

太阳能光伏—热伏发电板的自适应追光系统设计及实现

傅开新¹, 彭凯¹, 程思源¹, 刘俊杰², 周董涛³

(1. 西北工业大学 动力与能源学院, 西安 710072; 2. 西北工业大学 材料学院, 西安 710072;

3. 西北工业大学 机电学院, 西安 710072)

摘要: 在小型太阳能光伏—热伏发电系统中, 为了提高其发电效率, 通常会辅以自动追光系统; 针对现有的基于多光电二极管的自动追光系统结构复杂等问题, 提出了一种基于光敏电阻的自适应追光系统; 为了实现发电板对光源的追踪, 采用了基于负反馈的自适应追光原理, 通过软件设计控制追光精度, 同时增加了系统位置消抖控制; 在硬件方面, 采用光敏电阻感应光强, 借助 AD 转换电路和舵机, 以驱动太阳能光伏—热伏发电板转动直至发电板平面垂直于太阳光; 优化设计了光敏电阻与板面的夹角大小以调整追光的区域及误差; 最后完成了整体装置的机械结构设计和电路图设计及仿真; 结果表明, 与现有的多光电二极管追光系统相比, 所设计的追光系统机械装置部分的设计更加简单, 便于实现, 同时通过优化设计改善了追光的稳定性。

关键词: 自适应追光; 光敏电阻分布; 优化设计; 追光稳定性

Design and Implementation of Adaptive Tracking System for Solar Photovoltaic and Thermoelectric Panels

Fu Kaixin¹, Peng Kai¹, Cheng Siyuan¹, Liu Junjie², Zhou Dongtao³

(1. School of Power and Energy, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China

2. School of Materials Science and Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China

3. School of Mechanical and Electrical Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: In a small solar photovoltaic and thermoelectric system, automatic tracking system is often used in order to improve the efficiency of power generation. An optimal design of the structure of photosensitive resistance and tracking panels for the current adaptive tracking system is presented. An adaptive tracking system based on photosensitive resistance is proposed due to the complication of structure of automatic tracking system based on photodiode. In order to achieve tracking the target, the adaptive tracking principle based on negative feedback is used. Through software design, tracking accuracy is controlled with adding the anti-shake control system. In terms of hardware designing, photosensitive resistance is used to induce intensity of light. And AD conversion circuit and steering engine are applied. Ultimately the solar photovoltaic and thermoelectric panel is driven to move until the panel is perpendicular to the sun light. In addition, the optimal design of structure of the panels is considered to adjust the area of tracking. Finally, the mechanical structure design of the whole device, the design and simulation of circuit diagram are implemented. The results show that the design of the mechanical device is simpler and easier to actualized while compared with the existing photoelectric diode spot-tracking system and the tracking stability is improved.

Keywords: adaptive tracking; photosensitive resistance distribution; optimal design; tracking stability

0 引言

随着经济的发展、社会的进步, 人们对能源提出越来越高的要求。太阳能发电以其安全、清洁等优点而得到了广泛的关注与研究。现有的参考资料表明, 带有自动追光系统的太阳能发电装置与位置固定的太阳能发电装置相比, 太阳能的利用率可以提高 35% 左右^[1]。但自动跟光系统在实际的应用过程中, 存在着风沙等因素影响机械装置转动的准确性和稳定性的问题; 同时随着使用时间的增加, 装置本身的可靠性以及稳定性也会有所降低, 进而会影响太阳能追光板的发电效率。上述问题以及人们希望最大限度利用太阳能的现实需求对于自动追光

系统的工作品质提出了更高的要求, 所以开展太阳能发电装置自动跟光系统的研究, 提高其性能分析, 具有重要的意义与工程应用价值。

目前对太阳光的追踪方式有两种: 一是光电检测追踪, 二是视日运动轨迹跟踪^[2-3]。光电检测追踪的追踪精度高, 但可靠性及稳定性低。视日运动轨迹跟踪的追踪精度低, 但可靠性及稳定性高。在现有的自动追光系统中, 通常采用多光电二极管来感受光强, 整个系统也存在着结构设计复杂等问题。

针对以上问题, 本文以光电检测追踪原理为基础, 提出了一种基于光敏电阻的自适应追光系统, 并进行硬件以及软件的设计方案, 对追踪太阳光的光敏电阻分布进行优化, 并予以实现, 其具有结构简单易于实现、稳定性好等特点。

1 总体方案设计

自适应追光系统的总体设计包括系统的硬件设计以及软件设计, 采用基于负反馈的自适应追光原理, 整个装置的原理如

收稿日期: 2017-04-12; 修回日期: 2017-05-06。

基金项目: 国家自然科学基金(51506176)。

作者简介: 傅开新(1996-), 男, 安徽宣城人, 大学生, 主要从事控制科学与工程方向的研究。

图 1 所示。

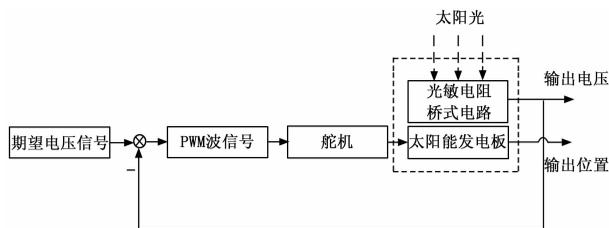


图 1 自适应追光系统结构图

图 1 中追光系统的主要工作原理为：通过 51 单片机对追踪光板上水平和垂直方向两组光敏电阻压差信号的处理，并与期望电压作比较，产生相应的 PWM 波来驱动舵机，进而带动追踪太阳能发电板（以下简称追光板）在水平以及垂直两个方向转动，最终使光敏电阻压差信号会随着光板对光点的追踪而减小，直至追踪到光点，达到最终位置。

2 系统硬件设计

系统的硬件包含 3 个部分：硬件电路设计、追光机械结构设计和追光板光敏电阻分布设计。

硬件电路设计实现对整个系统的控制，主要是对舵机的控制，从而实现自适应追光；追光机械结构设计实现整个装置的构建，是实现硬件电路控制的基础，同时又与硬件电路设计联系，考虑实际装置应有的机械元件；追光板光敏电阻分布设计实现自适应追光的最优化，通过板面角度的设计问题，来实现追光的精度以及追光区域的最优化。

2.1 硬件电路设计

硬件电路设计依据总体方案下系统的基本原理进行设计，主要为控制电路的设计。

硬件控制电路部分包括 51 单片机最小系统、AD 芯片、舵机、光敏电阻桥式电路。硬件电路设计原理，可以看做是单片机对信号的采集、变换和控制等过程，如图 5 所示。



图 2 硬件电路信号变化过程图

硬件电路的信号变化过程如下：太阳光信号经过光敏电阻桥式电路转变为电压信号，电压信号经过 AD 采集为数字信号，数字信号经过 51 单片机转变为舵机的控制信号：PWM 信号，最终转变为舵机的转动信号。

实验过程中对光敏电阻大小的测量，我们通过实验改变光强的大小，得出电阻变化范围如表 1 所示。

表 1 光敏电阻阻值变化表

光强大小	弱	较强	强
光敏电阻阻值/kΩ	20	15	7

光强大小的改变是通过太阳光不照射光敏电阻、斜射以及直射光敏电阻 3 种情况来实现的，分别测量 3 种情况下的光敏电阻大小。可以看出光敏电阻的阻值随着光强变化相对不是特别大，因此在追光过程中需要提高 AD 的分辨率，才能更加准确地追踪太阳光。在实物中，我们采用 8 位 AD 来转换电压。

2.2 追光机械结构设计

追光机械结构的设计包含所有部件的位置以及空间构型以及几何尺寸的大小设计。机械结构装置应保证追光板在水平和垂直两个方向上的转动，传动装置可以用齿轮和传送带，通过舵机或者电机来驱动转动。对于小模型装置可选择舵机进行驱动，对于大的装置需要功率大的电机来驱动转动。同时为保证整个机械装置的稳定性，水平舵机下增加底座。机械装置设计图及实物如图 3 和图 4 所示。

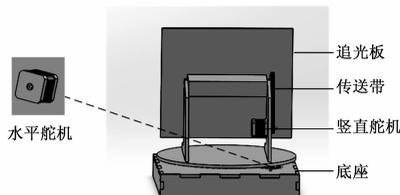


图 3 追踪光点系统机械装置设计图

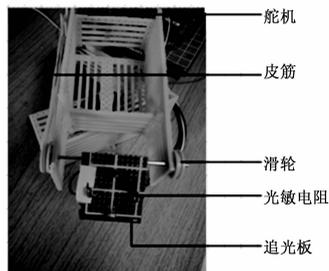


图 4 追踪光点系统机械装置物理实现图

其中图 3 为实际工作的机械结构图，图 4 为制作调试的小模型，用于代码调试以及检测实际追光系统的性能。

2.3 追光板光敏电阻分布设计

追光板光敏电阻的分布设计主要为光敏电阻与板面夹角的优化设计问题。具体设计方案如下：

图 5 所示为三维坐标系下追光板以及光敏电阻位置分布的模型。光敏电阻在追光板上呈对称分布，可假设其与追光板夹角为 α ，表示为最优倾斜角。最优的倾斜角与以下两个指标有关。一是可控的追光区域（表示追光前追光板的法线与轴夹角，满足可控的最大角度（即可以追光的最大角度，与有关）；二是追光的误差（表示追光完成时追光板平面的法线与太阳光线的角度，与有关）。由于二者的不一致性，导致一项指标改善时，另一项指标会变差。所以存在最优倾斜角，满足公式 (1) 中 opt 最大（ opt 为优化目标）。

$$opt = \lambda\theta(\alpha) + \eta/\delta(\alpha) \quad (1)$$

其中： α 和 η 分别表示 θ 和 δ 的归一化权重系数，代表着 θ 和 δ 的重要性程度。并且 θ 和 δ 具有不一致性，需要对 δ 取倒数。最终对 α 进行遍历，可求出最优解。

考虑实际情况对整个装置的测试，4 个光敏电阻的分布大致和板面成 45° 时为一个相对最优解，其原理解释如下：

如图 6 所示，此时 4 个光敏电阻的分布大致和板面成 45° ，如果太阳光从左上角 45° 的角度直射过来，左侧的光敏电阻是正对着太阳光，但是右侧的光敏电阻是背对太阳光。所以这一组光敏电阻，它们的阻值相差很大，导致收集到电压和期望电压相比差别很大，可以控制舵机调整接收板的角度，使它朝向太阳，调节效果好。

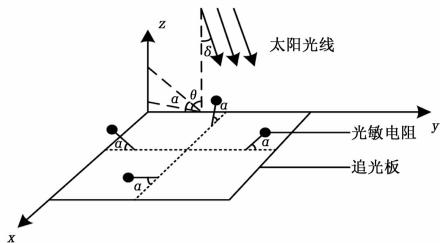


图 5 追光板上光敏电阻分布图

而当光敏电阻与太阳能发电板夹角为 0° 时,会造成追光板结束追光后,其板面法线方向与光线方向成较大角度,追光的误差大、效果差。

而当光敏电阻垂直于发电板板面即与板面成 90° 时,追光区域范围会缩小,追光效果也差。

综上所述,当 4 个光敏电阻的分布和板面成 $0\sim 90^\circ$ 中间一适宜值时可以保证追光板在追光区域以及追光的精度的指标达到相对最优,指标符合要求。



图 6 追光板结构图

3 系统软件设计

系统软件设计是基于系统硬件电路来设计的。包含着信号采集,转化与控制过程中的程序设计。同时在设计代码过程中需考虑可维护性以及高效性。

软件设计主要包括电压信息 AD 采集以及驱动舵机转动两个过程。在软件实现过程中主要考虑 3 个方面:AD 采集与数据处理、舵机控制和死区消抖。软件流程如图 7 所示。

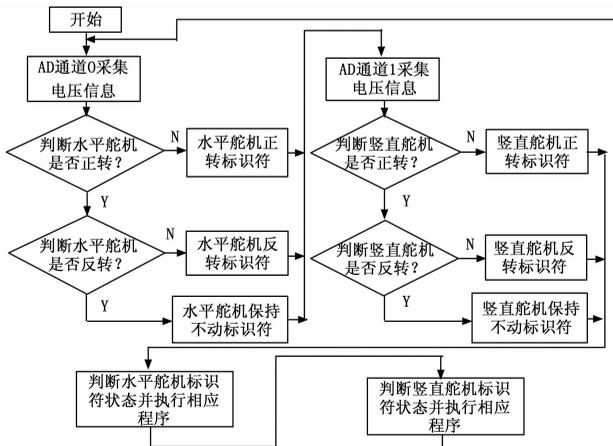


图 7 自适应追踪光点软件流程图

图 7 中所描述的软件设计实现思路如下:因为整个系统的输入信号是太阳光的位置,利用桥式电路将其转换为压差信号,通过软件编程,利用这一信号判断舵机转动的状态是正转还是反转或者停止运动,再控制舵机相应运动一个角度。然后重复判断舵机转动的状态,直至达到期望目标,即追光板平面

与太阳光线处于垂直状态。同时考虑处于两个方向上对光线的追踪,即软件设计中包括对水平舵机和竖直舵机的控制,所以一次循环,追光板的转动两次,对应水平舵机和竖直舵机各转动一个角度。

1) AD 采集:采用 AD0832 串行转换数据,将光敏电阻分压得到的电压值转换成数字值。

2) 舵机控制:采用 SG90 舵机实现追光板的转动,SG90 的转动和 PWM 波有关。利用 AD 采集的数字值与期望电压所对应的参考值比较得出舵机的转动方向,产生相应的 PWM 波,驱动舵机转动。SG90 舵机具体工作原理如下:

舵机角度的控制一般需要一个 20 ms 左右的时基脉冲,该脉冲的高电平部分一般为 0.5~2.5 ms 范围内可调。以 180 度角度伺服为例,对应的控制关系如表 2 所示。

表 2 舵机控制线特性表

高电平时间/ms	0.5	1	1.5	2.0	2.5
角度标识/($^\circ$)	0	45	90	135	180

3) 死区消抖:在控制过程中,当 AD 给出的采集电压大于期望电压时,驱动装置转向使采集电压减小的一侧;当 AD 所采集到电压小于期望电压时,则反之,以此来实现对太阳光的追踪功能。但舵机控制精度所限,在稳定位置处,装置会出现非常剧烈的抖动现象。本文所采用的舵机每次转动的角度是 3° ,在稳定位置附近处,会出现舵机转动一次之前采集到的电压值与期望电压相比偏大,舵机转动后采集到的电压值与期望电压相比偏小,这样就会出现装置在期望位置附近不断地来回抖动。如图 8 所示,其中 v 表示舵机速度, U 表示采集的电压,通过给定期望电压为一死区区间范围,即让采集的电压大于死区上限阈值电压 U_{th+} ,追光板转动;采集的电压小于死区下限阈值电压 U_{th-} ,追光板向相反方向转动。这样便可以保证装置不会在稳定位置处抖动,由于死区区间比较小,因此又不会影响到追光板正对太阳。

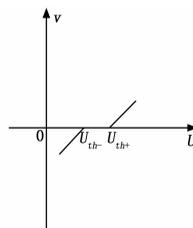


图 8 死区消抖原理示意图

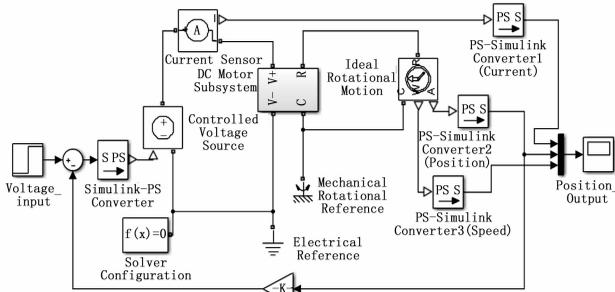
4 系统仿真实验

系统的仿真是在 Simulink 下实现对电机的闭环控制稳定性的仿真。

在 Simulink 中搭建了图 1 的电机仿真模型如图 9 所示,这里以一个转动方向上电机旋转的位置控制仿真为例。其中测量的电机参数包含位置、电机及转速,并以电机的位置进行负反馈控制。图 9 中的伺服电机^[8]的详细数学模型如图 10 所示。

图 10 中采用 Simulink 中 S-PS 和 PS-S 模块实现物理信号与仿真信号的变换,来对电机中参数进行仿真。通过给定一个期望输入信号,观测电机输出响应过程,包含电机的位置响应,内部电流响应以及速度响应,其仿真步骤如下:

1) 初始化电机参数,包含电机转动惯量,内部电阻,电



Simulation of Motor Position Control in Single Degree of Freedom

图 9 单自由度方向上伺服电机位置控制仿真图

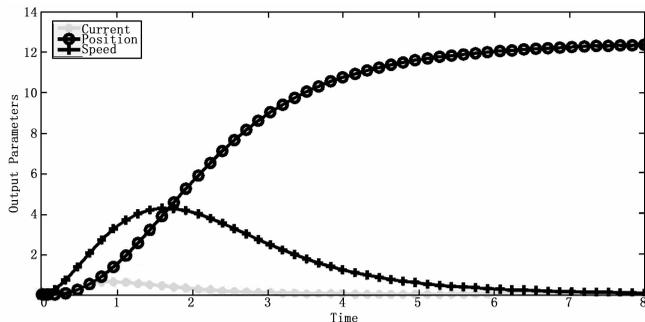


图 11 系统输出响应图

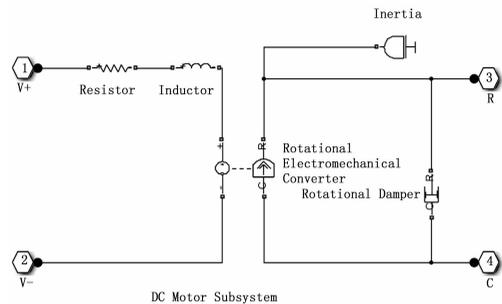


图 10 伺服电机数学模型图

感参数, 选取合适值。

2) 设定反馈量即当前电机位置量与测量电压之间的映射表。

3) 给定输入电压的给定值, 这里以单位阶跃为例。

4) 进行仿真, 用示波器显示电机的位置响应, 内部电流响应以及速度响应, 具体响应曲线如图 11 所示。

由图 11 可以看出, 闭环控制下系统处于稳定状态, 可以通过改变输入量较好的控制好伺服电机的转动位置。所以在实际情况下通过控制两个电机, 分别处于两个自由度下, 便可以实现太阳能板对太阳光点的追踪。

5 结论

1) 与现有的多光电二极管追光原理相比, 此类利用光敏电阻与追光板的夹角来提高追光精度的方式, 装置设计更加容易, 追光的稳定性会有所提高。

2) 通过程序控制追光的裕度, 来控制追光的误差, 使得整个装置在追踪到光点的时候不至于抖动, 有利于延长装置的使用寿命。

3) 基于负反馈的自适应追光装置的稳定性会有所提高, 同时对于追光的精度也达到一定的要求。

4) Simulink 下实现对电机转动的稳定控制, 可以从原理上验证系统的稳定性。

参考文献:

[1] 许 萍. 浅谈油品调合系统的应用 [J]. 信息系统工程, 2013, (11): 92-93.

[2] 唐衍伟, 黄运成, 杨 婕. 中国石油进口参与国际定价的现状、趋势及策略分析 [J]. 资源科学, 2007, 29 (1): 184-188.

[3] Bai L, Jiang Y H, Huang D X, et al. A novel scheduling strategy for crude oil blending [J]. Chinese Journal of Chemical Engineering, 2010, 18 (5): 777-786.

[4] 缪良才, 谭跃进, 邓宏钟. 成品油调合优化模型及其应用研究

易, 追光的稳定性会有所提高。

2) 通过程序控制追光的裕度, 来控制追光的误差, 使得整个装置在追踪到光点的时候不至于抖动, 有利于延长装置的使用寿命。

3) 基于负反馈的自适应追光装置的稳定性会有所提高, 同时对于追光的精度也达到一定的要求。

4) Simulink 下实现对电机转动的稳定控制, 可以从原理上验证系统的稳定性。

参考文献:

[1] 陈 维, 李戩洪. 太阳能利用中的跟踪控制方式的研究 [J]. 能源工程, 2003 (03): 18-20.

[2] 王 涛. 基于光敏感应及角度计算的太阳追踪系统的设计与实现 [D]. 成都: 电子科技大学, 2009.

[3] 王 旭, 肖广朋, 康留旺. 基于 MC9S12DG128 的太阳能自动追踪装置 [J]. 汽车使用技术, 2013 (12): 54-58.

[4] 薛建国. 基于单片机的太阳能电池自动跟踪系统的设计 [J]. 长春师范学院学报, 2005, 24 (3): 26-30.

[5] 默少丽, 王鹏月. 太阳自动跟踪控制系统的设计 [J]. 实验室研究与探索, 2012, 31 (12): 83-85.

[6] 周诗悦, 朱 凯, 刘 爽. 太阳能电池板自动跟踪系统 [J]. 控制工程, 2009, 增刊: 18-19.

[7] 王艳颖, 王 珍, 郭丽环. 直流电动机传递函数测定的实验研究 [J]. 实验技术与管理, 2008, 25 (8): 39-40.

[8] 潘晓晨, 郝世勇. Matlab 电机仿真精华 50 例 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2007.

[9] 王 杰, 李祖奎, 吴 刚, 等. 成品油调合调度优化模型及其应用 [J]. 石油炼制与化工, 2005, 36 (3): 64-68.

[10] 黄德先, 余 冰, 高小永, 等. 基于分片线性代理模型的成品油调合优化 [J]. 清华大学学报 (自然科学版), 2012, 52 (9): 1230-1235, 1243.

[7] Jose de Jesus Rubio, Yu W. Modeling of Crude Oil Blending Via Discrete-time Neural Networks [A]. 3rd International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ICEEE) [C]. Acapulco, Guerrero, Mexico, 2006.

[8] 兰鸿森, 丁 锋. 基于炼油过程仿真的原油混炼比优化 [J]. 石油炼制与化工, 1997, 28 (11): 50-54.

[9] 杜柱康, 赵英凯. 基于遗传算法的原油混合优化研究 [J]. 化工自动化及仪表, 2010, 37 (1): 8-10.

[10] 叶彦斐, 郑 源, 张勇气, 等. 原油管道调合高精度配比控制系统设计与实现 [J]. 江南大学学报 (自然科学版), 2014, 76 (6): 681-685.