基于新型多模态共网逆变器的城市级建筑光伏应用

刘叶冰[1]，王 旭[2]，薄志谦[3]，贾 宁[1]

（1.西东控制集团，辽宁 沈阳 110005；2.东北大学，辽宁 沈阳 110004；3.国网许继集团，北京 100085）

摘要：面对分布式光伏电站建设的发展，从锦州市城市级分布式建筑光伏电站示范项目实例出发，介绍一种新型的分布式光伏共网应用新模式，进而介绍一种一体化多模态光伏逆变设备。这种不同于传统逆变器设备，除了提供即发即用的光伏逆变功能外，同时还能提供就地无功补偿和谐波补偿，甚至在没有光伏时作为专门的补偿设备而使用。就此新模式对配电网运行与控制保护所带来的影响也作了介绍。

关键词：城市级；分布式光伏电站；光伏共网应用；多模态逆变器

City level building integrated PV applications based on multi-modal grid co-existence inverter

LIU Ye-bing[1], WANG Xu[2], BO Zhi-qian[3], JIA Ning[1]

(1. West-east Control Ltd, Shenyang 110005, China; 2. Northeastern University, Shenyang 110004, China;
3. XUJI Group of SGCC, Beijing 100085, China)

Abstract: With the development of distributed photovoltaic power station construction, from the example of Jinzhou city level distributed building integrated PV demonstration project, this paper introduces a new type of distributed PV application mode, namely the grid co-existence new mode. And then it presents an integrated multi-modal PV inverter device. The divice differs from traditional inverter equipment, except for providing inverter functionality with the immediately spent of electricity generated, at the same time, supplying on-spot reactive power and harmonic compensation, even as a special compensation device when there is no sunshine, thus affecting the operation, control and protection of the distribution network.

Key words: city level; distributed PV substation; PV co-existence; multi-modal inverter

中图分类号： TM619 文献标识码：A 文章编号： 1674-3415(2014)05-0017-04

0 引言

目前光伏应用发展十分迅猛，建筑光伏应用、分布式光伏电站建设，正在突破传统大型光伏电站的建设模式和应用设备[1-7]，对传统发电及输变电理论是一个挑战，给电力系统的供配电系统的运行与控制保护都带来诸多新课题。本文是从一座真正意义上的城市级分布式光伏电站实例出发，认真研究与总结这种最具分散特点的典型新能源应用对传统供配电带来的影响。

1 分布式光伏电站的发展趋势

1.1 城市级分布式建筑光伏电站

锦州市城市级分布式建筑光伏电站，作为国家住建部、财政部的建筑光伏应用集中示范区，是截止目前，世界上真正意义的城市级分布式建筑光伏电站，详见图 1。

锦州市城市级分布式建筑光伏电站，分散建设在锦州市（总面积 10 301 km^2）的 4 大城区和 10 个郊县和开发区的 133 座建筑上，项目规模 20 MW，包含 81 个子项目。作为在城市既有建筑上建设光伏电站示范项目，最为典型的是建设在 94 座公共建筑屋顶，规模 5 861 kWp 的 64 个光伏子电站项目。其中包括，政府办公楼 25 个（32 座建筑，1 250 kWp）；学校项目 33 个（54 座建筑，4 328 kWp）；医院项目 6 个（8 座建筑，283 kWp）。

此外，项目还包括 16 个企业项目（39 座建筑，14 220 kWp）。

从上述项目分布可以看出，该项目的最大特点是分布分散。尤其那些建设在政府、学校、医院等公共建筑屋顶的项目都不是很大，最小规模的光伏子电站仅为 12.75 kWp；较大规模的光伏子电站也不过 200 kWp 左右，在一座建筑上很少有超过 100 kWp 的项目。

锦州城市级分布式建筑光伏电站网络架构如图2。

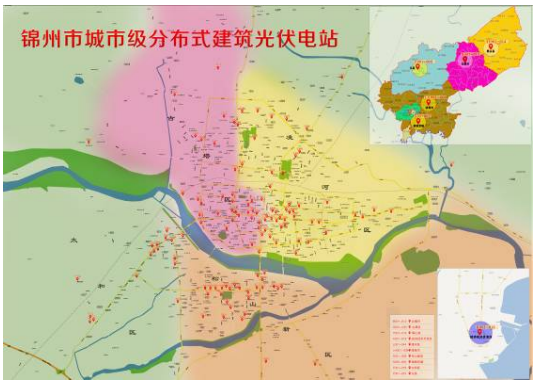

图 1 锦州市城市级分布式建筑光伏电站项目分布图

Fig. 1 Jinzhou city-level distributed BIPV power station construction project maps

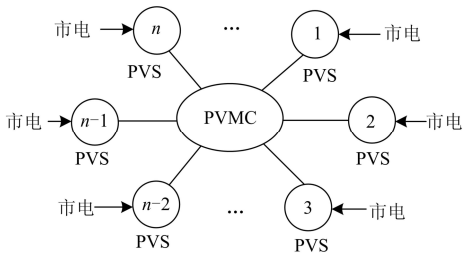

图 2 城市级分布式建筑光伏电站网络架构框图

Fig. 2 Block diagram of city-level distributed network architecture of BIPV power station

城市级分布式建筑光伏电站管理中心（PV Management Center，PVMC）如图 3 所示，与分散分布于各处的光伏子电站（PV Station，PVS）通过（Remote Terminal Units，RTU）远程终端单元实现无线、总线数据通信。由 PVMC 实现对各个光伏子电站的运行数据采集与控制管理，既可以实现对各光伏子电站运行状态的在线监测管理，又可以接受上级配电网控制指令参与配电网运行控制与保护。PVMC 中央管理计算机可显示各个光伏子电站、某个区域或整个城市级光伏电站的当前工作状态和累计的各种历史数据（日、月、年发电量），以及折算成标准的节能减排数据。

1.2 锦州项目技术特点

1）光伏电力“即发即用”

这与传统的“用户侧并网”光伏电站相同，各光伏子电站的光伏电力分散就地接入市电用户变压器低压侧（400 VAC），尽可能地自发自用就地消耗，极少发生送入市电电网输送给远端用户负载。

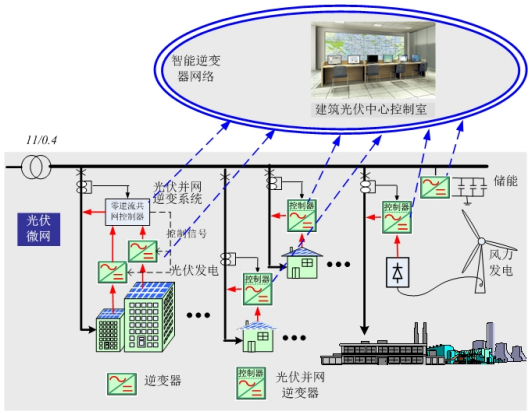

图 3 城市级分布式建筑光伏电站及其 PVMC 中心控制室

Fig. 3 City-level distributed architecture of BIPV power station and PVMC central control room

2）光伏子电站实现就地“为用户发电、对电网友好”。具体讲，就是每座建筑上的光伏子电站，采用“光伏共网逆变器”。不同于传统光伏并网逆变器仅仅为电网提供有功电量，而是根据所接入的用户侧负载用电需求，向用户提供全面符合供电质量（含有功和无功需求）要求的电能。

3）系统实现设备本质安全零逆流

光伏子电站所采用的共网逆变设备，是一种根据用户用电需求调整光伏输出电量参数的新型逆变设备，由设备本身的工作原理保证了绝无逆向功率流向电网系统。

4）每个光伏子电站不仅可以正常实现光伏电力共网应用，同时又可以成为市电配电网的“互动”控制终端，它不仅将就地的光伏发电参数传输给“上级”配电网管理中心，而且可以根据所在配电网的负荷用电状态，就地提供无功功率补偿和谐波补偿，大大改善了配电网供电质量，提高了供电效率，增加了电网运行安全。甚至在不做光伏逆变状态下，可以直接接收“上级”指令，为配电网就地提供无功补偿和谐波补偿。

这是一种不同于传统光伏并网应用的新模式，是一种符合“智能电网”互动要求的新型光伏应用形式。

2 多模态一体化光伏共网逆变器

2.1 光伏应用技术概况

目前光伏应用的主流技术是大型并网电站建设，将光伏电力转换成与市电电力同频、同相、同质的交流电力并入市电电网应用，这实际上就是延续传统“发电—输电—配电—用电”理论，应用在太阳能这种间歇电源领域中，暴露了许多问题，造

成了很多困难。实践表明这种把分散分布的太阳能集中处理的方案，不是一种好的光伏应用方案。

因此，又出现了“用户侧并网”光伏应用。这种应用模式实际上就是光伏并网应用的一种特例，就是一种不可逆流的并网应用方式。光伏系统始终追寻与电网同步向负载供电，要求系统防止光伏电力对市电电网发生逆向功率。在国家标准《光伏系统并网技术要求》（GB/T 19939-2005）中明确规定：“系统在不可逆的并网方式下工作，当检测到供电变压器次级处的逆流为逆变器额定输出的 5%时，逆向功率保护应在 0.5~2 s 内将光伏系统与电网断开”。同时，还规定了系统在市电失电时防止孤岛效应发生：“当电网失压时，防孤岛效应保护应在 2 s 内动作，将光伏系统与电网断开”[8]。由此可见，这种用户侧并网应用在实施逆向功率保护之时，实际上已经在 0.5~2 s 内系统向市电电网发生了光伏逆向功率，其规模已经超过装置的额定功率 5%。当这种应用尚不普遍时，还不至于对市电电网安全运行造成较大影响。但是如果普遍推广这种用户侧并网分布式光伏应用，势必影响市电电网的安全运行。

2.2 光伏共网应用新技术

光伏共网[2]应用与并网应用的不同是：光伏共网应用系统遵循的是“为用户发电”原则，始终根据负荷用电需求（相位与质量），将光伏电力转换成所需电力输出，包括就地提供无功功率输出和谐波补偿功能。即，它不追求仅仅输出有功功率，重要的是保证光伏输出电力与负荷所需电力保持相位一致，进而实现了设备本质安全零逆流。

共网应用模式是一种崭新的光伏应用模式[9]，如图 3 所示，它特别适合在那些大量分散的建筑上建设太阳能电池板，产生的光伏电力就地使用，而市政电力作为备电（实际是基础电力）保证系统正常用电。这与不可逆流的并网系统相比，不仅解决了电力系统对电网安全运行的担心，还减少“一点并网”所造成的系统效率的损耗，大大提高太阳能使用效率，降低系统投资造价和系统维护成本。

2.3 多模态一体化光伏共网逆变器

这是一种专门用于光伏功能共网应用系统的逆变器，它不同于传统逆变器，是一种“为用户发电”的光伏逆变器，可以就地提供无功补偿和谐波补偿，大大改善电网供电质量，提高电网供电效率。

同时它又是一种“对电网友好”的逆变器，实现光伏电力对市电电网的设备级本质安全零逆流。提高市电电网的安全运行状态。

此外，它还具备“互动”功能，成为智能电网的智能用户终端，既可参与发电和调节供电质量，又可参与配电网的控制和保护。

3 多模态光伏共网逆变器接入对配电网的影响

普通的逆变型分布式电源接入配电网后，使传统配电网系统受端出现发电单元并且其发电能力得到不断提升。配电网电力供应模式将从单一的由大型注入点单向供电的模式，向大量使用受端分布式发电设备的多源多向模块化模式转变。可以想见，这种分布式电源的并网方式必将影响配电系统的供电方式、电能质量以及保护原理与配置方案。

光伏发电是分布式电源中较为成熟的方式之一，也成为电力系统中增长速度相对较快的能源之一。面对大量分散的分布式光伏应用，多模态光伏共网逆变器为光伏发电系统的应用提供了一种安全可靠、适用于大规模分散式接入的发电方式。从配电网某个局部看，这种分布式光伏共网应用电站，不仅可以大大降低可再生能源接入渗透率，而且由于该电站可以与配电网“互动”，在光伏发电时发有功和无功，以及吸收无功和提供就地无功补偿和谐波补偿，也可以在光伏不发电时作为就地无功补偿和谐波补偿器使用，还可以根据上级指令参与调峰和提供补偿功能，由此对配电网双向潮流性能改善和并网点保护无疑产生良好影响。

随着中国城镇化建设进程加快，小城镇的发展必然与新能源应用紧密结合，在广大小城镇、甚至农舍屋顶发展分布式光伏电站必定是未来的一个方向。因此，本技术也将为未来的“面向可再生能源应用的智能配电网（或者农网）改造”带来新思路。

4 结论

本文介绍了(1)大规模城市级分布式光伏建筑光伏的应用项目及其通信管理系统；(2)光伏发电共网的新概念及应用技术；(3)专门用于光伏共网应用系统的多模态一体化光伏共网逆变器。

在此基础上开发基于多模态共网逆变器的智能逆变器的网络[10-11]，为实现智能配电网/微电网的源网荷互动，调节供电质量及参与控制和保护等打下基础。

参考文献

[1] 张石, 张瑞友, 汪定伟, 等. 光伏并网逆变器的自适应微电网检测技术[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(21): 136-140.
ZHANG Shi, ZHANG Rui-you, WANG Ding-wei, et al. Adaptive microgrid detection methods for PV

grid-connected converters[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(21): 136-140.

[2] 杨永恒, 周克亮. 光伏电池建模及 MPPT 控制策略[J]. 电工技术学报, 2011, 26(增刊 1): 229-234.
YANG Yong-heng, ZHOU Ke-liang. Photovoltaic cell modeling MPPT control strategies[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2011, 26(s1): 229- 234.

[3] 高英, 谢开贵, 胡博, 等. 考虑光伏出力与负荷相关性的光伏电站容量可信度评[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(14): 1-6.
GAO Ying, XIE Kai-gui, HU Bo, et al. Photovoltaic power capacity credit evaluation model considering the correlation between photovoltaic power generation and system load[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(14): 1-6.

[4] 高志强, 纪延超, 谭光慧, 等. 新型光伏三端口逆变器[J]. 电工技术学报, 2011, 26(增刊 1): 113-117.
GAO Zhi-qiang, JI Yan-chao, TAN Guang-hui, et al. The new three-port photovoltaic inverter[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2011, 26(S1): 113-117.

[5] 邓浩, 周念成, 王强钢, 等. 光伏并网功率调节系统的建模与仿真[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(17): 62-66.
DENG Hao, ZHOU Nian-cheng, WANG Qiang-gang, et al. Modeling and simulation of grid connected photovoltatic power regulation system[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(17): 62-66.

[6] 刘波, 杨旭, 孔繁麟, 等. 三相光伏并网逆变器控制策略[J]. 电工技术学报, 2012, 27(8): 64-70.
LIU Bo, YANG Xu, KONG Fan-lin, et al. Three-phase photovoltaic grid-connected inverter control strategy[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2012, 27(8): 64-70.

[7] 张凤阁, 朱仕禄, 殷孝睢, 等. 交错反激式光伏并网微逆变器的控制器实现[J]. 电工技术学报, 2013, 28(5): 142-147, 153.
ZHANG Feng-ge, ZHU Shi-lu, YIN Xiao-wei, et al. The implementation of the interleaved flyback PV grid connecting inverter[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2013, 28(5): 142-147, 153.

[8] GB/T 19939-2005 光伏系统并网技术要求[S].
GB/T 19939-2005 technical requirement for grid co-existing technique[S].

[9] 刘叶冰, 贾宁, 邢岩, 等. 建筑光伏微电网共网应用新技术[J]. 建设科技, 2011(7): 68-69.
LIU Ye-bing, JIA Ning, XING Yan, et al. Building integrated PV micro grid co-existing new technique[J]. Construction Science and Technology, 2011(7): 68-69.

[10] 薄志谦, 张保会, 董新洲, 等. 保护智能化的发展与智能继电器网络[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(2): 1-12.
BO Zhi-qian, ZHANG Bao-hui, DONG Xin-zhou, et al. The development of protection intellectualization and smart relay network[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(2): 1-12.

[11] 李斌, 薄志谦. 智能配电网保护控制的设计与研究[J]. 中国电机工程学报, 2009, 29(增刊): 1-6.
LI Bin, BO Zhi-qian. Research and design of protection and control for smart distribution network[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2009, 29(S): 1-6.

收稿日期：2013-09-02； 修回日期：2013-12-31

作者简介：

刘叶冰（1949-），男，教高，研究方向为建筑光伏应用；

王 旭（1956-），男，教授，研究方向为逆变器；

薄志谦（1955-），男，教授，研究方向为智能配电网。

E-mail: bozhiqian@263.com