

数字化变电站自动化系统的网络选型

丁书文

(郑州电力高等专科学校电力系,河南 郑州 450004)

摘要: 随着智能化开关、光电式互感器等机电一体化设备的出现和应用,变电站自动化的技术进入数字化的新时代。在分析数字化变电站自动化系统的特征、结构基础上,提出了应用嵌入式以太网作为内部通信网络的实施方案,并对以太网在变电站自动化系统中应用模式和传输模式进行了分析研究。

关键词: 通信网络; 数字化变电站; 变电站自动化

中图分类号: TM76 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-4897(2003)07-0037-04

1 引言

变电站自动化系统是在计算机技术和网络通信技术基础上发展起来的。它改变了传统的二次设备的组态模式,提高了电网建设的现代化水平,增强了输配电的可靠性,降低了变电站的总造价,因此近几年在电力系统中被广泛应用。随着智能化开关、光电式电流电压互感器、一次运行设备在线状态检测及自诊断、变电站运行操作培训仿真等技术日趋成熟,一些传感器和控制器基于新的物理测量原理为一次设备增添了新的功能,提高了测量精度,降低了电流电压动态测量范围的误差。这些新技术的广泛应用,必将对已有的变电站自动化技术产生深刻的影响,全数字化的变电站自动化系统即将出现^[1]。

网络系统是连接站内各种智能电子设备(IED)的纽带,是数字化变电站自动化系统的命脉^[2],它的可靠性与信息传输的快速性决定了系统的可用性。本文在分析数字化变电站自动化系统结构及特征基础上,依据变电站的数据流和信息传输特点及变电站对通信网络的要求,提出了以嵌入式以太网作为数字化变电站自动化系统通信网的实施方案,并分析了以太网在变电站自动化系统中应用模式和传输模式这两个关键问题。

2 数字化变电站自动化系统的特征及结构

2.1 数字化变电站自动化系统的特征

数字化变电站自动化系统大致有以下几个特点:

(1) 智能化的一次设备:一次设备被检测的信号回路和被控制的操作驱动回路,采用微处理器和光电技术设计,变电站二次回路中常规的继电器及其逻辑回路被可编程控制器代替,常规的强电模拟信

号和控制电缆被光电数字和光纤代替。

(2) 网络化的二次设备:变电站内常规的二次设备,如继电保护装置、测量控制装置、防误闭锁装置、远动装置、故障录波装置、电压无功控制、同期操作装置以及正在发展中的在线状态检测装置等全部基于标准化、模块化的微处理机设计制造,设备之间的连接全部采用高速的网络通信,二次设备不再出现功能装置重复的I/O现场接口,通过网络真正实现数据共享、资源共享,常规的功能装置变成了逻辑的功能模块。

(3) 自动化的运行管理系统:变电站运行管理自动化系统应包括电力生产运行数据、状态记录统计无纸化、自动化;变电站运行发生故障时,能及时提供故障分析报告,指出故障原因及处理意见;系统能自动发出变电站设备检修报告,即常规的变电站设备“定期检修”改为“状态检修”^[3]。

2.2 数字化变电站自动化系统的结构

随着智能化电气的发展,特别是智能开关、光电式互感器等机电一体化设备的出现和应用,变电站自动化的技术迈入了数字化的新阶段。在高压和超高压变电站中,智能化一次设备的数字化传感器、数字化控制回路代替了常规继电保护装置、监控等装置的I/O部分,而在中低压变电站则将保护、监控装置小型化、紧凑化,完整地安装在开关柜上,实现了变电站机电一体化设计。

在逻辑结构上数字化变电站自动化系统分为三个层次,这三个层次分别称为“变电站层”、“间隔层”、“过程层”。各层次内部和层次之间采用高速网络通信,三个层次的关系如图1所示。

(1) 变电站层。变电站层的主要任务是:通过两级高速网络汇总全站实时数据信息,不断刷新实时数据库,按时登录历史数据库;按既定协议将有关

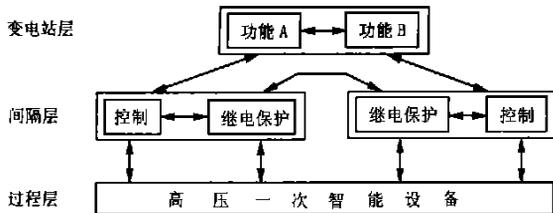


图1 数字化变电站自动化系统逻辑结构图

Fig. 1 The logical structure of digital substation integrated automation system

数据信息送往调度或控制中心;接收调度或控制中心有关控制命令并转间隔层、过程层执行;具有在线可编程的全站操作闭锁控制功能;具有(或备有)站内当地监控、人机联系功能,如显示、操作、打印、报警等功能以及图像、声音等多媒体功能;具有对间隔层、过程层诸设备的在线维护、在线组态、在线修改参数的功能;具有(或备有)变电站故障自动分析和操作培训功能。

(2) 间隔层。间隔层的主要功能是:汇总本间隔过程层实时数据信息;实施对一次设备保护控制功能;实施本间隔操作闭锁功能;实施操作同期及其他控制功能;对数据采集、统计运算及控制命令的发出具有优先级别的控制;承上启下的通信功能,即同时高速完成与过程层及变电站层的网络通信功能,必要时,上下网络接口具备双口全双工方式以提高信息通道的冗余度,保证网络通信的可靠性。

(3) 过程层。过程层是一次设备与二次设备的结合面,或者说过程层是智能化电气设备的智能化部分,其主要功能可分为三类:电气运行的实时电气量检测。即利用光电电流、电压互感器及直接采集数字量等手段,对电流、电压、相位及谐波分量等进行检测。运行设备的状态参数在线检测与统计。如对变电站的变压器、断路器、母线等设备在线检测温度、压力、密度、绝缘、机械特性以及工作状态等数据。操作控制的执行与驱动。在执行控制命令时具有智能性,能判断命令的真伪及其合理性,还能对即将进行的动作精度进行控制,如能使断路器定向合闸、选相分闸,在选定的相角下实现断路器的关合和开断,要求操作时间限制在规定的参数内。

3 变电站自动化系统通信网络的要求

3.1 变电站内数据流和信息传输的特点

在具有变电站层—间隔层—过程层结构分层的变电站内,需要传输的数据流有如下几种:过程层与间隔层之间的信息交换,过程层的各种智能传感

器和执行器可以自由地与间隔层的装置交换信息;间隔层内部的信息交换;间隔层之间的通信;间隔层与变电站层的通信;变电站层的内部通信,在变电站层不同设备之间存在信息流。

各种数据流在不同的运行方式下有不同的传输响应速度和优先级的要求。

(1) 经常传输的监视信息

1) 为了监视变电站的正常运行,需要传输各种测量值,这些量需要经常传送(如母线电压、电流、有功、无功、频率等)。

2) 变电站正常运行所需要的信息,这些信息在传送时间间隔可以延长,传送的优先级可以较低。(如有功电量累计值和无功电量累计值)。

3) 为了刷新变电站的数据库而定时采样的数据向变电站层传送的信息。(如断路器的状态信息、继电保护的投入与退出的工作状态信息)。

4) 为了监视变电站的电气设备的安全运行所需要的信息。(如变压器、避雷器等的状态监视信息、变电站的防火、防盗所需要的信息)。

(2) 突发事件产生的信息

1) 在系统发生事故的情况下,需要快速响应的信息。(如事故时断路器的位置信号)。

2) 在正常操作时所引起的状态变化。(如操作断路器、隔离开关和继电保护装置的投入与退出,以及继电保护装置等的运行方式的选择等)。

3) 在事故情况下继电保护动作的状态信号和事件顺序记录。这些信息不需要立即传送。(如保护动作值,事故动作顺序记录)。

4) 事故发生时记录下的带时标的扰动数据。这些信息也不需要立即传送。(如事故录波数据)。

(3) 在高压电气设备内装设的智能传感器和智能执行器,高速地与间隔层设备交换信息。传送速率决定于正常状态时的采样速率,以及故障情况下的快速传输的状态量。(如光电电流互感器及直接采集的数字量,设备在线检测温度、压力、密度、绝缘、机械特性以及工作状态等数据)。

(4) 其他一些非实时信息。(如防火、防盗信息)。

3.2 对变电站自动化系统通信网络的要求

3.2.1 功能要求

通信网络的根本任务是解决综合自动化系统内部以及与其他系统之间的实时信息交换,而网络是不可或缺的功能载体,那么构建一个可靠、实时、高效的网络体系是通信系统的关键之一,2000年国际

大电网会议第 34 组保护与控制讨论和介绍了变电站自动化及其通信系统,其基本一致的思想就是通信技术是变电站自动化系统的关键。

通信网络是连接站内各种智能电子设备(IED)的纽带,因此它必须能支持各种通信接口,满足通信网络标准化。

随着变电站的无人化以及自动化信息量的不断增加,通信网络必须有足够的空间和速度来存储和传送事件、电量、操作、故障以及录波等数据。为改善电压运行质量,无人值班变电站要求通信网络具有电压无功自动调节功能、系统对时功能等。另外自诊断、自恢复以及远方诊断,在线状态检测是针对运行维护提出的几项功能要求。

3.2.2 性能要求

通信网络的性能要求主要体现在以下几个方面^[4]:

(1) 可靠性: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。特别是数字、图像信息的多媒体技术的应用,我们会更加依赖通信网络,因此,一个可靠的通信网络是首要条件。

(2) 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。

(3) 实时性:因测控数据、保护信号、遥控命令等都要求实时传送,虽然正常工作时,站内数据流不大,但出现故障时要传送大量的数据,要求信息能在站内通信网络上快速传送。

4 数字化变电站自动化系统的通信网络

只有满足了上述要求,通信网络才是理想的。常规变电站自动化系统中保护装置的信息采集与保护算法的运行一般是在同一个 CPU 控制下进行的,使得同步采样、A/D 转换、运算、输出控制命令整个流程快速、简捷,而数字化变电站的系统中信息的采集、保护算法与控制命令的形成是由网络上多个 CPU 协同完成的,如何控制好采样的同步和保护命令的快速输出变成了一个复杂问题,其最基本的条件是网络的适应性,关键技术是网络通信速度的提高和合适的通信协议的制定。

通常的现场总线技术已经不能满足数字化变电站自动化高速通信的技术要求,目前以太网异军突

起^[6],已经引入工业自动化过程控制领域,固化 OSI 七层协议,速率达到 100 MHz 的以太网控制与接口芯片已大量出现,为数字化变电站自动化协议的开发研究提供了物质基础。数字化变电站自动化系统示意图如图 2 所示。

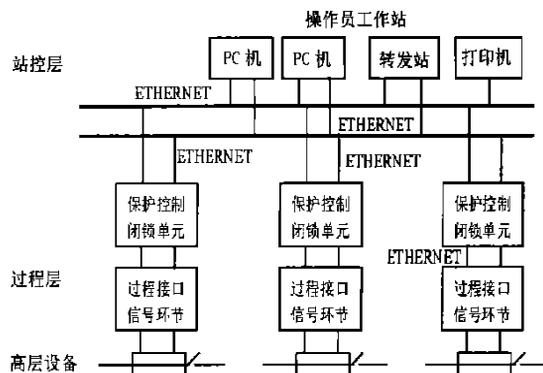


图 2 数字化变电站自动化系统示意图

Fig.2 The sketch of digital substation integrated automation system

5 嵌入式以太网的应用方案

随着计算机软、硬件的发展,工业控制领域出现了嵌入式技术,利用嵌入式软、硬件,设计者可以在单片机协同系统上实现以太网技术即嵌入式以太网。嵌入式以太网的出现为数字化变电站综合自动化系统的设计者提供了实现站内网络通信的新途径。

5.1 嵌入式以太网的应用模式^[5]

嵌入式以太网作为变电站自动化系统的内部通信网络,有两种应用模式:每个智能电子装置(IED)配置一个嵌入式以太网接口,每个 IED 作为一个以太网节点直接连接到以太网上;几个 IED 通过 RS485、MODBUS 等方式连接在一起,然后用嵌入式以太网接口作为一个以太网节点连接到以太网上。

在选择嵌入式以太网应用模式时,主要考虑如下因素:超高压变电站系统的二次系统一般都是基于间隔设计的;超高压变电站自动化系统内部通信网络的可靠性要求很高,要求可方便地构成双网结构;成本问题;产品向下兼容问题。

这种新型通信网络一般具有如下特点:网络宽带资源大大增加;数据上传(如故障录波数据)速度大大加快;易于与 PC 机接口;易于与广域网连接。

5.2 嵌入式以太网传输模式选择

嵌入式以太网为使用者提供了单播、广播及分

组广播三种模式。单播模式中信息的目的地址只有 1 个,网络上除目的地址之外的其他节点都不能接收源节点发送的信息;广播模式是指一个节点发送信息,网络上除源节点外的所有节点都能接收到源节点所发送的信息;分组广播是指源节点将一帧信息发送到网络上的一组节点,组内的各个节点都能接收到该信息,而组外的节点则不接收所发送的信息。分组广播模式与广播模式的重大区别是在于分组广播模式对接收对象加以限制,而广播模式则没有。假设间隔层中 1 号测控单元要将同一帧信息发送到变电站层的 N 个设备,下面分别给出了使用单播、广播及分组广播 3 种传输模式构成的变电站内部数据传输方案,如图 3~图 5 所示。

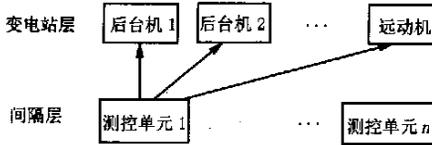


图 3 使用单播模式的传输方案

Fig. 3 The transport scheme based on point-to-point communication mode



图 4 使用广播模式的传输方案

Fig. 4 The transport scheme based on broadcast mode



图 5 使用分组广播模式的传输方案

Fig. 5 The transport scheme based on grouping broadcast mode

从图 3 可知单播模式传输方案的缺点有:传输效率不高;网络流量剧增将造成网络上的冲突加剧;测控单元 CPU 资源消耗太大,同一信息发送 N 遍,执行 TCP/IP 协议的 CPU 就必须将 TCP/IP 协议的相关部分执行 N 遍。

从图 4 中可以看出,使用广播模式的传输方案中,对于同一帧信息,测控单元只向变电站层的 N 个设备发送一遍,比单播模式效率高,同时网络的流量并没有增加。但某个测控单元向网络上发送信息

后,变电站层的所有设备不论是否与自己有关都会收到该信息,然后在应用层再将无关的信息丢掉,显然这样做浪费了变电站层相关设备的资源。由于测控单元要不断地将间隔内的信息向以太网上发送,所以这种由于广播模式引发的硬件资源浪费是巨大的,对于嵌入式 CPU 电路是不能接受的。

从图 5 中可以看出,在使用分组广播模式的传输方案中,变电站层需要信息共享的 N 个设备使用同一个组地址,对于同一帧信息网关设备只需要用组地址作为目标地址向变电站层的 N 个设备发送一遍,网络上只有使用了这个组地址的设备才能接收到该信息。显然这种方式既有广播模式同一信息只发送一遍的高效率,又避免了广播风暴,使资源得到了有效保护,同时网络流量也没有增加。因此,本文推荐分组广播模式作为传输模式。

根据开发系统互连 (OSI) 参考模型, TCP/IP 的传输层对应用层提供 UDP 和 TCP 两种类型的服务^[6]。UDP 是一种无连接的协议,也就是通信的发起节点在发起通信时在传输层不需要与通信接收方事先建立“握手”连接,而是直接发送。TCP 是一种面向连接的协议,也就是通信的发起节点在每次发起通信时传输层都必须与通信接收方事先建立“握手”连接,之后才能发送。这两种传输模式各有特色,UDP 由于不需要事先建立“握手”联系,所以效率很高,并且有单播、分组广播和广播三种模式。TCP 由于事先建立了“握手”联系,所以传输可靠,特别适用于文件等大块数据的传输。但 TCP 是面向连接的,它不可能同时与一组节点建立连接,因此 TCP 方式不支持分组广播,这在逻辑上也是合理的。由于 UDP 方式的高效率和分组广播等特点,以太网在工业控制领域应用时一般都采用 UDP 方式。所以建议选用 UDP 作为嵌入式以太网的传输协议。

6 结束语

通信网络是变电站自动化系统的关键。本文论述了数字化变电站自动化系统的特征、结构,并基于嵌入式以太网技术,提出了数字化变电站综合自动化系统的通信网络选型中应用嵌入式以太网的实施方案。分析研究了以太网在数字化变电站自动化系统中应用模式和传输模式这两个关键问题。数字化变电站自动化系统是一个系统工程,未来的 5~10 年间,随着新技术的不断涌现和变电站与国际标准的接轨,数字化变电站自动化系统必将得到蓬勃发展。

(下转第 49 页)

业出版社,1998.

- [2] 范蟠果,孙卓.基于瞬时无功功率理论的单相电路功率因数测量方法[J].测控技术,2000,(7):63-64.
- [3] 陈德树.计算机继电保护原理与技术[M].北京:水利电力出版社,1991.
- [4] 喻伟军.微机保护中的相角差计算[J].华东电力,1995,(2):37-38.

收稿日期:2002-09-25

作者简介:

范春菊(1967-),女,副教授,在职博士生,长期从事人工智能在继电保护及综合自动化的研究及教学工作;

郁惟镛(1940-),男,教授,博士生导师,长期从事人工智能在继电保护及综合自动化的研究及教学工作。

Discussion of accurate measurement scheme of power factor

FAN Chun-ju, YU Wei-yong

(Dep. of Electrical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China)

Abstract: This paper proposed the accurate measurement scheme of power factor on the basis of the conventional scheme: Measurement scheme of power factor based on power frequency. The conventional measurement is not very accurate because they did not consider the effect of the harmonic wave and nonperiodic component on accurate measurement of factor. The proposed power factor measuring scheme based on DSP technology can make full use of the calculation function. We can use bandpass filter to process the sampling series signal of voltage and current, and then we can use Fourier Filter to get the phase of the voltage and the current to get the power factor. This method can remove the influence of the non-periodic component and harmonic wave on the measuring accuracy of power factor and get the power factor fully based on the power frequency. Prefix digital band filter can overcome the drawback of the hardware low band filter to get the frequency band information near power frequency. We can use Fourier filter to get voltage and current of power frequency to get power factor based on power frequency.

Key words: power factor; measurement; filter

(上接第40页)

参考文献:

- [1] 石树平,马运荣.论变电站综合自动化技术发展现状及要求[J].继电器,2000,28(10):6-11.
- [2] 沈国荣,黄健.2000年国际大电网会议系列报道[J].电力系统自动化,2001,25(5):1-5.
- [3] 曾庆禹.变电站自动化技术的未来发展(一)[J].电力系统自动化,2000,25(9):1-6.
- [4] 谭文恕.对变电站自动化系统通信网络的要求及通信

未来标准化的动态[J].电网技术,1999,22(12):1-6.

[5] 任雁铭,秦立军,杨奇逊.变电站自动化系统中内部通信网络的研究[J].电网技术,2000,24(5).

[6] 丁书文,赵勇.设计新型变电站综合自动化系统应重视的一些问题[J].电工技术,2000,(1).

收稿日期:2002-11-13

作者简介:

丁书文(1967-),男,硕士,副教授,主要从事电力系统继电保护,变电站自动化的教学与研究。

Choosing internal communication network of digital substation integrated automation system

DING Shurwen

(Zhengzhou Electric Power College, Zhengzhou 450004, China)

Abstract: Along with the appearance and application of new equipment of intelligent switch and photoelectric transducer, the integrated automation technology of substation is promoted into a digital stage. This paper discusses the characteristics and structure of digital substation integrated automation system. The communication network architecture based on the embedded Ethernet technique for EHV substation automation system is proposed. The application mode and transport mode of Ethernet used in digital substation integrated automation system are researched.

Key words: communication network; digital substation; integrated automation system