**外国专家项目申报诚信承诺书**

本承诺书适用于2022年度“高端外国专家引进计划”、“一带一路”创新人才交流外国专家项目和“外国青年人才计划”。

本人 齐昕 来自 北京科技大学 作为 具有高动态特性的低开关频率最优脉宽调制预测控制方法研究 的项目负责人，特郑重承诺如下：

1. 切实承担用人单位主体责任，承诺在项目申报过程中填写、提交的所有申报材料都是真实、有效的，杜绝弄虚作假。
2. 在项目形式审查阶段，通过公开的正当渠道补充项目申报材料或说明项目相关情况，不与评审专家及评审工作人员私下接触。
3. 在项目评审阶段，杜绝请托行为，遵守《科学技术活动评审工作中请托行为处理规定》，不向评审专家及评审工作人员寻求关照、谋取不正当利益，不干扰评审专家的评审工作。
4. 项目获批立项后，严格按照国家有关项目和经费管理规定使用外专经费，杜绝虚报、冒领、截留经费等行为。
5. 遵守《关于进一步加强科研诚信建设的若干意见》规定，切实履行科研诚信建设的主体责任。

本人将严格遵守本承诺，如有违反，本人愿接受项目管理部门做出的各项处理决定。

项目负责人签字：

年 月 日

系统编号：110000201420220018

项目类型：团队项目

**高端外国专家引进计划申报书**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项 目 名 称 |  | 具有高动态特性的低开关频率最优脉宽调制预测控制方法研究 |
| 项 目 单 位 |  | 北京科技大学机械工程学院 |
| 项目管理负责部门 |  |  |
| 填 报 日 期 |  | 2022年04月10日 |

科学技术部印制

2021年06月

填报说明

一、申请表各项内容，实事求是，逐条认真填写。表达明确、严谨，字迹清晰。

二、栏目填写无字数限制，请按实际需要填写详细内容。

三、栏目填写要求：

项目名称——应确切反映项目工作内容和研究方向，最多不超过50个汉字（包括标点符号）。

项目单位——按单位法人（公章）填写全称，不要填写简称。

项目管理负责部门——是指各省、自治区、直辖市、计划单列市、副省级城市科技厅（委、局），新疆生产建设兵团科技局，国务院有关部委和直属机构、部委所属高等学校、有关集团公司外专工作管理负责部门。

行业领域——是指外国专家项目所属行业或学科，具体按软件提示选择。

单位性质——（企事业单位、政府部门、研究院所）具体按软件提示选择。

项目概况——简要介绍项目的总体情况，包括项目背景介绍、国内外发展情况及存在的主要差距、前期引进外国专家工作基础、项目总体目标和规划、拟引进外国专家的行业水平、拟解决的主要问题等。

项目负责人意见——必须有中方项目负责人签字和盖章。

项目单位意见——必须有负责人签字，加盖单位公章。

项目管理负责部门意见——必须有负责人签字，加盖单位公章。

拟聘请专家情况表——专家姓名必须有英文全名；国别地区、所属专家组织按软件提示填写。

四、相关部门意见及签字盖章页扫描后上传。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目名称 | | | 具有高动态特性的低开关频率最优脉宽调制预测控制方法研究 | | | | | 项目起止日期 | | | | | 2022-01-01 至 2023-12-31 | | | | | | |
| 学科 | | | 电气工程 | | | | | 行业领域 | | | | | 工程与材料科学 | | | | | | |
| 项目单位  基本情况 | | 单位  名称 | 北京科技大学机械工程学院 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 通讯  地址 | 海淀区学院路30号北京科技大学机械工程学院机电系 | | | | | | | | 邮政  编码 | | | 100083 | | | | | |
| 项目  负责人 | | 姓名 | | 齐昕 | | 职务/职称 | 副教授 | | 电子  邮件 | | | ixin2006@ieee.org | | | | 联系电话 | | 62334963 | |
| 项目  联系人 | | 姓名 | | 齐昕 | | 职务/职称 | 副教授 | | 电子  邮件 | | | ixin2006@ieee.org | | | | 联系电话 | | 62334963 | |
| 项目单位简介 | | | 单位性质、实力、技术水平、行业地位等 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **项目依托科研项目（平台、计划）情况** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 序  号 | 依托**项目（平台、计划）**类型 | | | | 依托**项目（平台、计划）**名称 | | | | | 立项编号 | | | | | 开始  年月 | | 结束  年月 | | 是否  长期 |
|  |  | | | |  | | | | |  | | | | |  | |  | |  |
|  |  | | | |  | | | | |  | | | | |  | |  | |  |
|  |  | | | |  | | | | |  | | | | |  | |  | |  |
| 项  目  概  况 | | 项目背景、国内外发展情况及存在主要差距、前期引进外国专家工作基础、总体工作目标和规划  **一、项目背景**  2021年是我国“十四五”规划的开局之年，国家提出“双碳”目标，确立了我国风力发电系统向主流能源转变的战略目标[1]。2022年4月，国家能源局、科学技术部印发《“十四五”能源领域科技创新规划》，提出先进可再生能源的发展规划路线与总体目标。智能电网技术是我国“国家重点研发计划”当中的重要内容，风力发电系统并网技术为其中的关键技术[2]，同时也是我国深入谋划推进“科技创新2030－重大项目”中的重要一环[3]。为力争在2030年前实现碳达峰、2060年前实现碳中和，亟需以风电等低碳发电模式代替传统高污染的发电模式。  **并网逆变器是风力发电系统的核心**，能够将风能产生的直流电能逆变为交流电能，经滤波器滤波后并入电网。大功率并网逆变器受限于功率器件的电压容量，通常使用多电平、多重化的拓扑结构。复杂的拓扑结构往往带来系统体积增加、控制复杂、功率分布不均衡等问题，而较高的关断电压和导通电流会导致半导体功率器件较高的开关损耗，这对功率器件的安全运行和系统散热带来较大的压力。为了减小大功率逆变器的损耗，一方面可以使用多电平逆变器拓扑结构，以减小功率器件的承载电压；另一方面，也可以通过**降低开关频率从根本上减小开关损耗。**Holtz教授在文献[4]中证明了，降低开关频率可以有效增加半导体器件的容量，如图1所示，当开关频率从800Hz下降到200Hz时，逆变器的有效输出电流从280A增加到580A，这意味着可以在不改变硬件的条件下，以极低的成本提升系统的输出能力。在中高压、大功率风电并网系统当中，受系统效率、体积和成本的约束，逆变器功率器件的开关频率一般低于1kHz，甚至只有数百赫兹[5]。  **图1 最大电流和开关频率之间的关系**  **二、国内外发展情况及存在主要差距**  开关频率是影响电能质量的重要因素之一，大功率逆变器通常需要工作在低开关频率状态下，而采用常规的逆变器控制策略，如正弦脉宽调制技术(sinusoidal pulse width modulation，SPWM)和空间矢量脉宽调制技术(space vector pulse width modulation，SVPWM)，其逆变器输出信号的谐波含量会随着开关频率的降低而急剧上升，影响电能质量与电网安全。此时需要配备体积较大，成本较高的无源滤波器对系统谐波加以滤除，以满足系统并网的标准。随着并网逆变器容量的增大和开关频率的降低，逆变器输出性能与设备成本、开关损耗之间的矛盾日益突出。为了解决这一问题，国内外学者开始对低开关频率下的逆变器开关策略展开研究[6]。  指定谐波消除脉宽调制技术(selective harmonic elimination pulse width modulation，SHEPWM)可以在非常低的开关频率下消除指定次谐波[7-9]，但在工程实际中SHEPWM技术存在一些问题。首先，SHEPWM技术的实时性较差，用于求解SHEPWM开关角的方程属于非线性超越方程，很难实时求解开关角。其次，SHEPWM技术属于一种开环调制策略，无法进行自动补偿，其控制效果受电网背景谐波等外界因素影响较大，系统的稳定性不高，响应时间相对较长。综上，传统逆变器调制技术已经逐渐难以满足当今的并网要求。  **针对上述脉宽调制技术存在的问题，Holtz教授于1983年首次将预测控制方法引入到电力电子领域中,**为预测控制在电力电子领域的应用奠定了基础[10]。受限于芯片的计算性能，预测控制方法在早期没有引起足够的重视，近年来，随着微处理器的迅猛发展，预测控制方法在电力电子领域获得了越来越多的关注，逐渐成为当今的研究热点[11]。在并网整流逆变控制领域，Kouro教授研究了一种应用于两电平逆变器的预测控制方法[12]，Vargas教授基于三电平逆变器建立了一种多因素控制的预测控制模型[13]。此外，模型预测控制在多电平逆变器中的应用也得到了一定的发展[14-16]。  目前，基于权重形式的预测控制方法主要分为两大类：连续控制集模型预测控制（continuous control set-model predictive control, CCS-MPC）以及有限控制集模型预测控制（finite control set model predictive control，FCS-MPC）[17]。CCS-MPC先通过预测获得电压矢量参考信号，再采用SPWM或SVPWM策略进行调制，然后输出逆变器的开关状态[18]。该方法不是基于功率变换器的离散特性进行预测，因此并不直接控制逆变器的输出，而是依赖于脉宽调制策略控制逆变器的开关状态。然而脉宽调制策略的控制性能与开关频率息息相关，当开关频率降低到1kHz以下时，控制系统的性能会急剧恶化[19]，因此这种方法并不适用于低开关频率的应用场合。FCS-MPC可以在连续多个采样周期的时长内，选择同一个电压矢量，使逆变器保持在相同的开关状态，因此FCS-MPC更适合于低开关频率的应用场合[20]。  国外学者针对预测控制方法进行了相关研究：Rodriguez教授提出了一种应用在两电平并网逆变器的预测控制方法，该方法使用系统的离散时间模型，预测各电压矢量作用下电流的变化情况，并计算对应的代价函数，在下一中断周期选择使代价函数取值最小的电压矢量[21]。该预测控制方法相较于传统脉宽调制方法而言，可以有效的控制负载电流，拥有良好的控制性能。Young教授于文献[22]中将预测控制方法与基于空间矢量调制的同步PI控制策略（PI-SVM）进行了全面比较，结果显示模型预测控制比PI-SVM在稳态和瞬态下的电流调节效果更好、瞬态响应更快，并且具有较好的d、q轴电流解耦能力。ABB公司Vedrana Spudic设计了一种基于最优脉宽调制的中压静态同步补偿器预测控制系统。通过预测控制方法对最优脉宽调制的开关序列进行快速修正，同时，解决了中压静态同步补偿器中固有的控制问题，实现了对瞬态和功率阶跃的快速响应，补偿了网侧耦合点上负序谐波电流[23]。澳大利亚学者Aguilera于文献[24]中提出了一种模型预测控制方法，该策略结合了FCS-MPC和SHEPWM调制技术，以控制多级功率转换器。在瞬态过程中使用预测控制方法对转换器的参考电流进行跟踪，以获得快速的动态响应；而在稳态下采用SHEPWM调制技术使系统在低开关频率下获得期望的电压和电流频谱。  与此同时，国内学者也取得了一定的研究成果：苏州大学杨勇副教授团队针对三相并网逆变器的特点，在dq旋转坐标系下，提出了一种模型电流预测控制方法。该方法对三相并网逆变器的所有开关状态进行在线评估，并且在下一个采样周期应用使代价函数取值最小的电压矢量，实现了较好的控制效果，但是该方法需对所有开关状态进行轮询，计算量较大，增加了硬件的计算压力[25]。华南理工大学康龙云教授团队针对这一问题在文献[26]中对模型预测控制的寻优方法进行了改进，降低了预测控制的计算压力，具有良好的动态性能。上海电力学院的杨兴武副教授团队提出了一种应用于单相并网逆变器的模型预测控制方法，该方法以实际电流和参考电流的跟踪误差设计代价函数，可以在电流跟踪效果良好的同时大幅度降低开关损耗，但是该方法会增加系统3次谐波以及5次谐波的含量，对电能质量有一定影响[27]。浙江大学的吕征宇教授团队于文献[28]中提出了一种有限集最优预测控制方法，利用输出电流误差、中点不平衡电压和器件开关次数构建代价函数，实现了多变量的预测控制。该方法响应速度快，输出波形质量也较高，但其控制效果过于依赖权重系数的选择，同时，外界的随机干扰较大时，系统难以维持稳定。南昌航空大学的刘斌副教授在文献[29]中提出了一种离散型电流模型预测控制策略。该策略对系统的跟踪性能、开关频率以及大电流开关损耗进行综合考虑，通过滚动寻优，实现了系统的最优控制。这一方法可以有效降低系统的开关损耗与处理器的运算负担。广东工业大学赵卓立教授团队在文献[30]中提出一种预测控制策略，该策略通过对电压微分的实时跟踪，有效减少了减少THD，进而提高了参数鲁棒性；同时，延迟补偿的加入可对谐波进行有效控制，减少了输出电压的谐波含量。  **权重系数的选择是模型预测控制所特有的问题。**在并网逆变器系统中，需要控制的目标包括并网电流、并网谐波、开关频率等。选择合适的权重系数以实现目标控制效果之间的最佳平衡并非易事。最常用的方法是通过反复试凑，来测试不同权重系数组合的控制效果，但此过程耗时较大，效率较低。多个目标的协调控制需要使用多个权重系数，由于各个目标之间相互影响、相互制约，这导致权重系数的选择成为一个难题[31]。Rodriguez教授针对这一问题，在文献[32]中给出了预测控制在控制多个目标时权重系数的整定策略，通过调节权重系数可以实现系统综合性能的优化。  此外，预测控制技术需要将所有开关状态分别代入代价函数进行寻优比较，**因此不可避免的存在计算量大的问题。**为了减小预测控制方法的计算量，Ghosh教授在文献[33]中提出了一种并网逆变器控制新方法，其根据参考电流计算参考电压，随后根据参考电压筛选备选矢量，减少了计算次数，可以在保持良好控制效果的同时降低控制器的计算量。  综上，当前国内外学者在预测控制领域已经取得了不少成果，但还有一些值得进一步研究的问题：  （1）目前在电网系统研究中主要以标量形式的模型预测控制为主，而复矢量分析方法可以从一种全新的角度对模型预测控制进行诠释。其不仅表达形式简洁，而且非常适合描述具有高动态特性的电力系统。因此，需对基于空间复矢量的电能质量分析方法进行系统性、理论性的研究，以便将复矢量分析方法引入到电网系统的预测控制中。  （2）权重系数的选择也是困扰众多学者的一大问题。虽然代价函数具有控制要素多，鲁棒性强的优点，但各控制要素之间的复杂耦合关系使得最优权重系数的确立在学界中难以达成统一。目前学者们通常使用仿真软件，以试凑法来测试不同权重系数组合的控制效果，其耗时量大，且难以得到最优的权重系数。因此亟需探索出一种快速高效的权重系数调节方法。  （3）传统有限状态集预测控制为达到最佳控制效果，需要选择出最优矢量，且最优矢量常通过轮询所有矢量获得。然而，受矢量集合大小以及计算效率的影响，算法的计算耗时往往较长，这会导致系统难以拥有较高的实时性。因此需对预测控制算法的优化进行研究，以满足系统的高动态特性要求。  预测控制正在逐步取代最优脉宽调制技术，成为一种具有高动态特性的低开关频率中高压逆变器驱动控制新方法。然而，传统预测控制方法中存在一些缺陷，这限制了该方法在工程实际中的进一步拓展。为此，本课题将针对空间复矢量的电能质量分析方法、权重系数的调节策略、预测控制算法的高实时性优化等问题开展研究。最终探索出一种具有高动态特性的低开关频率脉宽调制预测控制方法，为推进风电并网系统逆变驱动技术的基础性研究工作和预测控制方法的工业实际应用提供有力的理论指导，也有助于早日实现“双碳”目标、助力“十四五”规划圆满完成。  **参考文献**  [1]习近平. 在第七十五届联合国大会一般性辩论上的讲话[EB/OL].[2020-09-22].http://www.gov.cn/gongbao/content/2020/content\_5549875.htm  [2]科学技术部. 工业和信息化部产业发展促进中心关于国家重点研发计划“储能与智能电网技术”等重点专项填报2021年度项目申报书（含预算申报书）的通知[EB/OL].[2021-08-27].https://service.most.gov.cn/kjjh\_tztg\_all/20210827/4526.html  [3]人民日报. 科技创新2030—重大项目启动[EB/OL].[2017-02-20].http://www.gov.cn/xinwen/2017-02/20/content\_5169236.htm  [4]Holtz J , Qi X . Optimal Control of Medium-Voltage Drives—An Overview[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2013, 60(12):5472-5481.  [5]Beig A R , Kanukollu S , Hosani K A , et al. Space-Vector-Based Synchronized Three-Level Discontinuous PWM for Medium-Voltage High-Power VSI[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2014, 61(8):3891-3901.  [6]Edpuganti A , Rathore A K . A Survey of Low Switching Frequency Modulation Techniques for Medium-Voltage Multilevel Converters[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2015, 51(5):1-1.  [7]张艳莉,费万民,吕征宇,姚文熙.三电平逆变器SHEPWM方法及其应用研究[J].电工技术学报,2004(01):16-20+54.DOI:10.19595/j.cnki.1000-6753.tces.2004.01.005.  [8]Zhang Y , Li Y W . Investigation and Suppression of Harmonics Interaction in High-Power PWM Current-Source Motor Drives[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2014, 30(2):668-679.  [9]Dahidah M S , Konstantinou G , Agelidis V G . A Review of Multilevel Selective Harmonic Elimination PWM: Formulations, Solving Algorithms, Implementation and Applications[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2015, 99(8):1-16..  [10]Holtz J . A predictive controller for the stator current vector of AC machines fed from a switched voltage source[J]. Proc. of IEE of Japan IPEC-Tokyo'83, 1983.  [11]牛峰,韩振铎,黄晓艳,张健,李奎,方攸同.永磁同步电机模型预测磁链控制[J].电机与控制学报,2019,23(03):34-41.DOI:10.15938/j.emc.2019.03.005.  [12]Kouro S , Cortes P , Vargas R , et al. Model Predictive Control—A Simple and Powerful Method to Control Power Converters[C]// IEEE. IEEE, 2009:1826-1838.  [13]Vargas R , P Cortés, Ammann U , et al. Predictive Control of a Three-Phase Neutral-Point-Clamped Inverter[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2007, 54(5):2697-2705.  [14]何志兴,罗安,熊桥坡,马伏军,雷博,周乐明.模块化多电平变换器模型预测控制[J].中国电机工程学报,2016,36(05):1366-1375.DOI:10.13334/j.0258-8013.pcsee.2016.05.023.  [15]Barros J D , Silva J , Jesus, É. G. A. Fast-Predictive Optimal Control of NPC Multilevel Converters[J]. Industrial Electronics IEEE Transactions on, 2013, 60(2):p.619-627.  [16]Riar B S , Geyer T , Madawala U K . Model Predictive Direct Current Control of Modular Multilevel Converters: Modeling, Analysis, and Experimental Evaluation[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2015, 30(1):431-439.  [17]柳志飞,杜贵平,杜发达.有限集模型预测控制在电力电子系统中的研究现状和发展趋势[J].电工技术学报,2017,32(22):58-69.DOI:10.19595/j.cnki.1000-6753.tces.160399.  [18]盛明钢,沈安文,罗欣.一种简化的PMSM连续控制集模型预测电流控制[J].微特电机,2019,47(05):36-40+46.  [19]Qi X , Holtz J . Modeling and Control of Low Switching Frequency High-Performance Induction Motor Drives[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2020, 67(6):4402-4410.  [20]齐昕,苏涛,周珂,杨建成,甘新鹏,张永昌.交流电机模型预测控制策略发展概述[J].中国电机工程学报,2021,41(18):6408-6419.DOI:10.13334/j.0258-8013.pcsee.200840.  [21]Rodriguez J , Pontt J , Silva C , et al. Predictive current control of a voltage source inverter[C]// 2004 IEEE 35th Annual Power Electronics Specialists Conference (IEEE Cat. No.04CH37551). IEEE, 2004.  [22]Young H , Rodriguez J . Comparison of finite-control-set model predictive control versus a SVM-based linear controller[C]// European Conference on Power Electronics & Applications. IEEE, 2013.  [23]Spudic V, Geyer T. Model Predictive Control based on Optimized Pulse Patterns for Modular Multilevel Converter STATCOM[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2019, 55(99):6137-6149.  [24]Aguilera R P , P Acuña, Lezana P , et al. Selective Harmonic Elimination Model Predictive Control for Multilevel Power Converters[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2016, 32(3):2416-2426.  [25]杨勇,赵方平,阮毅,赵春江.三相并网逆变器模型电流预测控制技术[J].电工技术学报,2011,26(06):153-159.DOI:10.19595/j.cnki.1000-6753.tces.2011.06.024.  [26]程建材,康龙云,胡毕华,冯元彬.三电平并网逆变器恒定开关频率的模型预测控制[J].电力自动化设备,2019,39(05):169-175.DOI:10.16081/j.issn.1006-6047.2019.05.025.  [27]杨兴武,冀红超,甘伟.基于模型预测控制的并网逆变器开关损耗优化方法[J].电力自动化设备,2015,35(08):84-89.DOI:10.16081/j.issn.1006-6047.2015.08.013.  [28]王鹿军,王仕韬,周峰武,吕征宇.中点钳位型三电平并网逆变器有限集最优预测控制[J].电力系统自动化,2013,37(21):190-195.  [29]刘斌,夏龙清,李俊,伍家驹,李德伟.并网逆变多目标约束预测控制器设计及在线算法[J].中国电机工程学报,2014,34(30):5277-5286.DOI:10.13334/j.0258-8013.pcsee.2014.30.003.  [30]张杰雄,严柏平,成润婷,赵卓立,赖来利.抑制分布式电源输出电压谐波的预测控制研究[J].可再生能源,2022,40(03):362-367.  [31]Davari S S , Khaburi D , Kennel R . An Improved FCS–MPC Algorithm for an Induction Motor With an Imposed Optimized Weighting Factor[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2012, 27(3):1540-1551.  [32]RodrIguez J , P Cortés. Predictive Control of Power Converters and Electrical Drives[M]. 2012.  [33]Ghosh R , Tummuru N R , Rajpurohit B S . Model Predictive Control for Three Level Neutral Point Clamped Inverter With Reduced Numbers of Switching State Combinations[C]// 2019 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE). IEEE, 2019.  **三、前期引进外国专家工作基础**  Joachim Holtz教授是电机、自动控制以及电力电子领域的知名学者，国际上公认的电机界权威，是三电平逆变器的发明者，预测控制方法的创始人。申请人基于我校引智项目，连续三年（2016至2018，每年25天）邀请Holtz教授来校指导科研工作，在其指导下顺利完成自然科学基金青年基金项目《低开关频率三电平感应电机驱动系统最优预测控制研究》。同时，连续三年（2019至2021）在国家外国专家局项目的支持下，邀请Holtz教授针对预测控制方法的前沿研究方向开展交流合作。在国内举办多场专题学术研讨会，对在中压大功率驱动场合的预测控制方法进行了论述分析，推动了预测控制技术在国内的发展。由于Holtz教授在学术界的超凡影响力，前来参加研讨会的不仅有清华大学、北航、中国矿大、上海大学、北方工大等兄弟院校的老师和同学，还有来自中国兵器、英飞凌（Infineon）、博世（Bosch）、铁科院、北京精雕、科诺伟业等科研企业的专家。Holtz教授与申请人于2018年一同前往上海台达公司进行交流，与台达大功率电源研发部的应建平主任、甘鸿坚经理以及风电事业部的王长永处长、郎永强经理进行了交流，就大功率电源技术开发以及风电技术中存在的亟需解决的问题交换了意见，Holtz教授基于自己多年的经验与渊博的学识提出了许多切实有效的建议，并对未来的发展方向做了估计，大家都为教授的学识所折服。同年4月，Holtz教授与申请人一同与风电行业的领头羊企业金风科技进行了交流，金风科技的赵新龙经理和高宝峰工程师出席了交流会，会上Holtz教授展示了对风电影响特别大的五次和七次谐波的消除技术，引起参会人员的赞叹，增强了校企之间合作，为今后的科研合作奠定了基础。  **图2 Holtz教授国内访学指导经历**  2018年8月至2019年2月申请人以访问学者身份再次前往德国Wuppertal大学进行访学，与Holtz教授对基于复矢量形式的预测控制方法进行了探讨，制定了相关的研究方案，并于2020年在《IEEE Transactions on Industrial Electronics》（SCI一区，中科院一区，影响因子8.236）上合作发表了题为《The Relationship Between Root Locus and Transient Field Components of AC Machines》以及《Modeling and Control of Low Switching Frequency High-Performance Induction Motor Drives》两篇关于复数状态变量的高水平学术论文。2020年由于疫情的原因，与Holtz教授的交流合作转为线上，这期间在其指导下，申请人及其团队对预测控制方法的数学模型与理论基础、预测控制技术运用于风电等新能源领域的控制性能进行了研究探索，完成了运用于孤岛型微电网的标量形式预测控制谐波抑制方法研究，其控制策略的信号流图如图3所示。  **图3 标量形式的预测控制方法信号流图**  该方法可使控制系统开关频率降至700Hz，同时其输出PWM电压偶次谐波基本被消除，5th谐波占比为0.529%，7th谐波占比为0.195%，满足《电能质量 公用电网谐波GB/T 24337-2009》。然而标量形式的控制方式仅容易实现对幅值的控制，却忽略了对相位等因素的考虑。针对上述问题，申请人及其梯队在2022年初与Holtz教授合作，对基于空间电压矢量形式的预测控制方法从理论层面进行了初步探索，图4为其信号流图。  **图4 基于空间电压矢量形式的预测控制方法信号流图**  José Mario Pacas教授现任IEEE Power Electronics Society副主席，主要分管国际合作交流工作。申请人在德国留学期间就曾经与Pacas教授有过频繁的科研交流，且在2019年5月邀请其来校讲学交流，Pacas教授做了题为“电力驱动与电力电子技术”的学术报告。期间申请人所在团队与Pacas教授对微电网用逆变器的发展现状进行了深入探讨，并对电力电子技术推动“工业4.0”的发展进行了讨论，进一步的推动了我校在电力电子领域的国际接轨。2021年9月至12月期间，申请人与Pacas教授签署了科研合作的相关协议，Pacas教授就德国教学理念及人才培养进行了相关指导，在疫情环境下，通过邮件、电话以及线上会议的方式指导科研工作以及研究生的培养，并将在IEEE Transactions上合作发表高水平论文。  **图5 Pacas教授学术指导**  **四、总体工作目标和规划**  电能质量是风力发电系统重要的指标，利用电力电子器件实现高质量电能转换已成为研究热点。本课题拟提出一种具有高动态特性的低开关频率脉宽调制预测控制方法。该方法可有效抑制低次谐波分量，使谐波控制效果符合GB/T14549-1993的国家标准要求；能将开关频率降低至600Hz以下，减小开关损耗，提高输出效率；同时拥有高动态特性，可以实时调整，以便应用于具有高实时性要求的风电逆变系统中。为此，将研究内容分为以下四个研究子目标：  (1)提出基于复数形式空间电压矢量的谐波提取及分析方法。Holtz教授创立的空间电压复矢量理论体系，不仅表达形式简洁，而且非常适合描述具有高动态特性的电机驱动系统。为了分析高动态特性下的电网系统,将复矢量的概念推广至电网系统中；同时完备电网系统中复矢量分析理论；进而在此基础上提出基于空间复矢量的电能质量分析方法，为空间电压矢量在电网系统的拓展及应用建立理论基础。  (2)提出空间复矢量预测控制方法的权重系数调节策略。基波、各次谐波以及开关频率之间存在隐性的非线性耦合关系。预测控制虽然能以简约的代价函数降低各次谐波和开关频率，然而通过改变单个权重系数调整某个被控量时，势必会影响其他被控量。为此，需要探求能量在基波和各次谐波中迁移的物理机制；探索代价函数中基波、各次谐波以及开关频率之间的耦合关系；构建各控制要素以及权重系数之间的非线性映射数学模型，最终提出空间复矢量预测控制方法的权重系数调节策略。  (3)具有高实时性的空间复矢量预测控制算法优化。传统预测控制方法需要对所有可选矢量进行轮询，计算量大，计算时耗高。为了解决上述问题，提升算法实时性，本研究首先通过电流环的反馈来计算参考电压矢量，锁定搜索方位，确立备选矢量子集，精简轮询矢量数目，减少算法运算量；其次，利用各矢量的轮询过程相互独立且不存在因果关系的特点，基于并行计算方法思想，将轮询过程由顺序计算优化为同步并行计算，进一步提高计算效率，降低运算耗时。  (4)预测控制方法的软硬件实现及实验验证与推广。首先，在半实物仿真基础上对预测控制算法的性能进行初步测试；其次，搭建基于TMS320F28379D的微电网实验平台，并进行实验验证；最终，在Holtz教授以及Pacas教授的指导下，与金风科技、明阳智慧能源等国内风电龙头企业展开深入交流与合作，将提出的脉宽调制预测控制方法在实际工程中落地应用。 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 拟引进外国专家或团队的行业水平、能力，拟通过实施项目解决的主要问题、工作进度安排  **一、拟引进外国专家的行业水平、能力**  Joachim Holtz（**Life Fellow,IEEE**）教授是电机、自动控制以及电力电子领域的知名学者，国际上公认的电机界权威，是**三电平逆变器的发明者，空间矢量脉宽调制技术（SVPWM）、同步最优脉宽调制技术以及预测控制方法的创始人**。获得过**国际上素有电机与电子领域“诺贝尔”奖之誉的“蓝姆”金质奖章（Lamme Medal)，以及IEEE千禧奖章（Millennium Medal）**等多项具有影响力的国际大奖。IEEE Industrial Electronics杂志在IEEE Industrial Electronics分会成立60周年之际特别发行了专刊——“Honoring Prof. Joachim Holtz, his Outstanding Contributions in Power Electronics and Drives”，并以Holtz教授作为封面人物，该期专刊中多位知名学者撰文向其致敬。  **图6 Holtz教授学术成果奖励**  申请人博士学习期间，以国家公派留学生身份跟随Holtz教授进行交流电机控制技术的研究，并在其指导下完成了博士论文。Holtz教授的加入必定有助于本课题早日实现技术突破，获得可喜的研究成果。Holtz教授发表高水平（SCI影响因子>5）期刊论文100余篇，各类重要国际会议论文140余篇，应Processings of the IEEE之邀撰写长文2篇，并先后应邀为IEEE相关期刊撰文12篇，16次获得IEEE的杰出论文奖。具有丰富的论文撰写经验，可以对科研论文的撰写给予有力的指导，有助于我校高水平论文的发表。  此外，Holtz教授社会影响巨大，曾任IEEE Transactions on Industrial Electronics（影响因子7.5）期刊主编，联邦德国政府顾问，联合国开发计划署专家顾问，**现任IEEE Industrial Electronics分会会士（Fellow）委员会主席、奖项评审委员会主席、执行委员会终身委员以及IEEE Industrial Application分会IPCC奖项提名及评审委员会主席；**参与IEEE电力电子行业标准制定。Holtz教授桃李天下，培养出一批高水平的学者，这些学者现已普遍成为行业的领军人物，如西门子、WEG等公司的高级工程师、国外各大高校的教授、IEEE重要期刊的审稿专家。Holtz教授现依旧活跃在科研学术一线，作为IEEE杰出讲师参与IEEE Distinguished Lectures and Tutorials计划全球讲学。  Holtz教授丰富的办学经验可以对我校相关专业的发展给予切实的指导意见，有助于本专业的学术地位提升，在北京市重点学科的基础上进一步发展为国家重点学科。邀请Holtz教授来我校进行合作交流，开拓国际合作关系，有助于我校未来在电机以及电力电子领域申请国家级的重大合作项目。Holtz教授数次受申请人邀请来我校举办学术交流研讨会，不仅吸引了清华大学、中科院电工所、浙江大学、北交大、上海大学等兄弟院校的老师同学，还受到ABB、西门子、科尔摩根、英飞凌等业内知名企业工程师的关注与参与。Holtz教授在电力电子领域的学术成就必将推动国内相关行业的学术交流和发展，提升国内学术水平。  José Mario Pacas教授（**IEEE Power Electronics学会全球执行副主席**）为电力电子技术和智能制造传动和控制技术领域的知名学者。现任德国锡根大学电力驱动及电力电子技术研究所所长，IEEE-PELS学会全球执行副主席、IEEE Senior Member、IEEE-PELS会议副主席。Pacas教授专注电力电子和电机驱动技术的前沿性创新研究40余年，在IEEE Transactions on Industrial Informatics、IEEE Transactions on Industrial Electronics和国际学术会议上发表论文100多篇。Pacas教授先后任职于VDE（电气、电子和信息技术协会）、VDE.ETG（能源技术协会）、卡尔斯鲁厄技术大学、ABB伺服驱动器研究技术主管、锡根大学电力驱动及电力电子技术研究所所长。  此外**Pacas教授在IEEE-PELS学会主要负责国际间的交流合作**，邀请Pacas教授来参与本外专项目，有助于推动我校与国际知名专家的交流合作，并举办电力电子领域国际会议，以吸引更多的国外知名学者来华访问交流，推动中国科学技术的快速发展。同时，申请人已与Pacas教授签署相关合作协议，且Pacas教授任职于VDE、ABB期间负责了大量技术落地项目，这些经历将有助于本项目后期与金风科技、明阳智慧能源等国内风电龙头企业开展技术落地之间的合作。Pacas教授凭借其在研究领域深厚的国际影响力，可推动我国优秀企业的国际化发展，并在其支持下引进更多国外电力电子领域的优秀人才来华进行科技研究工作，为我国2030年的碳达峰战略做出重大贡献。  **二、拟通过实施项目解决的主要问题**  (1)空间电压矢量在电网系统应用中的拓展。空间电压矢量的概念源于交流电机矢量控制，以电机定子三相空间对称绕组为基础推导而来。因此如何基于电路理论，从电网结构出发，将空间电压矢量概念拓展至电能质量的控制应用中，并完备空间电压矢量的电工学理论体系，揭示空间电压矢量控制三相电压输出的物理机制，是开展后续理论研究工作的前提，也是本课题拟解决的关键核心问题之一。  (2)复数形式空间电压矢量的谐波提取及分析方法。传统标量形式下的频谱分析方法已不适用于矢量分析，因此，如何以离散傅里叶变换理论为基础，推导空间复矢量序列的谐波提取公式，并确立其应用条件，建立复矢量信号分析理论，形成基于空间复矢量的电能质量分析方法，是本项目拟解决的核心问题之一。  (3)空间复矢量预测控制方法权重系数调节策略的研究。如何探求能量在基波和各次谐波中迁移的物理机制；探索代价函数中基波、各次谐波以及开关频率之间的耦合关系；构建各控制要素以及权重系数之间的非线性映射数学模型，是实现权重系数最优化的基础，也是本项目拟解决的重要问题之一。  (4)具有高实时性的空间复矢量预测控制算法优化研究。如何针对控制对象的特征及其控制流程，降低算法的复杂度，减少算法计算量；并根据预测控制方法的特点，提升控制系统计算效率，实现算法优化，是本项目拟解决的主要问题之一。  **三、工作进度安排**  本科题拟用2年时间完成，每年各个季度的时间安排如下：  **表1 工作进度安排表** | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 配套情况和保障措施（包括中方合作团队工作水平、平台设备情况及其它生活保障机制）  **一、中方合作团队工作水平**  国内团队以北京科技大学机械工程学院机械电子工程系为主体，机械工程学院拥有包括中国工程院院士、国家杰出青年基金获得者、中国科学院“百人计划”研究员、全球IEEE RAS管理委员会委员等在内的高水平师资队伍和久负盛名的国家级教学团队。现有国家板带生产先进装备工程技术研究中心等4个国家级和省部级工程中心、重点实验室。申请人所在团队现有教授1人、副教授4人（Holtz教授从2015年起一直担任本课题组的学术顾问）、博士生1人、硕士生30人，团队在电机驱动控制、智能控制、嵌入式系统等方面具有较强的研究基础。近十年，在《IEEE Transactions on Industrial Electronics》、《中国电机工程学报》、《电机与控制学报》等国内外高水平学术期刊及重要国内外学术会议上发表论文50余篇，申请或授权相关的国家发明专利10余项。近5年，团队承担了包括国家自然科学基金项目、科学技术部国家外国专家局、国家重点研发计划重点专项、佛山市科技创新专项资金等相关项目20余项。  申请人为所在科研学术梯队负责人，申请人因在预测控制方法上的研究具有较大贡献，于2018年被评为IEEE Senior Member。周晓敏副教授曾作为访问学者在美国威斯康星大学麦迪逊分校的WEMPEC实验室跟随Robert Lorenz（IEEE Fellow）进行永磁电机无传感器驱动技术的研究，目前一直从事电力电子技术、智能控制等相关研究工作。马祥华副教授与巩宪锋副教授长期从事嵌入式系统的相关研究工作，可为本项目的实验研究工作提供相关的技术支持。  申请人于2006年开始从事电机拖动与控制、电力电子驱动以及嵌入式系统等方面的研究工作，随后在博士学习期间以国家公派留学生身份前往德国Wuppertal大学，并跟随预测控制创始人Joachim Holtz教授进行中压交流电机控制技术的研究，且在其指导下开始专注于预测控制方法的研究至今十余年，在该科研领域积累了丰富的工作经验。申请人长期与Holtz教授合作开展预测控制方面的研究，共同完成了“感应电机驱动系统最优预测控制研究”、“中高功率电力电子驱动与控制技术研究”以及“中压感应电机的先进驱动技术研究”等多项科学技术部国家外国专家局项目，在其指导下顺利完成自然科学基金青年基金项目《低开关频率三电平感应电机驱动系统最优预测控制研究》。  近年来申请人及其课题组成员在国内外重要期刊上发表多篇预测控制相关学术论文，其中部分文章如下：  [1]**齐昕**, 苏涛, 周珂, 杨建成,甘新鹏,张永昌. 交流电机模型预测控制策略发展概述[J]. **中国电机工程学报**, 2021, 41(18):11. **(EI)**  [2]L. Wu, **Qi Xin**, X. Shi, T. Su, Y. Deng and D. Xu, Sensorless Predictive Control Methods for Induction Motor-An Overview[C]// 2021 IEEE International Conference on **Predictive Control**of Electrical Drives and Power Electronics (PRECEDE). IEEE, 2021.  [3]**Qi Xin**, D. Xu, L. Wu, K. **Zhou and X**. Zhou, Predictive Control of Permanent Magnet Synchronous Motor based on the Circular Current Error Boundary[C]// 2021 IEEE International Conference on **Predictive Control** of Electrical Drives and Power Electronics (PRECEDE) . IEEE, 2021.  [4]Lin WU,**Qi Xin**, X Shi, T Su，Y Tao. A neutral point potential drift control method for NPC three-level inverter[J]. **HIGH TECHNOLOGY LETTERS**, 2021, 27(3):6.  [5]**Qi Xin, Joachim Holtz.**Modeling and Control of Low Switching Frequency High-Performance Induction Motor Drives[J]. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**,2020, 67 (6): 4402-4410. **(SCI)**  [6]**Qi Xin, Joachim Holtz.** The Relationship Between Root Locus and Transient Field Components of AC Machines[J]. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**,2020, 67 (3): 1836-1843. **(SCI)**  [7]**齐昕**, 吴文昊, 吴琳, 周珂，**马祥华**，**周晓敏**.基于时间辅助信息的感应电机预测电流控制[J].**中国电机工程学报**,2019, 39 (16): 4927-4934+4995. **(EI)**  [8]**Qi Xin**, Ralph Kennel, **Zhou Xiaomin**，Zhou Ke，**Feng Tao**, Influence of leakage inductance on operation performances for predictive control low-switching frequency application[C]// 2019 IEEE International Symposium on **Predictive Control** of Electrical Drives and Power Electronics (PRECEDE). IEEE, 2019.  [9]**齐昕**，付永星，**周晓敏**，周珂，**马祥华**.基于双边界圆限定策略的感应电机预测控制研究，**中国电机工程学报**，37(1)，282~291，2017. **(EI)**  [10]**Qi Xin**, Wu Lin,**Zhou Xiaomin**,**Ma Xianghua**. Field oriented predictive control strategy for induction machine drives[J]. **ASSEMBLY AUTOMATION**, 2017, 37(1):103~113. **(SCIE)**  [11]Lin WU, **QI Xin**. Yongxing FU, Wenhao WU. Research on Improved Predictive Control Algorithm for Induction Motor[J]. **Technical Bulletin**, 2017, 55(17):128~137. **(EI)**  [12]**齐昕**，周珂，王长松，**周晓敏**，潘治赟，**马祥华**.中高功率交流电机逆变器的低开关频率控制策略综述，**中国电机工程学报**，35(24)，6445~6458，2015. **(EI)**  [13]**Joachim Holtz**, **QI Xin**. Optimal Control of Medium Voltage Drives – an Overview[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2013, 60(12):5472-5481. **(SCI)**  [14]**周晓敏**，孙文，高大威，林树林，胡忠阳.应用于无线电能传输系统的三相单开关功率因数校正方法.电力系统自动化.2019.43（2）.137-14. **(EI)**  **二、平台设备情况及其它生活保障机制**  1.申请人梯队现有实验室占地共计280平米（校本部80平米、顺德研究生院200平米）。申请人团队在国家外专项目的支持下，聘请Holtz教授团队的博士后助理研究员Sebastian Gruber指导实验室的升级改造工作，改造完成的实验室均符合德国实验室标准，为与外国专家合作开展科研工作奠定了良好的硬件基础。  校本部实验室不仅装备BRUEL KJAER加速器及适调放大器等大量测试测量设备及电工电子工具，还拥有数字/物理混合实时模拟实验平台以及2.2kW、5.5kW感应电机对拖实验平台各2套；顺德研究生院在校本部实验室所有设备基础上还配备有横河YOKOGAWA的WT1806E高性能功率分析仪、泰克MS058 5-BW-350的8通道示波器、麦格纳TSD4000-7.2/380大功率高压直流电源、HBM T40B的扭矩测量系统以及泰克TCP0030A高精度电流探头等一系列测量设备及电工电子工具，还装配有科尔摩根AKM84T永磁伺服系统以及2套125kW中压感应电机对拖实验平台，均可以进行相关科研实验。  **图7 平台设备情况**  梯队老师以及所带领的研究生都有较为丰富的电子硬件研发经验，可以熟练完成硬件电路的焊接、调试以及维修。与此同时，申请人的实验室也是与世界第一大半导体制造商美国德州仪器公司共建的“TI大学计划联合实验室”。  **图8 TI大学计划联合实验室**  2.北京科技大学机械工程学院将按照相关外事工作管理制度，为外国专家提供良好的生活保障以及科研所需条件，包括：1)为外国专家提供科研所需的实验硬件平台；2)派遣青年教师和研究生协助其工作；3)协助安排其来华期间的住宿、交通等事项。 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 申请经费 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 类别 | | 拟聘专家人数 | | | | | 专家工作天数 | | | | | 申请经费 | | | |
| 总计 | | 2 | | | | | 720 | | | | | 480000 | | | |
| 拟聘专家经费预算（万元） | | | | | | | | | | | | | | | |
| 序  号 | 专家  姓名 | | 国家  或地区 | 工作  时段 | 工作  天数 | 工作方式（来华或远程） | | 专家  交通费 | 专家  补贴 | 专家生活费 | 专家咨询费(讲课费) | | 专家工薪 | | 小计 |
| 合同约  定金额 | 申请  资助 |
| 1 | JOSÉ MARIO ATILIO PACAS CASTRO | | 德国 | 2022-05-01 至 2022-07-31 | 92 | 远程 | |  |  |  |  | | 4 | 4 | 4 |
| 2 | JOSÉ MARIO ATILIO PACAS CASTRO | | 德国 | 2022-09-01 至 2022-12-15 | 106 | 远程 | |  |  |  |  | | 5 | 5 | 5 |
| 3 | JOSÉ MARIO ATILIO PACAS CASTRO | | 德国 | 2023-08-01 至 2023-09-09 | 40 | 来华 | | 3 | 3.5 | 3.5 |  | |  |  | 10 |
| 4 | JOSÉ MARIO ATILIO PACAS CASTRO | | 德国 | 2023-10-01 至 2023-11-30 | 61 | 远程 | |  |  |  |  | | 2 | 2 | 2 |
| 5 | JOACHIM HOLTZ | | 德国 | 2022-04-20 至 2022-07-30 | 102 | 远程 | |  |  |  |  | | 5 | 5 | 5 |
| 6 | JOACHIM HOLTZ | | 德国 | 2022-09-01 至 2022-12-15 | 106 | 远程 | |  |  |  |  | | 5 | 5 | 5 |
| 7 | JOACHIM HOLTZ | | 德国 | 2023-01-20 至 2023-04-20 | 91 | 远程 | |  |  |  |  | | 4 | 4 | 4 |
| 8 | JOACHIM HOLTZ | | 德国 | 2023-05-10 至 2023-06-09 | 31 | 来华 | | 3 | 3 | 3 |  | |  |  | 9 |
| 9 | JOACHIM HOLTZ | | 德国 | 2023-09-01 至 2023-11-30 | 91 | 远程 | |  |  |  |  | | 4 | 4 | 4 |

拟聘请专家情况表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 专家 姓名 | JOSÉ MARIO ATILIO PACAS CASTRO | | | 出生 年月 | 1952-08 | 性别 | 男 |  |
| 国别 地区 | 德国 | | 职务/职称 | 教授/教授 | 专业 | 电气工程 | |
| 国外工 作单位 | 锡根大学 | | | | 学位 | 博士 | |
| 通信 地址 | Faculty of Science and Technology, University of Siegen Dept. Electrical Engineering and Computer Science Power Electronics and Electrical Drives | | | | 护照 号码 | C7VG4JYJJ | |
| 电话 | 49-271-740-4671 | | | | 电子 邮件 | pacas@uni-siegen.de | | |
| 在华或远程工作天数 | 299 | 起止 时间 | 第1次，2022-05-01至2022-07-31,共92天。第2次，2022-09-01至2022-12-15,共106天。第3次，2023-08-01至2023-09-09,共40天。第4次，2023-10-01至2023-11-30,共61天。 | | | | | |
| 教育经历 | 1973-1978,Technical University of Karlsruhe ,Electrical Engineering，硕士  1985,Technical University of Karlsruhe ,Electrical Engineering，博士 | | | | | | | |
| 工作经历 | 1.1978-1985，德国Technical University of Karlsruhe，助理研究员  2.1985-1987，瑞士BBC Brown Boveri & Cie AG，研发工程师  3.1987-1996，德国ABB伺服驱动器研发部门，主管  4.1996-至今，德国Siegend大学电力驱动及电力电子技术研究所，教授、所长  5.1996-至今，德国Siegend大学自动化、电力电子和驱动以及高等教育领域，顾问 | | | | | | | |
| 代表性成果、主要成就 | **期刊论文**  [1]Pacas, M, Weber, et al. Predictive direct torque control for the PM synchronous machine[J]. Industrial Electronics IEEE Transactions on, 2005.  [2]Villanueva E , Correa P , Rodriguez J , et al. Control of a Single-Phase Cascaded H-Bridge Multilevel Inverter for Grid-Connected Photovoltaic Systems[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2009, 56(11):4399-4406.  [3]Correa P , Pacas M , Rodriguez J . Predictive Torque Control for Inverter-Fed Induction Machines[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2007, 54:1073-1079.  [4]Pacas, M. Sensorless Drives in Industrial Applications[J]. Industrial Electronics Magazine, IEEE, 2011.  [5]Pacas M , Morales R . A predictive torque control for the synchronous reluctance machine taking into account the magnetic cross saturation[C]// Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. 2005.  [6]Villwock S , Pacas M . Application of the Welch-Method for the Identification of Two- and Three-Mass-Systems[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2008, 55(1):457-466.  [7]Morales-Caporal R , Pacas M . Encoderless Predictive Direct Torque Control for Synchronous Reluctance Machines at Very Low and Zero Speed[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2008, 55(12):4408-4416. | | | | | | | |
| 其它（包括获得的重要奖项、在国际学术组织兼职、在国际学术会议做重要报告 等情况） | **国际学术组织兼职**  IEEE-PELS（IEEE 电力电子学会），执行副主席  IEEE，高级会员（Senior Member）  PCIM Europe Nürnberg ，董事会成员  Italian National Scientific Qualification Committee, Settore Concorsuale 09/E2，委员  Scientific Committee of the European PhD School Power Electronics for Electrical Machine and Energy Control, Italy，委员  the Technical Conference Board of the Power Electronics South America（南美电力电子技术会议委员会），会员  PESC、ISIE 的联合组织者, IECON  VDE (电气、电子和信息技术协会)，会员  the ETG im VDE（能源技术协会），会员 | | | | | | | |
| 附件 | 其他说明性文件扫描后上传  (1) 发表论文目录：作者、年份、题目、期刊名称（影响因子）、卷（期）、页、他引次数；  (2) 3篇代表性论文；  (3) 出版专著封面及目录：著者、年份、书名、出版社；  (4) 授权发明专利证书，发明人、年份、专利名称、授权专利号、授权国家或地区；  (5) 获奖项目清单及奖励证书，清单应列清：获奖项目名称、奖励类别(等级)、授予单位、获奖时间、获奖者名单；  (6) 其他成果的原始证明材料。  相关附件材料的电子版要求  　上述附件的电子材料只需按引文要求提供相关材料查询索引，凡不能由互联网获得的证明材料请提供原始材料。 | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 专家 姓名 | JOACHIM HOLTZ | | | 出生 年月 | 1933-08 | 性别 | 男 |  |
| 国别 地区 | 德国 | | 职务/职称 | 教授/教授 | 专业 | 电气工程 | |
| 国外工 作单位 | 德国伍珀塔尔大学 | | | | 学位 | 博士 | |
| 通信 地址 | Am Forsthof 16，Wuppertal，Germany | | | | 护照 号码 | C6ZZ3FLTO | |
| 电话 | 49-202-422 190 | | | | 电子 邮件 | j.holtz@ieee.org | | |
| 在华或远程工作天数 | 421 | 起止 时间 | 第1次，2022-04-20至2022-07-30,共102天。第2次，2022-09-01至2022-12-15,共106天。第3次，2023-01-20至2023-04-20,共91天。第4次，2023-05-10至2023-06-09,共31天。第5次，2023-09-01至2023-11-30,共91天。 | | | | | |
| 教育经历 | 1967-1969，Technical University Braunschweig，Electrical Engineering，博士  1962-1967，Technical University Braunschweig，Electrical Engineering，硕士 | | | | | | | |
| 工作经历 | 1.2003-2005，智利Federico Santa María大学，客座教授  2.1998-至今，德国Wuppertal大学电机控制与驱动研究所，名誉教授、顾问  3.1976-1998，德国Wuppertal大学电机控制与驱动研究所，教授、主任  4.1972-1975，德国西门子Erlangen研究所新交通技术项目组，主任  5.1971-1972，印度理工学院控制工程实验室，教授、主任  6.1969-1971，印度理工学院，副教授 | | | | | | | |
| 代表性成果、主要成就 | **重要成果**  **• 发明三电平逆变器（Three-Level Inverter）**  1. 1977年在论文“Self-Commutated Three-Phase Inverters with Staircase Voltage Waveforms for High-Power Applications at Low Switching Frequency (in German)”中首次提出三电平逆变器。  2. 1983年获得三电平逆变器的专利授权“Self-Controlled Inverter. German Patent DE 23 39 034 C2.”该专利同时在日本获得授权保护。  **• 空间矢量脉宽调制技术（Space Vector Modulation）**  1.A. Busse, J. Holtz,“A Digital Space Vector Modulator for the Control of a Three-Phase Power Converter”, VDE-Conf. Microelektronics for Inverters and Elektrical Drives, Darmstadt/Germany (1982), pp. 189-195.  **• 同步最优脉宽调制技术（Synchronous Optimal Modulation）**  发展了最优脉宽调制技术，有效提高了中高压大功率交流电机驱动系统的动态特性  1.J. Holtz, B. Beyer,“Optimal Synchronous Pulsewidth Modulation with a Trajectory Tracking Scheme for High Dynamic Performance”, Applied Power Electronics Conference APEC, Boston/Ma. (1992), pp. 147-154.  2.Method and Apparatus for the Generation of Switching State Signals from a Reference Space Vector. European Patent 0 504 449 B1 (1995).  3.Pulsewidth Modulation Method for a Multilevel Inverter. European Patent 909 008 55.9. Patents also granted inSpain,Denmark,Finland,Norway,Japan,USA(1989).  4.Optimal Pulsewidth Modulation for Multilevel Inverter Systems. European Patent EP 2312 739 A1, granted in Europe,Brazil(2013).  **• 预测控制技术（Predictive Control）**  首次提出逆变系统的预测控制技术，开创了逆变器控制的新方法，使交流电机逆变驱动系统在低开关损耗的工作状态下同时具有较高的动态响应特性。  1.J. Holtz, S. Stadtfeld, “A Predictive Controller for the Stator Current Vector of AC Machines Fed from a Switched Voltage Source”, International Power Electronics Conference IPEC, Tokyo (1983), pp. 1665-1675.  **• 永磁同步电机无传感器控制技术（Sensorless Speed Control of PM Synchronous Machines）**  1.Circuit Arrangement for a Magnetically Levitated Vehicle Propelled by a Synchronous Linear Motor. German Patent DT 24 44 679 C3. Patents also granted inCanada,France,Sweden,Switzerland,Japan,USSR,USA(1977).（专利授权地：德国、加拿大、法国、瑞典、瑞士、日本、前苏联、美国）  **• 感应电机无传感器控制技术（Sensorless Position Control of Induction Motors）**  1.J. Holtz, “Sensorless Position Control of Induction Motors – an Emerging Technology”, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 45, No. 6, 1998, pp. 840-852.  2.Method and Apparatus for Sensorless Position Measurement of Squirrel Cage Induction Motor. European Patent DE 197 06799 (1997).（欧洲专利）  **• 低开关频率下基波电流检测（Instantaneous Identification of the Fundamental Current at Low Switching Frequency）**  1.Method and Apparatus for the Identification of the Fundamental Current Space Vector from a Measured Stator Current Space Vector. European Patent 0 521 183 B1 (1995). （欧洲专利）  2.J. Holtz and N.  Oikonomou, “Estimation of the Fundamental Current in Low Switching Frequency High-Dynamic Medium Voltage Drives”, IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, New Orleans/GA., Sept. 24-28, 2007.  **• 磁悬浮列车（Magnetically Levitated Train）**  1.Synchronous Linear Motor Drive for a Magnetically Levitated Vehicle, especially for a Magnetic Train. German Patent DT 23 57 147 C3. Patents also granted in France,Canada,Sweden,Switzerland,Japan,USSR,USA(1975). （专利授权地：德国、加拿大、法国、瑞典、瑞士、日本、前苏联、美国）  **期刊论文**  (1)**Joachim Holtz#**, Advanced PWM and Predictive Control—An Overview, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2016, 63(6): 3837-3844  (2)**Joachim Holtz#**, Gilberto da Cunha, Norton Petry, Paulo JoséJose Torri, Control of Large Salient-Pole Synchronous Machines Using Synchronous Optimal Pulsewidth Modulation, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2015, 62(6): 3372-3379  (3)**Joachim Holtz#**, Markus Höltgen, Jens Onno Krah, A Space Vector Modulator for the High-Switching Frequency Control of Three-Level SiC Inverters, IEEE Transactions on Power Electronics, 2014, 29(5): 2618-2626  (4)Till Boller, **Joachim Holtz#**, Akshay K. Rathore, Neutral-Point Potential Balancing Using Synchronous Optimal Pulsewidth Modulation of Multilevel Inverters in Medium-Voltage High-Power AC Drives, IEEE Transactions on Industry Applications, 2014, 50(1): 549-557  (5)Akshay K. Rathore, **Joachim Holtz#**, Till Boller, Generalized Optimal Pulsewidth Modulation of Multilevel Inverters for Low-Switching-Frequency Control of Medium-Voltage High-Power Industrial AC Drives, IEEE Transactions on Industry Electronics, 2013, 60(10): 4215-4224  (6)**Joachim Holtz#**, Xin Qi, Optimal Control of Medium-Voltage Drives—An Overview, IEEE Transactions on Industry Electronics, 2013, 60(12): 5472-5481  (7)Till Boller, **Joachim Holtz#**, Akshay K. Rathore, Optimal Pulsewidth Modulation of a Dual Three-Level Inverter System Operated From a Single DC Link, IEEE Transactions on Industry Applications, 2012, 48(5): 1610-1615  (8)Till Boller, **Joachim Holtz#**, Akshay K. Rathore, Optimal Pulsewidth Modulation of a Dual Three-Level Inverter System Operated From a Single DC Link, IEEE Transactions on Industry Applications, 2012, 48(5): 1610-1615  (9)**Joachim Holtz#**, Nikolaos Oikonomou, Optimal Control of a Dual Three-Level Inverter System for Medium-Voltage Drives, IEEE Transactions on Industry Applications, 2010, 46(3): 1034-1041  (10)Haitham Abu-Rub, **Joachim Holtz#**, Jose Rodriguez, Ge Baoming, Medium-Voltage Multilevel Converters—State of the Art, Challenges, and Requirements in Industrial Applications, IEEE Transactions on Industry Electronics, 2010, 57(8): 2581-2596  **专著**  (1)R. Kennel, T. Boller, **J. Holtz**, “Hardware-in-the-Loop Systems with Power Electronics: A Powerful Simulation Tool”, in “Power Electronics for Renewable Energy Systems, Transportation and Industrial Applications”. John Wiley, IEEE Press Book, 2014.  (2)**J. Holtz**: Pulsewidth Modulation for Electronic Power Conversion; in B. K. Bose (Editor) “Power Electronics and Variable Speed Drives”. IEEE Press Book, 1996, also published in Chinese by China University of Mining and Technology Press, 1999.  该书中文版《电力电子学与变频传动技术和应用》中国矿业大学出版社  (3)**J. Holtz**: Methods for Speed Sensorless Control of AC Drives; in K. Rajashekara (Editor) “Sensorless Control of AC Motors”. IEEE Press Book, 1996.  (4)**J. Holtz**: Pulsewidth Modulation - A Survey; in P. A. Thollot (Editor) “Power Electronics Technology and Applications”, IEEE Technology Update Series, 1993.  (5)**J. Holtz**: A Comparison of Optimal PWM Methods; in G. K. Dubey (Editor) “Power Electronics and Drives”, Tata McGraw-Hill Publishing Co., New Delhi, 1993.  (6)**J. Holtz**, U. Schwellenberg, “Controlled Rectifiers with Reduced Voltage Ripple”, Westdeutscher Verlag, Opladen, 1981.  **授权发明专利**  (1)**J. Holtz**, Optimal Pulsewidth Modulation for Multilevel Inverter Systems, 2013.08.29, European, EP2312739A1  (2)**J. Holtz**, Method of Braking a Vector Controlled Induction Machine, Control Device for Carrying out this Method and Storage Medium, 2005, China, 00124169.9  (3)**J. Holtz**, Sensorless Rotor Position Measurement Process and Device for Induction Motors with a Short-Circuit Rotor, 2003, European, 0962045  (4)**J. Holtz**, Sensorless Method and Apparatus for Sensorless Position Measurement of Squirrel Cage Induction Motor, 1997, European, DE19706799  (5)**J. Holtz**, Method and Apparatus for the Identification of the Fundamental Current Space Vector from a Measured Stator Current Space Vector, 1995, European, 0521183B1  (6)**J. Holtz**, Method and Apparatus for the Generation of Switching State Signals from a Reference Space Vector, 1995, European, 0504449B1  (7)**J. Holtz**, Method and Apparatus for the Optimal Operation of a Line-Side PWM Inverter, 1994, European, 0491689  (8)**J. Holtz**, Method and Apparatus for the Optimal Operation of a Pulsewidth Controlled Converter Fed from the Three Phase Mains, 1989, European, 90900817.9  (9)**J. Holtz**, Switching Relieved Low-Loss Three-Level Inverter, 1989, US, 4881159  (10)**J. Holtz**, Method and Apparatus for the Identification of Resonant Quantities of a Traction Power Converter Fed from the Overhead Supply Line, 1989, European, 89.116809.8 | | | | | | | |
| 其它（包括获得的重要奖项、在国际学术组织兼职、在国际学术会议做重要报告 等情况） | **获得学术奖励**  (1)IEEE IES, Anthony J. Hornfeck奖章（Anthony J. Hornfeck Award），2007  (2)IEEE“蓝姆”金质奖章（Lamme Medal）, 2000  (3)IEEE千禧奖章（Millenium Medal）, 2000  (4)IEEE威廉•E•纽厄尔电力电子技术奖章（William E. Newell Power Electronics Award）, 1998  (5)IEEE IAS杰出成就奖章（Outstanding Achievement Award, IEEE IAS）, 1997  (6)IEEE IES Ing Eugene Mittlmann博士成就奖章（Dr. Eugene Mittelmann Achievement Award）, 1995  (7)IEEE杰出讲师(IEEE Distinguished Lecture)  (8)评选为IEEE会士（Fellow of the IEEE）, 1993  (9)IEEE终身会士（Life Fellow of the IEEE）, 2011  **学术组织兼职**  IEEE Industrial Electronics分会，执行委员会终身委员（Life AdCom Member）；  IEEE William E. Newell Power Electron.奖评审委员会主席；  IEEE Industrial Electronics分会，会士（Fellow）委员会主席；  IEEE Industrial Electronics分会，奖项评审委员会主席 | | | | | | | |
| 附件 | 其他说明性文件扫描后上传  (1) 发表论文目录：作者、年份、题目、期刊名称（影响因子）、卷（期）、页、他引次数；  (2) 3篇代表性论文；  (3) 出版专著封面及目录：著者、年份、书名、出版社；  (4) 授权发明专利证书，发明人、年份、专利名称、授权专利号、授权国家或地区；  (5) 获奖项目清单及奖励证书，清单应列清：获奖项目名称、奖励类别(等级)、授予单位、获奖时间、获奖者名单；  (6) 其他成果的原始证明材料。  相关附件材料的电子版要求  　上述附件的电子材料只需按引文要求提供相关材料查询索引，凡不能由互联网获得的证明材料请提供原始材料。 | | | | | | | |

项目绩效预估

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 总体  目标 | （通过项目实施在技术创新、科技研发、学科建设、人才培养、成果产出等方面预期实现的效果）  （1）在技术创新、科技研发方面：通过本项目的实施，提出一种具有高动态特性的低开关频率最优脉宽调制预测控制方法，用于控制可再生能源系统的网侧变换器，该方法可有效抑制低次谐波分量，使谐波控制效果符合GB/T14549-1993的国家标准要求；同时，可使控制系统在低于600赫兹的开关频率下运行，提升控制系统的运行效率。 （2）在学科建设方面：本项目的实施可以对我校专业的发展给予切实的指导意见，有助于本专业的学术地位提升，不仅能够加强我校机电工程学科的建设，在北京市重点学科的基础上进一步发展为国家重点学科。邀请Holtz教授以及Pacas教授来我校进行合作交流，开拓国际合作关系，有助于我校未来在电机以及电力电子领域申请国家级的重大合作项目。 （3） 在人才培养方面：项目执行期间拟培养博士研究生2人，硕士研究生6人，在外专指导下完善校内新能源微电网实验室的建设，争取从德国为我校引进具有国外名校博士学位的年轻教师1-2人。 （4）在成果产出方面：在本项目的支撑下，申请人将举办电力电子领域相关国际会议，吸引更多的国外知名学者来华访问交流，推动中国科学技术的快速发展。同时，在Holtz教授以及Pacas教授的指导下，将与金风科技、明阳智慧能源等国内风电领域龙头开展技术落地合作。并与Holtz教授以及Pacas教授在《IEEE Transactions on Industrial Electronics》上合作发表高水平学术论文1-2篇，在重要学术会议APEC/ECCE及相关学术会议PRECEDE上发表1-2篇，并在上述会议上作大会专题报告。申请国家发明专利1-2项。 | | |
| 绩效 指标 | 二级指标 | 三级指标 | 指标值 |
| 质量指标 | 指标1：聘请国（境）外专家技术水平和行业影响力（1－10分） | 10 |
| 指标2：引进副高级职称以上专家或国外知名企业、机构高级技术、管理人员人次 | 4 |
| 时效指标 | 指标1：通过引进专家开展科学研究、解决具体技术或管理问题的难度、水准和完成度（1－10分） | 8 |
| 指标2：人才培养数量 | 10 |
| 指标3：专利申请、论文发表数量 | 6 |
| 成本指标 | 指标1：聘请国（境）外专家人均资助经费（万元） | 24.00 |
| 经济效益 指标 | 指标1：引进国（境）外专家创造直接和间接经济效益（成本比率）（100%）（企业填写） | 80 |
| 指标2：节约科研经费或降低产品成本比率（100%） | 60 |
| 社会生态效益指标 | 指标1：提升项目单位科研、生产水平或促进国家重大项目实施方面（1－10分） | 8 |
| 指标2：引进、培育新品种，产生新技术或促进产业结构优化调整方面（1－10分） | 8 |
| 指标3：促进行业节能降耗或减少污染排放，有利于改善生态环境方面（1－10分） | 9 |
| 可持续影响指标 | 指标1：创新人才培养体制机制，带动国内人才培养，提升行业领域综合实力方面（1－10分） | 9 |
| 指标2：形成品牌效益，有助于提升项目单位国际影响力方面（1－10分） | 9 |
| 服务对象 满意度指标 | 指标1：聘请专家单位对国（境）外专家满意度（100%） | 90 |
| 指标2：国（境）外专家在华工作、生活满意度（100%） | 90 |
| 其他 |  | |

注：各项目单位根据项目实际情况填写。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **项目名称** | | 具有高动态特性的低开关频率最优脉宽调制预测控制方法研究 | | | | | | |
| **用人单位** | | 北京科技大学机械工程学院 | | **行业领域** | | 工程与材料科学 | | |
| （企业、科研院所）用人单位意见：  （高校）项目负责人或学院意见： | | | | | | | | |
|  | 负责人（签字）： | |  | | 公章 | |  |  |
|  | 职务： | |  | | 年 月 日 | | | |
| （企业、科研院所）市级归口管理部门意见：  （高校）外专工作管理部门意见： | | | | | | | | |
|  | 负责人（签字）： | |  | | 公章 | |  |  |
|  | 职务： | |  | | 年 月 日 | | | |
| （企业、科研院所、地方院校）省级归口管理部门意见：   |  | | --- | | （部属高校）高校意见： | | | | | | | | | |
|  | 负责人（签字）： | |  | | 公章 | |  |  |
|  | 职务： | |  | | 年 月 日 | | | |