

# PTN 网络保护技术在电力系统中的应用研究

魏承志, 赵曼勇, 金鑫, 黄维芳, 杨颖安  
(南方电网责任有限公司 电力调度控制中心, 广州 510623)

**摘要:** PTN 网络结合了 SDH 和传统以太网的优点, 可以满足智能电网对时间同步、组播、QOS 等通信需求。分析了广域继电保护新业务的时延需求、通道恢复时延同路径需求和 PTN 常用的保护技术, 研究了适用于满足广域继电保护业务的网络保护技术。最后通过搭建的仿真测试环境检验了 Wrapping 保护和 1:1 LSP 保护对 PTN 网络时延的影响。仿真结果表明 Wrapping 保护和 1:1 LSP 保护可以满足广域继电保护业务对网络时延的要求。

**关键词:** PTN 网络; 广域继电保护; Wrapping 保护; 1:1 LSP 保护

中图分类号: TN929.5

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2015)02-0115-04

## Design and Application of Measurement System with Failure Analysis

WEI Chengzhi, ZHAO Manyong, JIN Xin, HUANG Weifang, YANG Yinan

(CSG Power Dispatching and Control Center, China Southern Power Grid Co., Ltd., Guangzhou 510623, China)

**Abstract:** PTN network combines the advantages of SDH and traditional Ethernet. It can satisfy the smart grid for time synchronization, multicast, QOS and so on. This paper analyzes the time delay requirements of wide-area protection, the requirements of communication channel reconvery time delay with the same path and PTN protection technology. And we study the network protection technologies suit to the PTN networks carrying the wide-area protection. Finally, the time delay of Wrapping protection and 1:1 LSP protection are verified by simulation testing. The simulation results are shown that Wrapping protection and 1:1 LSP protection can meet the requirements of the wide-area relay protection in the PTN network.

**Key words:** PTN network; wide-area protection; wrapping protection; 1:1 LSP protection

## 1 前言

通信、计算机、自动化等技术发展并与传统电力技术有机融合, 极大地提升了电网的智能化水平, 电网逐渐呈现出自愈、兼容、集成、优化等新特征。随着分布式电源接入、微网运行、网络重构等智能电网新技术和新业务的不断应用, 对继电保护、安控和紧急控制的要求也越来越高。目前, 电力系统中的各个子系统是相互独立的, 系统从数据采集、处理和控制等环节都是分别执行的, 系统内部及系统之间仅通过有限的接点进行信息交互。目前各子系统并未完全达到系统安全稳定的性能要求, 甚至存在配合问题及安全隐患。通过基于广域

数据平台实现实时监控和分析, 提供电网当前运行状态评估。在电网发生故障或者运行方式发生变化等情况下, 能够通过基于广域数据平台的实时控制决策, 利用电网的多点测量数据和运行方式进行精确故障定位和有选择性的最小范围快速隔离故障, 达到电网的全过程协同优化控制。因此, 目前业界对广域保护控制系统的研究得到了越来越多的关注<sup>[1]</sup>。

随着通信新技术的不断发展也为广域控制保护系统构建出多点交互式通信、高带宽、低延时和接入方便的通信网络提供了可能<sup>[2-3]</sup>。

广域控制保护系统的主站具有决策功能, 主站要通过通信系统获取各终端设备的信息, 做出决策后再由通信系统将控制命令下达达到子站的终端 IED, 由终端 IED 执行决策命令。广域控制保护系统结构如图 1 所示。信息交换的延时就成为系统性能的重要因素, 特别当承载广域保护业务的通信网

收稿日期: 2014-12-11

作者简介: 魏承志(1984), 男, 福建三明人, 工程师, 硕士, 主要从事电网控制保护新技术研究的工作(e-mail) weicz@csgrid.cn。

络出现故障时,网络会进行保护倒换,会造成网络的延时和业务收发路径不一致。本文分析了广域控制保护系统对网络时延的要求,讨论了PTN网络的各种保护的特点以及承载广域保护的适用性,重点分析了Wrapping保护和1:1 LSP保护倒换对网络时延的影响。

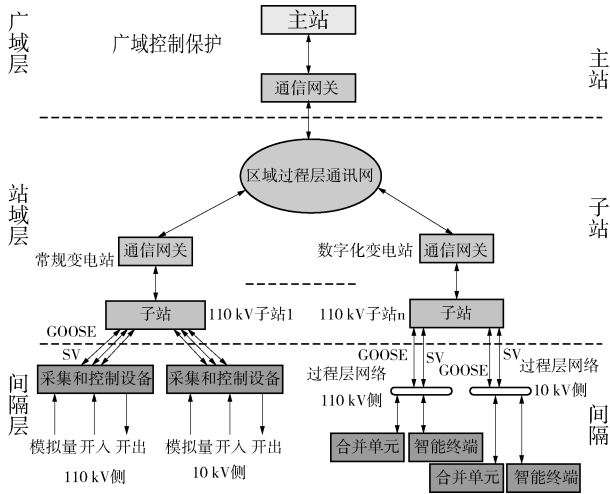


图1 广域保护系统结构图

Fig. 1 Diagram of Wide-Area Protection System

## 2 广域保护业务快速恢复要求分析

### 2.1 业务恢复速度要求

当网络故障时,通道自愈切换会造成通信数据丢失(单向或双向),广域控制保护装置判断通道故障后,闭锁装置,直到通道恢复,检测后解除闭锁。根据部分厂家调研结果,目前广域保护通道错误判别条件要求40 ms发1帧错误即导致装置闭锁,即网络保护切换产生的时延要求40 ms。

### 2.2 通道恢复时延同路径要求

根据广域控制保护系统功能与实现机制的不同,通道恢复时延同路径有不同要求:

1)对于包含电流差动保护功能,并且装置之间采样时间采用报文“乒乓”原理计算(通道时延测算原理如下图2,计算方法见式(1)。为正确计算时延,通信通道在自愈时要求保证收发时延一致,收发同路径。

$$T_d = \frac{(tsr - tss) - (tms - tmr)}{2} \quad (1)$$

2)对于包含电流差动保护功能,并且装置之间采样时间采用发端报文增加时间标签,收端读取时标并采样比对方式。无通道收发时延一致要求,但需要保

证两端装置对时严格一致(相相差 $<4^\circ$ ),否则对时标签错误,采样值比错误,可能造成装置误动。

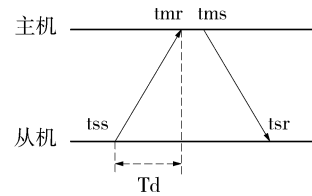


图2 通道延时测算原理图

Fig. 2 Delay Measurement of Link Schematics

3)对于不包含电流差动保护功能,仅实现稳控(切机切负荷)、备自投、重合闸等功能,通道收发时延不一致不影响业务,通道自愈无特殊要求。

由于广域保护业务采用发端报文增加时间标签方式对时,无需通道恢复时延同路径。但是要求保护切换时延小于40 ms。

## 3 PTN网络保护技术分析

目前,有可能承载广域控制保护业务的电力通信网络有SDH传输网、调度数据网和综合数据网。SDH传输网110 kV站点的带宽一般为155 Mbps~622 Mbps,35 kV站点带宽一般为155 Mbps,存在扩容困难和时间同步难的问题。调度数据网110 kV站点一般采用路由器2 Mbps双归接入,存在带宽小和时延大的问题。综合数据网110 kV站点一般采用千兆裸光纤以太网或者10 Mbps的SDH专线接入方式,根据电监会34号文,综合数据网不能承载生产控制类业务。因此,只有采用新的网络承载广域保护控制系统。

PTN作为一种新型网络,综合了传统以太网和SDH的优点,一方面,PTN是分组交换内核,能够进行高效的数据包交换;另一方面与SDH相似,PTN具备完善的保护和恢复能力<sup>[4]</sup>。

PTN的保护技术可分为网络级保护与设备级保护<sup>[5]</sup>。根据应用范围的差异,网络级保护可以分为网络内部组网保护和网络边缘互连保护。网络内部组网保护是指PTN网络内的组网保护技术,对于不同的网络层次,采取的保护技术和策略也有所差别。主要包含线性保护和环网保护<sup>[6]</sup>,线性保护主要包括1:1 LSP保护、1+1 LSP保护等,环网保护主要包括基于TMS层OAM中的APS协议的单环网保护为Steering(源操控)保护和Wrapping(环回)

保护,在不同的网络应用场景中,可能存在不同的保护机制混合应用的情况。网络边缘互连保护是指 PTN 网络与其他网络互连宜采用的保护技术,用于提升网络互连的安全性。LAG 保护主要应用于 PTN 网络与路由器的互连,LMSP 保护主要应用于 PTN 网络与 SDH 网络互连,TPS 保护主要应用于 PTN 网络与有 E1 需求的站点互连。

设备级保护就是对 PTN 设备的核心单元配置 1+1 的热备份保护<sup>[7]</sup>。核心层和汇聚层的 PTN 设备位置重要,一旦设备板卡故障对网络的影响面就非常广,因此在做设备配置时,设备核心单元应严格按照 1+1 热备份配置;接入层的紧凑型 PTN 设备,可能仅对电源模块做了 1+1 热备份,主控、交换和时钟单元集成在一块板卡上,不提供热备份,必要时可配置成双机热备份。

综上分析,PTN 的保护技术在承载广域保护业务时,建议按照如下要求配置:

1)对于环网保护,由于 Wrapping 保护可以抵御多次网络故障,并且对分布型业务模型下带宽利用率更高,而 Steering 保护会影响到较多网络节点,倒换协议比较复杂,在网络节点数较多时倒换时间无法保证达到 50 ms 的要求。因此,在电力系统中,环网保护建议采用 Wrapping 保护。

2)对于线性保护,从带宽利用率角度考虑,采用 1:1 LSP 保护方式有一半带宽可以传输低优先级业务,充分利用这一半带宽承载对低优先级业务,使得带宽的利用率达到最大。因此,在不影响重要业务的前提下,建议在组网时优先考虑 1:1 LSP 保护方式。

3)对于网络边缘互连保护,TPS 保护、LMSP 保护和 LAG 保护根据具体情况应用在不同场景。

4)对于设备级保护,在电力系统配置在核心层和汇聚层的 PTN 设备应严格按照 1+1 热备份配置,接入层的紧凑型 PTN 设备可配置成双机热备份。

## 4 仿真测试

### 4.1 环网保护测试

为检验 PTN 网络在发生 Wrapping 保护情况能否承载广域保护业务,我们搭建了 PTN 测试网络,测试组网图如图 3 所示。完成了如下配置:

1)通过网管平台配置 Wrapping 保护业务。

2)配置 PTN1—PTN3—PTN5 路径以太网专网业务 Eline-1001→5 和 Eline-1005→1。

3)Testcenter1 和 Testcenter3 相互发送数据报文。

4)在 PTN1 和 PTN3 之间模拟链路故障。

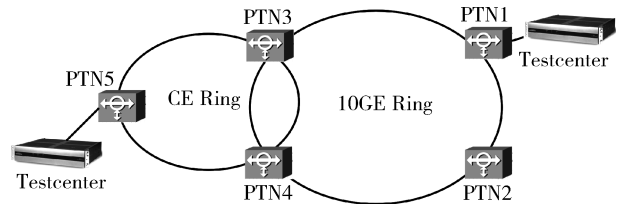


图 3 PTN 网络测试拓扑图

Fig. 3 The Test Topology of PTN Network

由于在 Testcenter1 中配置固定的发送频率为 100 us/帧,通过观察倒换前后的丢帧数可以计算倒换时延。如表 1 所示,Wrapping 保护实测倒换时间为 13.7 ms,能够满足广域保护业务的时延要求。

表 4 环网保护测试结果

Table 4 Test Results of Ring Protection

以太网 专网业 务名	发送 速率 /Mbps	接收 速率 /Mbps	丢帧 数/ Frames	平均 时延 /us	最小 时延 /us	最大 时延 (us)
Eline- 1001→5	123.4	123.4	137	67.93	62.54	81.72
Eline- 1005→1	123.4	123.4	0	67.84	62.89	84.31

### 4.2 1:1 LSP 保护测试

根据如图 3 所示的测试组网图。完成如下配置:

1)按照上图搭建测试组网。

2)配置 1:1 LSP 保护。

3)配置 PTN1—PTN3—PTN5 工作路径以太网专线业务,PTN1—PTN2—PTN4—PTN5 保护路径。

4)Testcenter1 发送业务到 Testcenter3。

5)在 PTN5 和 PTN3 间增加光纤衰减模拟故障。

图 4 是倒换前工作及保护路径网管截图,其中黄色实线是 PTN1—PTN3—PTN5 的工作路径。

模拟 PTN1—PTN3 之间链路故障,业务将切换到保护 tunnel 上,原保护 tunnel 转换成工作 tunnel,原来的工作 tunnel 同时发生重路由,形成新的保护 tunnel,链路故障后的 Tunnel 路径信息如图 5 所示:

如表 2 所示业务倒换时间为 23.82 ms/26.84 ms,能够满足广域保护业务小于 40 ms 的时延要求。

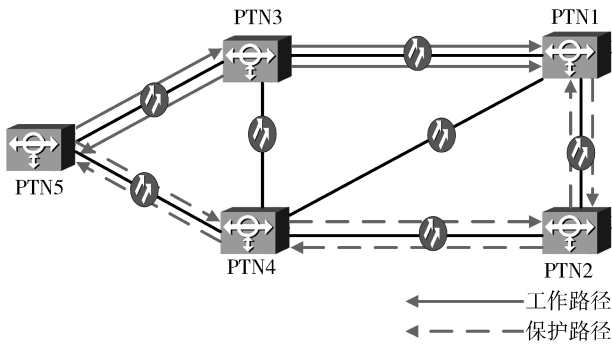


图 4 倒换前工作路径和保护路径

Fig. 4 Working and Protection Paths Before Switching Network

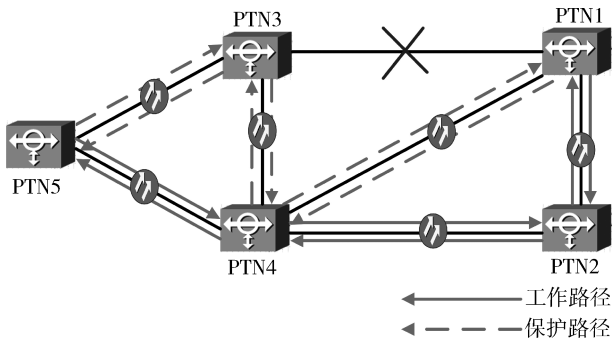


图 5 倒换后工作路径和保护路径

Fig. 5 Working and Protection Paths After Switching Network

表 2 1:1 LSP 保护测试结果

Table 2 Test Results of 1:1 Lsp Protection

以太网 专网业 务名	发送 速率/ Mbps	接收 速率/ Mbps	丢帧 数/ Frames	平均 时延 /us	最小 时延 /us	最大 时延 /us
Eline- 1001→5	896	896	2382	67.16	53.56	81.24
Eline- 1005→1	896	896	2684	68.82	53.93	85.84

## 5 结语

通过对多种 PTN 网络保护技术的分析, 本文发现 Wrapping 保护技术和 1:1 LSP 保护技术更适用于承载电力业务的 PTN 网络, 并通过仿真测试发现了 Wrapping 保护和 1:1 LSP 保护对网络时延的影响小于 40 ms, 可以满足广域继电保护业务对网络时延的要求。随着智能电网的不断发展, 新的电网业务也会不断出现, 对 PTN 网络的保护技术的要求也在变化和提

## 参考文献:

- [1] 薛禹胜, 雷兴, 薛峰, 等. 关于电力系统广域保护的评述 [J]. 高电压技术, 2012, 38(3): 513-519.  
XUE Yusheng, LEI Xing, XUE Feng, et al. Z. Y. Dong, G. Ledwich, Review on Wide Area Protection of Electric Power System [J]. High Voltage Engineering, 2012, 38(3): 513-519.
- [2] 田霖, 文安, 黄盛, 等. 广域保护控制系统通信网络需求分析 [J]. 电力系统通信, 2014, 12(6): 22-25.  
TIAN Lin, WEN An, HUANG Sheng, et al. Requirements for Communication Network of Wide-Area Protection Control System [J]. Telecommunications for Electric Power System, 2014, 12(6): 22-25.
- [3] 贾小铁, 雷学义, 吴云峰, 等. PTN 为智能电网提供理想的信息通信平台 [J]. 电力系统通信, 2010, 10(31): 20-23.  
JIA Xiaotie, LEI Xueyi, WU Yunfeng, et al. PTN Provides An Ideal Information and Communication Platform for Smart Grid [J]. Telecommunications for Electric Power System, 2010, 10(31): 20-23.
- [4] 冯宝, 李洋, 刘文贵. 电力通信网中 MSTP 向 PTN 平滑演进的研究 [J]. 电力系统通信, 2012, 10(33): 1-5.  
FENG Bao, LI Yang, LIU Wengui. Smooth Evolution From MSTP to PTN in Electric Power Communication System [J]. Telecommunications for Electric Power System, 2012, 10(33): 1-5.
- [5] 叶雯, 王磊, 李芳, 等. 分组传送网环网保护机制的探讨 [J]. 电信网技术, 2010, 10(2): 20-25.  
YE Wen, WANG Lei, LI Fang, et al. The Ring Protection Switching Mechanism of PTN [J]. Telecommunications Network Technology, 2010, 10(2): 20-25.
- [6] 迟柏洋, 孙磊, 强浩, 等. PTN 网络环网保护技术研究 [J]. 电信工程技术与标准化, 2014, 11(5): 11-14.  
CHI Boyang, SUN Lei, QIANG Hao, et al. Research on ring protection of PTN [J]. Telecom Engineering Technics and Standardization, 2014, 11(5): 11-14.
- [7] 刘锐, 李志强, 吕吉贺. 适应 LTE 承载的 PTN 保护方式探讨 [J]. 邮电设计技术, 2013, 11(8): 5-10.  
LIU Rui1, LI Zhiqiang1, LU Jihe. Discussion on PTN Transport Network Protection for LTE Transmission [J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2013, 11(8): 5-10.

(责任编辑 郑文棠)