智能变电站过程层网络虚拟局域网划分的应用

智能变电站二次回路电缆简化和减少的同时带来了过程层网络的光纤通信，网络通信存在网络流量和网络安全等问题。本文针对智能变电站过程层网络架构特点的分析和比较，提出了适用于智能变电站的两层扩展星型拓扑结构——树型拓扑结构，针对智能变电站过程层网络流量特点分析和比较了交换机组播过滤和交换机VLAN划分的两种报文过滤方法，提出了一种可读性强的VLAN ID划分方法和划分原则，并通过工程应用实例验证了其可行性，在工程应用过程中也证明了该方法配置简单、实用且具有可读性，易于工程设计和维护。

李志坚[1] 姜宪国[2] 姚刚[1] 赵瑞辰[1] 白亮亮[1]/1.国电南瑞科技股份有限公司
2.中国电力科学研究院

李志坚/高级工程师

关键词/Keywords
智能变电站·
过程层网络·
交换机·
虚拟局域网·
VLAN ID·
PVID·

0 引言

智能变电站[1]采用全站信息数字化、通信协议标准化和通信架构网络化，实现变电站全站的信息采集、保护、测量、控制、计量和检测功能。智能变电站系统由站控层、间隔层和过程层组成，层与层之间信息交互通过网络通信实现，值得一提的是间隔层和过程层设备简化为以光缆/光纤为媒介的网络通信，取消了保护、测量和控制设备的二次回路电缆接线。随着计算机网络技术和交换机在智能变电站的应用，同时也带来了网络堵塞报文延迟到达、网络风暴报文未到达等问题，为解决网络流量带来的安全问题，通过交换机虚拟局域网（Virtual Local Area Network，VLAN）[2]的划分、交换机组播过滤的应用可达到降低网络流量目的，从而保证网络安全可靠运行。

本文通过交换机虚拟局域网VLAN信息标识（VLAN ID，VID）划分和交换机组播过滤方法的比较和分析，提出一种更适用于智能变电站过程层网络通信且配置简单、可读性强的虚拟局域网划分方法。

1 智能变电站网络架构和网络流量特点

智能变电站由三层两网组成，三层指的是站控层、间隔层和过程层[3]，两网指的是站控层网络和过程层网络。过程层设备合并单元、智能终端就近就地安装，大量减少和简化了二次回路电缆的铺设量，过程层设备通过光纤媒介与间隔层设备通信，该过程层网络主要传输采样值信息（SV）、开入开出和事件信息（GOOSE），其中SV报文是4 000帧/s报文的实时发送，其特点是发送数据量大[4]，GOOSE报文是定期“心跳”发送和变位瞬时发送，其特点是平时数据量不大，当发生扰动、启动或区内外故障时不同设备会同时发生突发GOOSE变位报文，可能引起网络负荷瞬时过重[5-6]，因此采取有效的方法对SV、GOOSE报文进行隔离、过滤是十分必要的。

2 过程层网络拓扑结构分析与选择

目前智能变电站过程层网络[7-8]常见有星型拓扑结构和环型拓扑结构，如图1和图2所示。

其中星型拓扑结构优点是网络结构简单，扩展容易，报文延时固定，广

中国知网 https://www.cnki.net

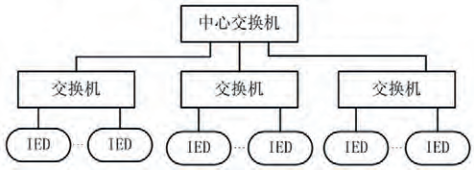

图1 星型拓扑结构

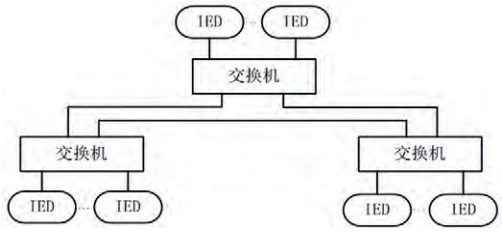

图2 环型拓扑结构

播报文不会引起网络风暴，缺点是交换机数量较多，中心交换机负担重；环形拓扑结构优点是网络冗余度高，交换机数量较少，缺点是网络结构复杂、扩展困难、报文延时不固定，广播风暴可能引起网络风暴。从电力系统运行维护、网络传输延时、网络安全可靠等方面考虑，过程层网络应当采用星型拓扑结构。

为解决中心交换机负担重和接口数量不够的问题，可采用两层扩展星型拓扑结构，即树型拓扑结构，如图3所示。

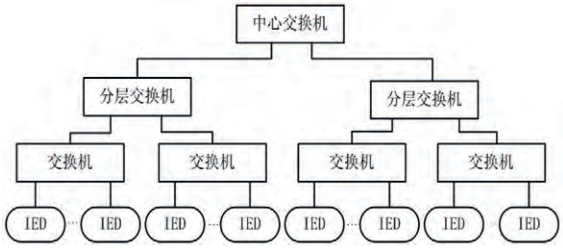

图3 树型拓扑结构

3 过程层网络报文过滤方法比较与选择

控制和降低过程层网络流量常用方法有两种：一种是交换机组播过滤，另一种是交换机VLAN划分。

3.1 交换机组播过滤

交换机组播过滤常用静态组播配置和动态组播分配[9]两种方式实现，静态组播配置指的是通过配置交换机静态组播地址实现报文过滤，动态组播分配指的是通过标准的组播管理协议实现交换机动态分组，如GMRP（GARP Multicast Registration Protocol），从而达到报文过滤目的。静态组播和动态组播都或多或少存在着不足、不便或者过于依赖组播管理协议等问题，见表1。

表1 交换机组播过滤缺点

缺点	静态组播	动态组播
配置复杂	●	
端口固定，不便于维护和端口备用	●	
交换机需支持二层组播管理协议		●
需查询报文信息，额外增加网络流量		●
动态改变网络划分，网络安全性较差		●

综上，不建议智能变电站过程层网络采用交换机组播过滤方法实现报文过滤。

3.2 交换机虚拟局域网（VLAN）划分

基于IEEE802.1Q附加的VLAN信息标识，就像在传递物品时附加的“标签”，通过“标签”的比较实现虚拟局域网的划分，从而达到报文过滤的目的，报文中的VLAN信息标识如图4所示。

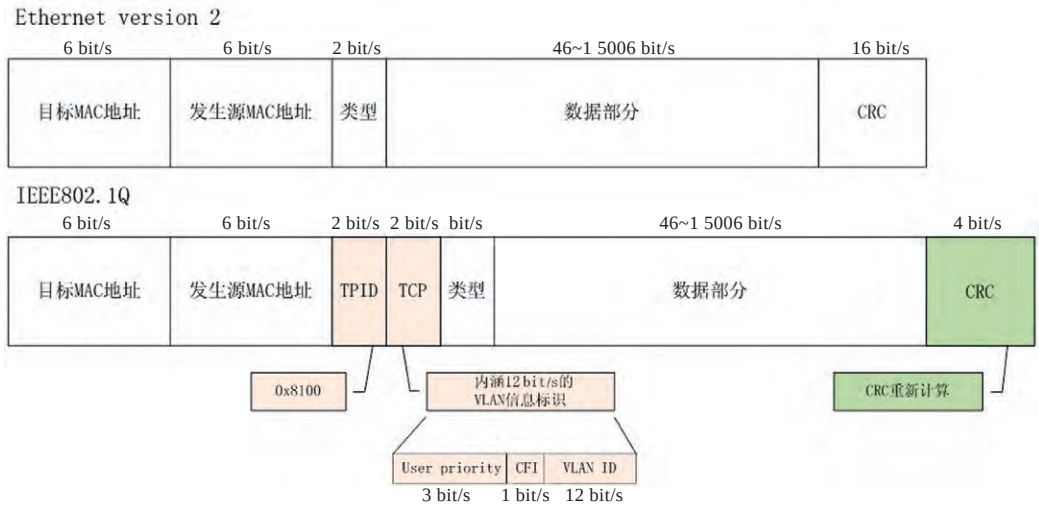

图4 IEEE802.1Q附加的VLAN信息标识

中国知网 https://www.cnki.net

报文的过滤需设置交换机的VID（VLAN ID）和PVID（Port-base VLAN ID），一个端口可以属于多个VLAN，但是只能有一个PVID，PVID的作用是当收到一个untaged数据包时，会打上PVID所设置的“标签”，此时数据包的VLAN ID=PVID。

通过交换机端口设置，可以使得交换机满足如下的端口收发处理机制。

（1）untaged端口接收：对于untaged 数据包则加上端口的PVID和缺省的优先级再进行交换转发。

（2）untaged端口发送：对于VID=PVID的tagged数据包去除“标签”并进行转发，对于VID!=PVID的tagged数据包丢弃不进行转发。

（3）taged端口接收：能够接收VID=PVID的tagged数据包，不改变“标签”。

（4）taged端口发送：同untaged端口发送。

以太网报文打VLAN ID的方法有两种，第一种是由装置自己打VLAN ID，即发送的报文带VLAN ID，此时交换机端口类型需要设置为taged端口；第二种方法是由交换机自己打VLAN ID，即发送的报文不带VLAN ID，此时交换机端口类型需要设置为untaged端口。

由于VLAN ID使用12位表示，其有效范围为1~4095（0 表示不属于任何VLAN）。为了使得VLAN ID具有可读性，建议VLAN ID划分按图5所示分配。

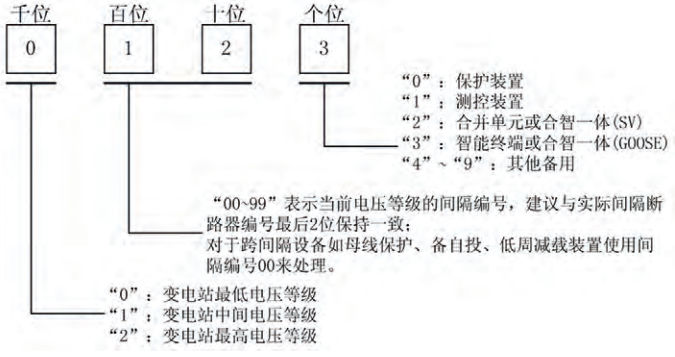

图5　VLAN ID分配示意

3.3 过程层网络报文过滤方法选择

通过与交换机组播过滤比较可以得出，基于VLAN ID划分的交换机配置简单而且容易实现，使用了图5所示的VLAN ID分配方法使得VLAN ID具有可读性，这样更方便于交换机VLAN划分设计和工程维护，而且静态配置VLAN的方法不会增加额外的动态查询报文信息，不需要交换机额外支持二层组播管理协议，最重要的是投运以后不会动态改变网络划分，保证了网络的安全性，因此建议智能变电站使用交换机虚拟局域网（VLAN）划分的方法控制和减低网络报文流量。

4　过程层网络虚拟局域网(VLAN)划分工程应用

4.1 工程应用交换机VLAN划分原则

为便于智能变电站过程层网络虚拟局域网划分的实际工程应用，总结交换机VLAN划分如下原则：

（1）VLAN划分应根据虚端子连接来进行，没有数据交换的设备不能放在同一VLAN，并尽量减少跨交换机的数据交换。

（2）PVID相同的端口属于同一VLAN。两端口PVID不同，但VID互相包含对方的PVID，则也能相互收发数据，属于同一VLAN。

（3）VID划分方法建议按间隔GOOSE网和间隔SV网来划分，即同一间隔所有设备对应的端口分配为同一VLAN。进行GOOSE的VLAN划分时，同一间隔的合并单元、智能终端和测控装置（保护装置GOOSE组网时也包括保护装置）在同一个VLAN里，且尽量在同一个交换机上以减少交换机之间的流量。进行SV的VLAN划分时，同一间隔的合并单元和测控装置（保护装置SV组网时也包括保护装置）在同一个VLAN里；由于SV报文流量大，不同间隔建议不划入同一VLAN，即不同间隔使用划入不同VLAN。

（4）VLAN中的某个设备与其他VLAN的设备发生数据交换时，如跨间隔设备母线保护[10]装置和备自投[11]装置，需单独分配PVID号，以便可靠隔离潜在的网络风暴。

（5）按图5示意分配VID。

（6）交换机级联时VID设置为1。

4.2 工程应用交换机VLAN划分实例

基于上节叙述划分原则的交换机VLAN划分已在四川、辽宁和新疆等多个智能变电站中工程中得以应用，现以220 kV双母线接线四川某智能变

中国知网　https://www.cnki.net

电站工程的GOOSE组网实例说明各类间隔交换机的VLAN划分，其中间隔间和跨间隔设备GOOSE组网需交互的信息，见表2。

表2 智能变电站GOOSE组网交互信息

序号	设备类型	组网接收对象及信息
1	变压器保护	母线保护的失灵联跳主变三侧
2	线路保护	母线保护的线路闭锁重合闸、线路远跳对侧
3	母线保护	母联保护、变压器保护、线路保护的启动失灵
4	间隔测控(母联/变压器/线路)	间隔合并单元的GOOSE事件转发，间隔智能终端的开入量及GOOSE事件转发
5	主变本体测控	主变本体智能终端的开入量及GOOSE事件转发
6	母线测控	母线合并单元的GOOSE事件转发，按母线段数配置的母线智能终端的开入量及GOOSE事件转发
7	间隔合并单元(母联/变压器/线路)	间隔智能终端的隔刀状态位置
8	母线合并单元	按母线段数配置的母线智能终端的隔刀状态位置
9	间隔智能终端(变压器/线路)	变压器/线路间隔测控断的遥控操作
10	母联间隔智能终端	母联间隔测控的遥控操作，变压器保护的组网跳母联
11	主变本体智能终端	主变本体测控的遥控操作，变压器保护的延时非电量类跳闸
12	母线智能终端	母线测控的遥控操作
13	故障录波器	所有保护、测控、合并单元和智能终端的GOOSE组网信息
14	故障录波器	所有保护、测控、合并单元和智能终端的GOOSE组网信息

智能变电站过程层网路所有交换机端口均设置为untaged端口，母联间隔（间隔编号01）交换机VLAN见表3的划分，变压器间隔（间隔编号02）交换机VLAN见表4的划分，线路间隔（间隔编号03）交换机VLAN见表5的划分，跨间隔中心交换机VLAN见表6的划分。

表3 母联间隔交换机VLAN划分

端口序号	接入设备	PVID	VID
1	220 kV中心交换机	1	2010,2013,2000
2	220 kV母联保护	2010	2010
3	220 kV母联测控	2011	2011,2012,2013
4	220 kV母联合并单元	2012	2012,2013
5	220 kV母联智能终端	2013	2013,2011,2020

表4 变压器间隔交换机VLAN划分

端口序号	接入设备	PVID	VID
1	220 kV 中心交换机	1	1,2020,2023,2000
2	1#主变压器保护(高压侧)	2020	2020,2000
3	1#主变压器220 kV侧测控	2021	2021,2022,2023
4	1#主变压器220 kV侧合并单元	2022	2022,2023
5	1#主变压器220 kV侧智能终端	2023	2023,2021
6	1#主变压器本体测控	2024	2024,2025
7	1#主变压器本体智能终端	2025	2025,2024,2020

表5 线路间隔交换机VLAN划分

端口序号	接入设备	PVID	VID
1	220 kV 中心交换机	1	1,2030,2033,2000
2	220 kV线路1保护	2030	2030,2000
3	220 kV线路1测控	2031	2031,2032,2033
4	220 kV线路1合并单元	2032	2032,2033
5	220 kV线路1智能终端	2033	2033,2031

中国知网 https://www.cnki.net

表6 中心交换机VLAN划分

端口序号	接入设备	PVID	VID
1	220 kV 母线保护	2000	2000, 2010,2013, 2020,2023, 2030,2033
2	220 kV母线测控	2001	2001,2002,2003, 2004
3	220 kV母线合并单元	2002	2002,2003,2004
4	220 kV母线1智能终端	2003	2003,2001
5	220 kV母线2智能终端	2004	2004,2001
6	220 kV故障录波器	2005	2005,2000,2001, 2002, 2003, 2004, 2010,2011,2012,2013, 2020,2021,2022,2023, 2030, 2031,2032,2033
7	220 kV网路分析仪	2006	2006,2000,2002 2010,2012,2013, 2020,2022,2013, 2030,2032,2033

5 结束语

本文重点分析了智能变电站过程层网络的网络架构和网络流量特点，总结得出两层扩展星型拓扑结构，即树型拓扑结构为最佳网络架构，通过交换机组播过滤和交换机VLAN划分技术特点比较，总结得出交换机VLAN划分更适用于智能变电站的网络报文过滤，并基于此基础提出了VLAN ID划分分配方法，使得VLAN ID具有可读性，更便于工程设计和维护。最后结合实际应用，提出了工程应用交换机VLAN划分原则，并通过工程应用实例验证了其可行性。VLAN 合理划分技术在智能变电站的应用将会有效的控制网络流量，从而提高了网络安全。

参考文献

[1] 刘振亚.智能电网技术[M].北京:中国电力出版社，2010.

[2] 秦川红，王宁，任宏达，等. 采用虚拟局域网的数字化变电站数据通信仿真研究[J].电力系统保护与控制，2013，41(2):126-131.

[3] 李志坚，姜利华，陈丽红，等. 数字化保护装置时钟同步的实现[J]. 电力系统保护与控制,2011，39(7):105-109.

[4] 胡国，唐成虹，徐子安，等. 数字化变电站新型合并单元的研制[J].电力系统自动化，2010，34(24):51-54.

[5] 童晓阳，廖晨淞，周立龙，等. 基于IEC 61850－9－2的变电站通信网络仿真[J].电力系统自动化，2010，34(2):69-73.

[6] 王松，黄晓明.GOOSE报文过滤方法研究[J].电力系统自动化，2008，32(19):54-57.

[7] 谢希仁.计算机网络[M].北京:电子工业出版社，2003.

[8] 樊陈，倪益民，窦仁辉,等.智能变电站过程层组网方案分析[J].电力系统自动化，2011，35(18):67-71.

[9] 王文龙，杨贵，刘明慧.智能变电站过程层用交换机的研制[J].电力系统自动化，2011，35(18):72-76.

[10] 李志坚，刘培超，张小鹏.母联隔离刀闸故障开断时母线及母联失灵保护的解决方案[J].水电自动化与大坝监测，2012，36(6):31-33.

[11] 李志坚，姜利华，吴崇昊，等.一种基于有限状态机和组态的备自投实现[J].电力系统自动化，2009，33(23):81-84.

（收稿日期：2015-03-30）EA

作者简介

李志坚（1976-），男，通信作者,硕士，高级工程师，研究方向为电力系统继电保护。

姜宪国（1985-），男，博士，工程师，研究方向为电力系统保护及智能变电站相关技术研究。

中国知网 https://www.cnki.net