

基于保护配置现状的智能配电网大功率缺额孤岛自愈方案

鲍有理¹, 张敏¹, 徐培栋²

(1. 国网无锡供电公司, 江苏 无锡 214061; 2. 国网江苏省电力公司检修分公司无锡分部, 江苏 无锡 214200)

摘要:分布式电源(DG)大量接入低压配电网,在故障扰动时,系统容易进入低供电质量的孤岛失稳运行状态。当孤岛电源容量远小于负荷需求时(存在大功率缺额),通过改进保护配合方案实现孤岛自动恢复正常运行状态是关键。基于低压配电网低频减载装置与各自投装置的配置现状,区别于传统整定方案,提出了一种零增加电网投资的智能配电网孤岛自愈方案。方案以优先保证机组安全为目标,通过改进定值整定方案,实现机组安全最优的目标,保证了供电负荷零损失自动并网运行,通过实际电网故障案例仿真分析表明,提出方案提高了供电可靠性、避免了分布式电源机组失稳运行,具有较大的工程应用价值,已在江苏某地区电网实际投入运行。

关键词:DG; 孤岛自愈; 低频减载装置; 各自投装置

中图分类号:TM77

文献标志码:A

文章编号:1009-0665(2016)06-0061-04

随着分布式电源(DG)在智能配电网中的广泛应用,传统的单辐射状配电网转变为多电源多端系统,系统故障时极易形成孤岛运行状况。孤岛运行的电压、频率不稳,无法满足用户电能质量的要求^[1],因此在故障扰动情况下,如何避免智能配电网进入孤岛失稳运行状态,成为国内外学者研究的热点^[2-4]。孤岛运行是相对于联网运行而言的,而孤岛指的是暂时脱离主网运行的局部独立系统。现有研究主要集中于孤岛检测^[1,5-7]、最优孤岛划分^[8-10]、解列控制^[3,11]等方面,对于利用现有保护配置方案克服孤岛运行问题论述较少。文献[12,13]分析了孤岛运行对孤岛内原有保护与控制的影响,提出了实现孤岛运行所要采取的与保护和控制相关的措施,但是仅仅考虑了线路保护重合闸功能及故障类型的问题,忽略了各自投装置及低频减载保护装置。文献[5]介绍了分布式发电设备接入配电网后对继电保护的影响及解决措施,并且对比分析了不同孤岛检测算法,依然没有考虑低频减载装置与各自投装置配合方案。自愈是智能配电网关键特征之一,国内中低压配电网普遍配置各自投装置和低频减载装置^[14],通过低频减载装置联切负荷的方式,实现孤岛自愈稳定运行;采用各自投装置,实现损失负荷快速自动并网运行。

本文从国内电网现有保护配置情况出发,在故障扰动情况下,针对孤岛电源容量无法满足供电负荷需求、且存在较大功率缺额的问题,通过改进低频减载装置与各自投装置的整定定值,避免DG供电负荷进入孤岛失稳运行方式,消除了低频减载装置误动切负荷的可能性,同时配合各自投装置保障失电负荷自动恢复供电,且实现了智能配电网故障扰动下的自愈功能。

1 含 DG 配电网保护配置现状

低压配电网以 110 kV 变电站与 35 kV 变电站为主,随着电网技术的发展,35 kV 变电站逐渐被 110 kV 变电站取代。包含电源侧 220 kV 变电站和 110 kV 变电站的电网接线图,如图 1 所示。

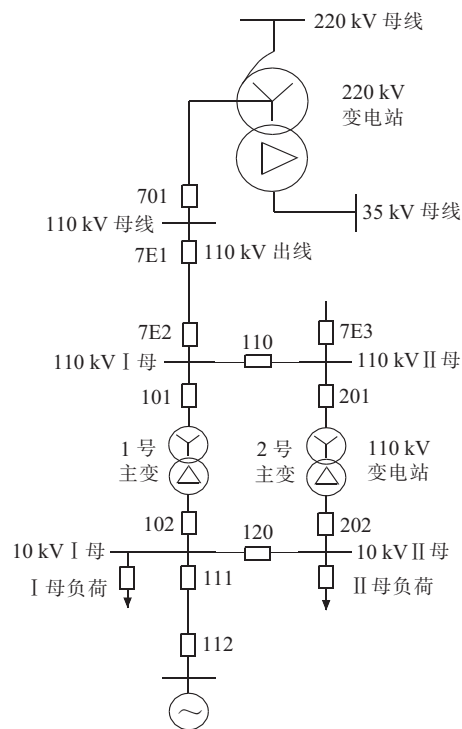


图 1 配电网接线图

110 kV 中低压配电网由上级 220 kV 变电站的 110 kV 母线供电,图 1 中所有元器件均配置保护,具体配置情况如表 1 所示。

主变保护、线路保护当出现输电元器件区内故障时,均能可靠动作,区外故障时,作为远后备保护使用。低频低压装置作为频率紧急控制的最后一道防线^[14],通过对母线电压与频率的检测,基于提前整定的跳闸

表 1 保护配置情况表

变电站	元器件	保护装置
220 kV	主变	主变保护
	110 kV 出线	110 kV 线路保护
	110 kV 进线	110 kV 进线保护
110 kV	110 kV 分段 110 开关	分段保护
	10 kV 分段 120 开关	分段保护 备自投装置
	10 kV I, II 母线	低频减载装置

方案,以切负荷的方式来达到稳定系统运行状态的目的。目前,电网公司均在重要负载母线配置低频低压装置,图 1 中 110 kV 变电站 10 kV 母线配置一套低频减载装置。

备自投装置,全称备用电源自动投切装置,当负荷主供电源丢失的情况下,备自投装置通过自动投入备用电源的方式,实现损失负荷的不间断供电。备自投装置一般配置于变电站的低压分段开关或 110 kV 变电站的进线分段处,图 1 中 110 kV 变电站 10 kV 分段开关 120 开关处配置备自投装置。

2 孤岛形成原因

正常运行情况下,由主供电系统及 DG 共同向周围的负荷供电,而在主配电系统故障或检修的情况下,在与之相关的开关设备断开后,由 DG 独立向负荷供电。主配电系统断开后, DG 与当地负荷一起组成一个小的孤立电网,称为孤岛。以图 1 电网系统为例分析孤岛形成过程,7E2,7E3 为 110 kV 变电站的 2 路主供电电源,变电站常态运行方式为 110,120 分段开关分位,10 kV I 母与 10 kV II 母独立供电。当 220 kV 变电站主变或 110 kV 出线故障,均要跳开 701 开关或 7E1 开关,此时 DG 挂载的 10 kV I 母失电,形成由 DG 向原有负荷供电的孤立电网,如图 2 所示。

在孤岛运行方式下,要求孤岛内电源与负荷的容量必须是平衡的,如果功率(有功及无功)不平衡,孤岛内的电压和频率将无法维持稳定,所以也就无法持续运行。为了让系统恢复到稳定运行的状态,电网公司配置低频低压装置,切除无法平衡负荷,使得 DG 供电孤岛恢复稳定供电,充分发挥在电网失电后 DG 出力的最大效用。然而 DG 出力通常都远远小于主电网供电负荷,这种方式只是将负荷损失稍微减小,对于实际电网快速恢复供电意义不大,因此有必要研究一种能够实现所有损失负荷快速自动并网,且不增加电网投资的保护配置整定方案。

3 解决方案

电网公司通过配置备自投装置提高供电可靠性。以图 3 为例,备自投装置功能一般与 10 kV 分段 120

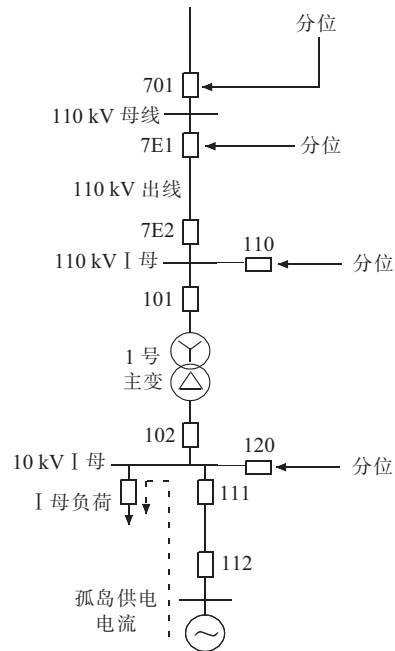


图 2 DG 供电孤岛电网

开关保护集成在一个装置中,接入 10 kV I, II 母电压,进线开关 102,202 的电流采样以及 102,202,120 3 个开关位置,当 I 母进线开关无压无流、II 母进线开关有压有流,此时备自投装置动作跳开 102 开关、合上 120 开关,实现 I 母损失负荷快速并入 II 母主网运行。

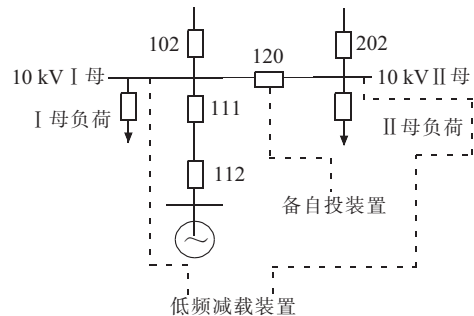


图 3 低频减载与备自投装置配置图

备自投装置定值一般设置为无压启动值 $30\%U_n$,有压判别值 $30\%U_n$,经 7 s 跳开 102 断路器,再经 0.5 s 合上 120 断路器。电网公司在 10 kV 低压供电母线均配置有低频减载装置,一般整定定值:低压定值为启动 $90\%U_n$,切负荷动作 $85\%U_n$,3 s,电压变化率闭锁为每秒 80%;切负荷频率定值为 48.5 Hz,0.5 s,频率滑差闭锁定值 dz/dt 为每秒 3 Hz;低频解列定值为 48.5 Hz,0.5 s,低压解列定值为“ $65\%U_n$,0.3 s”。

3.1 2 种情况

(1) 当 10 kV I 母未接入 DG 时,I 母失电,I 母电压迅速跌落至 0 V,此时 120 分段备自投装置必然启动,跳开 102 开关,合上 120 开关。低频减载装置被电压变化率闭锁模块和频率滑差闭锁模块闭锁,不会启动切除负荷,这种方式没有负荷损失。

(2) 当 10 kV I 母接入 DG 时,I 母失电,此时依靠

DG 持续向 I 母供电,由于 DG 出力无法平衡原有供电负荷,I 母频率会快速跌落到 45 Hz 以下,这并不会触发低频减载装置(频率滑差闭锁模块闭锁装置),与此同时 I 母母线电压由于功率缺额会逐步下降,直到降低到 $85\%U_n$ 以下、持续 3 s,低频减载装置动作切除负荷,由于电压缓慢变化,低频减载装置并未被电压变化率闭锁模块闭锁。

一轮负荷切除后,DG 出力依然无法平衡负荷,电压进一步下滑至 65% 以下,DG 解列、I 母母线彻底失电,经过 7 s,备自投装置动作跳开 102 开关、合上 120 开关,I 母剩余负荷成功并网。

情况(2)的保护配置与整定方案广泛应用于电网公司实际运营,主要考虑故障时优先保障供电负荷的快速恢复供电,如果将其直接应用到存在大功率缺额的孤岛电网,当 DG 接入母线遇到主供电源丢失时,低频减载装置与备自投装置先后动作,结果依然会有大量负荷丢失、且孤岛供电质量极低(由于低频减载装置在备自投动作前已切除一部分负荷,即使后面备自投装置将剩余负荷成功并网依然会有负荷损失,且该切除负荷为永久性切除,后期只有在故障排除后,通过手动方式投入;DG 对 10 kV I 母的孤岛电网供电过程中,系统始终处于失稳状态,供电电压与频率长时间无法满足电能质量的要求,这对 DG 发电机组及供电负荷均有极大的伤害)。因此解决上述问题必须提出全新解决方案。

3.2 方案

自愈功能是智能配电网的基本要求之一,在故障扰动情况下,如何保证所有切除负荷在第一时间全部自动并网运行,是自愈功能的终极研究目标。对于电网公司来说,最佳解决方案是在不增加电网投资的基础上,仅仅通过现有保护定值配合来解决自愈问题。因此本文提出优先保障机组安全的概念,对于低周减载装置监测母线挂载 DG 情况,母线失去主供电源时,低频减载装置首先切除 DG,保证 DG 发电机组安全的同时,让备自投装置的无压判据启动,将所有切除负荷自动并网运行。电网公司实际运营中,低频减载装置低频解列定值均设置为 48.5 Hz,0.5 s,低压解列定值均设置为 $65\%U_n$,0.3 s,实际孤岛运行时,母线电压跌落至 $80\% \sim 85\%U_n$ 时,低频减载装置就开始第一轮切负荷,因此将低压减列定值设置为 $85\%U_n$,0.3 s,可保证孤岛失稳时,低频减载装置先切 DG 发电机组,这样母线电压消失,低频减载装置被电压变化率闭锁模块闭锁不会进一步切负荷。备自投装置监测到了无压,对失电母线自动并网运行,保证了所有挂着负荷自动恢复供电,实现了损失负荷自愈,DG 机组由于及时切除运行,机组安全得到保证,后期可快速择机并入主电网。

4 仿真分析

以江苏电网实际故障案例仿真分析,电网接线如图 1 所示,110 kV 变电站 10 kV I 母挂载 6 条出线,合计 20 MW 负荷,I 母接有 DG (小电厂正常出力 1.5 MW,故障出力 3 MW),10 kV I 母及 II 母配置 1 台低频减载装置,出于系统频率紧急控制最后一道防线的考虑,整定系统失稳切负荷方案,具体每条线路负荷分配及失稳切除方案如表 2 所示。

表 2 线路负荷分配及失稳切除方案

线路名	负荷量 /MW	失稳是否切除
线路 1	3	否
线路 2	5	是
线路 3	4	是
线路 4	2	否
线路 5	3	是
线路 6	3	否

备注:负荷量小数均舍去

110 kV 变电站 10 kV 分段 120 开关处配置备自投装置,低频减载装置及备自投装置的整定值如表 3 所示。

表 3 低频减载装置及备自投装置整定值

保护装置	整定值	出口整定
低频减载装置	低频解列定值 48.5 Hz,0.5 s	跳小电厂
	低压解列定值 $65\%U_n$,0.3 s	
	低压启动值 $90\%U_n$	跳线路 2 跳线路 3 跳线路 5
	低压动作值 $85\%U_n$,3 s	
电压变化率闭锁每秒 80%		
备自投装置	频率动作值 48.5 Hz,0.5 s	跳 102 合 120
	频率滑差闭锁 $d\omega/dt$ 3 Hz/s	
	无压动作值 $30\%U_n$,7 s	

故障情况:220 kV 变电站主变故障,切除主变,跳开 701 开关,造成 110 kV 变电站 10 kV I 母失电。故障前 10 kV I 母负荷 20 MW 左右,挂载小电厂出力 1.5 MW,10 kV I 母失电后,由小电厂单独给 20 MW 负荷供电,小电厂出力快速增加到最大出力 3 MW,功率缺额 17 MW,10 kV I 母失稳,频率快速降低到 45 Hz 以下,由于频率滑差闭锁,低频减载装置并未动作。

小电厂供电下,I 母电压逐步下降,当在 $80\% \sim 85\%U_n$ 范围内持续时间 3 s 时,低频减载装置动作切除线路 2、线路 3、线路 5。此时,功率缺额依然保持在 5 MW,电压进一步下滑到 $65\%U_n$ 以下 0.3 s,低频减载装置再次动作解列小电厂,I 母彻底失压,经过 7 s,备自投装置动作,跳开 102 开关、合上 120 开关,线路 1、线路 4、线路 6 恢复供电。为了更好地说明故障过程,保护动作时序图如图 4 所示。

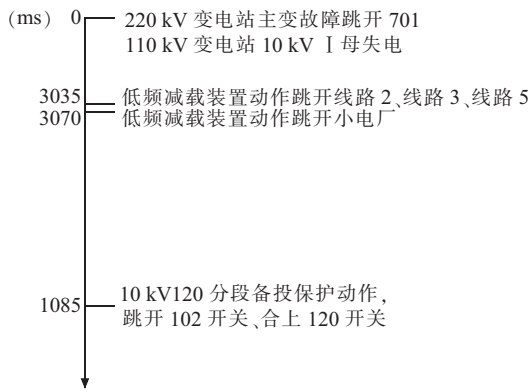


图 4 保护动作时序图

由故障过程可知,采用电网公司实际应用中的保护整定方案,会造成 12 MW 功率的损失,损失比例达到了 60%,这明显不符合智能配电网自愈功能的要求,且事后对发电机组检查发现失稳运行对机组造成一定的损害,万幸母线未接入敏感性负荷,否则会造成巨大经济损失。

采用本文提出方法对整定定值进行改进,失去稳定时,优先考虑切除小电厂,调整后低频减载装置的整定值如表 4 所示。

表 4 调整后低频减载装置整定值

保护装置	低频减载装置整定值	出口整定
调整前	低频解列定值 48.5 Hz, 0.5 s 低压解列定值 65% U_n , 0.3 s	跳小电厂
调整后	低频解列定值 48.5 Hz, 0.5 s 低压解列定值 85% U_n , 0.3 s	跳小电厂

由表 4 可知,由于低频减载装置小电厂解列定值整定为 65% U_n , 0.3 s,故障时,低频减载装置在 85% U_n 时,切除了 60%负荷,让后面自备投装置的动作无意义。通过调整低压解列定值到 85% U_n , 0.3 s,低频减载装置在 85% U_n 以下时,先切电厂,这样后面低频减载装置切负荷就不会启动,配合之后自备投装置的动作,实现 I 母所有负荷全部自动并网运行,负荷损失为 0 s,实现了智能配电网的自愈功能,且保证了小电厂机组的安全和供电质量。

5 结束语

本文从国内电网公司保护配置现状出发,在 DG 孤岛电网运行方式下,针对大功率缺额孤岛运行情况,区别于现有低频减载装置与自备投装置整定方案,首次提出与自备投装置配合使用时,低频减载装置应以保机组为先,通过改进整定定值,以零增加电网投资的方案,实现孤岛电网自动并网运行、电网负荷零损失、

供电质量及机组安全最优的目标,具有极大的工程应用价值,已在实际电网投入使用。分析表明 DG 挂载母线供电时,在故障扰动下,极易形成孤岛运行方式,此时低频减载装置若以第一轮切负荷为先,并无法起到最后一道防线的的作用,反而会让 DG 机制及供电负荷进入危险运行状态,最终到达崩溃的地步,本文提出优先保证机组安全(先切机组)的概念,在孤岛存在大功率缺额时,能够最大限度保证机组安全的同时,实现智能配电网自愈功能(零负荷损失)。

参考文献:

- [1] 吴盛军,徐青山,袁晓冬,等. 光伏防孤岛保护检测标准及试验影响因素分析[J]. 电网技术, 2015, 39(4): 924-930.
- [2] WANG X D, LIN J K. Island Partition of the Distribution System with Distributed Generation [J]. Science China: Technological Sciences, 2010, 53(11): 3061-3071.
- [3] 胥威汀,戴松灵,张全明,等. 区域互联电网故障解列方法综述[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(11): 2756-2769.
- [4] 谢夏慧,汪 汎,陈奇朋,等. 含分布式电源的配电网关键负荷保障方法[J]. 电网技术, 2013, 37(5): 1447-1453.
- [5] 邱永生,姜玉磊. 分布式发电系统继电保护技术[J]. 江苏电机工程, 2009, 28(6): 81-84.
- [6] 蒋 燕,张 艳,张祖丽,等. 基于组合决策的孤岛检测技术在微电网中的应用[J]. 江苏电机工程, 2012, 31(3): 24-30.
- [7] 梁雪飞,陈歆技. 小波熵和 BP 神经网络在孤岛检测与扰动辨识中的应用[J]. 江苏电机工程, 2012, 31(3): 5-8.
- [8] 王旭东,林济铿,李胜文,等. 电力孤岛划分研究综述[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(22): 125-135.
- [9] 王 杰,张 振. 分布式发电条件下孤岛划分及运行控制的研究[J]. 江苏电机工程, 2010, 29(6): 11-16.
- [10] 潘文霞,徐才华. 孤岛风光柴蓄系统配置仿真及分析[J]. 江苏电机工程, 2008, 27(6): 34-37.
- [11] 沈 沉,吴佳耘,乔 颖,等. 电力系统主动解列控制方法的研究[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(13): 1-6.
- [12] 余 娟,孙 鸣,邓 博. DG 的孤岛运行方式及其对保护与控制的影响[J]. 电力建设, 2009, 30(6): 21-24.
- [13] 孙 鸣,余 娟. 基于配电网保护与控制现状的 DG 孤岛运行方式[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(14): 99-102.
- [14] 杨 浩,张保会,宋云亭,等. 解列后孤岛频率电压相互作用仿真及机理探讨[J]. 电网技术, 2013, 37(12): 3503-3508.

作者简介:

鲍有理(1966),男,安徽安庆人,研究员级高级工程师,从事电力系统继电保护专业技术管理工作;

张 敏(1968),男,江苏宜兴人,高级技师,从事电力系统通讯专业技术管理工作;

徐培栋(1986),男,江苏宜兴人,工程师,从事电力系统生产运行工作。

(下转第 69 页)

控制大区与调度控制大区之间采用正、反向隔离装置实现物理隔离。管理信息大区,负荷管理终端采用ESAM加密芯片,符合国网用电信息采集系统安全要求。

5 结束语

本文介绍的源网荷友好互动系统通信组网方案包括大用户安稳防御控制通信组网方案、营销生产控制大区通信组网方案、营销管理信息大区通信组网方案以及可中断大用户接入方案,江苏省电力公司源网荷一期工程实践表明该方案满足源网荷系统信息高效、稳定、安全的接入要求,能够支撑源网荷友好互动系统功能正常运转,对于后续的源网荷系统建设具有重要的参考借鉴作用。

参考文献:

- [1] 刘娅琳,杜红卫,赵浚婧,等.基于源网荷互动模式的智能配电网调度业务优化[J].华东电力,2014,42(7):1290-1293.
[2] 姚建国,杨胜春,王珂,等.智能电网“源-网-荷”互动运行控

制概念及研究框架[J].电力系统自动化,2012,36(21):1-6,12.

- [3] 王成山,李鹏.分布式发电、微网与智能配电网的发展与挑战[J].电力系统自动化,2010,34(2):10-14,23.
[4] 榭开,刘永奇,朱治中,等.面向未来的智能电网[J].中国电力,2008,41(6):19-22.

作者简介:

- 夏飞(1982),男,江苏句容人,工程师,从事信息网络建设、运行维护管理工作;
鲍丽山(1976),男,江苏东台人,高级工程师,从事电网调控运行管理、信息系统建设管理工作;
王纪军(1976),男,江苏靖江人,高级工程师,从事企业信息化管理和架构研究工作;
庄岭(1973),男,江苏徐州人,高级工程师,从事信息安全管理工
作;
李虎成(1987),男,湖北十堰人,工程师,从事调度自动化技术研究
工作。

Introduction of Communication Network Scheme for Source-grid-load Friendly Interaction System

XIA Fei¹, BAO Lishan¹, WANG Jijun², ZHUANG Ling², LI Hucheng³

(1. Information and Communication Branch, State Grid Jiangsu Electric Power Company, Nanjing 210024, China;

2. State Grid Jiangsu Electric Power Company, Nanjing 210024, China;

3. State Grid Jiangsu Electric Power Company Electric Power Research Institute, Nanjing 211103, China)

Abstract: With a number of distributed generations (DGs), microgrids and diverse loads accessing to power grid, the form of source-grid-load friendly interaction becomes diverse. The communication network scheme and security protection strategies also face new challenges. On the basis of introducing the general network scheme of source-grid-load friendly interaction system, this paper discusses in detail the security protection strategies and communication network scheme with the access of big consumers' security & stability defense control, marketing production control area, marketing management information area, big interruptible consumers, etc. At last, the communication network scheme of source-grid-load friendly interaction system are verified to be feasible and effective through the practice of the source-grid-load project in Jiangsu.

Key words: source-grid-load; friendly interaction; network architecture; routing protocol; security protection

(上接第64页)

Island Self-healing Method of Smart Distribution Network with Large Power Shortage Based on Allocation Status of Protection

BAO Youli¹, ZHANG Min¹, XU Peidong²

(1.State Grid Wuxi Power Supply Company, Wuxi 214061, China;

2. Wuxi Division of State Grid Jiangsu Electric Power Maintenance Branch Company, Wuxi 214200, China)

Abstract: Since a large number of distributed generators access to low-voltage distribution network, the power system is easy to become an islanded and enter an instability state with low power quality. When the power supply is far less than the load demand (there is large power shortage), it's the key making the island return from instability state to normal state by improving the coordination scheme of protections. Based on the allocation status of the under-frequency load-shedding device and the backup power automatic throw-in device in low-voltage distribution network, it is proposed an island self-healing scheme without extra investment for smart distribution network which is different from the traditional setting scheme for the two protective devices. Under condition of giving priority to ensuring units safety, the proposed scheme improves the prior setting scheme which can get the optimal unit safety and make distributed generators access to power grid without any loss of power supply and load. The simulation of a fault case in actual grid proves that the proposed scheme improves the reliability of power supply and avoids units' instability state. It has great application value in engineering, and now has been applied to Jiangsu Power Grid.

Key words: distributed generator; island self-healing; under-frequency load-shedding device; backup power automatic throw-in device