

屋顶光伏电站并网运行特性分析

胡文堂, 童杭伟

(浙江省电力试验研究院, 杭州 310014)

摘要: 总结浙江电网 60 kW 屋顶光伏示范电站并网一年来的运行规律, 分析了光伏电站在电压异常、频率异常及孤岛情况下出现的问题, 对光伏电站的运行特性及设备性能进行了总结。

关键词: 光伏电站; 并网; 孤岛; 异常; 运行特性

中图分类号: TM615

文献标志码: A

文章编号: 1007-1881(2011)02-0005-03

Analysis of Operation Characteristics for Grid-connected Roof Photovoltaic Power Plant

HU Wen-tang, TONG Hang-wei

(Zhejiang Electric Power Test and Research Institute, Hangzhou 310014, China)

Abstract: This paper summarizes the operation laws of the 60 kW demonstration grid-connected roof photovoltaic power plant in Zhejiang grid in the past year, analyzes the problems of the plant when the voltage and frequency are abnormal and it is in islanding operation and summarizes the operating characteristics and the equipment performance of the plant.

Key words: photovoltaic power plant; grid-connected; island; abnormal; operating characteristics

浙江电网 60 kW 屋顶光伏示范电站并网运行一年多以来, 整体运行情况良好, 组成电站的 2 类单晶硅光伏组件及 3 种逆变器工作性能稳定, 无设备故障, 能实现自动连续工作。通过对电站运行特性的总结及设备性能的试验研究, 为进一步完善光伏电站安全、有序地接入公用电网的技术要求提供依据。本文在国家电网公司科研项目《分布式光伏电源接入配电网的规划设计和运行控制技术研究》(国家电网发展[2009]970 号《关于下达 2009 年国内公司总部第二批科技项目计划的通知》文件)的研究成果基础上总结而成。

1 发电量统计

光伏电站的发电量受多种因素(如地区、季节、气候等)的影响, 波动性较大, 但具有一定的规律性。

1.1 年发电量情况

杭州处于 III 类光辐射能地区, 历史统计典型年太阳辐射能参数约 4 400 MJ/m²·a。受气候

条件影响, 2009 年实测太阳辐射能约 4 000 MJ/m²·a(约 1 111 kWh/m²·a), 按月统计的太阳辐射能情况如图 1 所示。60 kW 光伏电站年发电量约 53 000 kWh, 年发电利用小时数约为 883 h。

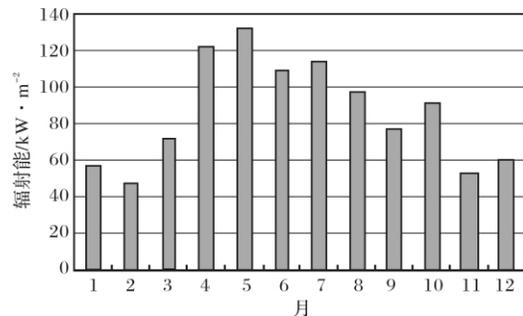


图 1 2009 年 60 kW 光伏电站月累积太阳辐射能

1.2 月发电量情况

60 kW 光伏电站的月发电量统计如图 2 所示, 其中 5 月份发电量最多, 11 月份最少, 春夏季的发电量多于秋冬季的发电量。

1.3 典型日发电量曲线

有3类典型的发电功率曲线：阴雨天、有云天及晴天，光照强度和发电功率对应曲线见图3-图5，从图中可以看出发电功率与光照强度成正相关性。

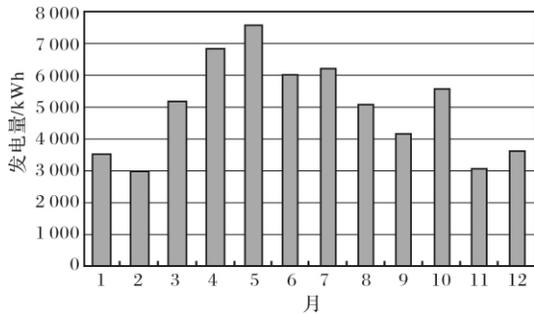


图2 60 kW 光伏电站月发电量统计

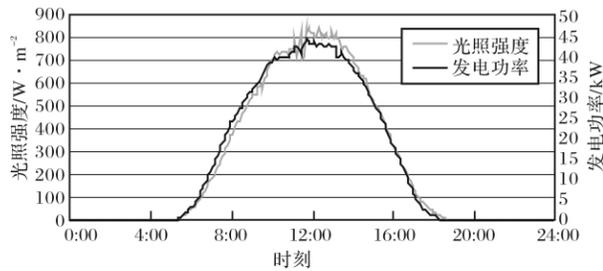


图3 60 kW 光伏电站典型晴天发电功率

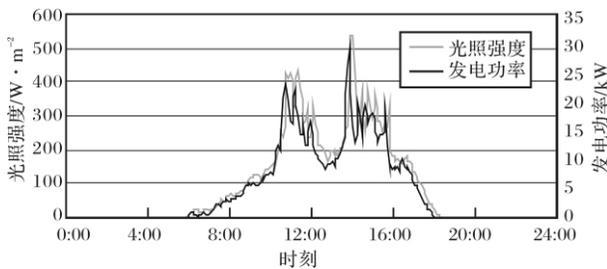


图4 60 kW 光伏电站典型有云天发电功率

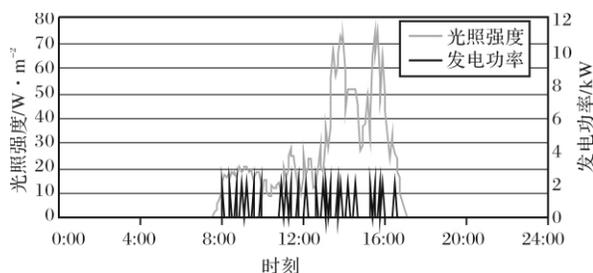


图5 60 kW 光伏电站典型阴雨天发电功率

晴天日照充足，日发电量大，中午时段发电量最大，功率变动规律较稳定，全天功率曲线为

馒头波形；阴雨天光照量小，发电量很少；少云或多云天，太阳经常在短时间内被云遮挡，功率变化较大，统计得到功率变化最大值为15 kW/min，为光伏电站总装机容量的25%。因此，有云的天气条件下，光伏电站发电功率波动对电网的功率调节有一定的影响。

2 光伏电站谐波特性

将光伏组件产生的直流电转化为工频交流电时需采用大量的电力电子变换器件，由此产生的电流谐波将对电能质量参数产生一定影响。为了消除或减小光伏电站并网对电网电能质量造成的影响，需要检测和规范其谐波指标。

(1)晴到多云天气，在60 kW光伏电站输出功率为35.75 kW(59.5%)工况下，测得电站谐波电流总畸变率为2.32%。

(2)在相同日照和气候条件、较大发电功率工况下，同时对3台不同容量的逆变器谐波电流指标进行检测，结果为：30 kW国产三相逆变器的畸变率为3.42%，6 kW国产单相逆变器的畸变率为2.51%，5 kW进口单相逆变器的畸变率为1.73%。

3类逆变器的谐波指标测试结果均小于GB/T 14549-1993《电能质量 公用电网谐波》中5%的要求^[1]。

3 光伏电站对电网异常的响应特性

3.1 电压异常响应特性

为保证光伏电站接入点的交流负载正常工作，光伏电站输出电压应与电网相匹配。正常运行时，光伏电站在并网点处的电压偏差应符合国家电网《光伏电站接入电网技术规定》^[2]相关要求。

按规定要求进行了并网点电压响应特性试验，实测结果见表1。以下2种工况下的电压特性未达到规定的要求。

(1)在电网电压异常跌落至85.8% U_N 时，3台5 kW单相逆变器和1台30 kW三相逆变器均工作正常，但3台6 kW单相逆变器停机，不符合规定中应连续工作的要求。

(2)在电网电压异常高于135% U_N 时，光伏电站分断时间为0.69 s，大于规定中应在0.05 s内快速分断的要求。

表1 光伏电站在电网电压异常时的响应

国家电网技术要求		实测结果	
交流侧电压	最大分闸时间 <i>t</i> /s	交流侧 试验电压	分闸时间 <i>t</i> /s
$U < 0.5U_N$	0.1	$45.9\%U_N$	0.088
$50\%U_N \leq U < 85\%U_N$	2.0	$80.2\%U_N$	0.66
$85\%U_N \leq U \leq 110\%U_N$	连续运行	$85.8\%U_N$	0.69
$110\%U_N < U < 135\%U_N$	2.0	$134\%U_N$	0.75
$135\%U_N \leq U$	0.05	$138\%U_N$	0.68

3.2 频率异常响应特性

光伏电站并网时应与电网同步运行。国家电网《光伏电站接入电网技术规定》要求:当小型光伏电站并网点频率超过 49.5~50.2 Hz 时,应在 0.2 s 内停止向电网线路送电。

实际试验结果显示:当试验频率升至 50.5 Hz 以上或降至 49 Hz 以下时,各台逆变器均继续供电,不符合国家电网的上述技术规定要求。

4 光伏电站防孤岛保护特性

孤岛效应是指分布式能源并网发电系统中,当电网因人为切断或出现故障而停止向负载供电时,分布式能源系统继续并网工作,从而使电网局部负载仍处于供电状态的现象。孤岛效应形成了电力公司无法掌控的自给供电孤岛,可能会导致并网逆变系统和用电设备的损坏,还会对电力检修人员造成危险。因此准确、及时地检测出孤岛效应是光伏并网电站设计中的关键问题。

技术规定要求光伏电站必须具备快速监测孤岛且立即断开与电网连接的能力。若逆变器并入的电网供电中断,逆变器应在 2 s 内停止向电网供电。

现场实际选择了 4 类典型工况开展了防孤岛效应保护试验,试验接线如图 6 所示。在光伏电站不同的发电功率下,可对各种负载类型进行调节,控制并网开关的分断来进行试验。

(1)电阻性负载工况下,以光伏发电功率为 24.9 kW 进行试验。试验结果为:光伏电站与电



图6 60 kW 光伏电站防孤岛效应保护试验接线图

网断开连接后的孤岛时间为 0.17 s,频率、电压均有波动,频率变化为 50~52 Hz,电压最大波动值为 20 V。

(2)光伏电站 30 kW 三相逆变器投入运行,平衡负载工况下,光伏发电功率为 18.9 kW,调节电阻、电感及电容阻抗,使品质因数 Q 约为 1,并网点电流为 1~2 A 进行试验。试验结果是:光伏电站孤岛时间为 0.79 s,频率较稳定,电压最大波动值为 20 V。

(3)平衡负载工况下,光伏发电功率为 29.2 kW,调节电阻、电感及电容阻抗,使品质因数 Q 约为 1,并网点电流为 2~3 A 进行试验。试验结果是:光伏电站孤岛动作过渡时间为 1.77 s,频率较稳定,电压最大波动值为 20 V。

(4)平衡负载工况下,光伏发电功率为 20.6 kW,调节电阻、电感及电容阻抗,使品质因数 Q 约为 1,并网点电流为 1~2 A 进行试验。试验结果是:光伏电站并网开关分断后,孤岛动作过渡时间达 29.52 s,不能在 2 s 内停止向电网供电,在孤岛过程中,频率变化范围 48~51 Hz,电压值前后无变化。

从试验结果分析,光伏电站在并网点内部的发电功率与阻性、感性和容性负载形成品质因数 Q 约为 1 的特殊工况下,若电网断电或断开并网开关,并网点内仍可能维持电压、频率等参数稳定,从而使电站设备不易检测出孤岛的发生。

5 结论

(1)60 kW 光伏电站经一年半的实际运行,光伏组件及逆变器设备工作性能良好。实测光伏电站的太阳能辐射能约 $4\ 000\ \text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$,电站年发电量 53 000 kWh,年利用小时数 883 h。

(2)实测 60 kW 光伏电站各设备的谐波参数均满足 GB/T 14549-1993《电能质量 公用电网谐波》的要求。

(3)60 kW 光伏电站在电压异常、频率异常时的动作时间不满足国家电网公司技术规定要求。

(4)在电阻性负载工况下,60 kW 光伏电站未发生孤岛现象;在平衡负载、品质因数约为 1 的特殊工况下,由多种逆变器组合的 60 kW 光伏电站发生了延续时间达 29.52 s 的孤岛现象。

(下转第 20 页)

kV 输电线路, 500 kV 输电线路下方电场强度反而相对较小。输电线路下方磁感应强度受线路负荷(电流)和线路离地高度的综合影响, 但都远小于 100 μT 的现行评价标准限值。

220 kV 与 500 kV 输变电工程共同特点为:

(1) 线路和变电站电场强度都小于 4 kV/m, 磁场强度远小于 100 μT 。

(2) 磁场强度在离变电站(输电线路)5 m 处最大, 随距离增加而迅速衰减。

3 工频电磁场的控制措施

为进一步减少输变电工程对环境的影响, 输变电工程的建设应按照国家标准, 严格执行环保“三同时”制度, 做到环境保护设施和主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用。并按照法规要求在工程建设前期进行环境影响评价, 在工程建设过程中落实各项环境保护要求, 工程完工后进行环境保护验收, 确保投入正式运行的输变电工程符合标准要求。

(1) 变电站选址尽量远离居民区, 线路路径尽可能避开沿途村镇、学校, 尽量避免或减少线路跨越民房的情况。

(2) 经过居民区的路段应在设计规范标准基础上适当提高架设高度, 尽量减少电磁感应对周边环境的影响。

(3) 定期巡查输电线路和变电站, 发现问题及时解决。

(4) 合理设计金属附件, 如绝缘子、吊夹、均压环、垫片和接头等, 设计时应确定合理的外形尺寸, 避免出现高电位梯度点。

(5) 加工设备的金属附件时要挫圆边角, 避

免存在尖角和凸出物, 金属附件上的保护电镀层应尽量光滑, 从而减少电晕、火花放电现象。

(6) 安装高压设备时要确保固定螺栓、接头等接触良好, 避免因接触不良产生火花放电。

(7) 按照《输电线路对电信线路危险和干扰影响防护设计规程》进行工程设计, 使输电线路对通信线路的干扰值在容许的标准范围内。

4 结语

电力企业应按照国家环境保护规定要求, 落实工频电磁场具体防护措施, 使竣工后的输变电工程的电磁场强度满足国家技术规范要求, 实现工程建设与环境保护工作的共赢。

参考文献:

- [1] 杨新村, 沈江, 傅正财, 等. 输变电设施的电场、磁场及其环境影响[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.
- [2] 限制时变电场、磁场和电磁场暴露的导则(300 GHz 以下)[S]. 国际非电离辐射防护委员会(ICNIRP), 1998.
- [3] 刘振亚. 特高压交流输电工程电磁环境[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008.
- [4] 杨新村, 李毅. WHO“国际电磁场计划”的评估结论与建议[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008.
- [5] 杨新村, 李毅, 吕斌. 制定以健康为基础的电磁场标准的框架[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008.
- [6] DL/T 5033-2006 输电线路对电信线路危险和干扰影响防护设计规程[S]. 电力行业规划设计标准化技术委员会, 北京: 中国电力出版社, 2006.

收稿日期: 2010-07-30

作者简介: 林海泉(1977-), 男, 浙江温州人, 助理工程师, 从事电网环保监督工作。

(本文编辑: 徐 晗)

(上接第 7 页)

(5) 为有效考核光伏电站的运行特性, 应对光伏电站的整体特性进行检测试验。

参考文献:

- [1] GB/T 14549-1993 电能质量 公用电网谐波[S]. 北京: 中国标准出版社, 1994.
- [2] 国家电网发展[2009] 747 号. 国家电网公司光伏电站接入电网技术规定(试行)[S]. 北京: 国家电网公司, 2009.

收稿日期: 2010-07-21

作者简介: 胡文堂(1962-), 男, 浙江开化人, 高级工程师, 主要从事高电压技术工作。

童杭伟(1968-), 男, 浙江嵊州人, 高级工程师, 从事直流电源设备、雷电定位系统及新能源应用等技术工作。

(本文编辑: 龚 皓)