

高可靠型非隔离三电平光伏并网逆变器

肖华锋¹, 谢少军², 杨晨²

(1. 东南大学 电气工程学院, 江苏 南京 210096; 2. 南京航空航天大学 自动化学院, 江苏 南京 210016)

摘要:为解决二极管箝位三电平光伏并网逆变器存在直通危险而导致可靠性降低的问题,提出一种改进型三电平并网逆变器电路拓扑,将双降压式半桥逆变器的防直通结构引入传统二极管箝位三电平电路中,并结合光伏并网逆变器要求单位功率因数运行的特点省略了双降压式半桥逆变器的桥臂续流二极管,使得新拓扑十分简洁。详细分析了新型三电平逆变器的工作模式、运行方式、共模特性和控制策略,并通过仿真和实验验证了新型逆变器的防直通、定频滞环控制和低漏电流特性。

关键词: 光伏并网; 逆变器; 二极管箝位三电平逆变器; 双降压式半桥逆变器; 可靠性; 控制

中图分类号: TM 464

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2013.08.019

0 引言

非隔离型光伏并网逆变器概念最早于1994年提出^[1],其目的是为了实现低成本、紧凑、高可靠性和高变换效率。近年来,随着在欧洲市场的广泛应用,非隔离型光伏并网逆变器受到各国学者的重视,研究的重点是在保证非隔离型光伏并网逆变器高效率优势的前提下抑制其漏电流和提高可靠性^[2-6]。

二极管箝位三电平逆变器拓扑^[7]NPCTLI(Neutral Point Clamped Three Level Inverter)在非隔离型光伏并网逆变器中得到广泛认可^[3-5]。这主要是因为NPCTLI具有弥补由无隔离变压器带来的漏电流和进网直流分量问题的结构优势^[5]。文献^[8]详细推导了非隔离型单相光伏并网逆变器的漏电流分析模型,可以为研究漏电流抑制技术提供理论支持;文献^[9]利用该分析模型对单相NPCTLI在光伏并网场合的应用作了深入研究,这些研究有助于全面地理解NPCTLI抑制漏电流的原理和特点。然而,与其他桥式逆变器一样,NPCTLI的桥臂同样存在直通的危险,其工作可靠性仍有提升的必要。

N. R. Zargari于1990年提出的双降压式半桥逆变器^[10]DBHBI(Dual Buck Half Bridge Inverter)在近年得到大量研究^[10-16]。DBHBI拥有防桥臂直通的结构优势,其续流二极管可优化选取,并可采用半周期工作方式降低导通损耗,但它只能工作于双极性调制方式,且器件的电压应力大。针对DBHBI的缺点,引入多电平技术^[17]可以使其工作在单极性调制方式和成倍降低器件电压应力。文献^[15]将DBHBI中的功率开关管用二极管箝位型三电平开关单元替

代得到了三电平DBHBI的主电路拓扑。该电路拓扑虽然降低了功率开关管的电压应力,但其桥臂续流二极管仍承受输入电压,不适合较高电压输入场合的应用。虽然可以通过引入二极管箝位型三电平二极管单元替代,但这样会使得电路结构更加复杂。

本文从半桥类非隔离型并网逆变器出发,在保留半桥型电路结构优良的漏电流特性的同时引入DBHBI防止直通的结构优势,提出一种新型的分裂电感中点箝位三电平逆变器SI-NPCTLI(Split Inductor-Neutral Point Clamped Three Level Inverter),实现了电路结构的简洁和高可靠性。通过采用滞环电流控制技术和高频开关信号的提前关闭保证了电流通路切换的安全性;采用变滞环宽度定频控制可以将谐波电流频谱集中,有利于进一步的滤波设计;基于单相结构可以方便地将SI-NPCTLI扩展至带中线的三相四线制三相并网逆变器结构,使其拥有同样的高可靠和低漏电流特性。

1 SI-NPCTLI的构成和特性分析

1.1 SI-NPCTLI的构成

图1(a)为本文提出的SI-NPCTLI电路结构,采用二极管箝位型三电平开关单元替代DBHBI中的单个开关管,同时结合光伏并网单位功率因数运行的特点将DBHBI中的桥臂续流二极管取消,所得电路结构与NPCTLI非常相似,保持了电路的简洁性。图1(b)为SI-NPCTLI的驱动信号时序和桥臂的输出电压波形图,图中 h 为电流滞环宽度,即电感电流脉动量 $|\Delta i_{Li}|$ 。

1.2 工作原理

DBHBI工作于半周期电流调制模式可以减小器件的开关损耗和导通损耗,有利于提高变换效率^[16],本文提出的SI-NPCTLI仍选用半周期电流调制技术。为了方便分析,假设:所有功率开关管和二极管

收稿日期:2012-06-26;修回日期:2013-06-20

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51207024);宿迁市科技创新专项(工业科技支撑)(H201105)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China(51207024) and Suqian Science and Technology Innovation Projects(H201105)

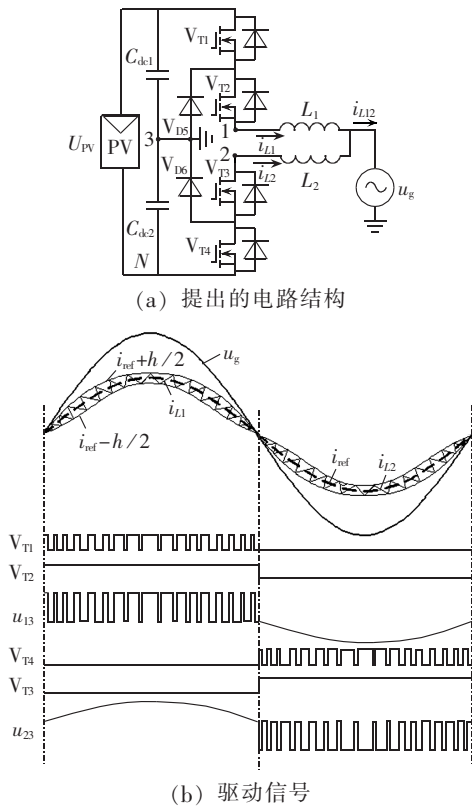


图 1 分裂电感中点钳位三电平非隔离光伏并网逆变器

Fig.1 Splitted-inductor neutral-point-clamped three-level PV grid-connected inverter

均为理想器件,不考虑开关时间及导通压降;所有电感和电容均为理想元件,且 $C_{dc1}=C_{dc2}$, $L_1=L_2=L$;逆变器运行于单位功率因数,即电感电流 i_{L12} 与电网电压 u_g 完全同相位。以电网电压正半周为例详细分析逆变器的工作模式,如图 2 所示。电网电压负半周与之类似。

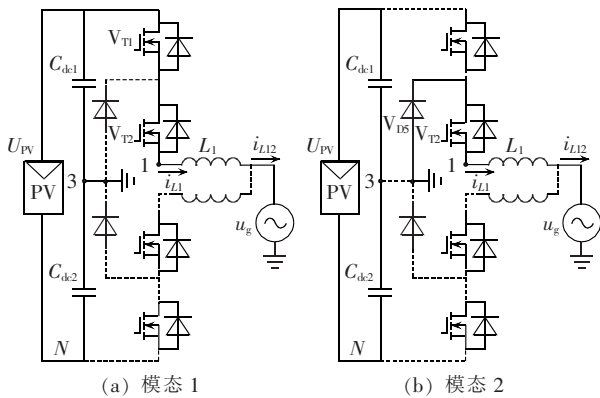


图 2 稳态工作时逆变器模式

Fig.2 Working modes of inverter in steady operation

模式 1:开关管 V_{T1} 和 V_{T2} 开通, V_{T3} 和 V_{T4} 关断。桥臂间输出电压为电容 C_{dc1} 上电压,即 $u_{13}=\frac{1}{2}U_{pv}$,此阶段电感 L_1 中的电流 i_{L1} 线性增加。

$$L \frac{di_{L1}}{dt} = \frac{1}{2} U_{pv} - u_g \quad (1)$$

模式 2:开关管 V_{T1} 关断、 V_{T2} 开通, V_{T3} 和 V_{T4} 仍关断。 V_{T1} 的端电压被二极管 V_{D5} 箝位至输入电压的一半,桥臂间输出电压为零,即 $u_{13}=0$ 。此阶段电感 L_1 中的电流 i_{L1} 处于续流阶段,线性下降。

$$L \frac{di_{L1}}{dt} = 0 - u_g \quad (2)$$

可见,电网电压正半周桥臂输出电压为 $U_{pv}/2$ 和 0 电平,相似地,在负半周桥臂输出电压为 $-U_{pv}/2$ 和 0 电平,相比 DBHBI 仅有 $U_{pv}/2$ 和 $-U_{pv}/2$ 电平可以大幅降低滤波电感电流脉动量,有利于减小电感值。

1.3 共模特性分析

非隔离型光伏并网逆变器的开关频率共模电压是引起漏电流的根源^[8],因此是否存在开关频率共模电压是其能否在非隔离光伏并网场合应用的评价标准。表 1 为 SI-NPCTLI 的工作电平量,由于变换器在正、负半周工作时的电流路径不同,在计算差模和共模电压时有所区别。从表 1 中最后一行可以看出 SI-NPCTLI 产生的总共模电压源为一个恒定值,不会产生高频共模电流,与 NPCTLI 的共模特性完全一致^[9]。

表 1 SI-NPCTLI 工作电平量

Tab.1 Operational levels of SI-NPCTLI

工作电平量	$i_{L12} > 0$		$i_{L12} < 0$	
	模式 1	模式 2	模式 3	模式 4
u_{1N}	U_{pv}	$U_{pv}/2$	$u_g + U_{pv}/2$	$u_g + U_{pv}/2$
u_{2N}	$u_g + U_{pv}/2$	$u_g + U_{pv}/2$	0	$U_{pv}/2$
u_{3N}	$U_{pv}/2$	$U_{pv}/2$	$U_{pv}/2$	$U_{pv}/2$
$u_{1M} = u_{1N} - u_{3N}$	$U_{pv}/2$	0	$-U_{pv}/2$	0
$u_{CM} = (u_{1N} + u_{3N})/2$	$3U_{pv}/4$	$U_{pv}/2$	$U_{pv}/4$	$U_{pv}/2$
$u_{CM-DM} = -u_{DM}/2$	$-U_{pv}/4$	0	$U_{pv}/4$	0
$u_{CM} + u_{CM-DM}$	$U_{pv}/2$	$U_{pv}/2$	$U_{pv}/2$	$U_{pv}/2$

注:在电网电压负半周,工作模式 3 为开关管 V_{T1} 和 V_{T2} 关断, V_{T3} 和 V_{T4} 开通;工作模式 4 为开关管 V_{T1} 和 V_{T2} 仍关断, V_{T3} 开通, V_{T4} 关断。

1.4 几种拓扑的比较

设置参数如下: $U_{pv}=800\text{ V}$, $u_g=339\sin(314t)\text{ V}$, 额定功率 $P=1\,000\text{ W}$, 最大带环宽度为 1.25 A 。对 SI-NPCTLI、NPCTLI 和 DBHBI 进行定量比较,如表 2 所示(表中 RMS 表示有效值),包括功率器件的数量、电压/电流应力和衡量开关器件功率等级的开关器件功率(SDP)因子^[18];无源元件的比较主要为电感的数量和感值;在性能方面包括直通和漏电流问题。

从表 2 可以看出,DBHBI 在器件应力和滤波电感的数量和感值大小方面处于劣势;而 NPCTLI 在滤波电感的数量上占优,但电感的电流应力是最大的,且存在直通危险而处于劣势;本文提出的 SI-NPCTLI 较 DBHBI 是完全占优的,相比 NPCTLI 在滤波电感数量上增加 1 倍,但每个电感的电流应力相应降低,最大的改进是消除了桥臂直通的危险。上述 3 种电路拓扑在总的开关器件功率(TSDPs)方面相当(NPCTLI、

表 2 几种逆变器拓扑的比较
Tab.2 Comparison of topology among several inverters

对象	NPCTLI	DBHBI	SI-NPCTLI
数量	4	2	4
U_{TS}/V	400	800	400
$I_{\text{D}}(\text{RMS})/\text{A}$	2.16/2.95	2.54	2.16/2.95
SDPs/(kV·A)	4.088	4.064	4.088
数量	2	2	2
U_{KA}/V	400	800	400
$I_{\text{A}}(\text{RMS})/\text{A}$	0.93	0.47	0.93
SDPs/(kV·A)	0.744	0.752	0.744
数量	1	2	2
$I_{\text{L}}(\text{RMS})/\text{A}$	4.17	2.95	2.95
L/mH	4	16	4
是否存在直通危险	是	否	否
是否存在漏电流危险	否	否	否

DBHBI,SI-NPCTLI 分别为 4.832、4.816、4.832 kV·A), 当它们应用于非隔离型光伏并网逆变器时都不会产生高频时变的共模电压,故不会引起漏电流。

2 SI-NPCTLI 的控制策略

2.1 逆变器侧电感电流的单位功率因数运行

1.2 节的分析是在假设逆变器运行于单位功率因数,即电感电流 i_{L12} 与电网电压 u_g 完全同相位的前提下进行的,这个假设是与光伏并网逆变器应用场合需要进网电流与电网电压单位功率因数相一致的。然而,省去三电平 DBHBI 中的桥臂二极管续流通路后,要保证电路安全可靠地工作就必须保证电感电流在电网电压过零之前可靠为零(对于高阶入网滤波器情况稍复杂,如在 LCL 滤波器中需要保证逆变器侧电感电流与滤波电容电压同相位)。

滞环电流控制可以实现电感电流的精确跟踪^[19],为了保证进网电流在电网电压过零处可靠降至零,可以在 $x\pi$ 时刻停止高频开关信号,电感电流由电网电压强迫降至零,如图 3 所示。

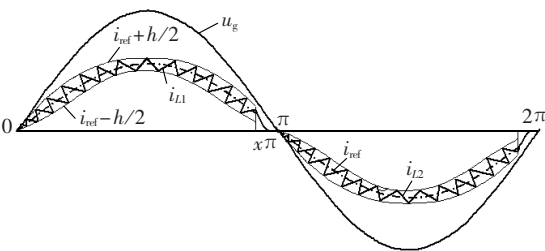


图 3 电感电流 i_{L12} 的相位控制
Fig.3 Phase control of inductor current i_{L12}

高频开关信号提前关断时间应满足式(3):

$$\frac{\int_{x\pi}^{\pi} [U_g \sin(\omega t) + U_{\text{VD}}(\text{on}) + U_{\text{VT}}(\text{on})] d\omega t}{L} \geq I_{\text{ref}} \sin(x\pi) + \frac{h}{2} \tag{3}$$

其中, $U_{\text{VD}}(\text{on})$ 、 $U_{\text{VT}}(\text{on})$ 分别为箝位二极管和功率开管的导通压降。

2.2 变滞环宽定频电流控制

滞环电流控制是一种高性能的非线性控制方法,但存在开关频率不固定、频谱分布广泛、滤波器设计困难等缺点。为了克服这些缺点,在所提出的 SINPCTLI 中采用实时调节滞环宽度的方法来实现定开关频率工作^[20]。

结合式(1)和(2)可得:

$$h = \frac{u_g(U_{\text{pv}} - 2u_g)}{U_{\text{pv}} L f} \tag{4}$$

其中, f 为开关频率。在逆变器的运行中只要根据电网电压和电池输出电压的瞬时值实时计算 h 就可以实现定开关频率的滞环电流控制。

图 4 为提出的并网逆变器的控制策略结构图,其中, T_s 是开关周期, T_g 是电网周期, ω_g 是电网角频率, ϕ_g 是网压初始相角。

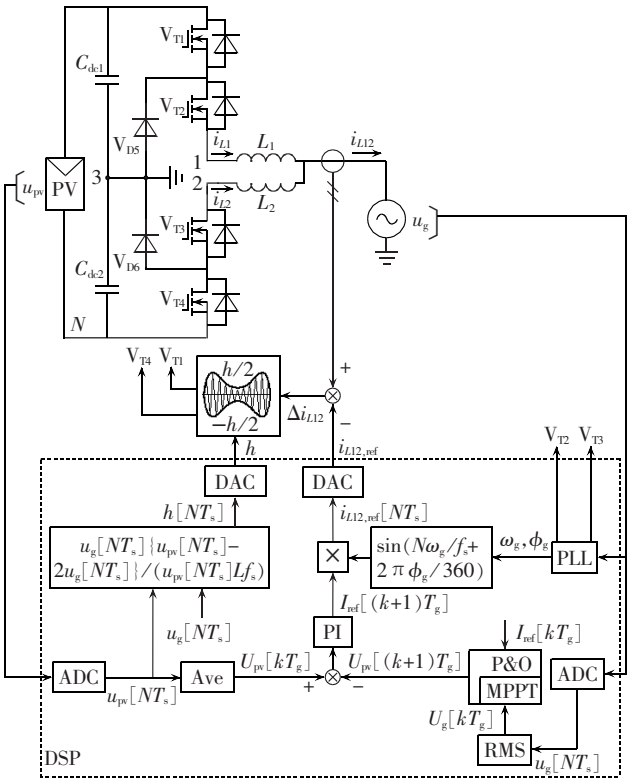


图 4 用于光伏并网时 SI-NPCTLI 的控制框图
Fig.4 Block diagram of SI-NPCTLI PV grid-connected inverter control

3 实验研究与讨论

为了验证本文提出的 SI-NPCTLI 的正确性和对漏电流的抑制性能,在实验室建立了通用实验平台,如图 5 所示,实验研究侧重电路拓扑的工作原理验证和漏电流性能测试与对比。主要电气和元件参数如下:输入电压为 800 V;电网电压为 240 V,频率为

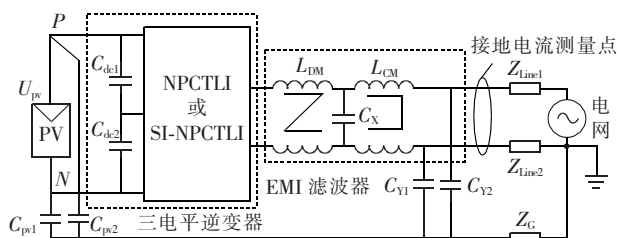
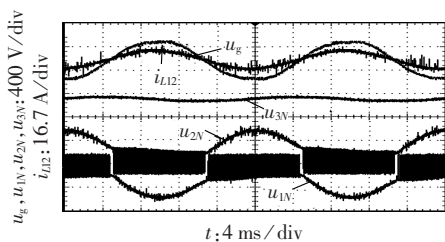


图 5 通用测试平台

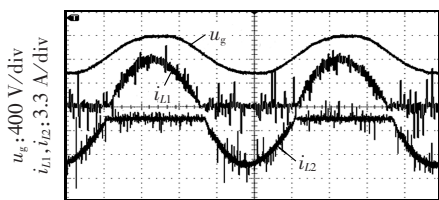
Fig.5 General test platform

50 Hz; 额定功率为 1 000 W; 开关频率为 20 kHz; 直流母线电容 C_{dc1} 、 C_{dc2} 的参数均为 235 $\mu\text{F}/400\text{V}$; 功率器件 V_{T1} — V_{T4} (N-MOSFET) 的型号为 IXFN36N100; 滤波电感 L_1 、 L_2 均为 4 mH; 共模电感 L_{CM} 的磁芯为 2 $\times$ 2W-43615-TC, 线径 d 为 2 mm, 匝数 N 为 10+10; 共模电容 C_{Y1} 、 C_{Y2} 均为 2.2 nF; 寄生电容 C_{pv1} 、 C_{pv2} 均为 0.1 μF 。

图 6(a)为 SI-NPCTLI 的桥臂输出电压波形, 与表 1 分析一致; 图 6(b)为滤波电感 L_1 和 L_2 的电流波形, 可以看出它们分别工作半个工频周期, 无偏置电流。图 7 分别为开关管 V_{T1} 和 V_{T2} 的门极驱动电压和漏源极电压波形, 其中 V_{T1} 的关断电压应力为电池输入电压的一半, 与原理分析一致; V_{T2} 的关断电压应力为电网电压, 且最大值小于电池输入电压的一半。



(a) 桥臂电压



(b) 滤波电感电流

图 6 SI-NPCTLI 的桥臂工作电压和滤波电感电流波形

Fig.6 Waveforms of bridge-leg voltage and inductor current of SI-NPCTLI

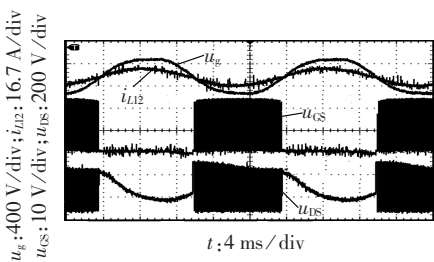
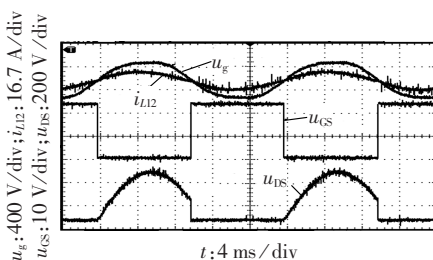
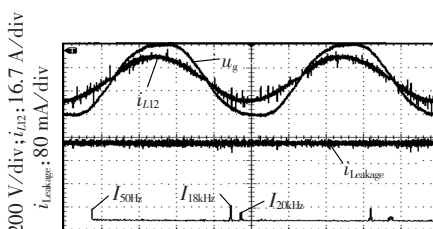
(a) V_{T1} 的工作电压波形(b) V_{T2} 的工作电压波形

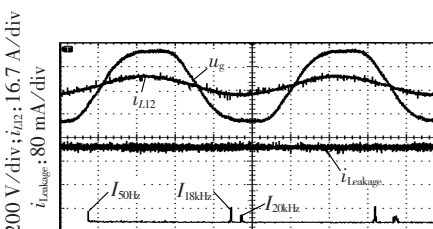
图 7 SI-NPCTLI 的开关驱动信号和漏源极电压波形

Fig.7 Waveforms of driving signal and drain-source voltage of SI-NPCTLI

图 8 分别为 SI-NPCTLI 和 NPCTLI 在非隔离光伏并网应用时的漏电流波形和频谱分布图。图中, $I_{50\text{Hz}}$ 为电网电压产生的共模电流, $I_{18\text{kHz}}$ 为电池模拟源产生的共模电流, $I_{20\text{kHz}}$ 为三电平并网逆变器产生的共模电流。需要特别指出的是: 在逆变器并入电网后, 也为用来模拟太阳能电池的开关电源提供了共模回路, 其高频开关动作(实验平台中电池模拟源的开关频率为 18 kHz)产生了共模电流 $I_{18\text{kHz}}$ 。在两级式并网逆变器中, 其前级直流变换器的高频开关也会像此处的电池模拟源一样产生高频共模电流(无论其是否含高频隔离变压器), 因此也需要抑制共模电流成分。从图 8(a)和(b)的对比中可以看出 2 种电路拓扑均具有优良的漏电流抑制性能, 与前述理论分析一致。



(a) SI-NPCTLI



(b) NPCTLI

图 8 SI-NPCTLI 与 NPCTLI 的漏电流波形和频谱对比

Fig.8 Comparison of leakage current waveform and spectral between SI-NPCTLI and NPCTLI

4 结论

本文提出一种具有高可靠性和低漏电流特性的三电平并网逆变器, 电路结构具有传统中点箝位三电平逆变器的器件电压应力低和共模电压为恒值的

特性,同时拥有 DBHBI 的防直通结构。提出的逆变器拓扑可以实现非隔离型光伏并网逆变器的高效、低成本、低漏电流和高可靠性等要求,可以扩展至带中线的三相四线制三相并网逆变器结构。

参考文献:

- [1] SHINOHARA H,KIMOTO K,ITAMI T,et al. Development of a residential use,utility interactive PV Inverter with isolation transformerless circuit-development aspects[C]//Proceedings of IEEE PV Specialists Conference. Hawaii,USA:IEEE,1994:1216-1218.
- [2] MYRZIK J M A,CALAIS M. String and module integrated inverters for single-phase grid connected photovoltaic systems-a review[C]//Proceedings of IEEE Bologna Power Tech Conference. Bologna,Italy:IEEE,2003:1-8.
- [3] CALAIS M,AGELIDIS V G. Multilevel converters for single-phase grid connected photovoltaic systems-an overview[C]//Proceedings of IEEE Bologna Power Tech Conference. Bologna,Italy:IEEE,2003:224-229.
- [4] KEREKES T,TEODORESCU R,BORUP U. Transformerless photovoltaic inverters connected to the grid[C]//Proceedings of IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition. Anaheim,California,USA:IEEE,2007:1733-1737.
- [5] ROBERTO G,EUGENIO G,JESUS L,et al. Transformerless single-phase multilevel-based photovoltaic inverter[J]. IEEE Trans on Industrial Electronics,2008,55(7):2694-2702.
- [6] 肖华锋,谢少军,杨晨. 基于改进型全桥电路的非隔离光伏并网逆变器[J]. 中国电机工程学报,2011,31(3):40-46.
XIAO Huafeng,XIE Shaojun,YANG Chen. A transformerless PV grid-connected inverter based on improved full bridge topology[J]. Proceedings of the CSEE,2011,31(3):40-46.
- [7] NABEA A,TAKAHASHI I,AKAGI H. A new neutral-point-clamped PWM inverter[J]. IEEE Trans on Industry Applications,1981,17(5):518-523.
- [8] 肖华锋,谢少军,贡力,等. 非隔离型光伏并网逆变器漏电流分析模型研究[J]. 中国电机工程学报,2010,30(18):9-14.
XIAO Huafeng,XIE Shaojun,GONG Li,et al. Study of leakage current model for transformerless photovoltaic grid-connected inverter[J]. Proceedings of the CSEE,2010,30(18):9-14.
- [9] 肖华锋,谢少军,杨晨. NPC 三电平并网逆变器共模电流抑制技术研究[J]. 中国电机工程学报,2010,30(33):23-29.
XIAO Huafeng,XIE Shaojun,YANG Chen. NPC three-level grid-connected inverter with leakage current suppression[J]. Proceedings of the CSEE,2010,30(33):23-29.
- [10] ZARGARI N R,ZARGARI P D,JOOS G. A two switch high performance current regulated DC/AC converter module[C]//Proceedings of IEEE IAS Annual Meeting. Seattle,USA:IEEE,1990:929-934.
- [11] GERALD R S,KENNETH M B. Precision DC-to-AC power conversion by optimization of the output current waveform-the half bridge revisited[J]. IEEE Trans on Power Electronics,1999,14(2):372-380.
- [12] 刘军,严仰光. 一种新颖的滞环电流型双降压式半桥逆变器[J]. 南京航空航天大学学报,2003,35(2):122-126.

- LIU Jun,YAN Yangguang. Novel current mode controlled bi-Buck half bridge inverter[J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics,2003,35(2):122-126.
- [13] 朱成花,严仰光. 一种新颖的串/并联输出 Buck 逆变器[J]. 中国电机工程学报,2005,25(20):12-15.
ZHU Chenghua,YAN Yangguang. A novel series/parallel output dual Buck inverter[J]. Proceedings of the CSEE,2005,25(20):12-15.
- [14] 马海啸,龚春英,严仰光. 电流滞环控制半桥双降压式逆变器输出滤波器设计[J]. 中国电机工程学报,2007,27(13):98-103.
MA Haixiao,GONG Chunying,YAN Yangguang. Output filter design of half bridge dual-Buck inverter using hysteresis current controller[J]. Proceedings of the CSEE,2007,27(13):98-103.
- [15] 王慧贞,蔡兆奇,刘军,等. 三电平双降压式半桥逆变器[J]. 电工技术学报,2009,24(2):73-77.
WANG Huizhen,CAI Zhaoqi,LIU Jun,et al. A novel three level dual Buck half bridge inverter[J]. Transactions of China Electrotechnical Society,2009,24(2):73-77.
- [16] 吴婷,肖岚,姚志垒. 双降压式全桥逆变器[J]. 中国电机工程学报,2009,29(15):22-27.
WU Ting,XIAO Lan,YAO Zhilei. Dual Buck full-bridge inverter[J]. Proceedings of the CSEE,2009,29(15):22-27.
- [17] LAI J,PENG F. Multilevel converters-a new breed of power converters[J]. IEEE Trans on Industry Applications,1996,32(3):509-517.
- [18] SHEN M,JOSEPH A,WANG J,et al. Comparison of traditional inverters and Z-source inverter for fuel cell vehicles[J]. IEEE Trans on Power Electronics,2007,22(4):1453-1463.
- [19] KAZMIERKOWSK M P,MALESANI L. Current control techniques for three-phase voltage-source PWM converters;a survey[J]. IEEE Trans on Industrial Electronics,1998,45(5):691-703.
- [20] MALESANI L,TENTI P. A novel hysteresis control method for current controlled VSI PWM inverters with constant modulation frequency[J]. IEEE Trans on Industry Applications,1990,26(1):88-92.
- [21] 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 Lingzhi,ZHANG Minghe,et al. Constant-frequency hysteresis current control of PV grid-connected inverter[J]. Electric Power Automation Equipment,2008,28(4):58-62.
- [22] 戴训江,晁勤. 一种新颖的并网逆变器自适应电流滞环控制策略[J]. 电力自动化设备,2009,29(9):85-100.
DAI Xunjiang,CHAO Qin. Adaptive current hysteresis control of grid-connected inverter[J]. Electric Power Automation Equipment,2009,29(9):85-100.

作者简介:



肖华锋

肖华锋(1981-),男,湖北当阳人,讲师,博士,从事软开关变换技术、新能源利用技术等领域的研究(E-mail:xiaohf@seu.edu.cn);

谢少军(1968-),男,湖北天门人,教授,博士研究生导师,从事功率电子变换及航空电源等领域的研究。

大规模风电跨省消纳与交易机制的研究

李 丰,张粒子

(华北电力大学 电气与电子工程学院,北京 102206)

摘要: 从风电跨省消纳的技术问题和经济问题角度,分别分析了东北电网系统风电接纳能力和风电跨省消纳的外部不经济性问题。对东北电网风电接纳能力的测算表明,系统有能力保证风电跨省消纳,但火电机组会因为调峰深度的增加而降低其运行的经济性。提出基于市场的风电跨省消纳与交易机制,风电跨省消纳交易的中长期电量可以通过开展负荷低谷时期的发电权交易实现,而风电预测误差以及风电的间歇性所产生的发电计划偏差则可以通过建立调节市场来实现电力电量平衡,并提出了调节市场的交易形式、组织流程、结算机制及其调度模式和模型等。通过调峰平衡分析与实时平衡调度算例分析,验证了所提机制的有效性。

关键词: 风电; 风电接纳能力; 电力市场; 调节市场; 模型; 交易

中图分类号: TM 73;TM 614

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2013.08.020

0 引言

近年来,我国风电发展迅猛,由于各地区风力分布的自然情况,导致风电机组所建地区较为集中。同时,北方冬季供热机组昼夜都必须运行,系统的调峰能力有限,而风电在夜间大发,给系统造成反调峰的情况越来越明显,大量风电存在无法本地消纳的问题。

要解决风电无法本地消纳的问题,从长远考虑要优化电源结构,提高系统的风电接纳能力;从近期考虑就是要设计和实施激励火电等其他类型发电企业响应系统需求、促进风电跨省消纳的市场机制。目前国内较多的研究侧重于如何提高系统的调峰能力和风电接纳能力^[1-5],而当前如何充分利用市场交易机制促进风电跨省消纳、减少风电弃风,对于实现节能减排,促进相关各省经济、环境和电力企业的和谐、可持续发展有着重要的意义。

风电跨省交易的中长期电量可通过跨省发电权

交易和跨省年度、月度、日前交易电量实现,但风电场出力短期预测在精度方面还不能满足大规模风电并网电力系统经济调度的要求,同时由于风电出力的间歇性以及负荷预测误差、天气突变和电网设备故障等因素的存在,日前给出的交易计划与电网实际运行情况、风电实际发电量与预测出力水平之间可能会有较大偏差^[6-7],调节市场是消除这一偏差的市场手段。它通过组织未来数个时段的电力交易来有效消除风电出力的不确定性和系统中的不平衡功率,维持系统的安全稳定运行,并提供短期电力供需平衡关系的经济信号。

近年来,越来越多的电力市场引入了调节市场,采用市场的手段平衡电网运行中形成的电能供需不平衡,协调各方利益,以提高电力市场运行的安全水平。因此,本文在风电中长期电量已通过跨省发电权交易的基础上,提出平衡风电预测误差、风电间歇性、负荷预测误差以及系统故障等因素的风电跨省调节市场。

调节市场在英格兰、澳大利亚和北欧等电力市

收稿日期:2012-08-20;修回日期:2013-06-19

Transformerless three-level PV grid-connected inverter with high reliability

XIAO Huafeng¹,XIE Shaojun²,YANG Chen²

(1. School of Electrical Engineering,Southeast University,Nanjing 210096,China;

2. College of Automation,Nanjing University of Aeronautics and Astronautics,Nanjing 210016,China)

Abstract: An improved three-level grid-connected inverter with a straightforward topology of dual-Buck half-bridge inverter is proposed to avoid the reliability degradation caused by the shoot-through existing in traditional diode-clamped three-level inverter. Because the PV grid-connected inverter operates with unity power factor,the freewheeling diode of bridge leg is omitted. Its working modes,operating patterns common-mode characteristics and control strategy are analyzed. Its features of shoot-through prevention,constant-frequency hysteresis loop control and leakage current elimination are verified by both simulation and experiment.

Key words: PV grid-connection; electric inverters; diode-clamped three-level inverter; dual-Buck half-bridge inverter; reliability; control