

实时以太网 EtherCAT 技术在电力系统中的应用

向乾亮¹, 辛志远², 林继如¹, 李国杰³, 梁浩⁴, 李娟⁴

(1.华北电力大学电气与电子工程学院, 北京 102206; 2.北京吉思创新科技研发有限公司, 北京 100083; 3.电力系统及发电设备控制和仿真国家重点实验室(清华大学电机系), 北京 100084; 4.湖南娄底市电业局, 湖南 娄底 417000)

摘要: 详细论述了实时以太网 EtherCAT 技术, 主要包括 EtherCAT 以太网的工作原理、通信协议以及优越的同步、高速性能等。其次, 介绍了 EtherCAT 系统的设计方法, 如何利用组态软件 TWinCAT 实现一个主站系统, 以及针对应用的特点怎样设计一个合适的从站系统。最后, 介绍了一个基于 EtherCAT 技术的实时以太网系统, 并证明该系统能满足电力系统中实时数据采集的要求。实时以太网 EtherCAT 系统能提高电力系统中通信的实时性。

关键词: EtherCAT; 实时通信; TWinCAT; 数据采集

Application of the real-time EtherCAT technology in power systems

XIANG Qian-liang¹, XIN Zhi-yuan², LIN Ji-ru¹, LI Guo-jie³, LIANG Hao⁴, LI Juan⁴

(1.College of Electrical and Electronic Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206,China; 2. Beijing Ji-si New Technology Research Co.,Ltd, Beijing 100083,China; 3. State Key Lab of Control and Simulation of Power Systems and Generation Equipments (Dept of Electrical Engineering, Tsinghua University), Beijing 100084,China; 4.Loudi Electric Power Bureau, Loudi 417000,China)

Abstract: In this paper, the real-time EtherCAT technology is introduced in detail, which including operating principle, communication protocol and the superiority performance of EtherCAT i.e. synchronicity, simultaneousness and high speed. To show how to build up a master system using configuration software TWinCAT and how to design a slave system considering the characteristics of application, the methods of developing systems based on EtherCAT technology are proposed. Finally, a data acquisition system based on EtherCAT technology is designed and it is proved that the system can well satisfy the need of data acquisition in the power systems. Application of EtherCAT technology can improve the real-time characteristics of data communication in power systems.

Key words: EtherCAT; real-time communication; TWinCAT; data acquisition

中图分类号: TM76 文献标识码: B 文章编号: 1003-4897(2008)11-0042-04

0 引言

随着电力工业的迅速发展, 电力系统规模的不断扩大, 系统运行方式越来越复杂, 对自动化水平的要求越来越高。因此, 高性能智能电子装置在电力系统中已经得到了广泛的应用。同时电力系统电流电压等信号采样频率的提高, 使采样数据在各智能设备之间的传输的实时性变得十分重要。采样数据的实时性影响到自动化系统的性能。假设每周波采样 200 点, 对一条三相线路的采样(12 个物理量, 每个物理量为 16 位)要占用 2 Mbps 的通讯速率。一般的现场总线难以满足要求。

实时以太网 EtherCAT 是德国 BECKHOFF 公司

新开发的一种实时总线技术。其性能优越, 不但能解决智能设备间的实时数据交换及高效传输采样数据, 甚至能满足基于 PC 实时控制的技术要求; 它满足文献[1]所提出的集成自动化系统对总线的要求。

本文阐述了 EtherCAT 技术的通信原理及其优越的性能, 介绍了 EtherCAT 系统的设计, 并介绍了 EtherCAT 技术在电力系统中的应用。

1 实时以太网 EtherCAT 技术介绍

EtherCAT(Ethernet for Control Automation Technology) [2,3]是一种实时以太网现场总线系统。EtherCAT 具有速度快, 布线容易的特点; 且具有兼

容性和开放性; 适合于快速控制的应用场合。

1.1 EtherCAT 的工作原理

以太网是一种 802.3 基带总线局域网, 采用载波侦听多路访问/冲突检测 (CSMA/CD) 介质访问控制方式。实时以太网 EtherCAT 技术采用了主从介质访问方式, 在基于 EtherCAT 的系统中, 主站控制从站发送或接收数据。主站发送数据帧, 从站在数据帧经过从站时读取相关报文中的输出数据。同时, 从站的输入数据插入到同一数据帧的相关报文中。当该数据帧经过所有从站并与从站进行数据交换后, 由 EtherCAT 系统中末端从站将数据帧返回, 如图 1。

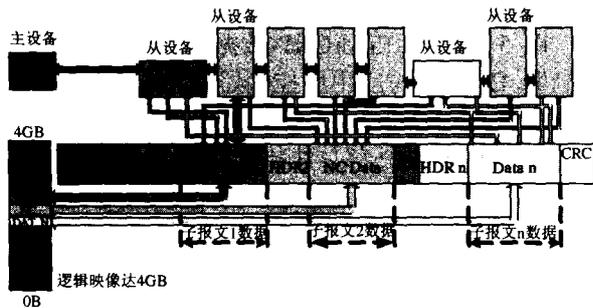


图 1 报文中的过程数据

Fig.1 Process data inserted in telegrams

1.2 EtherCAT 协议

EtherCAT 技术可以充分利用全双工以太网的带宽。采用了主从方式的介质访问技术, 由主站发送以太网数据帧到每个从站, 实现数据的通信。EtherCAT 帧符合 ISO/IEC802.3 标准, EtherCAT 报文由多个 EtherCAT 子报文组成, 位于标准以太网帧结构的数据区。每个子报文都服务于一块逻辑过程映像区的特定区域, 该区域最大可达 4GB 字节。数据顺序不依赖于网中以太网端子的物理顺序, 可任意编址。从站之间的广播、多播方式通讯得以实现。如果要想实现最大化性能, 并且需要将 EtherCAT 组件作为同一子网控制器进行操作, 则可直接传送以太网帧。

由于 EtherCAT 不限于单个子网的应用, EtherCAT UDP 将 EtherCAT 协议封装为 UDP/IP 数据报文, 如图 2。这样, 任何以太网协议堆栈的控制均可编址到 EtherCAT 系统之中。甚至还可以通过路由器使通讯跨接到其它子网。

根据主从数据交换原理, EtherCAT 也非常适合控制器之间 (主/从) 的通讯。自由编址的网络变量可用于过程数据以及参数、诊断、编程和各种远程控制服务, 满足广泛的应用需求。

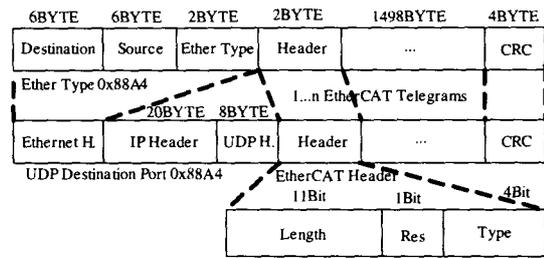


图 2 遵循 IEEE802.3 标准的 EtherCAT 帧

Fig.2 EtherCAT frames according to IEEE 802.3

1.3 EtherCAT 的性能

EtherCAT 支持各种拓扑结构, 如总线型、星型、环形等, 并且允许 EtherCAT 系统中出现多种结构的组合。支持多种传输电缆, 如双绞线、光纤、光导总线等, 以适应于不同的场合, 以提升布线的灵活性。

EtherCAT 采用了精准的同步时钟系统^[4]。系统中的数据交换完全是基于纯硬件机制, 由于通讯采用了逻辑环结构 (借助于全双工快速以太网的物理层), 主站时钟能简单、精确地确定各个从站传播的延迟偏移。分布时钟均基于主时钟进行调整, 在网络范围内使用精确且确定的同步误差时间基。

EtherCAT 采用从站硬件集成以及网络控制器主站的直接存取, 整个协议的处理都在硬件中实现, 它完全独立于协议堆栈的实时运行系统、CPU 性能或软件实现方式, 所以过程数据传输速度快。如 256 个分布数字 I/O 仅需 11 μs, 1000 个分布数字 I/O 仅需 30 μs, 200 个模拟 I/O (16 bit) 仅需 50 μs。

EtherCAT 具有较强的通信诊断能力, 能迅速地排除故障; 同时它也支持主站从站冗余检错, 提高系统的可靠性; EtherCAT 实现了在同一网络中将安全相关的通讯和控制通讯融合为一体, 并遵循 IEC61508 标准, 满足安全集成级 (SIL) 4 的要求。

2 基于实时 EtherCAT 技术的系统设计

EtherCAT 系统是一种主从通信系统, 整个系统由主站与从站构成, 从站通过 EtherCAT 总线与主站相连, 整个系统由主站进行控制。EtherCAT 系统的设计包括主站的设计与从站的设计。

2.1 EtherCAT 主站的设计

EtherCAT 主站功能可利用 BECKHOFF 公司提供的 TWinCAT 组态软件来实现, 通过配置该组态软件将其运行在装有 WindowsXP 的计算机中, 可实现主站的功能, TWinCAT 通信系统如图 3。该系统由核心模式和用户模式组成。核心模式中运行一个实时内核 (BECKHOFF 实时核), 该内核嵌入在

Windows XP (或 Winnows NT)操作系统中, 实现数据通信的实时性。系统中其它各逻辑设备通过 ADS (Automation Device Specification) 接口与 ADS 路由器进行信息交换。用户程序运行在用户模式中, 通过循环扫描的方式来执行程序, 每一个循环周期的时间可通过系统参数设定的。在一个循环周期中 BECKHOFF 内核优先使用 CPU 完成用户控制任务, 当任务完成将 CPU 的使用权交与操作系统, 以达到实时控制。TWinCAT 还提供了 OCX、DLL、OPC 等接口以实现人机界面功能。

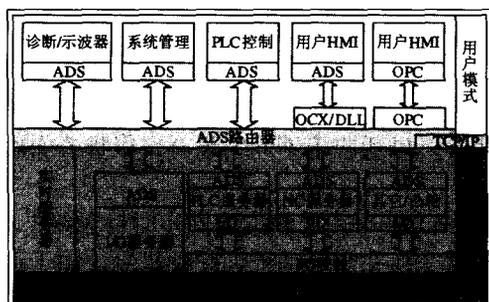


图 3 TWinCAT 通信系统结构

Fig.3 TWinCAT communication system structure

在实际应用中, 用户根据从站设备特点编写从站设备配置文件(xml 文件), 使主站能够识别从站设备以进行相关的初始化与控制。

2.2 EtherCAT 从站的设计

EtherCAT 从站是指在总线上的以太网控制器、微处理器及传感器、执行部件组成的微机系统。一般的从站结构如图 4 所示。

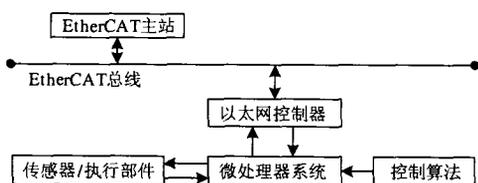


图 4 EtherCAT 从站系统原理图

Fig.4 EtherCAT slave system

EtherCAT 从站中最关键部分是 EtherCAT 控制器, 它实现实时以太网 EtherCAT 的物理层与数据链路层的协议, 故设计一个从站主要是实现 EtherCAT 的应用层协议。图 4 中的微处理器系统是应用层处理器, 主要实现应用层的协议。

对逻辑控制系统, 可以将从站设计成一个简单的数字 IO, 只需将以太网控制配置成数字 IO 接口而无需应用层处理器。对于复杂的控制系统, 应根据应用需要, 将应用层处理器设计成一个嵌入式系

统。它主要实现应用层的协议, 也可实现紧急控制算法, 以提高系统的可靠性。

3 实时 EtherCAT 在电力系统中的应用

在电力系统中大量的智能电子设备基本上利用现场总线或以太网技术来实现实时数据的交换。特别是变电站综合自动化系统各智能设备的数据交换与系统中的现场总线或以太网密切相关, 特别是千赫级的采样系统中, 高密度的实时采样数据的交换对现场总线或以太网提出了更高的要求。

以下简单介绍一个应用于电力系统中的基于实时以太网 EtherCAT 的数据采集与控制系统。

3.1 基于 EtherCAT 数据采集系统的硬件设计

图 5 为基于 EtherCAT 数据采集系统中以太网控制器 ESC20 与应用层控制器 TMS320F2812 型 DSP 的接口。将以以太网控制器 ESC20 配置成并行接口, 通过 DSP 的外部总线接口进行数据交换。

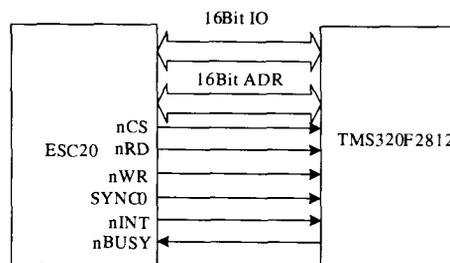


图 5 ESC20 与 TMS320F2812 DSP 接口

Fig.5 Interface of ESC20 and TMS320F2812

ESC20 控制器支持分布时钟, 为各个从站提供同步采样信号。DSP 作为 EtherCAT 通信协议的应用层的控制器, 主要实现 EtherCAT 应用层的协议。DSP 采用循环读取 ESC20 中应用层控制寄存器的方式, 确定主站对从站的控制功能。从站根据应用层控制器的值完成相应功能; 最后, 通过写 ESC20 的应用层状态寄存器对事件做出响应。

3.2 软件设计

软件设计的流程如图 6 所示。程序循环中主要由输入输出数据处理和 EtherCAT 事件处理组成。

数据输入输出处理是通过定义一个先进先出 FIFO 的数据结构来实现的。ESC20 的同步信号的高电平触发 DSP 的 INT1, 该中断程序主要进行 AD 转换并将 AD 转换的结果写入 FIFO 数据结构中。这样, EtherCAT 主站要读从站数据时(主站将从站设为 Safe-Operation 状态), 从站则将 FIFO 中的最多不超过 128 个 16 位的数据发送到 ESC20 的相关应用内存。输入输出更新是由 EtherCAT 事件处理

的结果来确定的,即决定于从站处于何种状态。

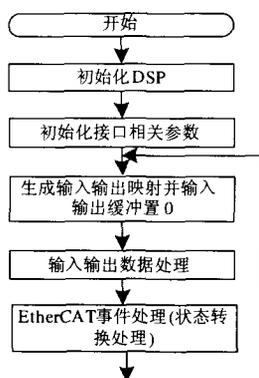


图 6 软件流程图

Fig.6 Flow chart of software

4 结语

EtherCAT 以其先进的技术优势,优越的性能将在电力系统得到广泛应用。它能解决集成变电站自动化系统中高密度实时数据的传输问题;能提高变电站自动化系统的实时性;为改善控制算法的性能提供了条件;有利于电力系统的经济运行。

参考文献

- [1] 曾庆禹. 变电站自动化技术的未来发展(二)——集成自动化、寿命周期成本[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(18): 1-5.
ZENG Qing-yu. The Development of Substation Automation in the Near Future[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000,24(18):1-5.
- [2] IEC/PAS 62407: Real-Time Ethernet Control Automation Technology (EtherCAT)[S].
- [3] EtherCAT Communication Specification(version1.0)[Z].
- [4] IEEE 1588-2002: IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control System[S].

收稿日期: 2007-09-27; 修回日期: 2008-01-06

作者简介:

向乾亮(1981-), 男, 硕士, 研究方向为电力系统微机保护及变电站自动化; E-mail: happystone_81@163.com

辛志远(1979-), 男, 学士, 主要从事小型发电机励磁调速系统和风力发电控制系统研发;

林继如(1982-), 女, 硕士, 研究方向为电力电子技术 在电力系统中的应用。

(上接第 21 页 continued from page 21)

2) 客户端对服务器的授时请求周期要大于 1 min, 以免造成 SNTP 服务器资源迅速消耗, 而不能及时响应客户的请求;

3) 当网络中客户机数目大于 500 台时, 应该配置多台 SNTP 服务器, 以达到要求的授时精度。SNTP 最多每秒钟能同时响应 500 个请求, 一旦超过这一数目, 授时的精确度就得不到保证;

4) 在需要高可靠授时的应用, 最好配备多台 SNTP 服务器, 利用 DNS 系统实现负载均衡和集群;

5) 客户端应该能够识别服务器端的故障, 一旦发现 Stratum 字段为 0, 应该立刻丢弃服务器发来的时间戳, 转向其它服务器取时间, 以避免授时错误。

参考文献

- [1] 林晓帆.SNTP 协议的分析——中国软硬件结合技术网[J]. 计算机与网络, 2004.

LIN Xiao-fan. Analysis for SNTP Protocol, Network Hardware and Software Technology with China[J]. Computer and Network, 2004.

- [2] 陈华鹏.RFC1769——Simple Network Time Protocol[M]. 中国互动出版网, 2005.
CHEN Hua-peng. RFC1769——Simple Network Time Protocol[M]. China Interactive Publishing Network,2005.

收稿日期: 2007-09-20; 修回日期: 2007-11-06

作者简介:

温东旭(1977-), 男, 本科, 研究方向为数字化变电站、五防与程控; E-mail: dongxuw@xjgc.com

马国强(1978-), 男, 本科, 研究方向为数字化变电站、JAVA报表研究;

王俊峰(1967-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电气自动化控制及自动化仪表等。