

基于温控负荷的孤岛微电网建模与控制研究

对于以孤岛运行方式存在且含可再生能源的微电网系统而言,提出了一种建立在温控负荷方式基础之上的变参与度控制模式。以冰箱为例,可通过该控制模式根据实际情况来调整冰箱自身的功率需求,与储能系统良好的协同关系下共同参与到对孤网的功率调节工作当中。同时,还结合蓄电池以及风电,基于Simulink环境,建立了一个完整的系统仿真模型。对于含风电的孤网而言,受到蓄电池协同因素的影响,参与功率调节的温控负荷方式除了能够最大限度地满足用户操作的积极性以外,还对合理控制蓄电池容量以及减小蓄电池充放电深度水平有重要意义,能够延长蓄电池使用寿命。

向保林 许珊珊/国网湖北省电力公司技术培训中心



向保林/副教授

微电网从本质上来说属于一个独立的自治系统,主要构成部分包括分布式电源、负荷中心以及储能元件这三个部分。其中,分布式电源主要是指风力发电机、同步发电机、太阳能电池和燃料电池。在微电网分布式电源的运行中,分别有孤岛以及并网两种运行方式,合理选择恰当的运行方式在提高供电作业可靠性水平方面意义显著。当然,孤岛运行是微电网区别于一般电网的最主要特点。自并网转变为孤岛运行后,可能产生包括电能质量、能量平衡以及电压管理在内的一系列问题。目前,国内外相关研究学者针对微电网在孤岛条件下频率以及电压管理问题研究成果较多,提出了多种算法来修正功率误差,均取得了一定的效果。当前,随着现代通信技术、控制技术以及高级量测技术的不断发展,需求侧响应技术的重要性得到凸显。这种技术的主要特点是指电力用户通过与企业建立协调机制的方式,改

变传统消费地位,转而以一种主动的方式参与到电网运行的辅助工作当中。在此过程当中,为了能够合理提高孤网功率的调节能力,就需要通过变参与度控制的方式,将协同储能系统引入其中。为进一步验证该控制策略的可行性,本文尝试展开基于温控负荷的孤岛微电网建模与控制研究工作。

孤岛微电网结构分析

本文所研究的孤岛微电网整体结构如图1所示。结构组成要素包括风力发电机(即图中DG部分)、储能装置、重要负荷、无功补偿装置、温控负荷以及一般负荷这几个方面。其中,储能装置选择为蓄电池;无功补偿装置则引入静止同步补偿装置。除一般微电网所纳入结构中的一般负荷以及重要负荷外,本结构中重点考虑温控负荷对系统的影响。风力发电机控制方式为基于功率-无功功率控制,其目的与功能是确保风电输出功率达到最佳状态,蓄电池控制方式则为基于电压-频率控制,其目的是确保孤岛微电网运行频率的高度稳定与可靠。

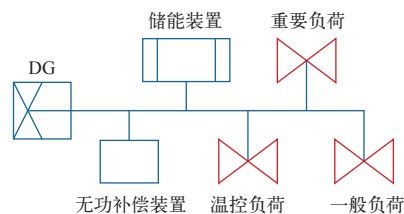


图1 孤岛微电网整体结构示意图

孤岛微电网建模分析

在对孤岛微电网进行建模分析时,

关键词/Keywords

微电网·
孤岛·
温控负荷·
建模·
控制·

根据孤岛微电网的结构组成情况，需要考虑的建模要点包括风电机组建模、储能装置建模以及温控负荷建模三个方面。

1. 风电机组建模

假定风电机组在孤岛微电网运行过程中所对应的参考功率取值以及参考无功功率取值为已知，则可以通过对输出电压水平进行测定的方式，计算下级比例积分控制器中 d 轴以及 q 轴所对应的参考电流取值情况。与之相对应的功率-无功功率控制结构如图2所示。其计算公式为

$$\begin{pmatrix} i_d \\ i_q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} U_d & U_q \\ -U_q & U_d \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} P \\ Q \end{pmatrix} \quad (1)$$

式中， P 为已知参考功率； Q 为已知参考无功功率； i_d 为下级比例积分控制器中 d 轴所对应的电流取值； i_q 为下级比例积分控制器中 q 轴所对应的电流取值； U_d 为下级比例积分控制器中 d 轴所对应的电压取值； U_q 为下级比例积分控制器中 q 轴所对应的电压取值。

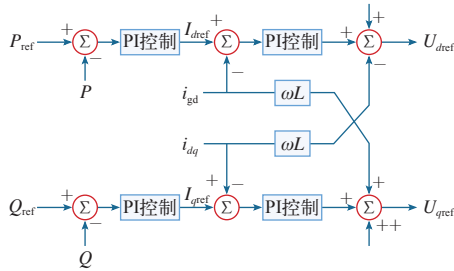


图2 功率-无功功率控制结构

2. 储能装置建模

在孤岛微电网运行大环境下，储能装置可实现整个微电网系统基于电压-频率的控制要求，同时可支持对整个孤岛微电网所处运行状态的实施监测及分析，其目的是确保孤岛微电网当中重要负荷能够处于持续不断电的运行状态下。同时，为了确保整个孤岛微电网运行期间电压、频率处于稳定状态，则蓄电池的控制方式应当以电压-频率控制模式为主，与之相对应的控制方案如图3所示。

根据图3来看，在孤岛微电网运行中，可以通过对图3中 U_{dref} 以及 U_{qref} 取值进行合理设置的方式，

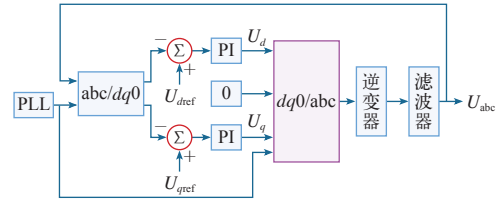


图3 储能装置控制方案

实现对逆变器端口电压参数 U_{abc} 的实时、动态采集，同时也可在PI控制器的调节下将逆变器端口电压参数维持在恒定状态下。在这一过程当中，由锁相环（即图中PLL）生成恒定频率参考值，从而将频率维持在恒定状态下。

3. 温控负荷建模

以冰箱为例（冰箱作为孤岛微电网的表现形式之一，具有功率消耗稳定，且参与度高的特点），在建模中通过引入用户参与度概念的方式，可评估用户功率调节能力与体验舒适度之间的对应关系。

假定用户参与度为 p ，这里所提到的参与度是指在孤岛微电网功率发生1 kW单位变化情况下，冰箱温度所产生的变化量，其单位为 $^{\circ}\text{C}/\text{kW}$ ，具体计算方式为

$$p = \begin{cases} 0 & k = 0 \\ \frac{1}{k} & k \neq 0 \end{cases} \quad (2)$$

式中， k 为用户参与度系数，若 $k=0$ ，则代表用户未参与孤岛微电网的功率调节；若 $k \neq 0$ ，则代表用户已参与到孤岛微电网的功率调节当中。

在此基础之上，为评估用户参与度对孤岛微电网功率调节能力的影响，冰箱温度变化量可以设置为与风电功率偏差之间相关的线性函数，具体计算公式为

$$\Delta\theta = p(P_{\text{meas}} - P_r) \quad (3)$$

式中， $\Delta\theta$ 为冰箱出发温度变化量； P_{meas} 为风电功率测量值； P_r 为风电额定功率取值。

进一步从理论上来说，在冰箱冷藏室温度取值分布在 $\Delta\theta$ 这一区间范围内的情况下，其所对应的功率消耗是基本稳定的。若风电功率与额定参数之间产生较大偏差，则参与功率控制下的冰箱功率消耗可以通过如下方式进行计算

$$P_L = \begin{cases} 0 & \Delta\theta \leq (\theta'_- - \theta'_+) \\ \frac{\Delta\theta}{\theta'_- - \theta'_+} r_{on} PN & (\theta'_- - \theta'_+) < \Delta\theta < 0 \\ \left(r_{on} + \frac{\Delta\theta}{\theta'_+ - \theta'_-} r_{off} PN \right) & 0 \leq \Delta\theta \leq (\theta'_+ - \theta'_-) \\ PN & \Delta\theta \geq (\theta'_+ - \theta'_-) \end{cases} \quad (4)$$

式中, P_L 为冰箱参与功率控制条件下的功率消耗; θ' 为修正后的触发温度上限; θ'_- 为修正后的触发温度下限; θ'_+ 为修正后的触发温度取值; r_{on} 为稳定运行状态下的冰箱压缩机状态为开启的比例; r_{off} 为稳定运行状态下冰箱压缩机状态为关闭的比例; P 为冰箱额定功率; N 为参与功率控制的冰箱数量。

根据以上公式来看,若用户参与度系数增高,则参与功率控制的冰箱功率损耗取值以及冰箱触发温度变化量取值有一定的下降趋势。除此以外,修正后的触发温度上限或修正后的触发温度下限变化越大,则意味着冰箱自身的功率调节能力较强,用户舒适度水平相对较低。反过来说,为了提高用户体验的舒适度水平,则需要适当降低冰箱自身的功率调节能力,对应的是合理控制修正后的触发温度上限或修正后的触发温度下限变化幅度。

从这一角度上来说,以上算式的控制逻辑能够方便集成在冰箱内部控制器,根据孤岛微电网的运行需求、用户舒适度需求以及冰箱磨损程度,用户可自主对用户参与度系数进行选择,以达到提高冰箱体验舒适度的目的。

孤岛微电网仿真分析

基于以上理论分析,在温控负荷条件下,整个冰箱孤岛微电网系统所对应的仿真模型如图4所示。结合图4来看,风电控制是基于功率-无功功率控制实现的,其目的是确保孤岛微电网当中重要负荷能够处于持续不断电的运行状态下。同时,为了确保整个孤岛微电网运行期间电压、频率处于稳定状态,则蓄电池的控制方式应当以电压-频率控制模式为主。除此以外,图4中负荷1为重要负荷(在系统运行期间需确保其供电的可

靠性与持续性),负荷2为普通负荷(在系统运行期间若有必要可做切除处理),负荷3为温控符合(要求在必要情况下参与到系统功率的调节中)。

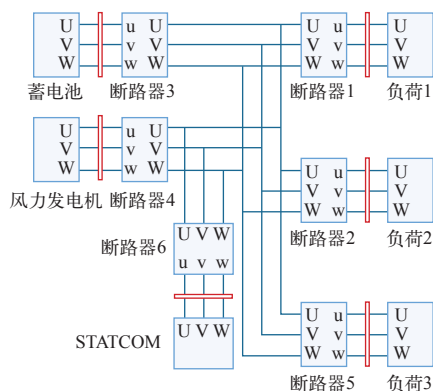


图4 冰箱孤岛微电网系统仿真模型

在该系统仿真分析过程当中,风力发电機所对应的额定功率取值为20 kW,所对应的PI调节器比例因子取值为20,积分因子取值为120;发电机滤波器电感参数取值为10 mH,电容参数取值为100 μ F。蓄电池在初始状态下的荷电状态取值为60%,与之相对应的PI调节器比例因子取值为35,积分因子取值为500。同时,在建模分析中将所有交流电压均使用标幺值方法进行表示,基准电压取值按照380 V设置。

图5即为仿真分析下孤岛微电网功率控制效果。图5中, P_B 为蓄电池所对应功率水平; P_R 为冰箱所对应功率水平。

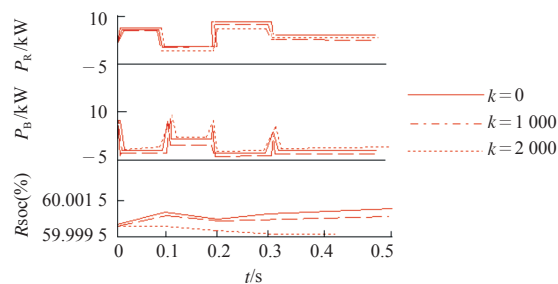


图5 仿真分析下孤岛微电网功率控制效果示意图

结合图5来看,在风电的波动影响下,温控负荷会产生相应的改变,且功率上的变化幅度与用户参与度取值密切相关。若用户参与度取值增高,则蓄电池充放电所对应的功率呈减小趋势。

根据这一规律来看,在引入变参与度控制策略的条件下,蓄电池充放电的深度以及容量需求能够得到合理的控制,且对延长蓄电池自身使用寿命意义显著。

图6为当用户参与度取值为0的情况下,各个单元所对应的功率取值。

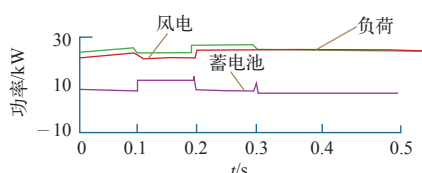


图6 仿真分析下用户参与度为0时对应功率

结合图6来看,当时时间在 $[0\text{ s}, 0.1\text{ s})$ 区间以及 $[0.3\text{ s}, 0.5\text{ s})$ 区间的条件下,孤岛微电网系统中蓄电池储能以及孤岛微电网所对应的负荷全部都由风电直接进行供应。同时,在 $[0\text{ s}, 0.3\text{ s})$ 区间内,风能按功率-无功功率控制指令输出相应的功率,负荷所需功率不足部分由蓄电池供应。风电功率与蓄电池输出功率之和,刚好等于负荷功率,说明在孤网中功率保持了动态平衡。除此以外,仿真实验还得到如下结果:蓄电池采用电压-频率控制时,孤网频率可保持在50 Hz附近,符合规定的频率标准,孤网电压幅值和频率均保持稳定不变。

结束语

对于以孤岛运行方式存在且含可再生能源的微电网系统而言,本文提出了一种建立在温控负荷方式基础之上的变参与度控制模式。文章中以冰箱为例,可通过该控制模式根据实际情况来调整冰箱自身的功率需求,与储能系统在良好的协同关系下共同参与到对孤网的功率调节工作中。同时,文章中还结合蓄电池以及风电,基于Simulink环境,建立了一个完整的系统仿真模型。

通过对该仿真模型结果的分析,认为对于含风电的孤网而言,受到蓄电池协同因素的影响,参与功率调节的温控负荷方式除了能够最大限度地满足用户操作的积极性以外,还对合理控制蓄电池容量以及减小蓄电池充放电深度水平有重要意义,能够延长蓄电池的使用寿命效果。以上研究希望在后续实践中进一步验证。

参考文献

- [1] 曹一家,苗轶群,江全元,等.含电动汽车换电站的微电网孤岛运行优化[J].电力自动化设备,2012,32(5):1-6.
- [2] 别朝红,李更丰,王锡凡,等.含微网的新型配电系统可靠性评估综述[J].电力自动化设备,2011,31(1):1-6.
- [3] 杜威,姜齐荣,洪芦诚,等.光伏微电网孤岛运行时多种振荡模式的小信号建模分析[J].电力系统自动化,2014(10):17-23.
- [4] 王兴贵,杨维满.孤岛模式下串联型微电网逆变系统动态建模[J].高电压技术,2014,40(8):2456-2463.
- [5] 郭天勇,赵庚申,赵耀,等.基于风光互补的微网系统建模与仿真[J].电力系统保护与控制,2010,38(21):104-108.
- [6] 周念成,邓浩,王强钢,等.光伏/微型燃气轮机混合微电网的建模与仿真[J].华东电力,2011,39(1):86-91.
- [7] 孙健秧,郭建钊,金鹏,等.基于冷热电三联供系统的微电网建模及仿真[J].电力建设,2014,35(6):22-25.
- [8] 王瑞琪,程艳,孙树敏,等.基于坐标旋转虚拟阻抗的微电网控制与性能分析[J].电力系统保护与控制,2014(12):78-86.

(收稿日期:2015-02-05) EA

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告