

基于 PLC 的双轴太阳能跟踪控制系统设计

张翠云¹, 陈学永¹, 陈仕国¹, 李玉榕²

(1. 福建农林大学机电工程学院, 福建 福州 350002; 2. 福州大学电气工程与自动化学院, 福建 福州 350116)

摘要: 为提高太阳能集热器板的能量吸收率, 设计了基于西门子 S7-1200PLC 的双轴伺服太阳能跟踪系统. 该系统采用视日轨迹跟踪方案, 根据相关天文学公式和参数计算出太阳的实时位置, 控制伺服电机带动集热器板实时跟踪太阳. 采用 SIMATIC HMI 精简面板组态友好的人机界面, 操作简单, 便于监视和管理. 详细介绍了控制系统的原理及硬件构成和系统的软件设计. 试验结果表明: 太阳跟踪器运行稳定可靠, 能适应各种复杂环境条件.

关键词: 太阳能跟踪系统; PLC; 视日轨迹跟踪; 触摸屏

中图分类号: TP 11

文献标识码: A

Design of two-axe solar tracking control system based on programmable logic controller

ZHANG Cui-yun¹, CHEN Xue-yong¹, CHEN Shi-guo¹, LI Yu-rong²

(1. College of Electromechanical and Engineering, Fujian Agriculture and Forest University, Fuzhou, Fujian 350002, China;

2. College of Electrical Engineering and Automation, Fuzhou University, Fuzhou, Fujian 350116, China)

Abstract: In order to improve the energy absorption rate of solar thermal collector plate, a two-axe solar tracking control system is designed based on programmable logic controller (PLC) of Siemens S7-1200. A sun tracking scheme is proposed to control servo motor running to drive solar collector tracking the sun's real-time position, which is calculated out by relevant astronomy formula and parameters. A friendly interface using SIMATIC HMI panel is presented. It can be operated simply for user to monitor and manage the system. The design of control system is presented in detail according to the operational principle of solar-tracker, as well as the development of software and hardware. The solar tracking experiments indicate that the solar tracker operates reliably and is able to work under complex weather conditions.

Keywords: solar tracking system; PLC; trajectory tracking; HMI

提高太阳能利用率的方法一般有两种:一种是研究新的材料提高太阳能转化效率;另一种是提高太阳能的接收效率.本研究就如何提高太阳能的接收效率问题,设计了一种基于 PLC 的太阳能跟踪系统.相关理论研究^[1]表明:相对于太阳能集热器固定安装系统,利用双轴跟踪系统可使接收率提高 41.34%,精确跟踪太阳可使太阳能设备能量利用率大大的提高,拓宽太阳能的应用领域.

1 双轴伺服太阳能跟踪系统的设计原理

地球有公转和自转.一方面,地球绕太阳公转,会引起地球上同一地点高度角变化,为了使太阳光线能始终垂直入射集热器板,必须调整集热器的倾角,使太阳能集热器板能自动调整高度角.另一方面,地球绕自身的极轴自转,会引起地球上同一地点的方位角发生变化,必须使系统能克服自转带来的集热器板的倾斜入射问题.因此,选用双轴跟踪系统来校正地球自转和公转的影响.

太阳能的跟踪方法一般分为传感器跟踪和视日轨迹跟踪.前者利用安装在集热器板上的光敏元件接收太阳光,当集热器板倾斜入射时,根据装在不同位置的光敏元件接收到的信号不同,利用偏差值来调整

集热器板,直到偏差为零.这种方法灵敏度高,但受天气影响较大,阴雨天无法跟踪太阳,甚至引起机械机构的误动作.后者根据天文学公式推算出太阳的实际位置来调整跟踪装置以便跟踪太阳,这种方法虽然较复杂,精度没有前者的高,但是符合实际的运行情况^[2-7].本设计采用视日轨迹跟踪方法.

1.1 视日轨迹跟踪方法原理简介

太阳在天球上的位置可以由太阳高度角 α_s 和太阳方位角 γ_s 确定, α_s 是指太阳光线与地表水平面之间的夹角,又称为太阳俯仰角($0^\circ \leq \alpha_s \leq 90^\circ$). γ_s 是指太阳光线在地面上的投影线与南北方向线之间的夹角.高度角 α_s 和方位角 γ_s 可以由以下天文学公式算出^[8-15]:

$$\sin \alpha_s = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \omega \tag{1}$$

$$\cos \gamma_s = \frac{\sin \alpha_s \sin \phi - \sin \delta}{\cos \alpha_s \cos \phi} \tag{2}$$

$$\delta = 23.45 \sin \left[\frac{360}{365} (284 + n) \right] \tag{3}$$

式中: ϕ 为当地地理纬度角,可以通过 GPS 等精密导航仪获得; δ 为太阳赤纬角(太阳光线与地球赤道面交角),随季节变化而变化,春分和秋分时 $\delta = 0^\circ$,夏至时 $\delta = 23.5^\circ$,冬至时 $\delta = -23.5^\circ$; n 为一年中的日期信号,1月1日, $n = 1$,往后每隔 1 d 加 1; ω 为时角,由当地时间确定.日常生活时间采用平均太阳时 t (为北京时间).真太阳时 t_0 有时差,通过下面公式计算:

$$t_0 = \frac{20 - \sigma}{15} - \frac{e}{60} \tag{4}$$

(4) 式中: σ 为当地地理经度角,中国地区的北京标准时间的经度为 120; e 为时差,可由下式算得:

$$e = 0.017 + 0.4281 \cos \beta - 7.3515 \sin \beta - 3.3495 \cos \beta - 9.3619 \sin \beta \tag{5}$$

$$\beta = \frac{360}{365} (n - 1) \tag{6}$$

$$\omega = 15 (12 + t_0 - t) \tag{7}$$

由以上公式可以计算出某个地区的太阳在不同时刻的实际位置,即可以求出 $\delta, \alpha_s, \gamma_s$. 太阳在日出和日落时,太阳的高度角 $\alpha_s = 0^\circ$,由式 1 可以求出太阳时角 ω ,求出的正值为上午的日出时角,负值为下午的日落时角.再由式(7)可求出日出时间 T_1 和日落时间 T_2 .

1.2 跟踪系统的总体结构原理框图

根据视日轨迹跟踪方法,按照天文学的公式算出太阳高度角和太阳方位角后,利用控制器控制集热器板按照计算出的参数转动.使集热器板能正对太阳,垂直入射,达到最大的热能吸收.系统的总体结构原理框图如图 1 所示.

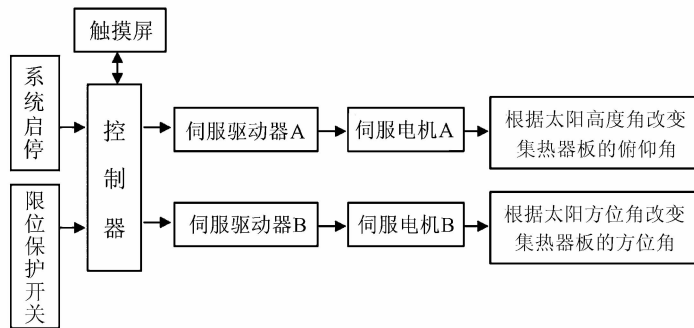


图 1 控制系统总体框图

Fig. 1 Composition block diagram of control system

2 双轴伺服太阳能跟踪系统的构成

2.1 双轴伺服太阳能跟踪系统的硬件构成

双轴太阳能跟踪系统主要由水平回转台、垂直回转台、两台伺服电机、集热器板台架以及控制系统组成.集热器板固定在两个回转台上.水平回转台由一台伺服电机控制,通过谐波减速器控制水平回转台的

转动, 调整集热器的方位角 γ_s . 垂直方向由伺服电机驱动同步带轮带动丝杆螺母旋转, 使丝杆进行垂直方向的直线运动, 改变集热器的俯仰角即高度角 α_s .

控制系统设置外部的启动和停止开关, 为保护集热器不碰到地面, 还设置了各个方位的限位保护开关. 控制器采集这些外部信号, 通过程序控制外部的两台伺服电机按照一定的规律转动. 两路的高频脉冲输出和两路的方向控制, 选用西门子公司最新推出的可编程控制器 (PLC) S7-1200 CPU1212C DC/DC/DC 作为控制器. 该控制器自带精确的实时时钟, 带有 2 个高频脉冲输出, 频率最高可达 100 kHz. 另外该控制器的运算指令功能强大, 具有反三角函数运算, 可满足视日运行轨迹跟踪的天文学公式的计算. 设置用于编程以及 HMI 和 PLC 通信的 PROFINET 接口. PLC 的系统 I/O 地址分配见表 1.

表 1 PLC 外部 I/O 地址分配表
Tab.1 External I/O address table of PLC

输入信号	输入端口地址	输出信号	输出端口地址
启动信号	I0.0	伺服驱动 A 脉冲输出	Q0.0
停止信号	I0.1	伺服驱动 A 方向输出	Q0.1
南限位开关	I0.2	伺服驱动 B 脉冲输出	Q0.2
北限位开关	I0.3	伺服驱动 B 方向输出	Q0.3
东限位开关	I0.4		
西限位开关	I0.5		

执行机构伺服电机选用国产珠海运控 BPA4 系列交流伺服电机, 伺服驱动器选用与之匹配的 PS-DA0833A4. 可以通过伺服驱动器的操作面板监视和设置运行参数. 伺服驱动器的一些主要的参数设置为: 控制模式参数 51 设置为 1(位置控制模式); 脉冲输入参数方式参数 5E 设置为 0(脉冲加方向模式); 电机转动方向参数 5B 设置为 0(正转); 电子齿轮比参数 34/35 根据需要设置. 例如, 要设置 1 000 个脉冲/圈, 可设 $34 = 10\ 000$, $35 = 1\ 000$ 或者设置 $34 = 10$, $35 = 1$.

2.2 双轴伺服太阳能跟踪系统的软件构成

系统的软件部分主要实现以下几个功能:

1) 根据上位机触摸屏设定的当地经度和纬度以及日期, 计算出当地的日出时间 T_1 和日落时间 T_2 .

2) 每隔 5 min 读取一次实时时钟, 实时时间 T 在 T_1 和 T_2 之间, 计算实时太阳位置即太阳的高度角和方位角.

3) 根据计算出的实时太阳的高度角和方位角, 并将计算结果和上一次结果相减, 算出 PLC 需要发送的的脉冲数, 在几秒钟之内调整双轴执行机构, 转动相应的角度, 以使太阳能集热器正对太阳.

4) 实时时间 T 若大于日落时间 T_2 , 则执行机构返回机械原点. 之后, 执行机构不动作, 直到第二天, 日期变化后, T_1 、 T_2 被更新, 当 T 处于 T_1 和 T_2 之间时, 执行机构又重新开始动作.

系统的主流程图如图 2 所示.

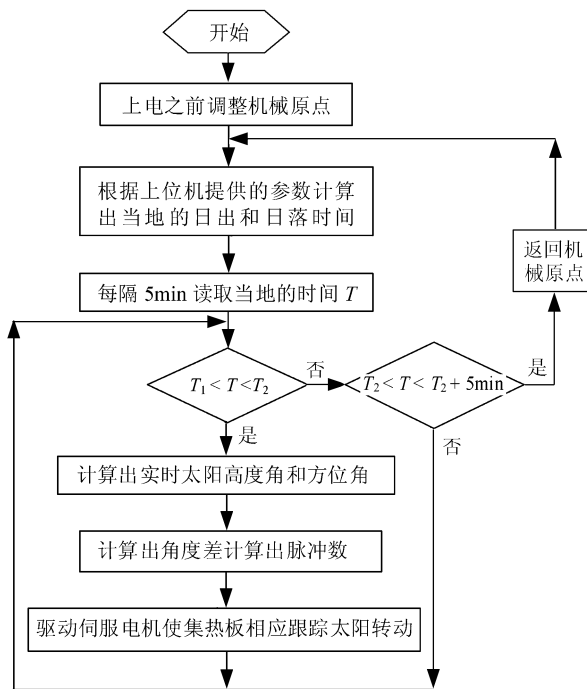


图 2 系统的主流程图

Fig. 2 Master program diagram of the measuring and control system

2.3 双轴伺服太阳能跟踪系统的上位机界面设计

为使控制系统具有更好的人机界面和使用灵活性,采用 SIMATIC HMI 精简系列面板(KTP600PN, 5.7" TFT 彩色显示, 320 × 240 像素, 256 色触摸屏, 6 个功能键),用于组态以及同 PLC 通讯的 PROFINET 接口. SIMATIC HMI 精简系列面板可以与 SIMATIC S7 - 1200 控制器无缝兼容. 利用 STEP7 Basic 工程组态软件对 S7 - 1200 和 HMI 进行高效的组态.

操作面板上主要有以下几个功能: ①为使该设备具有通用性和市场前景,设置了当地的经度和纬度输入框; ②设置实时系统日期和时间的显示; ③为保证系统安装调试,设置了手动的调整按钮,可以手动设置机械原点位置; ④设置了系统的一些主要的参数显示,如太阳的高度角和方位角等.

触摸屏的主界面如图 3 所示.



图 3 触摸屏的主界面

Fig.3 HMI's main interface

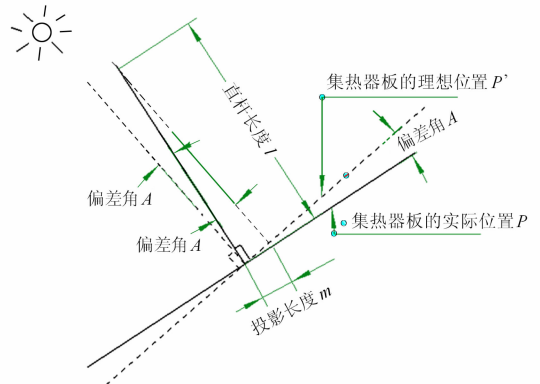


图 4 实验测试方法示意图

Fig.4 Schematic diagram of experimental method

3 试验测试方法及数据

在集热器板上安装一根垂直于集热器板的直杆,通过直杆在板上的投影来检测太阳光线的实时跟踪精度.如图 4 所示,垂直安装在板上的直杆长度为 l (实际长度取 1 m),图中实线为太阳能集热器板的实际位置 P ,虚线为太阳能集热器板的理想位置 P' ,如果实际位置和理想位置正好重合,则直杆在地面上的投影为一个点.如果有误差,则实际板的位置 P 会和理想位置 P' 有个夹角,假设夹角为 A ,则直杆在图中的投影为图中的 m 段.由图 4 可知:

$$m = \tan A \cdot l \tag{8}$$

m 可以通过现场实时检测,因此,可以通过下式求出偏差角 A :

$$A = \arctan \frac{m}{l} \tag{9}$$

在有太阳的晴天,测试出投影 m 的长度.按照公式(9)计算出偏差角度 A .表 2 为部分实验数据.

表 2 2012 - 12 - 16 部分测试数据

Tab.2 Part of the measure data on December 16, 2012

测试时间	m/cm	$A/(^\circ)$	测试时间	m/cm	$A/(^\circ)$
9:00	1.7	0.97	13:30	1.7	0.97
9:05	1.7	0.97	14:00	1.6	0.91
9:30	1.6	0.91	14:30	1.6	0.91
10:00	1.6	0.91	15:00	1.5	0.86
10:30	1.6	0.91	15:30	1.5	0.86
11:00	1.6	0.91	16:00	1.6	0.91
11:30	1.7	0.97	16:30	1.5	0.86
12:00	1.6	0.91	17:00	1.6	0.91
12:30	1.7	0.97	17:30	1.6	0.91
13:00	1.7	0.97	18:00	1.6	0.91

4 结语

基于视日轨迹跟踪方法的原理,设计了带上位机友好人机界面的 PLC 自动控制系统. 该系统利用西门子 S7-1200 计算天文学公式和参数,求出太阳在某地某时的实时高度角和方位角;利用 PLC 的高频脉冲输出指令功能控制伺服电机,调整太阳能集热器转动相应的角度,实时精确的跟踪太阳,达到太阳能集热器以最佳的位置对准太阳,提高太阳能的吸收率. 利用触摸屏可以方便的设定参数,使系统适用于各个地区,不受地域限制. 实验表明:①该系统运行稳定可靠,能适应各种复杂环境条件;②跟踪精度小于 1° ,能使太阳能集热器板实时跟踪太阳的高度角和方位角,提高太阳能集热器的吸收热能效率.

本系统在单机上已经实现了很好的跟踪效果,下一步将从提高系统的可靠性和提高系统的运行效率方面加以完善. 首先,利用在集热器面板上安装传感器进一步矫正系统,使系统构成闭环控制,提高系统的可靠性. 其次,利用 PLC 的方便的联网功能,可以实现大规模网络化控制,以利于降低成本,提高运行效率.

参考文献:

- [1] Abdallah S. Two axes sun tracking system with PLC control[J]. Energy Conversion and Management, 2004, 45: 1931-1939
- [2] Sungur C. Multi-axes sun-tracking system with PLC control for photovoltaic panels in Turkey[J]. Renewable Energy, 2009, 34: 1119-1125.
- [3] 申少青,杜春旭,王普,等. 太阳能利用中太阳位置算法研究[J]. 太阳能, 2012(7): 33-37.
- [4] 刘贤群,蒋逢灵. 基于 PLC 的碟式太阳能跟踪控制系统设计[J]. 微型机与应用, 2012, 31(5): 84-86.
- [5] 李建昌,王紫瑄,侯雪艳,等. 一种太阳能集热器自动寻光系统设计[J]. 可再生能源, 2012, 30(8): 24-27.
- [6] 汤世松,舒志兵. 基于 PLC 的太阳能聚光伺服跟踪系统的设计[J]. 机床与液压, 2009, 37(8): 340-342.
- [7] Ranganathan R, Mikhael W, Kutkut N, *et al.* Adaptive sun tracking algorithm for incident energy maximization and efficiency improvement of PV panels[J]. Renewable Energy, 2011, 36: 2623-2626.
- [8] 沈辉,曾祖群. 太阳能光伏发电技术[M]. 北京:化学工业出版社, 2009.
- [9] Abdallah S, Nijmeh S. Two axes sun tracking system with PLC control[J]. Energy Conversion and Management, 2004, 45(11): 1931-1939.
- [10] 饶鹏,孙胜利,叶虎勇. 两维程控太阳跟踪器控制系统的研制[J]. 控制工程, 2004, 11(6): 542-545.
- [11] 郑小年,黄巧燕. 太阳跟踪方法及应用[J]. 能源技术, 2003, 24(4): 149-151.
- [12] 戴训江,晁勤. 基于 PLC 的太阳能跟踪控制系统的设计[J]. 能源工程, 2007(6): 30-33.
- [13] 徐东亮,任超. 太阳自动跟踪装置控制系统的研究[J]. 机械工程与自动化, 2008(2): 140-142.
- [14] 陈维,李戩. 太阳能利用中的跟踪控制方式的研究[J]. 能源工程, 2003(3): 18-21.
- [15] 孙茵茵,鲍剑斌,王凡. 太阳自动跟踪器的研究[J]. 机械设计与制造, 2005(7): 157-159.

(责任编辑:杨青)