

基于 Cat. 1 的光伏发电监控系统

张恒琦,汪旭东,孙彦,习晓飞,辛沅栩

(上海电机学院电气学院,上海 201306)

摘要:针对现有光伏监控系统的弊端,设计了一种基于 Cat. 1 (LTE UE-Category1) 的光伏发电监控系统。该系统以 STM32 为开发平台,通讯采用基于 Cat. 1 的 WH-GM5 模块实现,云平台采用 Tlink,并且使用了云组态技术实现人机交互功能。该系统实现了对电压、电流、温湿度、光照强度等参数的实时采集以及通过固态继电器实现对光伏板的开关控制,通过 Cat. 1 网络,使用手机和计算机登录云组态对光伏发电装置进行监控。实验表明:该系统使用灵活方便、可靠性高、信号强度高、实时性好、人机效能好,可以满足光伏发电设备的监控需求。

关键词: Cat. 1; STM32; 光伏发电; 监控系统; Tlink; 云组态

中图分类号: TM933 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-1841(2022)11-0060-05

Photovoltaic Power Generation Monitoring System Based on Cat. 1

ZHANG Heng-qi, WANG Xu-dong, SUN Yan, XI Xiao-fei, XIN Yuan-xu

(School of Electrical Engineering, Shanghai Dianji University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Aiming at the disadvantages of the existing photovoltaic monitoring system, a photovoltaic power generation monitoring system based on Cat. 1 (LTE UE-Category1) was designed. The system used STM32 as the development platform, the communication was realized by the WH-GM5 module based on Cat. 1, the cloud platform adopted Tlink, and the cloud configuration technology was used to realize the human-computer interaction function. The system realized the real-time collection of parameters such as voltage, current, temperature and humidity, and light intensity, and realizes the switch control of photovoltaic panels through solid-state relays. Through the Cat. 1 network, people can use mobile phones and computers to log in to the cloud configuration to monitor the device. Experiments show that the system is flexible and convenient to use, has high reliability, high signal strength, good real-time performance, and good man-machine efficiency, which can meet the monitoring needs of photovoltaic power generation equipment.

Keywords: Cat. 1; STM32; photovoltaic power generation; monitoring system; Tlink; cloud configuration

0 引言

随着光伏行业的不断发展,现有的监测技术逐渐暴露出了一些问题。文献[1]和文献[2]采用 NB-IoT 通信技术,这种技术功耗低,必须对现有基站升级改造或新建基站才能通讯,传输速度慢,延迟高,不适合大量数据双向传输。文献[3]使用了 GPRS 技术进行通讯,目前各大运营商 2G 退网,这种通讯方式逐渐被淘汰。文献[4]介绍的管理系统把环境和电压电流参数分开采集再通过 LoRa 通讯汇总,多级网络增大了系统的复杂程度,且 LoRa 需要额外建设基站。此外现有的网络监测系统只实现监测不能远程控制,且人机交互体验不佳。Cat. 1 是 4G 网络的一个分支,使用时不需要对 LTE 基站进行升级^[5]。本文提出的基于 Cat. 1 的光伏发电监控系统凭借 Cat. 1 网络的中速率、

低功耗、高覆盖、低延时等特点,搭配云组态的使用,弥补了现有监测系统的不足,能减小运维投入,增强了光伏发电的安全性,同时为中速率物联网在光伏行业的应用进行研。

1 系统整体架构

目前并网型光伏发电系统结构如图 1 所示,主要由光伏板阵列、汇流箱、交直流配电柜、逆变器和变压器等部分组成。其中承担使线路连接有序和汇流作用的是汇流箱,因而其线路集中,便于对光伏发电数据进行监测^[2]。监测数据包括输出电压、输出电流、光伏组件所处环境的温湿度和光照强度,监测数据范围为:直流电压 0~200 V、直流电流 0~5 A、温度-40~80 ℃、相对湿度 0~99%、光照强度 1~65 535 Lx。

基于 Cat. 1 的新型光伏发电监控系统的结构如图 2 所示,系统分 3 层,传感器、执行器和 STM32 共同构成了感知层,系统工作时各种传感器把感知到的数据

收稿日期:2022-03-28

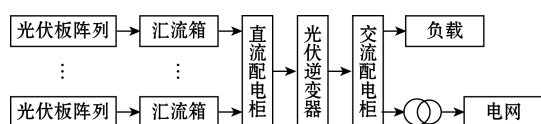


图 1 并网型光伏系统结构框图

传输给 STM32 进行处理,继电器控制光伏板开关。网络层包括 Cat. 1 模块、LTE 基站和 Cat. 1 平台,负责将处理好的数据传递给应用层,应用层的云服务器接收数据,云平台对数据进行处理并存入数据库中,用户使用计算机或手机端的云组态查看系统运行情况并可以对系统进行控制。

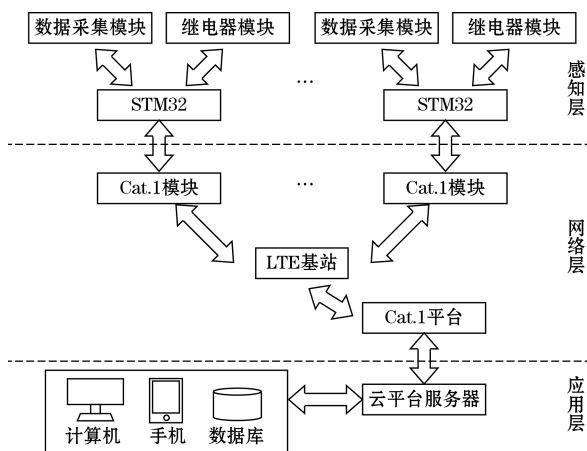


图 2 系统总体框架图

2 硬件设计

系统的硬件结构主要由数据采集电路、固态继电器模块、Cat. 1 模块、主控芯片、时钟电路、复位和供电电路组成。主控芯片选用主频为 72 MHz,有 112 个引脚和 16 路 ADC,同时选用具有扩展性强、低功耗、运算效率高等特性的 STM32F103,时钟电路和复位电路保证主控芯片的稳定运行,电源模块通过电压转换为 STM32(3.3 V)和 Cat. 1 模块(3.8 V)供电,系统硬件设计结构图如图 3 所示。

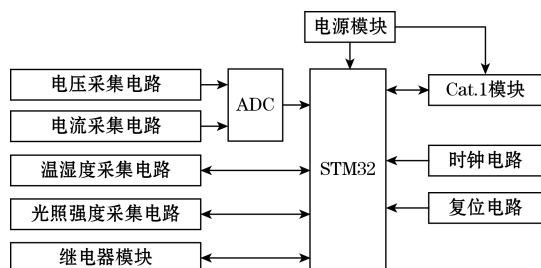


图 3 系统硬件设计结构图

2.1 数据采集模块硬件设计

2.1.1 电压采集电路

电压采集电路图如图 4 所示,使用 STM32 的 ADC 对光伏输出的直流电压进行测量,针对系统的直流电压测量范围(0~200 V),采用电阻分压电路,使被测电

压降至 0~3.3 V,以满足 ADC 的电压测量范围。

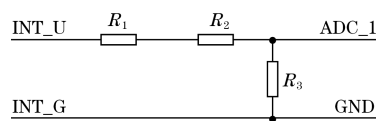


图 4 电压采集电路图

2.1.2 电流采集电路

选用 ACS712 霍尔电流传感器对直流电流进行测量,具有高精度、温漂小、连接方便等优点。原理为流经电流通过霍尔效应转化为成比例的电压,再经过其内部的调理电路后从端口输出,根据 ADC 采集电压大小计算出直流电流大小。应用电路图如图 5 所示,经调理电路将灵敏度系数由 185 mV/A 增益到 610 mV/A,提高测量精度。

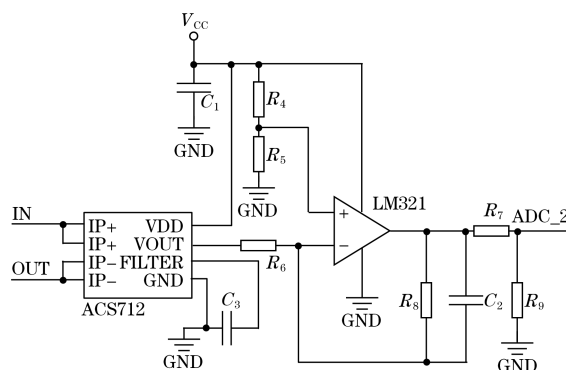


图 5 电流采集电路图

2.1.3 温湿度采集电路

温湿度采集电路图如图 6 所示,采用单总线与 STM32 通讯的 DHT22 完成。其内部结构主要由 1 个湿敏电阻和 1 个负温度系数的热敏电阻组成,可同时对温度和湿度进行高精度测量。由于采用了单总线的通讯方式,其连接简单、可靠性高,DATA 引脚使用了 1 个上拉电阻克服较长电路产生的寄生电容,从而确保了温湿度数据的准确性。

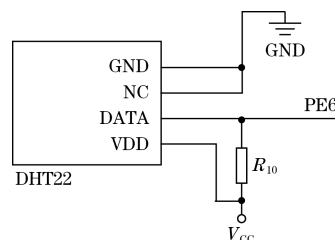


图 6 温湿度采集电路图

2.1.4 光照强度采集电路

用 BH1750 采集光照强度数据,其内部结构包括光电二极管、运算放大器、ADC 和晶振等。光电二极管在不同的光照强度下产生不同的电动势,经运放放大和线性处理后,通过 I²C 通信把数据传输给 STM32,

电路如图 7 所示。

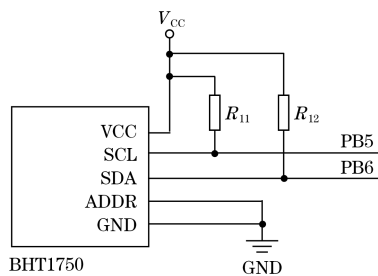


图 7 光照强度采集电路图

2.2 Cat. 1 模块硬件设计

Cat. 1 模块硬件电路设计如图 8 所示,WH-GM5

是一款基于 LTE Cat. 1 网络制式的通讯模组,采用 LCC+LGA 封装,方便调试和安装。覆盖国内主流频段运营商的 LTE Cat. 1 网络,使用各大运营商的普通 SIM 卡即可联网,网络波动时可以自动切换到备用的 2G 网络,实时性和网络覆盖好,可以保证可靠的网络连接。可实现系统和云平台间的双向透传通讯和多路 Socket 通讯,支持心跳包功能,使连接更稳定,满足云平台的数据传输需求。根据官方设计手册完成 Cat. 1 模块硬件电路设计,硬件电路包括模块功能电路、电源电路、SIM 接口电路、复位电路、Reload 电路、RF 电路和运行状态指示灯电路等。

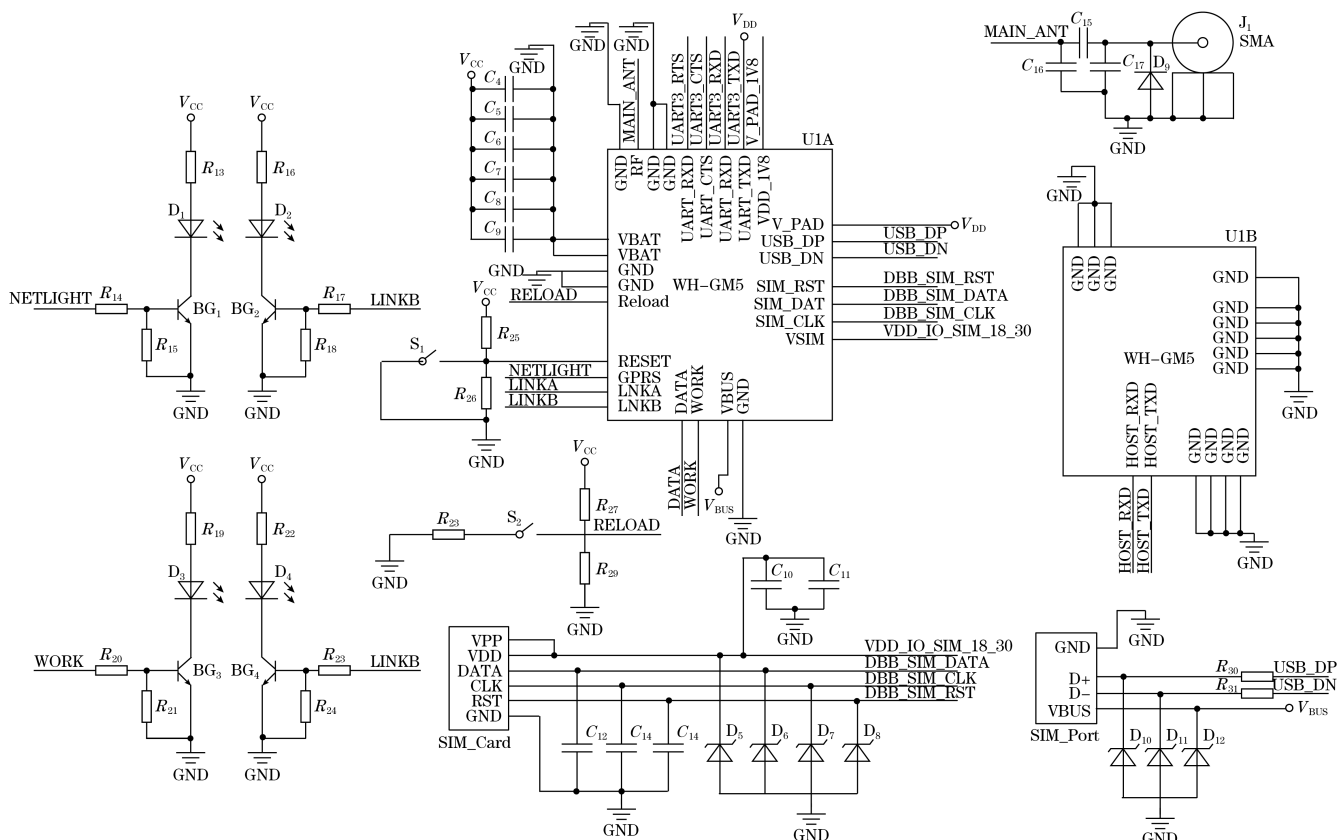


图 8 Cat. 1 模块硬件电路图

2.3 继电器模块硬件设计

通过 STM32 的 IO 口控制固态继电器的通断,实现光伏板的开关操作。由于固态继电器的无机械运动的结构,通断时没有火花出现,提升了线路安全性^[6]。针对系统的监测电压范围为 0~200 V,监测电流范围为 0~5 A,选用负载电压 12~220 V,输出电流为 10 A,控制电压为 3~32 V,控制电流为 5~20 mA 的直流控直流型固态继电器作为控制器。STM32 的 PD2 和 GND 引脚分别接入继电器的控制电源接口,当 PD2 引脚输出低电平时,继电器断开,光伏板处于关闭状态,PD2 引脚输出高电平时,继电器闭合,光伏板

开始工作。

3 软件设计

系统启动后,系统、传感器、Cat. 1 模块依次进入初始化,随后系统检测是否成功连接 Cat. 1 网络,网络连接成功后,STM32 循环采集数据,并对数据进行处理,然后通过 Cat. 1 网络将数据传输到 Tlink 云平台上,直至用户将监控系统关闭,主程序流程图如图 9 所示。

3.1 数据采集模块软件设计

数据采集模块的程序用 Keil 对 STM32 编程实现,

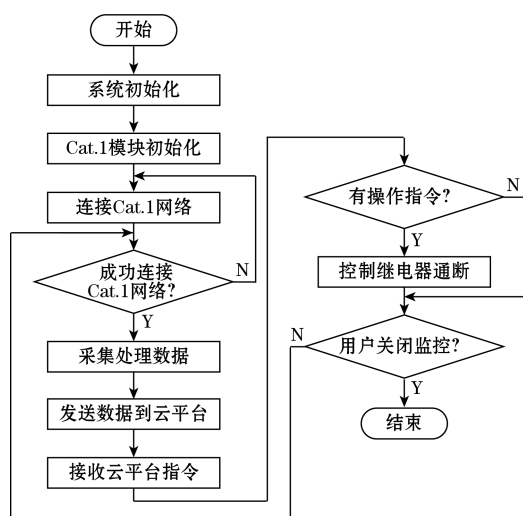


图 9 主程序流程图

根据数据类型分为电压、电流、温湿度和光照强度采集程序。电压和电流通过 STM32 的 ADC 采集后进行换算,温湿度通过单总线通讯完成采集,DHT22 最小读取间隔为 2 s,大于其他传感器的读取间隔,所以数据采集模块的读取间隔周期应大于 2 s,光照强度数据通过 I²C 通讯进行采集,需对 STM32 的 I²C 进行配置。数据采集的流程图如图 10 所示。

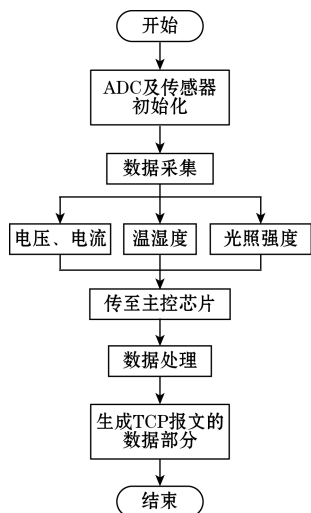


图 10 数据采集流程图

3.2 Cat. 1 模块软件设计

通过使用 WH-GM5 模块,可以把监控设备与 Tlink 云平台连接实现交互功能。WH-GM5 模块有 3 种通讯模式:网络透传模式是将打包好的数据按设定的地址进行传输,并不对数据本身进行加工的数据透明通信;HTTPD 模式是模块向 HTTP 服务器发送请求并接收来自服务器的反馈信息;短信透传模式是用户可以通过短信的方式查看和控制运行设备。根据云

平台的配置需求,选用网络透传作为系统和云平台的通讯模式。

TCP 在收发数据前,通过 3 次握手协议建立可靠连接。可自定义数据格式的特性使其灵活性很高,相比 UDP 协议,数据传输更安全,稳定性更高,常应用于远程检测控制领域中。具有长协议连接、同连接传输不同系统的数据等特点。选用 TCP 作为传输协议,传输格式如图 11 所示。

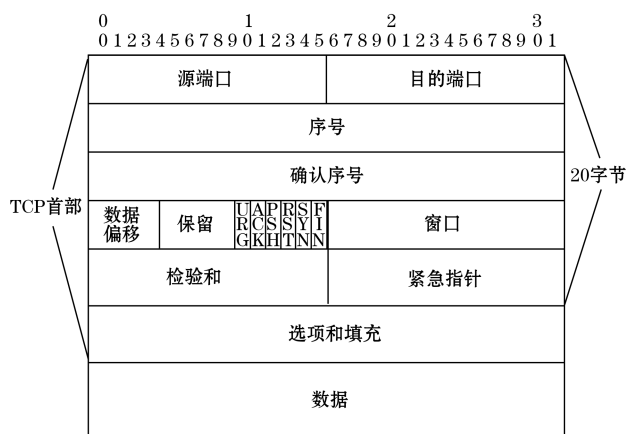


图 11 TCP 协议传输格式

通过 STM32 发送 AT 指令对 WH-GM5 模块进行配置,工作模式为网络透传模式,连接类型为 TCP 长连接,并写入云平台的网络地址和端口。WH-GM5 通过串口与 STM32 通信,还应将 USART1 波特率设置为 115200,校验、数据、校验位分别设置为 NONE、8、1,并且开启串口的接收中断,STM32 接收来自 WH-GM5 的信息进行下一步操作。每次发送完毕后,WH-GM5 对网络进行检查,若超过 60 s 网络异常,则 WH-GM5 进行重启。

3.3 Tlink 云平台设计

系统采用 Tlink 云平台的云组态技术,Tlink 集成了 TCP、HTTP、MQTT、UDP、CoAP 等物联网协议,连接了云平台、边缘计算网关、传感终端,实现了工业数字化,用户可以自定义搭建监控系统,具有安全性高、可靠性强、使用灵活等特点,已应用于电力、化工、环境等工业领域。

随着物联网技术的发展,使用云组态技术可以根据使用者的需求灵活搭建组态界面,将其运用在工业生产中可以方便地对工业设备进行监控运维^[7]。与传统组态相比主要优势:使用便捷,直接通过浏览器即可配置和使用组态,支持不同操作系统的设备;只需简单操作即可搭建实用的组态界面;方便大数据处

理和分析,传统组态长时间运行后无用数据堆积,导致运行效率变低,数据分析功能也需要大量的操作才能实现,云组态的数据自动存储至云端,通过数据库和智能算法满足数据采集和分析功能。

云平台的设计首先进行设备添加和编辑,根据 STM32 向 Cat. 1 模块发送的数据格式建立相应的 TCP 协议标签,包括数据头、分隔符、数据和结束符标签,进入云组态的编辑界面,调整画布大小,添加文字说明、时间、天气等基本信息。然后添加和配置用到的交互和监测组件,如数值显示、开关、连接状态、可选时段曲线等,通过这些组件可以完成与云组态的人机交互,设置各个数据的报警区间,最后调整云组态的布局后保存并上传。图 12 为云组态的实时监控界面。

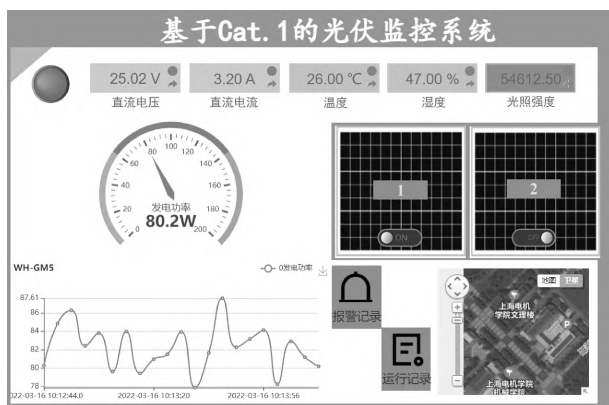


图 12 云组态实时监控界面

4 测试结果

用户可以使用手机或计算机登录云组态对光伏发电设备进行实时监测和控制,实时性好,也可以通过报警记录和运行记录查看历史运行状况,平台根据运行数据自动生成曲线图和报表。通过监控系统的实时监控界面,可以直观了解光伏系统的运行状态,当数据异常时,系统会发出报警信息并通知运维人员处理故障。图 13 为运行记录界面,通过对运行记录进行分析可以避免出现安全事故,提升光伏系统运行的安全性。

5 结论

本文提出的基于 Cat. 1 的新型光伏发电监控系统,实现了随时随地通过云组态对光伏发电系统监控,相对现有的监测系统,采用云组态技术提升了人



图 13 云组态运行记录界面

机交互能力,采用 Cat. 1 网络进行通信,数据刷新率高、实时性强,操作反应迅速,对中速率物联网在数据监测和工业控制方面的使用进行了探索。

参考文献:

- [1] 李琴,潘三博. 基于 NB-IoT 的光伏电站监测系统[J]. 仪表技术与传感器,2021(8):59-62.
- [2] 谢志远,张信. 基于 NB-IoT 的光伏阵列运行参数监测系统[J]. 仪表技术与传感器,2020(7):80-85.
- [3] 余永俊. 基于物联网和云架构的光伏发电运维系统研究[D]. 太原:中北大学,2021.
- [4] 朱圣杰,王腾龙,孔智勇,等. 基于物联网技术的光伏阵列数据管理系统设计[J]. 现代电子技术,2022,45(3):142-147.
- [5] 王军伟,姚春良,鲁展,等. 一种基于 4G Cat1 技术的电子钥匙系统[J]. 电子测试,2021(20):71-72.
- [6] 王凯鹏,姚凯学,任莎,等. 基于 STM32 的路灯智能监测控制系统[J]. 计算机技术与发展,2020,30(7):120-124.
- [7] 柴熠,吴彬,彭健. 工业互联网平台的云组态技术研究[J]. 电器与能效管理技术,2020(7):77-80.

作者简介:张恒琦(1996—),硕士研究生,主要研究方向为工业设备监测与控制。

E-mail:206001010220@st.sdju.edu.cn

汪旭东(1967—),教授,博士,主要研究方向为新型电磁装备及智能控制。E-mail:wangxd@sdju.edu.cn