

基于物联网的风力发电机塔筒倾斜 监测系统设计

王文亮,解锡伟,徐玉龙,董晓东

(中节能风力发电股份有限公司,北京 100089)

摘要:风力发电机运行过程中塔筒状态需要人工定期巡检,存在人员劳动强度大、效率低、维护不及时、管控不到位等问题,容易引发安全事故。因此,结合物联网技术,设计了风力发电塔筒倾斜监测系统,实现了对风机塔筒倾斜角度的采集、远程监测、预警,有效帮助工作人员掌握风机塔筒状态,提高工作效率。通过系统测试表明:系统运行稳定、可靠,能够有效加强电力系统运行的安全性,提高风力发电系统的智能化,具有良好的应用价值。

关键词:风电塔筒;倾斜角度;物联网;远程监测

中图分类号:TP277

文章编号:1000-0682(2024)05-0040-04

文献标识码:A

DOI:10.19950/j.cnki.CN61-1121/TH.2024.05.008

Design of a wind turbine tower tilt monitoring system based on the Internet of Things

WANG Wenliang, XIE Xiwei, XU Yulong, DONG Xiaodong

(China Energy Conservation Wind Power Co., Ltd., Beijing 100089, China)

Abstract: Regular manual inspections are required for the tower state during the operation of wind turbines, which can lead to issues such as high labor intensity, low efficiency, untimely maintenance, and inadequate control, which can easily lead to safety accidents. Therefore, combined with the Internet of Things technology, a wind power tower inclination monitoring system was designed, which achieved the collection, remote monitoring, and early warning of the inclination angle of the wind turbine tower, effectively helping staff to grasp the status of the wind turbine tower and improve work efficiency. System testing has shown that the system operates stably and reliably, effectively enhancing the safety of power system operation, improving the intelligence of wind power generation systems, and has good application value.

Keywords: wind turbine tower; tilt angle; Internet of Things; remote monitoring

0 引言

合理利用新能源可有效解决当今社会面临的能源问题,节约能源成本,改善环境污染^[1-3]。风力发电作为一种可再生的清洁能源,近年来在中国得到了大力推广,装机规模不断增加,并且保持着持续增长的趋势^[4-5]。

风力发电机塔筒起到支撑风机的作用,塔筒高

度较高,风机运行时会产生震动,因此塔筒倾斜会引发重大安全事故^[6-8]。同时,依靠人工定期巡检的方式也会存在安全隐患。而风力发电机组运行的稳定、安全、可靠,可有效保障电能供应的安全,提高风电的经济效益^[9-11]。因此,需要对风机塔筒的倾斜状态进行实时监测。

随着自动化技术的不断发展,物联网技术得到广泛应用,为了提高风力发电系统的智能化,防止安全事故发生,加强电力网络的稳定运行,该文结合物联网技术,设计了风力发电塔筒倾斜监测系统,实现了对风机塔筒倾斜角度的采集、监测、预警。通过系统测试表明:系统运行稳定、可靠,能够有效加强电

收稿日期:2024-04-09

第一作者:王文亮(1988—),男,北京人,学士,主要研究方向为风力发电关键部件状态监测。E-mail:ijn1121314@163.com

力系统运行的安全性,具有较高的应用价值。

1 监测系统整体架构设计

1.1 物联网架构

LoRa 技术是一种通信距离长、信号稳定、成本低的无线传输技术,不同的通信技术对比结果如表 1 所示。

表 1 通信技术对比

技术	WLAN	Zigbee	Sigfox	LoRa
灵敏度	-92 dBm	-100 dBm	-126 dBm	-142 dBm
传输距离	户外: 200 m 室内: 30 m	户外: 450 m 室内: 30 m	城市: 2 km 农村: 20 km	城市: 3 km 农村: 20 km
传输速率	6 Mbps	250 kbps	600 bps	0.2 ~ 37.5 kbps
抗干扰性	适中	差	差	良好

由表 1 可得:LoRa 技术通信距离远、传输速率高、抗干扰能力强,适合应用在无线监测系统中。

物联网技术是指用不同的通信协议,实现物体和互联网的相互连接。该文章将 LoRa 技术与物联网技术相结合,设计网络架构,如图 1 所示。

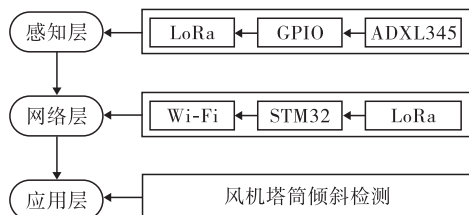


图 1 网络架构图

网络架构的感知层主要包括 LoRa 通信模块、传感器等,传感器采集风力发电机塔筒的角度数据,传输至网络层。网络层包括 Wi-Fi、LoRa 等,将感知层传输的数据进行暂存,并发送给应用层。应用层主要是风机塔筒倾斜监测管理平台,显示实时数据,便于工作人员管理,并具有报警功能。

1.2 监测系统整体架构设计

监测系统通过传感器检测塔筒发生的加速度变化,单片机将检测数据进行分析计算,得到塔筒的角度,从节点和终端节点之间通过 LoRa 技术进行数据传输,终端节点通过 Wi-Fi 模块将数据传输到管理平台,实时显示角度数据,管理平台还具有数据存储、角度变化曲线、报警等功能,便于工作人员操作。监测系统整体架构如图 2 所示。

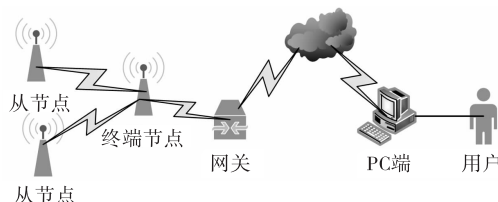


图 2 监测系统整体架构

2 监测系统硬件设计

监测系统硬件主要包括单片机电路、ADXL345 传感器电路、LoRa 远程传输电路、Wi-Fi 电路等,完成数据的采集、传输、处理、存储工作。

2.1 单片机电路设计

该文选用 STM32F103C8T6 单片机作为硬件系统的控制器,该芯片功耗低、性能稳定、处理能力强,芯片内部的时钟、定时器、I/O 口、通信接口满足系统需求,可有效提高运行效率,单片机电路如图 3 所示。

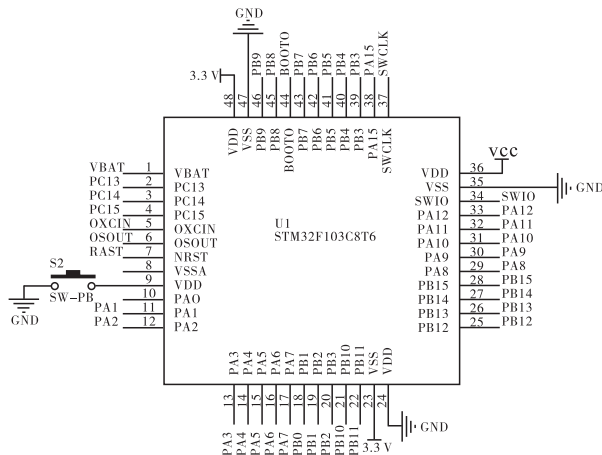


图 3 单片机电路

2.2 ADXL345 传感器电路设计

ADXL345 传感器与单片机之间采用两根信号线连接的 IIC 通信协议,可有效减少 I/O 接口的使用,传感器采集的塔筒角度数据通过 I/O 接口传输给单片机,ADXL345 传感器电路如图 4 所示。

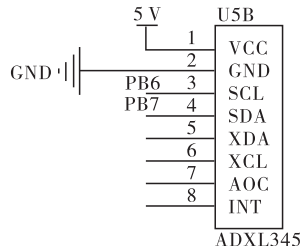


图 4 ADXL345 传感器电路

ADXL345 传感器的 VCC 引脚连接 5 V 电源, SCL 引脚和 SDA 引脚分别连接单片机的 PB6 引脚

和 PB7 引脚,完成数据的传输。

2.3 LoRa 远程传输电路设计

该文选用 SX1278 LoRa 无线模块完成数据的远程传输,该模块与单片机之间采用 UART 接口通信,通信前需要将 SX1278 LoRa 无线模块和单片机的波特率设置相同。LoRa 远程传输电路如图 5 所示。

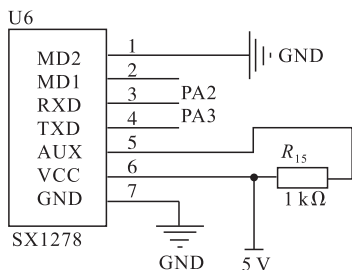


图 5 LoRa 电路设计图

SX1278 LoRa 无线模块的 VCC 引脚连接 5 V 电源,MD2 引脚直接接地,RXD 引脚和 TXD 引脚分别连接单片机的 PA2 引脚和 PA3 引脚,完成数据的传输。

3 监测系统软件设计

3.1 主程序设计

监测系统主程序如图 6 所示。首先,对系统进行初始化,包括通信、串口、中断等,读取 ADXL345 传感器采集的风力发电机塔筒的角度数据,然后系统寻找网络,网络连接成功后,将读取的角度数据传输到服务器,实时显示在平台中,实现远程监控。

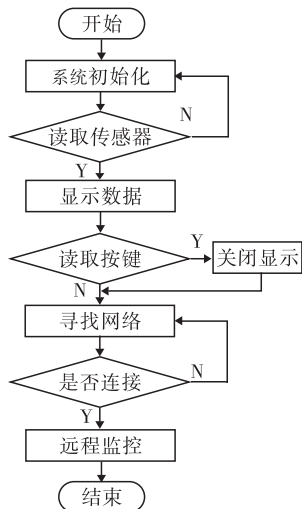


图 6 主程序流程图

3.2 角度监测程序设计

ADXL345 传感器负责采集风力发电机塔筒的角度数据,采集流程如图 7 所示。首先,对传感器端口进行初始化,检测传感器状态,连接成功后,读取

实时角度数据。

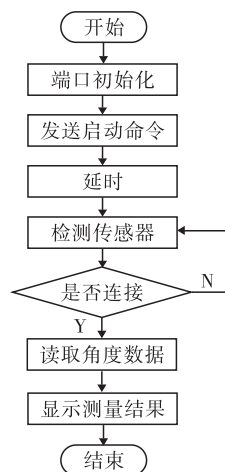


图 7 采集流程图

3.3 远程传输程序设计

监测系统通过 LoRa 组网,通过 Wi-Fi 模块建立网络连接,实现数据的远程无线传输。建立网络连接时,首先对系统进行初始化,进行组网连接,连网成功后,将风力发电机塔筒的角度数据传输到平台。系统联网流程如图 8 所示。

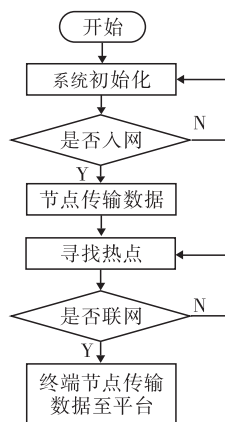
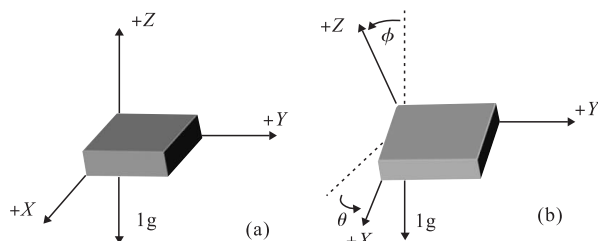


图 8 系统联网流程图

3.4 角度转换方法

监测系统根据发电塔筒摆动,将塔筒的加速度变化转换为角度变化,通过重力加速度法测量塔筒倾斜角,即传感器通过测量塔筒 3 个轴向的加速度值,计算出塔筒倾斜角度,倾斜角度测量原理如图 9 所示。



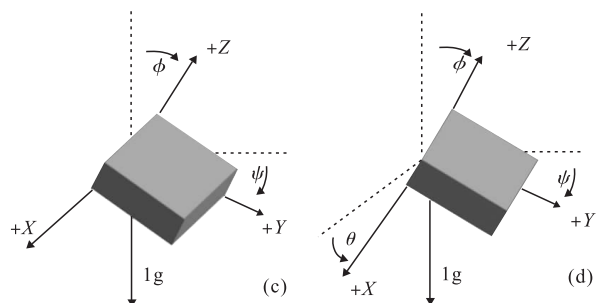


图9 倾斜角度测量原理

(X, Y, Z)三个方向加速度确定后,通过转换得到角度(φ, θ, φ),转换过程如下:

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{A_{Xout}}{\sqrt{A_{Yout}^2 + A_{Zout}^2}} \right) \quad (1)$$

$$\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{A_{Yout}}{\sqrt{A_{Xout}^2 + A_{Zout}^2}} \right) \quad (2)$$

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{A_{Xout}^2 + A_{Yout}^2}}{A_{Zout}} \right) \quad (3)$$

式中: A_{Xout} 为 ADXL345 采集的 X 方向加速度值; A_{Yout} 为 ADXL345 采集的 Y 方向加速度值; A_{Zout} 为 ADXL345 采集的 Z 方向加速度值;监测系统通过传感器测量出加速度值,通过转换后就可得到对用的倾斜角度。

4 监测系统测试

4.1 无线传输测试

因风机塔筒内部湿度、距离、干扰等因素,将会影响无线信号的传输,为验证无线传输的质量,将终端节点 LoRa 模块放置在塔顶,从节点设备分别放置在塔筒内不同高度,每隔 3 s 向 LoRa 模块发送数据,测试 150 s,统计接收次数、RSSI 值、丢包率。监测系统计算结果如表 2 所示。

表2 系统识别结果

高度/m	RSSI/dBm	丢包率/%
1	-10	0
2	-12	0
3	-21	0
4	-28	0
5	-32	0
6	-40	0

由表 2 可得:随着节点设备距离终端节点 LoRa 模块越来越近, RSSI 值随着减小,系统能够很好地克服外界干扰因素,丢包率均为 0,具有较高的精度,传输性能良好。

4.2 系统测试

风力发电机塔筒监测系统远程终端界面包括塔筒实时倾斜曲线、ADXL345 传感器工作状态、数据查询、报警等功能。工作人员输入正确的账号密码进入监测系统,传感器工作状态界面如图 10 所示。

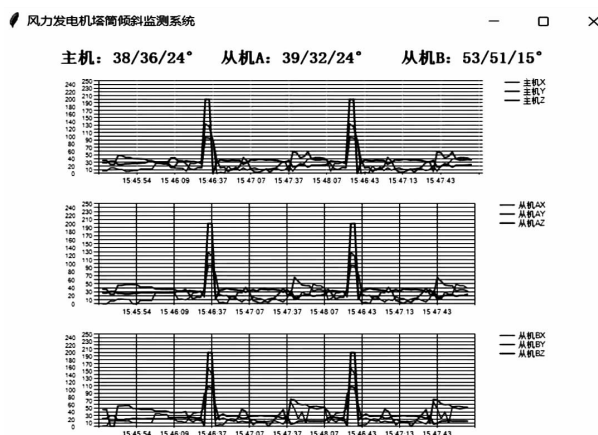


图10 传感器工作状态

传感器工作状态界面显示塔筒实时角度数据曲线,分别显示 X, Y, Z 三个轴角度,角度数据曲线会随着时间进行变化,实现实时监测。当传感器数据出现异常时,系统会自动发出预警,提示工作人员检查传感器或风机状态。

5 结论

该文结合物联网技术,设计了风力发电塔筒倾斜监测系统,实现了对风机塔筒倾斜角度的采集、远程监测、预警,有效帮助工作人员掌握风机塔筒状态,有效解决人员定期巡检劳动强度大、效率低、维护不及时、管控不到位等问题,系统运行稳定、可靠,可以提高风力发电系统的智能化水平,具有良好的应用价值。

参考文献:

- [1] 刘轩. 新能源风力发电中的控制技术分析[J]. 集成电路应用, 2023, 40(12): 260-261.
- [2] 潘美君, 朱红梅. 新能源风电并网对配电网运行风险的影响研究[J]. 微型电脑应用, 2024, 40(01): 213-216.
- [3] 王东, 李鹏. 风力发电场远程集中监控系统设计探究[J]. 中国信息界, 2024(01): 214-217.
- [4] 张旻. 风力发电机组现状与发展趋势探析[J]. 中国机械, 2024(03): 58-61.
- [5] 陈秀斌, 张超. 一起风力发电机组箱变事故与保护研究[J]. 电工电气, 2024(02): 70-71.

(下转第 64 页)

4 结论

根据乙烯裂解炉热电偶的 FMEA 分析,结合热电偶的相关参数,对热电偶进行设计改进和优化补偿措施。该次设计方案中选择的测温元件为 K 分度的单支式热电偶,考虑到使用寿命,选用的测量端形式为绝缘式。该热电偶的长期最高工作为 1100 ℃,短期最高工作温度为 1200 ℃。

热电偶测温核心元件选用高品质测温芯;保护管在高温、酸碱环境中易引起腐蚀,选用耐高温、腐蚀速率慢的 Inconel 800H 合金。接线盒设计时,选用 ADC12 铸铝材质,表面喷聚氨酯涂层。

参考文献:

- [1] 陶小利,高嵩,黄宏伟,等. 耐高温压力变送器在特殊场合应用的分析[J]. 工业仪表与自动化装置, 2021(6):112-113.
- [2] 陈垦伦, 灵敏仪, 梁佩博, 等. 基于 FMEA 的某型高温熔盐压力变送器可靠性分析[J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2023(02):33-39.
- [3] 陈清清. K 型热电偶高温测温特性的研究[D]. 杭州: 中国计量大学, 2021.
- [4] 系统可靠性分析技术、失效模式和影响分析(FMEA)程序:GB/T 7826—2012 [S]. 2012.
- [5] 故障模式、影响及危害性分析指南:GJB/Z 1391—2006 [S]. 2006.
- [6] 可靠性维修性保障性术语:GJB 451A—2005[S]. 2005.

(上接第 30 页)

- [6] JANI F, ADHAMDOUST S R, HOSSEINIS, et al. Process monitoring of polyolefin slurry – phase polymerization in continuous stirred – tank reactor via analysis of acoustic emission waves [J]. Brazilian journal of chemical engineering, 2023; 1 – 13.
- [7] 唐宇, 黄海龙. 反应釜实训装置的设计与应用 [J]. 机械设计与制造, 2023, 388(6): 176 – 179 + 183.
- [8] WU F, YANG F, MAD, et al. Design of virtual digital os-

cilloscope based on LabVIEW[J]. E3S Web of Conferences, 2021 (268) :1059.

- [9] 周细凤,曾荣周,林愿,等. 基于 NI Multisim 和 LabVIEW 的通信电子线路课程开放式虚拟实验平台[J]. 实验科学与技术,2020,18(5):135-139.
- [10] GE Z, GUO H, WANG T, et al. Universal graph filter design based on butterworth, chebyshev and elliptic functions[J]. Circuits, Systems, and Signal Processing, 2023,42(1):564-579.

(上接第 39 页)

- [6] 刘高强. AGV 自动运输系统在 PCB 生产车间的应用研究[D]. 成都: 西华大学, 2018.
- [7] 戴博, 杨根科. 面向高端装备制造企业的智能生产物流系统设计[J]. 制造业自动化, 2017, 39(6): 136 - 139.
- [8] 张晓东, 曹毅, 李秀娟. 立体仓库巷道堆垛机控制系统设计[J]. 自动化仪表, 2013, 34(5): 46 - 48.
- [9] 梁胜涛, 陈良坤, 舒奇奇, 等. 基于无线通信与 RFID 定位的智能仓储系统的设计[J]. 自动化技术与应用,

2020,39(1):169–172.

- [10] 吴淑梅,张志超,赵剑伟,等. 基于视觉与 PLC 的面相物流末端的智能分拣统[J]. 机电工程技术,2022,51(5):112-115.
- [11] 高净净. 基于 MES 与 AGV 互连的智能仓储系统设计[J]. 机电工程技术,2021,50(7):72-74.
- [12] 薛玉东,贺鹏飞,王中训,等. 基于分布式控制系统的带电作业工器具智慧仓储设计[J]. 电子设计工程,2023,31(24):42-46.

(上接第 43 页)

- [6] 张雁忠,刁嘉,翟化欣,等.基于嵌入式技术的风电场智慧监控系统[J].微型电脑应用,2023,39(10):91-94.
- [7] 晋高建.基于BAS-BPNN模型的风电机组塔筒倾斜度预测研究[J].电气技术与经济,2023(10):20-23+28.
- [8] 赵飞飞,张显云.三维激光技术在风力发电机塔筒垂直度检测中的应用[J].电视技术,2023,47(06):201-204.

- [9] 乐天达,赵强,章志鸿,等. 基于 PWKNN 算法的风电系统故障诊断研究[J]. 微型电脑应用,2024,40(01): 188-192.
- [10] 杜静,许亚能,谢双义,等. 基于 TMD 的风力机塔筒振动控制研究[J]. 太阳能学报,2021,42(02): 157-162.
- [11] 单立宇,张兰红,陈小海. 基于磁链预测的永磁直驱风力发电机 SVM-DTC 技术[J]. 电子设计工程,2023,31(4): 62-67.