

双三电平储能并网逆变器 及其产业化

何英杰



1.项目情况

储能并网逆变器

■ 市场背景

➤ “碳中和”，“碳达峰”的提出带来**新能源产业**的更大发展；**储能并网逆变器**是新能源发电系统中不可或缺的电力电子装置，**市场需求量日益增加。**



■ 行业现状及市场痛点

- **并网逆变器**是储能系统的核心装置，市场需求量日益增加。
- 但现市场上存在**输出质量不稳定、输出电流跟踪精度低、体积重量大、成本较高**等普遍问题。



1.项目情况

并联三电平储能并网逆变器

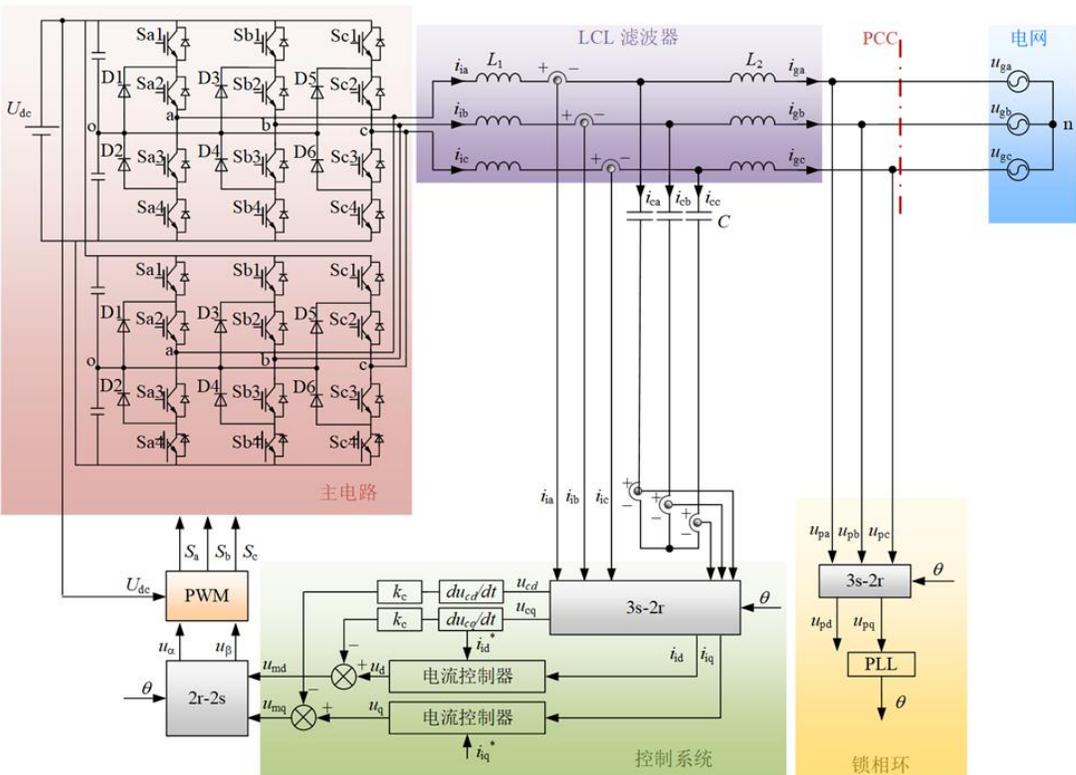
■ 产品优势

- 输出波形质量高；
- 输出电流跟踪精度高；
- 体积、重量小，功率密度高，体积重量相对现有产品减小15%以上。

该项目综合本团队(西安交通大学学科评估电气工程和清华大学并列全国第一，获得过两次国家科技进步二等奖)多年来在大容量、高效率电力电子装备领域的技术与成果优势，根据储能并网逆变器的技术特点，全面突破**并网逆变器高性能小体积低成本逆变技术**的关键难题。通过与精确建模结合的优化设计方法，提升整个方案的可行性，形成自主知识产权，并进行产业化建设，全面提升我国**低开关频率并网逆变器装备产品的整体水平**，完善我国并网逆变器装备产业链，推动该领域关键技术与装备的跨越式发展。



1.项目情况



■ 项目内容

□ 并联三电平**并网逆变器**精确建模

□ 并联三电平**并网逆变器**SVPWM调制

优化设计

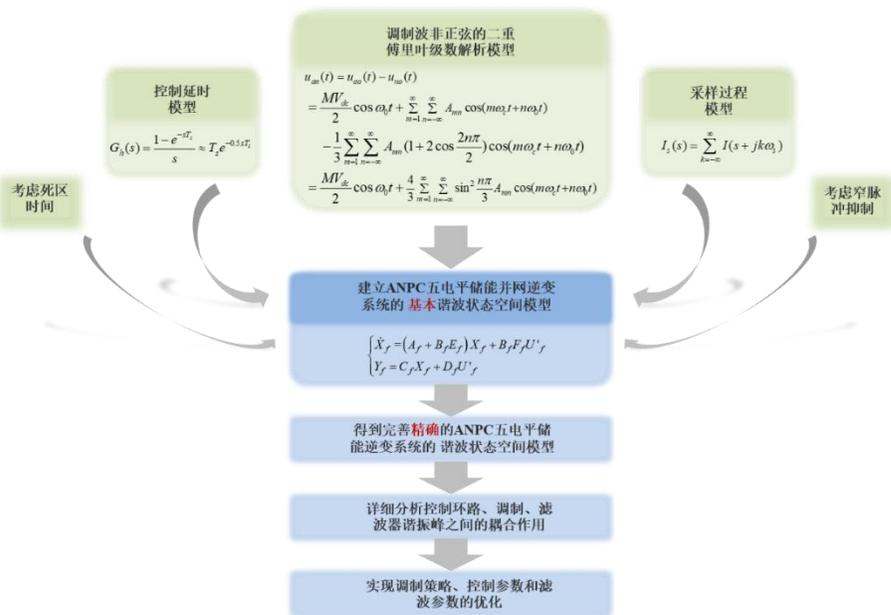
□ 并联三电平**并网逆变器**控制器、输出滤波器参数优化设计

1.项目情况

核心技术

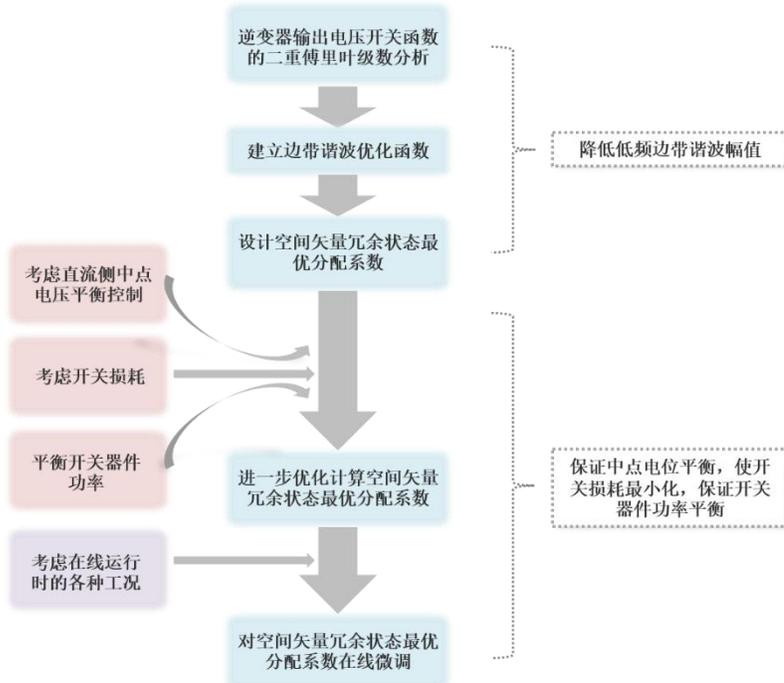
精确建模技术

- 建立考虑死区、控制延时、采样过程等非理想因素在内的精确谐波域模型，指导系统优化设计。



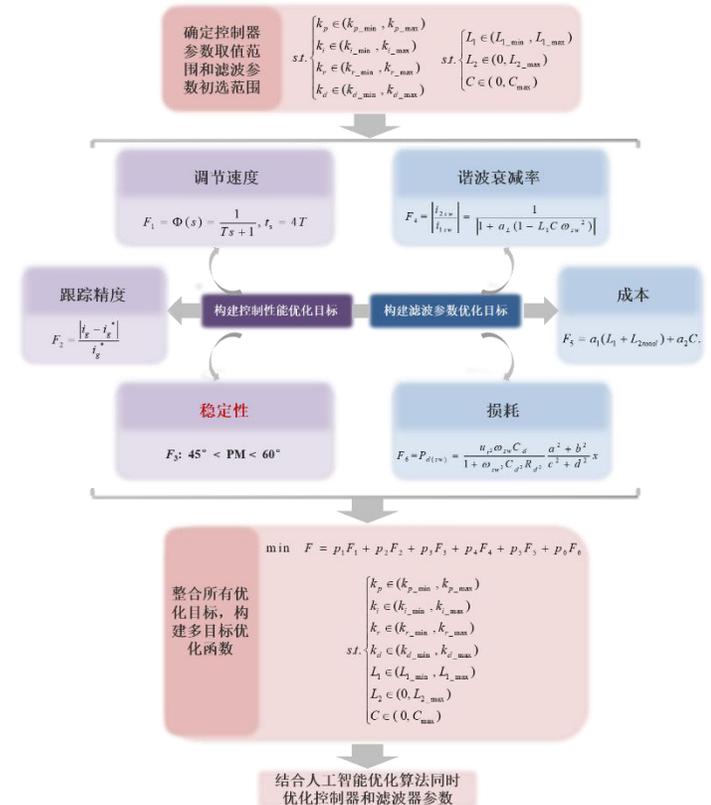
调制优化技术

- 建立边带谐波优化函数
- 优化空间冗余状态最优分配系数



控制器、输出滤波器参数优化设计

- 基于所建精确模型，构建控制系统和输出滤波器的多目标优化函数
- 结合人工智能优化算法同时对控制参数和滤波参数进行优化设计



2.团队基本情况

➤ 个人情况

姓名：何英杰（1978.5）工学博士

西安交通大学电气工程学院副教授，博士生导师

IEEE Senior member IEEE PES 常务理事

陕西省电源学会常务理事

入选**陕西电源学会高层次人才、江苏镇江高层次人才**

中国电工学会高级会员

中国电源学会电能质量专委会委员

《电力信息与通信技术》编委

国家自然科学基金和科技部项目评审专家

➤ 主要经历

在华中科技大学获得学士、硕士、博士学位

西安交通大学电气工程博士后

2019.3-2020.7受国家留学基金资助在丹麦奥尔堡大学访问研究。

从2000年-2023年具有23年电力电子领域校企合作研发经验，主持校企合作项目数十项。



➤ 研究方向：

多电平变流器及其应用、
电力电子在新能源及电力系统
中的应用、电能质量及其控制
技术。

2.团队基本情况

► 科研项目

- 主持国家自然科学基金等国家级和省部级科研项目；
- 作为骨干成员参与国家自然科学基金重点项目、国家重点研发计划项目、国家863计划项目和国家科技支撑计划项目等多项国家级重点课题；
- 并作为主持人承担南方电网公司重点项目等数十项项与企业合作课题研究。

► 科研成果

- 发表科技论文100余篇，其中以第一作者发表SCI期刊23篇；国内一级学报中国电机工程学报和电工技术学报22篇。
- 在中国电机工程学报发表的科研成果获评中国电机工程学报特殊贡献奖。
- 出版专著《谐波抑制与无功功率补偿》。该专著深受同行欢迎，他引次数达7896次。
- 排名第一获2021年中国电源学会科技进步二等奖“面向多电平变流器输出性能优化的PWM理论研究及应用”，排名第一获2022年陕西电源学会科技进步奖“电压暂降耐受能力自动测试研究与系统开发”（全省唯一1项科技进步奖）。
- 排名第二制定国家能源行业标准1项；多次受邀担任国际会议程序委员会主席。



2.团队基本情况

- **何英杰、刘进军、周洪伟、王跃、肖国春、吕琳. 面向多电平变流器输出性能优化的PWM理论研究及应用.中国电源学会科技进步二等奖（排名第一）**



2.团队基本情况

➤ 主持或参加重点项目

| 项目来源 | 项目名称 |
|--------------|---|
| 国家自然科学基金面上项目 | 多电平变流器空间矢量和载波调制策略等效关系研究 |
| 国家自然科学基金青年项目 | 混合级联多电平有源电力滤波器及其复合应用研究 |
| 国家自然科学基金重点项目 | 多变流器协调控制及稳定性理论与关键技术 |
| 国家重点研发计划 | 大规模风/光互补制氢关键技术研究及示范/多变流器风光氢直流微网建模与稳定性分析研究 |
| 国家863项目 | 电网消纳大规模间歇式能源的协调控制关键技术 |
| 国家科技支撑计划 | 电能质量复合控制技术装置 |

2.团队基本情况

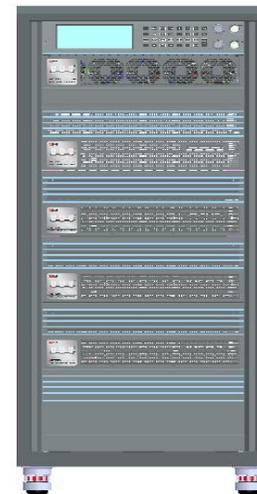
- 作为项目负责人主持承担南方电网公司重点项目等多项与企业合作课题研究。
- 研制多款电力电子产品，性能优于国外同类技术，并且在企业实现了规模化生产和广泛使用。



集中式光伏逆变器



组串式光伏
并网逆变器



世界首次研制出
灵活便携可编程
测试逆变电源



串联H桥SVG



三电平模块
化APF



2.团队基本情况

付**
销售总监

- 西安交通大学硕士
- 曾任行业知名大公司销售副总经理。
- 十几年相关行业销售经验。

黄**
研发总监

- 华北电力大学硕士
- 曾任行业知名大公司研发总监。
- 十几年研发经验，研制多款电力电子产品并实现规模化生产和广泛使用。

该项目综合本团队(西安交通大学学科评估电气工程和清华大学并列全国第一，获得过两次国家科技进步二等奖)多年来在高效率电力电子装备领域的技术与成果优势，根据储能并网逆变器的技术特点，全面突破**并网逆变器高性能小体积低成本逆变技术**的关键难题。通过与精确建模结合的优化设计方法，提升整个方案的可行性，形成自主知识产权，并进行产业化建设，全面提升我国**储能并网逆变器装备产品的整体水平**，完善我国**并网逆变器装备产业链**，推动该领域**关键技术与装备的跨越式发展**。

3.项目实施情况汇报

■ 已完成原理样机开发

■ 项目创新点

- 首次提出低开关频率下，考虑控制延时、等非理想因素的大功率并网逆变器的谐波状态空间建模方法；
- 首次提出降低低频边带谐波的低开关频率大功率并网逆变器优化SVPWM调制方法；
- 首次提出同时优化控制器和滤波器参数的大功率并网逆变器优化设计方法。



并网逆变器测试平台

[1] Yuxi Cai, **Yingjie He**, Hongwei Zhou, and Jinjun Liu. Design Method of LCL Filter for Grid-Connected Inverter Based on Particle Swarm Optimization and Screening Method[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2021, 36(9): 10097-10113.

[2] Chen Juan, **He Yingjie**, Hasan Saad Ul, Liu Jinjun. A Comprehensive Study on Equivalent Modulation Waveforms of the SVM Sequence for Three-Level Inverters . IEEE Transactions on Power Electronics.2015 , 30 (12) : 7149-7158.

[3] Rui Luo, **Yingjie He**, Jinjun Liu. Research on the Unbalanced Compensation of Delta-connected Cascaded H-bridge Multilevel SVG[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2018 , 65 (11) : 8667-8676.

[4] Yuxi Cai, **Yingjie He**, Hongwei Zhou, and Jinjun Liu. Active Damping Disturbance Rejection Control Strategy of LCL Grid-Connected Inverter Based on Inverter-Side Current Feedback[J]. IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, 2020.

3.项目实施情况汇报



并网逆变器测试平台

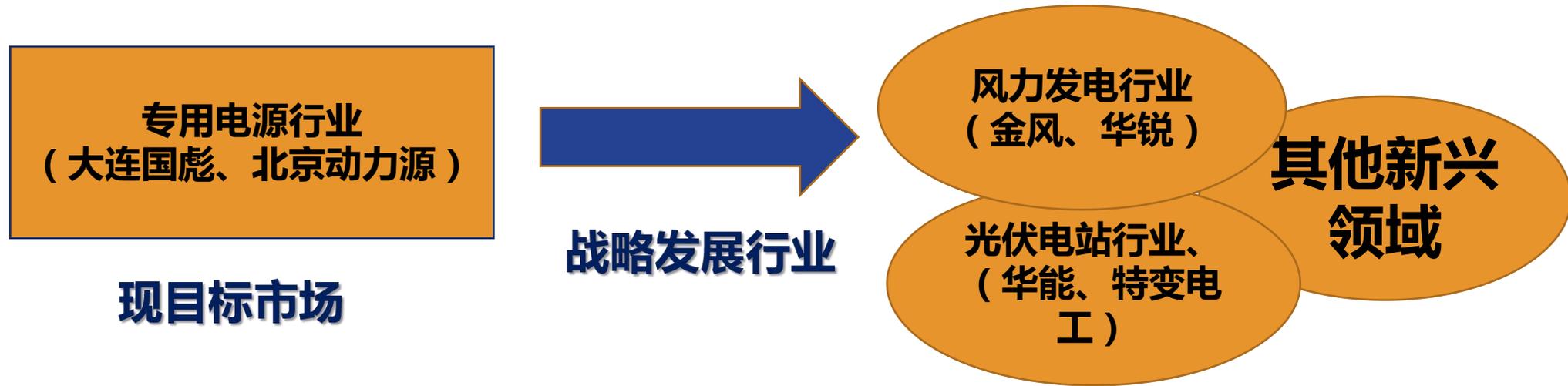
■ 已完成原理样机开发

■ 产品要达到的主要技术指标以及与现有产品的对比

| 序号 | 技术指标名称 | 技术参数 (500kW) | | | |
|----|------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------|
| | | 科华 | Refusol | SMA | 本产品要达到的指标 |
| 1 | 输出电流总谐波畸变率 | 3% | 3% | 5% | <1.5% |
| 2 | 电流跟踪精度 | 1% | 1.5% | 1.5% | <0.5% |
| 3 | 体积和重量 | 1400×1950×1000mm , 2050kg | 2000×2800×600 mm , 1700kg | 2272x2562x956 mm , 1870kg | 减小15%以上 |
| 4 | 效率 | 98.7% | 98.5% | 98.5% | 98.5% |
| 5 | 功率因数 | 0.99 | 1 | 1 | 0.99 |

3.项目实施情况汇报

■ 发展战略及目标



本项目现将市场精准定位于储能专用电源领域，研发出基于**新型大功率储能应急电源系列产品并工程推广使用**，通过3-5年的战略发展，将行业发展到风力发电、光伏电站领域，形成系列化产品，预计达产后实现年销售收入8000万元，项目完成时预计占**市场占有率达10%**。

3.项目实施情况汇报

项目实施总体情况

本项目总投资预算700万元，其中：前期投资200万元，新增投资500万元。



预期经济效益：

形成600台/套的年生产能力，占据5%~10%的市场份额，实现年销售额8000万元，年利税超过1000万元以上规模。

预期社会效益：

申请专利4项，可推动新能源发电、储能产业产业发展；进一步提升我国电气制造在国际行业中的竞争力，促进产业技术升级。

新增就业岗位40人，其中培养技术和管理人才20人，同时推动周边配套产业产品技术和质量管理的提升。

谢谢

