

基于 SDH 的电力 ASON 性能和功能测试

李芹^{1,2},黄鑫^{1,2},仇勇¹,何晓阳¹

(1.南瑞集团(国网电力科学研究院)有限公司,南京 211106;2.智能电网保护与运行控制国家重点实验室,南京 211106)

摘要:针对电力系统广域保护业务对通信网络的安全性和可靠性的高要求,根据电力系统业务的功能需求及保护传输链路的路由约束规则,建立一种电力自动交换光网络(ASON)测试模型。在此基础上进行性能及功能测试用例的设计,并给出不同制造商在 ASON 中基于电力 ASON 测试模型的性能和功能测试案例及结果分析,有效验证制造商产品对于电力业务功能设计的符合性和可靠性,避免潜在应用风险。

关键词:SDH; ASON; 路由约束; SPC; 先拆后建

中图分类号:TN915.62 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-5561(2019)03-0059-04

DOI:10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2019.03.016

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Performance and functionality test of electric power ASON based on SDH

LI Qin^{1,2}, HUANG Xin^{1,2}, QIU Yong¹, HE Xiaoyang¹

(1. NARI Group (State Grid Electric Power Research Institute) Co., Ltd., Nanjing 211106, China;

2. State Key Laboratory of Smart Grid Protection and Control, Nanjing 211106, China)

Abstract: The wide-area protection service of electric power system has high requirements on the security and reliability of the communication network. According to the functional requirements of the power system service and the routing constraint rules for transmission link of protection, a kind of electric power automatically switched optical network (ASON) test model is proposed. Based on this model, the design of performance and function test cases is carried out, and the performance and function test cases and results analysis based on power ASON test model in different manufacturers' ASON are given, which can effectively verify the conformity and reliability of manufacturer's products for power business function design and avoid potential application risks.

Key words: SDH; ASON; routing constraint; SPC; break-before-make

0 引言

近年来,随着电力系统建设步伐的逐步加快,电力传输不断向纵深方向发展。同时,跟随智能电网的建设与发展,电力系统保护和控制技术的范围也在同步扩展。基于广域信息采集故障快速诊断与隔离、多资源协同等功能构建的系统保护技术应运而生,成为实现电网稳定与安全运行有效的保障手段。电力系统设有独立于运营商的电力通信专网,规划并建设了从

收稿日期:2018-08-13。

作者简介:李芹(1976-),女,江苏沭阳人,硕士,高级工程师,全国电力系统管理及其信息交换标准化技术委员会通信工作组成员。主要研究方向为电力系统通信检测技术及标准化,负责和参与编制的行业标准、国网企业标准 11 项,负责编制国际标准 1 项。



核心、骨干和接入 3 个层次的遍布全国电网的同步数字体系(SDH)通信网络,用于承载电力系统的生产及管理数据。随着电力系统智能化程度的不断提升,通信专网的承载能力也不断得到提升。由于电力系统通信专网为电力系统所定制,在传输时延、接口方式和互联互通等方面都进行了严格把控,确保电力通信系统的稳定性与可靠性,因此在现有电力系统通信资源基础上,采用一定的技术手段构建系统保护业务专用通道是目前系统保护经济有效的通信网络解决方案。而基于 SDH 的电力自动光交换网络(ASON)是在标准 ASON 技术的基础上,根据电力系统业务特点,规定其特定的性能约束及路由控制策略,以满足电力系统特殊应用的需求,为系统保护提供安全可靠的通信业务链路,是建设系统保护通信网络有效的解决方案^[1,2]。

虽然 ASON 技术起步较早,但在电力系统的应用尚处于试点阶段,且电力系统应用有其特殊的业务功能需求。ASON 的协议相对复杂,制造商基于对协议的理解和实现方案的不同,导致各厂商设备在互联互通上存在问题。因此,本文在分析电力系统特殊应用需求的基础上,通过对主流 ASON 制造商设备的测试验证,提出并建立一套基于 SDH 的 ASON 电力业务性能和功能测试模型。

1 电力 ASON 测试模型

1.1 电力系统业务功能需求

电力系统的业务分为安全 I 区业务(实时)、安全 II 区业务(非实时)和应急指挥系统业务 3 大类。基于广域信息传递的电力保护控制系统业务处于安全 I 区,其对于数据传输的及时性、可靠性和安全性的要求高;对于变电站间传递的数据信息,要求保证信息传递的绝对优先级。因此,电力系统针对 ASON 在电力系统的应用,制定了专门的技术规范^[3],对应用于电力系统的 ASON 设备的保护与恢复提出了特殊要求,以保证电力系统业务传输的安全性和可靠性,具体要求如下:

- ①业务通道保护与恢复应支持最小 VC12 细颗粒度级别;
- ②支持保护与恢复的返回操作,故障修复后可将业务返回至原工作路径;
- ③恢复方式采用双向倒换方式,保证收发路径的一致性;
- ④支持“先拆后建”的动态恢复与返回机制,拆除通道至建立通道的等待时间可配置;
- ⑤支持业务动态恢复路由预置功能。

应用于电力 ASON 的保护与恢复方式主要有 3 种:永久 1+1 保护、重路由 1+1 保护和“先拆后建”的动态恢复。其中,“先拆后建”的保护恢复方式是为了确认链路状态防止保护误动的电力系统的一种特殊应用。目前,国内主流的 ASON 制造商都根据电力系统需求开发了相应的功能应用,并通过了测试。

1.2 电力 ASON 路由约束规则

相较于传统的 SDH 网络,基于 SDH 的 ASON 则是一个相对复杂的系统,其性能、功能指标也不同,影响因素众多,本文主要给出电力 ASON 测试模型的路由约束规则。

路由约束是流量工程的重要组成部分,也是 ASON 的特点之一。ASON 实际运行的过程中,在规划工

作路径和保护恢复路径时通常都需要设定一定的约束条件,以保证业务传输的实时性、对称性和安全性。最常用的基本路由计算与恢复的约束规则条件主要有:链路时延、链路代价、包含或排斥特定的网络资源、恢复路径与工作路径分离(节点分离、链路分离和共享风险组(SRG)分离等)或以上元素的组合。其中,SRG 是 ASON 中的一个重要概念,其定义为在一组共享相同风险元件的资源中,某一元件的失效会导致组中所有资源的失效,所以通过 SRG 能最大程度降低工作路径和保护路径同时失效的风险,避免出现单点故障。因此,综合考虑各种路由约束规则的优势和劣势后,在设计电力 ASON 测试模型时,本文主要选择链路时延和恢复路径与工作路径分离(节点分离、链路分离和 SRG 分离)的组合作为约束条件。

1.3 电力 ASON 测试模型

由于电力行业标准中规定电力系统保护业务采用的接口方式为 2M 接口,所以,电力 ASON 的性能及功能测试主要基于 2M 业务设计。ASON 的软永久连接(SPC)是一种“混合”的连接方式,兼具永久连接(PC)和交换连接(SC)的特点,相较于 PC 管理更灵活,相较于 SC 路径更严格。因此,在电力系统的应用条件下,我们选择 SPC 作为主要的链路传输方式,并综合接口与链路类型,选用 2M SPC 的业务应用场景建立电力 ASON 测试模型。电力 ASON 的测试模型的试验拓扑选用 GB/T 28515.1-2012 中的典型网络架构^[4],如图 1 所示。采用 4 台 ASON 设备组成网状结构,各节点设备间至少采用 1 条 2.5G 链路和 1 条 10G 链路连接。网络管理系统根据约束规则计算路由策略并下发控制平面,确认业务配置和业务切换的正确性,并采用 SDH 测试仪测试业务的连通性及保护倒换时间。

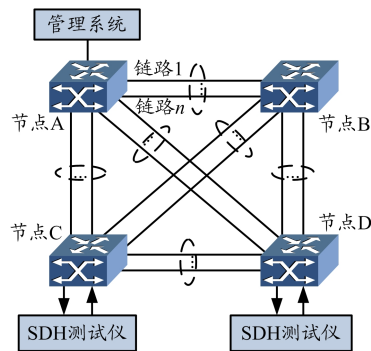


图 1 试验拓扑环境

针对电力系统业务中链路确定性和可靠性的高要求,本文给出一种电力 ASON 的测试模型,以确保电力业务按照既定的规则进行转发,适用于保护与恢复的性能测试和功能测试,其测试模型如图 2 所示。可以看出,按已配置的恢复链路资源可逐步验证 ASON 的保护与恢复功能及性能,完成此类肯定性测试

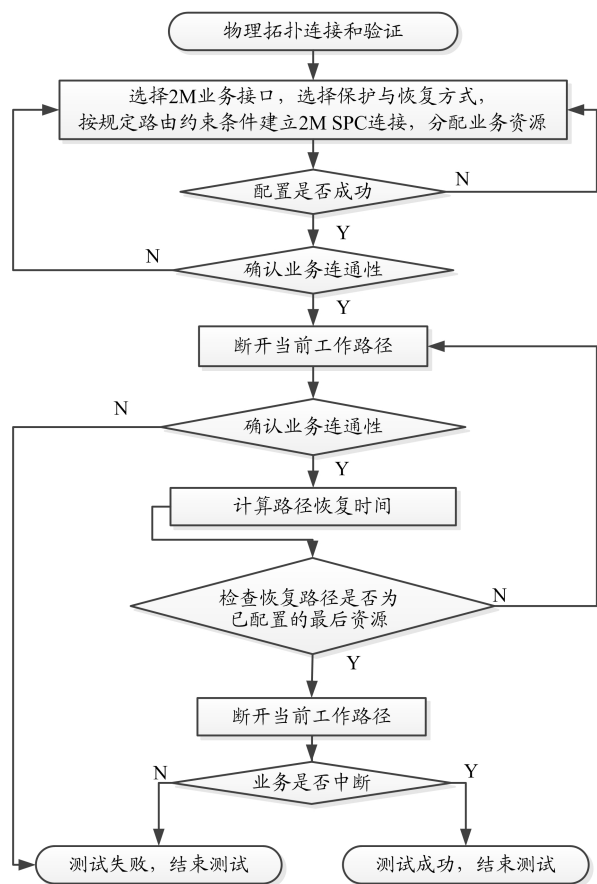


图2 电力ASON测试模型

后,需再次验证是否还存在其它可用且未特定配置的资源为业务提供恢复路径,防止在需要判定电力业务中断操作的条件下,使通信系统在判定周期内恢复业务,导致系统保护的误判或误操作,从而引发电力事故,此为否定性测试。在进行性能测试时,可于肯定性测试结束后直接结束测试;对于功能性的测试,必须进行否定性测试的验证。

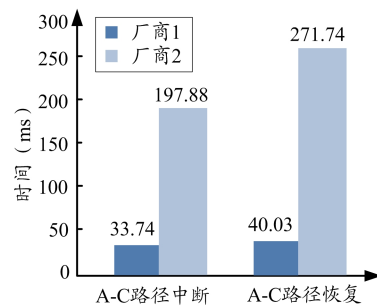
2 性能测试

2.1 路由收敛时间

ASON 在控制平面吸纳了 IP 网络自动路由的优势来实现光网络的智能化,开放式最短路径优先(OSPF)和分级的链接状态路由协议(ISIS)是 IP 网络应用最为广泛的域内路由协议,在 ASON 中也推荐使用这 2 种路由协议。为得到较好的设备兼容性,电力 ASON 采用基于流量工程开放最短路径优先协议(OSPF-TE)实现路由控制功能。对于应用于电力系统的 ASON,保护恢复时间是非常重要的性能指标;而对于动态重路由方式的保护恢复,路由协议的收敛时间是保护恢复时间的主要影响因素。

由于路由协议状态可反应工作路径状态,因此采用路由协议报文的交互结果来判断路由收敛是否成功是测试路由收敛时间的有效手段。根据图 1 的网络拓扑和图 2 的测试模型,节点配置并运行路由协议,通过协议分析仪捕捉和分析路由控制协议的消息交换,确认路由数据库的同步。实验测试了国内主流 2 个厂商 ASON 设备的路由收敛时间,2 节点间的路由收敛测试结果如图 3 所示。可以看出,不同厂商由于路由协议实现机制的不同,其路由收敛时间存在较大差别。其中厂商 1 采用的是非标准的私有协议,厂商 2 采用了标准的 OSPF 路由协议。虽然采用私有协议可显著提升路由收敛速率,但兼容性差,不利于终端用户的组网规划和设计。

图3 2个节点间路由收敛时间测试结果



2.2 控制平面保护恢复时间

为保障广域保护控制系统的安全性,应保证其传输信道在故障的情况下快速恢复,因此,电力系统要求 ASON 控制平面在采用 1+1 保护恢复方式时的保护恢复时间应小于 50ms。在图 1 的网络拓扑基础上,采用图 2 的测试模型,在进行控制平面保护恢复时间测试时,在节点 A 和 C 的工作路径中串入一台 SDH 网络分析仪,设置在穿通模式用来模拟信号丢失 (LOS)、信道劣化 (SD) 和告警指示信号 (MS-AIS) 等触发条件,在节点 C 的测试仪上观察业务中断至恢复的时间间隔,计算保护恢复的时间。2 个厂商的保护恢复时间如图 4 所示。

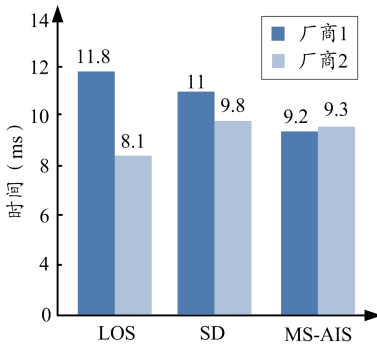


图4 控制平面1+1保护恢复时间测试结果

由于 1+1 保护结合了控制平面与传送平面的特点,其工作路径和保护路径为预先计算并设置,因此在各种故障条件下的保护恢复时间均比较快,厂商之间的差别不大,且都可以实现收发路径的一致性,满足电力系统功能广域保护控制系统的应用需求。

3 功能测试案例

3.1 2M SPC 预置路由恢复功能测试

在电力系统保护广域传输的条件下,时延约束是首先需要满足的条件。为保证电力系统保护应用的安全性和可靠性,在实际应用中,ASON 可根据时延约束条件计算几条时延相对一致的路径作为预留资源,配置为预置路由;当保护系统工作链路中断时,仅恢复至预置路由,所有预置路由在故障条件下也不启动自动重路由,保持业务路径的中断状态。因此,2M SPC 预置路由恢复功能是电力系统保护应用场景较多的功能之一。本文在图 1 网络拓扑基础上按图 2 的测试模型,设计了 2M SPC 预置路由恢复功能测试用例及预期结果如表 1 所示。

表 1 2M SPC 预置路由恢复功能测试条件及预期结果

条件	预期结果
预置路径	预置路由 1:A-D-C
	预置路由 2:A-C
业务恢复路径	原始路径中断,业务恢复到路径 A-D-C
	D-C 路径中断,业务恢复到路径 A-C
	A-C 路径中断,所有预置路由失效,业务中断

首先,配置 2M SPC 业务的原始业务路径为 A-B-C,并按表 1 设置其保护恢复的预置路由;然后,依次中断原始路径和各条预置路由,检查业务的连通性,并在网管上检查实际路由是否与预置路由一致。实验测试了 2 家主流厂商的 2M SPC 预置路由功能,厂商 1 在所有预置路由失效后业务重路由成功,否定性测试失败;厂商 2 在所有预置路由失效后业务中断,功能测试成功。测试反应了 2 个厂商在功能实现机制上出现了差异,也间接反映了设备制造商对于电力系统应用需求的了解不够明确。

3.2 2M SPC“先拆后建”功能测试

电力系统要求的“先拆后建”是指在发生通道恢复和返回时,先删除原有连接,等待一个设定的时间后,再建立一个连接并使用此连接,保证任何时刻收发路由的一致,从物理链路上保证电力系统保护数据传输时间的双向对称性。2M SPC 的“先拆后建”功能由于要求在设定相对较长的时间内恢复路径,因此一般采用动态重路由的保护恢复方式。本文设计的 2M SPC 的“先拆后建”功能测试用例步骤如下:

①配置 2M SPC 业务路径为 A-B-C,业务恢复模式设置为“先拆后建”,通道拆除至建立的恢复等待时间设置为 T (设置 5s),检查恢复等待时间的设置范围和步长;

②在网管上查看业务的实际路径应和创建时指定的配置一致,通过 SDH 分析仪验证 SPC 业务的连通性;

③中断业务工作路径,通过 SDH 分析仪测试链路倒换恢复时间;

④恢复已中断的业务路径,通过网管将业务倒换回原路径,通过 SDH 分析仪测试链路倒换恢复时间。

对“先拆后建”模式下通道拆除至建立的恢复等待时间 T 的设置范围要求不小于 0~20s,最小步长不大于 100ms,业务恢复时间应为设置的恢复等待时间 T 和重路由/倒换恢复时间之和。实验测试的 2 家主流产品制造商的 2M SPC“先拆后建”功能的结果如表 2 所示。可以看出,2 个主流制造商产品该项功能均满足电力系统的应用需求。

表 2 实验室 2M SPC“先拆后建”功能实验室测试结果

测试条件	厂商 1	厂商 2
T 、步长	T :0~20s	T :0~2 ³² ms
	步长:1ms	步长:1ms
业务恢复时间(工作→保护)	5223.7ms	5632.2ms
业务恢复时间(保护→工作)	5110.7ms	5122.2ms

4 结束语

ASON 是一套复杂的通信网络系统,制造商基于对协议的理解和功能实现方案的不同,导致各厂商设备在兼容性上存在问题。综合电力 ASON 应用条件及实验测试结果,基于 SDH 的电力 ASON 在性能和功能上都能满足电力系统的应用需求,在定制开发的功能虽然有的制造商初始测试时不符合需求,但经过整改后,可以通过电力 ASON 测试模型的测试,达到可应用的要求。基于 SDH 的电力 ASON 具有广泛的物理基础和明显的技术优势,随着广域系统保护控制的发展,其技术优势可得到充分的体现,在电力系统的具有一定的应用前景。

参考文献:

- [1] 杨贵,孙磊,李力,等.区域保护控制系统网络拓扑方案研究[J].电力系统保护与控制,2015(9):101-107.
- [2] 殷玮珩,袁丁,李俊刚.基于 SDH 网络的广域保护系统研究[J].电力系统保护与控制,2011,39(5):120-123,127.
- [3] 国家能源局.基于 SDH 的电力自动交换光网络(ASON)技术规范:DL/T 1291-2013[S].北京:中国电力出版社,2014.
- [4] 中国国家标准化管理委员会.自动交换光网络(ASON)测试方法 第 1 部分:基于 SDH 的 ASON:GB/T 28515.1-2012[S].北京:中国标准出版社,2012.