

被动式防孤岛保护策略在分布式光伏电站的应用

姜建妹

(安科瑞电气股份有限公司, 上海 201801)

摘要: 针对分布式光伏电站并网运行的孤岛效应, 设计了一款适用于分布式光伏电站的被动式防孤岛保护策略。该策略基于微机保护装置的可靠性、速动性、选择性、灵敏性特点, 综合考虑光伏电站的并网电压等级、光伏装机容量、并网柜断路器特性等运行参数, 从实际应用出发设计。该策略部署在以 STM32F407 为主 CPU 的微机保护装置硬件平台上, 通过性能测试后成功应用于徐州擎驰光伏科技 5 MW 分布式光伏 10 kV 并网项目。现场运行结果表明, 该防孤岛保护策略动作可靠、实用性强, 能够满足分布式光伏电站安全稳定运行要求。

关键词: 孤岛效应; 防孤岛策略; 分布式光伏; 微机保护

中图分类号: TM615

DOI: 10.19768/j.cnki.dgjs.2026.10.013

Application of a Passive Anti-Islanding Protection Strategy in Distributed Photovoltaic Power Stations

JIANG Jianmei

(Acrel Co., Ltd., Shanghai 201801, China)

Abstract: Aiming at the islanding effect during the grid-connected operation of distributed photovoltaic power stations, a passive anti-islanding protection strategy suitable for distributed photovoltaic power stations is designed. Based on the characteristics of reliability, speed, selectivity and sensitivity of protection relay, the strategy comprehensively considers operating parameters such as the grid-connected voltage level, installed PV capacity, and circuit breaker characteristics of the grid-connected cabinet. Starting from practical applications, an integrated anti-islanding protection strategy is developed. The strategy is deployed on the hardware platform of a protection relay with STM32F407 as the main CPU. After performance testing, it has been successfully applied to the 10 kV grid-connected project of the 5 MW distributed photovoltaic power station of Xuzhou Qingchi Photovoltaic Technology Co., Ltd. Field operation results show that the anti-islanding protection strategy operates reliably and has strong practicability, which can meet the requirements for the safe and stable operation of distributed photovoltaic power stations.

Key words: islanding effect; anti-islanding protection strategy; distributed photovoltaic; protection relay

0 引言

随着以光伏为主体的新型电力系统的快速发展, 大规模的光伏电站开始投建且并入电网运行, 新型电力系统呈现出非线性、波动性、随机性等特点。在工商业领域, 光伏电站以分布式为主开始建设并接入电网。根据 Q/GDW 1480—2015《分布式电源接入电网技术规定》, 分布式电源并网电压等级可根据各并网点装机容量进行初步选择, 推荐如下: 8 kW 及以下可接入 220 V; 8~400 kW 可接入 380 V; 400~6000 kW 可接入 10 kV; 5000 kW 以上可接入 35 kV。分布式光伏发电系统以逆变器作为核心元件, 但其存在产品类型多、性能差别大、保护功能不统一等现象, 若出现市电侧停电则易发生孤岛效应。孤岛效应会严

重影响用电设备和运维人员的安全, 是新型电力系统模式下需要特别关注的问题。

1 孤岛效应的危害与防孤岛目的

在分布式光伏电站与电网断开后, 光伏系统仍持续向局部负荷供电, 即形成孤岛效应。孤岛效应会危害运维检修人员人身安全, 损坏现场负荷侧用电设备, 影响电网自动合闸。孤岛效应主要由市电侧故障、市电侧停电检修等原因造成市电总进线跳闸引起, 为了能灵敏识别上述情况并在上述情况发生时快速跳开并网柜, 考虑配置防孤岛保护。

2 防孤岛保护策略设计

分布式光伏并网一次系统图如图 1 所示。防孤岛保护监测市电进线处、并网点处的电压和频率, 通过比对采集

收稿日期: 2026-03-11 修回日期: 2026-03-31

作者简介: 姜建妹(1984—), 硕士, 研究方向为新能源系统继电保护与监控、用户变电站保护与监控。

值与标称值,按防孤岛策略执行保护动作。

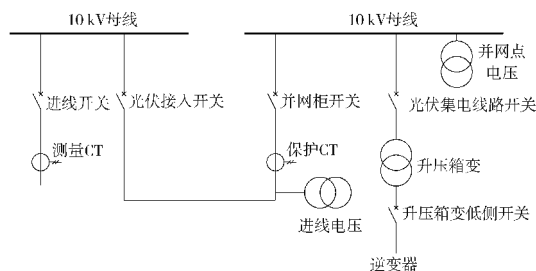


图1 分布式光伏并网一次系统图

2.1 进线失压跳闸/进线有压合闸策略

进线失压跳闸为防孤岛策略中的重要功能,根据 GB/T 19964—2024《光伏电站接入电力系统技术规定》中关于电压适应性要求的规定:当并网点电压在标称电压的 90%~110%范围时,光伏电站内的光伏逆变器和无功补偿装置应能正常运行;当并网点电压低于标称电压的

90%或超过标称电压的 110%时,光伏电站内的光伏逆变器和无功补偿装置应符合低电压穿越和高电压穿越的规定。

设计两段低电压跳闸策略,通过电压从正常电压值到低于低电压定值来边沿触发低电压保护策略。为了能更准确地识别出进线失压故障,在逻辑策略中加入电流闭锁条件、PT断线闭锁条件和并网柜合位位置等限制条件。策略设计如图2所示。

进线恢复有压合闸策略为分布式光伏并网柜的重要保护功能。该策略可以在进线故障分闸后快速恢复光伏并网发电,从而更大程度提高新能源利用率。但是在恢复合闸的判断中,识别的准确性尤为重要,因此在策略设计中,首先以通过电压幅值、频率幅值的判断作为原始条件,同时还可以选择同期条件作为恢复合闸的条件之一。这里所指的同期判断为“线路PT”电压和“母线PT”电压的同期判断,即此两处电压满足幅值、相角、频率值的同期条件时才运行恢复合闸并网柜。

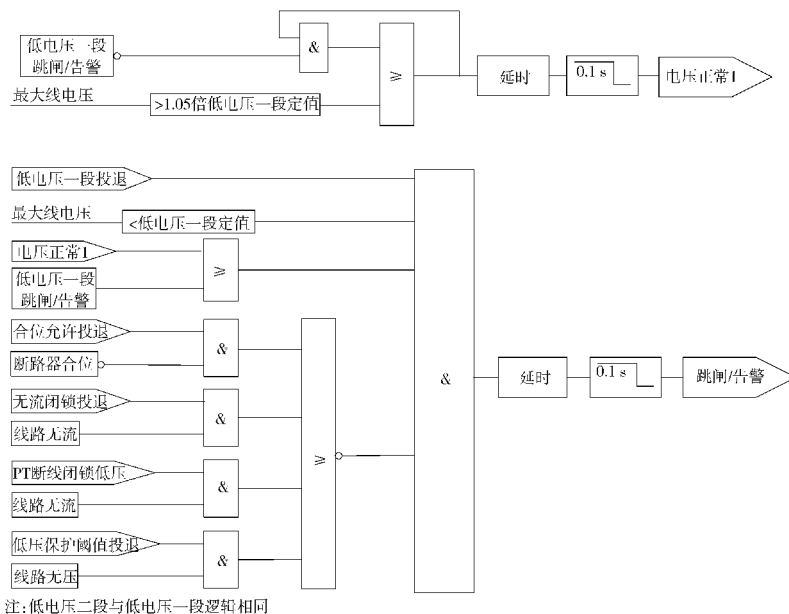


图2 进线失压跳闸策略逻辑图

在恢复合闸条件判断中还引入了闭锁条件,以防止误判引起系统不稳定。断路器手动分闸(含本体分闸)会闭锁有压合闸,断路器遥控分闸、断路器本体故障(如低压断路器本体故障)也会闭锁有压合闸功能。同时设计了并网系统的保护跳闸会闭锁有压合闸功能,这里所指的保护跳闸包括了除低电压跳闸、过电压跳闸、低频跳闸、高频跳闸、频率突变跳闸外的保护跳闸。

在逻辑策略设计中,针对并网柜断路器分闸,为了能有效识别断路器保护分闸、手动分闸和本体分闸等过程,引入了断路器位置关系闭锁逻辑策略,如图3所示。

针对 0.4 kV 并网柜,从工程实际角度出发,在现场低压断路器出现故障,断路器分闸后,进线依旧有压会触发断路器有压合闸,但在断路器故障状态下分闸又会再次

触发。这样反复多次,断路器会出现损伤甚至烧坏。为了防止出现该现象,增加了断路器有压合闸次数限制策略,如图4所示。默认的重合闸次数、延时时间等参数可根据具体工程项目来整定。

2.2 高频/低频/频率突变跳闸策略

根据 GB/T 19964—2024《光伏电站接入电力系统技术规定》中关于频率适应性要求的规定,光伏电站的频率适应性应满足表1的要求。

根据标准要求,设计了频率保护策略。通过监测并网点的系统频率变化,设计了高频跳闸、低频跳闸和频率突变跳闸策略,即当频率低于或高于光伏电站要求的整定值时触发频率保护策略跳开并网柜。为了提高策略执行的可

靠性，在频率条件下策略中还增加了低电压闭锁条件、低 电流闭锁条件和频率滑差闭锁条件作为辅助判据。

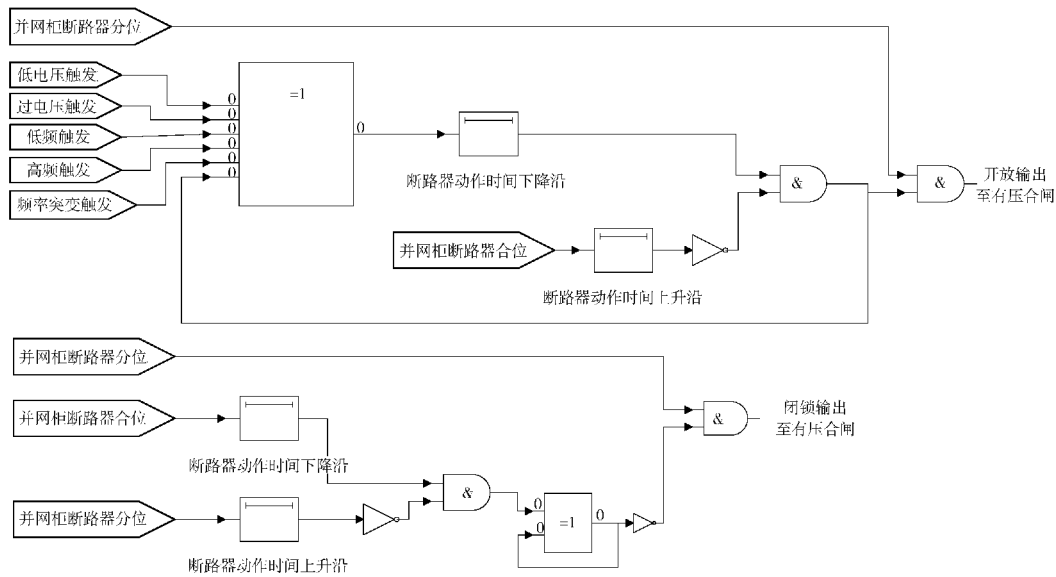


图3 断路器分闸操作逻辑策略图

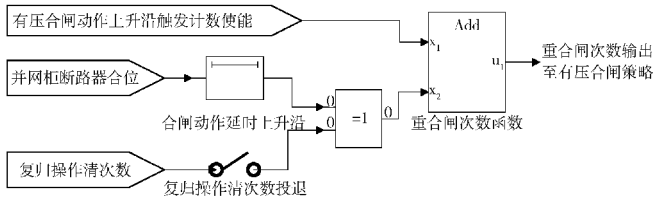


图4 有压合闸次数限制策略图

表1 不同电力系统频率范围内的光伏电站运行要求

电力系统频率 f 范围	要求
$f < 46.5 \text{ Hz}$	根据光伏逆变器和无功补偿装置允许运行的最低频率而定
$46.5 \text{ Hz} \leq f < 47 \text{ Hz}$	频率每次低于 47 Hz、高于 46.5 Hz 时光伏发电站应至少运行 5 s 的能力
$47 \text{ Hz} \leq f < 47.5 \text{ Hz}$	频率每次低于 47.5 Hz、高于 47 Hz 时光伏发电站应至少运行 20 s 的能力
$47.5 \text{ Hz} \leq f < 48 \text{ Hz}$	频率每次低于 48 Hz、高于 47.5 Hz 时光伏发电站应至少运行 60 s 的能力
$48 \text{ Hz} \leq f < 48.5 \text{ Hz}$	频率每次低于 48.5 Hz、高于 48 Hz 时光伏发电站应至少运行 5 min 的能力
$48.5 \text{ Hz} \leq f \leq 50.5 \text{ Hz}$	连续运行
$50.5 \text{ Hz} < f \leq 51 \text{ Hz}$	频率每次高于 50.5 Hz、低于 51 Hz 时光伏发电站应具有至少运行 3 min 的能力，并执行电力系统调度机构下达的降低功率或高周切机策略，不允许停运状态的光伏发电站并网
$51 \text{ Hz} < f \leq 51.5 \text{ Hz}$	频率每次高于 51 Hz、低于 51.5 Hz 时光伏发电站应具有至少运行 30 s 的能力，并执行电力系统调度机构下达的降低功率或高周切机策略，不允许停运状态的光伏发电站并网
$f > 51.5 \text{ Hz}$	根据光伏电站内光伏逆变器和无功补偿装置允许运行的最高频率而定

2.3 低电压穿越策略

光伏电站对电压要求具有穿越能力。根据 GB/T 19964—2024《光伏电站接入电力系统技术规定》的要求，当电力系统发生故障导致光伏电站并网点电压跌落时光伏发电站应具备低电压穿越能力，如图 5 所示。

根据要求，设计了低电压穿越策略，即根据实时采样的并网点电压，做分阶段低电压跳闸策略：

$$\begin{cases} 20\%U_n < u \leq 90\%U_n, t = \frac{u + 0.118}{0.509} \\ u = 20\%U_n, t = 0.625 \text{ s} \\ 0 \leq u < 20\%U_n, t = 0.015 \text{ s} \end{cases} \quad (1)$$

式中， U_n 为并网点额定电压值； u 为并网点电压实时采样值； t 为动作时间。

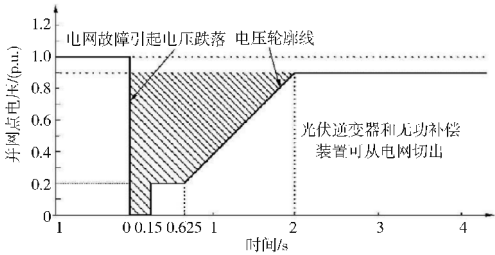


图5 光伏电站低电压穿越要求图

3 防孤岛策略部署硬件设计

将设计的防孤岛策略部署在主频为 168 MHz 的处理器 STM32F407 平台，搭配 16 位同步采样 A/D 芯片 AD7616BSTZ，实现每周波 24 点的高速采样。结合防孤岛策略的采样需求与执行保护跳闸的动作出口需求，设计硬件资源，相应定义见表 2。

表2 防孤岛策略需求硬件资源定义

端子号	物理量定义
X1.1~X1.6	并网柜三相保护电流
X1.7~X1.12	进线柜三相测量电流
X1.17~X1.22	并网柜三相电压

续表	
端子号	物理量定义
X1.23~X1.28	并网断路器上口三相电压,即进线电压
X5.1~X5.24	20 路有源开入
X6.1~X6.20	10 路无源输出
其他	辅助电源、通信等物理接口

4 防孤岛策略测试

针对防孤岛策略,以频率保护、低电压穿越功能为例,进行动作值和动作时间准确度测试。

4.1 频率保护策略测试

针对低频保护策略,在频率整定范围 46~60 Hz 进行动作值和动作时间准确度试验。要求频率误差不超过±0.02 Hz,时间误差不超过±1%或 60 ms,电压误差不超过±3%。低频保护策略动作试验结果见表 3。

表 3 低频保护策略动作试验

动作值误差			动作时间误差			低电压闭锁误差 (电压整定范围 70~200 V)			
整定 值/Hz	动作 值/Hz	误差/ Hz	整定 值/s	延时 时间/ ms	误差	整定 值/V	理论动 作值/V	动作 值/V	误差
46	46.001	0.001	0	50	50.0 ms	70	73.5	73.68	0.24%
50	50.001	0.001	1	1051.1	51.1 ms	100	105	105.26	0.25%
60	60.001	0.001	10	10.05	0.5%	200	210	210.6	0.29%

4.2 低电压穿越策略动作值、动作时间测试

根据低电压穿越策略(式(1)),三相均低于低电压整定值时判断为低电压。取低电压动作值为 90% U_n ,并再取 12 个电压值进行动作值、动作时间测试,动作值误差均满足±3%要求,动作时间误差均满足±40 ms 或±2%整定值±40 ms 要求。测试结果见表 4。

表 4 低电压穿越策略测试结果

组数	施加 相电 压/V	施加 线电 压/V	施加值 理论动 作时间/ s	施加值 误差下 限理论 动作时 间/s	施加值 误差上 限理论 动作时 间/s	继保测 试仪动 作时间/ s	动作时 间绝对 误差/ ms	误差下 限动作 时间绝 对误差/ ms	误差上 限动作 时间绝 对误差/ ms
1	51.540	89.270	1.986	1.933	2.039	2.029	42.596	95.211	-10.019
2	47.740	82.688	1.857	1.808	1.905	1.895	38.509	87.244	-10.227
3	45.740	79.224	1.789	1.742	1.835	1.817	28.464	75.158	-18.230
4	37.740	65.368	1.516	1.478	1.555	1.540	23.384	61.911	-15.144
5	32.740	56.707	1.346	1.313	1.380	1.362	15.641	49.063	-17.782
6	27.740	48.074	1.177	1.148	1.205	1.207	30.448	58.782	2.114
7	22.740	39.387	1.006	0.983	1.029	1.030	24.316	47.530	1.102
8	12.740	22.066	0.666	0.653	0.679	0.691	25.711	38.716	12.705
9	11.640	20.161	0.628	0.616	0.640	0.653	24.637	36.520	12.754
10	11.200	19.399	0.150	0.150	0.150	0.174	24.200	24.200	24.200
11	7.740	13.406	0.150	0.150	0.150	0.164	13.600	13.600	13.600
12	2.740	4.746	0.150	0.150	0.150	0.172	22.100	22.100	22.100

5 防孤岛保护策略应用

徐州擎驰光伏科技建设光伏发电项目,装机容量为 5 MW。该项目为分布式光伏电站,所发电力回流升压至 10 kV 后,经新建环网柜以 1 回 10 kV 线路接入 10 kV 开闭所 I 段母线。在光伏电站 10 kV 并网线路侧配置独立防孤岛保护装置 1 套。该项目防孤岛保护策略整定清单见表 5、表 6,所有防孤岛保护策略在光伏电站投运前经过供电局测试,且在试验通过后正常并网运行至今。

表 5 系统参数整定值

序号	定值类型	设备参数名称	定值	备注
1	基本参数	CT 变比	100	kV
2		PT 变比	100	
3		一次电压显示	0	
4		母线电压接线方式	3PT	
5		进线电压接线方式	3PT	
6		保护电流接线方式	3CT	
7		测量电流接线方式	3CT	
8		低压阈值	15 V	
9		低电压定值	70 V	

表 6 策略参数整定值

序号	策略类型	定值名称	定值	备注
1	低电压一段	低电压一段跳闸投退	投入	
		低电压一段定值	90 V	
		低电压一段延时	2 s	
		一段 PT 断线闭锁	投入	
2	过电压一段	过电压一段投退	投入	
		过电压一段定值	111 V	
		过电压一段延时	1.5 s	
		低频一段投退	投入	
3	低频一段	低频一段定值	47.9 Hz	
		低频一段延时	2 s	
		高频一段投退	投入	
		高频一段定值	50.6 Hz	
4	高频一段	高频一段延时	0 s	
		有压电压来源	母线电压	
		有压自动合闸投退	投入	
		有压合闸电压上限	120 V	
5	有压自动合闸	有压合闸电压下限	90 V	
		有压合闸延时	10 s	
		有压合闸频率上限	50 Hz	
		有压合闸频率下限	49.8 Hz	

6 结语

本文设计了一种被动式防孤岛保护策略,主要针对并
(下转第 58 页)

由图4可知,冷热流体的入口均在板式热交换器的一侧,而AWBW板片组合的换热能力低于AWBH板片组合。这就造成在冷热流体入口温差最大的部分,对流换热能力本应最强,但由于错误使用了换热能力较差的AWBW板片组合,未能实现充分换热。在冷热流体靠近活动压紧板位置,由于在换热器前端已进行了一定的换热,冷热流体温差下降,对流换热能力降低,因此此处换热能力强的AWBH板片组合已无法最大程度利用其换热能力。这便导致了板式热交换器换热系数整体偏低。

4 处理后再鉴定

对该台板式热交换器板片顺序进行调整,按正确顺序安装后,经试验计算,冬季换热系数维持在 $6500\text{ kW}/^{\circ}\text{C}$ 以上,夏季维持在 $7200\text{ kW}/^{\circ}\text{C}$ 以上,整体换热性能良好,消除了换热系数偏低的缺陷。机组带出核岛热量的能力得以恢复,保障了核电机组的安全稳定运行。

5 改进措施

为防止类似影响机组安全稳定运行的情况发生,对后续换热器检修、监督及试验等工作提出改进措施。

(1)在板式热交换器的板片更换解体过程中,需要出具清晰明了的安装顺序图纸,板片型号及安装位置需要重

点标识,以防出现板片安装顺序错误或类似本次板片组合顺序安装错误的事件。

(2)在核电站冷源重要换热设备的解体检查和更换过程中,需要加强监督管理,对于重要的设备回装环节,需要设置监督见证H点,以防安装错误导致影响机组核安全的事件发生。

(3)日常执行核电厂冷源换热器性能试验时需要设置换热系数报警值,在换热系数低于报警值时及时采取行动,必要时及时对换热器进行解体检修。经过对机组板式热交换器换热系数进行长期计算和监督,结合现场实际冬夏季不同的环境温度、试验用仪表精度及维修准备时间等综合考虑,设置该类型板式热交换器换热系数报警值为 $4500\text{ kW}/^{\circ}\text{C}$ 较合理。

参考文献

- [1]高原.重要厂用水系统低低流量报警原因分析及处理[J].机电信息,2015(10):148-149.
- [2]杨璋,蒋彦龙,王合旭,等.大型板式热交换器流体阻力特性试验研究[J].电站系统工程,2017(2):1-4.
- [3]王赞斌,张红乐,李鹏,等.RRI/SEC板式热交换器失效模式及管理[J].科技创新导报,2015(10):199.
- [4]李浦.板式热交换器的检修方法研究[J].现代制造技术与装备,2025(4):142-144.

(上接第55页)

网点进行电压和频率监测。结合光伏发电系统的特点,分别设计了低频保护、高频保护、低电压保护、有压合闸保护、低电压穿越保护等策略。考虑到工程实际,引入了电流闭锁、电压闭锁、频率滑差闭锁条件,以及有压合闸次数限制策略和断路器分闸操作识别策略等辅助判据来提高策略的正确率,有效保证了光伏电站的可靠运行。

参考文献

- [1]石明丰,宋士刚,吴在军,等.一种基于分布式光伏保护开关

的防孤岛策略及实现[J].电子元器件与信息技术,2023,7(11):188-192.

- [2]Q/GDW 1480—2015 分布式电源接入电网技术规定[S].
- [3]GB/T 19964—2024 光伏发电站接入电力系统技术规定[S].
- [4]徐艳华.防孤岛保护在光伏电站中的应用[J].石河子科技,2021(4):43-44.
- [5]姜森,严伟,徐光福,等.有源配电网被动式防孤岛保护配置研究[J].电气技术,2023,24(9):34-39,48.
- [6]周超红,张凡,顾沈卉,等.油田电网大规模分布式光伏接入电网防孤岛保护技术研究[J].油气田地面工程,2025,44(7):34-39.