

基于监测帧的 PRP 和 HSR 冗余网络监视系统的实现

高红亮¹, 陶文伟¹, 唐孝舟², 张喜铭¹, 李广华², 杨 贵²

(1. 中国南方电网电力调度控制中心, 广州 510663; 2. 南京南瑞继保电气有限公司, 南京 211100)

摘要: IEC 62439-3 标准详细描述了并行冗余协议 (PRP) 和高可用性无缝冗余协议 (HSR)。但是这两种冗余功能对上层应用透明, 监控系统无法识别单一链路故障。为了解决该问题, 实现 PRP、HSR 冗余网络的良好维护体验, 分析了 PRP、HSR 冗余的实现过程, 研究了监测帧的作用原理, 构建了一个基于监测帧的冗余网络监视系统, 给出了具体的冗余监测原理和流程, 总结分析了该系统的优点, 为智能变电站的网络冗余监测提供了一种有效的方案。

关键词: 并行冗余协议; 高可用性无缝冗余协议; 监测帧; 冗余网络; 监视系统; 智能变电站

中图分类号: TM 769; TP393

文献标志码: A

文章编号: 2096-3203(2017)04-0065-05

0 引言

IEC 62439-3 标准^[1]描述了高可用性无缝冗余协议 (HSR)、并行冗余协议 (PRP) 两种冗余网络通信机制, 其中 HSR 采用环网拓扑结构, PRP 采用双星型网络拓扑结构。RedBox (redundancy box) 可实现 HSR 与 PRP 网络、PRP/HSR 网络与 RSTP (rapid spanning tree protocol) 网络的互通^[2,3]。PRP/HSR 冗余网络的特点是网络冗余, 向应用层只上送一份数据, 降低了对嵌入式硬件资源的使用需求^[4-6]。但与此同时, 相对传统 STP (spanning tree protocol) 双网, PRP/HSR 冗余网络也带来了额外的问题, 即增加了双网告警困难度, 无法实现逻辑链路的 A、B 网状态的单独识别^[7,8]。

考虑到 IEC 62439-3 标准本身就支持监测帧传输, 这样不需要额外建模就可以实现监测信息获取。因此可以基于监测帧建立一套 PRP/HSR 冗余网络监视系统, 从而提供冗余网络任一网络或者任何一个方向上的异常告警信息, 提升网络运维体验。

1 PRP 和 HSR 冗余协议

PRP 和 HSR 作为 IEC 62439-3 标准重点推荐的两种网络冗余协议, 其基本原理非常类似, 二者都可以实现零恢复时间的网络自愈^[9,10]。而且 PRP 和 HSR 可以适应多种网络拓扑结构, 通过链路层冗余单元 (LRE) 可以实现对上层应用透明, 从而达到理想的冗余效果。

1.1 PRP 协议原理

PRP 实现冗余依赖于支持 PRP 的网络节点

(DANP), 每个 DANP 节点都有两个独立运行的端口, 这两个端口又分别连接到两个独立并行工作的局域网上。DANP 发出的报文将被复制成两份, 分别发送到两个局域网上共同的节点。目的节点则将先到达的报文帧转发给上层用户数据协议 (UDP) 或者传输控制协议 (TCP), 后到的帧将被丢弃^[11,12]。由此可以看出, 任何一个独立网络发生故障, 对于接受报文的 DANP 来说, 没有任何影响, 因为报文还可以通过另一个网络送过来, 从而实现冗余通信。

1.2 HSR 协议原理

HSR 实现冗余的思路与 PRP 基本相同, 只不过 HSR 主要依靠两个独立的物理端口为系统提供冗余, 并且其网络结构为环形。依赖于支持 HSR 的网络节点 (DANH) 通过两个端口同时向环网发送报文^[13,14]。此时当另一个 DANH 节点接收到该报文时, 将依据不同的情况对报文进行不同的处理:

(1) 首先判断报文帧是不是广播帧, 若是则接收并转发。

(2) 若不是广播帧, 则检查其目的链路 (MAC) 地址是否为本 DANH 节点 MAC 地址, 若不是则通过另一个端口将报文帧转发, 若是则进一步判断是否是第一次收到该帧, 如果是第一次收到该帧则接收并转发给上层 UDP 或 TCP, 如果是重复帧则丢弃。

2 PRP 和 HSR 监测帧分析

利用监测帧来实现冗余网络监视, 要求 PRP、HSR 网络所有节点都开启监测帧功能。IEC 62439-3 规定了 PRP、HSR 监测帧的格式, 由于其具有通用性, 因此可省去不少建模工作。

收稿日期: 2017-02-02; 修回日期: 2017-03-08

基金项目: 中国南方电网公司科技项目 (ZDKJQQ 00000016)

2.1 PRP 监测帧

一个完整的 PRP 监测帧如图 1 所示。

PRP_DestinationAddress		SourceAddress		SourceEthertype		SupPath	
SupVersion	SupSequenceNumber		TLV1.Type	TLV1.Length	MacAddress		
TLV2.Type	TLV2.Length	RedBoxMacAddress	TLV0.Type	TLV0.Length	Padding		

图 1 PRP 监测帧示意图

Fig.1 Schematic diagram of PRP detecting frame

关键字段含义如下:PRP_DestinationAddress 为预留的多播地址;SourceAddress 为节点 MAC 地址;SupSequenceNumber 为监测帧序列号;MacAddress 为被两个端口使用的 MAC 地址。

另外,TLV2.Type 和 TLV2.Length 以及 RedBoxMacAddress 为 RedBox 监测帧特有,若节点不是 RedBox 则没有这几个字节。Padding 是 70 个(无 VLAN 标记)或者 74 个(有 VLAN 标记)避免填充的字节。

当从任一个局域网接收到 PRP 监测帧时,伴随着在帧中标示的复制帧接收和复制帧丢弃的工作模式,节点应该根据接收来的消息体里包含的源 MAC 地址信息在节点表中创建入口地址,而不是源地址。

如果一个节点停止接收来自一个源节点的监测帧的时间超过了 NodeForgetTime,但是这个节点仅从其中的一个局域网上接收那个源节点的帧数据,此时它应该改变源节点的状态到网络 A 或网络 B,这取决于接收的帧来自哪个局域网。

2.2 HSR 监测帧

一个完整的 HSR 监测帧如图 2 所示。

HSR_DestinationAddress		SourceAddress		VLAN tag		HSR_Ethertype		PathId	
LSDUsize		SeqNr	SupEthertype	SupPath	SupVersion	SupSequenceNumber			
TLV1.Type		TLV1.Length	MacAddress	TLV2.Type		PRP_TLV2.Length			
RedBoxMacAddress			TLV0.Type		TLV0.Length		Padding		

图 2 HSR 监测帧示意图

Fig.2 Schematic diagram of HSR detecting frame

此帧的结构和 PRP 监测帧结构基本相同,其含义不再多述。当网络接收到第一个从任意环网接口过来的 HSR 监测帧时,接收节点在节点表中创建一个结构体入口,记录接收到的消息体指明的源 MAC 地址,而不是帧中的源地址,同时注明这个帧来自哪个端口。

3 基于监测帧的冗余网络监视系统

PRP、HSR 冗余网络在智能变电站的具体实施过程中,其组网方式灵活多变,既可以采用 PRP 或者 HSR 单一方式实现冗余,又可以二者同时使用。

3.1 冗余网络监视系统框架

图 3 所示的数字化变电站冗余网络结构,由站控层 PRP 网络、过程层 PRP 网络、间隔 HSR 环网组成^[15]。二次设备可通过站控层网络、过程层网络将 PRP/HSR 节点统计信息(包括应用层链路告警以及冗余网络任一网络异常告警等),发送到网络运维管理单元,由网络运维管理单元完成运维预警提示任务^[16]。网络运维管理单元是一个逻辑单元,可由多个物理设备组合完成管理功能。冗余网络监视系统示意如图 3 所示。

3.2 网络运维监视系统信息处理流程

由于每个 PRP 或者 HSR 节点都会周期性地发送 PRP/HSR 监测帧,那么每个节点都应该接收到相应的监测帧^[17]。如果在特定的时间内,某个节点的监测帧没有接收到,就可以认为该节点和本节点失去联系,节点表(NotesTable)中该节点信息将会被删除;若能再次接收到,那么在节点表中将会再次建立该节点的信息。同时,冗余监测还要根据节点表信息和监测帧调整全网节点冗余状态。当某一节点的 NotesTable 表中的一个节点信息被删除,监视系统检测到该变化,结合该删除节点发送监测帧的接收情况,判断出具体的故障位置,给出通信中断位置,监视系统判别出故障点并给出故障点显示,帮助用户排除故障。节点冗余监测的具体实现方法如图 4 所示。

最后,每个节点将各自节点表所包含的统计信息分别发送给网络运维单元,网络运维单元根据这些统计信息以及全网节点冗余状态,并结合智能站 SCD 网络模型^[18],统一实现网络监视与智能预警。

由此可见,冗余网络监视系统主要由三部分组成。

(1) PRP/HSR 节点周期性的发送监测帧报文,并且在接收到监测帧后完成 NodesTable 更新以及信息统计工作,同时完成节点冗余状态的调整。

(2) 智能站 GOOSE 网络把 PRP/HSR 节点 NodesTable 统计信息上送到网络运维管理单元。

(3) 网络运维管理单元获取所有 PRP/HSR 节点统计信息、全网节点冗余状态信息,并结合 SCD 与网络建模,提供网络运维管理智能预警信息。

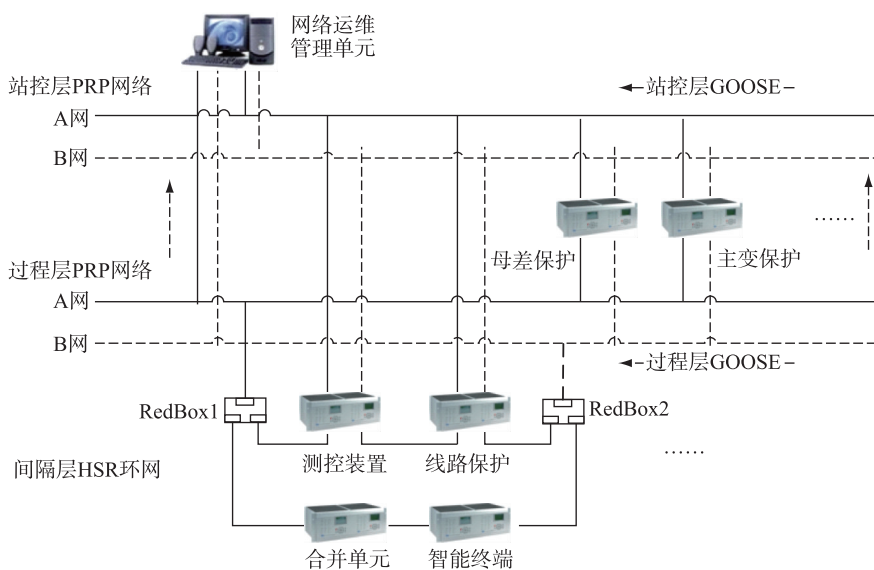


图3 冗余网络监视系统

Fig.3 Schematic diagram of redundancy network supervision system

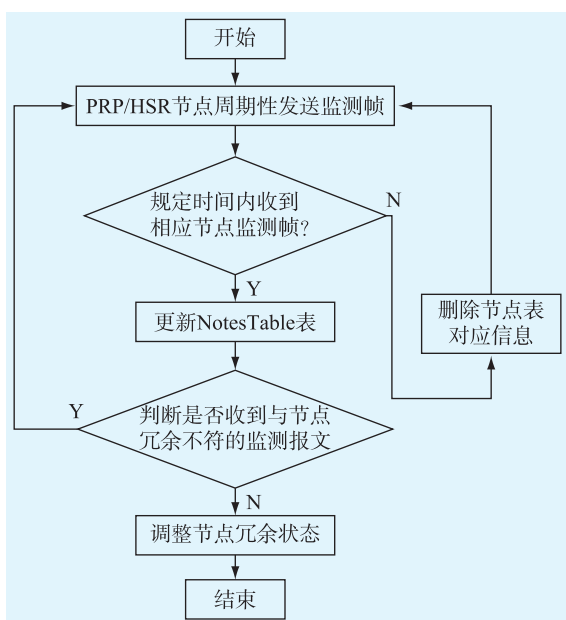


图4 冗余监测流程

Fig.4 Schematic diagram of redundancy detecting

3.3 基于监测帧的冗余网络监视系统的优点

综上所述,基于监测帧的冗余网络监视该系统具有如下优点。

(1) 源 MAC 免配置:源 MAC 为自主学习过程,完全依赖 SCD 模型,并可自动适应 PRP/HSR 板卡更换带来的源 MAC 变化带来的问题。

(2) 可针对装置预警:依据源 MAC 的自主学习找到对应的二次设备,并直接根据二次设备的名称(SCD 文件的描述)直接预警。

(3) 可评估网络运行状态:网络运维管理单元获取了所有二次设备的 NodesTable 核心信息,甚至

可通过大数据统计做网络运行状态评估。

4 结语

PRP 和 HSR 这两种冗余协议实现了零恢复时间的网络自愈,因此在智能站工程化应用中具有重要意义。但是由于 PRP 和 HSR 冗余对上层应用完全透明,因而在发生单一链路故障时,监控系统不容易发觉。本文在充分理解 PRP 和 HSR 冗余原理的基础上,提出了基于监测帧的冗余网络监视系统方案,首先搭建了一个 PRP/HSR 冗余网络监视系统框架,然后具体阐述了监测帧网络监视原理和流程,最后分析了该系统的优点,为智能站的冗余网络监视提供了一种切实可行的实施方案。

参考文献:

[1] IEC/SC 65C. IEC 62439 Industrial communication networks: high availability automation networks, part 3: Parallel Redundancy Protocol (PRP) and High availability Seamless Ring (HSR)[S]. 2nd ed. IEC,2010.

[2] 李俊刚, 宋小会, 狄军峰, 等. 基于 IEC 62439-3 的智能变电站通信网络冗余设计[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(10): 70-73.

LI Jungang, SONG Xiaohui, DI Junfeng, et al. Communication network redundancy design of intelligent substation based on IEC 62439-3 [J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(10): 70-73.

[3] 何钟杰, 黄险峰, 崔春, 等. 几种智能变电站冗余通信协议分析比较[J]. 广东电力, 2011, 24, (4): 5-8.

HE Zhongjie, HUANG Xianfeng, CUI Chun, et al. Analysis and comparison of redundancy communication protocols for smart substation [J]. Guangdong Electric Power, 2011, 24(4):5-8.

- [4] 杨贵,彭安,李莉. 区域保护控制系统网络拓扑研究[J]. 江苏电机工程, 2016, 35(3): 1-4,9.
YANG Gui, PENG An, LI Li. Research on the network topology of regional protection control system[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2016, 35(3): 1-4,9.
- [5] 张宪军,刘颖,余华武,等. IEC 62439 PRP 冗余丢弃算法设计[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(21): 110-115.
ZHANG Xianjun, LIU Ying, YU Huawu, et al. IEC 62439 PRP redundancy discard algorithm design[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(21): 110-115.
- [6] 赵书耀,秦雷鸣,刘玉红,等. 基于 PRP 和 HSR 技术的数字化变电站设计[J]. 南方电网技术, 2016, 10(6): 38-43.
ZHAO Shuyao, QIN Leiming, LIU Yuhong, et al. Digital substation design with PRP and HSR technologies[J]. Southern Power System Technology, 2016, 10(6): 38-43.
- [7] 李忠安,迟翔,张惠刚,等. 基于虚拟网桥原理的 PRP/HSR 网络接口设计[J]. 智能电网, 2016, 4(6): 582-586.
LI Zhong'an, CHI Xiang, ZHANG Huigang, et al. Design of PRP/HSR network interface based on virtual bridge[J]. Smart Grid, 2016, 4(6): 582-586.
- [8] 樊陈,倪益民,窦仁晖,等. 智能变电站一体化监控系统有关规范解读[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(19): 1-5.
FAN Chen, NI Yimin, DOU Renhui, et al. Interpretation of relevant specifications of integrated supervision and control system in smart substations[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(19): 1-5.
- [9] 李伟,张海梁,汪红利. 一种智能变电站监控培训系统的开发应用[J]. 华东电力, 2014, 42(11): 2416-2418.
LI Wei, ZHANG Hailiang, WANG Hongli. Development and application of intelligent substation monitor training system[J]. East China Electric Power, 2014, 42(11): 2416-2418.
- [10] 张颖,曾翔,文明,等. 数字化变电站通信冗余方案的改进及可靠性分析[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(5): 124-128.
ZHANG Ying, ZENG Xiang, WEN Ming, et al. Improvement of redundant communication in digital substation and its reliability analysis[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(5): 124-128.
- [11] 胡道徐,李广华. IEC 61850 通信冗余实施方案[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(8): 100-104.
HU Daoxu, LI Guanghua. Application of redundant communication using IEC 61850[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(8): 100-104.
- [12] 笃峻,李皓,胡绍谦. 基于 IEC 61850 标准的变电站站控层双网通信的实现[J]. 江苏电机工程, 2010, 29(1): 7-11.
DU Jun, LI Hao, HU Shaoqian. Communication in station level dual-network based on IEC 61850[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2010, 29(1): 7-11.
- [13] 莫峻,谭建成. 基于并行冗余协议的高可靠性过程总线通信研究[J]. 电工技术学报, 2012, 27(4): 263-268.
MO Jun, TAN Jiancheng. Highly reliable process bus communication parallel based on redundancy protocol[J]. Transactions of China Electro Technical Society, 2012, 27(4): 263-268.
- [14] 迟翔. 基于 Netfilter 框架的 IEC62439-3 实现方案[J]. 智能电网, 2016, 4(2): 213-216.
CHI Xiang. Implementation scheme of IEC62439-3 based on netfilter framework[J]. Smart Grid, 2016, 4(2): 213-216.
- [15] 张宪军,刘颖,余华武,等. 智能变电站 MMS、GOOSE、SV 三网合一[J]. 智能电网, 2015, 43(22): 120-126.
ZHANG Xianjun, LIU Ying, YU Huawu, et al. Overload isolation and control strategy of smart substation MMS, GOOSE and SV three-in-one communication network[J]. Smart Grid, 2015, 43(22): 120-126.
- [16] 李俊刚,张爱民,宋小会,等. 并行冗余协议在智能变电站网络的应用[J]. 南方电网技术, 2013, 7(4): 92-96.
LI Jungang, ZHANG Aimin, SONG Xiaohui, et al. The application of parallel redundancy protocol in smart substation network[J]. Southern Power System Technology, 2013, 7(4): 92-96.
- [17] 马凯,刘俊红,侯艾君,等. 智能变电站信息一体化平台高级应用[J]. 南方电网技术, 2016, 10(1): 42-48.
MA Kai, LIU Junhong, HOU Aijun, et al. Advanced application of integrative information platform for smart substation[J]. Southern Power System Technology, 2016, 10(1): 42-48.
- [18] 文继锋,盛海华,周强,等. 智能变电站继电保护在线监测系统设计与应用[J]. 江苏电机工程, 2015, 34(1): 21-24,29.
WEN Jifeng, SHENG Haihua, ZHOU Qiang, et al. Design and application of relay protection on-line monitoring system in the intelligent substation[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2015, 34(1): 21-24,29.

作者简介:



高红亮

高红亮(1982—),男,黑龙江齐齐哈尔人,工程师,从事电力自动化研究与技术管理工作(gaohl@csg.cn);

陶文伟(1973—),男,浙江临海人,教授级高级工程师,从事电力自动化、网络安全研究与技术管理工作(taoww@csg.cn);

唐孝舟(1986—),男,湖北黄冈人,工程师,从事变电站自动化监控、新能源发电相关

研究工作(tangxz@nrec.com);

张喜铭(1980—),男,吉林延吉人,高级工程师,从事电力自动化研究与技术管理工作(zhangxm@csg.cn);

李广华(1977—),男,河北冀州人,高级工程师,从事变电站通信、网络安全领域的研发工作(ligh@nrec.com);

杨贵(1976—),男,吉林柳河人,高级工程师,从事电力系统通信、传输技术等领域的研发工作(yangg@nrec.com)。

The Implementation of PRP and HSR Redundancy Network Supervision System Based on Detecting Frame

GAO Hongliang¹, TAO Wenwei¹, TANG Xiaozhou², ZHANG Ximing¹, LI Guanghua², YANG Gui²
(1. Power Dispatching and Control Center of China Southern Power Grid, Guangzhou, 510663, China;
2. Nanjing NARI-relays Electric Co. Ltd., Nanjing, 211100, China)

Abstract: IEC62439-3 describes parallel redundancy protocol (PRP) and high availability seamless redundancy (HSR) in detail. However, these redundancy protocols are transparent to upper layer, supervision system cannot identify the single link failure. In order to resolve this problem and achieve good maintenance experience of PRP and HSR redundant network, the implementation process of PRP and HSR redundancy is analyzed, the action principle of detecting frame is researched, and a redundancy network supervision system based on detecting frame is built. The specific redundancy detecting principle and implementation method are put forward, and the advantages of this system are summarized and analyzed, which provides an effective solution for the redundancy network supervision of smart substation.

Key words: PRP; HSR; detecting frame; redundancy network; supervision system; smart substation

(编辑 刘晓燕)

(上接第 64 页)

Influence of Commutation Failure to Valve Temperature and Protection Fixed Value Setting

WANG Yongping, YANG Jianming, ZHAO Wenqiang, LI Haiying
(NR Electric Co., Ltd, Nanjing 211102, China)

Abstract: This paper summarizes the causes of commutation failure and points out that two main causes of commutation failure are AC system ground fault and fire pulse missing. The mathematic model of the junction temperature of thyristor valve is collated and the influence of the single-phase ground fault, the two-phase ground fault, the three-phase ground fault and the fire pulse missing of the converter on the junction temperature are simulated respectively. And it is concluded that the fire pulse missing that has the greatest influence on the junction temperature. Based on the consideration of those influences, it's suggested that the temperature characteristic of the valve needs to be taken into account when the commutation failure protection settings are fixed.

Key words: commutation failure; AC system ground fault; fire pulse missing; junction temperature; commutation failure protection

(编辑 徐林菊)