

大型风力发电机组状态监测与控制技术研究*

Study on Remote Monitoring and Controlling Technology of MW Wind Turbine

王之华 王志新

(上海交通大学电气工程系, 上海 200240)

摘要:实现大型风力发电机组的状态监测与控制是确保大型风力发电场安全、有效运行的手段。文章论述了大型风力发电机组的状态监测、控制技术参数与特点,分析、设计了大型风力发电机组的状态监测与控制系统,包括该系统的功能与实现方法等。

关键词:大型风力发电机组 远程监控 状态监测 控制技术

Abstract:Condition monitoring and controlling of MW wind turbine is the way to ensure the safety and effective operation of wind farm. This essay introduces and analyses the technology and character of the condition monitoring and controlling of MW wind turbine, and its function and implementation.

Key word:MW wind turbine remote monitoring and controlling condition monitoring control technique

0 引言

大型风力发电机组应用于宽阔边远地域,如近海和戈壁滩、草原,分布面积广,且数量多,远离监控中心。受恶劣的自然环境以及复杂的发电机组和电力电子装置等因素影响,风力发电机设备很容易损坏,影响生产。要使风电场与其他发电厂相比更加具有竞争力,必须提高其可靠性、高效性及发电机组的寿命,因此,风力发电场要求有可靠的远程监测和无人值守运行控制系统。作为风电设备正常运行及其故障诊断的必要手段,研究开发完善优化的状态监测系统有着十分重要的意义。

1 大型风力发电机组的状态监测

状态监测系统测量风电设备运行状态参数,评估设备运转状况全过程,是风电机组综合维修解决方案的关键部分。监测数据由现场的下位机采集并处理,通常是微处理控制器如 PLC、DSP 等,通过预先设定的风电机组参数,控制风电机组状态;通过对风轮主轴、发电机轴、偏航系统及齿轮箱等旋转和传

动部件的运行特征进行状态监测,及时发现隐患,找出出现问题的原因,采取相应措施加以解决。状态监测也能探测到外部极端的状况,比如风叶片上结冰、近海风电场中由海浪引起的塔架振动,并对此相应地发出控制命令,以防止风电场遭到更大破坏。

1.1 状态监测量

状态监测系统需建立在一个硬件平台上,选择合适的传感器,并安装在恰当的位置,通过特定的应用软件采集、储存、传递数据。传感器的性能选择主要考虑被测部位的振动状态及传感器的工作环境,要求振动传感器可靠性和灵敏度高、线性好、失真小、无相移、频响范围宽及抗干扰能力强。传感器的安装也十分重要,如果安装不正确,会影响到测量结果,且会造成传感器本身的损坏。

如图 1 所示,由主轴转动引起的机舱振动频率低,可以采用压电加速度传感器测量。以主轴为轴向,在主轴承的径向安

* 基金项目:教育部留学回国科研基金(编号 20071108)、上海市白玉兰科技人才基金(编号 2007B073)、中国博士后基金(编号 2005038435)资助。

作者简介:王之华 硕士研究生。研究方向为大型风力机监控技术。

王志新 博士生导师,教授,博士。研究方向为风力发电、光伏发电、机电系统智能控制。

装一个压电加速度传感器 1, 轴向安装一个压电加速度传感器 2, 在塔架垂直轴线的后方安装一个径向的压电加速度传感器 3, 这样配合传感器 2 可以监测机舱的扭转振动。由齿轮和轴承引起的齿轮箱和发电机振动, 可由压电加速度传感器 4、5 来测量。

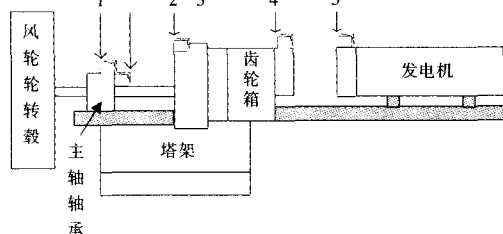


图1 传感器的布局

此外, 通过对机舱振动监测过程中采集的数据进行计算分析, 可以十分有效地监测到诸如主轴的平衡与疲劳等状态。

转速的测量点有两个, 即风轮主轴和发电机轴。转速测量的信号用于控制风力发电机组的并网和脱网, 还可用于启动超速保护系统。表1为所列各状态监测量的情况。

表1 状态检测量

状态检测量	监测部件或参数量	检测方法	说明
振动	机舱, 齿轮箱, 轴承	加速度传感器	详见 1.1 节
	主轴, 发电机轴	电涡流式位移传感器 ^[2]	
转速	主轴, 发电机轴	光电编码器 ^[3]	
温度	增速器油, 高速轴承, 发电机, 主轴, 控制盘	集成温度传感器	
电缆扭转	电气电缆, 通信电缆(从机舱引入塔筒内的)	解缆传感器	传感器安装在机舱底部, 通过尼龙齿轮与偏航齿轮啮合 ^[4]
偏航系统	①机舱	①风向标, 风速仪	风向标和风向仪安装在机舱上方, 基准方向与叶轮平面法线一致
	②发电机输出的电压和电流值	②爬山算法智能控制 ^[5] 无需传感器	
机械刹车状况	刹车盘	传感器	
油位, 油液	润滑油, 刹车油	传感器	

1.2 大型风力发电机组的远程状态监控系统组成

如图2所示, 大型风力发电机组状态监测的远程监控一般由下位机(现场微处理控制器)采集信息, 再由通信线路和协议传至上位机(服务器和工控PC机)进行监控。工程技术人员操作上位机的人机界面, 发出指令, 经通信线路传至向下位机, 对风电机组进行控制, 并且网络监视机可在各地实时查看风电场的运行状况。上位机与下位机之间属于远距离一对多通信。

监控系统要求有友好的人机界面, 以方便操作人员直观地查看; 能实现实时监控, 故障记录, 趋势曲线, 绘制报表, 用户管理等功能。

目前风电机组的数据采集和监控系统, (supervisory control and data acquisition, SCADA) 都由风电机组制造商配套供应, 各厂家的监控系统互不兼容。国内自行开发和研究的监控系统有

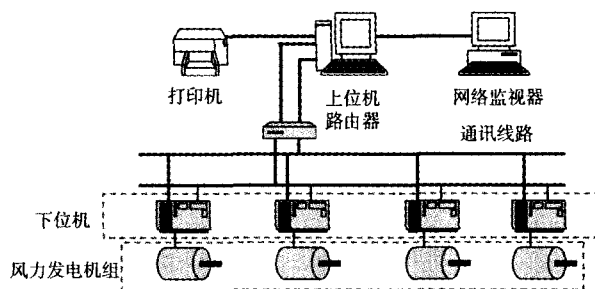


图2 远程监控系统的组成

新疆风能研究所的通用风电场中央及远程监控系统和大型海上风电场的制造执行系统MES。

在现有的状态监测系统中, 专业的轴承公司SKF的风电机组状态监测系统WindCon2.0是一个强大的状态监测与故障诊断的远程监控系统。其监测的数据用户界面友好, 动态数据在数s内更新, 历史数据显示在趋势图下, 1个或多个参数可以自动地相对时间、转速或其他工艺参数(如功率、温度、水平等)显示出来, 趋势图也可以以s为单位进行更新。监控软件运行于常

用的Microsoft Windows操作系统。每台被监测的机组的数据保存在数据库里。机组的数据以及它们的连接图以图片形式显示出来。机组信息的建立可以通过拉放图片的方法来进行, 包括转轴、轴承、齿轮、叶片等。每个部件的相关信息, 如轴承型号、齿数、叶片数也可以一并保存。基于这些信息, 加上实际转速, 所有的缺陷频率可自动计算出来。

2 大型风力发电机组的状态监测与控制系统设计

2.1 风力发电机组的智能控制技术

风力发电机组的控制系统是综合性控制系统, 它不仅要监视电网、风况和机组运行参数, 而且还要根据风速和风向的变化, 对机组进行优化控制, 以提高机组的运行产和发电量。目前, 绝大多数风力发电

机组的控制系统都采用基于DCS(集散型控制系统)技术的专用控制器, 这种控制器的优点是有各种功能的专用模块可供选择, 可以方便地实现就地控制, 许多控制模块可直接布置在控制对象的工作点, 就地采集信号进行处理。避免了各类传感器和舱内执行机构与地面主控制器之间大量的通信线路及控制线路。同时, DCS现场适应性强, 便于控制程序现场调试及在机组运行时可随时修改控制参数。主控制器通过各类安装在现场的模块, 对电网、风况及风力发电机组运行参数进行监控, 并与其他功能模块保持通信, 对各方面的情况做出综合分析后, 发出各种控制指令。

大型风力发电机组的控制系统要求跟踪风况的变化, 调整发电机轴转速, 使发电机组保持最佳状态运行。这样一个复杂多变量的非线性系统可采用模糊逻辑和神经网络智能控制。在

设计风力发电机控制器、建立动态模型时,可分为风轮、传动装置及异步电动机 3 个部分,见图 3。

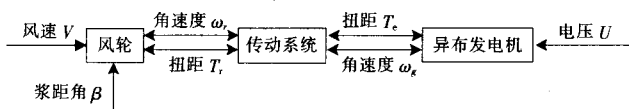


图 3 风力发电机组方框图

模糊逻辑最大特点是将专家经验和知识表示为语言规则应用于控制,其控制策略分 5 个步骤来实现:

- (1) 输入控制变量(文字控制变量);
- (2) 通过适当的模糊从属函数将文字控制变量模糊化;
- (3) 通过基于规则的判定矩阵决定控制策略(试控规则);
- (4) 通过设置模糊的集合形式将输出控制变量非模糊化;
- (5) 反馈输出信号,通过适当的调节器来控制风力发电机组运行。

模糊控制在转速跟踪、最大风能捕获、发电机最大功率获取以及风力发电系统鲁棒性等方面取得了较好的控制效果。神经网络具有可任意逼近任何非线性模型的非线性映射能力,利用其自学习和自收敛性可作为自适应器,在大型风力发电系统中在线学习并修改桨距的 C_p - λ 特性曲线,实现风能的捕获并减小机械负载力矩。根据风速数据和风力发电机动态特性可建立神经网络参考自适应控制模型。

2.2 大型风力发电机组的状态监测与控制系统设计

状态监测的硬件平台由下位机和上位机通过通信线路连接组成。下位机为现场微处理控制器,由传感器、数据采集卡、运放电路、低通滤波单元、周期匹配电路和 485 接口电路等部分组成,实现振动、转速等监测与控制。通常上位机即 PC 机的串口为 RS232 的 COM 通信口,因此还需要一个 RS485 与 RS232 的转换电路,以实现下位机与上位机之间数据通信。

远程监控端的上位机的状态监测软件平台采用开发虚拟仪器的软件工具 LabVIEW (laboratory virtual instrument engineering workbench, 实验室虚拟仪器工程平台),它是基于图形化的编程语言,有许多优点:第一,使用图形化编程方式,在流程图中创建源程序;第二,有程序调试功能,继承传统编程语言的结构化和模块化的优点,拥有数据采集、仪器控制、分析、网络、ActiveX 等集成库提供 DLL 库接口、CIN 节点以及大量的仪器、网络通信 VIs 与其他应用程序或外部设备进行连接,提供大量的函数库及附加工具;第三,运用层次化结构,程序流程明确清晰;第四,模块化的程序设计语言,用户可以把一个 VI(virtual instrument, 虚拟仪器)程序创建成自己的一个图标/接口(即 VI 子程序),然后被其他 VI 程序所调用,而且其被调用的阶数是没有限制的;最后,LabVIEW 还使用并行工作方式作为一个多任务的软件系统,当 LabVIEW 创建具有同步的程序块时,就可交互地运行并行 VIs 程序。一个 VI 程序由三部分

组成:前面板(front panel)实现用户与程序的交互,相当于真实物量仪器的控制面板;程序流程图(block diagram),相当于仪器的电路结构;图标连接端口(connector),相当于仪器中某个集成电路^[13]。

应用 LabVIEW 软件,根据状态监测的特点,把监控系统划分为以下 5 个模块^[14]:

- (1) 信号发生模块 按照所需的工况选择合适的信号源类型、频率和幅值;
- (2) 数据采集模块 完成对信号的多通道单点采集、有限点采集以及连续采集,并能够完成对信号的实时监测,保存获得的数据;
- (3) 数据管理模块 数据的判别、整理、储存、读取、显示以及统计分析,并能自动生成测试报告;
- (4) 时域分析与频域分析模块 时域分析包括振动信号统计信息的计算、自动相关的计算以及任意两相同采样频率振动信号互相关函数的计算,频域分析包括幅值谱、功率谱等;
- (5) 模态分析模块 研究系统的固有特性,对结构的模态参数进行识别。

数据库采用 SQL Server, LabVIEW 可通过 ADO 技术结合 LabSQL 来实现系统与数据库之间的访问。ADO 基于 OLE DB 提供统一的数据访问接口,可用于 Microsoft ActiveX。这些特点简化了程序编制,增加了程序可移植性。

2.3 系统功能与实现方法

状态监测中传感器采集振动、转速等状态模拟信号,在下位机的数据采集卡转换成数字信号后,进行进一步处理分析。下位机的功能主要是:接受上位机的配置和查询,配置参数主要为有效频带、报警阈值、数据标定初值、电位器初值等;监测传感器模块数据,配置传感器模块参数;对采集的数据处理,判断风机振动、转速、温度等情况,若超限则相应的继电器工作,自动地采取相应的措施,并触发报警装置。下位机是各发电机组的自身的控制系统,是整个控制系统中的一个子系统。

控制系统开始运行时,首先进行系统初始化、控制程序初始化,检查微控制处理器和外设状态是否正常,检测系统参数(温度、液压油、压力、风向、风速等),比较所选的操作参数,备份系统工作表,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、输出机构初始工作状态及晶闸管的开通角,然后,风力发电机开始自动运行,风轮开始转动。监控系统实时监测各个状态参数,随着风轮转速提高,风轮反馈的转速信号作为判断发电系统是否可以并网的条件,系统实时检测的参数用以判断振动是否正常、执行、偏航、安全制动等。

3 结束语

中国近年风力发电的单位造价为 8 000~9 000 元/kW,约
(下转第 50 页)

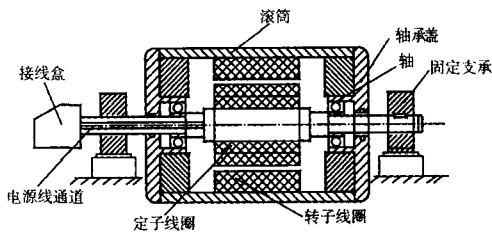


图5 电动机滚筒示意图

实际上就是一个电机,其结构和成本都大大降低。电动滚筒配置的优化设计,使之在结构上简单,程序上简化。

将变频调速器并入控制系统,进行了输入输出节点分配,建立了各类模块。将变频调速器在带式输送机上进行了实际调速应用,效果显著。

皮带机的启动控制(包括自动和手动控制)要根据出料机运行状态和皮带机停车前运行状态进行。由操作人员向 PLC 发出指令,通过控制变频器驱动电动机并带动滚筒联动运行。进行了带机控制系统硬件设计。将变频调速器并入控制系统,进行了输入输出节点分配,建立了各类模块。将变频调速器在带式输送机上进行了实际调速应用,效果显著。

该系统的控制部分主要是由上位机的调度监控部分、下位机 PLC 控制部分组成。下位机在线实时记录、监控,并显示数

据;PLC 向上位机传递设备的实时状态,接受并执行上位机的实时控制命令。可通过控制继电器、接触器等设备实现对现场设备的控制。

3 结束语

在带式输送机配套设备及自动化控制中采用 PLC 控制;进行了带机控制 PLC 软件设计和控制程序设计。该部分已制作了模型实验,满足设计要求。

电动滚筒改为本论文的电动机滚筒设计是大胆尝试,运输距离在 200m 内可参考本文设计,如超过 200m 需进一步研究。

参考文献

- [1] 白文科. 我国输送带行业的技术现状及展望 [J]. 辽宁化工, 2004 (3):173-176.
- [2] 蔡希林, 曲非非. PLC 的发展 [J]. 微计算机信息, 2002(9):1-2.
- [3] 高恒超, 夏炎. 波状挡边带式输送机发展简介 [J]. 起重运输机械, 1998(6):3-6.
- [4] 宋伟刚, 王丹, 陈霖. 波状挡边带式输送机的发展 [J]. 煤矿机械, 2004(2):1-4.
- [5] 杨书卿. 输送带工业产品的现状及发展 [J]. 河北化工, 1999(1): 39-41.
- [6] 2003.
- [4] 李晓燕. 兆瓦级风力机偏航控制系统设计研究 [D]. 上海: 上海交通大学, 2006.
- [5] 李晓燕, 王志新. 风力机偏航控制策略及系统设计 [J]. 微计算机信息, 2007, (25):1-3.
- [6] 龙迅, 柴建云. 基于组态软件的风电场远程监控系统的研发 [J]. 能源与环境, 2007, (2):76-78.
- [7] 王成, 王志新. 基于无线局域网的大型海上风电场远程监控系统设计 [J]. 机电一体化, 2007, 13(5):38-42.
- [8] 王志新, 王成. 基于组态软件的大型海上风电场制造执行系统设计研究 [J]. 世界仪表与自动化, 2007(8):45-48
- [9] 叶抗治. 风力发电机组的控制技术 [M]. 2 版. 北京: 机械工业出版社, 2007.2.
- [10] PHAM DT, LIU X. Training of Elman networks and dynamic system modeling [J]. International of System Science, 1996, 27(2): 212-226.
- [11] 钱媛媛. 基于 LabVIEW 的机械状态监测系统的研制 [D]. 南京: 东南大学, 2006.
- [12] 程志强. 基于虚拟仪器技术的振动测试与模态分析平台的技术 [D]. 北京: 北方工业大学, 2007.
- [13] 李豪, 郑衡, 何国锋. 风力发电设备优化选型与电价关系的分析 [J]. 广东电力, 2003, 16(2):53-55.

上接第 43 页

为传统的燃煤火力发电的 2~2.5 倍。要增强风力发电在电力市场中的竞争力,就必须提高风力发电的可靠性和高效性,最大限度提高发电机组寿命。在目前国家大力支持发展风力发电的大背景下,对于风电场,特别是近海风电场,大型风力发电机组的状态监测与远程监控是实现风电场可靠且有效运行的最具经济效益前景的技术之一。目前国内风电场的状态监测系统大多还是依赖于国外风电公司的产品,研发我国自主的大型风力发电机组远程监控与状态监测系统及其控制技术对于提高风力发电的国产化率及降低成本有着重要意义。

应用 LabVIEW 软件开发大型风力发电机组的状态监测系统,不仅可节省程序开发费用和时间,而且模块化的软件结构对于各种不同的风电机组,可以很方便地修改或增加相应的新的功能模块,适用性强,有广阔的发展前景。

参考文献

- [1] CASELITZ PJ. Giehardt Advanced condition monitoring system for wind energy converters [C]. Proceedings of the EWEC 1999, Nice, France.
- [2] 施维新. 汽轮发电机组振动及事故 [M]. 北京: 中国电力出版社, 1991.
- [3] 陈伯时. 电力拖动自动控制系统 [M]. 3 版. 北京: 机械工业出版社,