

• 工程应用技术与实现 • 文章编号: 1000-3428(2001)12-0116-02

文献标识码: A

中图分类号: TP273

# 基于LonWorks的风力发电机控制系统

刘长龄, 冯晓东, 邵惠鹤

(上海交通大学自动化研究所, 上海 200030)

**摘要:** 介绍了基于LonWorks现场总线的风力发电机控制系统, 包括系统总体结构、控制节点的硬件和软件的设计和实现方法以及监控计算机的功能和实现。

**关键词:** 现场总线; 风力发电机; LonWorks; 控制系统

## Design of LonWorks-based WTG Control System

LIU Changling, FENG Xiaodong, SHAO Huihe

(Institute of Automation, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030)

**[Abstract]** This paper introduces the design and implementation of the LonWorks-based WTG control system, including the design and implementation of the control nodes' hardware and software, and the function and implementation of the monitor-control computer.

**[Key words]** Fieldbus; WTG; LonWorks; Control system

利用可再生能源可以节约能源和保护环境, 而风力发电与其它再生能源相比, 更具竞争潜力, 因而发展迅速。风力发电机一般工作于恶劣的环境下, 在无人值守的情况下长年运行, 因而要保证对其进行实时、可靠的控制。在大型风力发电场, 通常需要对几十台或上百台风力发电机进行集群控制, 这就要求采用先进的控制技术和通信手段。现场总线是近年来控制领域的热点, LonWorks现场总线是一种开放式、新型全分散控制系统, 它有效地支持分布式控制系统。将LonWorks现场总线技术应用于风力发电机的集群控制, 能够提高控制系统的可靠性、实时性和灵活性, 降低系统成本, 提高控制性能。

### 1 风力发电机控制系统的结构

根据风力发电控制要求, LonWorks现场总线的特点及风力发电机运行的现场环境, 如图1所示, 构成风力发电机集群控制系统。

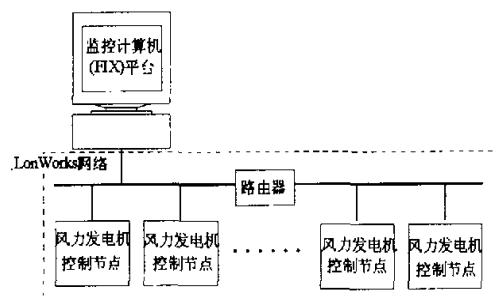


图1 风力发电机集群控制系統结构图

风力发电机集群控制系统包括上位监控计算机、风力发电机控制节点, 监控计算机通过PCNNS LonTalk网卡连接到LonWorks网络。监控计算机主要功能包括与现场总线节点的数据交换、显示、报警、操作、参数设定等。控制系统网络拓扑结构采用总线式结构, 各风力发电机控制节点之间用双绞线连接, 形成LonWorks控制网络。LonWorks控制网络

根据风场内风力发动机的数量和分布情况, 划分为不同的网段, 网段之间使用LonWorks路由器相联。从而扩展网络的容量, 连接不同通信介质和波特率, 提高网络性能和可靠性。为提高系统的抗干扰能力, 在控制器和传输介质之间加光电隔离。风力发电机控制节点的功能是采集风速、叶轮转速、发电机转速、风向等数据, 完成风力发电机的并/脱网控制和保护。风力发电机产生的电能并入当地电网。

### 2 风力发电机控制节点的硬件组成

设计LonWorks现场总线测控节点时, 采用了基于控制模块的设计方法。LonWorks控制模块是节点的核心部件, 它采用Echelon公司生产的FT-10, 内含3150神经元芯片, 时钟10MHz, 带有32kB Flash存储器用于存储应用程序和通信固件。测控节点的硬件组成包括光隔继电器组、滤波电路、隔离放大电路、模数转换电路、通道选择控制电路、LonWorks控制模块、数模转换及电流发送电路、继电器输出回路和电源电路。其框图如图2所示。通道选择控制电路控制光隔继电器, 选择所要测量的输入通道, 滤波电路用于滤除模拟输入信号中的高频干扰, 隔离放大电路用于内部模拟信号的隔离, 使Neuron芯片电路与外部模拟输入信号不共地, 模数转换电路实现12位A/D转换。数模转换电路及电流发送电路采用了12位串行数模转换器MAX538和电压/电流变换器AD694, 同时采用了完善的隔离技术。风速和叶轮转速测量使用两种计数方式。发电机转速较低时, 计数器工作于外部事件计数方式; 转速较高时, 工作于捕获方式。电源电路的输入是直流+24V, 它为节点内部提供所需的多组隔离电源, 其中包括一路+5V和两组±12V电源。

控制节点安装于风力发电机塔架底部, 通过电力电缆与发电机短舱中的电器设备连接, 通过双绞线与其它控制节点相连。

**作者简介:** 刘长龄(1972~), 男, 博士生, 主要研究方向为现场总线、过程控制、实时调度; 冯晓东, 博士生; 邵惠鹤, 教授、博导  
**收稿日期:** 2001-04-03

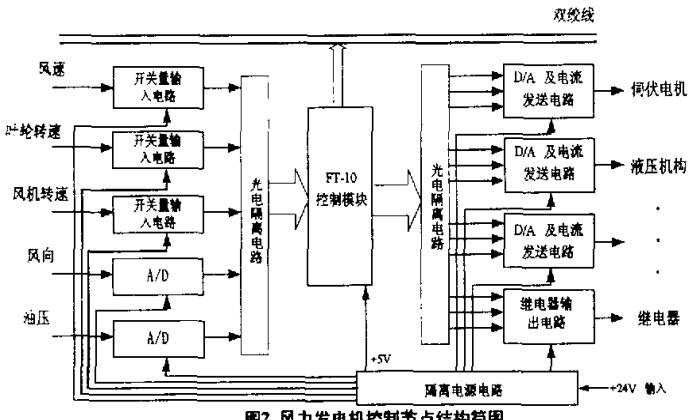


图2 风力发电机控制节点结构简图

### 3 控制节点控制功能

对于200kW风力发电机，风速在4m/s以下时，风机抱闸不跟风。当风速超过4m/s时，风机松闸。此时风力发电机叶轮慢慢转动，处于待风状态，控制系统根据风向传感器指示的风向，驱动短舱自动跟风。当风速在5m/s以上时，风机由待风状态进入低风速启动。

风力发电机启动以后，叶轮通过增速机构驱动发电机，当叶轮转速达到45r/min时，200kW风力发电机达到同步转速，此时通过继电器并入电网发电。大风情况下，风力发电机组可能直接启动，为避免叶轮超速造成并网失败，通常使发电机在略低于同步转速时直接并网。并网时间由计算机根据风速、电机转速和升速率动态确定。风机在4.5~25m/s的工作风速范围内，主要根据发电机转速和功率决定发电机的并/脱网控制。风速在4.5m/s左右反复变化时，为避免发电机频繁并/脱网，进行回差控制处理。当叶轮超速或者风速超过25m/s时，发电机自动脱离电网，液压制动系统动作，抱闸刹车，停止叶轮转动，调向系统将短舱右调向90°侧风，以保护风机。

风力发电机法线方向与风向一致时，风机吸收风能效率最高。跟风的目标是使叶轮法线方向与风向基本一致。当叶轮法线方向与风向存在比较大的偏差时，由调向系统根据风向传感器测量偏差进行左右调向。连续跟风可能造成电缆缠绕。当短舱在同一方向积累旋转两圈，转角720°后，若风速低于7m/s时，则风力发电机切出运行，短舱反向旋转720°，至无缠绕位置。

### 4 控制节点程序设计

随着现场总线智能设备通用性的提高和成本的降低，简单的控制任务迁移到现场微处理器中，成为就地控制。在基于LonWorks的风力发动机集群控制系统中，系统的控制功能分散到各个控制节点，控制节点在监控计算机、控制节点和通信链路出现故障的情况下均能安全工作，提高了系统的可靠性。风力发电机控制节点主要完成两个任务：一是风速、叶轮转速、发电机转速的测量，风力发电机的并/脱网控制和保护；二是监控计算机和控制节点之间，以及控制节点之间信息交换。包括风力发电机控制节点检测到的风速、叶轮转速、发电机转速和控制节点的状态数据，以及监控计算机发送的控制命令。各控制节点的应用程序采用Neuron C

语言编写，并使用NodeBuilder节点开发工具进行调试。

控制节点软件首先接收和处理网络变量，在应用程序中设定采样周期定时器，实现周期性采样与更新输出网络变量。当采样周期到达，首先读取数据量通道的风速、叶轮转速、风力发电机转速的测量值，随后多路开关切换到风向测量模拟通道，然后启动A/D转换并读取转换结果，然后再将多路开关切换到油压测量模拟通道进行类似处理。测量值经标度变换后更新相应输出内部变量或网络变量。然后根据内部变量和网络变量实现开/停机、并/脱电网、自动跟风、侧风、调向和解缆等操作，最后将相应的网络变量送到控制网络，供其它节点或监控计算机使用。

风力发电机控制节点的主程序流程图如图3所示。

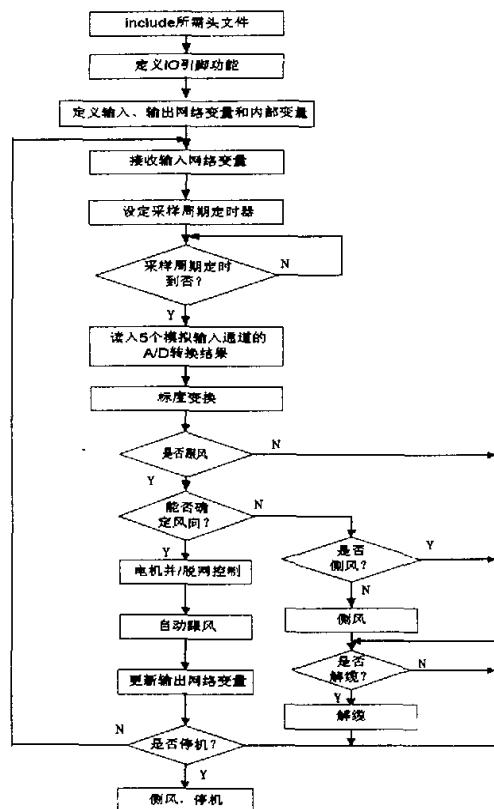


图3 风力发电机控制节点程序框图

### 5 监控计算机的功能和实现

在基于LonWorks的风力发动机控制系统中，监控计算机的主要功能如下：

- (1)与现场总线节点中的应用程序配合，实现远程和自动启/停风力发电机；
- (2)风力发电机控制节点的控制参数、采样周期的设定；
- (3)各个风力发电机控制节点的实时或历史数据曲线显示；

(下转第120页)

由于3套系统的应用目的不同、建成时间不同，形成了3个信息孤岛，使得各自的信息资源不能共享。

结合该企业的具体情况，使用“基于智能代理的系统集成平台”进行二次开发，设计了“华北石油电网水网实时数据联网信息服务平台”，很好地解决了水电厂存在的信息孤岛问题。其具体实现的逻辑结构如图3所示。

## 2.1 关于网桥的设置

从图3中可以看出，在智能代理和MIS网之间还有一个网桥存在，网桥的设置主要是出于安全考虑。由于监控网的重要地位，对于安全性有着特殊的需求。在前面介绍的技术中，已经通过软件实现了一些安全性措施，如代理机制、备份数据库等，为了在硬件连接上进一步保障其安全性，在本系统的设计中，没有让所有工作站（包括MIS网和监控网）都连在一个以太网上，而是通过网桥将多个局域网连接在一起，形成企业内部网Intranet。

网桥的具体作用是：

(1)增强网络的安全性，起到防火墙的作用。由于电厂、水厂监控系统的重要地位，必须保障其数据的安全性。通过对网桥的功能设置，可限制MIS网络中一般工作站对监控系统数据的直接访问，以防止对电厂、水厂监控系统的恶意攻击。

(2)减少各个网络之间的通信流量,以减轻网络的负荷,提高网络的吞吐率。MIS网中的各工作站不直接访问电厂、水厂监控系统的工作站,以限制增加电厂监控系统的网络通信负载。

(3)现场总线节点能够实现许多基本控制功能，大量的过程控制功能（上接第117页）

(4)通过以太网与其它计算机相连，构成多层的计算机控制系统；通过LonWorks-Internet路由器（如Lon1000）或调制解调器连接到Internet，实现通过广域网的数据交换。

监控计算机实现信息采集与信息管理，它通过网络变量间接获得现场实时数据，并具有数据显示、报警显示、历史数据记录、趋势数据列表等管理功能。数据存储在过程数据库（PDB）之中，为高级控制及管理优化软件提供实时输入、输出数据支持。监控计算机通过Fix工控平台网络接口驱动程序（LNI）与LonWorks现场总线进行数据交换，实现与现场总线节点之间的通信。除已捆绑的输入网络变量外，所有LonWorks网络变量都可通过监控计算机来访问，例如，控制节点参数的设置、风力发电机工作状态的监控等。

## 6 系统特点分析

该控制系统已成功应用于一大型风力发电场，系统可靠性高，控制性能好。与传统的集中式控制、基于BITBUS、RS485或基于DCS构成的风力发电机控制系统相比，本系统具有以下优点：

(1)成本低、精度高、可靠性好、功能强、使用方便、可构成分布式冗余系统，最大限度地发挥现场总线节点设备的处理功能。在主从式结构中，对主节点的可靠性要求高。当主节点出现故障，控制系统处于瘫痪状态，将造成风力发电设备的破坏，甚至重大的人员、财产损失。基于LonWorks构造的风力发电机集群控制系统具有冗余的多主站结构，是真正的分布式控制系统。系统的控制作用分散到各个控制节点，控制节点在监控计算机、控制节点和通信链路出现故障的情况下均能正常工作。系统配置灵活，易于扩展，可方便地构成远程控制系统。

(2)传输媒介可根据具体情况选用双绞线、光纤、电力线和无线电介质。适用于工作环境恶劣、电机和电网干扰较大的风力发电机控制系统。

(3)由于网桥有过滤数据包的功能，可以减轻智能代理的负担。

(4)方便编程，提高系统容错性能，任何一个局域网发生故障都不会影响其它局域网的正常运行。

## 2.2 系统功能和技术指标

通过对平台进行相应的初始化设置，本系统通过浏览器向最终用户(MIS网中的用户)提供监控网的数据，并进行图形显示、列表显示、曲线显示。浏览器画面的实时响应时间小于2s，系统采集、处理的数据类型和容量可调整等。

经过一年多的使用，系统运行稳定、可靠，达到了技术指标设计要求。

3 结束语

“基于智能代理的系统集成平台”为企业系统集成提供了一种可行的技术解决方案，而进行二次开发使用过程中，我们感到该平台还需要继续完善系统的通用性，按标准接口进行功能的进一步扩充，以广泛地推广应用。

参考文献

- 1 李毅多Agent系统的一种交互策略模型.软件学报, 1999, 10(7)
  - 2 汪渊,李思昆.基于代理中间件的安全Browser/Server系统.计算机工程, 2000, 26(7):127
  - 3 Wooldridge M,Jennings N R.Intelligent Agents:Theory and Practice The Knowledge Engineering Review , 1995 , 10(2)
  - 4 Farrow R.How to Pick a Firewall with the Right Stuff. Computer Security Journal , 1996

(3) 现场总线节点能够实现许多基本控制功能，大量的过程检测参数与控制信息就地采集、就地处理、就地使用，控制功能基本分布到现场，减轻了通信链路的负载，提高了系统的实时性能、可靠性和灵活性。

(4) 可与多层网络共享网络数据库, 保证控制系统的各层次之间信息交换的实时性和数据的一致性, 便于构成异构的, 支持多层次、多平台和多通信协议的综合自动化系统。

(5)采用统一的LonWorks现场总线标准，系统具有开放性，在通信协议一致的情况下，用户可集成不同厂家的产品，提高了系统配置的灵活性。与其它方案比较，基于LonWorks的控制系统成本低，易于扩展和维护。

## 7 结束语

本文结合“九五”重点科技攻关项目“现场总线网络控制系统的集成”，构造了基于LonWorks现场总线的风力发电机集群控制系统。将LonWorks现场总线的成本低、精度高、可靠性高、功能强、易于扩展、实时性好和开放性的特点与风力发电机集群控制有机地结合起来。实际应用表明，该控制系统具有较好的可靠性、实时性和较高的控制性能。现场总线技术是当今工业控制中的热点，随着其技术在国内的不断发展和推广，必将在风力发电控制领域有着愈来愈广阔的应用前景。

参考文献

- 1 杨育红.LON网络控制技术及应用.西安:西安电子科技大学出版社, 1999
  - 2 邵惠鹤.工业过程高级控制.上海:上海交通大学出版社, 1995
  - 3 汤同奎, 郑之开, 邵惠鹤.基于LonWorks现场总线的CIPS计算机网络.化工自动化及仪表, 1999, 26 (6)
  - 4 徐德, 孙同景.55/11kW风力发电机的并网过程分析与控制.太阳能学报, 1996(7)
  - 5 阳宪惠.现场总线技术及其应用.北京:清华大学出版社, 1998