



Case Study

晶科储能SunGiga液冷微电网直流耦合系统解决方案

1MW/2.15MWh 锂电储能系统项目——刚果(金)马科罗微电网

项目概述

本项目位于刚果(金)东北部上韦莱省的马科罗地区。该地区为偏远无电网区域,解决方案将为该省法拉杰地区的数百户家庭提供电力。

项目重点部署直流耦合储能系统(DC-coupled Energy Storage System),并与柴油发电机组(DG)协同运行。电力经输配电升压后接入区域电网,旨在展示可再生能源的应用前景,推动可持续发展,赋能偏远社区。

项目总装机容量为 1MWp 光伏系统,用于为 1MW/2.15MWh 微电网储能系统(ESS)充电。主要设备采用柜式和箱式设计,便于快速部署与调试。

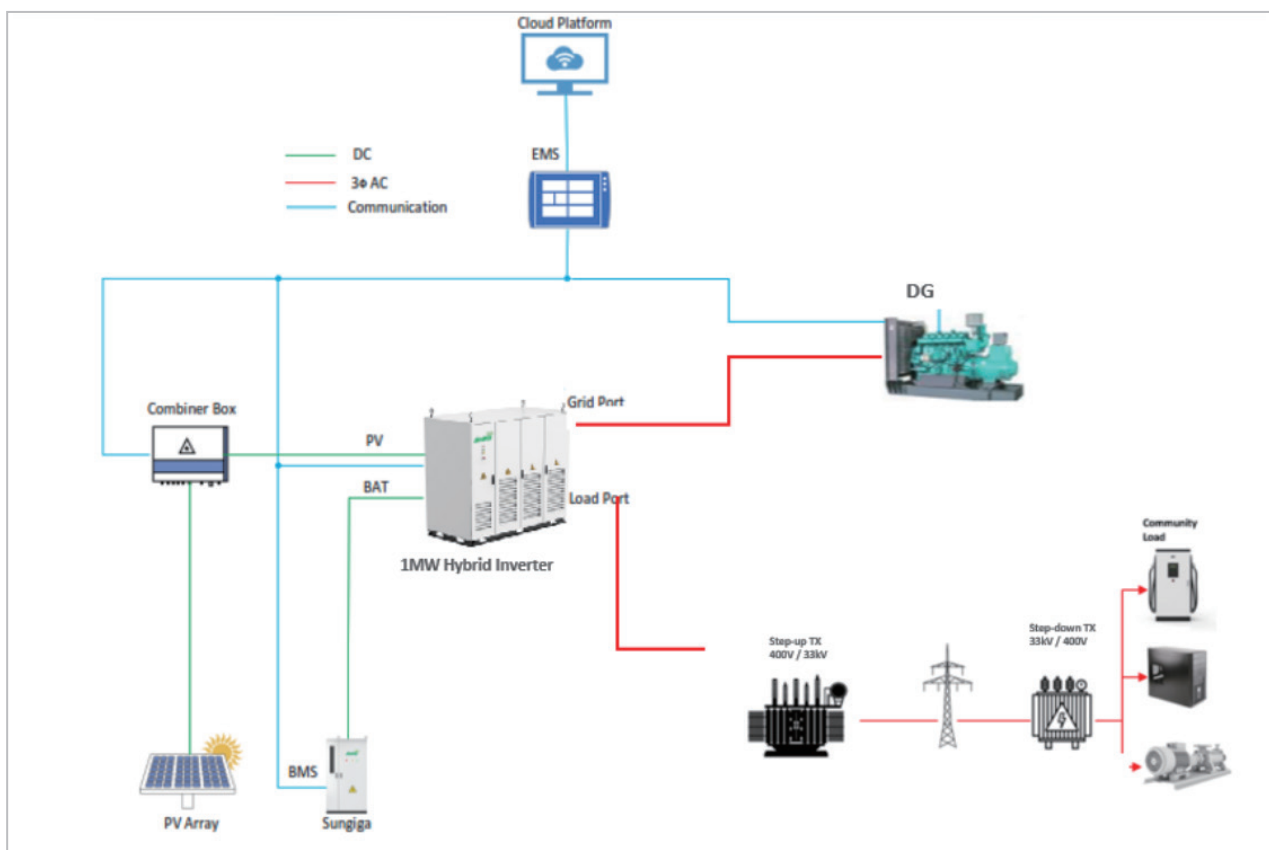


图1. 微电网直流耦合系统单线图

解决方案

本微电网解决方案采用高可靠性系统，运用离网自动切换技术与光伏系统最大功率跟踪技术，可抑制光伏系统与电池之间的功率波动，协调控制光伏系统与储能电池的出力，并通过储能变流器（PCS）输出满足标准要求的交流电，为微电网侧重要负荷供电，确保系统长期稳定运行。

2.15MWh 储能系统采用机柜式设计，集成多个子系统以实现最优性能与安全性，包括：电池簇（共 10 个）、电池管理系统（BMS）、液冷系统、消防系统、PCS 及能量管理系统（EMS）。

电池簇

每个电池簇容量为 215kWh，由 5 个额定电压 153.6V 的电池包串联而成，总电压达到 768V。同时配备高压盒（HVB），集成高低压电路的电气保护功能，以及电池簇单元（BCU），后者负责接收并处理来自各电池包的数据。

电池管理系统（BMS）

系统采用基于 CAN 总线通信的两级架构 BMS：电池管理单元（BMU）和电池簇单元（BCU）。

电池管理单元（BMU）集成于每个电池包内，用于监测电芯电压、温度及电流。电池簇单元（BCU）集成于高压盒（HVB）内，汇总总电池管理单元（BMU）上传的数据。

电池管理单元（BMU）负责实时检测热学与电气参数（电压、电流、温度等），精确估算电池荷电状态（SOC）与健康状态（SOH）并具备自动校准功能，同时支持过充电保护、过放电保护、短路保护、反接保护、过载保护及过温保护。电池管理系统（BMS）可快速隔离本地故障，上报故障信息并实时发出警告。

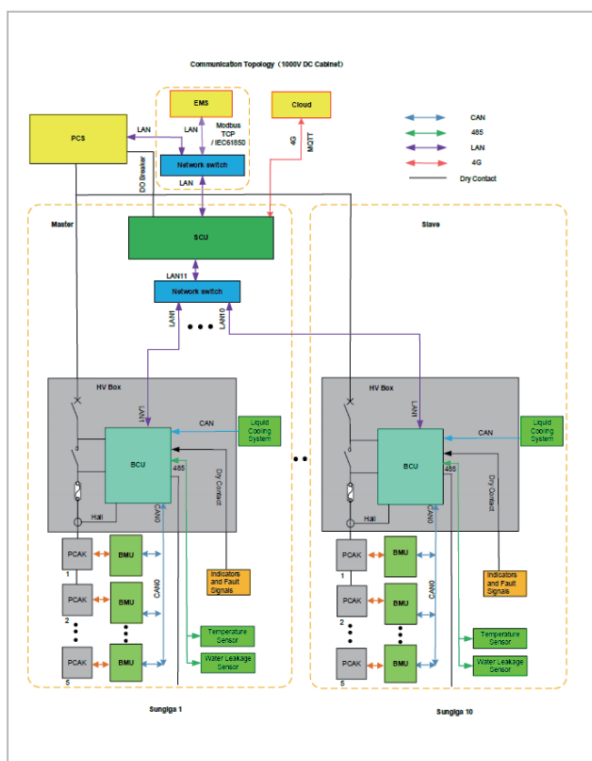


图2. 电池管理系统（BMS）通信拓扑图

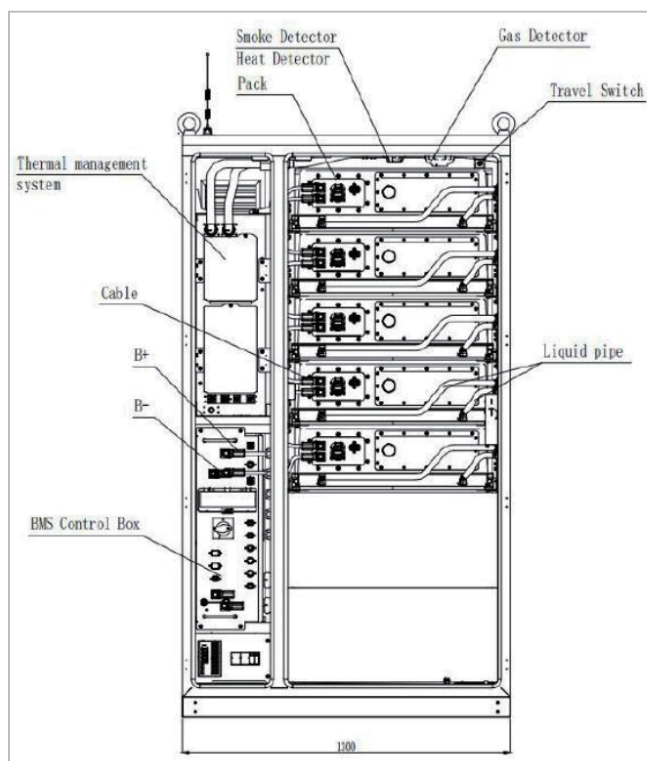


图3. 海豚SunGiga机柜布局图

液冷系统

系统采用液冷方案，由液冷主机、输液管路及电池液冷板组成，并配备多模式精细化热管理控制逻辑，以维持正常运行温度，提升系统一致性与使用寿命。

消防系统（FSS）

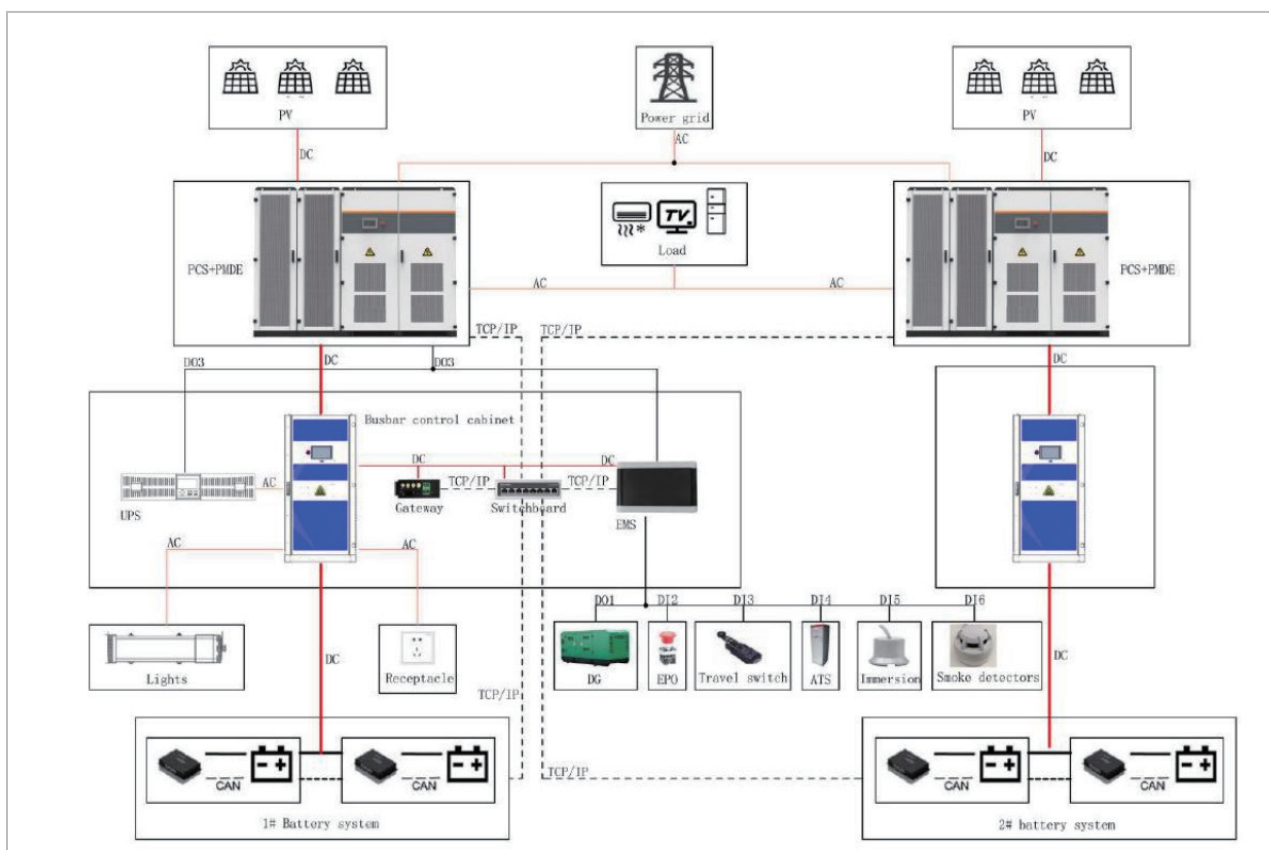
集成于储能系统（ESS）的消防系统（FSS）采用气溶胶灭火方式，旨在确保安全并将火灾风险降至最低。消防系统（FSS）包含温度与烟雾探测器，当被保护区域达到温度阈值时，灭火装置即被触发，释放灭火剂进行灭火；同时通过干接点信号反馈至上位控制系统，提醒相关人员灭火气体已释放。

储能变流器（PCS）

系统采用两台500kW（共1MW）混合型PCS，内置隔离变压器，具备高负载适应性，支持同时接入负载、电池及光伏系统。所有PCS组件及保护方案均集成于20英尺集装箱内，实现现场即插即用。

PCS拓扑结构分为两部分：直流-交流（DC-AC）变换侧与直流母线侧（DC-BUS）。直流-直流（DC-DC）低压侧由独立模块组成，每个模块采用非隔离双向DC-DC变换拓扑，可直接连接光伏系统与储能单元，并根据需要进行恒压/恒流控制；DC-AC变换侧采用两电平三相全桥拓扑。

并网运行时，DC-AC变换器交流侧接入电网进行功率控制；离网运行时，DC-AC变换器采用恒压恒频控制，为负载提供稳定的交流电源。值得关注的是，本PCS支持在110%额定功率下长期过载运行，确保在严苛工况下保持持续性能。

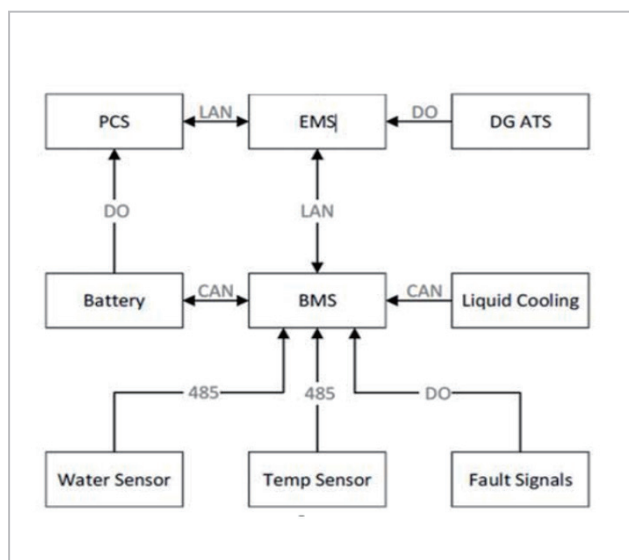


能量管理系统 (EMS)

电池储能系统中的能量管理系统 (EMS) 提供全面的功能, 确保高效可靠运行。EMS 作为中央控制单元, 优化能量流动, 提升系统性能, 并实现与各类应用及能源生态的无缝集成。

EMS 提供系统的实时监测与控制，使用户能够监控关键参数，如荷电状态 (SOC)、健康状态 (SOH) 及功率流向。通过可视化界面，用户可直接管理与调整系统设置，确保最优性能并最大化能源利用率。

EMS 在优化电池储能系统中发挥关键作用。凭借可视化界面、云平台集成、海量数据存储及可追溯的系统运行日志，EMS 确保在各种储能应用中的高效管理、无缝连接与可靠性能。



运行逻辑

第一阶段：根据项目说明，电网始终处于断开状态。当柴油发电机(DG)关闭时，PCS 处于离网模式，此时光伏系统与电池共同为负载供电。当 PCS 检测到电池荷电状态(SOC)低于 20% 时，PCS 将自动关断。待柴油发电机手动切换并完成减载操作，且实时检测与电网电压幅值、频率及相位一致后，PCS 切换至并网模式。

① 光伏功率(PPV) ≥ 负载功率(PLOAD) + 电池充放电功率(PBAT)

光伏系统(PV)优先为用户负载供电，若光伏发电量超出负载需求，则多余电量用于给电池充电。电池充满后，若光伏功率(PPV)仍大于负载功率(PLOAD)，PCS 将限功率运行。

② 光伏功率(PPV) < 负载功率(PLOAD) < 光伏功率(PPV) + 电池充放电功率(PBAT)

光伏系统与电池共同为负载供电，直至电池荷电状态(SOC)低于 20%(设定值可调)，随后 PCS 自动关断。柴油发电机手动启动并完成减载后，500kW PCS 重新以并网模式运行，柴油发电机(DG)与光伏系统(PV)共同为负载供电。

③ 光伏功率(PPV) < 负载功率(PLOAD) < 光伏功率(PPV) + 电池充放电功率(PBAT)

当电池荷电状态高于 80%(设定值可调)时，PCS 发出干接点信号关闭柴油发电机，光伏系统与电池共同为用户负载供电。

第二阶段：根据项目说明，电网始终处于断开状态。当柴油发电机(DG)关闭时，PCS 处于离网模式，光伏系统与电池共同为负载供电。当微电网控制系统检测到电池荷电状态(SOC)低于 20% 时，将发出干接点信号启动柴油发电机。柴油发电机成功启动后，若实时检测与电网电压幅值、频率及相位一致，则微电网控制系统切换至并网模式。

① 光伏功率(PPV) ≥ 负载功率(PLOAD) + 电池充放电功率(PBAT)

光伏系统优先为用户负载供电，盈余电量用于电池充电。电池充满后若光伏功率(PPV)仍大于负载，PCS 限功率运行。

② 光伏功率(PPV) < 负载功率(PLOAD) < 光伏功率(PPV) + 电池充放电功率(PBAT)

光伏系统与电池共同为负载供电，当电池荷电状态(SOC)低于 20%(设定值可调)时，PCS 向柴油发电机(DG)控制器发送启动信号，柴油发电机启动，负载由光伏系统与柴油发电机(DG)共同供电。

③ 光伏功率(PPV) < 负载功率(PLOAD) < 光伏功率(PPV) + 电池充放电功率(PBAT)

当电池荷电状态(SOC)高于 80%(设定值可调)时，PCS 发出干接点信号关闭柴油发电机，光伏系统与电池共同为用户负载供电。

BESS运行模式

晶科微电网电池子系统设计了四种运行模式：充电模式、放电模式、待机模式、关机模式。

- **充电模式：**包括恒压充电、恒流充电、恒功率充电模式。

- **放电模式：**恒交流功率放电模式。

- **待机模式：**PCS 不工作，随时接受启动指令。注：整个系统处于待机模式时，PCS 与电池管理系统(BMS)同样设置为待机模式以保持最低功耗，但能量管理系统(EMS)的保护与远程调度功能仍保持激活。

- **关机模式：**包括故障关机与非故障关机。当混合逆变器发生故障时，逆变器电源立即断开交直流侧接触器并关闭系统以确保安全。若故障未消除，则保持故障状态；故障消除后，需手动复位启动指令。

监控系统

SCU 监控

系统配备两台现场控制单元 (Site Control Unit, SCU), 每台连接 5 个电池柜, 用于监控和控制所有连接的子系统 (冷却系统、消防系统 FSS、电池管理单元 BMU、电池簇 BCU 等), 并提供簇级及电芯级的电压、温度、电流实时数据, 以及告警日志和海豚 SunGiga 机柜运行状态。SCU 通过网线连接客户路由器接入云端, 并通过虚拟专用网络 (VPN) 实现远程访问。



图6. SCU云监控界面

EMS监控

晶科EMS云平台是一款智能管理系统, 用于控制和监测混合PCS上ESS电力系统的运行, 展示光伏系统发电、电池充放电、电网及负载消耗情况。电池管理系统 (BMS)、储能变流器 (PCS) 及能量管理系统 (EMS) 人机界面通过Modbus TCP/IP连接至本地EMS控制器集成柜内的物联网路由器, 该路由器通过客户互联网路由器的广域网连接接入云监控平台。





图7. 晶科云监控平台

结论

本案例研究展示了系统在效率、成本节约及灵活性方面的优势,增强了项目的韧性与可持续性目标。该集成方案支持分散式电厂的效益,有助于弥合该社区在能源获取方面的差距。

本项目的成功部署为未来类似规模的扩展铺平了道路,可为该国各地关键设施提供可靠且更低成本的能源。

*本报告为概述文件,晶科储能保留内容更新及最终解释权。



浙江晶科储能有限公司

中国浙江省嘉兴市海宁市黄湾镇向心路8号

电话: +86 400 860 8878

www.jinkosolar.com

Case Study

晶科储能微电网直流耦合系统解决方案