

光伏电站集成检测系统设计*

方白¹, 卜剑秋², 孟焯¹, 陈玉洁¹

(1. 东华大学 机械工程学院, 上海 201620;

2. 北华大学 电气信息工程学院, 吉林 吉林 132013)

摘要: 采用电子电路对光伏电站环境参数进行检测, 将采样得到的环境温度、组件温度和光辐照量转换成相应的电信号。利用单片机的实时控制和数据处理功能, 完成系统对环境参数的检测, 配置了 485 总线与上位机进行通信。充分考虑光辐照量测量的各种干扰, 进行了温度校正和谱校正, 确保测量的准确性, 实现了基于光伏电池的低成本光伏电站环境参数检测系统。

关键词: 光伏电站; 集成检测系统; 环境温度; 组件温度; 光辐照量

中图分类号: TP273

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2012)07-0088-04

Design of integrated detection system based on PV power station

Fang Bai¹, Bu Jianqiu², Meng Zhuo¹, Chen Yujie¹

(1. School of Mechanical Engineering, Donghua University, Shanghai 201620, China;

2. School of Electrical and Information Engineering, Beihua University, Jilin 132013, China)

Abstract: The parameters of the photovoltaic power plant working environment can be acquired by using electronic circuit, by which the ambient temperature, module temperature and the amount of solar radiation transformed to corresponding electrical signals. System environmental parameters have been tested by using real-time control and data processing functions of single-chip, the configuration of the 485-Bus enable communicating with the host computer. Taking various interference of solar radiation measurement into account, accuracy of measurement have been improved by apply temperature and spectral correction, by which achieve a low-cost photovoltaic cells based PV power plant environmental parameters detection system.

Key words: photovoltaic power plant; integrated measurement system; ambient temperature; module temperature; solar radiation

太阳能作为理想的可再生能源和绿色环保能源是缓解目前能源危机的最可持续途径。光伏电站作为利用的主要形式具有工作环境复杂多变, 系统工作状态受环境因素影响巨大的特点。其中光辐照量、环境温度和组件温度的准确检测为监控光伏电站运行状况及预测未来发电能力提供了可靠的量化依据, 对提高系统的安全性、可靠性有十分重要的意义。目前, 采用的检测方式大多系统复杂、成本昂贵, 制约了推广和使用。实践证明, 在许多系统应用中以较低成本达到 $\pm 5\%$ 的检测精度比通过高成本达到 $\pm 2\%$ 的检测精度更为可取^[1]。因此本设计采用了基于单片机的光伏电站检测系统, 运用成本低廉

的光伏电池作为光辐照量检测传感器, 完成了以下主要功能: 检测光伏电站实时接受的光辐照量、工作环境温度和系统组件温度, 并将以上数据输送到上位机储存和显示。系统采用友好的人机界面, 提供直观的数据显示, 具有成本低、安装维护方便等优点。

1 系统总体结构

根据光伏电站的工作需求, 该集成检测系统针对光辐照量、环境温度和组件温度参数进行采集、记录并输送到上位机进行储存和显示, 为监测光伏发电系统的工作状况及光伏电站的发电量提供依据。系统采用上下位机形式, 上下位机之间采用 RS-485 总线通信。总体结构如图 1 所示。

* 基金项目: 金太阳示范工程项目([2009]718号)

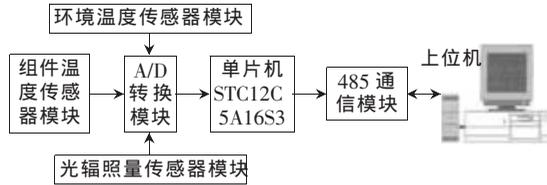


图1 系统总体结构

系统由硬件和软件两大部分组成。硬件系统完成数据采集、处理和转换。主控上位机为中央监控计算机,安装了自行开发的检测软件,可连接1个或多个下位机。下位机为自行研制的单片机集成检测器,具有规范化接口,可以根据需要修改下位机软件以改变系统。上下位机之间采用RS-485总线通信。其结构具有不封闭网络的特点,可方便地添加新节点,上下位机之间通过总线通信,速度快;当某个节点发生故障时不干扰其他节点工作,保证了系统不会因为局部工作不正常而瘫痪。

2 光辐照量检测原理及校正

2.1 光辐照量检测原理

传统的光辐照度测量方法主要是测辐射热剂等热探测器。其工作温度范围小、成本昂贵、后期维护费用高等缺点制约了推广使用。因此,实际应用中越来越多采用成本低廉的光伏电池等光电探测器作为传感元件。

光伏电池作为光辐照量检测元件是利用其内光电响应即伏安特性,如图2所示。光电池的短路电流与入射光辐照量具有良好的线性关系。因此,可利用检测短路电流来反映光辐照量值。短路电流受温度和光谱变化的影响很大,会导致测量误差,因此要进行温度校正和谱校正^[2]。

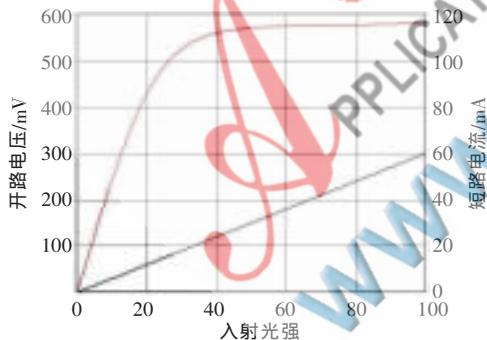


图2 光伏电池伏安特性

2.2 温度校正

硅光电池的伏安特性受温度影响大,如图3所示,温度上升,短路电流显著增加。检测光伏电池多数是在光辐照度为 1000 W/m^2 、温度为 $25\text{ }^\circ\text{C}$ 、标准谱分布的标准测试环境中进行。这与光伏电站实际工作环境差别很大,实际工作环境中光伏电池工作温度接近 $50\text{ }^\circ\text{C}$ 。这种差别会产生重大的检测误差。

为了消除温度的瞬时影响,应用Blaesser方法使在实验室条件下的测量结果推广到不同环境温度下^[3-4]。

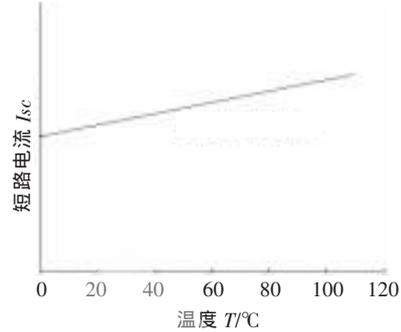


图3 光电池输出的温度变化曲线

$$I_2 = I_1 \frac{E_2}{E_1} [1 + \alpha (T_2 - T_1)] \quad (1)$$

式中, α 为电流温度校正因子, I_1 为实验环境中的短路电流(mA), T_1 为实验环境中的短路温度($^\circ\text{C}$), E_1 为实验环境中的短路辐照量(W/m^2), I_2 为工作环境中的短路电流(mA), T_2 为工作环境中的短路温度($^\circ\text{C}$), E_2 为工作环境中的短路辐照量(W/m^2)。

将式(1)中模块温度进一步修正为对短路电流变化影响更为直接的节点温度 T_j 以保证更高的准确性^[5]。

$$T_j = T_a + \frac{T_n - 25}{1000} E \quad (2)$$

式中, T_j 为节点温度($^\circ\text{C}$), T_a 为环境温度($^\circ\text{C}$), T_n 为光辐照量为 1000 W/m^2 、环境温度为 $25\text{ }^\circ\text{C}$ 时的组件温度($^\circ\text{C}$), E 为测量时的光辐照量强度(W/m^2)。

2.3 谱校正

除了温度外,太阳光谱变化也会导致光伏电池的短路电流响应变化。美国材料与试验学会(American Society for Testing and Materials)已给出了光伏设备谱密度补偿的标准方法。任意测试谱分布下的短路电流通过谱校正参数 M 校正为标准太阳谱分布的响应。因此,可将标准测试环境中的短路电流响应推广到实际工作环境中^[5]。

$$M = \frac{\int_a^b E(\lambda) R_l(\lambda) d\lambda \int_c^d E_o(\lambda) R_r(\lambda) d\lambda}{\int_c^d E(\lambda) R_r(\lambda) d\lambda \int_a^b E_o(\lambda) R_l(\lambda) d\lambda} \quad (3)$$

$$M \approx \frac{I_{sc_l}}{E^*} \frac{E_o^*}{I_{sc_o}} f(AM_a) \quad (4)$$

式中, I_{sc_l} 为工作环境中的短路电流(mA), E^* 为直射条件下热辐射计测得的光辐照量(W/m^2), E_o^* 为直射条件下、 $AM=1.5$ 时热辐射计测得的光辐照量(W/m^2), I_{sc_o} 为直射条件下、 $25\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $AM=1.5$ 时的短路电流(mA)。

大气质量 AM 为太阳在任何位置与在天顶时通过大气到达观测点的路径之比。

$$AM = [\cos(Z_s) + 0.5057(96.080 - Z_s)^{-1.634}]^{-1} \quad (5)$$

式中 Z_s 为太阳天顶角($^\circ$)。

式(4)中校正参数 AM_a 是通过将大气质量修正为与测试地点纬度相关的绝对大气质量,以补偿测量地点纬度不为海平面而造成的误差,作为独立变量用于校正连

续变化的光谱。绝对大气质量由太阳天顶角和纬度决定^[5]。

$$AM_a = \frac{P}{P_0} AM \quad (6)$$

$$\frac{P}{P_0} \approx e^{(-0.001184h)} \quad (7)$$

式中, P 为工作环境气压 (Pa), P_0 为海平面标准气压 (Pa), h 为工作地点的纬度 ($^\circ$)。

太阳天顶角 Z_s 可由下式推得^[6]:

$$Z_s = 90^\circ - \theta_A \quad (8)$$

$$\theta_A = \arcsin[\sin\theta_D \sin\theta_L + \cos\theta_D \cos\theta_L \cos\theta_H] \quad (9)$$

$$\theta_D = 23.45^\circ \sin\left[\frac{2\pi}{365}(284+N)\right] \quad (10)$$

$$\theta_H = 15^\circ (hour - 12) \quad (11)$$

式中, Z_s 为太阳天顶角 ($^\circ$), θ_A 为太阳高度角 ($^\circ$), θ_D 为太阳赤纬 ($^\circ$), θ_L 为地理纬度 ($^\circ$), θ_H 为以正午太阳为原点的小时角 ($^\circ$), N 为为日数 (自 1 月 1 日开始计算), $hour$ 为 24 小时制测量时刻。

如图 4 所示, 光伏电池的短路电流响应与绝对大气质量有密切关系。由于非晶硅只能对小于 900 nm 波长的光谱分量产生响应, 其辐照响应随绝对大气质量的上升而大幅度减少。因此, 在不同谱校正的情况下进行辐照量测量会产生重大误差。

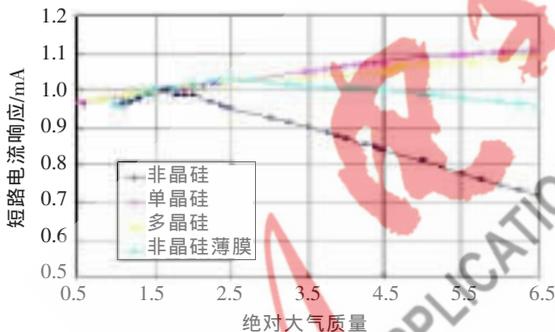


图 4 光伏电池辐照量响应随绝对大气质量变化曲线

2.4 校正后辐照量响应

经温度校正和谱校正后得出校正后辐照量与短路电流的关系如式 (12):

$$E_i = \frac{UE_d[1 - \alpha(T - T_0)]}{f(AM_a)} \quad (12)$$

式中, E_i 为太阳辐照量 (W/m^2), U 为光伏电池响应 (mV), E_0 为参考辐照量水平, $E_0 = 1000 W/m^2$, α 为温度系数 ($1/^\circ C$), T 为组件温度 ($^\circ C$), T_0 为参考温度, $T_0 = 25^\circ C$ 。

利用式 (13) 对多晶硅的短路电流进行校正可以看出, 校正后的辐照量响应与辐照量间具有良好的线性相关性, 如图 5 所示。因此, 可以通过测量短路电流精确地反映系统实时接收的辐照量。

3 系统硬件设计

本系统采用上下位机的形式, 下位机以单片机为控制核心, 加外围扩展电路, 具有检测和储存对象信号的

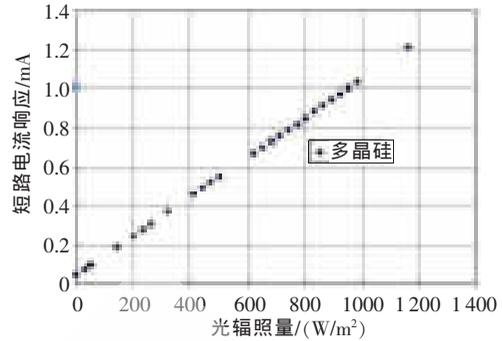


图 5 不同辐照量下光伏电池短路电流响应

功能, 并且扩展了 485 通信接口, 可将采集的数据传输到总线上, 实现与上位机的数据交换。三路传感器检测通路分别测量辐照量、环境温度和组件温度, 经 A/D 转换后输入单片机, 单片机响应上位机的通信请求后将检测数据传输至上位机储存和显示。本系统采用了单片 A/D 转换芯片, 单片机通过模拟开关控制各时刻送入 A/D 的数据种类, 降低了成本。

3.1 辐照量及温度检测通路硬件设计

采用以 AD623A 为放大器的调理电路, 前级经滤波、电流电压转化输入放大器进行信号放大。之后, 信号送入模拟开关 MC14433, 由单片机控制模拟开关的导通, 确保某一时刻只有确定的一路检测信号送入 A/D 转换芯片进行数模转化。辐照量检测通路的硬件电路图如图 6 所示。

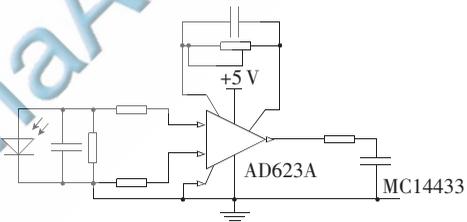


图 6 辐照量检测通路

本系统的温度检测包括环境温度检测和组件温度检测。所检测的数据不仅用于储存和显示以反映系统工作环境, 还用于辐照量检测的校正, 精确度要求较高。采用 Pt100 温度传感器, 其硬件电路如图 7 所示。

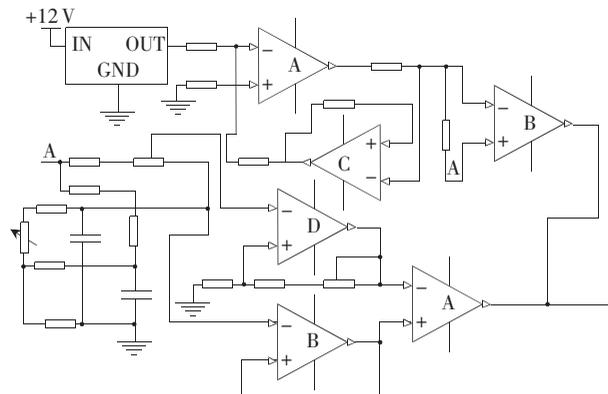


图 7 温度检测通路

采用三线式接法消除引线线路电阻带来的测量误差,选用三根等效电阻相等即 $R_{r1}=R_{r2}=R_{r3}$ 的引线,将铂电阻作为不平衡电桥的一个桥臂,将其中一根导线 R_{r1} 接到电桥的电源端,其余两根导线 R_{r2} 和 R_{r3} 分别接到铂电阻所在桥臂及其相邻桥臂上,则两桥臂引入了相同阻值的引线电阻,从而使得电桥处于平衡状态,引线电阻的变化对测量结果产生的影响会相互抵消。

3.2 系统控制主模块的选择

本系统控制器基本控制电路如图 8 所示。系统的串口通信由专用芯片 ISO3080 完成。CPU 电路由 STC12C5A160S2 作为中央处理器加外围电路组成。系统具有自动上电复位电路和掉电保护的电压检测电路。单片机的主要作用是控制每个时刻送入 A/D 转换芯片的检测对象;将 A/D 转换完毕的数据存入单片机中;响应上位机数据传输请求,将存在单片机中的数据输入总线最终送上位机;在掉电时将片内 RAM 中尚未送入上位机的数据存入 EPROM。根据以上的功能要求,确立了 3 级中断即掉电中断、A/D 数据传输中断、串口通信中断,各中断的中断优先级依次降低。单片机分时扫描各 I/O 口,以确定中断产生并控制系统进行响应。

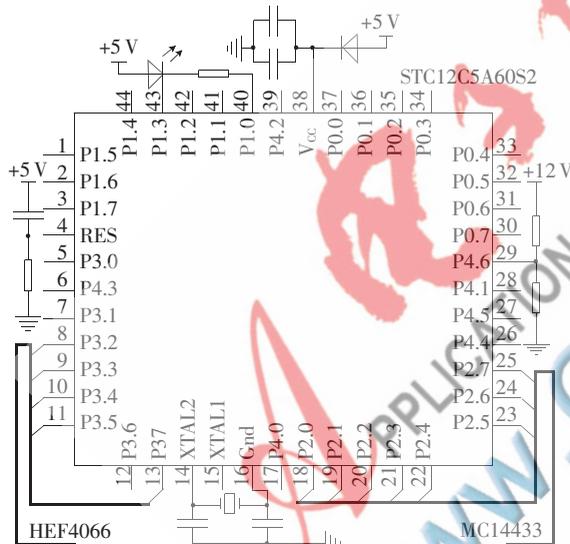


图 8 控制器基本电路

4 系统软件设计

系统软件包括主程序、掉电保护子程序、串口通信子程序、辐照量校正子程序,软件结构如图 9 所示。

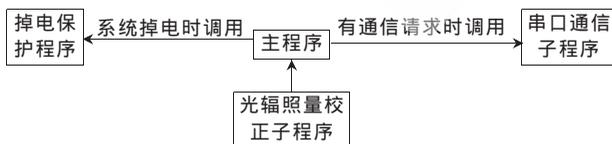


图 9 系统软件结构

主程序分时检测光电池板短路电流、环境温度 and 组件温度并分别送入 A/D 转换,在检测信号完成 A/D 转换后送入单片机中储存。

辐照量校正子程序将检测到的光电池短路电流 I_{sc} 通过温度校正和谱校正转化为光辐照量的实时值并储存在单片机中。

当系统在意外情况掉电时调用掉电保护子程序,将储存在单片机 RAM 中的掉电时间、掉电时刻光辐照量值和温度值等数据存入 EEPROM 中,并在上电后将数据再次读出输送到上位机。

当有上位机通信请求时调用串口通信子程序,进行串口通信,将采集的数据根据上位机需要传输到上位机储存或显示。

本文设计的光伏电站集成检测系统成本低、体积小、安装方便、运行可靠、性价比高,可在全天候条件下、不同温度和不同光谱分布环境中实现高精度的光辐照量检测,可长时间自主稳定运行,安装后基本不需要现场维护。本光伏电站集成检测系统可广泛应用于对光伏电站工作环境的检测,为监控光伏电站运行状况及预测未来发电能力提供可靠的量化依据。

参考文献

- [1] KING D, BOYSON W, HANSEN B. Improved accuracy for low-cost irradiance sensors[C]. Proceedings of the 2nd World Conference and Exhibition on Photovoltaic Solar Energy Conversion, Vienna, Austria, 1998.
- [2] SINGH P, SINGH S N, LAL M, et al. Temperature dependence of I-V characteristics and performance parameters of silicon solar Cell [J]. Solar Energy Materials & Solar Cells, 2008, (92):1611-1616.
- [3] BLAESSER G. PV system measurement and monitoring: the european experience [C]. Proceedings of 9th International Photovoltaic Science and Engineering Conference, Miyazaki, 1996:13-15.
- [4] BLAESSER G, ROSSI E. Extrapolation of outdoor measurements of PV array I-V characteristics to standard test conditions[J]. Solar Cells, 1988, 25:91-96.
- [5] KING D, KRATOCHVIL J A, BOYSON W E, et al. Field experience with a new performance characterization procedure for photovoltaic arrays [C]. Proceedings of the 2nd World Conference and Exhibition on Photovoltaic Solar Energy Conversion, Vienna, Austria, 1998.
- [6] KING D, KRATOCHVIL J A, BOYSON W E, et al. Applied photovoltaics[M]. London: Earthscan, 2008:172-17.

(收稿日期:2011-12-11)

作者简介:

方白,男,1984年生,硕士研究生,主要研究方向:机械电子工程。