



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103780168 A

(43) 申请公布日 2014. 05. 07

(21) 申请号 201410018843. 4

(22) 申请日 2014. 01. 16

(71) 申请人 江苏新绿能科技有限公司

地址 212300 江苏省镇江市丹阳市云阳镇高
新技术产业集中区(庆丰路)

(72) 发明人 张友刚 杨阳 刘志刚

(74) 专利代理机构 南京正联知识产权代理有限
公司 32243

代理人 沈志海

(51) Int. Cl.

H02P 6/08 (2006. 01)

H02P 6/16 (2006. 01)

H02P 6/06 (2006. 01)

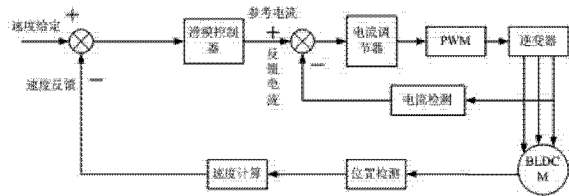
权利要求书1页 说明书4页 附图2页

(54) 发明名称

一种用于地铁屏蔽门的无刷直流电机滑模控制系统

(57) 摘要

本发明是一种用于地铁屏蔽门的无刷直流电机滑模控制系统,由滑模变结构控制器,电流调节器,PWM 驱动电路,逆变器,BLDCM 以及位置检测装置等组成;整个系统采用双闭环控制系统,内环采用传统的PI 控制器,外环采用滑模变结构控制器。现今的地铁屏蔽门无刷直流电机控制系统均采用传统的PID,其过于依赖控制对象的模型参数,鲁棒性差,响应速度不够快。本发明采用的控制算法简单、响应速度快、对参数变化及扰动不灵敏、无需系统在线辨识。



1. 一种用于地铁屏蔽门的无刷直流电机滑模控制系统,由滑模变结构控制器、电流检测模块、电流调节模块、PWM 模块、逆变器模块和无刷直流电机 BLDCM、速度计算模块和位置检测装置组成,其特征在于:该无刷直流电机滑模控制系统采用双闭环控制,即速度环作为外环,通过位置检测送到速度计算模块来实现速度计算,计算的速度与预定的速度相比较,送到滑模变结构控制器作为速度环的输入,采用滑模变结构控制器进行调节来提高系统的响应速度,增强系统的鲁棒性;电流环作为内环,其中电流环以检测到的逆变器输出的电流作为反馈电流,与滑模变结构控制器输出的参考电流作为电流环的输入。

2. 根据权利要求 1 所述的用于地铁屏蔽门无刷直流电机滑模控制系统,其特征在于,所述滑模变结构控制器采用饱和函数的方法代替了符号函数,降低抖振。

一种用于地铁屏蔽门的无刷直流电机滑模控制系统

技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于地铁屏蔽门无刷直流电机滑模控制系统。

背景技术

[0002] 随着轨道交通的服务水平的不断提高。对乘客的安全,车站环境及节能的要求也不断的提高。屏蔽门系统正是因为轨道交通的这些需要而产生的。地铁屏蔽门的执行电机通常采用无刷直流电机,无刷直流电机是一个多变量、强耦合的非线性系统。传统的无刷直流电机的控制系统为 PID 系统, PID 系统过于依赖控制对象的模型参数,鲁棒性差,实际生产现场条件难以达到最优状态。

发明内容

[0003] 针对上述缺陷,本发明提供了一种用于地铁屏蔽门的无刷直流电机滑模控制系统,该控制算法简单、响应速度快、对参数变化及扰动不灵敏、无需系统在线辨识。

[0004] 具体来说,本发明采用的技术方案如下:

[0005] 一种用于地铁屏蔽门的无刷直流电机滑模控制系统,由滑模变结构控制器、电流检测模块、电流调节模块、PWM 模块、逆变器模块和无刷直流电机 BLDCM、速度计算模块和位置检测装置组成,其特征在于:该无刷直流电机滑模控制系统采用双闭环控制,即速度环作为外环,通过位置检测送到速度计算模块来实现速度计算,计算的速度与预定的速度相比较,送到滑模变结构控制器作为速度环的输入,采用滑模变结构控制器进行调节来提高系统的响应速度,增强系统的鲁棒性;电流环作为内环,其中电流环以检测到的逆变器输出的电流作为反馈电流,与滑模变结构控制器输出的参考电流作为电流环的输入。

[0006] 优选地,所述滑模变结构控制器采用饱和函数的方法代替了符号函数,降低抖振。

[0007] 有益效果:本发明由于采用滑模变结构控制器进行调节,系统的响应速度得到提高,鲁棒性得到增强。并且采用饱和函数的方法代替符号函数,能够降低普通滑模控制中存在的抖振。

附图说明

[0008] 图 1 是滑模变结构控制器结构框图。

[0009] 图 2 是屏蔽门理想速度曲线和滑模控制的位置跟踪曲线。

[0010] 图 3 是地铁屏蔽门无刷直流电机控制系统设计框图。

具体实施方式

[0011] 针对上述缺陷,本发明提供了一种用于地铁屏蔽门的无刷直流电机滑模控制系统,该控制算法简单、响应速度快、对参数变化及扰动不灵敏、无需系统在线辨识。

[0012] 为实现上述目的,本发明的技术方案是:

[0013] 一种用于地铁屏蔽门的无刷直流电机滑模控制系统,由滑模变结构控制器、电流

检测模块、电流调节模块、PWM 模块、逆变器模块和无刷直流电机 BLDCM、速度计算模块和位置检测装置组成；采用双闭环控制，即速度环作为外环，通过位置检测模块送到速度计算模块来实现速度计算，计算的速度与预定的速度相比较，送到滑模变结构控制器作为速度环的输入，采用滑模变结构控制器进行调节来提高系统的响应速度，增强系统的鲁棒性；电流环作为内环，其中电流环以检测到的逆变器输出的电流作为反馈电流，与滑模变结构控制器输出的参考电流作为电流环的输入。

[0014] 在实际实施中，所述滑模变结构控制器的设计包括对被控系统的状态描述、切换函数的设计、控制律的选取以及稳定性分析。

[0015] 具体设计步骤如下：

[0016] 步骤一：建立无刷直流电机的非线性模型：

$$[0017] \quad \begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = -\frac{r_a J + B_v L_a}{L_a J} x_2 - \frac{B_v r_a + k_e K_T}{L_a J} x_1 + \frac{B_v r_a + k_e K_T}{L_a J} \omega_{ref} - \frac{K_T}{L_a J} u + \frac{r_a T_l}{L_a J} \end{cases} \quad (1)$$

[0018] 式中： r_a 为绕组线电阻； k_e 为线反电势常数； K_T 为电机转矩系数； $x_1 = \omega - \omega_{ref}$ ； ω 为电机角速度； ω_{ref} 为系统的参考角速度。

[0019] 步骤二：切换函数的设计：

[0020] 设计滑模切换函数为：

$$[0021] \quad s = c_1 x_1 + c_2 x_2 \quad (2)$$

[0022] 式中： c_1, c_2 为常数

[0023] 步骤三：控制律的选取：

[0024] 系统的控制律结构选取如下

$$[0025] \quad u = u_{eq} - \alpha \operatorname{sgn}(s) \quad (3)$$

$$[0026] \quad \text{式中：} u_{eq} \text{ 为等效控制，} \operatorname{sgn}(s) = \begin{cases} 1 & \text{当 } s > 0 \\ -1 & \text{当 } s < 0 \end{cases}$$

[0027] 步骤四：稳定性分析

[0028] 系统的稳定性根据定义的 Lyapunov 函数 $V = \frac{1}{2} s^2$ ，通过 Lyapunov 稳定性理论可得：

$$[0029] \quad \frac{1}{2} \frac{d}{dt}(s^2) = s \dot{s} < 0 \quad (4)$$

[0030] 即滑模进入条件。

[0031] 为了消除抖振，可采用饱和函数方法，即用 $\operatorname{sat}(s)$ 代替 $\operatorname{sgn}(s)$ 。

$$[0032] \quad \operatorname{sat}(s) = \begin{cases} 1 & \frac{s}{\eta} > 1 \\ \frac{s}{\eta} & \left| \frac{s}{\eta} \right| \leq 1 \\ -1 & \frac{s}{\eta} < -1 \end{cases} \quad (5)$$

[0033] 式中： η 为很小的正常数。

[0034] 所述地铁屏蔽门无刷直流电机控制系统由滑模变结构控制器，电流调节器，PWM 驱动电路，逆变器，BLDCM 以及位置检测装置等部分组成。

[0035] 其中，速度环作为外环，采用滑模变结构控制器进行调节，来提高系统的响应速度，增强系统的鲁棒性。

[0036] 速度环通过位置检测送到速度计算模块来实现速度计算。计算的速度与预定的速度相比较，送到滑模变结构控制器作为速度环的输入。

[0037] 电流环作为内环，采用 PI 调节，当电流给定值发生变化时，PI 控制方式可以迅速的做出响应，使输出电流跟踪给定电流的变化。

[0038] 电流环以检测到的逆变器输出的电流作为反馈电流，与滑模变结构控制器输出的参考电流作为电流环的输入。

[0039] 驱动电路采用 PWM 调制方式，通过给定电流值与检测电流值偏差作为 PWM 的输入控制信号，从而驱动电机。

[0040] 下面结合附图对本发明进一步详细描述。

[0041] 以地铁屏蔽门无刷直流电机控制系统为例进行说明。

[0042] 地铁屏蔽门执行电机一般采用无刷直流电机，无刷直流电机的数学模型为如下非线性模型：

$$[0043] \quad \begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = -\frac{r_a J + B_v L_a}{L_a J} x_2 - \frac{B_v r_a + k_e K_T}{L_a J} x_1 + \frac{B_v r_a + k_e K_T}{L_a J} \omega_{ref} - \frac{K_T}{L_a J} u + \frac{r_a T_l}{L_a J} \end{cases} \quad (6)$$

[0044] 取 $r_a = 0.66 \Omega$; $k_e = 0.067V / (\text{rad}/s)$; $K_T = 0.073N \cdot m/A$;

[0045] $J = 1.57 \times 10^{-5} \text{kg} \cdot \text{m}^2$; $L_a = 1.4\text{mH}$; $B_v = 6.59 \times 10^{-6} N \cdot m (\text{rad}/s)$ 。

[0046] 应用滑动模态方程的等效控制法：

$$[0047] \quad \text{令 } \dot{s} = 0, \text{ 即 } c_1 \dot{x}_1 + c_2 \dot{x}_2 = 0 \quad (7)$$

[0048] 带入式(6)可得：

$$[0049] \quad u_{eq} = -\frac{L_a J}{K_T} \left(\left(\frac{c_1}{c_2} + \frac{r_a J + B_v L_a}{L_a J} \right) x_2 + \frac{B_v r_a + k_e k_T}{L_a J} x_1 + \frac{B_v r_a + k_e k_T}{L_a J} \omega_{ref} + \frac{r_a T_l}{L_a J} \right) \quad (8)$$

[0050] 由式(4)得

$$[0051] \quad s(c_1 \dot{x}_1 + c_2 \dot{x}_2) < 0 \quad (9)$$

[0052] 将式(3) (6) (8) 带入式(9)可确定式(3)中的 α 取值。

[0053] 将 α 和 u_{eq} 的值带入式(3)即可求出控制 u 的大小

[0054] 由于滑模控制的抖振是必定存在的，所以为了消除抖振，可采用饱和函数方法，即用 $\text{sat}(s)$ 代替 u 中的 $\text{sgn}(s)$ 。

$$[0055] \quad \text{sat}(s) = \begin{cases} 1 & \frac{s}{\eta} > 1 \\ \frac{s}{\eta} & \left| \frac{s}{\eta} \right| \leq 1 \\ -1 & \frac{s}{\eta} < -1 \end{cases} \quad (10)$$

[0056] 式中： η 为很小的正常数

[0057] 如图 1 所示即为滑模变结构控制器的结构框图。

[0058] 当 $s(x) > 0$ 时开关切换到 $u^+(x)$ 状态，当 $s(x) < 0$ 时开关切换到 $u^-(x)$ 状态。得到的输出 u 作为输入送到无刷直流系统就可得到系统的输出 x 。

[0059] 为了验证滑模变结构控制器的可行性，利用 matlab 对其进行仿真。

[0060] 输入速度以地铁屏蔽门系统为例，地铁屏蔽门在关闭或者打开的时候需要 3 秒左右的时间，运动过程包括加速，匀速，减速，再匀速，再减速过程。

[0061] 图 2 上侧图即为屏蔽门理想的速度曲线，下侧图为滑模变结构控制器的位置跟踪曲线，其中横坐标代表时间 t/s ，纵坐标代表门机速度响应速度，可以看出滑模变结构控制器具有很好的响应速度和鲁棒性。

[0062] 图 3 所示为地铁屏蔽门无刷直流电机控制系统。

[0063] 控制系统主要由滑模变结构控制器，电流调节器，PWM 驱动电路，逆变器，BLDCM 以及位置检测装置等部分组成。

[0064] 其中，速度环作为外环，采用滑模变结构控制器进行调节，来提高系统的响应速度，增强系统的鲁棒性。

[0065] 速度环通过位置检测送到速度计算模块来实现速度计算。位置检测主要通过 HALL 位置传感器检测电机转子的位置来实现。速度计算模块是利用旋转编码器来实现，旋转编码器与电机同轴相连，当电机转动时，带动编码器旋转，便发出转速信号。计算的速度与预定的速度相比较，送到滑模变结构控制器作为电流环的输入。

[0066] 电流环作为内环，采用 PI 调节，当电流给定值发生变化时，PI 控制方式可以迅速的做出响应，使输出电流跟踪给定电流的变化。电流采样通过 DSP 的 A/D 模块结合电流采样电路来实现。

[0067] 驱动电路采用 PWM 调制方式，通过给定电流值与检测电流值偏差作为 PWM 的输入控制信号，从而驱动电机。

[0068] 本发明的技术方案不限于上述具体实施例的限制，凡是根据本发明的技术方案做出的技术变形，均落入本发明的保护范围之内。

[0069] 上面结合附图对本发明的实施方式作了详细的说明，但是本发明不限于上述实施方式，在所属技术领域普通技术人员所具备的知识范围内，还可以在不脱离本发明宗旨的前提下做出各种变化。

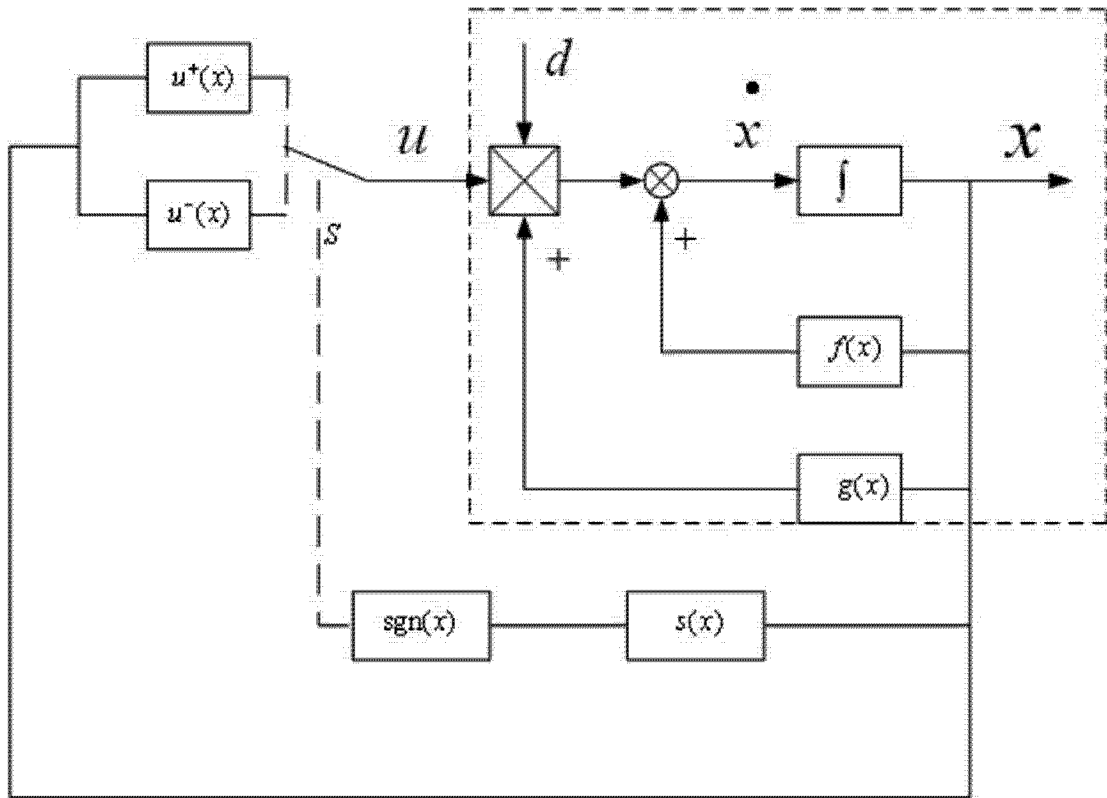


图 1

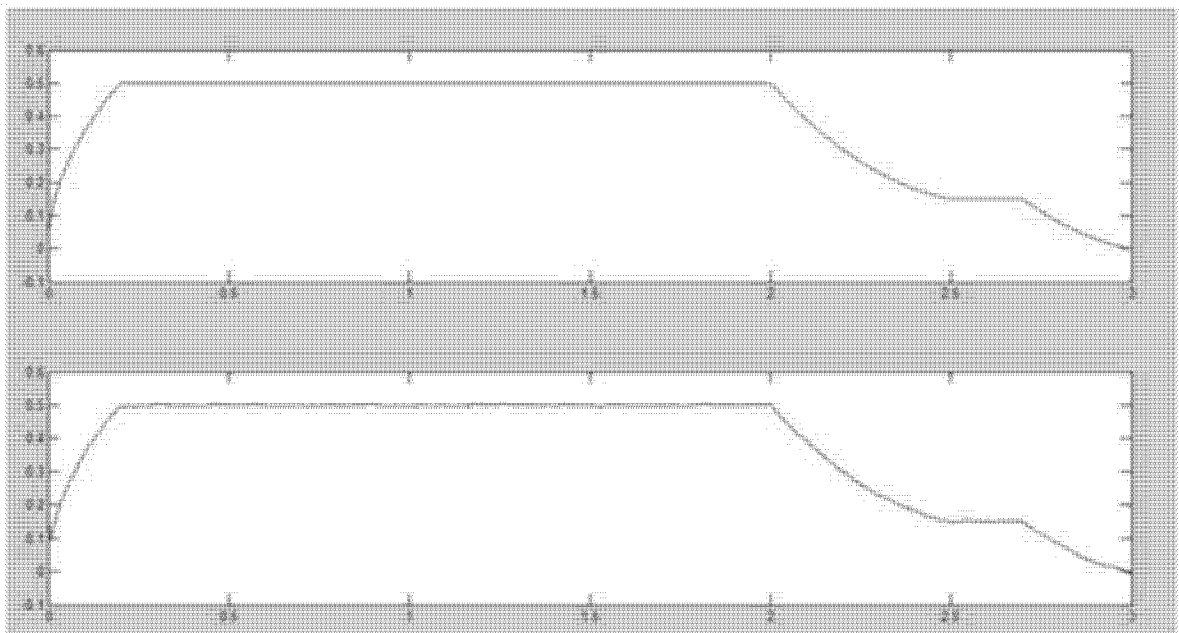


图 2

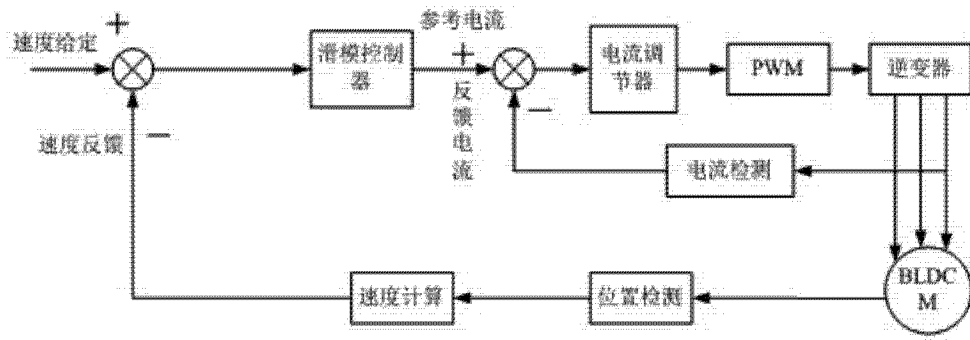


图 3