



## 远宽能源助力辽宁电网黑启动项目获得圆满成功

## 什么是黑启动？

黑启动指某一电力系统因故障停运后，不依赖于外部系统的帮助，只利用本系统中具有自启动能力的机组带动其他没有自启动能力的机组运行，并逐步扩大系统恢复范围，最终恢复整个系统的运行。

近年来，极端天气事件多发频发，加之新型电力系统构建过程中弱支撑的新能源大规模并网，对极端情况下电网安全可靠供电提出了极高要求和迫切需求。因此，创新研究和实施新型储能黑启动城市电网试验具有重大意义。



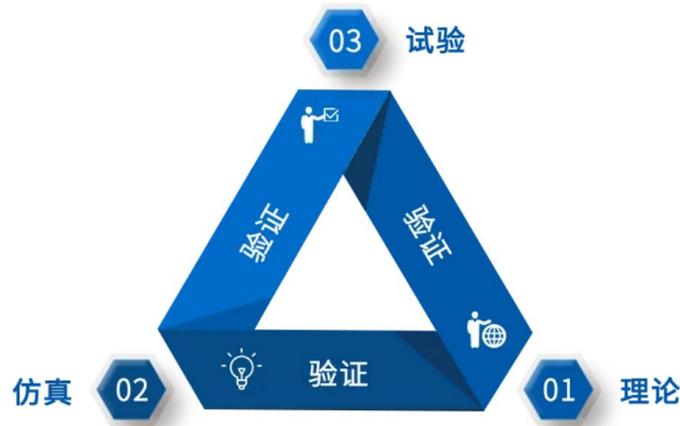
## 黑启动与 HIL（硬件在环仿真）

近期，辽宁电科院以大型新型储能国家示范项目—大连恒流储能电站作为“火种”、华能大连电厂作为被启动电源，开展了全球范围内首次基于纯电力电子设备组网的黑启动案例。



项目初期，第一次现场黑启动实验在投入 2 兆伏安低厂变后系统发生等幅振荡问题，现场紧急开展的研究论证无法查明原因，试验被迫中止。

随后，辽宁电科院、南瑞继保、清华大学等单位联合开展反演分析，辽宁电科院在半实物仿真平台上对储能电站及其黑启动线路建模，直接与现场南瑞控制器交互测试，在基于远宽能源 MT 8020 的硬件在环仿真平台上成功复现了振荡现象。综合运用线性、非线性理论的三维互证体系，揭示了控制参数影响系统振荡的复杂机理。



后续在**硬件在环仿真平台**的反复演练中完成了**高精度、全过程、全环节**新型储能黑启动试验系统分析，硬件在环仿真平台也通过了黑启动路径上的多种冲击试验，承受空投不同容量变压器、启动不同特性泵类负载、风机负载冲击，系统频率、电压均在合理范围，**确定了储能控制参数和保护策略**，**优化了黑启动各机组的启动时序**。最终大连现场历经储能电站自启动、6台变压器合闸冲击、36台辅机启动带负荷等重要过程，系统频率、电压稳定，火电机组具备点火条件，黑启动试验取得圆满成功。

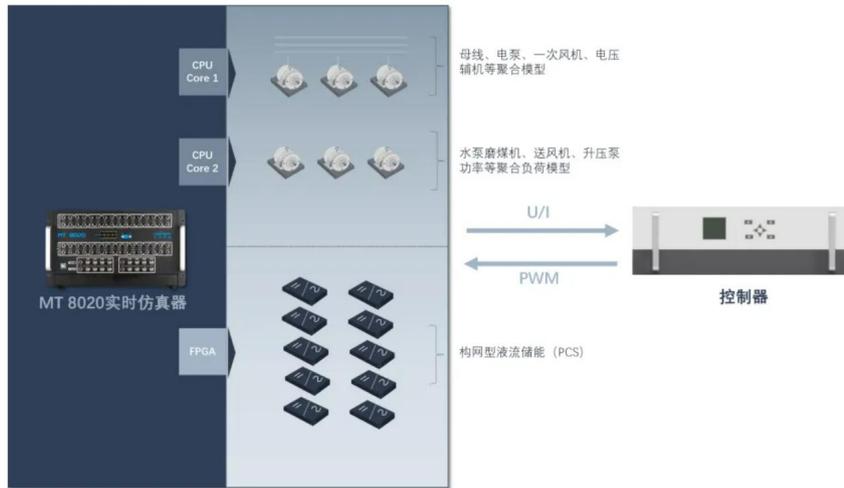


## 硬件在环仿真数据

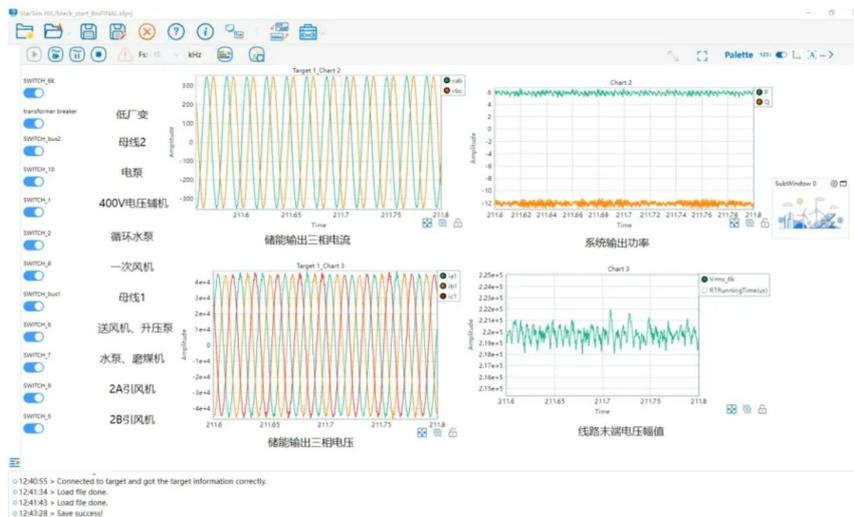
### 实时仿真模型架构

本项目并联黑启动的 PCS 数量达 144 台、现场 30 多台电机、横跨多个电压等级（400V-35kV-220kV-10kV-6kV）、带线路大容量无功。整个系统采用 FPGA+双核 CPU 并行的深度交互建模混合实时仿真框架。对液流储能电站采用 FPGA 小步长的方式建模，该模型能够在 FPGA 上以 1.2us 的小步长进行仿真；CPU 核 1 里主要放置了 6.3kVM/C 母线带的电泵、循

环水泵、引风机、一次风机及 400V P/C 母线上的电压辅机聚合模型。模拟厂用低压变压器、除尘变的饱和特性,并通过电压电流互锁传递,将变压器饱和特性实时传递到 FPGA 上的 220kV 线路中; CPU 核 2 里主要放置了引风机、水泵磨煤机、送风机、升压泵功率聚合负荷模型。



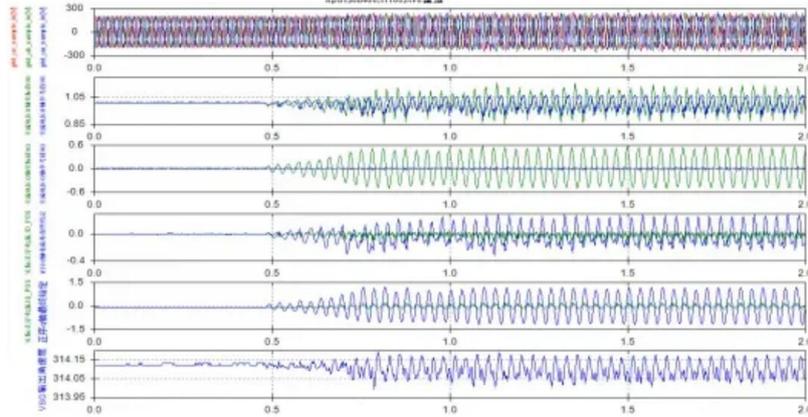
仿真试验系统框图



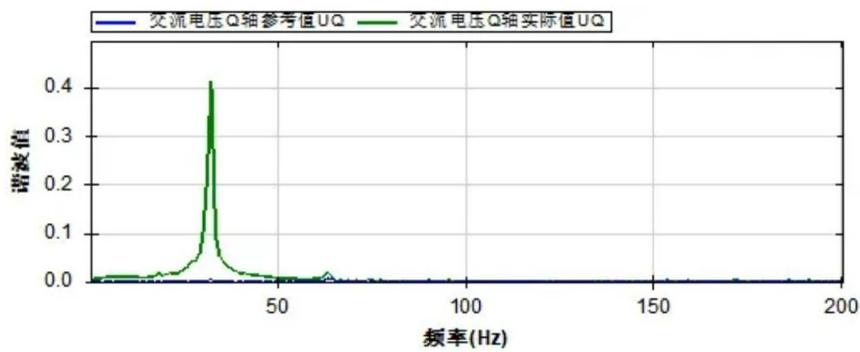
实时工程运行简图

## 实验数据波形

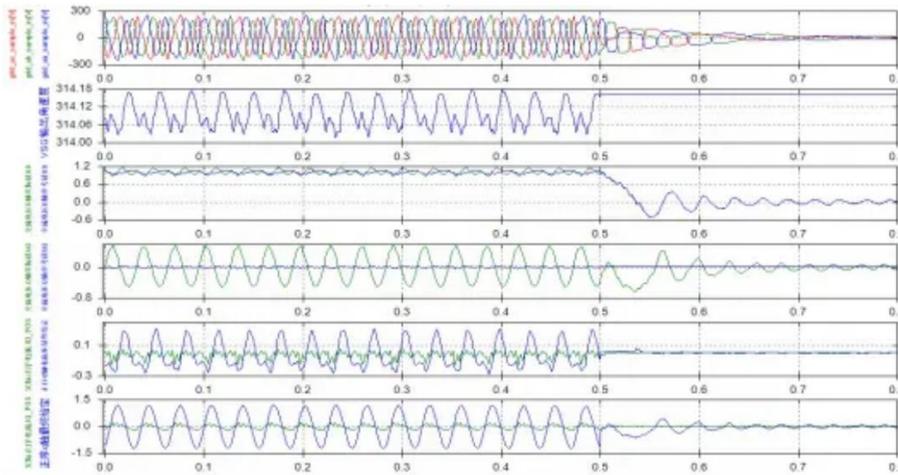
### 1) 现场震荡现象复现



仿真投入变压器振荡时，PCS 电压及内部变量



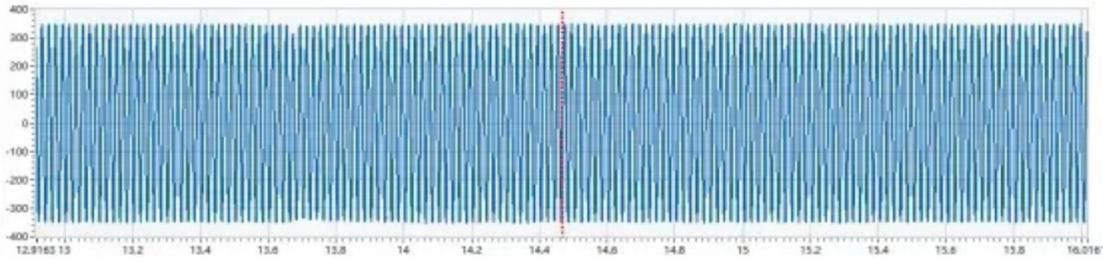
仿真投入变压器振荡时，定位到旋转坐标系下谐波（32Hz）



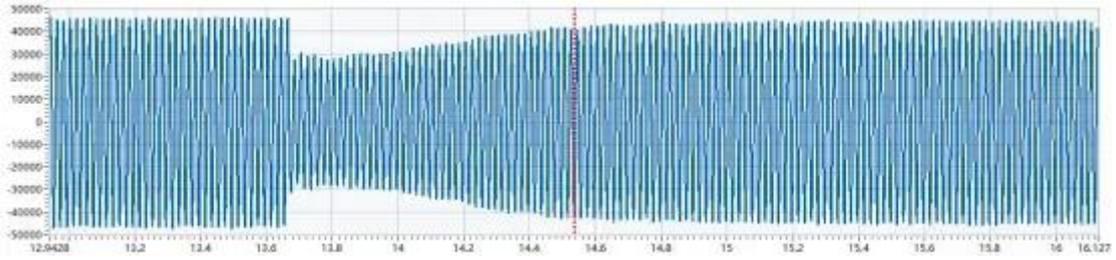
仿真投入变压器振荡时，PCS 过压保护跳闸

## 2) 黑启动成功实验现场与半实物仿真结果对比

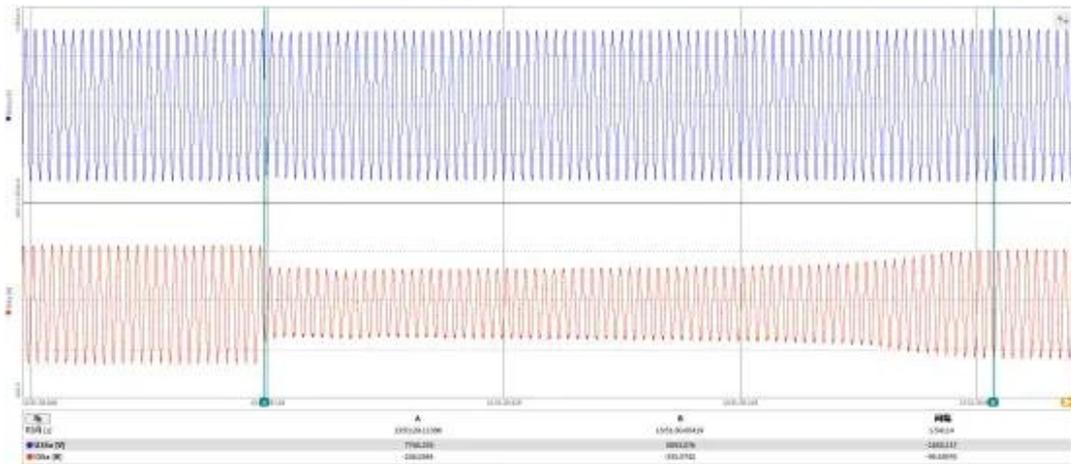
### 循环水泵启动瞬间



a 电压仿真波形



b 电流仿真波形



c 试验现场的电压与电流波形