

智能变电站过程层网络监测与故障定位系统设计与实现

李超^{1,2,3}, 罗凌璐^{1,2,3}, 王德辉^{1,2,3}, 左欢欢^{1,2,3}

(1. 南瑞集团(国网电力科学研究院)有限公司,江苏 南京 211006;2. 国电南瑞科技股份有限公司,江苏 南京 211006;3. 智能电网保护和运行控制国家重点实验室,江苏 南京 210061)

摘要:针对现有的网络监测系统大都无法支持过程层网络拓扑结构和虚连接回路显示的问题,文中提出一种基于过程层交换机的网络监测在线系统。该系统包含主机监测系统和过程层交换机。主机监测系统通过解析变电站配置文件(SCD)获取预置的过程层网络拓扑结构和虚连接逻辑回路;过程层交换机的利用访问控制列表(ACL)规则捕获和解析一定的面向通用对象的变电站事件(GOOSE)报文和取样值(SV)报文,获取连接在交换机的设备信息,从而使主机监测系统获得实际的过程层网络拓扑结构和虚连接物理回路。对比预置和实际的网络拓扑结构和虚连接回路,实现了对过程层网络的实时监测和故障定位。在实际应用中,该系统协助运维人员实时地监测网络运行状态和快速地定位故障,提高了电力系统自动化运维的管理水平。

关键词:过程层网络;网络监测;故障定位;网络拓扑;虚连接回路

中图分类号:TM769;TP393

文献标志码:A

文章编号:2096-3203(2019)02-0117-06

0 引言

随着变电站智能化程度的提高,工业以太网技术在变电领域得到了大面积的应用,这条由交换机构成的“信息高速公路”直接关系到变电站能否安全可靠地运行^[1]。在变电站调试和维护过程中,技术人员一般需要花费大量的时间和精力检查过程层网络设备组网和配置的正确性。一旦出现网络故障或者异常,技术人员需要从浩瀚的报文中分析故障的原因,十分繁琐和低效。因此,实时监测变电站过程层网络运行的情况十分必要和迫切^[2]。

现有的过程层网络监测系统一般通过接收数据异常情况,来实现对过程层网络的监视。当某个设备出现异常时,可能造成多个连接设备发出链路异常信号,运行人员看到大量的链路出错信息之后,可能会无所适从,无法快速准确地定位故障和异常。同时,现有的网络监测系统大都无法支持网络物理拓扑结构和虚连接回路的显示^[3-9],维护人员无法直观便捷地在线监测过程层网络的运行状态,工作效率并没有得到很大提升。

为克服现有过程层网络监测系统的不足,文中提出一种基于过程层交换机的网络监测与故障定位系统。该系统通过解析变电站配置文件(system configuration descriptio, SCD)获取预置的过程层网络拓扑结构和虚连接逻辑回路。同时通过过程层

交换机的访问控制列表(access control list, ACL)规则捕获和解析一定的面向通用对象的变电站事件(generic object oriented substation event, GOOSE)报文和取样值(sampled value, SV)报文,使得该系统获得实际的过程层网络拓扑结构和虚连接物理回路。对比预置和实际的网络拓扑结构、虚连接回路,实现了对过程层网络的实时监测和故障的定位。

1 整体系统架构

网络监测系统主要包括主机监测系统和过程层交换机。主机监测系统是运行在普通PC机的管理软件,与过程层交换机通过简单网络管理协议(simple network management protocol, SNMP)^[10]进行数据传输和通信。网络监测系统的系统架构如图1所示。

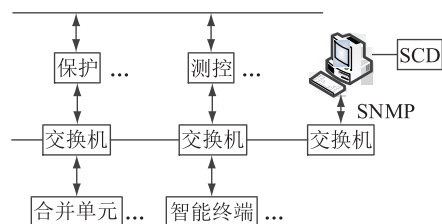


图1 过程层网络监测与故障定位系统的整体架构
Fig.1 Architecture of network monitoring and fault location system for process layer network

主机监测系统主要功能分为三部分:(1) 主机监测系统根据SCD文件中智能电子设备(intelligent electronic device, IED)之间物理连接关系、GOOSE/SV 订阅/发布关系的描述,生成过程层网络拓扑结构和虚连接回路信息。由于其目的是用于校验,文

收稿日期:2018-10-17;修回日期:2018-12-03

基金项目:国家电网有限公司总部科技项目“智能变电站通信网络可靠性及信息安全关键技术研究与应用”

中命名为预置网络拓扑结构和虚连接的逻辑回路；(2) 主机监测系统结合交换机上送的介质访问控制(media access control, MAC)地址转发表、组播表以及通过解析 GOOSE 和 SV 获得的设备信息,生成运行的网络拓扑结构和虚连接回路信息。由于其是实际运行产生的,文中命名为实际网络拓扑结构和虚回路的物理连接；(3) 主机监测系统对比预置网络拓扑结构和实际网络拓扑结构、虚连接的逻辑回路与虚连接的物理回路,结合交换机上送的统计和告警信息,实现对过程层网络的监测和故障定位。

过程层交换机除了正常地转发 GOOSE/SV 数据外,在网络监测系统中有 2 个作用:(1) 捕获和解析一定的 GOOSE/SV 报文,获取报文中装置名、源 MAC 地址、目的组播地址；(2) 上送报文解析得到的信息、MAC 地址转发表、组播表、流量统计和告警信息等。

2 主机监测系统解析 SCD 文件

SCD 描述了变电站内所有 IED 的实例配置、通信参数和 IED 之间的通信配置等信息。其中<IED>节点中描述了 IED 与 IED 之间的 GOOSE/SV 订阅/发布关系；<Communication>节点中描述了 IED 与 IED 之间的物理连接关系(即信息流经的路径)和通信参数。主机监测系统通过解析和提取 SCD 文件^[11-12],可以获得 IED 与 IED 之间的 GOOSE/SV 订阅/发布关系和物理连接关系,从而获得虚连接回路关系和网络拓扑结构。

2.1 虚连接的逻辑回路获取

GOOSE/SV 发布和订阅在 IED 节点描述。SV 的发布通过 SV 控制块 SampleValueControl 实现。GOOSE 的发布通过 GOOSE 控制块 GSEControl 实现,其中,dataset 属性指定了与本控制块关联的数据集,数据集 Dataset 由多个功能约束数据属性(functional constraint data attribute, FCDA)成员组成。

SV 和 GOOSE 的订阅是在 Inputs 节点下定义的,Inputs 节点由多个外部引用条目 ExtRef 组成^[13],每个外部引用条目指定了内部输入虚端子的地址 intAddr 和外部输出虚端子地址。根据引用条目的 iedName、ldInst 属性可找到外部信号所在的 IED 和逻辑设备 LDevice,遍历该外部 LDevice 下所有 DataSet,通过比对 ldInst、Prefix、lnClass、lnInst、doName、daName 可找到匹配的数据集,进而找到与数据集关联的控制块。

至此,找到了发布控制块和接收访问点的对应关系,虚连接回路由此建立。主机监测系统根据上

述过程,解析 SCD 文件,可以获得发布联控制块与订阅访问点的关系表,如表 1 所示。主机监测系统根据表 1,可以获得虚连接回路的关系。

表 1 发布联控制块与订阅访问点的关系表
Table 1 Relation table of control block and subscriber's access point

| 发布控制块 CB | 订阅访问点 IN_AP |
|-------------------|----------------|
| ML2207A.G1.gocb0 | CL2207.G1 |
| ML2207A.M1.smvcb0 | CL2207.M1 |
| CL2207.G1.gocb1 | ML2207A.G1 |

2.2 预置网络拓扑结构获取

IEC 61850 标准详细定义和描述了逻辑连接,但弱化了对物理连接关系和网络设备的描述。GOOSE/SV 发布/订阅关系只是逻辑连接关系,逻辑连接最终需要通过物理连接才能完成实际数据的交换。文献[11]描写了一种变电站物理连接关系建模方法,在 SCD 文件的 Physconn 节点增加 Cable 属性类型描述表示连接电缆号,进而表征 IED 间的物理连接关系。IED 每个访问点可以关联多个物理端口,<Physconn>标签明确描述了逻辑通信链路与物理光缆、物理光口之间的关系。Port 属性表征了物理连接的端口号,Cable 属性表征了物理连接的电缆号,电缆号相同的端口之间是物理连接。

主机监测系统解析 SCD 的<Communication>节点,提取属性 IedName、Port、Cable 的值,得到装置与电缆的关系,即表 2。通过表 2 的自身连接,提取 Cable 相同而 Ied_name 不同的条目,可以获得同一条电缆两端连接的装置名及连接端口号,得到装置端口之间的连接,即表 3。主机监测系统根据表 3,利用可视化技术获得过程层的网络拓扑结构图。

表 2 装置与电缆的关系表

Table 2 Relation table of device and cable

| 装置名 Ied_Name | 连接端口号 Port | 电缆号 Cable |
|-----------------|---------------|--------------|
| SW01 | SW01.1 | L1 |
| SW01 | SW01.2 | L2 |
| ML2207A | ML2207A.1-C | L1 |
| CL2207 | CXL2207.1-A | L2 |

3 实际网络拓扑和虚连接的物理回路获取

目前,现有的过程层网络监测系统一般利用网络分析仪接收 GOOSE 和 SV 报文,或者将 GOOSE 和 SV 通过交换机的镜像功能镜像到监测后台。但 GOOSE 和 SV 报文的数量庞大且繁杂,解析如此庞

表3 IED 端口连接表

Table 3 Physical connection table of ports

| 本端装置名 led_local | 本端端口号 Port_local | 对端装置名 led_remote | 对端端口号 Port_remote |
|--------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| SW01 | SW01.1 | ML2207A | ML2207A.1-C |
| ML2207A | ML2207A.1-C | SW01 | SW01.1 |
| SW01 | SW01.2 | CL2207 | CL2207.1-A |
| CL2207 | CL2207.1-A | SW01 | SW01.2 |

杂的报文,对监测后台和网络分析仪提出了很高的硬件要求,同时还浪费了交换机的网络带宽资源。文中利用交换机现有的 ACL^[14] 技术,在交换机正常转发 GOOSE 和 SV 报文时,通过配置一些过滤规则,捕获一定的 GOOSE 和 SV 报文上送给交换机 CPU 解析。从而在不增加设备的情况下,快速高效地实现对指定报文的获取。同时,ACL 是交换机固有的功能,且过滤规则简单,无需开发程序,只需使用脚本即可实现,交换机的通用性和性能也得到了保证。

文中在不添加网络分析仪的情况下,在过程层交换机正常转发 GOOSE/SV 报文时,利用交换机固有的 ACL 技术,捕获一定的 GOOSE/SV 报文,并通过解析 GOOSE/SV 报文信息获得装置名、源 MAC、目的组播等信息。主机监测系统会定期发送探测指令,触发交换机上送报文解析信息、MAC 地址转发表和组播转发表。主机监测系统结合报文解析信息、交换机的 MAC 地址转发表和组播转发表,生成过程层网络实际的物理拓扑结构和虚连接的物理回路图。同时,主机监测系统通过 SNMP 协议获取交换机的统计、告警等信息,生成过程层网络运行参数信息。图 2 为主要过程的流程图。

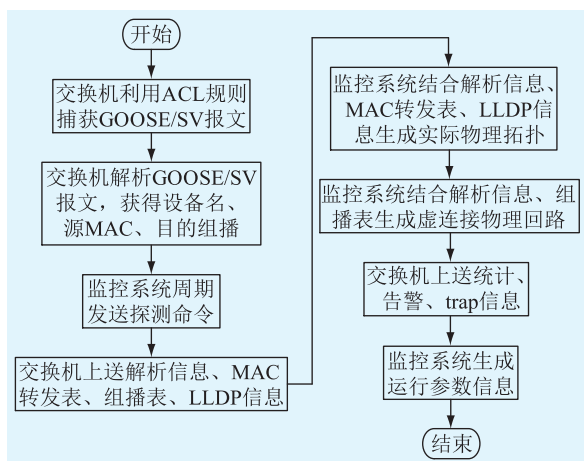


图2 监测系统获取实际的物理拓扑和虚连接的物理回路流程

Fig.2 The monitoring system obtain physical topology and physical circuit of virtual connection

3.1 实际的物理拓扑结构获取

文中将过程层的网络的物理拓扑分为两部分:交换机与交换机之间的物理拓扑结构;交换机与测控、保护等装置的物理拓扑结构,即与非级联口的连接装置的物理拓扑结构。

文中利用链路层发现协议^[15] (link layer discovery protocol, LLDP) 来获取交换机与交换机之间的连接关系。LLDP 是一种邻居发现协议,可以将本端设备的 MAC 地址、IP 地址、设备标识、接口标识等信息发布给与自己直连的邻居。目前,智能变电交换机均支持 LLDP 协议,开启 LLDP 协议后,可以获得相邻交换机的连接信息和设备信息,整理这些信息后,可以获取交换机与交换机之间的物理拓扑结构。

交换机与非级联口设备物理拓扑结构,文中通过捕获和解析交换机中的 GOOSE 和 SV 报文来获取设备信息。GOOSE 和 SV 报文里均含有源 MAC 地址、目的组播地址。同时,GOOSE 报文里的 gocbRef 字段描述了逻辑设备名;SV 报文中 svID 字段描述了逻辑设备名^[13,16]。解析 GOOSE 和 SV 的相关字段,可获得设备名、源 MAC 地址、目的组播地址等信息;整理这些信息,结合交换机的 MAC 转发表,可以获取交换机与非级联口的设备的连接关系;再结合交换机组播转发表,可以获得虚回路物理连接关系。

3.2 GOOSE 和 SV 报文捕获和解析

文中提出通过捕获和解析 GOOSE 和 SV 报文,来获取设备信息和虚回路信息。对于获取设备信息,只需捕获一封 GOOSE 或 SV 报文,即可获得设备名、源 MAC 地址;但同一个物理链路之间可能存在多个虚连接回路,为获取虚连接回路信息,目的组播地址不同的 GOOSE 和 SV 报文也需要捕获,同样每个组播地址只需捕获一封 GOOSE 或 SV 报文即可。

ACL 通过定义一些规则对网络设备接口上的数据报文进行控制,ACL 由一系列的表项组成,称之为访问控制列表表项 (access control entry, ACE),每个接入控制列表表项都申明了满足该表项的匹配条件及行为 (动作策略)。目前,ACL 由交换芯片的 FP (fields processors) 模块实现,FP 模块能够解析报文的前 128 字节的内容,并且根据匹配结果及预设规则实现不同的动作,例如转发,丢弃,端口重定向和统计等。

为了实现交换机对指定 GOOSE 和 SV 报文的捕获和解析,根据 ACL 的语法配置规则,在交换机

中配置 ACE。流程见图 3,具体步骤如下:

(1) 配置过滤规则,匹配条件为报文以太网类型为 0x88BA(SV 报文)和 0x88B8(GOOSE 报文),其对应的行为动作为上送交换机 CPU;

(2) 交换机 CPU 解析报文,获得目的组播地址;

(3) 配置新的过滤规则,匹配条件为已获得的组播地址,其对应的行为动作为丢弃,即不捕获组播地址相同报文;

(4) 重复步骤(2)——(3),可以把所有的目的组播地址不同的 GOOSE 和 SV 报文捕获,且每个组播地址只有一份报文。

(5) 解析获得的 GOOSE 和 SV 报文,获得装置名、源 MAC 地址、目的组播地址。

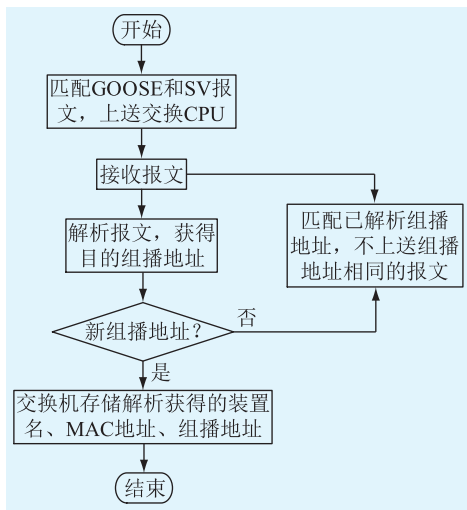


图 3 GOOSE 和 SV 报文捕获流程
Fig.3 Capture GOOSE/SV message

3.3 交换机-装置的物理拓扑获取

根据交换机捕获和解析的 GOOSE 和 SV 报文,可以获得源 MAC 地址、目的组播地址、设备名,其对应关系见表 4。交换机将上述信息、MAC 转发表信息、组播转发表通过 SNMP 协议,上送到监测主机。表 5 为交换机内部的 MAC 地址转发表。

表 4 装置名与源 MAC 和目的组播地址的关系表
Table 4 Relation table of device and cable

| 装置名 IED-Name | 源 MAC 地址 Src-MAC | 目的组播地址 Dst-Multi |
|-----------------|---------------------|---------------------|
| CL2207 | 1C-00-42-32-74-A0 | 01-0C-CD-01-02-8F |
| ML2207A | 1C-00-42-B1-38-27 | 01-0C-CD-01-02-A0 |
| ML2207A | 1C-00-42-B1-38-27 | 01-0C-CD-04-00-40 |

主机监测系统对表 4 与表 5 通过 MAC 地址进行连接处理,可以得到装置名与交换机端口号的连接关系,见表 6。

表 5 MAC 地址转发表

Table 5 MAC address forwarding table

| 目的 MAC 地址 MAC | 交换机转发端口号 Port |
|-------------------|------------------|
| 1C-00-42-32-74-A0 | FE1 |
| 1C-00-42-B1-38-27 | FE2 |

表 6 装置名与交换机端口号的关系表

Table 6 Relation table of IED name and switch port

| 装置名 IED-Name | 交换机连接端口号 Port |
|-----------------|------------------|
| ML2207A | FE1 |
| CL2207 | FE2 |

主机监测系统对每个交换机实施上述步骤,可以获得各个交换机的交换机-装置连接关系,结合 LLDP 获得交换机-交换机的连接关系,利用可视化技术,可以生成过程层网络的实际的物理拓扑结构图。

3.4 虚连接的物理回路获取

表 7 为交换机内部组播转发表。主机监测系统对表 4 与表 7 通过组播地址进行连接处理,可得 GOOSE/SV 发布装置与交换机的端口对应关系,见表 8。

表 7 MAC 地址转发表

Table 7 Multicast address forwarding table

| 目的组播地址 Multicast | 交换机转发端口号 Port |
|---------------------|------------------|
| 01-0C-CD-01-02-8F | FE1 |
| 01-0C-CD-01-02-A0 | FE2 |
| 01-0C-CD-04-00-40 | FE2 |

表 8 发布装置名与交换机端口号的关系表

Table 8 Relation table of IED name and switch port

| 发布装置名 IED-Name | 目的组播地址 Dst-Multi | 连接端口号 Dst-Multi |
|-------------------|---------------------|--------------------|
| CL2207 | 01-0C-CD-01-02-8F | FE1 |
| ML2207A | 01-0C-CD-01-02-A0 | FE2 |
| ML2207A | 01-0C-CD-04-00-40 | FE2 |

主机监测系统对表 8 与表 6 通过交换机的端口号进行连接处理,可得装置之间 GOOSE/SV 的发布/订阅关系,即表 9。

至此,主机监测系统获得了可得装置之间 GOOSE/SV 的发布/订阅关系,利用可视化技术,可以生成过程层网络虚连接的物理回路。

3.5 网络运行信息获取

主机监测系统还可以通过 SNMP 协议定期地获取交换机各个管理信息库 (management information

表 9 装置间 GOOSE/SV 的发布/订阅关系表
Table 9 Relation table of publish and subscribe for GOOSE/SV between IEDs

| 发布装置名 IED-Name | 目的组播地址 Dst-Multi | 订阅装置名 IED-Name |
|-------------------|---------------------|-------------------|
| CL2207 | 01-0C-CD-01-02-8F | ML2207A |
| ML2207A | 01-0C-CD-01-02-A0 | CL2207 |
| ML2207A | 01-0C-CD-04-00-40 | CL2207 |

base, MIB), 其中包括端口的 up/down 信息、GOOSE/SV 报文的统计信息、CPU 和内存的利用率等信息^[1]。主机监测系统, 整理这些信息后, 可以生成过程层网络的网络运行参数, 包括装置连接情况、网络流量统计、交换机 CPU 利用率等。

4 网络的监测和故障的定位

主机监测系统通过过程层交换机捕获和解析 GOOSE 和 SV 报文, 获得了实际的设备端口连接表和发布订阅关系表, 利用可视化技术, 可以实时地显示实际的网络拓扑结构和虚连接回路, 如图 4、图 5 所示(注: 全图较大, 只显示部分信息)。同时, 主机监测系统通过解析 SCD 文件获得预置的设备端口连接关系和发布订阅关系, 与实际的网络拓扑结构和虚连接回路进行对比, 如果两者不一致, 表示过程层网络出现异常。

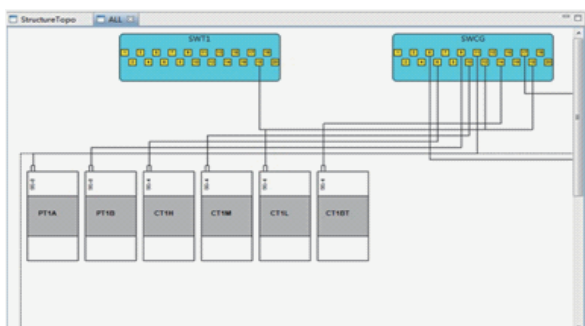


图 4 实际的过程层网络拓扑

Fig.4 Actual process layer network topology diagram

主机监测系统, 比较预置物理拓扑结构和实际物理拓扑结构, 可得出缺失的链路、多余的链路以及错误的设备名。配置和维护人员利用监测系统可以快速地定位 GOOSE/SV 断链、环路以及连线错误等故障。

主机监测系统, 比较虚连接逻辑回路和虚连接的物理回路, 判断虚连接是否配置正确。配置和维护人员利用监测系统可以有效地定位交换机组播和 VLAN 配置错误等故障。

主机监测系统, 具有实时的网络流量统计信息和 SNMP trap 报文(SNMP trap, 指被管理设备上报

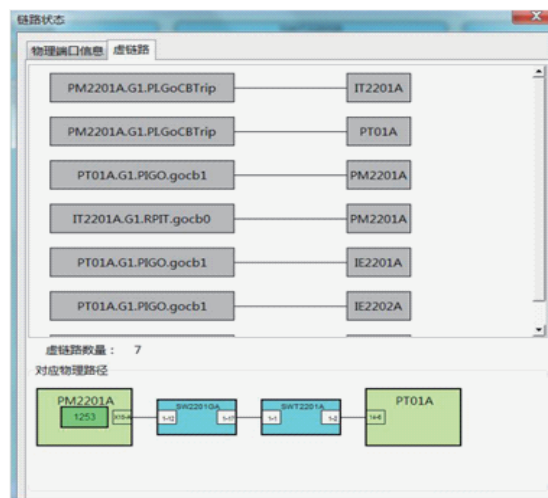


图 5 虚连接物理回路

Fig.5 Physical circuit diagram of virtual connection

的陷阱报文, 表明设备发生故障或变更的主动通知)告警信息。配置和维护人员利用监测系统可以实时地监视网络流量异常、网络风暴等故障, 高效地维护和管理过程层网络。

5 网络的监测和故障定位系统的验证

文中将开发的基于过程层交换机的网络监测和故障定位系统应用在实验室的变电站系统中, 图 4 显示了部分实际的过程层网络拓扑图, 其中, 蓝色装置是交换机, 灰色装置是智能终端、合并单元、测控装置和保护装置等。图 5 显示了装置间虚链路的信息, 共 7 条虚链路, 每条虚链路都可以直观地显示报文发布控制块到订阅装置的逻辑关系以及对应的物理路径。图 6 为与交换机 switch0 相连装置的关系图, 左边是解析 SCD 文件获得预制物理拓扑结构, 右边是实际的物理拓扑结构, 对比两者信息, 装置以黄色标明表示配置出现错误, 装置以蓝色标明表示装置连接关系出现错误。

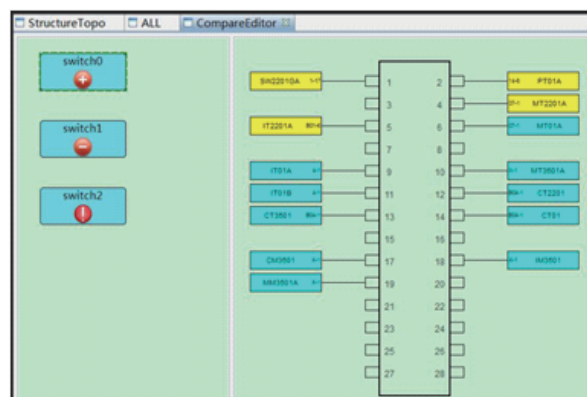


图 6 交换机 switch0 的连接关系

Fig.6 Connection diagram of switch0

实验结果验证了基于过程层交换机的网络监测和故障定位系统的可行性和实用性,结合可视化技术可以动态、直观地反映过程层网络的运行情况,并且快速高效地定位故障。

6 结语

文中设计了一种基于过程层交换机的网络监测和故障定位系统,实现对过程层网络的状态监测和故障诊断。过程层网络监测和故障定位系统支持网络拓扑结构和虚连接回路的显示,维护人员可以直观便捷地在线监测过程层网络的运行状态,提高了电力系统自动化运维的管理水平。

参考文献:

- [1] 杨贵,王文龙,熊慕文,等. 千兆交换机在智能变电站的应用探讨[J]. 电气技术,2010(8):129-132.
YANG Gui, WANG Wenlong, XIONG Muwen, et al. Discuss about 1 000 M switch application in the intelligent substation[J]. Electrical Engineering, 2010(8):129-132.
- [2] 张沛超,高翔. 数字化变电站系统结构[J]. 电网技术,2006,30(24):73-77.
ZHANG Peichao, GAO Xiang. System architecture of digitized substation[J]. Power System Technology, 2006,30(24):73-77.
- [3] 阴玉婷,杨明玉,郑永康. 智能变电站网络化二次系统及其在线监测研究综述[J]. 电气自动化,2014,36(1):1-4.
YIN Yuting, YANG Mingyu, ZHENG Yongkang. Overview of networked secondary system of intelligent substation and is on-line monitoring[J]. Electrical Automation, 2014,36(1):1-4.
- [4] 朱林,王鹏远,石东源. 智能变电站通信网络状态监测信息模型及配置描述[J]. 电力系统自动化,2013,37(11):87-92.
ZHU Lin, WANG Pengyuan, SHI Dongyuan. Status monitoring information model and configuration description of communication network in smart substations[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013,37(11):87-92.
- [5] 王德文,王艳,邸剑. 智能变电站状态监测系统的设计方案[J]. 电力系统自动化,2011,35(18):51-56.
WANG Dewen, WANG Yan, DI Jian. Design scheme of condition monitoring system for smart substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011,35(18):51-56.
- [6] 王治民,陈炯聪,任雁铭,等. 网络通信记录分析系统在数字化变电站中的应用[J]. 电力系统自动化,2010,34(14):92-95.
WANG Zhimin, CHEN Jiongcong, REN Yanming, et al. Application of network communication recorder and analyzer in digital substations[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010,34(14):92-95.
- [7] 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.
- [8] 高翔,杨漪俊,姜健宁,等. 基于SCD的二次回路监测主要技术方案介绍与分析[J]. 电力系统保护与控制,2014,42(15):149-154.
GAO Xiang, YANG Yijun, JIANG Jianning, et al. Analysis of secondary circuit monitoring methods based on SCD[J]. Power System Protection and Control, 2014,42(15):149-154.
- [9] 高吉普,张沛超,何旭,等. 智能变电站保护系统可靠性的自动分析方法[J]. 电力系统保护与控制,2014,42(15):107-112.
GAO Jipu, ZHANG Peichao, HE Xu, et al. An automatic reliability analysis method for protection systems in smart substations[J]. Power System Protection and Control, 2014,42(15):107-112.
- [10] ZENG W, WANG Y. Design and Implementation of Server Monitoring System Based on SNMP[C]//2009 International Joint Conference on Artificial Intelligence (JCAI). IEEE Computer Society, 2009.
- [11] 王计林,黄晓雨. 智能变电站信息提取的研究与实现[J]. 电力信息与通信技术,2014,12(1):17-21.
WANG Jilin, HUANG Xiaoyu. Research on information extraction in intelligent substations and its implementation[J]. Electric Power ICT, 2014,12(1):17-21.
- [12] 刘筱萍,杨冰,王浩. 变电站配置工具中SCL文件解析的分析与实现[J]. 电网技术,2006,30(S2):463-466.
LIU Xiaoping, YANG Bin, WANG Hao. Analysis and implementation of parse for SCL File in substation configuration tool[J]. Power System Technology, 2006,30(S2):463-466.
- [13] LIY L, LI G. An introduction to 2nd edition of IEC 61850 and prospects of its application in smart grid[J]. Power System Technology, 2010,34(4):11-16.
- [14] MENG X, KANG J S, MIN L U. Design and implementation of IP QoS based on BCM5645[J]. Radio Engineering, 2010.
- [15] SULTAN R, DUNBAR L, YONG L. Method of preventing transport leaks in hybrid swithing networks by extension of the link layer discovery protocol (LLDP)[J]. 2008.
- [16] 王松,黄晓明. GOOSE报文过滤方法研究[J]. 电力系统自动化,2008,32(19):54-57.
WANG Song, HUANG Xiaoming. Filtering methods of goose messages[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008,32(19):54-57.

作者简介:



李超

李超(1990),男,硕士,工程师,从事智能变电站通信网络可靠性及信息安全关键技术研究工作(E-mail: lichao8@sgepi.sgcc.com.cn);

罗凌璐(1988),女,硕士,工程师,从事电力系统自动化研究工作;

王德辉(1981),男,学士,工程师,从事电力系统自动化研究工作。

(下转第141页)

Calculation method for coupling voltage of parallel buried steel pipelines during normal operation of AC overhead transmission lines

LI Houying¹, YU Junyang², LIANG Xuanhong¹

(1. State Key Laboratory of Power Transmission Equipment & System and New Technology (Chongqing University), Chongqing 400044, China; 2. State Grid Sichuan Electric Power Corporation Maintenance Company, Chengdu 610041, China)

Abstract: With the increase of urban development and energy demand, the electromagnetic influence of overhead alternating current (AC) transmission lines on buried steel pipelines is becoming more serious. Traditionally, the coupling voltage calculation methods mainly include electromagnetic simulation and calculation using earth loop equivalent model, which are complicated and time-consuming to get the pipeline coupled voltage. So, a method for calculating the coupled voltage on pipelines nearby the overhead transmission lines is proposed. Firstly, a calculation model for the unit-length pipeline coupling voltage under multiple factors is established. Secondly, by discussing the offset effect of insulation connection and pipeline breakage on the lowest point of inductive coupling voltage, the calculation method of the lowest point is given to determine the distribution form of pipeline coupling voltage. Finally, the calculation method of coupled voltage based on the increment of inductive coupling voltage per unit length pipeline and the distribution of coupling voltage is proposed. The example analysis shows that the error is less than 10% compared with simulated value and the measured value, and the coupling voltage can be reasonably calculated.

Keywords: buried steel pipeline; overhead ac line; coupling voltage; voltage distribution

(编辑 杨卫星)

(上接第 122 页)

Design and implementation of network monitoring and fault location system for process layer network in smart substation

LI Chao^{1,2,3}, LUO Linglu^{1,2,3}, WANG Dehui^{1,2,3}, ZUO Huanhuan^{1,2,3}

(1. NARI Group Corporation (State Grid Electric Power Research Institute), Nanjing 211006, China;
2. NARI Technology Co. Ltd., Nanjing 211006, China;
3. State Key Laboratory of Smart Grid Protection and Operation Control, Nanjing 210061, China)

Abstract: In order to solve the problem that most of the existing network monitoring system can not support the display of process layer network topology and virtual connection circuit, this paper proposes a network monitoring online system based on the process layer switch. The system includes the host monitoring system and the process layer switch. The host monitoring system obtains the preset process level network topology and virtual connection logic circuit by parsing the SCD file. The process layer switch uses the ACL rule to capture and parse certain GOOSE and SV packets to obtain the device information connected to the switch. Then the host monitoring system obtains the actual process level network topology and the virtual connection physical circuit. Real-time monitoring and fault location of the process layer network are realized by comparing preset and actual network topology and virtual link loop. In practical applications, the system assists power system operation and maintenance personnel in real-time monitoring of network operation status and fault location, and improves the management level of power system automation operation and maintenance.

Keywords: process layer network; network monitoring; fault localization; network topology; virtual connection circuit

(编辑 方晶)