

基于温度测量法的光伏阵列失效组件 监测系统的设计

赖其涛¹, 王元月²

(1. 绍兴职业技术学院 信息工程学院, 浙江 绍兴 312000;

2. 绍兴职业技术学院 机电工程学院, 浙江 绍兴 312000)

摘要: 为了解决光伏阵列电站中的光伏组件由于各种原因产生失效, 不能及时发现、维护而导致较大的经济损失问题, 提出了一种通过在 PV 组件接线盒上安装无线温度传感器, 动态的监控旁路二极管温度间接监测失效组件的新方法, 该方法能够在不影响光伏组件结构的情况下及时发现、定位光伏阵列中失效的光伏组件; 文中对热斑效应形成和温度测量法的联系以及异常数据点的处理做了较为详细的阐述, 设计了温度采集和无线传输系统的硬件电路, 电路简单、可靠, 成本低廉易于实现, 采集精度符合设计要求; 并编写了 PC 端的监测系统的程序, 通过对 PV 组件失效进行遮挡验证, 结果表明基于温度测量法的光伏阵列失效组件监测系统检测结果可靠温度, 易于使用。

关键词: 热斑; 失效; 光伏组件

Design of PV Array Failure Module Monitoring System Based on Temperature Measurement

Lai Qitao¹, Wang Yuanyue²

(1. College of Information Engineering, Shaoxing Vocational & Technical College, Shaoxing 312000, China;

2. Mechanical & Electrical Engineering College, Shaoxing Vocational & Technical College, Shaoxing 312000, China)

Abstract: In order to solve the photovoltaic PV array power plant in the failure caused by various reasons, can not be found in time, the maintenance problem caused large economic losses, put forward through the installation of a wireless temperature sensor in the PV component of the junction box, a new method of monitoring the temperature of the bypass diode indirect monitoring failure component, this method can not effect of structure of PV module under the timely discovery, photovoltaic PV array in the failure location. Detail processing on the formation of hot spot effect and the method of measuring the temperature of the contact and abnormal data, the hardware circuit of the temperature acquisition and wireless transmission system design, the circuit is simple and reliable, low cost and easy to implement, acquisition accuracy meets the design requirements. And the preparation of the PC terminal monitoring system program, the occlusion is verified by failure of PV components, results show that the PV array temperature measurement component failure monitoring system based on temperature detection results are reliable, easy to use.

Keywords: hot spot; failure; PV cell

0 引言

太阳能电池是将光能直接转化为电能的最基本单元, 一个单体太阳能电池就相当于一个 PN 结, 在标准光照条件下, 其开路电压约为 0.5 V。这么低的电压基本无法在实际工程项目(一般工程光伏阵列的电压要达到 1 000 V 左右)中应用, 所以必须要对单体电池进行串联来提高输出电压。由于生产和运输的需要, 一般由几十个单体电池在组件生产工厂进行组串、层压、测试、装框最后封装成光伏组件, 一个光伏组件的长宽一般不超过 2 000 * 1 000。光伏组件经过串联以后输出电压一

般可达三十几伏特, 输出电流可达 10 A 左右, 一个光伏电站就由大量的光伏组件串并联组成。电站光伏阵列中的光伏组件由于遮挡、污染以及组件中单体电池本身电气故障等原因会导致热斑效应, 这个热斑效应的产生, 比较严重的情况下会导致整个组件的烧毁, 甚至会导致火灾等严重事故, 这对于电站的安全生产产生了非常严重影响。并且由于电站一般安装在偏远、荒芜区域, 目前我国光伏电站基本都建在的戈壁、沙漠之中, 人员生活条件恶劣, 如何及时发现并准确定位失效组件具有非常重要的意义^[1]。

1 检测系统架构与原理

1.1 系统结构原理图

系统结构原理图如图 1 所示。光伏组件下发的接线盒中安装温度传感器, 对接线盒中的旁路二极管进行检测实现动态监控。检测出的温度有温度采集系统发送给无线传输系统, 然后由无线传输系统通过 ZigBee 网络无线传输给 ZigBee 网关, ZigBee 网关把接收到的数据通过 socket 通信传输给服务器,

收稿日期: 2016-12-12; 修回日期: 2017-01-09。

基金项目: 浙江省教育厅科研项目(Y201534919)。

作者简介: 赖其涛(1977-), 男, 浙江三门县人, 硕士, 讲师, 主要从事嵌入式系统方向的研究。

王元月(1977-), 女, 贵州毕节市人, 硕士, 讲师, 主要从事电源技术及智能控制方向的研究。

由服务器程序存储到数据库中, 并在服务器中提供 IIS 服务, 供 PC 端和手机端进行远程监控。

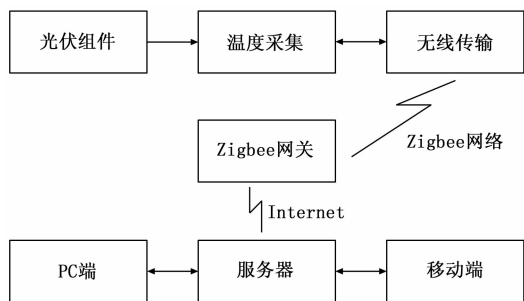


图 1 系统结构原理图

1.2 热斑的形成

当光伏组件中某个单体电池或几个单体电池由于被遮光(云朵, 污染, 树荫等)或损坏, 其光致发电功能就会失效, 单体电池就被置于反向偏置状态, 这个时候失效的单体电池就成了一颗耗能的电阻, 消耗电能, 从而引起局部过热, 这个就是热斑效应。图 2 为光伏组件单体电池失效示意图, D3 为某种原因引起失效的单体光伏电池, 此时 D3 在光照条件下不再发电, PN 节反偏成了一个耗能的电阻, 其光热电流为 $I = I_D + I_{sh}$ (I : 逆电流, I_D : 暗电流, I_{sh} : 漏电流), 光照强度越强 I 越大, 在 D3 上形成的热斑效应越明显^[3]。热斑效应对于光伏电站的危害是巨大的(组件损坏、火灾等), 而且组件阵列电站一般建立在偏远区域, 保养维护非常不便, 因此由各种原因导致的热斑效应也极易发生, 怎么才能避免或减轻热斑效应对光伏阵列电站发的不利影响成为组件设计的重要问题。

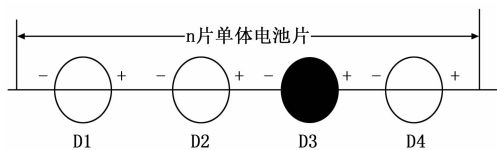


图 2 光伏组件单体电池失效示意图

1.3 热斑的消除

由于热斑效应对于光伏电站的危害是巨大的, 并且在实际工程中这种故障的发生概率也非常的大, 所以要对这种热斑效应进行消除。组件生产厂商一般在组件电池串并联接入一颗或几颗旁路二极管来消除这种热斑效应, 图 3 为旁路二极管连接示意图。

图 3 中的 D5 就是旁路二极管, 当 D3 由于某些原因产生失效时, 旁路二极管 D5 的 PN 结由反向偏置变成正向偏置, 光伏阵列产生的电流从 D5 流过, 不再从 D3 流过, 消除了 D3 失效而形成的热斑效应, 因此称 D5 为旁路二极管。

1.4 温度测量法的实现

组件上单体电池由于各种原因产生失效, 电流将从旁路二极管 D5 流过, 此时由于电站光伏阵列产生的电流从 D5 流过, 所以 D5 消耗的功率 $P=UI$ ^[4]。假设 D5 导通电压 $U=0.6\text{ V}$, 电站光伏阵列电流 $I=8\text{ A}$, 那么 D5 上的功率就是 $P=UI=0.6\text{ V} \times 8\text{ A}=4.8\text{ W}$, D5 就会由于这个原因产生温升, 所以我们只要对组件接线盒中的二极管上温度进行监测, 就能够间接的实现光伏组件上单体电池的失效进行检测, 而不需要安

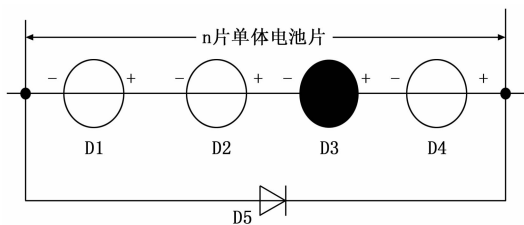


图 3 旁路二极管连接示意图

装很多传感器对组件上的每一个单体电池片进行温度测量。再设计无线通信技术, 把温度测量值和电池组件的位置编号信息等传回到远程检测系统, 就能够实现光伏阵列失效组件的远程检测定位。

2 总体设计方案概述

光伏阵列失效组件监测系统按照功能可以划分为 3 个子模块: 温度采集系统、通信传输系统、PC 机监测告警系统。如图 4 所示, 在整个结构的中, 光伏阵列中每个组件都被看作是一个数据采集节点, 按照协议要求上传温度和节点信息。这些数据采集节点通过 ZigBee 协议自组网, 然后在 ZigBee 网关通过 GPRS 技术传输到远程服务器。在服务器端架设微软的 SQL Server 2008 数据库服务器用于存储实时上传的数据, 用 C# 编写了 socket sever 服务程序, 架设在服务器端, 负责 GPRS 的数据接收存储, 也负责终端对数据库的查询访问。在 PC 终端用 C# 编写了基于 web 技术的客户端程序, 用来访问数据库中的信息, 实现对光伏组件的监控。

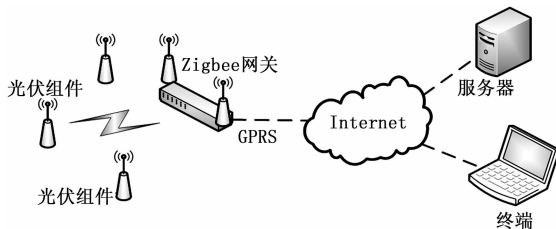


图 4 总体设计方案结构图

3 系统硬件设计

为了不对电站的光伏组件进行电气上的改造, 而引起其他的电气故障, 温度采集和传输系统采用电池供电, 温传感器需要低功耗要求, 在这个设计中采用了 ADI 公司的数字温度传感器 ADT7310, ADT7310 是一款 13 位数字温度传感器, 可扩展至 16 位的更高分辨率, 片上温度传感器在整个额定温度范围内都具有出色的精度和线性度, 用户无需进行校正或校准, 并且在 AD 转换的时候最大工作电流仅 210 uA, 符合我们对低功耗的要求。为了和传输系统的无缝对接, 设计中采用了 ZigBee 芯片 CC2530 进行温度的采集和数据的传输, CC2530 和 ADT7310 的硬件电路如图 5 所示。

ADT7310 和 CC2530 连接采用 SPI 通信接口, ADT7310 有 3 种温度测试模式分别为: 单次采用模式、SPS 模式和连续读取模式。当使能单次采样模式时, ADT7310 立即完成一次转换, 然后进入关断模式, 电路设计优先考虑降低功耗时, 单次采样模式非常有用^[2]。这个项目对功耗的要求很高, 所以设置 ADT7310 在低功耗的模式下工作, CC2530 每 5 秒中启动一

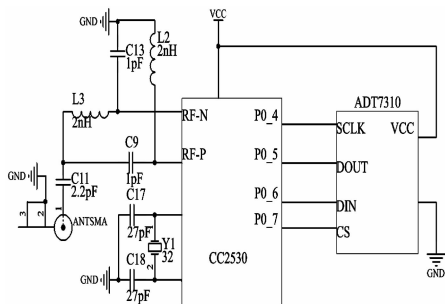


图 5 CC2530 和 ADT7310 硬件连接电路图

次单次温度采集，然后把温度数据传输给 ZigBee 网关，温度采集和发送流程如图 6 所示。

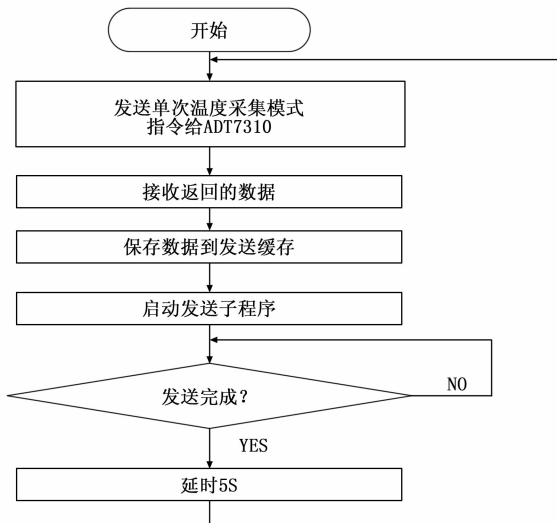


图 6 温度采集和发送流程图

ZigBee 网关在收到数据以后，马上通过串口发送给 GPRS - DTU，上传给服务器^[5]。数据格式如表 1 所示。

表 1 发送给服务的数据格式

温度字节 1	温度字节 2	组件编号 1	组件编号 1	校验和
--------	--------	--------	--------	-----

温度字节 1 和温度字节 2 为温度数据，温度字节 1 为高字节，温度字节 2 为低字节，由于设计中对温度的精度要求不高，所以设置 ADT7310 的采样位数为 13 位。根据 ADT7310 的数据手册查到 13 位的数据格式如表 2 所示。

表 2 13 位温度数据格式

温度	数字输出(二进制)位[15:3]	数字输出(十六进制)
-55℃	1110010010000	0x1C90
-50℃	1110011100000	0x1CE0
-25℃	1111001110000	0x1E70
-0.0625℃	1111111111111	0x1FFF
0℃	0000000000000	0x000
+25℃	0000110010000	0x190
+50℃	0001100100000	0x320
+125℃	0011111010000	0x7D0
+150℃	0100101100000	0x960

从表 2 可以看出最高位为符号位，接着是 13 位的温度数据，最后 4 位是无效位，用零填充，所以服务器接收到数据以后必须对数据进行一定的处理，处理方式为正温度 = ADC 码 (十进制) / 16；负温度 = (ADC 码 (十进制) - 8192) / 16。其中 ADC 码使用所有 13 位数据字节，包括符号位，例如 -25℃ 的处理为：

$$\left((1111001110000)_2 - 8192 \right) / 16 = (7792 - 8192) / 16 = -400 / 16 = -25℃$$

4 系统软件设计

数据到达服务器存入数据库以后，如何才能够发现异常组件进行告警呢。首先我们假设每次发生组件失效是个小概率事件，这样我们引入异常数据点的概念，一般认为一批数据中有部分数据和其他数据相比有明显不一致的为异常数据。由于光伏阵列组件安装在相同的环境中，旁路二极管没有电流通过的时候温度基本保持一致，当然由于检测误差或环境微小的差异，温度值会有一些偏差，但是和有旁路电流流过的时候相比相差甚远，基于这个原理，我们很容易通过数据的不一致性监测到异常组件。通过程序读取数据库中某个时间段的所有组件 (n 个) 温度数据和相对应的组件编号存入数组 X 中，然后对数组中的温度数据进行从小到大进行排序，根据工程实践表明，经过良好维护的电站同时出现组件异常一般不超过 3 块，所以去掉最大的三个温度数据，对余下的温度数据求平均得到 T' ，然后分别求出 $X[n-1] - T'$ ， $X[n-2] - T'$ ， $X[n-3] - T'$ 的值存入 Y 数组，通过软件设定检测阈值 (工程实践设定 10℃)，然后对 Y 数组进行判断，如果有数据超过阈值就进行报警，并在屏幕上显示其编号，6 是 PC 机告警系统设计的软件流程图。

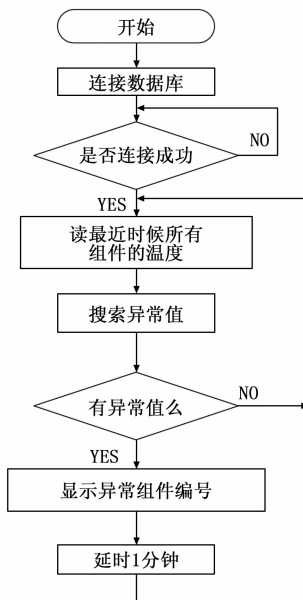


图 7 PC 机告警系统软件流程图

5 试验结果与分析

此 PC 机终端软件实现异常组件的定位和告警。图 8 为软件显示界面，软件由 vs2012 的 C# 语言实现，软件由数据库

连接模块, 登陆模块, 数据异常点计模块, 告警模块组成。对编号为 0001 的光伏组件进行遮挡试验, 过 2 分钟就能在软件界面显示异常信息, 显示数据准确, 编号相符, 符合设计要求。



图 8 PC 终端软件监控界面

6 结论

该设计通过检测旁路二极管温度的方法, 间接的监控了

(上接第 37 页)

检索字段的文本分析必须采用相同的分词系统。Lucene 系统会根据检索字段对存储结构中的文档进行排序, 从而返回最优的匹配结果。

Lucene 的文档评分算法如下^[10]:

$$Score = \sum_{t \in m-q} [tf(t_in_d) \cdot idf(t)/norm(d, t) + tf(t_in_q) \cdot idf(t)/norm(q)]$$

其中: $tf(t_in_d)$ 表示词 t 在文档 d 中的词频; $idf(t)$ 表示 t 在整个文档库中的倒排频率; $norm(d, t)$ 表示查询文档中 t 的权值; $tf(t_in_q)$ 表示词 t 在查询字段中的词频; $norm(q)$ 表示查询字段中查询词的权值。

经过评分和排序, Lucene 模块便会返回匹配检索要求的文档。

5 试验结果与分析

该故障检索系统按照上述的构建方式从故障树数据库和技术支持文档数据库获取相关信息, 列出与用户输入的搜索条目匹配的结果。例如, 搜索条目为“阵面 8V 互锁”, 则检索系统会显示以下结果:

故障出现的可能原因:

- 监控模块故障 出现概率: 37.5%
- 输出保护模块故障 出现概率: 37.5%
- 辅助源上管理电源开机的相应电路 出现概率: 25%

请参考以下文档:

《某型雷达电源阵面 8V 互锁故障分析及处理方法》;

《某型雷达电源单元互锁功能失效故障》。

经过测试, 检索系统可以获得相关度较高的故障信息, 从而可用来辅助排查。故障树分析模块根据失效概率对检索到顶事件的 MCS 进行排序, Lucene 文本检索模块根据算法评分对相关技术支持文档进行排序。从检索结果的相关度可见, 语义网的加入能够提高搜索精度。

6 结论

本文在融合语义网的基础上提出了一种故障检索系统的构

PV 组件中单体电池失效的情况, 方法简单独特, 并通过 Zig-Bee 自组网的方式, 实现数据实时上传到服务器, 解决了当前光伏电站安装偏远区域监控不便的问题, 并能及时发现、定位失效组件故障, 在一定程度上减轻了维护压力, 减少了电站维护费用, 并在设计中充分注意了数据异常的算法, 最后验证了系统监测稳定、可靠。

参考文献:

- [1] 熊志金. 基于无线传感器网络的列车货物安全监测系统 [J]. 计算机测量与控制, 2012 (8): 2102-2104.
- [2] 陈建新. 用于固体激光器泵浦的大功率脉冲 LD 驱动电路的设计与实现 [D]. 泉州: 华侨大学, 2013.
- [3] 翟载腾, 程晓舫, 丁金磊, 等. 被部分遮挡的串联光伏组件输出特性 [J]. 中国科学技术大学学报, 2009 (4): 398-402.
- [4] 海 涛, 梁挺兴, 黄曲达, 等. 一种高效的光伏监控方案及发电量预测 [J]. 计算机测量与控制, 2015 (8): 2637-2639.
- [5] 张经纬, 丁 坤, 卞新高, 等. 一种户外光伏组件测试平台研制 [J]. 电子测量技术, 2013 (7): 93-96.

建方法。该检索系统将产品研制、使用及维修过程中产生的历史故障数据以故障树形式组织, 并将故障树转化为 BDD 结构以快速获得顶事件的最小割集, 从而指导产品维修和排查。在文本语义的处理方面, 该系统针对某型雷达建立了专业词汇语义网, 对于提高文本语义匹配的准确性有重要意义。同时融合开源文本搜索引擎, 用于检索技术支持文档, 从而为故障排除提供综合参考信息。

在这种故障检索系统构建方法的基础上, 随着大数据的积累, 将来可增加知识推理模块, 提高诊断和排查指引的智能化程度。

参考文献:

- [1] 彭 为. 装备一体化精益保障架构及发展趋势 [J]. 现代雷达, 2013, 35 (8): 2-4.
- [2] 王 众, 曾 静. 复杂电子装备军地一体化保障平台建设 [J]. 国防科技, 2016, 37 (1): 82-85.
- [3] 吴永明, 叶海生. 基于 IETM 的装备故障诊断系统技术研究 [J]. 计算机测量与控制, 2011, 19 (10): 2377-2379.
- [4] 孙福安, 刘辉峰, 段方振. 一种雷达故障诊断专家系统设计 [J]. 现代雷达, 2014, 36 (9): 74-48.
- [5] 陈 勇, 王昌明. 基于自然语言理解的故障诊断方法研究 [J]. 计算机测量与控制, 2012, 20 (3): 610-613.
- [6] 刘 群, 张华平, 俞鸿魁, 等. 基于层叠隐马模型的汉语词法分析 [J]. 计算机研究与发展, 2004, 41 (8): 1421-1429.
- [7] 闵 苹, 童节娟, 奚树人. 利用二元决策图求解故障树的基本事件排序 [J]. 清华大学学报 (自然科学版), 2005, 45 (12): 1646-1649.
- [8] 高 巍, 张琴芳. 基于二叉决策图的故障树求解法 [J]. 核技术, 2011, 34 (10): 791-795.
- [9] Kohda T. A Simple Method to Derive Minimal Cut Sets for a Non-coherent Fault Tree [J]. International Journal of Automation and Computing, 2006, 2, 151-156.
- [10] 周登朋, 谢康林. Lucene 搜索引擎 [J]. 计算机工程, 2007, 33 (18): 95-118.