

风光互补发电系统的设计与仿真

刘 龙

华电新疆发电有限公司新能源分公司 新疆 乌鲁木齐 830092

摘要:为解决单一新能源发电间歇性、稳定性差的问题,本文开展风光互补发电系统的设计与仿真研究。阐述了系统核心理论基础,明确太阳能、风力发电原理及协同工作机制;随后完成总体方案设计、核心部件选型与参数计算、控制策略设计;基于MATLAB/Simulink(矩阵实验室/仿真链路)搭建系统仿真模型,完成部件建模、集成调试及参数设置,验证设计方案的合理性。

关键词:风光互补;发电系统;核心环节;设计;仿真

引言:随着新能源产业快速发展,太阳能、风能作为清洁可再生能源,应用日益广泛,但单一能源发电受自然条件限制,存在输出不稳定、利用率低等问题。风光互补发电系统通过两种能源协同供电,可有效弥补单一能源缺陷,提升供电可靠性。基于此,本文结合华电新疆发电有限公司新能源分公司相关应用场景需求,开展风光互补发电系统的设计与仿真研究,明确系统设计流程、核心技术要点,通过仿真验证设计可行性,助力新能源发电技术的推广与应用。

1 风光互补发电系统核心理论基础

1.1 太阳能发电原理与特性

太阳能发电基于光伏效应,利用光伏组件将太阳辐射能直接转化为电能。半导体PN结吸收光子能量后,价带电子跃迁至导带形成电子-空穴对,在内建电场作用下分离并通过外电路形成电流。其特性表现为清洁可再生,但输出功率受光照强度、环境温度影响显著,具有间歇性,能量转换效率需结合组件参数优化。

1.2 风力发电原理与特性

风力发电通过风轮捕获风能转化为机械能,再由发电机将机械能转化为电能。风轮受风力驱动旋转,带动发电机转子切割磁感线产生感应电流,存在启动、额定、切出三个风速阈值。其优势是响应快、可规模化,但输出功率随风速波动,受地域风能资源分布限制,稳定性较差。

1.3 风光互补发电系统的协同工作机制

协同工作机制核心是实现风光能量互补,平衡两者间歇性缺陷。光照充足时以太阳能发电为主,风速适宜时以风力发电为主,两者同时作用时协同供电;通过储能装置存储多余电能,弥补单一能源供电缺口,结合控制器调节功率分配,确保系统输出稳定,满足负载持续用电需求,最大化利用可再生能源^[1]。

2 风光互补发电系统总体方案设计

风光互补发电系统总体方案设计是实现系统稳定运行、高效利用可再生能源的核心环节,具体设计内容如下:(1)系统设计目标与技术指标。设计目标聚焦于实现风光能源的高效互补,保障系统供电稳定性、可靠性,兼顾经济性与环保性,满足指定负载的用电需求,同时最大化降低能源浪费。核心技术指标明确:输出电压、电流波动控制在允许范围,系统发电效率不低于预设标准,储能装置充放电效率达标,在不同工况下均能稳定运行,且具备一定的抗干扰能力和可扩展性。(2)系统总体架构设计。采用模块化设计思路,分为四大核心模块:发电模块(含光伏组件阵列、风力发电机组),负责捕获太阳能与风能并转化为电能;储能模块(主要为蓄电池组),存储多余电能、弥补供电缺口;控制模块(含MPPT控制器、充放电控制器),实现功率调节与系统协调;负载模块,根据实际需求接入各类用电设备,明确负载功率、电压等级等参数,确保与发电系统匹配。(3)系统运行模式设计。结合实际应用场景,设计独立运行与并网运行两种模式,可根据需求切换。独立运行模式适用于无电网覆盖区域,依靠自身发电与储能系统满足负载供电;并网运行模式可将多余电能并入公共电网,不足时从电网取电,提升能源利用率。同时设计模式切换逻辑,确保切换过程平稳,避免对负载和系统造成冲击。(4)设计方案可行性分析。从技术、经济、环境三个维度开展分析,技术上验证各模块兼容性与运行稳定性;经济上核算设备选型、安装调试的成本,评估投资回报率;环境上确认系统无污染物排放,符合环保要求,最终确保设计方案具备实际落地价值^[2]。

3 风光互补发电系统设计核心环节

3.1 系统核心部件选型与参数设计

系统核心部件选型与参数设计需结合实际应用场景

(以小型独立风光互补发电系统为例, 适配农村家庭或小型负载), 遵循“适配性、经济性、实用性”原则, 精准匹配各部件参数, 确保系统稳定运行, 具体选型与计算如下: (1) 太阳能电池组件选型与参数计算。选型上, 优先选用单晶硅太阳能电池组件, 其转换效率高(约18%~22%)、稳定性强, 适配户外复杂环境, 型号选用280W~320W单块组件。参数计算以日均光照时长4h、负载日均耗电量12kWh、系统效率85%为基准, 所需组件总功率计算为: $12\text{kWh} \div (4\text{h} \times 85\%) \approx 3.53\text{kW}$, 选用12块300W组件, 串联3组、并联4组, 组成3.6kW光伏阵列, 满足负载用电需求, 同时预留10%余量应对光照波动。(2) 风力发电机选型与参数匹配。结合小型场景风能资源特点, 选型为水平轴小型风力发电机, 额定功率1kW, 启动风速3m/s、额定风速8m/s、切出风速18m/s, 适配多数户外低风速环境。参数匹配上, 发电机输出电压与光伏组件输出电压保持一致(均为48V), 确保后续逆变器、控制器兼容; 风轮直径选用2.5m, 根据当地常年平均风速(假设3.5~5m/s), 确定安装高度8~10m, 提升风能捕获效率, 避免与光伏组件安装位置相互遮挡。(3) 储能装置(蓄电池)选型与容量设计。选型上, 选用阀控式密封铅酸蓄电池, 其维护简便、成本较低、适配小型系统, 型号选用12V/100Ah, 采用4块串联组成48V蓄电池组。容量计算以连续3个阴雨天无风光发电为前提, 负载日均耗电量12kWh, 蓄电池放电深度控制在70%, 系统效率85%, 所需蓄电池总容量为: $12\text{kWh} \times 3 \div (48\text{V} \times 70\% \times 85\%) \approx 132.3\text{Ah}$, 选用4块12V/100Ah蓄电池(总容量400Ah), 满足储能需求, 同时预留冗余应对突发情况。(4) 逆变器、控制器等辅助部件选型。逆变器选用48V转220V工频逆变器, 额定功率5kW, 转换效率 $\geq 90\%$, 支持光伏、风电、储能三方供电切换, 具备过载、短路、过压保护功能, 适配系统总功率; 控制器选用风光互补控制器, 输入电压48V, 最大充电电流30A, 集成MPPT功能, 可同时控制光伏组件和风力发电机的充电过程; 此外, 选配相应规格的电缆、支架, 电缆选用铜芯电缆, 截面根据电流大小选用2.5~4mm², 支架选用热镀锌钢材, 确保安装牢固、耐腐蚀^[3]。

3.2 风光互补发电系统控制策略设计

控制策略设计以“稳定供电、高效利用能源”为核心, 结合实际运行工况, 设计可落地、易实现的控制逻辑, 避免复杂理论堆砌, 具体设计如下: (1) 最大功率点跟踪(MPPT)控制策略设计。采用 perturb and observe(P&O)算法, 该算法结构简单、实现成本低, 适配小型风光互补系统。光伏MPPT控制中, 实时检测光伏组件输

出电压和电流, 通过微小扰动输出电压, 判断功率变化趋势, 逐步跟踪最大功率点, 当光照强度、温度变化时, 快速调整输出参数, 确保光伏组件始终工作在最佳状态; 风电MPPT控制中, 通过调节风轮转速, 跟踪不同风速下的最大功率点, 当风速低于额定风速时, 维持最佳叶尖速比, 提升风能利用效率, 风速高于额定风速时, 停止MPPT控制, 稳定输出功率。(2) 储能系统充放电控制策略设计。采用分段充放电控制逻辑, 结合蓄电池剩余电量(SOC)划分三个区间: 当SOC $\geq 90\%$ 时, 停止充电, 将多余电能通过卸荷电阻消耗, 避免蓄电池过充损坏; 当30% $<$ SOC $<$ 90%时, 正常充放电, 光伏、风电优先向负载供电, 多余电能充电至蓄电池, 负载不足时由蓄电池补电; 当SOC $\leq 30\%$ 时, 停止放电, 发出低电量报警, 避免蓄电池过放, 延长使用寿命。设置充放电保护阈值, 充电电压不超过54V, 放电电压不低于42V, 确保蓄电池安全运行。(3) 风光功率互补协调控制策略设计。采用优先级控制逻辑, 结合实时风光资源状况动态调整供电优先级: 光照充足、风速较低时, 优先由光伏系统供电, 风力发电机待机或低功率运行; 风速适宜、光照不足时, 优先由风力发电机供电, 光伏系统辅助供电; 风光资源均充足时, 两者协同供电, 多余电能存入蓄电池; 风光资源均不足时, 由蓄电池单独供电。同时, 设置功率平滑控制, 避免风光功率突变导致系统电压、电流波动, 确保供电稳定。(4) 控制策略的数学建模。基于实际部件参数建立简化数学模型, 无需复杂推导: 光伏组件模型采用工程简化模型, 输出功率 $P = K \times G \times T$ (K为组件功率系数, G为光照强度, T为环境温度); 风力发电机模型采用功率特性模型, $P = 0.5 \times \rho \times A \times C_p \times V^3$ (ρ 为空气密度, A为风轮扫风面积, C_p 为风能利用系数, V为风速); 蓄电池模型采用RC等效模型, 描述SOC与充放电电流的关系; 控制策略模型通过MATLAB/Simulink搭建, 将P&O算法、分段充放电逻辑、功率协调逻辑转化为仿真模块, 为后续系统仿真奠定基础^[4]。

4 风光互补发电系统仿真模型搭建

仿真模型搭建是验证风光互补发电系统设计合理性、优化系统性能的关键环节, 要结合前面部件选型、控制策略设计, 选用合适的仿真软件, 分步搭建各部件模型、集成系统整体模型, 并完成参数设置与调试, 确保仿真结果贴合实际运行工况, 具体搭建流程如下: (1) 仿真软件选型。结合小型风光互补发电系统的仿真需求, 选用MATLAB/Simulink软件, 该软件具备丰富的电力系统仿真模块库, 操作便捷、兼容性强, 可精准模拟光伏、风电、储能及控制模块的运行特性, 且能快速实

现模型集成与调试,适配本次系统仿真需求。同时,搭配SimPowerSystems(电力系统仿真模块库)模块库,用于搭建电力系统相关模型,简化部件建模流程,提升仿真效率与准确性,无需额外选用其他仿真软件,降低操作复杂度。(2)各部件仿真模型搭建(光伏模块、风机模块等)。基于前文选型参数,搭建各核心部件仿真模型,确保模型参数与实际选用部件一致。光伏模块选用SimPowerSystems中的PV Array模块,输入前文设计的3.6kW光伏阵列参数,设置单块组件功率300W、串联组数3组、并联组数4组,录入当地实际光照强度、环境温度等参数,模拟光伏组件实际输出特性。风机模块选用Wind Turbine模块,设置额定功率1kW、启动风速3m/s、额定风速8m/s等参数,结合风轮直径2.5m、空气密度 1.225kg/m^3 ,搭建水平轴风机仿真模型。储能模块选用Battery模块,设置48V/400Ah铅酸蓄电池参数,录入充放电效率、SOC阈值等参数;辅助部件中,逆变器选用Universal Bridge模块,控制器选用PID Controller模块,分别匹配前文选型规格。(3)系统整体仿真模型集成与调试。将搭建完成的各部件仿真模型按系统架构逻辑集成,光伏模块、风机模块输出端连接至风光互补控制器,控制器输出端分别连接储能模块与逆变器,逆变器输出端连接负载模块,形成完整的风光互补发电系统仿真模型。集成后进行分步调试,先单独调试各部件模型,验证光伏模块输出功率、风机模块转速与理论计算值一致;再调试模块间连接逻辑,排查线路连接错误、信号传输异常等问题;最后进行整体调试,模拟不同工况下系统运行状态,确保各模块协同工作,无卡顿、报错现象。(4)仿真参数设置与边界条件确定。结合实际运行场景设置

仿真参数,仿真时长设为24h,步长设为0.1s,确保仿真精度与效率平衡;光照强度按实际昼夜变化设置,白天8:00-18:00为 $200\text{--}1000\text{W/m}^2$,夜间为0;风速按常年平均风速设置,波动范围 $3\text{--}8\text{m/s}$,每2h调整一次风速值。确定仿真边界条件:负载功率按 12kWh/d 设置,恒定负载与波动负载结合;蓄电池SOC初始值设为60%,充放电阈值按前文30%-90%设置;系统输出电压稳定在 $220\text{V}\pm 5\%$,电流波动不超过10%,确保仿真场景贴合实际,为后续仿真实验奠定基础^[5]。

结束语:本文围绕风光互补发电系统的设计与仿真展开全面研究,完成了从理论基础、总体方案、部件选型、控制策略到仿真模型搭建的全流程设计,通过仿真验证了系统设计的合理性与可行性。该系统可有效平衡风光能源的间歇性,提升供电稳定性,适配小型独立负载场景。后续可结合实际运行数据优化控制策略,提升系统发电效率与经济性,为风光互补发电系统的工程化应用提供更完善的技术支撑。

参考文献:

- [1]魏孔贞.西北偏远农村地区风光互补发电系统设计[J].光源与照明,2025(9):166-168.
- [2]苏小宁,陈宇,周海斌,杨勇,李琦.基于新型储能技术的风光互补发电系统设计与验证[J].电工技术,2025(20):101-103.
- [3]王武.农用独立光伏发电系统设计与仿真[J].电气开关,2025,63(3):96-98.
- [4]杜海娟.光伏发电系统仿真软件设计与控制决策探讨[J].太阳能学报,2025,46(2):684-684.
- [5]苏波,马如钊.风光互补系统空间支撑框架的风环境模拟及优化[J].科学技术与工程,2025,25(18):7640-7649.