

DOI: 10.7667/PSPC150441

PTN 技术传输继电保护业务若干问题的研究

高强, 尹永飞

(华北电力大学电子与通信工程系, 河北 保定 071003)

摘要: 随着 PTN 技术在电力通信网中的应用, 其传输继电保护业务的可行性需要深入研究。通过分析 PTN 的两种主流技术 PBT(Provider Backbone Transport)和 T-MPLS(Transport MPLS)的特点, 从通道备用方式、时延、TDM 仿真以及交换等多个方面论述了其传输继电保护业务的可行性。首先从接口速率、时延、误码、通道四个方面分析继电保护业务对性能指标的要求。结合相关时延公式, 重点研究传输继电保护业务的发送/接收时延和转发交换时延, 在技术选择、路由配置等方面给出了建议。从可靠性的角度研究线性保护倒换方式的选择, 并给出了建议方案。

关键词: PTN; 继电保护; 性能指标; T-MPLS; PBT

Study on some problems of PTN transmission in relay protection services

GAO Qiang, YIN Yongfei

(Department of Electronics and Communication Engineering, North China Electric Power University, Baoding 071003, China)

Abstract: With the application of PTN in telecommunication networks, the feasibilities need to be studied much deeper about PTN transmitting relay protection services. In this paper, the characters of provider backbone transport (PBT) and transport MPLS (T-MPLS) which are the two key technologies of PTN are analyzed. By the analysis, the feasibilities about PTN transmitting relay protection services are discussed in the aspects of the standby LSP, time delay, TDM simulations, exchanging and so on. Firstly, the performance indexes of relay protection services are analyzed in four aspects —— interface rate, time delay, bit error and channel. Secondly, based on the time delay formulas, the study is focused on the sending/receiving delay and the forwarding and switching delay about PTN transmitting relay protection services. Some recommendations such as technology choice and routing configuration are given. Finally, how to choose linear protection switch is studied from the reliability standpoint. Related suggestion and scheme are given.

Key words: PTN; relay protection; performance indexes; T-MPLS; PBT

0 引言

电力通信网作为行业内的专用通信网, 需要传送大量的电力生产、管理和调度信息。随着国家电网三集五大体系建设和构建统一坚强智能电网的全面展开, 电力业务 IP 化、宽带化的发展趋势日益明显, 传统的同步数字传输(SDH)体系已不能满足 IP 业务网络化、扁平化的发展需求^[1-3]。因此, 各地方电网纷纷推出 PTN 组网方案, 对电力通信网进行改造。

PTN 拥有全业务承载等诸多优势, 文献[4]指出, 电力通信网络的发展趋势是逐步由 SDH/MSTP 向 SDH 与 PTN 混合组网演进, 并最终形成 PTN 独

立组网; 文献[5]指出 PTN 可以实现针对每一业务流的 QoS 保证, 包括传统语音业务、线路继电保护和安全自动装置数据业务等。目前 PTN 技术在电力通信网中的应用仍然较为局限, 在承载 I、II 区业务方面的研究很少^[6], 特别是在对实时性要求较高的继电保护领域, 还没有得到单独应用, 主管部门暂不允许 PTN 传输继电保护业务。文献[7]针对 PTN 的应用进行了分析, 实际测试了时延的大小, 对于 PTN 支持继电保护业务的若干问题, 如协议、TDM 仿真实现、时延和通道保护等问题还需要深入研究。

本文结合现有技术标准, 分析继电保护对性能指标的各项要求。根据各项性能指标, 并结合 PTN 的具体技术特点, 从通道备用方式、时延、TDM 仿

真方法以及交换等多个方面对 PTN 传输继电保护业务的若干问题进行研究。通过以上分析, 研究 PTN 在传输继电保护业务方面的可行性, 并对 PTN 传输继电保护业务提出建议。为今后 PTN 技术在继电保护领域的应用作参考。

1 PTN 技术协议的概述

PTN 技术代表了业务承载技术的发展趋势, 集成了 SDH/MSTP 与 MSTP/以太网的优点, 同时又提供 QoS、OAM、时钟和保护等特性。目前, PTN 的主流实现技术主要有 PBT 和 T-MPLS 两种。

1.1 PBT 技术

PBT 是在 IEEE802.1ah PBB(MAC in MAC)的基础上进行的扩展。简单来说 PBT=Mac in Mac-L2 Complexity +OAM +保护倒换(PS)^[8]。

PBT 的主要特征是关闭了 MAC 地址学习、广播、生成树协议等传统以太网功能, 转发信息不再靠泛洪和学习, 从而避免广播包的泛滥。PBT 具有面向连接的特征, 通过网络管理系统或控制协议进行连接配置, 并可以实现快速保护倒换、OAM、QoS、流量工程等运营级传送网络功能。PBT 建立在已有的以太网标准之上, 具有较好的兼容性和低成本特性。

1.2 T-MPLS 技术

T-MPLS 技术是从 IP/MPLS 发展而来, 基于 ITU-T G.805 的传输网络结构^[9]。简单来说 T-MPLS=MPLS-Most L3 Complexity +OAM +保护倒换(PS)。T-MPLS 是一种面向连接的分组传送技术, T-MPLS 在传送网络中将客户信号映射成 MPLS 帧, 利用 MPLS 机制(例如标签交换, 标签堆栈)进行转发, 采用集中的网络管理配置, 或基于 RFC3473 的 ASON/GMPLS 控制面, 将 2 个单向的 LSP 绑定为一个双向的 LSP, 提供双向连接。在 MPLS 中的 LSP 聚合增加了网络的可扩展性。

2 PTN 技术传输继电保护业务问题的研究

2.1 继电保护对性能指标的要求

继电保护系统需要满足一定的可靠性、选择性、速动性、灵敏性要求, 而这与继电保护的指标密切相关。不论是国内还是国际上, 都对继电保护的相关性能指标作了严格要求。下面就继电保护性能指标^[10-13]作逐条分析。

① 接口速率

保护设备与通信终端设备应采用 64 kb/s 同向接口或 2 048 kb/s 数字接口连接, 并优先采用 2 048 kb/s; 通信路由中间不能经 64 kb/s 转接。国际上提

出的 IEEE C37.94 标准规定, 信号码率为 2.048 Mb/s, 这意味着按照国际标准通信接口的速率需统一为 2.048 Mb/s。

② 时延

根据相关标准, 传输线路纵联保护信息的数字式通道传输时间应不大于 12 ms, 点对点的数字式通道传输时间应不大 5 ms; 任两台设备之间的数据传输路由不应超过 4 台交换机, 每台交换机固有时延应小于 10 μs。

③ 误码

根据相关标准, 用于继电保护的光纤通道应满足通道误码率 BER≤10⁻⁸。

④ 通道

通道倒换环、单向复用段倒换环可作为纵联距离、方向保护的信息传输通道, 但不能作为线路纵差保护的信息传输通道; 双向复用段倒换环可作为线路纵差保护的信息传输通道。对于线路纵差保护的复用通道具有自愈功能, 通道正常运行或切换后, 双向路由必须一致, 通道保护或恢复过程中双向路由不一致的时间应小于 25 ms。

现有继电保护系统大部分属于光传输系统, 如 PDH、SDH 等, PTN 技术可以直接架构在光传输系统之上, 因此利用现有传输系统就可实现 PTN 对继电保护业务的传输。下面从伪线仿真技术、转发交换、路由配置、保护方式等几个层面分析 PTN 技术传输继电保护业务的性能特点。

2.2 PTN 伪线仿真技术

继电保护业务要求较高的实时性, 属于典型的 TDM 业务。PTN 是利用端到端伪线仿真技术(PWE3)实现多业务(包括 TDM 业务)传送的。PWE3 的协议栈参考模型如图 1 所示。在 PTN 系统中, 最内层的电路层用于承载业务, 外层的通道层提供各业务专用伪线进行业务传送。

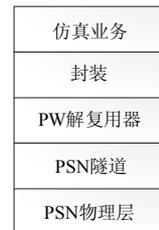


图 1 PWE3 协议栈参考模型

Fig. 1 PWE3 protocols stack reference model

2.2.1 PTN 电路仿真方式问题

TDM 伪线仿真业务的实现方式有两种, 非结构化仿真和结构化仿真。

非结构化伪线仿真是用 SAToP(RFC4553)协议^[14]实现的, SAToP 的分组格式如图 2。非结构化 TDM 伪线仿真采用非帧模式传送业务。对于 TDM 的非结构化仿真, 从 TDM 业务接口过来的数据被看作纯比特流, 不经任何解释, 透明的传送到 TDM 电路仿真业务接口。

PSN和 复用层首部	SAToP 封装首部	分组的TDM数据 (有效载荷)
---------------	---------------	--------------------

图 2 基本 SAToP 分组格式

Fig. 2 Basic SAToP packet format

结构化伪线仿真是用 CESoPSN(RFC5086)协议^[15]实现的, CESoPSN 包格式如图 3。结构化 TDM 伪线仿真需要识别 TDM 业务流中的帧格式, 要求 TDM 码流的切分必须在帧定界符的位置上, 可以通过识别帧结构进行信道信息的选择性传送。由于结构化仿真需要对帧进行识别, 造成结构化仿真产生较多的时延。

PSN和 复用层首部	CESoPSN 封装首部	分组的TDM数据 (有效载荷)
---------------	-----------------	--------------------

图 3 基本 CESoPSN 包格式

Fig. 3 Basic CESoPSN packet format

相比较而言, 非结构化伪线仿真实现简单, 且其在传输业务时不需识别数据流的帧格式, 所用传输延时较少; 而结构化仿真的优势在于可以进行时隙压缩, 在传送多时隙业务时具有明显优势。继电保护业务属于采用净通道传输的业务, 不需多时隙的传送, 另外继电保护业务的实时性要求高。因此, 传输继电保护业务时采用非结构化的 TDM 伪线仿真方式具有明显优势。

对于继电保护通道, 总时延 t 计算公式为

$$t = T_o + T_{ex} + T_{ts/tr}$$

式中: T_o 表示光纤时延; T_{ex} 表示中间节点设备转发交换时延; $T_{ts/tr}$ 表示终端设备的发送/接收时延。

在上式中, 光纤时延 T_o 较小, 中间节点设备转发交换时延 T_{ex} 主要是由 PTN 的两种主流技术 PBT、T-MPLS 决定的, 下文中会作详细讨论。此处只讨论电路仿真技术对终端设备的发送/接收时延 $T_{ts/tr}$ 的影响。

在 PTN 传输业务时, 往往需要对设备进行前期配置, 这其中包括两个重要时间量: 报文装载时间 T_l 和抖动缓冲时间 T_j 。这两个时间量也是影响 $T_{ts/tr}$ 的重要因素。

报文装载是在发送端完成的, 报文装载时间 T_l 主要包括相关报头的添加 T_k 和报文的发送时间 T_s

两部分。其中, T_k 往往很小, 报文的发送时间 T_s 对 T_l 起主要决定作用。 T_s 是由载荷长度决定的, 公式为

$$T_s = \frac{L_{load}}{V}$$

式中, L_{load} 表示载荷长度, 即包尺寸, 单位为字节; V 表示数据速率。

继电保护业务往往通过 E1 接口传送, 在 E1 系统中, $T_s = L_{load} / 32 * 0.125$ 。因此在继电保护系统中如何设置报文装载时间, 关键在于载荷长度 L_{load} 的确定。一般选取载荷长度使 T_s 在 1 ms 左右, 对于 E1 电路, 该长度为 256 字节。

抖动缓冲主要用于解决包排序及丢包的检测问题。抖动缓冲时间 T_j 与抖动缓冲器长度 L_j 和报文发送时间 T_s 有关, 具体公式为

$$T_j = L_j * T_s$$

T_s 已经在前面确定, 因此, 抖动缓冲时间的设置关键在于决定抖动缓冲器的长度。

综上, 如果用 PTN 传输继电保护业务, 要注意报文装载时间和抖动缓冲时间的配置, 而这两个量的配置关键在于载荷长度和抖动缓冲器的长度。根据有关资料, 非结构化报文装载时间一般在 1 ms, 结构化报文装载时间一般在 0.125~5 ms, 抖动缓冲时间一般大于 0.375 ms。根据继电保护业务的相关要求, 传输线路纵联保护信息的数字式通道传输时间应不大于 12 ms, 点对点的数字式通道传输时间应不大于 5 ms。有关资料表明 PTN 的传输时延主要是在封装和解封装的处理过程中产生的, 根据报文装载时间和抖动缓冲时间的相关数据, 可以判断非结构化的 TDM 伪线仿真能够满足继电保护业务传输时间要求。

2.2.2 封装

根据继电保护通道总时延的公式, 终端设备发送/接收时延的 $T_{ts/tr}$ 还与业务的封装有关。PTN 技术的封装形式是由相应的实现技术决定的。在 PBT 技术中, 采用的 Mac-in-Mac 封装格式, 其封装使用 60 bit 的目的 MAC 地址+VLAN 标签、24 bit 的业务标识标签; 而 T-MPLS 技术可以看作是基于 MPLS 标签的管道技术, 其封装仅用 20 bit 的标签标识转发路径和业务。根据两技术封装过程中使用标签头部的比特数可以判断, T-MPLS 技术在封装时间上具有明显优势。因此, 在继电保护系统中使用 T-MPLS 技术会适当减小 $T_{ts/tr}$ 。

2.3 PTN 网络转发交换问题

除 $T_{ts/tr}$ 外, 继电保护通道总时延的另一个重要组成部分是 T_{ex} , 即中间节点设备的转发交换时延。

PBT 和 T-MPLS 网络的转发交换方式完全不同。在 PBT 网络中,网络转发节点按照 B-DA+B-VID 标签进行包交换, B-DA+B-VID 在转发过程中不变;在 T-MPLS 网络中,经过中间设备时需进行标签交换,因此标签有所改变。

在中间节点设备的转发交换阶段, PBT 由于不需要作标签交换,节约了交换转发时间。这意味着在继电保护系统中,若使用 PBT 技术中间节点设备的转发交换时延较少,即 T_{ex} 数值较小。但是根据相关文献, PTN 的传输时延主要是在封装和解封装的处理过程中产生的,中间节点的转发处理时延非常小,通常只有几微秒。因此 PBT 的此优势在传输继电保护业务时并不明显。

2.4 PTN 路由配置问题

在继电保护系统中,继电保护装置通过测量通道双向传输时延的平均值得到通道时延。因此在继电保护系统中,特别是在有双向通道的线路纵差保护系统中,双向同路由显得尤为重要。PTN 技术支持静态路由分配,且现有 PTN 设备均可进行双向同路由配置,这保证了继电保护系统中时延计算的准确性。

PTN 的静态路由分配是由相关网络管理系统配置的。在 PBT 网络中,其路由必须预先配置,便于网络的管理;而 T-MPLS 网络既支持路由由静态配置,又支持利用动态的控制平面(GMPLS)建立路径。继电保护系统需要路径建立的准确性, PBT 与 T-MPLS 技术的静态路由由分配均保证了路由建立的准确, T-MPLS 虽支持动态路由分配,具有一定的灵活性,但是路由建立的准确性不能保证,对于继电保护业务来说,不能实施动态路由分配。

2.5 PTN 保护方式问题

在继电保护系统中,需要保证业务传输的可靠性,在出现系统故障时,应充分利用备用通道传输业务,尽量避免数据的丢失^[16]。因此,在继电保护系统中,保护倒换方式的选择非常重要。PTN 技术支持 1+1 和 1:1 两种线性保护倒换方式。

在 1+1 保护倒换方式下,业务在正常传输情况下经由工作通道和保护通道同时传送,如图 4。当出现故障时,受影响的连接方向倒换至保护通道,如图 5。1+1 的倒换类型是单向倒换。在 1:1 保护倒换方式下,被保护的业务由工作通道或保护通道传送,如图 6。当出现故障时,受影响和未受影响的连接方向均倒换至保护路径,如图 7。1:1 的倒换类型是双向倒换。

经过比较,在 1:1 保护方式下,业务在工作通道正常传送,当出现系统故障时,需要进行保护倒

换,而在这个过程中,势必会引起业务丢失。而在 1+1 保护方式下,业务经由工作通道、保护通道同时传送,当出现系统故障时,业务仍可经由另一条通道传送,保护倒换不会引起业务丢失。因此,在继电保护系统中,使用 1+1 保护方式将更能保证业务传输的可靠性。

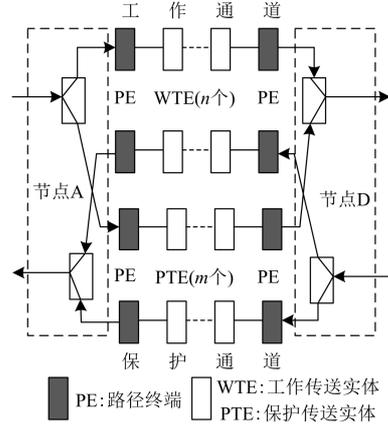


图 4 1+1 路径保护倒换结构

Fig. 4 1+1 protection switching structure

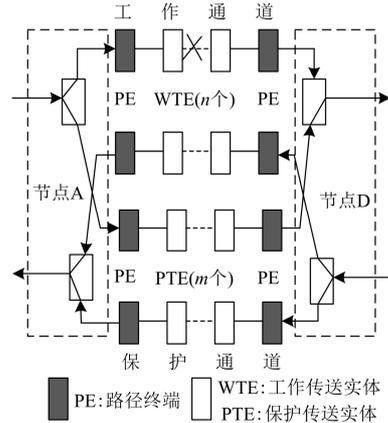


图 5 1+1 路径保护倒换结构(工作通道故障)

Fig. 5 1+1 protection switching structure (working path failure)

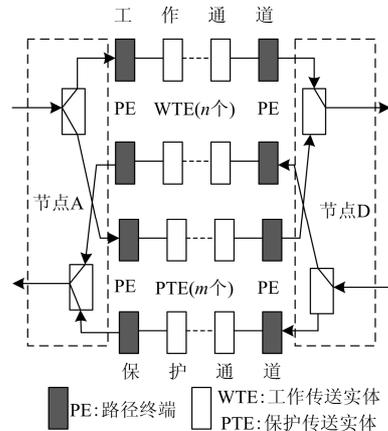


图 6 1:1 路径保护倒换结构

Fig. 6 1:1 protection switching structure

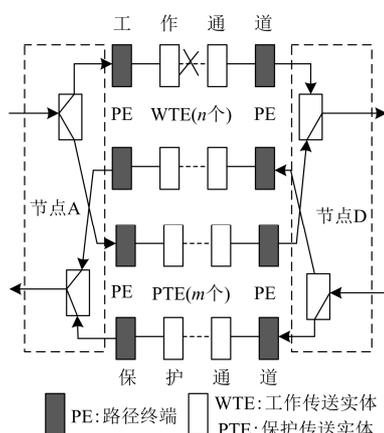


图 7 1:1 路径保护倒换(工作通道故障)

Fig. 7 1:1 protection switching structure (working path failure)

需要注意的是, 在 1+1 保护方式下, 业务经工作通道、保护通道同时传送。这意味着在设置传输路径时, 为避免由于通道传输延时不同造成的乱码问题, 应将工作通道和保护通道设置为相同的物理路径。因此, 在继电保护系统中, 不仅要求双向同路由, 也要求工作通道、保护通道的同路由。

另外, PBT 和 T-MPLS 的 1+1 保护倒换方式略有差异。在 T-MPLS 网络中, 保护倒换行为可以在段、通路、电路各个层面进行, 而 PBT 网络的保护倒换行为比较局限。因此, 选择 T-MPLS 技术传输继电保护业务, 在保护倒换方面将更具有灵活性。

更可靠的方式是传输继电保护业务时, 采用静态双向路由配置, 确保双向时延一致; 同时, 不进行任何通道保护, 而是采用建立两条时延接近一致的独立物理通道, 来实现 1+1 备用, 当一条通道断路时, 保护装置能立即检测到信号消失。这样, 能防止因发生通道保护切换时, 继电保护端设备不能察觉通道的变化而影响保护系统的可靠性。

4 结论

采用 PTN 网络传输继电保护业务时, 以光传输网络为基础, 网络可靠性高, 通过 TDM 伪线仿真技术可以实现对继电保护业务的传送。本文建议选择非结构化伪线仿真技术。现有 PTN 设备均支持同路由的静态配置, 保证了继电保护系统中, 特别是线路纵差保护系统中的双向同路由以及工作、保护路径同路由的要求。另外, 不采用 PTN 提供的 1+1 保护倒换, 而是建立物理独立的双通道更加可靠。

实现 PTN 两种主流技术——PBT 和 T-MPLS 进行对比分析, 可知 T-MPLS 技术较 PBT 技术具有明显的节约封装时延优势, 在终端设备引起的发送/

接收时延较少, 且 T-MPLS 技术的保护倒换行为为更加灵活。PBT 技术虽在转发交换时延方面具有一定的优势, 但是由于继电保护系统中间节点的转发处理时延非常小, 此优势并不明显。因此, 在实际继电保护应用中, 若使用 PTN 组网, 本文推荐使用 T-MPLS 技术。

参考文献

- [1] 薛金, 余江, 常俊, 等. 基于 PTN 技术的配电通信网隔离度评估研究[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(16): 60-65.
XUE Jin, YU Jiang, CHANG Jun, et al. Research on isolation degree for distribution communication network based on PTN technology[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(16): 60-65.
- [2] 汪强, 朱延章, 葛光胜, 等. 分组传送技术在智能配用电通信网的应用探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(9): 139-146.
WANG Qiang, ZHU Yanzhang, GE Guangsheng, et al. Application discussion of packet transfer technology for smart power distribution and utilization networks[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(9): 139-146.
- [3] 安灵旭, 陈中伟, 方华亮, 等. 考虑运行时间和温度的继电保护可靠性分析[J]. 电力系统及其自动化学报, 2014, 26(5): 7-11.
AN Lingxu, CHEN Zhongwei, FANG Hualiang, et al. Reliability analysis of protection system with conditions of operating time and operating temperature[J]. Proceedings of the CSU-EPSC, 2014, 26(5): 7-11.
- [4] 彭波涛. PTN 技术在电力通信网中的应用探讨[J]. 电力技术, 2010, 19(9): 20-21, 25.
PENG Botao. Research on application of PTN technology in electric power communication network[J]. Electric Power Technology, 2010, 19(9): 20-21, 25.
- [5] 杨焱, 盛磊, 孙禹. PTN 技术在河南电力传输网中的应用分析[J]. 电视技术, 2012, 38(9): 147-149.
YANG Yi, SHENG Lei, SUN Yu. Application analysis of PTN technology in Henan electric power transmission network[J]. Video Engineering, 2012, 38(9): 147-149.
- [6] 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, 31(213): 20-23.
JIA Xiaotie, LEI Xueyi, WU Yunfeng, et al. Power provides an idea information and communication platform for smart grid[J]. Telecommunications for Electric Power System, 2010, 31(213): 20-23.
- [7] 王晓义, 李大为. PTN 网络建设及其应用[M]. 北京:

- 人民邮电出版社, 2010: 44-47.
- [8] 黄晓庆, 唐剑锋, 徐荣, 等. PTN——IP 化分组传送[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2009: 51-57.
- [9] 龚倩, 徐荣, 李允博, 等. 分组传送网[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2009: 105-112.
- [10] IEEE Power Engineering Society. IEEE C37.94. IEEE standard for N times 64 kilobit per second optical fiber interfaces between teleprotection and multiplexer equipment[S]. New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, 2003.
- [11] 陈水耀, 刘宏君, 陈川. 智能变电站继电保护在线测试方案研究[J]. 电网与清洁能源, 2014, 30(9): 58-61.
CHEN Shuiyao, LIU Hongjun, CHEN Chuan. Research on relay online test in smart substations[J]. Power System and Clean Energy, 2014, 30(9): 58-61.
- [12] 国家电网公司. Q/GDW 441-2010 智能变电站继电保护技术规范[S]. 北京: 中国电力出版社, 2010.
State Grid Corporation of China. Q/GDW 441-2010 technical specifications of relaying protection for smart substation[S]. Beijing: China Electric Power Press, 2010.
- [13] 国家能源局. DL/T 364-2010 光纤通道传输保护信息通用技术条件[S]. 北京: 中国电力出版社, 2010.
National Energy Board. DL/T 364-2010 general specification of transmitting protection information on optical channel[S]. Beijing: China Electric Power Press, 2010.
- [14] VAINSHTEIN A, STEIN Y J. RFC 4553 structure-agnostic time division multiplexing (TDM) over packet (SAToP) [S]. IETF, 2006.
- [15] VAINSHTEIN A, SASSON I, METZ E, et al. RFC 5086 structure-aware time division multiplexed (TDM) circuit emulation service over packet switched network (CESoPSN)[S]. IETF, 2007.
- [16] 高会生, 王慧芳. 基于安全性的继电保护光纤迂回通道路径选择[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(14): 25-31.
GAO Huisheng, WANG Hui Fang. Path selection based on security measure for relay protection services of fiber circuitous channel[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(14): 25-31.

收稿日期: 2015-03-19; 修回日期: 2015-04-21

作者简介:

高 强 (1960-), 男, 博士, 教授, 研究方向为电力通信网; E-mail:627056049@qq.com

尹永飞 (1991-), 女, 通信作者, 硕士研究生, 研究方向为电力通信网. E-mail:1013508719@qq.com

(编辑 姜新丽)