

基于信号仿真的智能变电站二次安措校核方法

范卫东¹,朱浩瑜²,冯晓伟¹,董金星¹,高翔³,胡炎²

(1. 国网内蒙东部电力有限公司,内蒙古 呼和浩特 010020;

2. 上海交通大学 电子信息与电气工程学院,上海 200240;

3. 上海毅昊自动化有限公司,上海 201204)

摘要:智能变电站进行二次安措操作时,如果操作不当,可能造成保护误动或误闭锁,或无法确保运行设备与检修设备之间的有效隔离,从而造成严重影响。针对二次安措操作错误的产生原因,提出一种信号仿真方法用于二次安措操作校核。选取与保护功能相关的虚端子和压板进行仿真建模,通过信号在仿真模型中不同的流通情况,可以将安措操作中保护动作情况、闭锁情况、受检修影响情况通过仿真直观地展现出来,以此判断安措操作的正确性。

关键词:智能变电站;二次安措;仿真校核;安措操作校核;虚回路仿真

中图分类号:TM 73

文献标志码:A

DOI:10.16081/j.epae.202008035

0 引言

在现阶段,智能变电站已得到了广泛应用^[1]。相比于传统变电站通过电缆连接一、二次设备进行通信,智能变电站根据 IEC61850 标准,采用光纤传输采样值(SV)报文、面向通用对象的变电站事件(GOOSE)报文的方式来进行变电站一次设备和二次设备的通信^[2-3],这种模式不仅可以简化布线,还能极大地减少电缆的铺设和维护成本。

在智能变电站中,虚端子的对应关系替代了传统二次设备间电缆的连通,通过改变软压板的开关状态实现了二次设备间连接的开通与关断。因此,二次安全措施操作(简称安措操作)就转变为检修硬压板、软压板的操作组合,由于没有实体,所以并不直观。

二次安措操作需要满足以下2个条件:①运行设备与检修设备之间的有效隔离,如果不能保证对检修设备和运行设备之间进行有效的隔离,将威胁检修人员的人身安全;②针对每一步安措操作,都要保证不会造成保护的误动或误闭锁,很多停电事故的原因均是安措操作过程中的不当操作导致误动或误闭锁,此类错误造成了大量的经济损失。这2个条件关注的是安措操作的不同方面,条件①从整体的、静态的角度衡量安措操作结果的正确性,而条件②关注的是每个安措操作步骤中可能产生的错误,着眼于安措操作的过程。

为了避免安措操作过程中出现上述错误,目前主要有2种思路:①通过改进安措策略,从安措票生成的角度提出防误技术^[4-7];②通过对安措操作进行校验,对可能出现的安措操作错误进行排查。文献[8]提出了一种基于连通状态矩阵的方法对二次安

措操作进行校验,该方法将智能变电站二次设备间的连通关系表示为状态矩阵,将硬连接、软压板等影响连通关系的状态量表示为行向量,通过计算连通状态矩阵来确定受检修影响的设备集,并给出了典型的保护误动和误闭锁逻辑表达式,但是其误动和误闭锁逻辑表达式构造较为困难;文献[9]提出了一种针对隔离校核的可视化仿真建模方法,按照装置层、间隔层、系统层的思路建模,但该模型较为简单,不能用于操作步骤的校验;文献[10]提出了一种在线安措校核策略,其校核思路是通过连接相应的二次设备获得实时的状态信息,对安措操作情况进行在线校核,该策略需要连接二次设备获取信息,并不能对安措操作进行预先校核。综上所述,对于安措操作步骤校核,暂时没有一种直观的、可以进行预演的校核方法。

本文从智能变电站二次安措操作步骤校核出发,提出了一种信号仿真校核方法,可以对安措操作的每个步骤进行预演,并检验是否有保护误动或误闭锁的情况发生。相比已有的校核方法,本文方法更加直观。另外,本文提出的信号仿真方法针对安措操作步骤校核提取虚回路中关键的虚端子与压板进行建模,因而对于不同类型的智能电子设备(IED)均具有较好的复用性;同时,其借助虚端子的中文语义匹配^[11-12]以及计算机可读的形式化安措票^[13],可以实现自动化的模块连线及安措校核,极大地提高了工作效率。

1 仿真校核的总流程

智能变电站二次安措操作的仿真校核旨在通过仿真模拟安措操作的过程,并依此判断安措操作过程是否存在错误。

安措操作仿真校核流程如附录中的图A1所示,

实现步骤简述如下。

(1)根据安措票的操作对象,调用涉及的全部 IED、软压板和检修硬压板模块,各模块是根据仿真校核原理预先创建完成的。

(2)通过变电站配置描述(SCD)文件获取虚回路连接关系,并结合软压板与检修硬压板的功能逻辑,完成模块之间的连线。

(3)根据安措操作涉及的设备状态,设置每个 IED 模块的软压板、检修硬压板开关值;根据检修任务确定检修设备集合,将对应的受检修影响标识设置为真,并给检修设备所在的间隔发送故障信号。

(4)由安措票得到安措操作的软压板、检修硬压板的操作步骤,通过更改软压板与硬压板的开关值来完成压板开关的功能。

(5)对于每一步安措操作,检查其是否造成了保护动作或闭锁,如果发生保护动作或闭锁,则认为该安措操作是不安全的,需检查并更改安措票后重复进行步骤(3),直至完成安措操作过程,并且无误动或误闭锁发生。

(6)在完成全部安措操作之后,校验每个 IED 模块的受检修影响标识,并将之与校核开始时设置的标识进行对比,如出现新的标识为“检修”的 IED 模块,则认为安措操作隔离不完全,需更改安措票,并返回步骤(3),否则认为隔离校核通过。

2 仿真校核原理

安措仿真校核的关键在于确定合适的校验原理,这就需要分析可能出现的错误。安措操作过程包含安措操作步骤校验和隔离校核。其中,隔离校核相对容易实现,它反映的是检修设备与运行设备之间的隔离。如果安措操作过程达到了完善的隔离,则完成安措操作之后,检修设备与运行设备不应存在信号连通。因此,可以给每个 IED 模块设置一个受检修影响标识,仿真结束时通过判断是否有新的检修状态产生来判断隔离是否完善。安措操作步骤校核相对复杂,因此在信号仿真中,对二次虚回路的逻辑作如下简化。

(1)关于保护动作的判定。保护动作实质上是 SV 信号通过保护装置判断后,最终流动到对应的智能终端,并发出跳闸出口信号。安措仿真校核不关注保护中具体的整定参数值,因此在仿真中由合并单元模型直接发出数字信号代替实际中包含具体数值信息的电压、电流信号。合并单元发送的数字信号值为 1 时表示电压、电流信号为故障信号,系统处于故障状态;值为 0 时表示系统处于正常状态,即没有故障。进行校核时直接控制安措操作涉及的间隔的合并单元发出故障信号,其余间隔的合并单元发出正常信号,如果信号成功到达了智能终端并出口,

则认为保护产生动作。

(2)关于保护闭锁逻辑的问题。保护闭锁有多种不同的原因,但每种闭锁情况均是由 SV 故障状态与压板状态决定的。给每个间隔设置一个模块存储保护闭锁状态,发生闭锁后更新对应间隔的保护闭锁标识,通过检查此标识来判断闭锁是否发生。

(3)关于不同型号的保护装置的模型复用性问题。由于实际的智能变电站中保护装置的虚端子与压板配置并不相同,这就要求 IED 仿真模型具备良好的复用性。在安措步骤的仿真校核中,仅使用能够影响保护动作与闭锁的虚端子与压板,而这部分的虚端子与压板是实现保护功能所必需的,因此具有通用性。以母线保护装置为例,四方继保的母线保护装置 CSC-103B/E 与南瑞继保的母线保护装置 PCS-915C-DG-G-G9 和 PCS-915A-DA-G-MPX-G9 中均具备间隔的 GOOSE / SV 报文的接收 / 发送软压板。由于所使用的虚端子以及压板具有通用性,因此仿真模型可以应用于不同厂家生产的、使用不同保护原理的保护装置,具有良好的复用性。

(4)关于软压板与检修硬压板的功能实现。软压板的功能在于截止信号,而检修硬压板的功能在于使信号带检修标识,通过使信号值归 0 或变负的形式,可以方便地实现信号截止与信号检修状态。硬压板建模应具有如图 1 所示的逻辑。

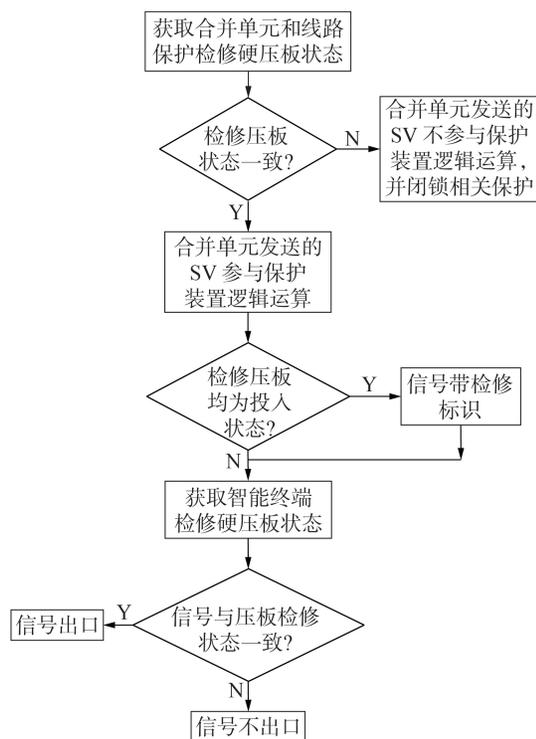


图 1 检修硬压板逻辑

Fig.1 Logic of maintenance hard platen

借助上述简化方法,可以将智能变电站二次虚回路看作信号流动通路,将安措操作看作软压板与

硬压板的操作组合。安措操作步骤校核就是校验在软压板与检修硬压板的作用下,是否会出现动作信号从智能终端出口,以及保护闭锁标识更新为闭锁状态的现象。

3 基于 Simulink 的建模实现

在完成模块的建模之后,对模块进行封装。由示波器观察所需的断路器动作情况与闭锁情况。特别地,为了便于说明,本节中各 IED 模型仅有几个典型的虚端子,而实际中每个 IED 模块均具有数量较多的虚端子。

(1) 合并单元的建模。

合并单元在智能变电站二次设备中主要承担的是发送 SV 报文的功能。根据第 2 节中的简化方法,将合并单元看作故障信号发生模块,如图 2 所示。图中,SV 输出控制为一个 Constant 模块,当其某位设置为非 0 值时,对应的 Switch 模块判断条件“是否非 0”为真,输出 1 号输入所接的信号,即故障信号,否则输出 3 号输入所接的信号,即正常信号。通过更改 Switch 模块 1 号输入所连接的 Constant 模块值,可以区分不同的虚端子。

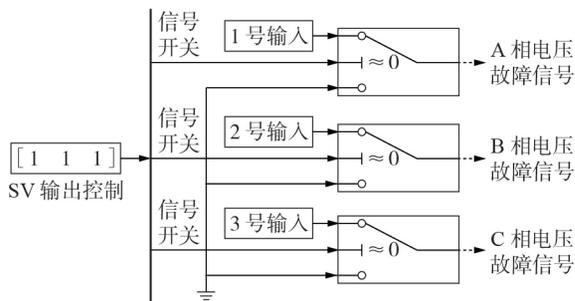


图 2 合并单元模块示意图

Fig.2 Schematic diagram of merging unit module

(2) 线路保护的建模。

根据第 2 节中的简化思路,线路保护可以等效为数值判断模块和或门的组合。通过判断接入信号的数值来判别虚回路的连通及传输信号是否带检修标识。

线路保护模块示意图如图 3 所示。图中,数值判断结果为真则输出为 1,为假则输出为 0;为了区分不同相的信号,利用放大模块进行不同倍数的放大;对于造成同相跳闸的信号,需通过或门连接,确

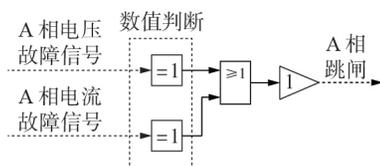


图 3 线路保护模块示意图

Fig.3 Schematic diagram of line protection module

保稳定地反映所有可能的保护动作。根据在第 2 节中关于保护动作判定的简化方法,电压、电流信号为合并单元模型发出的用来反映电压、电流信号是正常还是故障状态的数字信号,因此可以借助或门进行逻辑判断。

在断路器 3/2 接线形式下,通过同样的方式,建立“故障信号-对应断路器”的信号通路。

(3) 母线保护的建模。

母线保护的建模方法与线路保护类似,通过对发送到母线保护的各个线路电流、母联电流、母线电压信号等进行数值判断,从而判断检修状态及连通状态,然后发送相应的跳闸信号。不同之处在于,母线保护需要根据刀闸位置判断对应的间隔接入的是哪一条母线,并将跳闸信号发送至对应间隔的智能终端。

双母线接线形式下的部分母线保护示意图如附录中的图 A2 所示。图中,为便于说明,省略了压板和线路间隔模型,仅用端口表示对应间隔的引出线;线路间隔的刀闸位置输出值为母线编号,借助 Switch 模块根据刀闸位置进行筛选,控制本间隔的故障信号输入对应母线的逻辑运算中,并根据刀闸位置,将母线发出的跳闸信号发送给与之相连的线路。

(4) 智能终端的建模。

图 4 为智能终端模块示意图。在线路保护中,跳闸动作的出口要受到保护闭锁情况与线路保护发出的动作信号的影响。考虑到不同间隔之间的影响,跳闸信号的出口还应考虑到母线保护切除支路信号的影响。在该间隔一次设备停电的情况下不输出跳闸信号。对于保护闭锁状态,可通过一个 Data Store Memory 模块实现,该模块是一个具有数据存储功能的模块,同名的 Data Store Memory 模块共用存储空间。

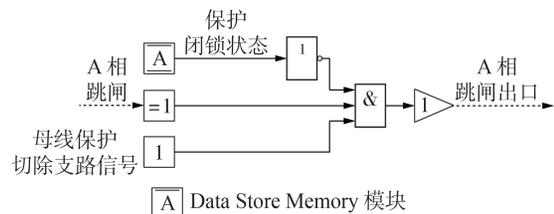


图 4 智能终端模块示意图

Fig.4 Schematic diagram of intelligent terminal module

重合闸将影响断路器动作之后是否返回,重合闸工作逻辑如图 5 所示。

(4) 软压板的建模。

软压板的功能为截断信号的流动,因此软压板模型只需使故障信号归 0 即可实现“阻断”的效果。SV 接收软压板模块示意图如图 6 所示。当软压板的值为 1 时表示软压板投入,值为 0 时表示软压板退

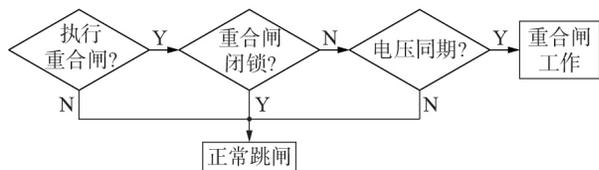


图 5 重合闸逻辑

Fig.5 Logic of reclosing

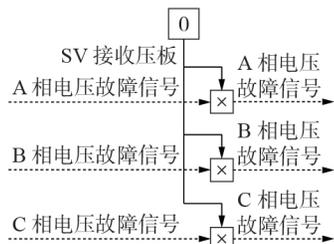


图 6 SV接收软压板模块示意图

Fig.6 Schematic diagram of SV-receiving soft platen module

出,将软压板的值与故障信号相乘,可以实现开通或阻断效果。

线路间隔的SV接收软压板左端连接合并单元、右端连接线路保护,其他软压板按照对应功能接入相应的信号通路中。

“阻断”故障信号的效果不限于保护不动作,同时还应使得保护不闭锁。软压板与检修硬压板状态对于保护闭锁模块的更新作用如图7所示。若两输入信号相等,则输入信号判断结果为1,否则为0。当保护闭锁模块的值为0时表示保护不闭锁,更新为1时表示保护闭锁。

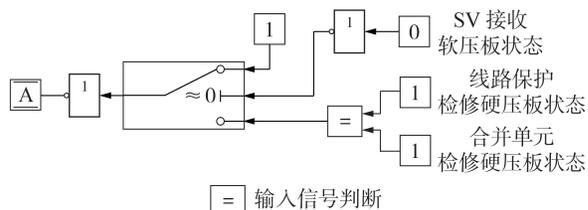


图 7 保护闭锁状态更新

Fig.7 Update of protection blocking status

(5)硬压板的建模。

智能终端检修硬压板模块如图8所示。将检修硬压板的状态值与信号相乘,从而改变信号值以达

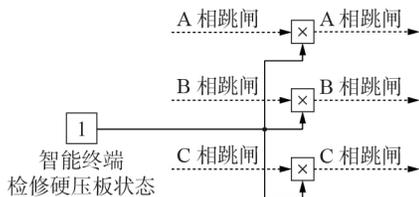


图 8 检修硬压板模块示意图

Fig.8 Schematic diagram of maintenance hard platen module

到使信号带检修标识的目的。本文设定负信号值为带检修标识的信号,检修硬压板值为-1和1分别表示投入检修和未投入检修。

实际的保护装置处理检修状态的原理是通过对比2个IED间报文的检修位实现检修逻辑。因此,在仿真中让每个IED的检修硬压板在接收信号与发送信号时对信号各作用一次,使信号变负。

(6)受检修影响标识的建模。

受检修影响标识主要用于安措隔离校核,因此,在其建模过程中,任意2个相互连通的IED的受检修影响标识的连接方式是相同的。模型需要满足某个IED的检修状态可以更改连通的相邻IED的受检修影响标识为检修,但是非检修状态不能对其他标识产生影响,该要求可通过Switch模块的逻辑判别满足。图9为两相邻IED的状态标识连接,以A、B分别表示2个不同的IED检修标识。A、B的更新受软压板与检修硬压板开断的控制,结合压板状态改变输入Switch模块的判断信号即可。

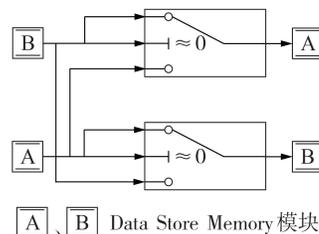


图 9 受检修影响状态更新

Fig.9 Update of maintenance status

4 功能验证

以线路保护为例,根据某一线路间隔内A套保护退出与投入的安措操作过程,对创建好的信号仿真模型的预期功能进行验证。首先根据安措校核流程,创建完成仿真模型;然后对各个模块控制标识值进行预设,设置所有软压板为投入状态、所有检修硬压板为未检修状态,每个IED的受检修影响标识为不受检修影响,保护闭锁标识为不闭锁,闭锁重合闸信号为“闭锁”。由于本安措操作仅涉及线路间隔,因此仅有线路间隔的合并单元发出故障信号。

在仿真中,按照每秒1步的间隔逐步进行安措操作,改变压板的开关状态。为了便于观察,将涉及的全部压板的状态以及跳闸信号整合成一张信号图如图10所示。图中,信号1—12分别对应母差保护A屏该支路的SV接收软压板状态、母差保护A屏该支路的GOOSE接收软压板状态、该线路A套合并单元SV接收软压板状态、该线路A套保护装置启动失灵发送软压板状态、该线路A套智能终端重合闸出口压板状态、该线路A套智能终端跳闸出口压板状态、该线路A套保护装置检修压板状态、该线路A套

智能终端检修压板状态、该线路A套合并单元检修压板状态、母线保护对该线路间隔发出的切除支路信号、该线路A套智能终端跳闸出口信号、该线路A套保护装置闭锁状态。

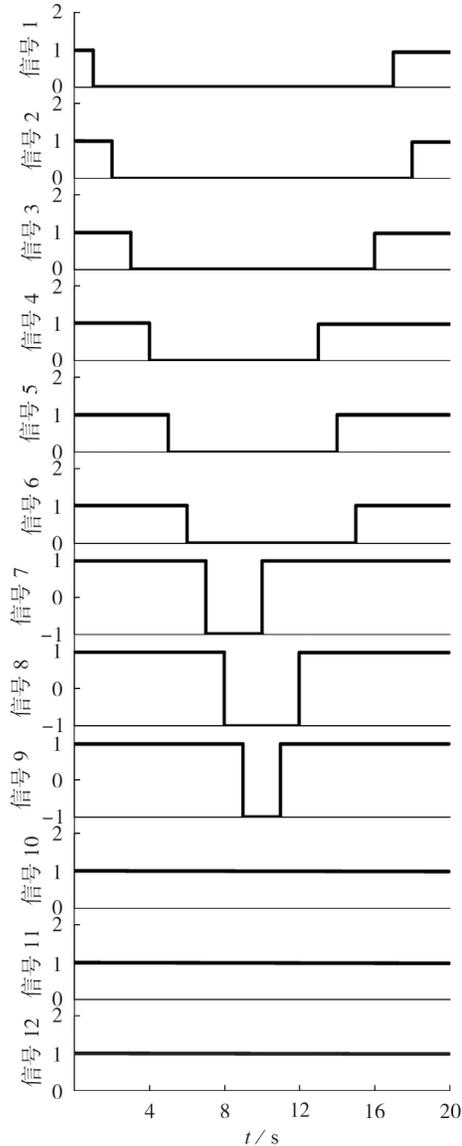


图10 安措操作过程的输出信号

Fig.10 Output signals of safety measures process

由图10可见,在整个安措操作过程中,线路间隔内部的跳闸信号与母线保护发送给该线路的支路切除信号均为0,即无保护动作,且保护也始终保持不闭锁的状态。

5 算例分析

5.1 算例1:永登变事故

2014年10月13日至10月27日,永登变现场进行2号主变及三侧设备的智能化改造和3322、3320开关的机构完善化大修。工作人员在执行安全措施时投入3320开关汇控柜智能合并单元A、B套装置

检修压板、断开电源空气开关,未将保护装置中的3320开关的SV接收软压板退出,造成2套保护装置闭锁,从而导致10月19日甘肃武永一线11号塔发生A相接地故障时保护不动作,后果严重。

本算例中仅涉及线路保护的功能,因此使用的模块仅有合并单元、线路保护、智能终端及软压板与检修硬压板。根据线路保护的功能,完成仿真模型的建立。按照事故发生的情况,设置在1s时投入合并单元检修硬压板而不退出SV接收软压板,其余压板均按照正常运行进行设置。运行仿真,检查保护闭锁标识模块输出至示波器中的值,输出值为1则表示保护不闭锁,输出值为0则表示保护闭锁。输出信号如图11所示,由图可见当合并单元检修压板投入后,保护闭锁状态标识被更新为闭锁状态,因此通过仿真可以提前发现并避免此次事故。

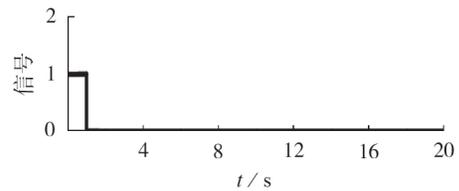


图11 保护闭锁输出信号

Fig.11 Output signal of protection blocking

5.2 算例2:墨竹工卡变事故

2015年9月21日,西藏电网墨竹工卡变电站在站内开展II-IV母分段224开关合并单元及智能终端更换、调试工作。在恢复220kV I-II段母线A套差动保护的过程中,运行人员错误地将母差保护投检修压板提前退出,并投入了母线I、II各间隔的GOOSE发送软压板,使母差保护具备了跳闸出口条件,在批量投入间隔投入软压板的过程中,出现差流并达到动作门槛,母差保护动作。

根据墨竹工卡变电站的情况,建立双母线双分段形式的母线间隔的信号仿真模型,在双母线双分段接线形式下,通常使用2套母线保护装置,其中一套母线保护装置的信号仿真模型如附录A中的图A3所示,该装置中的2条母线共连接了4个线路间隔模型。

按照事故发生前的压板情况进行设置,退出此母线中的4个线路间隔的间隔投入压板、母线I、II各间隔的GOOSE发送软压板,投入母差保护投检修压板,其余压板按照正常运行的情况设置。

按照事故发生的情况,分别在第1s时退出母差保护检修压板,在第2s时投入母线间隔GOOSE发送压板,在第3s时投入间隔1的间隔投入压板。通过示波器观察到投入间隔1的间隔投入压板后,其连接的母线I分段切除所连全部支路,且母联断路器与分段1的断路器跳开。图12为出口到母联断路器

器的三相跳闸信号,可见在第 3 s 跳闸发生,即间隔 1 的间隔投入压板投入时发生跳闸。

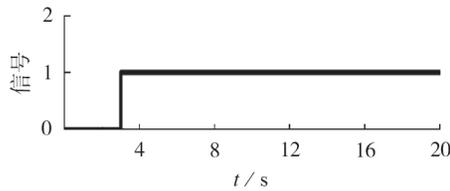


图 12 母联断路器信号

Fig.12 Output signal of bus tie switch breaker

6 结论

针对智能变电站二次安措操作校核问题,提出了一种信号仿真校核方法,将安措操作过程中发生的保护误动与误闭锁情况直观地展现出来,以此判断安措操作的正确性。针对安措操作步骤校验,在 Simulink 中搭建了具有良好复用性的简化仿真模型,并通过算例验证了应用此模型进行二次安措操作步骤校核的正确性。

本文的算例验证中的压板状态是人为给出的,目的是便于研究二次设备在安措操作中的逻辑关系,在后续实际的应用中会获取真实的压板状态,这部分工作会包括在后续的仿真引擎的开发中。

附录见本刊网络版(<http://www.epae.cn>)。

参考文献:

- [1] 张沛超,高翔. 智能变电站[J]. 电气技术,2010(8):4-10.
ZHANG Peichao,GAO Xiang. Smart substation[J]. Electrical Engineering,2010(8):4-10.
- [2] 国家电网公司. 智能变电站技术导则:Q/GDW 383—2009[S]. 北京:国家电网公司,2009.
- [3] 胡道徐,沃建栋. 基于 IEC61850 的智能变电站虚回路体系[J]. 电力系统自动化,2010,34(17):78-82.
HU Daoxu,WU Jiandong. Virtual circuit system of smart substations based on IEC61850[J]. Automation of Electric Power Systems,2010,34(17):78-82.
- [4] 邓其军,周洪,吴昌博,等. 一种新型配电网倒闸操作票生成及防误系统[J]. 电力自动化设备,2009,29(6):123-126.
DENG Qijun,ZHOU Hong,WU Changbo,et al. Switch operation ticket generation and misoperation prevention system for distribution network[J]. Electric Power Automation Equipment,2009,29(6):123-126.
- [5] 卜强生,高磊,闫志伟,等. 智能变电站继电保护软压板防误操作策略及实现[J]. 电力自动化设备,2016,36(12):156-160,168.
BU Qiangsheng,GAO Lei,YAN Zhiwei,et al. Strategy and implementation of soft-clamp misoperation prevention for smart substation protections[J]. Electric Power Automation Equipment,2016,36(12):156-160,168.
- [6] 赵子涵,刘鑫,叶翔,等. 智能变电站二次系统“一键式”安措自动生成方法研究[J]. 电测与仪表,2019,56(4):15-20.
ZHAO Zihan,LIU Xin,YE Xiang,et al. Research on “one-click” automatic generation method for maintenance safety measures of secondary device in smart substation[J]. Electrical Measurement & Instrumentation,2019,56(4):15-20.

- [7] 郭炎福,黄文英,宋福海,等. 基于专家系统的智能变电站二次检修安措票自动生成技术[J]. 电气技术,2019(4):95-100.
GUO Yanfu,HUANG Wenying,SONG Fuhai,et al. Expert system based automatic generation technology for secondary safety measures of smart substation[J]. Electrical Engineering,2019(4):95-100.
- [8] 高旭,马迎新,王可,等. 基于连通状态矩阵的智能变电站安措校核方法[J]. 电力自动化设备,2019,39(7):195-202.
GAO Xu,MA Yingxin,WANG Ke,et al. Verification for security measures of smart substation based on communication state matrix[J]. Electric Power Automation Equipment,2019,39(7):195-202.
- [9] 鲍伟,王可,高翔,等. 基于可视化仿真的智能变电站二次安措校核方法[J]. 电力系统保护与控制,2018,46(24):150-157.
BAO Wei,WANG Ke,GAO Xiang,et al. Verification of security measures for smart substations based on visualized simulation[J]. Power System Protection and Control,2018,46(24):150-157.
- [10] 刘孝刚,施琳,张帆,等. 智能变电站二次安措策略自动生成和在线校核技术[J]. 电力系统保护与控制,2017,45(23):82-89.
LIU Xiaogang,SHI Lin,ZHANG Fan,et al. Automatic generation and online checking technology for secondary safety measures of smart substation[J]. Power System Protection and Control,2017,45(23):82-89.
- [11] 石慧,姬慧,李妍,等. 基于“六统一”规范的虚端子连线批量自动校验的方法和设计[J]. 电气技术,2016(6):120-123,127.
SHI Hui,JI Hui,LI Yan,et al. The automatic calibration method and design for virtual terminal connection based on “six unification” specifications[J]. Electrical Engineering,2016(6):120-123,127.
- [12] 高磊,闫培丽,阮思焯,等. 基于相似度计算的学习型模板库在虚回路设计和校验中的应用[J]. 电力自动化设备,2017,37(7):205-212.
GAO Lei,YAN Peili,RUAN Siye,et al. Application of similarity-calculation-based learning template library in design and check of virtual circuit[J]. Electric Power Automation Equipment,2017,37(7):205-212.
- [13] 耿少博,赵春雷,高翔,等. 基于形式化描述机制的检修安措策略研究与应用[J]. 电力系统保护与控制,2018,46(22):178-186.
GENG Shaobo,ZHAO Chunlei,GAO Xiang,et al. Research and application of the strategy for repair security measures based on formalized description mechanism[J]. Power System Protection and Control,2018,46(22):178-186.

作者简介:



范卫东

范卫东(1964—),男,内蒙古呼和浩特人,高级工程师,硕士,研究方向为继电保护(E-mail:fanwd8@qq.com);

朱浩瑜(1996—),男,江苏连云港人,硕士研究生,研究方向为继电保护及变电站自动化(E-mail:18862111833@163.com);

冯晓伟(1983—),男,内蒙古呼和浩特人,高级工程师,硕士,研究方向为继电保护;

董金星(1972—),女,内蒙古呼和浩特人,高级工程师,研究方向为继电保护;

高翔(1962—),男,上海人,教授级高级工程师,博士,研究方向为继电保护及变电站自动化系统;

胡炎(1975—),男,安徽阜阳人,副教授,博士,研究方向为能源互联网和能源路由器、综合能源系统与泛在电力物联网、智能变电站等。

(编辑 任思思)

Verification method of secondary safety measures of intelligent substation based on signal simulation

FAN Weidong¹, ZHU Haoyu², FENG Xiaowei¹, DONG Jinxing¹, GAO Xiang³, HU Yan²

(1. State Grid Inner Mongolia Eastern Power Co., Ltd., Hohhot 010020, China;

2. School of Electronic Information and Electrical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China;

3. Shanghai Yihao Automation Co., Ltd., Shanghai 201204, China)

Abstract: When the secondary equipment of intelligent substation is operated with safety measures, if the operation is improper, protection maloperation or false locking may be caused, or the effective isolation between the operating equipment and the maintenance equipment may not be ensured, thus causing serious impact. In view of the causes of the operation errors of the secondary safety measures, a signal simulation method is proposed to check the operation of the secondary safety measures. Virtual terminals and platens related to protection function are selected for simulation modeling, and different flow conditions of signals in the simulation model can directly show the protection action, blocking situation and the situation affected by maintenance in the operation of safety measures through simulation, so as to judge the correctness of the safety measure operation.

Key words: intelligent substation; secondary safety measures; simulation check; safety measures operation check; virtual loop simulation

(上接第217页 continued from page 217)

Fault tracking of high-voltage circuit breakers in case of secondary circuit faults in intelligent substations

ZHANG Xiaotong¹, CHEN Qing¹, SUN Mengxuan¹, HUANG Wudi¹, WANG Lei², LIU Bo³

(1. Key Laboratory of Power System Intelligent Dispatch and Control of Ministry of Education, Shandong University,

Jinan 250061, China; 2. State Grid of China Technology College, Jinan 250002, China;

3. School of Electrical Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: The incorrect operation of the high-voltage circuit breaker caused by the secondary circuit fault is analyzed, then a fault tracking method based on the directed bipartite graph model is proposed to backward trace the specific cause of the incorrect action. Firstly, according to the transmission path of GOOSE message, the network is divided into four clusters, i.e. communication network, protection device, intelligent component, and measurement and control device, where each cluster is regarded as a sub-domain. Then based on the logical relationship between the fault causes and abnormal information of the relevant secondary system in smart substation, a fault map based on the directed bipartite graph is established in each sub-domain. Finally, the Bayesian suspected degree is introduced to calculate and analyze the cause of fault and back reasoning is used for verification, which guarantees the accuracy of the result in probability. The case study shows that the proposed fault tracking method can trace the source of the incorrect operation of the high-voltage circuit breaker in time and has high fault tolerance.

Key words: intelligent substation; directed bipartite graph model; Bayesian suspected degree; back reasoning; high-voltage circuit breaker; secondary circuit; fault tracking

附录

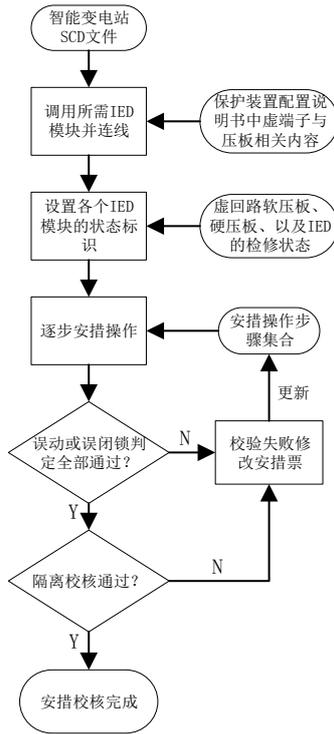


图 A1 安措校核流程

Fig.A1 Flowchart of security measures verification

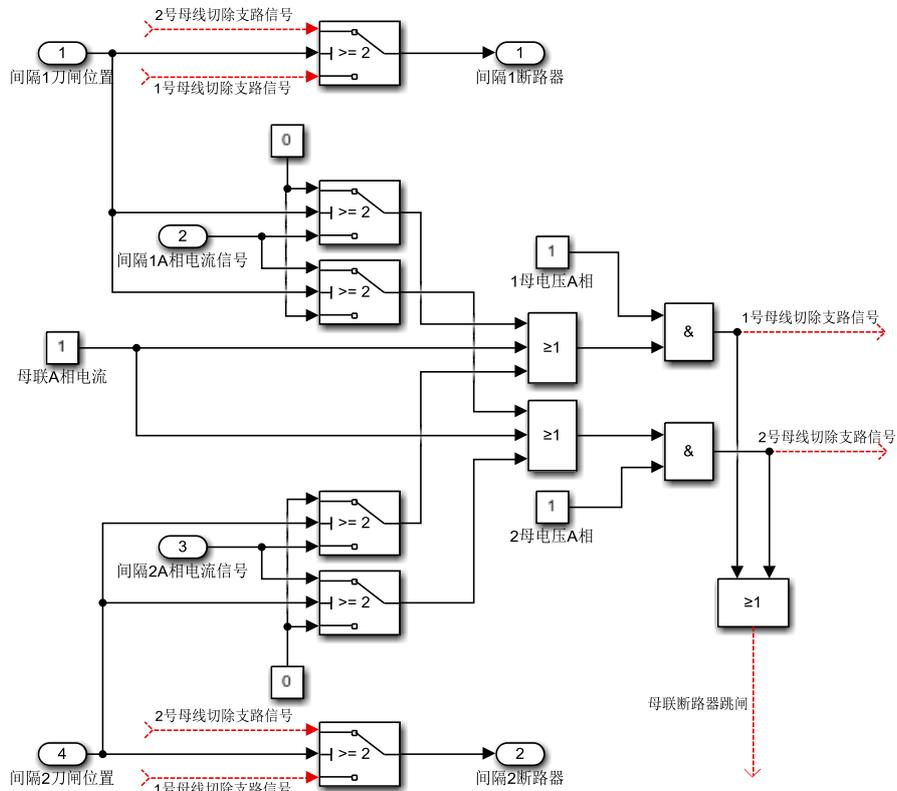


图 A2 部分母线保护模块示意

Fig.A2 Schematic diagram of partial busbar protection module

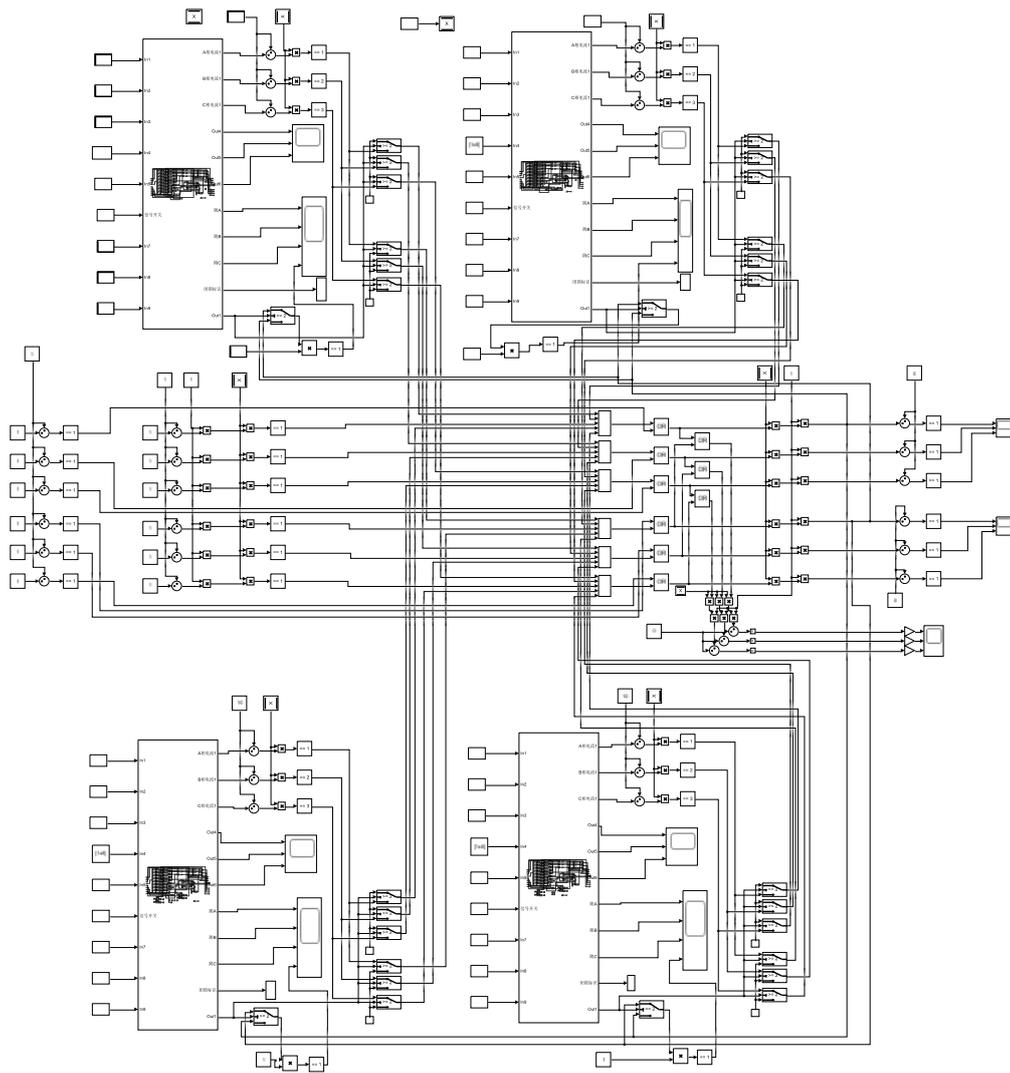


图 A3 母线保护简化模型

Fig.A3 Simplified model of bus protection