

同行专家业内评价意见书编号: 20240858108

## 附件1

# 浙江工程师学院（浙江大学工程师学院） 同行专家业内评价意见书

姓名: \_\_\_\_\_ 赵海祺

学号: \_\_\_\_\_ 22160194

申报工程师职称专业类别（领域）: \_\_\_\_\_ 能源动力

浙江工程师学院（浙江大学工程师学院）制

2024年03月30日

## 一、个人申报

**（一）基本情况【围绕《浙江工程师学院（浙江大学工程师学院）工程类专业学位研究生工程师职称评审参考指标》，结合该专业类别(领域)工程师职称评审相关标准，举例说明】**

### 1. 对本专业基础理论知识和专业技术知识掌握情况

基础理论知识学习方面，我努力学习课程知识，修习的课程包括新能源发电与变流技术、电气装备健康管理、微电网技术工程实践和现代控制理论等，其中9门课程成绩良好以上，5门课程成绩90分以上，取得了良好的课业成绩。

专业基础知识掌握方面，通过在万克能源科技有限公司的专业实践，了解到了行业的新的发展趋势，锻炼了我项目组织，进度把控和工程构思方面的能力，将所学的基础知识与工程实际相互印证，提高了对知识的理解能力。

通过向公司里的工程师前辈学习，我逐渐意识到和养成了一个工程师应该具备的素养：养成了在面对工程时将确保系统稳定放在首位的责任意识和精益求精的工匠精神，对于一个实际工程要确保自己在设计和研究时考虑到系统运行的方方面面，并且每个策略都要实证后再上机运行；养成了追求创新和务实的学习精神，对于新的技术发展，要时刻关注，并且要讲自己在工程中的体悟转化为创新点和新的要求，及时学习新技术新工具，促进工程建设；养成了为客户负责的职业道德素养，在项目建设过程中对客户不欺瞒，不回避，及时沟通项目的难点关键点，考虑客户的利益需求。

### 2. 工程实践的经历

在专业实践中，我依托《综合能源系统能量管理关键技术研究智慧运营平台开发》项目进行实践，实践的内容包括综合能源系统建模与态势感知技术研究、开发综合能源系统智慧运营平台和仿真测试平台以及研究微电网控制系统。我主要研究微电网控制系统以及开发仿真测试平台。主要的研究对象为基于混成控制理论微电网控制。

在专业实践期间，我在万克能源科技有限公司的工程师带领下，完成了微电网控制系统的研究以及仿真测试平台开发，搭建了标准化的仿真场景，并通过该平台完成了微电网黑启动策略的编写，对于一个含有8台燃气轮机，2台储能的微电网系统的黑启动策略进行了编写，涉及策略包括储能参与的微电网黑启动、负荷恢复与燃气轮机功率分配、燃气轮机的启动与合闸和燃气轮机的分闸与关机四个部分，并通过仿真模型进行了验证。

### 3. 在实际工作中综合运用所学知识解决复杂工程问题的案例

我在校期间主要研究微电网的运行控制技术，参加了直流环状孤岛微网能量管理系统研制，并在江苏某深海技术实验室顺利投运，各项性能指标均超预期通过3217标准验收。

该项目需要研制高智能嵌入式控制器，以满足实际直流环形微电网系统的自治调度和故障重构等实际需求。项目要求实现海上平台的投运，对故障重构、自治调度和黑启动等多种优化运行方法进行部署。

考虑到建设地点存在极端天气，并会因为工作原因对信号进行屏蔽，我重点考虑对直流环形微电网在恶劣的部署环境下进行经济调度和保障重要负荷供电的能力，设计提出的改进的直流微电网分布式优化调度方法并通过基于控制组态的微电网优化运行方法配置技术应用到该项目中，项目的具体设备组成为：

- 1) 5个分布式电源：包括燃料电池2台、水下直流电源1台和直流电源2台，最大出力均为200 kW；
- 2) 交流负荷与直流负荷：接入的负荷包括用以生活，工作等的交流负荷和用以向特殊科研设备供电的直流负荷，每个节点连接有固定负荷功率，节点4连接有可变负荷，负荷功率的范围为70-150kW；
- 3) 交直流母线：在微电网中，分布式电源均直接连接至400V直流母线上为直流负荷供电，

并通过DC/AC变换器产生220V交流电向交流负荷供电，另外，存在部分设备需要28V低压直流电进行供电，是通过400V直流母线经DC/DC变换得到的。

在对改进的直流微电网分布式优化调度方法进行配置的过程中，为了实现直流微电网的优化调度，对5个节点分别部署了1台分布式控制器，共设置了测点65个，包括：分布式电源的输出电压、输出电流、负荷功率、分布式控制器与其他节点的通信连接状态和分布式电源的输出电压参考值等，并通过ModBus通信协议实现分布式控制器之间的通信，同时将数据上送至主EMS中进行系统状态监控。

在主EMS设计上，用户监控界面基于LabVIEW开发完成，配合直流环网控制算法和软件稳定运行，完整、清晰展示直流环网运行状态等信息，具有良好的人机交互性，包括登录界面、数据通信模块、主显示界面、首页界面、详细数据界面、故障重构界面、自治调度界面等。

最终，经过应用检测，验证了改进的直流微电网分布式优化调度方法在实际的工程部署中可以有效的应用，在恶劣的环境中可以保障部署区域的重要负荷供电。运行结果表明，改进的直流微电网分布式优化调度方法在投入使用后可以实现微电网的经济和稳定运行。当出现系统总负荷出现变化时，供电设备可以快速调整出力；当由于工作需要信号屏蔽或气象原因导致部分供电设备通信中断时，可以保持系统运行稳定，并且满足负荷需求。

<b>(二) 取得的业绩（代表作）【限填3项，须提交证明原件（包括发表的论文、出版的著作、专利证书、获奖证书、科技项目立项文件或合同、企业证明等）供核实，并提供复印件一份】</b>					
<b>1. 公开成果代表作【论文发表、专利成果、软件著作权、标准规范与行业工法制定、著作编写、科技成果获奖、学位论文等】</b>					
成果名称	成果类别 [含论文、授权专利（含发明专利申请）、软件著作权、标准、工法、著作、获奖、学位论文等]	发表时间/授权或申请时间等	刊物名称/专利授权或申请号等	本人排名/总人数	备注
考虑通信状态变化的直流微电网分布式事件驱动优化调度	一级期刊	2023年10月25日	电力系统自动化	1/4	EI期刊收录
Edge computing and hybrid control technology for microgrids based on activity on edge networks	国际期刊	2023年12月14日	Energy Conversion and Economics	1/6	EI期刊收录
A Hardware-in-the-Loop Microgrid Simulation Method Based on TwinCAT3—Take Black Start as An Example	会议论文	2022年12月26日	21st Asia Simulation Conference (AsiaSim 2022)	1/6	EI会议收录


2. 其他代表作【主持或参与的课题研究项目、科技成果应用转化推广、企业技术难题解决方案、自主研发设计的产品或样机、技术报告、设计图纸、软课题研究报告、可行性研究报告、规划设计方案、施工或调试报告、工程实验、技术培训教材、推动行业发展中发挥的作用及取得的经济社会效益等】

<b>(三) 在校期间课程、专业实践训练及学位论文相关情况</b>	
课程成绩情况	按课程学分核算的平均成绩： 84 分
专业实践训练时间及考核情况(具有三年及以上工作经历的不作要求)	累计时间： 1.1 年 (要求1年及以上) 考核成绩： 91 分 (要求80分及以上)
<b>本人承诺</b>	
<p><b>个人声明：本人上述所填资料均为真实有效，如有虚假，愿承担一切责任，特此声明！</b></p> <p style="text-align: right;">申报人签名：赵海镇</p>	

22160194



## 二、日常表现考核评价及申报材料审核公示结果

日常表现 考核评价	<p>非定向生由德育导师考核评价、定向生由所在工作单位考核评价：</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>优秀    <input type="checkbox"/>良好    <input type="checkbox"/>合格    <input type="checkbox"/>不合格</p> <p>德育导师/定向生所在工作单位分管领导签字（公章）： 年 3 月 15 日 2020</p>
申报材料 审核公示	<p>根据评审条件，工程师学院已对申报人员进行材料审核（学位课程成绩、专业实践训练时间及考核、学位论文、代表作等情况），并将符合要求的申报材料在学院网站公示不少于5个工作日，具体公示结果如下：</p> <p><input type="checkbox"/>通过    <input type="checkbox"/>不通过（具体原因： ）</p> <p>工程师学院教学管理办公室审核签字（公章）：    年 月 日</p>

# 浙江大学研究生学院

## 攻读硕士学位研究生成绩表

学号: 22160194	姓名: 赵海祺	性别: 男	学院: 工程师学院	专业: 电气工程	学制: 2.5年						
毕业时最低应获: 26.0学分		已获得: 27.0学分		入学年月: 2021-09	毕业年月: 2024-03						
学位证书号: 1033532024602202			毕业证书号: 103351202402600428								
学习时间	课程名称	备注	学分	成绩	课程性质	学习时间	课程名称	备注	学分	成绩	课程性质
2021-2022学年秋季学期	新能源发电与变流技术		2.0	97	专业学位课	2021-2022学年夏季学期	自然辩证法概论		1.0	90	公共学位课
2021-2022学年秋季学期	计算机实时控制技术		2.0	80	专业学位课	2021-2022学年春季学期	研究生英语		2.0	75	公共学位课
2021-2022学年秋季学期	现代控制理论		3.0	85	专业学位课	2021-2022学年夏季学期	微电网技术工程实践		4.0	87	专业学位课
2021-2022学年冬季学期	综合能源系统集成优化		2.0	86	专业学位课	2021-2022学年夏季学期	电气装备健康管理		2.0	92	专业选修课
2021-2022学年秋季学期	中国特色社会主义理论与实践研究		2.0	87	公共学位课	2021-2022学年春季学期	优化算法		3.0	93	专业选修课
2021-2022学年秋季学期	研究生论文写作指导		1.0	79	专业学位课	2021-2022学年春季学期	工程伦理		2.0	93	公共学位课
2021-2022学年夏季学期	研究生英语基础技能		1.0	54	公共学位课	2022-2023学年秋季学期	研究生英语基础技能		1.0	75	公共学位课

说明: 1. 研究生课程按三种方法计分: 百分制, 两级制 (通过、不通过), 五级制 (优、良、中、及格、不及格)。

2. 备注中“\*”表示重修课程。

学院成绩校核章:

成绩校核人: 张梦依

打印日期: 2024-04-02



# 业绩 1 考虑通信状态变化的直流微电网分布式事件驱动优化调度

## 1.1 论文网络搜索页截图



## 1.2 论文纸质期刊封面

ISSN 1000-1026  
CN 32-1180/TP

# 电力系统自动化

半月刊

## AUTOMATION OF ELECTRIC POWER SYSTEMS SEMIMONTHLY

**生态合作** **清鸾科技** 加入海光产业生态合作组织  
构建全国产电力计算平台

清鸾科技与中科曙光达成深度战略合作，正式加入光合组织。未来，将围绕产业链协同创新、生态共建、数实结合等前瞻技术与最佳实践展开探讨，共同构建全国产软硬件电力系统数字孪生应用生态平台。

**清鸾科技（成都）有限公司**  
地址：中国(四川)自由贸易试验区  
成都市天府新区锦屏路366号  
官方网站：www.cloudps.net  
商务邮箱：business@cloudps.net  
欢迎咨询联系！

**海光产业生态合作组织**

ISSN 1000-1026  
9 771000 102230



# 2023 20

国网电力科学研究院有限公司主办  
2023年10月 第47卷 第20期 总第762期

# 电力系统自动化

DIANLI XITONG ZIDONGHUA

第47卷第20期(总第762期) 2023年10月25日出版

1977年创刊

## 《电力系统自动化》 编辑委员会

名誉主任委员 舒印彪  
主任委员 冷峻  
副主任委员 王益民 吴维宁  
                  郑玉平 薛禹胜

委员 (以姓氏笔画为序)  
丁怡 丁涛 卫志农 王小虹  
方厚杰 艾芊 林智康 叶臻  
任殿铭 封志 刘魁 刘成波  
刘明波 潘奕 刘寅 佟建中  
卢干登 李力 李斌 李东祥  
李庚平 李建林 杨超 杨争林  
杨雄水 吴运华 何正友 何光宇  
沈旻 张宁 张兴 张性旭  
张勇军 陈启鑫 林振智 赵波  
姚勇 姚建刚 袁宇波 顾伟  
徐箭 高宝和 郭创新 郭庆来  
黄学良 傅园 曹宝相 谢开贵  
谢少军 崔明玉 滕智亮 薛峰

学术顾问 (以姓氏笔画为序)  
王成山 王锡凡 文劲宇 毕天林  
刘玉田 刘吉鑫 刘俊勇 汤广福  
汤涌 孙宝斌 李允虎 吴清华  
刘剑虹 邱爱慈 孙殿鑫 李耀中  
沈国荣 张伯明 陆廷政 邵国平  
罗安 周孝信 饶宜 姚良忠  
夏清 徐丙杰 郭剑波 梅生伟  
董新河 程时杰 穆钢 鞠于

国际顾问 (以姓名英文字母为序)  
Anjan BOSE  
Sun Shing CHOI  
Mo-Yuen CHOW  
Zhucyong DONG  
Nikos D. HATZIARGYRIOU  
Wenyuan LI

## 目次

### 学术研究

- 大型电力变压器安全运行与主动保护技术探索  
..... 郑玉平, 郭浩园, 薛众鑫, 郝建, 唐书杰, 姜心怡(1)
- 基于两阶段信息压缩的电网动态轨迹预测与稳定性评估  
..... 刘嘉诚, 刘俊, 李雨婷, 王光耀(13)
- 基于改进EDRL的含V2G孤岛微电网频率综合控制策略  
..... 范培源, 杨军, 柯松, 温裕鑫, 李勇江, 周桂园(23)
- 考虑通信状态变化的直流感电网分布式事件驱动优化调度  
..... 赵海斌, 卢开诚, 董树峰, 葛明阳(33)
- 基于多仿射决策规则的电-氢耦合系统多阶段鲁棒优化调度  
..... 潘思佳, 徐海海, 严正, 王玲, 韩鹏飞(42)
- 考虑双重不确定性的区域综合能源系统多阶段滚动随机规划  
..... 曹楠, 赵纪峰, 丁石川, 曹宝杰, 王丹, 郭小璇(53)
- 基于数据驱动与物理模型的主动配电网双时间尺度协调优化  
..... 张剑, 崔明建, 姚源强, 何佑刚(64)
- 基于动态关联表征与图网络建模的分布式光伏超短期功率预测  
..... 王五庆, 徐飞, 刘志坚, 魏利, 王飞(72)

# 考虑通信状态变化的直流微电网分布式事件驱动优化调度

赵海祺<sup>1,2</sup>, 卢开诚<sup>1</sup>, 董树锋<sup>1</sup>, 葛明阳<sup>1</sup>

(1. 浙江大学电气工程学院, 浙江省杭州市 310027; 2. 浙江大学工程师学院, 浙江省杭州市 310015)

**摘要:** 在复杂的通信条件下,若微电网中分布式控制器无法实时监控与相邻控制器的通信状态,则会导致系统控制失稳。为解决该问题,提出一种微电网分布式控制算法。首先,基于一致性原理设计算法,以各节点分布式电源的增量成本作为一致性变量,实现微电网运行经济性最优,并考虑到直流微电网运行实际,降低了算法设计的复杂性。其次,提出一种设备运行模式自切换机制以改进分布式控制算法,分布式控制器可以根据与相邻节点分布式控制器的通信状态调整节点分布式电源的运行模式。然后,引入事件驱动控制技术,通过设计事件驱动条件降低控制过程中的通信频次,减少分布式控制器的能量损耗。最后,通过算例分析验证了所提微电网分布式事件驱动控制算法可以实现系统的经济调度,相较于下垂控制,可以实现设备在额定运行电压上下更小的波动,相较于未改进的分布式控制方法,可以根据通信状态自动调节运行模式,防止系统控制失稳。

**关键词:** 微电网; 分布式经济调度; 自切换; 通信状态; 事件驱动控制; 一致性算法

## 0 引言

微电网作为促进分布式能源大规模接入电力系统的有效方式<sup>[1]</sup>,受到广泛研究。微电网的经济调度旨在控制输出特性与发电成本均不相同的多种分布式能源在满足负荷需求和设备约束的前提下降低系统总的运行成本<sup>[2]</sup>。

常见的微电网经济调度方式有3种:集中式控制<sup>[3-4]</sup>、分布式控制和分散式控制。集中式控制的优势在于通过中央控制器控制所有可控分布式能源设备以更好地协调全局<sup>[5]</sup>,但随着微电网规模的不断增大,更加频繁的数据交互会增加中央控制器的通信和计算负担,影响控制的实时性。以下垂控制为代表的分散式控制是使用最为广泛的控制手段<sup>[6-7]</sup>,其无须进行设备间通信就可以实现控制,但是仅表现为最基础的控制,并且会导致微电网的电压和频率偏离基准值,因此通常仅用于底层控制。与其他的控制方法不同,分布式控制无需中央控制器,各可控分布式能源设备可以通过相邻单元的通信实现控制,并可对下垂控制导致的电压与频率偏离进行补偿,具有更好的鲁棒性和收敛速度,逐步受到学界的关注。

随着多年的发展,分布式控制已经有了较多的

成果,在微电网的控制中广泛应用,常见的算法包括一致性算法<sup>[5,8-10]</sup>、扩散算法<sup>[11-13]</sup>和交替方向乘子法<sup>[14-15]</sup>等。文献[5]提出一种基于一致性原理和梯度下降法的完全分布式算法,以增量成本作为一致性变量,实现了微电网功率的合理分配,优化了微电网的运行成本;文献[9]提出一种针对微电网分布式储能的分组一致性控制策略,通过控制实现了储能单元组间的协调控制和储能单元的效率提升;文献[11]提出一种基于动态扩散算法的简化直流微电网分布式二层控制策略,在直流微电网面对负载突变和电气网络故障时均能够实现平均电压恢复以及电流均分,具备较强的鲁棒性。

现有研究成果已在分布式控制方面取得了较多理论性成果,但较少考虑工程实践中具体的设备与环境约束:1)现实中通信条件复杂,若分布式控制器无法根据与相邻控制器的通信状态灵活调整节点设备的运行模式,可能会导致系统失稳<sup>[16]</sup>;2)高通信频次的信息交互会消耗分布式控制器储存电量,降低使用寿命,并且由于信道资源的占用率变大,可能会影响微电网控制的实时性和精准度。

为解决上述问题,首先,以各分布式电源增量成本为一致性变量,设计了实现微电网运行经济性最优的一致性算法。考虑到直流微电网运行实际,设置了电压平均值约束,允许各个节点的电压在容许度的范围内波动,并提出以分布式电源输出电流表示的发电成本简化计算方法,降低了算法设计的复

收稿日期: 2023-04-18; 修回日期: 2023-08-18。

上网日期: 2023-09-26。

国家自然科学基金资助项目(52077193)。

## 1.4 检索证明

computing - EDGE Networks - Event-triggered controls - Hybrid control technology - Hybrid controls - Low-code configuration - Microgrid  
Classification code:716.1 Information Theory and Signal Processing - 721.1 Computer Theory, Includes Formal Logic, Automata Theory, Switching Theory, Programming Theory - 722.4 Digital Computers and Systems - 731.1 Control Systems  
DOI:10.1049/enc2.12103  
Database:Compendex  
Compilation and indexing terms, Copyright 2024 Elsevier Inc.



<RECORD >

Accession number:20234515008946

Title:Distributed Event-triggered Optimal Scheduling for DC Microgrids Considering Communication Status Change

Title of translation:考虑通信状态变化的直流微电网分布式事件驱动优化调度

Authors:Zhao, Haiqi (1, 2); Lu, Kaicheng (1); Dong, Shufeng (1); Ge, Mingyang (1)

Author affiliation:(1) College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou; 310027, China; (2) Polytechnic Institute, Zhejiang University, Hangzhou; 310015, China

Corresponding author:Dong, Shufeng(dongshufeng@zju.edu.cn)

Source title:Dianli Xitong Zidonghua/Automation of Electric Power Systems

Abbreviated source title:Dianli Xitong Zidonghua

Volume:47

Issue:20

Issue date:October 25, 2023

Publication year:2023

Pages:33-41

Language:Chinese

ISSN:10001026

CODEN:DXZIE9

Document type:Journal article (JA)

### 《Ei Compendex》收录证明

Publisher:Automation of Electric Power Systems Press

Number of references:29

Main heading:Controllers

Controlled terms:Computational complexity - Distributed parameter control systems - Distributed power generation - Microgrids - Scheduling algorithms

Uncontrolled terms:Communication status - Consensus algorithms - Distributed controller - Distributed economic scheduling - Distributed events - Economic scheduling - Event-triggered controls - Microgrid - Operation mode - Self-switching

Classification code:706.1 Electric Power Systems - 706.1.2 Electric Power Distribution - 721.1 Computer Theory, Includes Formal Logic, Automata Theory, Switching Theory, Programming Theory - 731.1 Control Systems - 732.1 Control Equipment

DOI:10.7500/AEPS20230418004

Funding details: Number: 52077193, Acronym: NSFC, Sponsor: National Natural Science Foundation of China;

Funding text:This work is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 52077193)

Database:Compendex

Compilation and indexing terms, Copyright 2024 Elsevier Inc.

注:

1. 以上检索结果来自 CALIS 查收查引系统。
2. 以上检索结果均得到委托人及被检索作者的确认。



# 业绩 2 Edge computing and hybrid control technology for microgrids based on activity on edge networks

## 2.1 论文网络搜索页截图



## ORIGINAL RESEARCH

# Edge computing and hybrid control technology for microgrids based on activity on edge networks

Haiqi Zhao<sup>1,3</sup>  | Yongqing Zhu<sup>2</sup> | Kaicheng Lu<sup>1</sup> | Qingsheng Li<sup>2</sup> | Zhen Li<sup>2</sup> | Shufeng Dong<sup>1</sup>

<sup>1</sup>College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Xihu District, Hangzhou, China

<sup>2</sup>Power Grid Planning Research Center, Guizhou Power Grid Co., Ltd., Nanming District, Guiyang, China

<sup>3</sup>Polytechnic Institute, Zhejiang University, Gongshu District, Hangzhou, China

**Correspondence**

ShuFeng Dong, College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Xihu District, Hangzhou 310027, China.

Email: dongshufeng@zju.edu.cn

**Funding information**

Key Technology Project of China Southern Power Grid Co., Ltd., Grant/Award Numbers: 067600KK52222002, GZKJXM20222170

**Abstract**

Edge-side services provide new ideas for microgrid operational control, but as the microgrid control structure becomes increasingly large, the cost of configuring edge-side services also grows. In this context, it is necessary to find a modelling approach that can unify the mathematical models involved in microgrid control systems. First, a microgrid control structure with edge-computing services based on hybrid control theory is proposed, which can exploit the hybrid characteristics of the microgrid control and reduce the amounts of communication using event-triggered technology. Then, a hybrid control modelling method based on activity-on-edge networks is proposed, along with a standardised control strategy configuration method. The texts entered by the configurator can be parsed in an intuitive way. Complex control strategies can be configured with low-code input while improving the reliability of the strategies. Finally, a distributed control strategy for DC microgrids was studied and modelled using the hybrid control modelling approach based on activity-on-edge networks. The superiority of edge-computing services based on hybrid control theory and event-triggered technology in reducing communication and improving control in real time is demonstrated through the case study.

**KEYWORDS**

Activity-on-edge Networks, Edge Computing, Event-triggered Control, Hybrid Control Technology, Low-Code Configuration, Microgrid

## 1 | INTRODUCTION

With the development of renewable energy technology and expansion of microgrids, the architecture of power systems has become increasingly complex. In this context, traditional centralised control methods cannot address the need for control owing to more flexible generation and controllable demands [1]. With the development of 5G, the Internet of Things, and other technologies, edge computing provides new ideas for solving system operations and control problems [2].

Edge computing transfers services from the cloud to the device side to release cloud-computing resources, allowing for real-time data collection and accurate control [3]. In recent years, microgrid control methods based on edge computing

have been proposed in various studies [4–7]. In [6], an artificial intelligence algorithm based on the edge side was applied to achieve optimised control of microgrids. Compared with centralised control, this algorithm reduces the computational burden and simplifies the design of strategies. In [7], a microgrid energy scheduling scheme was proposed. The task load of the edge-computing server was considered and the original problem was decomposed to obtain a distributed solution for the microgrid power supply.

The above research converted the control strategies from centralised to distributed and simplified them. The algorithm plays a positive role in alleviating the computational burden of the controller and avoids complex strategy modelling. However, this does not address the concerns of this study. This study

This is an open access article under the terms of the [Creative Commons Attribution](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

© 2023 The Authors. *Energy Conversion and Economics* published by John Wiley & Sons Ltd on behalf of The Institution of Engineering and Technology and the State Grid Economic & Technological Research Institute Co., Ltd.

## 2.3 检索证明

### 《Ei Compendex》收录证明

经检索“Engineering Village”，下述论文被《Ei Compendex》收录。（检索时间：2024年1月2日）。

<RECORD 1>  
Accession number:20235115238725  
Title:Edge computing and hybrid control technology for microgrids based on activity on edge networks  
Authors:Zhao, Haiqi (1, 3); Zhu, Yongqing (2); Lu, Kaicheng (1); Li, Qingsheng (2); Li, Zhen (2); Dong, Shufeng (1)  
Author affiliation:(1) College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Xihu District, Hangzhou, China; (2) Power Grid Planning Research Center, Guizhou Power Grid Co., Ltd., Nanning District, Guiyang, China; (3) Polytechnic Institute, Zhejiang University, Gongshu District, Hangzhou, China  
Corresponding author:Dong, Shufeng(dongshufeng@zju.edu.cn)  
Source title:Energy Conversion and Economics  
Abbreviated source title:Energy, Convers. Econ.  
Issue date:2023  
Publication year:2023  
Language:English  
E-ISSN:26341581  
Document type:Article in Press  
Publisher:John Wiley and Sons Inc  
Number of references:0  
Main heading:Edge computing  
Controlled terms:Computation theory - Control theory - Distributed parameter control systems - Network coding  
Uncontrolled terms:Activity-on-edge network - Code configuration - Control technologies - Edge computing - EDGE Networks - Event-triggered controls - Hybrid control technology - Hybrid controls - Low-code configuration - Microgrid  
Classification code:716.1 Information Theory and Signal Processing - 716.1 Computer Theory, Includes Formal Logic, Automata Theory, Switching Theory, Programming Theory - 72.4 Digital Computers and Systems - 731.1 Control Systems  
DOI:10.1049/enc2.12103  
Database:Compendex  
Compilation and indexing terms, Copyright 2024 Elsevier Inc

<RECORD 2>  
Accession number:20234515008946  
Title:Distributed Event-triggered Optimal Scheduling for DC Microgrids Considering Communication Status Change  
Title of translation:考虑通信状态变化的直流微电网分布式事件驱动优化调度  
Authors:Zhao, Haiqi (1, 2); Lu, Kaicheng (1); Dong, Shufeng (1); Ge, Mingyang (1)  
Author affiliation:(1) College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou, 310027, China; (2) Polytechnic Institute, Zhejiang University, Hangzhou, 310015, China  
Corresponding author:Dong, Shufeng(dongshufeng@zju.edu.cn)  
Source title:Dianli Xitong Zidonghua/Automation of Electric Power Systems  
Abbreviated source title:Dianli Xitong Zidonghua  
Volume:47  
Issue:20  
Issue date:October 25, 2023  
Publication year:2023  
Pages:33-41  
Language:Chinese  
ISSN:10001026  
CODEN:DXZIE9  
Document type:Journal article (JA)



# 业绩 3 A Hardware-in-the-Loop Microgrid Simulation Method Based on TwinCAT3—Take Black Start as An Example

## 3.1 论文网络搜索页截图





# A Hardware-in-the-Loop Microgrid Simulation Method Based on TwinCAT3—Take Black Start as An Example

Haiqi Zhao<sup>1,2(✉)</sup>, Shufeng Dong<sup>1</sup>, Lingchong Liu<sup>1,2</sup>, Runzhe Lian<sup>1</sup>,  
Mingyang Ge<sup>1</sup>, and Kunjie Tang<sup>1</sup>

<sup>1</sup> College of Electrical Engineering, Zhejiang University,  
Hangzhou 310027, Zhejiang, China  
zhaohaiqi@zju.edu.cn

<sup>2</sup> Polytechnic Institute, Zhejiang University, Hangzhou 310015, Zhejiang, China

**Abstract.** Due to the flexibility and dispatchability, the microgrid system has attracted more and more attention of scholars with large penetration of new energy. However, as the structure of the microgrid system becomes more and more complex, the existing microgrid simulation methods are outdated. Especially for complex microgrid systems, one second of simulation can take a dozen or even hundreds of times longer. In response to the above problem, a microgrid simulation method based on TwinCAT3 is proposed. The microgrid system is modeled by MATLAB/Simulink, Then, the model is converted into a TwinCAT3 model through the TE1400 component, and downloaded to the industrial computer for simulation. The experiment verifies the accuracy and efficiency of the TwinCAT3-based microgrid simulation method.

**Keywords:** TwinCAT3 · Microgrid · Hardware-in-the-loop simulation · Industrial computer

## 1 Introduction

Against the global warming backdrop, where countries are taking strong initiatives to reduce  $CO_2$  emissions, microgrids are gaining more and more attention from researchers because of their flexibility and dispatchability, and their ability to operate in both networked and islanded mode with the larger grid.

With the large-scale access of renewable energy and power electronics, the microgrid is more prone to problems such as voltage fluctuations in actual operation, so the requirements for microgrid simulation are getting higher and higher. At present, academia has introduced hardware-in-the-loop simulation technology to conduct simulation research on microgrids, in order to solve the problems

---

Supported by the National Natural Science Foundation of China (52077193): Research on Autonomous and Coordinated Operation of Multi-Area Interconnected Integrated Energy Systems.

### 3.3 检索证明

#### 《Ei Compendex》收录证明

经检索“Engineering Village”，下述论文被《Ei Compendex》收录。（检索时间：2023年7月21日）。

<RECORD 1>  
Accession number:20230413450093  
Title:A Hardware-in-the-Loop Microgrid Simulation Method Based on TwinCAT3—Take Black Start as An Example  
Authors:Zhao, Haiqi (1, 2); Dong, Shufeng (1); Liu, Lingchong (1, 2); Lian, Runzhe (1); Gu, Mingyang (1); Tang, Kunjie (1)  
Author affiliation:(1) College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Zhejiang, Hangzhou; 310027, China; (2) Polytechnic Institute, Zhejiang University, Zhejiang, Hangzhou; 310015, China  
Corresponding author:Zhao, Haiqi(zhaohaiqi@zju.edu.cn)  
Source title:Communications in Computer and Information Science  
Abbreviated source title:Commun. Comput. Info. Sci.  
Volume:1713 CCIS  
Part number:2 of 2  
Issue title:Methods and Applications for Modeling and Simulation of Complex Systems - 21st Asia Simulation Conference, AsiaSim 2022, Proceedings  
Issue date:2022  
Publication year:2022  
Pages:200-210  
Language:English  
ISSN:18650929  
E-ISSN:18650937  
ISBN-13:9789811991943  
Document type:Conference article (CA)  
Conference name:21st Asia Simulation Conference, AsiaSim 2022  
Conference date:December 9, 2022 - December 11, 2022  
Conference location:Changsha, China  
Conference code:288449  
Publisher:Springer Science and Business Media Deutschland GmbH  
Number of references:8  
Main heading:Hardware-in-the-loop simulation  
Controlled terms:Computer hardware - MATLAB - Synthetic apertures - Traction (friction)  
Uncontrolled terms:Black start - Dispatchability - Hardware in the loops - Hardwarein-the-loop simulations (HIL) - Industrial computers - Large penetrations - Microgrid - Microgrid systems - New energies - Twincat3  
Classification code:716.2 Radar Systems and Equipment - 722 Computer Systems and Equipment - 723.5 Computer Applications - 921 Mathematics - 931.1 Mechanics  
DOI:10.1007/978-981-19-9195-0\_17  
Funding details: Number: 52077193, Acronym: NSFC, Sponsor: National Natural Science Foundation of China; Number: -, Acronym: ZJU, Sponsor: Zhejiang University;  
Funding text:Supported by the National Natural Science Foundation of China (52077193): Research on Autonomous and Coordinated Operation of Multi-Area Interconnected Integrated Energy Systems.Supported by the National Natural Science Foundation of China (52077193): Research on Autonomous and Coordinated Operation of Multi-Area Interconnected Integrated Energy Systems.. Acknowledgements. This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (52077193): Research on Autonomous and Coordinated Operation of Multi-Area Interconnected Integrated Energy Systems. In addition to the authors, we would like to acknowledge the help provided by Bin Nan and others in the Smart Grid Operation and Optimization Laboratory of Zhejiang University during the writing of this paper.  
Database:Compendex  
Compilation and indexing terms, Copyright 2023 Elsevier Inc.

<RECORD 2>  
Accession number:20230413450095  
Title:A Simulink-Based Control Method for Energy Storage Assisted Black-Start