

华中科技大学电气与电子工程学院

电能高密度转换全国重点实验室 高性能电机控制团队 成果推介 | 高效高功率密度智能驱动控制

| 所属领域

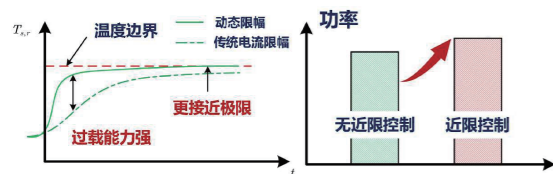
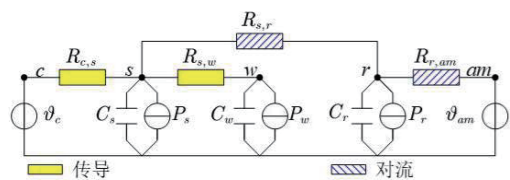
高效高功率密度智能化电机系统

| 痛点问题

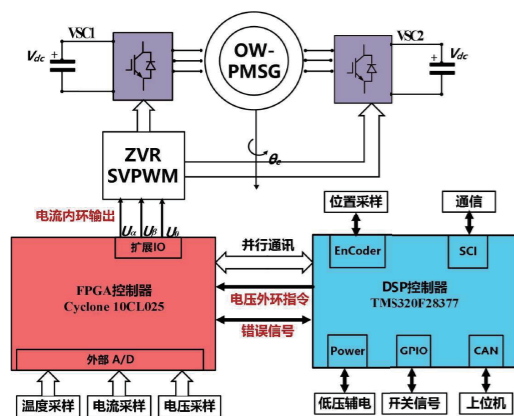
◎当前高效高功率密度智能电机驱动控制领域面临的核心技术挑战主要集中在以下几个方面：

- **高效率和高功率密度的协同设计：**SiC/GaN器件推动效率跨越提升，多物理场协同设计大幅提高功率密度。但散热瓶颈限制密度提升、器件成本阻碍规模应用、高频EMI影响可靠性，亟需器件-模块-系统全方位协同设计优化。
- **先进电机驱动控制策略与算法：**传统控制算法与AI融合开辟控制新范式，无感技术实现全速域覆盖。但复杂算法与微秒级实时性冲突、参数鲁棒性理论不足、AI黑箱特性与工业可靠性相悖，制约了先进控制策略和算法的应用。
- **智能感知与故障诊断的挑战：**电流、振动、温度等信息多源融合，深度学习可精准识别绕组、轴承、转子故障。但诊断与容错控制闭环不成熟、复杂工况泛化差、嵌入式算力受限，是智能感知和故障诊断实用化亟待解决的问题。

| 解决方案



电机系统状态监测与智能控制



电机驱动器DSP+FPGA协同架构

高效高功率密度智能电机控制器系统技术方案：

◎**高密度电机驱动器设计方法：**采用第三代宽带隙半导体器件SiC和GaN，充分发挥其高耐压、低导通电阻和快速开关特性，显著提升功率密度。结合多电平拓扑结构，降低器件电压应力，提高效率。同时，应用软开关技术，进一步抑制开关损耗。

◎**智能化多层次热管理系统：**建立“器件级-模块级-系统级”三层热管理架构。器件级采用散热封装和界面材料优化；在模块级集成丁腈流道-斜肋片复合散热结构；在系统级基于精确网络模型的电机全工况温度观测，实现系统近限控制运行。

◎**高性能数字控制平台：**基于多核DSP/FPGA的分布式控制架构，实现微秒级实时响应。平台集成自适应参数辨识模块，提供标准化软件框架，支持多种控制算法的快速部署与切换，具备完整的故障诊断与容错控制功能。

◎**先进电机驱动控制算法：**开发了系列控制算法，例如：零序分量PR解耦控制算法，抑制零序分量不利影响，提升控制性能；NTSV三电平调制与基于模型预测的电压平衡算法，确保精准协同控制；新型自适应非线性母线电压控制算法，解决了母线电压剧烈波动的问题。

◎**分层架构的AI赋能方案：**设计阶段运用机器学习实现多目标优化；运行中采用自适应控制算法，动态调整关键参数；采用AI模型，基于测量信号进行故障特征提取与趋势预测；构建设备健康评估体系，支持预防性维护，实现全生命周期智能化管理。

| 技术指标



典型控制器举例

◎500kW SiC电机控制器性能指标：

额定功率：500kW(4×3相, 电流310Arms)
峰值功率：625kW(4×3相, 电流400Arms)
额定电压：540VDC
体积：200mm×390mm×370mm
重量：30kg

开关频率：20kHz
功率密度：≥17kW/L
功重比：≥16kW/kg
冷却方式：油冷
最高效率：99%

| 竞争优势

产品瞄准当前电机驱动控制领域的核心技术瓶颈，凭借卓越的功率密度指标、智能化控制性能和系统集成度，在航空电气化、电动汽车、绿色船舶、特种装备等高端应用领域为客户提供更紧凑、更高效、更智能的驱动控制解决方案。

| 产业化应用

项目的多项成果解决了高效高密度智能驱动设计和控制问题，目前已经广泛应用于华为技术有限公司、中国船舶集团、中国航空发动机集团、孚瑞肯电气(深圳)有限公司等单位。



| 资质荣誉

获得湖北省科技进步一等奖，中国电工技术学会技术发明奖一等奖、日内瓦发明展特别嘉许金奖，华为智能汽车技术创新创意大赛特等奖，湖北省博士后创新创业大赛特等奖等奖励。



| 知识产权

该成果已拥有发明专利和实用新型专利60余项，SCI/EI论文70余篇，国标5项，软件著作权6项。



| 技术成熟度

已有成熟产品，已经投入生产应用。



| 合作方式

专利成果转化、联合技术开发、技术服务等

电话：18627792282
联系人：袁昌才
地址：武汉市洪山区华中科技大学
电能高密度转化全国重点实验室研究大楼