

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2108585

光伏阵列无线传感节点设计及故障诊断应用*

苏懿生 郑子君 张经纬 艾文旭 丁灏 刘润煜 艾长青
(河海大学机电工程学院 常州 213022)

摘要: 针对现有光伏阵列的故障检测方法精度和效率不足且难以定位故障光伏组件等问题,设计了一种基于STM32的光伏阵列无线传感节点及故障诊断系统。该无线传感节点硬件以STM32F103为核心控制器,主要包括主控模块、电源模块、数据采集模块、数据通讯模块;软件端通过自定义通信协议,将测量结果通过ZigBee无线模块对数据帧可靠传输,上位机可监测到逆变器扫描光伏阵列电流-电压(I-V)特性过程中各光伏组件的电压数据。实验中人工模拟了光伏组件常见的阴影、旁路二极管短路故障,通过无线传感节点测得的电压波形,可实现光伏阵列中故障诊断与定位。实测结果表明,该系统可获取逆变器扫描光伏阵列I-V特性过程中组件电压波形,便于运维人员及时准确地定位光伏组件故障。

关键词: 光伏阵列;故障定位;故障诊断;STM32

中图分类号: TN2 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 480.6070

Design of photovoltaic array wireless sensor nodes and its application in fault diagnosis

Su Yisheng Zheng Zijun Zhang Jingwei Ai Wenxu Ding Hao Liu Runyu Ai Changqing
(School of Mechanical and Electrical Engineering, Hohai University, Changzhou 213022, China)

Abstract: The photovoltaic (PV) array wireless sensor node and fault diagnosis system based on STM32 is designed aiming at the problems of the existing methods of PV array fault detection are lack of accurate and efficient and difficult to locate faulty PV modules. STM32F103 is used as the core controller of the wireless sensor node hardware. It is mainly composed of power module, main control module, data sampling module, data communication module. Using defined communication protocol, the measurement results are reliably transmitted as data frames through ZigBee wireless module, the monitor computer can monitor the voltage data of PV modules in the process of inverter scanning the current-voltage (I-V) characteristics of PV array. In the experiments, the common shading and short-circuit of bypass diode failure of PV modules are artificially caused. The voltage waveforms of PV modules are measured by the wireless sensor node, which can realize fault diagnosis and location in PV array. The experimental results show that the system can obtain the voltage waveform of PV array when the inverter scans the I-V characteristics of PV array, facilitating maintainers to locate PV module faults timely and accurately.

Keywords: photovoltaic array; fault location; fault diagnosis; STM32

0 引言

随着“十四五”发展规划提出以来,可再生能源进入了一个新的发展阶段,新能源模式下将倡导更多可再生能源供给,国内新增装机容量达到历史新高^[1-3]。同时,光伏电站面临的大量日常监控与运维的突出问题也随之而来,传统电站运维模式费时费力,难以定位电站中故障光伏组件,不适于当下光伏电站监测运维、故障诊断实时性与准确性

的需求,高精度、可故障定位的光伏阵列监控平台亟待研发。

光伏组件由于长期处于如太阳辐射、雨雪天气等户外恶劣环境条件下,易发生故障或异常^[4],其常见的形式有:热斑、阴影遮挡、短路故障、开路故障、电弧故障及退化等^[5]。光伏组件的故障将影响发电效率和寿命,具有一定的安全隐患,严重情况时还会造成火灾等事故问题^[6],所以光伏阵列的故障定位和诊断显得尤为重要。

收稿日期:2021-12-13

* 基金项目:常州市科技计划项目(CJ20200074)资助

现有光伏阵列故障检测方法主要包括电信号检测法,如陈永辉通过比对正常与电弧故障下的电压信号差异实现电弧故障检测,李元良通过监控各组串由于故障情况引起的电流信号变化检测出异常故障串^[7-11];此外还包括红外图像检测法,如陈功通过无人机搭载红外检测仪,得到热斑和阴影遮挡等故障下阵列的温度特征实现故障定位,而蒋琳和柳杨则分别通过手持热成像仪拍摄采集故障光伏阵列的红外图像,并各自采用不同的噪声抑制算法进行了分析^[12-16]。上述方法都存在着不同程度的缺点和不足:光伏阵列电信号的检测方法虽然可实现在线监测,但较难定位故障位置;传统的手持式红外图像检测方法存在设备成本高、检测效率低等缺点。

随着物联网技术的发展,无线传感技术在电气设备状态监控、光伏系统故障诊断和与定位等领域具有广阔的应用前景。针对上述现有技术存在的不足,本文设计了一种基于STM32的光伏阵列无线传感节点及故障诊断系统,以实现实时高效地对光伏阵列中光伏组件进行故障定位与诊断。

1 系统硬件设计

1.1 系统整体框架

基于STM32的光伏阵列无线传感节点及故障诊断系统,可通过连接在各光伏组件上的传感节点测到的电压时域信号,结合逆变器扫描光伏组串整体的I-V特性,通过各组件的电压波动过程,以此作为每块光伏组件的故障定位与诊断的依据。系统主要由主控模块、电源模块、数据采集模块、数据通讯模块及具备光伏组串I-V特性采集功能的逆变器组成。系统的整体框架图如图1所示。

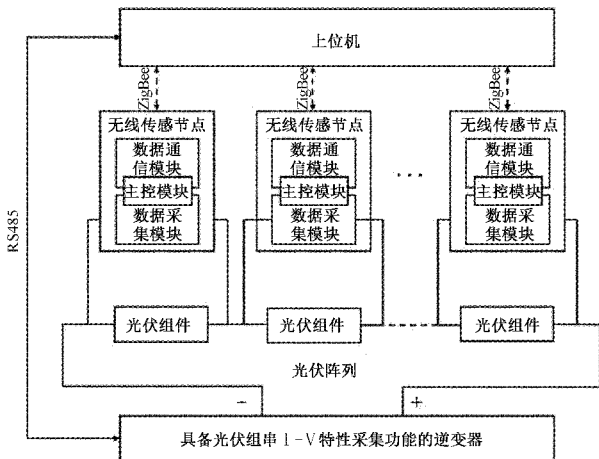


图1 系统整体框架图

由于所设计的无线传感节点与通过光伏组件并联,因此通过光伏组件实现对整个系统各传感节点电路的供电;主控模块采用STM32F103为核心控制器;无线传感网络中包含若干无线传感节点,各节点中的数据采集模块采集对应的光伏组件电压信号后,经A/D采样调理电路转换为数字信号

后,通过ZigBee无线模块上传数据至上位机进行存储分析。测量时,上位机通过485总线通信控制具备光伏组串I-V特性采集功能的逆变器测量光伏阵列I-V特性,此时光伏阵列中各光伏组件电压会随之波动,通过所设计的无线传感节点测量该段电压波形,以实现故障诊断与定位。

1.2 主控模块

主控模块属于系统的最关键部分,实现系统的控制与运行状态监测功能。考虑到系统对硬件的要求和安全性等因素,以及低功耗、低成本及节能环保的需求,主控模块采用STM32F103C8T6设计方案,其工作在 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}\sim+105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度范围,满足了户外运作的环境要求。

STM32F103C8T6结合了高速嵌入式内存(包括128KB闪存与20KB高速缓存)、高性能的ARM Cortex-M3内核以及连接到两个外围总线的输入输出和外设。芯片还提供两种12位ADCs和标准的通信接口:包括1个USB接口和3个串行通道。因此,该芯片不仅便于实现组件电压数据采集和串口通信功能,还提供了用以系统扩展的多种接口。主控模块电路(包括外部时钟电路及辅助电路等)如图2所示。

1.3 电源模块

无线传感节点供电直接取自光伏组件,能够满足传感器工作的电能要求,避免了额外供电设备成本。因此,光伏组件输出端正负极连接至电源电路中PV+端与PV-端进行供电。稳压芯片采用了LM2596系列降压开关式芯片,其单片集成的电路便捷地简化了电源的设计,包含的自我保护功能可以实现过温关闭等故障条件下的保护。电源模块电路如图3所示。

1.4 数据采集模块

为改善传感器的温度特性,满足稳定且具备一定测量精度的性能要求,电阻应选择低温漂高精度电阻。比例放大电路可将输入电压调理至单片机A/D引脚可测量的信号范围。在满足各元器件正常工作前提下,电压量程为 $0\sim 50\text{ V}$,满足主流光伏组件电压测量范围。A/D校准时,分别测量标准直流电压源与单机电压采样值,将每组电压标准值和采样值通过最小二乘法线性拟合。电压采样调理电路如图4所示。

1.5 数据通信模块

数据通信模块选用了ZigBee无线模块构成无线传感网络。本设计利用较为成熟的mesh网络架构,使所有的节点之间形成一个整体的网络,提升了信号覆盖范围;结合ZigBee技术可实现多个节点之间数据的可靠传输,适合于该方案中低功耗的系统。通过从单片机引出串口连接至ZigBee无线模块。

ZigBee无线串口模块以CC2530为内核,该内核结合了符合行业标准的8051微处理器和射频收发器,以及系统内可编程闪存和8KB可读存储器,提供了完整的ZigBee解决方案。

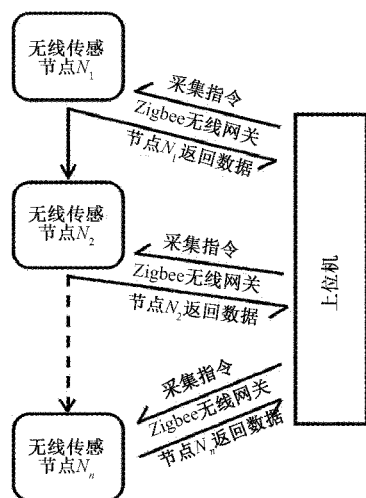


图5 无线传感网络布局

2)通过查表法对该数据帧进行CRC8校验,确保接收的准确性。

3)启动A/D采样功能,为减小误差,将多次采样求得平均值作为一次采样结果。将数字量的采样结果保存在待发送数据帧的数据位上。

4)计算并保存待发送帧的CRC8校验位码。

5)将待发送数据帧通过串口由ZigBee模块发送至上位机。

对于其他无线传感节点 N_n ,即在步骤4)与5)之间增加步骤:判断是否接收到来自节点 N_{n-1} 的数据帧。所设计的无线传感节点 N_1 的单片机软件流程如图6所示。

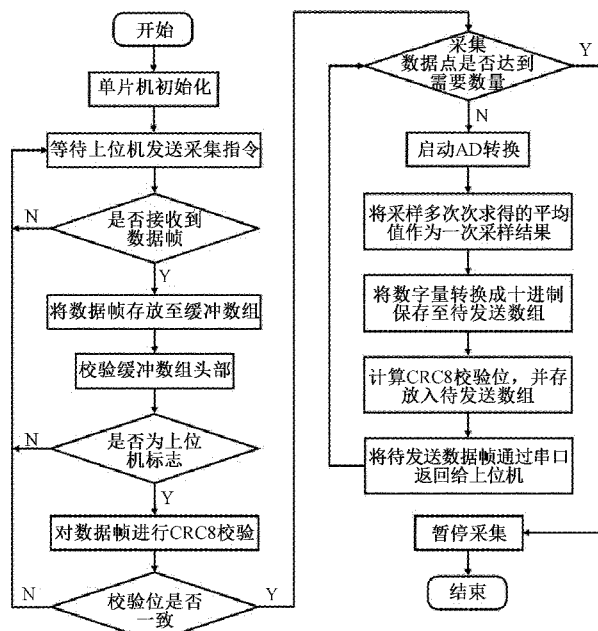


图6 无线传感节点 N_1 的软件流程

3 实验验证

为了验证所设计光伏阵列无线传感节点电路性能,为光伏阵列故障定位与诊断提供依据,在某5.28 kW光伏阵列中进行了实验,并分别人工模拟了光伏组件常见的故障类型,包括不同程度的局部阴影遮挡、旁路二极管短路故障,如图7所示。其中,模拟组件的阴影遮挡时,用不同面

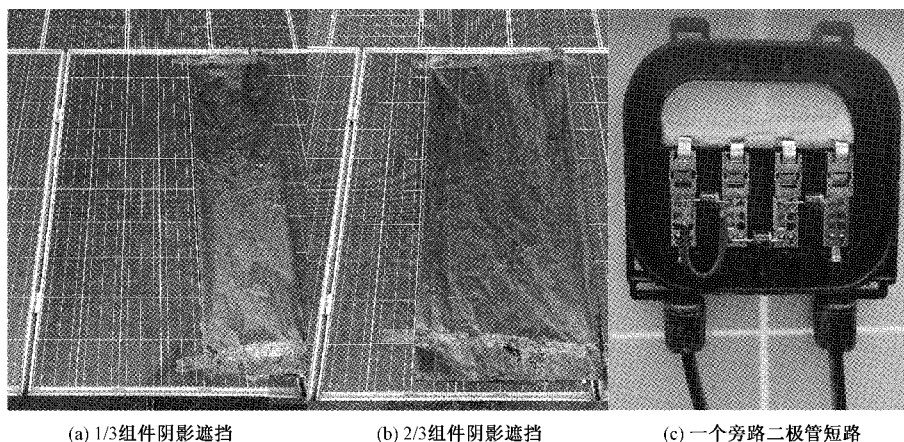


图7 实验中测试的光伏组件故障

积的透明膜对组件的部分区域进行覆盖;模拟一个旁路二极管被短路时,则用导线将一个旁路二极管两端直接相连,使1/3块组件区域短路。

当上位机启动逆变器测量I-V特性时,此时无线传感节点开始工作,采样周期0.1s。上位机接收到对应时段的数据并进行保存,整理数据后将其绘制出电压时域波形如图8所示。可见,当启动逆变器扫描光伏阵列I-V特性时,

被测光伏组件电压先增加至开路电压处,再逐渐降低至短路工作点附近,最后恢复至最大功率点处。而1/3组件面积被阴影遮挡时,其最大功率点电压降至正常的1/3,但其开路电压值与无故障时一致。当光伏组件中有一个旁路二极管被短路时,其最大功率点电压与开路电压均下降至无故障下相应电压的2/3,这是由于光伏组

件中 1/3 部分被短路造成该区域光伏电池片无法提供电压。因此,可以根据所测量的电压波形中光伏组件最大功

率点电压与开路电压,对光伏阵列中各光伏组件故障进行诊断与定位。

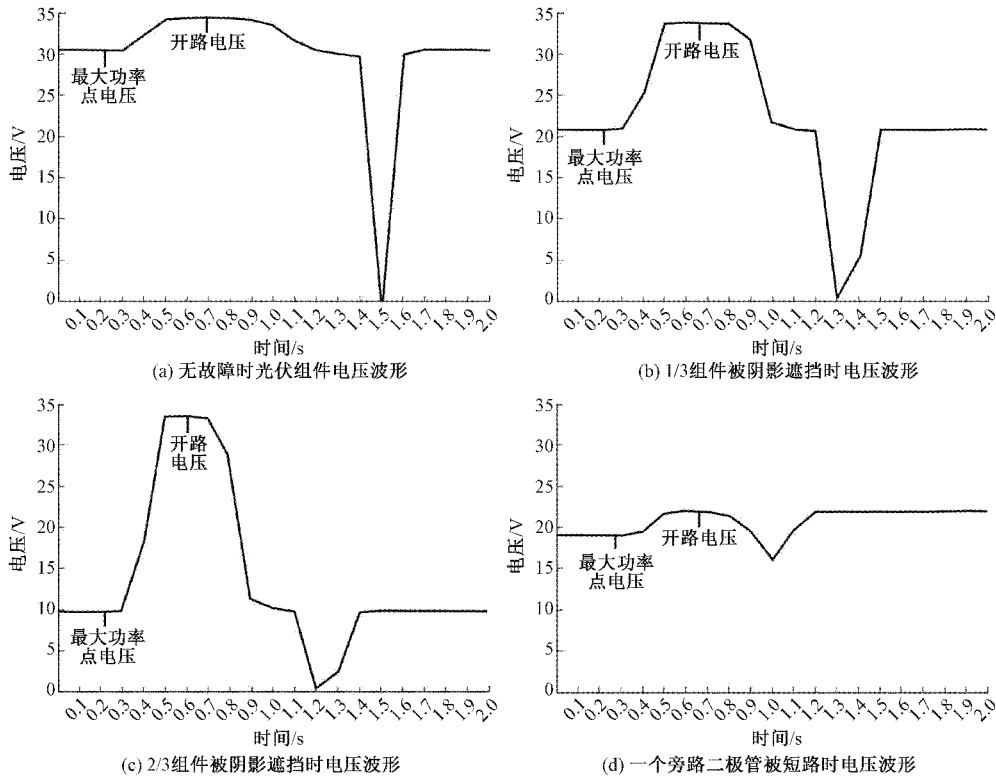


图 8 启动逆变器扫描光伏阵列 I-V 特性时无线传感节点测量结果

因此,通过上述实验数据和测试实例可知,本文所设计的系统达到了预期的故障诊断与定位目的,具有良好的性能,可适用于故障组件的定位及维护。

4 结 论

本文设计了一种基于 STM32 的光伏阵列无线传感节点及故障诊断系统,通过以 STM32 单片机为核心的硬件与软件设计,结合逆变器扫描光伏阵列 I-V 特性引起的电压波动过程,测量得到光伏组件的电压时域波形,作为故障定位与诊断的依据。实验通过模拟不同故障情况下光伏阵列的电压波形,验证了该方法的可行性,证明了该系统可通过测量光伏组件电压实现光伏阵列故障定位与诊断,提升光伏电站运维效率,为运维人员更及时准确地定位光伏阵列故障带来了较大便利。

参考文献

- [1] 王轶辰. 推动新能源建设提速风光大基地更风光[J]. 中国集体经济, 2021(34): 8-9.
- [2] 陈俊杰. 构建新型电力系统提升新能源电力支撑保障能力[J]. 新能源科技, 2021(10): 28-29.
- [3] 姚羽霞. 高弹性电网助光伏高质量发展[J]. 国家电网, 2021(9): 82.
- [4] 丁勇毅. 光伏电站的电气设备运行维护分析[J]. 集成电路应用, 2020, 37(12): 124-125.
- [5] 乔苏朋, 杨艳, 陈世群, 等. 光伏阵列故障检测方法综述[J]. 电气技术, 2021, 22(7): 1-6.
- [6] 吴春华, 徐文新, 李智华, 等. 光伏系统直流侧故障电弧危害分析及保护策略[J]. 太阳能学报, 2020, 41(9): 198-206.
- [7] 陈永辉, 熊兰, 范禹邑, 等. 基于互感器电压信号的光伏电弧故障检测方法[J]. 太阳能学报, 2021, 42(10): 68-75.
- [8] 李元良, 丁坤, 陈富东, 等. 基于快速过采样主成分分析法的光伏阵列故障诊断[J]. 电网技术, 2019, 43(1): 308-315.
- [9] 孔林婷, 邓薇, 杨超. 一种实地在线测量光伏组件衰减率的方法[J]. 国外电子测量技术, 2020, 39(8): 84-87.
- [10] 唐圣学, 习旭东, 陈丽, 等. 光伏发电系统直流串联微弱故障电弧检测方法研究[J]. 仪器仪表学报, 2021, 42(3): 150-160.
- [11] 丁坤, 陈富东, 翁帅, 等. 基于 I-V 特性灰色关联分析的光伏阵列健康状态评估[J]. 电网技术, 2021, 45(8): 3087-3095.
- [12] 张晓华, 蔡巍武, 宁平, 等. 基于红外检测的变电站设备热状态诊断[J]. 电网分析与研究, 2021, 49(9): 109-116.

- [13] 陈功,蔡磊,张琳,等. 光伏热斑模拟建模及热成像分析[J]. 电子测量与仪器学报, 2021, 35(8): 191-197.
- [14] 蒋琳,苏建徽,施永,等. 基于红外热图像处理的光伏阵列热斑检测方法[J]. 太阳能学报, 2020, 41(8): 180-184.
- [15] 柳扬,陈美珍,徐胜彬,等. 基于热成像与灰度转换技术的光伏阵列缺陷检测方法[J]. 电子测量技术, 2021, 44(11): 96-102.
- [16] 陈文勤. 一种基于红外图像识别的光伏组件热斑检测系统的研究与实现[D]. 江苏:南京邮电大学, 2020.

作者简介

苏懿生,本科,主要研究方向为太阳能光伏发电技术。
E-mail: zxc1753787642@163.com

郑子君,本科,主要研究方向为机电系统控制技术。

E-mail: 13104653907@163.com

张经炜(通信作者),讲师,博士,主要研究方向为太阳能光伏发电系统建模与智能运维、机电一体化控制等。

E-mail: jwzhang@hhu.edu.cn

艾文旭,本科,主要研究方向为单片机控制、机电一体化。

E-mail: 1430605994@qq.com

丁灏,本科,主要研究方向为太阳能光伏板发电技术。

E-mail: 1539394371@qq.com

刘润煜,本科,主要研究方向为光伏组件数据处理、故障诊断。

E-mail: 1521560146@qq.com

艾长青,本科,主要研究方向为太阳能光伏发电技术。

E-mail: 1138884071@qq.com