

# 基于 PLC 的碟式太阳能跟踪控制系统设计

刘贤群, 蒋逢灵

(湖南科技大学 机电工程学院, 湖南 湘潭 411201)

**摘要:** 设计了一种以 FX3U 系列 PLC 为控制核心的太阳能自动跟踪控制系统。该跟踪控制系统将视日运动轨迹跟踪与传感器跟踪相结合, 即第一级采用视日运动轨迹跟踪, 初步跟踪太阳的运行轨迹, 第二级采用传感器跟踪校正, 并采用双轴式跟踪调整装置。系统还设计了时间显示模块, 能够显示实时时间, 同时也可以对时间进行实时调整。

**关键词:** 太阳自动跟踪; PLC; 视日运动轨迹跟踪; 传感器跟踪

中图分类号: TM615; TP11

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2012)05-0084-03

## Design of disc type solar tracking control system based on programmable logic controller

Liu Xianqun, Jiang Fengling

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

**Abstract:** This paper introduces a solar energy automatic tracking control system, which use FX3U series PLC as the control kernel, to greatly improve solar energy utilization rate. The system combines the advantages of two techniques: firstly, apply sun trajectory tracking technique to track the sun trajectory and then utilize the technique sensor tracking to revise it accurately, meanwhile an adjusting device of dual axle type tracking is employed in this system. A time display module, which can be used both to display the real-time time and to adjust time on real-time, is also introduced into this system.

**Key words:** sun automatic tracking; PLC; the trajectory tracking; sensor tracking

如何提高太阳能的利用率一直是国内外学者的研究热点<sup>[1-5]</sup>。太阳能跟踪系统使集热器装置始终保持与太阳光垂直, 就可以在有限的使用面积内收集更多的太阳能, 精确地跟踪太阳, 可以大大提高集热器的接收率, 进而提高太阳能的利用率。

目前, 太阳能跟踪方法有光电跟踪和视日运动轨迹跟踪两大类<sup>[6-8]</sup>。参考文献[9]提出了基于 PLC 的单轴跟踪系统, 采用光敏电阻光强比较法, 利用光敏电阻在光照时阻值发生变化的原理来控制电机的转动, 从而带动集热器跟踪太阳, 但该跟踪方法受天气影响大, 无法在阴雨天气正常工作, 而且该跟踪系统采用单轴跟踪, 只能在一个方位上对太阳进行跟踪。参考文献[10]介绍了基于二维太阳跟踪装置的控制系統, 该系统采用视日运动轨迹跟踪方法计算出太阳高度角和方位角, 进而通过 PC 机控制步进电机, 从而带动集热器实现对太阳的跟踪。该方法成本低, 但是采用视日运动轨迹跟踪存在累

计误差, 而且自身不能消除。

此外, 以上光电跟踪和视日运动轨迹跟踪中没有设计时间显示调整模块, 无法显示实时时间和对时间进行调整。

鉴于此, 本文提出了一种基于 PLC 的碟式太阳能发电的跟踪控制系统的设计方案——混合跟踪方法, 当太阳辐射光线达到一定阈值时, 首先通过视日运动轨迹跟踪, 然后采用光电传感器跟踪校正, 同时本系统中还设计了时间显示调整模块, 能够显示实时时间, 同时也可以对时间进行实时调整, 并设计了伺服驱动器及电机与 PLC 的连接电路。

### 1 跟踪系统的设计与实现

#### 1.1 系统的总体结构

跟踪控制系统由传感器、可编程控制器 (PLC)、数码管显示器、双轴跟踪装置组成。

其中双轴跟踪装置包括方位角调节机构和高度角调节机构。方位角调节机构主要由电机、行星减速器、一

# 应用奇葩

Example of Application

级蜗轮蜗杆、回转轴承组成；高度角调节机构主要由电机、行星减速器、螺旋升降机组成。当系统启动后，由控制器控制电机转动，通过减速装置从而驱动集热器跟踪太阳，实现对太阳高度角和方位角两方位的跟踪。跟踪系统的组成结构如图 1 所示。

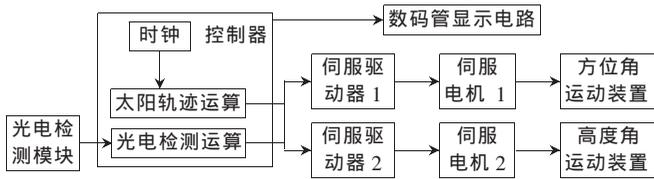


图 1 跟踪系统的组成结构

## 1.2 视日运动控制模块

视日运动控制模块是根据太阳运行的轨迹计算某一时刻的太阳高度角和方位角，编写相关的计算程序，实现对日的初步跟踪。太阳的运行轨迹其实就是计算在地球某一点上观看空中的太阳相对地球的位置，此时，太阳相对地球的位置是相对于地面而言的，用高度角和方位角两个坐标表示。

### 1.2.1 太阳的赤纬角

太阳光线与地球赤道面的交角就是太阳的赤纬角，以  $\delta$  表示。在一年当中，太阳赤纬角每天都在变化，但不超过  $\pm 23^\circ 27'$  的范围。夏天最大变化到夏至日的  $+23^\circ 27'$ ；冬天最小变化到冬至日的  $-23^\circ 27'$ 。太阳赤纬随季节变化，按照库伯方程，由式 (1) 计算：

$$\delta = 23.45 \sin(360 \times \frac{284+n}{365}) \quad (1)$$

式中， $n$  为一年中的天数。

### 1.2.2 太阳高度角

太阳高度角是指从太阳中心直射到当地的光线与当地水平面的夹角，以  $h$  表示，其值在  $0^\circ \sim 90^\circ$  之间变化，日出日落为  $0^\circ$ ，太阳在正天顶时为  $90^\circ$ 。计算太阳高度角的表达式为：

$$\sin h = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \omega \quad (2)$$

式中， $\phi$  为地理纬度； $\delta$  为太阳的赤纬角； $\omega$  为太阳时角；以当地真太阳时正午为  $0^\circ$ ，每隔一小时变化  $15^\circ$ ，上午为正，下午为负。

### 1.2.3 太阳方位角

太阳方位角是指太阳光线在地平面上的投影与正南方的夹角，以  $\gamma$  表示。方位角以正南方向为  $0^\circ$ ，由南向东为负，由南向西为正。太阳方位角按下式计算：

$$\cos \gamma = \frac{\sin h \sin \phi - \sin \delta}{\cos h \cos \phi} \quad (3)$$

## 1.3 光电传感器跟踪模块

本系统采用 4 个光敏电阻作为传感器来检测天空光线的变化，跟踪太阳的位置，进行误差校正。4 个完全相同的光敏电阻置于一个高壁圆筒内，均匀分布在东南西北 4 个方位处，接收来自不同角度的入射光。当东西方位或南北方位的两个光敏电阻感受到的光强差值小于某个限定值时，PLC 不发出让电机动作的信号；当光强差值超过一定范围

时，PLC 发出信号控制电机转动。如图 2 所示。其中 CDS1 和 CDS2 两个光敏电阻用于检测东西方向光线变化，调整太阳能集热器东西方向角，即方位角；CDS3 和 CDS4 两个光敏电阻则用于调整太阳能集热器南北方向角，即高度角。采样不同位置光敏电阻上的模拟信号，经过运放及相应保护电路，然后通过 A/D 转换之后将信号输送到 PLC 进行数据比较程序，最终从 PLC 发出相应信号驱动电机动作。PLC 采样输入端口选择  $X_4$ 、 $X_5$ 、 $X_6$ 、 $X_7$  端口。图 3 为采样光敏电阻 CDS1 电压、进入 PLC 图 2 光敏电阻传感器端口  $X_4$  的采样电路，其他三路原理相同。

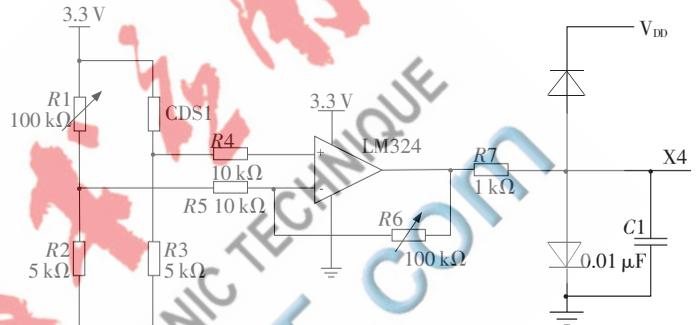
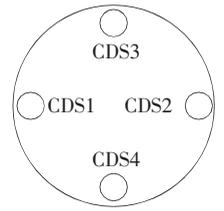


图 3 光敏电阻电压采样电路

## 1.4 数码管显示电路

数码显示调整模块主要用于显示 PLC 采集到的时间，以方便对时间进行调整。由于 PLC 的 I/O 口有限，采用直接驱动方式占用大量 I/O 口，因此本文采用 CD4543BCD 锁存/七段译码/驱动器。通过译码来驱动 4 位数码管的显示，PLC 通过  $Y_{10} \sim Y_{13}$  输出 BCD 码，将 BCD 码送到七段译码锁存器 (CD4543) 进行译码后再送到数码管上显示。而 4 位数码管的接通分别由  $Y_{14} \sim Y_{17}$  来控制。由于计算程序所需采集的时间有年、月、日、时、分、秒，若一次全部显示则需要 12 位 LED 数码管，超出 CD4543 驱动能力，因此，本文的设计中只显示时和分。图 4 是数码管显示电路与 PLC 外部接线图。

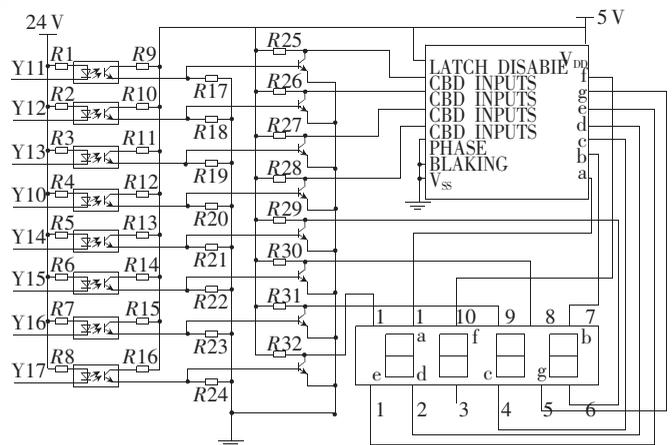


图 4 数码管显示与 PLC 的连接电路示意图

由于本系统中需要对时间进行调整，设计了按键电

路,设置了2个按键S1、S2。S1用来调整时,调整范围是0~23,每按一次键时加1,可以在0~23之间循环调整。S2用来调整分,调整范围是0~59,每按一次键时加1,可以在0~59之间循环调整。

### 1.5 执行机构

执行机构主要包括伺服驱动器、伺服电机和双轴跟踪装置,其中双轴跟踪装置有高度角运动装置和方位角运动装置。伺服驱动器接收控制器的输出脉冲,根据输出脉冲的个数和脉冲频率来决定伺服电机应转动的角度以及伺服电机的转速,从而通过电机来驱动双轴跟踪装置调节太阳能聚光器在方位角方向的偏差和高度角方向的偏差,使太阳能聚光器始终与太阳光线垂直。图5为伺服驱动器及电机与PLC的连接电路示意图。

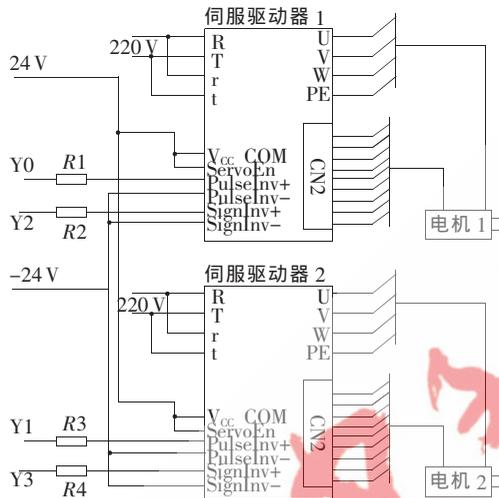


图5 伺服驱动器及电机与PLC的连接示意图

## 2 跟踪控制系统的软件设计

系统的控制作用主要由控制器PLC来完成,主要完成两个任务:(1)计算太阳的运行轨迹,求出太阳的角度差,发出初步调整信号;(2)处理传感器偏差信号,发出误差校正信号。其主程序流程图如图6所示。

系统在刚启动时,跟踪装置处于跟踪的起始位置,当系统开机启动、程序初始化设备和相关参数后,首先是读取时间,如果在日出前或日落后,则系统等一段时间后再读取时间,当读取的时间在日出和日落之间,系统通过辐射表采集辐射强度,以判断是否阴天、有云或其他遮盖,如果采集到的辐射小于系统设定的阈值,则系统等待一定时间后再继续采集;当采集到的辐射大于系统的设定阈值,则系统通过读取的时间

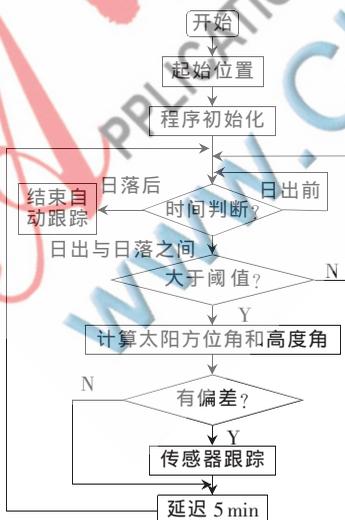


图6 主程序流程图

和当地的地理参数计算太阳的高度角和方位角,并将计算的结果与前一次的计算结果相减,得到角度差,然后根据角度差计算出PLC需要发出的脉冲数,再送给伺服驱动器,驱动电机转动,从而带动执行机构动作,完成初步跟踪。

在本系统中,设定PLC每发出1个脉冲伺服电机转 $0.9^\circ$ ,在方位角方向上的减速箱的传动比为1:93 600,高度角方向上的减速箱传动比为1:512。则当太阳方位角和高度角变化 $0.9^\circ$ 时,PLC向两台伺服电机发出的脉冲数分别为93 600个和512个。角度差的正负决定电机正反转。当系统完成初步跟踪后,自动进入传感器跟踪校正误差,如果有偏差信号输出,计算出相应伺服电机所需转动的脉冲数,然后分别送给两台伺服电机,进行进一步跟踪,校正误差。考虑到角度变化的精度影响和电机反应速度,延迟5min后再读取时间,进行下一个周期的跟踪。

本文基于PLC控制理论,提出了一种太阳能热发电系统的混合跟踪方法,结合了光电跟踪和视日运动轨迹跟踪的优点,对太阳能跟踪系统的软硬件进行了设计,可以实现太阳能跟踪装置的全天候对日跟踪,在硬件系统的设计中增加了时间显示调整模块,能对时间进行实时显示和调整。

### 参考文献

- [1] 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.
- [2] 徐东亮,任超.太阳自动跟踪装置控制系统的设计[J].机械工程与自动化,2008(2):140-142.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 郑小年,黄巧燕.太阳跟踪方法及应用[J].能源技术,2004,24(4):149-151.
- [7] ABDALLAH S, NIJMEH S. Two axes sun tracking system with PLC control [J]. Energy Conversion & Management, 2004,45(11):1931-1939.
- [8] JEFFREY S G. Application of the compatibility factor to the design of segmented and cascaded thermoelectric generators[J]. Appl.Phys.Lett,2004,84(13):2436-2438.
- [9] HELWA N H, BANGAT A B G, ELSHENAWY E T. Maximum Collectable Solar Eenergy by Different Solar Tracking systems[J]. Solar Energy,1991,46(4):211-217.
- [10] 张利明,杜春旭.基于8051单片机的碟式太阳能跟踪控制系统[J].太阳能,2007(6):30-34.

(收稿日期:2011-09-15)

### 作者简介:

刘贤群,女,1986年生,硕士研究生,主要研究方向:机电系统动力学与控制。