

基于 IEC61850 的双网通讯探讨

王海峰, 丁杰, 陈爱林

(国电南瑞科技股份有限公司研发中心, 江苏 南京 210061)

摘要: 数字化变电站是变电站自动化的发展方向, 随着技术的发展, 数字化变电站在国内外得到了越来越多的应用。IEC61850 标准是数字化变电站的基础, 但标准中没有涉及到双网通讯, 而双网又是变电站可靠运行的重要保证, 已成为变电站自动化系统的基本配置。为了实现数字化变电站的双网通讯, 又不违背 IEC61850 标准的互操作性精神, 对多种基于 IEC61850 的双网通讯的可行方案进行了分析探讨, 并都通过测试, 部分技术已在数字化变电站得到应用。

关键词: 数字化变电站; IEC61850 标准; 双网; 互操作性

Research on dual network communication based on IEC61850

WANG Hai-feng, DING Jie, CHEN Ai-lin

(NARI Technology Development Limited Company R & D Center, Nanjing 210003, China)

Abstract: Digital substation is the trend of substation automation system. With the development of information technology, more and more digital substations are applied over the world. Being the base of digital substation, IEC 61850 does not involve dual-network communication, which is the vital guarantee of substation reliable operation and the common configuration of substation automation system. To implement dual-network communication in digital substation without violating the interoperability of IEC 61850, the paper deals with an implementation method of dual-network communication, which has been partly used in digital substations.

Key words: digital substation; IEC 61850; dual-network; interoperability

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)03-0076-03

0 引言

随着计算机技术和通信技术的发展, 特别是工业以太网技术的发展, 传统的变电站自动化系统正逐步被集控制、测量、采集、保护、网络通信于一体的网络化的变电站自动化系统所代替, 为了实现不同厂家的设备达到信息共享, 使变电站自动化系统成为开放系统, 具有互操作性, 为此, 国际电工委员会 (IEC) 制定了变电站内通信网络和系统标准体系 IEC61850。IEC61850 标准在信息分层、面向对象的数据统一建模、数据自描述和抽象通信服务映射等概念的基础上, 提出了一种符合 IEC61850 标准的变电站内通信系统的框架模型^[2]。同时在遵循面向对象建模和抽象服务映射的思想基础上, 对变电站内智能电子设备 (IED) 统一硬件平台设计和软件系统的实现方法以及应该注意的相关问题进行了详细讨论, 为变电站自动化系统的互操作性、可扩展性和高可靠性要求的实现提供了依据。

变电站自动化系统的广泛应用使得变电站运行管理人员对自动化系统的依赖性越来越大, 自动化

系统任何一个环节出现问题都会使变电站处于失去监控的危险状态。系统故障期间变电站脱离了调度、运行人员的监控, 如果这时变电站设备发生故障, 运行管理人员可能得不到任何信息, 极有可能造成事故扩大或延误事故分析处理, 对电网的安全运行、经济调度都会造成威胁和损失, 社会影响更难以估计。因此自动化系统的可靠运行得到越来越多的重视。双网通讯已成为变电站自动化系统的基本配置。

国际电工委员会 (IEC) 制定的变电站内通信网络和系统标准体系 IEC61850 中并没有涉及双网通讯。IEC61850 是数字化变电站的基础, 随着数字化变电站大量推广, IEC61850 得到了广泛的应用, 基于 IEC61850 的双网通讯方法被提出。

1 网络拓扑结构

网络通信拓扑结构主要有星型拓扑、总线型拓扑、环型拓扑以及它们的混合型。在星型拓扑结构中, 任何一个连接只涉及交换机和一个站点, 访问控制介质的方法很简单, 因而访问协议也十分简单, 如图 1。同时, 单个站点的故障只影响一个站点,

不会影响全网,容易检测和隔离故障,重新配置网络也十分方便。因此变电站网络通信拓扑结构主要采用星型拓扑。但星型拓扑对交换机的可靠性要求很高,一旦交换机发生故障,全网将不能工作,为了提高通信可靠性,双星型拓扑已逐渐成为变电站内网络通信的主要接线方式。随着工业以太网技术的发展,各种加强型快速生成树的实现,使得环网故障恢复时间提高到 10 ms 以内。由于环网布线比星型网简单、可靠,环型拓扑也开始被变电站所采用(如图 2)。

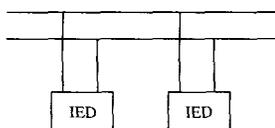


图 1 星型拓扑结构框图

Fig.1 Star Network structure

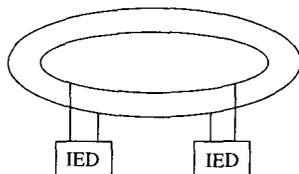


图 2 环型拓扑结构框图

Fig.2 Ring Network structure

2 常规双网通信

目前无论是在网络传输层还是网络应用层都没有标准的双网通信协议,为了适应技术发展的需求,许多厂家自己定义双网通讯协议,尽管具体应用有所不同,但基本原理都是一样的,以下是 NARI 公司应用的一个典型双网通讯协议(RTCP)。

RTCP 协议规定传输层使用 UDP/IP 和 TCP/IP 协议、应用层传输格式使用标准的 IEC 60870-5-103。当发送数据包时,将一个带序列号的报头加入数据包并将其从双网发送到目标设备。序列号分为重要数据序列号和普通数据序列号。每次发送数据包时将序列号加 1。

接收设备收到数据包后,首先判别数据类型是重要数据还是普通数据,然后比较其序列号(假设为 X)和上一个已处理数据包的序列号(假设为 Y)的大小,比较后处理如下^[3]:

(1) 当前数据包为重要数据时:

1) $X = Y$ 。当前数据包无效,丢弃当前数据包,当前数据包已从另一网络接收。

2) $X = Y + 1$ 。当前数据包有效,继续处理。

3) $Y + 1 < X \leq Y + 17$ 。当前数据包有效,继续处理,同时判定 $(Y + 1) \sim (X - 1)$ 数据包丢失,申请丢失数

据包重发;RTCP 中最多同时申请 16 包丢失数据,发送设备缓冲区足够大时可增加重发数据包数量。

4) $X > Y + 17$ 。当前数据包有效,继续处理,此种情况可能是网络发生长时间中断或发送设备重新启动,发送设备缓冲区中可能已没有丢失的数据包,因此不再申请丢失数据包重发。

5) $Y - 16 \leq X < Y$ 。当前数据包无效,丢弃当前数据包,通过变电站雪崩试验和变电站网络负载测试,同一数据包在双网上传送延迟最多相差 16 包数据(当 A 网已经收到序列号为 $X \sim X + 16$ 的数据包时, B 网才收到序列号为 X 的数据包)。

6) $X < Y - 16$ 。当前数据包有效,继续处理,此种情况可能是网络发生长时间中断或发送设备重新启动。

(2) 当前数据包为普通数据时与重要数据做相同处理,只是不再申请数据包重发。

采用双网通讯协议是实现双网通讯的最佳方案,它不但使双网处于热备状态,也过滤了双网通讯中的冗余数据。

3 IEC61850 网络通讯原理

IEC61850 标准中包含了变电站站控层设备与间隔层设备之间、间隔层设备相互之间、间隔层设备与过程层设备之间的网络通讯标准。

IEC61850 通信结构框图见图 3。在目前的数字化变电站实际应用中主要涉及到了采样值、通用面向对象变电站事件、时间同步、核心 AC SI 服务(TCP/IP T-Profile)四种功能。它们都基于 ISO/IEC 8802-3 以太网类型,底层通讯原理都是一致的,对双网的处理也可考虑一致。以下主要探讨核心 AC SI 服务(TCP/IP T-Profile)的双网处理过程^[1]。

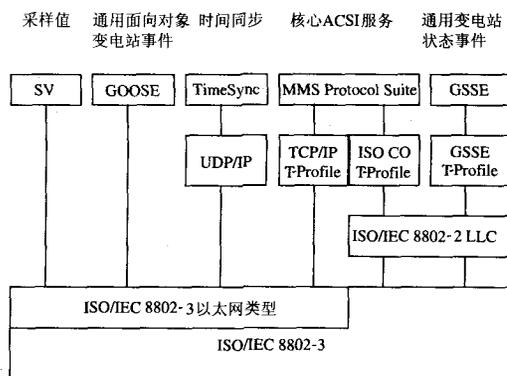


图 3 IEC61850 通信结构框图

Fig.3 IEC61850 network communication structure

双网是变电站自动化系统的基本配置,但 IEC61850 没有涉及双网通讯,为满足变电站的需

求, 又不违背 IEC61850 互操作性、可扩展性和高可靠性要求, 如下的网络通讯方案被提出, 并都通过测试, 部分方案已在实际工程中得到应用。

4 IEC61850 双网单 IP 的应用

4.1 采用 IEEE 802.3ad, “链路聚合控制协议”(LACP)^[4]

IEEE 802.3ad 配置双网后, 链路聚合控制协议数据单元(LACPDU)就会在设备和交换机之间进行交换。LACP 会通知交换机在聚合中配置的网络适配器作为交换机上的一个适配器来考虑, 而不再有用户干涉。聚合模块按照一定算法将业务流量分配给不同的成员, 实现链路级的负载分担功能。链路聚合中, 成员互相动态备份。当某一链路中断时, 其它成员能够迅速接替其工作。与生成树协议不同, 链路聚合启用备份的过程对聚合之外是不可见的, 而且启用备份过程只在聚合链路内, 与其它链路无关, 切换可在数毫秒内完成。

4.2 采用网络层冷备用

将双网设置同一个 IP, 由于 IP 协议工作在网络层, 当双网的网络层同时工作时, 会引起系统工作故障。所以当双网中的 A 网工作正常时, 需要停止 B 网的网络层运行, 同时保持 B 网的数据链路层和物理层的运行。当 A 网发生故障时, 再恢复 B 网的网络层运行。

双网单 IP 在应用, 使得 IEC61850 处理过程与单网完全相同。是实现 IEC61850 最简单最快速的方法。但它在网络底层需要开发相应的驱动程序, 不一定被所有厂家所支持, 在变电站系统互连时可能会遇到困难。

5 IEC61850 双网双 IP 的应用

IEC61850 数据主要通过总召唤、非缓冲报告控制块(URCB)和缓冲报告控制块(BRCB)等方式传送。总召唤用来定期传送全数据; URCB 用来传送普通数据, 不论数据是否传送成功, 传送结束后都将数据丢弃; BRCB 用来传送重要数据, 如果数据传送失败, 则缓冲该数据, 等到下次继续传送。

IEC61850 数据发送采用双网独立工作, 没有任何关联, 这种方案通用性高, 便于变电站各个装置的互连, 符合 IEC61850 标准的精神。

5.1 双网冷备用 (IEC61850 数据接收采用双网独立工作)

当双网中的 A 网 IEC61850 工作正常时, B 网 IEC61850 模块停止工作。A 网 IEC61850 发生故障

时, B 网 IEC61850 模块恢复工作。

优点: 实现简单; 缺点: 应用软件检测 A 网故障需要一定的时间。当 A 网已发生故障, 系统尚没有检测到 A 网故障, 而此时 B 网又不能工作, 系统这段时间将收不到任何数据。当 B 网开始工作时, 会将 BRCB 中缓冲的数据发送一遍, 而这些数据 A 网可能已经发送过, 接收装置会有冗余信息产生。

5.2 双网冷备用 (IEC61850 数据接收采用双网使能相同报告控制块)

当双网中的 A 网 IEC61850 工作正常时, B 网 IEC61850 模块停止工作。A 网 IEC61850 发生故障时, B 网 IEC61850 模块恢复工作, 同时使能与 A 网相同的报告控制块。

该方案可以解决接收装置冗余信息的产生。但有些发送装置可能会将报告控制块与 IP 地址绑定。当 A 网 IEC61850 发生故障后, 需要等待一定超时间再将报告控制块与 IP 地址松绑, 使 B 网使能报告控制块时间较长。

5.3 双网热备用

将 IEC61850 数据分为带时标和不带时标两大类, 带时标的 IEC61850 数据采用双网热备用, 不带时标的 IEC61850 数据采用双网冷备用。当设备收到 IEC61850 数据后, 判断数据是否包含时标, 如果包含则进入双网热备用处理模块。否则进入双网冷备用处理模块。

系统首先建立双网循环队列, 根据监控系统的容量配置相应的队列成员数量。系统收到 A 网 IEC61850 数据后寻找与其相对应的时标, 将数据的描述 (IEC61850 reference) 和时标 (t) 作为一个关键字, 与 B 网循环队列中所存放的关键字进行比较。

如果发现该关键字已在 B 网循环队列中存在, 则表示本次接收的数据已从另 B 网接收, 需要将 A 网本次接收的数据丢弃, 为了提高后续数据的检索效率, 同时将 B 网循环队列中该信息删除。

如果发现该关键字在 B 网循环队列中不存在, 表示本次接收的数据有效, 继续该数据的其它处理流程, 同时将本次接收的数据放入 A 网循环队列。为了减少队列的存储容量, 提高队列的读写时间, 只在队列中存放关键字。

6 结束语

数字化变电站是变电站自动化的发展方向, 而 IEC61850 标准是数字化变电站的基础。随着技术的发展, 数字化变电站得到了越来越多的应用, 基于

$I^*\infty = I^*\infty I_{ed} = 1.84 \times 3.05 = 5.6 \text{ kA}$ 。

计算结果: $I'z = 24 + 1.6 + 7.43 = 33.03 \text{ kA}$

$I^*\infty = 24 + 1.79 + 5.6 = 31.39 \text{ kA}$

以上公式中符号注释:

X_n 为电抗标么值,

X_L 为线路每相电抗值, Ω

S_j 为基准容量, MVA

U_j 为基准电压, kV

$X'd\%$ 为电动机的次暂态电抗百分比

$I'z$ 为次暂态短路电流, kA。

I_{ch} 为三相短路冲击电流, kA。

I^*z 为次暂态短路电流周期分量的标么值, kA。

$I^*\infty$ 为三相短路电流稳态有效值, kA。

可见,不考虑 5#制氧机时,其 6 kV 系统最大运行方式下短路电流为 33.03 kA,但 07 变电所的下级 6 kV 制氧机配电室断路器开断均为 31.5 kA。因此,即使不计算 5#制氧机,07 变 6 kV 系统仍然不能满足下级变电所的断路器开断要求。如果不采取相应措施来增加系统阻抗,07 变电所向下级配电室只能分段供电,不能采取一段母线同时向 1#、2#、3#、4#号制氧机供电。变电所正常运行方式下 1#、4#号制氧机及一台氮压机与下 2#、3#号制氧机及另一台机须分段动行。

3 结论

随着此项目的顺利实施,原 07 变 6 kV 负荷(1、

2、3 号制氧机)已迁出中央变,并改为由水城电厂及城北变供电,大大减轻了水钢枢纽变电所(中央变电所)的负荷,增加了中央变电所的运行可靠性(部分时间已为满负荷运行),并由于此变电所的建成,4#制氧机能顺利投运,为新炼钢工程全面实施提供了生产前提条件和可靠保障。通过两年的运行,比改造前更稳定、更可靠。

参考文献

- [1] 崔家佩,孟庆炎.电力系统继电保护与安全自动装置整定计算.中国电力出版社,2000.
CUI Jia-pei,MENG Qing-yan, Power System Protection and Security of Automatic Tuning Device, China Electric Power Press,2000.
- [2] 贺家李,宋从矩.电力系统继电保护原理.中国电力出版社,2004.
HE Jia-li,SONG Chong-ju.Power System Protection Principle,China Electric Power Press,2004
- [3] 陈延标.钢铁企业电力设计手册.冶金工业出版社,2000.
CHEN Yan-biao, Iron and Steel Enterprises Power Design Manual, Metallurgical Industry Press,2000.

收稿日期: 2008-03-26; 修回日期: 2008-04-18

作者简介:

聂素珍(1969-),女,硕士研究生,主要从事冶金系统电力系统自动化及控制、高压供配电的设计管理及设计工作。E-mail: sgsjy7126@sina.com

(上接第 78 页 continued from page 78)

IEC61850 双网技术的需求也越来越迫切。本文给出的变电站内 IEC61850 双网通信多种可行技术,并都通过测试^[5],部分技术已在数字化变电站得到应用。IEC61850 双网热备用技术由于在可靠性、实时性、互操作性等方面的特点,已成为数字化变电站主要采用的双网技术。

参考文献

- [1] IEC61850,Communication Networks and Systems in Substations,Part 8-1:Specific Communication Service Mapping (SCSM) -Mappings to MMS (ISO 9506-1 and ISO 9506-2) and to ISO/IEC 8802-3[S].
- [2] IEC61850,Communication Networks and Systems in Substations,Part7-1:Basic Communication Structure for Substation and Feeder Equipment-Principles and Models[S].
- [3] 王海峰,丁杰.对变电站内若干网络通信问题的探讨[J].电网技术,2004,28(24): 65-68.

Wang Hai-feng,Ding Jie.Research on Several Issues of Substation Network Communications[J].Power System Technology,2004, 28(24): 65-6.

- [4] IEEE 802.3ad Standard .
- [5] 吴俊兴,胡敏强,吴在军,奚国富,杜炎森.基于 IEC 61850 标准的智能电子设备及变电站自动化系统的测试.电网技术,2007,31(2): 70-74.
WU Jun-xing,HU Min-qiang,WU Zai-jun, XI Guo-fu,DU Yan-sen.Testing of IEC 61850 Based Intelligent Electronic Device and Substation Automation System. Power System Technology,2007,31(2): 70-74.

收稿日期: 2008-04-02; 修回日期: 2008-07-18

作者简介:

王海峰(1973-),男,工程师,长期从事电力系统自动化方面的工作; E-mail:wanghf@naritech.cn
丁杰(1966-),男,高级工程师,长期从事电力系统自动化方面的工作;
陈爱林(1975-),男,工程师,长期从事电力系统自动化方面的工作。