

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2016.01.011

基于遗传算法考虑用户侧负荷平移的 微网经济运行分析

况 达^{1,2}, 滕 欢^{1,2}, 黄炜果¹, 王博堃^{1,2}

(1. 四川大学电气信息学院, 四川 成都 610065; 2. 四川省智能电网重点实验室, 四川 成都 610065)

摘要: 将参与用户侧管理负荷分为两类: 可平移负荷和随机负荷, 建立了基于负荷平移的用户侧负荷管理数学模型。运行周期分为谷、平、峰3个时段, 在分布式电源经济出力及用户侧负荷优化调度协同作用的基础上, 建立了考虑用户侧负荷平移的以微网运行成本最低为目标函数的微网经济运行模型。利用线性逼近法将非线性目标函数简化, 采用最佳保留策略选择算子, 通过改进遗传算法对上述模型进行求解。仿真结果验证了遗传算法的适用性和该模型的有效性, 考虑用户侧负荷平移的微网较不考虑时的成本降低了4.01%, 表明微网分布式电源和用户侧负荷协同优化具有较高的经济效益。

关键词: 用户侧可平移负荷管理; 微网; 经济优化模型; 线性逼近; 遗传算法

Abstract: The loads that participate in the user-side management are divided into two categories: transferable load and user-action load, and the mathematical model of user-side load management is established based on load transfer. The run cycle is divided into three periods, that is, valley time, flat time and peak time, and based on the cooperation of economic output of the distributed generations and optimal dispatch of the user-side load, an economic operation model of micro-grid is established, in which the user-side load transfer is taken into account and the minimum operation cost of micro-grid is taken as objective function. Using the linear approximation method to simplify the nonlinear objective function and the best retention strategy to select the operators, the proposed model is solved by the improved genetic algorithm. The simulation results verify that the genetic algorithm is applicable and the proposed model is effective. The total cost of micro-grid reduces by 4.01% considering user-side load transfer, which indicates that a higher economy can be achieved with cooperation optimization of distributed generations and user-side load in micro-grid.

Key words: user-side transferable load management; micro-grid; economic optimization model; linear approximation; genetic algorithm

中图分类号: TM711 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2016)01-0045-06

近年来, 随着整个电力系统从传统电网向智能电网过渡, 风能、太阳能等可再生能源得到了广泛关注。微网^[1-2]作为一种新型的供电模式在国内外逐渐受到重视。微网是一组微电源、负荷、储能系统和控制装置构成的系统单元, 能够在并网和孤网下运行, 在给用户提供电、热能的同时还能提高能源利用率, 降低环境污染。目前大量的研究主要集中在分布式电源的接入及控制技术等方面^[3]。

微网的经济运行以及优化调度是当前微网研究的重要内容之一。目前, 对微网经济性的研究大多集中在微源方面, 较少考虑用户侧的负荷管理。可以将微网中负荷划为可调节负荷、敏感负荷以及可中断负荷3种, 在负荷高峰或异常时段, 一般通过调控、切除负荷等手段来实现对用户侧的管理, 起到削

峰填谷、减少调峰机组、推迟装机以及降低运行成本的作用^[4]。

国内外已有相关文献对微网的经济运行及优化调度进行了研究。文献[5]提出了基于需求响应的微网经济运行优化策略, 具有实际意义。文献[6]将负荷分为了3类, 基于启发式规则的优化策略, 采用粒子群算法对需求侧净负荷进行优化分配, 但给出的负荷模型较简略。文献[7]将参与需求侧管理负荷分为3类: 可中断负荷、可平移负荷与弹性负荷, 并建立了日前与日内两个调度阶段的负荷模型。文献[8]建立了考虑温室气体、污染物排放的以微网运行成本最低为目标函数的微网经济模型, 并采用粒子群算法进行求解。但储能装置过于简化, 没有考虑储能元件充放电指标和约束条件, 算法有局

限性。文献[9]详细分析了蓄电池的动态运行特性,考虑了蓄电池的充放电及自放电,给出了蓄电池模型。文献[10]考虑了各种电源的约束条件,以运行成本最小为目标函数建立了微网的经济调度模型,采用改进遗传算法进行优化求解。但运行成本中没有考虑与外网的电能交易费用。

以包含光伏(photovoltaic, PV)、风机(wind turbine, WT)、微型燃气轮机(micro turbine, MT)、燃料电池(fuel cell, FC)、蓄电池(storage battery, SB)及用户侧负荷的微网为研究对象,建立了较为完善的用户侧负荷管理模型。在分布式电源经济出力以及用户侧负荷优化调度协同作用的基础上,构建了考虑用户侧负荷平移的以综合运行成本最低为目标函数的微网经济运行模型。利用线性逼近法将非线性的模型简化,采用改进遗传算法进行求解。最后对比分析了微网负荷参与、不参与用户侧管理的微网运行费用。算例分析结果表明,考虑了用户侧负荷优化管理的系统经济效益更显著。

1 微网结构及用户侧负荷管理模型

1.1 微网系统结构

整个微网由一个静态开关和外部电网相联,实现传输功率交互。在微网中,微型燃气轮机和燃料电池属于清洁能源发电,可控制机组发电出力,将其定义为可控机组(CU)。光伏和风机属于可再生能源发电,受天气、季节、地理位置等因素影响,发电出力具有随机性和不稳定性,将其定义为不可控机组(RU)。蓄电池作为储能设备,可削峰填谷和削减光伏、风机发电不稳定性对电网的冲击。微网系统结构如图1所示。微网管理系统的作用是采集微网运行数据,给出信号指令,监测微网与外部电网的电能交易,通过局部控制单元调控分布式电源机组出力、制定用户侧负荷管理策略。

1.2 用户侧负荷管理模型

电力需求侧管理(power demand side management, PDSM)作为一种新型用电管理模式,提出了将需求侧合理分配能源作为供应方可替代资源的新概念^[11]。

现有用户侧管理项目中所能利用的用户侧资源主要是指能效资源和负荷^[6]。将微网中负荷分为两类:重要负荷和参与用户侧管理负荷^[7]。用户侧

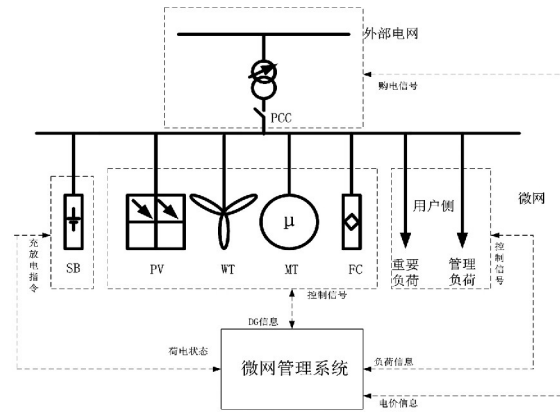


图1 微网系统结构

管理负荷又由可平移负荷和随机负荷组成。重要负荷的典型代表为学校、医院、军工等一级负荷,需保证其连续不间断供电。可平移负荷的典型代表为洗衣机、热水器等,此类负荷具有如下特点:1) 使用有时段约束,存在用户意愿起停时间,通常为白天人的活动期间;2) 必须连续运行;3) 从某个时段平移到其他时段;4) 功率大小恒定。随机负荷是临时启用不在计划中的负荷,该类负荷比较小,对微网运行影响很小,假设由储能装置来供应。

考虑的用户侧负荷管理是基于用户侧可平移负荷的管理,建立的模型是通过负荷间的平移,重新分布微网各时段负荷,保证微网成本最小。

用户侧负荷管理系统的数学模型为

$$\begin{cases} P_{load}(t) = \sum_i^{N^{mv}} P_i^{mv}(t) + P^{vip}(t) + P^{ram}(t) \\ L_i^{mv}(t, t') = \Delta L_i^{mv} \cdot G_i^{mv}(t, t') \\ P_i^{mv'}(t) = P_i^{mv}(t) + \sum_{t'=1}^T [L_i^{mv}(t', t) - L_i^{mv}(t, t')] \\ \sum_{t=1}^T P_i^{mv'}(t) = \sum_{t=1}^T P_i^{mv}(t) \end{cases} \quad (1)$$

式中: $P_{load}(t)$ 为微网用户侧在 t 时段的总负荷; N^{mv} 为可平移负荷的种类; $P_i^{mv}(t)$ 、 $P_i^{mv'}(t)$ 分别为可平移负荷在平移前和平移后 t 时段第 i 类负荷量; $P^{vip}(t)$ 为重要负荷在时段负荷量; $P^{ram}(t)$ 为随机负荷在 t 时段负荷量; $L_i^{mv}(t, t')$ 为第 i 类可平移负荷从 t 时段平移到 t' 时段的负荷量; ΔL_i^{mv} 为第 i 类可平移负荷的最小单元值; $G_i^{mv}(t, t')$ 为第 i 类可平移负荷从 t 时段平移到 t' 时段的最小单元数量。

2 微网经济优化调度模型

2.1 目标函数

建立微网经济优化调度模型的目的是实现微网总成本最小化,即满足一系列约束,通过控制微源发电出力及调度负荷平移来实现成本最低。目标函数为微网一天内运行总费用,包括各微源发电费用、启动费用(该微源指的是微型燃气轮机以及燃料电池,因为光伏和风机属于可再生能源发电,发电成本很小忽略不计)、与外网电能交易费用(只考虑从外网购电)、蓄电池投资和运行维护成本、各微源运行维护成本以及用户侧负荷平移的补偿费用。所以,微网经济运行的目标函数为

$$\begin{aligned} & \min \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N [\Delta TC(P_i^{CU}(t)) + C_{start,i}^{CU}(t)] \\ & + \Delta T \sum_{t=1}^T P_b(t) C_{grid}(t) + C_{SB,AZ} + C_{SB,OM} + C_{OM} \\ & + \sum_{i=1}^{N_{mv}} \{ K_1 [\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^T L_i^{mv}(t,t)]^2 + K_2 \theta_i \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^T L_i^{mv}(t,t) \} \end{aligned} \quad (2)$$

$$C_{SB,AZ} = \frac{1}{365} \times \frac{r(1+r)^{n_{SB}}}{(1+r)^{n_{SB}} - 1} \times K_{SB,AZ} S_{SB} \quad (3)$$

$$C_{SB,OM} = \frac{1}{365} K_{SB,OM} \times S_{SB} \quad (4)$$

$$C_{OM} = \sum_{i=1}^T \sum_{i=1}^N [K_{OM,i} \times P_i^{CU}(t)] \quad (5)$$

$$C_{start,i}^{CU}(t) = \max\{0, U_i(t) - U_i(t-1)\} C_{start,i}^{CU} \quad (6)$$

式中: T 为微网运行周期; N 为可控机组数量; ΔT 为单位时间间隔; $P_i^{CU}(t)$ 为可控机组 i 在 t 时段的发电出力; $C(P_i^{CU}(t))$ 为可控机组 i 在 t 时段的发电费用; $C_{start,i}^{CU}(t)$ 为可控机组 i 在 t 时段的启动费用; $U_i(t)$ 为可控机组 i 在 t 时段的启动状态, 0 为停用, 1 为启用; $C_{start,i}^{CU}$ 为机组单次启动费用; $P_b(t)$ 为 t 时段微网从外网的购电量; $C_{grid}(t)$ 为外网 t 时段的电价; $C_{SB,AZ}$ 为蓄电池的投资成本; $C_{SB,OM}$ 为蓄电池的运行维护成本; $K_{SB,AZ}$ 为蓄电池单位容量的投资成本; r 为年利率; n_{SB} 为蓄电池的使用年限; $K_{SB,OM}$ 为蓄电池单位容量一年的运行维护成本; S_{SB} 为蓄电池的总容量; C_{OM} 为各微源的运行维护成本; $K_{OM,i}$ 为第 i 个微源的单位电量运行维护成本系数; K_1 、 K_2 为常数,可根据历史的用户侧负荷平移补偿费用函数确定; θ_i 为第 i 类负荷对应值,其值在 0~1 之间连续, θ_i 越大,意味着调度该类负荷平移越困难,在平移负荷时,获得的补偿应该越多。

2.2 约束条件

1) 微网内功率平衡约束

$$\sum_{i=1}^N P_i^{CU}(t) + \sum_{i=1}^M P_i^{RU}(t) + P_b(t) + P_{dis}(t) - P_{ch}(t)$$

$$= P_{load}(t) \quad (7)$$

式中: M 为不可控机组的数量; $P_i^{RU}(t)$ 为不可控机组 i 在 t 时段发电出力; $P_{dis}(t)$ 为蓄电池在 t 时段放电功率; $P_{ch}(t)$ 为蓄电池在 t 时段充电功率。

2) 各微源的输出功率约束

$$P_{i,min} \leq P_i \leq P_{i,max} \quad (8)$$

式中 $P_{i,min}$ 、 $P_{i,max}$ 分别为第 i 个微源输出功率的最小、最大值。

3) 微网与外网允许交互的传输功率约束

$$P_{b,min} \leq P_b(t) \leq P_{b,max} \quad (9)$$

式中 $P_{b,min}$ 、 $P_{b,max}$ 分别为微网与外网允许交互传输的最小、最大功率。

4) 可控机组爬坡率约束

$$\text{增负荷时: } P_i^{CU}(t) - P_i^{CU}(t-1) \leq R_i^{up} \quad (10)$$

$$\text{减负荷时: } P_i^{CU}(t-1) - P_i^{CU}(t) \leq R_i^{down} \quad (10)$$

式中 R_i^{up} 、 R_i^{down} 分别为可控机组 i 增加和降低出力功率的限值。

5) 储能装置约束

目前一般选用蓄电池^[12]作为储能装置,蓄电池在 t 时段的剩余电量与蓄电池在 $(t-1)$ 时段的剩余电量、 $(t-1)$ 时段到 t 时段蓄电池的充放电量和电量衰减量有关。同时,蓄电池不允许深度放电和过度充电,必须留有一定的裕度,不然会缩短蓄电池寿命。

① 蓄电池容量约束

蓄电池放电以及蓄电池充电

$$SOC(t) = SOC(t-1) - P_{dis}(t) / \eta_{dis} - D_B S_{SB} \quad (12)$$

$$SOC(t) = SOC(t-1) + P_{ch}(t) \eta_{ch} - D_B S_{SB} \quad (13)$$

$$SOC(0) = SOC(T) \quad (14)$$

式中: $SOC(t)$ 为蓄电池在 t 时段的剩余容量; η_{dis} 、 η_{ch} 分别为蓄电池的放电效率和充电效率; D_B 为蓄电池单位时间间隔的自放电比例。

② 蓄电池运行约束

$$SOC_{min} \leq SOC(t) \leq SOC_{max} \quad (15)$$

$$0 \leq P_{ch}(t) \leq P_{ch,max} \quad (16)$$

$$0 \leq P_{dis}(t) \leq P_{dis,max} \quad (15)$$

式中: SOC_{min} 、 SOC_{max} 分别为蓄电池最小和最大剩余容量; $P_{ch,max}$ 、 $P_{dis,max}$ 分别为蓄电池最大充电量和最大放电量。

6) 接入用户侧负荷管理系统后可平移负荷约束

负荷分为重要负荷、可平移负荷以及随机负荷。

重点研究可平移负荷的特性及平移调控策略。负荷平移调控只能在白天即人的活动时间内进行,此时间段处在负荷平时段及峰时段。这里规定,可平移负荷只能从负荷的峰时段平移到平时段,以缓解峰值时微网压力。可平移负荷满足如下约束:

①可平移负荷平移时段约束

$$L_i^{mv}(t, t') \geq 0; t \in s_1, t' \in s_2 \quad (18)$$

$$L_i^{mv}(t, t') = 0; t \notin s_1, t' \notin s_2 \quad (19)$$

式中, s_1, s_2 代表了负荷峰时段和负荷平时段。

②可平移负荷平移量约束

$$\sum_{t'=1}^T L_i^{mv}(t_1, t') \leq L_{i, \max}^O(t_1) = P_i^{mv}(t_1); t_1 \in s_1 \quad (20)$$

$$\sum_{t'=1}^T L_i^{mv}(t', t_2) \leq L_{i, \max}^I(t_2); t_2 \in s_2 \quad (21)$$

$$\sum_{i=1}^{N_{mv}} |P_i^{mv'}(t) - P_i^{mv}(t)| \leq L_{\max}^{mv}(t) \quad (22)$$

式中: $L_{i, \max}^O(t_1)$ 为第 i 类可平移负荷 t_1 在时段所能平移出去的最大负荷量; $L_{i, \max}^I(t_2)$ 为第 i 类可平移负荷在 t_2 时段所能接纳进来的最大负荷量; $L_{\max}^{mv}(t)$ 为 t 时段可平移负荷总量限值。

3 模型求解算法

所建立的微网经济优化调度模型的目标函数是非线性的。实际上对于非线性规划问题的求解,一般是将非线性函数简化为线性函数,再运用线性规划法进行求解^[13]。微型燃气轮机及燃料电池的发电特性是在一定出力范围内,机组出力越多,单位能源消耗对应的发电费用成本越低,故可控机组的发电费用与可控机组的发电出力是一个凹函数的关系,如图2所示。

按照文献[14]中的方法,对于凹函数的处理方法是,将图中每段凹费用弧用分段线性近似表示,即将图2中的每段 l_{ij} 弧用一组平行弧 ($l_{ij}^1, l_{ij}^2, l_{ij}^3, \dots, l_{ij}^N$) 替代。每段平行弧的费用系数可由各段线性函数的斜率确定,于是每条弧上的容量界限可以表示为

$$[0, P_1^{CU}(t)], [P_1^{CU}(t), P_2^{CU}(t)], \dots, [P_{N-1}^{CU}(t), P_N^{CU}(t)]$$

通过线性逼近以及 Matlab 软件的离散点逼近处理,可将可控机组发电费用函数进一步简化。

用 Python 语言工具编写适合该模型的遗传算法,算法采用最佳保留策略选择算子。为了达到下一代能保留种群中适应度最高个体的目的,交叉算

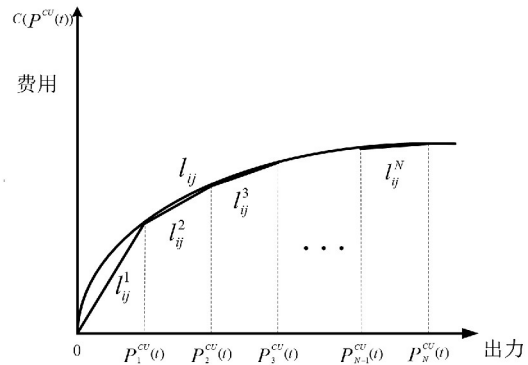


图2 可控机组发电费用曲线示意图

子和变异算子也采用了改进的“自适应交叉算子”和“自适应变异算子”,具体模型可参见文献[15]。算法求解流程如图3所示。

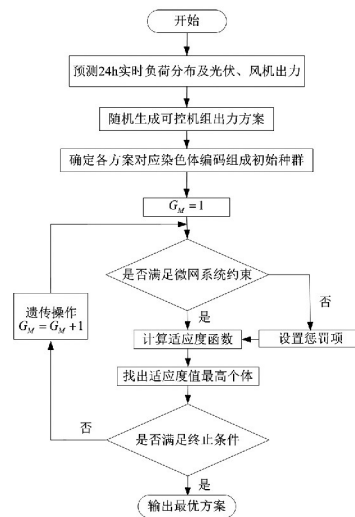


图3 遗传算法流程图

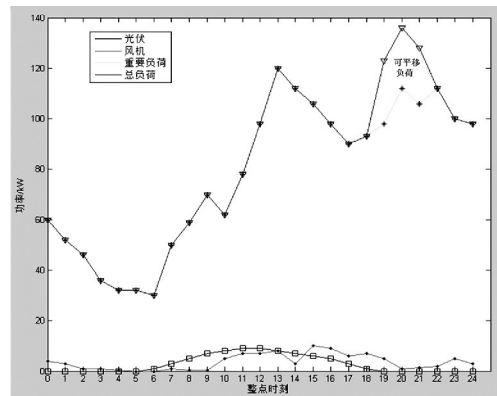


图4 夏季典型日负荷及光伏风机出力预测曲线

4 算例分析

4.1 基础数据

选取某地区的微网设计案例,算例基础数据^[16]包括该地区夏季典型日负荷的预测曲线、光伏和风

表 1 各微源以及大电网系统的运行参数

类型	P_{min} /kW	P_{max} /kW	K_{OM} /[元·(kW·h) ⁻¹]	R^{down} /(kW·min ⁻¹)	R^{up} /(kW·min ⁻¹)
MT	5	65	0.041 09	5	10
FC	5	40	0.029 33	2	2
PV	0	10	-	-	-
WT	0	20	-	-	-
大电网	0	70	-	-	-

机的预测出力等,如图 4 所示。

假设微源侧与用户负荷侧利益一致,那么根据历史用户侧负荷平移补偿费用函数确定的常数 K_1 、 K_2 为 0。负荷的平移调控只能在白天即人的活动时间内进行,此时间设为 8:00~21:00。可平移负荷量见图 4,将峰时段可平移负荷的最大转出量设定为 25 kW,平时段的最大转入量设定为 15 kW。设定有 3 类可平移负荷,其单位负荷持续时间分别为 1 h、2 h 和 3 h。

各微源以及大电网系统的运行参数^[17]如表 1 所示。假设初始 MT、FC 机组为停运状态,单次启动费用^[18]分别为 1.94 元和 2.72 元。算例实行分时电价政策^[19],谷时段为 0:00~07:00,其对应电价为 0.17 元/kW·h;平时段为 08:00~10:00、16:00~18:00、22:00~23:00,其对应电价为 0.49 元/kW·h;峰时段为 11:00~15:00、19:00~21:00,其对应电价为 0.83 元/kW·h。

采用容量为 100 kW·h 蓄电池,并网运行成本费用参考文献[20]。蓄电池额定充放电功率为 15 kW,最小容量定为额定容量的 15%,最大容量定为额定容量的 100%,定义初始容量为最小容量。蓄电池的充放电效率即 η_{ch} 、 η_{dis} 均取 0.9, D_B 数值很小,可忽略不计,假设蓄电池在谷峰时段均匀充放电。各微源运行维护成本系数^[8]如表 1 所示。

结合不同可控机组出力对应燃料费用等相关数据,采用前面提到的方法对可控机组发电费用曲线进行近似化线性处理,得到的微型燃气轮机和燃料电池发电费用曲线如图 5 所示。

4.2 优化结果

采用二进制编码方式,每一个染色体表示一个方案。在满足约束的基础上计算各方案对应目标函数适应度值,并比较其大小。最后通过译码找出使得目标函数即微网总成本最小的各时刻可控机组出力方案,结果如图 6 所示。

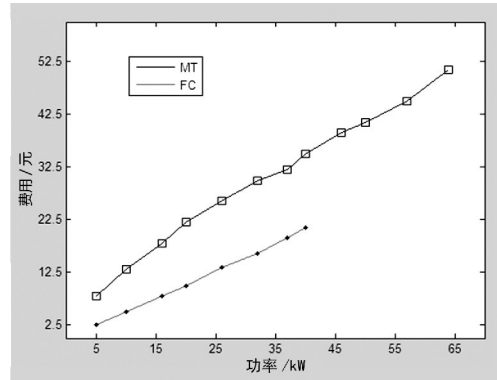


图 5 MT、FC 机组发电费用曲线

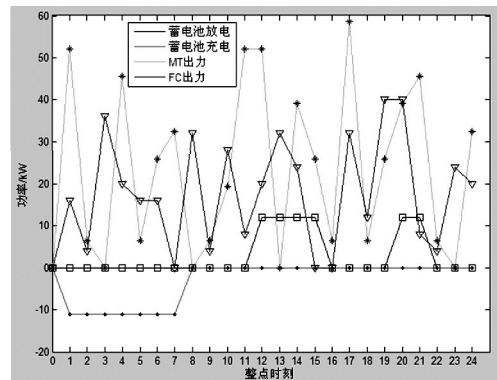


图 6 微源经济调度出力

从图 6 可看出,当 MT 机组发电费用高于购电电价时,机组停运,电力差额由外网满足;当 MT 机组发电费用低于购电电价,且 FC 机组发电费用高于 MT 机组或 FC 机组出力不足时,MT 机组启动出力满足部分负荷需求。当 FC 机组发电费用高于购电电价时,机组停运,电力差额由外网满足;当 FC 机组发电费用低于购电电价,且 MT 机组发电费用高于 FC 机组或 MT 机组出力不足时,FC 机组启动出力满足部分负荷需求。在运行周期内,除了有光伏、风机出力外,蓄电池在谷时段均匀充电、峰时段均匀放电。

基于用户侧负荷管理模型和平移约束,利用 Matlab 软件计算仿真得到用户侧负荷平移方案如表 2 所示。平移后峰、平时刻负荷重新分配,平移后用

户侧负荷分布如图 7 所示。考虑用户侧负荷平移后,微网各时刻电量供需发生了变化,为了保证微网的经济运行,微源的出力策略也要发生改变。

最后采用 Python 软件对考虑用户侧负荷平移后的微网经济模型进行编程计算,求得最终结果。

为了分析考虑了用户侧负荷优化管理的系统是否具有更好的经济效益,对以上两种运行模式下的运行费用进行了计算。综合考虑微源发电费用、启动费用、外网购电费用、蓄电池投资成本和运行维护成本、各微源运行维护成本以及用户侧负荷平移补偿费用,求得不考虑用户侧负荷管理的微网运行总费用为 1 436.67 元;在微网分布式电源和用户侧负荷协同优化,即在用户侧负荷平移的基础上,微网运行总费用为 1 379.14 元,相比于前一种情况,运行成本减少了 4.01%。分析结果表明,微网系统在微源优化调度的基础上,综合考虑用户侧负荷管理,将具有更高的经济效益。

表 2 用户侧负荷平移方案

负荷类型	转出时刻	转入时刻	负荷平移量	负荷持续时间
1	19	8	5	3
1	19	16	5	3
2	19	9	5	2
3	19	10	5	1
3	19	18	5	1
2	20	17	4	2
3	20	16	5	1
3	21	8	4	1
3	21	16	4	1

5 结 论

1) 建立了考虑用户侧负荷平移的以微网运行成本最低为目标函数的微网经济运行模型,仿真求得最优的机组出力策略,计算两种运行模式下的总费用,结果表明,考虑用户侧负荷管理的微网经济效益更显著;

2) 仿真结果验证了模型的有效性,所提模型更适用于小型企业、社区等负荷需求较稳定,且方便集中调控的区域微网;

3) 着重研究了小型微网的一种负荷平移方案。本课题将进一步研究由多个小型微网复合构成的大

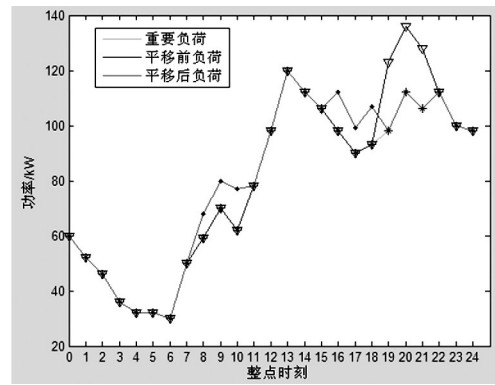


图 7 平移后用户侧负荷分布

型微网系统的经济运行,系统通过多个节点与外网相连,且并不局限于峰平时的负荷平移,在各个时刻负荷自由平移及考虑多种类负荷情况下,找出最优的负荷平移方案,进一步提高微网经济性。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 汪少勇.基于分布式电源的微网的设计与运行[J].电力自动化设备,2011,31(4):120-123.
- [3] Katiraei F,Iravani R,Hatzigiargyriou N,et al. Microgrids Management [J]. IEEE Power and Energy Magazine, 2008,6(3):54-65.
- [4] 向月,刘俊勇,魏震波,等.可再生能源接入下新型可中断负荷发展研究[J].电力系统保护与控制,2012,40(5):148-155.
- [5] Lau R,Ayyorgun S,Mau S C,Eswaran S,et al. Strategy and Modeling for Building DR Optimization [C]. In Smart Grid Communications,2011 IEEE International Conference on 2011:381-386.
- [6] 邢龙,张沛超,方陈,等.基于广义需求侧资源的微网运行优化[J].电力系统自动化,2013,37(12):7-12.
- [7] 郭思琪,袁越,张新松,等.多时间尺度协调控制的独立微网能量管理策略[J].电工技术学报,2014,29(2):122-129.
- [8] 杨佩佩,艾欣,崔明勇,等.基于粒子群优化算法的含多种供能系统的微网经济运行分析[J].电网技术,2009,33(20):38-42.
- [9] 陈洁,杨秀,朱兰,等.不同运行调度模式下微网经济运行对比分析[J].电力自动化设备,2013,33(8):106-113.
- [10] 丁明,包敏,吴红斌.分布式供能系统的经济调度[J].电力科学与技术学报,2008,23(1):13-17.

(下转第 62 页)

此处应力转换成张力值。导线中张力与外部条件的变化关系如图4。

导线的破坏张力为485.1574 kN。图中灰色水平面之下的部分表示其拉力小于破坏张力。而在灰色水平面之上的部分,其对应的工况下输电线上的张力会大于破坏张力。也就是说在这个区域对应的情况下会发生静力校核失败导致的导线断裂。在覆冰厚度达到40 mm且风速达到40 m/s的时候才会发生静力拉断。然而,在实际情况当中,不需要如此巨大的风速和如此厚的覆冰层导线就已经断了。静力分析结果显示最大拉力往往会在悬挂点处出现,但是真实情况下很多时候导线并不是在此处发生的断裂,甚至有时拉断是发生在弧垂最大处的。实际情况下也并非静力载荷才会使得导线发生断裂。在导线上的覆冰发生脱落以及覆冰和不稳定的风载同时作用时导线发生振动,这样情况产生的瞬时拉力很可能超过导线的破坏拉力导致导线发生断裂。

在导线上的覆冰发生脱落时可能使输电线路体系发生较大振动,另外导线覆冰之后的动力特性发生改变,可能在风的作用下发生振动。振动可能造成瞬时的巨大载荷导致各种事故的发生。因此下一步的工作可以着重研究导线的动力特性。

参考文献

[1] 鲁元兵. 输电线路覆冰脱落及断线分析[D]. 杭州:

(上接第50页)

[11] 谭亲跃,王少荣,程时杰. 电力需求侧管理(PDSM)综述[J]. 继电器, 2005, 33(17): 79-84.

[12] 茆美琴,孙树娟,苏建徽. 包含电动汽车的风/光/储微电网经济性分析[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(14): 30-35.

[13] 方乐润. 线性规划及其在水资源工程中的应用(二)[J]. 黑龙江水专学报, 1996(2): 1-9.

[14] 李淑萍. 海底油气集输系统网络流规划模型设计[J]. 油气储运, 2009, 28(4): 22-24.

[15] 邱晓燕,夏莉丽,李兴源. 智能电网建设中分布式电源的规划[J]. 电网技术, 2010, 34(4): 7-10.

[16] 李乐. 微网的经济运行研究[D]. 保定: 华北电力大学, 2011.

[17] 吴雄,王秀丽,王建学,等. 微网经济调度问题的混合整数规划方法[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(28): 1-9.

浙江大学, 2010.

[2] 陈正洪,史瑞琴,李兰. 湖北省2008年初低温雨雪冰冻灾害特点及影响分析[J]. 长江流域资源与环境, 2008(4): 639-644.

[3] 苑吉河,蒋兴良,易辉,等. 输电线路导线覆冰的国内外研究现状[J]. 高电压技术, 2004(1): 6-9.

[4] 刘春城,李宏男,刘佼. 高压输电线路抗冰灾的研究现状与发展趋势[J]. 自然灾害学报, 2012(1): 155-162.

[5] 谢强,李杰. 电力系统自然灾害的现状与对策[J]. 自然灾害学报, 2006(4): 126-131.

[6] Druetz J, Louchez S, McComber P. Ice Shedding from Cables [J]. Cold Regions Science and Technology, 1995, 23(4): 377-388.

[7] 孔贝贝. 输电塔及塔线体系的静动力特性分析[D]. 济南: 山东大学, 2012.

[8] Druetz J, Nguyen D D, Lavoie Y. Mechanical Properties of Atmospheric Ice [J]. Cold Regions Science and Technology, 1986, 13(1): 67-74.

[9] 赵先德. 输电线路基础[M]. 北京: 中国电力出版社, 2010.

[10] 侯景鹏,陈加宝,曾建华,等. 基于牛顿-拉普森迭代法的输电导线找形研究[J]. 水电能源科学, 2012(2): 177-179.

作者简介:

蔡钢(1964),高级工程师,主要从事继电保护方面的研究;

张晓敏(1987),助理工程师,主要从事电网材料研究;

付毅东(1966),助理工程师,主要从事电网材料研究。

(收稿日期: 2015-11-30)

[18] Tsikalakis A G, Hatziaargyriou N D. Centralized Control for Optimizing Microgrids Operation [J]. IEEE Transactions on Energy Conversion, 2008, 23(1): 241-248.

[19] 牛铭,黄伟,郭佳欢,等. 微网并网时的经济运行研究[J]. 电网技术, 2010, 34(11): 38-42.

[20] 杨秀,陈洁,朱兰,等. 基于经济调度的微网储能优化配置[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(1): 53-60.

作者简介:

况达(1992),硕士研究生,从事电力系统调度自动化研究;

滕欢(1965),高级工程师、硕士生导师,从事电力系统调度自动化及计算机信息处理研究;

黄炜果(1990),硕士研究生,从事电力系统及其自动化研究;

王博堃(1991),硕士研究生,从事电力系统调度自动化研究。

(收稿日期: 2015-09-14)