

DOI: 10.7667/PSPC160079

## 基于 2 M 业务的电网保护恢复机制研究

李建明<sup>1</sup>, 刘媛<sup>1</sup>, 沈晗阳<sup>2</sup>, 姚庆<sup>3</sup>, 朱国威<sup>4</sup>, 王先培<sup>4</sup>

(1. 国网咸宁供电公司, 湖北 咸宁 437000; 2. 国网湖北省电力公司, 湖北 武汉 430077; 3. 中国电力工程  
顾问集团中南电力设计院有限公司, 湖北 武汉 430071; 4. 武汉大学电子信息学院, 湖北 武汉 430072)

**摘要:** 针对电网控制普遍采用 SNCP(subnetwork connection protection)自愈环保护方式所面临的问题, 提出了在电力通信光纤网络中引入 ASON(Automatically Switched Optical Network)智能技术。采用网状网组网方式提高网络生存能力, 实现端到端业务的快速配置和部署, 对网络路由进行动态的优化调整, 提高网络管理的智能化水平和网络资源利用率; 研究了保证自愈切换时, 电网控制业务恢复算法业务传送收发路径完全一致性的通道恢复路由重建协议, 实现了电网控制业务的自动多路由保护和应对多点故障的能力。咸宁市供电公司试运行结果表明, 所提算法能够有效增强通信网对电网控制业务的安全保障水平, 提高全网络的生存性和可靠性。

**关键词:** 自动交换光网络; 电网控制; 智能恢复; 控制业务

### Research on the protection mechanism of electric power grid based on 2 M business

LI Jianming<sup>1</sup>, LIU Yuan<sup>1</sup>, SHEN Hanyang<sup>2</sup>, YAO Qing<sup>3</sup>, ZHU Guowei<sup>4</sup>, WANG Xianpei<sup>4</sup>

(1. Hubei Xianning Power Supply Company, Xianning 437000, China; 2. State Grid Hubei Electric Power Company, Wuhan 430077, China; 3. Central Southern China Electric Power Design Institute, Wuhan 430071, China; 4. School of Electronic Information, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of the protection mechanism SNCP (subnetwork connection protection) in power grid, this paper introduces a new technology, named ASON (Automatically Switched Optical Network) which is constructed by mesh network model, to improve the viability of the power grid. This new technology can realize the peer-to-peer business and adjust the routers dynamically. In this way, the intelligence level and resource utilization rate of the power grid network are increased. It also studies the break-before-create protocols, which keep generating the alternate routes to protect the power system and deal with multipoint failures. Commissioning results in Xianning Power Supply Company verify that the algorithm presented in this paper is effective to improve the safety level and the survivability level of the whole power system.

This work is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 50677047) and Natural Science Foundation of Hubei Province (No. 2015CFB563).

**Key words:** ASON; power grid control; intelligent recovery; control business

## 0 引言

随着电力系统的快速发展, 作为电网重要支柱之一的电力系统通信网也加快了建设的步伐<sup>[1-2]</sup>。数字同步体系(Synchronous Digital Hierarchy, SDH)光纤通信技术作为一种可靠、先进、经济的通信技术, 得到了越来越广泛的应用。目前, 电力通信系统中的主干传输网广泛采用 SDH 系统组成的

环网或者链路分层结构, 构成了整个电力传输网络的传送平台<sup>[3-7]</sup>。

SDH 是一种综合信息传送网络, 可以有效地实现分插复用、线路传输及电路交换、网管系统接入等功能。SDH 传输系统在国际上有统一帧结构数字传输标准速率, 其高速复用信号能够实现低速支路信号的一次分插, 不仅简化了分插过程、交叉连接过程, 而且减少了硬件的开销。SDH 具有诸多优点, 如改善了网络的业务传送的透明性, 克服了准同步数字系列(Plesiochronous Digital Hierarchy, PDH)逐级分插复用的繁琐性, 提高了

**基金项目:** 国家自然科学基金(50677047); 湖北省自然科学基金(2015CFB563)

传输质量和传输速度且预留了丰富的开销比特(约占信号的 5%)用于网络运维和管理, 利用这些预留的比特开销, SDH 网络有足够的对网络的运行状况进行监控, 并且根据监控结果对网络进行重组和自愈, 极大地提高 SDH 网络的生存率和可靠性。

对于电力系统来说, 随着电网的规模增大, 电力通信业务的发展将更加突显出来, 势必将会影响到业务的继续顺利开展和电网通信网络的稳定安全。目前电力系统光纤传输网络主要存在如下问题: 网络拓扑单一, 可靠性不高; 带宽利用率低; 网络可扩展性差; 业务调度能力差; 保护方式单一; 设备厂家众多, 设备型号更是多种多样。自动交换光网络 (Automatically Switched Optical Network, ASON) 以在同一网络系统中实现无限带宽和高度智能两大目标, 推动传输网向业务网转变而被业内公认为下一代光传送网。

## 1 ASON 网络

根据国际电信联盟标准部 ITU-T 标准中, ASON 的定义: 通过能提供自动发现和动态连接建立功能的分布式(或部分分布式)控制平面, 在光传送网(Optical Transport Network, OTN)或 SDH 网络之上, 实现动态的、基于信令和策略驱动控制的一种网络。

近来, ASON 网在国内外得到了大量的关注、研究及应用。如美国 Sycamore 公司、AT&T 公司; 中国的华为、中兴、烽火等公司均已经有成熟的产品。这种新网络降低了成本、简化了网络结构层次, 提高了带宽利用率、使全网的恢复时间缩短至数百毫秒。相对电力通信系统而言, 已有相关学者研究了 ASON 网在其上的应用<sup>[8]</sup>, 同时我国部分电网公司也进行了一定程度的尝试, 如北京电力公司、天津电力公司等都已经开始根据自身状况组建 ASON 传输网络。而在第 29 届中国电网调度运行会上, ASON 技术的应用已确定为电网重要研究方向, 并已成为华北电网公司“十一五”期间的规划建设目标。可以说, 智能传输网络的建设已成为未来电力通信发展的主要趋势。

ASON 自动光交换网络在功能上由三个平面和三种接口组成<sup>[9]</sup>, 如图 1 所示。

三个平面包括控制平面, 传送平面和管理平面。其中, 控制平面主要通过建立、拆除和保持线路连接能力, 完成业务路径发现和资源发现, 实现网络业务的快速恢复; 传送平面是自动交换光网络设备的基础, 其配合控制平面完成业务和邻居的自

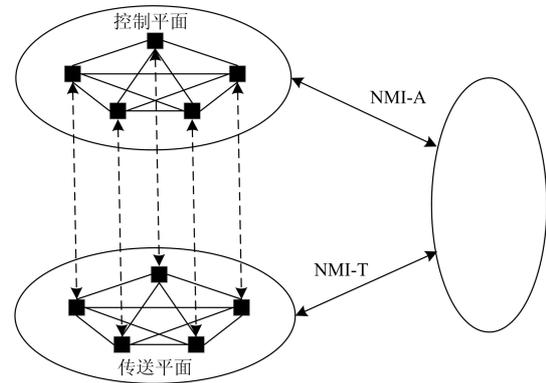


图 1 ASON 接口之间的关系

Fig. 1 Interface relation of ASON

动发现能力、传送链路和网元的状态通告能力、信号监控和故障检测能力、光层的故障保护恢复能力以及路径的动态配置和拆除能力; 管理平面重点解决如何灵活、准确、快捷地通过网管平面查询、修改与控制平面相关的链路各种参数以及如何建立报表机制和如何将网络规划、优化工具和 ASON 节点设备实际的路由算法、网络实际状态有机地结合起来, 使得整个网络的具有更好的性能。

ASON 三种接口指的是 CCI、NMI-A 和 NMI-T。在 ASON 体系结构中, 控制平面和传送平面之间通过 CCI 连接; 管理平面通过 NMI-A 和 NMI-T 分别与控制平面及传送平面连接; 三个平面通过三个接口进行信息交互。其中, CCI 传送连接控制信息, 建立光交换机端口之间的连接; NMI-A 主要传送相应的网络管理信息, 主要是对路由、信令和链路管理功能模块进行监视; NMI-T 主要完成基本的配置管理、性能管理及故障管理。

针对电网控制业务普遍采用 SNCP 自愈环保护方式所面临的问题, 本文研究了 ASON 智能技术在电力通信光纤网络中的应用。主要研究了保证自愈切换时的电网控制业务恢复算法和业务传送收发路径完全一致性的通道恢复路由拆建协议, 实现了电网控制业务的自动多路由保护和应对多点故障的能力, 增强了通信对电网控制业务的安全保障水平。

## 2 电网控制业务保护机制算法

### 2.1 智能保护恢复机制

目前, 已有诸多文献从 ASON 的路由策略、恢复机制等方面进行了研究。如文献[10]提出了一种基于 OSPF 的 ASON 路由实现方案, 用于在全网分发波长和网络拓扑信息, 实现了拓扑的自动发现和路由信息的分发; 文献[11]提出了 ASON 中一种新的资源预留方式——单波长预留 BRP 方式, 可满足

较低的控制带宽开销和较短的业务建立时间下，能较有效地利用网络资源，并使得业务阻塞率较低；文献[12]提出一种适用于智能光网络中基于冲突避免算法的通道恢复机制，以避免资源冲突引起的恢复操作失败；文献[13]提出了一种高效的安全光路建立协议，以减少自动交换光网络光路建立过程中存在的安全威胁；文献[14]提出了一种ASON的多条件约束的动态组播路由算法，以获得更好的连接阻塞性能和更低的综合成本。但是考虑到电网的实际工作属性，根据电网(DL/T 364-2010)标准所规定的光纤差动保护业务通信时延的规定：用于继电保护的通信通道单项时延应不大于 10 ms；业务倒换时间，对于通道保护方式，要求倒换时间、恢复时间小于 50 ms，对于复用段保护方式，要求倒换时间、恢复时间小于 100 ms 等要求。国内外光通信设备都无法提供基于 2 M 颗粒度业务的网络智能保护和恢复功能，使得智能电网重要控制业务无法抵抗连续的多点失效，而传统光网络的自愈环技术又容易引起差动继电保护设备的误动，因此需要研制满足电网控制业务特定需求的自动交换光网络网状网恢复技术，实现 2 M 颗粒度业务的智能控制和保护恢复。

服务于智能电网的自动交换光网络可实现分层的业务控制，以操作业务的颗粒度为划分依据分为：2 M 业务层和高阶业务层，2 M 的业务承载在 VC-4 颗粒的高阶隧道之上。具体的业务原理图如图 2 所示。

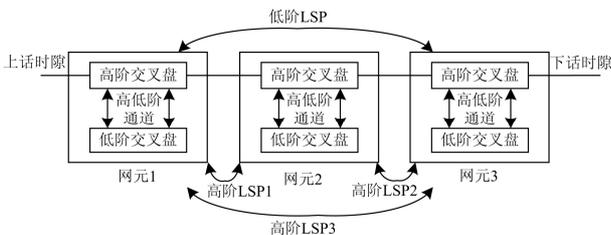


图 2 2 M 业务原理图

Fig. 2 Theory graph of 2 M business

本文在多层模型的路由协议的基础上，对现有的协议进行扩展开发，使其具有分层建立业务、获取不同层次的网络拓扑信息并将其泛洪的功能，以及根据泛洪的信息进行正确路由计算的功能。2 M 业务光通道建立时首先通过路由计算查找下层有无可用之链路资源，如果不存在，则触发 VC-4 层高阶通道的建立，高阶通道建立完成后以虚拟链路的形式上报路由进行泛洪，为 2 M 业务层提供虚拟的网络拓扑。2 M 业务光通道在虚拟网络拓扑层计算

完成路由后，在虚拟链路的边界点配置 2 M 颗粒度的业务交叉，具体的业务建立流程如图 3 所示。

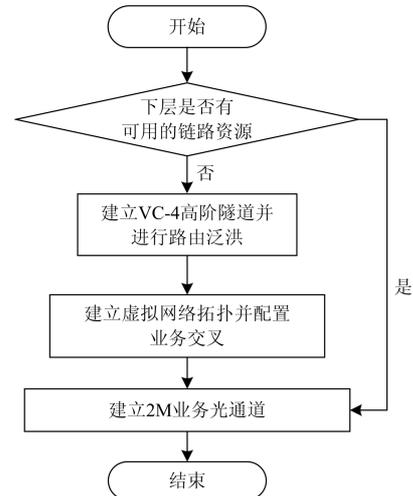


图 3 业务建立流程图

Fig. 3 Flow chart of business creation

分层的智能控制业务在网络故障时的保护恢复也分层进行，采取多种保护策略进行协调联动，具体的保护策略主要由以下三种组成。

策略一：先下层保护恢复后上层保护恢复。首先进行下层高阶隧道保护恢复，无法完成保护恢复时则通告上层的 2 M 电流差动保护业务光通道启动保护恢复流程。

策略二：先上层保护恢复后下层保护恢复。上层 2 M 电流差动保护业务光通道在收到故障告警后先进行保护恢复，无法完成保护恢复时再通告下层高阶隧道重新寻找路由恢复为上层服务的隧道。

策略三：单层保护恢复。收到故障告警后仅上层 2 M 电流差动保护业务光通道启动保护恢复流程，或仅下层高阶隧道启动保护恢复流程，分层保护恢复的联动策略可通过网管进行灵活配置管理。

2 M 颗粒度业务的智能控制使得电网出现大量光通道并发路由恢复的几率大大扩大，网络的拥塞和信令包的丢失往往造成光通道的恢复时间大为延迟，甚至失败。为了实现智能电力通信网的高可靠性，本文对 2 M 业务层光通道的保护恢复设置并行处理区，并行处理区内的业务优先启动恢复处理流程，区外业务排队等待，区内业务恢复完成后区外排队业务依次进入启动恢复流程，从而提高网络拥塞时的业务保护恢复性能。

### 2.2 先拆后建的 2 M 业务恢复算法

传统 SDH、ASON 通道保护方式，不能保证通道收发路径同时切换，当发生通道切换(包括单纤故障、网管切换、通道返回)时，可能会出现收发路径

不一致, 导致造成保护装置出现误动。运行实际表明, 差动保护通道收发路径不一致时延超过 5 ms 即会产生误动作。并且通道瞬间切换会产生时延突变, 可能造成装置使用旧时延计算采样时间或新旧通道路由不一致。

现有 ASON 技术没有考虑通道收发路径一致性问题, 没有考虑通道切换后时延突变问题, 不能直接用于差动保护业务。为此, 为了实现 2 M 业务电流差动保护光通道在保护恢复时收发光信号的路由一致性, 本文修改现有标准恢复算法, 提出一种“先拆后建”的新型业务恢复算法, 重新构建通道资源管理数据库存放电流差动保护光通道的相关数据, 扩展故障通告信令。

通道故障时, 光传输设备智能控制层的交叉管理模块首先完全释放故障通道所占据的网元交叉, 并将通道资源管理数据库里的交叉数据转移到交叉释放区, 继电保护设备闭锁通道。如果电流差动保护光通道不具有故障清除后返回原始路径的属性, 则智能控制层的通道管理模块在交叉释放完毕后将故障通道占据的网络资源释放, 并将交叉数据、网络资源数据从通道资源管理数据库中删除, 然后再建立新的恢复通道, 继电保护设备解除闭锁, 恢复工作。如果光通道具有返回属性, 则同样的, 通道故障修复后, 光传输设备先从智能控制层到数据层完全拆除恢复通道, 再返回原有的工作通道, 将其交叉数据从通道资源管理数据库的交叉释放区还原到交叉建立区, 其中先拆后建算法流程图如图 4 所示。

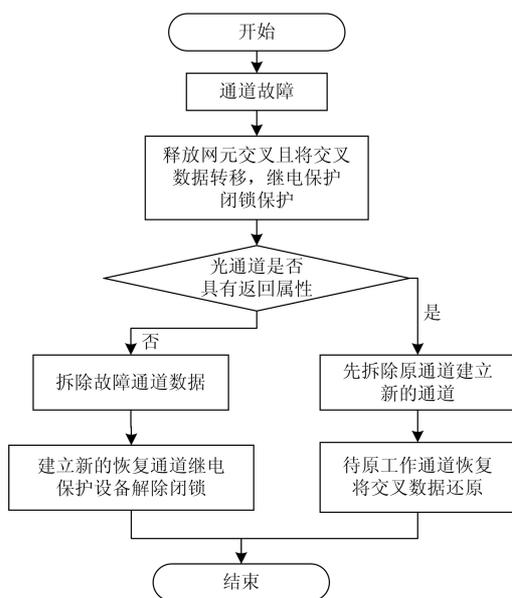


图 4 先拆后建算法流程图

Fig. 4 Flow chart of break-before-create algorithm

本文先拆后建算法不涉及差动保护设备的动作特性, 从电网控制业务通信时延上保障业务的收发路径一致性。该算法可保障整个业务切换过程不存在因两端点切换时间不一致造成的收发路径不一致问题, 可有效解决光纤差动保护通道自愈恢复问题。

### 3 现场实验

为验证文章所述方法的有效性, 本文采用烽火通信科技公司的自动交换光网络设备 (FonsWeaver780B), 于咸宁供电公司选择塘角、浮山、永安、孙田四个站点, 搭建了基于 ASON 网的智能控制保护平台, 并基于本文算法进行了功能和性能指标验证, 配置 2 M 颗粒度的网络自愈功能, 模拟 N-2 光缆故障, 验证抗多点失效智能保护和恢复功能。

为验证“先拆后建”算法的有效性, 系统搭建了图 5 的测试平台, 并采用加拿大 EXFO-FTB-1 光时域反射仪对时延进行记录分析, 其中 N1-N4 为咸宁供电公司的四个站点的相应的 ASON 设备。

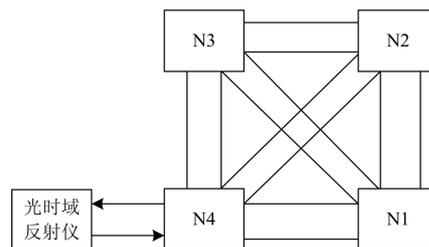


图 5 测试平台框图

Fig. 5 Block diagram of test platform

现场测试项目主要包括以下几个项目。

项目 1: 低阶业务各种保护策略, 高阶业务无保护。如低阶重路由保护; 低阶重路由带返回保护; 低阶无恢复 1+1 保护; 低阶带恢复 1+1 保护; 低阶恢复型 1+1 带返回保护。

项目 2: 低阶业务无保护, 高阶业务保护策略。如低阶无保护, 高阶重路由; 低阶无保护, 高阶无恢复 1+1 保护; 低阶无保护, 高阶恢复型 1+1 保护; 低阶无保护, 高阶永久 1+1 保护。

项目 3: 先拆后建恢复型带返回业务保护。

其中“恢复”是指网络可以通过选择空闲通道重新为故障线路建立连接, 在 ASON 网中, 主要利用其动态重路由的方法实现; “返回”是指当初始故障线路的故障清除后, 网络的控制业务重新路由到初始线路通道。

本文以第三种保护策略为例, 细述其测试流程

如下所述。

步骤 1: 建立一条 N4 到 N2 的 VC12 SPC 连接 (低阶重路由由带返回 HT 无保护业务);

步骤 2: 将 2 台时域分析仪串接在该小颗粒业务的 2 个单向线路信号中;

步骤 3: 断 N4 到 N2 之间的光纤, 业务进行重

路由恢复, 分别读取表 1 和表 2 的中断次数及恢复时间; 恢复光纤, 待业务返回, 读取表 1 和表 2 的中断次数及时间;

针对以上所述的测试项目及流程, 测试项目 1 的测试结果如表 1, 测试项目 2 的测试结果如表 2, 测试项目 3 的测试结果如表 3。

表 1 测试项目 1 的结果

Table 1 Result of test item 1

测试项目	低阶重路由由保护	低阶重路由由带返回	低阶无恢复 1+1 保护	低阶带恢复 1+1 保护	低阶恢复型 1+1 带返回保护
重路由时间/ms	0.043	81.261	无	207.555	130.543
返回时间/ms	无	78.351	无	无	42.000
业务切换时间/ms	无	无	0.050	0.051	0.051

表 2 测试项目 2 的结果

Table 2 Result of test item 2

测试项目	高阶重路由	高阶无恢复 1+1	高阶恢复型 1+1	高阶恢复型 1+1 保护
重路由时间/ms	0.050	0.051	0.051	0.051
业务切换时间/ms	无	0.051	0.050	0.050

表 3 测试项目 3 的结果

Table 3 Result of test item 3

测试项目	重路由时间	返回时间	业务切换时间	时延
先拆后建恢复型带返回业务/ms	0.480	0.440	0.050	0.480

以上测试结果可以看出, 对测试项目 1 而言, 其重路由和业务返回时间相对较大, 2 个带返回业务的返回测试时间分别为 78.351 ms 和 42.000 ms。其业务切换时间都是非常短, 约为 0.050 ms, 均能够满足电网(DL/T 364-2010)标准所规定的光纤差动保护业务通信时延的规定, 即: 对于复用段保护方式, 要求倒换时间、恢复时间小于 100 ms 等要求; 对测试项目 2 而言, 其各种业务的重路由时间远远小于测试项目 1 所测得的重路由时间, 其重路由时间和业务切换时间均值约为 0.050 ms, 远远小于电网(DL/T 364-2010)标准所规定的光纤差动保护业务通信时延的规定; 而对于测试项目 3, 该测试项目正是在本文所提算法的基础上完成的, 经现场实验测试, 该测试业务返回时间为 0.440 ms, 时延值为 0.48 ms, 业务切换时间为 0.050 ms, 远远小于电网标准所规定的时延要求, 说明了本文所提算法对于保障电网控制业务故障快速恢复的有效性, 提高了自愈切换时的电网运行可靠性。

## 4 结论

本文针对传统电网控制业务不支持自动多路由保护, 不能应对多点故障问题。研究了保证自愈切换时, 业务传送收发路径完全一致性的通道恢复

路由重建协议, 咸宁变电站现场测试结果表明, 文章算法所造成的重路由切换时间远小于保护装置快速动作的时间要求 10 ms, 保证了电网控制业务的自动多路由保护和应对多点故障的能力, 增强了通信对电网控制业务的安全保障水平, 保证了各种业务数据的 QOS(Quality of Service), 提高了全网络的生存性和可靠性。

## 参考文献

- [1] 方必武, 王波, 刘涤尘, 等. 考虑元件复用的继电保护通信可靠性定量评估[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(11): 80-86.  
FANG Biwu, WANG Bo, LIU Dichen, et al. Reliability evaluation of protection communication considering components reusing[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(11): 80-86.
- [2] 刘益青, 高厚磊, 李乃永, 等. 适用于站域后备保护的智能变电站站间信息传输方案[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(2): 96-102.  
LIU Yiqing, GAO Houlei, LI Naiyong, et al. A communication scheme between smart substations for substation-area backup protection[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(2): 96-102.
- [3] 刘忠伟, 翟虹强, 尹传平, 等. SDH技术及其应用与发

- 展[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(3): 72-76.
- LIU Zhongwei, ZHAI Hongqiang, YIN Chuanping, et al. SDH technology and its application and development[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(3): 72-76.
- [4] 杨贵, 孙磊, 李力, 等. 区域保护与控制系统网络拓扑方案研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(9): 101-107.
- YANG Gui, SUN Lei, LI Li, et al. Research on regional protection and control system network topology[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(9): 101-107.
- [5] 梅鲁海. 基于SDH光网络的分层区域式保护通信系统的可靠性研究[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(21): 81-85.
- MEI Luhai. Reliability research of layered regional protective communication system based on SDH optical network[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(21): 81-85.
- [6] 文昌俊, 张业鹏. 基于SDH传输系统的现场可靠性数据分析[J]. 仪器仪表学报, 2006, 27(6): 1340-1342.
- WEN Changjun, ZHANG Yepeng. Reliability analysis of field data based on SDH transfer system[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2006, 27(6): 1340-1342.
- [7] 史国炜, 曾烈光. SDH接入网的网络生存性研究[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2003, 43(9): 1269-1271.
- SHI Guowei, ZENG Lieguang. Survivability of SDH access networks[J]. J Tsinghua Univ (Sci & Tech), 2003, 43(9): 1269-1271.
- [8] 吴润泽, 胡秀园, 李彬, 等. 电力ASON中基于SRLG完全分离P圈的链路故障保护算法[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(5): 119-125.
- WU Runze, HU Xiuyuan, LI Bin, et al. A link failure protection algorithm applying to power automatic switched optical network based on p-cycle with completely separated SRLG[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(5): 119-125.
- [9] 桂烜, 徐云斌, 宋鸿升, 等. 基于多层结构的ASON网络管理系统设计[J]. 北京邮电大学学报, 2003, 26(4): 41-45.
- GUI Xuan, XU Yunbin, SONG Hongsheng, et al. Design of ASON management system based on multilayer architecture[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2003, 26(4): 41-45.
- [10] 李健, 杨爱平, 顾晔仪, 等. 新的ASON路由实现方案[J]. 通信学报, 2006, 27(6): 72-80.
- LI Jian, YANG Aiping, GU Wanyi, et al. Novel ASON routing implementation[J]. Journal on Communications, 2006, 27(6): 72-80.
- [11] 邓宇, 赵蕾, 谢洁岚, 等. ASON信令协议RSVP-TE中资源预留策略研究[J]. 光子学报, 2007, 36(10): 1848-1852.
- DENG Yu, ZHAO Lei, XIE Jielan, et al. Research of resource reservation schemes of RSVP-TE in ASON[J]. Acta Photonica Sinica, 2007, 36(10): 1848-1852.
- [12] 曹毅宁, 叶亚斌, 郑小平, 等. 智能光网络中基于冲突避免的通道恢复机制[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2009, 49(10): 1632-1634.
- CAO Yining, YE Yabin, ZHENG Xiaoping, et al. Collision avoidance mechanism for path restoration in automatic switched optical networks[J]. J Tsinghua Univ (Sci & Tech), 2009, 49(10): 1632-1634.
- [13] 周贤伟, 吴启武, 王建萍, 等. 一种高效的ASON安全光路建立协议[J]. 光子学报, 2009, 38(8): 2071-2076.
- ZHOU Xianwei, WU Qiwu, WANG Jianping, et al. An efficient secure lightpath establishment protocol in ASON[J]. Acta Photonica Sinica, 2009, 38(8): 2071-2076.
- [14] 吴启武, 王文君, 王建萍, 等. 基于多条件约束的ASON动态组播路由算法[J]. 光电子·激光, 2012, 23(1): 98-105.
- WU Qiwu, WANG Wenjun, WANG Jianping, et al. A dynamic multicast routing algorithm based on multi-constraint in ASON[J]. Journal of Optoelectronics Laser, 2012, 23(1): 98-105.

收稿日期: 2016-01-14; 修回日期: 2016-03-25

作者简介:

李健明(1972-), 男, 硕士研究生, 主要从事电网安全生产方面管理工作; E-mail: lijm1616@163.com

刘媛(1983-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为电网通信安全; E-mail: 136375731@qq.com

沈晗阳(1983-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为光纤通信安全。E-mail: passhy@163.com

(编辑 姜新丽)