

商业型用户侧微电网典型拓扑设计与分析

随着分布式能源发电的快速发展,对接入分布式电源的用户侧微电网进行拓扑分析和系统设计,是保证高渗透率用户侧微电网安全稳定运行的关键。从商业型用户侧微电网特点出发,对分布式电源接入用户侧微电网的方式进行研究,设计分析分布式电源接入商业住宅型、办公型用户侧微电网的典型拓扑,旨在促进用户侧微电网可靠建设与发展。

杨 苹^{1,2} 许志荣¹ 何 婷¹ 李 鹏³ 雷金勇³/1.华南理工大学电力学院
2.广东省绿色能源技术重点实验室(华南理工大学) 3.南方电网科学研究院

0 引言

随着电网规模的不断扩大,传统的集中发电和远距离输电的电网建设模式表现出越来越多的局限性^[1]。另一方面,随着常规化石能源的不断枯竭,清洁高效的可再生能源发电技术受到了广泛的关注^[2]。为了应对挑战,很多国家提出了以智能电网建设为核心的未来电网发展战略^[3]。微电网能够整合大量分布式能源发电,有助于解决大电网遇到的各种问题,是未来智能电网中配电网的重要组成部分^[4-6]。

用户侧光伏微电网是将光伏发电单元、储能设备和用户群体构成一个有机整体,通过公共连接点与外界大电网相连接,实现对本区域内的发电、储电和用电设备的互动管理,一般分布在大型住宅小区或大型工矿企业且直接与380 V

用户侧配电网直接相连。

近年来,各国积极制定光伏发电补贴政策,提出光伏发电平价上网制度,并快速发展智能电网和建筑光伏产业,进一步为用户侧光伏微电网的迅速发展提供了契机。目前,国内用户侧光伏微电网示范工程有杭州电子科技大学120 kW用户侧光伏微电网系统和中国南车集团250 kW用户侧光伏微电网系统。杭州电子科技大学项目光伏装机容量达到微电网系统一次能源总容量的50%,而中国南车集团项目光伏装机容量达到微电网系统一次能源总容量的70%^[7]。

微电网运行控制是微电网研究领域中最为核心的课题^[8],此外微电网规划设计与优化运行^[9]、潮流计算^[10]、稳定性和可靠性^[11]及继电保护^[12]等均是当前微电网领域的研究热点。大量文献对此进行了深入的研究,但上述研究热点均对用户需求的关注不够。随着分布式光伏发电系统在用户侧的规模化接入,以家庭、楼宇和小区为单元形成典型的用户侧微电网的可能性大大增加。因此对于用户侧微电网拓扑结构,分布式电源接入方式等方面仍需要进一步完善。

本文将重点研究仅接入光伏发电、储能系统的用户侧微电网,对商业型用户侧微电网特点和分布式电源接入用户侧微电网的方式进行研究,设计和分析用户侧微电网的典型拓扑,是实现用户侧微电网区域内发电、储电及用电设备协调控制、优化能效管理以及保障用户安全可靠用电的基础。



杨 苹/教授

关键词/Keywords

用户侧微电网·
商业型微电网·
拓扑设计·

国家高技术研究发展计划(863计划)(2014AA052001),广东省战略性新兴产业核心技术攻关项目(2012A032300001),南沙区科技计划项目资助(2013P005),南方电网科学研究院科技项目(SEPRI-K143003)。

1 商业型用户侧微电网的特点

根据《中国南方电网城市配电网技术导则》，低压配电网中用电负荷可分为住宅型、商用型和办公型。由于商用型负荷与办公型负荷估算值相近，在此将商用型负荷、办公型负荷简化为办公型负荷，因此低压配电网中用电负荷可分为商业住宅型、商业办公型，以此为负荷中心建立起来的微电网称为商业住宅型用户侧微电网和商业办公型用户侧微电网。

除高档住宅和别墅的负荷密度为12~20 kW/套外，其余住宅型负荷密度均在10 kW/套以下，因此商业住宅型用户侧微电网多针对用电功率在10 kW以下的用户。商业住宅型用户侧微电网采用220 V单相供电，DC-AC逆变器以及AC-DC整流器均为单相设备，多采用独立家用配电箱。但住宅用户间的独立性也为用户侧微电网大规模发展带来较大困难。

商业办公型负荷密度约为80~120 kW/m²，因此商业办公型用户侧微电网多针对用电功率为10~150 kW的用户。商业办公型用户侧微电网采用380 V三相供电，DC-AC逆变器以及AC-DC整流器均为三相设备，多采用楼层配电箱或户用配电箱。商业办公型微电网用户的配电类型可由业主的性质再细分为3种，即同一栋楼都属于同一个业主；同一楼层都属于同一个业主；同一楼层分不同区域属于不同业主。

由于第1种和第2种的类型相似，因为对于同一栋楼或同一个楼层，相关负荷归属同一业主，因此，对于第1种类型和第2种类型可以合并为一种。

结合实际情况（负荷情况、可接入新能源的数量等），在此只研究后面两种情况。

2 分布式电源接入商业型用户侧微电网的方式

用户侧微电网根据负荷情况可分为商业住宅型微电网和商业办公型微电网。本节将从用户侧微电网分类角度出发，结合分布式电源自身特点

分别对分布式电源接入商业住宅型微电网、商业办公型微电网的方式进行分析。

2.1 分布式电源接入商业住宅型微电网的方式

分布式电源接入商业住宅型微电网的方式主要有4种。具体如下。

(1) 以光伏系统优先供电为主，市电作为补充的方式

如图1所示，该方案主要是参考“UPS”的供电方案，将UPS换为光伏系统，即可实现该方式的供电。原理为：控制光伏系统出口端的DC-DC开路输出电压高于入户电源总线经AC-DC后的出口电压，当光伏充足时，由于电压差，保证光伏向负荷供电；当光伏不足时，则DC-DC的电压降低，此时入户电源总线经过AC-DC后向负载提供功率。

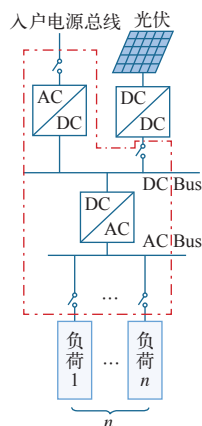


图1 光伏系统优先供电、市电补充供电拓扑图

该方式较为方便，不用调度实现光伏发电的利用。但是如图1中红色框所示，需要对家用配电箱进行改造，比较烦琐，且需要多配备光伏系统的DC-DC控制器和电源总线的AC-DC控制器。

(2) 光伏系统直接并入家用配电箱方式

如图2所示，该方案可以直接在家用配电箱中增加一个开关，用以连接光伏系统，系统的接线改造非常方便。如果允许用户往电网反送电，则光伏系统可采用最大功率跟踪的控制方式，控制方式不复杂，但是双向计量算法会变复杂；如果不允许用户往电网反送电，则光伏系统需要根据负荷的情况，进行功率改变控制，逆变器的控制

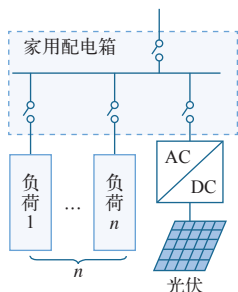


图2 光伏系统直接并入家用配电箱拓扑图

算法会变复杂。

该方式可以较为方便地实现配电线路上的改造，但是控制算法会变得复杂。

(3) 光伏系统和储能系统都直接并入家用配电箱方式

如图3所示，该方案可以直接在家用配电箱中增加一个开关，用以连接光伏系统和储能系统，系统的接线改造非常方便。该拓扑可以实现家庭用户离网或者并网供电。当并网时可以实现不往电网反送电；当离网运行时，可以在一定的时间内维持家用负荷的正常供电。

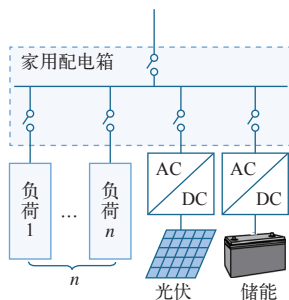


图3 光伏系统和储能系统直接并入家用配电箱拓扑图

该方式可以较为方便地实现配电线路上的改造，但是控制算法会变得复杂，而且线路改造和一次设备的造价会相应提高。

(4) 储能系统直接并入家用配电箱方式

如图4所示，该方案可以直接在家用配电箱中增加一个开关，用以连接储能系统，系统的接线改造非常方便。该拓扑可以实现家庭用户的离网或者并网供电，当并网时，可以控制储能系统进行充电；当离网运行时，可以在一定的时间内维持家用负荷的正常供电。

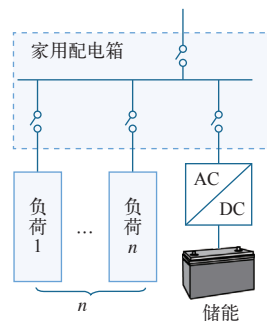


图4 储能系统并入家用配电箱拓扑图

该方式可以较为方便地实现配电线路上的改造，系统的控制算法也较为简单，但是系统的单位造价较高。

以上4种分布式电源接入方式，都是针对单相系统的，为了保证整层楼的等效负荷尽量对称，建议同类型的3户系统分别并入不同相线中。即每一相线都有4种不同类型的用户拓扑。

2.2 分布式电源接入商业办公型微电网的方式

商业办公型微电网用户的配电类型可由业主的性质分为同一楼层都属于同一个业主和同一楼层分不同区域属于不同业主，接下来将从两个不同配电类型分析分布式电源的接入方式。

(1) 同一楼层都属于同一个业主

在该方式下，由于楼层中的负荷归属比较明确，考虑到示范要求和接线方便，微电源的接入可以采取“集中接入楼层配电箱”的方式。

具体的用户类型拓扑如图5所示。

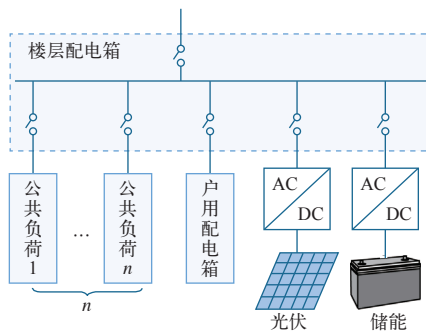


图5 同一楼层都属于同一个业主的商用办公微电源接入拓扑图

对于这种类型的微电网，由于楼层中的负荷都归同一个业主所有，所以在微电源接入方面，可以采用集中接入的方式。这种设计有如下的优

点：统一接入，接线方式简单；接入点集中，可以避免线路改造；集中接入的控制点少，控制简单。唯一的缺点是：如果微电源发生故障，系统将不能实现离网运行。

1) 当该微电网并入大电网运行时，根据负荷的需求，可以控制微电源最大程度地满足需要。当负荷较大时，且微电源功率不能满足要求时，可以从电网获取电能；当负荷较小时，控制光伏和储能系统不往电网反送电。

2) 当该微电网孤网运行时，蓄电池作为主电源，检测负荷的功率，控制光伏和储能系统，保证系统能够稳定地给负载供电。

(2) 同一楼层分不同区域属于不同业主

与2.1节中类似，分布式电源接入商业办公型微电网同样存在4种不同的方式，分别为“光伏系统优先供电，市电补充供电”、“光伏系统直接并入用户配电箱”、“光伏系统和储能系统都直接并入用户配电箱”以及“储能系统并入用户配电箱”，其优缺点与2.1节中4种方式的分析相同，但与上述4种方式不同之处在于：系统中AC-DC变流器和DC-AC变流器均为三相。

3 商业型用户侧微电网一次拓扑设计与分析

分布式电源的接入方式根据用户侧微电网类型不同而有所区别，导致其并网、离网运行性能存在差异。本节将综合商业型用户侧微电网特点和分布式电源的接入方式对商业型用户侧微电网进行整体拓扑设计。

3.1 商业住宅型微电网一次拓扑

如图6所示，商业住宅型用户侧微电网的拓扑主要侧重于普通居民。普通居民的用电电压一般为220 V，且居民入户都有一个配电箱，配电箱汇集居民所有的负荷和其他电源（包括储能和光伏），考虑居民家庭设备的所有权问题，居民的家庭常用拓扑主要有以下几种类型：除了常用负荷，还有光伏系统（根据功能划分为第1种类型和第2种类型，见图6）；除了常用负荷，还有光伏系统和储能系统；除了常用负荷，还有储能系统。

考虑到分布式光伏容量配置大，且每种只需选取1~2户的居民配备光伏板或电池组，因此还有一定数量的光伏板可以接到楼层中。由于整个用户侧微电网还需具备一定的离网运行功能，因

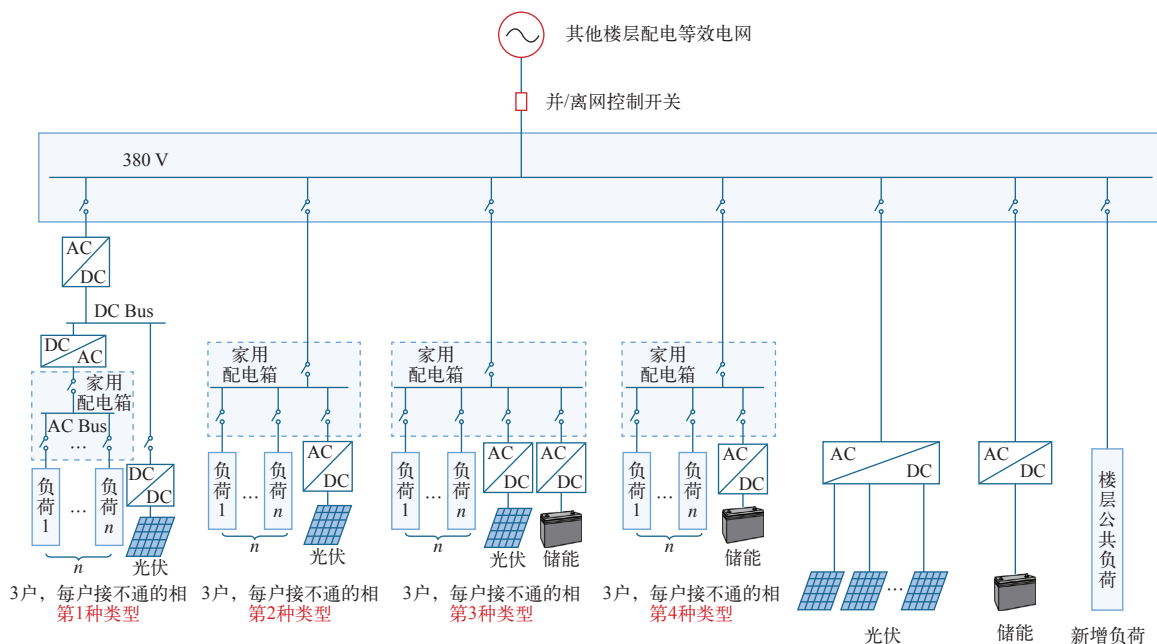


图6 商业住宅型用户侧微电网拓扑

此，需要在主配网配置一定容量的蓄电池。

1) 当该微电网并入大电网运行时，新增的公共负荷（如大功率热水器）不投入使用，每一种类型的用户通过控制，保证新能源能够最大程度地满足需要。当负荷较大时，可以从电网或楼层集中式的光伏系统和储能系统获取电能；当负荷较小时，控制楼层共用的光伏和储能系统不往电网反送电。

2) 当该微电网孤网运行时，没有配备蓄电池的各住户退出运行，配备蓄电池的家庭住户，通过自家配备的蓄电池进行供电；由于相关容量的限制，楼层共用的光伏系统和储能系统只负责对新增的负荷供电。

3.2 商业办公型微电网一次拓扑

由2.2节可知，商业办公型微电网用户第1种和第2种的配电类型相似，因此，对于第1种类型和第2种类型可以合并为一种。在此同样只研究后面两种情况。

(1) 第1种商业办公型用户侧微电网一次拓扑方案

图7为第1种商业办公型用户侧微电网拓扑。

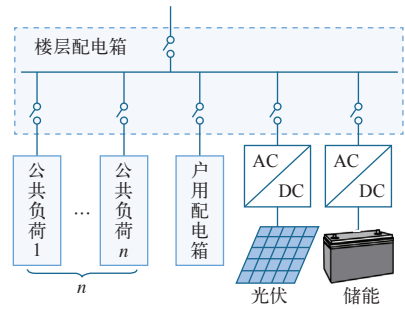


图7 第1种商业办公型用户侧微电网拓扑

(2) 第2种商业办公型用户侧微电网一次拓扑方案

如图8所示，商业办公楼一般楼层的配电系统为三相，其楼层的配电负荷包括三相和单相，楼层的配电系统（包括单相和三相）都由业主设计，相关设计的原则为“每相负荷总和尽量接近”。

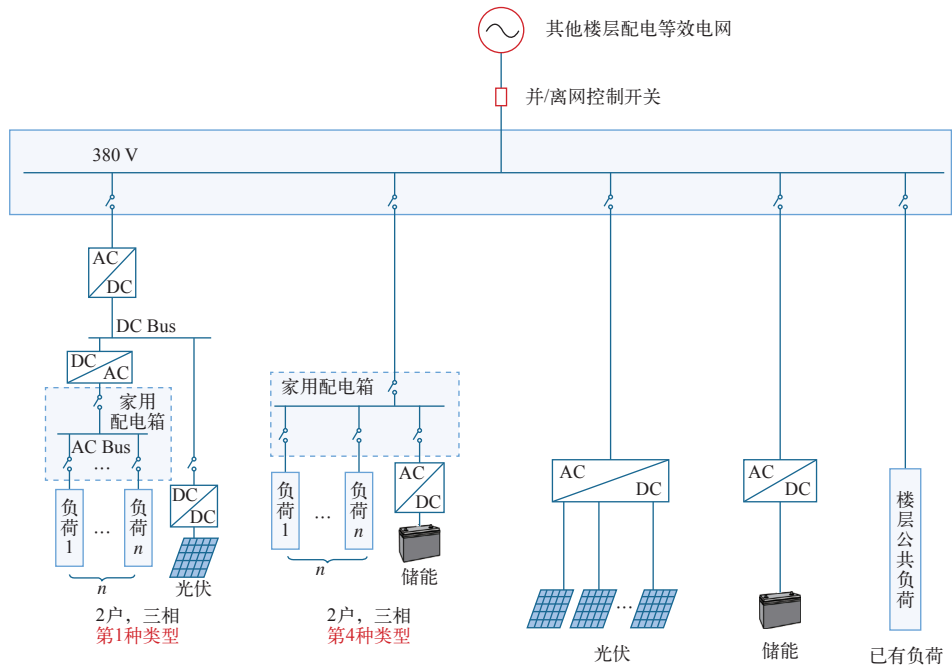


图8 第2种商业办公型用户侧微电网拓扑

对于这种类型的微电网，由于楼层中的负荷归属不同，因此可以建成具有带有不同类型的用户拓扑的微电网。这种设计有如下的优点：各个

新能源分散接入，可以为用户提供更多的供电回路，促进了新能源技术以多种方式大规模普及。其缺点是：控制比较复杂，线路改造较复杂。

1) 当该微电网并入大电网运行时, 根据各个用户负荷的需求, 可以控制微电源最大程度地满足需要。当负荷较大时, 且微电源功率不能满足要求时, 可以从电网或者楼层共用的光伏系统和储能系统获取电能; 当负荷较小时, 控制各用户的光伏和储能系统不向电网反送电。

2) 当该微电网孤网运行时, 配有蓄电池的用户可以采用自家的蓄电池作为主电源, 检测负荷的功率, 控制储能系统, 保证系统能够稳定地给负载供电; 没有配备蓄电池的用户可以采用共用的储能系统供电。

4 结束语

随着用户侧光伏微电网技术的不断完善和工程实践验证, 将进一步推动光伏发电产业的发展, 因此积极开展用户侧光伏微电网相关问题和技术的研究非常必要。综合结合商业型用户侧微电网特点和分布式电源接入方式, 对商业住宅型、办公型用户侧微电网的典型拓扑进行设计分析, 是研究用户侧微电网控制保护技术的基础, 也是保障用户侧微电网安全可靠用电的必要条件之一。

参考文献

- [1] 卢强, 梅生伟. 面向21世纪的电力系统重大基础研究[J]. 自然科学进展, 2000, 10(10): 8-14.
- [2] Xia Y, Yonghua S, Guanghui W, et al. A comprehensive review on the development of sustainable energy strategy and implementation in China[J]. IEEE Transactions on Sustainable Energy, 2010, 1(2): 57-65.
- [3] Fangxing L, Wei Q, Hongbin S, et al. Smart transmission grid: vision and framework[J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2010, 1(2): 168-177.
- [4] Fang X, Misra S, Xue G, et al. Smart grid--the new and improved power grid: a survey[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2012, 14(4): 944-980.
- [5] 李志勇, 冯江华. 智能型光伏微电网及其N+1控制模式研究[J]. 大功率变流技术, 2010(5): 29-32.
- [6] 鲁宗相, 王彩霞, 闵勇, 等. 微电网研究综述[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(19): 100-107.
- [7] 吴小云, 顾广娟. 用户侧光伏微电网发展机遇与挑战[J]. 大功率变流技术, 2011(6): 39-42.
- [8] Zamani M A, Yazdani A, Sidhu T S. A control strategy for enhanced operation of inverter-based microgrids under transient disturbances and network faults[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2012, 27(4): 1737-1747.
- [9] 杨琦, 马世英, 唐晓駭, 等. 微电网规划评价指标体系构建与应用[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(9): 13-17.
- [10] Rese L, Simoes Costa A, Silva A S E. A modified load flow algorithm for microgrids operating in islanded mode[C]. IEEE PES Conference on Innovative Smart Grid Technologies Latin America, Sao Paulo, 2013: 1-7.
- [11] Bahramirad S, Reder W, Khodaei A. Reliability-constrained optimal sizing of energy storage system in a micro grid[J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2012, 3(4): 2056-2062.
- [12] Sortomme E, Venkata S S, Mitra J. Microgrid protection using communication assisted digital relays[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2010, 25(4): 2789-2796.

(收稿日期: 2015-06-15) **EA**

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告