

GridLAB-D 智能仿真软件及其应用

朱城香¹, 杨俊华¹, 陈思哲¹, 罗志辉², 罗瑾翀²

(1. 广东工业大学自动化学院, 广东 广州 510006;

2. 广东电网清远供电局, 广东 清远 511540)

摘要: 对潮流、天气等 agent 模块进行编程, 通过关联对象构建了小型充电系统和光伏发电系统, 设置相关参数, 借助 GridLAB-D 仿真软件得出模型相关电气量随时间变化的曲线, 并分析了相关电气量。仿真结果表明, GridLAB-D 较易集成第三数据管理系统和分析工具, 模拟各种环境, 有助于评估策略的可行性与效益。

关键词: 智能电网; GridLAB-D; 储能; 光伏发电

Gridlab-D Agent Simulation Software and Its Application

ZHU Chengxiang¹, YANG Junhua¹, CHEN Sizhe¹, LUO Zhihui², LUO Cuichong²

(1. Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, Guangdong, China;

2. Qingyuan Power Grid Bureau of Guangdong Power Grid Company, Qingyuan 511540, Guangdong, China)

Abstract: A small charging system and PV generation system are designed by programming in network, weather and other agents, as well as associated with the objects in GridLAB-D. The related electrical curves changing with time and electrical outputs analysis of model are got after the parameter setting. The simulation results show that the GridLAB-D can easily integrate with a third-party data management system and analysis tools, model multiple simulation environments, and help to evaluate the feasibility and benefit of strategies.

Key Words: smart grid; GridLAB-D; energy storage; PV generation

中图分类号: TM727

文献标识码: A

文章编号: 0559-9342(2015)04-0074-05

0 引言

近年来, 在智能电网研究与建设中, 不断涌现新的、复杂的学科交叉现象, 需求响应、能源存储、零售市场等新兴配电系统, 这不仅需要先进的电力系统仿真工具, 还需要将之与控制、储能、市场等模型或第三方工具整合。但传统仿真工具都是独立开发的, 将其他条件一般假设为静止状态, 不仅限制了工具本身的技术评估效果, 影响应用的规模和时间范围, 还忽略了潜在的重要耦合效应。

电力传输的仿真软件 PowerWorld、PSS/E 和 PSLE, 配电网仿真工具 SynerGEE, WindMil, Cymdist 和 RTDS 虽可在较宽范围内模拟电力系统, 但都难以有效整合多种分析工具^[1]。与传统仿真工具相比, GridLAB-D 最大优点是具有灵活的仿真环境, 提供与第三方数据的管理, 集成各种分析工具, 通过核心算法可同时协调数百万个不同的设备。

本文首先介绍了 GridLAB-D 软件的目标对象、发展历程、软件工具和主要模块等, 设计了小型充电系统和光伏发电系统, 借助 GridLAB-D 仿真软件, 获得模型相关电气量随时间变化的曲线, 并对相关的电气量进行分析。

1 GridLAB-D

GridLAB-D 是由美国能源部提议, 太平洋西北国家实验室 (Pacific Northwest National Laboratory) 主持, 联合工业界、学术界共同研发, 集建模技术、高性能算法、配电网自动化模型及整合软件工具于

收稿日期: 2014-12-22

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (51307025, 5177050); 广东省高等学校科技创新项目 (2013KJCX0059); 广东高校优秀青年创新人才培养计划项目资助 (2012LYM_0052; 2013LYM_0019)

作者简介: 朱城香 (1985—), 女, 广东清远人, 硕士研究生, 研究方向为电力系统运行与控制。

一体的电力系统智能仿真软件。

1.1 GridLAB-D 的目标对象

随着社会的发展,信息交换、新能源、市场及商业策略都给电力行业带来强烈的影响,但目前的电力系统仿真软件,基本上都没有涉及对外部环境的综合分析。GridLAB-D 是企业工程师、制度制定者、各种风险投资商和广大消费者共同关注的结果,主要应用在以下方面:

GridLAB-D 提供无功优化、设备协调、馈线重构成、可靠性、故障检测和恢复等配电网自动化设计和评估分析技术,能让电力公司在同一系统中分析不同状况。忽略了用户参与,许多调峰、甩负荷程序和紧急削减计划将难以达到预期效果。GridLAB-D 可模拟消费者行为,评估消费者与其他机制的相互作用,更好的优化各种调峰策略;能对用户进行满意度评估,甚至可对一天内一次或多次停电引起的消费反弹效应进行预测。

分布式能源发电、热电联产、分布式存储等新技术,为智能电网建设带来了更多的机遇和挑战,GridLAB-D 可为决策者提供评估基础设施、分布式能源投资的成本与收益方法,也为经济信号对电力系统影响及效益最大化提供测试平台。

新价格体系向用户提供不同能源的各种价格,可增加需求曲线的弹性,有助于电力供需平衡。但如何让电力公司和消费者达到双赢状态,是制定新价格体系的最大挑战,GridLAB-D 可模拟消费者对不同价格的响应,可知该价格体制能否成功运行。

1.2 GridLAB-D 的发展

2008年4月产生第一代开放源码 GridLAB-D,由于具备从几秒到几十年的配电系统分析能力,GridLAB-D 能仿真各种物理现象、商业系统、市场经济、消费者行为及系统间的交互作用。通过不断改进,增加新功能,可研究智能电网更多项目,如压降保护、微电网控制、批发零售市场一体化、分布式能源整合、家电控制策略、间歇性发电对配电网的影响、光电一体化、大规模的风电接入、智能电网的成本效益分析、需求响应等。经过几年的发展完善,GridLAB-D 的3.0版本拥有更高级的应用程序接口协议(API),解决了电力需求响应领域的众多消费者终端接口问题。目前,GridLAB-D 通过协同时区、频率和单位等差异问题,致力于发展为国际化的智能仿真软件。

1.3 GridLAB-D 应用工具

GridLAB-D 整合了种类繁多的工具套件构建和处理电力系统模型,并对仿真结果进行分析,这些工具包括:Agent-based 和 Information-based 工具,可

帮助操作者建立由终端技术、分布式能源、配电自动化和零售市场交互组成的精细模型,并能观察到模型随时间推移的变化;价格制定工具,检验用户对价格的反应,改变程序对其它技术、零售市场的交互和依赖程度;接口工具,连接工业标准化的电力系统工具和其他分析软件;数据采集工具。

1.4 GridLAB-D 主要模块

记录模块(Tape Module)。包括 player、shaper、recorder 和 collector 四个子对象,主要用于修改边界条件和记录属性信息。

潮流模块(network、PowerflowModule)。一般输电网为 network 模块,配电网为 powerflow 模块,包括 Node 和 Link 两大子类,以及用来指定物理配置和空间几何配置的其他类。

稳定性模块(Reliability Module)。主要与潮流模块结合,对配电系统进行故障检测,采用 IEEE1366-2003 标准,可定位到故障的对象、类型、时间、发生频率和结果分析。

市场模块(Market module)。具备整合买卖双方价格的能力,并做出分析判断,可为买卖双方提供投标服务和出清价格。

天气模块(Climate module)。数据主要来自典型气象年,美国国家海洋和大气管理局(National Oceanic and Atmospheric Administration)记录,其他气象站记录。

居民建筑模块(Residential building module)。包括 houseA 和 houseE 两大模型,有多种家电配置。houseA 和 houseE 非常相似,最大差别在于计算方法,houseA 一般忽略规模影响,而 houseE 则将规模纳入计算;两者的类属性也不同,houseA 基于 CLTD 模型,houseE 基于 ETP 模型。

商业建筑模块(Commercial building module):小型办公场所视为单区,大型则视为复合区,所有商业建筑均使用三相电源。

控制模块(Controller module)。对类(class)和对象(object)进行逻辑定义和下达指令,每个对象视为单一的控制单元,代码编译一次可重复使用。

GridLAB-D 集成的仿真模块,较易集成新的模型和第三方系统,能模拟各种环境;可操纵一个很宽的离散时标,小到次秒级大到数年。

2 GridLAB-D 核心算法

GridLAB-D 的输出与智能电网收集的数据较相似,极大方便了信息的核查和验证,基于 agent 的多个仿真模块可同时运行,并可在众多跨学科模型中使用,且不需要使用相同的建模方法。

智能算法是 GridLAB-D 的核心,可同时协调数百万个不同的设备,每个设备可通过多重化的方程式组合而成。各 agent 建模完毕后,GridLAB-D 解算器按权重将各 agent 组成序列,序号最高的置于顶层,最低在底层,一般只有唯一顶层,而有众多的零序模型在底层。序列的结构和规模主要由模块和算法决定,如:使用潮流模块时,采用电流注入法需要两个序列组,而采用前推回代法则需要很多序列组,这种结构和规模差异还会影响 GridLAB-D 解算器的性能。

GridLAB-D 解算器取得平均数据 y , 过程可分 3 步:

$$y = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n \quad (1)$$

式中, x 为 agent 值。

(1)“欲提交”阶段。

$$y \leftarrow 0, n \leftarrow 0 \quad (2)$$

数据传导自上往下,设置 y 和 n 为 0, 这阶段为接收其他相关 agent 新数据做准备。

(2)更新阶段。

$$\begin{aligned} y &\leftarrow y + x_1, n \leftarrow n + 1 \\ y &\leftarrow y + x_2, n \leftarrow n + 1 \\ &\vdots \end{aligned} \quad (3)$$

$$y \leftarrow y + x_N, n \leftarrow n + 1$$

数据传导从下往上, x 每递增一次均添加到 y 值,该阶段是让其他相关 agent 进行更新。

(3)接收阶段。

$$\begin{aligned} y &\leftarrow in \text{ det}: n = 0 \\ y &\leftarrow \frac{y}{n}; n > 0 \end{aligned} \quad (4)$$

数据传导自上往下,如果 y 不为 0 则除以 n , 该阶段接收其他相关 agent 的更新数值。

这 3 个步骤可传导 X 的 n 个值,也可多个操作平行运行。

GridLAB-D 还有一些特殊的内置模块,用来演示物理和随机过程,并保持模型的内生源和外生源关系。这些模块须及时更新,保证接收的数据在给定时间内是正确有效的,更新步骤按图 1 所示。

所有这些数据更新完后,返回对下一轮的事件进行分析预测。收敛和规避策略也应用在 GridLAB-D 主要处理器中,减少不必要的事件数目和提高整体仿真性能。

3 算例分析

GridLAB-D 的每个 agent 模块包含若干类,类定义对象(即实例化的类),并赋予每个对象唯一的属性 ID。通过关联对象来构建系统,输入文件的格式为 glm(grid

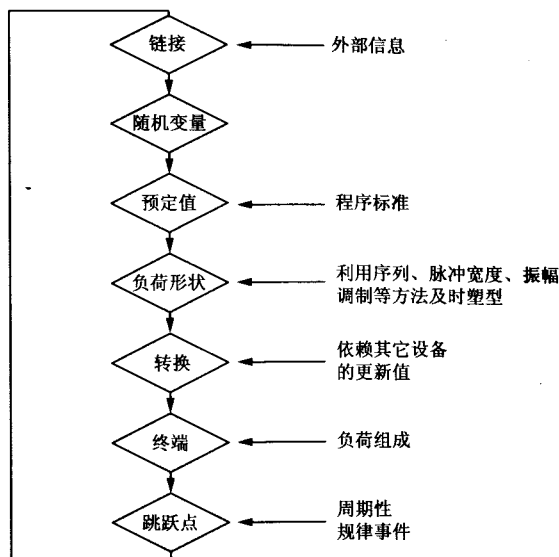


图 1 GridLAB-D 数据更新流程示意

lab model), 发送到 GridLAB-D 运行接口进行仿真,最后输出使用 xml 语言描述的网页文件显示结果。

3.1 小型充电系统

3.1.1 建模和参数设计

以 9 户住宅为例,设计了一个电池容量 $40 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 的小型充电系统,可修改电池容量和充、放电的设定值,系统充电状态为在线,最大充/放电率为 $15/20 \text{ kW} \cdot \text{h}$,放电点/放电停止点为 $50/40 \text{ kW} \cdot \text{h}$,充电点/充电停止点为 $25/40 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。

建模用到记录模块(tape module)、居民模块(residential module)、天气模块(climate module)、潮流模块(powerflow module)等仿真模块,每个模块包括具体的类、对象及属性,模型基本结构如图 2 所示。

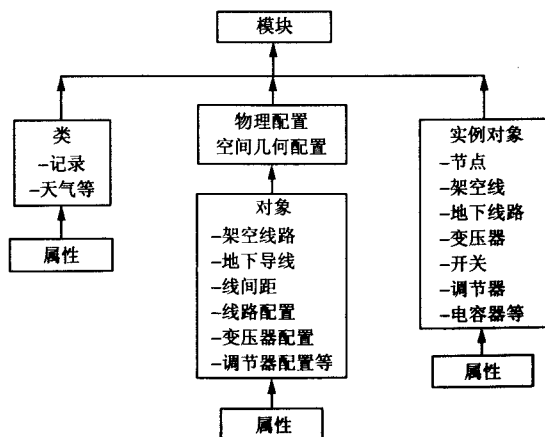


图 2 模型基本结构

3.1.2 仿真结果及分析

仿真结果如图 3 所示,图 3a 为负荷输出,图 3b

为逆变器输出, 蓄电池为直流, 逆变器根据参数设置对电流进行交直变换, 图 3c 为电池充放电状态, 负荷值为 25 ~ 40 kW·h 的充电期, 负荷值为 40 ~ 50 kW·h 的放电期, 输出结果均符合参数设置要求。该储能模型在调峰时期可抵消负载对变压器的影响, 达到平缓需求曲线和减少成本的目标。

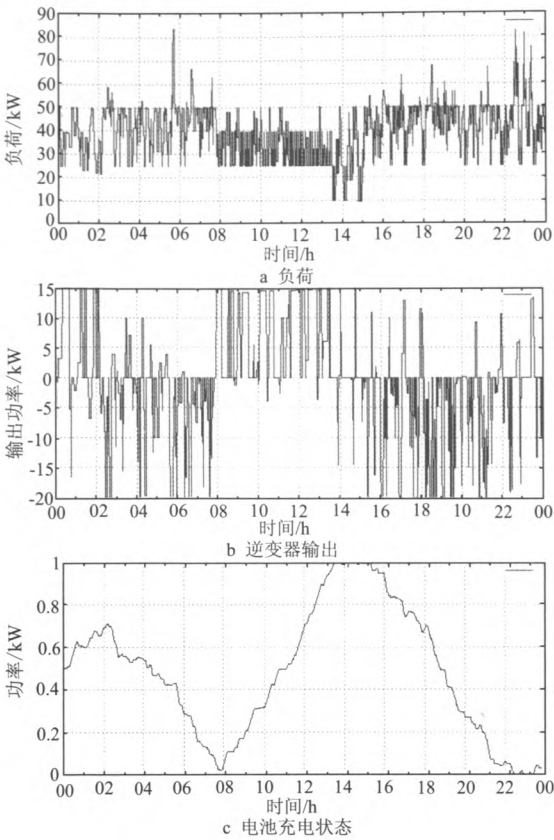


图 3 算例 1 仿真结果

3.2 小型光伏发电案例

3.2.1 模型设计

本案例设计的光伏发电系统, 可修改太阳能渗透率和天气类型, 电网模型为 IEEE13, 太阳能渗透率设定为 25%, 每个面板是 6 kV·A, 模拟夏季某晴朗天气的光伏发电状况, 气候数据源于美国西雅图。能源总量在变电站测得: 15 423.697 kW, 从太阳能电池板获取总能量为: 214.607 7 kW(见图 4)。

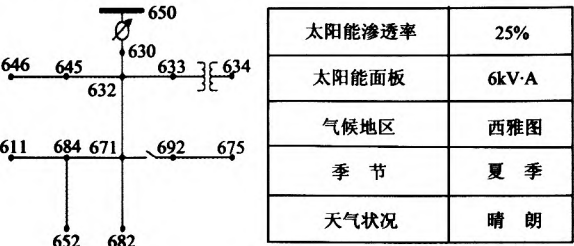


图 4 参数设置

3.2.2 仿真结果及分析

仿真结果如图 5 所示, 图 5a 为全天负荷变化情况; 图 5b 为是调节器根据潮流调节抽头的变化; 图 5c 为晴天时太阳能发电情况, 光伏发电时间为 07:00 ~ 18:00, 高峰期在 10:00 ~ 14:00; 图 5d 为 IEEE13 其中一个节点 N692 的全天和中午发电高峰期电压变化, 仿真结果可精确到秒级。基于 agent 的 GridLAB-D 软件可模拟多种环境下的光伏发电, 方

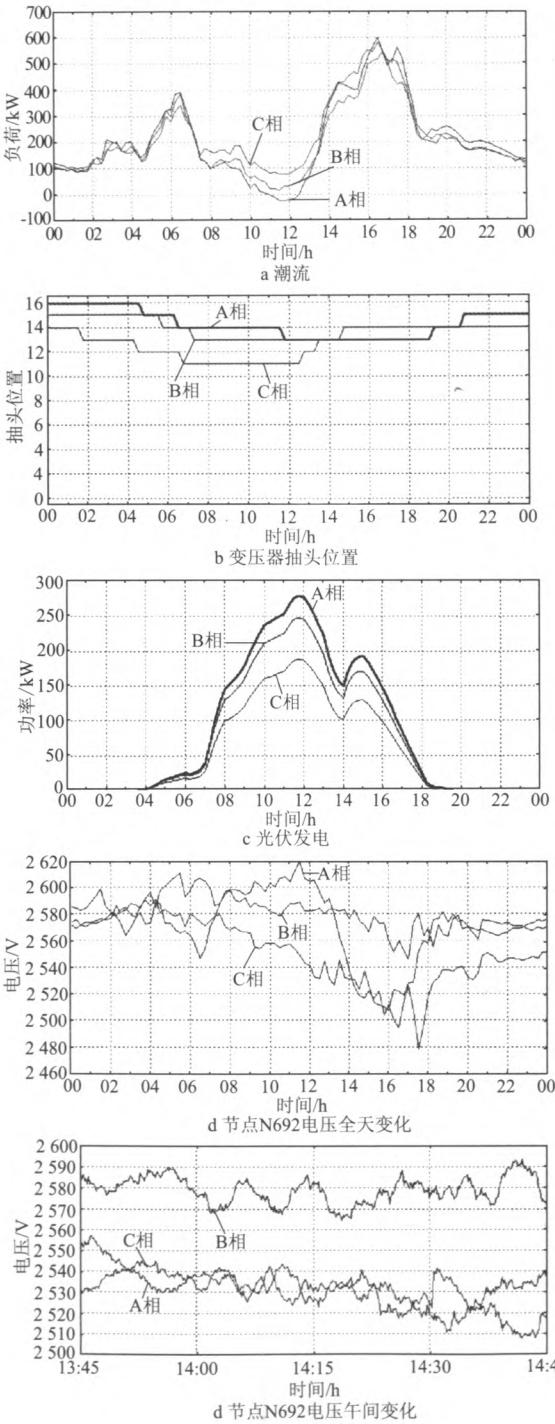


图 5 算例 2 仿真结果

便整合各种模型,直观的输出仿真结果,可提高可再生资源的渗透率,评估各种可再生资源组合策略的潜力。

4 结 论

现代智能电网的发展,涉及众多跨学科问题,各种清洁能源的发展也给电网发展带来各种机遇和挑战,特别是可再生能源的整合、接网,用户参与需求响应等操作可能给电力系统带来冲击。因此,需要事前对策略进行综合评估,而 GridLAB-D 智能软件较易集成第三方数据和分析工具,模拟各种环境,可操纵一个很宽的离散时标,直观输出和分析各种策略组合的仿真结果,有助于评估、验证策略的合理性、可行性和效益。

参考文献:

- [1] CHASSIN D P, FULLER J C, DJILALI N, et al. GridLAB-D: An Agent-Based Simulation Framework for Smart Grids[J]. Journal of Applied Mathematics, 2014, 2014(6): 1-12.
- [2] CHASSIN D P, SCHNEIDER K, GERKENSMEYER C. GridLAB-D: An open-source power systems modeling and simulation environment [C]//IEEE 2008 PES Transmission and Distribution Conference and Exposition, Chicago, USA, 2008: 21-24.
- [4] 周博曦. 基于 IEC61968 标准的配电网潮流计算系统开发[D]. 济南:山东大学,2012.
- [5] Pacific Northwest National Laboratory. GridLAB-D™: A Unique Tool to Design the Smart Grid[EB/OL]. <http://www.gridlabd.org>, 2012-11-30.

(责任编辑 高 瑜)

(上接第 31 页)室群防渗排水系统进行三维有限分析,可知该排水系统布置合理,排水孔幕对电站地下厂房洞室群渗流场的分布起到了控制性作用。设计工况下,尽管厂房上游侧未设置防渗帷幕,但是在引水支管系统以及厂房上游侧排水孔幕的排水导渗作用下,渗水通过排水孔流入廊道被及时排走,使厂区大部分岩体区域处于渗流疏干区。引水中平洞和下平段高压支管处设置排水孔幕和排水廊道的渗控方案对引水管道尤其高压支管四周岩体渗水具有显著排水降压作用,可有效降低引水管道的的外水压力。

参考文献:

- [1] 王楠. 我国抽水蓄能电站发展现状与前景分析[J]. 电力技术与经济, 2008, 20(2): 18-20.

- [2] 朱岳明. Darcy 渗流量计算的等效结点流量法[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 1997, 25(4): 105-108.
- [3] 朱岳明, 张燎军. 渗流场求解的改进排水子结构法[J]. 岩土工程学报, 1997, 19(2): 69-76.
- [4] 崔皓东, 朱岳明, 吴世勇. 有自由面渗流分析的密集排水孔幕数值模拟分析[J]. 岩土工程学报, 2008, 30(53): 440-445.
- [5] 詹美礼, 速宝玉, 刘俊勇. 渗流控制分析中密集排水孔模拟的新方法[J]. 水力发电, 2000(4): 23-25.
- [6] 周斌, 刘斯宏, 姜忠见, 等. 抽水蓄能电站三维整体渗流场有限元建模技术[J]. 水力发电, 2013, 39(7): 20-23.
- [7] 刘昌军, 丁留谦, 高立东, 等. 文登市抽水蓄能电站三维渗流场的有限元分析[J]. 水电能源科学, 2011, 29(7): 57-60.
- [8] 任涵璐, 刘斯宏, 姜忠见, 等. 洪屏抽水蓄能电站上水库库盆三维复杂渗流场分析[J]. 水力发电, 2012, 38(12): 19-21.

(责任编辑 王 琪)

(上接第 55 页)

4 结 论

本文根据抽水蓄能电站工况和交流励磁机组自身特点提出了网侧变流器和机侧变流器在不同工况下的控制策略,参照国外电站的参数进行仿真,仿真结果验证了所提控制策略的正确性。

参考文献:

- [1] 晏志勇, 翟国寿. 我国抽水蓄能电站发展历程及前景展望[J]. 水力发电, 2004, 30(12): 73-76.
- [2] 陈同法, 张晖, 赵桂元. 关于抽水蓄能项目经济评价机制的思考[J]. 水力发电, 2013, 39(1): 9-11.
- [3] KITA E, BANDO A, KUWABARA T. 400 MW Adjustable Speed

Pumped Storage Hydraulic Power Plant[J]. Hitachi Review, 1995, 158(44): 55-62.

- [4] AGURO K. 日本可调速抽水蓄能系统丰富的运行经验和新技术[J]. 国外大电机, 2009, 12(2): 1-5.
- [5] 郭海峰. 交流励磁可变速蓄能机组技术及应用[J]. 南方电网技术, 2011, 5(4): 97-100.
- [6] 程光华. 抽水蓄能电站采用可变速机组的优越性[J]. 安徽电力, 2012, 12(2): 33-34.
- [7] 林瑞光, 赵荣祥. 水轮发电机交流励磁变速运行的控制策略[J]. 电工技术学报, 1995, 16(8): 1-5.
- [8] 赵琨, 史毓珍. 浅谈连续调速抽水蓄能机组的应用[J]. 水力发电, 2000(04): 34-37.
- [9] 郎永强, 徐殿国, HADIANMERI S R, 等. 交流励磁双馈电机分段并网控制策略[J]. 中国电机工程学报, 2006, 12(10): 133-138.

(责任编辑 高 瑜)