

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2018.06.020

复合式太阳能跟踪控制器的设计^{*}

张晓军, 杨家强^{*}, 汪俊杰

(浙江大学 电气工程学院, 浙江 杭州 310027)

摘要:针对斜单轴太阳能跟踪系统单一跟踪方式跟踪精度低、存在跟踪累积误差、受天气影响大、稳定性差等问题,对太阳运动轨迹和光伏阵列跟踪轨迹建立了数学模型。提出了采用视日运动轨迹粗跟踪(此时误差 2° 内),然后通过二象限硅光电池光照传感器实现了精准跟踪(误差矫正到 0.5° 内的复合式跟踪方式);利用2.25 kW斜单轴跟踪装置,对所提复合式跟踪模型进行了验证和测试。研究结果表明:采用所提的复合式跟踪方式系统的跟踪误差在 0.5° 内,光伏阵列发电量比固定式光伏阵列发电量高26.2%,可以消除累计误差,克服天气影响,实现全天候可靠运行,对于提高光伏跟踪系统的跟踪精度和光伏电站发电量具有重要意义。

关键词:斜单轴;光照传感器;复合跟踪

中图分类号:TP24;TK513.4

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2018)06-0649-04

Design of compound solar tracking controller

ZHANG Xiao-jun, YANG Jia-qiang, WANG Jun-jie

(College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: Aiming at the single inclined uniaxial solar tracking system has low tracking precision, tracking accumulated error exists, affected by the weather and poor stability problems, the trajectory and photovoltaic solar array tracking trajectory mathematical model was established, which proposed depending on the day trajectory coarse tracking (error 2°) at this time, then through two quadrant silicon photocell light sensors to realize accurate tracking (error correction to within 0.5°). A 2.25 kW diagonal tracking device was used to verify and test the proposed compound tracking model. The results indicate that the proposed composite tracking mode can make the system tracking error within 0.5° , PV array output 26.2% higher than fixed photovoltaic array output, and it can eliminate the accumulated error, to overcome the weather affect, realize the all-weather reliable operation, which to improve the tracking precision of PV tracking system and photovoltaic power generation is of great significance.

Key words: inclined single axis; light sensor; composite tracking

0 引言

目前太阳能的收集利用存在光电转换效率低的问题:(1)硅光材料自身光电转化效率低;(2)由于传统发电装置太阳能电池板固定,太阳光线无法垂直照射电池板^[1-3]。

近年来,许多机构和学者将研究重点转到太阳能跟踪装置上,主要有斜单轴和双轴两种跟踪装置。斜单轴跟踪方式虽然比双轴跟踪效率低4%~6%,但系统结构简单可靠、经济性高,在光伏发电领域获得大规模应用。

斜单轴跟踪方式主要有视日运动轨迹跟踪和光电传感器跟踪。采用视日运动轨迹跟踪时,虽然系统结构简单、跟踪稳定,但跟踪精度低,而且对光伏支架安装精度要求较高;采用传感器跟踪虽然跟踪精度高,但存在响应慢、稳定性差、不能全天候运行等问题^[4-8]。

本文将设计一款基于视日运动轨迹跟踪和光电跟踪相结合的复合太阳能自动跟踪系统。

1 系统总体设计

太阳能跟踪控制器主要是使光伏板和太阳光线入

收稿日期:2017-10-27

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51777191)

作者简介:张晓军(1991-),男,山东临沂人,硕士研究生,主要从事光伏跟踪方面的研究。E-mail:eezxj91@zju.edu.cn

通信联系人:杨家强,男,副教授,硕士生导师。E-mail:qiq1998@163.com

射夹角最小,所以整个系统主要包括核心控制器 TMS320F28035、GPS 模块、直流减速电机及其驱动电路、倾角传感器、光照传感器等部分。

系统结构框图如图 1 所示。

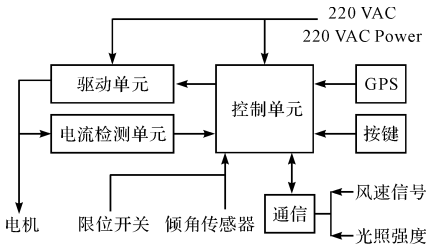


图 1 系统结构框图

该系统采用视日运动轨迹跟踪和传感器跟踪相结合的方式实现全天候的高精度跟踪。系统工作时,DSP 通过 GPS 模块获得当地的地理经纬度和时间,并计算出跟踪角度,通过角度传感器闭环反馈,驱动直流减速电机转动到相应的角度。转动到计算角度后,传感器会检测此时两侧光强是否在阈值内,超过阈值系统会进行调整,直到误差在阈值内,这样实现了误差的最小化^[9]。

1.1 直流电机驱动模块

电机驱动选用 Intersil 公司的高频全桥驱动芯片 HIP4081。该芯片内部集成了 CMOS 控制电路和由 MOS 管组成的 H 桥,芯片内部自带死区时间设置,用来保护 H 桥的 4 个场效应管,效率高达 97%。

1.2 倾角传感器

倾角传感器用来检测光伏板的倾斜角度。传感器选用 SCA60 芯片,当传感器绕跟踪轴转动时,其输出电压 V_{out} 和倾角 β 的对应关系为:

$$\beta = \arcsin \frac{V_{out} - V_{offset}}{S_{sensitivity}} \quad (1)$$

式中: V_{offset} —倾角传感器放平时的电压输出值,一般 2.5 V; $S_{sensitivity}$ —传感器灵敏度,一般为 2 V/g,相邻角度输出电压差约为 0.022 V。

设计时,将 SCA60 固定在南北转轴上,处理器根据 SCA60 输出电压判断太阳能电池板的角度。

1.3 光照传感器模块

本文设计的跟踪系统中光照强度传感器使用的是 LXD66MQ 硅光电池。硅光电池特性图如图 2 所示。

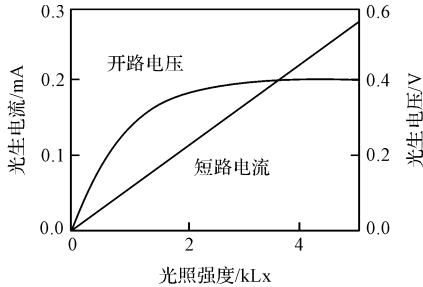


图 2 硅光电池特性图

本研究采用硅光电池作为光照传感器正是基于硅光电池的短路电流和光照度(光能量)成线性的关系,通过对短路电流放大然后装换为电压信号送到处理器,定量计算出光照强度。

1.4 无线通信模块

本研究通过无线模块实现太阳能跟踪系统与上位机的双向数据通信,将跟踪系统的数据发送到云平台,管理员在云平台上实时监测系统的运行状况,远程控制跟踪系统。

操作界面如图 3 所示。



图 3 上位机监控界面

2 系统软件设计

首先需要对太阳的运动轨迹建立数学模型,获得当地的太阳方位角和高度角。

2.1 视日运动轨迹跟踪系统数学模型

视日运动轨迹跟踪主要通过在地平坐标系下建立太阳运动轨迹模型,通过对轨迹的计算获得太阳的实时位置。太阳位置示意图如图 4 所示。

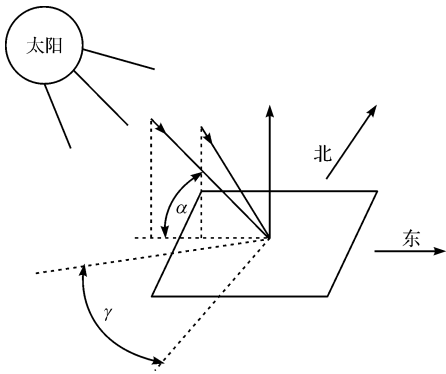


图 4 太阳高度角和方位角示意图

在地平坐标系下,太阳赤纬角 δ 可表示为^[9]:

$$\delta = 23.45 \sin \left(360 \times \frac{284 + n}{365} \right) \quad (2)$$

式中: n —一年中的第几天。

地方时角可表示为:

$$\omega = (t - 12) \times 15^\circ \tag{3}$$

式中: t —真太阳时,由地理位置决定。

t 计算方式如下:

$$t = \text{北京时} - (120^\circ - \text{地方经度}) \times 4 \text{ min} \tag{4}$$

由太阳时角和赤纬角,可以继续计算出太阳高度角和方位角^[10-11]。

$$\sin\alpha = \sin\varphi\sin\delta + \cos\varphi\cos\delta\cos\omega \tag{5}$$

$$\cos\gamma = \frac{\sin\alpha\sin\delta - \sin\delta}{\cosh\cos\delta} \tag{6}$$

式中: φ —地理纬度; δ —太阳赤纬角; ω —太阳时角; α —太阳高度角; γ —太阳方位角。

系统的目标是使太阳能电池板和太阳入射光线夹角最小。针对固定式光伏阵列,太阳光和光伏阵列采光面的夹角 θ 为:

$$\cos\theta = \sin\alpha\cos\beta + \cos\alpha\sin\beta\cos(\gamma - A) \tag{7}$$

式中: α —太阳高度角; γ —太阳方位角; β —光伏阵列倾角; A —光伏阵列方位角,指光伏阵列倾斜面法线在地面的投影与正北方向的夹角。

对于斜单轴,有:

$$\cos\theta =$$

$$\sqrt{1 - \{ \cos(\alpha - \beta r) - \cos\beta r \cos\alpha [1 - \cos(\gamma - A)] \}^2} \tag{8}$$

式中: βr —光伏阵列相对于地面的倾角,对平单轴 $\beta r = 0$ 。

光伏阵列所需的跟踪角 ρ 为:

$$\tan\rho = \frac{\cos\alpha\sin(\gamma - A)}{\sin(\alpha - \beta r) + \sin\beta r\cos\alpha[1 - \cos(\gamma - A)]} \tag{9}$$

基于视日运动轨迹跟踪算法,本研究通过 Matlab 仿真获得了春分日、夏至日、秋分日和冬至日的光伏阵列跟踪角度,如图 5 所示。

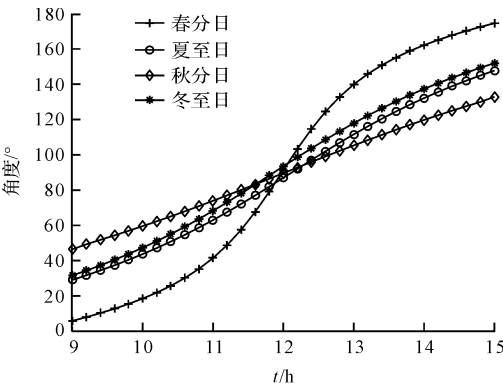


图5 光伏阵列跟踪角度

通过仿真发现,光伏阵列在春分日转到中间的位置的时间最早,而秋分日最晚,与太阳运动规律所吻

合;冬至日早晚跟踪角度变化最慢,而中午光伏阵列转动最快。而夏至日早晚跟踪角度变化相对较快,而中午阶段转动最慢。同时,夏至日阶段,太阳跟踪角度和太阳时角变化基本一致。

2.2 复合式跟踪系统算法

为节省电量和系统稳定运行,系统每 5 min 跟踪一次。系统根据 GPS 获得当前时间和经纬度,然后计算出太阳方位角和高度角,进而获得光伏阵列的跟踪角,进行初步跟踪,之后通过光照传感器进行精确跟踪。

为防止出现短时云遮现象,增加光照跟踪偏差角,防止出现误动作,系统控制流程图如图 6 所示。

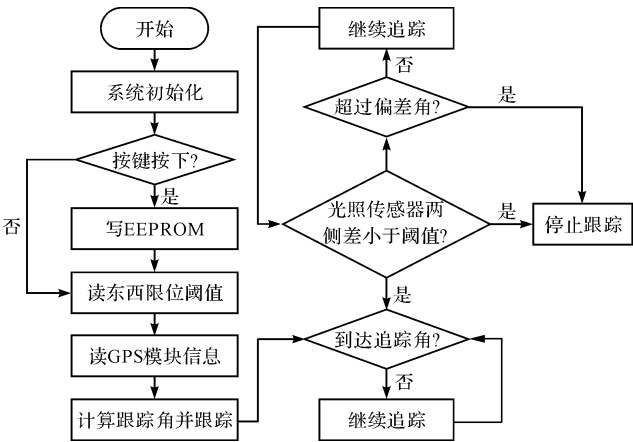


图6 控制流程图

跟踪系统会在夜间转平,早上会转到东侧限位位置等待太阳升起进行跟踪,下午跟踪到西侧限位后会等到夜晚再次转平等待第二天的开始。

3 实验及结果分析

本文搭建了一套2.25 kW的斜单轴太阳能自动跟踪装置,如图 7 所示。

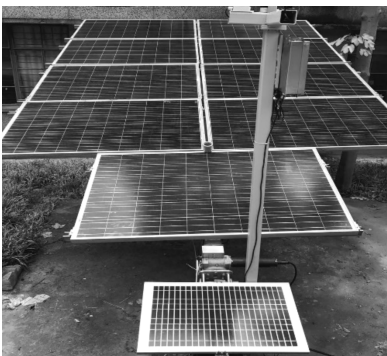


图7 2.25 kW 斜单轴跟踪装置

该系统主要由以下几部分组成:(1)直流减速电机;(2)二象限传感器;(3)9块250 W太阳能电池板;(4)蜗轮蜗杆减速器;(5)控制箱,包括控制系统的控

制器和电机驱动器。

试验装置地理位置(30.14 N, 120.01 E),该地平均日照时间 4.45 h~4.8 h,试验时间是 2017 年 7 月 29 日,天气晴朗。

通过对跟踪装置连续运行数据记录,有关数据如表 1 所示。

表 1 太阳方位角跟踪数据

时间	理论值/(°)	测量值/(°)	误差/(°)
11:00	123.1	123.4	0.3
11:30	141.7	141.6	-0.1
12:00	172.1	171.9	-0.2
12:30	206.4	206.5	0.1
13:00	229.9	230.2	0.3
13:30	243.8	243.7	-0.1
14:00	252.7	252.5	-0.2
14:30	259.1	258.9	-0.2
15:00	264.1	264.2	0.1
15:30	268.3	267.9	-0.4
16:00	272.0	271.8	-0.2
16:30	275.5	275.6	0.1
17:00	278.9	278.8	-0.1

通过对表 1 中 11:00~17:00 的方位角跟踪数据和误差分析,证明该控制装置可以实现自动计算和跟踪太阳轨迹,并获得跟踪系统最大跟踪误差为 0.5°,具有较高的跟踪精度。

本研究采集实验平台每 0.5 h 并网逆变器的功率数据,曲线如图 8 所示。

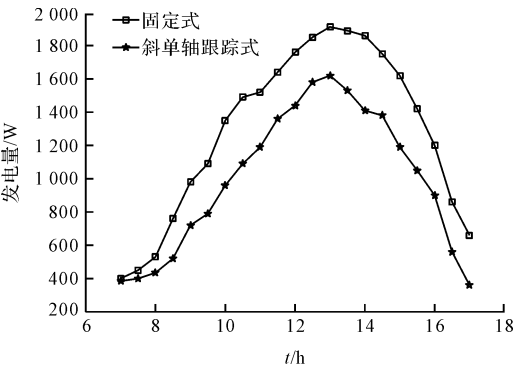


图 8 光伏阵列输出功率曲线

本研究通过对曲线积分计算得到采用跟踪系统的光伏阵列比固定式光伏阵列发电量高 26.2%,所以该跟踪方法对于提高光伏发电效率具有现实意义。

4 结束语

本文首先通过对太阳运动轨迹建立数学模型,进而通过坐标变换求出光伏阵列相对于太阳运动的数学模型,通过对模型的求解获得光伏阵列的跟踪角度,驱动电机使光伏阵列转动到计算角度;采用视日运动轨迹跟踪和光照传感器结合的复合式跟踪方式,提高了系统的跟踪精度、稳定性和可靠性。

实验对比可知:采用本文所提跟踪方法的斜单轴装置比固定式装置发电量高 26.2%,跟踪误差在 0.5°内,而且该方法不仅适用于斜单轴,还可以推广到平单轴和带倾角的平单轴跟踪系统中。

参考文献(References):

[1] 李申生. 太阳能[M]. 北京:人民教育出版社,1988.

[2] 余海. 太阳能利用综述及提高其利用率的途径[J]. 新能源研究与利用,2004,7(3):34-37.

[3] 姚仲敏,潘飞,谭东悦. 新型光伏发电智能追光系统设计[J]. 太阳能学报,2016,37(5):1174-1178.

[4] 袁志国,阙沛文,黄作英. 一种太阳自动跟踪装置的设计[J]. 自动化与仪表,2007(2):30-33.

[5] 马师旗. 高精度太阳方位跟踪系统设计与实现[J]. 计算机与应用化学,2014(10):1257-1260.

[6] 邹建,姬兴,杜海涛. 一种新型的太阳自动跟踪系统研究[J]. 光电子技术,2010(30):159-163.

[7] 胖莹. 基于 STM32 的太阳能跟踪控制系统的设计与研究[D]. 秦皇岛:燕山大学电气工程学院,2012.

[8] 文韬,洪添胜,李震,等. 太阳能硅光电池最大功率点跟踪算法的仿真及试验[J]. 农业工程学报,2012,28(1):196-201.

[9] 李紫倩,梁飞,孙荣霞,等. 太阳能电池按经纬和时间自动跟踪控制器设计[J]. 电子测量技术,2012,35(4):6-10.

[10] 徐维. 并网光伏发电系统数学模型研究与分析[J]. 电力系统保护与控制,2010,38(10):17-21.

[11] 王金平,王军,冯炜,等. 槽式太阳能跟踪控制系统的研制及应用[J]. 农业工程学报,2015,31(2):45-51.

[编辑:李辉]

本文引用格式: