

# 基于分布式电源的微网的设计与运行

汪少勇

(广东省电力设计研究院, 广东 广州 510663)

**摘要:** 结合微网和分布式电源的特点,着重讨论了其设计、运行、优化、控制等问题。通过设计实例,指出微网的设计要遵循安全可靠、功率平衡、运行灵活的原则;分析了微网的结构和运行方式,对于并网运行模式、孤岛运行模式、双模式进行了详细说明,提出在不同的运行模式下微网设计的特点;对于微网和分布式电源的控制系统和优化运行提出了建议,提出了建立微网能量管理系统的大致思路;对需要注意的一些事项,如防孤岛保护、短路电流等进行了说明,提出用主动检测法和被动检测法进行防孤岛保护的实施方案。

**关键词:** 微网; 分布式电源; 设计; 运行模式; 防孤岛保护; 微网能量管理系统

**中图分类号:** TM 61

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1006-6047(2011)04-0120-04

## 0 引言

微网(MG)是一种由负荷和微型电源组成的系统,它可同时提供电能和热量;微网内部的电源主要由电力电子器件负责能量转换,并提供必要的控制<sup>[1]</sup>;微网相对于外部大电网表现为单一的受控单元,并可同时满足用户对电能质量和供电安全等的要求。微网内的微型电源,主要指微燃机、风力发电、光伏发电等分布式电源 DG (Distributed Generation)。国内已有一些文献对有关概念和研究方向进行了探讨<sup>[2-5]</sup>,随着这些 DG 的建设<sup>[6-7]</sup>,有必要对微网的设计和运行进行深入研究。

## 1 DG 与微网的特点

**a. DG 一般直接接在用户端。** DG 是根据用户需要而设定的,多为用户自行投资和管理,故一般都安装在用户端。另外,供电电压低、供冷(热)管道不可太长等因素也要求 DG 应尽量靠近用户端,以减少输送损失。

**b. DG 形式多样化。** 采用油、天然气、合成气等化石能源以及太阳能、风能等可再生能源,发电形式多种多样<sup>[6-7]</sup>。

**c. 主设备小型化,模块化。** DG 通常根据用户侧的需要确定容量,主要是为满足微网内用户对电、热、冷等单一或综合的需求,因此容量相对较小,十几千瓦到几兆瓦不等。各主要设备相互独立,技术成熟,自动控制水平较高,运行较灵活。可以根据用户的具体要求,选择不同的设备组合构建整个系统,实现模块化结构。

**d. 需求侧管理。** 目前的微网受政策和上网等诸多因素的影响,大多由用户或投资方自行运行管理。

从电网角度来看,这种管理模式不利于统一调度和优化调峰。

**e. 微网一般与电网连接,对电网造成一定影响<sup>[8-10]</sup>。** 微网一般采用并网不上网的方式与外部电网连接。由于 DG 的接入,改变了电网的电源结构,而且 DG 多采用电力电子元件进行能量转换,因此对电网的继电保护、电能质量、潮流分配产生一定的影响。

## 2 微网的设计

### 2.1 微网的设计原则

微网的设计对于微网运行的安全性、可靠性、经济性至关重要,主要基于以下原则进行。

**a. 安全可靠。** 微网的设计应保证区域内用电设备的安全,保证负荷供电的可靠。在电网出现故障时,微网应尽快与电网脱离,微网内各种设备的故障应能尽快隔离, DG 应保证重要负荷供电的连续性,在电网恢复正常后,微网应能尽快重新并网。微网内部的继电保护和自动装置的配置也要以安全可靠为前提,同时充分考虑 DG 的接入对外部电网的影响<sup>[11]</sup>。

**b. 功率平衡。** 应慎重考虑 DG 的接入点,将区域内的 DG 功率与用电负荷进行平衡,配电结构的设计应能使用户优先使用微网内部所发出的电量,同时兼顾冷(热)负荷的需求,以提高 DG 的能源利用效益,节省用户成本。

**c. 运行灵活。** 微网内设备各种运行方式的切换,设备的例行检修等的操作应灵活方便。

### 2.2 微网设计实例

图 1 是一个微网设计的实例。外部 10 kV 配电网通过 2 条线路,经断路器 QF<sub>601</sub>、QF<sub>602</sub> 分别接入母线 M<sub>1</sub>、M<sub>2</sub>, 2 段 10 kV 母线以分段断路器 QF<sub>603</sub> 连接。2 段 10 kV 母线通过 2 台变压器 T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub> 分别接入 2 段 380 V 母线 LM<sub>1</sub>、LM<sub>2</sub>, 2 段 380 V 母线以分段断路器 QF<sub>A3</sub> 连接。DG 接入 380 V 母线 DG<sub>M</sub>, 并通过断路

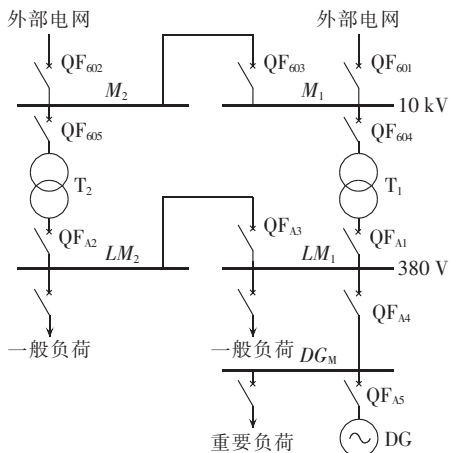


图 1 微网设计实例

Fig.1 Design example of micro-grid

器  $QF_{A4}$  与  $LM_1$  连接。一般负荷由  $LM_1$ 、 $LM_2$  供电,重要负荷接在  $DG_M$  上。正常时分段断路器  $QF_{603}$ 、 $QF_{A3}$  断开,2 段母线各自独立运行,当任一进线电源失电或变压器故障时,通过进线断路器与分段断路器的切换都能继续为负荷供电。DG 平时与电网并列运行,其容量选择与  $LM_1$  和  $DG_M$  所接负荷相匹配:为保证 DG 经济运行,DG 容量一般小于  $LM_1$  的负荷;为使孤网时能稳定运行,DG 容量又要大于  $DG_M$  的负荷。当电网出现故障时,可通过 DG 或  $QF_{A4}$  处装设的继电保护设备检测到,保护动作后断开  $QF_{A4}$ ,DG 继续为重要负荷供电。当电网恢复正常后,DG 重新并网运行。

DG 接入后,微网内部多了一个电源点,不再是单纯从电网吸收电能。在继电保护设计时要考虑 DG 短路电流的影响,核算各设备的短路容量,对于不允许 DG 向电网反送电的地区,需要在  $QF_{601}$ 、 $QF_{602}$  处设置逆功率保护,同时设计控制逻辑以调节 DG 出力。断路器的合闸回路(特别是  $QF_{603}$  和  $QF_{A3}$  的备用电源投入回路)要注意防止 DG 的非同期合闸。

### 3 微网的运行模式

#### 3.1 利用可再生能源的微网运行模式

由于 DG 形式的多样性,其适合的运行模式也不同。对于利用可再生能源,如风能、太阳能的 DG,当然是满负荷运行最好,但其发电能力由天气情况决定,不可控因素太多,含有此类 DG 的微网一般与外部电网并联运行,或者带蓄电池等储能装置,以电网作为稳定的电源支撑,以蓄电池作为应对负荷波动的辅助措施。此类 DG 的作用是充分利用可再生能源,减少用户的购电成本,对供电的可靠性方面提高不大,运行模式比较单一。

#### 3.2 利用化石能源的微网运行模式

对于微燃机和内燃机等燃烧化石能源的 DG,由于其输出的可控性,带来了运行模式的多样性。同时用户要考虑对一次能源的充分利用,需要根据电负

荷和冷(热)负荷的变化调节 DG 的出力,以期获得最优的经济效益。主要有以下运行模式。

#### 3.2.1 并网运行模式

在并网运行时,DG 能够按照一定的出力策略或者负载特性调节功率输出,运行在并网模式的 DG 主要有 3 种功率分配形式。

**a. 恒功率模式<sup>①</sup>:**DG 带基本负荷,保持恒功率运行,电网提供额外功率用于满足微网内负载的需求。如图 2 所示,DG 输出恒定 30 kW 的功率。

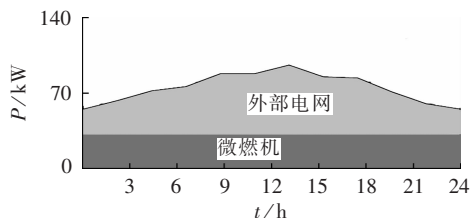


图 2 恒功率模式

Fig.2 Constant power mode

**b. 时间模式<sup>①</sup>:**利用提前输入的功率-时间设定值,调整 DG 的输出功率。如图 3 所示,运行在该模式的 DG 对电网起到了削峰的作用。

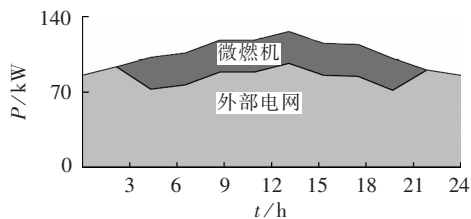


图 3 时间模式

Fig.3 Time mode

**c. 联络线功率恒定模式<sup>①</sup>:**如图 4 所示,控制微网与电网联络线功率恒定,DG 提供额外功率用于满足负载的需求。运行在该模式下,DG 需要追踪负载的需求,对电网也起到了削峰的作用。

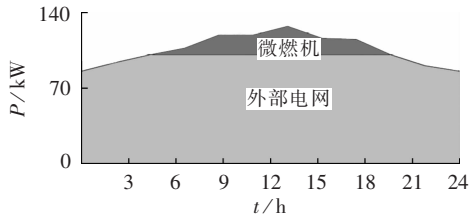


图 4 联络线功率恒定模式

Fig.4 Constant tie-line power mode

#### 3.2.2 孤网运行模式

孤网运行模式下,微网不与外部电网连接,DG 单独带负荷运行,由于微网总容量较小,单一负荷的变化都可能对微网内的功率平衡产生显著影响,因此 DG 需要有良好的调节性能,能对负荷的变化快速做出反应。此时 DG 可以使用较大的蓄电池组实现启动,并且利用蓄电池释放功率,或者吸收多余的

<sup>①</sup> CAPSTONE C200 Microturbine technical reference.

功率,实现负载需求和 DG 出力之间的快速平衡。对于采用传统同步发电机的 DG,需要采取一定的措施防止系统频率、电压出现较大的波动,控制系统在较大负荷退出时自动带上部分制动电阻箱负荷,一旦较大负荷启动,该部分电阻箱负荷则自动卸掉,以平抑微网内重要负荷的波动。

### 3.2.3 双模式

电网故障时,DG 要断开与电网的连接。电网恢复正常以后,为保持微网稳定,DG 要重新并网运行。因此 DG 需要具有灵活的双模式控制功能。以图 1 中所示的微网为例,DG 是以逆变器与电网连接的微燃机。在微网控制系统中设计模式控制器,用于检测电网电压并发出逻辑控制信号,控制断路器  $QF_{M4}$  的通断,同时还控制 DG 在并网模式与孤网模式下的转换。正常情况下, $QF_{M4}$  闭合,DG 运行在并网模式,与电网一起向负荷供电,当电网发生故障,DG 内部保护在检测到机端电压过低后, $QF_{A5}$  打开,DG 转入热备用。模式控制器检测到电网电压低于正常水平后,向  $QF_{M4}$  发出断开信号,同时向 DG 发出模式转换指令,DG 开始从并网运行模式向孤网模式过渡。经固定时间延迟后,DG 完成模式转换, $QF_{A5}$  闭合,单独向重要负载供电。如果模式控制器检测到电网电压恢复正常,则向 DG 下达模式转换指令, $QF_{A5}$  打开,转入热备用模式。然后由模式控制器下达指令闭合  $QF_{M4}$ ,负载由电网供电。 $QF_{M4}$  闭合后,经固定时间延迟后 DG 重新并网运行。此种双模式的自动控制保证了重要负荷的供电,但是,在切换过程中有短暂的停电时间。

双模式切换根据 DG 类型的不同,并网方式的不同会有所差别,若在功率匹配和继电保护整定上加以配合,有些 DG 可以实现无缝切换。

## 4 微网的控制系统和优化运行<sup>[12-13]</sup>

由于基于 DG 的微网是以绿色能源和节能环保的概念出现的,因此其优化运行、提高能源利用率就显得尤为重要。微网的优化运行与大型电力系统有很大的不同。以微燃机为例,一般会利用其高温尾气供热,或将高温尾气通入溴化锂制冷机制冷,形成所谓的冷热电联供系统 CCHP(Combined Cooling Heating and Power)。为对包含 CCHP 的微网进行全面监视、管理和优化,需要建立微网能量管理系统 MEMS(Microgrid EMS)。MEMS 按照事先设定的运行方式(如人工定制的发电曲线、负荷预测与优化自动生成的发电曲线、以冷定电的运行模式、经济最优的运行模式、并网上网的运行模式等),根据各方的数据(微网系统的情况、并网/孤网的运行情况、微网内的用电和用冷情况、燃气的供应情况、气价、电价、人为的设置条件等)计算出微燃机的出力和制冷机的冷量目标值,下发给协调控制器,协调控制器根据目标值和微燃机与制冷机的性能曲线完成不同机组的负荷分

配以及微燃机与制冷机的协调控制,以达到系统和设备的最优运行。

## 5 微网的相关问题

### 5.1 防孤岛保护

在微网与发电功率用电负荷基本相同,微网与外电网联络线基本没有电流的情况下,若因为某种原因联络线变电站侧断路器断开,则 DG 感受不到大的功率波动,微网系统有可能继续稳定运行,联络线依然带电,此时将会给线路检修人员带来危险,断路器重新合闸时也可能非同期,造成对设备的冲击和损害。因此,IEEE 和 UL 的相关文献都规定,一旦电网失电,要立即断开 DG 与电网的连接<sup>[14-16]</sup>。为解决此问题,微网需要配置防孤岛保护的功能。对孤岛状态的检测主要包括以检测低周、低压为主的被动检测法,和以发出扰动量为主的主动检测法。被动检测法在功率基本平衡时可能检测不到明显的频率和电压变化,发挥不了作用。主动检测法通过主动微调微网系统的有功或无功,观察频率或电压是否有较大波动,以此判断微网是否已经处于孤岛状态。当确认处于孤岛运行时,防孤岛保护动作跳开  $QF_{M4}$  断路器,间接使得模式转换器动作,完成 DG 从并网到孤网的模式切换。

采用主动检测法需要对微网内的无功补偿设备进行调节,或者对 DG 的输出进行调节,可能导致短时打断经济运行模式的执行。无论采用何种方法,具体调节有功或无功输出后,用于检测的低周或低压元件的定值如何设置,还需要根据 DG 的频率、电压特性及负荷特性进行计算,才能准确得出。

### 5.2 短路电流

根据一些生产厂家提供的资料,对于采用电力电子器件与电网相连的 DG,其机端三相短路电流与额定电流基本相当,而对于采用传统同步发电机与电网相连的 DG,机端三相短路电流则非常大,将直接影响到继电保护的配合和一次设备的选型,也会对电网继电保护的正确动作、重合闸等造成影响<sup>[18]</sup>。因此,DG 的选型要充分考虑短路电流的作用,以保证安全运行。

## 6 结论

基于 DG 的微网对于节能降耗、提高供电可靠性等有着很重要的意义。如何设计和运行微网,对于能否充分发挥它的作用至关重要。需要对 DG 和微网的特性做充分了解,结合电网的各种要求,才能展示其真正的经济效益和社会效益。

### 参考文献:

- [1] LASSETTER R, AKHIL A, MARNAY C, et al. The CERTS micro-grid concept[EB/OL]. [2008-10-18]. CERTS. <http://certs.lbl.gov/pdf/50829.pdf>.

- [2] 肖宏飞,刘士荣,郑凌蔚,等. 微型电网技术研究初探[J]. 电力系统保护与控制,2009,37(8):114-119.  
XIAO Hongfei,LIU Shirong,ZHENG Lingwei,et al. A preliminary research on microgrid technology[J]. Power System Protection and Control,2009,37(8):114-119.
- [3] 赵波,李鹏,童杭伟,等. 从分布式发电到微网的研究综述[J]. 浙江电力,2010,29(3):1-5.  
ZHAO Bo,LI Peng,TONG Hangwei,et al. Survey on development from distributed generation to microgrid[J]. Zhejiang Electric Power,2010,29(3):1-5.
- [4] 王成山,李鹏. 分布式发电、微网与智能配电网的发展与挑战[J]. 电力系统自动化,2010,34(2):10-14.  
WANG Chengshan,LI Peng. Development and challenges of distributed generation,the micro-grid and smart distribution system [J]. Automation of Electric Power Systems,2010,34(2):10-14.
- [5] 韩奕,张东霞,胡学浩,等. 中国微网标准体系研究[J]. 电力系统自动化,2010,34(1):69-72.  
HAN Yi,ZHANG Dongxia,HU Xuehao,et al. A study on micro-grid standard system in China[J]. Automation of Electric Power Systems,2010,34(1):69-72.
- [6] 丁明,王敏. 分布式发电技术[J]. 电力自动化设备,2004,24(7):31-36.  
DING Ming,WANG Min. Distributed generation technology[J]. Electric Power Automation Equipment,2004,24(7):31-36.
- [7] 于慎航,孙莹,牛晓娜,等. 基于分布式可再生能源发电的能源互联网系统[J]. 电力自动化设备,2010,30(5):104-108.  
YU Shenhang,SUN Ying,NIU Xiaona,et al. Energy Internet system based on distributed renewable energy generation[J]. Electric Power Automation Equipment,2010,30(5):104-108.
- [8] 撤奥洋,邓星,文明浩,等. 高渗透率下大电网应对微网接入的策略[J]. 电力系统自动化,2010,34(1):78-83.  
HAN Aoyang,DENG Xing,WEN Minghao,et al. Strategy of large power system coping with accession of microgrid with high penetration[J]. Automation of Electric Power Systems,2010,34(1):78-83.
- [9] 裴玮,盛鹏,孔力,等. 分布式电源对配电网供电电压质量影响与改善研究[J]. 中国电机工程学报,2008,28(13):152-156.  
PEI Wei,SHENG Kun,KONG Li,et al. Impact and improvement of distributed generation on distribution network voltage quality [J]. Proceedings of the CSEE,2008,28(13):152-156.
- [10] 李黎. 分布式发电技术及其并网后的问题研究[J]. 电网与清洁能源,2010,26(2):55-59.  
LI Li. A study on distributed generation and its effects in power system[J]. Power System and Clean Energy,2010,26(2):55-59.
- [11] 孙鸣,许航. 含分布式电源接入的变电站备自投应用问题[J]. 电力自动化设备,2010,30(4):144-146.  
SUN Ming,XU Hang. Application of automatic bus transfer in substation with DG connected[J]. Electric Power Automation Equipment,2010,30(4):144-146.
- [12] 裴玮,李澍森,李惠宇,等. 微网运行控制的关键技术及其测试平台[J]. 电力系统自动化,2010,34(1):94-98.  
PEI Wei,LI Shusen,LI Huiyu,et al. Key technology and testbed for microgrid operation control[J]. Automation of Electric Power Systems,2010,34(1):94-98.
- [13] 陈亚宁. 基于分布式发电的微网系统建模研究[J]. 四川电力技术,2010,33(4):9-12.  
CHEN Yanning. Research on modeling of micro grid system based on distributed generation[J]. Sichuan Electric Power Technology,2010,33(4):9-12.
- [14] Underwriters Laboratories Inc. UL 1741 inverters,converters,and controllers for use in independent power systems[S]. Northbrook, USA:Underwriters Laboratories Inc,2001.
- [15] IEEE Standards Coordinating Committee 21. IEEE Std 929-2000 IEEE recommended practice for utility interface of PhotoVoltaic (PV) systems [S]. New York,USA:the Institute of Electrical and Electronics Engineers,Inc,2000.
- [16] IEEE Standards Coordinating Committee 21. IEEE Std 1547-2003 IEEE standard for interconnecting distributed resources with electric power systems[S]. New York,USA:the Institute of Electrical and Electronics Engineers,Inc,2003.
- [17] 吴志,顾伟. 孤岛方式下基于多代理系统的微电网有功-频率控制[J]. 电力自动化设备,2009,29(11):57-61.  
WU Zhi,GU Wei. Active power and frequency control of islanded microgrid based on multi-agent technology[J]. Electric Power Automation Equipment,2009,29(11):57-61.
- [18] 袁超,吴刚,曾祥君,等. 分布式发电系统继电保护技术[J]. 电力系统保护与控制,2009,37(2):99-105.  
YUAN Chao,WU Gang,ZENG Xiangjun,et al. Protection technology for distributed generation systems[J]. Power System Protection and Control,2009,37(2):99-105.

(编辑:汪仪珍)

## 作者简介:

汪少勇(1971-),男,江苏江阴人,高级工程师,硕士,主要从事电气设计工作(E-mail:727422@163.com)。

## Design and operation of micro-grid based on distributed generation

WANG Shaoyong

(Guangdong Electrical Power Design Institute,Guangzhou 510663,China)

**Abstract:** According to the characteristics of micro-grid and distributed generation,the design,operation, optimization and control of micro-grid are discussed. With an engineering example,its design principle is pointed out;reliability,flexibility and power balance. Its configuration and operational modes are analyzed. The parallel mode,island mode and dual mode are described and their design characteristics are presented. Suggestions are made for the control system and optimized operation of micro-grid and distributed generation, and the overall concept of MEMS(Micro-grid Energy Management System) is proposed. Some issues,such as anti-island protection and short-circuit current,are explained. The solution of anti-island protection applying active and passive detections is submitted.

**Key words:** micro-grid; distributed generation; design; operational mode; anti-island protection; micro-grid energy management system