

同行专家业内评价意见书编号： 20250858282

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： 袁浩

学号： 22260219

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06月04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)

通过研究生阶段的培养，我学习到了永磁同步电机控制中的基础双闭环控制系统和在线多参数辨识以及模型预测控制的控制方法的基础知识。并从基础开始搭建电机以逆变器系统模型，实现了永磁车用永磁同步电机的模型预测控制，外环为转速环PI控制，内环为模型预测控制。通过在D轴电流注入方波的方法，解决了永磁同步电机参数辨识中的欠秩问题，实现了永磁同步电机的多参数在线辨识。在学习的过程当中，通过不断地探索和亲自实践永磁同步电机的控制系统，逐渐养成了相对科学的实验思维。

2. 工程实践的经历(不少于200字)

包头稀土研究院成立于1963年，是中国最大的综合性稀土科技研发机构。该院是以稀土资源的综合开发、利用为宗旨，以稀土冶金、环境保护、新型稀土功能材料及在高新技术领域的应用、稀土提升传统产业的技术水平、稀土分析检测、稀土情报信息为研究重点的，多专业、多学科的综合性研发机构。

稀土永磁材料是消费量最大的稀土功能材料，是当今稀土材料“点石成金”的主要路径。目前，全国稀土永磁材料的产值约占稀土产业产值的70%，随着新能源汽车、风力发电、节能环保等新兴产业加速发展，工业永磁电机将会成为未来高性能钕铁硼永磁材料需求的主场。因此包头稀土研究院大力推进磁性材料产业链向应用端延伸，不断推动研究院战略布局向下游稀土永磁电机产业发展。包头稀土研究院之所以要在杭州设立分院，旨在利用杭州的地域优势，吸引更多高端的人才进行科研项目攻关，成立两年来，杭州分院以稀土永磁电机、磁性材料、稀土金属及合金、稀土功能化合物为主要方向做发展布局。目前已经和浙江大学等学校在稀土永磁电机器件与装备开发等方面开展了深入合作。本次实习实践主要内容是与包头稀土研究院杭州分院共同研究稀土永磁同步电机在高温以及强退磁磁场下的永磁体退磁问题。钕铁硼Nd₂Fe₁₄B因其高磁性能、

高抗腐蚀性和良好的机械加工性被用作IPMSM的磁钢。但钕铁硼的居里温度较低，容易在高温环境、大电流及退磁磁场的影响下产生退磁现象。而永磁体磁性减弱会导致需要施加更大的电流才能维持负载，这将会进一步恶化永磁体退磁的情况。因此，永磁体退磁故障的早期在线监测并对永磁同步电机的控制策略调整以防止不可逆失磁加深具有重要意义。

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)

本人在实践探索中首先探究了稀土永磁材料在宏观和微观上的退磁因素和退磁机理，并通过磁滞曲线和内禀退磁曲线分析了永磁体的宏观退磁过程，对可逆失磁和不可逆失磁分别做出分析。针对永磁体微观下退磁现象的演化规律，采用磁光克尔显微镜对富钕永磁体在外磁场作用下退磁的过程进行观测。为探究车用永磁同步电机中磁钢退磁过程除磁畴外是否会对永磁体的晶界结构产生影响，实践中采用350℃-

450℃的温度作用于42UH牌号的钕铁硼永磁体两个小时使其彻底失去磁性，以模拟电机运行中永磁体在高温下的失磁过程。采用扫描电子显微镜对钕铁硼永磁体充磁前和退磁后的形貌与结构分别进行观察。实验结果表明，钕铁硼永磁体在经过充磁、压铸成型填充到电机中，工作在恶劣工况下所产生的不可逆失磁不会对晶界结构造成明显影响。

其次，由于电机运行过程中永磁体磁链的幅值直接表征永磁体的退磁与否，所以采用在线辨识磁链的方法能够实时监测永磁体的健康状态。因此，实践中采用离线标定和在线辨识相结合的方案以及信号注入的多参数辨识方法对电机的磁钢状态监测开展研究，重点辨识永磁体

磁链。在该方案中,首先通过离线测试建立dq轴电感电流查找表,在电机运行时采用反电动势模型对磁链进行辨识。在信号注入的多参数辨识方法中,采用在d轴注入方波和三角波的形式,分别推导了两种信号注入法的参数辨识公式。仿真和实验表明,所提出的磁链检测方法实现了磁钢发生退磁工况下的在线检测,并对比和分析了不同的磁链检测方法的检测精度和适用领域。

最后,针对车用内嵌式永磁同步电机发生退磁的工况下,进行控制策略的调整,以防止退磁故障加深并实现容错控制。实践中首先分析了内嵌式永磁同步电机在dq轴电流平面中的运行曲线和特征点,在矢量控制的约束条件下,划分最大转矩电流比、最大转矩电压比和弱磁控制之间的切换逻辑,并通过联立求解各区域转矩和转速的临界值。然后根据牛顿迭代法求解给定转矩下不同控制区域下的dq轴电流最优参考值。针对内嵌式永磁同步电机的磁钢发生退磁后的防退磁控制策略,通过采用离线标定和在线辨识相结合的方案实现对永磁体状态实施在线监测后,根据永磁体的健康状态对控制系统进行校正。并综合考虑国际标准设立退磁安全阈值,当永磁体退磁超过阈值时对给定转矩限制进而减弱d轴电流,以减小其产生的退磁磁场,防止永磁体退磁故障加深。仿真和基于实际电机台架的实验数据表明所提方法对给定转矩和电流均达到了限制作用。针对磁钢发生退磁后内嵌式永磁同步电机的控制参数失配导致控制性能降低的问题,实践中提出一种基于参数校正的内嵌式永磁同步电机有限集模型预测电流控制,在电机的参数发生变化的情况下特别是在永磁体退磁工况下将辨识的参数实时更新到常规有限集模型预测电流控制中,实现了在内嵌式永磁同步电机发生退磁工况下的容错控制。仿真结果表明,与基于电机标称参数的常规有限集模型预测控制策略相比,所提方法在永磁体发生失磁的工况下减小了电流预测误差并能有效减少电机转速的运行误差,且该方法不受电机参数初值影响,具有较强的鲁棒性。

综上所述,实践中探究了稀土永磁材料宏观和微观上的退磁机理,并采用磁光克尔显微镜和扫描电子显微镜分别对富铈永磁体的磁畴以及钕铁硼晶界的演化规律进行探究。基于永磁体退磁工况的动态监测可为内嵌式永磁同步电机控制系统提供准确的永磁体健康状态,结合磁链的辨识结果对内嵌式永磁同步电机发生退磁工况下的控制策略调整,避免了永磁体发生的退磁故障程度进一步加深并使内嵌式永磁同步电机在发生退磁故障的工况下实现容错控制。仿真和实验验证了本次实践中所提方法的有效性,有助于拓展车用内嵌式永磁同步电机在使用环境恶劣、可靠性要求高的工况下的应用。

(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
FCS-MPC of IPMSM Based on Online Parameter Identification Under Demagnetization Condition of Permanent Magnet	会议论文	2024年11 月06日	SCEMS 2024	1/5	EI会议收 录
考虑等效电磁损耗电阻 偏移的永磁同步电机 直流信号注入在线参数 辨识方法	核心期刊	2023年11 月01日	电工技术学 报	2/4	EI期刊收 录
“华为杯”第二十届中 国研究生数学建模竞赛	获奖	2023年11 月01日	“华为杯” 第二十届中 国研究生数 学建模竞赛 三等奖	1/3	

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: 83 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: 81 分
本人承诺	
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!	
申报人签名: 袁浩	

6/20/94

学位资格审核评价:

浙江大学研究生院
攻读硕士学位研究生成绩表

学号：22260219	姓名：袁浩	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：27.0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	金属学原理与先进合金材料		2.0	88	专业学位课	2022-2023学年秋冬学期	研究生英语		2.0	76	公共学位课	
2022-2023学年秋季学期	工程技术创新前沿		1.5	89	专业学位课	2022-2023学年春季学期	自然辩证法概论		1.0	79	公共学位课	
2022-2023学年秋季学期	电子电力系统电磁兼容设计基础		2.0	81	专业选修课	2022-2023学年春夏学期	高阶工程认知实践		3.0	87	专业学位课	
2022-2023学年冬季学期	工程中的有限元方法		2.0	96	专业选修课	2022-2023学年春夏学期	工程伦理		2.0	76	公共学位课	
2022-2023学年冬季学期	材料现代研究方法与应用实践		2.0	80	专业学位课	2022-2023学年夏季学期	研究生英语基础技能		1.0	63	公共学位课	
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	89	公共学位课	2023-2024学年秋季学期	创新创业实践训练		2.0	通过	专业选修课	
2022-2023学年秋冬学期	研究生论文写作指导		1.0	86	专业学位课		硕士生读书报告		2.0	通过		
2022-2023学年冬季学期	产业技术发展前沿		1.5	93	专业学位课							

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：2025-06-10

2024 IEEE 7th Student Conference on Electric Machines and Systems (SCEMS)
6-8 Nov. 2024

Search within results

Download PDF

for hao yuan

Author

Affiliation

Quick Links

Search for Upcoming Conferences

☐ Select All on Page

Sort By Sequence

☐ FCS-MPC of IPMSM Based on Online Parameter Identification Under Demagnetization Condition of Permanent Magnet

Hao Yuan; Xinmeng Fang; Shiwei Wang; Huan Yang; Rongxiang Zhao

Publication Year: 2024 , Page(s): 1 - 6

Abstract

HTML

FCS-MPC of IPMSM Based on Online Parameter Identification Under Demagnetization Condition of Permanent Magnet

Publisher: IEEE Cite This PDF

Hao Yuan; Xinmeng Fang; Shiwei Wang; Huan Yang; Rongxiang Zhao All Authors

75
Full
Text Views



Abstract Document Sections I. Introduction II. Model Predictive Control of Ipmsm III. Parameter Identification Based on Square Wave Signal Injection IV. FCS-MPCC Based on Parameter Correction V. Simulation Verification Show Full Outline Authors Figures References Keywords Metrics	Abstract: In permanent magnet synchronous motors (PMSM), the permanent magnet can easily demagnetize under high temperature and high-speed conditions due to the action of demagnetizing current. The stator resistance and stator inductance also vary with the operation of the motor. These parameter variations hinder the optimal performance of finite control set model predictive control (FCS-MPC). This paper proposes a Finite Control Set Model Predictive Current Control (FCS-MPCC) based on parameter identification methods for interior permanent magnet synchronous motors (IPMSM), which can implement model current predictive control under conditions of parameter variations. The recursive least squares (RLS) method with a forgetting factor was used to achieve online real-time identification of four electrical parameters, namely stator resistance, d-axis inductance, q-axis inductance, and magnetic flux. The identified parameters are updated in real-time into the model predictive control, achieving FCS-MPC under conditions of magnet demagnetization. Simulation results show that, compared to conventional FCS-MPC strategies based on motor nominal parameters, the proposed method reduces current prediction errors and effectively reduces motor speed fluctuation under conditions of magnet demagnetization. This paper contributes to expanding the application of IPMSM under conditions leading to magnet demagnetization, such as high temperature or high-speed states. Published in: 2024 IEEE 7th Student Conference on Electric Machines and Systems (SCEMS) Date of Conference: 06-08 November 2024 Date Added to IEEE Xplore: 25 November 2024 DOI: 10.1109/SCEMS63294.2024.10756343 Publisher: IEEE Conference Location: Macao, Macao ▼ ISBN Information: Electronic ISBN:979-8-3503-6694-5 Print on Demand(PoD) ISBN:979-8-3503-6695-2 ▲ ISSN Information: Electronic ISSN: 2771-7577 Print on Demand(PoD) ISSN: 2771-7550
---	---

DOI: 10.19595/j.cnki.1000-6753.tces.230176

考虑等效电磁损耗电阻偏移的永磁同步电机 直流信号注入在线参数辨识方法

马银林^{1,2} 袁浩^{1,2} 尹威^{1,2} 杨欢^{1,2}

(1. 浙江大学电气工程学院 杭州 310027)

2. 浙江省电机系统智能控制与交流技术重点实验室 杭州 310027)

摘要 在实际运行过程中, 永磁同步电机的电气参数将受到温度、磁饱和等诸多物理因素的影响而发生偏移, 进而影响到效率最优控制、电流解耦控制等优化算法的运行效果。因此, 为实现高性能电机控制, 永磁同步电机的多电气参数在线辨识显得尤为重要。然而, 现有参数辨识方法并未考虑铁磁损耗的影响, 更未关注铁磁损耗随电流的偏移情况, 所以在辨识精度上仍存在提升空间。对此, 该文综合考虑铁磁损耗、铜损, 将其集总为电磁损耗, 并基于串联电磁损耗电阻模型, 提出一种考虑等效电磁损耗电阻偏移的永磁同步电机直流信号注入在线参数辨识方法。该方法首先提出等效电磁损耗电阻随电流偏移的电机模型; 其次由此设计同时考虑磁饱和、等效电磁损耗电阻偏移的直流信号注入在线参数辨识方法; 由于待求解方程组较多, 采用最小方均算法进行参数求解; 最后通过实验测试所提方法的准确性, 测试结果表明, 与正弦信号注入法、传统直流信号注入法相比, 所提方法的参数精度有所提升。

关键词: 永磁同步电机 电磁损耗 参数辨识 直流信号注入

中图分类号: TM341

0 引言

永磁同步电机 (Permanent Magnet Synchronous Machine, PMSM) 因具有高功率密度、高运行效率等诸多特点, 而被广泛应用于电动汽车、家用电器、工业制造等领域^[1-2]。在实际运行中, 永磁同步电机的电气参数, 包括永磁体磁链、定子电阻、铁损电阻、交直流电感等, 由于受到温度、磁路分布与磁饱和等因素影响, 会发生偏移^[3-4]。电气参数偏移会严重影响电机的控制性能, 例如: 基于损耗模型的最大效率控制, 其优化性能依赖定子电阻、铁损电阻的精度^[5]; 转矩观测器的估测性能与永磁体磁链、交直流电感的准确性密切相关^[6]; 交直流电流解耦控制也需要精确的电机参数进行配合^[7]。因此, 多电气参数在线辨识是实现电机高性能控制的关键。

要实现永磁同步电机多电气参数在线辨识, 最核心需要解决的是电机特征方程组的欠秩问题, 即特征方程数量小于待辨识电气参数, 电气参数不能被唯一、准确地确定^[8]。目前, 解决欠秩问题的技术路线包括: ①减少辨识参数数量^[9-12]; ②增加特征方程数量^[13-21]。

其中, 减少辨识参数数量的方法可细分为: 将部分参数视为固定值^[9-11]; 分步辨识, 即将参数根据变化时间常数分为温度敏感、电气敏感两组, 每次仅辨识其中一组参数^[12]。然而上述两类方法, 前者仍存在部分参数无法在线辨识; 后者也面临严苛的初值问题, 若初值出错将产生极大误差。

增加特征方程数量的方法包括: 考虑电流纹波影响, 建立动态电流方程^[13-15]; 通过信号注入增加特征方程^[16-21]。根据信号类型, 信号注入法可分为高频正弦信号注入法^[16-18]、直流信号注入法^[19-21]。其中, 电流纹波法并未考虑磁饱和的影响, 并且在实际应用中需借助高采样率硬件电路测量电流变化率, 应用门槛较高; 考虑到电机损耗的频变特性,

国家自然科学基金 (52177062) 和中央高校基本科研业务费专项资金 (226-2022-00011) 资助项目。

收稿日期 2023-02-16 改稿日期 2023-06-05



中国研究生创新实践系列大赛

“华为杯”第二十届中国研究生数学建模竞赛

"HUAWEI CUP" THE 20TH CHINA POST-GRADUATE MATHEMATICAL CONTEST IN MODELING

获奖证书

浙江大学 袁浩 同学

荣获“华为杯”第二十届中国研究生数学建模竞赛

三等奖



二〇二三年十二月

编号 D2023301251