

数字化变电站网络选型设计

罗小东¹, 郑旭², 舒勤¹

(1. 四川大学电气信息学院, 四川 成都 610065;

2. 四川电力设计咨询有限责任公司, 四川 成都 610016)

摘要: 遵循 IEC 61850 相关规则, 对数字化变电站的基本网络拓扑结构的网络可靠性、延时性进行了分析, 为中大型数字化变电站网络结构选型提供了借鉴。

关键词: IEC 61850; GOOSE; NS-2; 数字化变电站; 网络拓扑

Abstract: Following the relevant principles of IEC 61850, the reliability and the time delay characteristics of network topology of digital substation are analyzed, which provides a method to select the network structure for the medium and large digital substation.

Key words: IEC 61850; GOOSE; NS-2; digital substation; network topology

中图分类号: TM1269 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-6954(2009)增-0051-03

数字化变电站是建立在统一通信规约 IEC 61850 基础上, 通过对二次设备、非常规互感器、智能一次设备的网络化连接, 具有良好互操作性的自动化变电站^[1]。基于 IEC 61850 标准的通信网络是新一代的变电站网络通信体系, 采用面向对象建模技术和独立于网络结构的抽象通信服务接口, 可以在不同厂家的设备之间实现无缝连接, 是数字化变电站的关键技术之一。以下探讨了中大型 220 kV 数字化变电站 GOOSE 网络结构选型及其稳定性、实时性、可靠性等问题, 以期对 220 kV 数字化变电站网络建设、设计选型提供借鉴。

1 数字化变电站通信网络的要求

1.1 功能要求

在 IEC 61850 中, 数字化变电站可以抽象为一个分层的网络体系。通过面向对象的统一建模, 每一个变电站对象 (包括所有一次、二次设备) 可以分解为一个或多个逻辑节点 (例如断路器, 在 IEC 61850 中就被视为一个逻辑节点)。变电站的功能 (例如断路器操作) 是通过不同层次的多个逻辑节点共同完成的。逻辑节点间的信息交互是通过网络来完成的, 也就是说数字化变电站的各种功能应用都依赖于网络。通信网络必须具备传输各种节点信息的功能, 包括站控层的 MMS、过程层的 GOOSE、采样值等。

1.2 性能要求

通信网络的性能要求主要体现在以下几个方面^[2]。

1.2.1 快速的实时响应能力

测量数据、保护信号、控制命令等都要求实时传送。特别是出现故障时要求信息能在站内通信网络上快速传送, 保证严格的时限要求。实时性要求有以下 3 个方面: ① 传输速度快, 指单位时间内传输的信息多。② 响应时间短, 指事件发生时, 传输到网络上及执行器接收到该信息马上执行所需的时间。响应时间由 4 个方面的因素决定: 执行器控制中断的能力; 信息在通信协议的应用层与物理层之间的传输时间; 等待网络空闲的时间; 避免信息在网络上碰撞的时间, 这个时间对大多数通信协议是一个随机数。③ 巡回时间短, 指系统与所有通信对象都至少完成一次通信所需要的时间。

1.2.2 高可靠性

网络的可靠性表示网络连续无故障工作的能力, 主要从网络设备、链路、网络拓扑结构等方面来保证。由于电力生产的连续性和重要性, 站内通信网络的可靠性是第一位的, 应避免一个装置损坏导致站内通信中断。

① 作为链路层, 保证网络的可靠性主要是向网络提供可靠的数据传送基本服务, 使用户免去对丢失信息、干扰信息及顺序不正确的担心, 将物理层的可能出错的物理连接改造成为逻辑上无差错的数据链路, 使之对网络层表现为无差错的线路。

② 网络拓扑结构对确保网络可靠性有很重要的意义, 可根据需要由星型、总线型和环型网络结构派

生出负荷可靠性需要的网络结构。同时,也可以采用网络冗余的手段,对比较重要的网络使用双网结构。

③ 以太网接口一般有两种:一种是 BASE T 双绞铜线;一种是 BASE F 光缆。一般场合基本选择光缆,主要是考虑其信号传输能力强、抗干扰能力强等因素;有时选择铜缆主要基于费用少、接口简单等考虑因素。

1.2.3 良好的开放性

站内通信网络为调度自动化的一个子系统,除了保证站内 IED 设备互连、便于扩展外,它还应服从电力调度自动化的总体设计,硬件接口应满足国际标准,选用国际标准的通信协议,方便用户的系统集成。

1.2.4 支持优先级传输

数据有轻重缓急之分,重要的数据须优先于其他数据传输,要求支持优先级调度,以提高时间紧迫性任务的信息传输可确定性。

1.2.5 良好的电磁兼容性

变电站是一个具有强电磁干扰的环境,存在电源、雷击、跳闸等强电磁干扰,通信环境恶劣,数据通信网络必须注意采取相应措施消除这些干扰的影响。

2 数字化变电站组网原则

数字化变电站尤其是中大型数字化变电站的组网原则一般如下:①站控层网络和过程层网络分别独立组网,物理隔离②站控层网络双网冗余配置;③过程层网络分为采样值网络和 GOOSE 网,IEC 分别独立组网,物理隔离;④采样值网络根据保护装置要求,采用 IEC 61850-9-1 或 IEC 60044-8(单向多路点对点);或者采用 IEC 61850-9-2 通过交换机组网;⑤ GOOSE 网按电压等级分为 220 kV GOOSE 网和 110 kV GOOSE 网,分别独立组网,物理隔离;⑥ 220 kV GOOSE 网和 110 kV GOOSE 网均双网冗余配置;⑦ GOOSE 网不按单间隔配置,采用多间隔连接于一台交换机的方式,同一间隔的设备(网络节点)应连接于一台交换机上。

3 数字化变电站网络拓扑的基本结构

根据数字化变电站组网原则,数字化变电站的 GOOSE 网拓扑的基本结构主要由星型和环型拓扑结构,示意图如图 1、图 2 所示。

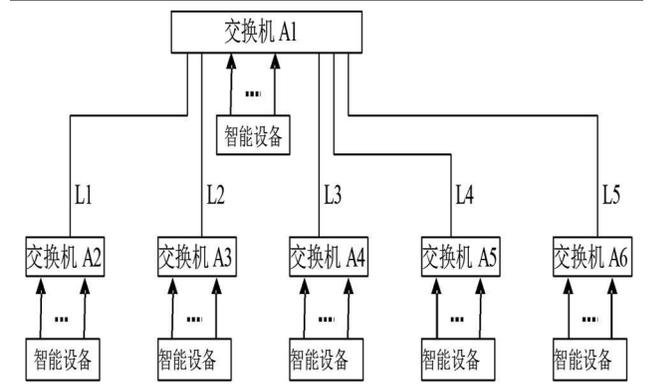


图 1 星型拓扑结构示意图

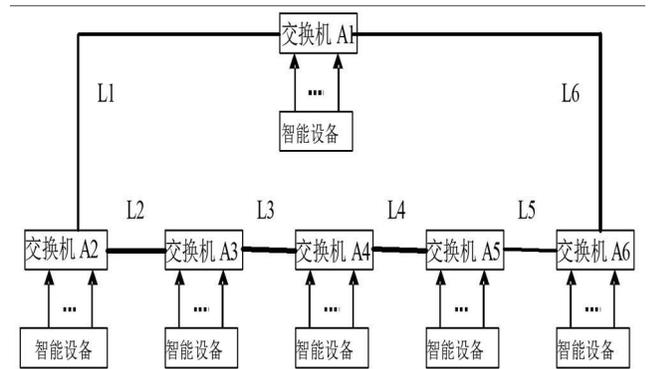


图 2 环型拓扑结构示意图

4 可靠性分析

网络可靠性表示网络连续无故障工作的能力,其判断依据主要有:网络的任意两节点之间至少存在一条可通信的链路。通信网络的可靠性是一项非常重要的指标,它直接决定了数字化变电站系统的可用性。而通信网络的可靠性主要需要从网络设备、链路、网络拓扑结构等方面来保证。由于网络结构复杂多变,通信网络的可靠性分析一直是个棘手的问题。贝叶斯分析法是常用的网络可靠性分析方法。

贝叶斯网络方法^[3]是基于概率、图论的一种不确定性表达和推理模型。贝叶斯网络不但能进行前向推理,由原因导出结果,更重要的是进行后向推理,也就是由结果分析原因。其推理是根据贝叶斯网络模型和已知的网络节点信息子集,利用贝叶斯定理中条件概率的计算方法,得出需要决策节点子集的条件分布概率,然后把结果用于决策分析。利用后验概率往往可以得出一些非常有用的结论。其数学描述为,对于一个论域 $A = \{a_1 \cdots a_n\}$, $a_1, a_2 \cdots a_n$ 对应于贝叶斯网络中各节点。

根据贝叶斯定理, 有条件概率: $P(a_i/A) = \frac{P(A/a_i)P(a_i)}{P(A)}$, $P(a_i/A)$ 表示, 当 A 已经发生时, a_i 发生的概率。

5 延时分析

网络延时^[4]定义为一帧报文从发送者到接收者的网络传输花费的全部时间。网络延时由以下 4 部分组成。

(1) 发送延时 (T_0): 定义为交换机发送节点在通信链路上从发送帧的第 1 个比特开始至发送完最后一个比特所需的时间。这个延时与被发送的帧的大小成正比, 与速率成反比。

$$T_0 = FS/BR \quad (1)$$

这里 T_0 是发送延时, FS 是以位计算的帧大小, BR 是以位/秒为单位计算的速率。

(2) 交换机制延时 (T_1): 以太网交换机的内部是交换机制。交换机制由复杂的硬件电路执行存储转发引擎、MAC 地址表、VLAN、CoS 及其他的功能, 执行这些逻辑功能便产生了延时。各个厂商交换机的交换机制延时各不相同, 同一厂商的产品基本相同。交换机制延时一般为几个 μs 到十几个 μs 。

(3) 线路传输延时 (T_2): 数据位在光纤链路上传输速度大约是光速 (3×10^8 m/s) 的 $2/3$ 。当部署很长距离以太网线路时, 这个延时值得注意。对于 $100 \text{ km} / 1 \text{ km} / 100 \text{ m}$ 的链路延时可以计算出:

$$T_2(100 \text{ km}) = 1 \times 10^5 / (2/3 \times 3 \times 10^8) \approx 500 \mu s$$

$$T_2(1 \text{ km}) = 1 \times 10^3 / (2/3 \times 3 \times 10^8) \approx 5 \mu s$$

$$T_2(100 \text{ m}) = 1 \times 10^2 / (2/3 \times 3 \times 10^8) \approx 0.5 \mu s \quad (2)$$

对于局域网中的传输距离而言, 这个延时和其他延时相比很小, 可以忽略不计。

(4) 帧排队延时 (T_3): 帧冲突在广播式以太网中存在, 以太网交换机用队列结合存储转发机制来消除共享式以太网中存在的帧冲突问题。而队列给延时引入了非确定性, 原因归结于队列长度、网络负荷等因素。为了减轻重要数据帧的排队延时, 引入了数据帧优先级机制, 然而并不能保证服务的质量。

以上 4 种延时中, 前 3 种延时由网络本身的硬件和软件决定, 只有排队延时具有不确定性。要分析以

以太网延时, 就必须分析出影响排队延时的因素, 通过减小排队延时将有利于提高整个网络系统的实时性能^[5]。影响以太网通信延时的主要因素是节点数目和通信速率, 也就是说网络负荷是造成通信延时的主要原因。在电力系统中站点之间传输的主要是短信息帧, 当节点数目较少时, 通信延时很小, 随着节点数目的增加, 延时也随之增大; 同时, 在数据吞吐量相同的情况下, 通信速率的提高意味着网络负荷的减轻和网络延时的减小, 从而改善以太网的实时性能。

6 总结

对这两种网络结构可靠性、网络延时分析比较见表 1。

表 1 网络拓扑结构比较

网络结构	可靠性	网络延时
星型	较低	最小
环型	较高	较大

环型拓扑结构由于网络自愈性、可靠性比星型拓扑结构好。但通过网络双重化, 可以大大提高网络可靠性, 满足数字化变电站要求; GOOSE 网络对实时性的要求是非常严格的, 在网络节点数量较多的情况下星型网络的实时性要优于环型; 同时由于结构上的原因, 环型网络容易产生网络风暴。经过综合考虑, 推荐双星型拓扑结构作为数字化变电站 GOOSE 网的拓扑结构。

参考文献

- [1] 高翔. 数字化变电站技术 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2008.
- [2] 林达. 基于 IEC 61850 标准的变电站通信体系研究 [D]. 华北电力大学, 2005.
- [3] 刘从洪. 基于 IEC 61850 的数字化变电站通信研究 [D]. 西南交通大学, 2008.
- [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, (10): 91-94.
- [5] 张婷. 数字化变电站的通信研究 [J]. 武汉科技学院学报, 2008, (12): 34-36.

作者简介:

罗小东, 四川大学电气信息学院硕士研究生。

郑旭, 四川电力设计咨询有限责任公司工程师。

舒勤, 四川大学电气信息学院、四川省智能电网实验室教授。

(收稿日期: 2009-11-10)