



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105159227 B

(45)授权公告日 2017.12.19

(21)申请号 201510435521.4

(22)申请日 2015.07.22

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105159227 A

(43)申请公布日 2015.12.16

(73)专利权人 渤海大学

地址 121000 辽宁省锦州市高新区科技路
19号

(72)发明人 李兵 付莹 肖冰 李明 张亮

(74)专利代理机构 沈阳东大知识产权代理有限公司 21109

代理人 梁焱

(51)Int.Cl.

G05B 19/19(2006.01)

(56)对比文件

CN 103560721 A,2014.02.05,

CN 104483897 A,2015.04.01,

CN 102497149 A,2012.06.13,

CN 103414419 A,2013.11.27,

CN 102707666 A,2012.10.03,

CN 102637011 A,2012.08.15,

审查员 宋淑鹏

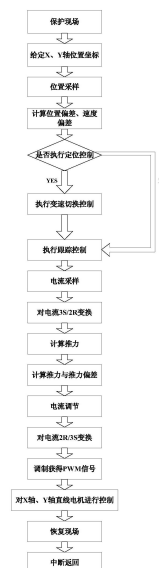
权利要求书4页 说明书11页 附图9页

(54)发明名称

一种双轴运动平台的定位与动态轨迹跟踪
控制装置及方法

(57)摘要

一种双轴运动平台的定位与动态轨迹跟踪控制装置及方法,属于多轴运动控制技术领域。根据指令运动轨迹的形状,设定位置坐标,两个直线电机接收到同样的指令信号并开始运动;确定每个直线电机的实测位置与实际速度;再计算每个直线电机的位置跟踪误差和转速偏差;若执行定位指令,则进行变速切换控制;在实时执行的动态轨迹跟踪控制过程中,通过选取Lyapunov函数,初步设计反演滑模控制律即永磁同步直线电机的控制电流,再结合自适应方法,实时修正该控制律,并将修正后的控制律即修正后的输入电流反馈至系统;本发明能够使平台的定位速度平滑过渡,提高平台的定位精度,且能够抑制平台系统中存在的扰动,实现对动态轨迹的精密跟踪控制。



1. 一种双轴运动平台的定位与动态轨迹跟踪控制装置,包括: DSP处理器; 用于将光栅尺采集的位置速度信号转化为可被DSP识别的数字量的位置速度检测电路; 用于采集电机电流并将电流模拟量转变为DSP可以识别的数字量的电流检测电路; 用于对DSP进行参数设置和DSP处理结果进行显示的按键显示板;

DSP处理器与按键显示板相连接; DSP处理器还依次通过功率接口板、IGBT驱动板和两组三相半桥IGBT组与构成双轴运动平台的X轴永磁同步直线电机和Y轴永磁同步直线电机相连; 每个永磁同步直线电机的输出端连接光栅尺、光栅尺与位置速度检测电路相连, 然后将检测的位置速度信号通过功率接口板送至DSP处理器的一路输入端; 每个永磁同步直线电机的电流输入线路上连接霍尔传感器, 霍尔传感器与电流检测电路相连, 然后将检测的电流信号通过功率接口板送至DSP处理器的另一路输入端;

其特征在于: 所述DSP处理器内还设置有位置给定器、变速切换控制器和主位置控制器;

所述的位置给定器用于根据指令运动轨迹的形状, 分别对X轴永磁同步直线电机与Y轴永磁同步直线电机的初始位置坐标及实时运动位置坐标进行设定;

所述的变速切换控制器: 根据定位控制指令发出的时刻, 预设时刻 t_0 、 t_1 、 t_2 、 t_3 , 并分别在时间段 $(t_0 \sim t_1)$ 、 $(t_1 \sim t_2)$ 、 $(t_2 \sim t_3)$ 内依次完成双轴运动平台的等加速度控制、等速度控制与等减速度控制;

所述的主位置控制器: 在实时进行的动态轨迹跟踪控制过程中, 通过选取双重Lyapunov函数, 初步设计反演滑模控制律, 再结合自适应方法, 实时修正该控制律, 并将修正后的控制律反馈至系统, 以消除双轴运动平台执行动态轨迹跟踪过程中产生的跟踪误差。

2. 一种双轴运动平台的定位与动态轨迹跟踪控制方法, 采用权力要求1所述的装置, 其特征在于: 具体包括以下步骤:

步骤1: 根据指令运动轨迹的形状, 分别对X轴永磁同步直线电机与Y轴永磁同步直线电机的初始位置及实时运动位置坐标进行设定, 两个直线电机接收到指令信号后开始运动;

步骤2: 对每个直线电机的实际位置进行采样、并确定每个直线电机的实际速度;

步骤3: 将每个直线电机的实测位置与指令位置进行比较、每个直线电机的实测速度与指令速度进行比较, 分别获得每个直线电机的位置跟踪误差和转速偏差;

步骤4: 实时查询是否收到定位控制指令, 是, 则执行步骤5; 否, 则执行步骤6;

步骤5: 进行双轴运动平台的定位控制时, 根据定位控制指令发出时刻, 预设时刻 t_0 、 t_1 、 t_2 、 t_3 , 并分别在时间段 $(t_0 \sim t_1)$ 、 $(t_1 \sim t_2)$ 、 $(t_2 \sim t_3)$ 内依次完成双轴运动平台的等加速度控制、等速度控制与等减速度控制后, 执行步骤6; 具体包括如下步骤:

步骤5-1: 在 t_0 时刻, 进行双轴运动平台的等加速度控制: 预设直线电机等加速度值 a_1 , 且设计加速度滑动平面 s_1 , 为使得 $s_1 \dot{s}_1$ 负定, 即使 s_1 稳定收敛, 设计等加速度控制参数 h_1 和 h_2 , 使得 s_1 、 h_1 和 h_2 满足式(1)和式(2), 以保证直线电机能够在时间段 $(t_0 \sim t_1)$ 持续以等加速度值 a_1 运动;

$$s_1 \dot{s}_1 = s_1 \left(\dot{z}_1 - \frac{1}{a_1} x_2 \dot{x}_2 \right) = s_1 x_2 \left[1 + \frac{1}{a_1 M} (B x_2 - K_f h_1 - K_f h_2 x_2 + F_D) \right] \quad (1)$$

$$\begin{cases} h_1 > \left| \frac{a_1 M + F_D}{K_f} \right| \\ h_2 > \left| \frac{B}{K_f} \right| \end{cases} \quad (2)$$

式中, M 为直线电机负载质量, z_1 为直线电机的位置跟踪误差, x_2 为 z_1 的一阶微分, B 为粘滞摩擦系数, F_D 为外部干扰力, K_f 为电磁推力系数;

步骤5-2: 当到达 t_1 时刻时, 进行双轴运动平台的等速度控制; 预设直线电机等速度值 v_d , 且利用速度偏差设计等速度滑动平面 s_2 , 为使得 $s_2 \dot{s}_2$ 负定, 即使得 s_2 稳定收敛, 设计等速度控制参数 h_3 和 h_4 , 使得 s_2 、 h_3 和 h_4 满足式(3)、(4)和式(5), 以保证直线电机能够在时间段($t_1 \sim t_2$)持续以等速度值 v_d 运动;

$$s_2 = x_2 - v_d \quad (3)$$

$$s_2 \dot{s}_2 < 0 \quad (4)$$

$$\begin{cases} h_3 > \left| \frac{F_D}{K_f} \right| \\ h_4 > \left| \frac{B}{K_f} \right| \end{cases} \quad (5)$$

步骤5-3: 当到达 t_2 时刻时, 进行双轴运动平台的等减速度控制; 预设直线电机的等减加速度值 a_2 , 且设计等减速度滑动平面 s_3 , 为使得 $s_3 \dot{s}_3$ 负定, 即使 s_3 稳定收敛, 设计等减速度控制参数 h_5 和 h_6 , 使得 s_3 、 h_5 和 h_6 满足式(6)、(7)和式(8), 以保证直线电机能够在时间段($t_2 \sim t_3$)持续以等减加速度值 a_2 运动;

$$s_3 = z_1 + \frac{1}{2a_2} x_2^2 \quad (6)$$

$$s_3 \dot{s}_3 < 0 \quad (7)$$

$$\begin{cases} h_5 > \left| \frac{F_D - a_2 M}{K_f} \right| \\ h_6 > \left| \frac{B}{K_f} \right| \end{cases} \quad (8)$$

步骤5-4: 当到达 t_3 时刻时, 执行步骤6;

步骤6: 在实时执行的动态轨迹跟踪控制过程中, 通过选取Lyapunov函数, 初步设计反演滑模控制律即永磁同步直线电机的控制电流, 再结合自适应方法, 实时修正该控制律, 并将修正后的控制律即修正后的输入电流反馈至系统, 以消除双轴运动平台执行动态轨迹跟踪过程中产生的跟踪误差; 具体包括如下步骤:

步骤6-1: 建立第一个稳定函数 b_1 为:

$$z_1 = Y - Y_d \quad (9)$$

$$b_1 = c_1 z_1 \quad (10)$$

式中 c_1 为任意正数, Y_d 为直线电机初始给定位置, Y 为直线电机实测位置;

步骤6-2: 在第一个稳定函数 b_1 的基础上, 建立第二个稳定函数 b_2 为:

$$b_2 = \dot{z}_1 + b_1 \quad (11)$$

步骤6-3:选取双重Lyapunov函数 V_1 、 V_2 ,通过保证 V_2 大于零, V_2 的导数 \dot{V}_2 负定,初步设计反演滑模控制律 U ,使得当 $t \rightarrow \infty$ 时,系统状态变量 z_1 与 b_2 收敛到零;

步骤6-3-1:选取第一个Lyapunov函数 V_1 ,如式(12)所示,并对 V_1 求导,结果由式(13)表示;

$$V_1 = \frac{z_1^2}{2} \quad (12)$$

$$\dot{V}_1 = z_1 \dot{z}_1 = z_1(b_2 - b_1) = z_1 z_2 - c_1 z_1^2 \quad (13)$$

步骤6-3-2:定义一个滑模面 σ ,如式(14)所示,并根据Lyapunov函数 V_1 ,选取第二个Lyapunov函数 V_2 由式(15)表示;

$$\sigma = k_1 z_1 + b_2 \quad (14)$$

$$V_2 = V_1 + \frac{\sigma^2}{2} \quad (15)$$

式中, k_1 为任意常数;

步骤6-3-3:对 V_2 求导,结果由式(16)表示;

$$\begin{aligned} \dot{V}_2 &= \dot{V}_1 + \sigma \dot{\sigma} \\ &= z_1 b_2 - c_1 z_1^2 + \sigma(k_1 \dot{z}_1 + \dot{b}_2) \\ &= z_1 b_2 - c_1 z_1^2 + \sigma[k_1(b_2 - c_1 z_1) + A_m(b_2 + \dot{Y}_d - b_1) + B_m U + D - \ddot{Y}_d + \dot{b}_1] \end{aligned} \quad (16)$$

步骤6-3-4:为保证 V_2 正定, \dot{V}_2 负定,初步设计反演滑模控制律为:

$$U = B_m^{-1}[-k_1(b_2 - c_1 z_1) - A_m(b_2 + \dot{Y}_d - b_1) - D \operatorname{sgn}(\sigma) + \ddot{Y}_d - \dot{b}_1 - h(\sigma + \beta \operatorname{sgn}(\sigma))] \quad (17)$$

式中 A_m 、 B_m 与 C_m 为直线电机参数; D 为系统总干扰量;

步骤6-4:结合自适应方法,实时修正控制律,并将修正后的控制律反馈至系统,以消除双轴运动平台执行动态轨迹跟踪过程中产生的跟踪误差;

步骤6-4-1:进一步选择式(18)所示的Lyapunov函数 V_3 ,并对 V_3 求导得到 \dot{V}_3 ,如式(19)所示;

$$V_3 = V_2 + \frac{1}{2\gamma} \tilde{D}^2 \quad (18)$$

$$\dot{V}_3 = z_1 z_2 - c_1 z_1^2 + \sigma[k_1(b_2 - c_1 z_1) + A_m(b_2 + \dot{Y}_d - a_1) + B_m U + D - \ddot{Y}_d + \dot{a}_1] - \frac{1}{\gamma} \tilde{D}(\dot{\tilde{D}} - \gamma \sigma) \quad (19)$$

其中 $\tilde{D} = D - \hat{D}$ 代表系统总干扰量估测误差, \hat{D} 代表系统总干扰量的估计值, γ 为正数;

步骤6-4-2:通过使 \dot{V}_3 负定,实时修正控制律 U ,获得自适应反演滑模控制输入电流为:

$$U = B_m^{-1}[-k_1(b_2 - c_1 z_1) - A_m(b_2 + \dot{Y}_d - a_1) - \hat{D} + \ddot{Y}_d - \dot{a}_1 - h(\sigma + \beta \operatorname{sgn}(\sigma))] \quad (20)$$

$$\dot{\hat{D}} = \gamma \sigma$$

其中 $\dot{\hat{D}}$ 为自适应控制律;

步骤7:对每个直线电机的电流进行采样;

步骤8:分别将每个直线电机的采样电流进行三相静止坐标到两相旋转坐标的变换;

步骤9:通过直线电机交轴电流计算电磁推力,并实时求出当前计算的电磁推力与前一

次计算的电磁推力之间的偏差,并根据该推力偏差实时进行直线电机的电流调节;

步骤10:对直线电机调节后的电流值进行两相旋转坐标到三相静止坐标的变换,并将变换得到的电流值作为载波与三角波调制获得PWM信号;

步骤11:DSP处理器产生相应的两组六路PWM脉冲信号,分别驱动X轴永磁同步直线电机与Y轴永磁同步直线电机运行。

一种双轴运动平台的定位与动态轨迹跟踪控制装置及方法

技术领域

[0001] 本发明属于多轴运动控制技术领域,具体涉及一种双轴运动平台的定位与动态轨迹跟踪控制装置及方法。

背景技术

[0002] 在工业控制中,高速、高精密运动控制作为装配制造业中的关键通用技术,广泛地应用于芯片制造设备、高速数控加工中心、激光雕刻、机器人、精密机械设备等方面,特别芯片制造产业和高速数控加工中心等高端制造装备对运动机构的高速、高加速度和高精度要求是行业发展的共同要求。

[0003] 双轴运动平台由两台永磁同步直线电机分别直接驱动轴向相互垂直的X、Y两轴进行动态轨迹跟踪运动的二维平台,具有结构简单、加速度大、稳定性高等优点,在IC制造、数控加工等领域已得到广泛应用。定位控制与动态轨迹跟踪控制精度是衡量双轴运动平台性能的主要指标,即控制精准度高、双轴运动平台的系统响应速度快、定位行程长及抗干扰能力强等特性为高精密运动平台必须要具备的条件。然而,采用直线电机直接驱动结构虽然具有诸多优点,同时也为系统带来一些负面影响,如参数摄动、负载扰动、模型误差、摩擦力、端部效应等不确定因素会极大的影响双轴运动平台系统的跟踪精度。另外,在平台执行定位控制时,如果双轴运动平台系统超调量过大,会引起平台振动,影响双轴运动平台系统的定位精度。

[0004] 因此,如何很好的抑制上述扰动对双轴运动平台系统定位精度与动态轨迹跟踪精度的影响对提高双轴运动平台控制装置的控制精度具有关键作用。

发明内容

[0005] 针对现有技术存在的不足,本发明提供一种双轴运动平台的定位与动态轨迹跟踪控制装置及方法。

[0006] 本发明的技术方案是这样实现的:

[0007] 一种双轴运动平台的定位与动态轨迹跟踪控制装置,包括:DSP处理器;用于将光栅尺采集的位置速度信号转化为可被DSP识别的数字量的位置速度检测电路;用于采集电机电流并将电流模拟量转变为DSP可以识别的数字量的电流检测电路;用于对DSP进行参数设置和DSP处理结果进行显示的按键显示板;

[0008] DSP处理器与按键显示板相连接;DSP处理器还依次通过功率接口板、IGBT驱动板和两组三相半桥IGBT组同时与驱动双轴运动平台的X轴永磁同步直线电机和Y轴永磁同步直线电机相连;每个永磁同步直线电机的输出端连接光栅尺、光栅尺与位置速度检测电路相连,然后将检测的位置速度信号通过功率接口板送至DSP处理器的一路输入端;每个永磁同步直线电机的电流输入线路上连接霍尔传感器,霍尔传感器与电流检测电路相连,然后将检测的电流信号通过功率接口板送至DSP处理器的另一路输入端;

[0009] 所述DSP处理器内还设置有位置给定器、变速切换控制器和主位置控制器;

[0010] 所述的位置给定器用于根据指令运动轨迹的形状,分别对X轴永磁同步直线电机与Y轴永磁同步直线电机的初始位置坐标及实时运动位置坐标进行设定;

[0011] 所述的变速切换控制器:根据定位控制指令发出的时刻,预设时刻 t_0 、 t_1 、 t_2 、 t_3 ,并分别在时间段 $(t_0 \sim t_1)$ 、 $(t_1 \sim t_2)$ 、 $(t_2 \sim t_3)$ 内依次完成双轴运动平台的等加速度控制、等速度控制与等减速度控制;

[0012] 所述的主位置控制器:在实时进行的动态轨迹跟踪控制过程中,通过选取Lyapunov函数,初步设计反演滑模控制律,再结合自适应方法,实时修正该控制律,并将修正后的控制律反馈至系统,以消除双轴运动平台执行动态轨迹跟踪过程中产生的跟踪误差。

[0013] 一种双轴运动平台的定位与动态轨迹跟踪控制方法,具体包括以下步骤:

[0014] 步骤1:根据指令运动轨迹的形状,分别对X轴永磁同步直线电机与Y轴永磁同步直线电机的初始位置坐标及实时运动位置坐标进行设定,两个直线电机接收到指令信号后开始运动;

[0015] 步骤2:对每个直线电机的实际位置进行采样、并确定每个直线电机的实际速度;

[0016] 步骤3:将每个直线电机的实测位置与指令位置进行比较、每个直线电机的实际速度与指令速度进行比较,分别获得每个直线电机的位置跟踪误差和转速偏差;

[0017] 步骤4:实时查询是否收到定位控制指令,是,则执行步骤5;否,则执行步骤6;

[0018] 步骤5:进行双轴运动平台的定位控制时,根据定位控制指令发出时刻,预设时刻 t_0 、 t_1 、 t_2 、 t_3 ,并分别在时间段 $(t_0 \sim t_1)$ 、 $(t_1 \sim t_2)$ 、 $(t_2 \sim t_3)$ 内依次完成双轴运动平台的等加速度控制、等速度控制与等减速度控制后,执行步骤6;

[0019] 步骤5-1:在 t_0 时刻,进行双轴运动平台的等加速度控制:预设直线电机等加速度值 a_1 ,且设计加速度滑动平面 s_1 ,为使得 $s_1\dot{s}_1$ 负定,即使 s_1 稳定收敛,设计等加速度控制参数 h_1 和 h_2 ,使得 s_1 、 h_1 和 h_2 满足式(1)和式(2),以保证直线电机能够在时间段 $(t_0 \sim t_1)$ 持续以等加速度值 a_1 运动;

$$[0020] \quad s_1\dot{s}_1 = s_1(\dot{z}_1 - \frac{1}{a_1}x_2\dot{x}_2) = s_1x_2[1 + \frac{1}{a_1M}(Bx_2 - K_f h_1 - K_f h_2 x_2 + F_D)] \quad (1)$$

$$[0021] \quad \begin{cases} h_1 > \left| \frac{a_1 M + F_D}{K_f} \right| \\ h_2 > \left| \frac{B}{K_f} \right| \end{cases} \quad (2)$$

[0022] 式中, M 为直线电机负载质量, z_1 为直线电机的位置跟踪误差, x_2 为 z_1 的一阶微分, B 为粘滞摩擦系数, F_D 为外部干扰力, K_f 为电磁推力系数;

[0023] 步骤5-2:当到达 t_1 时刻时,进行双轴运动平台的等速度控制:预设直线电机等速度值 v_d ,且利用速度偏差设计等速度滑动平面 s_2 ,为使得 $s_2\dot{s}_2$ 负定,即使得 s_2 稳定收敛,设计等速度控制参数 h_3 和 h_4 ,使得 s_2 、 h_3 和 h_4 满足式(3)、(4)和式(5),以保证直线电机能够在时间段 $(t_1 \sim t_2)$ 持续以等速度值 v_d 运动;

$$[0024] \quad s_2 = x_2 - v_d \quad (3)$$

$$[0025] \quad s_2 \dot{s}_2 < 0 \quad (4)$$

$$[0026] \quad \begin{cases} h_3 > \left| \frac{F_D}{K_f} \right| \\ h_4 > \left| \frac{B}{K_f} \right| \end{cases} \quad (5)$$

[0027] 步骤5-3:当到达 t_2 时刻时,进行双轴运动平台的等减速度控制;预设直线电机的等减加速度值 a_2 ,且设计等减速度滑动平面 s_3 ,为使得 $s_3 \dot{s}_3$ 负定,即使得 s_3 稳定收敛,设计等减速度控制参数 h_5 和 h_6 ,使得 s_3 、 h_5 和 h_6 满足式(6)、(7)和式(8),以保证直线电机能够在时间段($t_2 \sim t_3$)持续以等减加速度值 a_2 运动;

$$[0028] \quad s_3 = z_1 + \frac{1}{2a_2} x_2^2 \quad (6)$$

$$[0029] \quad s_3 \dot{s}_3 < 0 \quad (7)$$

$$[0030] \quad \begin{cases} h_5 > \left| \frac{F_D - a_2 M}{K_f} \right| \\ h_6 > \left| \frac{B}{K_f} \right| \end{cases} \quad (8)$$

[0031] 步骤5-4:当到达 t_3 时刻时,执行步骤6;

[0032] 步骤6:在实时执行的动态轨迹跟踪控制过程中,通过选取Lyapunov函数,初步设计反演滑模控制律即控制输入电流,再结合自适应方法,实时修正该控制律,并将修正后的控制律即修正后的输入电流反馈至系统,以消除双轴运动平台执行动态轨迹跟踪过程中产生的跟踪误差;

[0033] 步骤6-1:建立第一个稳定函数 b_1 为:

$$[0034] \quad z_1 = Y - Y_d \quad (9)$$

$$[0035] \quad b_1 = c_1 z_1 \quad (10)$$

[0036] 式中 c_1 为任意正数, Y_d 为直线电机初始给定位置, Y 为直线电机实测位置;

[0037] 步骤6-2:建立第二个稳定函数 b_2 为:

$$[0038] \quad b_2 = \dot{z}_1 + b_1 \quad (11)$$

[0039] 步骤6-3:选取双重Lyapunov函数 V_1 、 V_2 ,通过保证 V_2 大于零, V_2 的导数 \dot{V}_2 负定,初步设计反演滑模控制律 U ,使得当 $t \rightarrow \infty$ 时,系统状态变量 z_1 与 b_2 收敛到零;

[0040] 步骤6-3-1:选取第一个Lyapunov函数 V_1 ,如式(12)所示,并对 V_1 求导,结果由式(13)表示;

$$[0041] \quad V_1 = \frac{z_1^2}{2} \quad (12)$$

$$[0042] \quad \dot{V}_1 = z_1 \dot{z}_1 = z_1 (b_2 - b_1) = z_1 z_2 - c_1 z_1^2 \quad (13)$$

[0043] 步骤6-3-2:定义一个滑模面 σ ,如式(14)所示,并根据Lyapunov函数 V_1 ,选取第二

个Lyapunov函数 V_2 由式(15)表示;

$$[0044] \quad \sigma = k_1 z_1 + b_2 \quad (14)$$

$$[0045] \quad V_2 = V_1 + \frac{\sigma^2}{2} \quad (15)$$

[0046] 式中, k_1 为任意常数。

[0047] 步骤6-3-3:对 V_2 求导,结果由式(16)表示;

$$[0048] \quad \begin{aligned} \dot{V}_2 &= \dot{V}_1 + \sigma \dot{\sigma} \\ &= z_1 b_2 - c_1 z_1^2 + \sigma(k_1 \dot{z}_1 + \dot{b}_2) \\ &= z_1 b_2 - c_1 z_1^2 + \sigma[k_1(b_2 - c_1 z_1) + A_m(b_2 + \dot{Y}_d - b_1) + B_m U + D - \ddot{Y}_d + \dot{b}_1] \end{aligned} \quad (16)$$

[0049] 步骤6-3-4:为保证 V_2 正定, \dot{V}_2 负定,初步设计反演滑模控制律 U 为:

$$[0050] \quad U = B_m^{-1}[-k_1(b_2 - c_1 z_1) - A_m(b_2 + \dot{Y}_d - b_1) - D \operatorname{sgn}(\sigma) + \ddot{Y}_d - \dot{b}_1 - h(\sigma + \beta \operatorname{sgn}(\sigma))] \quad (17)$$

[0051] 式中 A_m 、 B_m 与 C_m 为直线电机参数; D 为系统总干扰量;

[0052] 步骤6-4:结合自适应方法,实时修正控制律,并将修正后的控制律反馈至系统,以消除双轴运动平台执行动态轨迹跟踪过程中产生的跟踪误差;

[0053] 步骤6-4-1:进一步选择式(18)所示的Lyapunov函数 V_3 ,并对 V_3 求导得到 \dot{V}_3 ,如式(19)所示;

$$[0054] \quad V_3 = V_2 + \frac{1}{2\gamma} \tilde{D}^2 \quad (18)$$

$$[0055] \quad \dot{V}_3 = z_1 z_2 - c_1 z_1^2 + \sigma[k_1(b_2 - c_1 z_1) + A_m(b_2 + \dot{Y}_d - a_1) + B_m U + D - \ddot{Y}_d + \dot{a}_1] - \frac{1}{\gamma} \tilde{D}(\dot{\tilde{D}} - \gamma \sigma) \quad (19)$$

[0056] 其中, $\tilde{D} = D - \hat{D}$ 代表系统总干扰量估测误差, \hat{D} 代表系统总干扰量的估计值, γ 为正数。

[0057] 步骤6-4-2:通过使 \dot{V}_3 负定,实时修正控制律 U ,获得自适应反演滑模控制输入电流为:

$$[0058] \quad U = B_m^{-1}[-k_1(b_2 - c_1 z_1) - A_m(b_2 + \dot{Y}_d - a_1) - \hat{D} + \ddot{Y}_d - \dot{a}_1 - h(\sigma + \beta \operatorname{sgn}(\sigma))] \quad (20)$$

$$[0059] \quad \dot{\hat{D}} = \gamma \sigma$$

[0060] 其中 $\dot{\hat{D}}$ 为自适应控制律;

[0061] 步骤7:对每个直线电机的电流进行采样;

[0062] 步骤8:分别将每个直线电机的采样电流进行三相静止坐标到两相旋转坐标的变换;

[0063] 步骤9:通过直线电机交轴电流计算电磁推力,并实时求出当前计算的电磁推力与前一次计算的电磁推力之间的偏差,并根据该推力偏差实时进行直线电机的电流调节;

[0064] 步骤10:对直线电机调节后的电流值进行两相旋转坐标到三相静止坐标的变换,并将变换得到的电流值作为载波与三角波调制获得PWM信号;

[0065] 步骤11:DSP处理器产生相应的两组六路PWM脉冲信号,分别驱动X轴永磁同步直线

电机与Y轴永磁同步直线电机运行。

[0066] 本发明的有益效果:本发明的双轴运动平台的定位与动态轨迹跟踪控制装置及方法能够使双轴运动平台的定位速度平滑过渡,降低平台的暂态超调量,抑制振动,提高平台稳定性,进而提高平台的定位精度,且能够抑制运动平台系统中存在的摩擦力、直线电机端部效应与齿槽力、参数变化、机械结构不平衡等扰动,将双轴运动平台中永磁同步直线电机的给定位置与实际位置之间的位置跟踪误差缩减到零,实现对动态轨迹的精密跟踪控制。因此,采用本发明的装置及方法能够保证双轴运动平台系统既能够无静差跟踪动态轨迹输入信号,又对不确定性扰动具有抑制能力,从而提高工业加工、装配、生产的效率及精度。

附图说明

- [0067] 图1为本发明一种实施方式的双轴运动平台定位与跟踪控制装置的结构示意图;
- [0068] 图2为一种实施方式DSP处理器外围电路连接原理图;
- [0069] 图3为本发明一种实施方式DSP晶振电路的电路原理图;
- [0070] 图4为本发明一种实施方式DSP复位电路的电路原理图;
- [0071] 图5为本发明一种实施方式JTAG电路的电路原理图;
- [0072] 图6为本发明一种实施方式模拟电源基准源电路图;
- [0073] 图7为本发明一种实施方式掉电不丢失数据存储电路图;
- [0074] 图8为本发明一种实施方式电平转换芯片管脚分布图
- [0075] 图9为本发明一种实施方式电流检测电路的电路原理图;
- [0076] 图10为本发明一种实施方式位置速度检测电路的电路原理图;
- [0077] 图11为本发明一种实施方式的双轴运动平台的定位与动态轨迹跟踪控制方法流程图;
- [0078] 图12为本发明一种实施方式变速度控制原理框图;
- [0079] 图13为本发明一种实施方式变速度控制速度曲线;
- [0080] 图14为本发明一种实施方式插补正反向示意图;
- [0081] 图15为本发明一种实施方式圆形轨迹采样图;
- [0082] 图16为本发明一种实施方式潜水镜形轨迹采样图;
- [0083] 图17为本发明一种实施方式四叶草形轨迹采样图;
- [0084] 图18为本发明一种实施方式圆形指令轨迹X,Y轴的位置跟踪误差曲线图;
- [0085] 图19为本发明一种实施方式潜水镜指令轨迹X,Y轴的位置跟踪误差曲线图;
- [0086] 图20为本发明一种实施方式四叶草指令轨迹X,Y轴的位置跟踪误差曲线图。

具体实施方式

[0087] 下面结合附图对本发明的实施方式作进一步详细的说明。

[0088] 一种双轴运动平台的定位与动态轨迹跟踪控制装置,其结构如图1所示,具体包括: DSP处理器;用于将光栅尺采集的位置速度信号转化为可被DSP识别的数字量的位置速度检测电路;用于采集电机电流并将电流模拟量转变为DSP可以识别的数字量的电流检测电路;用于对DSP进行参数设置和对DSP处理结果进行显示的按键显示板;功率接口板、IGBT驱动板、第一三相半桥IGBT组和第二三相半桥IGBT组。

[0089] 由于双轴运动平台系统中两台永磁同步直线电机及其驱动电路选用相同的型号和参数,所以本实施方式中,仅以一侧的永磁直线同步电机为例进行介绍,另一侧的实施方式则完全相同。

[0090] DSP处理器作为控制核心器件,用来对系统所采集的所有I/O数据进行处理运算,将产生的驱动脉冲信号送入功率接口板,功率接口板对电流电压温度等模拟量信号进行采集变换,根据所采集的模拟量信号产生过压、过流等故障信号反馈给DSP芯片,并将DSP所产生的驱动信号进行放大传递到驱动板,各相驱动板接收功率接口板所放大的驱动信号,将信号隔离后传递给三相半桥IGBT组,最终,逆变为可以驱动永磁直线同步电机的三相交流电,驱动永磁直线同步电机运动。

[0091] DSP处理器接收来自电流检测电路的输出信号和位置速度检测电路的输出信号,经DSP处理器对该两路信号的处理后,输出给功率接口板。本实施方式中,DSP处理器采用型号为TMS320F2407的DSP主控芯片,及其外围电路集成在DSP主控制板上;DSP主控制板通过一个双排26针接口P1与功率接口板接线端子JGD连接,分别通过PWM、ADCIN0、IOPA模块实现对PWM信号,电压电流检测的模拟信号,温度检测的模拟信号,系统各种硬件故障信号的控制;

[0092] 按键显示板与DSP主控制板上一个三排15针接口P2连接,实现显示与按键功能。

[0093] 功率接口板通过两组六个标准双排14针信号输出接线端子JGBU1、JGBV1、JGBW1、JGBU2、JGBV2、JGBW2分别与驱动板的U1、V1、W1、U2、V2、W2相双排14针接线端子CN1相连接,为驱动X轴直线电机与Y轴直线电机的三相半桥IGBT组提供控制信号。功率接口板通过两组六个单排四针接线端子同时与直线电机的电流检测电路相连接。功率接口板通过三个两针、三针和四针的接线端子JP1、JP2、JP3与外部+5V、+15V、-15V以及+24V开关电源相连接。功率接口板通过双排9针接线端子JSD1、JSD2与X轴直线电机、Y轴直线电机位置速度检测端口相连接,实现位置速度检测功能。

[0094] 本实施方式中,TMS320F2407型DSP主控芯片与其外围电路连接结构原理图如图2所示。DSP处理器外围电路包括DSP晶振电路、JTAG接口电路、DSP复位电路、模拟电源基准源电路以及掉电不丢失数据存储电路分别如图3~8所示。

[0095] DSP的Vdd接口与Vddo接口接3.3V电源,VSS接口接地。电平转换电路将12V电源电压转换为DSP供电的3.3V工作电压。晶振电路为DSP处理器提供30MHz的工作频率,晶振电路的引脚1和引脚4分别连接DSP的功能模块XTAL1(123引脚)、XTAL2(124引脚)接口。JTAG接口电路用于测试芯片的电气特性,检测芯片是否有问题,JTAG接口电路中P3的引脚1、2、3、7、9、11、13、14分别接DSP的引脚144、1、139、142、135、135、90、91。复位电路用于将整个电路恢复至起始状态,复位电路中TLC7733的5脚接DSP的133脚。模拟电源基准源电路的引脚1、2、3、4分别连接DSP的引脚116、115、117、114。SPISTE(33引脚)、SPICLK(35引脚)、SPISIMO(30引脚)和SPISOMI(32引脚)连接存储芯片U4的1、2、3和4接口。PWM1(56引脚)、PWM2(52引脚)、PWM3(44引脚)、PWM4(54引脚)、PWM5(47引脚)、PWM6(40引脚)分别接入电平转换电路的2、3、4、5、6、7脚,控制X轴直线电机电压输入信号及正、反向运动,PWM7(65引脚)、PWM8(62引脚)、PWM9(59引脚)、PWM10(55引脚)、PWM11(46引脚)、PWM12(38引脚)分别接入电平转换电路的2、3、4、5、6、7脚,控制Y轴直线电机电压输入信号及正、反向运动。DSP芯片内部的功能模块QEP1(83引脚)和QEP2(79引脚)分别采集X轴直线电机的位置速度信号和Y轴直线电机的位

置速度信号;ADCINO (112引脚) 和ADCINO (103引脚) 检测X轴直线电机的电流信号,ADCINO (99引脚) 和ADCINO (105引脚) 检测Y轴直线电机的电流信号;

[0096] DSP处理器还依次通过功率接口板、IGBT驱动板和两组三相半桥IGBT组同时与双轴运动平台的X轴永磁同步直线电机和Y轴永磁同步直线电机相连;每个永磁同步直线电机的输出端连接光栅尺、光栅尺与位置速度检测电路相连,然后将检测的位置速度信号通过功率接口板送至DSP处理器的一路输入端;每个永磁同步直线电机的电流输入线路上连接霍尔传感器,霍尔传感器与电流检测电路相连,然后将检测的电流信号通过功率接口板送至DSP处理器的另一路输入端。

[0097] 在电机运动的过程中,光栅尺检测电机的位置和速度,电流检测由霍尔传感器来实现。位置、速度和电流三个检测量通过检测电路送入DSP处理器,经过DSP中的变速度控制算法的运算,将运算结果经功率接口板与驱动板,通过对三相半桥功率器件IGBT通断的控制,来实现对电机的控制。

[0098] 电流检测电路,如图9所示。电流检测电路是把永磁同步直线电机的三相动子电流经传感器后进入DSP转换成是数字形式并进行一系列的变换。由于本系统是三相平衡系统,即三相电流矢量和为零,因此只需要检测其中两相电流,就可以得到三相电流。本系统采用LTS25-NP型传感器来检测电流。

[0099] 位置速度检测电路,如图10所示。光栅尺信号不能直接连接到DSP引脚,所以将两相正交的脉冲信号A和B,通过高速光耦HCPL4504,送至DSP两个功能模块QEP1 (83引脚) 和QEP2 (79引脚)。DSP内部捕获单元可使用软件定义为正交编码脉冲输入单元,之后可以对脉冲进行计数,根据脉冲序列可以判断永磁同步直线电机的运动方向、位置和速度。

[0100] 本实施方式的DSP处理器内还设置有位置给定器、变速切换控制器和主位置控制器;所述位置给定器用于根据指令运动轨迹的形状,分别对X轴永磁同步直线电机与Y轴永磁同步直线电机的初始位置及实时运动位置坐标进行设定;所述变速切换控制器:根据定位控制指令发出的时刻,预设时刻 t_0 、 t_1 、 t_2 、 t_3 ,并分别在时间段($t_0 \sim t_1$)、($t_1 \sim t_2$)、($t_2 \sim t_3$)内依次完成双轴运动平台的等加速度控制、等速度控制与等减速度控制;所述主位置控制器:在实时进行的动态轨迹跟踪控制过程中,通过选取Lyapunov函数,初步设计反演滑模控制律,再结合自适应方法,实时修正该控制律,并将修正后的控制律反馈至系统,以消除双轴运动平台执行动态轨迹跟踪过程中产生的跟踪误差。

[0101] 一种双轴运动平台的定位与动态轨迹跟踪控制方法,如图11所示,具体包括以下步骤:

[0102] 步骤1:根据指令运动轨迹的形状,分别对X轴永磁同步直线电机与Y轴永磁同步直线电机的初始位置及实时运动位置坐标进行设定,两个直线电机接收到指令信号后开始运动;

[0103] 步骤2:对每个直线电机的实际位置进行采样、并确定每个直线电机的实际速度;

[0104] 电机运动后,两个直线电机的位置速度检测电路同时开始工作,光栅尺经位置速度检测电路输出两相脉冲信号和零位脉冲信号,共三路脉冲信号。脉冲信号送DSP的正交编码脉冲输入单元QEP,进行四倍频处理,提高编码器分辨率,同时通用定时器设置成定向增减计数模式,从两相脉冲信号的脉冲个数可知动子的位置偏移,从而得出动子的位置和速度;

[0105] 步骤3:将每个直线电机的实测位置与指令位置进行比较、每个直线电机的实测速度与指令速度进行比较,分别获得每个直线电机的位置跟踪误差和转速偏差;

[0106] 步骤4:实时查询是否收到定位控制指令,是,则执行步骤5;否,则执行步骤6;

[0107] 步骤5:进行双轴运动平台的定位控制时,根据定位控制指定发出时刻,预设时刻 t_0 、 t_1 、 t_2 、 t_3 、分别在时间段 $(t_0 \sim t_1)$ 、 $(t_1 \sim t_2)$ 、 $(t_2 \sim t_3)$ 内依次完成双轴运动平台的等加速度控制、等速度控制与等减速度控制,执行步骤6;

[0108] 如图12所示,图中 y_d 为位置给定器给出的X、Y坐标轴指令位置, K_f 为推力系数, $G(S)$ 为双轴运动平台数学模型, y 为双轴运动平台实际位置, v 为双轴运动平台的实际速度, F_D 为外部干扰力, F_e 为电磁推力, S_I 、 S_{II} 、 S_{III} 为变速切换控制器的三个子速度控制器(等加速度控制器、等速度控制器与等减速度控制器),经过速度切换控制后,双轴运动平台的X轴永磁同步直线电机与Y轴永磁同步直线电机的运动速度为梯形曲线,如图13所示,这样的梯形速度曲线使双轴运动平台的定位速度平滑过渡,降低平台的暂态超调量,抑制振动,提高平台稳定度。图中,在双轴运动平台执行定位控制任务时,区域I: $t_0 \sim t_1$ 时段,变速切换控制器切换为等加速度控制器;区域II为: $t_1 \sim t_2$ 时段,变速切换控制器切换为等速度控制器;区域III为: $t_2 \sim t_3$ 时段,变速切换控制器切换为等减速度控制器。

[0109] 步骤5-1:在 t_0 时刻,进行双轴运动平台的等加速度控制;预设直线电机等加速度值 a_1 ,且利用速度偏差设计加速度滑动平面 s_1 ,为使得 $s_1 \dot{s}_1$ 负定,即使 s_1 稳定收敛,设计等加速度控制参数 h_1 和 h_2 ,使得 s_1 、 h_1 和 h_2 满足式(1)和式(2),以保证直线电机能够在时间段 $(t_0 \sim t_1)$ 持续以等加速度值 a_1 运动;

$$[0110] \quad s_1 \dot{s}_1 = s_1 \left(\dot{z}_1 - \frac{1}{a_1} x_2 \dot{x}_2 \right) = s_1 x_2 \left[1 + \frac{1}{a_1 M} (B x_2 - K_f h_1 - K_f h_2 x_2 + F_D) \right] \quad (1)$$

$$[0111] \quad \begin{cases} h_1 > \left| \frac{a_1 M + F_D}{K_f} \right| \\ h_2 > \left| \frac{B}{K_f} \right| \end{cases} \quad (2)$$

[0112] 式中, M 为直线电机负载质量, z_1 为直线电机的位置跟踪误差, x_2 为 z_1 的一阶微分, B 为粘滞摩擦系数, F_D 为外部干扰力, K_f 为电磁推力系数。

[0113] 步骤5-2:当到达 t_1 时刻时,进行双轴运动平台的等速度控制;预设直线电机等速度值 v_d ,且设计等速度滑动平面 s_2 ,为使得 $s_2 \dot{s}_2$ 负定,即使得 s_2 稳定收敛,设计等速度控制参数 h_3 和 h_4 ,使得 s_2 、 h_3 和 h_4 满足式(3)、(4)和式(5),以保证直线电机能够在时间段 $(t_1 \sim t_2)$ 持续以等速度值 v_d 运动;

$$[0114] \quad s_2 = x_2 - v_d \quad (3)$$

$$[0115] \quad s_2 \dot{s}_2 < 0 \quad (4)$$

$$[0116] \quad \begin{cases} h_3 > \left| \frac{F_D}{K_f} \right| \\ h_4 > \left| \frac{B}{K_f} \right| \end{cases} \quad (5)$$

[0117] 步骤5-3:当到达 t_2 时刻时,进行双轴运动平台的等减速度控制;预设直线电机的等减加速度值 a_2 ,且设计等减速度滑动平面 s_3 ,为使得 $s_3\dot{s}_3$ 负定,即使 s_3 稳定收敛,设计等减速度控制参数 h_5 和 h_6 ,使得 s_3 、 h_5 和 h_6 满足式(6)、(7)和式(8),以保证直线电机能够在时间段($t_2 \sim t_3$)持续以等减加速度值 a_2 运动;

$$[0118] \quad s_3 = z_1 + \frac{1}{2a_2}x_2^2 \quad (6)$$

$$[0119] \quad s_3\dot{s}_3 < 0 \quad (7)$$

$$[0120] \quad \begin{cases} h_5 > \left| \frac{F_D - a_2 M}{K_f} \right| \\ h_6 > \left| \frac{B}{K_f} \right| \end{cases} \quad (8)$$

[0121] 步骤5-4:当到达 t_3 时刻时,执行步骤6;

[0122] 步骤6:在实时执行的动态轨迹跟踪控制过程中,通过选取Lyapunov函数,初步设计反演滑模控制律即控制输入电流,再结合自适应方法,实时修正该控制律,并将修正后的控制律即修正后的输入电流反馈至系统,以消除双轴运动平台执行动态轨迹跟踪过程中产生的跟踪误差;

[0123] 步骤6-1:建立第一个稳定函数 b_1 为:

$$[0124] \quad z_1 = Y - Y_d \quad (9)$$

$$[0125] \quad b_1 = c_1 z_1 \quad (10)$$

[0126] 式中, z_1 为位置跟踪误差, c_1 为任意正数, Y_d 为直线电机初始给定位置, Y 为直线电机实测位置;

[0127] 步骤6-2:建立第二个稳定函数 b_2 为:

$$[0128] \quad b_2 = \dot{z}_1 + b_1 \quad (11)$$

[0129] 步骤6-3:选取双重Lyapunov函数 V_1 、 V_2 ,通过保证 V_2 大于零, V_2 的导数 \dot{V}_2 负定,初步设计反演滑模控制律 U ,使得当 $t \rightarrow \infty$ 时,系统状态变量 z_1 与 b_2 收敛到零;

[0130] 步骤6-3-1:选取第一个Lyapunov函数 V_1 ,如式(12)所示,并对 V_1 求导,结果由式(13)表示;

$$[0131] \quad V_1 = \frac{z_1^2}{2} \quad (12)$$

$$[0132] \quad \dot{V}_1 = z_1 \dot{z}_1 = z_1(b_2 - b_1) = z_1 z_2 - c_1 z_1^2 \quad (13)$$

[0133] 步骤6-3-2:定义一个滑模面 σ ,如式(14)所示;并根据Lyapunov函数 V_1 ,选取第二个Lyapunov函数 V_2 由式(15)表示;

[0134] $\sigma = k_1 z_1 + b_2 \quad (14)$

[0135] $V_2 = V_1 + \frac{\sigma^2}{2} \quad (15)$

[0136] 式中, k_1 为任意常数。

[0137] 步骤6-3-3: 对 V_2 求导, 结果由式 (16) 表示;

[0138]
$$\begin{aligned} \dot{V}_2 &= \dot{V}_1 + \sigma \dot{\sigma} \\ &= z_1 \dot{b}_2 - c_1 z_1^2 + \sigma(k_1 \dot{z}_1 + \dot{b}_2) \\ &= z_1 \dot{b}_2 - c_1 z_1^2 + \sigma[k_1(b_2 - c_1 z_1) + A_m(b_2 + \dot{Y}_d - b_1) + B_m U + D - \ddot{Y}_d + \dot{b}_1] \end{aligned} \quad (16)$$

[0139] 步骤6-3-4: 为保证 V_2 正定, \dot{V}_2 负定, 初步设计反演滑模控制律 U 为:

[0140] $U = B_m^{-1}[-k_1(b_2 - c_1 z_1) - A_m(b_2 + \dot{Y}_d - b_1) - D \operatorname{sgn}(\sigma) + \ddot{Y}_d - \dot{b}_1 - h(\sigma + \beta \operatorname{sgn}(\sigma))] \quad (17)$

[0141] 式中, A_m 、 B_m 与 C_m 为直线电机参数, D 为系统总干扰量;

[0142] 步骤6-4: 结合自适应方法, 实时修正控制律, 并将修正后的控制律反馈至系统, 以消除双轴运动平台执行动态轨迹跟踪过程中产生的跟踪误差;

[0143] 步骤6-4-1: 进一步选择式 (18) 所示的 Lyapunov 函数 V_3 , 并对 V_3 求导得到 \dot{V}_3 , 如式 (19) 所示;

[0144] $V_3 = V_2 + \frac{1}{2\gamma} \tilde{D}^2 \quad (18)$

[0145] $\dot{V}_3 = z_1 \dot{z}_2 - c_1 z_1^2 + \sigma[k_1(b_2 - c_1 z_1) + A_m(b_2 + \dot{Y}_d - a_1) + B_m U + D - \ddot{Y}_d + \dot{a}_1] - \frac{1}{\gamma} \tilde{D}(\dot{\tilde{D}} - \gamma \sigma) \quad (19)$

[0146] 其中, $\tilde{D} = D - \hat{D}$ 代表系统总干扰量估测误差, \hat{D} 代表系统总干扰量的估计值, γ 为正数。

[0147] 步骤6-4-2: 通过使 \dot{V}_3 负定, 实时修正控制律 U , 获得自适应反演滑模控制输入电流为:

[0148] $U = B_m^{-1}[-k_1(b_2 - c_1 z_1) - A_m(b_2 + \dot{Y}_d - a_1) - \hat{D} + \ddot{Y}_d - \dot{a}_1 - h(\sigma + \beta \operatorname{sgn}(\sigma))] \quad (20)$

[0149] $\dot{\hat{D}} = \gamma \sigma$

[0150] 其中 $\dot{\hat{D}}$ 为自适应控制律;

[0151] 步骤7: 利用霍尔电流传感器对双轴运动平台的X轴永磁同步直线电机电流与Y轴永磁同步直线电机电流进行采样;

[0152] 步骤8: 分别对采样的X轴永磁同步直线电机电流与Y轴永磁同步直线电机电流进行三相静止坐标到两相旋转坐标的变换;

[0153] 步骤9: 通过直线电机交轴电流计算电磁推力, 并实时求出当前计算的电磁推力与前一次计算的电磁推力之间的偏差, 并根据该推力偏差实时进行直线电机的电流调节;

[0154] 建立d-q轴模型: 对于永磁同步直线电机, 取永磁体磁极轴线为d轴, 而超前d轴90度电角度为q轴, 构成了d-q坐标系; 令电流内环d轴电流分量 $i_d = 0$, 使定子电流矢量和永磁体磁场在空间上正交, 则永磁同步直线电机的电磁推力方程为: $F_{ei} = K_{fi} i_{qi}$, 式中, K_{fi} 为电磁

推力常数, i_{qi} 为 q 轴电流, 下角标 $i=1,2$, 用于表示双轴运动平台的两台永磁同步直线电机, 加以区分。

[0155] 步骤10: 对直线电机调节后的电流值进行两相旋转坐标到三相静止坐标的变换, 并将变换得到的电流值作为载波与三角波调制获得 PWM 信号;

[0156] 步骤11: DSP 处理器产生相应的两组六路 PWM 脉冲信号, 分别驱动 X 轴永磁同步直线电机与 Y 轴永磁同步直线电机运行。

[0157] 通过光电隔离驱动电路将 DSP 输出的 PWM 信号转换成驱动信号, 将产生的驱动脉冲信号送入功率接口板, 功率接口板将 DSP 所产生的驱动信号进行放大传递到驱动板, 各相驱动板接收功率接口板所放大的驱动信号, 将信号隔离后传递给三相半桥 IGBT 组, 六路 PWM 脉冲信号来控制三相半桥 IGBT 组中六个 IGBT 的导通与关断, 得到满足需要的三相交流电, 驱动两套永磁同步直线电机, 进而驱动双轴运动平台运动。

[0158] 由于实验平台给定的位移函数都是以脉冲为单位的, 要求在电气设计方面确保各控制轴的脉冲当量一致, 以保证指令轨迹描述的正确和速度的一致性。所有轨迹描述指令都是在正交坐标系中描述的。为正确描述圆弧插补运动, 将圆弧插补指令轨迹放在正交坐标系平面内, 其插补的旋转正方向按照右手螺旋定则定义为: 从坐标平面的“上方”(即垂直于坐标平面的第三个轴的正方向)看, 逆时针方向为正, 如图14所示。

[0159] 为便于数据采集, 采用 C++ 进行编程, 将得到的实验数据写入数据库 (ODBC), 并将数据导入 EXCLE, 最后, 利用 MATLAB 将 EXCLE 中存储的指令轨迹坐标、速度及光栅编码器的采样位置等数据导出, 并绘制曲线。将指令轨迹位置坐标转换至实验平台的有效行程内, 并以脉冲输入给插补系统, 以脉冲量表示系统的期望轨迹位置初始指令, 系统指令轨迹分别如图13、图14及图15分别所示的圆形轨迹采样图、潜水镜形轨迹采样图及四叶草形轨迹采样图; 跟踪误差曲线分别如图16、17、18所示。从图中可以看出, 在诸多扰动存在的情况下, 系统跟踪误差始终在高精度标准范围内。

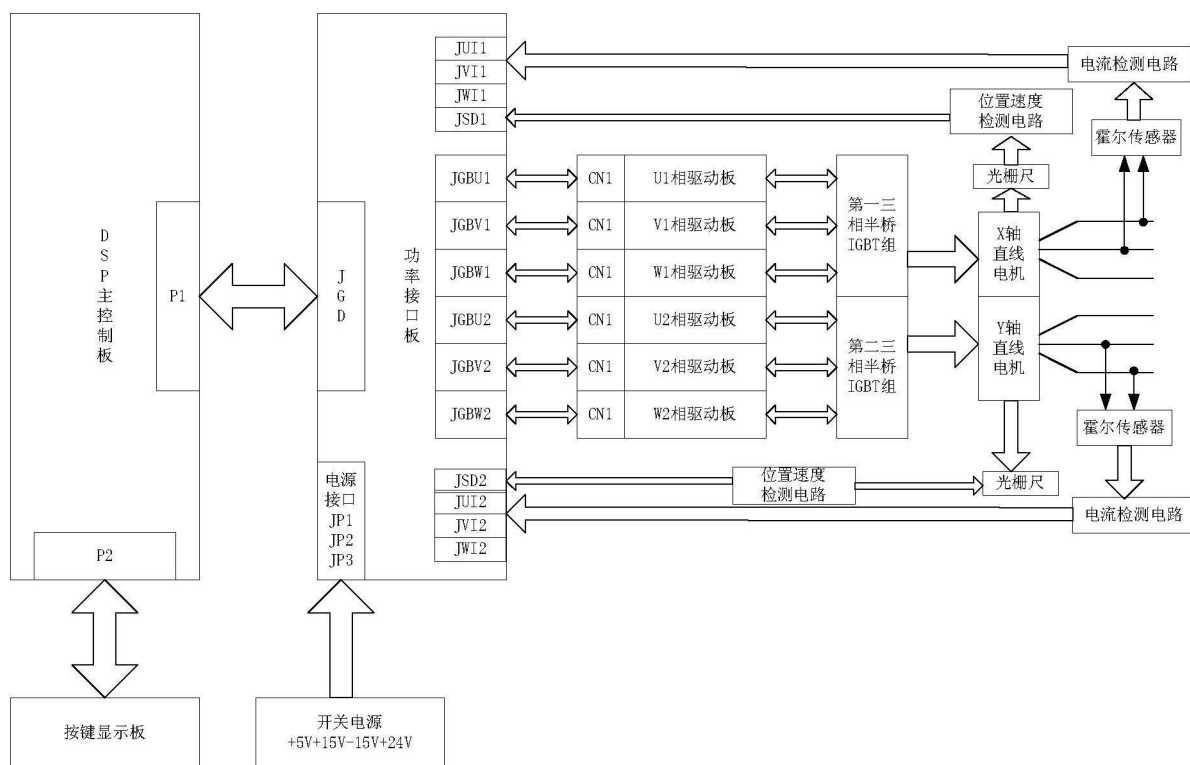


图1

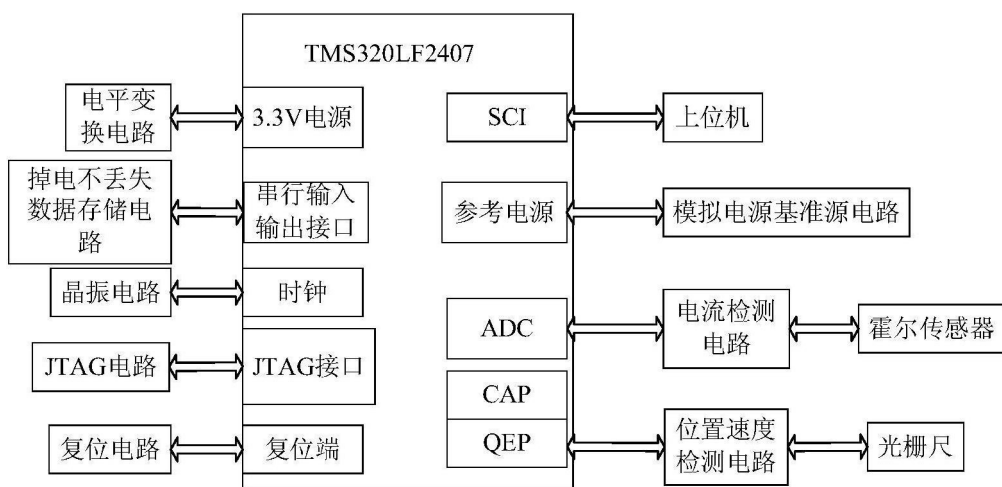


图2

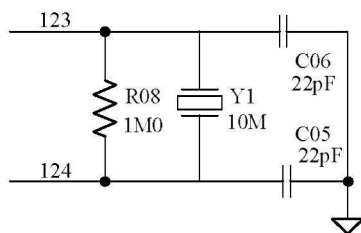


图3

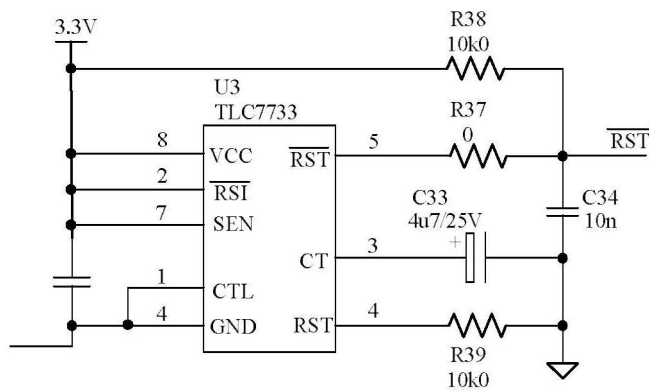


图4

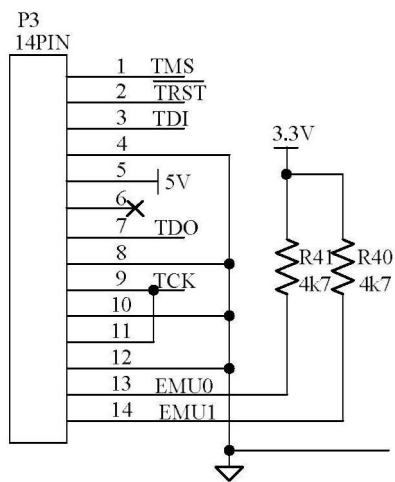


图5

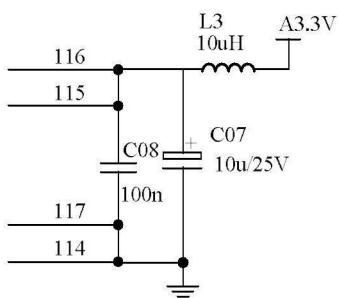


图6

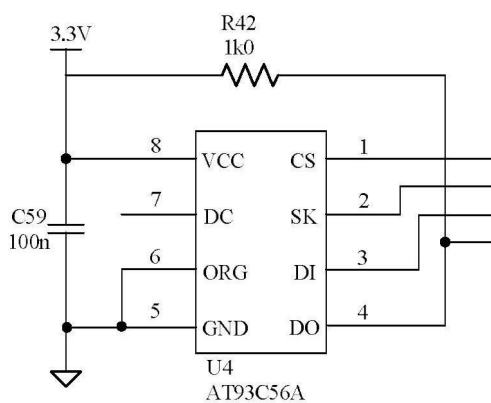


图7

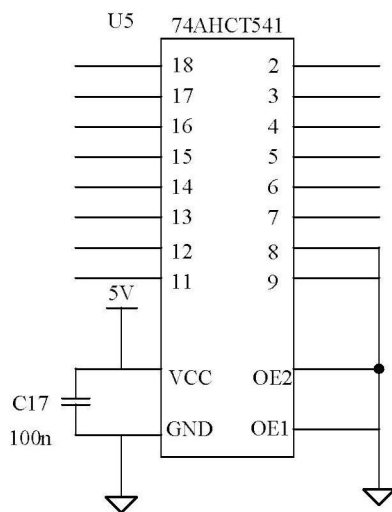


图8

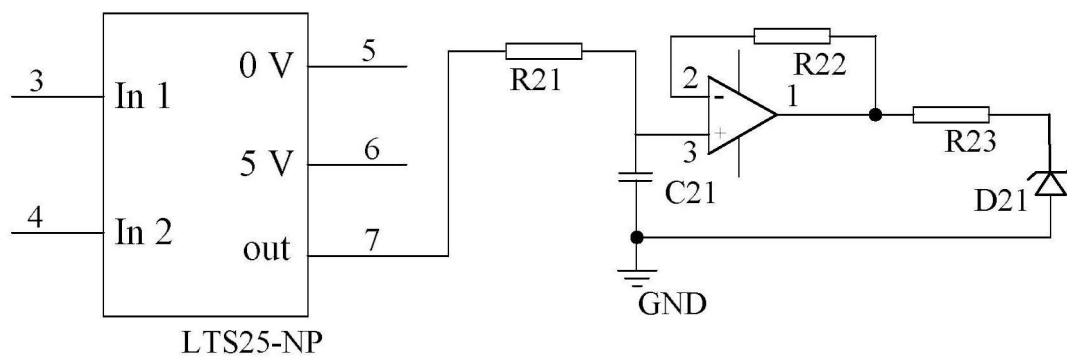


图9

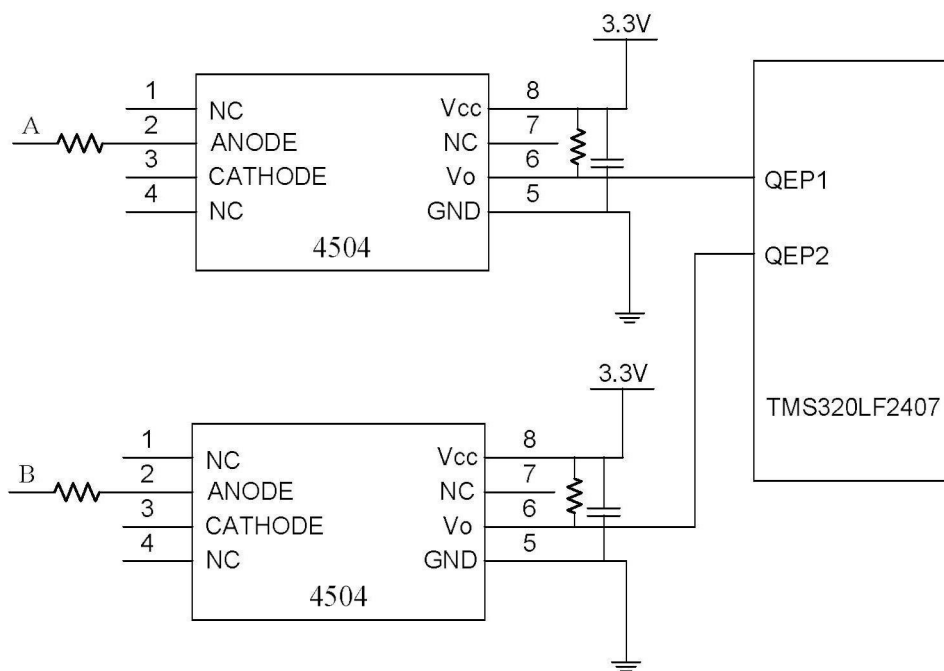


图10

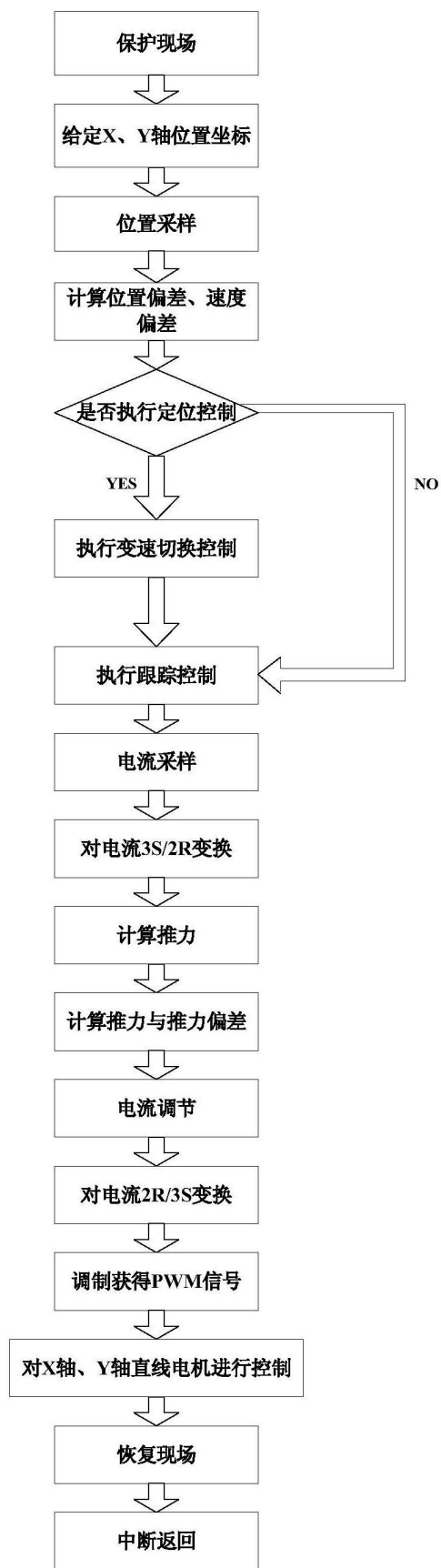


图11

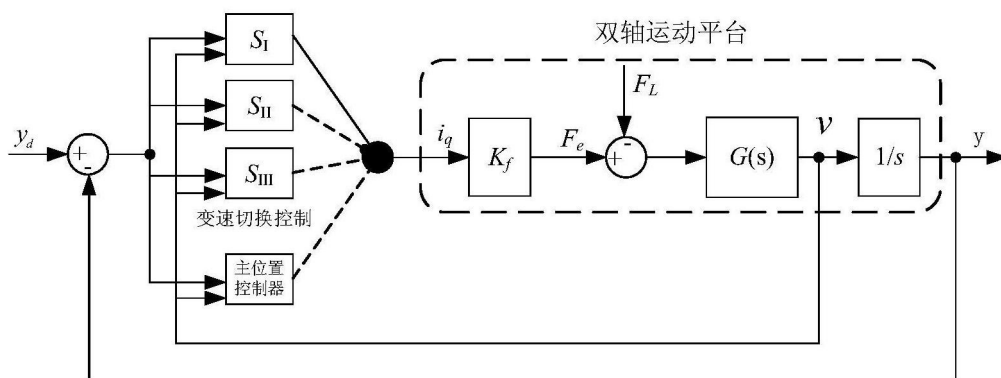


图12

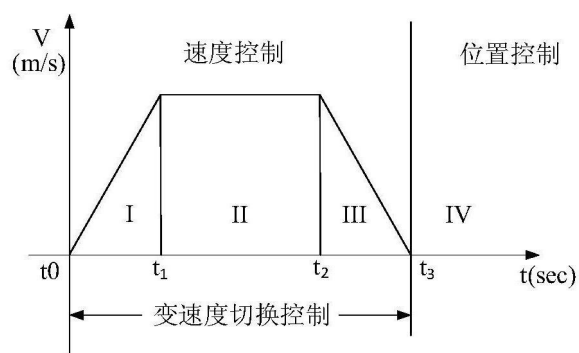


图13

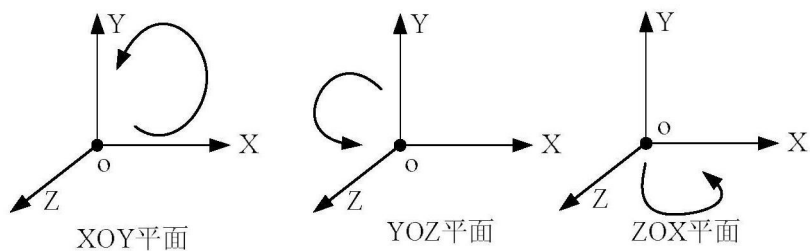


图14

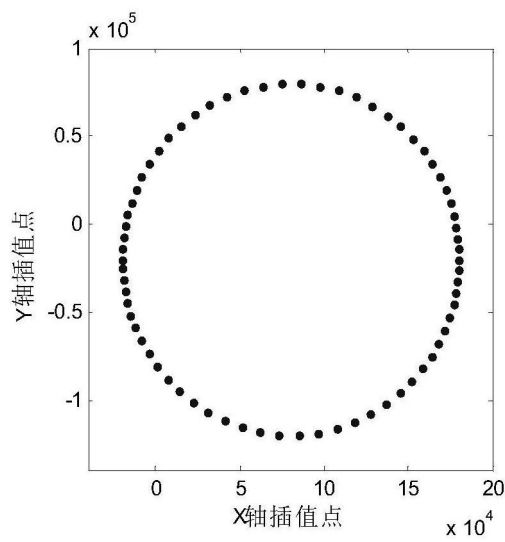


图15

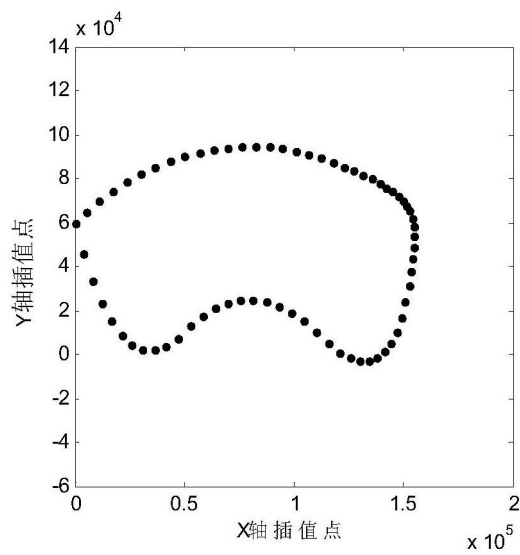


图16

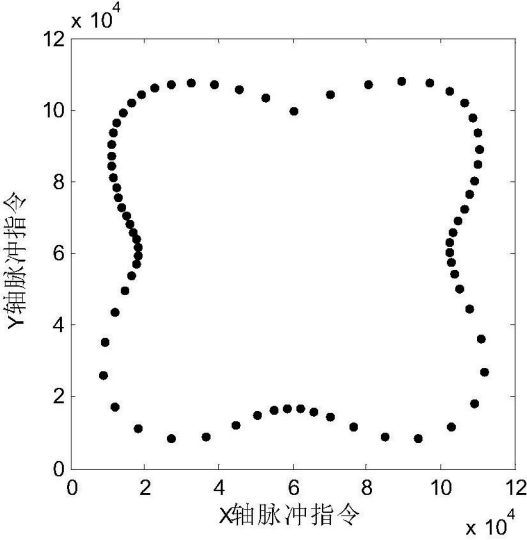


图17

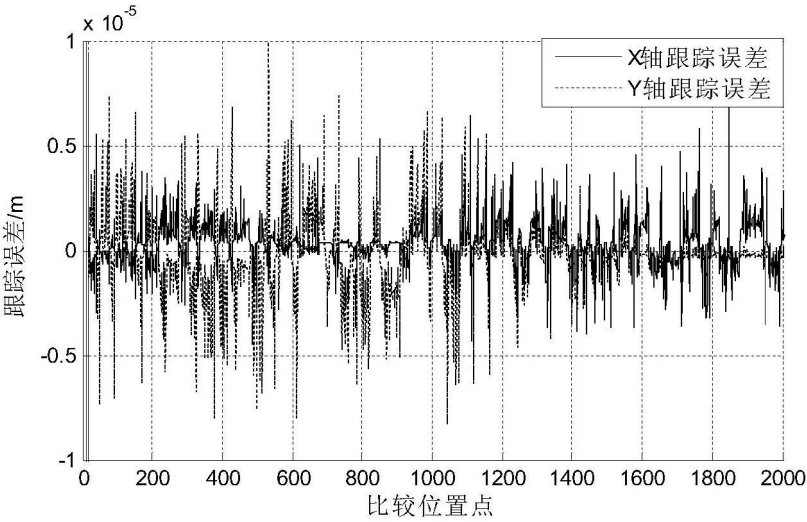


图18

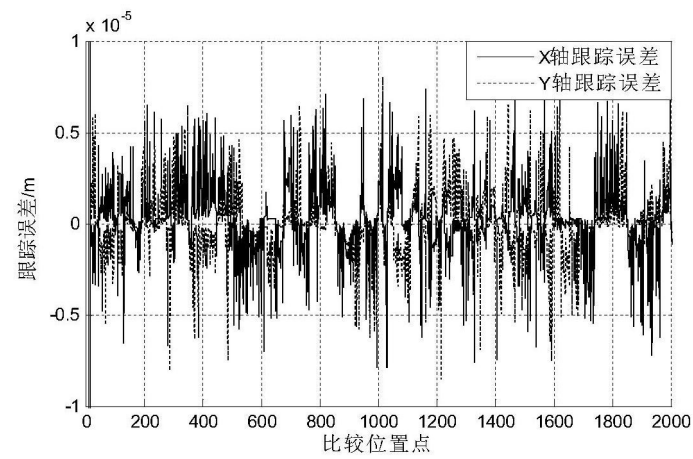


图19

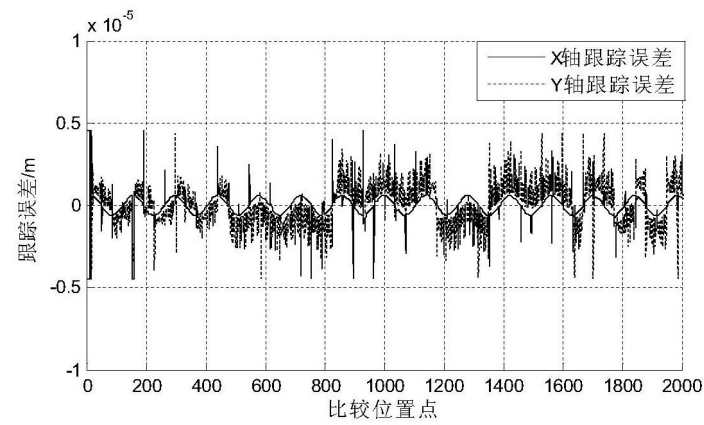


图20