基于交换机端口的虚拟局域网划分技术在智能变电站中的工程应用

110 kV智能变电站采用GOOSE和SV共网共口、网采网跳方式，为满足数据传送实时性要求以及确保过程层网络工作的稳定性和可靠性，可采用基于过程层交换机端口的虚拟局域网（VLAN）网络技术手段对数据流进行分类导向及流量控制。对该划分技术在工程应用中的具体实施思路、步骤和注意事项进行了介绍。

蔡宇翔[1,2]　郑　宏[2]／1.国网福建省电力有限公司　2.西北大学经济管理学院

蔡宇翔／高级工程师

关键词/Keywords

过程层网络 · 虚拟局域网 · VID · PVID · 工程应用 ·

智能变电站由站控层、间隔层和过程层组成[1]。站控层和间隔层之间采用基于以太网的IEC 61850协议通信，取代了传统的103等通信协议；同时，间隔层和过程层之间取消了传统综合自动化站的二次电缆，通过交换机网络传输保护跳闸命令[2]、开关信号和采样值信息等，该网络称之为过程层网络[3]。根据《智能变电站技术规范》规定，110 kV智能变电站过程层网络采用面向对象变电站事件（GOOSE）和采样值的（SV，也称为SMV）共网共口、网采网跳组网方式[4]。智能变电站过程层网络的引入，使得保护和测控的输入值、输出值均依赖于网络通信，增加了因网络不稳定或网络带宽不足而影响保护正确动作、甚至整个二次系统的可能性。因此，关注和重视过程层网络的稳定性和可靠性十分必要。

目前国内对可优化智能变电站过程层网络性能的虚拟局域网（Virtual Local Area Network，VLAN）、GMRP（GARP 组播注册协议）和静态组播管理等技术进行了研究，其中智能变电站采用VLAN是可行且必要的，它不仅可以抑制广播信息泛滥，还可以大大减少交换机的负荷和网络延时。本文以罗杰康（RuggedCom）交换机为例，详细介绍了基于端口的VLAN划分技术在110 kV智能变电站中的具体应用方法和注意事项。

过程层网络

1. 网络特点

智能变电站按三层两网结构进行组网。三层为站控层、间隔层和过程层，站控层和间隔层之间的网络为站控层网络（MMS），间隔层和过程层之间的网络为GOOSE 或SV 网（统称为过程层网络）[5]。过程层网络采用双星型结构，双网双工方式运行，根据流量和传输路径分为若干个逻辑子网。110 kV变电站GOOSE和SV合并组成A、B双网，且GOOSE和SV采用共网共口方式。

2. 报文传输方式

1）为了传输的快速性和高效性，按照IEC 61850规范，SV和GOOSE报文均直接映射到数据链路层，直接采用MAC地址传输，不经过TCP/IP协议栈的封装。

2）SV和GOOSE报文均采用组播（或称多播）传输，这样可以更好地实现过程层的“订阅/发布”机制，实现一发多收，并能很好地控制其转发范围。

3. 组播报文传输

组播传输是在单个发送者和多个接收者之间实现一点对多点通信的一种传播方式，介于单播传输和广播传输之间。它提高了数据传送效率，减少了骨干网络出现拥塞的可能性。不影响不接

中国知网 https://www.cnki.net

收该组播数据的主机，能够节约网络带宽，降低主机处理负担。

4. 网络流量特点

智能变电站由站控层网络和过程层网络构成。站控层网络主要负责全站设备的监控、管理和高级应用，而过程层网络则主要负责采样值的采集、设备间配合命令和操作命令的传输[6]。采样值信息（SV报文）的主要特点是数据量大，占用带宽资源多；设备间配合命令（GOOSE报文）的主要特点是突发流量低；设备操作命令（GOOSE报文）的特点是实时性及优先级要求高[7-8]。

5. 交换机配置

一般情况，110 kV变电站过程层交换机按A、B双网独立配置，A网、B网分别由4台100 Mbit/s工业级交换机按星形方式组成，其中1台为汇总交换机，另3台分别为1#、2#主变压器和110 kV间隔子交换机，每台交换机配置16个100 Mbit/s ST光口，每个端口允许通过的额定流量为100 Mbit/s。如图1所示，35 kV及以下电压等级装置就地安装，不单独构建过程层网络。

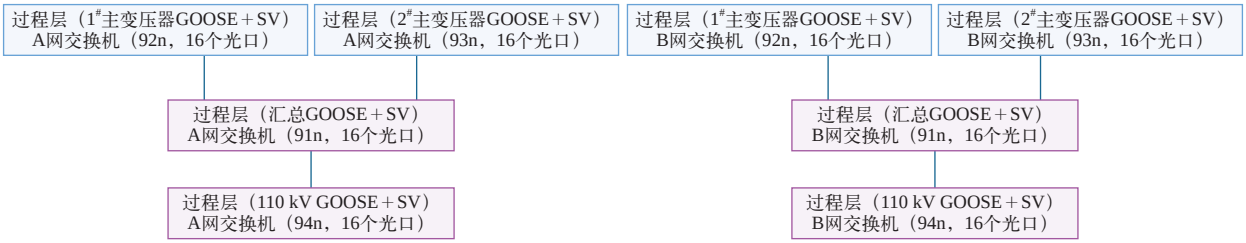

图1 110 kV智能变电站过程层A、B网络结构示意图

6. 风险分析

综上所述，智能变电站过程层网络主要存在以下风险。

1）组播流量大。根据《智能变电站采样值报文输出技术规范》要求，以SV报文为例，按22个通道标准配置，每个合并单元通过交换机端口的流量为7～8 Mbit/s。一个典型的110 kV单母线分段变电站，合并单元数量约为13个。

2）突发流量。遇到变电站事件集中发生时，过程层网络会产生瞬时突发流量。

3）网络风暴的危害。尽管星形网络可以避免因环网结构或环网协议失效而产生的网络风暴，但若过程层某装置异常，突然产生大量扰动报文或外来源头加入大量扰动报文，将导致网络流量突然增大到数倍于正常流量，可能使过程层众多装置受冲击而异常，造成过程层网络瘫痪。

VLAN

VLAN是一种将局域网设备从逻辑上划分成一个个网段，从而实现虚拟工作组的新兴数据交换技术。主要对数据流进行分类导向及流量控制，以满足数字化变电站对站内信息实时性及高效性的要求。

1. VLAN的技术特点

VLAN的主要技术特点为：①配置内容为报文VID和交换机端口PVID；②网络划分方式为静态划分；③配置对象为装置和交换机；④工作方式为无额外的报文信息；⑤网络分区结构为静态网络分区结构，清晰稳定。

2. 采用VLAN的必要性

1）VLAN可以抑制过程层广播风暴。在智能变电站中，合并单元接收到原始电流电压数据报文后，以广播的形式在过程层中传播，若不划分VLAN，广播信息就会泛滥，导致网络数据流量大，增大网络延时，甚至造成网络拥堵或数据包丢失增多。因此，有必要对智能变电站中的智能电子设备（IED）进行逻辑划分，将同一工作性质的设备集中在同一个VLAN中，限制广播信息在各个VLAN内部，减少跨VLAN的数据流量以减轻交换机的工作负荷，提高网络传输效率和通信质量，满足变电站实时性要求。

2）VLAN能为变电站提供更好的安全服务。

中国知网 https://www.cnki.net

在传输实时性要求较高的情况下，一般不考虑数据加密、身份认证等较复杂的安全策略，而采用VLAN技术来防止实时信息的非法监听、篡改或插入[9]。目前，IEC 61850 标准采用的安全机制是IEC 62351－4 和 IEC 62351－6 里提到的安全机制，其中就包括采用VLAN的安全机制[10]，即划分VLAN阻止本VLAN以外的非授权访问。因此，智能变电站可采取多VLAN划分，对于每个独立的VLAN只能实现网内的数据通信，对于需要跨间隔交换的数据，可以进行网络访问的安全设置。

3）VLAN能方便变电站网络管理并减少其管理开销，当变电站扩充或减少设备时，若采用多VLAN技术，只需在交换机上进行相应的设置，在VLAN中增加或减少设定的设备即可，不需要考虑设备的物理位置，进而可以减少变电站的管理成本。

3. VLAN的划分方式

VLAN的主要划分方式有4种：①建立在物理层，基于端口的VLAN划分；②建立在数据链路层，基于MAC地址的VLAN划分；③建立在数据链路层，基于网络层和IP广播方式的VLAN划分；④基于策略的VLAN划分。其中，以交换机端口来划分网络成员，其配置过程最为简单可靠[11]，并且通常情况下，站内装置是不移动的，其与交换机的连接端口也是固定的，不存在设备变动端口后需从新配置VLAN的缺点。

工程应用

以罗杰康（RuggedCom）R2300交换机为例，介绍基于端口的VLAN划分技术在110 kV智能变电站中的具体应用方法和注意事项。

1. VID配置规则

VID 即VLAN ID，不同的VLAN分区拥有不同的ID号，交换机所能支持的VLAN个数是由其帧格式所决定的，如帧格式中VID域占用12 bit/s的长度，则该交换机所能支持的VLAN数量是4 096个。对于VID的配置，目前暂没有相关的规定。根据现场经验，针对110 kV智能变电站提出的划分依据主要是：①按合并单元进行划分，即每个合并单元（MU）为1个VID，因为占用过程层网络带宽的主要数据流为SV报文，对每个MU的SV数据交换路径进行精细规划，将有效减少汇总交换机的负荷，缩短网络延时；②公用辅助装置分别为1个VID，例如网分和故障录波，它们收取全站所有智能设备（IED）的SV和GOOSE报文，独立配置便于管理；③10 kV、35 kV分段和小电源联切装置为1个VID，因为从保护逻辑角度分析，只有主变压器保护测控装置与它们有关联，单独配置既可防止SCD误配置时断路器的误动，也方便管理；④全站所有GOOSE数据为1个VID，因为GOOSE报文数据包很小，且110 kV线路、分段和备自投等保护测控装置和智能终端之间存在相互关系，可简化VLAN划分；⑤VID编号按3位数编排，百位数为“1”或“2”，1代表A网，2代表B网；十位、个位为编排序号（02～99），例如网络报文记录分析仪的VID为109，表示过程层A网交换机系统中09号VLAN对应的设备是网分。RuggedCom交换机出厂时VID缺省设置为1。

2. PVID配置规则

PVID（Port VLAN ID）就是端口的VLAN ID，关系到端口收发数据帧时的VLAN TAG标记。一个交换机端口的PVID是唯一的，但可属于多个VID，交换机PVID默认值为1。

PVID的作用是：当一个IP数据包进入交换机端口时，如果没有带TAG头，且该端口上配置了PVID，那么该数据包就会被打上相应的TAG头信息。如果进入的IP数据包已经带有TAG头，交换机则不会再增加TAG头信息，即使是端口上已经配置了PVID号。交换机端口的PVID号为接入设备所属的VID号。

3. Trunk和Edge端口类型

RuggedCom交换机对其端口定义了两种类型，即Trunk和Edge。从应用角度理解，定义为Trunk的端口可跨不同VLAN网接收数据，为公用属性；定义为Edge的端口只能接收同一VLAN网内的数据，为私有属性。

根据交换机各端口所接设备，确定该端口类型为Trunk或Edge，划分原则是该设备是否接收其

中国知网 https://www.cnki.net

他间隔的装置报文，接收的定义为Trunk，不接收的定义为Edge。例如网分，它需要收取全站IED报文，则接网分的端口类型（Type）定义为Trunk；又如110 kV线路合并单元，它不收其他装置的报文，则接该线路MU的端口类型定义为Edge。因为Trunk和Edge端口类型属性不同，所以基于端口的VLAN划分方法只需对Trunk类型的端口进行VLAN划分，不用对所有端口进行配置。

4. 配置流程

1）第一步。根据施工设计图和保护逻辑，编制过程层交换机VID和PVID分配表。VID分配表反应全站装置的VLAN定义情况，即每类（台）设备对应的VLAN号，VLAN号在网络中是唯一的，如表1所示。

表1 110 kV智能变电站过程层A网汇总交换机VID分配表

VID	VLAN Name	VLAN描述	Forbidden Ports
102	VLAN2	GOOSE	4
103	XINHEPU	新和普网络分析仪	None
104	SWITCH	思维奇网络分析仪	None
105	LUBO	故障录波器	None
106	MUB1GA	1#主变压器高压侧合并单元A	1，5，7，19，14，15
107	MUB1ZA	1#主变压器中压侧合并单元A	1，5，7，19，14，15
108	MUB1DA	1#主变压器低压侧合并单元A	1，5，7，19，14，15
109	MUB1ZXD1	1#主变压器高压侧零序合并单元	1，5，7，19，13，14，15
110	MUB1ZXD2	1#主变压器高压侧间隙合并单元	1，5，7，19，14，15
111	MUB2GA	2#主变压器高压侧合并单元A	1，5，7，19，13，15
112	MUB2ZA	2#主变压器中压侧合并单元A	1，5，7，19，13，15
113	MUB2DA	2#主变压器低压侧合并单元A	1，5，7，19，13，15
114	MUB2ZXD1	2#主变压器高压侧零序合并单元	1，5，7，19，13，14，15
115	MUB2ZXD2	2#主变压器高压侧间隙合并单元	1，5，7，19，13，15
116	110XL1MU	110 kV滥双线合并单元	4，5，7，13，14
117	XL2MU	110 kV黄双线合并单元	4，5，7，13，14
118	11OFDMU	110 kV分段合并单元	1，4，5，7，13，14
119	110BUS1MU	110 kV Ⅰ母线PT合并单元	4，7，14
120	35BUS1MU	35 kV Ⅰ母线PT合并单元	1，4，7，14，15
121	10BUS1MU	10 kV Ⅰ母线PT合并单元	1，4，7，14，15
122	BUS2MU	110 kV Ⅱ母线PT合并单元	4，7，13
123	35BUS2MU	35 kV Ⅱ母线PT合并单元	1，4，7，13，15
124	10BUS2MU	10 kV Ⅱ母线PT合并单元	1，4，7，13，15
126	2JL	92n－91n级联口	None
127	3JL	93n－91n级联口	None
128	4JL	94n－91n级联口	None
129	XIAODIANYUAN	小电源及35 kV、10 kV分段装置	1，4，5，15
119	110BUS1MU	110 kV Ⅰ母线PT合并单元	4，7，14
120	35BUS1MU	35 kV Ⅰ母线PT合并单元	1，4，7，14，15

该VID分配表包含以下信息：①确定了设备的VLAN ID，例如110 kV滥双线合并单元的VID为116，即116号VLAN对应的装置是110 kV滥双线MU；②对SV和GOOSE报文的转发范围进行控制。禁用口 （Forbidden Ports）的含义是指某VLAN对应的装置不向该端口发送数据，例如116号VLAN对应110 kV滥双线合并单元，其禁用口有4、5、7、13和14，表示110 kV滥双线MU的报文不转发给汇总交换机的第4、5、7、13和14端口，即上述端口所接装置不会接收滥双线MU

中国知网 https://www.cnki.net

的报文；③定义了装置英文名称，便于交换机配置。名称定义采用英文缩写和拼音简写结合，例如MUB1GA，MU是合并单元的英文缩写，B1、G分别为1#主变压器和高压侧的拼音简写，A表示A网，即1#主变压器高压侧合并单元A。

禁用口设置需配合PVID分配表使用。如表2所示，第P4、P5、P7、P13和P14端口所接装置分别为网络分析仪（收主变压器SMV）、母线测控装置PPS－7771（收SMV）、35 kV分段310保测装置ISA－367GO、91n－92n级联口和91n－93n级联口。汇总交换机为91n，1#、2#主变压器交换机为92n、93n，110 kV间隔交换机为94n。根据保护逻辑可知，110 kV滥双线合并单元与上述设备没有关系，因此在汇总交换机第116号VLAN设置中将以上端口禁用。同理，交换机第P1、P9、P10和P15号端口也是Trunk类型，所接装置分别为110 kV备自投装置PRS－7358、故障录波器、网络分析仪和91n－94n级联口，这些设备与110 kV滥双线合并单元存在联系，例如110 kV备自投要采集滥双线间隔的电流和线路电压，又如在94n交换机上有滥双

表2 110 kV智能变电站过程层A网汇总交换机PVID分配表

端口编号	所接装置	Type	PVID
P1	110 kV备自投装置PRS－7358	Trunk	2
P2	备用口	Edge	2
P3	1#主变压器高压侧零序合并单元PRS－7393－1	Edge	9
P4	网络分析仪（收主变压器SMV）	Trunk	3
P5	母线测控装置PPS－7771（收SMV）	Trunk	2
P6	2#主变压器高压侧零序合并单元PRS－7393－1	Edge	14
P7	35 kV分段310保测装置ISA－367GO	Trunk	10
P8	35 kV Ⅰ母线PT智能终端PRS－7389	Edge	2
P9	故障录波器	Trunk	5
P10	网络分析仪	Trunk	4
P11	备用口	Edge	2
P13	91n－92n级联口	Trunk	26
P14	91n－93n级联口	Trunk	27
P15	91n－94n级联口	Trunk	28
P16	35 kV Ⅱ母线PT智能终端PRS－7389	Edge	2
P17	10 kV Ⅰ母线PT智能终端PRS－7389	Edge	2
P18	10 kV Ⅱ母线PT智能终端PRS－7389	Edge	2
P19	网络分析仪（其他SMV＋所有GOOSE）	Trunk	3
P20	调试口	Edge	2

线保护装置，保护装置也要采集本间隔的交流量等，因此汇总交换机的第P1、P9、P10和P15号端口没有被第116号VID禁用。

该PVID分配表包含以下信息：①交换机各端口的使用情况，即每个端口所接装置；②端口类型为Runk或Edge型；③端口对应的VLAN，即端口所接装置在VID分配表中的定义。

因为交换机各端口所接设备不同，同一VLAN在不同交换机中需要禁用的口也不相同，所以过程层A网、B网的每台交换机需分别编制一份PVID和VID分配表。

2）第二步。PC机与交换机连接。通过USB转R232接口和RuggedCom专用数据线相连，接入交换机前置面板。

3）第三步。运行SecureCRT.exe应用程序。首先设置通信参数，例如COM口等。COM口查询方法如下，对于XP系统，右击我的电脑－属性－硬件－设备管理器－端口（COM和LPT），查看电脑分配给该USB转接口的COM号编号，然后对SecureCRT软件进行对应设置。

4）第四步。开放交换机多VLAN配置功能。交换机默认的VLAN是1。路径为Virtual LANs－Configure Global VLAN Paramenters－VLAN－Aware，选择Yes。

5）第五步。根据已编制的VID分配表进行VID号和各VLAN的Forbidden Ports的设置。路径为Virtual LANs－Configure Static VLANs，如图2所示。

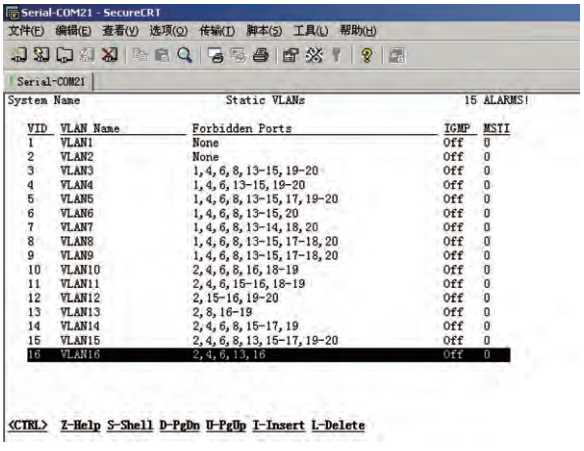

图2 Static VLANs配置界面示意图

中国知网 https://www.cnki.net

6）第六步。根据已编制的PVID分配表进行PVID号和各端口类型的设置。路径为Virtual LANs－Configure Port VLAN Parameters，如图3所示。

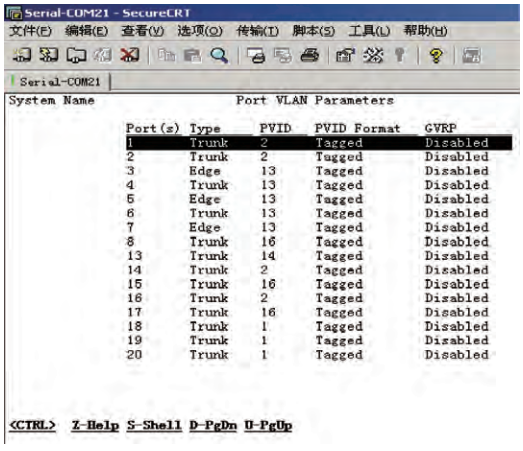

图3 Port VLAN Parameters配置界面示意图

通过以上六步，完成过程层交换机VLAN的配置工作。

5. 注意事项

1）PC与RuggedCom交换机连接需使用RuggedCom专用数据线，该数据线随交换机一同配置，现场注意查收和保管。

2）基于端口的VLAN划分方法只对Trunk类型的端口进行VLAN划分，即VID表中的禁用口只考虑Trunk类型对应的端口。

3）对于A网或B网交换机系统，VLAN号是唯一的，不能重复。

4）对于同一台交换机，同一个VLAN号可包含一个或多个端口，但一个端口只能定义（或属于）一个VLAN号。

5）过程层交换机宜按设备类型进行组网，有利于级联口的VLAN配置。

结束语

智能变电站采用基于端口的VLAN划分技术不仅可以抑制组播信息泛滥，还可以大大减少交换机的负荷和网络延时。在工程应用中，通过分析全站各保护装置的逻辑关系和数据流量，首先编制过程层交换机的PVID和VID分配表，然后将制订的网络控制策略配置到相应的交换机，就完成了过程层交换机VLAN的配置工作。该技术已在地区电网公司110 kV智能变电站中运用，各变电站的过程层网络运行情况稳定。

参考文献

[1] 丁腾波，林亚男，赵萌．智能变电站虚拟局域网逻辑结构划分方案的研究 [J]．电力系统保护与控制，2012，40 (1)：115-119，155．

[2] 朱炳铨，王松，李慧．基于IEC 61850 GOOSE技术的继电保护工程应用 [J]．电力系统自动化，2009，33 (8)：104-107．

[3] 刘明慧，赵晓东，司梦，等．智能变电站过程层网络流量管理方式研究与应用 [J]．电力系统保护与控制，2012，40 (23)：87-92．

[4] 易永辉，王雷涛，陶永健．智能变电站过程层应用技术研究 [J]．电力系统保护与控制，2010，38 (21)：1-5．

[5] 李孟超，王允平，李献伟，等．智能变电站及技术特点分析 [J]．电力系统保护与控制，2010，38 (18)：59-62．

[6] 张清枝，魏勇，赵成功．变电站网络化二次系统关键技术研究及应用 [J]．电力系统保护与控制，2009，37 (8)：47-52．

[7] 李益民，董张卓，王玲．IEC 61850 过程层的网络通信传输与实现 [J]．电力系统保护与控制，2008，36 (19)：33-35，39．

[8] 曹津平，李伟，秦应力，等．数字化变电站过程层的通信技术研究 [J]．电力系统保护与控制，2008，36 (12)：60-63，68．

[9] 莫峻，谭建成．基于IEC 61850 的变电站网络安全分析 [J]．电力系统通信，2009，30 (4)：12-16．

[10] Premaratne U，Samarabandu J，Sidhu T S，et al．Securityanalysis and auditing of IEC 61850-Based automatedsubstations [J]．IEEE Transactions on Power Delivery，2010，25 (4)：2346-2355．

[11] 鞠阳．数字化变电站的网络通信模式 [J]．电力系统保护与控制，2010，38 (1)：92-95．

（收稿日期：2014－05－05）EA

中国知网 https://www.cnki.net