

基于 PLC 的风力发电机组控制系统研究

金利祥¹, 张德华^{1*}, 陈绍聂², 吕征宇¹

(1. 浙江大学 电气工程学院, 浙江 杭州 310027; 2. 浙江省计量科学研究院, 浙江 杭州 310013)

摘要: 为解决风力发电机组在恶劣环境下安全可靠运行的问题, 提出了一种以 A-B 公司的可编程逻辑控制器(PLC)作为主控制器的控制系统。在分析该控制系统工作原理的基础上, 设计了风力发电机组的 PLC 控制逻辑系统、上位机监控系统和以太网通讯系统, 并进行了初步的可行性验证。实验结果表明, 该风力发电机组的控制系统运行安全稳定。

关键词: 风力发电; 可编程逻辑控制器; 控制系统

中图分类号: TM315; TH39

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2012)02-0188-04

Research on control system of wind generation based on PLC

JIN Li-xiang¹, ZHANG De-hua¹, CHEN Shao-nie², LV Zheng-yu¹

(1. College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China;

2. Zhejiang Institute of Metrology, Hangzhou 310013, China)

Abstract: In order to solve the problem of unreliability of wind generation system under rigorous environment, a programmable logic controller(PLC) based on A-B Corporation was designed as the main controller. After the analysis of its working principle, three subsystems which are the logic control system of wind generation system, the monitoring system by upper computer and the Ethernet communication system were designed and verified in the experimental platform. Results show that the control system works well.

Key words: wind power; programmable logic controller(PLC); control system

0 引言

风能作为一种清洁的可再生能源, 越来越受到世界各国的重视。其蕴藏量巨大, 全球风能资源总量约为 2.74×10^9 MW, 其中可利用的风能资源总量为 2×10^7 MW^[1-2]。目前, 大中型风力发电机组并网发电已成为风能利用的主要形式^[3]。风力发电机组控制系统是机组运行的“大脑”, 是整个机组正常可靠运行以及实现最大风力追踪的可靠保证^[4-6]。

风力发电机大多运行于自然环境较恶劣且无人值守的条件下, 对控制的可靠性和安全性要求较高。通过分析机组的控制要求与特点, 顺序控制较多, 控制系统需要处理的输入、输出信号也大都为开关信号, 所以选用 PLC 作为主控制器可以满足风力发电机

组对其控制系统的要求^[7-10]。

本研究采用 A-B 公司 CompactLogix L35E 型 PLC 作为机组控制系统的主控制器, 在此基础上设计机组的逻辑控制系统、上位机监控系统和以太网通讯系统。

1 控制系统组成及其工作原理

1.1 系统组成

风力发电机组的控制系统包括 PLC 系统、数据采集接口、变桨距系统、偏航系统、功率控制系统、并网控制器、上位机监视系统。系统结构如图 1 所示。

从图 1 中可以看出, PLC 是机组控制系统的核心, 它与风力发电机组的其他部分密切联系, 保证机组的效率和安全性。

收稿日期: 2011-09-23

作者简介: 金利祥(1987-), 男, 浙江嘉兴人, 主要从事风力发电控制系统方面的研究。E-mail: jinlixiang39@yahoo.cn

通信联系人: 张德华, 女, 副教授, 硕士生导师。E-mail: eedhzh@emb.zju.edu.cn

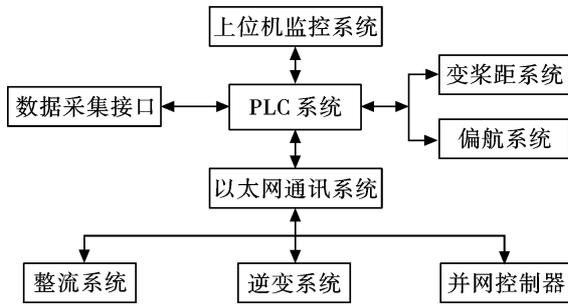


图 1 系统结构

1.2 控制系统的工作原理

风力发电机组准备启动时,首先系统初始化,逻辑控制程序初始化,检查控制器硬件和外设是否完好,检查系统参数(风向、风速等),如果没有故障,系统就正式启动。启动时,首先检查电网,检测电网的各个参数、设置各个计数器及输出机构初始化工作状态,然后,风力发电机组开始自动运行。风轮的桨距角由 90°恢复为 0°,风轮开始转动。上位机开始实时监测各个参数,随着风轮转速的提高,风轮反馈的转速信号作为输入判断条件,送入 PLC,以判断是否可以并网。当发电系统运行以后,系统检测的参数用以判断参数是否超过极限,执行偏航、安全制动。

当平均风速(5 min)大于切入风速(3 m/s)时,控制系统根据风向传感器指示的方向驱动机舱自动对风,使叶轮自动处于迎风位置。当平均风速(10 min)大于切入风速,制动器松闸,风力机由待机状态进入运行状态。当瞬时风速超过切出风速(25 m/s)或机组出现故障时,机组停机,制动保护装置动作,叶轮侧风保护。

2 机组的逻辑控制和软件设计

2.1 机组的基本逻辑控制

风力发电机组有 4 种工作状态:运行状态、待机状态、停机状态和紧急停机状态。每种工作状态可以看作风力发电机组的一个活动层次,其中运行状态处于最高层次,紧急停机状态处于最低层次。下面给出机组每种工作状态的描述:

(1) 运行状态:平均风速(10 min)在切入风速与切出风速之间,并网接触器投入,整流器工作,偏航系统对风,变桨距系统根据风速调节桨距角,逆变器工作,机组向电网馈送电能。

(2) 待机状态:平均风速(5 min)低于切入风速,并网接触器投入,整流器不工作,叶片桨距角调节到 15°,偏航系统对风,风力发电机处于空转状态。

(3) 停机状态:逆变器在母线电压下降到一定幅值后停止工作,并网接触器断开,叶片桨距角调整到 90°顺桨状态,风力发电机空转,整流器不工作。

(4) 紧急停机状态:制动电阻投入,整流器不工作,叶片顺桨,逆变器中母线放电电阻投入,逆变器在母线电压下降到一定幅值后停止工作,并网接触器断开。

机组工作状态之间的转换策略是只能从底层开始逐层向上提高,而降低工作状态层次可以是一层或者多层。

2.2 PLC 的软件设计

该控制系统的 PLC 程序采用 A-B 公司的 RSLOGIX 5000 编程软件进行编写。为了更加方便、安全地进行风电机组的控制,本研究把风力发电机组所要实现的控制功能分成几个相对独立的任务,按照模块化的软件编程方法进行编程。该程序由两个任务组成:风速采集和 4 个工作状态的切换控制。

在 RSLOGIX 5000 中有一个任务协调机制:在程序运行期间,周期性任务会中断连续性任务,执行一遍逻辑,然后返回到连续性任务继续执行,如此循环。一个 PLC 程序只能有一个连续性任务,可以有若干个周期性任务。

风速采集程序是一个周期性任务,在程序运行期间中断连续性任务,执行一遍逻辑。风速采集程序主要由以下几部分组成:数据采集,实时风速计算,平均风速计算以及数据存储。4 个工作状态的切换控制程序是一个连续性任务。它包括 1 个主程序和 4 个子程序:紧急停机子程序、停机子程序、待机子程序、运行子程序。

风速采集程序的编写思路是采集风速仪的频率,通过数学公式计算得到。例如要采集实时风速,可以根据单位时间采样到的脉冲数(Hz),通过公式: $V = (0.765 \times \text{Hz}) + 0.35$ 来计算得到。4 个工作状态切换的控制程序的编写结构是 1 个主程序和 4 个子程序,在主程序中设置满足各个工作状态的的条件,当条件满足时,调用相应的子程序。如此反复执行,实现风电机组各工作状态的切换。

程序采用梯形图编程语言。在主程序中要设置互锁,保证每次只能进入 1 个子程序执行动作。互锁设置如图 2 所示。

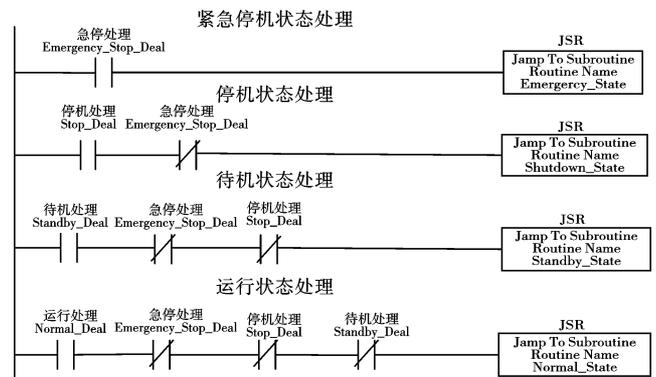


图 2 主程序中的互锁设置

3 机组的上位机监控系统

本研究在上位机中基于 FactoryTalk 软件平台开发了监控界面,对风力发电系统的 PLC 状态进行实时监控。FactoryTalk 是 A-B 公司基于数据库的实时数据交互和监控显示的软件。

通过设计监控软件,本研究能够在中央调度室内实现对风力机的起停控制,实时记录风电场内各个机组的运行状态,对发生的各种运行情况进行远程处理,软件的监控画面如图 3 所示。这两个画面在 PLC 程序运行时可以实时显示风机系统的一些重要数据并且可以在画面间自由切换。

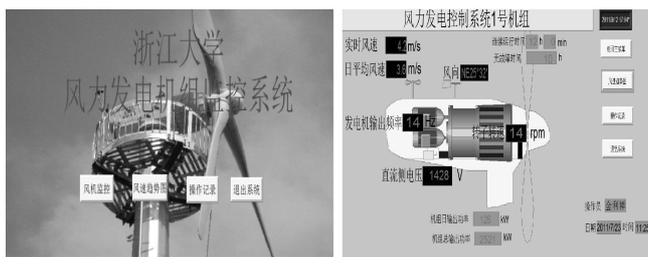


图 3 风力发电机组运行监控软件

4 机组的以太网通讯系统

4.1 机组的通讯网络

风力发电机组的运行逻辑通过 PLC 控制器进行协调。PLC 控制器根据外部运行条件控制风力发电机组启动和停机,实时监控变流器内的电流和电压,协调整流器与逆变器的工作,控制变桨距调整风力机转速,最终实现平稳的功率输出,通讯网络结构如图 4 所示。

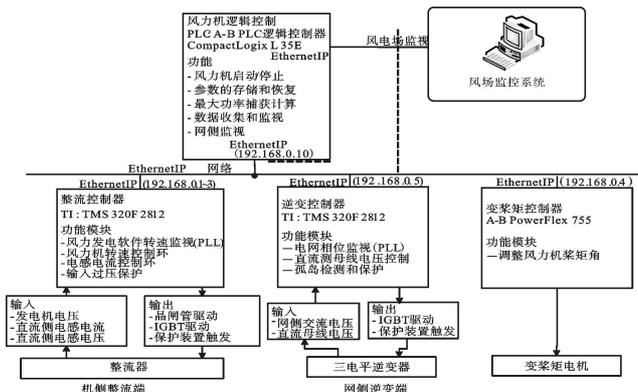


图 4 通讯网络结构

实验采用 TI 公司的 TMS320F2812 这款 DSP,具有 150 MHz 的处理速度,能完成采样中断内全部运算(包括采样、数学运算和其他附加功能,如交流采样偏置调整等)的时间为 35 μs,可以稳定地工作在 20 kHz 的中断速率。DSP 在机侧整流端的功能是风力发电软件转速监视、风力机转速控制环、电感电流控制环、输

入过压保护。DSP 的输入是发电机电压、直流侧电感电流、直流侧电感电压;输出是晶闸管驱动、保护装置触发。DSP 在网侧逆变端的功能是电网相位监视、直流侧母线电压控制、孤岛检测和保护。DSP 的输入是网侧交流电压、直流母线电压;输出是 IGBT 驱动、保护装置触发。

PLC 与 DSP、变桨距驱动器以及上位机之间采用 A-B 公司的 EthernetIP 协议进行通讯。EthernetIP 是一种基于以太网应用层的工业总线协议,与以太网标准的网络适配器、交换机等硬件完全兼容。若采用基于以太网的工业总线协议则能够充分地利用现阶段迅速发展的计算机网络技术,采用商业应用广泛、性能稳定的成熟网络通讯产品来实现稳定、实时的信息交换。挂在 DSP 控制板上的接口模块 Hilscher Netx500 控制器实现协议转换,将 DSP 内部的数据加载协议后送出,将 PLC 发送的数据抽取出来存放在外部内存供 DSP 使用。

4.2 PLC 与 DSP 的通讯实验

本研究在 PLC 编程环境内配置 DSP 通讯模块,启用实时的轮询方法实现周期为 1 ms 的 DSP 与 PLC 之间控制数据的实时交换。实验装置平台如图 5 所示。PLC 与 DSP 通讯实验如下:

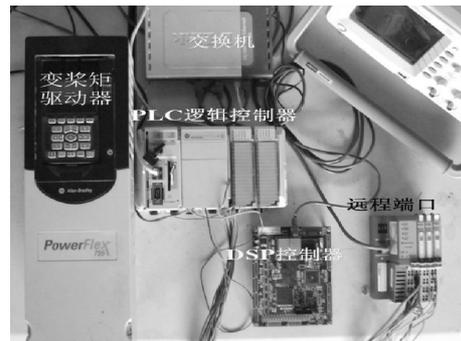


图 5 采用 EthernetIP 协议的机组通讯网络

(1) DSP 向 PLC 发送数据。DSP 程序中变量 Outdata 有 10 个数据(十六进制): 0x00FF、0x00A1、0x00A2、0x00A3、0x00A4、0x00A5、0x00A6、0x00A7、0x00A8、0x00A9,将这 10 个数据发送给 PLC。RSLOGIX 5000 中的程序处于运行状态时,选择“controller Tags”,查看“hilscher:I”,如图 6(a)所示,PLC 接收到了 DSP 发来的 10 个数据(十进制):255、161、162、163、164、165、166、167、168、169。

(2) PLC 向 DSP 发送数据。本研究在 PLC 中选择“controller Tags”,查看“hilscher:O”,将 10 个数据(1~10)输入到 hilscher:O.Data 中去。在 DSP 程序中选中变量 indata,右键选中“Add to watch window”,可以看到 PLC 发送来的数据,如图 6(b)所示。

Name	Value	Force Mask	Style	Data Type	Description
hbochert	[...]	[...]	[...]	ABSTRACT...	
hbochertData	[...]	[...]	[...]	Decimal	INT(16)
hbochertData0	255			Decimal	INT
hbochertData1	251			Decimal	INT
hbochertData2	252			Decimal	INT
hbochertData3	253			Decimal	INT
hbochertData4	254			Decimal	INT
hbochertData5	255			Decimal	INT
hbochertData6	256			Decimal	INT
hbochertData7	257			Decimal	INT
hbochertData8	258			Decimal	INT
hbochertData9	259			Decimal	INT

(a) PLC 接收数据

```

#pragma DATA_SECTION(indata,".bss");
uint16 indata[10]={
0x0000,0x0000,0x0000,0x0000,0x0000,
0x0000,0x0000,0x0000,0x0000,0x0000,0
};
#pragma DATA_SECTION(outdata,".stack");
uint16 outdata[10]={
0x00FF,0x000A,0x000A,0x000A,0x000A,0x000A,
0x000A,0x000A,0x000A,0x000A,0x000A,0
};
#pragma DATA_SECTION(alpha,".bss");
uint16 alpha[10]={
0x0000,0x0000,0x0000,0x0000,0x0000,
0x0000,0x0000,0x0000,0x0000,0x0000,0
};
#pragma DATA_SECTION(i1a,".bss");
int i1a[4]={
0x0000,0x0000,0x0000,0x0000,0x0000,0
};
#pragma DATA_SECTION(i1b,".bss");

```

(b) DSP 接收数据

图 6 PLC 与 DSP 互发数据

实验证明,PLC 与 DSP 通讯良好, 能实现互发数据,协调整个系统高效、安全地工作。

5 结束语

本研究采用 PLC 作为风力发电机组控制系统的主结果控制器,可以用简单的程序完成复杂的逻辑控制,实验结果表明 PLC 逻辑控制系统效果良好,性能稳定。由于采用了 A-B 公司的 PLC,所开发的上位机监控系统和以太网通讯系统具有独特性。控制技术的

研究对增强我国大型风力发电机组的自主研发能力、提高风力发电机组的国产化率和降低机组成本具有重要意义。

参考文献 (References):

- [1] 张明锋, 邓 凯, 陈 波, 等. 中国风电产业现状与发展 [J]. 机电工程, 2010, 27(1): 1-3.
- [2] FANG Chuang-lin. Practical problems and coping strategies of wind power industry in China [J]. **World Non-Grid-Connected Wind Power and Energy Conference**, 2009, 12(2): 1-5.
- [3] 刘细平, 林鹤云. 风力发电机及风力发电控制技术综述 [J]. 大电机技术, 2007, 12(3): 17-20.
- [4] 张庆利, 尤 波, 胡海燕, 等. 兆瓦级变速恒频风电机组控制系统的研究与开发 [J]. 机械工程师, 2007, 10(3): 87-89.
- [5] 盛双文. 大型风力发电机组中央控制系统的研制 [D]. 北京: 中国科学院, 2000.
- [6] CHEN Gui-you, ZHOU Li, SUN Tong-jing, et al. Design of wind turbine generator control system [J]. **Power Electronics and Motion Control Conference**, 2006, 3(5): 1-4.
- [7] 魏 仲, 晁 勤, 马成兴, 等. PLC 控制器在风电机组中的应用 [J]. 信息技术, 2009, 21(1): 97-101.
- [8] 叶杭冶. 风力发电机组的控制技术 [M]. 2 版. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [9] CHANG Y R, CHAN C M, CHANG C J. The design of control system and power conditioning system for a 25 kW active-control based wind turbine system [J]. **Power Electronics and Drive Systems**, 2009, 12(1): 1272-1276.
- [10] 白永祥, 房大中, 侯佑华, 等. 调度中心大规模风电场实时在线监控系统 [J]. 电力自动化设备, 2010, 30(11): 6-8.

[编辑: 李 辉]

(上接第 176 页)

参考文献 (References):

- [1] 曾文源. 舰船结构有限元参数化建模与优化研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学船舶工程学院, 2005.
- [2] MAGGI Y I, GONCALVES RM, LEON, R T, et al. Parametric analysis of steel bolted end plate connections using finite element modeling [J]. **Journal of Constructional Steel Research**, 2005, 61(5): 689-708.
- [3] 陈精一. ANSYS 工程分析实例教程 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2007
- [4] 龚曙光, 谢桂兰. ANSYS 操作命令与参数化编程 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004
- [5] 艾德才. VisualBasic 程序设计实用教程 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005

- [6] 彭公孚, 席长友. 基于 VB 控件开发的 ANSYS 程序调用方法 [J]. 武汉理工大学学报, 2004, 28(1): 148-150.
- [7] 高荣慧, 张 岩, 罗 辉. 基于 VB 和 ANSYS 的塔式起重机械臂架参数化设计 [J]. 机械工程与自动化, 2008, 146(1): 12-13.
- [8] 陆 旭, 周见行, 姜 伟. 基于 APDL 的塔式起重机有限元参数化建模与分析 [J]. 机电工程, 2009, 26(7): 34-36.
- [9] Germanischer Lloyd. Rules and regulations, IV-industrial services, part 1 - guideline for certification of wind turbines [S]. Hamburg: Germanischer Lloyd, 2010.
- [10] Deutsche Norm. Structural steelwork: analysis of safety against buckling of shells, DIN 18800 part 4 [S]. Berlin: German Institute for Standardization, 1990.

[编辑: 李 辉]