

智能微配电网能源集线器的控制策略研究

舒辉¹ 刘华² 彭湃¹ 周慧娟¹ 李怡静¹

(1 长沙电力职业技术学院 湖南长沙 410131 2 湖南大学 湖南长沙 410082)

摘要: 智能微配电网是泛在电力物联网的关键部分, 能源集线器是智能微配网的关键装置、能源互联网中的核心设备。本文在智能微配电网能源集线器建模的基础上, 提出了能源集线器的控制策略, 并建立包括运行成本、环境影响、能源转换效率、电能质量在内的最优目标函数, 在典型的微能源网进行验证表明多能源联合供能成本明显低于单纯电力供能成本, 多目标优化方案在优化电能质量同时, 运行成本也相对较低, 适合作为微配电网优化运行调度方案。

关键词: 智能微配电网; 能源集线器; 设计方法; 控制策略

Research on Control Strategy of Energy Hub in intelligent micro-distribution Network

HuiShu¹, HuaLiu², PaiPeng¹, HuijuanZhou¹, YijingLi¹

1Changsha Electric Power Technical College Changsha, Hunan 410131

2Hunan University Changsha, Hunan 410082

Abstract: Intelligent micro-distribution network is a key part of the ubiquitous electric power Internet of things, and energy hub is a key device of intelligent micro-distribution network and core equipment in the energy Internet. Based on the modeling of energy hub in intelligent micro-distribution network, this paper puts forward the control strategy of energy hub, and establishes the optimal objective function including operation cost, environmental impact, energy conversion efficiency and power quality. It is verified in a typical micro-energy network that the cost of multi-energy combined energy supply is significantly lower than that of simple power supply. The multi-objective optimization scheme not only optimizes power quality, but also has relatively low operation cost, which is suitable for optimization operation scheduling scheme of micro-distribution network.

Key words: intelligent micro-distribution network; Energy hub; Design method; Control strategy

0 引言

近年来, 国家发布了一系列能源与微电网发展政策, 智能微配电网受到国家重视, 成为电力能源领域技术创新的前沿核心。智能微配电网是泛在电力物联网的关键部分, 对于主动适应能源革命和数字革命融合发展具有重要的推动作用。智能微配电网是指由分布式电源、储能装置、能量转换装置、相关负荷和监控、保护装置汇集而成的小型发配电系统, 是一个能够实现自我控制、保护和管理的自治系统, 既可以与外部电网并网运行, 也可以孤立运行。能量转换装置即能源集线器是智能微配网的关键装置, 是连接微电网与大电网的一个控制中心或控制平台, 它通过实时在线监测分布式电源、配电网的各项状态以及对数据进行超短期负荷预测, 实现对各发电侧和受控负荷的优化控制。作为智能微配网的关键装置, 能源集线器在工业界和学术界受到越来越多的关注。本文从能源集线器系统层建模、控制策略两个方面展开研究。

1. 智能微配电网能源集线器系统层建模

智能微配电网能源集线器的通用结构模型如图1所示。根据实际微电网能源类型和数量, 可以在通用结构模型的基础上增减内容。对于复杂的能源集线器, 其中间能量转换设备数量多。可以根据能量流经能量转换设备的数量, 将复杂的能源集线器分解为若干个简单互联的能源集线器, 每个部分的输出端口直接连接下个部分的输入端口。则能够在不改变输入输出向量及系统组成结构的前提下, 将图1所示的能源集线器合理拆分为如图2所示的多个能源集线器串联结构[1]。

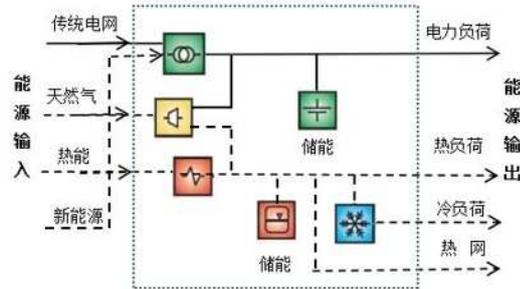


图1 能源集线器的通用结构模型

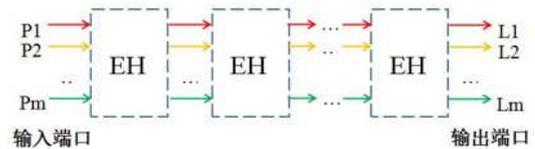


图2 多个能源集线器的级联

$$O = C_{\alpha\beta} I \tag{1}$$

$$\begin{bmatrix} O_{\alpha} \\ O_{\beta} \\ \vdots \\ O_{\omega} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{\alpha\alpha} & C_{\beta\alpha} & \cdots & C_{\omega\alpha} \\ C_{\alpha\beta} & C_{\beta\beta} & \cdots & C_{\omega\beta} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ C_{\alpha\omega} & C_{\beta\omega} & \cdots & C_{\omega\omega} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{\alpha} \\ I_{\beta} \\ \vdots \\ I_{\omega} \end{bmatrix} \tag{2}$$

用式(1)和式(2)表示源集线器内部的能源分配和转换关系。式中 I 和 O 分别表示系统的输入和输出; C 为耦合系数, 用一个矩阵来表示输入和输出的关系; α, β, ω 表示不同能源种类。通常, 能源输入矩阵 I 和能源输出矩阵 O 做常数处理, 当考虑系统供能、用能需求变化特征时, 能源输入 I 和能源输出 O 不再是定值, 而是关于不确定因素的函数。耦合矩阵 C 为包含各种能源系统之间以及各设备之间的转换和分配关系的函数。各机组出力模型、输入和输出端功率平衡方程及需满足的约束条件参考文献^[2]。

2. 能源集线器的控制策略

2.1 控制目标

智能微配电网的控制目标主要包括以下几个方面:

- (1) 降低能源消耗: 通过对能源消耗情况的实时监测和分析, 采取相应的措施降低能源消耗。
- (2) 提高能源利用效率: 通过对能源利用效率的实时监测和分析, 采取相应的措施提高能源利用效率。
- (3) 保证系统安全: 通过对系统的实时监测和分析, 保证系统的安全运行, 避免因设备故障或错误操作导致的安全事故。
- (4) 增强系统稳定性: 通过对系统的实时监测和分析, 采取相应

的措施增强系统的稳定性,避免因电力负荷过大或其他原因导致的系统崩溃。

2.2 控制策略

智能微配电网的控制策略主要满足以下几个方面的要求:

(1) 节能控制:采用适当的节能措施,如采用高效节能设备或实行节能措施等,以降低能源消耗。

(2) 负荷均衡控制:通过对系统负荷的实时监测和分析,采用负荷均衡策略,以提高系统的能源利用效率。

(3) 安全控制:通过对系统的实时监测和分析,采用相应的安全控制策略,以保证系统的安全运行。

(4) 稳定控制:通过对系统的实时监测和分析,采用相应的稳定控制策略,以增强系统的稳定性。

满足以上要求,基本运行策略如下^[3]:

(1) 可再生能源产生的电能优先用于供给微配电网系统内电负荷、热负荷、冷负荷及内部储能,以优先能源集线器内部能源自己自足的自治运行基本原则。

(2) 当可再生能源产生的电能不足时,从电网购电或者从天然气网购气,以满足系统全部电负荷、热负荷、冷负荷及内部储能要求。

(3) 可再生能源产生的电能足以供给所有电负荷、热负荷、冷负荷及内部储能需求时,剩余电能售给电网。

(4) 规定储能装置储能量小于最小储能量与单位时间最大放电量之和时,只能进行充电。充电时优先使用可再生能源发电冗余量。

(5) 依据能源集线器接入可再生能源发电量,分析能源集线器内部能量流,在满足能源集线器内部能量平衡的前提下,综合考虑运行成本、能源利用效率、电能质量指标、环境影响值,加权求和取最优值。

2.3 优化目标函数

根据运行策略,确定源集线器多目标优化函数。

1) 运行成本最低、环境影响最小^[4]

将环境影响以炭税费用反映,运行成本由购买能源费用、设备运行维护费用、炭税费用减去卖出能源费用构成。

$$\min f_1 = C_{OM} + C_{CO2} + C_{PI} - C_{PO} \quad (3)$$

2) 能源利用率最高。能源利用率为集线器能源总输出与总输入的比值^[4],这里取能源利用率的倒数。

$$\min f_2 = \frac{\sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^T L_{k,t} + S_{k,t}^{sell}}{\sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^T W_{k,t} + S_{k,t}^{buy}} \quad (4)$$

3) 电能质量指标最优。取电压和频率偏移率。

$$\min f_3 = \max(u / u_N, f / f_N) \quad (5)$$

4) 采用加权法和法^[5]求解目标优化模型,优化函数为

$$\begin{cases} \min[w_1 \frac{F_{1max} - f_1}{F_{1max} - F_{1min}} + w_2 \frac{F_{2max} - f_2}{F_{2max} - F_{2min}} + (1-w) \frac{F_{3max} - f_3}{F_{3max} - F_{3min}}] \\ s.t. \quad h(x) = 0 \\ \quad \quad g(x) \leq b \\ w \in \{0, 1/\rho, \dots, (\rho-1)/\rho, 1\} \end{cases} \quad (6)$$

3. 算例分析

以典型多能源园区混合能源系统为例,系统结构、网络参数、负荷参数、电价信息见文献^[2],这是一个含电力和天然气、光伏发电的典型微配电网系统。按上文描述的建模方法和控制策略,分只有电力供应和混合能源供能两种情况、冬夏两种时期考察单目标优化和多目标优化,优化结果见表1和表2。

表1 两种供能模式不同优化目标的结果对比

月份	优化目标	只有电力供应时的供能成本/¥	混合能源系统的供能成本/¥
1	f ₁ 最优	2423.2	2310.5
	F ₂ 最优	2612.1	2531.4
	F ₃ 最优	2687.2	2610.5
	综合最优	2587.3	2478.6
8	f ₁ 最优	2870.5	2454.5
	F ₂ 最优	2987.5	2604.2
	F ₃ 最优	3105.4	2710.7
	综合最优	2918.5	2547.8

表2 不同优化目标电能质量结果对比

月份	优化目标不含电能质量时电压波动系数	优化目标含电能质量电压波动系数	优化目标不含电能质量时频率波动系数	优化目标含电能质量时频率波动系数
1	0.94-1.04	0.96-1.04	0.97-1.03	0.98-1.03
8	0.95-1.03	0.96-1.02	0.95-1.02	0.97-1.02

对比不同的优化目标发现,以运行成本最低为目标函数时运行成本最低、以效率最高为目标函数时,运行成本较高,只考虑电能质量时运行成本最高,综合考虑以上因素,电能质量较高,运行成本较低,适合作为微配电网优化运行调度方案。

4. 结论

本文在智能微配电网能源集线器建模的基础上,提出了能源集线器的控制策略,并建立包括运行成本、环境影响、能源转换效率、电能质量在内的最优目标函数,在典型的微能源网进行验证表明多能源联合供能成本明显低于单纯电力供能成本,多目标优化方案在优化电能质量同时运行成本相对较低,适合作为微配电网优化运行调度方案。

参考文献:

[1]王雄儒.综合能源系统的能源集线器建模及优化运行控制[D].山东大学,2021: 14-16
 [2]卜凡鹏,田世明,方芳,等.基于能源集线器模型的园区混合能源系统日前优化调度方法[J].电力系统及其自动化学报,2017,29(10): 123-129
 [3]盛万兴,李鹏华,段青,李振;朱存浩.基于Lyapunov优化方法的含能量路由器的能源集线器能量管理策略研究[J].中国电机工程学报,2019,39(21): 62126224
 [4]陈丽萍,林晓明,许苑,李涛,林琳,黄春艳.基于能源集线器的微能源网建模与多目标优化调度[J].电力系统保护与控制[J].2019(06): 10-16
 [5]施锦月,许健,曾博,等.基于热电比可调模式的区域综合能源系统双层优化运行[J].电网技术,2016,40(10): 2959-2966.
 [6]倪伟,吕林,向月(*),等.基于机会约束规划的能源集线器系统气电购置优化建模[J]电网技术,2018,42(8): 2477-2486.
 基金项目: 本文系湖南省教育厅科研项目“智能微配电网能源集线器的设计方法与控制策略研究”阶段性研究成果(项目编号: 19C0006)。

舒辉,1976年9月,女,汉族,湖北嘉鱼人 长沙电力职业技术学院副教授,研究方向: 电力系统及其自动化、高职教育。

刘华,1991年11月,男,汉族,湖南省永州人,湖南大学博士研究生,研究方向: 配电网优化与控制。