

一种适用于智能终端异常的配电网自适应 保护方法

韩 笑, 李姝佳*, 王 钢, 陈 楠
(南京工程学院 电力工程学院, 江苏 南京 211167)

An Adaptive Protection Method for Distribution Network with Abnormal Intelligent Terminals

HAN Xiao, LI Shujia*, WANG Gang, CHEN Nan

(School of Electric Power Engineering, Nanjing Institute of Technology, Nanjing 211167, China)

Abstract: Aiming at the problem of protection failure caused by abnormal intelligent terminals in active distribution network, an adaptive protection method for distribution network with abnormal intelligent terminals is proposed. This method judges the on-off of the switch and the running state of each smart terminal unit (STU) according to the measured switching and current of each STU. An adaptive protection scheme and criterion suitable for line and ring network cabinet are designed. In the case of abnormal STU, the traditional regional protection and adaptive protection are analyzed respectively. The method proposed in this paper is verified by PSCAD simulation software. The results show that the method can effectively deal with the protection failure caused by STU abnormality.

Key words: topology identification; active distribution network; abnormal intelligent terminal; adaptive protection

摘 要: 针对主动配电网中某些智能终端异常,导致保护失效的问题,提出一种适用于智能终端异常的配电网自适应保护方法。该方法根据各智能终端(STU)量测到的开关量和电流量,对开关的通断和各 STU 的运行状态进行判断。设计了一种适用于线路和环网柜的自适应保护方案与判据,在 STU 异常的情况下,分别对传统区域保护和自适应保护进行分析。通过 PSCAD 仿真软件对本文所提方法进行验证。结果表明该方法可有效应对 STU 异常导致保护失效的情况。

基金项目: 基于换流器与电网控制保护协同的直流配电网保护及故障恢复策略研究(52107098)

Research on DC Distribution Network Protection and Fault Recovery Strategy Based on Converter and Grid Control Protection Coordination(52107098)

关键词: 拓扑识别; 主动配电网; 智能终端异常; 自适应保护

0 引言

配电网作为电力系统中的重要节点,地位举足轻重,随着电力负荷的不断增长,人们对配电网安全可靠运行的要求不断提高,配电网也在不断朝着智能配电网的方向发展。智能配电网运用了大量的信息化、数字化、智能化等技术,有效地提高了采样值的精确度和通信系统的传输质量,简化了系统的二次接线,增强了设备之间的联系性与互操作性,提高了配电网的自动化水平^[1-3]。智能配电网中的通信环节至关重要,但在日常运行过程中,终端设备的异常运行和通信系统的故障,都给配电网的保护和正常运行带来难题^[4-6]。

国内外学者针对主动配电网自适应保护原理进行了大量研究,配电网拓扑结构的正确识别,对配电网继电保护、稳定控制和自愈技术等起着至关重要的作用。文献[6-10]在传统自适应保护方案的基础上提出了一种节点开关拓扑结构变化追踪技术,其可以根据系统的拓扑结构,自适应改变拓扑矩阵,修改系统保护参数。但由于外界环境与通信系统的影响,配电终端上传至主站的量测数据可能存在缺失以及畸变等问题,这些在上述方案中均未考虑。随着主动配电网建设的不断推进,智能终端(STU)在主动配电网中的应用越来越广泛,这为配电网拓扑关系的识别与修正提供了有效的数据信息,可以利用各 STU 的量测信

息对拓扑结构进行识别^[11-12]。文献[13]提出了一种计及量测数据缺失及错误的配电网电流保护自适应整定方法,解决了基于局域通信的配电网自适应电流保护存在的量测数据丢失及错误的问题。文献[14-16]在考虑 STU 预存了所在馈线的静态拓扑识别的基础上,设计了智能终端间的动态信息交互和拓扑识别方案。但以上拓扑识别方案仅通过开关量或电气量进行配电网拓扑识别,可靠性较差。同时,若量测信息有较大偏差且未对量测数据设置容错机制,量测误差会影响拓扑识别结果的准确性^[17-18]。配电网通信系统承载着配电通信业务,与配电系统的正常运行密切相关,例如继电保护、稳定控制、配电自动化等。文献[2-3]分别针对智能配电网和智能变电站,分析了信息系统故障可能导致的后果,以及其对配电网传统保护方案的影响,并针对失灵保护失效提出了可行的解决方案。但配电网通信系统发生故障,导致各 STU 之间无法进行信息交互,进而导致保护失效的情况,上述研究均未考虑。在实际工程应用中,为节约成本,有些开关处并未配置 STU 装置。一些 STU 装置的运行状况是否异常也是未知的,这些问题都对主动配电网拓扑识别和自适应区域保护产生很大影响。

针对上述问题,本文介绍了一种基于拓扑结构自动识别适用于智能终端的配电网自适应保护方法。首先,该方法利用各 STU 量测到的电流与开关量,各相邻 STU 进行信息交互确定各节点之间的联通关系,并识别异常的 STU。然后,设计自适应保护方案与定值,使所提的自适应保护可以适应于 STU 异常的情况。该方案解决了目前主动配电网区域保护方法中的不灵活性等问题,进而提高了电力系统继电保护的速动性、可靠性,使电力系统运行更加稳定。

1 适用于自适应保护的网路结构识别方法

主动配电网实时拓扑由其静态拓扑和开关线路运行状态所决定,各 STU 实时捕获开关量以及电气量的变化,对拓扑结构进行更新^[19-20]。

1.1 主动式配电网的结构特点

以图 1 所示的主动配电网为例,执行“合环设

计,分环运行”的策略。图中,S1 为主电源,S2 为备用电源。配电线路 MN、NP、PQ、QR 为主要线路,母线 M、N、P、Q、R 通过分支线路,与负载 LD1、LD2、LD3 相接。设母线处接有分布式电源 DG。计,分环运行”的策略。图中,S1 为主电源,S2 为备用电源。配电线路 MN、NP、PQ、QR 为主要线路,母线 M、N、P、Q、R 通过分支线路,与负载 LD1、LD2、LD3 相接。设母线处接有分布式电源 DG。

根据配电自动化的要求,把每条母线和支路都看成一个节点,以开关为单位部署 STU。其中电源出线开关对应的智能终端标记为 ST,其他智能终端标记为 SA。一个 STU 负责检测其所在开关处的电压、电流以及开关状态。传统保护方案无法适应分布式电源接入造成的影响,保护的灵敏性、速动性和可靠性较低。新型的区域保护和层次化保护与传统保护方案不同,以图 1 所示的主动配电网为例,其保护方案为给线路 MN、NP、PQ、QR 配置线路纵联差动保护,保护动作时间为 0 s,给母线 M、N、P、Q、R 配置母线差动保护,保护动作时间为 0 s。

配电网智能终端异常,或通信系统故障等情况,将导致保护失效,会带来保护系统故障处置时间延长的风险。在图 1 中,假设 SA2 失效,SA2 的相邻终端 SA1、SA3、SA4 无法与其进行信息交互,此时线路 NP 上由 QF3 和 QF4 构成的纵联差动保护失效,母线 N 上由 QF2、QF3 和 QF10 构成的母线差动保护也失效。

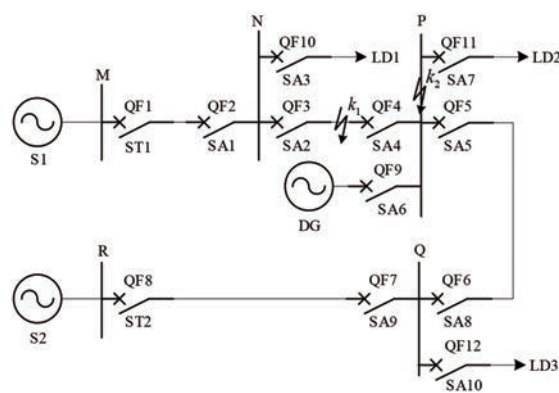


图 1 10 kV 配电网结构示意图

Fig. 1 10 kV distribution network structure diagram

1.2 考虑智能终端异常的配电网拓扑识别方法

在配电网分布式拓扑识别中,各个 STU 能够对配电网的拓扑进行独立地识别。每个 STU 与其相邻 STU 之间的通信方式为对等通信,各个 STU 之间将采集到的开关量与电气量信息进行周期性交换。在单个周期内,每个 STU 需要完成以

下内容:一次本地开关量与电流量信息的量测、一次与每个相邻 STU 间的信息交换以及对多个信息进行分析^[21]。

在每进行一个周期后,首先,各 STU 首先根据本地量测信息对其相邻 STU 的状态进行一次初判。然后,对 STU 与每个相邻 STU 之间的支路连通性进行一次初判。最后,双方进行量测信息的交互,各 STU 综合本侧量测信息和对侧量测信息,对自身和相邻 STU 的状态以及二者之间支路的连通性进行最终判断。这样既可以提高对配电网拓扑辨识的准确性,还可以对各 STU 的运行状态进行判断。

记本环网点 STU 为 x ,对侧的近邻 STU 为 y ,二者相连的节点为 k ,本侧开关标记为 (x,k) ,对侧开标记为 (y,k) 。 x 和 y 之间支路的连通性初始判别结果分别为 $\{S'_{x,k}, c_{x,k}\}$ 和 $\{S'_{y,k}, c_{y,k}\}$,其中 $S'_{x,k}$ 和 $S'_{y,k}$ 分别为本侧、对侧开关状态; $c_{x,k}$ 和 $c_{y,k}$ 分别为本侧、对侧开关判断的置信度。各 STU 状态及支路连通性初始判断结果如表 1 所示,其中状态判断的置信度 c 分为 3 个取值:0 为不可信,0.5 为不确定,1 为确信;当置信度为 0 或者 0.5 时,都认为该侧 STU 量测功能失效;开关状态 S' 的判断分为 3 个取值:0 为断开,1 为闭合,Null 为状态未知。

表 1 STU 状态及连通性初判结果

Tab. 1 STU status and initial judgment results of continuous communication

参量	本侧	对侧
开关状态 S'	0/1	0/1/Null
状态判断的置信度 c	0/0.5/1	0/1

图 2 为 STU 根据本地的开关量和电流量对连通性进行初始判断的规则设计,其中, $g_{x,k}$ 为开关 (x,k) 的状态; $I_{x,k}$ 为流经开关 (x,k) 的支路电流; ε 为阈值。取略大于正常量测误差的最小正整数,此处所提规则均采用电流的绝对值对判据进行构造,不受电流方向影响。因此,这些规则适用于含分布式电源的有源配电网以及单向潮流的无源配电网。

首先根据各智能终端量测到的开关量进行开关状态的判断,这是图 2 中根节点的功能。为了应对量测误差,文中提出了相互校验模拟量的设计,这样可以增加连通性判断的容错能力。图 2

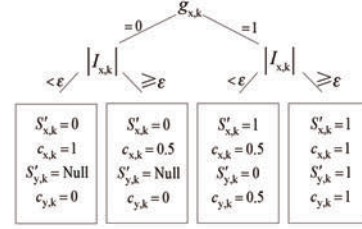


图 2 STU 状态及连通性判断规则

Fig. 2 STU state and connectivity judgment rules

所示规则说明如下:

(1) 若 STU 量测到的开关量与电流量逻辑相符,则本侧开关连通性的置信度为 1。在开关闭合且支路有电流的情况下,可以预判对侧开关也是闭合的。如果开关断开并且支路电流量为零,则对侧开关的状态可进行判断。

(2) 若 STU 量测到的开关量为 0,但电流量不为 0,则按开关量判断该开关为断开状态,置信度为 0.5。对侧开关状态仍无法判断,置信度为 0。

(3) 如果 STU 量测到的开关量为 1,但有电流流过,这可能是由于对侧开关处于断开状态,二者之间并没有逻辑冲突。因此以置信度 1 判断本侧开关闭合,同时判断对侧开关断开,置信度为 0.5。

2 考虑智能终端失效的自适应保护方案设计

智能分布式馈线自动化系统中,智能终端设备检测故障电流信息并与相邻终端交换,从而快速实现故障定位、故障隔离与供电恢复。在信息传输过程中,有可能出现智能终端运行异常或通信系统故障等情况,将导致保护失效,带来保护系统故障处置时间延长的风险。

2.1 保护方案设计

针对 STU 运行状态异常的情况,根据 KCL 与差动保护原理,设定自适应保护规则如下:当各 STU 运行状态正常时,本侧开关与相邻开关构成电流差动保护。当检测到对侧 STU 故障时,扩大保护范围,本侧开关与对侧开关的邻近开关构成电流差动保护。自适应保护动作判据为

$$\begin{cases} I_d > I_0 \\ I_d > K_{res} I_{res} \end{cases}$$

式中: I_d 为差动电流; I_{res} 为制动电流; I_0 为防误动门槛值; K_{res} 为自适应制动系数。

在线路纵联差动保护中, 当各 STU 都正常时, $I_d = |\dot{I}_i + \sum \dot{I}_j|$, $I_{res} = |\dot{I}_i - \sum \dot{I}_j|$, $i \in N_{node}$, N_{node} 为开关集合; $j \in N_{i,node}$, $N_{i,node}$ 为故障侧与开关 i 的邻接开关集合。当 STU_j 异常时, $I_d = |\dot{I}_i + \sum \dot{I}_m|$, $I_{res} = |\dot{I}_i - \sum \dot{I}_m|$, $m \in N_{j,node}$, $N_{j,node}$ 为开关 j 的另一侧邻接开关的集合。

在母线差动保护中, 当各 STU 都正常时, $I_d = |\dot{I}_i + \sum \dot{I}_j|$, $I_{res} = |\dot{I}_i - \sum \dot{I}_j|$, $i \in N_{node}$, N_{node} 为开关集合; $j \in N_{i,node}$, $N_{i,node}$ 为故障侧与开关 i 的邻接的开关集合。当 STU_i 异常时, $I_d = |\dot{I}_n + \sum \dot{I}_j|$, $I_{res} = |\dot{I}_n - \sum \dot{I}_j|$, $n \in N_{i',node}$, $N_{i',node}$ 为开关 i 的另一侧邻接开关的集合。

2.2 与传统区域保护方案比较

2.2.1 纵联差动保护

在传统区域保护中, 电流差动保护为主保护, 过流保护为后备保护。如图 1 所示, 当 k_1 点发生故障时, SA2 量测失效, 此时由 QF3 和 QF4 构成的电流差动保护以及由 QF3 构成的过流保护均失效, 需要由 QF1 过程的过流保护Ⅲ段动作切除故障, 动作时间为 $2\Delta t$ s。在本文所提自适应保护中, 当 SA2 量测失效时, 由 SA4 与 SA1 和 SA3 进行信息交互, 构成自适应差动保护, 在故障发生时迅速动作并切除故障, 并减小了停电区域。由此可得, 本文所提自适应保护方案具有更好的速动性与可靠性。

2.2.2 母线差动保护

在传统区域保护中, 母线差动保护为主保护, 过流保护为后备保护。如图 1 所示, 当点 k_2 发生故障时, SA4 量测失效, 此时由 QF4、QF5、QF9 和 QF11 构成的母线差动保护以及由 QF4 构成的过流保护均失效, 需要由 QF3 的过流保护Ⅲ段动作切除故障, 动作时间为 $2\Delta t$ s。在本文所提自适应保护中, 当 SA4 量测失效时, 由 SA2 与 SA5、SA6 和 SA7 进行信息交互, 构成自适应差动保护, 在故障发生时迅速动作并切除故障, 并减小了停电区域。由此可得, 本文所提自适应保护方案具有更好的速动性与可靠性。

3 仿真分析

利用 PSCAD 仿真软件, 搭建如图 1 所示的

10 kV 主动式配电网模型。设计开环运行方式, 验证拓扑辨识方法的有效性, 并设计 STU 运行异常的场景, 验证所提自适应保护方案的有效性。

3.1 纵联电流差动保护

3.1.1 STU 状态及通道辨识验证

设置开环运行的方式为断开开关 QF6, 该运行方式下, 各 STU 对开关量与电流量进行采集。每个 STU 根据本地两侧的开关量与电流量信息, 对其与邻接开关的连通性进行判断, 获得完整的拓扑。此时, 假设 QF3 的电流量测偏低, 图 1 所示配电网中, SA2 与其相邻 STU 的状态信息如表 2 所示。

表 2 SA2 与其相邻 STU 的状态信息

Tab. 2 Status information of SA2 and its adjacent STUs

通道	(开关名, 开关状态, 置信度)
SA1-SA2	(QF2, 1, 1)
	(QF3, 1, 0.5)
SA2-SA3	(QF3, 1, 0.5)
	(QF10, 1, 1)
SA2-SA4	(QF3, 1, 0.5)
	(QF4, 1, 1)

3.1.2 自适应保护方案有效性验证

为验证本文所提自适应保护方案的有效性, 基于 2.2.1 节所述, 对配电网发生短路故障进行仿真。首先, 在传统区域保护方案中, 0.1 s 支路 NP 发生三相短路故障, SA2 量测信息失效, QF1 的过流Ⅲ段在 1.1 s 动作, 故障电流以及各保护动作情况如图 3 所示。

在本文所提自适应保护方案中, 0.1 s 支路 NP 发生三相短路故障, SA2 量测信息失效, QF2、QF4、QF10 在 0.1 s 动作, 故障电流以及各保护动作情况如图 4 所示。

3.2 母线差动保护

3.2.1 STU 状态辨识验证

设置开环运行的方式为断开开关 QF6, 该运行方式下, 各 STU 对开关量与电流量进行采集。每个 STU 根据本地两侧的开关量与电流量信息, 对其与邻接开关的连通性进行判断, 获得完整的拓扑。此时, 假设 QF4 的电流量测偏低, 图 1 所示配电网中, SA4 与其相邻 STU 判定的状态信息如表 3 所示。

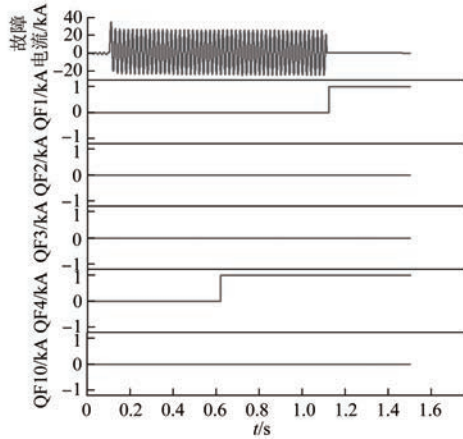


图3 线路故障传统区域保护方案故障电流及保护动作情况

Fig.3 Fault current and protection action of traditional regional protection scheme for line fault

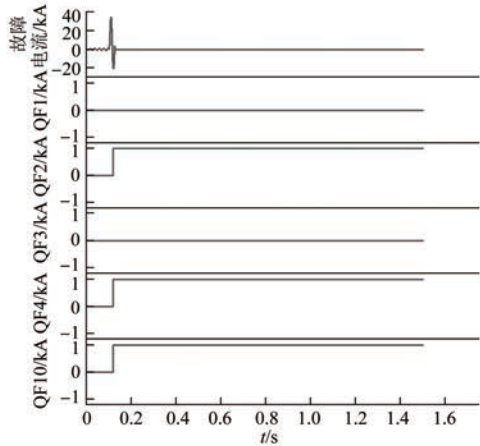


图4 线路故障自适应保护方案故障电流及保护动作情况

Fig.4 Fault current and protection action of line fault adaptive protection scheme

表3 SA4 与其相邻 STU 的状态信息

Tab.3 Status information of SA4 and its adjacent STUs

通道	(开关名,开关状态,置信度)
SA2-SA4	(QF3,1,1)
	(QF4,1,0.5)
SA4-SA5	(QF4,1,0.5)
	(QF5,1,1)
SA4-SA6	(QF4,1,0.5)
	(QF9,1,1)
SA4-SA7	(QF4,1,0.5)
	(QF11,1,1)

3.2.2 自适应保护方案有效性验证

为验证本文所提自适应保护方案的有效性,基于2.2.2节所述,对配电网发生短路故障进行仿

真。首先,在传统区域保护方案中,0.1 s 母线 P 发生三相短路故障,SA4 量测信息失效,QF3 的过流Ⅲ段在 1.1 s 动作,QF9 的过流 I 段故障电流以及各保护动作情况如图 5 所示。

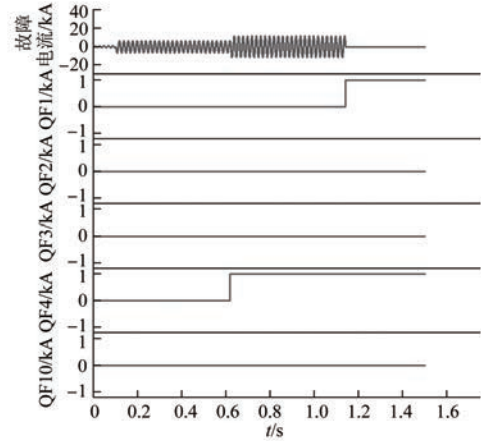


图5 环网柜故障时传统区域保护方案故障电流及保护动作情况

Fig.5 Fault current and protection action of traditional regional protection scheme when ring main unit fails

在本文所提自适应保护方案中,0.1 s 母线 P 发生三相短路故障,SA4 量测信息失效,QF3、QF5、QF9、QF11 构成母线差动保护,在 0.1 s 动作,故障电流以及各保护动作情况如图 6 所示。

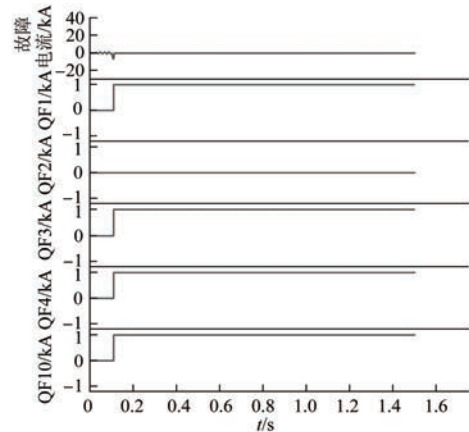


图6 环网柜故障时自适应保护方案故障电流及保护动作情况

Fig.6 Fault current and protection action of adaptive protection scheme in case of ring main unit fault

4 结语

本文提出了一种适用于 STU 异常的配电网自适应保护方法,充分利用了 STU 采集的电气量

与开关量信息。各 STU 间进行信息交互,独立对区域内故障进行识别,实现配电分布式保护。所提算法无需预存配电网整体的静态拓扑结构,即可快速地实现拓扑识别与更新,还可对运行异常的 STU 进行判断。所提保护方案能准确应对 STU 失效的情况,通过与失效 STU 相邻的 STU 进行配合,自适应调整保护方案并切除故障。研究表明所提方法相对于传统区域保护方法更加灵活,能够适应主动配电网拓扑复杂多变的现状,提高了保护的速动性与可靠性,对主动配电网的保护效果更好。

参考文献

- [1] 董旭柱, 华祝虎, 尚磊, 等. 新型配电系统形态特征与技术展望[J]. 高电压技术, 2021, 47(9): 3021-3035.
- DONG X Z, HUA Z H, SHANG L, et al. Morphological characteristics and technology prospect of new distribution system [J]. High Voltage Engineering, 2021, 47(9): 3021-3035.
- [2] 饶威. 智能变电站智能设备异常对失灵保护的影响分析[J]. 电工电气, 2019(11): 45-48.
- RAO W. Analysis of intelligent equipment's abnormal impact on failure protection in smart substation[J]. Electrotechnics Electric, 2019(11): 45-48.
- [3] 高崇, 张俊潇, 王天霖, 等. 考虑信息系统故障的开关与配电自动化终端多目标规划方法[J/OL]. 南方电网技术, 2023-05-30. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1643.TK.20230210.0911.004.html>
- GAO C, ZHANG J X, WANG T L, et al. Multi-object planning method of switch and distribution automation terminal considering information system fault[J/OL]. Southern Power System Technology, 2023-05-30. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1643.TK.20230210.0911.004.html>.
- [4] 陈晓乾, 秦文萍, 杨乐, 等. 逆变式电源接入下的配电网自适应距离保护方案[J]. 电力系统保护与控制, 2023, 51(11): 27-38.
- CHEN X G, QIN W P, YANG L, et al. Adaptive distance protection scheme for a distribution network given access of inverter power supply [J]. Power System Protection and Control, 2023, 51(11): 27-38.
- [5] 张天翊, 梁志坚, 刘斌. 含多分布式电源配电网自适应保护研究[J]. 广西大学学报(自然科学版), 2023, 48(1): 122-131.
- ZHANG T Y, LIANG Z J, LIU B. Adaptive protection improvement of multi-distributed power supply access distribution network based on positive sequence current[J]. Journal of Guangxi University (Natural Science Edition), 2023, 48(1): 122-131.
- [6] 陈晓龙, 闫若璇, 李永丽, 等. 基于特性参数自适应修正的花瓣式配电网反时限过电流保护方法[J]. 电力自动化设备, 2023, 43(4): 143-151.
- CHEN X L, YAN R X, LI Y L, et al. Parameter adaptive correction based inverse-time overcurrent protection method of petal-shaped distribution network [J]. Electric Power Automation Equipment, 2023, 43(4): 143-151.
- [7] 刘刚, 朱林, 祁升龙, 等. 基于拓扑结构变化的配电网自适应保护方法[J]. 电力科学与技术学报, 2022, 37(1): 106-112.
- LIU G, ZHU L, QI S L, et al. Adaptive protection method for distribution networks based on the dynamic topology [J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2022, 37(1): 106-112.
- [8] 杨东文, 季良, 曾次玲, 等. 控制与开关保护电器的新型智能控制应用技术及其动态特性[J]. 电机与控制应用, 2023, 50(1): 14-22.
- YANG D W, JI L, ZENG C L, et al. New intelligent control application technology and dynamic characteristics of control and switching protective electrical apparatus [J]. Electric Machines & Control Applications, 2023, 50(1): 14-22.
- [9] 邱革非, 杨昊天, 何超, 等. 基于二阶锥松弛的三相不平衡配电网最优潮流研究[J]. 电机与控制应用, 2022, 49(12): 34-40+59.
- QIU G F, YANG H T, HE C. et al. Research on optimal power flow of three-phase unbalanced distribution network based on second-order cone relaxation [J]. Electric Machines & Control Applications, 2022, 49(12): 34-40+59.
- [10] 朱敬成, 刘辉, 王伦文, 等. 基于网络拓扑重合度的关键节点识别方法[J]. 计算机应用研究, 2021, 38(12): 3581-3585.
- ZHU J C, LIU H, WANG L W, et al. Method for identifying key nodes based on overlap of network topology [J]. Application Research of Computers, 2021, 38(12): 3581-3585.
- [11] 韩笑, 丁煜飞, 夏寅宇, 等. 基于负序故障附加网络模型识别的有源配电网保护[J]. 电机与控制

- 应用, 2023, 50(2): 56-60+66.
- HAN X, DING Y F, XIA Y Y, et al. Active distribution network protection based on negative sequence fault additional network model identification [J]. Electric Machines & Control Application, 2023, 50(2): 56-60+66.
- [12] MARIN Q J, OROZCO H C, PERCYBROOKS W S, et al. Toward an adaptive protection scheme in active distribution networks: Intelligent approach fault detector [J]. Applied Soft Computing, 2021, 98: 106839-106852.
- [13] 余磊, 贾科, 温志文, 等. 计及量测数据丢失的主动配电网电流保护自适应整定方法[J]. 电力系统自动化, 2022, 46(15): 145-152.
- YU L, JIA K, WEN Z W, et al. Adaptive setting method of over current protection in active distribution network considering measurement data missing [J]. Automation of Electric Power Systems, 2022, 46(15): 145-152.
- [14] 武奕彤. 智能配电网分布式拓扑识别与应用方法[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(16): 136-142.
- WU Y T. Distributed topology identification and application method of smart distribution network [J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(16): 136-142.
- [15] 范开俊, 徐丙垠, 董俊, 等. 基于智能终端逐级查询的馈线拓扑识别方法[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(11): 180-186.
- FAN K J, XU B Y, DONG J, et al. Identification method for feeder topology based on successive polling of smart terminal unit [J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(11): 180-186.
- [16] 高孟友, 徐丙垠, 范开俊, 等. 基于实时拓扑识别的分布式馈线自动化控制方法[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(9): 127-131.
- GAO M Y, XU B Y, FAN K J, et al. Distributed feeder automation based on automatic recognition of real-time feeder topology [J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(9): 127-131.
- [17] 殷海森, 黄淑琼, 林天池. 智能配网通信系统故障自愈技术研究[C]//2018 智能电网新技术发展与应用研讨会, 2018.
- YIN H S, HUANG S Q, LIN T C. Research on fault self-healing technology of intelligent distribution network communication system [C] // 2018 Symposium on Development and Application of New Technology in Smart Grid, 2018.
- [18] 常成, 熊炜, 袁旭峰, 等. 主动配电网智能控制终端自适应保护整定研究[J]. 电测与仪表, 2017, 54(22): 35-41.
- CHANG C, XIONG W, YUAN X F, et al. Research on adaptive protection setting of active distribution network intelligent control terminal [J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2017, 54(22): 35-41.
- [19] 王宗晖, 陈羽, 徐丙垠, 等. 基于逻辑节点的分布式馈线自动化拓扑识别[J]. 电力系统自动化, 2020, 44(12): 124-130.
- WANG Z H, CHEN Y, XU B Y, et al. Logical node based topology identification of distributed feeder automation [J]. Automation of Electric Power Systems, 2020, 44(12): 124-130.
- [20] 王日宁, 武一, 魏浩铭, 等. 基于智能终端特征信号的配电网台区拓扑识别方法[J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(6): 83-89.
- WANG R N, WU Y, WEI H M, et al. Topology identification method for a distribution network area based on the characteristic signal of a smart terminal unit [J]. Power System Protection and Control, 2021, 49(6): 83-89.
- [21] 丛伟, 郑熠, 张子衿, 等. 智能配电网拓扑信息的分布式存储和管理方法[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(13): 111-118.
- CONG W, ZHENG Y, ZHANG Z J, et al. Distributed storage and management method for topology information of smart distribution network [J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(13): 111-118.

收稿日期:2023-08-05

收到修改稿日期:2023-09-10

作者简介:

韩 笑(1969-),男,硕士,教授,研究方向为电力系统继电保护,hanxiao@njit.edu.cn;

* 通信作者:李姝佳(1999-),女,硕士研究生,研究方向为电力系统继电保护,2918428343@qq.com;

王 钢(1998-),男,硕士研究生,研究方向为电力系统继电保护,2414851059@qq.com;

陈 楠(1996-),男,硕士研究生,研究方向为电力系统继电保护,cnplank@163.com。

An Adaptive Protection Method for Distribution Network with Abnormal Intelligent Terminals

HAN Xiao, LI Shujia^{*}, WANG Gang, CHEN Nan

(School of Electric Power Engineering, Nanjing Institute of Technology, Nanjing 211167, China)

Key words: topology identification; active distribution network; abnormal intelligent terminal; adaptive protection

The intelligent distribution network uses a large number of information, digital, intelligent and other technologies to effectively improve the accuracy of the sampling value and improve the transmission quality of the communication system. However, in the daily operation process, the abnormal operation of terminal equipment and the wrong identification of distribution network topology bring difficulties to the protection and normal operation of power system.

In this paper, an adaptive protection method for distribution network with abnormal intelligent terminal is proposed. Firstly, the structural characteristics of the active distribution network are briefly introduced. Secondly, a distribution network topology identification method considering the abnormality of intelligent terminal is proposed. This method uses the switching quantity and current to judge the state of each smart terminal unit (STU) and the connectivity between each branch. The STU state and connectivity judgment rules are shown in Fig.1.

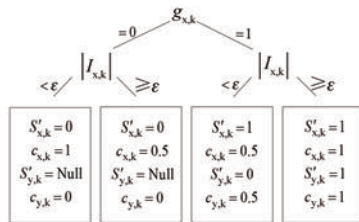


Fig. 1 STU state and connectivity judgment rules

Aiming at the abnormal operation state of STU, according to the principle of Kirchhoff's Current Law (KCL) and multi-terminal differential protection, a new adaptive protection scheme is designed for longitudinal differential protection and bus differential protection respectively. When the operation state of each STU is normal, the local

switch and the adjacent switch constitute the current differential protection. When the opposite side STU fault is detected, the protection range is expanded, and the current differential protection is formed by the adjacent switch of the local switch and the opposite side switch.

Finally, using PSCAD simulation software, the 10 kV active distribution network model is established, as shown in Fig.2, and the open-loop operation mode is designed to verify the effectiveness of the topology identification method. The scenario of abnormal STU operation is designed, and the effectiveness of the proposed adaptive protection scheme is verified for longitudinal differential protection and bus differential protection respectively.

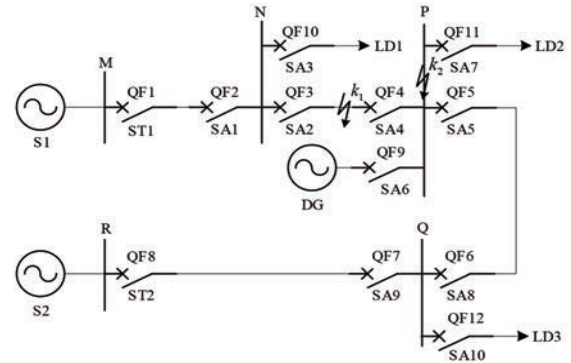


Fig. 2 10 kV active distribution network structure diagram

The research shows that the proposed method is more flexible than the traditional regional protection, which can adapt to the complex and changeable topology of the active distribution network, improve the speed and reliability of the protection, and provide better protection for the active distribution network.