

混合式单轴太阳自动跟踪系统技术研究*

高岩,卢小芬,郭新华

(华侨大学 信息科学与工程学院,福建 厦门 361021)

摘要: 在详细分析太阳自动跟踪方式的基础上,设计了一个由多台太阳跟踪器组成的太阳自动跟踪系统,该跟踪器采用混合式单轴跟踪方式,无刷直流电机驱动。系统经小规模试安装后,可以精确跟踪太阳,达到大幅度提高太阳能利用率的目的。

关键词: 太阳能跟踪器;无刷直流电机;DSP;高度角;方位角

中图分类号: TM615

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2013)13-0090-04

Technical research of mixed single axis solar tracking control system

Gao Yan, Lu Xiaofen, Guo Xinhua

(College of Information Science and Engineering, Huaqiao University, Xiamen 361021, China)

Abstract: A kind of solar automatic tracking system composed of many sets of solar trackers is designed on the basis of detailed analysis of sun tracking patterns in this paper. The tracking system is operated by the mixed single axis tracking mode and brushless dc motor (BLDC) as the driving motor. The goal of increasing the solar energy utilization is achieved by the system tested on the small scale of installation.

Key words: solar tracker; BLDC; DSP; altitude; azimuth

当今社会,风能、太阳能、核能、生物质能等多种绿色新型能源的应用正在逐渐占据市场,太阳能因其普遍性、丰富性和无害性成为了当前利用最为普遍的绿色能源。然而,虽然其辐射能量巨大,但分布却特别分散,能量密度较小,光照过程不连续,所以,如何最大效率地提高太阳能的利用率成为国内外应用研究的热点。

传统的太阳能利用装置无法接收太阳的直射光,导致太阳能利用率偏低且成本较高。理论分析证明,太阳的精确跟踪与非跟踪,能量的接收率相差33%^[1]。对于同一块光伏板,光照垂直入射时接收到的太阳能是光伏板朝南固定时接收到的能量的3倍^[2]。太阳自动跟踪技术可以使太阳光时刻垂直入射到电池板上,大大提高了太阳能的利用率,本文设计的太阳自动跟踪系统就能很好地达到这一目的。

1 自动跟踪方式的选择

根据控制信号的产生方式,可以将跟踪技术分为视

日运动轨迹式跟踪、光电式跟踪和混合式跟踪3种方式。视日运动轨迹跟踪是通过当前所在地的经纬度、日期和时间来计算当前太阳的高度角及方位角;光电式跟踪是通过光敏传感器来感知当前的太阳光照的强弱,判断是否垂直入射;混合式跟踪就是将上述两种控制方式结合在一起。

根据跟踪转轴的个数又可将跟踪技术分为单轴跟踪和双轴跟踪^[3]。常用的单轴跟踪有倾斜角轴向方式、南北轴向方式和东西轴向方式等,单轴跟踪一般都是跟踪太阳的方位角。双轴跟踪是同时跟踪太阳的高度角和方位角,双轴跟踪虽然能最大效率地利用太阳辐射能量,但其控制复杂、成本高、耗电量大,性价比明显低于单轴系统。单轴跟踪能够得到比固定安装系统更高的太能辐射利用率,系统成本、耗电量都很低,所以对自动化要求不是太高的应用环境中采用单轴跟踪较合适。

在3种基本的单轴跟踪方式中^[4],东西轴向方式在中午利用率较高;南北轴向方式呈现中午低早晚高且波动较小的特点;倾斜角轴向方式的全天利用系数基本保持稳定。从全年可利用总能量来说,采用南北轴向方式

* 基金项目:国务院侨办科研基金资助项目(09QZR01);华侨大学引进人才科研启动费(11Y0269*);中央高校基本科研业务费(国家自然科学基金)(12J0436*)

具有显著优势。轴向放置图如图 1 所示。

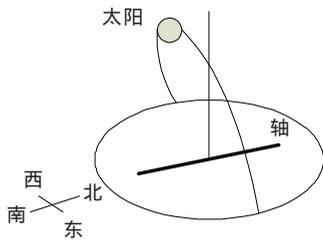


图 1 南北水平放置东西跟踪轴向图

综上所述,本文所设计的系统采用混合式单轴跟踪、南北水平放置东西跟踪的轴向方式,下面具体介绍该系统的设计方案。

2 自动跟踪控制系统的设计

2.1 总体方案设计

系统的总体结构示意图如图 2 所示,主要分为机械部分、控制部分和人机交互界面 3 部分。

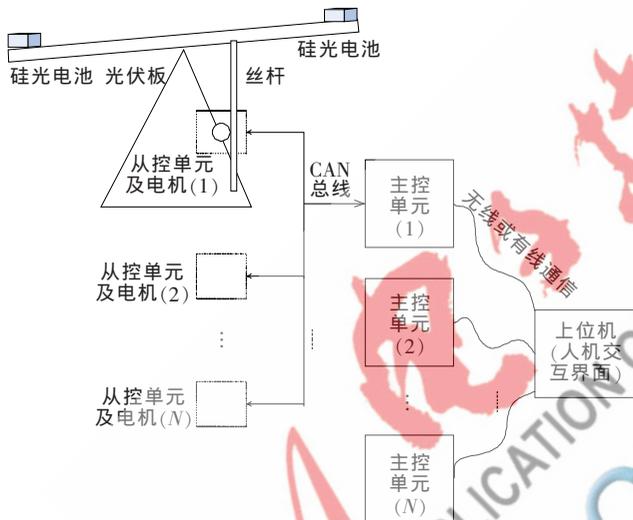


图 2 系统总体方案设计图

2.1.1 机械部分

机械部分包括光伏板、丝杆等机械元件,本系统在光伏板东倾和西倾 $47^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 左右处设置了机械限位装置,防止发生故障时光伏板运动过头而造成整个机械结构的损坏,并在光伏板东倾 45° 、西倾 45° 及中间位置处各设置了一个霍尔传感元件,用来校正零位点及东西极限位,东西极限位由使用者自行设置,理论上不能超过机械限位 50° 。

由于系统采用视日跟踪轨迹与光电控制相结合的方式,故需要在光伏板上安装光电传感器。本设计中光电传感器的主要采光部件为硅光电池。将 2 个同型号的硅光电池分别对称放置在光伏板中心东西方向,使之分别检测这 2 个方向的光强。当东西方向两个光电池传感器接收到的光强度差值小于某个极小量时,控制器不发出让电机动作的命令,当两个信号强度超过一定的范围时,可以驱动无刷直流电机作相应转动,电机的转动速

度也可由光强的差值大小来确定,直到东西方向上的硅光电池接收光照强度相等,从而使采光面板在东西方向上正对太阳。

系统要求在风速为 75 km/h 的大风中,电机仍然能够带动光伏板正常转动,且不因大风吹而导致位移。所以需要在机械设计中设置风速传感器来检测当前的风速是否满足系统运行条件,并要求电动机的转矩要满足大风条件的要求。

2.1.2 控制部分

控制部分如图 3 所示,主要包括从控单元和主控单元两个部分。从控单元和电机驱动板做成一个整体直接封装在电机端盖,主控单元则独立做成控制器安装在外部,多个从控单元通过 CAN 总线与一个主控单元连接。



图 3 控制部分示意图

从控单元的主要功能包括:根据时间、当地经纬度计算太阳位置,确定光伏板应处的角度;接收并处理霍尔传感元件的信号,校对东、西极限位及中间零位点;接收并处理硅光电池的反馈信号,对光伏板的位置进行微调;自动运行模式时,驱动电机运行使光伏板在一个方向上正对太阳,确定当前系统的工作模式;接收主控单元的控制信号并将从控单元、电机的运行状态信息传递给主控单元。

从控单元的状态包括状态 1 和状态 2 两部分:状态 1 包括自动运行(Autorun)、停止运行(stop)(装置回归零位)、重新追踪(retrack)、紧急停止(emergency)(装置不回归零位)和从紧急停止中恢复(restart)5 种模式;状态 2 包括夜间模式和大风模式两种特殊运行方式。当状态 2 处于夜间模式或大风模式时,不论状态 1 处于何种工作状态,电动机停止运行,装置回归零位。

主控单元的主要功能包括:设置和保存日期、时间、经度和纬度等参数并同步其下从控单元的时间;监视所有从控单元的运行状态;接收风速传感器的信号,并确定系统是否进入大风保护模式;计算当天太阳日出日落的时间,确定其工作区间,判断是否进入夜间模式;完成人机交互信息的处理与传递。

2.2 算法设计

确定太阳的方位需要几个重要的参数。首先是太阳赤纬角,太阳赤纬角是指太阳位置的连心线与地球赤道面的交角,一年当中,太阳赤纬角每天都在变化,但不超过 $\pm 23^{\circ}27'$ 的范围;其次是太阳时角,太阳时角定义为通过太阳的时圈对天球子午圈的角距离,如果天体在正南则时角为 0° ,在子午圈以西时角为正值,子午圈以东为负值。而在高度角及方位角的计算中,需要的时角为真

太阳时角,这就出现了时差的概念。太阳赤纬角、真太阳时角和时差的计算公式如下:

太阳赤纬角:

$$\delta = 0.3723 + 23.2567 \sin \theta + 0.1149 \sin 2\theta - 0.1712 \sin 3\theta - 0.7580 \cos \theta + 0.3656 \cos 2\theta + 0.0201 \cos 3\theta \quad (1)$$

时差:

$$E_q = 0.028 - 7.0924 \cos \theta - 1.9857 \sin \theta - 0.6882 \cos 2\theta + 9.9059 \sin 2\theta \quad (2)$$

式中, $\theta = 2\pi \times 57.2958(N + \Delta N - N_0) / 365.2422$, N 为积日, 所谓积日, 就是日期在年内的顺序号, 如 1 月 1 日其积日为 0, 12 月 31 日为 364 (平年), 闰年为 365。

$$N_0 = 79.6764 + 0.2422(y - 1985) - \text{INT}[0.25 \times (y - 1985)] \quad (3)$$

其中 y 为年份, $\text{INT}(X)$ 为不大于 X 的最大整数的标准函数。 ΔN 为积日订正值, 在计算精度要求不高的系统中可以忽略不计。

真太阳时角:

$$\tau = (H_T + M_T / 60 + S_T / 3600 - 12) \times 15^\circ \quad (4)$$

式中 H_T 、 M_T 和 S_T 分别表示真太阳时的时、分和秒, 真太阳时等于平太阳时与时差相加。

太阳高度角 H :

$$\sin H = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \tau \quad (5)$$

太阳方位角 A :

$$\sin A = \cos \delta \times \sin \tau / \cos H \quad (6)$$

其中 δ 为太阳赤纬角, ϕ 为观测点的地理纬度, τ 为观测时的真太阳时角。

在太阳跟踪系统中, 需要将太阳的位置信号转化成光伏板当前需要转动的角度信号, 这里定义的偏移角为光伏板平面与水平面之间的夹角, 向东为正, 西为负。根据电机转轴的设置方向和太阳运动的位置可得偏移角为:

$$\tan \beta = \sin \tau / (\cos \phi \cos \tau \pm \tan \delta \sin \phi) \quad (7)$$

式中 ϕ 为观测点的地理纬度, τ 为观测时的真太阳时角, 北纬取+, 南纬为-。

2.3 硬件设计

硬件设计包括从控单元和主控单元两部分。其硬件结构图如图 4、图 5 所示:



图 4 主控单元硬件结构图



图 5 从控单元硬件结构图

2.3.1 DSP 控制模块

本文选用飞思卡尔 DSP56F8037 作为主控芯片。

56F8037 是一款基于 56800E 的内核系统, 因其价格低廉、适应性强及紧凑的程序编程性而在工业中得到广泛应用。在 32 MHz 时钟频率下可达到 32 MIPS 的指令执行速度, 并采用双哈佛结构大大提高了系统的数据吞吐率, 3.3 V 的 I/O 电压大大降低了它的功耗, 并且大大增加了 C 编译器应用的控制效率。

2.3.2 传感器采集电路

传感器采集电路包括两部分: 光电传感器采集电路和零位、东西限位霍尔传感器采集电路。光电传感器的采集信号经处理后直接送入 DSP 作为系统的反馈控制信号; 零位的霍尔传感器在校正零点时起到了非常重要的作用, 零点校正的准确性直接关系到整个系统的运行精度, 东西限位的霍尔传感器则起到了保护作用。

2.3.3 电机控制模块

电机控制模块的作用是驱动无刷直流电机转动从而使光伏板旋转到正对太阳的位置。大部分无刷直流电机采用三相全波六状态方式工作, 需要三个霍尔位置传感器。无刷直流电机通过改变电源电压 U_s 实现速度调节。在 U_s 大小固定的条件下则是通过对 U_s 实行脉宽调制 (PWM) 控制来调压调速, 对于三相桥式主电路本文采取单极性 PWM 控制 3 个上桥臂元件。如图 6 所示, 将霍尔传感器输入的信号经 DSP 处理之后产生 PWM 控制信号, PWM 信号控制上桥臂元件的通断以调节功率管的占空比, 从而改变电枢绕组供电电压的大小以实现速度的调节。

无刷直流电机控制方式为双闭环 PI 控制。外环为速度环 (电压环), 主要起稳定转速和抗负载扰动作用; 内环为电流环或转矩环, 主要起稳定电流和抗电网电压波动的作用。

2.3.4 编码器输入模块

编码器输入模块的作用是输入当前从控单元的编号, 此编号在 CAN 通信中代表此台控制器的通信 ID, 主控单元通过此 ID 判断每个从控单元的通信状态, 其中编号 0 代表主控单元向从控单元群发信息, 所以编码器输入时不得输入 0 代表某一台从控单元。

2.4 软件设计

系统控制流程图如图 7 所示。

3 实验及分析

无刷直流电机的控制模块是太阳自动跟踪系统中的核心, 故对无刷直流电机的驱动电路进行实验。实验中, 功率管选择 APM4008N 的 MOSFET, 驱动芯片选择 IR 公司生产的 IR2103 驱动器, 其工作电压可达 600 V, 栅极驱动电压为 +10 V ~ +20 V, IR2103 的供电电压和 APM4008N 的供电电压均为 24 V, 无刷直流电机功率为 200 W。经过实验后得到如图 8、图 9 所示的实验波形。

图 8 所示的是 A 相的功率管驱动波形, 图 9 所示为 A、B 两相上桥臂 PWM 信号功率管驱动波形。每一瞬间各有不同相的上、下桥臂元件导通, 每个功率开关元件

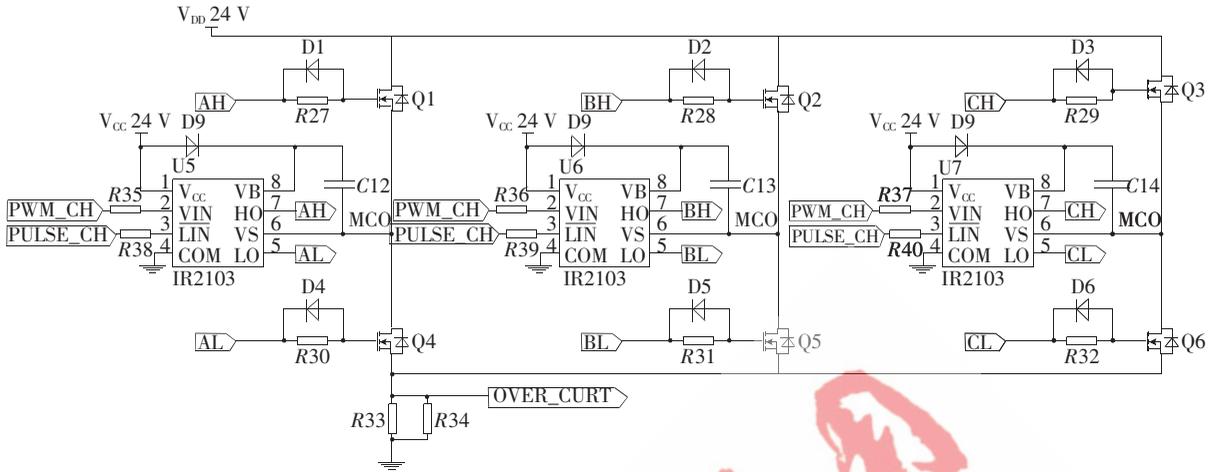


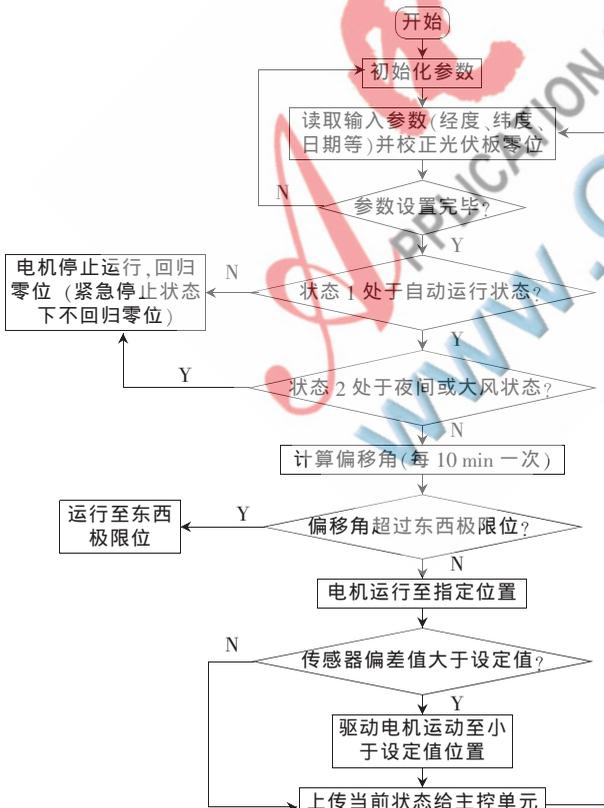
图6 无刷直流电机驱动电路

导通 1/3 周期（120°电角度），每隔 1/6 周期（60°电角度）换流一次。

本文设计了一个由多台混合式单轴太阳能跟踪器组成的太阳能自动跟踪系统，经讨论，该系统具有成本低、集中性强等特点。对于当前市场中大部分单独采用视日运动轨迹式或光电传感器式跟踪方式的跟踪器来说，此种方法适应性更强，跟踪精度更高。对无刷直流电机驱动实验的分析表明无刷直流电机在太阳能跟踪系统中可实现高精度、高可靠性的要求。在多台跟踪器协调控制技术方面的研究使整个系统可以实现集中控制，在实际应用中具有较高的市场竞争力，更体现其先



(b) 主控单元流程图
图7 控制系统流程图



(a) 从控单元流程图

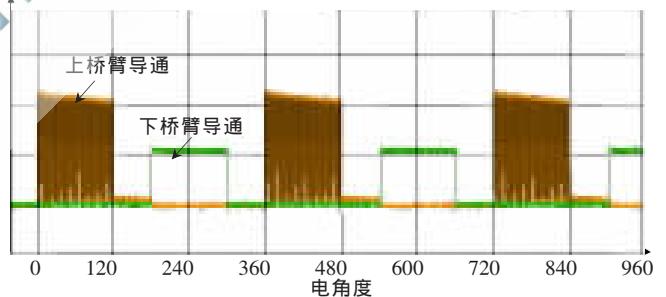


图8 单相功率元件驱动波形

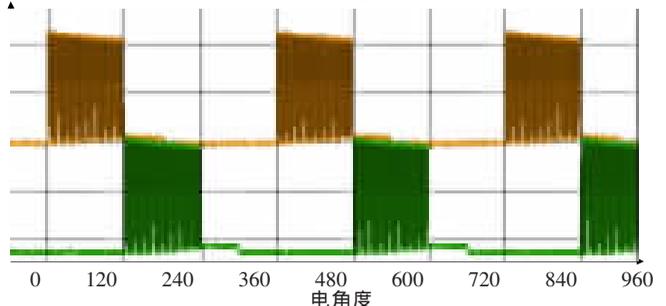


图9 两相上桥臂功率元件驱动波形

进性,在未来太阳能跟踪技术的发展中具有更好、更广阔的前景。

参考文献

- [1] GAY C F, YERKES J W, WILSON J H. Performance advantages of two-axis tracking for large flat-plate photovoltaic energy system [C]. In: Proceedings of 16th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 1982:1368-71.
- [2] 王如竹,代彦军.太阳能热利用基础[M].第一版.北京:化学工业出版社,2007.
- [3] 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.
- [4] 余雷,王军.关于不同单轴跟踪方式的对比分析[J].太阳

能学报,2011,32(3):426-432.

- [5] 刘四洋.主动式双轴太阳跟踪控制器[J].可再生能源,2007,25(6):69-72.

(收稿日期:2013-03-14)

作者简介:

高岩,女,1990年生,硕士研究生,主要研究方向:新能源发电技术。

卢小芬,女,1972年生,副教授,硕士生导师,主要研究方向:电力系统运行控制及智能电网。

郭新华,男,1977年生,博士,讲师,主要研究方向:电动汽车用永磁型双机械端口电机驱动控制,永磁同步电机驱动控制等。

电子技术应用
APPLICATION OF ELECTRONIC TECHNIQUE
www.ChinaAET.com