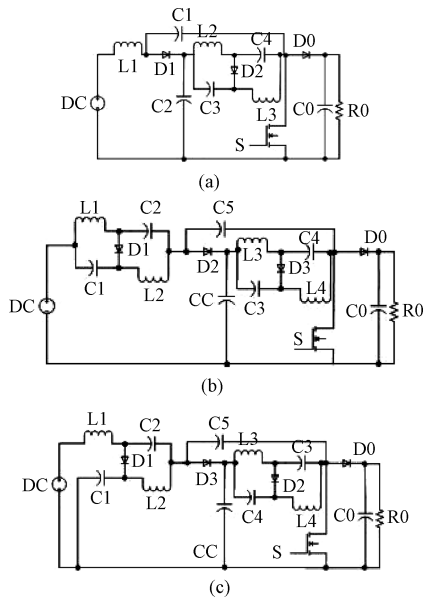


图2 混合Z-源变换器

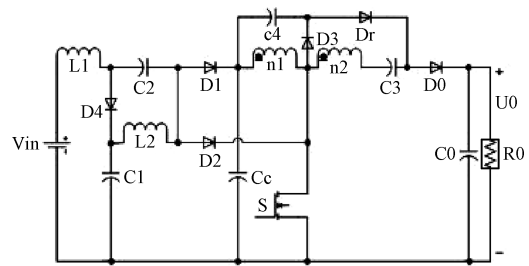
本文提出了一种带耦合电感的Z-源Boost变换器,此变换器不仅包含了原变换器的优点,同时开关元件两端的电压值得到了很大的改善,从而可选用损耗更低、性能更佳的元件来降低变换器输出损耗以提高效率。最后通过使用MATLAB软件进行仿真,验证了电路拓扑的可行性。

1 工作原理

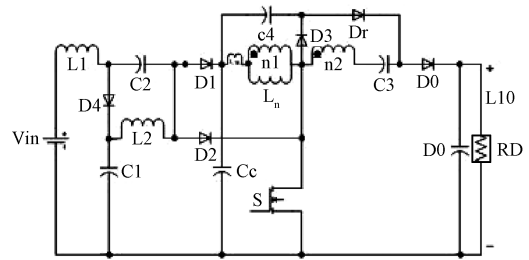
本文提出的Boost变换器如图3所示。图3(b)为其对应的等效电路,其中 L_{1k} 为漏感, L_m 为励磁电感, L_{1k} 与 L_m 还有 n_1 的串并联结构对应耦合电感。为方便分析拓扑的工作运行过程,特做出如下假设:1)所有器件均是理想器件,不考虑寄生参数的影响;2)电容足够大,电容电压可被视为一个定值。

电路稳定工作的时候,在一个开关周期 T 电路拓扑及等效电路时间内,变换器大致可以分成3个时态,各时态输入电流和二极管理流的波形及电流的流向分别如图4和图5所示,其主要运行过程如下:

1) 工作模式1 $[t_0-t_1]$: t_0 时刻脉冲置1,开关管S收到触发信号导通,二极管D1、D3、D4、D0因承受反向电压而截止,D2、Dr导通。电容C1、C2放电,电感L1、L2存储能量,电流 i_{L1} 线性上升。励磁电感 L_m 和漏感 L_{1k} 在电容



(a) 电路拓扑



(b) 等效电路

图3 电路拓扑及等效电路

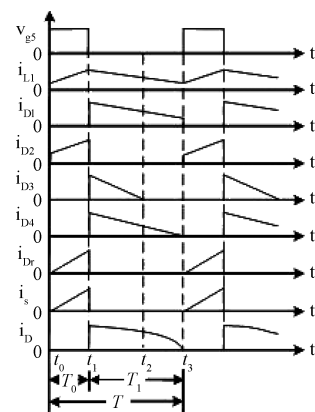


图4 变换器的主要工作波形

C_c 的作用下,电流近似线性上升,同时,副边绕组等效为一个脉冲电压源与 VC_c 和 VC_4 串联为电容C3充电,此时负载又电容C0提供能量。到达 t_1 时刻,驱动信号为0,开关管S断开,跳转到下一时态。

2) 工作模式2 $[t_1-t_2]$:开关管S关断,D3导通,开关管的电流来不及降为0,换流到D3,此时漏感 L_{1k} 中的能量向电容C4传输,C4充电。与此同时,D4导通,电容C1和C2充电。D0导通,原边漏感 L_{1k} 中的电流继续下降,同时通过副边绕组 n_2 和电容C3向负载传递能量,副边绕组上流过的电流下降。到达 t_2 时刻,电容C4充完电,二极管D3因承受反向电压而截止,此运行状态完成。

3) 工作模式3 $[t_2-t_3]$:开关管S依旧处于断开状态,二极管D1、D4、D0导通,D2、D3和Dr承受反向电压截止,能量流向负载端,直到驱动信号的到来。

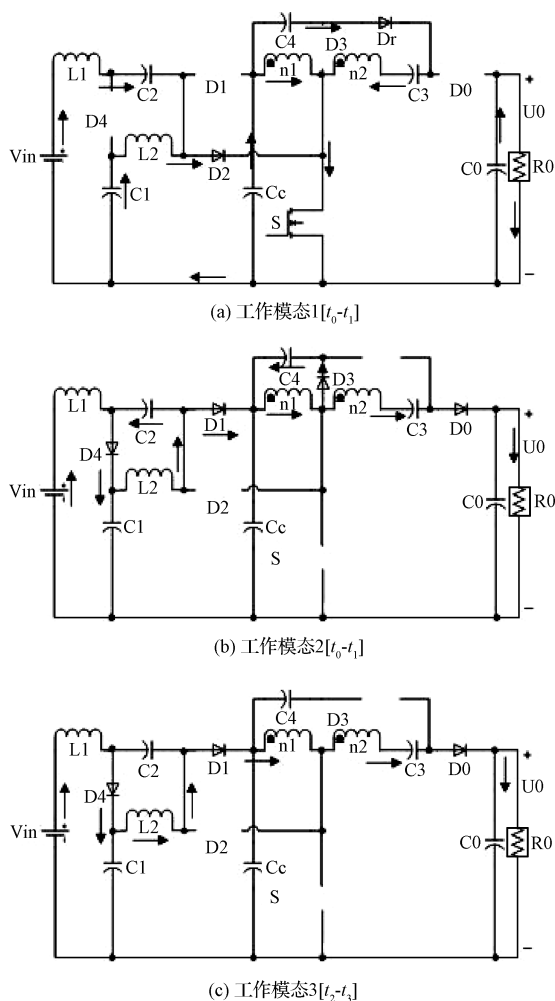


图5 各运行模式的电流流向

2 性能分析

2.1 电压增益

当驱动信号置1使S导通时,电感L1和L2的充电电压为

$$U_{L1\text{-charge}} = U_{in} + U_{C2}$$

$$U_{L2\text{-charge}} = U_{C1}$$

励磁电感的励磁电压为

$$U_{Lm\text{-charge}} = U_{Cc}$$

当S关断时,电感L1和L2的电压以及励磁电感的去磁电压分别为

$$U_{L1\text{-discharge}} = U_{in} - U_{C1}$$

$$U_{L2\text{-discharge}} = U_{C2}$$

$$U_{Lm\text{-discharge}} = (U_{Cc} + U_{C3} - U_0) / (1 - N)$$

式中: D 为驱动信号为1的时间与一个脉冲方波总时间的比值(占空比), N 为耦合电感变比(n_2/n_1)。

电压增益 M 可以通过励磁电感 L_m 以及电感 L_1 、 L_2 的伏秒平衡建立等式求得

$$M = \frac{V_0}{V_{in}} \approx \frac{2 + N + D}{(1 - D)^2}$$

根据 M 与变比 N 及占空比 D 之间的关系可以根据需要设置合理的 N 和 D 以达到预期的目标值。

2.2 电压应力

分析拓扑的3个运行状态,开关管S所承受的电压应力可表示为:

$$U_{S\text{-stress}} = U_{Cc} + U_{C4}$$

各二极管的电压应力应为:

$$U_{D1\text{-stress}} = U_{Cc}$$

$$U_{D2\text{-stress}} = U_{Cc}$$

$$U_{D3\text{-stress}} = U_{C4}$$

$$U_{D4\text{-stress}} = U_{C1}$$

$$U_{Dr\text{-stress}} = U_{C3}$$

$$U_{D0\text{-stress}} = U_0$$

可以看出,开关管两端所承受的电压远小于输出电压,除了二极管 D_0 的电压应力与输出电压相等外,其他二极管的电压应力均与输出电压相去甚远,因此可以使用一些低损耗高收益的二极管和开关管,从而改善变换器输出性能。

3 实验结果分析

为验证以上分析的正确性,使用MATLAB软件进行仿真。仿真参数如下:输入电压 $U_{in} = 10\text{ V}$;Z-源网络中的电容 $330\text{ }\mu\text{F}$,电感 $470\text{ }\mu\text{H}$,输出电感 $470\text{ }\mu\text{F}$,匝数比 n 为2,励磁电感 $L_m = 100\text{ }\mu\text{H}$,漏感 $L_{lk} = 2.93\text{ }\mu\text{H}$,开关频率 20 kHz ,输出电阻 $1\text{ }000\text{ }\Omega$ 。

占空比 $D = 0.2$ 时,电感 L_1 、二极管 D_1 、 D_2 以及 D_0 的电流仿真波形如图6所示,与理论分析的基本上没差别,从图中还能看到,流经这几个二极管的电流值都很小,所提出的Boost变换器二极管具有较低的电流应力。

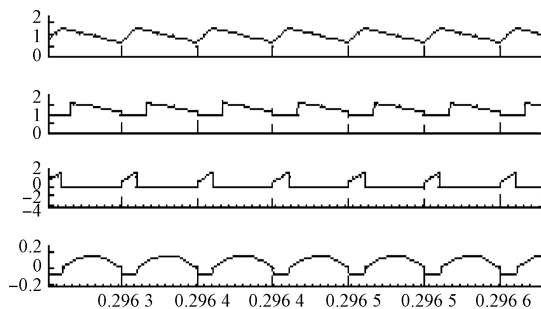


图6 电流仿真波形

输出电压和开关管电压如图7、8所示,输出电压 60 V 左右,二开关管的电压应力只有 18 V 左右,只有输出电压的 $1/3$ 不到,很好的实现了预期的目的。

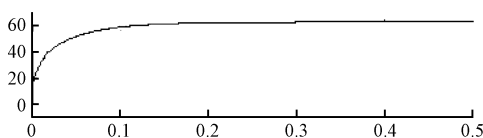


图7 输出电压

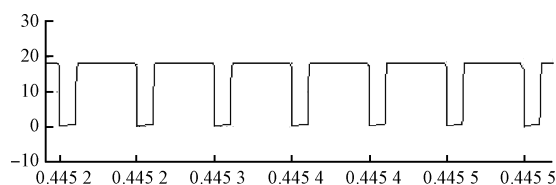


图8 开关管电压

4 结 论

本文提出的带耦合电感的低电压应力 Z-源网络 Boost 变换器,通过对其工作过程、性能特点的分析及软件仿真的验证,结果表明其具有以下特点:

- 1) 可以通过设置匝比获得更高的增益;
- 2) 开关元件所承受的电压远比输出电压低,除了与负载相连的输出二极管外,其他二极管的电压应力也低于输出电压,可以选取低损耗的元件改善变换器性能;
- 3) 元件的电流应力低。

参 考 文 献

- [1] 邓淑贤. 电动汽车大容量锂电池管理系统设计[J]. 国外电子测量技术, 2013, 32(9): 37-37.
- [2] 朱国荣, 卢家航, 黎沃铭. 燃料电池实时电阻匹配最大功率跟踪法[J]. 中国电机工程学报, 2011, 31(26): 44-52.
- [3] 徐林, 阮新波, 张步涵, 等. 风光蓄互补发电系统容量的改进优化配置方法[J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(25): 88-98.
- [4] CHANGCHIEN S K, LIANG T J, CHEN J F, et al. Novel high step-up DC-DC converter for fuel cell energy conversion system[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2010, 57(6): 2007-2017.
- [5] 吴红飞, 古俊银, 张君君, 等. 高效率高增益 Boost-Flyback 直流变换器[J]. 中国电机工程学报, 2011, 31(24): 40-45.
- [6] 胡雪峰, 龚春英. 适用于光伏/燃料电池发电的组合式直流升压变换器[J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(15): 8-15.
- [7] 罗全明, 郝玢鑫, 周维维, 等. 一种多路输入高升压 Boost 变换器[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(12): 18-23.
- [8] 吴红斌, 顾细, 赵波, 等. 蓄电池充放电管理的全过程仿真研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2014, 28(8): 843-849.
- [9] 姚绪梁, 于乐, 罗耀华. 新型非最小电压应力无源无损 Buck 电路软开关的设计[J]. 仪器仪表学报, 2011, 32(3): 667-672.
- [10] TANG Y, XIE S, ZHANG C. An Improved MYMZMYM-source inverter[J]. Proceedings of the Csee, 2011, 26(12): 3865-3868.
- [11] PAN L. L-Z-source inverter[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2014, 29(12): 6534-6543.
- [12] 刘帅, 韦莉, 张逸成, 等. 耦合电感式新型交错 Boost 软开关变换器研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2014, 28(12): 1340-1347.
- [13] ZHANG G, ZHANG B, LI Z, et al. A 3-Z-Network Boost Converter[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2015, 62(1): 278-288.
- [14] SIWAKOTI Y P, LOH P C, BLAABJERG F, et al. Y-source boost DC/DC converter for distributed generation[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2015, 62(2): 1059-1069.
- [15] AHMED H F, CHA H, KIM S H, et al. Switched-Coupled-Inductor Quasi-Z-Source Inverter[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2015, 31(2): 1241-1254.
- [16] SHEN H, ZHANG B, QIU D. Hybrid Z-source boost DC-DC converters[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2016, 64(1): 310-319.

作 者 简 介

段玉波, 1951 年出生, 主要研究方向为电力系统综合自动化。

E-mail: 979747418@qq.com