

220kV 西泾智能化变电站二次网络建设工程实践

刘 晨, 胡金峰

(江苏省电力公司检修分公司无锡分部, 江苏 无锡 214101)

摘 要: 智能变电站是由智能化一次设备、网络化二次设备分层构建, 能够实现智能设备间信息共享和互操作的现代化变电站, 是建设智能电网的重要组成部分。本文论述了国家电网公司首批智能变电站试点之一——无锡 220kV 西泾变的二次系统构成, 包括三层设备(站控层、间隔层、过程层设备)和两层网络(站控层 MMS 网络、过程层网络), 介绍了 IEC 61850 对变电站功能的分层, 以及以太网通信技术在智能化变电站中的应用, 指出了作为智能化变电站在二次网络建设上需要完善的地方。

关键词: 智能化变电站; 二次系统; 以太网通信技术; GOOSE 网络; IEC 61850

0 引言

智能化变电站是由电子式互感器、智能化开关等智能化一次设备、网络化二次设备分层构建, 建立在 IEC 61850^[1] 通信规范基础上, 能够实现变电站内智能电气设备间信息共享和互操作的现代化变电站。智能化变电站的六大特征: 一次设备智能化、互感器数字化、二次设备网络化、传输介质光纤化、通信标准统一化、信息应用集成化。硬件上由智能化一次设备(电子式互感器、智能化开关等)和网络化、数字化的二次设备组成; 软件上以 IEC 61850 标准作为通信协议, 实现设备间充分的信息共享和互操作。220kV 西泾变是国家电网公司首批智能变电站试点之一, 对于未来智能化变电站的发展方向有着重要的指导作用。

1 智能站二次系统的结构

1.1 “3 层设备 2 层网络”结构

根据变电站自动化系统三大主要功能: 控制、监视和保护, 智能化变电站自动化系统分为: 站控层、间隔层、过程层^[2], 并且定义了层与层之间以及层内设备的通信接口。

过程层主要完成与一次设备相关的功能, 如开关量、模拟量的采集以及控制命令的执行等, 主要包括电子式互感器、智能开关等设备; 间隔层的主要任务是利用本间隔的数据完成对本间隔设备的监测和保护判断, 主要包括保护、测控、计量、录波等装置; 站控层的作用是完成对站内间隔层设备及

一次设备的控制, 并完成与远方控制中心、工程师站及人机界面的通信功能, 主要包括远动站、工程师站、监控中心等。

220kV 西泾变自动化系统包括三层设备(站控层、间隔层、过程层设备)和两层网络(站控层 MMS 网络、过程层网络)。其中过程层网络包括 GOOSE 网络、SAV 采样值网络。220kV 保护测控装置过程层、站控层网络数字化, 110kV 保护测控过程层网络 GOOSE、SAV、1588 对时三网合一。如图 1 所示。

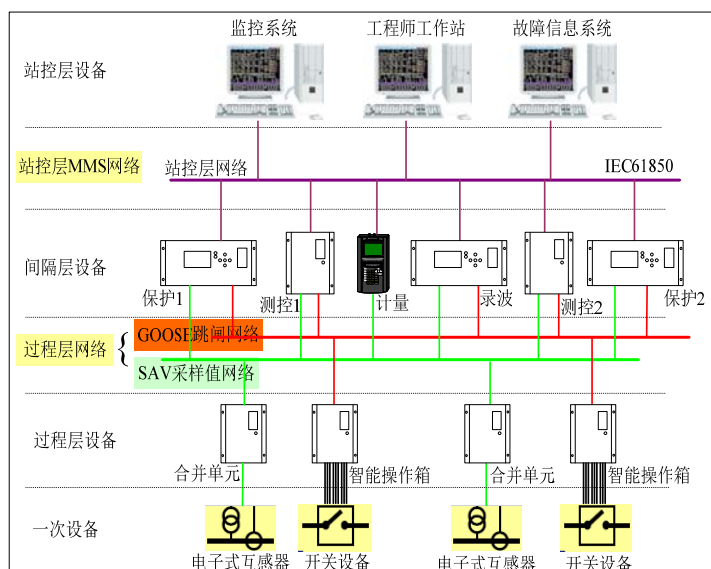


图 1 智能化变电站二次系统结构

1.2 IEC 61850 对变电站功能的分层

IEC 61850 是国际电工委员会(IEC) TC57 工作组制定的《变电站通信网络和系统》系列标准, 是

基于网络通信平台的变电站自动化系统唯一的国际标准。也将成为电力系统从调度中心到变电站、变电站内、配电自动化无缝连接的通信标准，还可望成为通用网络通信平台的工业控制通信标准。

IEC 61850 规范了数据的命名、数据定义、设备行为、设备的自描述特征和通用配置语言。使不同智能电气设备间的信息共享和互操作成为可能。

IEC 61850 标准体系在逻辑概念和物理概念上对变电站功能分层，如图 2 所示。

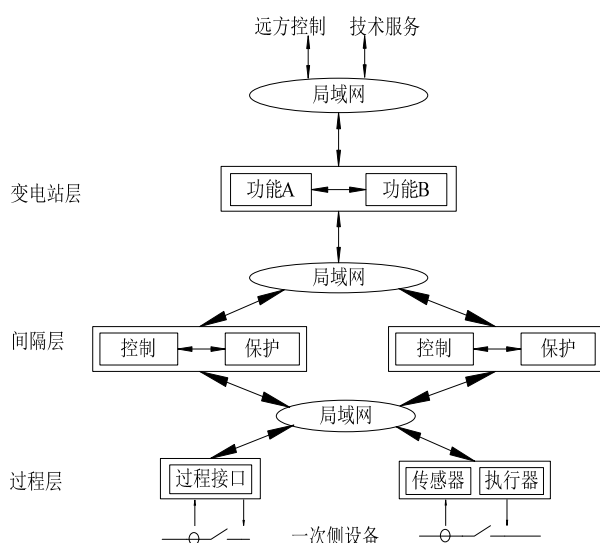


图 2 IEC 61850 标准划分的变电站层次

2 以太网通信网络

以太网是目前使用广泛、采用总线拓扑的网络技术，具有高效率、开放性、高可靠性等优势。IEC 61850 建议采用以太网作为数字化变电站的通信方式，以实现接口开放、信息共享的目标。

近年来，光纤以太网技术得到了大力发展，它以通信容量大、传输速率快、可靠性高、衰减小、不受外界电磁干扰、使用寿命长、保密性好等优点适应了数字化变电站通信网络性能要求。因此，光纤以太网在数字化变电站中得到了广泛应用。西泾变正是使用了光纤以太网技术。

2.1 对数字化变电站有重要影响的网络技术

2.1.1 虚拟局域网（VLAN）

VLAN 技术是一种利用现代交换技术将局域网内的设备逻辑地、而不是物理地划分为多个网段的技术。这样，变电站中控制网段和非控制网段可以从逻辑上划分，而不是依赖物理组网方式以及设备的安装位置，从而有效保证了控制网段的安全性。

如利用 VLAN 技术可以将数字化变电站过程层中的采样值与控制命令在逻辑上分开。

2.1.2 IEEE 802.1p 排队特性

实时和非实时数据在同一网络中传输时，容易发生竞争服务资源的情况。IEEE 802.1p 排队特性采用带 IEEE 802.1q 优先级标签的以太网数据帧，使得具有高优先级的数据帧获得更快的响应速度。该技术使得数字化变电站工程层总线和变电站总线有可能合并为同一物理网络，过程层数据可以获得高优先级。

2.1.3 快速生成树协议 IEEE 802.1w

传统以太网中出现环路时，因为广播产生的数据会引起无限循环而导致阻塞。快速生成树协议算法的收敛过程从 1min 降低到 1~10s。依靠快速生成树协议可以解决上述阻塞问题。因此，在变电站网络中可以采用多种冗余链路设计，以保证网络的可靠性。

2.2 智能化变电站网络

2.2.1 站控层网络

实现整个站间隔之间的信息传递，以及与后台监控系统的数据交换。网络流量比较大，但实时性要求不高，可以利用重发的机制来解决可靠性问题。目前，这一网络已经成熟的应用了 IEC 61850 标准，主要是通过将 ACSI 映射到 MMS（制造报文规范）协议实现信息的传输^[3]。网络拓扑结构还是采用 100M 双绞线星型网络，双网络冗余备用。

2.2.2 过程层网络

实现过程层与间隔层之间的信息传递以及间隔层内装置之间的信息交换。信息非常重要，优先级很高，实时性要求也非常高，一般丢失也不重发。可分为采样值（SAV）网络和跳闸（GOOSE）网络。

(1) 采样值（SAV）网络

主要负责将过程层电子式互感器的采样数据传送给间隔层的二次设备。目前主要采用点对点的直连方式，网络协议主要是 IEC 61850-9-1，跨间隔的连接可采用同步性能更好的 FT3 格式。

(2) GOOSE 网络

主要负责传输间隔层保护、测控设备向智能开关设备发送的跳闸/合闸命令，以及智能开关设备间隔层二次设备反馈的开关位置信息及其他相关信息。网络拓扑采用高速光纤环网结构。它是最重要的网络，直接影响了变电站系统的可靠性。GOOSE

网络如果不够成熟可靠，将直接引起拒动和误动。因此，对它的网络延时要求在 4ms 之内^[4]。

3 西泾变网络系统需要完善的地方

智能化变电站对网络的依赖程度空前增加，西泾变二次缺陷多发生在网络方面。西泾变投运一年来，二次人员在缺陷处理、运行维护的过程中积累了一定的经验。

3.1 GOOSE 报文丢失分析处理

缺陷现象：主变和线路保护测控装置频繁报“闸刀操作闭锁”、“闸刀操作解锁”信号，出现的周期为半个小时。联锁逻辑计算的数据源分为三类：本间隔的过程层智能终端（过程层 GOOSE 传递）、其它间隔的保护测控设备（站控层 GOOSE 传递）、与此联锁逻辑相关的 GOOSE 链路状态。当相关 GOOSE 信号的链路出现问题时，联锁逻辑将会闭锁其对应的逻辑门。

将主变站控层交换机的连接网络口镜像到空余口，使用独立的 PC 机抓到两次丢失 GOOSE 报文的情况。使用网络分析仪录取镜像口的报文，也发现了明显的 GOOSE 报文丢失情况。

GOOSE 报文丢失存在两种可能：一种是交换机丢失，另一种是此 GOOSE 链路的保护测控装置没有发送。经过多次观察，保护测控装置 GOOSE 发送正常，是交换机丢弃了 GOOSE 报文。进一步分析，因为交换机需处理大量的 UDP 报文（两台监控系统数据库同步用），可能导致网络拥堵，造成 GOOSE 报文丢失。将站控层网络每秒 1 万包左右的 UDP 报文屏蔽，观察 1 个小时左右，未再发生 GOOSE 报文丢包。

结论：由于站控层 GOOSE 包偶尔丢失，严重的可能连续丢失多个 GOOSE 包（产生 GOOSE 断链报警），每个交换机口丢失报文的时间和对象都是随机的，影响到 GOOSE 链路状态，导致主变和线路闸刀的闭锁、解锁现象。

解决 GOOSE 报文丢失的问题，需避免南自两台监控系统数据库同步用的大量 UDP 组播报文占用 MOXA 交换机的处理能力。通过配置 MOXA 交换机端口 IGMP 功能，把 UDP 组播报文和其它业务进行逻辑隔离，防止影响交换机上的其它业务，提高站控层网络 GOOSE 和 MMS 报文的传输稳定性和可靠性。

3.2 “三网合一”对数据传输的影响

缺陷现象：110kV 母线保护 SGB750 装置频繁报 110kV I、II 母母线电压异常。由于西泾变 110kV 二次设备采用“三网合一”（GOOSE、SAV、1588）方式，母线保护所采的电流电压数据均从过程层网络交换机（MOXA）处获取。

通过研究网络分析仪所截取的网络报文，发现主钟发出的 follow up 报文在交换机中驻留时间过长（约 900ms），分析可能原因为“三网合一”的因素影响：1) 由于母线保护（采样）数据量较大，如果当母线保护（采样）装置和主钟同属于相同 VLAN 时，主钟也会接收到大量采样数据，从而可能造成 MU 对时失步；2) MOXA 交换机内部算法在经过一段时间后发生错误；3) 其它设备发出的报文导致网络繁忙，造成延时过长。

SGB750 保护装置原有抗采样报文延时抖动门槛定值，单间隔为 750ms，跨间隔为 1 毫秒。现场抓包发现，110kV 是组网模式，母差多间隔的采样值报文经过交换机之后，跨间隔抖动过大，超过原有设置门槛。

在不影响母差保护动作行为的条件下，将抗采样报文延时抖动门槛放大为单间隔 2ms，跨间隔 3ms。

4 结束语

本文以 220kV 西泾变为例，论述了智能化变电站的二次系统结构组成，基于 IEC 61850 标准对智能化变电站的功能分层，以太网通信网络技术在智能化变电站中的应用以及二次网络在运行过程中缺陷的分析、处理。220kV 西泾变自动化系统在逻辑功能上由站控层、间隔层和过程层 3 层设备组成，采用分层、分布式网络系统实现连接，整个体系为“3 层设备 2 层网络”结构。以太网是目前广泛使用的网络技术，具有高效率、开放性、高可靠性等优势。IEC 61850 建议采用以太网作为数字化变电站的通信方式，以实现接口开放、信息共享的目标。智能化变电站对网络设备的可靠性要求较高，西泾变投运以来，二次缺陷多为网络问题，需要进一步观察、分析、处理、完善。

智能化变电站使二次专业的保护、自动化、通信三个专业相互渗透、融合，更趋于大二次管理模式。智能化变电站对网络的依赖程度空前增加，二

次检修人员应从传统的二次回路转变到对网络的理解上来。

参考文献:

- [1] IEC 61850. Communication networks and systems in substations[S].
- [2] 邱智勇, 陈建民, 朱炳权. 基于 IEC 61850 标准的 500kV 三层结构数字化变电站建设[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(12):103-107.
- [3] 任雁铭, 秦立军, 杨奇逊. IEC 61850 通信协议体系介绍和分析[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(8):62-64.
- [4] 徐成斌, 孙一民. 数字化变电站过程层 GOOSE 通信方案

[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(19):91-94.

作者简介:

- 刘 晨 (1981—), 女, 江苏无锡人, 助理工程师, 从事电力系统自动化厂站端调试、检修的工作, E-mail: liuchen8445@sina.cn;
- 胡金峰 (1984—), 男, 江苏无锡人, 助理工程师, 从事电力系统自动化厂站端调试、检修的工作, E-mail: thorpe_113@yahoo.com.cn。