

DOI:10.12158/j.2096-3203.2019.06.014

基于信息触发的智能变电站保护功能判定方法研究

宋福海

(国网福建电力调度控制中心,福建 福州 350003)

摘要:目前智能变电站继电保护功能正确性判定方面的研究着重于保护系统整体评价或保护执行过程正确性判断,缺乏各种类型保护功能的实时状态评估以及保护功能触发的逻辑正确性判断。文中通过分析各类型保护功能的影响因素和影响逻辑,将各保护功能所处状态进行分类与评价,通过对采样值、设备状态的获取与分析,进行保护功能触发的正确性判断。梳理了保护功能触发时二次系统产生的信息序列,采用理论序列和实际序列对比的方式进行保护功能执行过程正确性判断,同时,增加前置条件解决同类型保护功能触发时不同信息序列选取和匹配的问题。通过现场实例分析,验证了所提出的保护功能状态与行为判定方法能够在智能变电站保护功能状态监测以及故障分析方面提供理论基础。

关键词:智能变电站;继电保护;触发逻辑;信息序列;状态评估

中图分类号:TM633

文献标志码:A

文章编号:2096-3203(2019)06-0099-08

0 引言

随着变电站智能化程度的提高,智能变电站二次系统连接方式和通信方式产生了巨大的改变,间隔层和过程层之间取消了传统硬接线,通过光纤与交换机网络传输采样值、开关量等信息^[1-3]。运维系统能够通过网络报文掌握二次系统设备状态以及功能执行情况,为继电保护功能的正确性判断提供了基础。

在此前的研究中,文献[4-5]总结了对设备功能产生影响的因素,建立了设备告警故障树,并采用结构熵权法完成重要度赋值,在线获得某设备失效时对保护系统的扰动度;文献[6-8]通过模糊综合评判法,结合动态数据和历史数据对继电保护运行状态进行评估,但并未对保护系统各类型功能的状态进行评估;文献[9]通过抽象智能变电站保护系统网络拓扑结构有向图,从信息可达性的角度分析保护系统失效后的故障风险,侧重于保护失效后的影响分析;文献[10-11]通过对模拟量与开关量的对比,以及保护出口时间差、整组事件特性等进行检验完成单、双重化配置的保护信息诊断,但未对保护触发逻辑与执行逻辑的正确性进行检验;文献[12-13]对保护行为发生时的动作序列完整性进行分析,结合通信链路光功率预测的方式来进行功能执行过程中的缺陷与故障定位,但未考虑不同保护动作类型的动作序列选取问题。

收稿日期:2019-06-26;修回日期:2019-08-10

基金项目:国家电网有限公司科技项目“智能变电站二次设备在线状态评估技术研究”(521300170012)

以上文献均未考虑到保护功能触发的正确性判断,且未详细地评价各类型保护功能状态。为对智能变电站二次系统继电保护功能状态进行评估,并对保护功能触发与执行过程中的正确性进行判断,文中综合考虑了触发和影响继电保护功能的因素,整理了各种情况下保护执行时的信息序列模板,提出了基于信息触发的保护功能行为判断方法。

1 保护功能状态评估

1.1 影响因素分类

变电站继电保护系统一般由多种原理的继电保护算法组成,单个保护装置的逻辑模型定义中也存在多种描述保护功能的数据对象^[14]。如线路保护装置中,可能包含了距离保护、差动保护、过流保护、零序保护等。并且,智能变电站二次系统采用了合并单元、智能终端、交换机等设备,并用光纤取代了二次电缆,仅对保护装置进行状态评估往往无法得到正确的结果^[15-17]。

以保护功能正确响应为判断依据,影响保护功能的因素则包括采样与判断^[18]。考虑到设备逻辑模型定义以及设备自检,得到的保护功能影响因素如表1所示,合并单元状态、保护装置状态、功能压板、链路状态等都分别定义在 dsGoose、dsAlarm、dsWarning、dsRelayEna、dsCommState 等数据集中。

1.2 影响评价方法

从不同的角度出发,保护功能状态的呈现方式也有所不同。若从保护功能是否能正常实现的角度分析,功能状态可用实现和未实现表示;从功能是否闭锁的角度来看,可分为投入但闭锁、未投入

表 1 保护功能影响描述

Table 1 Description of protection function impact

类型	描述
采样	合并单元状态
	互感器到合并单元传输状态
	“直采”或“网采”链路状态
	数据品质
判断	保护开入
	功能压板状态
	保护装置状态

以及投入且正常。但以上评价方式无法让运维人员快速准确地找到故障原因。依据国调 92 号文对装置所处状态的定义,文中将保护功能状态分为正常态、退出态、信号态、检修态及告警态^[19-22],5 种状态的含义与 92 号文中的定义有些许差异,其含义描述如表 2 所示。

表 2 保护功能状态描述

Table 2 Description of protection function state

状态	描述
正常态	保护功能正常工作
退出态	保护功能压板未投入
信号态	出口压板未投入
检修态	装置检修压板投入
告警态	保护功能受告警影响丧失

1.3 影响模型建立

保护功能影响因素之间的逻辑关系可描述为与、或、非的关系,通过厂家说明、继电保护原理与整站配置文件(substation configuration description, SCD)能够将这些关系整合为通过数据对象和逻辑关系共同描述的保护功能影响逻辑模型。保护功能影响逻辑模型不是对保护装置整体状态的描述,而是对集成于保护装置中各分项功能状态的描述。功能影响逻辑模型如图 1 所示。

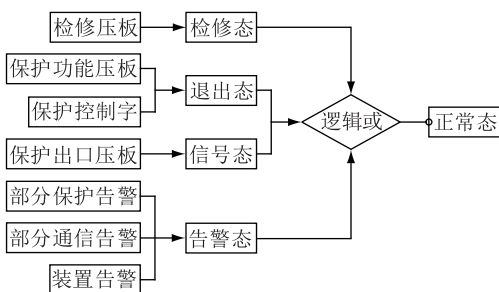


图 1 功能影响逻辑模型

Fig.1 Block diagram of functional impact logic model

图 1 中,检修态、信号态分别由检修压板状态和保护出口压板状态决定,退出态由保护功能压板

与控制字决定,告警态则由部分保护告警(定义于保护装置 dsWarning 数据集下的与采样有关的告警)、部分通信告警(定义于 dsCommState 数据集下与采样通道状态有关的告警)以及装置告警决定。若不处于这 4 种状态,则可以判定保护功能处于正常态。

2 保护功能行为判定

2.1 功能行为判定内容

上文描述的是保护功能未触发时的功能状态评估,而当保护功能触发时,需要分析的内容包括保护功能触发的正确性和保护功能执行的正确性。

文献[13]中提到在保护功能执行时,其过程能够被一个报文序列所描述,该报文序列由制造报文规范(manufacture message specification, MMS)和面向通用对象的变电站事件(generic object oriented substation event, GOOSE)组成,对于不同类型的间隔,该序列有一定的出入,需要按照变电站电压等级、接线方式、虚端子等提前进行梳理。

在变电站保护功能执行时,保护动作信息序列会被一次线路的故障类型影响。以某站 220 kV 线路快速距离保护和距离 III 段保护为例,快速距离保护信息序列一般是:断路器跳闸(GOOSE)-断路器启动失灵(GOOSE)-断路器位置(GOOSE)-重合闸(GOOSE)-三跳(GOOSE,受故障类型影响)-保护动作(MMS)-三相位置(MMS)(不是严格时间关系)。但距离 III 段动作时则是:断路器跳闸(GOOSE)-断路器启动失灵(GOOSE)-断路器位置(GOOSE)-保护动作(MMS)-三相位置(MMS),没有重合闸和永跳报文。这种情况下,不考虑故障类型和保护动作类型,只通过报文信息序列判定保护功能执行正确性,与实际情况有一些出入。

同时,当保护定值设置出错、定值区出错时,很可能造成保护功能误动或拒动。因此,对故障发生时保护是否应该动作以及该由哪种保护动作也应该是判定目标之一。

2.2 功能触发正确性判断

按照继电保护原理分类,保护类型有过电流、低电压、过电压、功率方向、阻抗距离、差动保护等,其触发条件判断依据有所不同。因此,若要进行保护功能触发正确性判断,则需要额外建立能够完成继电保护运算的模型并实时接收采样值(sample value, SV)报文进行计算。且模型支持手动设置定值,符合现场继电保护装置判断标准,在保护装置发生定值错误或其他原因造成的拒动、误动时形成

参考。

各类型继电保护已有成熟算法和模型,以距离保护为例,其模型框图如图 2 所示,其中 PT 为电压互感器。

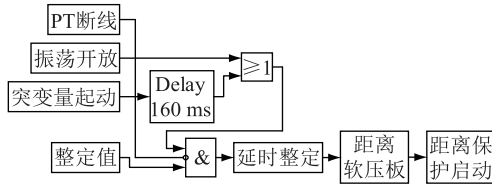


图 2 距离保护逻辑

Fig.2 Logic block diagram of distance protection

2.3 功能执行正确性判断

为了能够在保护功能执行时自动选取正确的信息序列,避免对保护功能执行正确性的误判断,需要有一种在选取信息序列时的前置判定条件。在触发相同保护功能的情况下,出现哪种信息序列只和故障类型有关系,因此,前置判定条件需要能够反映一次故障类型,且能够以某种方式被后台、运维系统等识别。为完成故障类型的判别,通过捕获并分析 SV 报文,辅以对一次电气量的分析,将其作为前置判定条件。

首先对各种情况下保护功能信息序列进行梳理,信息序列体现在网络报文中且不区分是哪一种类型的保护功能在执行,其最终结果均为断路器跳闸。但由于不同类型保护功能在设置定值时依据不同,在通过 SV 报文进行故障类型判断时则需要考虑到所有保护类型,进行判别时也要依据不同类型的定值计算方法进行。通过 SV 进行故障类型判断需要考虑的因素如表 3 所示。

表 3 故障判断考虑因素

Table 3 Fault judgment considerations

考虑因素	对应类型
线路电流、电压大小	过流、距离、差动保护等
线路电流、电压相位	距离、差动保护等
零序电流、电压大小	零序保护
相别	跳闸方式

完成上述因素的获取和判断需要额外建立各类型功能触发模型,并且实时接收过程层网络的 SV 报文作为数据源。获取各因素的流程如图 3 所示。

在保护行为触发时,通过前置条件的获取则可选择正确的动作序列作为保护功能执行正确性判断的模板序列。以 220 kV 线路保护动作为例,跳闸方式有单相跳闸、三跳和永跳,其中永跳是不会有重合闸的,增加前置条件的模板功能信息序列如表 4 所示。2 种跳闸方式最重要的区别是有无重合闸

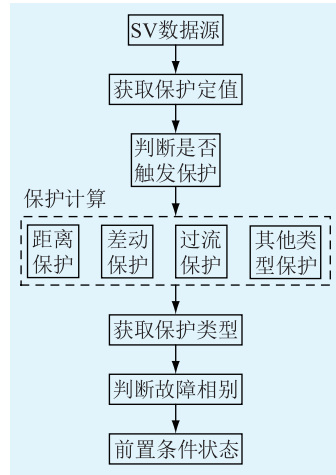


图 3 前置条件获取流程

Fig.3 Pre-condition acquisition flow chart

过程,其判断条件除了保护动作类型,还有 II 段保护闭锁重合闸以及多相故障闭锁重合闸的状态,可以通过 deSetting 数据集得知。

表 4 增加前置条件的信息序列

Table 4 Functional behavior sequence with pre-conditions

前置条件	信息序列
	断路器 x 相跳闸 GOOSE
	断路器启动失灵 GOOSE
	断路器位置 GOOSE
快速距离动作 纵联差动保护 I 段保护动作 选相元件 多相故障闭锁重合闸等	重合闸 GOOSE
	三跳 GOOSE
	三相位置 MMS
	保护动作 MMS
	跳闸类型 MMS
	永跳 GOOSE
相间动作 II 段保护 II 段保护闭锁重合闸 III 段保护 距离加速 零序加速等	断路器启动失灵 GOOSE
	断路器位置 GOOSE
	保护动作 MMS
	跳闸类型 MMS
	三相位置 MMS

3 保护功能判定实现方法

3.1 状态评估计算

用 F_N, F_A, F_O, F_Q, F_S 来表示保护功能的正常态、告警态、检修态、退出态和信号态,那么决定其状态的逻辑表达式如式(1):

$$\begin{cases} F_A = a_1 || a_2 || \dots || a_N \\ F_O = o_1 \\ F_Q = q_1 \cdot q_2 \\ F_S = s_1 \cdot s_2 \cdot \dots \cdot s_M \\ F_N = \overline{F_A || F_O || F_Q || F_S} \end{cases} \quad (1)$$

式中： a_N 为影响保护的告警状态，1 表示告警发生，0 表示告警未发生，可见，只要有一个告警出现，则保护处于告警态； o_1 为装置检修压板状态，1 代表投入，0 代表退出； q_1, q_2 分别为相应功能压板和控制字，1 代表投入，0 代表退出； s_M 为保护装置的出口压板状态，包括跳闸出口压板，启动失灵出口压板等，1 表示压板投入，0 表示退出。

3.2 触发正确性计算

在中心交换机处接收的采样值报文为整站报文，而智能变电站二次系统通过“虚回路”定义，保护装置只会收到执行功能所需要的采样值^[23-24]。若按照常规方法进行串行计算，单线程进行报文解析与电气量数据重构，再进行继电保护计算，消耗的时间可能大于二次系统保护计算所用时间，导致功能正确性判定不及时。

为解决该问题，按照间隔类型分为线路、母线、主变 3 种，且同电压等级的线路一般而言保护类型相同，同变电站中的主变间隔保护类型也基本相同。采用电池荷电状态 (state of charge, SOC) 并行分析单元，将各个间隔类型、各种保护类型的触发计算做并行处理，减少判断消耗时间，如图 4 所示。

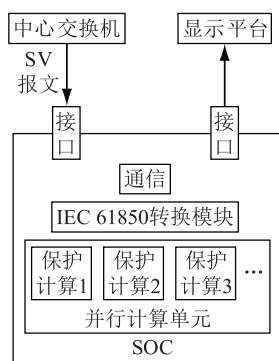


图 4 保护计算方案

Fig.4 Scheme of protection calculation

按照经典保护算法建立计算模型，以采用偏移阻抗元件的距离保护为例，其保护定值由距离阻抗定值 Z_{zd} 、电阻定值 R_{zd} 、线路正序阻抗角 Φ_{zd} 三部分组成，对于距离保护触发的计算流程如图 5 所示。

3.3 保护行为判定触发条件

保护行为正确性判断的触发条件分为 2 种，其一是通过接收 SV 报文分析得出的功能触发结果，其二是保护装置发出的跳闸 GOOSE 报文。

当保护功能被触发时，通过 SV 报文和继电保护计算获取到功能信息序列的前置条件状态。触发流程如图 6 所示，现场保护装置发出跳闸令时触发执行正确性判断，根据前置条件状态选择模板序列，并开始匹配实际接收报文和模板序列内容。

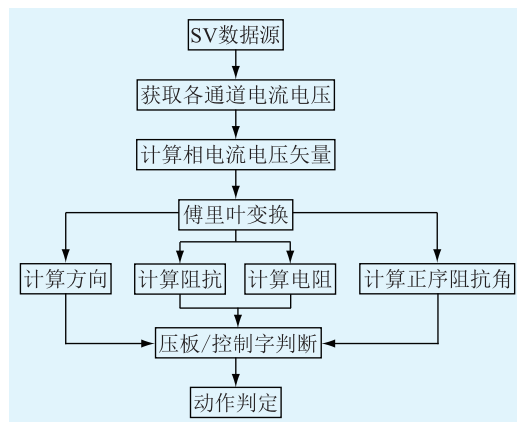


图 5 距离保护计算流程

Fig.5 Calculating process of distance protection

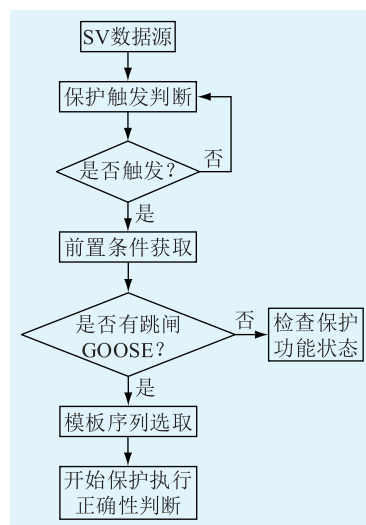


图 6 触发流程

Fig.6 Trigger process

3.4 信息序列匹配方法

智能变电站二次设备功能执行与实现由报文体现，因此，信息序列可由 SCD 中定义的数据索引来描述的^[25-27]。一个完整的数据索引由智能电子设备 (intelligent electronic device, IED) 名、逻辑设备 (logic device, LD)、逻辑节点 (logic node, LN)、数据对象 (data object, DO)、数据属性 (data attribute, DA) 组成^[28-29]，直接通过字符匹配进行序列对比速度慢，效率低。报文与功能是一一对应的，因此可由字符串组成的信息序列转化为数字序列。

将 IED 名、LD、LN、DO、DA 这 5 种因素全部用在 SCD 中的顺序编号来表示，并制定以下“length-value”的表示规则。

(1) 当某个因素编号值大于 10 时，需要在编号前方设置一个表示编号位数的 10 进制数。

(2) 当某个因素编号值小于 10 时，不需要在编号前方设置长度描述。

(3) 数据索引则可表示为:

Len-Num(IED)-Len-Num(LD)-Len-Num(LN)-Len-Num(DO)-Len-Num(DA)。

为避免描述二义性,用小写英文字母来表示 Len,且当位数为 1 时不需要加 Len 位,因此从 b 开始表示 2,c 表示 3,以此类推。以某站 220 kV 线路过负荷告警为例,其数据索引为:

PL2201APIGO/goGGIO12.Ind.stVal。

IED 名为 PL2201A,在 SCD 中的编号为 5;LD 为 PIGO,编号为 4;LN 为 goGGIO12,编号为 12;DO 为 Ind,编号为 16;DA 为 stVal,编号为 16。因此其字符串序列为:54b12b16b16。

保护执行正确性判断开始时,会通过抓取并解析站控层和过程层网络报文来寻找与模板序列中相同的序列项,将序列转化为用编号表示的字符串,并利用编号直接访问到记录相应信息的地址,省略了进行字符匹配和循环查找的时间。其流程如图 7 所示。

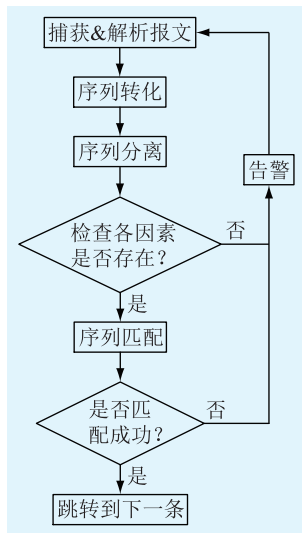


图 7 序列匹配流程

Fig.7 Process of sequence matching

4 算例

通过在某 220 kV 智能变电站中进行 220 kV 线路保护功能状态与功能行为判定证明该方法的有效性。该智能变电站保护回路采用“直采直跳”方式,因此需要在过程层中心交换机和站控层交换机处接收全站报文。为避免外接设备残剩的网络报文对二次系统的影响,需要配置交换机镜像口。另外系统需要有捕获、解析网络报文及解析变电站 SCD 文件等功能为基础。

首先进行线路保护状态的判定。以线路快速距离保护为例,通过接收报文得知,与该保护功能

有关的告警、压板和控制字如表 5 所示,CT 为电流互感器。

表 5 影响快速距离保护功能的因素

Table 5 Factors influencing the function of rapid distance protection

编号	名称	状态	编号	名称	状态
q ₁	SV 接收压板	1	a ₈	SV 采样中断	0
q ₂	距离保护压板	1	a ₉	SV 采样丢帧	0
q ₃	距离保护 I 段控制字	1	a ₁₀	CT 检修不一致	0
q ₄	快速距离保护控制字	1	a ₁₁	CT 双 AD 不一致	0
a ₁	CT 品质异常	0	a ₁₂	CT 断线	0
a ₂	PT 检修不一致	0	a ₁₃	PT 双 AD 不一致	0
a ₃	PT 断线	0	a ₁₄	PT 品质异常	0
a ₄	定值自检错	0	a ₁₅	RAM 自检出错	0
a ₅	保护程序校验出错	0	a ₁₆	保护 CPU 插件异常	0
a ₆	CPU 通信中断	0	a ₁₇	点对点 SV 链路中断	0
a ₇	SV 链路接收不匹配	0	a ₁₈	点对点 SV 链路延时超限	0
s ₁	跳闸出口压板	1	o ₁	检修压板	0

根据式 (1) 可得:

$$\begin{cases} F_A = a_1 \| a_2 \| \dots \| a_{18} = 0 \\ F_O = o_1 = 0 \\ F_Q = q_1 \cdot q_2 \cdot q_3 \cdot q_4 = 0 \\ F_S = s_1 = 0 \\ F_N = \overline{F_A} \| \overline{F_O} \| \overline{F_Q} \| \overline{F_S} = 1 \end{cases} \quad (2)$$

因此快速距离保护状态为正常。当一次电网故障时,接收 SV 报文并通过继电保护模型运算,得知其应该触发快速距离保护并 A 相跳闸,此时接收到二次系统报文如表 6 所示,而此时获取到的前置条件如表 7 所示。

表 6 A 相跳闸触发时的动作序列

Table 6 Action sequence of phase A tripping trigger

类型	内容	源设备	目的设备
GOOSE	PIGO/goPTRC2.Tr.phsA: 断路器 A 相跳闸	PL2201A	IL2201A
GOOSE	PIGO/goPTRC2.StrBF.phsA: 断路器 A 相启动失灵	PL2201A	PM2201A
GOOSE	RPIT/XCBR2.Pos.stVal: 断路器 A 相位置双点	IL2201A	PL2201A
GOOSE	RPIT/XCBR1.Pos2.stVal: 断路器位置 2 双点	IL2201A	CL2201
MMS	CTRL/CBSynCSWI1.Pos: 断路器	CL2201	MS
MMS	CTRL/CBDeaCSWI1.Pos: 断路器	CL2201	MS
MMS	CTRL/CBForCSWI1.Pos: 断路器	CL2201	MS
MMS	PROT/GAPC1.Op: 保护动作	PL2201A	MS

表7 前置条件与状态

Table 7 Pre-condition and state

条件项	状态
选相元件	A相
保护类型	快速距离保护
多相故障闭锁重合闸	投入
Ⅱ段保护闭锁重合闸	投入
三相跳闸方式选择开关	投入
停用重合闸软压板	投入

由于停用重合闸软压板投入,重合闸功能处于退出状态,因此选择的模板序列如表8所示。

表8 模板序列

Table 8 Template sequence

类型	内容	序列号
GOOSE	PL2201APIGO/goPTRC2.Tr.phsA	54311
GOOSE	PL2201APIGO/goPTRC2.StrBF.phsA	54314
GOOSE	IL2201ARPIT/XCBR2.Pos.stVal	a101651
GOOSE	IL2201ARPIT/XCBR1.Pos2.stVal	a101657
MMS	CL2201CTRL/CBSynCSW11.Pos	73a2891
MMS	CL2201CTRL/CBDeaCSW11.Pos	73a419a14
MMS	CL2201CTRL/CBFOrCSW11.Pos	73a429a15
MMS	PL2201APROT/GAPC1.Op	52371

通过序列号查找到SCD文件中数据索引的位置并判断匹配项的正确性,同时按照数据索引检查序列的正确性,根据表6和表8可知序列完整且没有错误,因此快速距离保护执行过程判定正确。

5 结语

文中将智能变电站二次系统继电保护功能正确性判断分为保护功能状态分析、触发正确性判断以及执行正确性判断。将各保护功能分为退出态、检修态、信号态、告警态以及正常态5种状态,分析了对保护功能状态造成影响的因素与逻辑关系,同时分析保护动作时的动作序列来完成执行正确性判断。通过建立继电保护逻辑模型,并接收SV报文完成保护触发的正确性判断。现场实例证明了该方法的有效性,并为智能变电站保护回路状态监测、测试结果分析以及故障诊断提供了理论基础。

文中提出的方法较适用于“九统一”装置,对于非标装置,需要厂家配合完成保护信息序列与功能影响因子的梳理。在二次系统与设备信息完备的情况下,所提方法可根据不同电压等级接线方式和保护算法的差异做出调整,能够适用于不同电压等级的智能变电站。另外由于各厂家智能设备信息模型有所差异,现目前对保护动作序列模板实例化

工作采取自动结合手动调整的方式。针对此类问题,可通过建立专用的语义库,结合中英文相似度算法开展对模型匹配智能化映射、模板自动实例化等相关方面的研究。

参考文献:

- [1] 陈军,王利平,朱小红,等. 基于设备功能的智能变电站二次设备状态评估方法研究[J]. 电测与仪表,2019,56(3):47-51,57.
CHEN Jun,WANG Liping,ZHU Xiaohong,et al. State evaluation method of secondary device in smart substation based on function of device [J]. Electrical Measurement & Instrument, 2019,56(3):47-51,57.
- [2] 李超,罗凌璐,王德辉,等. 智能变电站过程层网络监测与故障定位系统设计及实现[J]. 电力工程技术,2019,38(2):117-122,141.
LI Chao,LUO Linglu,WANG Dehui,et al. Design and implementation of network monitoring and fault location system for process layer network in smart substation [J]. Electric Power Engineering Technology,2019,38(2):117-122,141.
- [3] 左欢欢,彭奇,王德辉,等. 基于变电站配置文件的智能变电站交换机自动配置实现[J]. 电力工程技术,2018,37(1):91-96.
ZUO Huanhuan,PENG Qi,WANG Dehui,et al. Implementation of switch automatic configuration of smart substation based on SCD files [J]. Electric Power Engineering Technology,2018,37(1):91-96.
- [4] 罗华峰,陆承宇,宣晓华,等. 基于全景信息扫描的智能变电站远动装置遥信配置快速校核技术[J]. 浙江电力,2018,37(2):42-47.
LUO Huafeng,LU Chengyu,XUAN Xiaohua,et al. A quick verification technology for remote signal configuration of RTU in intelligent substation based on panoramic scanning [J]. Zhejiang Electric Power,2018,37(2):42-47.
- [5] 王洪彬,徐亨,童晓阳,等. 基于结构熵权法与故障树的智能变电站保护系统扰动度在线评估方法[J]. 电网技术,2019,43(5):1772-1787.
WANG Hongbin,XU Heng,TONG Xiaoyang,et al. The online disturbance degree assessment method of protection systems in intelligent substation based on the structure entropy weight method and fault trees the power of science and technology [J]. Power Grid Technology, 2019,43(5):1772-1787.
- [6] 师元康,姜振超,安寸然. 智能变电站继电保护装置状态评估实用化研究[J]. 电力系统保护与控制,2016,44(10):119-125.
SHI Yuankang,JIANG Zhenchao,AN Cunran. Research on practical state evaluation of protection device in smart substation [J]. Power System Protection&Control,2016,44(10):119-125.
- [7] 齐炜,陈科技. 变电站二次系统数字化及三维接口设计应用研究[J]. 浙江电力,2018,37(2):53-56.
QI Wei,CHEN Keji. Research on digitization and 3D interface design of secondary system in substation [J]. Zhejiang Electric

- Power, 2018, 37(2):53-56.
- [8] 王敬军,王娟,雒磊,等. 基于广度优先搜索的继电保护定值联络关系校核[J]. 浙江电力, 2018, 37(11):53-59.
WANG Jinjun, WANG Juan, LUO Lei, et al. Verification of relay protection fixed value relation based on breadth first search[J]. Zhejiang Electric Power, 2018, 37(11):53-59.
- [9] 郭采珊,蔡泽祥,潘天亮,等. 基于信息可达性的智能变电站继电保护系统风险评估方法[J]. 电网技术, 2018, 42(9):3041-3048.
GUO Caishan, CAI Zexiang, PAN Tianliang, et al. Risk assessment for protection system in smart substation considering information reachability[J]. Power Grid Technology, 2018, 42(9):3041-3048.
- [10] 徐功平,夏秀珍,安英瑞,等. 基于智能变电站的继电保护二次回路故障诊断研究[J]. 电工技术, 2019(4):41-42.
XU Gongpin, XIA Xiuzheng, AN Yingrui, et al. Research on fault diagnosis of secondary circuit of relay protection in intelligent substation[J]. Electric Engineering, 2019(4):41-42.
- [11] 李志勇,孙发恩,瞿晓宏. 智能变电站综合测试仪的研究与实现[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(15):149-154.
LI Zhiyong, SUN Faen, QU Xiaohong. Research and implementation of integrated tester for smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(15):149-154.
- [12] 张旭升,李江林,赵国喜. 智能变电站二次安措防误系统研究与应用[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(11):141-146.
ZHANG Xusheng, LI Jianglin, ZHAO Guoxi. Research and application of the anti-misoperation system for the intelligent station secondary equipment security measures[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(11):141-146.
- [13] 吴杰,姜振超. 智能变电站保护与控制障碍在线诊断与预测方法研究[J]. 电测与仪表, 2019, 56(5):70-76.
WU Jie, JIANG Zhenchao. On-line diagnosis and prediction of protection and control obstacles in intelligent substations[J]. Electrical Measurement & Instrument, 2019, 56(5):70-76.
- [14] 李咸善,袁兆强,胡翔勇. 水电站继电保护系统通用实时仿真建模方法研究[J]. 三峡大学学报(自然科学版), 2005(2):112-114.
LI Xianshan, YUAN Zhaoqiang, HU Xiangyong. Real time simulation of relay protection system for hydropower plants[J]. Journal of CTGU (Natural Science Edition), 2005(2):112-114.
- [15] 李云鹏,王鹏,汤汉松,等. 基于分布式测点的智能变电站核相系统[J]. 电力工程技术, 2018, 37(6):120-125.
LI Yunpeng, WANG Peng, TANG Hansong, et al. Phase detection of intelligent substation based on distributed measuring point[J]. Electric Power Engineering Technology, 2018, 37(6):120-125.
- [16] 宋爽,乔星金,卜强生,等. 智能变电站就地化继电保护技术方案研究[J]. 电力工程技术, 2018, 37(2):83-88.
SONG Shuang, QIAO Xingjin, BU Qiangsheng, et al. Research on technical scheme of outdoor-layout relay protection in smart substation[J]. Electric Power Engineering Technology, 2018, 37(2):83-88.
- [17] 张驰,谢民,刘宏君,等. 基于语义网的智能站继电保护隐性故障辨识诊断技术研究[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(14):95-101.
ZHANG Chi, XIE Min, LIU Hongjun, et al. Research of identification and diagnosis technology for protection relay hidden fault in smart substation based on semantic web[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(14):95-101.
- [18] 戴志辉,张天宇,刘譞,等. 面向状态检修的智能变电站保护系统可靠性分析[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(16):14-21.
DAI Zhihui, ZHANG Tianyu, LIU Xuan, et al. Research on smart substation protection system reliability for condition-based maintenance[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(16):14-21.
- [19] 调继[2015]92号. 智能变电站继电保护和自动装置现场检修安全措施指导意见(试行)[S]. 2015.
Diaoji [2015]No. 92. Guidance on safety measures for on-site maintenance of relay protection and automatic safety devices in intelligent substations (Trial) [S]. 2015.
- [20] 胡绍谦,李力,朱晓彤,等. 基于检修态切换的智能变电站保护设备检修辅助安全措施[J]. 电力系统自动化, 2019, 43(1):242-249.
HU Shaoqian, LI Li, ZHU Xiaotong, et al. Auxiliary safety measures of protection relay in smart substation based on switching[J]. Automation of Electric Power System, 2019, 43(1):242-249.
- [21] 张凯翔,张肖青. 分布式电源对配电网继电保护的影响分析[J]. 供用电, 2017, 34(8):47-51.
ZHANG Kaixiang, ZHANG Xiaoqing. Influence analysis of distributed generation on relay protection of distribution network[J]. Distribution & Utilization, 2017, 34(8):47-51.
- [22] 李忠,余学文,吴鸣,等. 低压直流配电网继电保护研究与实践[J]. 供用电, 2018, 35(8):40-44, 60.
LI Zhong, YU Xuewen, WU Ming, et al. Research and practice on relay protection in low voltage DC distribution network[J]. Distribution & Utilization, 2018, 35(8):40-44, 60.
- [23] 张宁. 智能变电站继电保护验收要点分析[J]. 科技与创新, 2015(16):111.
ZHANG Ning. Key points analysis of relay protection acceptance in smart substation[J]. Science and Technology and Innovation, 2015(16):111.
- [24] 刘伟良,李辉,欧阳帆,等. 智能变电站继电保护采样数据同步方法[J]. 湖南电力, 2013, 33(S1):31-33.
LIU Weilang, LI Hui, OUYANG Fan, et al. Sampling data synchronization method of relay protection in intelligent substation[J]. Hunan Electric Power, 2013, 33(S1):31-33.
- [25] 贺晓,李俊,陈洁羽,等. 智能变电站配置文件管控系统建设方案研究[J]. 智慧电力, 2017, 45(8):75-81.
HE Xiao, LI Jun, CHEN Jieyu, et al. Construction scheme study on configuration file management and control system in in-

- telligent substation[J]. Smart Power, 2017, 45(8):75-81.
- [26] 张金虎,张月,沈艳,等. 一种高效安全的智能变电站轻量级消息认证方案[J]. 智慧电力, 2018, 46(11):53-58.
ZHANG Jinhu, ZHANG Yue, SHEN Yan, et al. An efficient and secure lightweight message authentication scheme for smart substation[J]. Smart Power, 2018, 46(11):53-58.
- [27] 呼文强,陈博,李颖瑾,等. 智能变电站综合 IED 的研究与设计[J]. 智慧电力, 2017, 45(10):83-87.
HU Wenqiang, CHEN Bo, LI Yingjin, et al. Research and design of integrated IED for smart substation[J]. Smart Power, 2017, 45(10):83-87.
- [28] 陈爱林,叶锋,耿明志,等. 一种 IEC 61850 通用数据类数据库信息模型的建模方法[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(13):88-92, 113.
CHENG Ailing, YE Feng, GENG Mingzhi, et al. A design method of database information model using IEC 61850 common data classes[J]. Power System Automation, 2013, 37(13):88-92, 113.
- [29] 朱小红,王利平,杨琪,等. 基于 Markov 的智能变电站二次系统间隔层和过程层可靠性评估[J]. 电测与仪表, 2019, 56(8):73-80.
ZHU Xiaohong, WANG Liping, YANG Qi, et al. The reliability evaluation of bay level and process level in smart substation secondary system based on Markov[J]. Electrical Measurement & Instrument, 2019, 56(8):73-80.

作者简介:



宋福海

宋福海(1972),男,硕士,高级工程师,从事电力系统继电保护相关工作(E-mail: 18081004167@163.com)。

Decision method of protection function of intelligent substation based on information triggering

SONG Fuhai

(Fujian Electric Power Dispatching Control Center of State Grid, Fuzhou 350003, China)

Abstract: At present, the research on the judgment of the correctness of relay protection function in intelligent substation focuses on the overall evaluation of protection system or the judgment of the correctness of protection execution process, and lacks the real-time evaluation of the status of various types of protection functions and the logical judgment of the trigger of protection functions. The status of each protection function are classified and evaluated by analyzing the influencing factors and influencing logic of each type of protection function. The correctness of protection function trigger is judged by capturing and analyzing the sampling value with the state of devices. The information sequence generated by the secondary system when the protection function is triggered is sorted out, and the correctness of the protection function execution process is judged by comparing the theoretical sequence with the actual sequence. At the same time, the pre-condition is added to solve the problem of selecting and matching different information sequences when the same protection function triggers. Through the analysis of field examples, it is verified that the method proposed in this paper can provide a theoretical basis for the monitoring of protection status and fault analysis of smart substation.

Keywords: smart substation; relay protection; trigger logic; information sequence; state assessment

(编辑 钱悦)