

9-4-2020

Research and application of modeling method of secondary cable loop in intelligent substation

Xiaoguang HAO

Electric Power Research Institute , State Grid Hebei Electric Power Co ,Ltd , Shijiazhuang 050021 ,China

Shaobo GENG

Hebei Electric Power Dispatching Control Center, Shijiazhuang 050021 , China

Jangbo REN

Hebei Electric Power Dispatching Control Center, Shijiazhuang 050021 , China

Jingchao YANG

Wuhan Kemov Electric Co , Ltd , Wuhan 430223 , China

Kun ZHOU

Wuhan Kemov Electric Co , Ltd , Wuhan 430223 , China

See next page for additional authors

Follow this and additional works at: <https://jepst.researchcommons.org/journal>

Recommended Citation

HAO, Xiaoguang; GENG, Shaobo; REN, Jangbo; YANG, Jingchao; ZHOU, Kun; and ZHANG, Bingwang (2020) "Research and application of modeling method of secondary cable loop in intelligent substation," *Journal of Electric Power Science and Technology*. Vol. 35: Iss. 4, Article 22.

DOI: 10.19781/j.issn.16739140.2020.04.022

Available at: <https://jepst.researchcommons.org/journal/vol35/iss4/22>

This Article is brought to you for free and open access by Journal of Electric Power Science and Technology. It has been accepted for inclusion in Journal of Electric Power Science and Technology by an authorized editor of Journal of Electric Power Science and Technology.

Research and application of modeling method of secondary cable loop in intelligent substation

Authors

Xiaoguang HAO, Shaobo GENG, Jangbo REN, Jingchao YANG, Kun ZHOU, and Bingwang ZHANG

智能变电站二次电缆回路建模方法研究与应用

郝晓光¹, 耿少博², 任江波², 杨经超³, 周 坤³, 张炳旺³

(1. 国网河北省电力有限公司电力科学研究院, 河北 石家庄 050021; 2. 河北南部电网电力调度控制中心, 河北 石家庄 050021;
3. 武汉凯默电气有限公司, 湖北 武汉 430023)

摘 要:当前智能变电站信息化模型中缺少二次电缆回路模型, 此缺失不利于智能变电站全面的在线监视和运维诊断, 同时也阻碍了智能变电站信息数字化发展。在此背景下, 提出一种智能变电站二次电缆回路建模方法。首先, 建立二次电缆回路模型; 然后, 基于该模型, 设计二次电缆回路配置流程。通过二次电缆回路模型文件可视化工具实现智能变电站二次电缆回路多维度可视化展示; 最后, 将 SCD 文件中的信息模型映射到二次电缆回路模型中, 完成二次电缆回路信息模型与物理模型关联, 实现智能变电站二次电缆回路的在线监视与故障定位。

关 键 词:智能变电站; 可视化; 二次电缆回路; 建模; 智能诊断

DOI:10.19781/j.issn.1673-9140.2020.04.022 中图分类号:TM938 文章编号:1673-9140(2020)04-0161-08

Research and application of modeling method of secondary cable loop in intelligent substation

HAO Xiaoguang¹, GENG Shaobo², REN Jangbo², YANG Jingchao³, ZHOU Kun³, ZHANG Bingwang³

(1. Electric Power Research Institute, State Grid Hebei Electric Power Co., Ltd., Shijiazhuang 050021, China; 2. Hebei Electric Power Dispatching Control Center, Shijiazhuang 050021, China; 3. Wuhan Kemov Electric Co., Ltd., Wuhan 430223, China)

Abstract: Due to the lack of secondary cable circuit model, the information model of intelligent substation is incomplete. It is not only harm to intelligent substation comprehensive on-line monitoring and operational diagnosis, but also infect the development of smart substation Informationization. In this paper, a modeling method for secondary cable loops in the intelligent substation is proposed firstly. Then, the secondary cable loop configuration process is designed and the secondary cable loop model structure is introduced. The multi-dimensional visual display of secondary sub-circuit for the intelligent substation is realized by the secondary cable loop model file visualization tool. Finally, the secondary cable loop information model is associated with the physical model by mapping the information model in the SCD file to the secondary cable loop model. The online monitoring and fault location of the secondary cable loop of the intelligent substation is realized successfully.

Key words: intelligent substation; visualization; secondary cable circuit; modeling; intelligent diagnosis

智能变电站采用了大量光纤替代二次回路电缆, 将传统变电站的大量二次硬回路转变为二次虚回路^[1], 但智能变电站中仍然存在一部分二次电缆回路, 如智能终端到断路器操作机构, 以及电流互感

器到合并单元的二次电缆回路^[2]。在传统变电站和智能变电站中,控制回路和测量回路均使用二次物理电缆来实现其逻辑功能,这部分二次电缆回路没有相关的模型语言加以描述,其仍然依托设计院的CAD原理图纸进行展示^[3]。

目前,智能变电站基本实现了二次虚实回路的建模与可视化监视^[4],但智能变电站二次电缆回路的可视化监视依旧是运维中的难点。一方面,二次电缆回路没有成型的建模体系;另一方面,二次电缆回路中的一些硬接点状态信息难以采集,继电器等中间元件状态难以监视^[5]。目前,智能变电站二次电缆回路的运行维护是基于设计院的CAD图纸实现的,这种模式存在两方面缺点:其一是CAD图纸难以进行有效的数据传递,无法实现高级应用^[6];其二是在运维过程中,存在人工携带查阅CAD图纸不方便、CAD图纸与现场二次电缆回路不一致、图档管理不规范等问题^[7]。智能变电站中的二次电缆回路信息不可视、现场实际电缆回路与原理图内容不符等问题严重影响了运维人员的判断,成为运维过程中的隐患。此外,当前变电站二次电缆回路的运维仍依托运维人员对照CAD原理接线图进行故障排查^[8],CAD二次原理图不仅对运维人员的专业要求高,还存在排查故障时故障定位不精确、容错率低等问题。

目前,智能变电站物理光纤回路通过SPCD模型文件、SCD文件和虚实回路对应技术解决了智能变电站中虚实回路的映射关系^[9],为虚实回路的可视化和在线监视奠定了基础。但目前还没有有效的手段对二次电缆回路信息进行可视化展示和在线监测,这与智能变电站的智能诊断与智能运维的理念不相符^[10]。

针对以上问题,该文提出一种二次电缆回路的建模方法,通过建立装置、屏柜二次电缆回路模型,并基于此装置和屏柜模型配置全站的二次电缆回路模型。基于该文提出的二次电缆回路建模方法,可以有效解决现场二次电缆回路与图纸不一致、无法有效查阅二次回路信息、无法有效可视化展示等问题,实现智能变电站二次电缆回路的在线监视,并为智能变电站的智能运维和智能诊断奠定更加坚实的理论基础。

1 二次电缆回路建模方法

智能变电站二次电缆回路涉及的元件和装置众多,元件之间的连线较为复杂^[11]。该文将智能变电站二次电缆回路建模分成3个部分,如图1所示。

1)设备厂家针对二次电缆回路中物理装置的端子、装置内部连线、装置内部元件进行建模,形成物理装置二次电缆自我描述(DLCD)文件;

2)设备厂家根据具体工程,集成屏柜中物理设备的DLCD文件,并对屏柜的二次电缆进行建模,配置屏柜内物理装置间的电缆连接,形成屏柜自我描述(CLCD)文件;

3)设计院通过二次电缆集成配置工具,配置变电站信息和区域信息,实例化工程中不同屏柜的CLCD文件,并配置屏柜间的电缆连接,形成全站二次电缆回路配置(SLCD)文件。

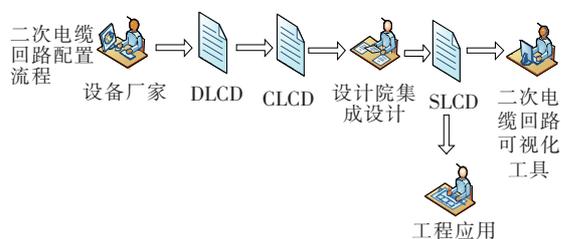


图1 二次电缆回路设计流程

Figure 1 Flow chart of the secondary cable circuit

2 二次电缆回路模型设计

DLCD、CLCD和SLCD文件统一采用二次电缆回路配置语言描述。

2.1 DLCD模型文件

DLCD文件的建模对象是带有通讯能力的智能二次装置,此类二次装置由插板构成,插板中包含若干个电端子、板卡内部的组合器件(如继电器、二极管、电阻等)和连接线。DLCD文件对装置的各元素进行建模,装置DLCD文件的结构如图2所示。

Device元素表示该模型的装置,一个DLCD文件有且只有一个Device元素,Device元素由若干个Board元素构成,Board元素表示装置的板卡,Board元素由若干个Terminal、Component和Connection

元素组成。其中,Terminal 元素表示板卡中的端子,Component 元素表示板卡内部的组合器件,Connection 元素表示板卡中的连接电线。板卡内的元件如继电器、电阻在整个二次电缆回路中起着很重要的作用,因此需要对板卡内部元件建模。Component 元素中的属性 class 表征不同类型的组合器件,如 Relay 表示该组合器件为继电器。在建模过程中,一些组合器件也需要对其端子进行建模,所建模型用于与其他端子或其他组合器件端子连接。Connection 元素中包含属性 TerminalA 和 TerminalB,表示电线的两端端子。TerminalA 和 TerminalB 的属性值采用端子的引用路径,端子的引用路径能表征端子当前的层级关系,如端子的引用路径为 TA/1,表示端子为 TA 组合器件中 1 号端子。

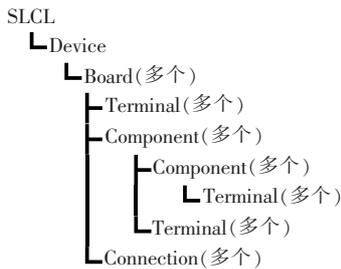


图 2 DLCD 模型结构

Figure 2 The DLCD model structure

装置模型文件不仅描述了装置板卡外部端口的特性,还描述了板卡内部的连线信息,为集成全站二次电缆回路奠定基础。

2.2 CLCD 模型文件结构

CLCD 文件的结构如图 3 所示。CLCD 文件中集成了屏柜中所有物理装置的 DLCD 文件,还包括屏柜中的压板、空开、端子排、按钮、指示灯等附件元素,以及附件与装置间的电缆信息。

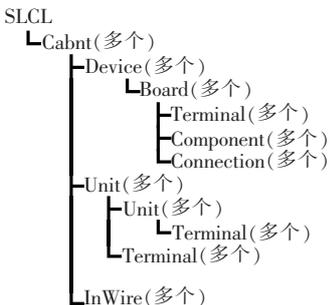


图 3 CLCD 文件模型结构

Figure 3 The CLCD file model structure

CLCD 文件中统一用 Unit 元素表示屏柜的附件,Unit 元素包含 class 属性区分不同类型的附件。如 class 为 Ena 表示该附件为屏柜压板,class 为 AirSwitch 表示该附件为屏柜空开,class 为 InWire 表示附件为屏柜内连接电缆,InWire 元素包含属性 TerminalA、TerminalB,其表征电缆的 2 个连接端点,TerminalA、TerminalB 的属性值采用该端点在当前层级下的引用路径,如 TermianlA 的属性值为 4LP1/1,表示该端子为 4LP1 附件中的 1 号端子。

屏柜二次电缆回路自我描述文件旨在形成与工程相关的模型文件,屏柜本身由厂家提供,为减少不同二次电缆回路模型设计周期,该文所涉及的二次电缆回路模型中的屏柜模型可以由厂家直接提供,设计院只需完成屏柜间的电缆连接。

2.3 SLCD 模型文件结构

全站二次电缆回路配置 (SLCD) 文件结构如图 4 所示。SLCD 文件集成了变电站中所有屏柜的 CLCD 文件,还包括变电站信息、区域信息和屏柜间的电缆信息。其中 Substation 元素表示该模型文件所属的变电站,Region 元素表示变电站的小室或区域。模型文件中采用 Cable 元素表示屏柜间的电缆,Cable 元素由若干个 Wire 元素组成,Wire 元素表示电缆中电缆芯。Wire 元素中采用 LoopFun 属性描述各回路的功能特征。在进行二次电缆回路展示时,可以依据该属性信息展示各回路的功能信息。

全站二次电缆回路配置文件集成了变电站中二次设备、二次元件的基本信息和变电站中的二次电缆连接信息,为二次电缆回路的可视化和在线监视提供了可能。

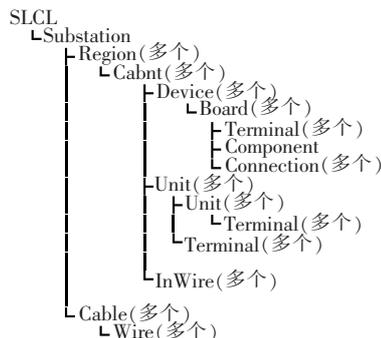


图 4 SLCD 文件模型结构

Figure 4 The CLCD file model structure

3 二次电缆回路模型可视化与应用

3.1 二次电缆回路模型的可视化

二次电缆回路可视化工具主要实现二次电缆回路的多维度展示以及不同二次原理图之间的跳转，二次电缆回路可视化实现过程如图 5 所示。

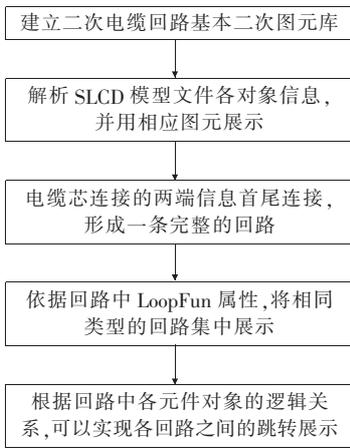


图 5 二次电缆回路可视化流程

Figure 5 Visualization flow chart of the secondary cable circuit

- 1) 根据二次电缆回路元件图形信息, 建立二次电缆回路基本图元库;
- 2) 解析 SCLD 文件, 获取次电缆回路中包括屏柜、设备、板卡、端子、附件、电缆、电缆芯等基本信息, 并以对应的图元表示;
- 3) 依据 SCLD 文件中电缆, 电缆芯的连接关系, 连接电缆芯端子图元, 形成一条完整的回路;
- 4) 根据电缆芯中 LoopFun 属性, 将相同类型的回路进行集中展示, 并标注相应的回路功能说明, 完成二次电缆回路的可视化;
- 5) 依据回路中各对象层级关系、引用关系实现各类型二次电缆回路图的关联和跳转。

由于二次电缆回路模型包含全站的二次电缆回路信息, 因此, 可以通过可视化工具多维度查看二次电缆回路图。当传统的 CAD 图展示二次电缆原理图时, 通常采用以屏柜为单位展示本屏柜内的二次电缆回路, 一条完整的二次电缆回路涉及多张图纸, 这种方式在排查二次电缆回路故障时, 不仅对运维人员的专业要求比较高, 不便于运维人员对二次电

缆回路的理解, 而且降低了排查问题的效率。采用该文所提出二次电缆回路模型的方式描述二次电缆回路, 可以极大丰富二次电缆回路的展示方式, 可以与 CAD 原理图一样采用以屏柜为单位展示本屏柜的二次电缆回路信息, 还可以以全局的视角查看完整的二次电缆回路, 而且不同二次电缆回路图可以通过相同的二次元件实现跳转关联, 实现二次电缆回路的多维度展示。

某一智能控制柜跳闸回路如图 6 所示, 整个跳闸回路中包含了来自不同屏柜中的二次元件, 包括智能控制柜中的压板等二次元件以及断路器操作机构中的跳闸线圈、结点, 传统的二次电缆回路中通常是在不同的 CAD 图纸中展示各自屏柜二次电缆的连接关系, 完整的跳闸回路需要将智能控制柜的二次电缆回路图与操作机构的二次电缆回路图拼接起来查看, 对于复杂的二次回路, 查看完成回路时需要多张 CAD 图纸拼接。该文通过对二次电缆回路建模及可视化, 可以在一个二次电缆回路可视化图中查看任何完整的二次电缆回路的全部信息, 且在一个二次电缆回路图中可以直接跳转到该二次电缆回路关联的二次电缆回路。

如图 7 所示, 通过可视化工具展示一个完整的跳闸回路, 在该回路中可以查看回路中包含的继电器线圈和结点, 如果需要查阅本回路中继电器线圈和结点在其他回路的应用情况, 也可以通过继电器的关联关系查阅该继电器在其他二次电缆回路的应用情况。

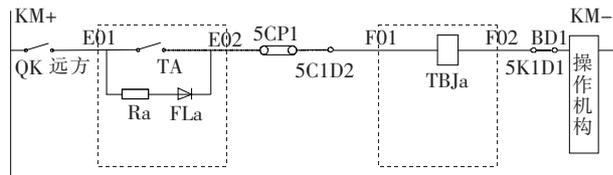


图 6 屏柜中的某一条控制回路

Figure 6 Control circuit in the screen cabinet

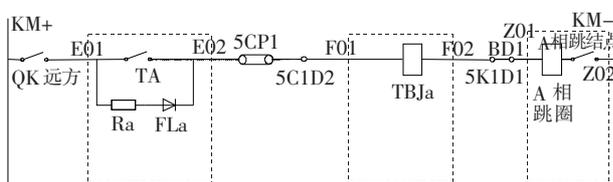


图 7 一条完整的控制回路原理示意

Figure 7 A complete control circuit schematic diagram

二次电缆回路可视化工具不仅可以实现多二次电缆回路的可视化展示,而且可以输出工程应用中需要移交的 CAD 图纸,提高工程图纸移交效率,提高运维人员的工作效率,推进整个智能变电站的数字化进程。

3.2 二次电缆回路模型的应用

基于二次电缆回路模型可以实现二次电缆回路的可视化监视,但是,二次电缆回路监测信息需要额外的监测装置对整个二次电缆回路进行在线监测。此外电缆传输的可能是数字信号,也有可能是模拟信号,不利于在线监测平台对二次电缆回路监测信息进行集中监测和信息采集。为了方便二次电缆回路监测信息的应用,还需要对二次电缆回路监测装置进行通讯模型建模^[12]。

在二次电缆回路模型应用中,可以将二次电缆回路监测装置进行 IED 通讯模型建模,并集成到 SCD 文件中,通过此方式将二次电缆监测信息转变成 MMS 信号或 GOOSE 信号发送到在线监测平台,在线监测平台通过 MMS 信号或 GOOSE 信号实现在线监测平台与二次电缆回路监测信息的交互。

IEC 61850 标准在工程应用中的关键在于为变电站自动化系统中 IED 智能电子设备建立遵循该标准的数据模型。IEC 61850 标准从系统层面和设备层面分别阐述了采用信息分层分类思想建立基本信息模型的方法步骤^[13]。

二次电缆回路在线监测采集单元 IED 模型需要将采集的数据按照 IEC 61850 标准进行通讯建模,才能使其可以不经中央处理单元、通信单元、协议转换单元和网关等中间环节,直接与变电站监控中心和在线监测平台连接。根据 IEC 61850 标准下 IED 信息建模的要求,结合实际采集单元的监测量,建立 IED 信息模型。

根据 IEC 61850 标准定义的所有逻辑节点类型,可以将二次电缆回路在线监测采集单元 IED 建模为一系列逻辑节点,各逻辑节点描述如表 1 所示;以一个断路器二次电缆回路扩展的功能(SCBR)逻辑节点(断路器在线监测)数据描述为例,如表 2 所示。

表 1 逻辑节点类型描述

Table 1 The logical node type description

逻辑节点	名称	节点说明
LLN0	逻辑零节点	为逻辑装置的公用信息建模
LHPD	物理装置信息	为物理装置的公用信息建模
GGIO	输入(出)量	描述电流输入(出)量
SCBR	在线监测信息	在线监测的逻辑节点

表 2 逻辑节点数据描述

Table 2 The logical node data description

属性名	属性类型	属性说明
EEName	DPL	设备铭牌
OpTmh	INS	运行时间
Pos	DPC	开关位置
ClsCnt	INS	合闸操作次数
OptCnt	INS	分闸操作次数
ComAlm	SPS	通道告警
SigAlm	SPS	监测信号告警

基于智能变电站的二次电缆回路监测装置 IED 通讯信息模型和二次电缆回路模型,可以实现二次电缆回路可视化监视。以智能变电站中的一个跳合闸回路为例,将二次装置或二次电缆回路监测装置中的节点状态信息映射到二次电缆回路模型中的某一对象中,如将压板状态信息映射到二次电缆回路模型中的压板元素,可以监视二次电缆回路中各元件和各回路的运行状态,为智能变电站的智能运维和智能诊断提供依据。

实际工程化应用流程如图 8 所示。将智能变电站 SCD 文件中描述二次装置或监测装置通讯信息条目与 SLCD 文件中元件进行信息映射。在线监视系统接收到二次装置或监测装置上送的节点状态信息,与 SLCD 中映射的二次装置或监测装置通讯信息进行匹配,将状态信息反映到二次电缆回路图中。当某一跳闸回路中出现断线,二次装置或监测装置根据断线的位置发出相应节点状态^[14],在线监测系统可以通过 SCD 文件中的二次装置通讯信息条目与 SLCD 文件中元件映射关系将节点状态信息反映在二次电缆回路图中的具体元件,实现二次电缆回路故障的快速定位。

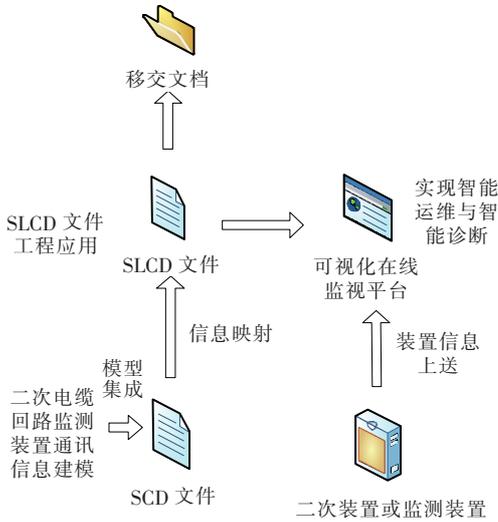


图 8 工程化应用流程

Figure 8 Engineering application process

以图 6 中某一控制回路为例,简要说明二次电缆回路监视原理。图 6 控制回路中的主要节点是由智能终端控制,当 TA 节点出现故障,智能终端通过节点监视回路,获取 TA 节点状态信息,并通过 MMS 报文或 GOOSE 报文将对应的节点状态信息发送到二次电缆回路在线监测系统中。在线监测系统通过本条节点状态信息与二次电缆回路模型中具体对象 TA 的映射关系,实现了对 TA 节点的状态监视。在线监测系统通过对二次电缆回路中各元件状态的在线监视以及二次回路中各元件间逻辑关系,可实现二次电缆回路的故障定位。

二次电缆回路监测装置也可以将二次电缆回路中的模拟量通过 MMS 遥测数据集发送到在线监测平台。在线监测平台通过 MMS 遥测数据集与二次电缆回路信息进行关联匹配,从而实现在线监测平台对二次电缆回路模拟量的可视化监测。

以某一测量回路简要说明二次电缆回路中模拟量监测原理,如图 9 所示。二次电缆回路监测装置可以采集二次电缆回路的电流值,将二次电缆回路模拟量信息以 MMS 遥测数据集发送到在线监测平台。在线监测平台将遥测数据集中的遥测量与二次电缆回路所在回路编号进行关联匹配,实现测量回路电流值的在线监视,对于异常测量电流实时告警。图 9 测量回路中可以显示 A、B、C 三相的实际运行测量电流值。

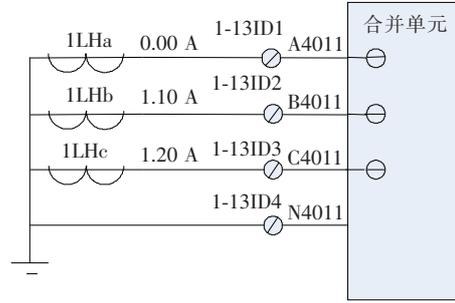


图 9 测量回路在线监测示意

Figure 9 Schematic diagram of the on-line monitoring of measurement loop

4 二次电缆回路模型工程化应用

在智能变电站的在线监测系统中,应用二次电缆回路模型可以实现二次电缆回路的在线监测功能。某变电站在线监测系统中智能终端的跳闸回路如图 10 所示,在线监测系统可以通过二次电缆回路模型文件展示该智能终端跳闸回路原理图,并根据在线监测信息显示二次电缆回路中各元件的状态。

正常情况下跳闸继电器结点分开,整个跳闸回路处于断开状态。当线路出现故障时,智能终端收到保护的跳闸信号后,发送对应硬节点闭合状态信号,在线监测系统收到该硬节点闭合状态信号,修改二次电缆回路图中对应的继电器硬结点状态,实现跳闸过程的在线监测。

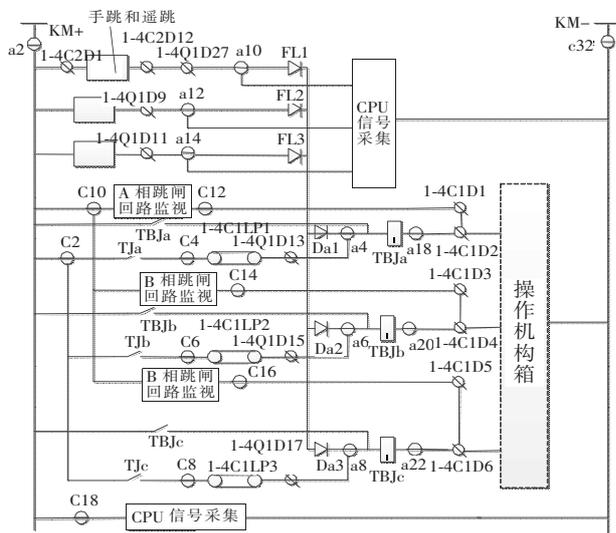


图 10 智能终端跳闸回路

Figure 10 The intelligent terminal trip circuit

某智能终端在一次跳闸过程中各继电器结点线圈的状态信息如图 11 所示,虚线圈表示该线圈通电,实线圈表示线圈不通电,结点开关的状态可以直接根据图形来判断。图 11 中的跳闸过程如下:智能终端收到保护跳闸信号,智能终端中跳闸继电器 TJa、TJb、TJc 的硬结点闭合,相应的 A、B、C 相跳闸回路通电, TBJa、TBJb、TBJc 继电器线圈通电, TBJa、TBJb、TBJc 继电器相应的硬结点闭合,最终实现一次 A、B、C 三相跳闸。通过对 TJa、TJb、TJc 继电器硬结点的状态监视,并结合二次电缆回路逻辑,可以在线监测跳闸过程中的各继电器节点状态信息。

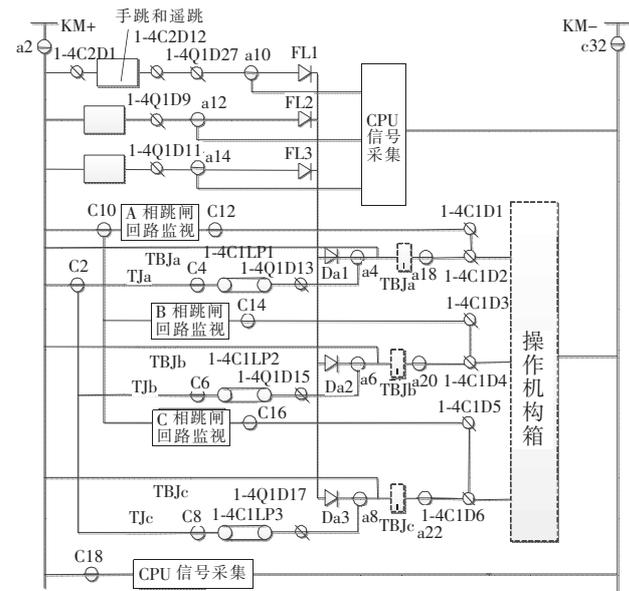


图 11 跳闸回路跳闸状态

Figure 11 The tripping state of tripping circuit

在线监测系统通过二次电缆回路模型实现了二次电缆回路的可视化与在线监视功能,并提供了跳闸过程回顾功能,帮助运维人员查看历史跳闸过程,为智能变电站的智能运维和智能诊断提供依据。

5 结语

针对目前智能变电站中二次电缆回路在线监测和运维诊断困难的问题,该文提出一种智能变电站二次电缆回路的建模方法,通过二次电缆回路建模及可视化,结合当前智能变电站的在线监测信息,并依托二次电缆回路在线监测平台,实现了智能变电

站二次电缆回路的可视化以及二次电缆回路的在线监测与故障定位,为智能变电站的智能诊断与智能运维奠定了基础。

参考文献:

[1] 葛立青,赵光元,杨凡,等. 智能变电站二次回路故障诊断方法研究[J]. 智能电网,2014,2(6):28-31.
 GE Liqing, ZHAO Guangyuan, YANG Fan, et al, Research on the secondary circuit fault diagnosis methods [J]. Smart Grid,2014,2(6):28-31.

[2] 乔中伟,钱敏,郭松伟,等. 二次电缆对地分布电容对强电开入回路的影响研究[J]. 电力系统保护与控制,2018,46(13):161-165.
 QIAO Zhongwei, QIAN Min, GUO Songwei, et al. Research on influence of secondary cable distributed capacitance on high voltage input circuit [J]. Power System Protection and Control,2018,46(13):161-165.

[3] 张巧霞,贾华伟,叶海明,等. 智能变电站虚拟二次回路监视方案设计及应用[J]. 电力系统保护与控制,2015,43(10):123-128.
 ZHANG Qiaoxia, JIA Huawei, YE Haiming, et al. Design and application of virtual secondary circuit monitoring in smart substation [J]. Power System Protection and Control,2015,43(10):123-128.

[4] 李敬如,宋璇坤,张祥龙,等. 智能变电站一、二次设备集成技术[J]. 电力建设,2013,34(6):16-21.
 LI Jingru, SONG Xuankun, ZHANG Xianglong, et al. Integration technology of primary and secondary equipment in smart substation [J]. Electric Power Construction,2013,34(6):16-21.

[5] 张志鹏,王维,郭朝云. 智能变电站新型断路器转换开关及控制回路设计分析[J]. 河北电力技术,2015,34(2):20-24.
 ZHANG Zhipeng, WANG Wei, GUO Chaoyun. Design analysis on new circuit breaker change-over switch and control circuit in smart substation [J]. Hebei Electric Power,2015,34(2):20-24.

[6] 姜宁,高翔,刘孝刚,等. 基于 SCD 语义的保护二次回路辨识技术探讨[J]. 电气技术,2018,19(7):97-102.
 JIANG Ning, GAO Xiang, LIU Xiaogang, et al. Identified technology of protection secondary circuits according to SCD semantic intensity [J]. Electrical Engineer-

- ing, 2018, 19(7):97-102.
- [7] 高磊, 杨毅, 苏麟, 等. 智能变电站二次系统物理回路建模方法及设计实现[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(24):130-139.
- GAO Lei, YANG Yi, SU Lin, et al. A modeling approach and design implementation of secondary system physical circuit for smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(24):130-139.
- [8] 杨建平, 阳靖, 罗莎. 110 kV 智能变电站设计与建设实例[J]. 电力科学与技术学报, 2012, 27(2):90-96.
- YANG Jianping, YANG Jing, LUO Sha. Research on design and construction of 110 kV intelligent substation[J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2012, 27(2):90-96.
- [9] 张巧霞, 贾华伟, 叶海明, 等. 智能变电站虚拟二次回路监视方案设计及应用[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(10):123-128.
- ZHANG Qiaoxia, JIA Huawei, YE Haiming, et al. Design and application of virtual secondary circuit monitoring in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(10):123-128.
- [10] 曹海欧, 高翔, 杨毅, 等. 基于全模型 SCD 二次系统在线监测及智能诊断应用分析[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(14):136-141.
- CAO Haiou, GAO Xiang, YANG Yi, et al. Analysis of online monitoring and intelligent diagnosis based on the full model SCD secondary system[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(14):136-141.
- [11] 韩伟, 姜帅, 马伟东, 等. 基于短地址关联数据标识的智能变电站虚回路可视化技术研究及应用[J]. 电力科学与技术学报, 2018, 33(4):95-101.
- HAN Wei, JIANG Shuai, MA Weidong, et al. Research and application of virtual circuit visualization technology in smart substation based on the short address associated data identification[J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2018, 33(4):95-101.
- [12] 张扬, 郭庆来, 吴文传, 等. 数字化变电站保护设备建模及其应用[J]. 电力科学与技术学报, 2012, 27(2):16-23.
- ZHANG Yang, GUO Qinglai, WU Wenchuang, et al. Modeling and application of protection devices in digital substation[J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2012, 27(2):16-23.
- [13] 黄新波, 唐书霞, 王列华, 等. 智能变电站在线监测系统的 IEC 61850 信息建模与通信实现[J]. 广东电力, 2014, 27(1):66-70+80.
- HUANG Xinbo, TANG Shuxia, WANG Liehua, et al. IEC 61850 information modeling and communication realization of online monitoring system of intelligent substation[J]. Guangdong Electric Power, 2014, 27(1):66-70+80.
- [14] 甘羽, 陈志蓉, 戴敏. 变电站二次系统典型设计的编制及应用[J]. 中国电力, 2009, 42(6):42-45.
- GAN Yu, CHEN Zhirong, DAI Min. Compilation and application of typical design for substation secondary system[J]. Electric Power, 2009, 42(6):42-45.