

基于 IEC61850 的多代理系统在微电网运行控制中的应用

郝雨辰¹, 吴在军¹, 窦晓波¹, 胡敏强¹, 李桃², 赵波³

(1. 东南大学 电气工程学院, 江苏 南京 210096; 2. 江苏省电力设计院, 江苏 南京 211102;

3. 浙江省电力试验研究院, 浙江 杭州 310014)

摘要: 多代理系统被广泛接受可用于微电网运行控制, 代理之间消息的传递需要统一的信息模型。提出利用 IEC61850 的信息模型, 以 JADE 平台为载体, 实现多代理系统对 IEC61850 的兼容。以微电网中光伏电池为例, 研究其接入、运行和退出过程中各代理信息的交互, 确定 IEC61850 的信息模型向代理通信语言的映射方法。仿真结果表明, 基于 IEC61850 的多代理系统控制方法, 能确保代理之间信息交互的统一性和互操作性, 从而有效地应用于微电网的运行控制中。

关键词: 微电网; 多代理系统; IEC61850; 控制; 模型

中图分类号: TM 61; TP 18

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2013.06.026

0 引言

微电网将一定区域内分散的分布式发电系统组织起来形成一个能源网络化供应系统, 既可独立运行, 也可通过公共连接点 PCC(Point of Common Coupling)直接与低压配电网连接, 与大电网互为支撑, 能满足用户对电能安全、稳定和多样化的需要^[1-4]。

目前微电网的控制方式主要包括主从控制、对等控制和基于多代理(multi-Agent)系统的控制^[4-6], 其中 multi-Agent 系统的分布性和智能性符合微电网的特点, 因此被广泛用于微电网的运行控制中。基于统一信息模型的代理(Agent)之间的通信是 multi-Agent 系统实现的关键。IEC61850 作为电力公用事业通信网络与系统的国际标准为电力系统无缝通信奠定了基础, 但将其应用于微电网的研究尚不多见。

文献[7-8]提出将 multi-Agent 系统和 IEC61850 用于变电站的广域后备保护和信息一体化平台的设计中。文献[9-13]介绍了 multi-Agent 系统和 IEC61850 的兼容方法; 文献[9]提出将 IEC61850 中的逻辑节点直接视为 Agent; 文献[10]指出根据 Agent 的功能变化动态分配相应的逻辑节点; 文献[11-13]研究 multi-Agent 系统的分层结构与 IEC61850 逻辑模型的融合, 并直接依靠后者的底层通信。上述方法虽一定程度上解决了 multi-Agent 系统与 IEC61850 之间的

兼容问题, 但弱化了 multi-Agent 系统的协商合作功能。

本文针对微电网复杂的运行控制问题, 研究 IEC61850 和 multi-Agent 系统方法在微电网中的适用性以及两者之间的兼容, 特别是 IEC61850 的信息模型向 Agent 通信语言 ACL(Agent Communication Language)的映射方法, 使此信息模型成为 Agent 之间通信的统一参考, 满足微电网运行过程中各单元 Agent 之间合作信息的统一性和互操作性, 实现微电网的经济稳定运行。

1 微电网模型

图 1 为本文所建微电网模型结构图, 包括微型燃气轮机 MT(Micro Turbine)、质子交换膜燃料电池 PEMFC(Proton Exchange Membrane Fuel Cell)、光伏 PV(Photo Voltaic)电池、蓄电池等分布式电源和储能单元。微型燃气轮机具有运行效率高、能量体积比大、输出功率可控等优点^[14-15], 在微电网独立运行模式下, 作为 U/f 控制的稳压电源; 质子交换膜燃料电池具有启动迅速、输出功率可调节的特点^[16], 在微电网系统中作为 PQ 控制的功率电源; 光伏电池输出受环境因素影响较大, 通常工作在最大功率点跟踪

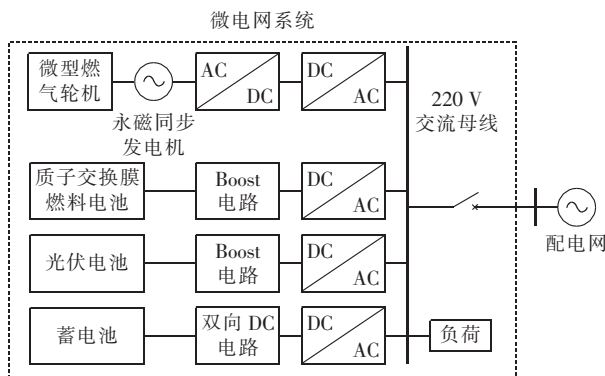


图 1 微电网模型结构图

Fig.1 Structure of microgrid model

收稿日期: 2012-06-30; 修回日期: 2013-04-10

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2011-AA05A107); 国家自然科学基金资助项目(51177015); 江苏省产学研前瞻性联合研究项目(BY2010142); 江苏省 2011 年度普通高校研究生科研创新计划项目(CXLX_0110)

Project supported by the National High Technology Research and Development Program of China(863 Program)(2011AA-05A107), the National Natural Science Foundation of China(51177015), the Department of Science and Technology of Jiangsu Province(BY2010142) and the Plans for Graduate Research and Innovation of Colleges and Universities in Jiangsu Province(CXLX_0110)

MPPT(Maximum Power Point Tracking)^[17]状态。各单元通过电力电子变换装置接入 220 V 交流母线,整个微电网系统通过电力电子断路器与低压配电网连接。

2 微电网中 IEC61850 与 multi-Agent 系统的兼容

微电网的稳定运行、与配电网的协同控制以及多源信息平台的构建,需要实现不同厂商设备的互联互通,multi-Agent 系统方法作为分布式控制和人工智能的产物提供了技术上的保证;IEC61850 是一套完整的基于通信的电力自动化功能建模规范,提供了有力的理论支撑。

2.1 基于 IEC61850 的微电网信息模型

IEC61850 最初是为解决变电站内不同厂商的智能电子设备的互操作和系统集成而制定的^[18-19],如今已衍生到电力系统的各个领域。

IEC61850-7-420 定义了与分布式能源有关的逻辑设备和逻辑节点^[20],包括燃料电池、光伏电池、热电联产、蓄电池等分布式电源和储能装置,整流器、逆变器等电力电子接口,以及与系统运行相关的物理量。这些逻辑设备和逻辑节点包含了微电网中的大多数组成单元。

针对图 1 所示的微电网模型结构,基于 IEC61850 的信息模型和建模规范,建立符合 IEC61850 的微电网系统信息模型,如图 2 所示。

IEC61850-7-420 仅定义了与分布式能源相关的部分逻辑节点,因此按照自定义逻辑节点规范,分别针对斩波器、负荷的基本特征,按照微电网中心控制单元 MGCC(MicroGrid Central Controller)、配电网控制单元 DNC(Distribution Network Controller)的基本要求新建相关逻辑节点。分布式能源设备电连

接点 ECP(Electrical Coupling Point)表示分布式能源、负荷与微电网,以及微电网与配电网间的连接关系,通常在该连接点处有一个开关或断路器。微电网中本地控制单元 LC(Local Controller)的作用类似于 IEC61850 中定义的分布式能源装置控制器,表示一个单独的分布式能源的可操作特性。

2.2 微电网运行控制中的 multi-Agent 系统结构

微电网对电力系统供电可靠性的保证、电能质量的提高,以及对用户多样性需求的满足使其成为电力系统发展的趋势,但也带来了传统集中控制的冲击,造成集中控制效率的低下、控制参数的激增,促使集中控制向分布式智能控制自然演变。multi-Agent 系统方法作为分布式控制和人工智能的产物,可以满足微电网的运行和管理需要^[21-23]。multi-Agent 系统方法在微电网中的适应性表现在以下几点。

a. 微电网是由一定地理区域内分散的分布式电源和负荷所构成,与 multi-Agent 系统中分布式的 Agent 单元具有逻辑结构上的统一。

b. multi-Agent 系统中的各 Agent 具有根据自身运行特点和控制目标,制定相应策略的自主性,能实现微电网系统中不同特点分布式单元的控制要求,也易于满足微电网系统中隶属于不同用户和业主的分布式单元不同运行目标的需要。

c. multi-Agent 系统中的各 Agent 既具有运行控制的自主性,同时也具备彼此通信、相互配合解决复杂问题的合作性,可用于具有多控制参数、多参与单元、复杂任务目标的微电网。

图 1 所示的微电网系统具有明显的分层分布特点,通过对微电网系统的功能分解,参照 Agent 的 BDI 模型^[24],建立适用于微电网运行控制的 multi-Agent 系统结构,如图 3 所示。

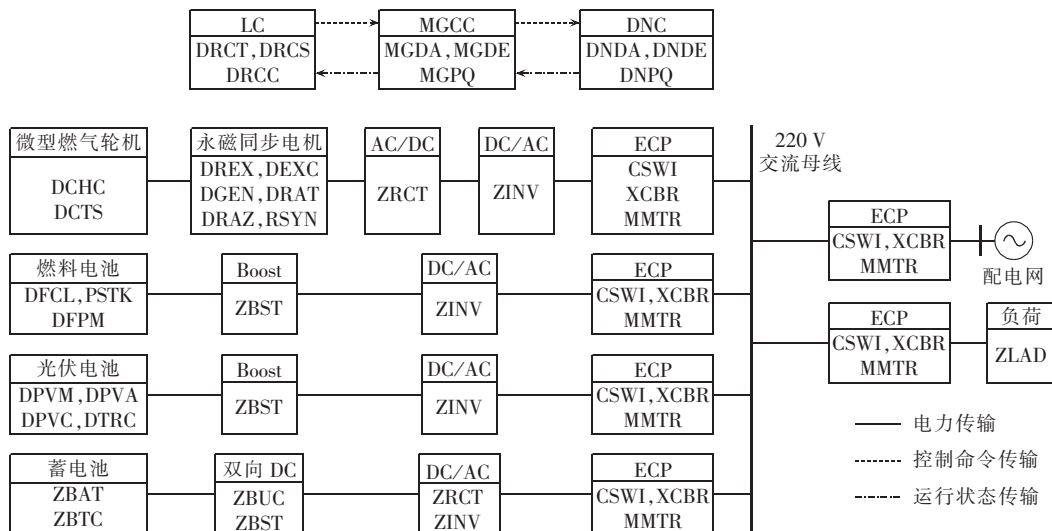


图 2 基于 IEC61850 的微电网信息模型

Fig.2 IEC61850-based information model for microgrid

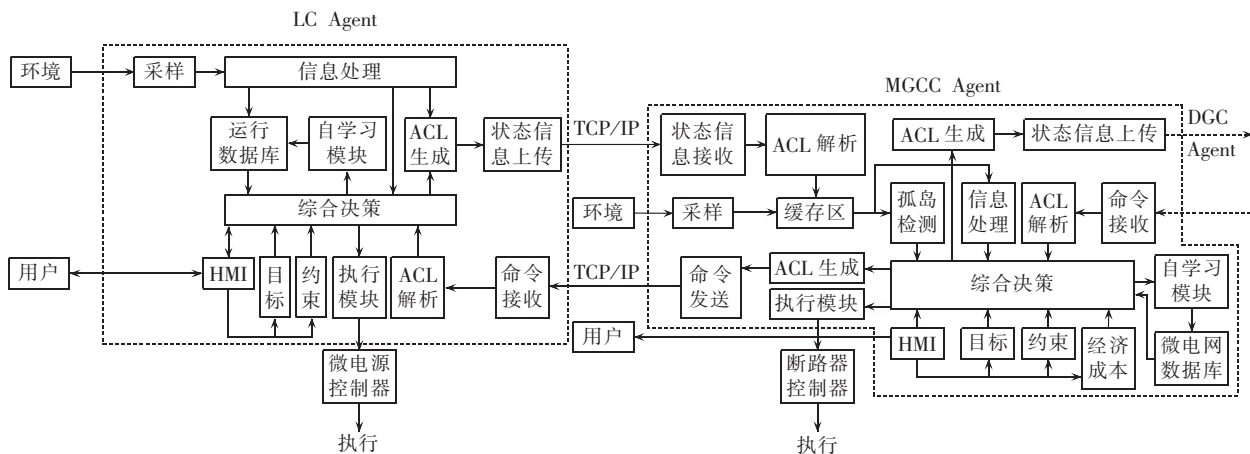


图 3 基于 multi-Agent 系统的微电网功能模型

Fig.3 Functional model based on multi-Agent system for microgrid

本文不研究配电网对微电网的管理方法,因此 DNC Agent 的功能模块在图 3 中未叙述。虽然微电网底层的分布式电源、储能装置和负荷类型众多,但就功能抽象而言,基本功能模块一致,因此用 LC Agent 代表底层的所有单元。

2.3 IEC61850 向 multi-Agent 系统的映射

图 2、图 3 分别从 IEC61850 和 multi-Agent 系统的角度对微电网进行了详细描述和功能抽象。针对微电网运行控制的研究,IEC61850 与 multi-Agent 系统的兼容实际上就是利用 multi-Agent 系统对微电网的功能分解,实现对 IEC61850 描述的微电网信息模型的解析和重构,使微电网运行控制的参与者能互联互通,通过协同合作使整个系统能够经济稳定运行。

ACL 既是 Agent 间沟通合作的桥梁,也是实现 Agent 对 IEC61850 信息模型表达的技术手段。符合 FIPA(Foundation for Intelligent Physical Agents)国际标准的 ACL 语言包括发送者、接收者、消息内容、本体(ontology)等 13 项基本元素,其中 ontology 提供了类似于字典的功能,可以用于对消息内容中各进行段的解释说明,便于实现整个 multi-Agent 系统的无缝通信。

根据 FIPA 关于 ACL ontology 的说明,JADE 平台提供了自定义 ontology 的方法。完整的 ontology 定义主要包含 3 个元素:概念(concept),用于对事物的具体描述;断言(predicate),对 concept 元素用途的说明;代理动作(Agent actions),表明由 Agent 执行的一系列动作。其中 concept 元素可以嵌套形成与 IEC61850 逻辑节点相同的树形结构,利用 predicate 元素可以使同样的 concept 表达不同的功能。

IEC61850 的逻辑节点既包含了定值与状态信息,也包含了控制信息。本文中,考虑到 concept 元素与 IEC61850 逻辑节点结构上的一致性,可以实现信

息描述上的融合;利用 Agent actions 元素实现功能定义上的统一;通过 predicate 元素区分上级控制器 Agent 下达的控制信息和下级单元 Agent 上传的状态信息。

图 4 为本文实现 IEC61850 与 multi-Agent 系统兼容的方法,将 IEC61850 定义的逻辑节点信息映射到 ACL 的 ontology 中,生成自定义的 MG-ontology。Agent 内部通过 IEC61850 模型描述微电网的状态,Agent 之间则依靠 ACL 信息进行通信。利用 MG-ontology 实现对 IEC61850 描述的微电网状态信息的封装以及对接收的 ACL 信息的解析。构建基于 IEC61850 的 multi-Agent 系统无缝通信网络,实现两者兼容。

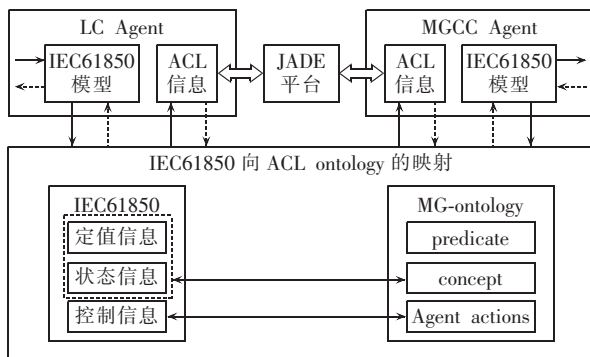


图 4 IEC61850 向 ACL ontology 的映射

Fig.4 Mapping of IEC61850 to ACL ontology

通过对 MG-ontology 的完善,使其包含与微电网运行相关的所有 IEC61850 的逻辑节点,可重复用于微电网运行控制的 multi-Agent 系统中,便于实现 multi-Agent 系统信息交互统一性和互操作性。

3 基于 multi-Agent 系统的微电网控制策略

为了验证上述基于 IEC61850 的 multi-Agent 系统方法在微电网孤岛运行中的可靠性和有效性,利用 3 台计算机构建相应的 multi-Agent 系统框架,如

图 5 所示。

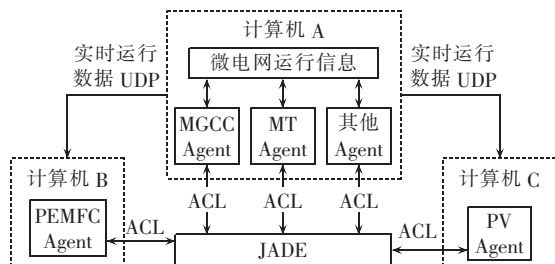


图 5 应用于微电网孤岛运行控制的 multi-Agent 系统框架

Fig.5 Multi-Agent system for operation and control of islanded microgrid

3 台计算机间通过百兆以太网互联,计算机 A 负责模拟微电网的运行,并将实时信息通过数据报通信协议(UDP)发送给运行 PEMFC Agent 的计算机 B 和运行 PV Agent 的计算机 C。各 Agent 根据微电网运行信息以及所属微电源的特性,发挥 Agent 的自主性与合作性,利用包含 IEC61850 模型的 ACL 信息通信,控制微电网中各单元的工作状态,从而使整个微电网系统经济稳定运行。

MGCC Agent 是 multi-Agent 系统应用于微电网控制的核心,其通过采集系统运行状态信息,查询系统内各单元登记信息,制定改变微电源工作状态、切负荷等决策,维持系统的经济稳定运行,并记录运行日志。各微电源和储能装置的 Agent 在启动和运行期间均可向 MGCC Agent 进行登记、修改和删除其状态信息。

微型燃气轮机作为微电网孤岛状态下的可调大功率电源,MT Agent 采用 U/f 控制方法调节其输出电压,从而稳定整个孤岛微电网系统的电压幅值和频率。因为微型燃气轮机具有输出功率越接近于额定功率运行效率越高的特点^[25],同时为了应对负荷的实时波动而储备一定的调节裕量,本文设定 MT Agent 控制微型燃气轮机的输出功率尽可能维持在额定功率的 85%~95%。

PEMFC Agent 根据 MGCC Agent 的调节命令,采用 PQ 控制方法改变质子交换膜燃料电池的输出功率,并控制其接入或退出微电网系统。本文中设定:正常状态下 MGCC Agent 根据系统功率变化情况每 15 min 向 PEMFC Agent 发送功率调节指令;微型燃气轮机输出功率一旦越限,MGCC Agent 立即向 PEMFC Agent 发送功率调节命令。

PV Agent 采用爬山法控制光伏电池工作在 MPPT 模式^[17],在接入或退出微电网系统之前,向 MGCC Agent 发送 ACL 信息,登记或删除关于光伏电池的状态描述。

依靠各单元 Agent 的自主运行和 Agent 间的通

信合作,建立基于 multi-Agent 系统的微电网控制策略如图 6 所示。其中, P_{MT}^* 为微型燃气轮机额定功率, P_{FC}^* 为质子交换膜燃料电池额定功率。

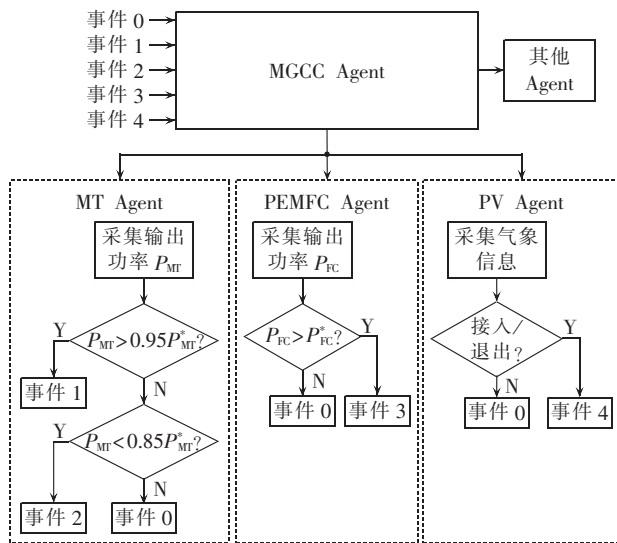


图 6 基于 multi-Agent 系统的微电网控制策略

Fig.6 Control strategy based on multi-Agent system for microgrid

MGCC Agent 作为 multi-Agent 系统应用于微电网控制的核心,根据系统运行信息和各微电源的运行状态,综合处理各种事件,并将决策结果下发至各单元 Agent,如表 1 所示。

表 1 MGCC Agent 决策系统
Tab.1 Decision-making system of MGCC Agent

事件	事件描述与应对决策
事件 0	正常状态, 根据系统状态每 15 min 调节 PEMFC 输出功率
事件 1	MT 功率越上限, 启动 PEMFC 或增大 PEMFC 输出功率
事件 2	MT 功率越下限, 关闭 PEMFC 或减小 PEMFC 输出功率
事件 3	PEMFC 功率越上限, 减小其输出功率或维持额定功率
事件 4	接受光伏电池接入或退出
事件 1+事件 3	MT 和 PEMFC 功率同时越上限, 启动储能装置或切负荷

4 仿真与分析

根据图 1、图 5 所示微电网结构图和 multi-Agent 系统框架,采用 JADE 平台和 MATLAB 仿真软件的混合编程方法,建立基于 IEC61850 和 multi-Agent 系统的微电网仿真模型。其中利用 MATLAB/Simulink 模拟微电网的运行,并将系统实时运行信息通过快速的 UDP 传输给其他计算机,偶尔出现的数据包缺失也不会影响 Agent 的正常决策。包含 IEC61850 模型的 ACL 信息则通过 JADE 平台采用 TCP/IP 协议进行传输,确保决策命令的可靠交互。

根据表 2 所列分布式电源参数,在图 7 所示夏季典型日负荷曲线以及温度和光照强度曲线^[26]之上叠加 $\pm 5\%$ 的随机误差,以模拟实际运行控制中的负荷变化和自然条件干扰。针对光伏接入、运行和退出微电网的情况,不考虑无功功率的影响,验证所采用的基于 IEC61850 的 multi-Agent 系统方法在微电网运行控制中应用的可靠性和有效性。

表 2 微电网系统主要元件参数

Tab.2 Parameters of key components for microgrid		
分布式电源名称	技术性能项目	参数值
微型燃气轮机及永磁同步发电机系统	额定功率	30 kW
	额定转速	10 048 rad/s
	转动惯量	15.64 kg·m ²
质子交换膜燃料电池	最大输出功率	17 kW
	开路电压	610 V
	短路电流	298.4 A
光伏电池	最大输出功率	17.1 kW
	开路电压	813.6 V
	短路电流	28.1 A

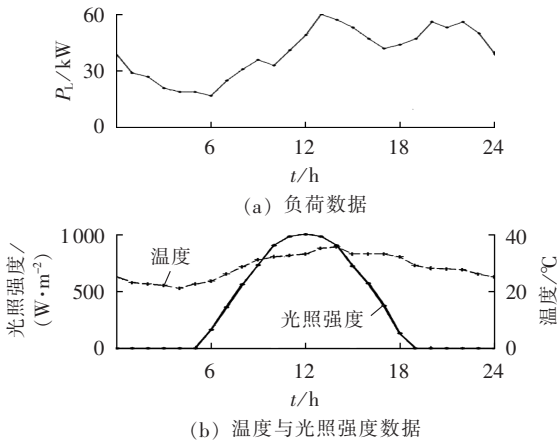


图 7 夏季典型日负荷与气象数据

Fig.7 Typical daily load and meteorology data in summer

4.1 光伏电池接入微电网

鉴于微电网实际运行过程中系统负荷和自然条件的随机波动,使得光伏电池在 05:10 左右有功率输出,触发表 1 中事件 4,PV Agent 即与 MGCC Agent 通信,控制光伏电池以 PQ 控制的 MPPT 方式接入微电网,由于系统负荷较小,并且微型燃气轮机输出功率不满足表 1 中事件 1 所述情况,因此出于经济性考虑,燃料电池不参与系统调节,MT Agent 控制微型燃气轮机采用 U/f 控制方式稳定微电网电压和频率。此过程中微型燃气轮机、光伏电池和质子交换膜燃料电池有功功率输出情况如图 8 所示。

PV Agent 与 MGCC Agent 间的通信过程如图 9 所示,PV Agent 率先发送请求(Propose)接入微电网信息,信息内容中包含利用 IEC61850 表示的光伏电池参数,之后 MGCC Agent 根据当前系统状态回复接收(Accept Proposal)信息,将 PV Agent 中的逻辑节

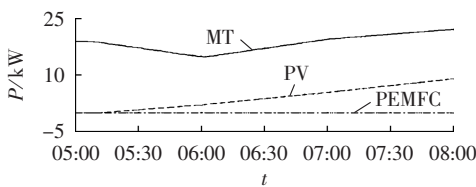


图 8 光伏电池接入微电网

Fig.8 Integration of PV cell into microgrid

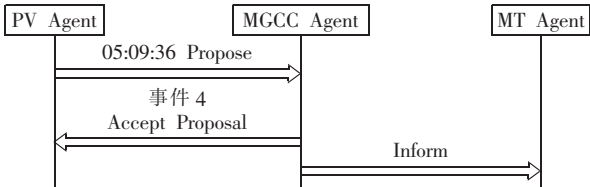


图 9 光伏电池接入过程中 Agent 间信息交互

Fig.9 Information exchange between Agents during PV cell integration

点 DPVC 的控制数据 ArrModCtr 置为 1,要求光伏电池工作在 MPPT 模式,并将光伏电池的基本参数通知(Inform)MT Agent,要求微型燃气轮机对光伏电池接入可能引起的电压波动作好准备。

上述 Agent 之间通信过程所采用的 Propose、Accept Proposal、Inform 等表示通信状态属性的信息均属于 FIPA 定义的标准通信信息。

以 PV Agent 发送给 MGCC Agent 的 Propose 信息为例,利用 JADE 查看此信息,它的 ontology 参数为自定义的基于 IEC61850 的 MG-ontology,利用 MG-ontology 实现 multi-Agent 系统与 IEC61850 的兼容,因此,信息的内容部分为符合 IEC61850 的光伏电池参数描述。

4.2 光伏电池在微电网中运行

选择中午时段研究光伏电池在微电网中的运行情况,微型燃气轮机作为系统稳压电源一直工作在 U/f 控制模式,随着系统负荷增长,微型燃气轮机输出功率不断增大,直至 11:42 左右触发表 1 中事件 1,此时 MGCC Agent 与 PEMFC Agent 通信,要求燃料电池作为 PQ 控制的可调功率电源参与微电网的调度管理,之后微型燃气轮机输出功率一旦超限,即由微电网中心控制单元调节燃料电池输出功率。微电网系统中微型燃气轮机、光伏电池和质子交换膜燃料电池有功功率输出情况如图 10(a)所示。

上述运行过程中各单元 Agent 间的通信过程如图 10(b)所示,微型燃气轮机输出功率首次越上限时,MT Agent 通知(Inform)MGCC Agent,由 MGCC Agent 命令(Request)PEMFC Agent 启动燃料电池,并将 PEMFC Agent 中用 IEC61850 模型表示的燃料电池控制器逻辑节点 DFCL 中的控制数据 FuelShut 置为 True,然后 MGCC Agent 调节 PEMFC Agent 的输

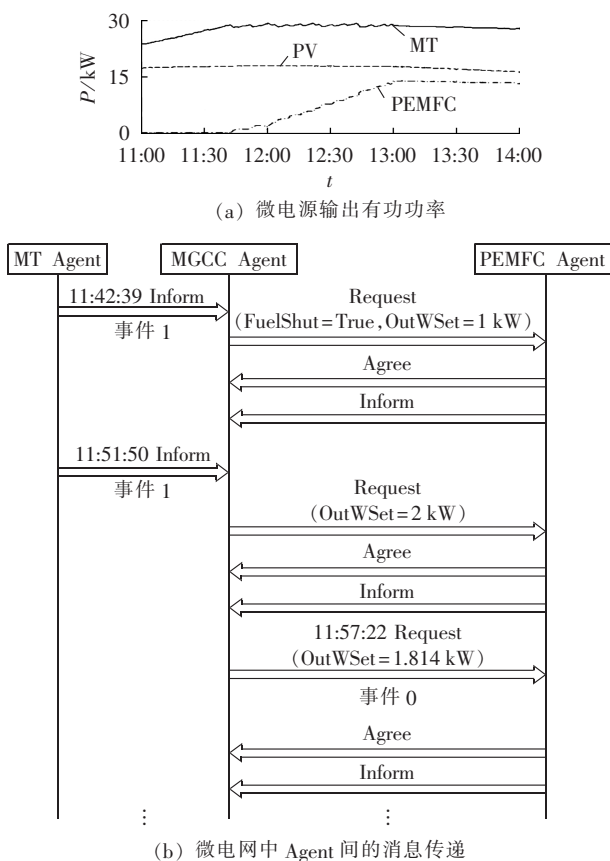


图 10 光伏电池在微电网中的运行
Fig.10 Operation of PV cell in microgrid

出功率,仅需将功率设置值写入与燃料电池相连的逆变器逻辑节点 ZINV 的输出功率定值数据 OutWSet 中。

4.3 光伏电池退出微电网

MGCC Agent、MT Agent 和 PEMFC Agent 通过协商合作,共同维持系统功率平衡,由于光照强度降低,光伏电池最终在 18:52 左右触发表 1 中的事件 4,退出微电网系统。上述过程中各微电源的输出功率情况,以及各单元 Agent 间的通信过程如图 11 所示。

如图 11(b)所示,由于系统负荷变化和光伏电池输出功率的减少,微型燃气轮机多次触发表 1 中事件 1 和 2,由此导致 MGCC Agent 改变 PEMFC Agent 中逻辑节点 ZINV 的输出功率设定值 OutWSet,最终在 18:30 时使得燃料电池输出功率越上限,造成表 1 中事件 3 的发生,由于此时微型燃气轮机输出功率较大,不宜减小燃料电池输出功率,因此 MGCC Agent

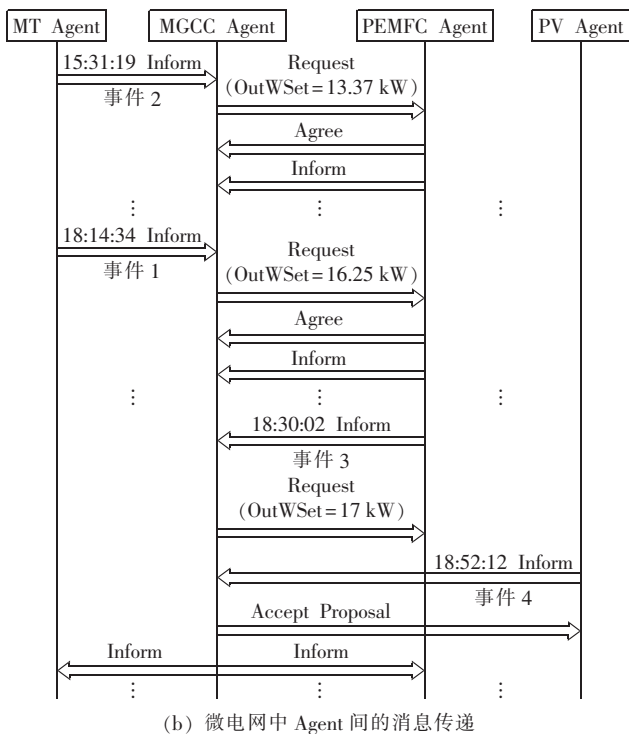
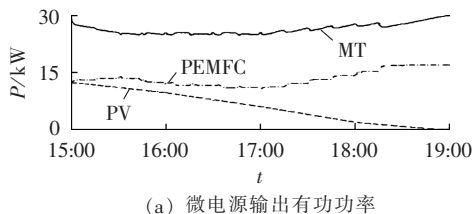


图 11 光伏电池退出微电网
Fig.11 Disconnection of PV cell

命令 PEMFC Agent 维持额定功率输出。

5 结语

为实现 multi-Agent 系统在微电网运行控制中的广泛应用,本文提出利用 IEC61850 的信息模型作为 Agent 间消息传递的基础。分析了 IEC61850 和 multi-Agent 系统在微电网运行控制中的适应性,并从两者各自的角度对微电网进行建模,指出 IEC61850 与 multi-Agent 系统的兼容,实际上就是利用 multi-Agent 系统对微电网的功能分解,实现对 IEC61850 描述的微电网信息模型的解析和重构,multi-Agent 通信语言 ACL 是实现兼容的重要手段。通过对光伏电池接入、运行和退出微电网的仿真分析,说明两者兼容的具体实现,同时考虑到微电网系统实际运行过程中负荷的变化以及自然条件的干扰,验证基于 IEC 61850 的 multi-Agent 系统方法在微电网运行控制中的可靠性和有效性。

参考文献:

- [1] DIMEAS A L,HATZIARGYRIOU N D. Operation of a multiagent system for microgrid control[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2005,20(3):1447-1455.
- [2] LASSETER R H. Microgrids[C]//Power Engineering Society Winter Meeting. New York, USA:IEEE,2002:306-308.
- [3] 鲁宗相,王彩霞,闵勇,等. 微电网研究综述[J]. 电力系统自动化, 2007,31(19):100-107.

LU Zongxiang,WANG Caixia,MIN Yong,et al. Overview on microgrid research[J]. Automation of Electric Power Systems,

- 2007,31(19):100-107.
- [4] 张颖媛. 微电网系统的运行优化与能量管理研究[D]. 合肥:合肥工业大学,2011.
ZHANG Yingyuan. Study of operation optimization and energy management for microgrids[D]. Hefei:Hefei University of Technology,2011.
 - [5] 王成山,杨占刚,王守相,等. 微网实验系统结构特征及控制模式分析[J]. 电力系统自动化,2010,34(1):99-105.
WANG Chengshan,YANG Zhangang,WANG Shouxiang,et al. Analysis of structural characteristics and control approaches of experimental microgrid systems[J]. Automation of Electric Power Systems,2010,34(1):99-105.
 - [6] 吴志,顾伟. 孤岛方式下基于多代理系统的微电网有功-频率控制[J]. 电力自动化设备,2009,29(11):57-61.
WU Zhi,GU Wei. Active power and frequency control of islanded microgrid based on multi-agent technology[J]. Electric Power Automation Equipment,2009,29(11):57-61.
 - [7] 童晓阳,王晓茹,丁力. 采用 IEC61850 构造变电站广域保护代理的信息模型[J]. 电力系统自动化,2008,32(5):63-67.
TONG Xiaoyang,WANG Xiaoru,DING Li. Modeling a wide-area backup protection agent in substation using IEC61850[J]. Automation of Electric Power Systems,2008,32(5):63-67.
 - [8] 张金江,郭创新,曹一家,等. 基于 MAS 的变电站信息一体化嵌入式平台设计[J]. 电力系统自动化,2008,32(9):52-56.
ZHANG Jinjiang,GUO Chuangxin,CAO Yijia,et al. Design of embedded platform for substation data integration based on multi-agent system[J]. Automation of Electric Power Systems,2008,32(9):52-56.
 - [9] APOSTOLOV A. Multi-agent systems and IEC61850[C]//Power Engineering Society General Meeting. Montreal,Quebec,Canada: IEEE,2006:1-6.
 - [10] SALEEM A,HONETH N,NORDSTROM L. A case study of multi-agent interoperability in IEC61850 environments[C]//Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe. Lindholmen Science Park,Gothenburg,Sweden:IEEE PES,2010:1-8.
 - [11] ZHABELOVA G,VYATKIN V. Multi-agent smart grid automation architecture based on IEC61850/61499 intelligent logical nodes[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics,2012,59(5):2351-2362.
 - [12] VYATKIN V,ZHABELOVA G,HIGGINS N,et al. Towards intelligent smart grid devices with IEC61850 interoperability and IEC61499 open control architecture[C]//Transmission and Distribution Conference and Exposition. New Orleans,USA: IEEE PES,2010:1-8.
 - [13] VYATKIN V,ULIERU M,MCCOMAS D. Toward digital ecologies:intelligent agent networks controlling interdependent infrastructures[C]//IEEE International Conference on Smart Grid Communications. Gaithersburg,Maryland,USA:IEEE,2010:589-594.
 - [14] 刘君,穆世霞,李岩松,等. 微电网中微型燃气轮机发电系统整体建模与仿真[J]. 电力系统自动化,2010,34(7):85-89.
LIU Jun,MU Shixia,LI Yansong,et al. Overall modeling and simulation of microturbine generation systems in microgrids[J]. Automation of Electric Power Systems,2010,34(7):85-89.
 - [15] 钱军,李欣然,马亚辉,等. 面向负荷建模的微型燃气轮机建模及其等效描述[J]. 电力系统自动化,2010,34(19):81-85.
QIAN Jun,LI Xinran,MA Yahui,et al. Modeling and equivalent description of microturbine for load modeling[J]. Automation of Electric Power Systems,2010,34(19):81-85.
 - [16] 张颖颖,曹广益,朱新坚. 燃料电池——有前途的分布式发电技术[J]. 电网技术,2005,29(2):57-61.
ZHANG Yingying,CAO Guangyi,ZHU Xinjian. Fuel cell—a promising distributed generation technique[J]. Power System Technology,2005,29(2):57-61.
 - [17] 陶琼,吴在军,程军照,等. 含光伏阵列及燃料电池的微网建模与仿真[J]. 电力系统自动化,2010,34(1):89-93.
TAO Qiong,WU Zaijun,CHENG Junzhao,et al. Modeling and simulation of microgrid containing photovoltaic array and fuel cell[J]. Automation of Electric Power Systems,2010,34(1):89-93.
 - [18] 徐科,吴在军,闵涛,等. 基于 IEC61850 标准的新型数字保护平台研究与实现[J]. 电力自动化设备,2007,27(2):79-84.
XU Ke,WU Zaijun,MIN Tao,et al. Digital protection platform based on IEC61850[J]. Electric Power Automation Equipment,2007,27(2):79-84.
 - [19] 徐宁,朱永利,邸剑,等. 基于 IEC61850 的变电站自动化对象建模[J]. 电力自动化设备,2006,26(3):85-89.
XU Ning,ZHU Yongli,DI Jian,et al. Substation automation object modeling based on IEC61850[J]. Electric Power Automation Equipment,2006,26(3):85-89.
 - [20] IEC. IEC61850 Communication networks and systems for power utility automation part 7-420[S]. Geneva,Switzerland:IEC,2009.
 - [21] DIMEAS A L,HATZIARGYRIOU N D. A multiagent system for microgrids[C]//Power Engineering Society General Meeting. Denver,Colorado,USA:IEEE,2004:55-58.
 - [22] DIMEAS A L,HATZIARGYRIOU N D. A MAS architecture for microgrids control[C]//Proceedings of the 13th International Conference on Intelligent Systems Application to Power Systems. Washington DC,USA:IEEE,2005:402-406.
 - [23] DIMEAS A L,HATZIARGYRIOU N D. Agent based control for microgrids[C]//Power Engineering Society General Meeting. Tampa,Florida,USA:IEEE,2007:1-5.
 - [24] 孟安波,刘永前,傅闯. 分布分层的水电厂预知维护多 Agent 系统[J]. 电力自动化设备,2010,30(11):105-109,114.
MENG Anbo,LIU Yongqian,FU Chuang. Hierarchical distributed multi-Agent system of hydropower plant predictive maintenance[J]. Electric Power Automation Equipment,2010,30(11):105-109,114.
 - [25] 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.
NIU Ming,HUANG Wei,GUO Jiahuan,et al. Research on economic operation of grid-connected microgrid[J]. Power System Technology,2010,34(11):38-42.
 - [26] 张建华,黄伟. 微电网运行控制与保护技术[M]. 北京:中国电力出版社,2010:184-185.

作者简介:

郝雨辰(1985-),男,江苏南京人,博士研究生,主要研究方向为分布式发电与微网(E-mail:hao_yuchen@126.com);

吴在军(1975-),男,江苏南京人,副教授,博士研究生导师,博士,主要研究方向为变电站自动化、分布式发电与微网、电能质量分析与控制;

窦晓波(1979-),男,江苏南京人,副教授,博士,主要研究方向为变电站自动化、分布式发电与微网;

胡敏强(1961-),男,江苏丹阳人,教授,博士研究生导师,博士,主要研究方向为工程电磁场计算、电机及其控制技术、电气主设备状态监测与故障诊断等;

李桃(1986-),女,吉林四平人,助理工程师,硕士,研究方向为电力系统规划设计;

赵波(1977-),男,贵州遵义人,高级工程师,博士,研究方向为智能优化算法在电力系统中的应用。

Application of IEC61850-based multi-Agent system in microgrid operation

HAO Yuchen¹,WU Zaijun¹,DOU Xiaobo¹,HU Minqiang¹,LI Tao²,ZHAO Bo³

(1. School of Electrical Engineering,Southeast University,Nanjing 210096,China;

2. Jiangsu Electric Power Design Institute,Nanjing 211102,China;

3. Zhejiang Electric Power Test & Research Institute,Hangzhou 310014,China)

Abstract: The multi-Agent system widely used in microgrid operation needs unified information model for message exchange between Agents. An IEC61850-based information model is proposed,which takes JADE as its platform to make the multi-Agent system compatible with IEC61850. With the photovoltaic cell in microgrid as an example,the message exchange between Agents during its integration,operation and disconnection is studied for the mapping of IEC61850-based information model to the Agent communication language. The simulative results demonstrate that,the control strategy of IEC61850-based multi-Agent system ensures the consistency and interoperability of message exchange between Agents,which can be effectively applied in microgrid operation.

Key words: microgrid; multi Agent systems; IEC61850; control; models

广 告 索 引

南京钛能电气有限公司	(封面)	威图电子机械技术(上海)有限公司	(前插 16、17)
南京南瑞继保电气有限公司	(封二、前插 1)	上海良信电器股份有限公司	(前插 18、19)
济南无线电十厂有限责任公司	(前插 2)	艾默生网络能源有限公司	(前插 20)
南京国电南自电网自动化有限公司	(前插 3)	武汉百年基业通信科技有限公司	(文前页)
广州虹科电子科技有限公司	(前插 4)	珠海优特电力科技股份有限公司	(封三)
广州致远电子股份有限公司	(前插 5)	北京博电新力电气股份有限公司	(封底)
国电南京自动化股份有限公司	(前插6、7)	航天长峰朝阳电源有限公司	(后插 1)
日东工业(中国)有限公司	(前插 8)	重庆新世纪电气有限公司	(后插 2)
山东迪生电气股份有限公司	(前插 9)	武汉市豪迈电力自动化技术有限责任公司	(后插 3)
国电南京自动化股份有限公司	(前插 10、11)	浙江中凯科技股份有限公司	(后插 4)
福建顺昌虹润精密仪器有限公司	(前插 12)		
南京科明自动化设备有限公司	(前插 13)		
南京南自低压设备有限公司	(前插 14、15)		