

文章编号:1005-0523(2014)04-0114-05

一种新型单相三开关光伏并网逆变器研究

章勇高,李 洋,康淦明,常凯旋

(华东交通大学电气与电子工程学院,江西 南昌 330013)

摘要:光伏逆变器由于受外界因素以及逆变器的一些内在因素的影响,导致逆变器对输入电压的要求很严格。传统的逆变器加变压器的方法和多级级联的方法不能够妥善解决输入电压适应性的问题。为满足对大范围直流电压输入变化的适应性要求,同时实现光伏并网逆变器逆变与升压两个功能,提出了一种新型的单相三开关光伏并网逆变器拓扑。采用高频开关器件和反激变换器,替换了传统笨重的工频升压变压器,使得逆变器的体积、重量及成本降低,易于集成,且提高了变换效率。实时波形反馈技术的闭环SPWM(sinusoidal pulse width modulation)控制方法,可提供快速响应。通过一个小的交流滤波器可获得低谐波失真的正弦输出。对理论分析结果进行仿真验证,结果表明该新型单相三开关光伏并网逆变器具有拓扑简单,适应大范围直流输入电压变化,可靠性高等优点。

关键词:光伏;并网逆变器;直流电压输入变化的适应性

中图分类号:TM615

文献标志码:A

由于光伏电池受光照、环境等因素影响,光伏逆变器的输入电压范围较大^[1-6],故要求光伏逆变器既可升压又可降压。传统的全桥逆变器由于输出侧电压低于直流侧电压,不能直接实现升压功能。实现升降压功能有两种基本方法:一种方法是采用逆变器后加一个工频升压逆变器的方法来实现隔离和升压。该方法的缺点是直流侧输入电压范围较窄,工频变压器使得整个结构庞大,系统功率密度降低,增加了系统功耗,而且还有严重噪声^[7]。另一种方法是采用多级级联的方式,由前级DC/DC与后级DC/AC构成。典型的两级式逆变器有Boost变换器加逆变器级联型等,缺点是由于两级变换需要多个开关器件,不利于集成,且稳定性较差,效率较低^[8]。这两种方法能够实现升压和逆变功能,但是没有解决直流侧输入电压范围窄的问题。文献[9-13]是对单级式逆变器的研究,文献[9]介绍了几种四开关和六开关的单级逆变器拓扑,四开关的逆变器有非隔离的升压逆变器,非隔离的升降压逆变器,可选择的升降压逆变器,双端反激逆变器,零电流开关的升降压逆变器,六开关的逆变器有隔离反激升降压逆变器,非隔离的升降压逆变器等。文献[11]详要描述了一种四开关的反激升降压逆变器。文献[13]研究了一种无工频升压变压器八开关的单级式升降压逆变器,由于开关器件多,不利于集成,而且功率损耗较大,影响了系统的效率。这些文献从侧面指出了单级式光伏并网逆变器的发展趋势是器件更少、效率更高、成本更低、体积更小、更宽输入电压的适应性、可靠性更高等。

在单级四开关的隔离升降压逆变器的基础上,研究了一种新型单级三开关的单相光伏并网逆变器。该逆变器的特点是开关器件少,对大范围输入电压有更好的适应性,且输出电流能够快速跟踪电网电压。分析了该拓扑的工作原理,并在文献[14-18]的基础上提出采用SPWM电流反馈控制算法,建立了PSIM仿真模型,研究其在不同输入电压条件下对应的仿真输出情况,说明该逆变器可以实现Buck-boost功能,能

收稿日期:2013-11-15

基金项目:江西省工业科技支撑农业项目(2012BBF60084);江西省教育厅科技项目(GJJ14387)

作者简介:章勇高(1975—),男,副教授,博士,研究方向为光伏逆变器,非并网风力发电及应用。

更好地适应输入电压变化并实现并网功能。

1 电路结构及工作原理

1.1 电路结构

图1为新型的单级三开关非隔离光伏并网逆变器的拓扑结构。

该拓扑由光伏电池(V_{dc}), 3个开关器件(V_1, V_2, V_3)和3个二极管(D_1, D_2, D_3), 反激变换器(L_1, L_2), 滤波器(L, C), 电网(V_{grid})构成。二极管(D_1, D_2, D_3)避免电网电流反向回流, 滤波器(L, C)实现滤波功能, (V_3, L_1, D_1)和(V_3, L_2, D_2)分别构成了 Buck 和 Boost 变换器实现升降压和逆变功能, 该拓扑能够适应大范围直流输入电压。

1.2 工作原理

新型单级三开关光伏并网逆变器可分为4个不同的工作过程, 第1工作过程为电网电压正半周充电过程, 此过程 V_3 闭合, V_1, V_2 断开, 光伏侧对一次侧电感 L_1 充电; 第2过程为电网电压正半周放电过程, 此时 V_3, V_2 断开, V_1 闭合, 电感 L_1 放电并通过交流滤波器注入电网; 第3过程为电网电压负半周充电过程, 此时 V_3 闭合, V_1, V_2 断开, 光伏侧对对一次侧电感 L_1 充电; 第4过程为电网电压负半周放电过程, 此时 V_3, V_1 断开, V_2 闭合, 电感 L_1 存储的能量通过 L_2 释放并经交流滤波器注入电网。

根据上面介绍的工作原理, 可得到该拓扑的开关时序图如图2所示。其中 v_{grid} 为电网电压信号, $u_{gv3}, u_{gv1}, u_{gv2}$ 分别为开关 V_3, V_2, V_1 的开关信号。由时序图可以看出 V_3, V_2, V_1 开关信号的特点是: V_3 在电网电压整个周期工作, V_1 在电网电压正半周工作, V_2 在电网电压负半周工作, V_3 和 V_1 信号在电网电压正半周互补, V_3 和 V_2 信号在电网电压负半周互补, 正半周 V_3 和 V_1 交替导通, 负半周 V_3 和 V_2 交替导通。

2 控制策略

为实现逆变器单位功率因数的并网发电, 必须要求输出电流与电网电压的频率和相位一致。采用闭环电流反馈 SPWM 控制算法以保证逆变器输出电流更好地跟踪电网电压, 其控制框图如图3所示。其中 i_{ref} 为参考电流, i_{ac} 交流输出电流, i_{ac}' 为调整后的电流, e 为参考电流和调整后输出电流的偏差, $C(S)$ 为 PID 控制器控制函数, V_r 为调制波, V_c 为载波, SPWM 为正弦脉宽调制, $G_{od}(S)$ 为输出滤波器函数, $F(S)$ 为输出电流矫正函数。控制原理是通过比较参考电流和输出电流得到电流偏差, 然后通过一个 PID 控制器, 得到调制波, 通过 SPWM 调制, 得到占空比为 d 的开关信

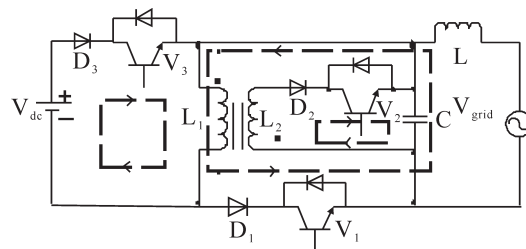


图1 三开关并网逆变器拓扑
Fig. 1 Topology of grid-connected inverter with 3 switches

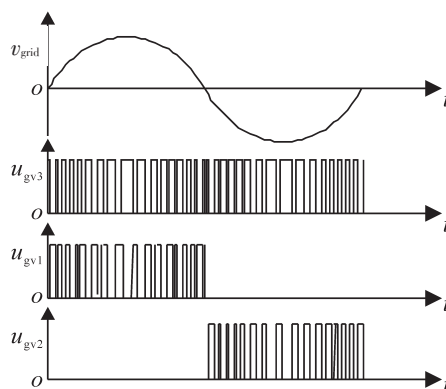


图2 三开关并网逆变器开关时序图
Fig. 2 Sequence diagram of grid-connected inverter with 3 switches

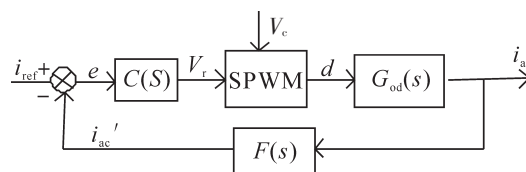


图3 逆变器控制框图

Fig. 3 Control block diagram of inverter modulation

号,经过滤波器到输出电流。其中电网电压变化,直流电流波动,以及组件不确定性为干扰因素,这种控制模式不能测量这些干扰因素,但是通过设计一个如等式(1)的PID控制器来克服这些干扰因素。

$$C(S) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (1)$$

式中: K_p, K_i, K_d 分别为比例,积分和微积分系数。

3 仿真结果

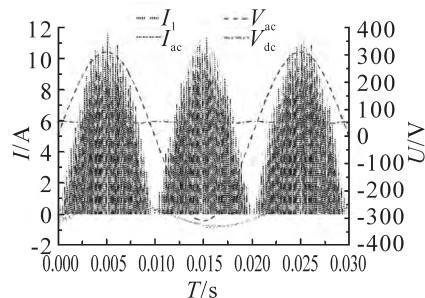
为验证提出的拓扑适用于电压范围宽的逆变情况,及所给调制策略的正确性,进行了PSIM仿真验证。仿真参数如下:直流输入电压:50~300 V;交流输出电压:220 V;开关频率:24 kHz;电感:1 mH;电容:3.3 μ F;反激电感:300 μ H,并网电压:220 V,50 Hz仿真结果如图4所示。当输入电压 V_{dc} 为50,150 V与300 V时,输出电压 V_{ac} 有效值为220 V,参考电流 i_{ref} 为3 A,图4(a),(b),(c)所示为一次侧直流输入电压 V_{dc} ,电感电流 I_l 、输出电压 V_{ac} 和电流 I_{ac} 的波形。

图4(a)中, V_{dc} 为50 V时,对应的一次侧电感电流 I_l 为3.88 A,输出电压 V_{ac} 为219.91 V,输出电流 I_{ac} 为0.56 A。图4(b)中, V_{dc} 为150 V时,对应的一次侧电感电流 I_l 为2.43 A,输出电压 V_{ac} 为219.91 V,输出电流 I_{ac} 为0.57 A。图4(c)中, V_{dc} 为300 V时,对应的一次侧电感电流 I_l 为1.79 A,输出电压 V_{ac} 为219.91 V,输出电流 I_{ac} 为0.61 A。由图中可以看出,输出电流和电网电压频率和相位基本保持同步,能够实现光伏侧逆变后并网工作的要求。

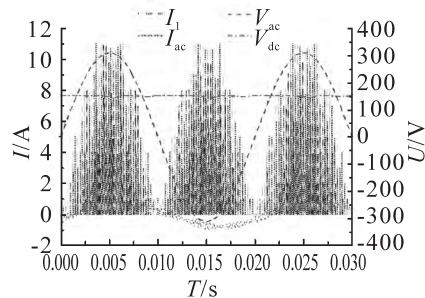
仿真结果表明,该拓扑对大范围的直流输入电压有较强的适应性,可以从光伏侧直流电压50~300 V逆变并网至220 V电网电压。在低直流输入电压50 V和150 V的情况下实现升压逆变,在高直流输入电压300 V情况下实现降压逆变。该拓扑的输出电流与电网电压频率和相位基本保持同步,但是输出电流有一定波动,有待进一步完善。

4 总结

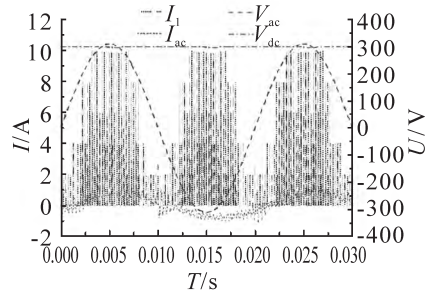
由于在光伏并网应用中会遇到大范围直流输入电压波动的情况,而输出电压需要升高到和电网电压相匹配才能并网工作,因此,对光伏并网逆变器大范围直流电压输入变化的适应性展开研究很有必要,就这一问题分析了两种解决方案,一种是传统的降压逆变器和工频变压器级联,但由于增加了系统的尺寸,重量,成本,而且不具有大范围直流输入电压变化的适应性。另一种是采用多级级联的直流变换器,虽然增加额外的级数可以实现对大范围直流输入电压的灵活性,但是由于增加了更多组件,会影响效率设计等。由于这两种方案都存在局限性,进而提出单级逆变电路,而单级式光伏并网逆变器的发展趋势是器件数目更少、效率更高、成本更低、体积更小、直流输入电压范围更宽、可靠性更高等。然后对一种新型的三



(a) 输入50 V升压逆变



(b) 输入150 V升压逆变



(c) 输入300 V降压逆变

图4 仿真输出波形

Fig. 4 Output waveform of simulation

开关管的单级反激逆变器拓扑的工作过程及特点进行了研究。详细分析了该拓扑的工作原理,有4个工作过程。采用实时电流反馈的闭环SPWM控制策略,最后建立PSIM模型,通过对3组不同输入电压进行仿真,仿真结果验证了该新型逆变器具有大范围直流电压输入适应性以及输出电流能快速跟踪电网电压等方面的优势。

参考文献:

- [1] 陈坚.电力电子学—电力电子变换和控制技术[M].北京:高等教育出版社,2004:96-109.
- [2] 杨秀媛,刘小河,张芳,等.大型太阳能并网发电模型及应用[J].中国电机工程学报,2011,31(S1):19-22.
- [3] 毛行奎,毛洪生,裴昌盛,等.单相非隔离型并网光伏逆变器研制[J].电工电能新技术,2012(2):88-92.
- [4] XUE YAOSUO, CHANG LIUCHEN. Closed-loop spwm control for grid-connected buck-boost inverters[C]//35th Annual IEEE Press, 2004:3366-3371.
- [5] 周皓,童朝南,周京华,等.单相光伏并网逆变器控制系统研究[J].电力电子技术,2010,44(12):130-131.
- [6] 高嵩,王辉,何宁,等.SPWM电流跟踪并网逆变控制技术研究[J].西安工业大学学报,2011,31(1):75-77.
- [7] SOEREN BAEKHOEJ KJAER, JOHN K PEDERSEN, FREDE BLAABJERG. A review of single-phase grid-connected inverters for photovoltaic modules[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2005,5(9):1292-1306.
- [8] LI QUAN, PETER WOLFS. A review of the single phase photovoltaic module integrated converter topologies with three different dc link configurations[J]. IEEE Transactions Power Electronics, 2008,23(5):1320-1333.
- [9] XIAO WEIDONG, NATHAN OZOG, WILLIAM G DUNFORD. Topology study of photovoltaic interface for maximum power point tracking[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics,2007,54(6):1696-1704.
- [10] 焦在强,许洪华.单级式并网光伏逆变器[J].可再生能源,2004,22(5):34-36.
- [11] CHANG L, LIU Z, XUE Y, et al. A novel buck-boost inverter for photovoltaic systems[C]// CHANG L. Canadian Solar Building Conference, Montreal, Canadian:IEEE Press, 2004:24-29.
- [12] ZHANG YONGGAO, ABRAHAM TAREKE WOLDEGIORGIS, LIUCHEN CHANG. Design and test of a novel buck-boost inverter with three switching devices[C]// Frank Cirolia. 2012 Twenty-Sixth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, TX, USA: IEEE Press, 2012:1973-1978.
- [13] 董仙美,汤雨.适合宽输入电压的单级升降压逆变器[J].中国电机工程学报,2013,33(6):61-66.
- [14] 陈诚,王勋,陈宏波.基于改进双闭环控制的光伏并网系统研究[J].华东交通大学学报,2012,29(5):50-56.
- [15] 王国峰,王国庆,张洪涛,等.一种新型单相非隔离型光伏并网逆变器研究[J].电力电子技术,2013(3):45-47.
- [16] 穆桂霞,郝瑞祥,王剑,等.新型单相光伏并网逆变器的研制[J].电力电子技术,2011,45(9):69-71.
- [17] XUE Y, CHANG L, BAEKHJ KJAER S. Topologies of single-phase inverters for small distributed power generators: an overview [J]. IEEE Trans Power Electron, 2004,19(9):1305-1314.
- [18] KOUTROULIS E, BLAABJERG F. Design optimization of grid connected PV inverters[C]// Patrick Chapman. 2011 Twenty-Sixth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, TX, USA:IEEE Press, 2011:91-698.

Study on Novel Single-phase Photovoltaic Grid-connected Inverter with Three Switching Devices

Zhang Yonggao, Li Yang, Kang Ganming, Chang Kaixuan

(School of Electrical and Electronic Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: There are strict requirements of input voltage for a photovoltaic inverter due to some external effects and internal factors, and it is difficult to solve the problem of tolerance to varied input DC voltage properly through the traditional method of an inverter plus a transformer and multi-stage cascading. In order to meet the need of tolerance to a widely varied input DC voltage and realize the function of inversion and step-up in photovoltaic grid-connected inverter, this paper puts forward a novel single-phase photovoltaic grid-connected inverter topology with three switches. High-frequency switches and fly-back converter were adopted to substitute the traditional bulky line frequency step-up transformer, which made the system easy to integrate with small volume, low weight and cost, and higher efficiency. The closed-loop sinusoidal PWM control method with real-time waveform feedback technique can provide fast dynamic response. Through a small ac filter, the inverter achieved low-THD sinusoidal output. Simulation results verify that the novel single-phase photovoltaic grid-connected inverter is featured by simple structure and control, tolerance to a widely varied input DC voltage with high reliability.

Key words: photovoltaic; grid-connected inverter; tolerance to varied input DC voltage

(上接第 113 页)

- [10] 薄守生.作为辞典学意义上的《六书略》述略[J].语文知识,2013(1):24-25.
- [11] 薄守生.郑樵传统语言文字学研究[M].北京:中国社会科学出版,2012:138-173.
- [12] 薄守生.《尔雅郑注》的音注体例[J].广州大学学报,2012(7):94-96.
- [13] 邹艳.书稿加工中的编辑主体自由问题[J].编辑之友,2000(2):31-32.
- [14] 胡予琪.宋代史学编辑出版事业的继承与创新[J].黄河水利职业技术学院学报.2007(3):95-97.
- [15] 符均.郑樵《通志》在编辑学理论上的贡献[J].华夏文化,2002(4):20-22.

On Great Editor Zheng Qiao between the North and South Song Dynasties

Bo Shousheng

(College of Chinese Language and Literature, China West Normal University, Nanchong 637009, China)

Abstract: Based on relevant information of the editing science, this paper discusses whether Zheng Qiao's writings are his editorial works or academic works. Through the analysis of his bibliography and writings, it maintains that Zheng Qiao was a great editor, who was also creative in carrying out a certain degree of academic research.

Key words: Zheng Qiao; editing; creativity; academic research; version of bibliography