

# 新型电力系统微电网能量管理系统研究

吴雨诗

国网咸宁供电公司 湖北咸宁 437100

**摘要:** 本研究致力于设计一种微电网能量管理系统,旨在降低运营成本、减少对环境的影响。首先,我们建立了一个非线性约束优化模型,并采用遗传算法来解决经济负荷分配的问题。优化的目标是最大限度地减少电力系统的运营成本、满足客户需求、确保系统安全,并解决新型电力系统中大规模引入可再生能源所带来的能量供求平衡问题。为了验证系统的正确性和有效性,我们在 MATLAB 平台上构建了一个针对 24 小时系统的优化算例。结果显示,该微电网能量管理系统提高了运营效率和供电可靠性。应用该系统,不仅可以解决经济分配问题,还能够控制供需平衡,使微电网系统的频率稳定在±0.2 Hz 范围内。通过本研究的工作,我们证明了所设计的微电网能量管理系统的有效性,该系统能够显著降低运营成本,减少环境影响,并解决可再生能源大规模引入所带来的能量供需平衡问题。这为微电网的可持续发展提供了一种可行的解决方案。

**关键词:** 微电网; 能量管理系统; 运营成本; 环境影响; 可再生能源; 非线性约束优化; 遗传算法

## 一、引言

随着全球能源需求的增长和对环境保护的关注度提高,传统的中央化电力系统面临多重挑战。微电网作为一种灵活、可持续的能源供应方式,在新型电力系统中受到广泛关注。通过整合分布式能源、储能技术和先进的能量管理系统,微电网系统实现了能源的高效利用和可靠供电。它不仅降低能源消耗和减少温室气体排放,还能提供稳定可靠的电力供应,特别适用于无法接入传统电力网络的偏远地区和岛屿等地方。

然而,微电网系统的能量管理对于实现经济性、环保性和可靠性至关重要。由于微电网系统中存在复杂的能源和负载之间的耦合关系,需要一种智能高效的能量管理系统,以实现经济负荷分配、能量供需平衡和运行成本的优化。因此,本研究旨在设计一种新型微电网能量管理系统,通过建立非线性约束优化模型并应用进化算法进行经济负荷分配的优化,以实现微电网系统的高效能量管理。通过这种系统,我们可以实现微电网的经济性提升、环境影响减少和供电可靠性的提高。

## 二、微电网能量管理系统的基础理论

微电网是由多种分布式能源、储能设备和负荷组成的小型电力系统,可独立运行或与传统电力网络连接。相对于传统电力系统,微电网系统具有灵活性、可持续性、可靠性和适应性等特点。

首先,微电网系统具备灵活性,能够根据需求实现自主运行或与传统电力网络进行互联。这种灵活性使得微电网系统能够根据实际情况灵活调整供电模式,提供更加灵活和可靠的电力供应。

其次,微电网系统广泛采用可再生能源,如太阳能发电、风力发电等,以减少对传统能源的依赖。这种可持续性的能源利用有助于降低对化石燃料的消耗,减少温室气体的排放,从而对环境产生积极的影响。

第三,微电网系统通过多个分布式能源和储能设备的组合,提高了供电的可靠性。由于微电网系统中存在多个能源和储能设备,故障发生时可以通过其他设备的补偿来保证供电的连续性,减少因故障而导致的停电风险。

最后,微电网系统具备适应性,能够满足不同负荷需求。微电网系统能够根据用户的用电需求进行灵活调整,满足不同用户的多样化用电需求,提供更加个性化的供电服务。

## 三、微电网能量管理系统模型设计

### 3.1 微电网系统模型

微电网系统模型的结构如图 1 所示。该模型包括可控电源和不可控电源两部分。可控电源由微型燃气轮机 (MT)、燃料电池 (FC) 和蓄电池组成,而不可控电源包括太阳能发电 (PV) 和风力发电 (WT)。其中,太阳能发电和风力发电采用最大功率点跟踪模式,其输出功率不由人工调度,因此在模型中被等效为“负”负荷 (negative load),不作为优化变量处理。

### 3.2 目标函数

微电网系统的能量管理主要针对可控单元,如 MT、FC 和蓄电池等,需要为其定义适当的目标函数,以实现系统的经济性和环保性。

#### 3.2.1 微电网系统的经济性

微电网系统的经济性可以通过考虑包括耗电源的燃料成本、各单元的管理成本、启动成本、与配电网间功率交换的购电成本和售电效益等费用来定义。总费用 CF (P) 可以表示为:

$$CF(P) = \sum_{i=1}^n [C_i F_i(P_i) + DM_i(P_i) + STC_i - DCPE_i + IPSE_i] \quad (1)$$

$$DCPE_i = C_p \times \max(P_i - P_r) \quad (2)$$

$$IPSE_i = C_r \times \max(P_r - P_i) \quad (3)$$

此外,根据微电网系统的供需平衡条件,供需平衡公式为:

其中,PPV 为太阳能发电功率,PWT 为风力发电功率,Phatt 为蓄电池功率。

同时,还有边界约束条件:

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_r - P_{pv} - P_{wt} - P_{bat} \quad (4)$$

$$P_i^{min} \leq P_i \leq P_i^{max} \quad (5)$$

其中,iPmin 为微电网输出下限值,iPmax 为微电网输出上限值。

#### 3.2.2 微电网系统的环保性

微电网系统的环保性可以通过考虑系统内微电源输出功率和配电网注入功率所引起的污染气体排放,以及相应的污染治理费用来定义。环保性的目标函数可以表示为:

$$E(P) = \sum (EF_i P_i) - GEF \times P_r \quad (GEF = MGEF) \times P_r \quad (6)$$

其中,EF<sub>i</sub> 表示发电机的发出系数,GEF 表示系统的总排放量,

MGEF 表示发电排放量, PB 表示系统的平均排放系数, PS 表示发电排放系数。

#### 四、微电网能量管理系统算法设计

##### 4.1 遗传算法介绍

为了优化微电网能量管理系统的数学模型, 采用了遗传算法 (Genetic Algorithm, GA)。遗传算法是一种基于自然选择和遗传机制的随机搜索算法, 能够以较大概率快速找到问题的全局最优解, 具有群体搜索和并行处理等特点, 相比传统的随机方法具有更高的计算效率。

在微电网能量管理系统中, 模型可以被转化为非线性多目标最优化问题。在满足供需平衡和约束条件的前提下, 使用遗传算法可以在最小化成本和排放量的同时找到各个微电源发电量的最优解, 并最终得出全局最优解的结果。

##### 4.2 多目标遗传算法流程

多目标最优化的目标是在不同的目标函数中寻找最优解决方案。对于多目标最优化问题, 存在目标函数的向量函数关系, 每个目标函数都对应一个参数向量函数。

$$\min \{f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)\} \in \text{subject to } x \quad (7)$$

因此, 目标函数可以表示为:

$$F(x) = \{f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)\}^T \quad (8)$$

其中,  $k$  为常数,  $F(x)$  为目标函数向量,  $T$  为整个优化周期。

#### 五、案例分析

##### 5.1 案例概况

为了便于研究, 我们计划对供电系统的营业大厅进行零碳改造。以某营业厅夏季负荷为例, 我们分析了一天的营业大厅运行费用和发电量。当负荷达到最大值时, 燃料电池和微型燃气机的功率也达到最大, 此时所有的分布式电源都为负荷供电。通过优化新型电力系统的经济负荷分配, 我们可以节省电费和能耗。具体而言, 电费的削减比例达到了 5.7%, 能耗的削减比例为 3.36%。

##### 5.2 微电网系统负荷频率控制

另外, 在微电网系统中, 我们还关注了负荷频率的控制。通过使用 MATLAB/Simulink 搭建光伏发电模型、风力发电模型、微型燃气轮机模型和燃料电池模型, 并进行仿真分析, 我们对建立的微电网系统的频率和稳定性进行了评估。负荷频率控制实际上是监测上级电力系统频率的变化。在经济负荷分配中, 我们采用了长期控制方式, 而对于可再生能源发电的快速变化, 则需要采用短期控制方式。当供需平衡时, 蓄电池能够快速吸收电能, 其容量范围内可以消解就地不平衡电量, 从而将微电网系统的频率控制在  $\pm 0.2$  Hz 的范围内, 实现频率的稳定。

#### 六、微电网能量管理系统的性能评价与优化

##### 6.1 运行成本优化与经济性分析

微电网能量管理系统的性能评价包括对其运行成本进行优化和经济性进行分析。针对微电网系统的运行成本, 可以考虑发电成本、储能装置的维护成本、供电负荷的调节成本等因素进行优化。通过建立数学模型和采用优化算法, 可以实现微电网系统的运行成本最小化。此外, 还需对微电网能量管理系统的经济性进行分析, 包括考虑其投资成本、回收期、收益等经济指标, 以评估微电网系统的经济效益。

##### 6.2 环境影响评估与可持续性分析

微电网能量管理系统的环境影响评估与可持续性分析是对系

统环境友好性的评价。在评估环境影响方面, 可以考虑微电网系统对温室气体排放的减少、对空气和水质的影响等因素。通过对分布式能源的使用和储能技术的应用, 微电网系统可以降低对传统能源的依赖, 减少温室气体排放, 从而对环境产生积极的影响。此外, 还可以进行微电网系统的可持续性分析, 包括考虑系统的可维护性、可扩展性、资源利用率等指标, 以评估微电网系统的可持续发展潜力。

##### 6.3 供电可靠性评价与改进策略

微电网能量管理系统的供电可靠性评价与改进策略是对系统供电能力和可靠性的评估和改进。对于微电网系统的供电可靠性评价, 可以考虑系统的平均故障时间、平均修复时间等指标, 通过故障统计和仿真模拟等方法进行评估。针对评估结果, 可以采取一系列改进策略, 包括增加备用能源和储能装置、改进系统运行策略、优化负荷分配等, 以提高微电网系统的供电可靠性。此外, 还可以考虑引入智能监测与控制技术, 实时监测和诊断系统运行状态, 及时进行故障排查和修复, 进一步提升供电可靠性。

#### 七、结语

综上所述, 本研究在新型电力系统背景下, 详细介绍了微电网能量管理系统的设计, 旨在提高微电网系统的经济性和稳定性。通过实际案例分析, 本研究证明了微电网能量管理系统的实用性。应用该系统可显著降低电费开支, 并有效控制系统运行频率 (控制范围在  $\pm 0.2$  Hz 内)。未来的研究可以着重探索在配电系统中应用监控和控制装置、分布式电源、蓄电池和数据传输等方面, 以进一步推广微电网能量管理系统的使用。这将为相关行业提供宝贵的研究方向, 同时为实际应用领域带来显著的改进和创新。

#### 参考文献:

- [1]基于直流母线架构的微电网及能量管理系统研究[J]. 吴红霞. 电工技术, 2018 (01)
- [2]大数据背景下多能互补微电网的能量管理系统设计[J]. 赵川; 赵明; 路学刚; 叶华. 数字通信世界, 2019 (02)
- [3]一种区域主动配电网能量管理系统及方法[J]. 电气技术, 2016 (07)
- [4]光储充多站合一能量管理系统设计[J]. 张翀; 张嘉楠; 杨伟涛; 张迪. 电气技术与经济, 2023 (03)
- [5]微电网能量管理系统开发与应用[J]. 李洋; 刘海涛; 吴鸣; 季宇; 于辉. 华东电力, 2013 (05)
- [6]工业园区综合能量管理系统的设计与应用[J]. 黄楚鸿; 庞学跃. 南方能源建设, 2021 (01)
- [7]基于能量管理系统的用电负荷节能优化[J]. 陈宏. 工业仪表与自动化装置, 2016 (06)
- [8]用户侧能量管理系统初探[J]. 王伟; 何光宇; 万钧力; 杨文轩; 陈艳波. 电力系统自动化, 2012 (03)
- [9]电能量管理系统中 RS-485 通讯接口故障分析及处理[J]. 刘光辉. 机电信息, 2011 (33)
- [10]国外开放式能量管理系统[J]. 王本颀, 张桂娥, 刘克勤. 电力情报, 1994 (04)
- [11]风光储微电网网联络线功率控制策略. 肖朝霞; 贾双; 朱建国; 樊世军. 电工技术学报, 2017
- [12]基于混合储能的风/光/储微电网控制策略. 兰国军; 栗文义; 尹凯; 邓佃毅; 苏畅. 电源技术, 2015