

区域保护控制系统网络拓扑研究

杨贵, 彭安, 李莉

(南京南瑞继保电气有限公司, 江苏 南京 211102)

摘要:为解决区域保护控制系统分布式业务的对等通信需求,实现变电站间保护业务的对等通信机制,在现有电力系统多业务传输平台(multi-service transfer platform, MSTP)组网结构基础上研究基于MSTP的对等通信网络拓扑实现方案;同时研究适用于电力系统分组传送网(packet transport network, PTN)的对等通信网络拓扑实现方案;为了弥补MSTP网络环网保护的缺陷,研究了基于高可靠性无缝冗余(high-availability seamless redundancy, HSR)环网技术的对等通信实现方案,并对各种方案进行对比,为将来区域保护控制系统的网络建设提供了有益指导。

关键词:区域保护控制;对等通信;高可靠性无缝冗余;多业务传输平台;分组传送网

中图分类号:TM77

文献标志码:A

文章编号:1009-0665(2016)03-0001-04

随着社会经济的发展,人们对电力的需求和依赖越来越大,对供电质量的要求也越来越高,对于核心业务要求不间断供电。然而,随着互联网区域的扩大、交换容量的增加及电网电压等级的提高,由互联网故障引起的特大停电事故几乎成为社会灾难,停电造成的损失也越来越大。保障互联网的运行安全性,避免重大停电事故的发生变得越来越困难。现有的电力系统三道防线^[1,2]已无法满足日益提供的供电可靠性要求。为了有效提升电力系统的整体供电可靠性,需要改变现有的后备保护模式,采用主动收集相关变电站信息的方式加快后备保护及稳定控制动作时间^[3],从而达到实现提升供电质量的最终目标。区域保护与控制系统是基于这种目的而诞生的保护控制系统。

1 区域保护控制系统现状

在区域保护实施初期借鉴了很多智能变电站站内的组网方案和保护原理,具体可参考文献[4]了解智能变电站站内的实现方法。区域保护与控制系统由变电站间的站间通信为基础,由控制中心、传输网、各变电站的站域保护控制设备构成。

整个系统由区域保护控制主站、多个区域保护控制子站、就地采集控制设备、通信网关设备等组成,在每个变电站布置区域保护控制子站,任意一个变电站布置区域保护控制主站、主站与子站之间、子站与子站之间通过区域过程层通信网相互连通,协调完成某一区域电网内的所有保护与控制功能。

其中保护系统的拓扑结构为对等通信模型。如图1所示,保护系统由各个变电站内的站域保护设备构成,各个变电站内的站域保护控制设备接收相关变电站内站域保护控制设备发送的报文,并依据报文信息完成区域保护功能。区域内各个变电站内的信息没有

统一的接收设备,各设备处于对等的地位。每个变电站内负责与其他变电站进行信息交互的设备为站域保护控制设备,该设备负责收集站内各个间隔的信息,并将信息发送给其他变电站的站域保护控制设备,同时接收其他相关变电站发送的信息并进行保护功能计算及动作。

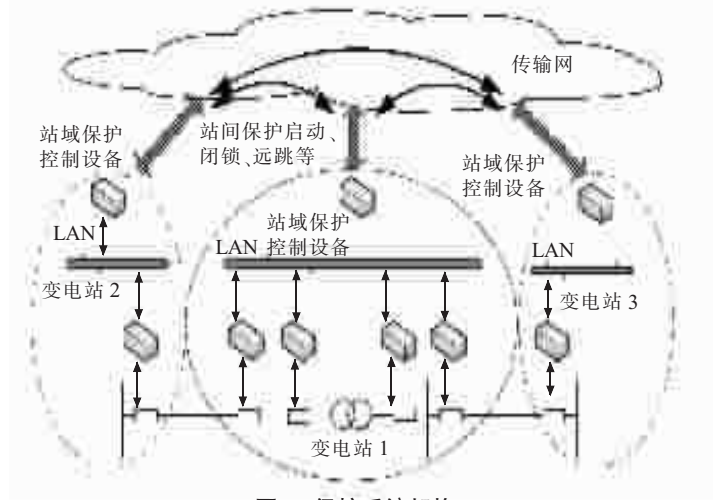


图1 保护系统架构

区域保护控制系统中的保护业务具有站间对等通信需求,而现网的通信均采用点对点的主从通信模式,无法满足多站间对等通信需求。如将区域保护控制主站当作特殊的站域保护控制设备,那么整个区域保护控制系统可看作一个完整的对等通信模型来建立,文中将以这个前提来讨论最适合区域保护控制系统需求的网络拓扑结构。

区域保护控制系统根据业务类型的不同,要求也有很大的差异,基于目前区域保护控制系统通道延时小于10ms,误码率小于 10^{-6} 的要求进行网络方案设计及验证^[3]。

2 通信技术发展

电力系统目前传输网主要由多业务传输平台

(multi-service transfer platform, MSTP)设备构成^[5],该设备采用同步数字体系(synchronous digital hierarchy, SDH)作为业务的载体,采用时分复用(time division multiplexing, TDM)技术进行业务传输;同时,为兼容日益增加的IP等其他传输机制业务需求,开发了支持IP等不同传输机制的业务接入板卡,实现了多业务共平台传输。SDH采用刚性通道进行业务传输^[6],其具有传输延时相对固定的特点,非常适合可靠性要求高的保护等业务传输。

目前,电力系统开始尝试使用分组传送网(packet transport network, PTN)设备组建传输网,并进行了大量的PTN测试;PTN设备采用分组交换的原理进行报文传输,非常适合新型IP业务的传输。PTN设备采用柔性通道进行业务传输,为确保业务的可靠性,必须借助服务质量(quality of service, QoS)等辅助手段来提升业务的传输可靠性^[7]。但是,PTN设备具有更大的传输带宽,在电力系统业务日益增加、带宽需求日益变大的情况下,有可能成为未来电力系统传输网的主要组网设备。

针对区域保护控制系统的特点,需要实现基于传输网的对等通信网络架构。在对等通信技术方面,目前可用的环网技术主要是快速生成树协议(rapid spanning tree protocol, RSTP)和IEC 62439-3规定的高可靠性无缝冗余环(high-availability seamless redundancy, HSR)技术^[8],其他一些私有环网技术也可应用在区域保护控制系统中,但通用性较差,文中不作推荐。

为适应现网的传输网设备情况和未来传输网技术的更新,并结合各种环网技术的特点,下文的方案论证中将在SDH和PTN 2个平面进行对等通信实现方式的分析介绍。

3 拓扑结构研究

基于现网SDH的配置情况和目前主流的PTN设备的配置情况,结合环网技术的支持程度进行方案的论证。

3.1 基于SDH的RSTP环网方案

如图2所示,利用SDH设备SDH承载以太(ethernet over SDH, EoS)板卡进行以太层的接入,开通业务时采用相邻站间根据业务流量开通SDH侧的通道带宽,可以是1个或几个虚拟通道12(virtual channel 12, VC12),当业务量足够大时也可开通虚拟通道3(virtual channel 3, VC3)。站点业务报文通过虚拟局域网(VLAN)进行隔离,每个站点接收和发送的VLAN号和数量根据业务情况进行配置。

该方案采用EoS板卡提供的RSTP功能进行环

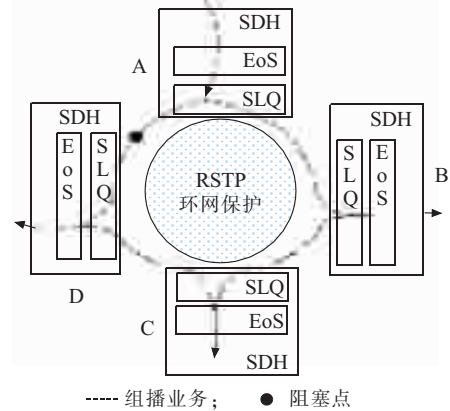


图2 基于SDH的RSTP环网方案

保护,采用该方式需要各站点上传的组播报文在SDH通道上均进行传输,防止单纤故障后组播报文无法从另一个方向传输而导致异常业务终端。该方式总带宽使用情况为: N 倍的业务带宽 N , N 为节点个数。该方式较传统的子网连接保护(subnetwork connection protection, SNCP)保护方式具有更好的带宽利用率。

但是,该方式受限于EoS板卡的RSTP功能,目前SDH设备的EoS板卡虽然支持了RSTP功能,但RSTP无法有效判断同步传输模块(synchronous transfer module, STM)侧的通道链路状态,导致环网恢复时会出现短暂的通道异常。实验测试发现,在环网STM侧链路中断等情况发生时,会出现2~20 s的环路异常状态,包括2~10 s的短时网络风暴,而该种情况无法满足区域保护控制系统的50 ms链路恢复网络指标要求。

3.2 基于SDH的HSR环网方案

如图3所示,利用支持HSR功能的交换机实现业务的接入,HSR通过SDH设备EoS板卡实现双向接入,开通业务时采用相邻站间根据业务流量开通SDH侧的通道带宽,可以是1个或几个VC12通道,当业务量足够大时也可开通VC3通道。站点业务报文通过VLAN进行隔离,每个站点接收和发送的VLAN号和数量根据业务情况进行配置。

该方案采用HSR交换机提供环网保护功能,通过EoS板卡实现HSR双向接入,并开通双向的点对点通道。采用该方式实现各站点上传的组播报文在SDH双向通道上均进行传输,防止单纤故障后组播报文无法从另一个方向传输而导致异常业务终端。该方式总带宽使用情况与3.1节相同,但环网恢复时间为0 ms,优于区域保护控制系统的指标要求。

3.3 PTN环网方案

如图4所示,根据MPLS-TP环网保护倒换(MPLS-TP ring protocol switch, MRPS)环网要求^[7],每个站点部署2个分组板卡,每个分组板卡出1个GE

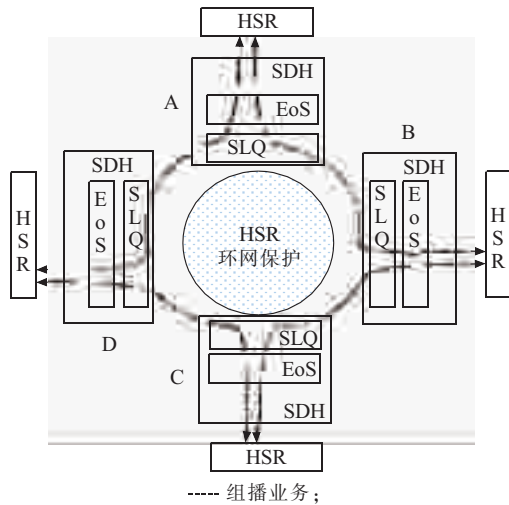


图3 基于SDH的HSR环网方案

端口作为环网的东、西向,业务从分组板卡FE端口接入,分组板卡业务配置采用MRPS方式将业务转发至面板GE端口(作为MPLS-TP环网的东、西向端口,端口类型为NNI)。分组业务采用MPLS-TP(MPLS-transport profile)环网保护方式(配置在分组板卡);保护倒换时间小于50ms。

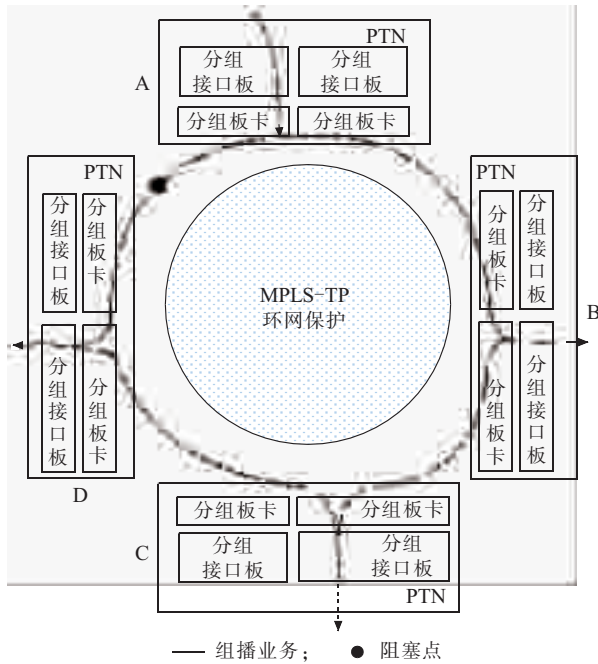


图4 PTN环网方案

假设组播业务按照A→B→C→D方向逐跳转发,环网中组播带宽只占用1份带宽。在环网中可设置阻塞节点预防广播风暴的发生,当发生节点故障时,打开阻塞点进行保护倒换。当C—D之间的链路故障时,A—D之间的阻塞点打开,保证业务不中断传输。当C站点的单板故障时,A—D之间的阻塞点打开,确保业务不中断传输,受影响的仅是故障单板业务。

3.4 基于PTN的HSR环网方案

如图5所示,每个站点部署2个分组板卡,每个分

组板卡出1个GE端口作为HSR环网的东、西向,业务首先接入HSR交换机,HSR交换机的2个环网端口分别接入到PTN设备的2个分组接口板上,分组接口板分别对应东、西分组板卡。PTN设备不采用任何保护方式,通过HSR交换机实现环网保护功能,环网倒换时间为0ms。

假设组播业务按照A→B→C→D方向逐跳转发,环网中组播带宽只占用左、右方向各1份带宽。在HSR环网中发生单节点故障时,依然能够确保组播业务正确送达接收终端。同时,PTN设备给出链路故障告警,方便用户进行故障定位。

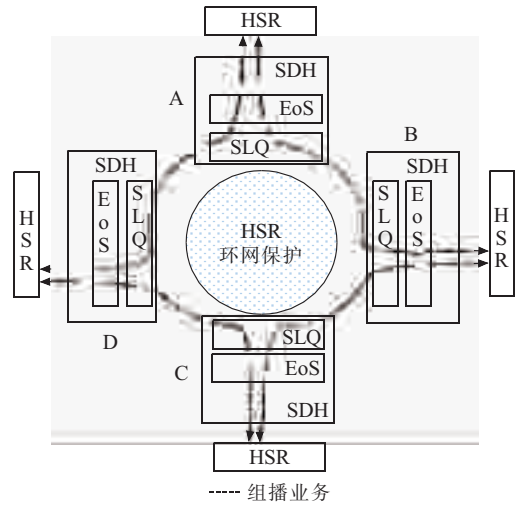


图5 基于PTN的HSR环网方案

3.5 HSR环网方案

如图6所示,每个站点部署1台HSR交换机,站点之间通过专用光纤进行HSR交换机的环网连接。每个站点的HSR交换机分别通过环网端口与左、右方向站点的HSR交换机级联,最终构成各站点间的HSR环网。

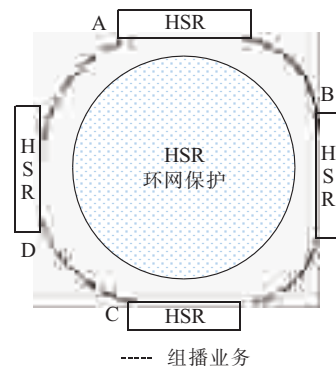


图6 HSR环网方案1

该组网方式为标准的HSR环网方式,环网恢复时间为0ms。

3.6 方案对比

以上5种不同的业务开通类型均可满足对等通信的理念要求,但是,每种方案均有优点和不足,表1从

表 1 各种方案比较

传输设备	组网方案	报文	带宽	环网保护	端口占用	时延/ μs	安全性	缺陷
SDH 传输网	RSTP 环网	VLAN 内广播	$(N'-1)$ 倍 业务带宽	RSTP	1×EOS 端口	双站时延 180 每跳增加 170	SDH 隔离	环网失效
	HSR 环网	静态组播	$2(N'-1)$ 倍 业务带宽	HSR	2×EOS 端口	双站时延 220 每跳增加 220	SDH 隔离	无
PTN 传输网	PTN 环网	静态组播	$(N'-1)$ 倍 业务带宽	MPLS-TP	1×PEFF8 端口	双站时延 82 每跳增加 20 (拥塞时 200)	IP 软管道	无
	HSR 环网	静态组播	$2(N'-1)$ 倍 业务带宽	HSR	2×PEFF8 端口	双站时延 500 每跳增加 500	IP 软管道	无
光纤专线	HSR 环网	静态组播	$2(N'-1)$ 倍 业务带宽	HSR	2×FE 端口	双站时延 82 每跳增加 20	专网隔离	无

带宽利用情况、环网恢复时间、保护业务开通、延时特性、安全特性等几个最为主要的方面进行了比较。

从比较结果来看,基于 SDH 平面的方案中 RSTP 环网方案具有较好的带宽利用率和保护功能,需求业务带宽为 $(N'-1)$ 倍的每路报文流量,其中 N' 为区域保护控制系统中主子站的总和,开启的环网保护功能可以保护到 EoS 板卡,SNCP 保护仅能保护到 SDH 层面;但该方式的环网恢复时间无法满足区域保护控制系统业务的需求。基于 SDH 的 HSR 环网方案可满足区域保护控制系统业务的需求,在业务带宽需求上与基于 SDH 的 RSTP 环网方案一致,因此,在现网的情况下更适合推广应用。

PTN 平面上的 2 种方案中纯 PTN 平面具有更好的传输延时、带宽利用率和较少的板卡,通道切换时间也可以满足区域保护控制系统业务需求。但是与基于 PTN 的 HSR 环网方案比较,无法做到通道故障时的无缝切换。

PTN 平面解决方案相较 SDH 平面解决方案,具有传输通道非硬通道(非 TDM 通道)的缺点,在一些重要应用场合需要考虑如何确保业务安全性的问题。从 PTN 技术发展与保护业务的不断融合来看,将来纯 PTN 平面的传输网将有可能取代 SDH 而被大面积采用。因此,现网推荐采用基于 SDH 平面的 VLAN 环网方案,PTN 平面建议采用纯 PTN 环网方案作为区域保护控制系统的网络拓扑方案。

HSR 环网解决方案有效地解决了基于 SDH 平面的带宽有限问题,同时也解决了 PTN 平面的非刚性通道的业务串扰问题。不过该组网方案需要额外通过光缆构成独立的 HSR 站间环网,局限性较大,不利于大范围的推广应用。

4 结束语

以现网传输设备的现状和通信技术的发展为出发

点,完成了基于 SDH 平面、PTN 平面和专网等各种满足对等通信组网方案的研究。分别提出了利旧的 SDH 解决方案、符合新技术的 PTN 解决方案和 HSR 组网组网方案,并对各种组网方案进行了对比,其对将来的区域保护控制系统的业务开通具有一定的指导意义。随着技术的发展,区域保护控制系统承载的业务不断完善,需要研究基于 SDH 平面和 PTN 平面的站间对时技术和安全防护等方面的问题;甚至为了减少业务开通时的配置工作量,需要开展基于 IP 层面的动态路由技术研究,来满足不断变化的业务需求。

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]. 高压技术,2012,33(3):513-520.
- [2] 殷玮珺,袁丁,李俊刚,等.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] 薄志谦,张保会,董新洲,等.保护智能化的发展与智能继电器网络[J]. 电力系统保护与控制,2013,41(2):1-12.
- [4] 窦乘国,张宏波,陆征军.基于智能变电站三层一网的新型保护装置研制[J]. 江苏电机工程,2015,34(1):43-46.
- [5] 邵明驰,严东.南京电力通信传输网的研究与优化[J]. 江苏电机工程,2015,34(4):57-58,62.
- [6] 熊小萍,谭建成,林湘宁.基于 MPLS 的广域保护通信系统路由算法[J]. 电工技术学报,2013,28(6):257-263.
- [7] 童晓阳,王睿,黄飞,等.变电站级广域保护系统建模方法及其原型设计[J]. 电力系统自动化,2012,36(20):84-88,117.
- [8] 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.

作者简介:

- 杨贵(1976),男,吉林柳河人,高级工程师,从事变电站自动化系统、智能变电站系统及交换机研发工作;
- 彭安(1983),男,湖南汨罗人,工程师,从事变电站自动化及配电网自动化工作;
- 李莉(1976),女,陕西渭南人,工程师,从事变电站交换机技术研发工作。

参考文献:

- [1] 姚峻,高磊,陈维和,等. 900 MW 超临界机组协调控制及 AGC 策略的研究与应用[J]. 中国电力,2005,38(8):62-65.
- [2] 徐建中,陈益飞. INFIT 系统在超超临界发电机组汽温和协调控制中的应用[J]. 江苏电机工程,2015,34(3):72-74.
- [3] 吴波,吴科,吕剑虹. 一种补偿递归模糊神经网络及其学习

算法[J]. 中国科学:F 辑,2009,39(7):694-703.

- [4] 张志勇,陈钢,邱文超. 基于现代控制技术的 AGC 实时优化控制系统及其应用[J]. 华东电力,2011,39(1):153-156.

作者简介:

李长春(1980),男,江苏盐城人,工程师,从事设备管理工作。

Application of Advanced Control Technology in the 1000 MW Ultra-supercritical Unit

LI Changchun

(Datang Jiangsu Power Generation Co. Ltd., Nanjing 210058, China)

Abstract: With the problems of low speed of changing load, high fluctuation of main control parameters and the over-heat of main steam temperature of the 1000 MW ultra supercritical unit in Chaozhou power plant, this paper proposed an advanced control method of automatic generation control (AGC), which can be applied in the field with the INFIT real-time optimization system. The performance indicated that the advanced control technology can significantly improve load regulation ability, the operation stability of the unit and the average steam temperature of superheat and reheat, thus global safety and economy of the unit were improved.

Key words: ultra-supercritical unit; automatic generation control; model predictive control; self-adaptation control

(上接第 4 页)

Research on the Network Topology of Regional Protection Control System

YANG Gui, PENG An, LI Li

(Nanjing Nari-Relays Electric Co. Ltd., Nanjing 211102, China)

Abstract: In order to meet the peer-to-peer communication demand of distributed services of regional protection and control system and to realize the peer-to-peer communication mechanism of protection and control service between substations, the network topology for realizing peer-to-peer communication based on Multi-Service Transfer Platform is studied. At the same time, the network topology for peer-to-peer communication based on packet transport network (PTN) equipment is investigated. Also, the network topology for peer-to-peer communication based on high-availability seamless redundancy (HSR) ring network technology is studied. At last, the comparisons between various network schemes are presented, which provides a beneficial guidance for the construction of regional protection and control system.

Key words: regional protection control system; peer-to-peer communication; high-availability seamless redundancy (HSR); Multi-Service Transfer Platform (MSTP); packet transport network (PTN)

中电联发布《2016 年一季度全国电力供需形势分析预测报告》

一季度,全社会用电量同比增长 3.2%,增速同比提高 2.4 个百分点,比上年四季度提高 3.7 个百分点,用电形势有所好转。第三产业和城乡居民生活用电量快速增长,分别拉动全社会用电量增长 1.5 和 1.6 个百分点,所占全社会用电比重同比分别提高 1.0 和 1.1 个百分点;第二产业同比增长 0.2%,其中四大高耗能行业用电量同比下降 5.8%、比重降低 2.7 个百分点,合计下拉全社会用电量增速 1.8 个百分点,仍是第二产业及其工业用电量低速增长的最主要原因,反映出国家结构调整和转型升级效果继续显现,拉动用电增长的主要动力从传统高耗能产业向服务业和生活用电转换,电力消费结构在不断调整。一季度新增发电装机容量为历年同期最多,3 月底全口径发电装机容量达到 1520 GW 左右、供应能力充足,非化石能源发电量延续快速增长,火电发电量持续负增长、设备利用小时继续下降。全国电力供需总体宽松、部分地区过剩。

展望后三季度,预计上半年全社会用电量同比增长 2%左右,全年电力消费增速高于 2015 年。全年新增装机超过 100 GW,预计年底发电装机容量将达到 1630 GW 左右,其中非化石能源发电装机比重进一步提高至 36%左右;全国电力供应能力总体富余、部分地区过剩。全年火电设备利用小时降至 4000 h 左右,加之燃煤发电上网电价下调,部分省份电力用户直接交易降价幅度较大,煤电企业生产效益被进一步压缩,发展面临更大的挑战。

(摘编自中电联网站)