

基于Z源逆变器的屋顶并网光伏发电系统

翁蓓蓓,张鹏,汤少卿
(泰州供电公司,江苏泰州 225300)

摘要:结合城市中大规模光伏发电的应用以及屋顶光伏组件汇流的特点,在光伏并网发电系统中选择Z源逆变器代替普通逆变器。对Z源逆变器的工作原理进行了详细的分析,对主要的工作状态进行了数学推导,与普通的电压源、电流源拓扑相比,可以实现任意升降压。介绍了某屋顶光伏发电示范项目的设计以及其采用Z源逆变器的实际工作效果。实践证明,采用Z源逆变器的屋顶光伏并网发电系统取得了良好的效果。

关键词:屋顶光伏;并网;Z源逆变器

中图分类号:TM615;TM464

文献标识码:B

文章编号:1009-0665(2011)04-0052-03

我国光伏产业发展迅速,2000年太阳能电池产量仅为3 MW,而到了2008年,则达到1 780 MW,占世界产量的26%,略次于欧洲的27%,连续两年居世界第一位。与此相比,我国这样一个太阳能资源丰富的国家对于光能的利用却远远没有达到应有的水平。光伏发电中另一项重要组成设备,电力变换装置的研发和生产,我国与世界先进水平的差距则较远,这也直接造成了我国光伏发电装机容量远小于组件产量。对此国家财政部颁布了《关于加快推进太阳能光电建筑应用的实施意见》,国家电网公司在某些示范地区制定的光伏上网电价远超风电的上网电价,这些措施必将促使国内的光伏并网电站项目获得良好的发展。

1 光伏系统设计

某光伏示范项目在建筑屋顶建设低压并网型光伏发电系统,系统由光伏组件、并网逆变器、计量装置及升压变组成^[1-4],系统结构如图1所示。

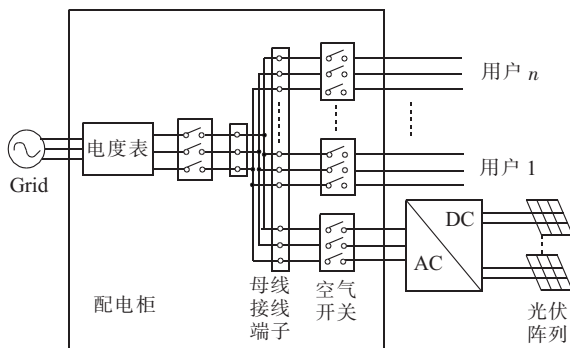


图1 光伏并网发电系统连接图

屋顶可利用面积约为600 m²,采用转换效率较高的晶硅电池组件,可敷设光伏电池组件的标称容量约为100 kW^[5]。工程所用多晶硅电池转换效率相对较高,光电转化效率一般大于14%,采用先进、可

靠的加工制造技术,结构合理,可靠性高,能耗低,不污染环境,维护保养简便。并且具有非常好的耐候性,能在室外严酷的环境下长期稳定可靠地运行,正常条件下的使用寿命不低于25年,在10年使用期限内输出功率不低于90%的标准功率,在25年使用期限内输出功率不低于80%的标准功率。本项目所选国内某品牌组件参数如表1所示。

表1 电池板参数

| 项目 | 数值 |
|----------|--------------|
| 最大输出功率/W | 280 |
| 最佳工作电流/A | 7.67 |
| 最佳工作电压/V | 30.0 |
| 开路电压/V | 36.8 |
| 短路电流/A | 8.34 |
| 工作温度/°C | -40~+85 |
| 最大系统电压/V | 1 000 |
| 最大串联电流/A | 15 |
| 输出功率公差/W | 0~+3 |
| 光电转化效率/% | 14.3 |
| 组件尺寸/mm | 1 920×982×45 |
| 组件重量/kg | 22 |

2 新型Z源逆变器的应用

光伏发电系统的组成核心之一就是逆变器。它是实现从太阳能电池输出直流电转换成正弦50 Hz交流电的桥梁。

2.1 传统三相逆变器

传统三相逆变器的基本拓扑结构主要包括:电压源型逆变器(VSI)和电流源型逆变器(CSI)2种。VSI基本拓扑结构如图2所示,一般来说它要求具有恒定的输入直流电压,交流输出侧为电压恒定不变、频率受控的交流电。

直流侧电源可以是蓄电池、燃料电池、光伏阵列或者是整流器输出的直流电,当直流电源电压不够

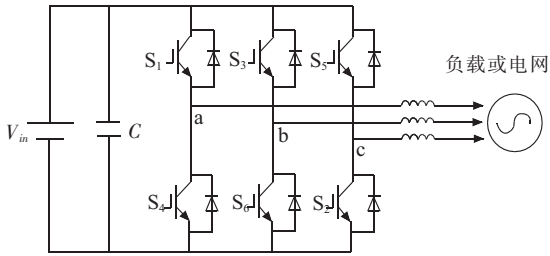


图2 VSI基本拓扑结构

稳定时,常常通过并联一个大电容的方法来起到稳定直流侧电压的作用。

CSI的基本拓扑结构如图3所示,它和VSI基本成对偶,一般来说它要求逆变器的输入侧是一个恒定不变的电流,输出侧为电流恒定不变、频率受控的交流电。因为现实中理想的恒流源并不多见,CSI的直流输入都是串联一个大电感,通过这种方法,把常见直流源近似看成是一个恒流源。

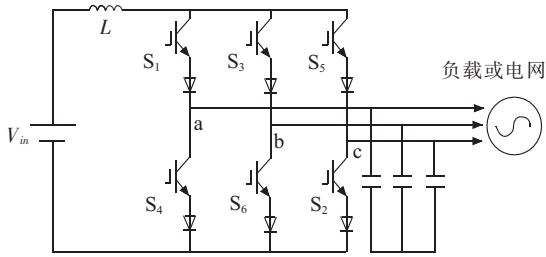


图3 电流源型逆变器(CSI)的基本拓扑结构

无论是VSI或者CSI,由于自身拓扑的特点,在许多实际的应用场合中都存在着一些局限性^[6-9]。例如:VSI是降压型逆变器,CSI是升压型逆变器,它们不能同时达到升降压功能,降低了电路的变换效率;对开关信号时刻准确性要求高;电压源型逆变器为了防止逆变器上、下桥臂短路,在上、下开关换流过程中必须插入死区时间,导致输出交流电压波形发生畸变,影响输出波形质量。

2.2 Z源逆变器及其优点

Z源逆变器是在传统VSI和直流电源之间插入1个由2个电容、2个电感对称连接的阻抗网络而形成的新型电力电子变换电路,如图4所示,由于这个对称的阻抗网络为Z源阻抗网络,所以称这种新型的电力电子变换电路为Z源逆变器。

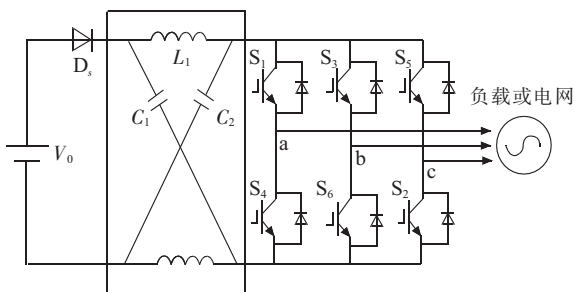


图4 Z源逆变器基本拓扑

由于这个对称阻抗网络的加入,它使得逆变器允许出现同一桥臂同时导通的工作状态(称之为直通状态)。直通状态的出现,打破了原来传统三相逆变器的限制,带来了一系列的优越性^[10]。

(1) Z源逆变器的电源既可为电压源,也可为电流源。因此,与传统的VSI和CSI不同,Z源逆变器的直流电源可以为任意的,如电池、二极管整流器、晶闸管变流器、燃料电池堆、电感、电容器或它们的组合。

(2) Z源逆变器的主电路既可为传统的电压源的形式,也可为传统的电流源的形式。Z源逆变器所采用的开关可以是开关器件和二极管的组合。

(3) Z源逆变器允许同一桥臂同时开通,引入直通状态,并利用直通状态来提升逆变器直流侧电压,提高了系统的稳定性。

(4) Z源逆变器不用在开关换流过程中插入死区时间,从而减小了输出交流电压波形的畸变率。

2.3 工作状态

根据逆变桥臂上、下桥臂是否同时导通,将Z源逆变器分解成2种基本工作状态^[11,12]。

(1) 直通状态。直通状态下系统等效电路如图5所示。此时逆变桥上、下桥臂短路,假设一个开关周期的时间为 \$T\$,直通时间为 \$T_{sh}=DT\$ (\$D\$ 为直通调制比),由等效电路得:

$$\begin{cases} V_{c1}=V_{c2}=V_c \\ V_{L1}=V_{L2}=V_L \end{cases} \quad (1)$$

在直通状态下:

$$V_c=V_L \quad (2)$$

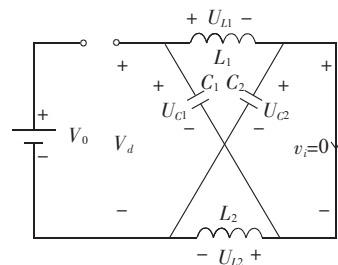


图5 直通状态等效电路

(2) 非直通状态。非直通状态下系统等效电路如图6所示。该状态与传统逆变器工作状态一样,此时由等效电路得:

$$\begin{cases} V_L=V_0-V_c \\ V_i=2V_c-V_0 \end{cases} \quad (3)$$

逆变器工作在稳态条件下,在理想情况时,1个开关周期时间 \$T\$ 内Z源电感上不消耗任何能量,因此电感上的伏秒积为0,即 $\int_0^T V_L dt=0$,将式(2,3)代入,有:

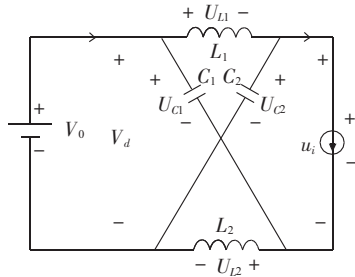


图6 非直通状态等效电路

$$V_c = \frac{T - T_{sh}}{T - 2T_{sh}} V_0 = \frac{1 - D}{1 - 2D} V_0 \quad (4)$$

由于逆变桥直流侧工作在这2种状态下,逆变桥直流侧的电压取值只能为0和 \hat{v}_i ,直通状态下逆变桥直流侧电压为0,非直通状态下逆变桥直流侧峰值电压为 \hat{v}_i 。

$$\hat{v}_i = V_c - V_L = 2V_c - V_0 = \frac{1}{1 - 2D} V_0 = BV_0 \quad (5)$$

式中: $B = \frac{1}{1 - 2D}$ 为Z源升压因子。

由式(5)可以看出,和传统VSI相比,通过设置直通调制比 $D(D < 0.5)$,不需要额外增加DC/DC变流器,就能实现直流侧电压的任意比例升压^[13]。

3 Z源光伏并网系统实现

光伏并网系统内部还集成了完善的保护措施:系统过/欠电压、过/欠频率、防雷和接地、短路保护、孤岛检测等。对于光伏并网系统,其最大功率跟踪(MPPT)能力也是一个重要的因素。太阳能电池方阵的输出随太阳辐照度和太阳能电池方阵表面温度而变动。因此需要跟踪太阳能电池的工作点并进行控制,使其始终处于最大输出,并获取最大输出。该光伏并网系统于2010年8月并网投运成功,系统运行参数如表2所示。

表2 光伏系统运行参数

| 电压波动 / % | 频率波动 / Hz | 三相电压不平衡度 / % | 电流谐波 / % |
|----------|-----------|--------------|----------|
| 5 | 49.8~50.2 | <2 | <3 |

系统运行当天,逆变器参数如表3所示。可见系统工作正常,符合设计规范。

4 结束语

城市中,可再生能源的利用主要以光伏发电为主,而光伏发电由于其功率密度低的特点,需要占用大量的土地稀缺资源,而屋顶是最佳选择。利用Z源逆变器的升降压特性,光伏组件可以依据建筑屋顶的结构串并联汇流,直流母线电压范围比普通逆变器更大,通过工程应用证明Z源逆变器能够很好

表3 逆变器参数

| 项目 | 参数 |
|--------------|-------|
| 直流母线电压 / V | 528.6 |
| 直流母线电流 / A | 94.4 |
| 输入功率 / kW | 49.8 |
| 交流电压 / V | 417.4 |
| 交流电流 / A | 64.4 |
| 输出功率 / kW | 46.4 |
| 电网频率 / Hz | 50 |
| 累计发电量 / kW·h | 256.6 |
| 累计运行时间 / min | 422 |

地适用于屋顶光伏系统,效果良好。

参考文献:

- [1] 吴理博. 光伏并网逆变系统综合控制策略研究及实现[D]. 北京:清华大学,2006.
- [2] 汪海宁,苏建徽,丁明,等. 光伏并网功率调节系统[J]. 中国电机工程学报,2007,27(2):75-79.
- [3] HAN B,BAE B,KIM H,et al. Combined Operation of Unified Power Quality Conditioner with Distributed Generation[J]. IEEE Trans on Power Delivery,2006,21(1):330-338.
- [4] 赵为. 太阳能光伏并网发电系统的研究[D]. 合肥:合肥工业大学,2003.
- [5] 朱瑞兆,祝昌汉. 中国太阳能、风能资源及其利用[M]. 北京:气象出版社,1988.
- [6] 王兆安,张金良译. 电力半导体变流技术[M]. 北京:机械工业出版社,1993.
- [7] 张崇巍,张兴. PWM整流器及其控制[M]. 北京:机械工业出版社,2003.
- [8] SRIRAGHAVAN S M,PRADHAN B D,REVANKAR G.N. Three-Phase Pulse-amplitude and Width-Modulated Inverter System[J]. Electric Power Applications, IEE Proceedings B, 1981,128(3):167-171
- [9] 舒志兵,李俊. PWM电压型逆变器的数学模型分析[J]. 南京化工大学学报,2001,23(5):61-63.
- [10] 彭方正,房绪鹏,顾斌,等. Z源变换器[J]. 电工技术学报,2004,19(2):1-5.
- [11] 王利民,钱照明,彭方正. Z源升压变换器[J]. 电气传动,2006,36(1):1-4.
- [12] RAJAKARUNA S,JAYAWICKRAMA Y R L. Designing Impedance Network of Z-Source Inverters[J].IEEE Transactions on Industry Application,2004,22(4).
- [13] FANG Zheng-peng. Z-Source Inverter [J].IEEE Transactions on Industry Application,2003,39(2).

作者简介:

翁蓓蓓(1979-),女,江苏泰兴人,工程师,主要从事电网规划、项目前期、电网运方等方面工作;
张鹏(1973-),男,江苏泰兴人,工程师,主要从事电网规划、项目前期、变电技术等方面工作;
汤少卿(1966-),男,江苏姜堰人,高级工程师,主要从事输电技术、生产管理、发展规划等方面工作。(下转第57页)

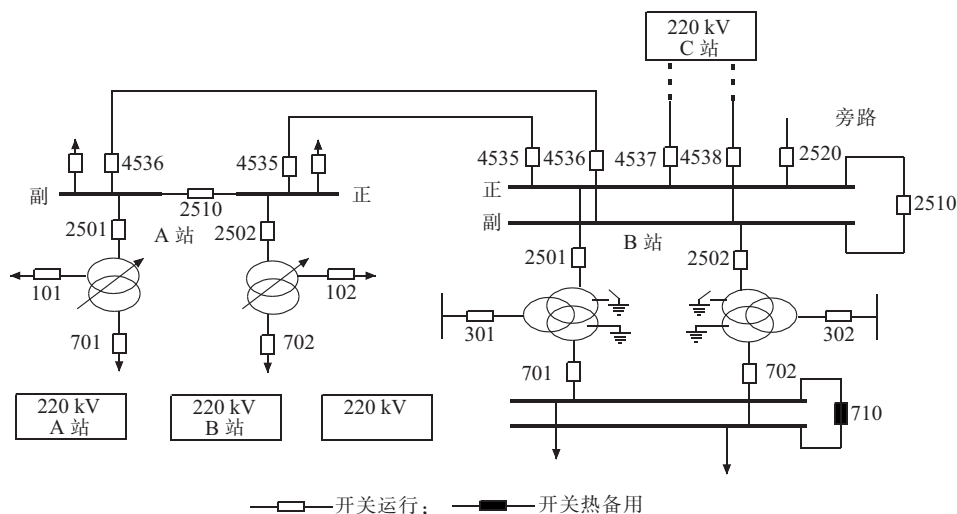


图3 正常系统图

母线试送,且采取以下处理步骤。

(1) B站: 拉开1号主变2501主变侧闸刀,合上1号主变2501断路器;(2) B站: 合上4535断路器;(3) B站: 合上220 kV旁路2520断路器;(4) A站: 合上4535断路器(对B站220 kV正母线试送);B站告: 试送失败,判断故障为2501断路器或者2520断路器的“死区”故障,则2501断路器与TA之间、2520断路器与TA之间分别用外来电源进行充电判断;(5) B站: 合上4535断路器;(6) B站: 合上220 kV旁路2520断路器;(7) A站: 合上4535断路器(对B站220 kV正母线试送);B站告:

试送成功,判断故障点为2501断路器与TA之间的“死区”故障,将2501断路器转冷备用后,恢复220 kV方式,并通知检修部门检查处理。

参考文献:

- [1] 陈海波. 继电保护[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.
[2] 李 坚. 电网运行及调度技术问答[M]. 北京: 中国电力出版社, 2003.

作者简介:

陈 霄(1981-),女,江苏泰兴人,工程师,从事电力调度工作;
徐荆州(1981-),男,安徽安庆人,工程师,从事电力设计工作。

Analysis of Protection Action for Typical Dead-zone Fault

CHEN Xiao, XU Jing-zhou

(Nanjing Power Supply Company, Nanjing 210009, China)

Abstract: It is difficult to judge the fault point of dead-zone fault, and it is also a difficult point for power dispatcher in fault treatment. If faults in the dead zone are not removed quickly, it will seriously threaten the security and stability of power system operation. In the paper, some common dead-zone fault phenomena were analyzed briefly. And the dead-zone fault treatments and preventive measures were proposed by examples.

Key words: dead-zone; current transformer (TA); bus-bar differential protection; differential protection

(上接第54页)

Roof Grid-connected Photovoltaic Power Generating System Based on Z-source Inverter

WENG Bei-bei, ZHANG Peng, TANG Shao-qing

(Taizhou Power Supply Company, Taizhou 225300, China)

Abstract: Combined with the large-scale urban photovoltaic power applications and the convergence characteristics of the roof PV modules, the Z-source inverter is chosen to take the place of common inverter in grid-connected PV power system. In the paper, the working principles of Z-source inverter were analyzed in detail, and the mathematical derivation of main working states were also given. Compared with the common voltage source and current source topology, the Z-source inverter can realize any buck and boost. The design of the roof photovoltaic generation pilot project and the work effects using the Z-source inverter were introduced. Practices prove that roof grid-connected photovoltaic power generating system has better effects.

Key words: roof photovoltaic power; grid-connected; Z-source inverter