

太阳跟踪控制系统的设计与研究

赵建华 张婷婷

(西安工业大学 西安 710021)

摘要: 太阳跟踪控制系统能使太阳能聚光器受光面始终垂直于太阳入射光线,显著增加太阳能热发电系统的能量接收量,大大提高太阳能发电系统的发电效率。本文设计了一种基于 STM32 的双轴太阳跟踪控制系统,该系统可根据光照条件变化自动切换视日运动轨迹跟踪控制方法与光电跟踪控制方法,调整电机转动最终完成太阳位置的全天候精确跟踪。实验表明该双轴跟踪控制系统的太阳位置每小时累计误差小于 2° ,基本满足预期要求,在太阳能热利用产品上具有较高应用价值。

关键词: 双轴太阳跟踪; STM32; 自动切换

中图分类号: TP2 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.8060

Research and design of sun-tracking control system

Zhao Jianhua Zhang Tingting

(Xi'an Technological University, Xi'an 710021, China)

Abstract: The sun-tracking control system enables received surface of the solar optics always perpendicular to the incident light, which can significantly increase energy received of the solar thermal power generation system, greatly improve the power generation efficiency of solar power generation systems. This paper presents a dual-axis sun tracking control system based on STM32, which can switch the solar trajectory tracking control method and the photoelectric tracking control method automatically according to the lighting conditions, and adjust the motor rotation to complete accurately the position of sun around the clock tracking. Test shows that the sun position accumulated error value of the dual-axis tracking control system is less than 2 degrees per hour. The system basically meet expectations, and has a higher practical value on solar thermal products.

Keywords: dual-axis sun tracking; STM32; automatic switching

1 引言

进入工业时代,资源枯竭和环境问题成为困扰人类经济发展的两大难题,而新能源的开发与利用已然成为世界各国提高其综合国力的重要途径,其中太阳能热发电技术^[1]备受瞩目。目前太阳能热发电^[2]系统基本采用固定式架构,太阳能接收装置只能利用单一方向的太阳光能,忽略了天体运动、天气变化、地理环境等因素对太阳能有效利用的影响,成为太阳能开发^[3]推广的瓶颈,所以一种全方位、多角度、智能化的太阳跟踪控制系统亟待出现以最大限度的利用太阳能^[4]资源。本设计以天体运动规律为基础,结合视日运动轨迹跟踪和光电跟踪两种跟踪控制方式,设计了一种高精度太阳跟踪控制系统,以提高太阳能热发电装置^[5]的能量利用率。

2 控制原理

视日运动轨迹跟踪和光电传感器跟踪是两种常用的太阳跟踪控制方式^[6]。视日运动轨迹跟踪控制方式,依据天体运动规律计算太阳运动轨迹,控制水平和俯仰电机运转,调整太阳能聚光器^[7]方向实现太阳跟踪。光电传感器跟踪控制方式,通过安装在太阳聚光器上的光电传感器,主控制器将接收到的反映太阳实时位置的信号进行相关处理,调整电机转动方向和速度,完成对太阳的跟踪。考虑到两种跟踪方式各自优缺点,本设计采用两种方式相结合的方法来实现对太阳的精确跟踪。

2.1 视日运动轨迹跟踪控制

本文选用地平坐标系,利用天体运动规律对太阳高度角和方位角的变化进行深入分析研究,为视日运动轨迹跟

收稿日期:2015-07

踪控制提供可靠的理论依据。

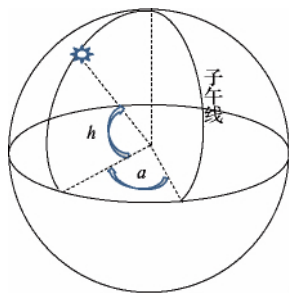


图 1 太阳位置示意图

如图 1 所示,以地平面观测点为基点,用太阳高度角 h 和方位角 a 来确定太阳在天空中的位置,该坐标系中太阳高度角表示太阳直射光线与地平面间的夹角,太阳方位角表示太阳直射光线在地平面上的投影线与当地子午线的夹角。太阳高度角和方位角计算公式^[8]如下:

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

$$\cos a = (\sin h \sin \varphi - \sin \delta) / \cos h \cos \varphi \quad (2)$$

式中: φ 为当地纬度, δ 为太阳赤纬角, τ 为太阳时角;相关重要参数有: θ 为时角, Et 为时差, Sd 为地方平太阳时,相关主要计算公式如下:

$$\delta = 0.3723 + 23.2567 \sin \theta + 0.1149 \sin 2\theta - 0.1712 \sin 3\theta - 0.758 \cos \theta + 0.3655 \cos 2\theta + 0.0201 \cos 3\theta \quad (3)$$

$$Et = 0.0028 - 1.9875 \sin \theta + 9.9059 \sin 2\theta - 7.0924 \cos \theta - 0.6882 \cos 2\theta \quad (4)$$

$$\tau = (Sd + Et/60 - 12) \times 15 \quad (5)$$

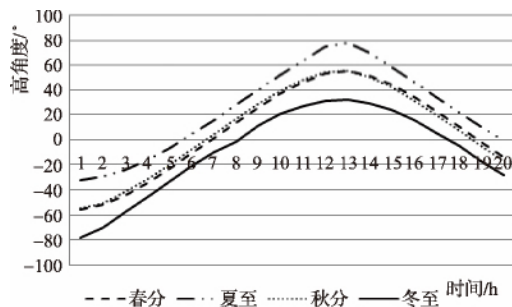


图 2 太阳高度角变化趋势图

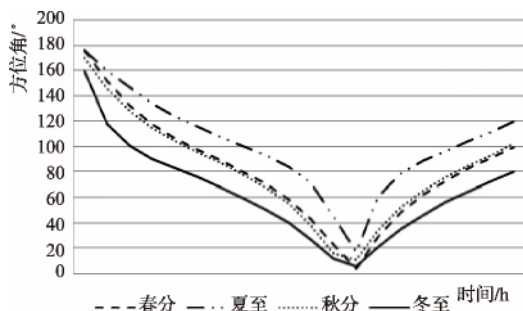


图 3 太阳方位角变化趋势图

利用 excel 工具按照上述太阳位置计算公式,以西安市未央区西安工业大学所在地为例,学校地处北纬 34.38° 、东经 108.98° ,时间取 2014 年春分、夏至、秋分、冬至四个特殊节点,可得到其高度角和方位角变化趋势线如图 2 与图 3 所示。

由上图可知,只要严格按照上述天文计算公式编写太阳高度角和方位角的计算程序,控制电机驱动聚光器作双轴转动就可以实现太阳的精确跟踪。

2.2 光电传感器跟踪控制

本设计光电传感器跟踪利用小孔成像原理和高精度位置检测器 PSD 确定太阳位置。当太阳光斑偏离跟踪装置的中心轴线时,PSD 元件会产生偏差信号,信号经过放大电路进行放大后反馈给跟踪系统的主控芯片,主控芯片处理信号后驱动电机展开跟踪转动工作,以减少跟踪装置的中心轴线与太阳位置的偏差。跟踪系统不断进行校验调整直到消除偏差,最终达到正对太阳的目的。

光电传感器跟踪原理图如图 4 所示,设暗室高度 H ,光斑和中心轴线偏差 L ,则太阳位置偏差角度 θ 为: $\tan \theta = \tan(L/H)$ 。

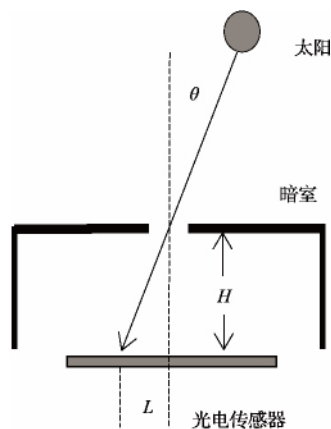


图 4 光电传感器跟踪原理图

2.3 混合跟踪控制

在系统实际运行中,按照天文学计算的太阳位置 and 实际机械结构的位置是存在累计误差的,而光电传感器跟踪容易受天气影响出现误动作。针对上述问题,本设计提出了两者相结合的混合跟踪方式,即系统在太阳辐射较强时,利用光电传感器反馈进行跟踪,当天气条件变差时转为视日运动轨迹跟踪。实验表明,混合跟踪控制^[9]方法不仅提高了太阳跟踪控制系统的精确性,同时加强了系统的稳定性。

3 阳光跟踪控制系统硬件设计

本设计根据太阳运动规律和太阳跟踪控制原理,设计了一种以 STM32 为核心的太阳跟踪控制系统。该跟踪控制系统^[10]主要包括 PSD 传感器模块、STM32 处理器模块、电机及驱动模块、编码器模块、手动模块等。阳光跟踪控制

系统硬件框图如图 5 所示。

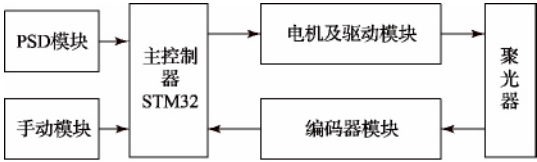


图 5 阳光跟踪控制系统硬件框图

PSD 传感器模块将反映太阳实时位置的偏差信号反馈给主控制器,主控制器经处理后发出动作指令调整电机转动以减少偏差;主控制器选用意法半导体的 STM32F103RC 芯片,该芯片高速的工作频率和丰富的 I/O 端口保证了太阳位置计算的准确性和电机跟踪控制的有效性;电机及驱动模块选用交流伺服电机 SM060R20B30MN 及其专用电机驱动器,驱动器根据接收到的脉冲个数和脉冲频率决定伺服电机转动的角度和速度,电机驱动双轴跟踪机构转动完成太阳跟踪;编码器模块作为方位轴和高度轴的位置检测部分,实时反馈跟踪系统的位置信息,并与太阳位置作比较,使 STM32 主控制器发出相应指令以进行下一次跟踪;手动模块主要负责系统紧急避险和调试工作的开展。

4 太阳跟踪控制系统软件设计

硬件的驱动和工作方式需要软件来实现,采集到的相关信号也需要控制器内部程序进行数据处理和分析,为保证设备既准确又可靠的跟踪太阳运行,该系统主流程如图 6 所示。

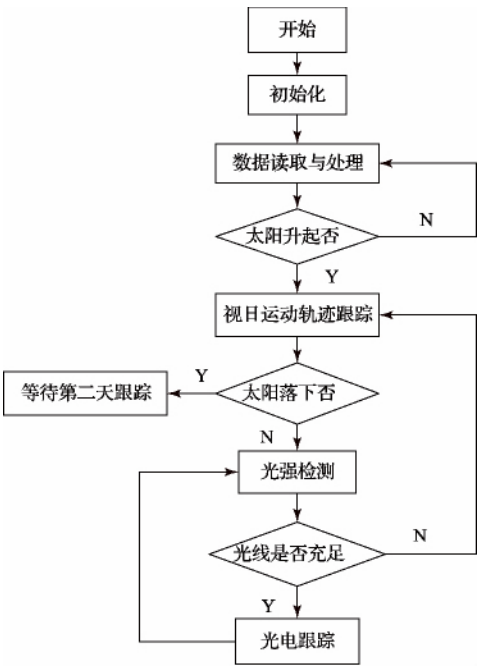


图 6 太阳跟踪控制系统主流程

开机之后,系统首先进行初始化,主要是指初始化外设接口和存储器状态等信息。数据读取与处理是指主控制器读取系统中用到的相关参数和传感器采集的信号值,并进行相关分析计算。根据计算结果判断太阳是否升起,如果升起,则先进行视日运动轨迹跟踪,将聚光器转动到 PSD 传感器可以感知太阳的范围内,然后检测光强判断当前光照条件是否满足光电传感器跟踪要求,如果满足进行光电跟踪,否则进行视日运动轨迹跟踪。系统根据光照条件变化自动切换视日运动轨迹跟踪与光电跟踪以完成对太阳位置的精确跟踪,直到太阳落山为止。

5 实验与分析

为验证该太阳跟踪控制系统^[11]的准确性,本设计在试验时将日晷安装在聚光器同一平面上,跟踪系统朝南北方向安装放置,各项测试条件准备充分后,启动系统自动跟踪程序。由于每一时刻跟踪误差不便于检测,本试验采取检测累计误差的方法,即系统自动跟踪太阳 1 h 后,停止跟踪并读取当前编码器反馈数据,然后观测晷针投影并手动调节电机直到投影聚集到晷面刻度圆的圆心,此时认定系统完成对太阳的精确跟踪,再次读取编码器反馈数据,换算两次编码器反馈值得到系统对应的累计误差。测量一天内各时段系统累计偏差值,实验数据如表 1 所示。

表 1 某天各时段系统累计偏差值

时间	累计偏差值(°)	
	高度角	方位角
10:00—11:00	1.72	1.91
11:10—12:10	1.47	1.63
12:20—13:20	1.61	1.24
13:30—14:30	1.63	1.79
14:40—15:40	1.27	1.51
15:50—16:50	1.69	1.89
17:00—18:00	1.71	1.64

由上表数据可知,该双轴太阳跟踪控制系统每小时跟踪累计误差平均值为 1.62°,且误差标准差为 0.22°。实验表明,该系统控制功能基本实现,跟踪精度达到设计要求。

6 结论

本文设计的太阳跟踪控制系统不仅具有较高跟踪精度,而且可以适应复杂天气条件。该系统已经在实验平台上平稳运行 3 个月,累计每小时跟踪误差在 2° 以内,达到预期要求,在太阳能热发电装置中具有较高推广价值。

(下转第 28 页)

- [2] 李笑倩, 宋强, 刘文华. 采用载波移相调制的模块化多电平换流器电容电压平衡控制[J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(9): 49-55.
- [3] 郑征, 崔灿. 模块化多电平高压变频器拓扑结构及控制[J]. 电源技术, 2014(5): 943-946.
- [4] 赵昕, 赵成勇. 采用载波移相技术的模块化多电平换流器电容电压平衡控制[J]. 中国电机工程学报, 2011, 31(21): 48-55.
- [5] 丁硕, 崔总泽, 巫庆辉. 基于 SVPWM 的永磁同步电机矢量控制仿真研究[J]. 国外电子测量技术, 2014, 33(6): 81-85.
- [6] 李鹏鹏, 郭家虎, 梁克靖. 基于 MMC 的最近电平逼近调制谐波特性分析[J]. 电源技术, 2014, 4(38): 759-763.
- [7] 管敏渊, 徐政. 模块化多电平换流器型直流输电的建模与控制[J]. 电力系统自动化, 2010 (19): 64-68.
- [8] 管敏渊, 徐政, 屠卿瑞. 模块化多电平换流器型直流输电调制策略[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(2): 48-52.
- [9] 郭书明, 韩恩典, 练峰海. MATLAB 在分析调制中的应用[J]. 国外电子测量技术, 2012, 31(3): 75-78.
- [10] 贾林壮, 冯琳, 李国杰, 等. 基于 MMC 技术的光伏并网逆变器原理及仿真研究 [J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(21): 78-85.
- [11] 于晶荣, 曹一家, 何敏, 等. 单相单级光伏逆变器最大功率点跟踪方法[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34(1): 18-25.
- [12] 王实, 王群京, 漆星, 等. 四桥臂 APF 电流跟踪控制方法研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2013, 27(12): 1162-1169.

作者简介

康润生, 1957 年出生, 教授, 硕士生导师, 主要从事电气工程和电路理论等方面的研究。

张锐(通信作者), 1990 年出生, 硕士研究生, 研究方向为柔性直流输电。

E-mail: 1026588377@qq.com

(上接第 3 页)

参考文献

- [1] 刘璇. 太阳能光伏中的测试测量技术[J]. 国外电子测量技术, 2012, 31(4): 4-6.
- [2] 张立文, 张聚伟. 太阳能光伏发电技术及其应用[J]. 应用能源技术, 2010, (3): 4-8.
- [3] 李斌. 太阳能热发电技术[J]. 电力设备, 2004, 5(4): 80-82.
- [4] SEN Z. Solar energy in progress and future research trends [J]. Progress in Energy and Combustion Science, 2004, 30(4): 367-416.
- [5] 刘建明, 陈革, 章其初. 碟式斯特林太阳能发电系统最新进展[J]. 中外能源, 2011, 16(4): 36-40.
- [6] 郑小年, 黄巧燕. 太阳追踪方法及应用[J]. 能源技术, 2003, 24(4): 149-151.
- [7] 王建平, 王梓岚. 一种球面折射型太阳能低倍聚光器的设计[J]. 电子测量与仪器学报, 2012, 26(2): 107-112.
- [8] 许文斌, 卢振武. 塔式太阳能定日镜子镜面精度和聚光性能评价的新方法[J]. 仪器仪表学报, 2011, 32(6): 1345-1348.
- [9] 关继文, 孔令成, 张志华. 高精度太阳能跟踪控制器设计与实现[J]. 自动化与仪器仪表, 2010(3): 23-25.
- [10] 姜明王, 玉鹏. 太阳辐射检测仪跟踪引导系统设计[J]. 电子测量技术, 2013, 36(9): 85-87.
- [11] 陈向军, 潘宇, 于荣金. 太阳能自动跟踪系统的研究[J]. 电子技术, 2007, 34(9): 121-122.

作者简介

赵建华, 副教授, 主要研究方向为时频测控技术、多媒体信息传输与处理技术、智能信息处理技术等。

张婷婷, 研究生, 主要研究方向自动测控技术, 移动通信技术等。

E-mail: 1275892777@qq.com