

PVLAN 在 110 kV 变电站自动化系统组网中的设计与实现

吴端华¹, 程华², 黄文龙¹, 刘频²

(1. 成都电业局电力调度中心, 四川 成都 610021; 2. 成都智达电力自动控制有限公司, 四川 成都 610031)

摘要: 针对 110 kV 及以下规模的变电站自动化系统通信特点, 分析了目前变电站内通信网络存在的不足。详细论述了 VLAN 技术的功能特点及其在变电站自动化系统组网中的传统应用, 分析了 VLAN 技术在这种应用中的局限性。提出采用基于 PVLAN 技术的变电站自动化系统组网方案, 解决了变电站自动化系统通信中的诸多隐患, 有效地优化了通信网络。仿真实验和现场的实际运行充分验证了该方案的正确性与可行性。

关键词: PVLAN; 智能电网; 变电站自动化系统

The design and implementation of PVLAN in 110 kV substation automation system

WU Duan-hua¹, CHENG Hua², HUANG Wen-long¹, LIU Pin²

(1. Chengdu Power Bureau Dispatching Center, Chengdu 610021, China;
2. Chengdu Zhida Power Automation Co., LTD, Chengdu 610031, China)

Abstract: This paper introduces features of substation automation system communication of 110 kV and below, analyzes the shortcomings of current substation communication network. Firstly, the functions of the VLAN technology and its traditional application in substation automation system are described in detail. Then, the limitations of VLAN technology in this application are analyzed. Finally, a method for substation automation network based on the PVLAN technology is proposed which can be used to overcome the disadvantages, as well as effectively optimize the communication network of substation automation system. Simulation experiments and practical operation on spot verify the correctness and feasibility of this method fully.

Key words: PVLAN; smart grid; substation automation system

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)22-0170-04

0 引言

通信是变电站自动化系统的关键, 通信网络传输的实时性、确定性和可靠性决定了变电站自动化系统的可用性。随着变电站自动化系统的日趋复杂, 交换式工业以太网以其通信速率高、价格低廉、标准开放等优势, 成为变电站自动化系统新一代通信网络的首选。

在 2009 特高压输电技术国际会议上, 中国国家电网公司正式发布了举世瞩目的“建设坚强智能电网”的研究报告。在这个大背景下, 通信网络对变电站自动化系统变得愈加重要。稳定、高效、安全、经济成为衡量网络建设成效的重要性能指标。变电站自动化系统发展到现在, 网络拓扑日趋复杂, 异构的网络设备越来越多, 网络数据流量也不断增加。如何保证网络的稳定性、安全性、足额的带宽受到了广泛关注。本文提出引入 PVLAN 技术来有效解

决这些问题。

1 变电站自动化系统网络中的隐患

在 110 kV 及以下常规变电站的组网模式中, 间隔层的各种保护测控装置、智能设备和站控层的当地监控、五防系统、远动工作站以及各种提供高层应用的数据库服务器、Web 服务器等在物理和逻辑上共享一个网络。这可能导致以下隐患:

1) 某台设备出现故障、感染病毒或网络连线异常时可能对全网设备造成影响, 降低了全站二次系统的运行稳定性。

2) 设备间交互数据较大时可能造成网络拥塞, 甚至出现“网络风暴”问题。

3) 当网络出现故障时, 故障点排错复杂。

4) 不同业务特性、重要级别的设备在同一网络内进行信息交互, 降低了实时控制业务的实时性、可靠性。

2 VLAN 的概念及应用

VLAN (Virtual Local Area Network) 即虚拟局域网, 是一种将局域网内的设备逻辑地而不是物理地划分成多个网段, 从而实现虚拟工作组的技术。VLAN 技术在 TCP/IP 体系中的第二层数据链路层隔离了不同 VLAN 间的通信, 也就是说一个 VLAN 内部的流量不会转发到其他 VLAN 中。要实现不同 VLAN 间的相互通信, 需要借助第三层网络层的路由功能, 通过对 VLAN 间路由参数或访问控制列表的配置, 控制不同 VLAN 间站点的相互通信。

VLAN 在变电站自动化系统中的应用方式大致有两种。其一, 按照地域划分。如将主控室、35 kV 室、10 kV 室内的设备分别划分为独立的 VLAN。其二, 按照设备业务逻辑功能划分。如将变压器保护、线路保护、各类测控装置等分别划分为独立的 VLAN。两种方式下, 站控层的当地监控和远动工作站因需要获取整个网络中的数据, 必须加入到间隔层的所有 VLAN 中。数据库服务器、Web 服务器、五防系统等则需要根据各自的信息来源划分。如五防系统的信息采集通过当地监控转发, 则可以把五防系统和当地监控也划分到一个独立的 VLAN 中。在 IEC61850 体系下的数字化变电站中, 过程层的各类设备间由于有 GOOSE 报文的交互, 需要根据实际情况进行 VLAN 的划分, 在此不在累述^[1-2]。

如图 1 所示, 基于 VLAN 技术组网后, 变电站通信网络被逻辑上划分成相互隔离的多个子网, 这就减小了网络数据流量, 降低了网络分包碰撞和网络风暴产生的可能性。某一子网内的设备产生故障时, 仅会影响到本子网内部, 不会对其他子网产生影响。网络出现故障时, 能迅速定位到某个子网内, 减轻了网络故障排查的难度。此外, VLAN 为 IEEE 802.1Q 协议的实现奠定了技术基础, 提供了实现手段^[3]。802.1Q 协议支持将数据包分组为各种流量种类。流量种类也可以定义为第二层服务质量 (QoS) 或服务类 (CoS), 它并不被要求强制使用, 但 IEEE 极力推荐实施这些流量种类^[4]。变电站自动化系统可以根据运行设备不同的业务逻辑划分出不同优先

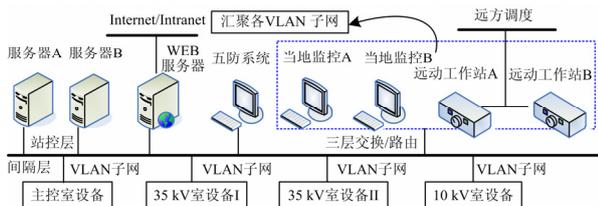


图 1 变电站 VLAN 组网示意图

Fig.1 Substation network based on VLAN

级的流量种类, 让那些实时应用得到最优先的响应。

3 VLAN 的局限性

VLAN 在一定程度上能够解决本文第一节中提出的隐患。随着建设坚强智能电网的实施、变电站自动化系统功能的增强, 通信网络的可靠性、安全性面临着更高的要求。如何进一步优化网络资源、隔离广播域和网络故障, 将网络中任何节点故障造成的影响最小化? 一种传统的解决方法是给每个节点分配一个 VLAN 和相关的 IP 子网。通过使用 VLAN, 每个节点被从第二层隔离开, 来防止任何恶意数据的相互影响。但是, 这种为每个节点分配 VLAN 和 IP 子网的模型造成了可扩展性的局限。这些局限主要有下述几方面:

- 1) VLAN 的限制。交换机固有的 VLAN 数量的限制。
- 2) 复杂的 STP。对于每个 VLAN, 每个相关的 Spanning Tree 的拓扑都需要管理。
- 3) IP 地址的紧缺。IP 子网的划分势必造成一些 IP 地址的浪费, 引起紧缺。
- 4) 逻辑层次的限制。复杂的网络中纯粹依赖一层的 VLAN 划分往往是不够的。

此外, 由于变电站内站控层的设备需要获取所有子网的数据, 使用 VLAN 必须有三层交换机路由功能的支持。而在 110 kV 及以下规模的变电站中选用三层交换机会大幅度增加成本投入, 所以我们转向二层交换机支持的 PVLAN 技术。

4 PVLAN 的概念模型

PVLAN (Private Virtual Local Area Network) 即私有 VLAN。PVLAN 采用两层 VLAN 隔离技术, 可以让同一个 VLAN 中的各端口间不能通信, 但可以穿过 Trunk 端口。这样即使同一 VLAN 中的用户, 相互之间也不会受到广播或恶意数据的影响。

在 PVLAN 的概念模型中, PVLAN 其实就是定义若干个 VLAN, 将其中一个 VLAN 定义为 Primary VLAN 即主 VLAN, 其他几个 VLAN 为 Secondary VLAN 即辅助 VLAN。辅助 VLAN 与主 VLAN 建立关联, 成为主 VLAN 成员。各个辅助 VLAN 共享主 VLAN 的地址资源, 包括 IP 地址、网关等。而在 PVLAN 外部, 所有的辅助 VLAN 都被看成是一个 VLAN, 即主 VLAN^[5]。

5 基于东土 SICOM2024 交换机的实现

东土的二层交换机 SICOM2024 进一步抽象了 PVLAN 概念模型。需要相互隔离数据的子网被称为

隔离域，需要共享数据的子网称为共享域。交换机根据 PVLAN 中端口的配置来对流经端口的数据进行 Tag 和 Untag 操作，实现 PVLAN 功能。配置规则可以归纳为以下两点：

1) 上联端口域的所有端口必须以 Untag 方式添加到共享域 VLAN，以 Tag 方式加入到隔离域 VLAN。

2) 下联隔离端口域的所有端口必须以 tag 方式加入到共享域 VLAN，以 Untag 方式加入到隔离域 VLAN。

图 2 是 110 kV 变电站自动化系统通信仿真模型。Switch1 模拟安装在主控室内，当地监控接入到 Switch1 的端口 1 上，并划分到 VLAN1。装置 1、装置 2 模拟安装在 35 kV、10 kV 室内，分别接入到 Switch5、Switch6 的端口 1 上，并划分到 VLAN4、VLAN5。Switch1 与 Switch2、Switch3 的级联口划分到 VLAN2、VLAN3。

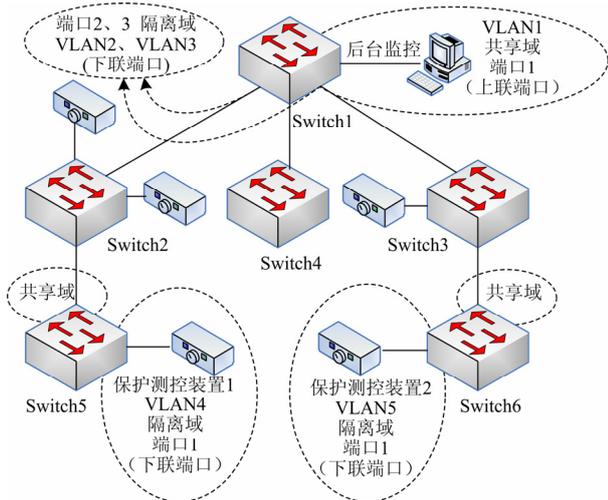


图 2 PVLAN 仿真示意图
Fig.2 The simulation of PVLAN

图 2 中的 5 台装置分别模拟以 100 p/s 发送背景流量，即变电站自动化系统中的周期性数据，如全遥测、全遥信等；模拟以指数分布时间发送系统中的突发数据，如变位遥信、SoE 等；模拟以指数分布时间发送系统中的控制命令，如遥控、遥调等。交换机直接转发的情况下，当地监控、各台装置均会有大约 500 p/s 的数据流量（5 台装置产生的背景流量及突发流量之和）。当交换机上挂接更多的装置时，数据流量会随之大大增加。在常规变电站自动化系统结构下，装置之间不需要通信，这样的组网模式不仅消耗了装置处理业务逻辑的 CPU 资源，还浪费了网络带宽，是十分不利的。采用 VLAN 技术组网，将 5 台装置划分到独立的 VLAN，5 台装置

上的流量就仅有各自发送的数据（大约 100 p/s）。但由于二层交换机不支持路由转发，无法实现跨 VLAN 通信，使得当地监控无法接收到这 5 台装置的数据，显然不符合现场需求。而采用 PVLAN 技术，将 VLAN2 和 VLAN3 设置为隔离域，VLAN1 设置为共享域。这样 VLAN2 与 VLAN3 就实现了相互隔离，并各自能够与 VLAN1 实现数据交互。在 Switch1 上，PVLAN 配置方式如下所示：

```

/*****端口域 1 VLAN 配置*****/
//创建 VLAN1
#kyland (config) #vlan 1
//添加 Untag 端口
#kyland (config-vlan-1) #add port 1 untag priority 1
//添加 Tag 端口
#kyland (config-vlan-1) #add port 2 tag
#kyland (config-vlan-1) #add port 3 tag
/*****端口域 2 VLAN 配置*****/
#kyland (config) #vlan 2
#kyland (config-vlan-2) #add port 2 untag priority 1
#kyland (config-vlan-2) #add port 1 tag
/*****端口域 3 VLAN 配置*****/
#kyland (config) #vlan 3
#kyland (config-vlan-3) #add port 3 untag priority 1
#kyland (config-vlan-3) #add port 1 tag
/*****添加到 PVLAN *****/
#kyland (config) #pvlan add 1
#kyland (config) #pvlan add 2
#kyland (config) #pvlan add 3

```

其他交换机上的配置与 Switch1 相似，按网络拓扑从上至下分别配置好每台交换机划分的隔离域 VLAN 和共享域 VLAN 端口即可。图 3、图 4 通过 Sniffer 捕获了当地监控和装置 1 的数据流量，其他装置上的流量与装置 1 基本相同。图 3 显示当地监控流量大约为 500 p/s，实现了跨 VLAN 间的信息共享。图 4 显示装置 1 的流量大约是 100 p/s，屏蔽掉了网络上其他装置的流量。

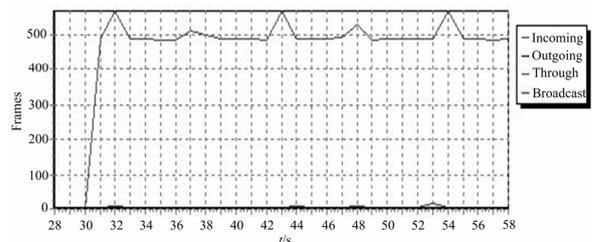


图 3 网络流量仿真图 (1)
Fig.3 The traffic simulation of network (1)

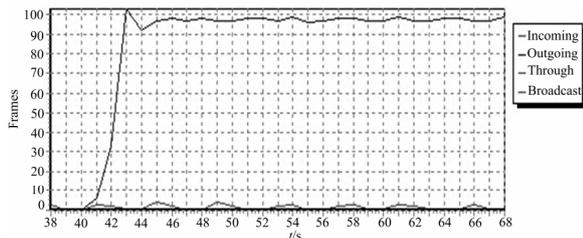


图 4 网络流量仿真图 (2)

Fig.4 The traffic simulation of network (2)

基于 PVLAN 技术的组网方式在成都地区 110 kV 及以下规模的变电站自动化系统中得到了广泛的应用, PVLAN 组网的结构模型如图 5 所示。为方便管理, 首先将符合标准网络规约设备归类为第一类, 这些设备能够直接挂接到网络总线上。不符合标准网络规约或不具备网络接口的智能设备归为第二类, 这些设备需要规约转换器转换后挂接到网络总线上。然后按照设备所处地域和设备业务逻辑功能相结合的方式划分 VLAN。对第一类设备, 主控室内的划入 VLAN1, 35 kV 室内的划入 VLAN2, 10 kV 室内的划入 VLAN3。对第二类设备, 根据不同的制造厂商或业务逻辑功能将对应的规约转换器划为 VLAN4、VLAN5 等。需要获取全站数据的当地监控、远动工作站划入 VLAN6。最后将 VLAN1 ~ 6 都加入到 PVLAN 成员中。模型建立后, 以 10 kV 室设备组 (VLAN3) 为例, 上行数据流①如全遥测、全遥信、主动保护等将仅会流往② (VLAN6), 流向③-⑥的路径将被屏蔽。这就大大减少了网络流量, 降低了设备的处理负担。而 VLAN6 下行的数据流⑦如召唤定值、遥控等能够发往间隔层的任意 VLAN。

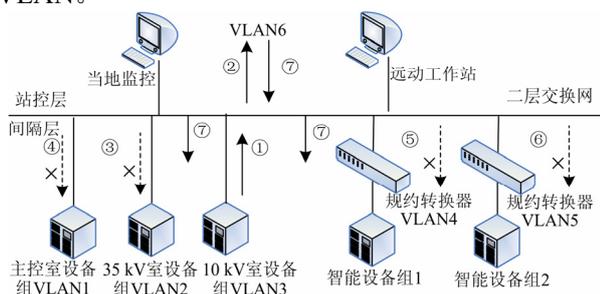


图 5 网络数据流向模型

Fig.5 The model of network data flow

6 结束语

目前, 很多主流品牌的交换机都开始支持 PVLAN 这种二层虚拟局域网的划分^[6]。PVLAN 技

术在解决通信安全、防止广播风暴和排查网络故障方面的优势是显而易见的, 而且采用 PVLAN 技术有助于降低组网成本、实施网络优化, 在交换机上的配置也相对简单。基于这些优势, PVLAN 的组网模式在 110 kV 及以下规模的变电站自动化系统中有着较好的应用前景, 对以后的数字化变电站组网发展也有一定的借鉴意义。

参考文献

- [1] 邱智勇, 陈建民. 500 kV 数字化变电站组网方式及 VLAN 划分探讨[J]. 电工电能新技术, 2009, 28 (4): 60-65.
QIU Zhi-yong, CHEN Jian-min. Discussion of 500 kV digital substation network mode and VLAN partition[J]. Adv Tech of Elec Eng & Energy, 2009, 28 (4): 60-65.
- [2] 李铁成, 郝晓光, 张力. 数字化变电站 GOOSE 网络故障分析及处理[J]. 河北电力技术, 2009, 28 (11): 38-40.
LI Tie-cheng, HAO Xiao-guang, ZHANG Li. GOOSE network faults analysis and treatment of data substation[J]. Hebei Electric Power, 2009, 28 (11): 38-40.
- [3] 牛占平. VLAN 技术在智能化变电站网络中的应用探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37 (23): 75-78.
NIU Zhan-ping. Application of VLAN technology in the intelligent substation network[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37 (23): 75-78.
- [4] IEEE 802.Q VLAN 信息规范[S].
IEEE 802.Q VLAN message specification[S].
- [5] 陈光平, 黄俊. PVLAN 技术在小区宽带网中的应用[J]. 网络技术安全与应用, 2006 (45): 43-45.
CHEN Guang-ping, HUANG Jun. Application of PVLAN technology on district broadband networks[J]. Network Security and Application, 2006 (45): 43-45.
- [6] 陈明. PVLAN 技术在虚拟局域网中的应用[J]. 漳州职业技术学院学报, 2009 (1): 5-8.
CHEN Ming. The application of PVLAN technology in virtual lan[J]. Journal of Zhangzhou Technical Institute, 2009 (1): 5-8.

收稿日期: 2010-03-09; 修回日期: 2010-04-19

作者简介:

吴端华 (1964-), 女, 工程师, 长期从事电力系统分析及电网运行工作; E-mail: liupinvip@163.com

程 华 (1975-), 男, 工程师, 长期从事电力系统继电保护的管理运行工作;

黄文龙 (1964-), 男, 高级工程师, 长期从事电力系统继电保护的管理运行工作。