

2025年招生计划

1. 博士论文研究方向： 面向新能源汽车的高性能电机模拟器关键技术研究

选题类别：☐ 基础性研究

☒ 应用性研究

☐ 工程技术攻关研究

☐ 新开辟的研究方向

☒ 已有研究方向的继续

☐ 其他

2. 博士论文的选题背景及意义和主要研究内容简介

工信部在《新能源汽车产业发展规划（2021-2035）》中提出，要“支持关键生产装备、高端试验仪器的研发创新”。而电机模拟器（EME）作为新能源汽车电驱动领域的关键测试装备和高端开发工具，能够显著提升产业基础能力，推动我国新能源汽车产业高质量可持续发展。

高性能的电机驱动及其控制系统（以下简称电驱动系统）对整车安全至关重要，尤其是在冰雪路面、高速爆胎、电机故障等极限工况下，其动力输出响应速度、精度及稳定性均将对整车安全性产生重要影响。电机模拟器通过对内部电机模型的快速解算和功率半导体的高速开关控制实现对电机电气特性的精确模拟，可实现在没有真实电机介入的情况下对电机控制器进行电功率级测试，属于新能源车辆高端研发测试装备，是实现电驱动系统全面故障注入验证的核心装备，对于提高整车电驱动系统安全性具有不可替代的作用。总体而言，当前新能源车用高性能电机模拟器产品处于国外垄断状态，售价高昂（千万人民币），国产厂商对此产品研发尚处于起步阶段，且功率级别和模拟电机转速较低，未掌握系统核心技术，属于我国“卡脖子”高端测试装备，难以实现对高速电机的高精度和高动态模拟，具体体现在：（1）现有电机模拟器产品采用三相两电平功率拓扑，存在开关频率较低、谐波含量高和动态性能差的问题，无法实现对复杂整车工况下电机特性的高动态模拟；（2）国产电机模拟器大多采用线性电机模型，无法描述电机的磁饱和、谐波等非线性特性和磁-热-电耦合，且电机模型运行周期较长，无法实现电机故障状态模拟；（3）国产电机模拟器大多只适用于低速电机模拟领域，随着车用驱动电机转速逐渐升高，国产电机模拟器装备由于非线性参数和扰动问题而存在稳定性下降的问题，控制系统设计面临较大挑战。综上，博士选题将针对面向新能源汽车的高性能电机模拟器关键技术问题，分如下三个方面开展：

（1）高性能并联多电平级联耦合功率拓扑结构

面向业内新能源车辆高速化和高功率化的发展趋势，开发高性能电机模拟器驱动系统，建立高性能并联多电平功率拓扑数学模型、揭示SiC功率模块健康状态观测以及退化机理、通过研发高性能并联多电平功率拓扑技术，结合SiC功率模块健康状态观测技术和驱动系统方案优化保障关键模块应用可靠性，为满足新能源车辆极限工况下高动态模拟需求提供硬件基础，全面提升电机模拟器动态模拟性能，解决国内电机模拟器模拟动态性能差、控制速度不够快，无法实现极限工况下高动态电机特性的高精度模拟和复现的问题。

（2）高精度磁-热-电耦合电机模型

突破传统线性电机模型在非线性特性无法精确建模描述，无法实现对电机磁-热-电耦合特性的精确模拟上的限制。针对新能源汽车整车极限工况下应用场景，进一步提高电机模型对于磁饱和、转矩波动和热特性的模拟精度，综合考虑电机热特性和电磁特性之间的耦合效应，并针对不同故障工况搭建高精度电机模型，实现对电机数学模型的高性能仿真和实时FPGA解算。提高高性能电机模拟器模拟非线性参数获取精度，从而提升整车高速极限工况下测试精度，对整车和电控系统进行全方位精确检测以确保其在实际应用中的可靠性和安全性。

（3）高稳定性电机模拟器控制系统设计

通过深入分析耦合网络参数摄动、车辆极限工况失稳机理等问题，设计电流闭环控制系统、多速率控制与性能分析，减小耦合网络参数摄动。通过车辆和轮胎模型的分析与设计、控制架构设计和前馈系统设计，以减小耦合网络参数的摄动、电机模拟器输出电压的波动、传感器的高频噪声和低频波动对系统精度的影响；建立精确的多自由度车辆模型和轮胎模型并设计系统电流闭环控制架构，在极限工况下验证控制系统对稳定裕度和鲁棒性的提高和对外界干扰、噪声的抑制能力。

3. 该选题所依托的科研项目或研究经费来源情况

该选题科研经费来源于国家自然科学基金面上项目(52072098)和华为技术有限公司项目（TC20231215031）

2025年招生计划		
1. 博士论文研究方向： 车用中性点供电内嵌式永磁同步电机驱动系统损耗及容错研究		
选题类别： <input type="checkbox"/> 基础性研究 <input checked="" type="checkbox"/> 应用性研究 <input type="checkbox"/> 工程技术攻关研究 <input type="checkbox"/> 新开辟的研究方向 <input checked="" type="checkbox"/> 已有研究方向的继续 <input type="checkbox"/> 其他		
2. 博士论文的选题背景及意义和主要研究内容简介		
<p>内嵌式永磁同步电机一般由三相两电平电压型逆变器供电。在传统结构中，电源电压是固定的，当电机在低速状态下运行时，电机所需要的电压很低，此时功率开关两侧的电压很高，逆变器需要以很低的调制系数来提供低电压，负载相同的情况下，更高的电压也会导致更多的开关损耗。如果可以根据电机运行条件调整逆变器的直流母线电压，或在较低电源电压下提高直流电压利用率，就可以减少逆变器损耗，提升整车效率。</p> <p>采用中性点供电这一新型拓扑结构，逆变器可作为DC/DC升压变换器，电机的零轴电感作为升压电感器，在直流电源和逆变器直流输入侧之间传输零轴功率。这样可以根据车辆行驶工况动态调节逆变器直流侧电压，在不增加元器件的情况下实现调节直流母线电压的能力。这样一方面逆变器功率器件不必一直工作在高压下，使逆变器开关应力降低，进而降低开关损耗，提升系统可靠性和续航里程，另一方面，通过升压控制可以提升系统电压利用率，增强动态特性。</p> <p>在实际应用中，可以采用400V动力电池，利用中性点供电结构升压至800V，高压附件仍采用400V配套，形成局部800V的架构，进而可以充分发挥800V电驱动系统高功率、高效率的优势，同时节省了高压附件配套的成本。</p> <p>近年来频繁发生的新能源汽车的事故，使人们更加关注电动汽车的安全性和可靠性问题。对于功率级电机驱动系统来说，发生在逆变器功率开关管的开路 and 短路故障及电机绕组中的开路是最常见的故障，短路故障由于电路保护措施最终会转化为开路故障。由于中性点引出供电，在电流闭环控制上增加了一个自由度，可用于电机在开路故障状态下的容错控制，提升电驱动系统的安全性和可靠性。</p> <p>基于中性点供电结构的内嵌式永磁同步电机驱动系统设计存在许多挑战，主要包括在系统高效率和高动态两个互相矛盾的性能约束下逆变器直流侧电压目标值动态选取问题、内嵌式永磁同步电机在系统故障容错时转矩平稳控制问题。尤其是车辆行驶工况复杂多变，转速范围宽、转矩变化剧烈，导致电机控制器的电压调制度、功率因数、电流幅值和电频率快速变化，给上述问题的解决带来巨大挑战。</p> <p>综上，博士选题将针对永磁同步电机断相容错控制问题，分如下四个方面开展：</p> <p>(1) 研究并建立中性点供电结构的内嵌式永磁同步电机驱动系统的电路平均模型和等效物理模型，揭示其内在的直流母线电压调节功能，明确基于中性点供电结构的永磁同步电机驱动系统升压和驱动之间的耦合机理，建立直流电压利用率与升压比的关系，确定合理的升压范围，设计升压和驱动控制器；</p> <p>(2) 研究结合整车工况的母线电压动态调节策略，在保证电机动态性能的同时，降低逆变器损耗。根据运行工况，充分考虑转矩与升压控制器间的动态耦合关系，划分电驱动系统工作状态分别计算并优化母线电压。为提升调节平稳性，采用先进校正方法对母线电压需求值进行调节，实现母线电压的最优控制，提升系统整体效率；</p> <p>(3) 研究中性点供电结构的内嵌式永磁同步电机容错控制算法，对电机在正常工作和断相故障下的三相电流、零轴电流、动态响应等方面进行对比分析，研究断相故障对电机运转的影响，根据中性点供电结构单相断相故障状态下dq0轴电流的不同变化规律，设计容错控制算法，保证电机处于容错控制状态下时，维持转矩平稳输出；</p> <p>(4) 搭建电机对拖实验平台，采用中性点供电拓扑结构，通过实验验证所提出驱动控制、升压控制、及母线电压动态调节算法，基于车用工况对中性点供电结构与传统结构的动态性能和效率进行综合分析；通过实验验证所提出的容错控制算法，对中性点供电结构在故障与健康状态下的输出性能进行对比分析。</p>		
3. 该选题所依托的科研项目或研究经费来源情况		
该选题科研经费来源于国家自然科学基金面上项目(52072098)和陆军装备部项目(LJZ2020-CGS111)		