

[驱动器]

基于STM32F407的压电电动机驱动器的设计

文/哈尔滨芯明天科技有限公司 夏铁铮
哈尔滨威帝电子股份有限公司 曲志强
黑龙江外国语学院 于虹博

介绍了一个基于STM32F407单片机的压电陶瓷驱动器。本方案的高压供电电源采用LLC拓扑，驱动电路采用分立元件+通用仪表放大器构建的推挽电路，工作于线性区间，有效地降低了成本，且具有低失真、低故障率和EMC性能好的优点，在国产化率要求逐渐提高的大环境下，是一款非常具有前景的产品。本方案均通过实验验证并应用于批量产品中，具有实际的工程意义。

随着高精度纳米级定位技术的迅速发展，微位移驱动定位技术成为精密测量加工、航天飞机微控制和电子仪表等前沿科学领域迫切需要的关键技术。而压电陶瓷因其具有正逆压电效应、响应速度快、操作电压高、位移范围精度高、静态功耗低及体积小等优点，成为振动平台微位移测试系统中的关键器件，而压电陶瓷驱动电源正是压电陶瓷微位移性能的核心保障。一种低成本且主要元件自主可控的压电电动机驱动器有着广泛的市场空间。

方案概述

方案如图1所示，由供电部分、驱动部分和主控回路构成。其中供电部分包括Boost升压电路、LLC供电主回路、Buck降压回路和LDO电路。驱动电路由四路放大电路构成，工作在甲乙类模式，有效地降低了驱动波形输出失真。相比于SPWM输出波形，在保证输出功率的前提下，有效降低了电磁干扰，保证了周边仪器设备的EMC。主控回路选用STM32F407VET6作为主控芯片。通过TIM5的32位定时器的增量编码器功能采集雷尼绍光栅尺增量编码信号。获取滑块实际位移。EEPROM芯片24C02用于断电时刻在PVD中断中保存实时增量编码器数

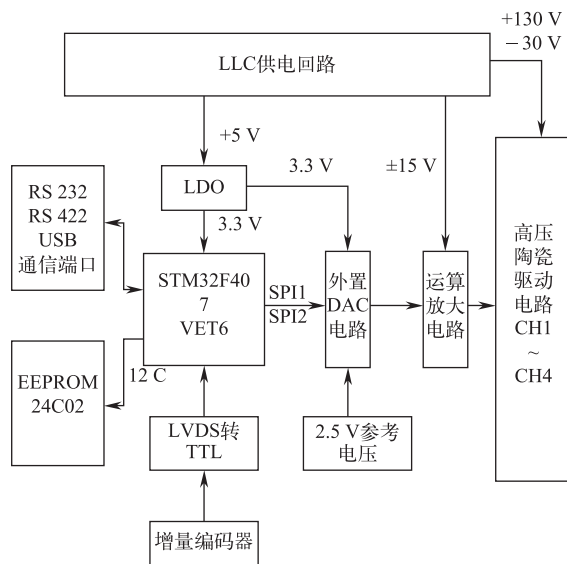


图1 驱动器原理框图

值，用于上电后读取并保持滑块处于断电位置。为满足不同客户需求和应用环境，本机设置RS 232、RS 422 USB三种通信接口，用于上传实时位移信息和接收上位机命令报文。

供电系统采用LLC主电路，对输入的DC 24 V电压进行升压变换。LLC变换器一次侧MOSFET ZVS 开通，输出二极管ZCS关断，没有反向恢复问

题,开关损耗小。适合应用于高频化、高功率密度设计。其输出有+130 V、-30 V和±15 V共四路电压。+130 V和-30 V用于驱动电路供电,±15 V用于运放的双电源供电,其中+15 V输出电压通过降压变换器芯片MC33063组成的降压变换电路实现5 V供电。四路DAC电路均采用TI公司的DAC8831,通过STM32F407的两路SPI通过CS引脚片选实现四路分时驱动,从而实现四路驱动波形的输出。DAC8831为双极性DAC电路,输出信号电压范围为±2.5 V,采用两片J-FET输入4运放TL074分别用于DAC8831的输出电压平移,形成双极输出和驱动波形的同相放大。其中2.5 V参考电压由REF5025提供,输出精度为±0.05%。

功能设置

本方案配套上位机操作界面,包括了闭环驱动器的常用功能。

1) 绝对位移命令。绝对位移命令在编码器进行零位校准后,可以设置驱动器精确移动到指定绝对位移处并保持在当前位置,具有一定范围的扰动抑制能力,保障设备可以工作在振动环境中。

2) 步进命令。在现有基础上可以进行微秒和纳秒级别的正反方向步进,可用于光学成像和调焦应用等连续调节场合。

3) 停止命令。在连续运动中停止滑块到即时位置。

4) 零位校准。开机后双向扫描零点刻度,用于设备的校准,可在中间遇到异常中手动停止。

5) 返回物理零位。快速回到零点,相当于绝对位置零命令。

6) 读取位置。读取实时绝对位置,供用户参考。

7) 滑动条。上下限位移和实时位置的直观显示,方便操作者参考。

程序设计

本方案中采用基于距离目标值的位移差作为输入量,运动控制中分为高速模式和低速模式,每个模式中运动状态分为匀速、调速和蠕动三个阶段。匀速阶段采用根据位移预设或者上位机设置的匀速阶段的运动速度,采用均匀的驱动波形,驱动在离

开阶段和调速阶段后达到设定匀速,直到达距离目标值10 μm区间后开始线性减速,随着距离目标值的距离降低速度,直到和蠕动阶段的速度同步。进入蠕动区间后,DAC指针数组指针指向高精度细分数组相应相位对应的正弦波数值地址。每100 μs周期蠕动一次,分辨率低于3 nm,从而实现距离目标值纳米级的闭环调节。主程序流程图如图2所示。

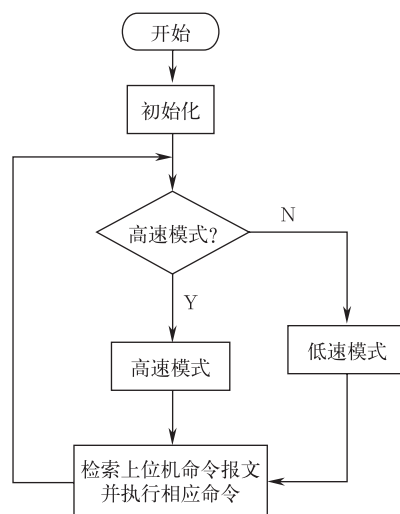
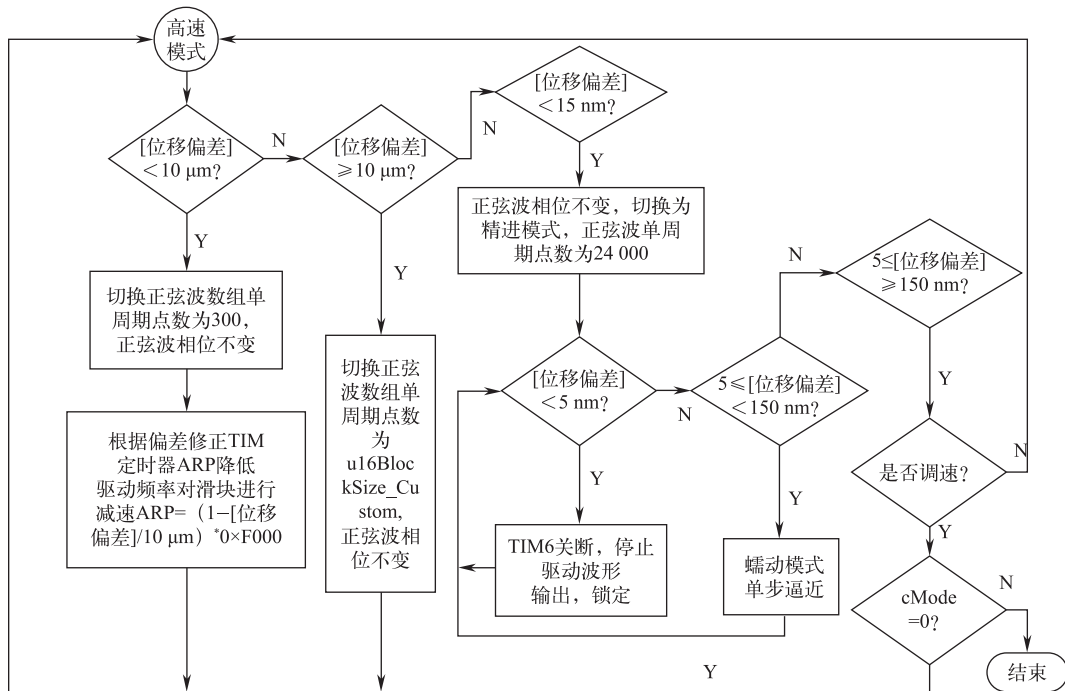


图2 主程序流程图

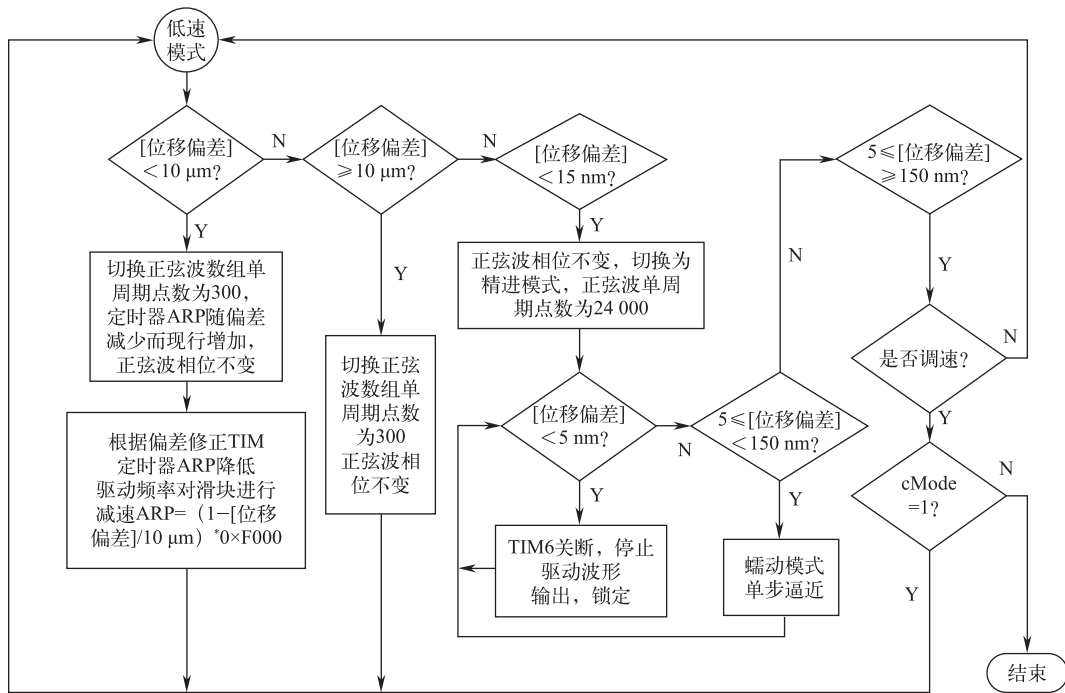
首先从复位向量进入main()函数,初始化后进入主循环,主循环根据cMode变量是否为0进行分支判别,选择高速和低速模式,高速和低速模式程序流程图如图3所示。高低速模式的工作阶段不同,低速模式通过调整定时器周期改变点间隔时间来调节运动速度,分为匀速阶段、调速阶段和蠕动阶段。在蠕动阶段,DAC指针数组指针指向高精度细分数组相应相位对应的正弦波数值地址。并通过修改定时器周期来调整蠕动速度。

实验结果

通过调试,本驱动器能够实现上位机界面所有相关功能。本驱动器支持四路相位相差90°的驱动波形,可输出-20~120 V、0~1 kHz任意波形,本方案中选用正弦波输出,使步进电动机四路驱动机构实现圆周运动,保障了运行中的平稳和低摆度。实验证明,本驱动器可以实现纳米级闭环控制,输出分辨率低于10 nm。负载推拉力可达到50 N,完全能够在多数应用中替换同规格进口仪器,保障了我国精密设备的自主可控。



(a) 高速模式工作流程图



(b) 低速模式工作流程图

图3 动态控制流程图

结语

通过采用本文所描述程序结构和控制方式,能够在单核低成本MCU平台实现压电陶瓷控制器的闭环控制,该控制方式不同于PID控制方式,相比PID

控制方式,具有直接快速和适应性好的优点,在有效推拉力下,能够消除负载变化造成的定位精度和动态范围的影响。EA

(收稿日期:2021-08-12)