



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102664569 A

(43) 申请公布日 2012. 09. 12

(21) 申请号 201210138230. 5

(22) 申请日 2012. 05. 07

(71) 申请人 上海电机学院

地址 200240 上海市闵行区江川路 690 号

(72) 发明人 韩明文 刘军

(74) 专利代理机构 上海思微知识产权代理事务
所(普通合伙) 31237

代理人 郑玮

(51) Int. Cl.

H02P 6/06 (2006. 01)

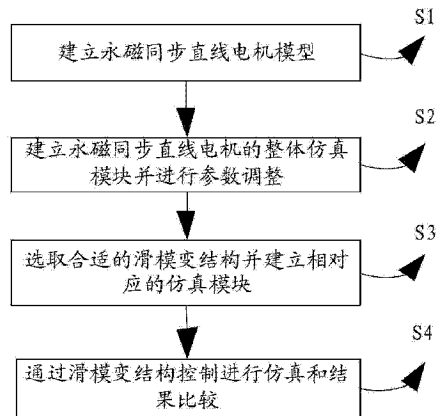
权利要求书 1 页 说明书 7 页 附图 5 页

(54) 发明名称

一种基于滑模变结构的永磁同步直线电机控制方法及装置

(57) 摘要

本发明提供了一种基于滑模变结构的永磁同步直线电机控制方法和装置,通过建立永磁同步直线电机模型,然后建立永磁同步直线电机的整体仿真模块并进行参数调整,接着选取合适的滑模变结构并建立相对应的仿真模块,最终通过滑模变结构控制进行仿真和结果比较,本方案将传统的单一 PID 控制改为滑模控制,使速度响应更快,超调量更小,且抗干扰能力更强,滑模变结构控制算法简单、鲁棒性好及可靠性高,可以很好的应用于非线性运动控制过程中。



1. 一种基于滑模变结构的永磁同步直线电机控制方法,其特征在于,所述方法包括:
步骤一、建立永磁同步直线电机模型;
步骤二、建立永磁同步直线电机的整体仿真模块并进行参数调整;
步骤三、选取合适的滑模变结构并建立相对应的仿真模块;
步骤四、通过滑模变结构控制进行仿真和结果比较。

2. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述步骤一中,是根据动力学方程搭建永磁同步直线电机模型。

3. 根据权利要求 2 所述的方法,其特征在于,所述永磁同步直线电机的动力学方程为:

$$F_e = F_d + B_v V + m \frac{dV}{dt}$$

其中 L_d , L_q 为直轴和交轴电感, ϕ_f 为直线电机永磁体磁链; V 为直线电机的速度; m 为电机质量。

4. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述步骤一中,进一步包括依据数学模型建立电压和机械模块,根据动力学方程搭建永磁同步直线电机模型。

5. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述步骤二中,建立永磁同步直线电机的整体仿真模块,包括但不限于速度和电流环 PID 控制、SVPWM 模块。

6. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述步骤二中,进行参数调整以获得各 PID 控制器的初始参数。

7. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述步骤三中,所述滑模变结构控制方案为:

$$u = u_{eq} + u_{sw}$$

其中, $u_{eq} = ne$, $u_{sw} = f \text{sign}(s)$, 故有 $u = i_q^* = ne + f \text{sign}(s)$ 。

8. 一种基于滑模变结构的永磁同步直线电机控制装置,其特征在于,所述装置包括模型建立单元、参数调整单元、选取单元及比较单元,通过建立永磁同步直线电机模型,然后建立永磁同步直线电机的整体仿真模块并进行参数调整,接着选取合适的滑模变结构并建立相对应的仿真模块,最终通过滑模变结构控制进行仿真和结果比较。

9. 根据权利要求 8 所述的装置,其特征在于,所述模型建立单元用于建立永磁同步直线电机模型。

10. 根据权利要求 8 所述的装置,其特征在于,所述参数调整单元用于建立永磁同步直线电机的整体仿真模块并进行参数调整。

11. 根据权利要求 8 所述的装置,其特征在于,所述选取单元用于选取合适的滑模变结构并建立相对应的仿真模块。

12. 根据权利要求 11 所述的装置,其特征在于,所述比较单元用于通过滑模变结构控制进行仿真和结果比较。

一种基于滑模变结构的永磁同步直线电机控制方法及装置

技术领域

[0001] 本发明涉及信息控制技术领域,特别涉及一种基于滑模变结构的永磁同步直线电机控制方法及装置。

背景技术

[0002] 永磁同步直线电机是一种能直接将电能转换为直线运动的传动装置,由于不需要中间传动介质,相对于传统的“旋转电机+滚轴丝杠”的传动方式具有显著的优势如:精度高、速度和加速度大且稳定,推力大等。近年来,直线电机得到了飞速的发展并且广泛应用于各种场合,尤其是以高效率和高精度为基本特征的高速加工领域。直线电机以其快速响应和精度等方面的优势而逐渐取代普通伺服驱动系统,但要使直线电机表现出优良的性能,就对控制系统的要求也越来越高。

[0003] 传统 PID 控制具有结构简单、输出稳定、易实现等优点而至今被沿用,但在以高速高精、负载扰动大的加工场合,简单 PID 控制不能达到理想的控制效果。

[0004] 针对现有技术的高速高精、负载扰动大的加工场合下,控制效果不佳的问题,提出一种基于滑模变结构的永磁同步直线电机控制方法和装置是信息控制技术领域目前急待解决的问题之一。

发明内容

[0005] 有鉴于此,本发明实施例提出了一种基于滑模变结构的永磁同步直线电机控制方法和装置,通过建立永磁同步直线电机模型,然后建立永磁同步直线电机的整体仿真模块并进行参数调整,接着选取合适的滑模变结构并建立相对应的仿真模块,最终通过滑模变结构控制进行仿真和结果比较,本方案将传统的单一 PID 控制改为滑模控制,使速度响应更快,超调量更小,且抗干扰能力更强,滑模变结构控制算法简单、鲁棒性好及可靠性高,可以很好的应用于非线性运动控制过程中。

[0006] 为解决上述技术问题,本发明实施例的目的在于通过以下技术方案实现的:

[0007] 一种基于滑模变结构的永磁同步直线电机控制方法,包括:

[0008] 步骤一、建立永磁同步直线电机模型;

[0009] 步骤二、建立永磁同步直线电机的整体仿真模块并进行参数调整;

[0010] 步骤三、选取合适的滑模变结构并建立相对应的仿真模块;

[0011] 步骤四、通过滑模变结构控制进行仿真和结果比较。

[0012] 优选的,上述步骤一中,是根据动力学方程搭建永磁同步直线电机模型。

[0013] 优选的,上述永磁同步直线电机的动力学方程为:

$$[0014] \quad F_e = F_d + B_v V + m \frac{dV}{dt}$$

[0015] 其中 L_d, L_q 为直轴和交轴电感, Φ_f 为直线电机永磁体磁链; V 为直线电机的速度; m 为电机质量。

[0016] 优选的,上述步骤一中,进一步包括依据数学模型建立电压和机械模块,根据动力学方程搭建永磁同步直线电机模型。

[0017] 优选的,上述步骤二中,建立永磁同步直线电机的整体仿真模块,包括但不限于速度和电流环 PID 控制、SVPWM 模块。

[0018] 优选的,上述步骤二中,进行参数调整以获得各 PID 控制器的初始参数。

[0019] 优选的,上述步骤三中,所述滑模变结构控制方案为:

$$[0020] \quad u = u_{eq} + u_{sw}$$

[0021] 其中, $u_{eq} = ne$, $u_{sw} = f \text{sign}(s)$, 故有 $u = i_q^* = ne + f \text{sign}(s)$ 。

[0022] 一种基于滑模变结构的永磁同步直线电机控制装置,包括模型建立单元、参数调整单元、选取单元及比较单元,通过建立永磁同步直线电机模型,然后建立永磁同步直线电机的整体仿真模块并进行参数调整,接着选取合适的滑模变结构并建立相对应的仿真模块,最终通过滑模变结构控制进行仿真和结果比较。

[0023] 优选的,上述模型建立单元用于建立永磁同步直线电机模型。

[0024] 优选的,上述参数调整单元用于建立永磁同步直线电机的整体仿真模块并进行参数调整。

[0025] 优选的,上述选取单元用于选取合适的滑模变结构并建立相对应的仿真模块。

[0026] 优选的,上述比较单元用于通过滑模变结构控制进行仿真和结果比较。

[0027] 综上所述,本发明提供了一种基于滑模变结构的永磁同步直线电机控制方法和装置,通过建立永磁同步直线电机模型,然后建立永磁同步直线电机的整体仿真模块并进行参数调整,接着选取合适的滑模变结构并建立相对应的仿真模块,最终通过滑模变结构控制进行仿真和结果比较,本方案将传统的单一 PID 控制改为滑模控制,使速度响应更快,超调量更小,且抗干扰能力更强,滑模变结构控制算法简单、鲁棒性好及可靠性高,可以很好的应用于非线性运动控制过程中。

附图说明

[0028] 图 1 为本发明一种基于滑模变结构的永磁同步直线电机控制方法示意图;

[0029] 图 2 为本发明之滑模控制器的模型示意图;

[0030] 图 3 为 Simulink 下 PMLSM 滑模控制的整个模型示意图;

[0031] 图 4 为 PID 控制器速度仿真波形示意图;

[0032] 图 5 为滑模控制器速度仿真波形示意图;

[0033] 图 6 为 PID 控制器突加扰动时速度仿真波形示意图;

[0034] 图 7 为滑模控制器突加扰动时速度仿真波形示意图;

[0035] 图 8 为推力比较波形示意图;

[0036] 图 9 为本发明一种基于滑模变结构的永磁同步直线电机控制装置示意图。

具体实施方式

[0037] 本发明实施例提供一种基于滑模变结构的永磁同步直线电机控制方法和装置,通过建立永磁同步直线电机模型,然后建立永磁同步直线电机的整体仿真模块并进行参数调整,接着选取合适的滑模变结构并建立相对应的仿真模块,最终通过滑模变结构控制进

行仿真和结果比较,本方案将传统的单一 PID 控制改为滑模控制,使速度响应更快,超调量更小,且抗干扰能力更强,滑模变结构控制算法简单、鲁棒性好及可靠性高,可以很好的应用于非线性运动控制过程中。

[0038] 为使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,下面参照附图并举实施例,对本发明进一步详细说明。

[0039] 本方案的主要思路为:将传统 PID 控制器用滑模变结构控制器取代的控制方法,此方法在直线电机的速度环上做一定的改进,将传统的单一 PID 控制改为滑模控制,使速度响应更快,超调量更小,且抗干扰能力更强。滑模变结构控制算法简单、鲁棒性好及可靠性高,可以很好的应用于非线性运动控制过程中,本方案提出一种将速度环中的 PID 控制器用滑模控制器代替的控制方法,实验仿真结果表明,系统在快速性和抗干扰等方面有很好的提高。

[0040] 本发明实施例提供一种基于滑模变结构的永磁同步直线电机控制方法,如图 1 所示,具体步骤包括:

[0041] 步骤一、建立永磁同步直线电机模型;

[0042] 具体而言,在本发明实施例中,鉴于 simulink 里面并无直线电机的仿真模型,本方案是依据 PMLSM 的数学模型建立电压和机械模块,根据动力学方程搭建直线电机的仿真模块即永磁同步直线电机模型。

[0043] 进一步的,在本方案中直线电机的推力为:

$$[0044] \quad F_e = \frac{3\pi}{2\tau} [(L_d - L_q)i_d + \varphi_f]i_q \quad \text{式(1)}$$

[0045] 其中, $L_d = L_q = L$, 且在实际控制策略中,一般使 $i_d = 0$, 因此直线电机推力方程可以简化为:

$$[0046] \quad F_e = \frac{3\pi}{2\tau} i_q \varphi_f \quad \text{式(2)}$$

[0047] 此外,永磁同步直线电机的动力学方程为:

$$[0048] \quad F_e = F_d + B_v V + m \frac{dV}{dt} \quad \text{式(3)}$$

[0049] 其中 L_d, L_q 为直轴和交轴电感, φ_f 为直线电机永磁体磁链; V 为直线电机的速度; m 为电机质量。

[0050] 步骤二、建立永磁同步直线电机的整体仿真模块并进行参数调整;

[0051] 具体而言,在本发明实施例中,将建立永磁同步直线电机的整体仿真模块,包括但不限于速度和电流环 PID 控制、SVPWM 模块等,并进行参数调整获得各 PID 控制器的初始参数。

[0052] 在本方案中,直线电机的推力方程为:

$$[0053] \quad F_e = \frac{3\pi}{2\tau} i_q \varphi_f \quad \text{式(2)}$$

[0054] 永磁同步直线电机的动力学方程为:

[0055]
$$F_e = F_d + B_v V + m \frac{dV}{dt} \quad \text{式(3)}$$

[0056] 其中 L_d, L_q 为直轴和交轴电感, Φ_f 为直线电机永磁体磁链; V 为直线电机的速度; m 为电机质量。

[0057] 由式(2)和式(3)可以得到

[0058]
$$\dot{v} = \frac{3\pi\psi_f}{2\tau m} i_q - \frac{B_v}{m} v - \frac{F_d}{m} \quad \text{式(4)}$$

[0059] 写为
$$\dot{v} = \frac{3\pi\psi_f}{2\tau m} i_q^* + a(t) \quad \text{式(5)}$$

[0060] 其中, $a(t) = \frac{3\pi\psi_f}{2\tau m} (i_q - i_q^*) - \frac{B_v}{m} v - \frac{F_d}{m}$, 定义速度误差为 $e = v^* - v$, 则

[0061]
$$\dot{e} = -\frac{3\pi\psi_f}{2\tau m} i_q^* - a(t), \quad i_q^* \text{ 为滑模控制器输出。选取积分型滑模面为}$$

$$s = e + c \int_0^t e d\tau, \quad c = \frac{3\pi\psi_f}{2\tau m} n, \quad n \text{ 为正数。}$$

[0062] 步骤三、选取合适的滑模变结构并建立相对应的仿真模块;

[0063] 具体而言,在本发明实施例中,是依据直线电机的数学模型,选取合适的滑模变结构并建立相对应的 simulink 仿真模块。

[0064] 进一步的,当系统运动到滑模面时,有 $\dot{s} = 0$ 和 $s = 0$ 。控制器最终的目标是要是系统在有限的时间内达到滑模面并稳定与滑模面上,本方案选取滑模变结构控制方案为:

[0065]
$$u = u_{eq} + u_{sw} \quad \text{式(6)}$$

[0066] 其中, $u_{eq} = ne$, $u_{sw} = f \text{sign}(s)$, 所以式(6)改写为

[0067]
$$u = i_q^* = ne + f \text{sign}(s) \quad \text{式(7)}$$

[0068] 根据式(7)可以建立滑模控制器的模型如图2所示(即积分型滑模控制器模型)。

[0069] 由此可以建立 Simulink 下 PMLSM 滑模控制的整个模型,如图3所示。

[0070] 步骤四、通过滑模变结构控制进行仿真和结果比较。

[0071] 具体而言,在本发明实施例中,是将速度环 PID 控制器代替为滑模变结构控制进行仿真并与 PID 控制器仿真结果进行比较。

[0072] 进一步的,在本方案中,速度给定 1m/s,在无扰动时仿真结果如图4和图5所示。其中,图4为 PID 控制器速度仿真波形示意图;图5为滑模控制器速度仿真波形示意图。

[0073] 此外,从速度仿真波形可以看出,传统 PID 的响应时间和超调量分别是 0.2s 和 9.8%,而滑模变结构控制器的响应时间和超调量分别是 0.042s 和 0.6%,系统在超调量很

快速性方面都得到了很大的提高。为了检测系统稳定性,在 0.5S 时突加扰动波形如图 6 和图 7 所示。图 6 为 PID 控制器突加扰动时速度仿真波形示意图;图 7 为滑模控制器突加扰动时速度仿真波形示意图。

[0074] 从图中对比可以看出,PID 控制在系统突加负载时有较大的扰动,而滑模变结构控制器则能很好的抑制外界干扰对系统的扰动,具有更强的抗干扰性能。推力比较波形如图 8 所示。滑模变结构控制在推力响应上比 PID 控制器更快,从而使系统具有更好的控制性能。

[0075] 另外,本发明实施例还提供了一种基于滑模变结构的永磁同步直线电机控制装置。如图 9 所示,为本发明实施例提供的一种基于滑模变结构的永磁同步直线电机控制装置示意图。

[0076] 一种基于滑模变结构的永磁同步直线电机控制装置,包括模型建立单元 11、参数调整单元 22、选取单元 33 及比较单元 44。

[0077] 模型建立单元 11,用于建立永磁同步直线电机模型;

[0078] 具体而言,在本发明实施例中,鉴于 simulink 里面并无直线电机的仿真模型,本方案是依据 PMLSM 的数学模型建立电压和机械模块,根据动力学方程搭建直线电机的仿真模块即永磁同步直线电机模型。

[0079] 进一步的,在本方案中直线电机的推力为:

$$[0080] \quad F_e = \frac{3\pi}{2\tau} [(L_d - L_q)i_d + \varphi_f]i_q \quad \text{式(1)}$$

[0081] 其中, $L_d = L_q = L$, 且在实际控制策略中,一般使 $i_d = 0$, 因此直线电机推力方程可以简化为:

$$[0082] \quad F_e = \frac{3\pi}{2\tau} i_q \varphi_f \quad \text{式(2)}$$

[0083] 此外,永磁同步直线电机的动力学方程为:

$$[0084] \quad F_e = F_d + B_v V + m \frac{dV}{dt}$$

[0085] 式(3)

[0086] 其中 L_d, L_q 为直轴和交轴电感, φ_f 为直线电机永磁体磁链; V 为直线电机的速度; m 为电机质量。

[0087] 参数调整单元 22,用于建立永磁同步直线电机的整体仿真模块并进行参数调整;

[0088] 具体而言,在本发明实施例中,将建立永磁同步直线电机的整体仿真模块,包括但不限于速度和电流环 PID 控制、SVPWM 模块等,并进行参数调整获得各 PID 控制器的初始参数。

[0089] 在本方案中,直线电机的推力方程为:

$$[0090] \quad F_e = \frac{3\pi}{2\tau} i_q \varphi_f \quad \text{式(2)}$$

[0091] 永磁同步直线电机的动力学方程为:

[0092]
$$F_e = F_d + B_v V + m \frac{dV}{dt} \quad \text{式(3)}$$

[0093] 其中 L_d, L_q 为直轴和交轴电感, Φ_f 为直线电机永磁体磁链; V 为直线电机的速度; m 为电机质量。

[0094] 由式(2)和式(3)可以得到

[0095]
$$\dot{v} = \frac{3\pi\psi_f}{2\tau m} i_q - \frac{B_v}{m} v - \frac{F_d}{m} \quad \text{式(4)}$$

[0096] 写为

[0097]
$$\dot{v} = \frac{3\pi\psi_f}{2\tau m} i_q^* + a(t) \quad \text{式(5)}$$

[0098] 其中, $a(t) = \frac{3\pi\psi_f}{2\tau m} (i_q - i_q^*) - \frac{B_v}{m} v - \frac{F_d}{m}$, 定义速度误差为 $e = v^* - v$, 则

$$\dot{e} = -\frac{3\pi\psi_f}{2\tau m} i_q^* - a(t), \quad i_q^* \text{ 为滑模控制器输出。选取积分型滑模面为 } s = e + c \int_0^t e d\tau,$$

$$c = \frac{3\pi\psi_f}{2\tau m} n, \quad n \text{ 为正数。}$$

[0099] 选取单元 33, 用于选取合适的滑模变结构并建立相对应的仿真模块;

[0100] 具体而言, 在本发明实施例中, 是依据直线电机的数学模型, 选取合适的滑模变结构并建立相对应的 simulink 仿真模块。

[0101] 进一步的, 当系统运动到滑模面时, 有 $s=0$ 和 $\dot{s} = 0$ 。控制器最终的目标是要是系统在有限的时间内达到滑模面并稳定与滑模面上, 本方案选取滑模变结构控制方案为:

[0102]
$$u = u_{eq} + u_{sw} \quad \text{式(6)}$$

[0103] 其中, $u_{eq} = ne$, $u_{sw} = f \text{sign}(s)$, 所以式(6)改写为

[0104]
$$u = i_q^* = ne + f \text{sign}(s) \quad \text{式(7)}$$

[0105] 根据式(7)可以建立滑模控制器的模型如图 2 所示(即积分型滑模控制器模型)。

[0106] 由此可以建立 Simulink 下 PMLSM 滑模控制的整个模型, 如图 3 所示。

[0107] 比较单元 44, 用于通过滑模变结构控制进行仿真和结果比较。

[0108] 具体而言, 在本发明实施例中, 是将速度环 PID 控制器代替为滑模变结构控制进行仿真并与 PID 控制器仿真结果进行比较。

[0109] 进一步的, 在本方案中, 速度给定 1m/s, 在无扰动时仿真结果如 4 和图 5 所示。其中, 图 4 为 PID 控制器速度仿真波形示意图; 图 5 为滑模控制器速度仿真波形示意图。

[0110] 此外, 从速度仿真波形可以看出, 传统 PID 的响应时间和超调量分别是 0.2s 和 9.8%, 而滑模变结构控制器的响应时间和超调量分别是 0.042s 和 0.6%, 系统在超调量很快速性方面都得到了很大的提高。为了检测系统稳定性, 在 0.5s 时突加扰动波形如图 6 和

图 7 所示。图 6 为 PID 控制器突加扰动时速度仿真波形示意图；图 7 为滑模控制器突加扰动时速度仿真波形示意图。

[0111] 从图中对比可以看出，PID 控制在系统突加负载时有较大的扰动，而滑模变结构控制器则能很好的抑制外界干扰对系统的扰动，具有更强的抗干扰性能。推力比较波形如图 8 所示。滑模变结构控制在推力响应上比 PID 控制器更快，从而使系统具有更好的控制性能。

[0112] 本领域普通技术人员可以理解实现上述实施例方法携带的全部或部分步骤是可以通程序来指令相关的硬件完成，所述的程序可以存储于一种计算机可读存储介质中，该程序在执行时，包括方法实施例的步骤之一或其组合。

[0113] 另外，在本发明各个实施例中的各功能单元可以集成在一个处理模块中，也可以是各个单元单独物理存在，也可以两个或两个以上单元集成在一个模块中。上述集成的模块既可以采用硬件的形式实现，也可以采用软件功能模块的形式实现。所述集成的模块如果以软件功能模块的形式实现并作为独立的产品销售或使用，也可以存储在一个计算机可读存储介质中。

[0114] 综上所述，本文提供了一种基于滑模变结构的永磁同步直线电机控制方法和装置，通过建立永磁同步直线电机模型，然后建立永磁同步直线电机的整体仿真模块并进行参数调整，接着选取合适的滑模变结构并建立相对应的仿真模块，最终通过滑模变结构控制进行仿真和结果比较，本方案将传统的单一 PID 控制改为滑模控制，使速度响应更快，超调量更小，且抗干扰能力更强，滑模变结构控制算法简单、鲁棒性好及可靠性高，可以很好的应用于非线性运动控制过程中。

[0115] 以上对本发明所提供的一种基于滑模变结构的永磁同步直线电机控制方法和装置进行了详细介绍，本文中应用了具体个例对本发明的原理及实施方式进行了阐述，以上实施例的说明只是用于帮助理解本发明的方案；同时，对于本领域的一般技术人员，依据本发明的思想，在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处，综上所述，本说明书内容不应理解为对本发明的限制。

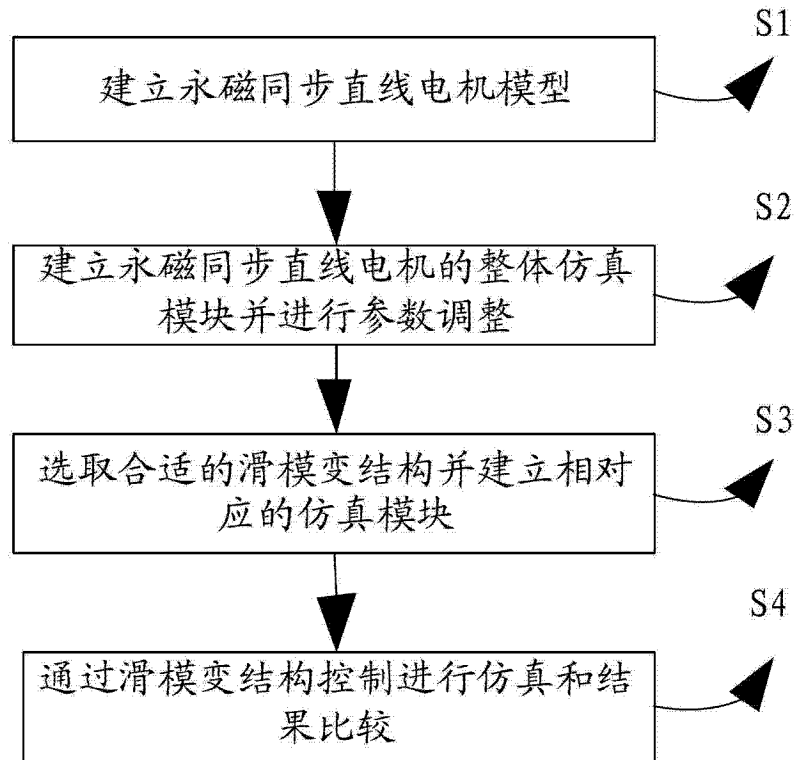


图 1

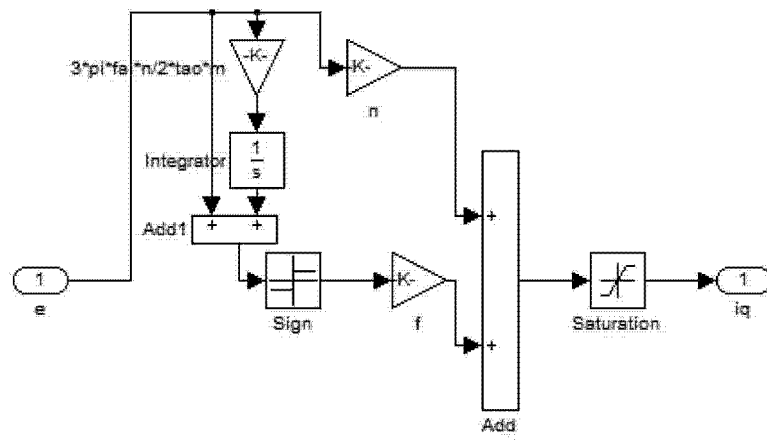


图 2

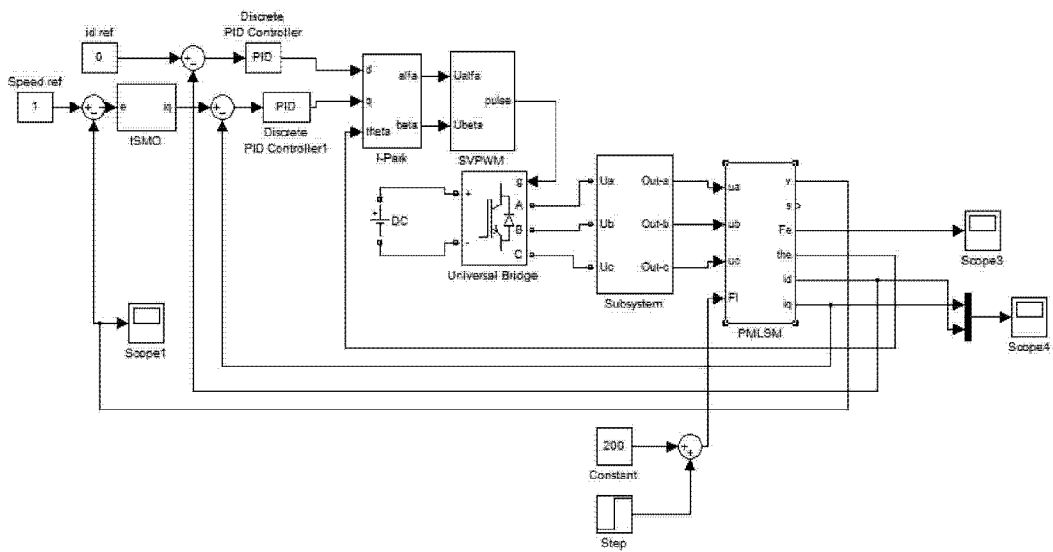


图 3

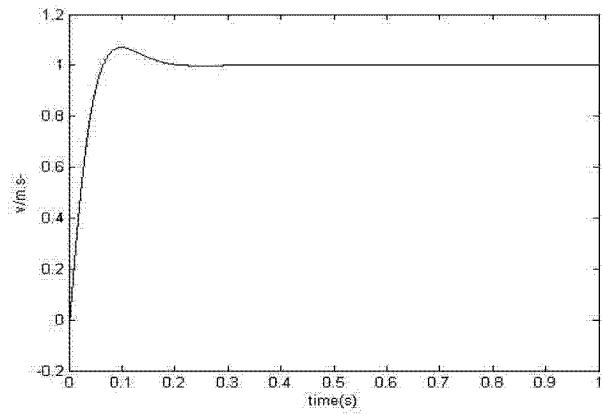


图 4

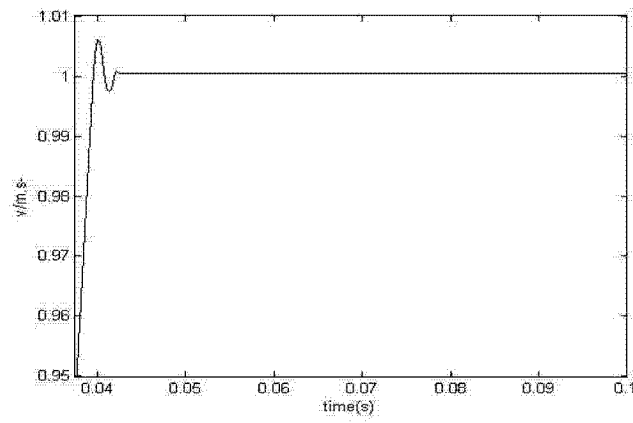


图 5

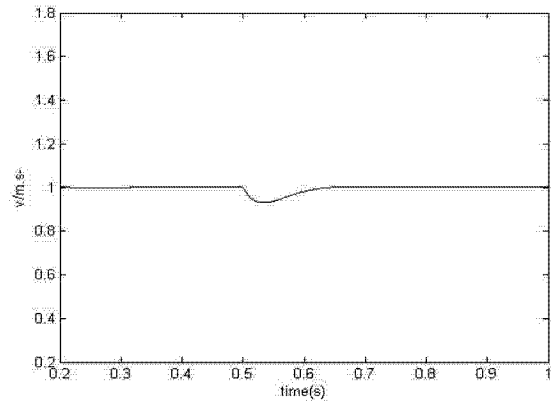


图 6

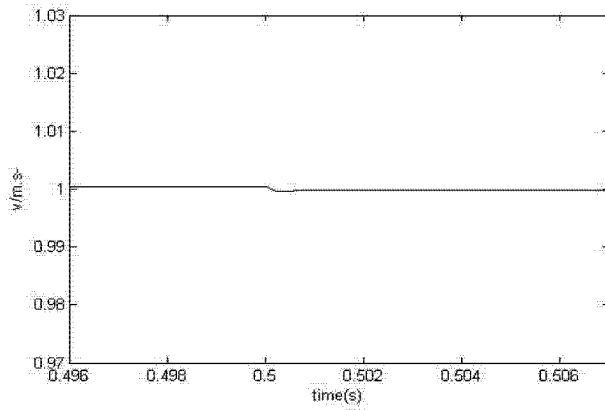


图 7

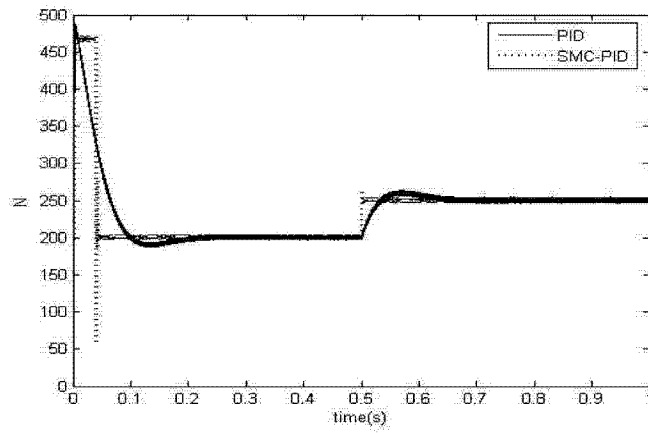


图 8

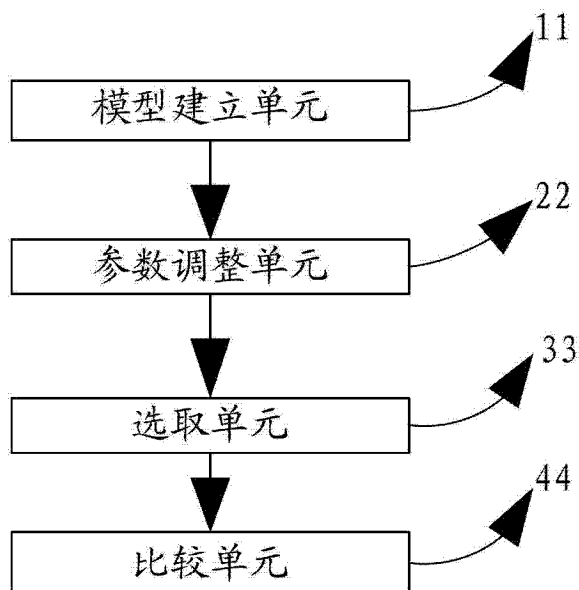


图 9