

文章编号: 1007-2985(2010)05-0067-05

基于 EtherCAT 的风力发电机组主控制系统设计^{*}

施大发¹, 王 辉², 梁 骁², 阮倩茹²

(1. 湖南机电职业技术学院电气工程系, 湖南 长沙 410151; 2. 湖南大学电气与信息工程学院, 湖南 长沙 410082)

摘 要: 机组主控制系统是变速恒频风力发电系统的核心, 是机组最佳状态运行和精确控制的保证. 计算机控制和网络控制技术的发展使得机组主控制系统运行的可靠性和智能化大大提高, 通过引入 EtherCAT 实时以太网控制技术, 设计了基于 EtherCAT 技术的风电机组主控制系统, 提高了机组系统的实时控制和数据传输能力, 并给出了硬件和软件设计方案.

关键词: EtherCAT; 风电机组; 从站控制器; 主控系统

中图分类号: TM 4

文献标志码: A

风电机组单机容量的扩大化和系统的变速恒频运行是当前并网风力发电技术发展的 2 大趋势, 而机组主控制系统是整个风力发电机组控制的核心, 是机组保持最佳运行状态, 安全可靠运行的有力保障. 当前兆瓦级风电机组控制系统采用基于数字信号处理器 DSP 或可编程控制器 PLC 的计算机控制来实现^[1]. 随着风电机组的容量进一步扩大, 控制策略的不断改进, 控制系统的复杂性也随之增加, 传统的中央集散控制体系难以达到复杂现场条件的实时控制要求, 而在工业控制系统中广泛应用的以太网控制技术逐渐在风力发电机组控制系统中得到应用, 这样可极大地简化控制设备, 减少系统控制的复杂性, 降低成本, 并且提高了系统的实时控制能力及操作的安全性^[2].

EtherCAT (Ethernet for Control Automation Technology) 是由德国倍福 (BECKHOFF) 公司开发的一种实时工业以太网技术, 它基于标准以太网技术设计, 具备灵活的网络拓扑结构^[3]. 系统具有配置简单, 有效数据率高, 全双工数据交换, 易于实现等特性. 笔者阐述了 EtherCAT 技术的原理和协议, 并将其应用于变速恒频风力发电机组主控制系统中, 提出了主从站设计方案, 完成了基于 ET 1100 的从站控制器与 DSP 控制器的接口设计.

1 EtherCAT 技术介绍

1.1 EtherCAT 技术原理

EtherCAT 是一种实时以太网现场总线技术, 采用了主从介质访问方式. 主站控制所有从站发送或接收数据, 主站发送数据帧, 从站在数据帧经过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完成数据交换后, 由 EtherCAT 系统的末端从站将数据帧返回^[3], 如图 1 所示. 整个过程中, 报文只有几 ns 的时间延迟. 发送和接受的以太帧压缩了大量的设备数据, 可用数据率可达 90% 以上.

1.2 EtherCAT 协议

EtherCAT 是用于过程数据的优化协议, 以标准以太网技术为基础, 使用了一个特殊的以太网帧类型 0x88A4. 这种方式可以使控制数据直接写入以太网帧内, 并且可以与遵守其他协议的以太网帧在同一网络

* 收稿日期: 2010-07-25

基金项目: 湖南省科技计划资助项目 (2010FJ3119); 湖南省教育厅科学研究项目 (09C1160)

作者简介: 施大发 (1965-), 男, 湖南安乡人, 湖南机电职业技术学院电气工程系副教授, 硕士, 主要从事自动化控制与应用研究.

中并行. EtherCAT 不仅能在单个子网中应用, 而且通过 EtherCAT UDP 可将 EtherCAT 协议封装为 UDP/IP 数据报文. 因此任何以太网协议堆栈的控制均可编址到 EtherCAT 系统之中. EtherCAT 采用标准的 IEEE802.3 以太网帧结构, 帧结构如图 2 所示.

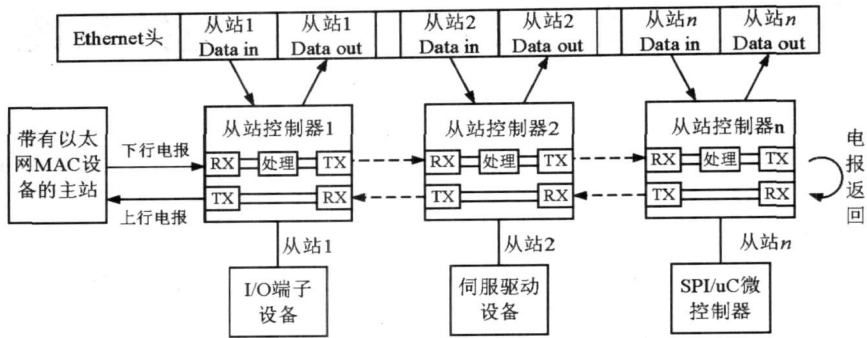


图 1 EtherCAT 工作原理

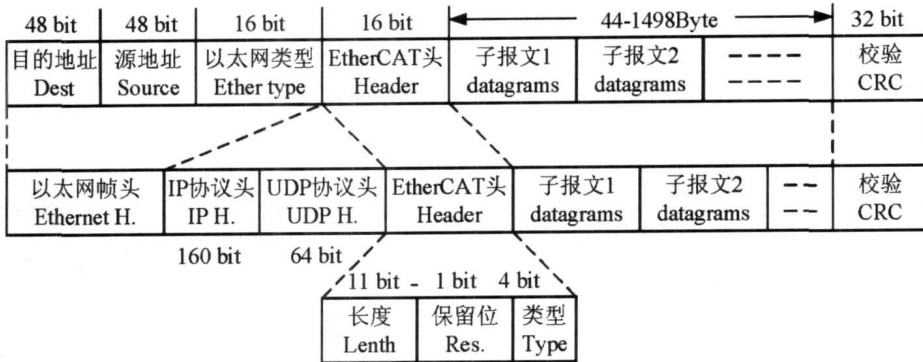


图 2 EtherCAT 帧结构

EtherCAT 协议包括几个 EtherCAT 报文, 每个报文都服务于一块逻辑过程映像区的特定内存区域, 该区域最大可达 4 GB 字节, 由 FMMU 寄存器和 SM (Sync Manager) 寄存器定义 [3-4] .

2 基于 EtherCAT 技术的风电机组主控系统

2.1 系统概述

风电机组主控系统的主要任务是采集当前的机组参数, 根据风场风况和最佳风能捕获策略, 对各子控制单元给出合理的操作指令, 完成偏航、变桨距、变流和并网等操作, 同时, 主控系统要建立良好的 人机交互界面, 能在控制面板上显示和查询风力发电机组的运行状态和参数、显示故障状态、设置风机运行参数等. 除此之外, 机组控制系统需具有与风电场中上位机进行远程通讯功能, 以便中央控制室实时监测风场中各台机组的运行状态和运行数据, 从而调整对机组的运行要求, 其主要功能如图 3 所示.

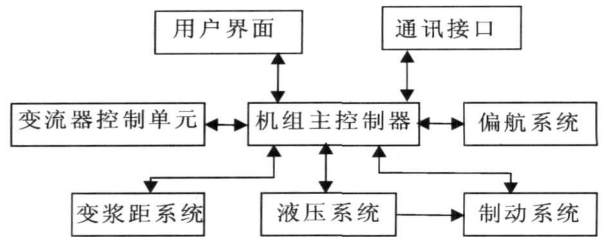


图 3 变速恒频风力发电机组主控系统

由图 3 可以看出, 变速恒频风力发电机组控制系统主要是由变流器控制单元 a (发电机启动与并网控制; 风机转速控制; 变流器控制; 输出功率控制)、变桨距机构 b (高于额定功率的功率控制; 高于额定功率的转速控制)、偏航机构 c (根据风速自动对风; 自动解除电缆缠绕)、机组主控制器 d (运行监控、系统启停; 其他功能模块起 / 停; 最佳风能捕获算法; 电网、风况、系统安全监控)、用户界面 e (输入用户命令, 变更参数; 显示系统运行状态, 数据和故障情况)、通讯接口 f (用于形成计算机集散控制系统, 与中央控制器通讯)、液压系统 g (刹车机构压力保持)、制动系统 k (机械刹车机构; 气动刹车机构) 构成的集散控制系统.

变流器控制单元用来对整流器和逆变器进行控制,实现并网操作,在正常工作过程中接受主控制器的命令实现输出功率和电压的控制,从而使机组工作在最佳风能捕获状态下.当风速过高,超过系统的额定功率时,变桨距系统调节桨叶节距角,使风机转速下降,稳定功率输出;当风向变化时,偏航系统可以跟踪风向,使机组始终迎风工作,使风机运行于最佳状态;而机组主控制器用于协调这些子系统的工作,同时采集风机运行参数如风速、转速、电网电压等,根据风场调度系统要求,适时对各控制单元给出合理的操作指令.

2 2 基于 EtherCAT 技术的风电机组主控系统

基于 EtherCAT 的变速恒频风力发电机组控制系统包括变流器控制单元、变桨距控制系统、偏航控制系统、监测系统等几个子控制系统,这些子系统是风力机组控制系统的基本构成单元,它们是整个机组网络控制系统中的从站控制设备,而带有 MAC 的 PC 机作为机组主控制器对整个系统进行监控,为主站设备,管理整个机组控制系统,并将现场采集的参数传送给整个风电场的监控室,进行统一管理.图 4 为基于 EtherCAT 技术的风力发电机组系统的结构图.

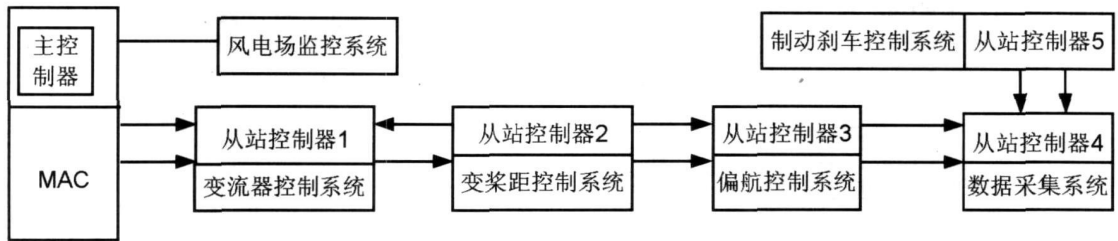


图 4 基于 EtherCAT 的风电机组主控系统

带有 MAC 接口的 PC 机作为机组主控系统的主站,通过编程对从站及其运行方式进行配置,运行风电机组监控软件,并周期性地通过以太网发送带有从站控制器命令的数据帧,实现对变流器、桨距和偏航等系统的控制,从而实现风电机组的启停,变流,并网,数据采集和变桨距等控制要求,同时各从站控制器在控制周期内能将数据插入相应报文反馈到主站的 PC 机.由于 EtherCAT 技术良好的网络性能和数据传输能力,使得系统能够有效及时地对机组状况进行实时监控,并能对风力突变情况下的机组桨距,变流装置进行实时控制,跟踪最大风能,提高系统的效率.

3 基于 EtherCAT 的系统实现

3 1 硬件设计

3 1 1 主站设计 EtherCAT 技术的实现包括主站实现和从站实现. EtherCAT 主站不需要专用的通讯处理器,只需使用带有以太网 MAC 设备即可,完全采用软件方式在主机中实现协议.笔者采用带有以太网 MAC 接口的普通工控 PC 机. PC 机除了带有与 EtherCAT 从站进行主从控制的以太网卡外,还应当具有与风力发电场中央监控系统通信的接口.

3 1 2 从站控制器设计 在笔者设计的风力发电机组控制系统中,从站的设计包括变流器系统,变桨距系统,偏航系统的控制器及与这些控制设备进行以太网连接的 EtherCAT 从站协议控制器的设计,用来实现主站和从站之间的通讯及控制功能. EtherCAT 从站控制器 ESC (EtherCAT Slave Controller) 是通过专用硬件实现的,它实现 EtherCAT 的物理层与数据链路层的协议. EtherCAT 协议控制器功能可由专用芯片 ASIC 芯片实现,也可用带有协议代码的 FPGA 实现. 从站控制器 ESC 与从站主机设备之间的接口方式根据过程数据接口 PDI (Process Data Interface) 的形式来确定.

在本系统中,从站控制器 ESC 采用倍福 BECKHOFF 公司的 ET1100 由于变流器控制系统采用 TI 公司的 TMS320F2812 控制,其接口规范可以选择为微处理器方式,通过对 ET1100 自带的 EEPROM 进行编程后选择配置. TMS320F2812 与 ET1100 的接口硬件实现如图 5 所示^[5]. 其中变流系统控制器 F2812 实现 EtherCAT 对变流器的具体控制和数据反馈,通过 PDI 接口与 ET1100 连接,读取和写入 ET1100 缓冲区的数据; ET1100 带有 2 个 MII 接口,它们在硬件上实现了 EtherCAT 协议的数据链路层,外扩的 2 个物理层芯片实现了工业以太网的物理层. 网络接口由 PHY 和网络变压器组成,其中网络变压器的作用是实现隔

离和阻抗匹配. EEPROM 通过 I2C 接口编程, 用于保存从站配置数据和从站描述数据.

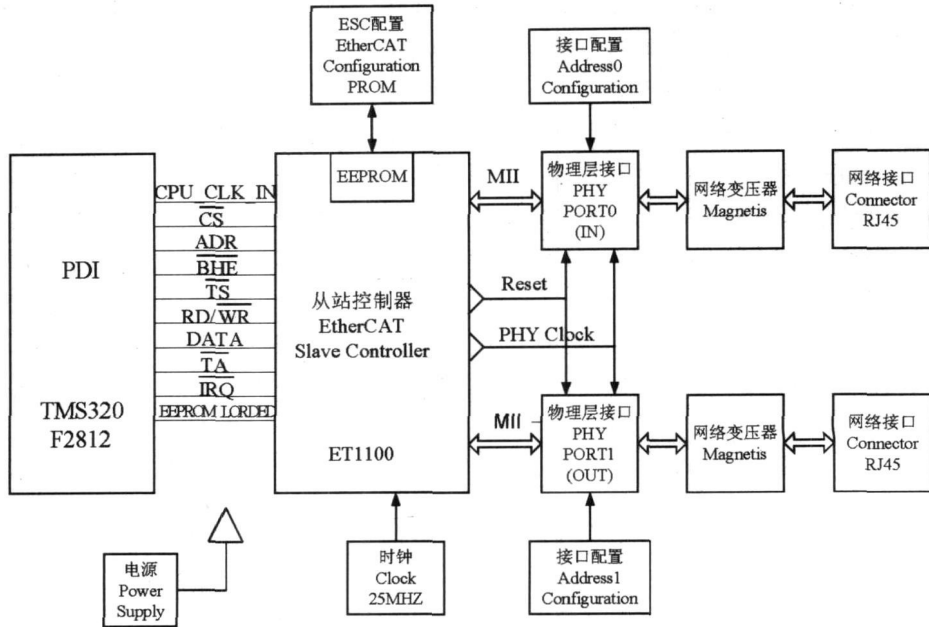


图 5 基于 ET1100 的 EtherCAT 从站结构图

3.2 软件设计

3.2.1 主站软件设计 EtherCAT 主站软件用以实现机组主控制系统应用程序, 主站和从站的网络配置及对各从站的控制. 为了方便主站软件的开发, EtherCAT 技术组织可提供主站样本代码, 将该代码嵌入到主站的工控 PC 机操作系统中, 即可实现主站程序. 同时, 倍福等公司通过提供 EtherCAT 组态软件来实现主站控制程序的编写, TwinCAT System Manager 即为倍福公司 TwinCAT 系统的配置工具, 可以实现配置 XML 文件, 通过在线编程对 ET1100 的 EEPROM 进行配置设置, 管理从站发送非周期和周期性数据帧, 实现主从站之间数据的传输. 同时可以编写应用程序实现应用层各个程序的输入输出数据和网络输入输出数据的连接^[6].

3.2.2 从站控制软件设计 主要对 DSP 进行从站应用层程序的设计, 主要分为 EtherCAT 网络接口程序和变流器控制程序, 变流器控制程序主要是周期性的数据反馈和非周期性的变流器中电力电子器件开关量控制数据, 本例中可以采用中断方式进行, 程序流程如图 6 所示. 当 F2812 控制器完成初始化之后, 系统进入周期性运行状态, 等待 EtherCAT 帧的到来. 当数据帧到达 ET1100 从站控制器之后, 向 F2812 发出中断, DSP 响应中断读取从站控制器中的指令数据, 并且把反馈状态数据写入到从站控制器中, 完成 1 次数据的交互. DSP 得到来自 ET1100 的指令数据之后, 进行解码, 并把解码得到控制数据送到变流器的控制程序中去, 变流器控制程序根据控制要求完成控制策略, 并输出电力电子器件开关的驱动信号, 完成变流过程.

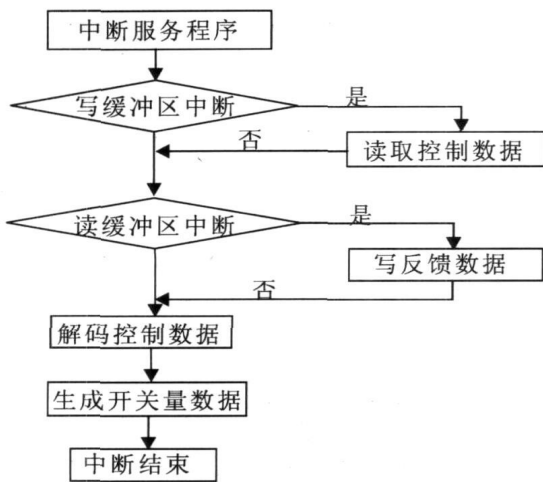


图 6 程序中断流程图

4 结语

机组主控制系统在并网变速恒频风力发电系统中发挥重要作用, 它具有协调机组变流, 桨距偏航系统, 制动系统等各部分之间的通讯和对机组状态的监控功能, 基于工业以太网的风电机组主控制系统以高度

的实时性和良好的数据处理能力得到越来越多的应用,笔者引入 EtherCAT 以太网控制技术,设计了基于 EtherCAT 技术的风电机组主控系统,并以主控制器和变流器控制为例, EtherCAT 系统进行了硬件和软件的设计,为 EtherCAT 技术在风力发电系统中的应用提供参考。

参考文献:

- [1] 叶杭冶. 风力发电机组的控制技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002: 37-61.
- [2] 王小川. PAC——先进的可编程自动化控制器 [J]. PLC & FA, 2001(4): 41-44.
- [3] 刘艳强, 王健, 单春荣. 基于 EtherCAT 的多轴运动控制器研究 [J]. 制造技术与机床, 2008(6): 100-103.
- [4] 宋文娟. 基于 PAC 的风力发电机组控制系统的研究与开发 [D]. 长沙: 湖南大学, 2008: 14-17.
- [5] 谢香林. EtherCAT 网络及其伺服运动控制系统研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2008: 47-53.
- [6] 单春荣, 刘艳强, 郇极. 工业以太网现场总线 EtherCAT 及驱动程序设计 [J]. 制造业自动化, 2007, 29(11): 79-82.

Main Controller Design in Wind Turbine Generator System Based on EtherCAT

SHI Da-fa¹, WANG Hu², LIANG Xiao², RUAN Qian-ru²

(1. Department of Electrical Engineering College of Hunan Mechanical & Electrical Polytechnic, Changsha 410151, China

2. College of Electrical & Information Engineering Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract The control system of wind turbine is a key component to the VSCF wind power system. It can guarantee the optimum operating state and accurate control. Computer control technology and network control greatly improve the reliability and intelligence of wind turbines. This paper introduces Ethernet for Control Automation Technology (EtherCAT), and designs a main controller of the wind power system, which improves the capacity of real-time control and data transmission. In addition, the hardware and software schemes are given.

Key words Ethernet for Control Automation Technology; wind turbine; EtherCAT; slave controller; main controller
(责任编辑 陈炳权)

(上接第 66 页)

参考文献:

- [1] 黄遵熹, 李勇, 黄静萍. 单片机原理接口与应用 [M]. 西安: 西北工业大学出版社, 1997.
- [2] 程素平. 论 EDA 技术在电子技术教学中的应用 [J]. 山西建筑, 2007, 33(35): 357-358.
- [3] 周涛, 张锐. 基于 Multisim 9 的电子电路计算机仿真分析与应用 [J]. 科技信息, 2008(18): 62-63.
- [4] 骆新全, 黄玲玲. 电路仿真与 PCB 设计 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2004.

Program Design and Simulation of Microcontroller Based on Platform Multisim 10

TANG Xian-yun

(Information Management and Engineering Institute, Jishou University, Zhangjiajie 427000, Hunan, China)

Abstract Through analysing software Multisim 10's characteristics and taking as an example the design of composite sign showed by the water lamp and seven-segment numerical tube LED digital display, this paper introduces a program design and simulation method of controlling the virtual hardware by using microcontroller 8051 in the platform of Multisim 10. The MCU module in Multisim 10 and plenty of virtual electronic components and instruments make the program design and simulation possible without the support from other external hardware device.

Key words single chip microcomputer; software Multisim; MCU module; procedure simulation

(责任编辑 陈炳权)