

自主调节跟踪的太阳能装置及控制方法

朱俊昊¹, 何中杰^{2*}

- (1. 杭州骏隆霓虹电子产品有限公司, 浙江 杭州 310006;
2. 杭州电子科技大学 自动化学院, 浙江 杭州 310018)

摘要: 针对太阳能装置工作日阳光和电池板成角难保持垂直, 光伏发电效率低的问题, 推出了一种可以保持阳光和电池板垂直以提高光伏发电效率的自动跟踪控制系统, 给出了相关控制策略及调节算法。该控制系统以 AT89C51 单片机为核心, 依据环境条件自主判断是否满足开机运行要求, 如条件满足, 则根据当日的日照时间, 控制时段, 分别由两组步进电机及驱动机构调节太阳能装置的高度角和方位角, 实现全天自动跟踪分时调节控制, 使电池板和太阳光保持垂直角度, 以获取最好效率。天气条件不满足运行要求时, 如下雨或光照度不足, 装置会自动停机; 若遇刮风且风力可能对太阳能装置造成损害, 为避免不必要的外力损坏, 装置会自动改变姿态。试验结果证明: 该系统安装方便、初投资和运行成本低, 可靠性好; 和固定安装的光伏系统相比, 其光电转换效率明显提高。

关键词: 太阳能装置; 跟踪控制; 步进电机

中图分类号: TP18; TP273; TH39

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2012)05-0545-04

Self-regulating solar tracking device and its control method

ZHU Jun-hao¹, HE Zhong-jie²

- (1. Hangzhou Junlong Neon Electronic Products Ltd. Co., Hangzhou 310006, China;
2. School of Automation, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: In order to solve the problems of low photovoltaic power generation efficiency for that the angle of sun and solar panels is difficult to maintain the vertical, an automatic tracking which could maintain the vertical of the sun and solar panels to improve the efficiency of photovoltaic was designed. The control strategy and adjustment algorithm of the system were presented. The control system has single-chip microcomputer AT89C51 as the core, and can judge independently whether meet the boot operation conditions according to environmental conditions. If the conditions are satisfied, according to the duration of sunshine and the control periods, the solar elevation angle and azimuth angle are regulated by two groups of stepping motors and driving mechanism respectively, thus making the implementation of the time-division automatic tracking regulation control all day, which makes the panels and sunlight keeping the vertical angle, to obtain the best efficiency. If the weather conditions do not meet the requirements, for example, mechanism will shut down automatically when it rains or the illuminance is insufficient, and automatical change of the attitude could avoid unnecessary outside force damage when the wind may cause damage. The experimental results show that the system has the advantages of convenient installation, low initial investment and operating costs, and good reliability. Compared to the fixed installation of photovoltaic system, the photovoltaic conversion efficiency of the system is significantly improved.

Key words: solar device; tracking control; stepping motor

0 引 言

低碳经济是当今世界各国发展经济的追求, 而清洁能源的有效开发利用是解决环境保护与经济良性发

展的必然途径。太阳能是世界公认清洁无污染能源, 地球每年从太阳获得的能量高达 6×10^{17} kW·h, 比目前人类年消耗的全部能量还多几万倍, 有着巨大的开发前景^[1]。法国在 1971 年建起了世界上第一座试验

收稿日期: 2012-02-01

作者简介: 朱俊昊(1954-), 男, 浙江杭州人, 主要从事光电系统设计与新能源开发方面的研究. E-mail: zjh138571@163.com

通信联系人: 何中杰, 男, 博士. E-mail: hzhj202@zju.edu.cn

性塔式太阳能电站,5年后,在比利牛斯(奥杰依奥)安装了功率为100 kW的太阳能电站,1983年又在位于东比利牛斯附近的塔尔加索思城建成第一座大型“杰米斯”太阳能电站^[2]。上世纪80年代初,美国、西班牙、意大利、日本等在太阳能电站研制方面做了不少工作,并取得了一定成效。众所周知,第1代太阳能电站的效率很低。这不仅是受光电元件性能、效率影响,而且受装置结构设计布置因素影响。目前太阳能电池板多为平板式、固定角度方式布置^[3],如在北半球太阳能电池板通常采用朝南某角度固定安装,以采集太阳能。固定方式虽然成型简便,但太阳能的利用效率低^[4],这在实践中已得到充分证明。假如电池板对太阳光始终保持垂直,可使光电转换效率达到最大,同一装置太阳能的利用效益将获得提高。因此,如何使太阳能电池板跟踪太阳以获取最大效率逐渐成为研究的热点,其中如何精确计算太阳位置^[5-6]及自动跟踪太阳技术也成为研究的重点^[7-8]。

本研究详细介绍一种以单片机为核心的自动跟踪控制系统及实现跟踪的软件算法,其装置具有光电转换效率高、跟随运行耗能少,成本低、操作简单、安装方便等特点。

1 太阳能跟踪调节系统的构成及功能

1.1 系统支持结构及功能

本研究设计的太阳能自动调节跟踪装置的支持结构示意图如图1所示,其由支持太阳能电池面板的星型支架、底座等紧固件,步进电机1、步进电机2和驱动机构等组成。星型支架结构简单,稳定性好,特别是装置重量减轻为电池面板调节过程降耗打下了良好的基础。控制系统的自主跟踪操作主要由步进电机1和步进电机2实现。步进电机1和驱动机构主要是调节跟踪太阳能电池板的偏转方位角;而步进电机2和驱动机构则实现对太阳能电池板的高度角的调节控制。该系统通过适时调节太阳能电池板的偏转方位角和高度角以获得光伏转换的高效率。该控制系统的另一个功能是当遇到大风或雷雨等特殊天气,系统将自主响

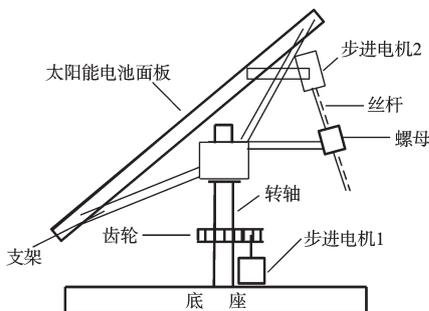


图1 太阳自动跟踪装置的结构示意图

应启动调节步进电机2,使太阳能电池板高度角很快减低,并实现0角度放置,以最大限度减少灾害风力或雷电对光伏装置的不利影响。

1.2 控制系统结构

控制系统主要由:光电及风力检测传感器、微处理控制器、步进电机驱动信号放大、执行环节、液晶系统状态显示及数据存储(包括简易键盘及相应外围电路、手动调节控制)、电源等环节组成,其结构及输入/输出信号关系如图2所示。控制器是太阳能调节装置的核心部分,考虑到目前大多数用户的知识储备,便于对接及降低成本,本研究采用最常见的AT89C51单片机做太阳能调节控制系统的控制器。

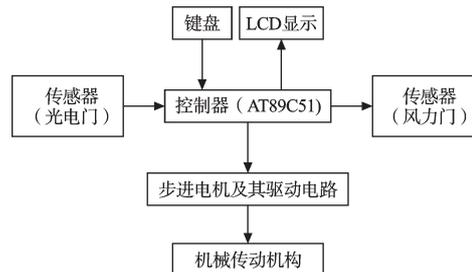


图2 控制系统结构及信号关系示意图

该系统设有10个数字键和4个字符(A、B、C、D)键及两个特殊功能键,其相关电路直接和单片机相连以完成调节时间、功能参数修改及切换显示等操作。而光电门及风力门输入电路(传感器)用于系统依据外界光照、风力实时环境以判断开机、复位及关机避险。AT89C51单片机的端口地址和功能分配如表1所示。为了不影响太阳能电池集热面积,风力检测传感器安装除考虑风的敏感部位外,要防止阴影遮阳;同理,光电检测传感器要能准确反映环境光线强弱程度,拟设在和太阳能电池面板平行位置上。夜晚和阴天光照强度不足时,控制系统自动识别信号使装置及时调节系统处于待机状态;而当风力超过一定值,有可能对装置构成危害时,控制系统将立即启动步进电机2,改变太阳能电池面板高度角,使其成水平放置状态,此时调节系统也处于待机状态,可有效避免外力危害和不必要的系统运行耗能;待机状态有利于当时环境满足运行条件时恢复运行。同理,当遇雷雨天气时,通过光电门触发启动步进电机2,使太阳能电池面板成水平放置状态。当外部环境达到开机运行标准时,系统自动返回,实行自动调节跟踪控制,保证高效光电转换需求。

1.3 系统工作电源及环节间信号关系

系统工作电源的性能好坏至关重要,该装置有强、弱电两组电源。为减少电源间互相干扰,强、弱电分开处理:将调节控制环节、系统状态液晶显示环节、外围器件以及控制电路的电源为一组;而将为步进电机提

表1 89C51的端口地址和功能分配表

端口或RAM单元	功能分配	端口或RAM单元2	功能分配3
P1	作键盘输入端口	20H~24H	存储日期和时间(压缩BCD码形式)
P2	驱动电机转动	31H	计T0中断数
P0	作LCD地址/数据复用线	32H	存放调整时刻点的序号
P3.0, P3.1	光电门信号输入口	33H, 34H	方位角、高度角的相对循环数
P3.4	风力传感器输入口		A/D转换比较
P3.2(INTO)	提供键盘中断服务	35H, 36H	当前方位角、高度角的绝对循环数
WR, RD	对LCD的读写信号	37H	切换显示标志
ALE	锁存低8位地址	38H	存放区域代号
F0	B电机正反转标志位	39H	设定存放设定项的地址

供动力的功率电源为另一组,控制环节间信号关系与工作电源配置如图3所示。为了控制系统可靠工作,笔者强化了稳定性和可靠性设计,强、弱电布线严格隔离。步进电机功率电源电压选择与电机功率有关,即主要和太阳能面板、自动跟踪装置重量有关。这里选36V作为步进电机1、2的功率电源电压。根据工况需求,步进电机1、2都需要正反转工作。

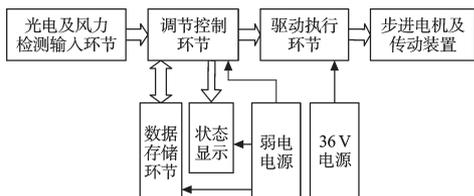


图3 环节间信号关系与工作电源配置

2 软件设计

2.1 设计依据

当前,自动跟踪调节控制有两类:坐标法和定时法。坐标法是将3个光敏传感器放置在不同的朝向,一个竖直朝天放置,一个朝正东,另一个朝正西放置,太阳从不同角度照射到3个传感器上,光强不同,产生的光电流强度不同。太阳光方向与正东方的夹角 θ 与光强(或光电流)的关系会发生变化。依据 θ 值调整太阳能电池板的角,使得太阳能电池板始终和阳光垂直。其优点在于调整精确度较高,能获取较好的光电转换效率,但实现电路过于复杂,实时计算工作量较大,也因控制系统一直处于工作状态,其损耗较大。定时法是依据当地经纬度参数及时间信息,太阳赤纬、时角,计算出太阳的高度角和方位角;而后由单片机分别控制步进电机,通过传动机构改变太阳能电池板的朝向,从而达到自动、准确跟踪太阳的目的。这种先算不同时刻电池板转动角度、然后驱动控制跟踪的方法,虽然存在误差,但由于离线计算,分时控制,使电池板紧跟太阳位置,运行操控更方便。

众所周知,太阳每天东升西落貌似不变,其实一年四季的日照时间及南北移动位置都在悄悄改变着。太阳高度角也随着地方时和太阳赤纬的变化而变化。通

常为方便跟踪调节控制,设日出、日落时角度均为0,正午时太阳高度角最大。以杭州为例:夏至日的太阳高度角为 $83^{\circ}10'24''$,时角为0。太阳赤纬(与太阳直射点纬度相等)用 δ 表示,其值可由文献[9]查得; φ 为装置所在地地理纬度(太阳赤纬与地理纬度都是北纬为正,南纬为负),取一位小数,地方时(时角)以 t 表示,则太阳高度角 h 可由参考文献[9]提供的公式求得:

$$\sin h = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \Omega \quad (1)$$

方位角 A 可由下式算得:

$$\cos A = \frac{\sin \delta \cdot \cos \varphi - \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \Omega}{\sin h} \quad (2)$$

其中日出、日落时刻的太阳方位角算式:

$$\cos A = -\frac{\sin \delta}{\cos \varphi}$$

太阳时角(Ω)有:

$$\Omega = (t - 12) \times 15^{\circ} \quad (3)$$

式中: t —真太阳时。

且:

$$t = C_T + L_C + E_Q \quad (4)$$

式中: C_T —北京时; L_C —经度修正值($4 \text{ min}/^{\circ}$),如地方子午圈在北京子午圈的东边取正值; E_Q —时差,可由文献[9]附表查得。

太阳夏至日的方位角是一年中的最大值,冬至日是一年中太阳高度角最小值。由这两个特殊日子的太阳高度角和方位角,就能够清楚地知道一年中太阳光线对该装置的光照覆盖。

2.2 软件控制策略

系统的工作程序存放在EPROM中,利用当日的日期求出装置所在地当日的赤纬角 δ ,然后用当地的纬度确定当日的日出和日落时间,控制程序自主判断调节时间是否在日出后日落前。依据公式(1~3)及太阳运动规律,可以计算出太阳能电池板每分钟应转动的角度。由于步进电机的步距角是一个定值,在软件设计跟踪子程序时,应充分考虑计算结果与步距角的关系。理论上只要调节太阳能电池板的太阳高度角和方位角就可以保持和阳光垂直,实现最优光伏转换效果。而实际上,

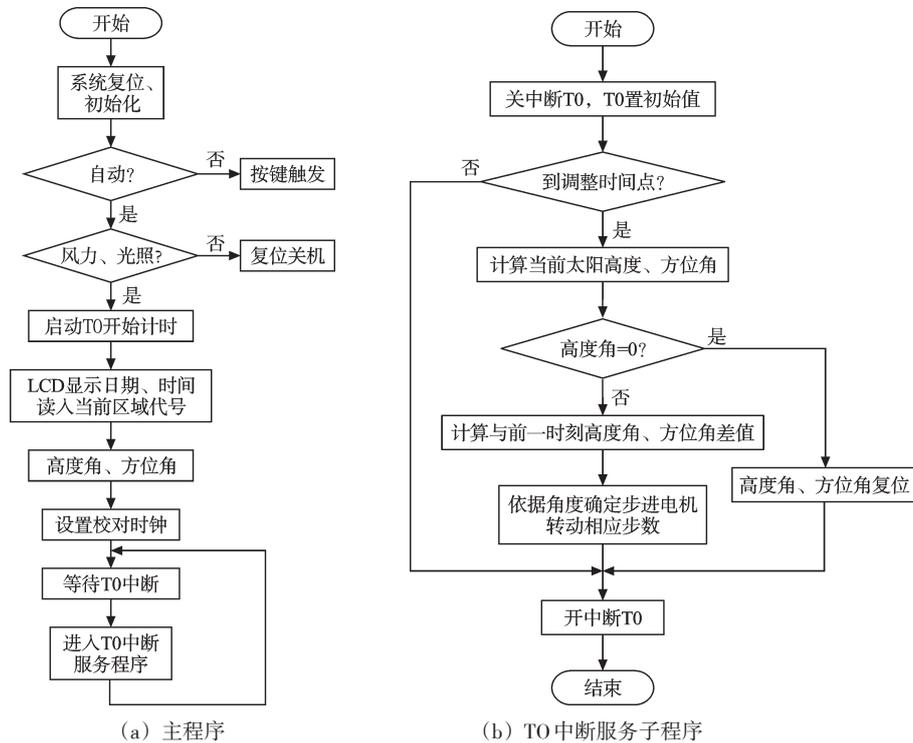


图4 太阳自动跟踪系统程序流程图

不间断调节存在运行耗能,且有步距误差,以在杭州市调节测试为例:日操作调节48次,就可达到较好的转换效率。依据公式(1~3)算得的对应调节时刻的方位角和高度角,并将相应角度转换成步进电机1和步进电机2转速的脉冲个数,输出脉冲的个数根据实际运行需要确定,以避免电机往复运行和引起误差。

调节跟踪控制系统实时读取风力及光照数据,如发现风力或光照超出安全运行规定值,控制系统立即响应复位指令,减少高度角,使太阳能面板调到水平放置位置。当运行条件满足要求后,重新调整并做跟踪控制运行。控制系统主程序流程框图及中断服务子程序如图4所示。

3 结束语

本研究较详细地介绍了一种基于AT89C51单片机的太阳能电池跟踪调节控制系统的硬件及软件设计。先利用当日的日期求出当日的赤纬角 δ ,然后再利用当地的纬度确定当日的日出和日落时间。控制程序判断调节时间是否在日出后日落前,如条件满足,根据当日的日照时间,并控制跟踪调节装置机械系统,实现全天自动分时调节控制工作。在晴天光线足够强、而风力对装置安全不构成影响的情况下,系统会根据视日运动轨迹和由光电跟踪系统产生的轨迹调整量,作合理分时跟踪。在雷雨、阴天或光线不足的情况下,由于光电检测电路不会产生控制信号,光电跟踪系统产生的轨迹调整量为零,系统只依据视日运动计算轨迹和程序储存的轨

迹修正量进行跟踪。该系统通过计算太阳高度角,以判断昼夜,不满足运行条件步,则步进电机停止工作,从而减少电能消耗。该装置具有结构简单、可靠性高、抗干扰能力强以及经济实用等优点,具有较好的应用前景。

参考文献(References):

- [1] 李建中,丁新军. 浅谈太阳能利用[J]. 电力与能源, 2010(19): 350.
- [2] 曹莹. 家用太阳能光伏发电系统设计[J]. 机电工程, 2011, 28(1): 115-117.
- [3] 常泽辉,田瑞. 固定式太阳能方阵最佳倾角的实验研究[J]. 电源技术, 2007, 31(4): 312-314.
- [4] 苏忠贤,周军,潘玉良. 固定式太阳能光伏板输出功率的若干问题[J]. 机电工程, 2008, 25(12): 31-38.
- [5] REDA I, ANDREAS A. Solar position algorithm for solar Radiation applications [J]. **Solar Energy**, 2004, 76(5): 577-589.
- [6] SPMUL A B. Derivation of the solar geometric relationships using vector analysis[J]. **Renewable Energy**, 2007, 32(7): 1187-205.
- [7] HELAL D. UWB File Transfer between Mobile Terminals Using Multi-Media Card Standard Interface and Blue Tooth as a Control Radio [C]//2005 IEEE International Conference on Ultra Wideband, 2005: 609-614.
- [8] 张善文,张剑峰,陈思栋. 太阳光线双轴跟踪装置的机械系统设计[J]. 机械工程与自动化, 2010(4): 91-93.
- [9] 中国气象局. 地面气象观测规范[M]. 北京:气象出版社, 2003: 133.

[编辑:张翔]