

## 华中科技大学电气与电子工程学院 成果推介 | 大功率逆变电源装备电磁兼容技术与工程应用

### | 所属领域

电力电子电磁兼容

### | 痛点问题

◎ 百kW级、MW级的大功率逆变电源装备在多电飞机、全电船舶、轨道交通、大规模光伏发电系统等军民通用技术领域得到广泛应用。然而，大功率逆变电源在提升供电品质的同时带来了愈发严重的传导和辐射电磁干扰问题，其内部功率器件高频高速的开关动作会产生高幅值宽频段的强电磁干扰，通过对内强弱电耦合和对外电磁发射的方式造成电磁干扰故障，严重威胁装备自身及周围电子设备的可靠性。据NASA的统计数据表明，飞机上敏感设备失效故障60%源于电磁干扰；而据国网不完全统计，目前国内±500kV直流输电换流阀故障80%由电磁干扰引起的。

◎ 大功率逆变电源装备的电磁干扰呈现多源性、隐蔽性、宽频性的特点，给电磁干扰的机理分析、诊断、建模和有效抑制带来了极大挑战。大功率逆变电源装备含有多级多组功率变换电路，多个变换器干扰相互耦合，起主导作用的变换器干扰源及路径难以辨识与诊断；装备紧凑空间结构造成显著的强弱电耦合效应，其耦合机理不清且建模不准，难以指导电磁干扰抑制设计；大功率逆变电源的对地共模电流可达1A-10A级别，大大超过电磁兼容标准中规定的高频段单频点20 μA干扰限值（以CISPR 22为例），此外超宽频干扰涵盖从kHz级到MHz级传导干扰、MHz级到GHz的辐射干扰，传统的抑制方法难以实现高幅值宽频干扰的有效抑制。

◎ 团队攻克了机理难探明、故障难诊断、模型难建准、措施难抑住的技术瓶颈，最终形成一套完备的“机理-诊断-模型-抑制”设计方法体系，提高百kW级、MW级大功率逆变电源装备电磁兼容设计的针对性与有效性。

### | 技术路线

项目组首次揭示了大功率逆变电源内部EMI强弱电耦合机理，创造性地提出了传导EMI建模方法及高功率密度抑制技术，首创了辐射EMI诊断与分频抑制方法，显著提升了大功率逆变电源装备的电磁兼容性。

#### 装备电磁兼容关键技术

- ◎ 首次揭示了大功率逆变电源内部功率回路与控制系统间EMI强弱电耦合作用机理，提出了考虑强弱电耦合路径的EMI预测建模；
- ◎ 定位了共模EMI由功率回路逃逸至控制系统和绕过EMI滤波器的强弱电耦合路径，发明了针对强弱电耦合干扰的抑制方法，解决了强弱电耦合效应引发的控制系统受扰与EMI滤波器失效问题。
- ◎ 揭示了功率器件的动态特性与无源谐振导致的高频振铃效应，提出了时频域混合传导EMI高精度建模方法，在提升仿真速度的同时提升高频预测精度；
- ◎ 分析了不同规格形状的磁芯磁路特征，发明了基于跑道型纳米晶磁芯的大功率EMI滤波器设计方法，提高了EMI滤波器的功率密度和低频抑制性能；
- ◎ 发明了基于离散频谱的低频耦合与基于时频矩阵的高频耦合的多源干扰解耦方法，实现了辐射EMI主导干扰源的精准定位，拓展了EMI诊断上限频率；
- ◎ 针对辐射EMI在低、中、高频段的传播途径差异，采用镍锌磁环、提高接地阻尼与电磁屏蔽的分频协同抑制方法，解决了辐射EMI干扰的宽频精准抑制难题。

### | 技术指标



- ◎ 研制的装备电磁兼容良好，顺利通过GJB151B、GB4824等军民标准标准的传导和辐射限值；
- ◎ 开发国内首款覆盖射频电磁干扰源预测软件，9k-1GHz干扰源建模仿真速度由商用软件的小时级降至分钟级，干扰源高频谐振处预测精度提高了19dB；
- ◎ 传导干扰建模方法能实现误差不超过6dB传导干扰精确预测；
- ◎ 辐射EMI诊断频段由10kHz-5MHz拓展到10kHz-200MHz；
- ◎ 所提强弱电耦合干扰抑制方法有效阻断干扰逃逸路径，最高实现40dB抑制性能；
- ◎ 大功率无源EMI滤波器功率密度显著提升，由占逆变电源装备体积的20%降至8%。

### | 权威机构检测

项目研制的系列大功率逆变电源装备通过第三方权威机构的电磁兼容检测、科技查新和科技成果鉴定，电磁兼容技术达到国际领先水平。



### | 著作教材

出版教材《电力电子装置及系统的电磁兼容》，入选中宣部“十四五”时期国家重点出版物出版专项规划项目。



### | 科技奖励

项目创新成果获国家科技进步二等奖、教育部科技进步一等奖、中国电源学会科技进步一等奖，以及湖北省杰出青年、台达电力电子中达青年学者奖和各类优秀论文奖等。



### | 产业化应用

项目成果在中船、华为、中车等领军企业制造装备中规模应用，社会和经济效益显著。



### | 知识产权

项目成果发表SCI/EI论文100余篇，授权中国发明专利13项，成果转化2项。



### | 合作方式

项目合作、联合技术开发、技术服务等。

电话：13554091561、13294161876

联系人：裴雪军、周鹏

地址：武汉市洪山区珞喻路1037号华中科技大学电气与电子工程学院