

# 美的集团家用空调事业部

## 研究生联合培养项目需求表

联 培 项 目 编 号： FSNEU-2026-MDKT-19

联 培 项 目 名 称： 电动汽车空调变频控制器硬件设计及控制技术研究

联 培 单 位： 美的集团家用空调事业部

项 目 负 责 人： 赵楠楠

联 系 电 话： 15104591306

单 位 负 责 人： 刘东子

联 系 电 话： 15017518390

东北大学佛山研究生创新学院

## 填表说明

- 1、 本表由联合培养基地填写，务必保证信息全面准确。
- 2、 联合培养基地每年 3 月前将本表交于东北大学佛山研究生创新学院，用于本年度接收联合培养研究生。
- 3、 一份需求表只能填写一个项目，且需求表上交后原则上不允许取消或更改。
- 4、 联培项目编号为：东北大学佛山研究生创新学院简称佛山研究生创新学院，简称代码-FSNEU、年份-202X、基地名称简称代码-XXX(广州海格通信集团股份有限公司简称海格通信，简称代码 HGTX)、本基地本年度项目序号 X X，例如：FSNEU-2022-HGTX-1。
- 5、 各栏目内容可续页。

# 东北大学佛山研究生创新学院联培基地项目需求表

项目编号	FSNEU-2026-MDKT-19	项目名称	电动汽车空调变频控制器硬件设计及控制技术研究
联培课题方向	变频控制器硬件电路设计、PFC 电路控制、永磁电机驱动控制		
所需研究生学科方向	电气工程、控制工程		
需求人数	3		
岗位要求	专业背景与主修课程：具有电力电子与电力传动相关专业与项目经历，修习电机学、电路、电力电子学、自动控制原理等相关课程。		
项 目 简 介			
<p>一、项目背景：</p> <p>发展绿色交通是实现习近平总书记提出的“碳中和、碳达峰”国家重大发展战略的重要环节。近年来，我国电动汽车也进入加速发展的新阶段，电动汽车的产销量和保有量长期占据世界首位。面对巨大的市场需求和增长潜力，我国在“十四五”规划和2035年远景目标纲要中，均强调了加快电动汽车关键核心技术创新应用的必要性和重要性。为落实国家有关部署安排，2021 年科技部启动了国家重点研发计划“新能源汽车”重点专项，并在总体目标中强调“坚持纯电驱动发展战略，夯实产业基础研发能力，解决新能源汽车产业卡脖子关键技术问题”。因此，大力发展电动汽车是实现我国从燃油汽车到新能源汽车全面转型的关键。</p> <p>电动汽车的快速推广使得车载空调系统迎来革新。传统燃油汽车通过发动机带动空调压缩机，而电动汽车的空调系统则为纯电化运行。电动汽车空调系统在制冷的同时，也需兼顾电驱动系统能耗。因此，具有高效率和高功率密度</p>			

的永磁同步电机成为了车载空调压缩机的主要选择。相比于内燃机，车载电驱动及其电池组对于散热的要求高，因此，动力总成系统的冷却回路通常与空调系统并联，以提升散热功率。为实现高温天气下空调对座舱、电机和电池的同时冷却，车载空调系统需要更高功率的压缩机，致使电动汽车空调系统成本较燃油汽车大幅度提升，同时也对空调压缩机的安全、稳定运行提出了更大的挑战。

电动汽车空调系统的成本优化对于提升技术和产品竞争力具有重大意义。永磁同步电机的转速与电流控制需要转子的实时位置信息，通常可通过安装光电编码器和等位置传感器获取。然而，空调电机系统并不适合位置传感器的安装，原因包括：一，空调压缩机内狭小的空间对位置传感器的安装带来挑战，不利于硬件设备的长期安全运行；二，位置传感器的价格较高，不利于优化车载空调系统成本。因此，基于软件算法的位置传感器虚拟化技术成为低成本电动汽车空调电机系统的重要组成。

电流和电压传感器虚拟化技术对于降低电动汽车空调成本也具有至关重要的作用。主流空调永磁同步电机驱动系统通常采用两相电流传感器和直流母线电压传感器获取完整的电机运行数据。高精度电流、电压传感器的使用在大幅增加制造成本的同时，也增加了车载空调系统的维护成本。由于永磁同步电机驱动系统中的电流与电压信号存在一定耦合关系，因此可以通过电流重构、电流估计、电压估计等方式实现部分电流、电压传感器虚拟化，以减少非必要传感器的使用，从而达到降低电动汽车空调系统成本的目的。

在成本优化的基础上，发展电动汽车空调永磁同步电机的温度传感器虚拟化可以提升空调系统运行的安全性。车载空调压缩机的大功率设计使得电机的

热容降低、温升加快，对电机的热管理技术提出了更高的要求。大功率永磁同步电机的高温运行将产生负面影响：例如，高温定转子的电阻率增大导致电机铜耗增加和参数摄动，影响空调电机的运行效率以及控制性能；高温条件下永磁同步电机的弱磁运行致使永磁材料退磁和失磁，引发系统崩溃。因此，针对电机定转子的实时温度监测，对提升车载空调运行安全性和优化控制性能具有必要性。电机温度监测可以通过安装温度传感器来实现，但在车载空调系统中，温度传感器的使用缺乏可行性。一方面，温度传感器增加空调系统的成本，且需要对电机进行结构性改造，其研发成本高；另一方面，电机转子温度传感器安装困难，其运行可靠性难以在大功率和高速条件下保证。因此，温度传感器虚拟化方法是实现电动汽车空调电机系统温度监测、保障空调系统运行可靠性的有效途径。因此，电动汽车空调系统对位置传感器虚拟化、电流和电压传感器虚拟化以及温度传感器虚拟化技术有重大需求，有必要针对电动汽车空调永磁同步电机多传感器虚拟化驱动控制的关键科学问题开展研究，促进技术革新与产业发展。

本项目将对电动汽车空调控制器硬件设计及永磁压缩机驱动控制算法展开研究，包括硬件PFC电路、逆变器电路以及辅助电源等硬件电路设计和实现，在此基础上，研究PFC控制技术、永磁压缩机驱动控制技术以及基于数据驱动的变频控制器性能优化技术等。

## 二、研究现状：

### 2.1、位置传感器虚拟化技术研究现状

经过三十余年的发展，永磁同步电机的位置传感器虚拟化技术，即无位置传感器控制技术，得到了深入的研究。研究学者探索了各类高频信号注入方式、位置观测器设计方法和参数辨识技术，逐步实现了无位置传感器的运行功能。通过结合高频注入法和模型法，现有技术可以基本实现零低速至中高速的转子位置与速度估计，并在家用空调领域得到了广泛的应用。然而，电动汽车空调系统的大功率特性以及对运行品质的高要求为无位置传感器控制带来了新的挑战，首先，由于压缩机的周期性气流变化以及电动汽车空调电机功率需求的提升，永磁同步电机的负载转矩波动幅值大、频率高，现有无位置传感器控制技术难以满足高带宽的抗负载扰动运行，导致空调压缩机难以运行在最优功率点；第二，现有无位置传感器控制技术无法满足电动汽车对于噪声、振动和不平顺性（NVH）特性的需求。不同于置于室外的家用空调压缩机，车载空调系统均处于电动汽车结构内部，因此对电机运行的噪音等级具有更高要求。然而，用于低速无位置传感器控制的高频注入信号频率通常在千赫兹，属于听觉敏感频率范围，所产生的高频噪音问题恶化电动汽车的NVH特性。此外，逆变器非线性、低载波比和电压调制等非理想因素在估计转子位置中谐波误差，导致无位置传感器控制系统存在谐波转矩，引发空调压缩机中机械噪声。综上所述，针对电动汽车空调电机系统存在的特有问题的研究，研究高精度和低噪音的无位置传感器控制技术，可以促进空调系统位置传感器虚拟化技术的创新与产业化应用。

## 2.2、电流与电压传感器虚拟化

永磁同步电机电流与电压信号互为耦合，因此可利用有限信息实现电流与电压传感器的虚拟化。目前主流的电机驱动电流重构方法是将电流传感器安装于直流母线。通过研究不同扇区与电压空间矢量的组合，建立直流母线电流与相电流的映射关系进行电流重构。由于电力电子变换器死区、采样延时、电流响应时间等因素的存在，电机驱动在低调制比区域和扇区边界都存在一定的电流重构盲区。重构盲区内仅能获取部分电机相电流信息。通常的解决方案为采用近似估计、电流预测等方式对电流重构盲区的电流进行估算，但其估算精度非常有限。在直流母线电压估计方面，现有研究主要通过基于电机模型的电流电压脉冲响应以实现直流母线电压观测。由于电流估计误差及逆变器非线性等因素的存在，直流母线电压估算精度同样较低，很大程度上制约了空调系统的全工况运行性能。此外，目前的技术方案并未考虑电机三相绕组之间信息关联性，未通过相互校正提升电流观测精度。直流母线电压的观测同样未能充分利用永磁同步电机绕组的信息耦合性，因此电压观测精度不足。综上所述，在少电流传感器和无电压传感器的配置下，研究最大限度地提升电流和电压观测精度的方法，对低成本电动汽车空调电机系统的运行性能提升具有重要意义。

## 2.3、温度传感器虚拟化技术研究现状

永磁同步电机温度传感器虚拟化技术包括电机定子和转子温度的在线估计，主要方法分为两类：电机参数辨识与集总参数热网络模型。电机参数辨识包括电阻辨识与转子磁链辨识。利用定子电阻与转子电阻的温度正相关特性，通过构建在线电阻观测器，以获取定转子温度信息。然而，从大功率永磁同步电机的设计角度，为降低电机铜耗，定子电阻阻值较小，因此在实际电机运行

工况中信噪比低，基于电阻辨识的方法无法应用于大功率空调电机。基于转子磁链辨识的永磁电机转子温度估计受制于永磁体材料的选择，常见空调电机永磁体材料（如NdFeB）的磁链-温度相关性弱，难以实现电机全工况的高精度温度估计，尤其在低速运行区间内，磁链的准确观测难以解决。因此，对于大功率空调电机温度监测而言，集总参数热网络模型因其对温度的能观性好且信噪比高，成为了主流方案。此方法通过构建电机的定子、转子、绕组、轴承与外部空间的等效热阻模型，使用热网络参数离线辨识方法，并考虑电机结构特点与动态功率损耗，可提供更高信噪比的定转子温度辨识结果。然而，集总参数热网络模型在应用中存在挑战：第一，需要建立精准的功率损耗模型，但大功率高速空调压缩机的解析建模难度高，且不同电机结构的建模方法差别较大；第二，热网络的温度估计精度与网络阶数正相关，高精度热网络需对电机内部详细结构进行热分析，工程实现难度大；第三，因建模精度不足，算法在多工况与多环境变化下的温度估计精度有限，无法适应复杂空调运行条件。因此，有必要发展新型温度传感器虚拟化技术，针对大功率空调永磁同步电机的应用需求，提出具有高精度和强环境适应能力的电机定转子温度观测方法。

### 三、关键性问题或技术：

（1）针对电动汽车空调电机系统大功率特性与车载特殊应用需求问题，如何设计高动态性能的抗扰动位置传感器虚拟化控制技术，并降低位置估计中产生的高频噪音污染，优化位置传感器虚拟化技术的噪声和振动特性。

（2）在电流与电压传感器虚拟化条件下，如何通过有限采样、给定和电机模型信息，设计多维信息融合方法建立重构信号与已知信息的映射关系，获取包括重构盲区在内的三相电流和母线电压的高精度解析结果。



（3）基于传统温度传感器虚拟化技术的应用难题，探索数据驱动型温度监测算法的新思路，如何以深度学习为框架设计温度监测方法，避免复杂系统建模，提升温度监测系统的适应性与精准性，同时优化深度学习框架，减少模型复杂度。

四、预期目标：

本项目致力于解决电动汽车空调永磁同步电机多传感器虚拟化驱动控制的关键科学问题，以降低车载空调系统成本并提升运行安全性。针对位置传感器虚拟化技术，通过揭示车载空调电机驱动负载变化规律与非理想扰动模型特征，建立基于自抗扰技术的高带宽无位置传感器控制系统，并提出随机信号注入的低噪音控制策略，改善位置传感器虚拟化技术的噪音和振动特性。针对电流与电压传感器虚拟化技术，分析永磁同步电机逆变器电流流通路径，揭示电流电压信号的局部重构盲区，以多维模型、给定与采样信息构建相电流和母线电压的映射关系，提出高精度电流与电压传感器虚拟化关键控制理论。针对温度传感器虚拟化技术，研究以深度学习为框架的新型数据驱动型电机定转子温度辨识方法，克服电机模型依赖性和适应性不足的影响，进一步提出具有高辨识精度和低计算负担的工程化温度传感器虚拟化算法。通过对以上关键技术的研究，支撑电动汽车空调多传感器虚拟化系统调控理论和实用技术的发展，满足低成本、高可靠性空调永磁同步电机驱动系统在电动汽车中的应用需求

项 目 负 责 人 项 目 经 历		
起止时间	项目名称	主要内容

2021-2023	国家自然科学基金委青年科学基金项目——多模态能量交互下无电解电容永磁电机驱动系统稳定运行控制策略研究	建立了无电解电容永磁电机系统能量流特征模型，揭示了系统耦合机理，研究系统稳定性控制控制策略，提高了系统稳定性。	
2023-2025	广东省自然科学基金项目——电动汽车空调永磁同步电机驱动控制技术研究	与本项目为同一课题	
工 作 计 划 安 排（2026.7-2028.4）			
序号	起止时间	阶段内容	工作量估计（天）
1	2026.07-2026.09	研究永磁同步电机位置传感器虚拟化控制系统动态响应特征和复合动态模型； 综合线性化系统时频响应特性、系统裕度和响应速度，建立控制系统增益配置方法。	60
2	2026.10-2026.11	研究多种随机注入信号频率、种类和幅值对功率密度分布影响机制，得到最优化设计； 提出随机注入下位置信号解调方法，结合自抗扰负载与位置观测器，构建完整位置传感器虚拟化控制技术，并开展仿真和实验验证。	40
3	2026.12-2027.02	研究不同扇区和电压矢量下，直流母线电流与相电流的映射关系进行电流重构； 建立线性状态反馈设计构建电流观测器，提出电流传感器虚拟化的高精度观测方法。	60

4	2027.03-2027.05	<p>构建定子磁链状态观测器，并根据电机参数摄动下的误差产生机理，提出参数补偿方法；</p> <p>获取在少电流传感器和无直流母线电压传感器条件下，电机相电流和直流母线电压的精确估算策略，并开展仿真和实验验证。</p>	60
5	2027.06-2027.09	<p>完善空调永磁同步电机定转子温度测量平台构建，获取多工况下温度变换信息数据；</p> <p>研究深度学习温度估计方式参数调试方式，根据性能实际需求，获取优化参数调试方法。</p>	60
6	2027.10-2027.12	<p>分析先验温度知识与深度学习网络的融合机制，简化深度学习网络深度；</p> <p>综合分析基于数据驱动型温度传感器虚拟化技术的设计思路，总结实验验证方法。</p>	60