

同行专家业内评价意见书编号：20250858209

## 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：傅栩杰

学号：22260122

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

2025年03月13日

## 填表说明

一、本报告中相关的技术或数据如涉及知识产权保护、军工项目保密等内容，请作脱密处理。

二、请用宋体小四字号撰写本报告，可另行附页或增加页数，A4纸双面打印。

三、表中所涉及的签名都必须用蓝、黑色墨水笔，亲笔签名或签字章，不可以打印代替。

四、同行专家业内评价意见书编号由工程师学院填写，编号规则为：年份4位+申报工程师职称专业类别(领域)4位+流水号3位，共11位。

## 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(不少于200字)

熟练掌握的如电力系统稳定与分析、电机学和继电保护等等理论知识，掌握了风电、光伏、储能的联合发电仿真模型的搭建方法，对电机控制、变流器控制、参数设计、算法优化等等控制和优化方法有了更加深刻的理解，包括对风机系统出力的平滑优化、如何引入虚拟惯量控制调节电网频率等等。掌握了基于MATLAB/SIMULINK平台的仿真技术，通过在平台上搭建对应控制方法的模型并仿真对比以得到最优的控制方案，针对不同的问题，学习了不同的控制方法，如比例-积分微分控制、反馈线性化控制、滑模控制、模糊控制、自适应控制等诸多控制方法。

### 2. 工程实践的经历(不少于200字)

2023年7月1日-

2024年7月31日于中国电建集团华东勘探设计研究院进行专业实践，专业实践考核成绩82分。实践内容为面向海上“风光互补”联合发电系统设计的关键技术研究。具体从以下3个方面进行研究：1. 研究适用于漂浮式海上光伏发电系统的发电量评估方法，求解考虑海浪运动影响下光伏组件的最佳倾角，探讨海上串联光伏组件的发电特性。2. 建立包含风电、光伏、储能的海上联合发电仿真模型，基于仿真模型进行正常运行以及故障情况下稳定性分析。3. 基于分布鲁棒优化方法建立适用于海上“风光互补”联合发电系统的储能容量优化配置方案。在实践期间主要完成了以下三部分内容：1) 搭建漂浮式串联光伏电路实验设备，探究海浪运动影响下串联光伏电路的最佳倾角；(2) 搭建包含风电、光伏、储能的海上联合发电仿真模型，并基于仿真模型进行稳定性分析；(3) 基于搭建的海上风电模型，提出组合控制策略优化了目前风力发电控制方法，在保证风电输出平滑的同时尽可能的减少弃风带来的损失。

### 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(不少于1000字)

案例：基于组合控制策略的风电系统输出功率平滑控制

#### 1. 背景与问题描述

在风力发电系统中，风速的随机性和波动性会导致输出功率的不稳定，进而影响电网的稳定性和电能质量。传统的功率平滑控制方法通常通过牺牲发电效率来实现功率的稳定输出，例如通过弃风或降低风机转速来减少功率波动。然而，这种方法会导致风电捕获效率下降，增加弃风率，降低风电系统的经济性。因此，如何在保证功率平滑效果的同时，尽可能减少功率损耗，提升风电捕获效率，成为风电系统控制领域的一个复杂工程问题。针对这一问题，我参与了项目中关于D-PMSG（直驱永磁同步发电机）风力发电系统的研究。研究目标是设计一种先进的控制策略，能够在短时风速波动的情况下实现功率的平滑输出，同时最大限度地提升发电效率，减少弃风现象。

#### 2. 问题分析与需求定义

首先，对问题进行了深入分析，并明确了研究方向：功率平滑：在风速波动的情况下，系统输出功率需要保持稳定，减少对电网的冲击；发电效率优化：在实现功率平滑的同时，尽可能减少弃风现象，提升风电捕获效率；动态适应性：控制策略需要能够适应风速的快速变化

，实现实时调整。

### 3. 系统建模与理论分析

基于D-

PMSG系统的动态特性，搭建系统的数学模型。通过对风机、发电机和变流器的动态行为进行分析，结合端口耗散哈密顿控制（PCH）理论设计PCH控制器。通过引入端口耗散哈密顿控制理论，设计了PCH控制器，确保系统在给定参考转子转速下的快速跟踪能力PCH控制器的核心优势在于其能够保证系统的能量耗散特性，从而实现系统的稳定性和快速响应。该控制器能够有效降低桨距角控制在额定风速附近的激活频率，从而减少功率损耗。功率平滑控制模块：在PCH控制器的基础上，进一步设计了功率平滑控制模块。该模块通过实时监测风速波动和系统输出功率，动态调整控制参数，确保系统在短时风速波动情况下能够自适应平滑输出。

### 4. 仿真验证与参数优化

为了验证控制策略的有效性，我使用MATLAB/Simulink搭建了仿真模型，并进行了多次仿真实验。在仿真过程中，我重点关注以下指标：输出功率的平滑效果（功率波动范围）；风电捕获效率（发电量与理论最大发电量的比值）；弃风率（因功率平滑而损失的发电量）。通过调整控制参数（如PCH控制器的增益、功率平滑模块的滤波时间常数等），我逐步优化了系统的性能。最终，仿真结果表明，该组合控制策略在保证功率平滑效果的同时，显著降低了弃风率，提升了风电捕获效率。

### 5. 团队协作与分工

在项目中，我与团队成员紧密合作，分工明确：我主要负责控制策略的设计、仿真模型的搭建以及参数优化。其他团队成员负责硬件实验平台的搭建和数据采集。我们通过定期会议和沟通，确保各部分工作能够无缝衔接，共同推进项目进展。在仿真验证的基础上，我参与了硬件实验平台的搭建工作。实验平台包括D-PMSG风机模型、变流器、数据采集系统等。通过实际操作，我进一步掌握了以下技能：单片机的编程与调试；硬件电路的搭建与测试；实验数据的采集与分析。硬件实验不仅验证了仿真结果的正确性，还让我对电力系统的实际运行特性有了更深入的理解。

### 6. 成果与收获

成功设计并实现了一种基于PCH控制和功率平滑控制的组合控制策略。该策略在保证功率平滑效果的同时，显著提升了风电捕获效率，减少了弃风现象。仿真和硬件实验结果表明，系统在短时风速波动情况下的自适应平滑输出能力达到了预期目标。通过该项目，我深入掌握了端口耗散哈密顿控制理论、功率平滑控制方法以及D-PMSG系统的动态特性。同时，我的仿真调试能力和硬件操作能力得到了显著提升。在团队协作中，我学会了如何与不同背景的成员有效沟通，合理分配任务，确保项目高效推进。通过管理项目进度和协调各方资源，我学会了如何在时间有限的情况下高效完成任务。项目的实践让我深刻体会到职业责任感和敬业精神的重要性。每一个细节都可能影响最终成果，这种严谨的态度将伴随我未来的职业生涯。

(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
Power Fluctuations Smoothing Control Based on PCH Model of D PMSG Wind Power System	会议论文	2024年05月09日	The 7th IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration (IEEE EI2 2023)	1/3	
考虑风速变化和转速恢复的风电机组自适应频率控制方法	发明专利申请	2024年10月21日	申请号: 202411469395 X	1/4	

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： 86 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： 82 分
<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：傅栩杰</p>	



## 浙江大学研究生院 攻读硕士学位研究生成绩单

学号: 22260122	姓名: 傅栩杰	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: 24.0学分		已获得: 29.0学分		入学年月: 2022-09	毕业年月:						
学位证书号:			毕业证书号:		授予学位:						
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
2022-2023学年秋季学期	研究生英语		2.0	免修	公共学位课	2022-2023学年冬季学期	低碳能源系统理论与设计		2.0	93	专业选修课
2022-2023学年秋季学期	工程技术创新前沿		1.5	90	专业学位课	2022-2023学年春季学期	电气装备健康管理		2.0	86	专业选修课
2022-2023学年秋季学期	研究生英语能力提升		1.0	免修	跨专业课	2022-2023学年夏季学期	研究生论文写作指导		1.0	92	专业选修课
2022-2023学年秋季学期	研究生英语基础技能		1.0	免修	公共学位课	2022-2023学年春夏学期	工程伦理		2.0	92	专业学位课
2022-2023学年秋季学期	新能源发电与变电技术		2.0	88	专业学位课	2022-2023学年春夏学期	高阶工程认知实践		3.0	81	专业学位课
2022-2023学年冬季学期	产业技术发展前沿		1.5	88	专业学位课	2022-2023学年夏季学期	自然辩证法概论		1.0	81	专业学位课
2022-2023学年冬季学期	综合能源系统集成优化		2.0	85	专业学位课	2022-2023学年春夏学期	优化算法		3.0	78	专业选修课
2022-2023学年冬季学期	新时代中国特色社会主义思想理论与实践		2.0	90	专业学位课		硕士生读书报告		2.0	通过	

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: 2025-03-20



# 佐证材料

X. Fu, X. Yang and J. Xiang, "Power Fluctuations Smoothing Control Based on PCH Model of D-PMSG Wind Power System," *2023 IEEE 7th Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2)*, Hangzhou, China, 2023, pp. 1963-1968, doi: 10.1109/EI259745.2023.10513148.

检索链接: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10513148>

DOI: 10.1109/EI259745.2023.10513148.

The screenshot shows the IEEE Xplore digital library interface. At the top, there is a navigation bar with the IEEE Xplore logo, search options, and user account links. Below the navigation bar is a search bar with the text 'All' and a search icon. The main content area displays the title of the paper, 'Power Fluctuations Smoothing Control Based on PCH Model of D-PMSG Wind Power System', along with the publisher 'IEEE' and a 'PDF' icon. The authors are listed as 'Xujie Fu; Xingxi Yang; Ji Xiang' and 'All Authors'. There are 34 full-text views and 34 text views. The abstract is visible, starting with 'To effectively mitigate power fluctuations in a wind power system, the self-capability of the Direct-drive Permanent Magnet Synchronous Generator (D-PMSG) is harnessed for power smoothing support through the Port-Controlled Hamiltonian (PCH) model.' The page also includes a 'More Like This' section with recommendations for related papers and a 'Feedback' button at the bottom right.

# Power Fluctuations Smoothing Control Based on PCH Model of D-PMSG Wind Power System

Xujie Fu  
Polytechnic Institute  
Zhejiang University  
Hangzhou, China  
22260122@zju.edu.cn

Xingxi Yang  
School of Electrical Engineering  
Zhejiang University  
Hangzhou, China  
1270290575@qq.com

Ji Xiang\*  
School of Electrical Engineering  
Zhejiang University  
Hangzhou, China  
jxiang@zju.edu.cn

**Abstract**—To effectively mitigate power fluctuations in a wind power system, the self-capability of the Direct-drive Permanent Magnet Synchronous Generator (D-PMSG) is harnessed for power smoothing support through the Port-Controlled Hamiltonian (PCH) model. By combining rotor speed control and PCH passive control, the PMSG can quickly track the reference speed and DC-link voltage control can support power smoothly within the rated operating range of the wind turbine. To validate the effectiveness of the proposed method, a simulation was conducted by comparing it with traditional maximum power point tracking control.

**Keywords**—D-PMSG, power smoothing, PCH passive control, rotor speed control, DC-link control

## I. INTRODUCTION

With the increase of wind power penetration and the trend of large-scale application of wind turbines, it has become a research hotspot to smooth fluctuations of output wind power. To improve economic efficiency, wind turbines are generally operated at the maximum power point tracking (MPPT).

However, due to random fluctuations of wind speed, the output power of wind power fluctuates sharply with the operation of MPPT control, causing frequency variation, thus leading to detriment of power quality [1-3]. To ensure the safety and reliability of system operation, some scholars have proposed a variety of methods to smooth wind power fluctuations and improve the performance of the control model.

On the grounds of interconnection and damping assignment (IDA) theory, the Port-Controlled Hamiltonian (PCH) controller has become more and more popular for nonlinear system, moreover, PCH controller has the advantages of fast response and strong stability [4-6]. The characteristic of this controller is to treat the wind power system as a passive system, leaving aside the conventional signal processing point of view, and to control the permanent magnet synchronous generator (PMSG) from the point of view of energy. In [7], the PCH controller is applied to improve the robustness of the wind power system.

On the one hand, by means of the utilization of Energy Storage System (ESS), indirect power smooth control [8-10] can realize the on-demand accumulation and subsequent release of surplus energy. Energy storage systems include batteries, supercapacitors, superconducting magnets, flywheels, hybrid

energy storage devices, etc., which are mainly used to smooth the power of large-scale wind power grid-connected systems over a longtime scale, and such approaches need to be built on additional investment in energy storage systems. On the other hand, direct power control [11-14] aims to use D-PMSG wind power system's own resources for power smoothing, which has advantages in terms of less investment cost and maximum utilization of the existing resources of the wind turbine system.

Reference [11-12] proposed different rotor speed control architectures, but did not clarify the relationship between actual output power and reference output power; Reference [13] proposed a coordinated smoothing control method including rotor kinetic energy, and clearly distinguished the reference output power from actual output power, but the actual output power did not effectively track the power command. Reference [14] proposed a fuzzy logic pitch angle controller, which is robust and easy to implement, but frequent activation of the pitch angle control will lead to over-adjustment, resulting in increased output power fluctuations and a reduced service life of the variable pitch mechanism. Moreover, it will also impact the output power of the generator and hamper power generation.

In summary, there are several difficulties in the current research on the power fluctuations smoothing control: 1) How to balance the contradiction between the output power smoothing effectiveness and the generating efficiency of wind power system; 2) How to set a reasonable reference rotor speed on the premise of ensuring the stability of wind power system; 3) How to ensure the stationarity of power output on a short time scale.

To solve these problems, a new method for a D-PMSG wind power system is proposed in this paper. By combining rotor speed control, PCH passive control and DC-link voltage control, the PCH controller ensures the fast tracking of the wind power system under the given reference rotor speed, reduces the activation frequency of pitch angle control, and realizes the demand for power smoothing on a short time scale. Compared with the traditional wind power generation mode of maximum power point tracking control combined with PI control, the results of the simulation show that the power fluctuations can be effectively restrained by the control method proposed.

《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9月19日）。

<RECORD 1>

Accession number:20242216170657

Title:Power Fluctuations Smoothing Control Based on PCH Model of D-PMSG Wind Power System

Authors:Fu, Xujie (1); Yang, Xingxi (2); Xiang, Ji (2)

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

Corresponding author:Xiang, Ji(jxiang@zju.edu.cn)

Source title:2023 IEEE 7th Conference on Energy Internet and Energy System Integration, EI2 2023

Abbreviated source title:IEEE Conf. Energy Internet Energy Syst. Integr., EI2

Part number:1 of 1

Issue title:2023 IEEE 7th Conference on Energy Internet and Energy System Integration, EI2 2023

Issue date:2023

Publication year:2023

Pages:1963-1968

Language:English

ISBN-13:9798350345094

Document type:Conference article (CA)

Conference name:7th IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration, EI2 2023

Conference date:December 15, 2023 - December 18, 2023

Conference location:Hangzhou, China

Conference code:199410

Sponsor:Chinese Society for Electrical Engineering; Department of Electrical Engineering of Tsinghua University; et al.; IEEE Power and Energy Society; Taiyuan University of Technology; Zhejiang University Hainan Institute

Publisher:Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.

Number of references:18

Main heading:Wind power

Controlled terms:Electric machine control - Hamiltonians - Maximum power point trackers - Permanent magnets - Speed control - Synchronous generators

Uncontrolled terms:Dc-link - DC-link control - Drive permanent magnet synchronoi generator - Link controls - Passive control - Permanent magnet synchronous generator - Port-controlled hamiltonian passive control - Port-controlled Hamiltonian - Power smoothing - Rotor speed controls

Classification code:615.8 Wind Power (Before 1993, use code 611 ) - 704.1 Electric Components - 704.2 Electric Equipment - 705.2.1 AC Generators - 731.2 Control System Applications - 731.3

Specific Variables Control

DOI:10.1109/EI259745.2023.10513148

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。

2024/9/19





# 国家知识产权局

310013

浙江省杭州市西湖区竞舟路1号筑品金座501室 杭州天勤知识产权代理有限公司  
王琛(0571-87755911)

发文日:

2024年10月21日



申请号: 202411469395.X

发文序号: 2024102101558000

## 专利申请受理通知书

根据专利法第28条及其实施细则第43条、第44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: 202411469395X

申请日: 2024年10月21日

申请人: 浙江大学,南京南瑞继保电气有限公司

发明人: 傅栩杰,项基,周启文,刘晨

发明创造名称: 考虑风速变化和转速恢复的风电机组自适应频率控制方法

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3页,权利要求项数: 9项

说明书 1份7页

说明书附图 1份1页

说明书摘要 1份1页

专利代理委托书 1份2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

申请方案卷号: 24124F1851

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。

审查员: 自动受理

联系电话: 010-62356655

审查部门: 初审及流程管理部



200101  
2023.03

纸件申请, 回函请寄: 100088 北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 国家知识产权局专利局受理处收  
电子申请, 应当通过专利业务办理系统以电子文件形式提交相关文件。除另有规定外, 以纸件等其他形式提交的文件视为未提交。