

基于多代理系统的微网协同控制研究

孔朝阳¹, 桂 宁¹, 包晓安¹, 裴智峰², 胡增见¹

(1. 浙江理工大学信息电子学院, 杭州 310018; 2. 鲁汶大学 ELECTA/ESAT 研究组, 比利时鲁汶市 3001)

摘 要: 针对传统集中控制和分散控制的缺陷,提出了一种基于多代理系统的微网控制策略协调和调度方法,设计和部署了总控制 Agent 用于调度和多个子 Agent 用于独立管理微网中的不同实体。总控制 Agent 对微网中不同的子 Agent 的控制策略进行协调和调度,子 Agent 根据具体调度策略进行本地执行,以保证微网物理设备满足电约束,这些 Agent 共同作用保证了微网在变化的环境中始终保持稳定运行。借助开源的 JAVA 代理开发框架,并遵循 FIPA 标准定义对 Agent 之间交互提供支持。利用 Matlab/Simulink 搭建了微网系统模型,模拟了微网在并网运行、孤岛运行以及并网/孤岛切换情形下各 Agent 协调和调度过程,仿真结果表明该设计可行、有效。

关键词: 多代理系统;微网;JADE;Agent

中图分类号: TM76, TP18 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-3851 (2016) 02-250-07 **引用页码:** 030504

0 引 言

微网通常是由分布式电源(DG)、储能装置、能量转换装置、负载、保护装置等组成的发电系统,是一个能够实现自我控制、保护和管理的自治系统^[1]。将分布式发电系统以微网形式接入大电网并网运行,能够与电网互为支撑,同时也能最大化地发挥分布式电源的效能。然而,由于微网中分布式电源的不确定性和分散性、负荷变化的随机性、储能装置的多样性、控制策略的灵活性等因素,使得微网控制方法变得越来越复杂^[2-5]。

现有微网控制策略通常可以分为两类:集中控制和分散控制。一方面,传统集中控制由于缺乏灵活性和扩展性,难以满足微网控制实时性的要求;另一方面,完全分散控制又容易出现电源和负荷控制不同步,严重时可能导致微网解列^[6-7]。多代理系统(multi-agent system, MAS)兼具集中控制和分散控制的优点,具有良好的自治性、适应性、协调性和社

会性,在微网控制等领域具有广泛的应用^[8]。目前国内外学者对基于多代理系统的微网控制框架进行了深入研究:蒲天骄等^[9]利用多代理系统构建微网分布式协调控制方法以实现主动配电网分布式电源的协调调度;Ren 等^[10]借助多代理系统构建多微网的分层控制架构以实现多微网间的相互协调以及能量交易的经济性;丁明等^[11]提出基于多代理系统的微网分层控制方案以解决多微网系统的能量协调问题;郝雨辰等^[12]基于 IEC6180 和多代理系统方法实现各 Agent 之间的消息在微网在运行过程中保持统一性和互操作性。然而上述文献主要集中于多代理系统在微网电能优化、能量协调与调度等方面的研究,通常将微网弱化为一个能量资源配置系统,对微网本身的物理电气约束考虑不足,而这些因素对于微网的安全可靠运行至关重要。这些电气约束决定了微网在不同的运行环境下必须使用不同的控制策略,如孤岛运行时必须提供电压和频率的支撑;负荷变化时必须协调微网内各 DG 出力以维持功率平衡等。这就意味着微网控制系统必须能对微网控制

收稿日期: 2015-07-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(61202050, 61379036); 浙江省重大技术专项研究项目(2013C01039); 浙江理工大学 521 人才培养计划

作者简介: 孔朝阳(1988-),男,江苏仪征人,硕士研究生,主要从事基于自适应的微网控制方面的研究。

通信作者: 桂 宁, E-mail: ninggui@gmail.com

策略进行自适应的协调和调度,然而目前多代理的微网控制系统缺乏对这方面的控制支持。

本文针对微网运行环境动态变化的问题,提出了基于 MAS 的微网控制策略协调和调度的方法,设计和部署多个子 Agent 独立管理微网中的实体(微源、负荷等),每个子 Agent 实时监测和控制本地物理电气特征变化,如电压波动、功率波动等,根据自身机制可以独立决策和任务执行。为了保证微网整体的物理电气约束处于规定的范围内,设置了一个总控制 Agent 统一管理各个子 Agent,根据微网的不同运行环境,协调和调度各子 Agent 的控制决策。最后基于开源框架 JADE 平台设计了多代理系统,利用 Matlab/Simulink 建立了微网模型,在此基础上测试并网运行模式、孤岛运行模式和并网/孤岛切换模式下各 Agent 协调和调度过程,以验证本设计的有效性和可行性。

1 微网 MAS 的框架设计

1.1 微网 MAS 功能需求

MAS 基本组成单元是一个个智能的 Agent,每个 Agent 具备 4 个典型的特征:自主性,即 Agent 的运行可以不受外界或人干扰而独立进行,并且可以自行控制自身行为和内部状态;反应性,即 Agent 具备及时感知外部环境变化的能力,并且可以根据变化及自身目标做出相应的反应;主动性,即 Agent 可以依据当前环境及自身目标,通过主动采取某些行为来展现 Agent 目标驱动的特性;社会性,即 Agent 通过特定的通信机制,Agent 与 Agent 之间可以进行交互^[13-14]。本文构建的微网架构中微源和负荷都由单独的子 Agent 进行管理,每个子 Agent 根据自身机制具有不同的控制和决策机制;同时设有一个总控制代理,负责管理和调度各个子 Agent。Agent 之间根据 FIPA 定义的标准规范进行交互,共同实现微网 MAS 整体控制目标:实现微网内发电和负荷平衡,保证微网供电可靠性。

微网 MAS 能够动态地应对微网环境的变化,当负荷突然增减或者加入、退出,相应的子 Agent 应发起能量协调请求;同时微网发生并网/孤岛切换运行时,相应的子 Agent 也应发起控制策略切换请求。微网 MAS 运行时会有 2 种约束:系统性约束和本地约束。系统性约束(微源出力与负荷功率需求平衡)由总控制 Agent 根据子 Agent 反馈的信息综合协调之后满足;本地约束(微源出力上下限约束)由各微源 Agent 独立决策,这种设计减少了总

控制代理的计算压力和通讯能力的需求。

1.2 微网 MAS 平台选择

本文采用开源的 JADE 平台进行 MAS 设计。JADE 是一个完全由 Java 语言实现的多代理开发框架,提供了丰富的兼容 FIPA 规范的中间件,支持调试和部署的图形工具,可以实现跨平台操作和异地部署,极大地简化了 Agent 开发和应用过程^[15]。JADE 中定义了 Agent 基类,用户可以在继承 Agent 基类的基础上进行扩展,构建用户指定功能的 Agent。JADE 为 MAS 提供了以下功能:Agent 管理系统(AMS),负载控制平台内 Agent 的活动、生命周期及外部应用程序与平台的交互,在平台上采用独一无二的名字来标识、规范 Agent;目录服务(DF),负责对平台内的 Agent 提供黄页服务、注册服务类型以供查找;消息传输服务,控制平台内或不同平台之间的消息传输、消息编码、消息解析等^[16], JADE 平台模型如图 1 所示。

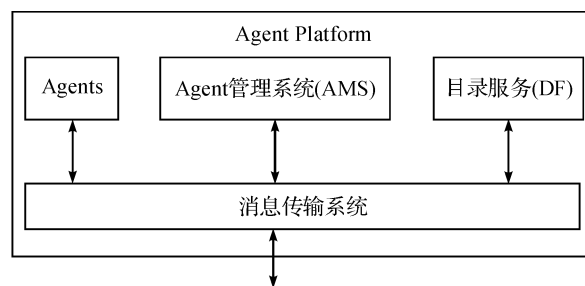


图 1 JADE 平台模型

2 微网 MAS 模型和实现

2.1 微网 MAS 模型描述

本文借助 MAS 构建了适应于微网的分布式协调控制架构,结构如图 2 所示。该模型中微网实体主要由多个微源、逆变器、滤波电路、负荷(重要负荷与非重要负荷)、断路器、隔离变压器、配电网等组成。断路器 K1—K2 控制 DG 退出或加入, K3—K4 控制负荷加入或退出,公共耦合点(PCC)控制微网并网运行模式和孤岛运行模式。为简化研究对象,本文采用理想的直流电压源代替每个微源。同时每个 DG 设置一个 SourceAgent,每个断路器设置一个 BreakAgent,每个负荷设置一个 LoadAgent, PCC 设置一个 PCCAgent,并且所有 Agent 都由微网总控制代理 MASAgent 统一管理。MASAgent、SourceAgent、BreakAgent、LoadAgent 及 PCCAgent 共同构成了整个 MAS 系统控制结构。下面对每个 Agent 功能进行详细描述。

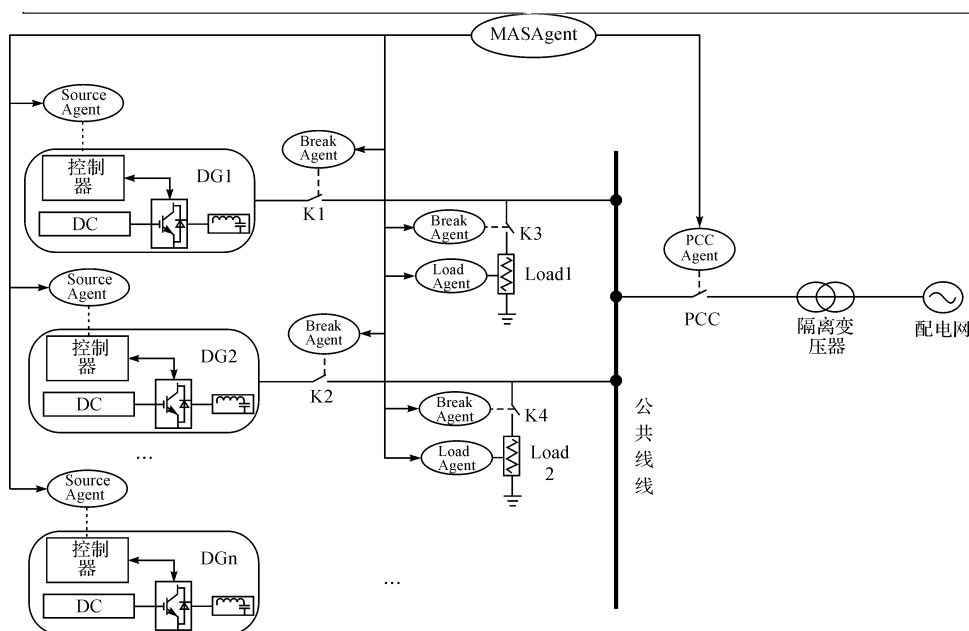


图2 微网 MAS 控制架构

SourceAgent:主要负责监测和控制微网内每个DG的电压、频率、功率输出以及每个DG控制器的控制策略等;根据微网总控制代理MASAgent下达的协调请求,调整相应DG控制器的控制策略及有功功率、无功功率参考值预设。

BreakAgent:主要负责接收来自微网总控制代理MASAgent、SourceAgent或者LoadAgent下达的协调请求,根据自身机制控制微源加入和退出以及负荷的加入和退出。

LoadAgent:主要负责监测每个负荷的有功功率、无功功率、电压等变化情况;根据不同的负荷种类(重要负荷、非重要负荷)在微网功率供应不足时进行负荷状态的控制,保证重要负荷供电,尽可能满足用电需求。

PCCAgent:负责监测并网电压、频率、相位等,可以控制并网开关让微网与配电网断开或者连接,并实时向总控制代理MASAgent传输并网和孤岛的状态改变信息。

MASAgent:负责实时监测和控制微网的运行动态,包括微网并网/孤岛运行模式,配电网的出力,微网内DG的出力、负荷功率,微网电压、微网频率等;根据微网的场景状态,确定DG代理SourceAgent的控制策略及功率参考值预设,并选择合适的SourceAgent下达协调请求。

2.2 微网 MAS 协调策略

微网并网运行或者孤岛运行出现负荷功率动态变化,以及微网从并网到孤岛,孤岛到并网动态切换

时,微网必须根据不同运行环境对微网控制策略进行自适应的协调和调度。本节将对本文设计的多代理系统中各Agent间协调策略展开描述。

2.2.1 负荷功率动态变化

当负荷功率发生变化时,LoadAgent会向微网总控制代理MASAgent发起能量协调请求,MASAgent根据SourceAgent和LoadAgent反馈的信息,计算微网内DG出力和负荷总功率,确定整体的功率差额,然后向LoadAgent所在馈线的SourceAgent发送能量协调请求,SourceAgent根据MASAgent的指令变更DG控制策略的出力预设值,从而相应DG增加或者减少出力,以保证微网内微源出力与负荷功率平衡。图3(a)显示了负荷功率变化时微网MAS执行过程。

2.2.2 并网/孤岛切换

当PCCAgent监测到电压或者频率超过标准的限定值时,PCC与配电网断开连接,同时PCCAgent向微网总控制代理MASAgent发起孤岛状态信息,MASAgent根据微网内各个DG的代理SourceAgent反馈的控制策略信息,协调其中一个合适的SourceAgent执行V/f控制策略,以支撑整个微网电压和频率,其余SourceAgent执行PQ控制策略;同时再根据SourceAgent和LoadAgent反馈的信息,计算微网内各DG出力和负荷总功率,如果各DG发出的总功率无法满足负荷功率需求,采取保护重要负荷机制,通知相应的BreakAgent切除非重要负荷,以保障重要负荷的持续供电。

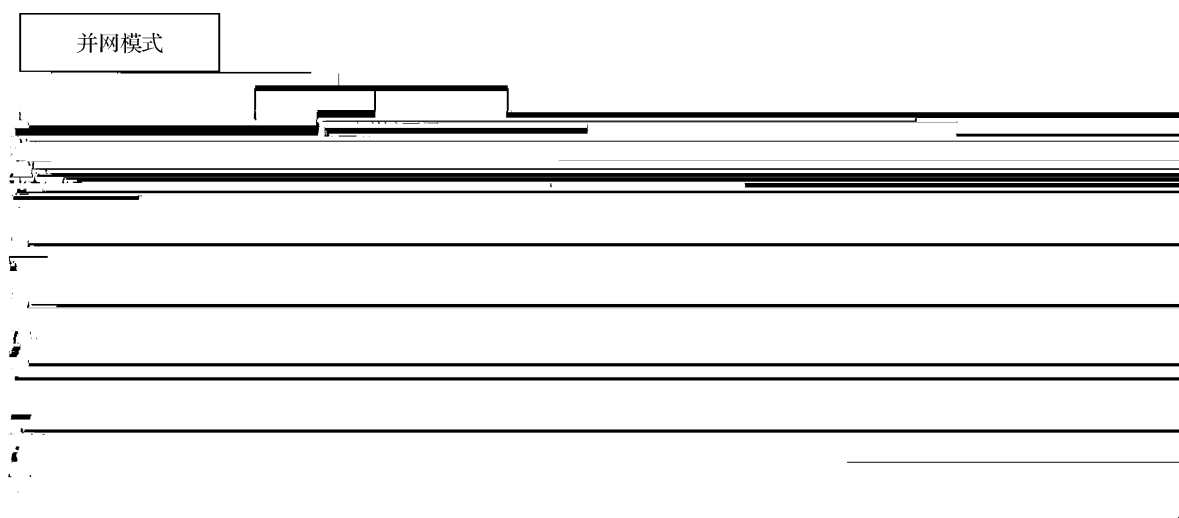


图 3 微网 MAS 协调策略

当 PCCAgent 监测到电压或者频率恢复到标准的限定值之内时, PCC 重新与配电网连接, 同时 PCCAgent 向微网总控制代理 MASAgent 发起并网状态信息, MASAgent 根据各个 SourceAgent 反馈的控制策略信息, 指定所有 SourceAgent 执行 PQ 控制策略, 以确保微网电压和频率与电网保持一致; MASAgent 监测到微网运行正常时, 通知相应的 BreakAgent 重新加入非重要负荷。图 3(b) 显示了并网/孤岛切换时微网 MAS 执行过程。

3 仿真与分析

为了验证本文提出的基于 MAS 的微网控制方法的有效性和可靠性, 根据图 2 的微网控制架构图, 借助 Matlab/Simulink 平台搭建了微网模型。为了能够清晰地描述仿真结果, 本文只采用两个微源的微网实体模型展开描述, 仿真参数如表 1 所示, 并假设微网中的负荷均为阻性负荷。同时基于 JADE 平台建立了多代理系统的仿真框架, 针对微网并网运行模式、孤岛运行模式以及并网/孤岛切换模式的三个场景验证各 Agent 协调和调度过程。

表 1 微网仿真参数

参数	值
直流侧电压/ V	800
滤波电感/ mH	3
滤波电容 C1、C2/ μF	10
滤波电阻/ Ω	0.01
配电网电压/频率/(V/ Hz)	311/50
PQ 控制器系数 k_p, k_i	0.5、20
V/f 控制器系数 k_p, k_i	10、100

3.1 并网运行方式

算例 1: 并网运行时, 微源 DG1 与 DG2 初始出力及负荷 Load1 和 Load2 初始功率如表 2 所示。Source Agent1 和 Source Agent2 均采用 PQ 控制策略, 0~0.5 s 微网稳定运行, 0.5~1 s 负荷 1 突增 30 kW, 1~1.5 s 负荷 1 突减 30 kW, 验证微网控制策略对负荷突变的反应能力, 仿真结果如图 4 所示。

表 2 微源出力及负荷功率

微源	输出有功功率/kW, 输出无功功率/kVar	负荷	负荷有功功率/kW, 负荷无功功率/kVar
DG1	20, 0	Load1	50, 0
DG2	40, 0	Load2	50, 0

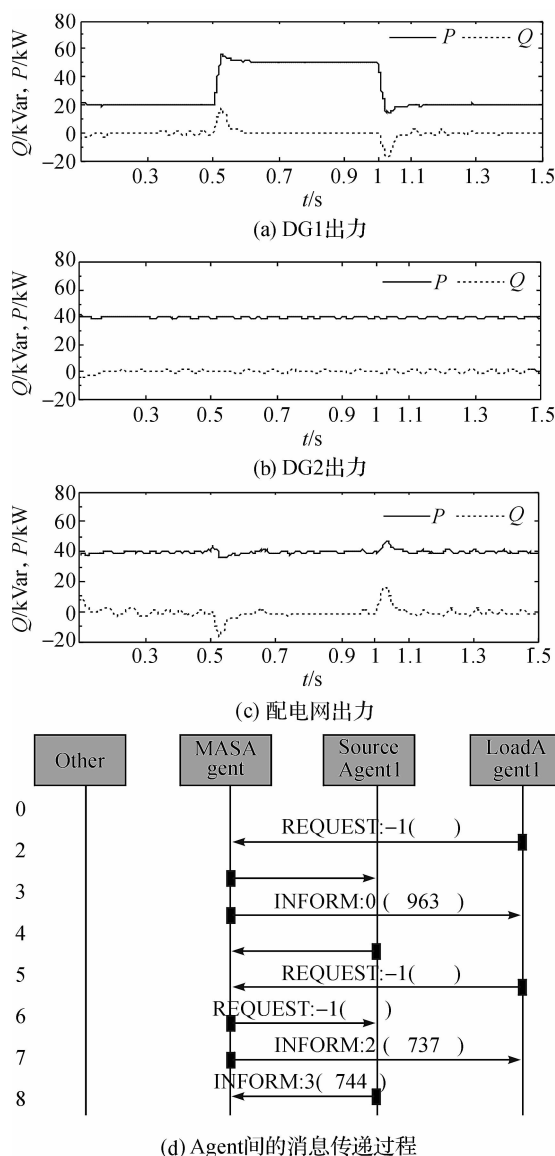


图4 并网模式仿真结果

图4(a)~(c)显示了并网运行模式下负荷突变时各微源及配电网出力情况。 $t \in [0, 0.5]$ s时,各Agent处于监测状态,DG1、DG2功率输出分别为20 kW、40 kW,由于总负荷总共有100 kW,微网提供的功率不能满足本地负荷需求,因而需要配电网出力40 kW; $t \in [0.5, 1]$ s时,负荷Load1突然增加30 kW,LoadAgent1监测到功率发生变化,向MASAgent发出协调请求,MASAgent根据SourceAgent和LoadAgent反馈的功率信息,计算微网内DG出力和负荷总功率,确定整体的功率差额,选择Load1同馈线微源SourceAgent1调整功率预设值,设定为50 kW、0 kVar,DG1增加出力30 kW,DG2输出功率保持不变; $t \in [1, 1.5]$ s时,负荷Load2突然减少30 kW,LoadAgent1监测到功率发生变化,再次向MASAgent发出协调请求,

MASAgent根据SourceAgent和LoadAgent功率信息,确定整体的功率差额,将同馈线微源SourceAgent1功率预设值重置为20 kW、0 kVar,DG1减少出力30 kW,DG2输出功率保持不变;在整个运行过程中DG1、DG2采用PQ策略,微网电压和频率与配电网保持一致,同时整个过程配电网出力均维持恒定。图4(d)显示了相关Agent间的消息传递过程,消息传输协议遵循了FIPA标准定义。

从并网运行模式可以看出,基于多代理系统的微网对微网内负荷动态变化具有较强的适应能力,而且主网出力在整个过程中保持稳定,在高渗透率微网环境中,有利于稳定配电网潮流及减小配电网调度难度。

3.2 孤岛运行模式

算例2:孤岛运行时,微源DG1与DG2初始出力及负荷Load1和Load2初始功率如表3所示。SourceAgent1采用V/f控制策略,SourceAgent2采用PQ控制策略。0~0.5 s微网稳定运行,0.5~1 s负荷2突增30 kW,1~1.5 s负荷2突减30 kW,仿真结果如图5所示。

表3 微源出力及负荷功率

微源	输出有功功率/kW, 输出无功功率/kVar	负荷	负荷有功功率/kW, 负荷无功功率/kVar
DG1	80,0	Load1	50,0
DG2	20,0	Load2	50,0

图5(a)显示了孤岛运行模式下负荷突变时各微源出力情况。 $t \in [0, 0.5]$ s时,各Agent处于监测状态,DG1、DG2功率输出分别为80 kW、20 kW,由于负荷总需求为100 kW,微网提供的功率可以满足本地负荷; $t \in [0.5, 1]$ s时,负荷Load2突然增加30 kW,LoadAgent2监测到功率发生变化,向MASAgent发出协调请求,MASAgent根据SourceAgent和LoadAgent反馈的功率信息,计算整体的功率差额,调整Load2同馈线微源SourceAgent2功率预设值,设定为50 kW、0 kVar,DG2增加出力30 kW,以维持负荷需求与功率供应平衡,而DG1输出功率保持不变; $t \in [1, 1.5]$ s时,负荷Load2突然减少30 kW,LoadAgent2监测到功率发生变化,再次向MASAgent发出协调请求,MASAgent根据Agent的反馈信息,将同馈线微源SourceAgent2功率预设值重置为20 kW、0 kVar,DG2减少出力30 kW,DG1输出功率保持不变。DG1整个过程采用V/f控制策略,为微网系统提供了电压和频率支撑。图5(c)显示了相关Agent间的消息传递过程。

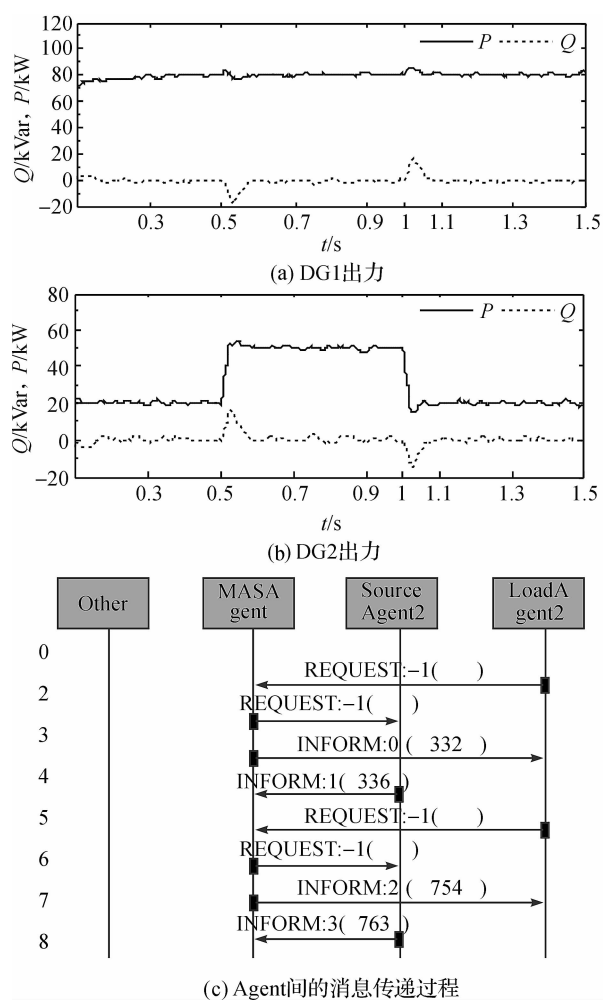


图 5 孤岛模式仿真结果

从孤岛运行模式可以看出,基于多代理系统的微网在独立运行情况下对微网内负荷突变仍然具有较强的适应能力,负荷波动时微网能够及时做出调整,维持微网内 DG 出力与负荷功率需求平衡,同时微网电压和频率较为稳定。

3.3 并网/孤岛切换模式

算例 3:微源 DG1 与 DG2 最大输出功率及负荷 Load1 和 Load2 初始功率如表 4 所示。并网/孤岛运行时,Source Agent2 均采用 PQ 控制策略,Source Agent1 采用双模控制策略,并网运行采用 PQ 控制策略,孤岛运行 V/f 控制策略。0~0.5s 微网稳定运行,0.5~1s 电发生故障,转到孤岛运行,1~1.5s 故障消除,微网重新并网运行。仿真结果如图 6 所示。

表 4 初始状态下各微源出力及负荷功率

微源	输出有功功率/kW, 输出无功功率/kVar	负荷	负荷有功功率/kW, 负荷无功功率/kVar
DG1	50,0	Load1	80,0
DG2	50,0	Load2	50,0

图 6(a)-(c)显示了并网/孤岛切换模式下各微源及配电网出力情况。 $t \in [0, 0.5]$ s 时,各 Agent 处于监测状态,SourceAgent1、SourceAgent2 均采用 PQ 控制策略,DG1、DG2 功率输出都是 50kW,由于总负荷总共为 130 kW,微网提供的功率不能满足本地负荷,因而需要配电网出力 30kW; $t \in [0.5, 1]$ s 时,PCCAgent 检测到电网故障,向 MASAgent 发出协调请求,MASAgent 根据 SourceAgent1、SourceAgent2 反馈的控制策略情况,向具有双模控制功能的微源代理 SourceAgent1 发送控制策略切换请求,SourceAgent1 接受协调请求后将 PQ 控制策略切换到 V/f 控制策略,以维持微网电压和频率;同时 MASAgent 综合 DG1、DG2 最大输出功率及负荷 Load1 和 Load2 功率(总负荷为 130kW,超

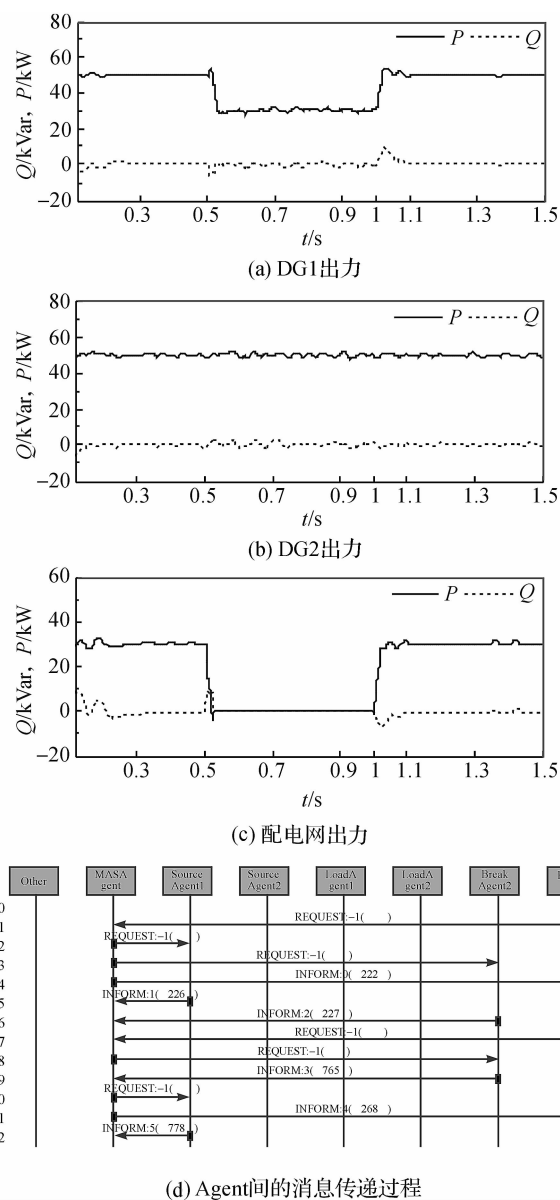


图 6 并网/孤岛切换模式仿真结果

出了 DG1、DG2 最大输出功率 Load2 请求,此时负荷率之和,微网提供的功率无法满足本地负荷),采取保护重要负荷措施,向 Break2Agent 发送切除非重要负荷总需求变为 80kW,由于 DG2 采用 PQ 控制策略,输出功率 50kW 保持恒定不变,因而 DG1 只需输出功率 30kW,由于 DG1 采用的是 V/f 控制策略,可以根据微网出力情况自行调节输出功率,将 DG1 输出功率降到 30kW; $t \in [1, 1.5]$ s 时, PCCAgent 检测到电网故障消除,向 MASAgent 发出协调请求, MASAgent 根据 DG 代理反馈目前各 DG 的控制策略信息,向具有双模控制功能的微源 SourceAgent1 发送控制策略切换请求, SourceAgent1 重新切换为 PQ 控制策略。 MASAgent 监测到微网电压、频率恢复正常之后,向 Break2Agent 发送请求,重新加入非重要负荷 Load2,此时总负荷需求变为 130kW,再次需要配电网出力 30kW 才能维持功率供应与功率需求平衡。图 6(d)显示了相关 Agent 间的消息传递过程。

从并网/孤岛切换模式可以看出,基于多代理系统的微网在并网/孤岛动态切换时同样表现出较强的适应能力,在切换过程中,能够动态调整 DG 代理的控制策略以及非重要负荷加入和退出,从而保护了重要负荷持续供电,维持了微网电压和频率稳定以及功率平衡。

4 结 语

本文借助 JADE 平台成功构建了一个基于 MAS 的微网控制架构,在此基础上设计了一个总控制 Agent 和多个子 Agent 控制和管理微网的不同实体。总控制 Agent 根据微网不同的运行环境统一协调和调度各子 Agent 的控制决策,每个子 Agent 根据调度指令及自身机制独立执行任务以保证微网物理设备满足电气约束,实现微网稳定运行。通过仿真实验,验证了本设计的可行性和有效性,更好地满足了微网要求的开放性、分布性、合作性和自主性。然而微网运行环境是复杂多变的,本文选择的仿真算例只是其中相对简单的场景,下一步将进一步研究更加复杂场景下基于 MAS 的微网控制方法的适应性和可行性。

参考文献:

- [1] 王成山,王守相. 分布式发电供能系统若干问题研究[J]. 电力系统自动化,2008,32(20):1-4,31.
- [2] 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.
- [3] 徐少华,李建林. 光储微网系统并网/孤岛运行控制策略[J]. 中国电机工程学报,2013,33(34):25-33,6.
- [4] 陈伟,艾欣,吴涛,等. 光伏并网发电系统对电网的影响研究综述[J]. 电力自动化设备,2013,33(2):26-32,39.
- [5] MAHMOUD M S, HUSSAIN S A, ABIDO M A. Modeling and control of microgrid: an overview[J]. Journal of the Franklin Institute, 2014, 351(5): 2285-2822.
- [6] GU Y, XIANG X, LI W, et al. Mode-adaptive decentralized control for renewable DC microgrid with enhanced reliability and flexibility [J]. Power Electronics, IEEE Transactions on, 2014, 29(9):5072-5080.
- [7] 苏玲,周翔,季良,等. 微电网控制策略综述[J]. 华东电力,2014,42(11):2249-2253.
- [8] 丁明,罗魁,毕锐. 孤岛模式下基于多代理系统的微电网能量协调控制策略[J]. 电力系统自动化,2013,37(5):1-8.
- [9] 蒲天骄,刘克文,李烨,等. 基于多代理系统的主动配电网自治协同控制及其仿真[J]. 中国电机工程学报, 2015,35(8):1864-1874.
- [10] REN J S, TAN K T, SIVANEASAN B, et al. Energy management of a multi-agent based multi-microgrid system [C]//Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 2014 IEEE PES Asia-Pacific, IEEE, 2014: 1-6.
- [11] 丁明,马凯,毕锐. 基于多代理系统的多微网能量协调控制[J]. 电力系统保护与控制,2013,41(24):1-8.
- [12] 郝雨辰,吴在军,窦晓波,等. 基于 IEC61850 的多代理系统在微电网运行控制中的应用[J]. 电力自动化设备,2013,33(6):139-146.
- [13] 毛新军,胡翠云,孙跃坤,等. 面向 Agent 程序设计的研究[J]. 软件学报,2012,23(11):2885-2904.
- [14] 郭昊坤,吴军基. Agent 技术在中国智能电网建设中的应用[J]. 电网与清洁能源,2014,30(2):12-16.
- [15] 程志峰,张蕾,陈佳俊,等. 基于 JADE 的多 Agent 系统开发[M]. 北京:国防工业出版社,2013.
- [16] LOGENTHIRAN T, SRINIVASAN D, KHAMBADKONE A M. Multi-agent system for energy resource scheduling of integrated microgrids in a distributed system [J]. Electric Power Systems Research, 2011, 81(1): 138-148.

(下转第 264 页)

Design of BIM-Based Ground Grid System and Electric Simulation

LIN Ben¹, GUI Ning¹, DONG Yansong¹, QIU Zhifeng²

(1. School of Information Science and Thechnology, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China; 2. ELECTA/ESAT Group, KULeuven, Leuven 3001, Belgium)

Abstract: As one of the key electrical safety measurements, grounding grid plays an important role in the architecture. In the process of practical architectural design, grounding grid design and architectural design are completely separated into two independent design processes. This separation prevents the design of grounding grid from being able to take full consideration of the complex requirements of architecture, especially the new requirements brought by new energy buildings such as the photovoltaic building (building information photovoltaic, BIPV). This paper presents a uniform BIM-based grounding grid design platform, which provides the integrative services of grounding grid design and calculation. Equipment models related to BIM-based grounding grid were made and the accurate maximum short circuit current of system was calculated by fully utilizing the BIM-based 3D models, electrical models and transmission line models. Accurate electrical topology can be built based on the BIM model. Based on such information, the calculation of grounding grid based on finite elements was realized via the information and soil model of building grounding grid acquired and the calculated results directly displayed in BIM (building information model, BIM) in the form of 3D. This platform has been used practically in designing a grounding grid of a Building Integrated Photovoltaic (BIPV) and good application results have been achieved.

Key words: electrical; building; safety; grounding grid; BIM

(责任编辑: 陈和榜)

(上接第 256 页)

Research on Micro-grid Cooperative Control Based on Multi-Agent System

KONG Zhaoyang¹, GUI Ning¹, BAO Xiaolan¹, QIU Zhifeng², HU Zengjian¹

(1. School of Information Science and Technology, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China; 2. ELECTA/ESAT Group, KULeuven, Leuven 3001, Belgium)

Abstract: In view of the defects of the traditional centralized control and decentralized control, this paper put forward a method for coordination and scheduling of micro-grid control strategy based on multi-agent system, and designed and deployed a master control agent for scheduling and multiple sub-agents for independently managing the entities in the micro-grid. The master control agent coordinates and schedules control decisions of each different sub-agent, and sub-agent will locally execute the specific scheduling. All the agents work together to ensure that micro-grid keeps stable operation in the changing environment. The interaction between agents were carried out with the assistance of open-source java agent development framework, JADE and by following the Foundation for Intelligent Physical Agents (FIPA) standard definition. A micro-grid model was built by using Matlab / Simulink software, and the simulation was carried out during grid-connected pattern, isolated pattern and grid-connected /isolated switch pattern conditions to simulate each agent coordination and scheduling process. The simulation results demonstrate the feasibility and effectiveness of the design.

Key words: multi-agent system; micro-grid; JADE; Agent

(责任编辑: 陈和榜)