

综合能源系统多能流联合仿真技术研究

Research on multiple energy flow co-simulation technology applied in
integrated energy system

孙浩,陈永华

SUN Hao, CHEN Yonghua

(南瑞集团有限公司,南京 211100)

(NARI Group Corporation, Nanjing 211100, China)

摘要:为了实现区域综合能源的联合仿真,建立综合能源系统统一的建模与仿真平台,提出了跨平台联合数字仿真技术方案。选择开源的瞬态系统模拟程序 TRNSYS 软件,利用其丰富的热力学元件库,与 MATLAB/Simulink 构建综合能源联合仿真平台。TRNSYS 与 MATLAB 之间采用功能模型接口(FMI)技术进行通信,集成不同软件建立的、不同详细程度的模型,满足综合能源更深层次的仿真需求。以南方某大学为仿真场景,在所研究的平台上搭建联合数字仿真模型,实现对冷、热、电、气多样化的用能需求分析。通过研究,基于 FMI 技术的跨平台多能流联合仿真技术方案具备可行性, MATLAB 和 TRNSYS 联合使用可实现多能流的数字联合仿真。研究成果可以进一步拓展应用,实现多软件平台的数字联合仿真,也为硬件在环仿真、物理模型仿真等后续工作提供了技术支撑。

关键词:功能模型接口;TRNSYS;综合能源系统;多能流联合仿真;冷、热、电三联供;区域综合能源

中图分类号: TM 74

文献标志码: A

文章编号: 1674-1951(2020)05-0066-07

Abstract: In order to realize the co-simulation of regional integrated energy, an integrated energy system with unified modeling and simulation platform is established, and a technical solution for cross-platform digital simulation technology is proposed. For its abundant thermodynamic component library, open source TRNSYS system is selected to build a integrated energy co-simulation platform with MATLAB/Simulink. The communication between TRNSYS and MATLAB is based on FMI technology, which integrates models established by different software at different levels of specification. It can meet the deeper simulation requirements of integrated energy. Taking a university in South China as the simulation scenario, a digital co-simulation model is built on the targeted platform to analysis the diversified energy demand including cooling, heating, powering and steam. Proven by the research, the multi-energy flow co-simulation technical route based on FMI technology is feasible, and the digital co-simulation of multiple energy can be realized by associating MATLAB with TRNSYS. The research achievement can be applied in more scenarios, and realize the digital co-simulation of software platform. It provides technical support for the hardware in the loop simulation, physical model simulation in the future.

Keywords: FMI; TRNSYS; integrated energy system; multi-energy flow co-simulation; Combined Cooling, Heating and Power(CCHP); regional integrated energy

0 引言

能源发展与经济社会发展紧密联系、高度融合,决定了能源供需与经济、社会、环境、资源等密切相关。目前,我国能源转型正面临消费增速趋缓、传统产能过剩、环境问题突出、整体效率较低等问题^[1-3]。为进一步推动经济发展,我国能源领域体制改革不断深化,电力、油气行业改革迈出重要步

伐,竞争性环节市场更加开放,能源行业融合发展协调推进。在这样的大环境下,综合能源系统的概念被提出之后,立刻成为关注热点和研究焦点^[4-6]。但保障行业长期健康发展的基础性技术问题尚未得到解决,实用化的综合能源系统统一建模与仿真技术手段尚未建立,目前学术界虽然建立了各类仿真建模模型和框架,但普遍存在元件库缺失、迭代求解算法复杂、未能得到严格验证等问题,离工程化实用尚有较大差距^[7-9]。

国内方面,文献[10]基于能源集线器理论,构建热电联产系统模型,考虑了不同耦合形式和能源

供应模式下的电力网络和燃气管网的相关约束,给出了区域综合能源系统的完全解耦、部分解耦和完全耦合的3种运行模式,并提出了适用的混合潮流算法。文献[11]基于瞬时系统模拟程序(TRNSYS)设计了一套冷热电联供系统,研究结果为小型冷热电联供系统的配置设计与运行管理提供了参考。此外,文献[12]建立了冷、热、电三联供系统的能量流模型,并将其作为电网与天然气网的耦合节点,推导了适用于天然气网能量流计算的有限元节点法,提出了一种电-气耦合微能源的能量流计算方法。基于开源三相配电网潮流仿真软件openDSS和MATLAB平台,对含冷、热、电联产系统(Combined Cooling, Heating and Power, CCHP)的微能源网进行综合仿真,分别计算了以电定热和以热定电2种典型运行方式下夏季典型日的逐时能量流。

国外方面,文献[13]对区域综合能源系统(IES)中的生产、传输、转换、存储和消费环节进行了稳态建模,提出了能量集线器(Energy Hub)的概念和数学模型,它是一个连接各子系统的广义元件,同时围绕这种能源耦合单元研究了设备的配置、潮流计算和调度问题。文献[14]以耦合能源系统为研究对象,基于能源集线器对多能流综合潮流进行系统解耦,通过对能源集线器的分配系数进行分析,探究了能源互补的协同效应。相关学者指出,Energy Hub概念和能量流理论有助于建立综合能源系统的通用理论分析框架。文献[15]详细研究了美国综合能源系统的经济性依赖问题,应用网络流建模仿真技术,实现了自定义不同子系统的仿真时间和步长,求解效率高,在描述综合能源系统的高维特性上具有重要意义。

针对这一现状本文提出数字联合仿真的研究思路,利用MATLAB和TRNSYS软件之间的互联互通,优势互补,实现水、电、气、热系统的联合仿真,为解决区域综合能源示范应用中的技术难点提供支撑平台,同时也为综合能源其他技术提供切实可行的仿真解决方案。

1 仿真软件功能分析

目前,已有一些可用于综合能源仿真的商业化软件。这些软件在各自擅长的仿真领域的基础上,拓展了综合能源涉及的领域,初步具备综合能源仿真能力,可以满足规划、设计、节能分析等不同工作的需求。然而针对更为复杂的控制策略、优化运行等研究工作,依然无法实现水、电、气、热系统的联合仿真,而是采用各专业软件独立分析的方式。

其中,已经商业化的软件包括 NEPLAN,

HOMER, EnergyPlus, TRNSYS, 以及 PSS@SINCAL。除了 HOMER 软件外,其他软件均为联合仿真提供了接口,其中 EnergyPlus, TRNSYS 软件代码开源,有利于二次开发和联合数字仿真。

以上提到的5种软件均在不同程度上支持电力和热力的联合仿真。其中, PSS@SINCAL, NEPLAN 支持天然气和供水仿真,可以实现电、热、气、水的部分联合仿真功能。5种软件都支持区域级别的仿真,虽然 PSS@SINCAL, NEPLAN 在区域级别的仿真性能表现优越,但不支持建筑物级别的仿真。在热力仿真方面, PSS@SINCAL, NEPLAN, TRNSYS 都有广泛应用。

2 联合仿真总体架构

2.1 TRNSYS 仿真软件

TRNSYS(Transient System Simulation)软件是瞬态系统模拟程序,最早由美国威斯康星麦迪逊分校的 Solar Energy 实验室(SEL)开发,并在欧洲一些研究所的共同努力下逐步完善。TRNSYS 软件在各个领域中的热工问题都有对应模块,可用于建筑物全年的逐时能耗分析、优化空调系统方案,以及太阳能系统、地源热泵系统、蓄热系统、冷热电联产系统、燃料电池和风力发电的模拟计算。

TRNSYS 的 2017 版本正式加入了热电联产(CHP)元件库,涵盖燃气轮机、蒸汽轮机、吸收式制冷机、余热回收锅炉等热电联产系统的装置模型,可以实现分布式冷、热、电系统的仿真。

2.2 MATLAB/Simulink 与 TRNSYS 联合仿真系统

Simulink 是 MATLAB 中的一种可视化仿真工具,是一种基于 MATLAB 的框图设计环境,是实现动态系统建模、仿真和分析的一个软件包,被广泛应用于线性系统、非线性系统、数字控制及数字信号处理的建模和仿真中。Simulink 提供一个动态系统建模、仿真和综合分析的集成环境。在该环境中,无须大量书写程序,而只需要通过简单、直观的鼠标操作,即可构造出复杂的系统。其中, SimPowerSystems 隶属于 Simulink 环境,元件库丰富,是电气专业经常使用的仿真软件,可用于电路、电力系统、电机、电力电子及大系统的分析等。

然而,目前 Simulink 仿真工具并不涉及热力学仿真领域,部分涉及热力学的仿真计算无法实现,例如太阳能光热系统、地源热泵系统、燃气三联供系统,无法满足综合能源仿真的需求。

2.3 技术方案

经过 2.2 节的分析,我们选择开源的 TRNSYS 软件,利用其丰富的热力学元件库,与 MATLAB/

Simulink 构建综合能源联合仿真平台,并在此基础上构建运行优化仿真平台,满足综合能源系统更深层次的仿真需求。

本文提出了基于 TRNSYS 与 MATLAB/Simulink 软件平台建立面向建模仿真和运行优化相关的区域综合能源系统设备模型库,涵盖冷、热、电、气等各个专业模型,包括光伏,储能,冷、热、电三联供等多种耦合元件模型。运行优化仿真验证平台模块整体基于 MATLAB 软件平台。联合仿真系统架构如图 1 所示。其中,场景构建、数据输入,以及优化结果分析与展示基于 MATLAB 自带的图形用户界面(GUI)的前端界面展示功能;针对既定场景与已知数据进行优化计算则利用 MATLAB 平台调用核心算法包。

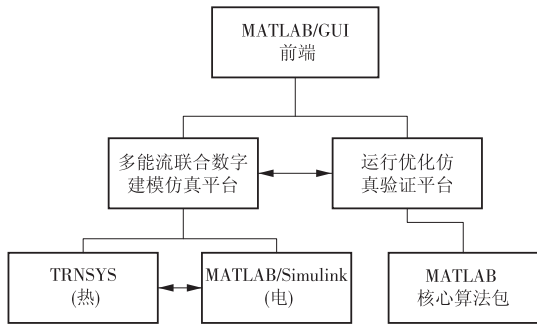


图 1 联合仿真系统架构

Fig. 1 Architecture of the co-simulation system

3 TRNSYS 建模与封装

TRNSYS 中的 Simulation Studio 为模型的调用和

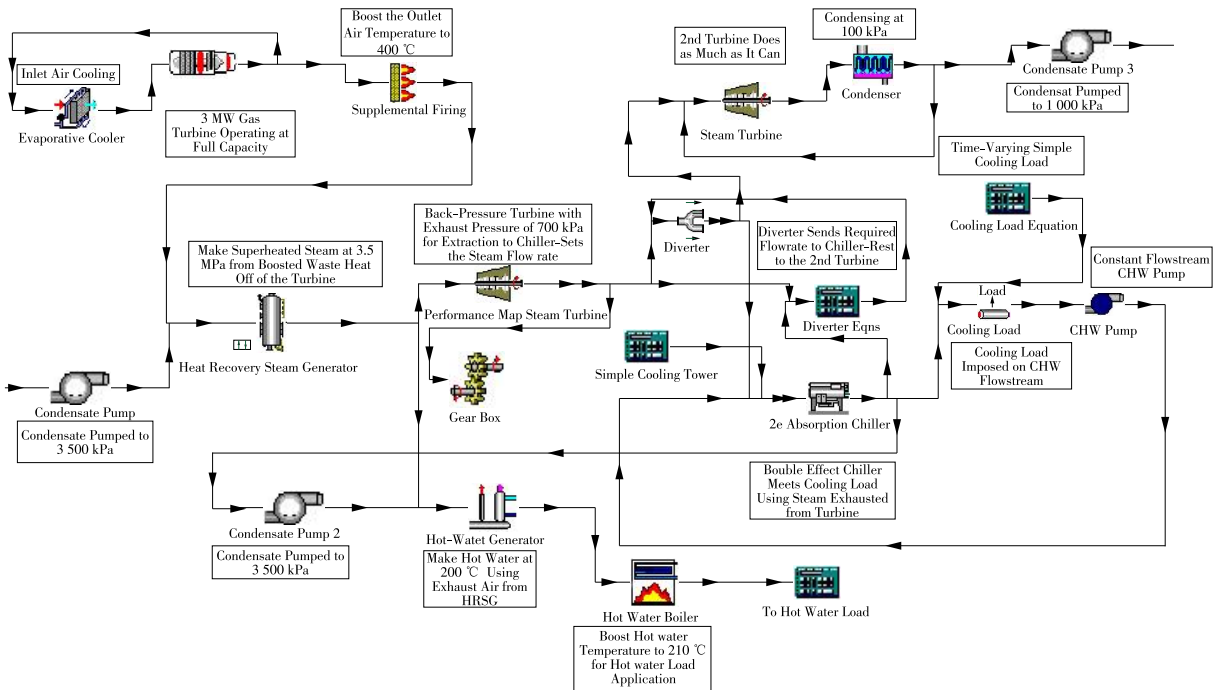


图 2 冷、热、电三联供系统建模

Fig. 2 Modeling of a CCHP system

仿真提供模拟平台,仿真时需要调用多个设备模型、控制模块、辅助工具模块、算法编辑模块等,正确地设定参数和链接才能完成仿真工作。以冷、热、电三联供系统仿真为例,软件建模如图 2 所示。该模型涉及近 30 个基本模块及参数配置,输入、输出环节众多。

如果是针对传统的冷、热、电三联供系统进行能耗分析及优化设计,上述建模仿真分析的环节是必要的。但对于联合仿真系统,冷、热、电三联供系统与综合能源系统之间仅仅处在电、冷、热、气几个参数的耦合,一旦三联供系统参数配置确定后,中间过程和复杂的建模过程对联合仿真的意义并不大。因此,合理地封装冷、热、电三联供系统,将其看作一个统一的模型,输入/输出在电、冷、热、气 4 个参数中选择,就能满足联合仿真的需求。通过不同工作模式(以热定电或以电定热)在 TRNSYS 中的 Simulation Studio 平台搭建仿真模型,完成参数配置与优化后,将整个模型打包封装成针对联合仿真的特定功能模块。之后, MATLAB/Simulink 平台就可以将冷、热、电三联供系统当做一个模块来进行调用。

4 多能流联合数字建模仿真平台内部的数据交互

4.1 FMI 接口方案

功能模型接口 FMI (Functional Mock-up Interface) 是独立于各类建模软件的标准接口协议,可用于集成不同软件建立的、不同详细程度的模型

进行联合仿真。

FMI通过定义可扩展标记语言(XML)文件来描述仿真组建,通过应用程序接口(API)来定义接口。API可以采用C语言编写。基于FMI协议封装后的模型为功能模型单元(FMU)。FMU可以采用支持FMI技术的仿真接口软件来实现,将不同仿真软件建立的仿真模型转换封装成FMU,封装后的FMU可以跨平台使用,实现联合仿真。MATLAB与TRNSYS通过FMI的连接如图3所示。



图3 MATLAB与TRNSYS通过FMI的连接
Fig. 3 FMI interface connecting MATLAB and TRNSYS

4.2 TRNSYS的FMI接口

目前,已经有针对MATLAB,TRNSYS等仿真软件的FMI协议仿真软件接口程序。FMI++ TRNSYS FMU Export Utility是专门针对TRNSYSY仿真模型的FMU模型生成器。它是一款开源的独立运行的第三方软件程序,主要提供如下功能:

(1)通过与TRNSYS内部FMI适配器接口模型Type6139的配合使用,实现对TRNSYS软件内部仿真模型基于FMI协议的编译和封装。当TRNSYS仿真模型在运行过程中,外部的其他仿真环境可以通过Type6139实时与TRNSYS仿真模型进行数据交互。

(2)提供图形化的用户界面,方便使用者生成XML模型描述文件、共享动态链接库(DLL)、添加天气实时变换的数据信息。

FMI++ TRNSYS FMU导出工具是一个独立的工具,以FMI++库的代码和Boost C++库为基础,用于从TRNSYS模型导出用于联合仿真的FMU。在TRNSYS模型中,外部应用程序能够通过FMI的模拟接口并利Type6139访问。这个接口允许外部应用程序检索/发送来自/发送到TRNSYS模型运行时的数据。FMI接口适配器如图4所示。通过软件的图形用户界面把建好的TRNSYS模型导出为FMU文件,该文件包括XML模型描述文件和共享库。可以指定附加文件(如天气文件)和导出变量的起始值。

FMI++库引入了前端、后端和适配器的概念,用于为各种各样的工具提供接口。前端通过被外部应用程序使用的具有主算法的FMI组件与TRNSYS互动。FMI接口适配器工作流程如图5所示。通过前端,主算法能够控制仿真的执行(开始、停止、前进),并能够在运行时从TRNSYS中检索/发送数据。后端是TRNSYS和前端之间的通用网关,支持运行

时控制和数据交换。此连接通过共享内存访问建立。适配器是仿真工具中使用后端的专用组件。Type6139是TRNSYS软件中一个自带模块的编号,该模块的作用相当于一个适配器。

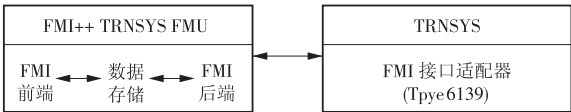


图4 FMI接口适配器
Fig. 4 Interface adapter of FMI

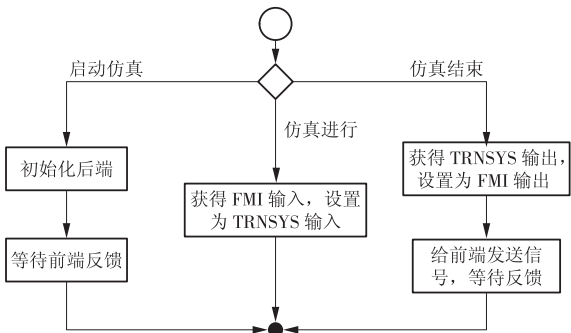


图5 FMI接口适配器工作流程
Fig. 5 Work flow of an FMI interface adapter

4.3 TRNSYS模型Type6139

为了能够让TRNSYS建立的仿真模型可以应用于其他仿真软件,实现联合仿真,TRNSYS提供了与FMU相对应的适配器接口模型Type6139。Type6139分为2类模型:Type6139a和Type6139b。功能见表1。

表1 Type6139功能
Tab. 1 Menu of Type6139 models

类型	输入数据来源	输出数据去向
Type6139a	其他系统通过FMU传输的数据	TRNSYS仿真模型的输入
Type6139b	TRNSYS仿真模型的输出	通过FMU传输给其他系统

4.4 MATLAB的接口FMI

在MATLAB中,FMI++ MATLAB工具箱与其他和FMI相关的工具箱不同,它不限于将FMU导入Simulink模型或从Simulink模型导出FMU。相反,它允许使用MATLAB提供的所有功能。它支持以下特性:

- (1)将用于模型交换的FMU(FMI 1.0和FMI 2.0)导入到MATLAB脚本中;
- (2)将用于协同仿真的FMU(FMI 1.0)导入到MATLAB脚本中;
- (3)将MATLAB脚本导出为用于协同仿真的FMU(FMI 1.0)。

5 区域综合能源的数字联合仿真

以南方某大学为仿真场景,确定综合能源系统仿真规模。校区内建筑类型众多,不仅有教学楼等公共建筑、宿舍楼等居住建筑,还有食堂、浴室等生活辅助建筑。存在冷、热、电、气多样化的用能需求,冬、夏2季冷、热负荷的需求极不均衡,电网负荷峰谷差较大。为高效满足用能需求,学校配置有CCHP系统、分布式光伏。仿真场景系统如图6所示,场景的设备参数见表2。

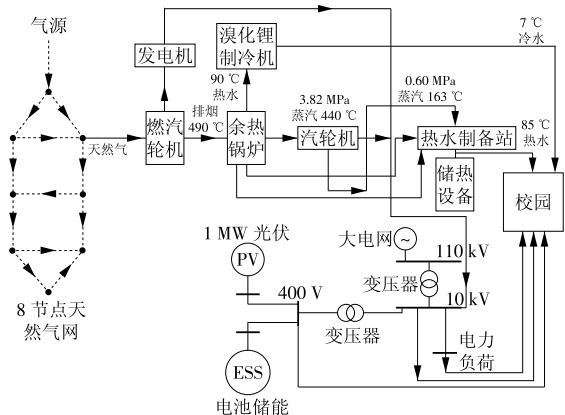


图 6 仿真场景系统

Fig. 6 System diagram of the simulation scenario

表 2 设备参数

Tab. 2 Parameters of the apparatus

设备参数	值
燃气轮机功率/MW	2.0~3.0
蒸汽轮机功率/MW	0.4~1.0
冷水机功率/MW	2.0~4.0
加热器功率/MW	2.0~4.0
电池荷电状态/%	20~80
电池充、放电功率/MW	0.5
电池容量/(MW·h)	3
冷水机设定温度/°C	5

在 Simulink 仿真环境下,构建了微电网稳态模型,可实现 1 年 365 天的快速稳态仿真,包括光伏、储能、夏季和冬季负荷等。

因 MATLAB 中不含有冷、热、电三联供系统的模型,所以在 TRNSYS 中搭建三联供系统的仿真模型,按照以热定电的方式根据冷、热、电负荷需求配置系统。

TRNSYS 中三联供系统建模如图 7 所示。调整参数,实现 1 年 365 天的稳态仿真,并将整个三联供系统通过 Type6139 封装成三联供模块供 MATLAB 调用。TRNSYS 中的三联供仿真模型封装如图 8 所示。

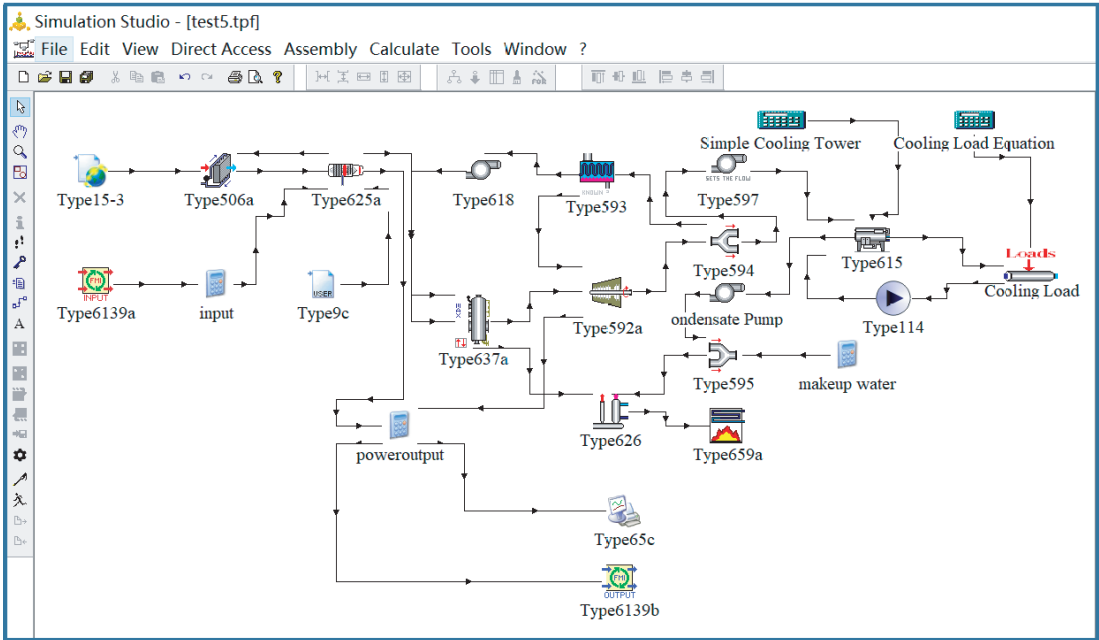


图 7 TRNSYS 中三联供系统建模

Fig. 7 Modeling of CCHP system in TRNSYS

在完成以上工作之后,就可以在 MATLAB 中通过 FMI 接口调用三联供模块,与其他模型建立数据的连接,实现区域综合能源的 MATLAB/Simulink 与 TRNSYS 数字联合仿真, MATLAB 中的三联供模块的调用如图 9 所示。

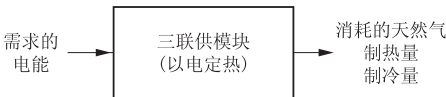


图 8 TRNSYS 中三联供仿真模型封装

Fig. 8 Encapsulation of the CCHP simulation model in TRNSYS

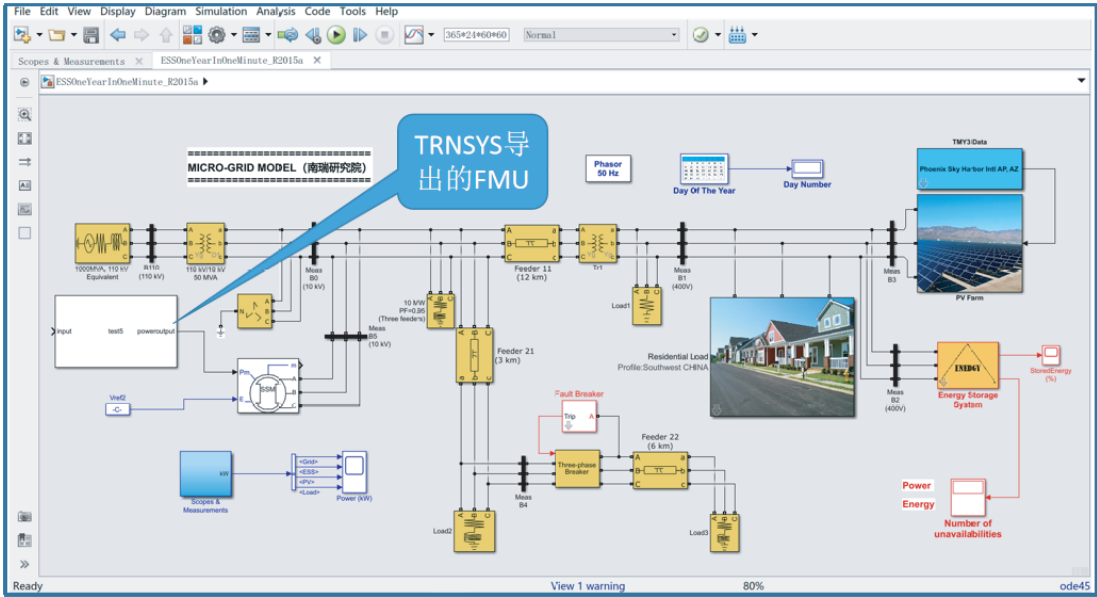


图 9 MATLAB 中的三联供模块的调用

Fig. 9 Calling of CCHP module in MATLAB

6 结束语

本文针对区域综合能源仿真,提出了跨平台数字化联合仿真的技术方案,利用 MATLAB 和 TRNSYS 实现区域综合能源的数字联合仿真。采用模型封装的思想,将复杂的三联供系统封装成为固定输入、输出的模块,并在 MATLAB 中成功调用 TRNSYS 中封装的三联供模块,实现了综合能源的数字联合仿真。本文的研究成果,可以进一步拓展应用,实现多软件平台的数字联合仿真,也为硬件在环仿真、物理模型仿真等后续工作提供了技术支持。

参考文献:

[1]王伟亮,王丹,贾宏杰,等.能源互联网背景下的典型区域综合能源系统稳态分析研究综述[J].中国电机工程学报,2016,36(12):3292-3305.

WANG Weiliang, WANG Dan, JIA Hongjie, et al. Review of steady-state analysis of typical regional integrated energy system under the background of energy internet [J]. Proceedings of the CSEE, 2016, 36(12): 3292-3305.

[2]韩峰,张衍国,严娇平,等.综合能源服务业务和合作模式[J].华电技术,2019,41(11):1-4.

HAN Feng, ZHANG Yanguo, YAN Jiaoping, et al. Integrated energy service and cooperation modes [J]. Huadian Technology, 2019, 41(11): 1-4.

[3]杨晓已,陶新磊.综合能源技术路线研究[J].华电技术, 2019,41(11):22-25.

YANG Xiaosi, TAO Xinlei. Research on integrated energy

technical route [J]. Huadian Technology, 2019, 41 (11) : 22-25.

[4]余晓丹,徐宪东,陈硕翼,等.综合能源系统与能源互联网简述[J].电工技术学报,2016,31(1):1-13.

YU Xiaodan, XU Xiandong, CHEN Shuoyi, et al. A brief review to integrated energy system and energy internet [J]. Transactions of China Society Electrotechnical, 2016, 31 (1):1-13.

[5]贾宏杰,穆云飞,余晓丹.对我国综合能源系统发展的思考[J].电力建设,2015,36(1):16-25.

JIA Hongjie, MU Yunfei, YU xiaodan. Thought about the integrated energy system in China [J]. Electric Power Construction, 2015, 36(1):16-25.

[6]刘爱国,张士杰,肖云汉.微燃机与小燃机在南方地区分布式联供系统中的应用比较[J].燃气轮机技术,2009,22 (3):1-9.

LIU Aiguo, ZHANG Shijie, XIAO Yunhan. Comparson of the application in CHHP between micro turbines and small gas turbines in southern China [J]. Gas Turbine Technology, 2009, 22(3):1-9.

[7]ROSATO A, SIBILIO S, CIAMPI G. Energy, environ-mental and economic dynamic performance assessment of different micro-cogeneration systems in a residential application [J]. Applied Thermal Engineering, 2013, 59(1-2):599-617.

[8]ZHOU C Z. Absorption heat transformer with TFEPyr as the working pair [D]. Netherland: Delft University of Technology, 1995.

[9]李艳红,王兴兴.光储充综合能源系统设计与优化[J].华电技术,2019,41(11):76-79.

LI Yanhong, WANG Xingxing. Design and optimization of solar energy storage and charging in integrated energy systems [J]. Huadian Technology, 2019, 41(11): 76-79.

- [10]徐宪东,贾宏杰,靳小龙,等.区域综合能源系统电/气/热混合潮流算法研究[J].中国电机工程学报,2015,35(14):3634-3642.
XU Xiandong, JIA Hongjie, JIN Xiaolong, et al. Study on hybrid heat-gas-power flow algorithm for integrated community energy system [J]. Proceedings of the CSEE, 2015, 35(14): 3634-3642.
- [11]魏大钧.小型冷热电联供系统多目标优化设计与能量管理策略研究[D].济南:山东大学,2016.
- [12]马腾飞,吴俊勇,郝亮亮.含冷热电三联供的微能源网能量流计算及综合仿真[J].电力系统自动化,2016,40(23):22-27.
MA Tengfei, WU Junyong, HAO Liangliang. Energy flow calculation and integrated simulation of micro-energy grid with combined cooling, heating and power [J]. Power System Automation, 2016, 40(23): 22-27.
- [13]GEIDL M. Integrated modeling and optimization of multi-carrier energy systems [D]. Graz: Graz University of Technology, 2007.
- [14]MOEINI - AGHTAIE M, ABBASPOUR A, FOTUHI - FIRUZABAD M, et al. A decomposed solution to multiple-energy carriers optimal power flow [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2014, 29(2): 707-716.
- [15]QUELHAS A, MC-CALLEY J D. A multiperiod generalized network flow model of the U.S. integrated energy system [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2007, 22(2): 837-844.

(本文责编:张帆)

作者简介:

孙浩(1982—),男,辽宁铁岭人,高级工程师,工学硕士,从事综合能源仿真技术研究方面的工作(E-mail: sunhao@sgepri.sgcc.com.cn)。

陈永华(1977—),男,湖北钟祥人,高级工程师,从事综合能源仿真技术研究方面的工作(E-mail: chen Yonghua@sgepri.sgcc.com.cn)。

“面向电力用户的安全计算”专刊征稿启事

面向电力用户的安全计算是智能电网(包括智慧电厂)和智慧能源互联网领域的新兴发展方向。基于大数据、人工智能、物联网等构建的能源互联网中大量电力终端被投入使用,在“发电-变电-输电-配电-用电”过程中,终端设备起着重要作用。虽然当前能源互联网中的电力终端基本支持网络接入和访问,但是通信过程中无法保障安全性,如部分设备的加密通讯密钥可直接从注册表读出,本地管理协议没有身份认证机制,通讯协议未加密或加密方式过于简单;接入网络时访问数据可能会被窃取或者篡改,访问系统面临多方威胁且普遍存在脆弱性;终端通信可能会遭到各种类型的攻击,如中间人攻击、DDoS攻击等;基于电表细粒度读数的大数据分析会泄露家庭用电隐私;数据注入攻击导致电力生产和调度数据出现偏差等。

为此,《华电技术》作为行业科技创新、技术交流平台,特推出“面向电力用户的安全计算”专刊,并邀请上海电力大学教授田秀霞、华北电力大学副教授龚钢军共同担任特约主编,欢迎业内同仁踊跃投稿。

一、征文范围

(1)电力终端安全:新能源电厂PLC设备的安全分析;电力终端身份认证;“新基建”下电力终端设施的安全管控;移动电力作业终端的安全防护技术;可信计算在电力终端的应用;保护隐私的终端数据安全采集。

(2)用户端安全:电力用户数据的追溯与安全监管;电力用户的安全脆弱性评价与分析;用电数据注入攻击与防护;用户用电异常行为检测;基于机器学习/深度学习的窃电检测;基于云-边-端的电力用户安全协同管理。

(3)网络安全:传输数据机密性和完整性;流量异常检测;电力协议攻击与安全防御;新能源电厂的网络安全监测技术;等保2.0下能源电力网络空间的安全态势感知。

(4)边缘计算安全:边缘计算与区块链的边缘协同与安全;边缘计算中的数据安全与隐私保护;边缘网关安全技术;边缘计算的信息安全与功能安全;综合能源服务系统的安全防护技术;微网交易安全。

二、时间进度

专刊拟于2020年8月31日截稿,2020年8期(8月25日)后择期出版。

三、征文要求

(1)专刊只收录未公开发表的论文,拒绝一稿多投。作者对论文内容真实性和客观性负责。

(2)按照《华电技术》论文格式要求使用Word软件排版,请登录《华电技术》在线采编系统(<http://www.hdpower.net>)下载论文模板。

(3)请保留论文中图片、曲线和表格的原始格式文件,并在投稿时按规定提交。

(4)论文作者应遵守相关学术不端规定。

四、投稿方式

(1)在线投稿(推荐):登录《华电技术》在线采编系统(<http://www.hdpower.net>),完成在线全文投稿。

(2)邮箱投稿: xxtian@shiep.edu.cn (田教授); gong@ncepu.edu.cn (龚教授); hdjs-chd@vip.163.com (编辑部)

(3)咨询联系: 刘芳 0371-58501060 13838002988; 杨满成 010-63918755 13801175292