DOI:10.16515/j.cnki.32-1722/n.2018.02.0007

基于超声压电驱动器的跟踪太阳光伏发电系统设计

杜晓真^{1,2},杨忠^{2*},唐玉娟²

(1.河海大学机电工程学院,江苏 常州 213022;2.金陵科技学院智能科学与控制工程学院,江苏 南京 211169)

摘 要:设计出新颖的基于超声压电驱动器的单轴跟踪太阳光伏发电系统,实现无减速机构的直接驱动,以简化整体结构,提高光伏发电效率。仿真与实验结果表明,该系统较固定安装的发电系统发电量提高了 31.61%,成本增加了 23.6%,净增加收益为 8.01%,该系统是稳定可行的,具有很大的潜在的应用价值。
关键词:光伏发电;跟踪太阳;超声压电驱动器;单轴跟踪
中图分类号:TM615 文献标识码:A 文章编号:1672-755X(2018)02-0027-05

Design of Solar Tracking Photovoltaic Power Generation System Based on Ultrasonic Piezoelectric Actuator

DU Xiao-zhen^{1,2}, YANG Zhong^{2*}, TANG Yu-juan²

(1. Hohai University, Changzhou 213022, China; 2. Jinling Institute of Technology, Nanjing 211169, China)

Abstract: To simplify the overall structure and improve the efficiency of photovoltaic power generation, an innovative single-axis solar-tracking photovoltaic system based on ultrasonic piezoelectric actuator is designed with the realization of direct drive of non-deceleration mechanism. Simulation and experimental results show that, compared with the fixed installation system, the power generation capacity is increased by 31. 61%, the cost is increased by 23. 6%, and the net increase revenue is 8. 01%. So the system is stable and feasible, and has great potential application value.

Key words: photovoltaic power generation; solar tracking; ultrasonic piezoelectric actuator; single-axis tracking

太阳能发电和热利用是太阳能利用的两个重要表现,其中光伏发电是太阳能发电的重点^[1]。太阳能 的特点决定了太阳能存在着利用率较低的问题,故设计一种可自动跟踪太阳位置的光伏发电系统是十分 必要的。

超声压电驱动器是利用压电材料的逆压电效应,通过超声振动和摩擦,从而获得运动的一种新型微特 电机。它的运行机理不同于传统的电磁式电机,具有低速大转矩、可断电自锁、结构简单紧凑等诸多特 点^[2]。目前为止,它已在汽车、机器人、生物学及医疗器械、仪器仪表、航空航天、军工等众多领域得到了成 功应用,唐玉娟博士于 2014 年创新性地将其应用在引信系统中,使其在军工领域中的应用范围变得更 广^[3]。而对其在光伏发电领域的应用,仅国内学者赵杰于 2012 年首次提出将其应用于太阳跟踪系统中,

收稿日期:2018-04-05

基金项目:国家自然科学基金项目(51505204);教育部产学合作协同育人项目(201602009006)

作者简介:杜晓真(1990—),女,河南平顶山人,硕士研究生,主要从事超声压电驱动器与光伏发电系统的研究与设计。 通信作者:杨忠(1968—),男,江苏南京人,教授,博士,主要从事机械工程及自动化、人工智能、光伏发电等研究。

但使用了涡轮蜗杆减速机构,结构较为复杂^[4]。本课题借鉴赵杰的研究,在唐玉娟博士的国家自然科学基金(51505204)的研究基础上,基于对超声压电驱动器的特点及应用领域的研究,加上对太阳运行规律的分析,进一步创新性地提出将其直接用于太阳自动跟踪装置,而不用减速机构,在满足太阳跟踪需求的基础上直观地体现了超声压电驱动器低速大扭矩、可断电自锁等特点,简化整体结构,提高跟踪效率。从另一层面上来说。本研究体现了超声压电驱动器应用的新领域,为其未来的发展与应用提供了一个新的方向。

1 系统设计思路及工作原理

首先,本文选用单轴的跟踪机构,视日运动轨迹跟踪与光电跟踪相结合的跟踪方式,从而提高太阳能利用率。其次,在选择驱动电机时,舍弃传统的电磁电机,采用超声压电驱动器直接驱动跟踪装置,这样简化了机械结构,省去了减速装置和自锁装置,且本研究是超声压电驱动器的一个应用新领域。根据系统工作需求,通过有限元分析,设计直径为100 mm的超声压电驱动器定子、转子及整体结构^[5]。最后,明确本文设计的基于超声压电驱动器的单轴跟踪太阳光伏发电系统要具备的功能。机械结构设计方面,能实现 东西方向的运动、无减速机构的连接,结构设计要相对简单;硬件电路设计方面,能判断太阳位置及外部光 照强度、采集光电信号、驱动和控制超声压电驱动器、显示相关信息等;软件设计方面,能实现对跟踪时间 范围的设定、夜间系统的自动复位,能根据光照强度判断天气状况,从而对跟踪模式进行选择等。

系统工作原理为:系统初始化,手动调至初始位置,进入跟踪循环。首先根据从时钟芯片读取的时间 判断是否在跟踪时间内,若在跟踪时间内,则进行视日运动轨迹跟踪。然后根据采集的光强信号的大小判 别进行何种跟踪方式。若采集的光强信号大于等于阈值,进行光电跟踪,反之,依然进行视日轨迹跟踪。 若不在跟踪时间内,系统进入等待状态。完成一次跟踪后系统待机4 min,暂停跟踪,电机停转,整个系统 进入等待模式,之后开始下一次循环。若连续两次判断读取的时间不在跟踪时间内,则进行复位操作,装 置返回初始位置,程序关闭,保留时钟模块电源。

2 系统机械结构设计

所设计的基于超声压电驱动器的单轴跟踪太阳光伏发电系统的整体机械结构如图 1 所示,该系统主要 由立柱、超声压电驱动器、法兰盘、支撑、太阳能电池板、传感器等组成。将设计的跟踪机构安装于采光较好 的空旷地即可,由于超声压电驱动器低速大扭矩的特点能够满足太阳位置的低速变化,其断电自锁的功能能 够抵御风对跟踪系统的影响,故采用超声压电驱动器直接驱动跟踪装置在一定程度上简化了整体结构。超 声压电驱动器能够带动跟踪装置实现东西方向的 360°旋转,实现对太阳东西方向的跟踪。又由于超声压电 驱动器的动作响应迅速,可达毫秒级,控制性能较好,故将其用于自动跟踪太阳系统时反应迅速,较易控制。

其中超声压电驱动器与跟踪结构采用一体化设计,将超声压电驱动器的转子直接与法兰盘连接,实现 对跟踪装置的直接驱动,中间不需任何减速机构,也不需另外设置自锁机构,充分利用了超声压电器低速 大扭矩、可断电自锁的特点,相比传统的齿轮、涡轮蜗杆等传动,简化了整体结构,使得结构相对轻便、简 单。设计时根据整体结构及功能要求,设计出如图2所示的超声压电驱动器。定子通过螺钉固定安装在





1-卡环;2-弹簧垫圈;3-垫片;4-转子;
5-定子;6-压电陶瓷;7-轴承;8-联轴器
图 2 超声压电驱动器内部结构

联轴器上,定子下面粘贴压电陶瓷,转子与定子接触,转子与联轴器之间装有轴承,转子安装后装上垫片、 弹性挡圈及卡环,卡环用于固定整个装置,可通过调整卡环与弹性挡圈来调整预压力。转子上设置有螺纹 孔,将该超声压电驱动器用于跟踪机构上时,通过转子上的螺纹孔实现转子与法兰盘的连接,从而驱动跟 踪装置运行。

3 系统硬件电路设计

本文设计的跟踪太阳光伏发电系统的控制系统主要包括:STC89C52RC、光敏位置传感器、信号处理 电路、超声压电驱动器驱动电路、中断电路、显示电路、时钟电路、复位电路等。超声压电驱动器特殊的运 行机理决定了其驱动电路不同于传统电磁型电机,故需对其驱动电路进行设计。设计时选用 DDS 线性放 大型驱动电路,因为其基于 DDS 信号发生器的超声压电器的驱动电路包括信号发生电路、隔离电路、功放 电路、升压及匹配电路。信号发生电路是驱动电路的核心,故主要对信号发生电路进行设计(图 3)。设计 时采用美国 AD 公司推出的 AD9850 芯片作为信号发生电路的信号发生器。AD9850 是一集成电路元 件,其工作电压为 3.3 V^[6]。信号发生电路主要由两片 AD9850、单片机、74HC573 锁存器组成。单片机 的 P0 口与 74HC573 锁存器的输入端相连,AD9850 的数据端与锁存器输出端相连,AD9850 的 7、8 端口 与单片机的 RXD/P3.0、TXD/P3.1 端口相连,22 端口与单片机的 RST 端口相连,进而实现控制字等相 应数据的写入。



4 系统跟踪曲线与超声压电驱动器输出特性的仿真

4.1 跟踪曲线的仿真

太阳高度角和方位角与三个参数有关系:纬度 φ 、赤纬角 δ 、时角 ω 。天体几何学中太阳运行轨迹计算 公式为^[7]:

式中:φ-纬度;δ-赤纬角;ω-时角;h-高度角;γ-方位角。

对 2018 年 3 月 28 日 6:00 至 18:00 的太阳方位角方向变化的速度进行仿真,得到该天工作时间段的 速度变化曲线(图 4)。由图 4 可以看出,太阳方位角方向变化的速度始终为正值,即在跟踪时间段内,方 位角电机一直带动跟踪装置向西转动,其速度范围为 0.1~0.47 (°)•min⁻¹。方位角变化速度在上午时 逐渐增大,下午时逐渐减小。

4.2 超声压电驱动器输出特性的仿真

通过对超声压电驱动器定转子接触模型的分析,可得超声压电驱动器的输出转矩为[8]:

$$T = \frac{\mu F_N R}{\varphi(x_0)(2\varphi(x_s) - \varphi(x_0))}$$
(2)

式中:T—转矩; μ —摩擦系数; F_N —预压力;R—转子平均半径; $\varphi(x)$ —与x有关的函数; x_0 —质点速度最

小时 x 轴的坐标; x,一转子速度 v, 和定子接触界面的某点处的速度 v 相等时, x 轴的坐标。

由式(2)可以看出,在预压力和频率一定时,转矩和转速呈反比关系。按式(2)对超声压电驱动器的转矩 特性进行仿真分析。仿真时 μ 取 0.14, R 为 42.5 mm, F_N 分别取 500 N、700 N,调节两相频率为 31 kHz,则 可得出该条件下的电机输出转矩与转速的关系曲线,如图 5 所示。由图 5 可以看出在预压力一定的条件 下,转速随着转矩的增大而减小,故所设计的超声压电驱动器符合本文设计的单轴太阳自动跟踪系统对驱动 电机低速大扭矩的要求。预压力分别为 700 N、500 N时,其堵转扭矩分别为 4.4 N•m、3.28 N•m。结合图 4 仿真得出的太阳方位角速度可以看出,3 月 28 日的太阳方位角速度范围为 0.1~0.47 (°)•min⁻¹,对太阳 运行规律分析可知,太阳方位角的平均转动速度为 0.25 (°)•min⁻¹,故所设计的超声压电驱动器在任何 预压力下都能达到低速度的跟踪需求,而不需要减速机构。



5 实验数据分析

5.1 方位角跟踪误差分析

按照仿真设置的跟踪时间,对2018年3月28日整点时的太阳方位角进行实验测试。将实验测试数据与仿真数据进行比较,得到如图6所示的方位角误差曲线。由图6可以看出,仿真得出的太阳方位角与 实验测得的太阳方位角之间的误差在0.4°以内,设计时一般要求系统的跟踪误差在1°以内,故该跟踪算 法虽然存在一定的误差,但在误差允许的范围内,能够满足系统的基本设计要求。误差存在的原因可能为 机械装置的加工及安装误差,或是跟踪算法存在一定的误差等。

5.2 系统发电量分析

本文委托江苏紫金东方超声电机有限公司加工出基于超声压电驱动器的单轴太阳跟踪装置,如图 7 所示,整体机械结构实现对太阳东西方向的跟踪。为测试单轴跟踪与固定安装的光伏发电系统的发电情况,





图 7 基于超声压电驱动器的跟踪太阳光伏发电系统

借助于前期参与的金陵科技学院二期的光伏发电系统作为试验对比平台,固定安装的光伏发电系统采用 40°倾角安装。将所设计的基于超声压电驱动器的跟踪系统放置在金陵科技学院科技大楼3号楼楼顶,借 助已有的电压电流采集模块,将所设计的跟踪系统与电压电流采集电路连接,采集两组光伏发电系统 2018年3月28日一天的发电量。该天天气状况良好,读取时间为6:00—18:00,每40 min 读取一次数 据。整理数据得到固定安装与单轴跟踪的光伏发电系统的发电情况,如图8所示。

由图 8 可看出,单轴跟踪的光伏发电系统的发电效 率明显高于固定安装的发电效率。10:00 前,两种方式 的发电效率大致一致,10:00 后,单轴跟踪较固定安装的 光伏发电系统的发电效率明显提升,中午时两种方式的 发电效率大致相同,单轴跟踪较固定安装的光伏发电系 统高出的发电量主要集中在午后。测得该天单轴跟踪 的光伏发电系统的发电量为11.5 kW・h,比固定安装的 发电量高了 2.76 kW・h,发电量提升了31.61%。分析 实验数据可以看出所设计的基于超声压电驱动器的光 伏发电系统是稳定可行的,能够有效地提高系统的发电 效率,具有很高的研究应用价值。



图 8 跟踪与固定安装的光伏发电系统发电量对比

超声压电驱动器的单轴跟踪与固定安装的光伏发电系统所选组件基于相同,其成本差别主要是支架、 电机和驱动器等成本不同而造成的。设计时单轴和固定安装的支架成本分别用 A₁、A₀表示,分别为 2元•瓦⁻¹、1.5元•瓦⁻¹;固定所用的水泥成本分别用 B₁、B₀表示,分别为 1.5元•瓦⁻¹、1.3元•瓦⁻¹; 所设计的电机和驱动器的加工成本用 C表示,约为 7 000元;组件及其他安装件的基础成本用 D表示,约 为30 000元。计算 2 kW 单轴跟踪较固定安装的系统的安装成本高出的比例 G 为:

$$G = \frac{(A_1 - A_0) \times 2\ 000 + (B_1 - B_0) \times 2\ 000 + C}{(A_0 + B_0) \times 2\ 000 + D}$$
(3)

计算得出单轴跟踪较固定安装的系统的安装成本高出了约 23.6%,单轴跟踪较固定安装的光伏发电系统发电量提升了 31.61%,则单轴较固定安装的光伏发电系统的净增加收益约为 8.01%。

6 结 语

仿真与实验结果表明:所设计的超声压电驱动器在任何预压力下都能达到低速度的跟踪需求,而不需 要减速机构;太阳方位角的误差在 0.4°以内,该跟踪算法能够满足系统的基本设计要求;所设计的系统较 固定安装的净增加收益为 8.01%。故所设计的基于超声压电驱动器的单轴跟踪太阳光伏发电系统是稳 定可行的,具有很大的潜在的应用价值。

参考文献:

[1] 谢奇志,陈洪辉,耿其东,等.一种新型太阳能电池板跟踪装置的设计与实现[J]. 机电技术,2013(4):88-92

[2] 赵淳生. 超声电机技术与应用[M]. 北京:科学出版社,2007

- [3] 唐玉娟. 引信用直线型超声压电驱动原理及其应用基础研究[D]. 南京:南京理工大学,2014
- [4] 赵杰. 基于超声电机的双轴太阳能跟踪系统[D]. 南京:南京航空航天大学,2012
- [5] 杜晓真,杨忠,唐玉娟.大直径超声压电驱动器定子支撑的研究[J].压电与声光,2018,40(2):155-159
- [6] 汪庆武,张美艳,郇钲,等. 超声电机高精度扫描驱动控制器信号源设计[J]. 微电机,2016,49(9):63-80
- [7] 仲玉芳,王慧芳,叶建锋,等.光伏发电系统太阳方位跟踪装置的研究[J].太阳能学报,2013,34(10):1762-1767

[8] 徐志科. 行波型超声波电机的模型仿真与试验研究[D]. 南京:东南大学,2005

(责任编辑:湛 江)