 DOI: https://doi.org/10.12349/tie.v2i4.6856

Research on design concept and application of hardware test platform

Wei Yao

Siemens Gamesa Renewable Energy Technology (China) Co., Ltd., Tianjin, 300384, China

Abstract

Gamesa Electric adopts SKIIP to construct a frequency conversion control cabinet with the generator rotor side. The relevant hardware test platform built based on this realizes interconnection through an internal closed-loop method. This platform can not only ensure that each IEC converter cabinet completes the test in strict accordance with the design and development requirements, ensuring the stable operation of the product under rated working conditions, but also integrates a variety of test instruments, which can fully meet the functional test requirements of each key electrical component, and provides a solid hardware support for the performance verification and optimization of the frequency conversion circuit.

Keywords

hardware test platform; frequency conversion control cabinet; photovoltaic inverter cabinet

硬件测试平台设计理念与应用研究

姚威

西门子歌美飒可再生能源科技（中国）有限公司，中国 · 天津 300384

摘　要

Gamesa Electric 发电机转子侧采用 SKIIP 构建拓扑结构的变频控制柜体，基于此搭建的相关硬件测试平台，通过内部闭环方式实现互联。这一平台不仅能确保各 IEC 变频柜严格依照设计开发要求完成测试，保障产品在额定工况下稳定运行，更集成了多种测试仪器，可全面满足各关键电气部件的功能性测试需求，为变频电路的性能验证与优化提供了坚实的硬件支撑。

关键词

硬件测试平台；变频控制柜体；光伏逆变柜

1 研究背景与意义

1.1 研究背景

变频电路作为新能源发电设备核心，其性能与可靠性决定整机效率与安全性。Gamesa Electric 双馈型发电机转子侧控制柜采用 SKIIP 拓扑变频电路，因高功率密度、低损耗优势，广泛应用于风电、光伏等领域。但该拓扑电气特性复杂，传统通用测试平台存在明显局限：

拓扑适配性不足：难以精准匹配其运行逻辑，易因参数偏差导致测试结果失真，无法反映实际工况表现。

测试场景覆盖有限：多聚焦额定工况，缺乏极端工况、故障模拟等复杂场景支撑，难以全面验证可靠性边界。

国产化验证能力缺失：核心电气件国产化进程中，需专业化平台验证国产器件缺陷与兼容性，现有平台适配性不足。

标准合规性衔接不足：国际市场对 IEC 标准合规性要求严苛，传统平台在标准对接与自动化认证报告生成上存在技术断层。

此外，同类实验室在控制策略独特性与功率等级适配性上，无法满足该变频控制柜设计测试需求，导致产品研发性能验证存在盲区，制约技术迭代效率。因此，构建专业化测试平台具有迫切现实需求。

1.2 研究意义

1.2.1 技术层面：提升测试精准性与系统性

平台基于 Gamesa Electric 产品专项设计，通过网侧电压经大容量自耦变压器内部闭环链接，实现 IEC 变流器柜、控制单元、负载模拟装置深度协同，完整复现产品全流程状态。架构设计解决通用平台适配性问题，闭环反馈机制实时捕捉参数波动，提升测试数据连贯性与完整性，为系统优化与器件选型提供精准依据。

集成多类型专用测试仪器，既满足额定工况稳定性验证，又可开展功率器件、电容、传感器等关键电气件功能性测试，预留极限工况、故障模拟等拓展接口，形成 “器件

【作者简介】姚威（1981–），男，中国天津人，本科，助理工程师，从事变频器、电力电子、EMC、认证等研究。

- 模块 - 系统” 全层级测试能力，填补特定拓扑变频电路系统化测试空白。

1.2.2 产业层面：推动国产化进程与标准合规

通过系统化测试，暴露国产电气件设计缺陷、兼容性问题及运行隐患，为国产器件迭代提供数据支撑，降低后期现场应用故障概率，推动核心电气件国产化替代，减少产业对进口器件依赖。

平台控制系统及软件严格遵循 IEC 等国际标准，确保测试结果符合行业规范，为产品通过国际认证、进入全球市场奠定基础，助力提升新能源装备国际竞争力。

1.2.3 战略层面：强化核心技术优势与可持续发展

平台建立使 Gamesa Electric 形成从设计到验证的完整技术闭环，具备特定变频控制柜自主测试能力，摆脱对通用设备依赖，提升产品开发效率。技术自主性强化企业在新能源发电设备领域核心竞争力，为后续技术迭代提供可持续实验支撑。

平台预留向上兼容接口，适配更高功率等级产品测试，满足行业技术升级长期需求。通过保障风电、光伏等场景变频电路稳定运行，为清洁能源装备安全高效运转提供关键保障，具有显著绿色发展价值。

综上，该测试平台构建在技术突破、产业升级与战略发展层面意义重大，为特定拓扑变频电路性能优化、国产化推进及标准合规提供系统性解决方案。

2 实验室设计理念的理论基础

2.1 核心设计理念的提出

定位：模块化与智能化融合，平台针对陆上风电及光伏逆变器设计搭建；可持续发展，以最小供电电能实现大功率产品满载运行，形成最优测试方案，满足 IEC 标准；安全优先，实验室与被测样品串联，任一方故障报警均触发安全停车及电源切断，实现快速响应。

依据：基于产品运行状态、环境温度、功率能耗差异及适用产品切换需求，结合数据实时交互、测试过程监控记录、问题及时发现及低能耗运行理论。

目标：达成绿色环保核心价值，以最小供电电能完成大功率产品满载运行。

2.2 设计原则与框架

功能性原则：满足核心实验需求，测试平台软件可精准测量数据至百分位，记录保存数据，记录时间参数可调，实时显示监控界面、温度及信号曲线并支持下载。操作界面简洁易用，初设后自动运行，仅需监控数据；数据异常或故障时，系统自动记录信息并快速截取故障曲线，便于后续分析排除。

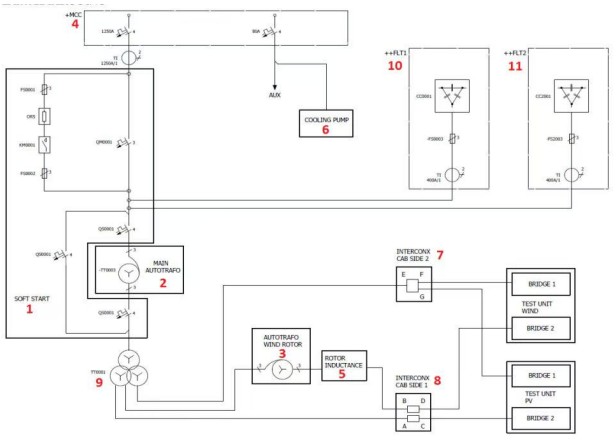
兼容性原则：适应多产品实验场景，采用 RJ45 和光纤通讯，适配 Gamesa Electric 绝大多数产品，可应用于 DAC 陆上产品的变频控制柜和光伏逆变柜。

安全性原则：强化风险防控，平台与产品安全应急链接，通过内部紧急停车辅助触点串联，实现急停响应同步；装设自动烟雾传感器和排烟消防功能，与厂区物业消防网络连接，信息同步记录留存。

可持续原则：绿色设计，针对被测试设备高达 6MW 的功率，采用自耦变压器二次回路循环设计，降低满功率测试能耗，最大功率使用 252kW，节省 80% 电能（变频器接电动机满负荷运转状态），并依据运行时间累计电能，详细分析计算测试平台系统能耗。

3 实验室架构设计与功能实现

3.1 空间布局设计



系统拓扑图

测试平台采用双层式架构设计，各层级功能分区明确，以实现被测样品与动力系统的高效协同运作。

3.1.1 平面布局与空间规划

从平面图来看，平台沿建筑轴线进行规整布局，整体呈现出对称且有序的空间分布。一层作为被测样品的存放区域，其平面尺寸遵循建筑设计，长与宽的尺寸参数依据建筑轴线间的距离确定，为被测样品的放置提供了充足且规整的空间。同时，一层设有测试体进出大门，方便被测样品的运输与装卸，大门的位置经过精心规划，确保与外部运输通道顺畅衔接。

二层为动力系统存放层，其平面布局与一层相互呼应，通过合理的空间划分，为动力设备提供了稳定的安装空间。在垂直方向上，两层之间通过楼梯实现人员与设备的通行，楼梯的位置设置在测试工作间附近，便于操作人员在两层之间快速往返，提高工作效率。

3.1.2 结构支撑体系

平台的结构支撑由建筑立柱构成，这些立柱均匀分布在平台的四周及关键部位，形成了稳固的框架结构。立柱采用型钢或钢筋混凝土材质，具有足够的强度和刚度，能够承受平台自身重量以及被测样品和动力系统的荷载。

在水平方向，楼板采用钢筋混凝土现浇板或预制板，通过与立柱的可靠连接，形成了连续的水平承重结构，确保两层平台在荷载作用下的稳定性和安全性。

3.1.3 功能分区与设备布置

一层的被测样品存放区，根据被测样品的尺寸和数量，进行了合理的区域划分。区域内设置有导轨、支架等辅助装置，用于支撑和固定被测样品，确保其在测试过程中的位置稳定。同时，为了便于对被测样品进行测试操作，存放区附近设置有测试接口和操作平台及冷却泵（COOLING PUMP）。

二层的动力系统存放区，按照动力设备的功能和类型进行布局。动力设备包括主供电单元（+MCC）、软启动单元（SOFT START (1)）、主变压器（MAIN AUTO-TRAF(2)）等，这些设备通过电缆桥架和管线进行连接，形成一个完整的动力传输网络。在设备布置时，充分考虑了设备的散热、通风和维护空间，确保动力系统能够长期稳定运行。

3.1.4 附属设施与安全设计

平台还配备了一系列附属设施，如测试工作间、楼梯、安全通道，消防烟感报警装置等。测试工作间位于平台的一侧，工作间内配备有测试仪器、监控设备等。工作间具有降噪功能，有一定程度降低在运行变频控制柜时产生的噪声，产品设定的最大噪声为不大于 85 分贝，工作间可以控制在不大于 60 分贝的一个安静环境给操作者。

楼梯的设计符合人机工程学原理，踏步高度和宽度适宜，便于人员通行。安全通道则是在紧急情况下人员疏散的重要通道，其宽度和走向经过严格设计，确保疏散顺畅。

此外，平台还设置了护栏、警示标识等安全设施，以防止人员坠落和设备损坏，保障平台在运行过程中的安全性。

动力布局拓扑结构分析

供电与配电：主供电端（+MCC）设 1250A、80A 双断路器，构主辅双链路，为冷却泵、主变压器等供电，40KVA UPS 保障应急及稳定电源。1250A 支路经熔断器、接触器控制，支持 RJ45 远程操控；80A 支路直连冷却泵。

软启动与控制：软启动单元通过分段开关实现主变压器分级调压启动，双变压器级联调电压，隔离转子侧与网侧电源，避免环流和振荡。

测试与滤波：测试单元经双桥臂电路，支持 RJ45 远程分析电能质量、模拟负载；滤波电容与熔断器组成支路，保障输入质量。

保护与监测：多级保护体系含熔断器、断路器、接触器；电流互感器与 CCU 构监测闭环。

技术特征：动态负载适配、电能质量优化（畸变率 ≤5%）、高可靠性（MTBF≥10,000 小时），为电力电子系统测试提供标准化平台，应用价值显著。

3.2 系统原理分析

主电路：采用多变压器级联和变流器组合拓扑，400Vac 厂用电经主自耦变压器变压，变压器组实现电压调整与电能传输；变流器实现整流、逆变和变频，模拟不同工况电能质量与负载特性。

控制与保护：含软启动装置（分级调压启动，减小冲击）、控制机柜（逻辑控制等）；多级保护体系（熔断器短路保护、断路器过载欠压保护、接触器故障隔离）保障安全。

冷却与辅助：冷却系统为发热设备降温（光伏逆变器测试时不运行），采用风冷或水冷，冷却泵等辅助设备由温控。

测试单元：核心部分，与变压器组、变流器互联，实现电能质量分析和动态负载模拟，含高精度测量仪器与控制算法。

4 结论

本文围绕 GamesaElectric 发电机转子侧 SKIIP 拓扑变频控制柜硬件测试平台（HTB）展开研究，得出核心结论：平台采用双层式空间布局与闭环互联拓扑，构建 “被测样品区 - 动力系统区” 协同架构，解决传统平台适配性不足问题，提升测试数据连贯性与准确性；集成多功能，实现 “器件 - 模块 - 系统” 三级测试覆盖，可量化主变压器损耗；能暴露国产电气件问题，加速替代进程，且符合国际标准，电压畸变率 ≤5%；通过多重设计保障安全可靠，MTBF 达 10,000 小时以上，确保高功率测试稳定运行。

5 展望

针对现有平台技术边界与行业需求，未来优化方向如下：

智能化升级：引入数字孪生构建虚拟映射模型，实现测试工况预仿真与参数动态优化；开发 AI 故障诊断模块，结合温度阈值（如主变绕组 113.1℃）与功率数据（-252kW 反馈）提升预警准确率。

场景拓展：增设 - 40℃ ~85℃极端环境模拟舱，开发电网扰动模拟功能，强化新能源并网适应性测试。

远程自动化：升级内联柜铜排为电动执行机构，实现 RJ45 远程组态；开发自动化脚本，支持 IEC 标准报告一键生成。

功率兼容：通过预留接口升级主变与滤波器容量，适配 10MW 以上大功率测试，契合高功率密度趋势。

上述升级将强化新能源装备测试竞争力，支撑清洁能源技术迭代。

参考文献

[1] ELECTRICAL DIAGRAM_HW TEST BENCH COMPLETE SOLUTION_CH_rev2_4x_IND

[1] PROTEUS PV-EN-FAT

[1] HARDWARE-TEST BENCH-COOMMISSIONING-MANUAL_R0.7