



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1968002 B

(45) 授权公告日 2012.05.23

(21) 申请号 200610113987.3

(22) 申请日 2006.10.24

(73) 专利权人 北京航空航天大学

地址 100083 北京市海淀区学院路 37 号

(72) 发明人 房建成 王志强 刘刚 李建科

刘虎 孙津济

(74) 专利代理机构 北京科迪生专利代理有限公司

任公司 11251

代理人 关玲 成金玉

(51) Int. Cl.

H02P 7/28(2006.01)

H02P 6/16(2006.01)

(56) 对比文件

WO 94/01925 A1, 1994.01.20, 全文.

JP 平 6-261576 A, 1994.09.16, 全文.

姚嘉, 刘刚, 房建成. 控制力矩陀螺用高速高

精度无刷直流电机控制系统. 微计算机信息 21
9-1. 2005, 21(9-1), 3-5.

姚嘉, 刘刚, 房建成. 磁悬浮控制力矩陀螺用
高速高精度无刷直流电机全数字控制系统. 微电
机 38 6. 2005, 38(6), 65-67.

审查员 夏涛

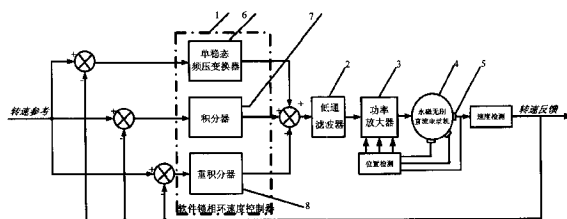
权利要求书 1 页 说明书 3 页 附图 2 页

(54) 发明名称

一种高速永磁无刷直流电机锁相稳速控制系统

(57) 摘要

一种高速永磁无刷直流电动机锁相稳速控制系统, 可作为卫星、空间站等航天器高精度姿态控制执行机构的高速驱动电机的高精度稳速控制, 它主要由锁相环速度控制器、数字低通滤波器、功率放大器、永磁无刷直流电动机、霍尔效应转子位置传感器组成, 锁相技术在高精度高速永磁无刷直流电机速度控制方面具有独特的优势, 当电机转速的反馈信号和参考频率信号同步时, 转速的稳态精度可达 0.02%~0.1%, 这是常规的调速系统所不具备的。本发明通过低精度的霍尔效应转子位置传感器获得转速反馈, 实现了磁悬浮控制力矩陀螺用高速永磁无刷直流电机的高精度稳速控制。



1. 一种高速永磁无刷直流电机锁相稳速控制系统,其特征在于包括:锁相环速度控制器(1)、数字低通滤波器(2)、功率放大器(3)、永磁无刷直流电动机(4)、霍尔效应转子位置传感器(5),锁相环速度控制器(1)包括单稳态频压变换器(6)、积分器(7)、重积分器(8),用于产生速度误差、速度积分误差和速度重积分误差三种误差,再将这三种误差相加后提供给数字低通滤波(2),由其滤除高频噪声后的输出信号作为功率放大器(3)的输入信号,功率放大器(3)由换向逻辑和 PWM 驱动信号对永磁无刷直流电动机(4)进行驱动和调速,在永磁无刷直流电动机(4)稳速过程中,霍尔效应转子位置传感器(5)检测输出的位置信号、转速信号分别用于换向和为锁相环速度控制器(1)提供转速反馈;所述的锁相环速度控制器(1)的硬件由数字信号处理器 DSP、存储器、数字 I/O 模块、PWM 模块组成,数字 I/O 对来自霍尔效应转子位置传感器(5)的信号进行转子位置和速度的检测,经运算和修正作为锁相环速度控制器(1)的速度反馈信号,并与速度参考信号相减得到锁相环速度控制器(1)的输入信号;锁相算法经 DSP 运算后的输出量,经数字低通滤波器(2)和功率放大器(3)生成速度控制量,与 PWM 波形发生模块的比较寄存器的值进行比较生成 PWM 波形,通过改变 PWM 的占空比来调节转子转速;所述的锁相算法首先初始化锁相稳速控制系统的参数,检测电机转速,计算转速差,然后计算单稳态频压转换器(6)、积分器(7)和重积分器(8)的输出量,将三个环节的输出值求和,计算数字低通滤波器(2)的输出量,最后将低通滤波器的输出量送给 PWM 模块产生调制信号控制电机的转速。

一种高速永磁无刷直流电机锁相稳速控制系统

技术领域

[0001] 本发明涉及一种高速永磁无刷直流电动机锁相稳速控制系统,用于实现卫星、空间站等大型航天器高精度、高稳定度姿态控制。

背景技术

[0002] 大型航天器的高精度高稳定度姿态控制技术是航天器系统和控制技术需要重点突破的五大技术瓶颈之一。磁悬浮控制力矩陀螺作为航天器姿态控制的执行机构,具有较大输出力矩的能力,控制特性线性度好,并具有很强的抗干扰性和很快响应速度等优点,在国际上已得到广泛应用,并且已经成为长寿命大型航天器首选的执行机构。

[0003] 控制力矩陀螺系统通过控制转子的转速,改变角动量的大小来产生所需的控制力矩,从而精确地控制空间飞行器的姿态。提高转子转速的控制精度一直是控制力矩陀螺系统研制所追求的目标。

[0004] 为了实现高精度的姿态控制,要求高速永磁无刷直流驱动电动机具有 0.1% 以上的速度稳定精度,PI 控制,理论上由于存在积分环节,也应是无差系统,但它是将速度作为控制信号,现有的测速方法均存在系统误差,从而限制了控制的精度。而锁相技术在高精度高速永磁无刷直流电机速度控制方面具有独特的优势,当电机转速的反馈信号和参考频率信号同步时,转速的稳态精度可达 0.02%~0.1%,这是常规的调速系统所不具备的;锁相调速系统可以获得高稳态精度的根本原因在于锁相环路是将相位作为控制信号,能够准确的传递相位信息。

[0005] 现有的锁相控制的鉴相环节都是采用模拟电路、模数混合电路、数字电路来实现,使得改善动态性能和提高抗干扰能力的先进算法无法应用。

发明内容

[0006] 本发明解决的技术问题是:克服现有技术稳速精度低的不足,提供一种磁悬浮控制力矩陀螺用高速永磁无刷直流电动机的锁相稳速控制系统。

[0007] 本发明的技术解决方案:一种高速永磁无刷直流电机锁相稳速控制系统,其特点在于:包括锁相环速度控制器、数字低通滤波器、功率放大器、永磁无刷直流电动机、霍尔效应转子位置传感器,锁相环速度控制器包括单稳态频压变换器、积分器、重积分器,用于产生速度误差、速度积分误差和速度重积分误差三种误差,再将这三种误差相加后提供给数字低通滤波,由其滤除高频噪声后的输出信号作为功率放大器的输入信号,功率放大器由换向逻辑和 PWM 驱动信号对永磁无刷直流电动机进行驱动和调速,在永磁无刷直流电动机稳速过程中,霍尔效应转子位置传感器检测输出的位置信号、转速信号分别用于换向和为锁相环速度控制器提供转速反馈。

[0008] 所述的锁相环速度控制器的硬件由数字信号处理器 DSP、存储器、数字 I/O 模块、PWM 模块组成,数字 I/O 对来自霍尔效应转子位置传感器的信号进行转子位置和速度的检测,经运算和修正作为锁相环速度控制器的速度反馈信号,并与速度参考信号相减得到锁

相环速度控制器的输入信号；锁相算法经 DSP 运算后的输出量，经数字低通滤波器和功率放大器生成速度控制量，与 PWM 波形发生模块的比较寄存器的值进行比较生成 PWM 波形，通过改变 PWM 的占空比来调节转子转速，并结合转子位置进行换向。

[0009] 本发明的原理是：电动机速度控制中应用的锁相环与通讯中应用的锁相环之间存在着本质的差别。在电动机控制中，电动机-测速器可以被看作是带有惯性的电压控制振荡器；在电动机的锁相环控制中，数字积分器是将速度的频差进行积分用以生成控制量和检测电动机转速的频率锁定。频率锁定后重积分环节开始起作用，进行相位锁定。相位锁定并不是要求转速的给定与反馈信号完全同相，而是当两信号之间的相位差恒定即是完成了相位锁定；在工程应用中，常常需要设计一个对惯性负载不敏感的速度控制锁相环路，在不必要去调整任何参数的情况下，系统都够稳定的工作；本发明对磁悬浮控制力矩陀螺用高速永磁无刷直流电动机锁相稳速控制系统的控制器参数采用频域设计方法，相位裕量应在 $40^\circ \sim 75^\circ$ 之间，并且其值的大小取决于所允许的超调量的大小；图 1 给出了用于分析的无刷直流电动机锁相控制系统结构。该系统中产生三种误差信号：速度误差、速度积分误差和速度重积分误差，将它们相加后经过低通滤波和功率放大后，对电机进行速度调节，再通过霍尔转子位置传感器构成反馈。

[0010] 本发明与现有技术相比的优点在于：锁相调速在稳态精度方面有独特的优势，可以获得高稳态精度的根本原因在于锁相环路是将相位作为控制信号，传递相位信息的霍尔转子位置传感器只存在瞬时的相位抖动，每周的平均误差为 0，能够准确的传递相位信息，由于相位是转速的积分，对于转速阶跃，即使稳态相位存在误差，对于速度而言也是无差的。PI 控制，理论上由于存在积分环节，也应是无差系统，但它是将速度作为控制信号，现有的测速方法均存在系统误差，从而限制了控制的精度。

[0011] 附图说明

[0012] 图 1 为本发明的高速永磁无刷直流电机锁相速度控制系统结构图；

[0013] 图 2 为本发明的高速永磁无刷直流电动机锁相控制系统动态结构图；

[0014] 图 3 为本发明的高速永磁无刷直流电动机锁相控制系统控制器原理示意图；

[0015] 图 4 为本发明的锁相控制算法流程图。

[0016] 具体实施方式

[0017] 如图 1，本发明由使用数字信号处理器 DSP 实现的锁相环速度控制器 1、数字低通滤波器 2、功率放大器 3、永磁无刷直流电动机 4、霍尔转子位置传感器 5 组成，电动机在稳速过程中，锁相环速度控制器 1 包括单稳态频压变换器 6、积分器 7、重积分器 8，用于产生速度误差、速度积分误差和速度重积分误差三种误差，再将这三种误差相加后提供给数字低通滤波 2，滤除高频噪声后的输出信号作为功率放大器 3 的输入信号，功率放大器 3 由换向逻辑和 PWM 驱动信号对永磁无刷直流电动机 4 进行驱动和调速，在永磁无刷直流电动机 4 稳速过程中，霍尔效应转子位置传感器 5 的输出的位置信号、转速信号分别用于换向和为锁相环速度控制器 1 提供转速反馈。

[0018] 如图 2 所示，本发明的锁相稳速控制系统的传递函数，假设磁悬浮控制力矩陀螺的高速无刷直流电机三相绕组对称，并忽略负载转矩，则其开环传递函数为：

$$[0019] \quad G(s) = \left(\frac{k_p G_i}{\tau_p s + 1} + \frac{k_i}{s} + \frac{\tau_1 s + 1}{\tau_2 s^2} k_\phi \right) \cdot \frac{k_A}{\tau_f s + 1} \cdot \frac{K_T}{Js + K_D} \quad (1)$$

[0020] 公式 (1) 中, k_p - 是比例增益 ; G_i - 压频转换器增益 ; τ_p - 压频转换器滤波时间常数 ; k_i - 积分系数 ; τ_1 、 τ_2 - 重积分器的时间常数 ; k_ϕ - 重积分器的相位增益 ; τ_f - 滤波时间常数 ; k_A - 功率放大增益 ; K_T - 转矩常数 ; J - 转动惯量 ; K_D - 阻尼常数。

[0021] 如图 3 所示, 本发明的锁相稳速控制系统的控制器, 它由 CPU、存储器、数字 I/O、PWM 模块组成, 数字 I/O 对来自霍尔效应转子位置传感器 5 的信号进行转子位置和速度的检测, 第 1 路 PWM 到第 6 路 PWM 用于永磁无刷直流电动机 4 控制和调速。

[0022] 如图 4 所示, 本发明的锁相稳速控制系统的锁相控制算法, 它首先初始化锁相稳速控制系统的参数, 检测电机转速, 计算转速差, 然后计算单稳态频压转换器、积分器和重积分器的输出量, 将三个环节的输出值求和, 计算低通滤波器的输出量, 最后将低通滤波器的输出量送给 PWM 模块产生调制信号控制电机的转速。

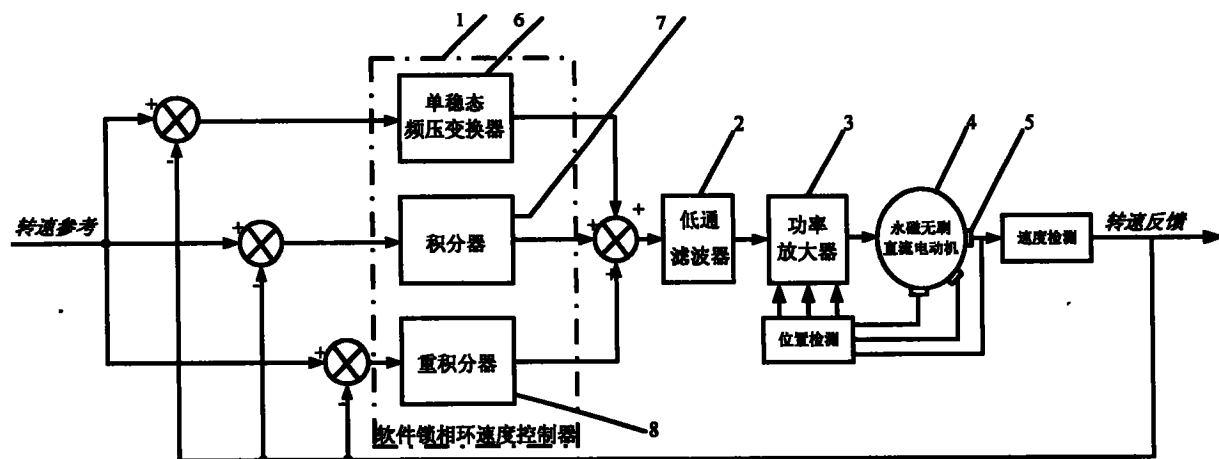


图 1

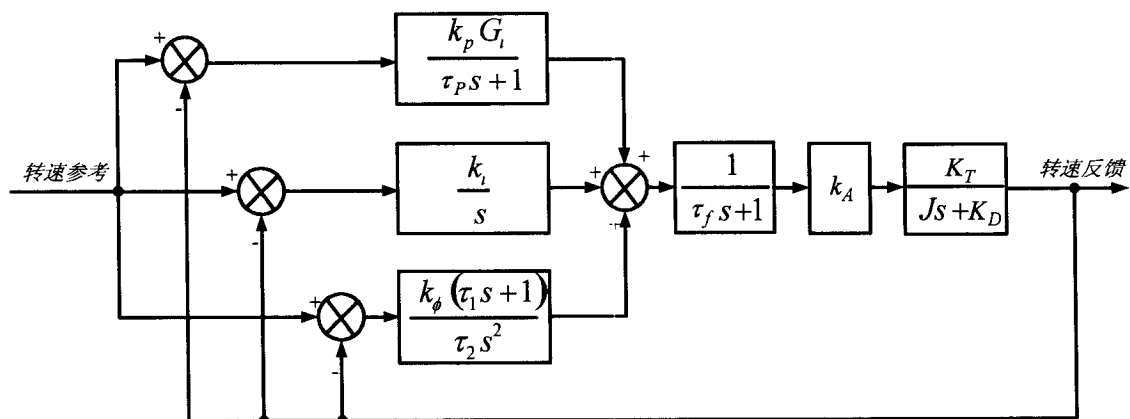


图 2

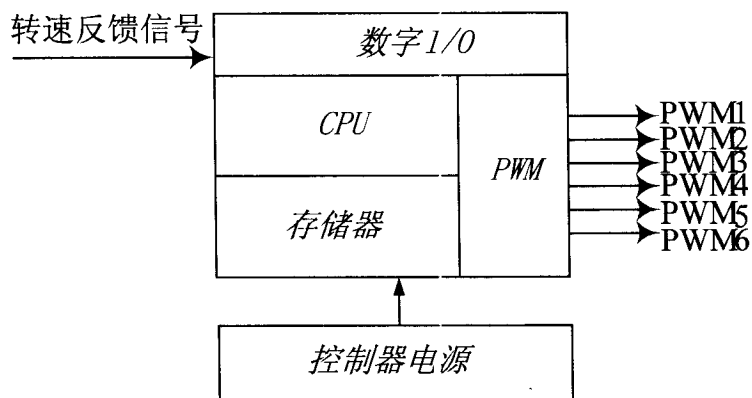


图 3

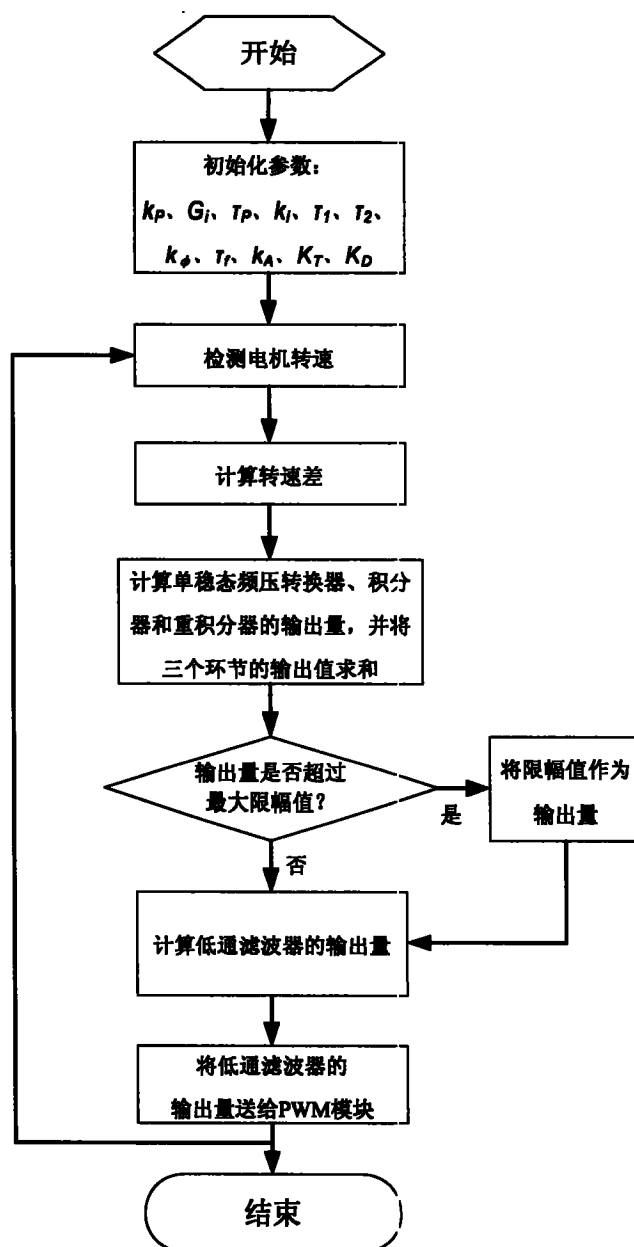


图 4