

同行专家业内评价意见书编号：20240858131

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：陶俊

学号：22160187

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25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

本人对于本专业的的基础理论知识和专业技术具有深入的理解与应用能力。我熟悉电力系统稳定性分析相关基础理论，掌握了电力系统分析的基本方法，并能使用这些理论和技术来解决实际的电力系统问题。在专业技术方面，我能够运用现代电力系统稳定控制分析，对电力系统的电压稳定、频率稳定等多方面稳定问题进行分析和控制。我熟练使用电力系统分析软件，如MATLAB/Simulink等，来建模、仿真和分析电力系统的动态过程，学习python、c++等编程语言进行软件平台开发。

2、工程实践经历

本人主要参与省级电网应用性课题研究项目三项。应用先进技术解决企业重大技术难题，推广应用具有较高水平的新技术，完成系统软件平台开发工作；完成对上述项目具有指导作用的有关情报资料的搜集、整理、汇编，提出系统研究报告三份；并完成本专业领域的技术分析，给出合理的分析结论及建议，提出可行的改进方案和验证方法。

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

在专业实践的过程中，本人作为主要项目研究人员参与了“调度中心2021年频率强度在线评估技术研究”项目。为完成实践内容，深入学习了电力系统的基本理论知识，包括电力系统建模、分析及控制设计相关基础理论，在工程应用落地方面，我学习相关编程语言，以开发相关频率强度在线预警监测软件平台。在实际深入云南电网公司实践之后，对目前大电网的频率稳定性问题更加了解，对大电网的实际工程情况有了深刻的了解，对理论进行实际落地应用有了更深入的了解。

本项目主要围绕电网频率强度在线评估与预警技术等关键科学方法开展研究，其中频率强度在线评估方法主要包括：传统同步发电机及新能源、直流等电力电子设备的系统调频能力统一建模方法、量化电网频率支撑能力和调节能力的多性能一体化频率强度指标体系构建方法等，项目研究遵循建模、理论分析、仿真验证、实际结合的技术路线，主要包括：1)探究适用于传统同步发电机及新能源、直流等装备的调频能力统一模型，建立频率强度评估理论，提出频率强度指标等；2)基于频率强度评估方法，研究高比例新能源异步电网频率强度及调频能力在线监测及评价技术；3)研发云南电网频率控制特性在线评估系统平台。

本人主要承担提升系统频率强度和调频能力的系统调频控制策略研究及系统频率强度在线监测方法研究及验证。目前为止已完成风电新能源参与调频下新能源占比影响机理研究，提升系统频率强度的新能源设备调频控制优化研究，频率强度在线监测所需的发电设备辨识算法研究及基于云南电网实际PMU数据的频率强度在线监测方法验证，完成频率强度在线监测软件应用平台编程及开发。

通过认真参与此次项目，掌握了高比例新能源电力系统下频率建模，并掌握了针对频率稳定问题关注的表征全局频率的共模分量的解耦方法，学习了量化高比例新能源异步电网频率支撑能力和调节能力的频率强度指标体系及评价方法。其次，学习了提升系统频率强度和调频能力的系统调频控制策略，在考虑频率多模态特性前提下，提出多模态惯量阻尼调频控制策略以同时改善多频率分量响应，实现提升系统频率强度的新能源调频控制优化策略。并通过仿真验证所提多模态调频策略的有效性。进一步，学习了频率强度在线监测所需的系统辨识相关算法，将理论研究与电网实际可测量相结合，利用电网实际测量所得数据辨识获得发电设备模型来进行共模频率特征量化，拓宽共模频率分析的适用场景，搭建频率强度预警监测平台，实现频率稳定风险的态势感知，可以使得调度人员更直观地了解系统频率强度情况，及时采取措施，保证系统安全稳定运行。

随着项目的不断开展，需要用到许多新的知识因此通过本次项目首先主动学习新知识并应用

到实践当中的能力有所提升。并且在推进项目过程中遇到了许多困难，通过及时反馈与不断改正，这也很大提升了我独立思考和解决问题的能力。并且为了分析新能源电力系统调频优化的研究现状，需要查阅大量的文献，同时也需要学习风电等新能源建模方法，提高了我的文献学习能力与数模混合仿真分析。搭建频率在线监测平台时需要数据接口以及输出有着清晰的认识，该过程提升了我的代码能力。

项目的顺利开展除了个人的努力也需要团队的协调配合，在项目中我明确自己的工作职责，并能够主动、积极的与项目组其他成员进行沟通协作，在参与项目过程中遇到问题时我会及时与项目组成员沟通交流，并且主动参与项目进展的汇报，使我的语言表达能力与沟通能力有了很好的提升。此外，能够主动快速学习，形成了良好的工作习惯。在项目中有接触自己未学过的新知识，需要自己主动去学习、去摸索、去应用。在每一次研究内容有进展时，会主动记录工作数据，形成相应技术文档。最后，通过本次专业实践，自身的解决问题能力与抗压能力也有很大地提升，对于复杂问题的解决，不能急于求成，需要理性分析，并顶住压力，迎难而上。

本次专业实践的项目研究异步电网风、光新能源高占比场景下的频率稳定性脆弱化趋势特性及机理，提出适用于传统同步发电机及新能源、直流等电力电子设备的系统调频能力统一模型及评价方法，形成了一套从理论到工程实践的新能源电力系统频率强度刻画指标评估方法，创新性的建立了基于共模频率和统一结构模型的分析方法，提出了适用于工程实践应用的刻画系统频率强度指标：跌落深度系数和跌落坡度系数。根据这两个指标可以精确的量化系统频率强度充裕性，保障可再生能源基地的频率稳定安全，可持续发展意义重大，带来直接的经济效益巨大，同时基于该分析方法，提出相应的控制策略，以同时改善多频率分量响应特性，维护系统安全稳定运行。此外，该项目结合在线测量技术，利用电网中实测运行数期，实现系统频率强度指标实时评估。构建量化电网频率支撑能力和调节能力的多性能一体化频率强度指标体系，及在线监测、预警技术，提升云南电网频率强度的可观性，实现频率稳定风险的态势感知。搭建频率强度预警监测平台，可以使得调度人员更直观地了解系统频率强度情况，及时采取措施，保证系统安全稳定运行。

(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】

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】

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
考虑频率模态特性的虚拟同步机惯量与阻尼分析和控制设计	一级期刊	2023年08月17日	电力自动化设备	1/6	
The Frequency Strength Evaluation Index Suitable for Scenario of High Proportion of Renewable Energy	会议论文	2023年09月26日	2023PSGEC	1/6	EI会议收录
多机电力系统频率响应分解方法、装置	发明专利申请	2023年03月10日	申请号: 202310226930.8	3/8	

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】

(三) 在校期间课程、专业实践训练及学位论文相关情况	
课程成绩情况	按课程学分核算的平均成绩： 85 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 年 (要求1年及以上) 考核成绩： 91 分 (要求80分及以上)
本人承诺	
<p>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！</p> <p style="text-align: right;">申报人签名：陶俊</p>	

浙江工业大学研究生院 攻读硕士学位研究生成绩表

学号: 22160187	姓名: 陶俊	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: 26.0学分		入学年月: 2021-09	毕业年月: 2024-03						
学位证书号: 1033532024602196			毕业证书号: 103351202402600422								
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	96	专业学位课	2021-2022学年春季学期	自然辩证法概论		1.0	78	公共学位课
2021-2022学年秋季学期	计算机实时控制技术		2.0	82	专业学位课	2021-2022学年夏季学期	研究生英语基础技能		1.0	免修	公共学位课
2021-2022学年秋季学期	现代控制理论		3.0	98	专业学位课	2021-2022学年夏季学期	研究生英语		2.0	免修	公共学位课
2021-2022学年冬季学期	综合能源系统集成优化		2.0	88	专业学位课	2021-2022学年春季学期	微电网技术工程实践		4.0	88	专业学位课
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	90	公共学位课	2021-2022学年夏季学期	工程伦理		2.0	67	公共学位课
2021-2022学年冬季学期	工程中的有限元方法		2.0	95	专业选修课	2021-2022学年夏季学期	电气装备健康管理		2.0	85	专业选修课
2021-2022学年秋季学期	研究生论文写作指导		1.0	91	专业学位课						

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

1.EI 论文



考虑频率模态特性的虚拟同步机惯量与阻尼分析和控制设计

陶俊¹, 高辉胜², 李焕涛^{1,2}, 王子骏¹, 杨永恒^{1,2}, 莫奕豪¹

(1. 浙江大学 工程师学院, 浙江 杭州 310027; 2. 浙江大学 电气工程学院, 浙江 杭州 310027; 3. 国网湖北省电力有限公司电力科学研究院, 湖北 武汉 430070)

摘要:随着新能源渗透率的不断提高, 系统调频资源不足且分布不均特性明显, 节点频率响应之间差异大, 设备的调频控制设计不仅需要系统频率响应中的全局分量, 也需要考虑非全局分量。为此, 提出兼顾频率多模态分量的虚拟同步机惯量与阻尼设计方法。首先, 分析了虚拟惯量与阻尼控制对不同频率模态分量的影响; 其次, 利用调频统一结构模型, 揭示了高频调频动态对不同频率分量可表现不同惯量与阻尼的特性, 进而基于此特性提出多模态惯量和阻尼控制设计方法; 最后, 仿真验证了提出的多模态调频控制策略的有效性, 可同步改善多频率分量响应特性。

关键词: 频率响应差异; 多模态特性; 统一结构模型; 模态惯量和阻尼; 调频控制策略

中图分类号: TM761

文献标志码: A

DOI: 10.16081/j.epae.2023.08017

0 引言

为落实“双碳”战略目标, 近年来新能源设备大量接入电网。在此背景下, 以同步机为主导的传统电力系统正在逐渐转变为以新能源为主体的新型电力系统^[1]。新能源在常规控制下惯量低、调频能力弱, 其大量接入导致系统中同步机占比减少, 频率支撑强度降低, 频率稳定性面临挑战, 这逐渐成为制约新能源健康发展的关键因素之一^[2-3]。因此, 为保障新能源的安全并网, 有必要深入研究电力系统频率响应特性, 优化新能源的调频控制。

传统电力系统中, 各节点频率响应由其全局分量(即系统频率, 或称全局频率)主导, 节点差异较小, 故传统频率稳定分析与控制通常仅针对系统频率。在这方面, 沿用平均系统频率、系统频率响应等经典模型^[4]的分析思路, 学者们开展了大量研究。例如文献[6]建立了光伏电站参与一次调频的系统频率响应模型, 通过粒子群优化算法改进控制策略, 提升系统稳定性。文献[7]基于频率等效聚合模型提出了一种与双馈电机控制相协调的控制策略, 以提高一次调频控制的性能。

事实上, 随着新能源设备渗透率不断提高, 电力系统调频资源分布的不均匀程度和不同设备调频动态的异质程度逐渐增大, 节点频率响应的差异性也

随之增大^[8]。这意味着频率响应中非全局分量的重要性逐渐上升, 甚至可能主导频率稳定问题。此时, 频率稳定分析和控制中不仅需要系统频率(全局分量), 也需要兼顾节点频率(非全局分量)。对此, 文献[10]提出了节点惯量指标, 用以量化分析节点频率特性。文献[11]推导了风电接入点频率与非全局频率分量间的关系, 分析了双馈风机附加下垂控制对系统振荡模式阻尼的影响。

在新能源调频控制方面, 基于虚拟同步机的控制是一种典型的控制方案, 可为系统提供惯量与快速一次调频。然而, 现有虚拟同步机调频控制设计通常仅针对某一分量(全局分量/非全局分量), 即改善某一分量响应的同时可能恶化另一分量响应。例如, 面向系统频率全局分量设计的虚拟惯量、阻尼等调频控制参数可能对非全局分量抑制效果不佳; 针对非全局分量设计的控制可以较好抑制局部频率波动, 但会对全局分量产生较大影响, 使得全局分量偏离期望值。

由于不同频率分量的优化目标存在一定差异, 考虑多分量的调频控制设计存在挑战。具体地, 对于全局分量, 调频设计目标一般为使扰动下的频率最低点、准稳态偏差等指标满足给定的要求, 同时考虑设备调频容量等约束^[9]; 对于非全局分量, 其通常呈现为不同节点间的频率相对振荡, 故使频率振荡快速收敛是控制设计的目标^[6]。然而, 这2类目标对应的调频参数设计思路并不完全一致。以惯量参数为例, 增大惯量通常可提升系统频率最低点, 但可能降低频率振荡的阻尼比^[12-14]。

为此, 本文基于频率响应的多模态特性及分量, 提出兼顾频率多模态分量的虚拟同步机惯量与阻尼

收稿日期: 2023-05-29; 修回日期: 2023-08-09

在线出版日期: 2023-08-17

基金项目: 国家电网有限公司科技项目(4000-2022-22070A-1-1-ZN)

Project supported by the Science and Technology Program of State Grid Corporation of China(4000-2022-22070A-1-1-ZN)

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

论文网址

https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=DFdco8SlyOLOzVG8P93k7fWX_0QiD1clartziR2SjPpSDzEQptUudkg_salVzrfka5cgSNG7jW3kfHn4ww2uq3fyFMD25LePuQNeO07sVd6-JdoU4gM6P7aTFRuhwWBNaSPZ-IDLbpcR-8BwMgGQ==&uniplatform=NZKPT&language=CHS

2.EI 会议

The screenshot shows the IEEE Xplore website interface. At the top, there are navigation links for Home, My Settings, Help, and Institutional Sign In. The main content area displays the article title, authors (Jun Tao, Chen Wu, Huisheng Gao, Kexin Chen, Yigong Xie, Min Cheng, Xuegang Lu), and the publisher (IEEE). It includes an abstract, document sections (Introduction, Establishment of System Frequency Response Model, Frequency Strength Evaluation Index, Case Studies, Conclusion), authors, figures, references, keywords, and metrics. A sidebar on the right offers a 'Need Full-Text' button and 'More Like This' recommendations. The bottom of the page features a 'The IEEE Open Journal of Vehicular Technology' banner.

The Frequency Strength Evaluation Index Suitable for Scenario of High Proportion of Renewable Energy

Jun Tao
Polytechnic Institute
Zhejiang University
Hangzhou, China
22160187@zjhu.edu.cn

Chen Wu
Power Grid Planning and
Construction Research Center
Yunnan Power Grid Co., Ltd.
Kunming, China
effwei@126.com

Huisheng Gao*
College of Electrical Engineering
Zhejiang University
Hangzhou, China
gaohuisheng@zju.edu.cn

Kexin Chen
College of Electrical Engineering
Zhejiang University
Hangzhou, China
22110166@zju.edu.cn

Yigong Xie
Electric Power Dispatching and
Control Center
Yunnan Power Grid Co., Ltd.
Kunming, China
510123@qq.com

Min Cheng
Electric Power Dispatching and
Control Center
Yunnan Power Grid Co., Ltd.
Kunming, China
chengminjz@126.com

Xuegang Lu
Electric Power Dispatching and
Control Center
Yunnan Power Grid Co., Ltd.
Kunming, China
545315893@qq.com

2023 3rd Power System and Green Energy Conference (PSGC) | 978-3-300-42559-7/3/3110-00023 IEEE | DOI: 10.1109/PSGC58411.2023.10255874

Abstract—With the massive access of renewable energy, the frequency characteristics of the system have changed greatly. In the power system where the proportion of renewable energy is high, the frequency evaluation index obtained will no longer be applicable. Therefore, this paper proposed the frequency strength evaluation index suitable for high proportion renewable energy system. Firstly, the system frequency and the unified transfer function structure (UTFS) model are established. Secondly, the error of frequency strength evaluation index caused by using the index to evaluate frequency strength in different scenarios is analyzed. Furthermore, the frequency strength evaluation index used in high proportion renewable energy system is proposed and based on the proposed index, the frequency strength evaluation steps are given. Finally, the effectiveness of the index is verified by simulation.

Keywords—frequency characteristics; system frequency; the unified transfer function structure (UTFS); frequency strength evaluation index

I. INTRODUCTION

In recent years, with the massive access of renewable energy, the traditional power system dominated by synchronous generators is gradually transforming into a new type of power system characterized by power electronics [1]-[2]. Compared with the synchronous generator, the frequency modulation capability of renewable energy is weak, resulting in a large change in the system frequency response after the disturbance, and the frequency stability is challenged [3]-[4]. Therefore, it is necessary to deeply study the frequency response characteristics in the system where the renewable

energy proportion is high and propose effective quantitative analysis methods.

After the system is disturbed, it is usually concerned with the indicators in the frequency transient process, such as the quasi-steady-state frequency deviation and the maximum frequency offset, in order to prevent the occurrence of power system protection action. The existing literature has explored the frequency evolution characteristics of the system after the integration of renewable energy [5]-[6]. In [5], the frequency transfer function of power system considering the proportion of renewable energy is established, and then two steady-state performance indexes of the system are proposed based on the frequency domain analysis method. Based on the transfer function model of primary frequency regulation response of wind farm, an improved system frequency response (SFR) model is established in [6], which is used to analyze and calculate the frequency response characteristics of system with wind power primary frequency modulation response.

However, the frequency index obtained by analysis is complicated, which is not conducive to the intuitively analysis of the influence of parameter such as inertia changes on the index. For this reason, [7] proposed two practical indexes to analyze the trend of the frequency nadir and RoCoF. However, the practical indexes are only applicable to the system with low proportion of renewable energy and when it is used in high proportion renewable energy system, a large error will occur. In order to solve the above problems, the frequency strength evaluation index used in high proportion renewable energy system is proposed. Based on the proposed index, the

Project supported by the Science and Technology Project of Yunnan Power Grid Co., Ltd. of China Southern Power Grid (YNNKJXM20201999).

论文网址: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10255874>

经检索“Engineering Village”，下述论文被《Ei Compendex》收录。（检索时间：2023年12月25日）。

<RECORD 1>

Accession number:20234214926372

Title:The Frequency Strength Evaluation Index Suitable for Scenario of High Proportion of Renewable Energy

Authors:Tao, Jun (1); Wu, Chen (2); Gao, Huisheng (3); Chen, Kexin (3); Xie, Yigong (4); Cheng, Min (4); Lu, Xuegang (4)

Author affiliation:(1) Polytechnic Institute, Zhejiang University, Hangzhou, China; (2) Yunnan Power Grid Co.Ltd., Power Grid Planning and Construction Research Center, Kunming, China; (3) College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou, China; (4) Yunnan Power Grid Co.Ltd., Electric Power Dispatching and Control Center, Kunming, China

Corresponding author:Gao, Huisheng(gaohuisheng@zju.edu.cn)

Source title:Proceedings - 2023 3rd Power System and Green Energy Conference, PSGEC 2023

Abbreviated source title:Proc. - Power Syst. Green Energy Conf., PSGEC

Part number:1 of 1

Issue title:Proceedings - 2023 3rd Power System and Green Energy Conference, PSGEC 2023

Issue date:2023

Publication year:2023

Pages:110-114

Language:English

ISBN-13:9798350340099

Document type:Conference article (CA)

Conference name:3rd Power System and Green Energy Conference, PSGEC 2023

Conference date:August 24, 2023 - August 26, 2023

Conference location:Shanghai, China

Conference code:192956

Publisher:Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.

Number of references:10

Main heading:Transfer functions

Controlled terms:Function evaluation - Renewable energy resources

Uncontrolled terms:Energy systems - Evaluation index - Frequency characteristic - Frequency strength evaluation index - Power - Renewable energies - Strength evaluation - System frequency - The unified transfer function structure

Classification code:525.1 Energy Resources and Renewable Energy Issues - 921 Mathematics - 921.6 Numerical Methods

DOI:10.1109/PSGEC58411.2023.10255874

Funding details: Number: YNKJXM20201999, Acronym: -, Sponsor: -;

Funding text:Project supported by the Science and Technology Project of Yunnan Power Grid Co., Ltd. of China Southern Power Grid (YNKJXM20201999).

Database:Compendex

Compilation and indexing terms, Copyright 2023 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。



3.专利



国家知识产权局

100055

北京市西城区茶马街6号院4号楼12层2单元1201 北京索睿邦知
识产权代理有限公司
李根(010-82670850)

发文日:

2023年03月10日



申请号: 202310226930.8

发文序号: 2023031000956930

专利申请受理通知书

根据专利法第28条及其实施细则第38条、第39条的规定,申请人提出的专利申请已由国家知识产权局受理。现将确定的申请号、申请日等信息通知如下:

申请号: 2023102269308

申请日: 2023年03月10日

申请人: 浙江大学,国网湖北省电力有限公司电力科学研究院

发明人: 辛焕海,高晖胜,陶俊,吴英姿,冀肖彤,柳丹,叶畅,康逸群

发明创造名称: 多机电力系统频率响应分解方法、装置

经核实,国家知识产权局确认收到文件如下:

权利要求书 1份4页,权利要求项数: 10项

说明书 1份15页

说明书附图 1份6页

说明书摘要 1份1页

专利代理委托书 1份3页

发明专利请求书 1份5页

实质审查请求书 文件份数: 1份

提示:

1.申请人收到专利申请受理通知书之后,认为其记载的内容与申请人所提交的相应内容不一致时,可以向国家知识产权局请求更正。

2.申请人收到专利申请受理通知书之后,再向国家知识产权局办理各种手续时,均应当准确、清晰地写明申请号。