



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108880369 A

(43)申请公布日 2018.11.23

(21)申请号 201810599881.1

(22)申请日 2018.06.12

(71)申请人 广州市香港科大霍英东研究院

地址 511458 广东省广州市南沙区南沙资讯科技园科技楼3106

(72)发明人 张碧陶 姚科 高福荣

(74)专利代理机构 广州嘉权专利商标事务所有限公司 44205

代理人 胡辉

(51)Int.Cl.

H02P 21/00(2016.01)

权利要求书2页 说明书6页 附图1页

(54)发明名称

基于分数阶滑模控制的电机抗干扰控制方法、系统及装置

(57)摘要

本发明公开了基于分数阶滑模控制的电机抗干扰控制方法、系统及装置，方法包括：对电机受到的干扰大小进行预估，得到干扰预估值；根据干扰预估值，计算滑模切换的增益大小；根据计算的增益大小，采用基于分数阶的滑模控制算法对电机的角速度进行闭环控制；系统包括干扰预估模块、增益大小计算模块和滑模控制模块；装置包括存储器和处理器。本发明基于精确的增益大小来进行滑模控制，不但能保证滑模控制算法的强鲁棒性，而且还能够有效地抑制抖震，提高了电机速度控制的精度；另外，本发明基于分数阶的微积分领域来执行滑模控制算法，进一步提高了滑模控制算法的鲁棒性，可广泛应用于电机控制领域。

对电机受到的干扰大小进行预估，
得到干扰预估值

根据干扰预估值，计算滑模切换的
增益大小

根据计算的增益大小，采用基于分
数阶的滑模控制算法对电机的角速
度进行闭环控制

1. 基于分数阶滑模控制的电机抗干扰控制方法,其特征在于:包括以下步骤:
对电机受到的干扰大小进行预估,得到干扰预估值;
根据干扰预估值,计算滑模切换的增益大小;
根据计算的增益大小,采用基于分数阶的滑模控制算法对电机的角速度进行闭环控制。
2. 根据权利要求1所述的基于分数阶滑模控制的电机抗干扰控制方法,其特征在于:还包括获取电机的实际运行角速度的步骤。
3. 根据权利要求2所述的基于分数阶滑模控制的电机抗干扰控制方法,其特征在于:所述获取电机的实际运行角速度这一步骤,包括以下步骤:
检测电机的实际运行角度;
根据电机的实际运行角度,计算电机的实际运行角速度。
4. 根据权利要求2所述的基于分数阶滑模控制的电机抗干扰控制方法,其特征在于:所述对电机受到的干扰大小进行预估,得到干扰预估值这一步骤,包括以下步骤:
对电机角速度进行预测,得到角速度预估值,所述角速度预估值的计算公式为:

$$\hat{\omega} = \hat{\varphi} - \frac{B}{J}\omega + \frac{3nL}{2J}i + k_1(\omega - \hat{\omega})$$

其中, $\hat{\omega}$ 代表电机的角速度预估值; $\hat{\varphi}$ 代表干扰预估值;B代表摩擦系数;J代表电机转动惯量; ω 代表电机的实际运行角速度;n代表电机极对数;L代表电机等效电感;i代表电机等效电流; k_1 为第一系数;

根据电机的实际运行角速度和角速度预估值,计算电机受到的干扰预估值,所述干扰预估值的计算公式为:

$$\hat{\varphi} = k_2(\omega - \hat{\omega})$$

其中, k_2 为第二系数。

5. 根据权利要求4所述的基于分数阶滑模控制的电机抗干扰控制方法,其特征在于:所述根据干扰预估值,计算滑模切换的增益大小这一步骤中,所述滑模切换的增益大小K的计算公式为: $K = \hat{\varphi}$ 。

6. 根据权利要求5所述的基于分数阶滑模控制的电机抗干扰控制方法,其特征在于:所述根据计算的增益大小,采用基于分数阶的滑模控制算法对电机的角速度进行闭环控制这一步骤,包括以下步骤:

计算分数阶滑模流形,所述分数阶滑模流形的计算公式为:

$$s = {}_0D_t^r(e) + e$$

其中,s代表分数阶滑模流形;\${}_0D_t^r(e)\$代表分数阶微分算子;r代表导数的阶次;t代表积分时间上限;e代表电机的角速度误差;

根据计算的分数阶滑模流形和增益大小,采用分数阶滑模控制算法计算电机在旋转坐标下的直流电流,所述旋转坐标下的直流电流的计算公式为:

$$i = -b^{-1}[{}_0D_t^{r+1}e + ae + Ksign(S)]$$

其中, $b = \frac{3nL}{2J}$; $a = -\frac{B}{J}$; K为滑模切换增益;

根据电机在旋转坐标下的直流电流,对电机的角速度进行闭环控制。

7. 根据权利要求6所述的基于分数阶滑模控制的电机抗干扰控制方法,其特征在于:所述根据电机在旋转坐标下的直流电流,对电机的角速度进行闭环控制这一步骤,包括以下步骤:

对电机在旋转坐标下的直流电流进行映射,得到电机在静止坐标下的直流电流;

对电机在静止坐标下的直流电流进行转换,得到电机的三相电压;

通过脉冲宽度对电机的通电时间进行调节;

根据电机的通电时间和三相电压,得到电机的三相交流电;

根据电机的三相交流电,对电机的角速度进行闭环控制。

8. 根据权利要求3所述的基于分数阶滑模控制的电机抗干扰控制方法,其特征在于:所述检测电机的实际运行角度这一步骤,其具体为:

通过编码器或者旋转变压器检测电机的实际运行角度。

9. 基于分数阶滑模控制的电机抗干扰控制系统,其特征在于:包括:

干扰预估模块,对电机受到的干扰大小进行预估,得到干扰预估值;

增益大小计算模块,用于根据干扰预估值,计算滑模切换的增益大小;

滑模控制模块,用于根据计算的增益大小,采用基于分数阶的滑模控制算法对电机的角速度进行闭环控制。

10. 基于分数阶滑模控制的电机抗干扰控制装置,其特征在于:包括:

存储器,用于存储程序;

处理器,用于加载程序,以执行如权利要求1-8任一项所述的基于分数阶滑模控制的电机抗干扰控制方法。

基于分数阶滑模控制的电机抗干扰控制方法、系统及装置

技术领域

[0001] 本发明涉及电机控制领域，尤其是基于分数阶滑模控制的电机抗干扰控制方法、系统及装置。

背景技术

[0002] 永磁同步电机具有体积小、响应快、功率高等优势，在新能源汽车、数控机床以及机器人等设备得到广泛的应用。目前，市场上现有的永磁同步电机控制系统（或者驱动器）一般都是PID闭环控制。然而，这种控制算法在干扰情况下的控制性能比较差，无法达到应用要求。由于滑模控制算法具有针对干扰的强鲁棒性，所以广泛应用于伺服系统的抗干扰高精密控制中。但是，传统的滑模控制算法存在以下问题：

[0003] 滑模控制算法必须满足干扰匹配条件，但干扰无法测量，为了保证算法的可行性，通常需要把滑模控制的开关增益设计得比较大，以克服大幅度的外部干扰。然而，过大滑模切换增益却引来新的问题：高频的大幅度开关切换会造成系统的抖震，进而影响控制精度。

发明内容

[0004] 为解决上述技术问题，本发明的目的在于：提供一种能够减少抖震且控制精度高的，基于分数阶滑模控制的电机抗干扰控制方法、系统及装置。

[0005] 本发明所采取的第一技术方案是：

[0006] 基于分数阶滑模控制的电机抗干扰控制方法，包括以下步骤：

[0007] 对电机受到的干扰大小进行预估，得到干扰预估值；

[0008] 根据干扰预估值，计算滑模切换的增益大小；

[0009] 根据计算的增益大小，采用基于分数阶的滑模控制算法对电机的角速度进行闭环控制。

[0010] 进一步，还包括获取电机的实际运行角速度的步骤。

[0011] 进一步，所述获取电机的实际运行角速度这一步骤，包括以下步骤：

[0012] 检测电机的实际运行角度；

[0013] 根据电机的实际运行角度，计算电机的实际运行角速度。

[0014] 进一步，所述对电机受到的干扰大小进行预估，得到干扰预估值这一步骤，包括以下步骤：

[0015] 对电机角速度进行预测，得到角速度预估值，所述角速度预估值的计算公式为：

$$\hat{\omega} = \hat{\varphi} - \frac{B}{J}\omega + \frac{3nL}{2J}i + k_1(\omega - \hat{\omega})$$

[0017] 其中， $\hat{\omega}$ 代表电机的角速度预估值； $\hat{\varphi}$ 代表干扰预估值；B代表摩擦系数；J代表电机转动惯量； ω 代表电机的实际运行角速度；n代表电机极对数；L代表电机等效电感；i代表电机等效电流； k_1 为第一系数；

[0018] 根据电机的实际运行角速度和角速度预估值，计算电机受到的干扰预估值，所述

干扰预估值的计算公式为：

[0019] $\hat{\varphi} = k_2(\omega - \hat{\omega})$

[0020] 其中， k_2 为第二系数。

[0021] 进一步，所述根据干扰预估值，计算滑模切换的增益大小这一步骤中，所述滑模切换的增益大小K的计算公式为： $K = \hat{\varphi}$ 。

[0022] 进一步，所述根据计算的增益大小，采用基于分数阶的滑模控制算法对电机的角速度进行闭环控制这一步骤，包括以下步骤：

[0023] 计算分数阶滑模流形，所述分数阶滑模流形的计算公式为：

[0024] $s = {}_0D_t^r(e) + e$

[0025] 其中， s 代表分数阶滑模流形； ${}_0D_t^r(e)$ 代表分数阶微分算子； r 代表导数的阶次； t 代表积分时间上限； e 代表电机的角速度误差；

[0026] 根据计算的分数阶滑模流形和增益大小，采用分数阶滑模控制算法计算电机在旋转坐标下的直流电流，所述旋转坐标下的直流电流的计算公式为：

[0027] $i = -b^{-1}[{}_0D_t^{r+1}e + ae + K\text{sign}(S)]$

[0028] 其中， $b = \frac{3nL}{2J}$ ； $a = -\frac{B}{J}$ ； K 为滑模切换增益；

[0029] 根据电机在旋转坐标下的直流电流，对电机的角速度进行闭环控制。

[0030] 进一步，所述根据电机在旋转坐标下的直流电流，对电机的角速度进行闭环控制这一步骤，包括以下步骤：

[0031] 对电机在旋转坐标下的直流电流进行映射，得到电机在静止坐标下的直流电流；

[0032] 对电机在静止坐标下的直流电流进行转换，得到电机的三相电压；

[0033] 通过脉冲宽度对电机的通电时间进行调节；

[0034] 根据电机的通电时间和三相电压，得到电机的三相交流电；

[0035] 根据电机的三相交流电，对电机的角速度进行闭环控制。

[0036] 进一步，所述检测电机的实际运行角度这一步骤，其具体为：

[0037] 通过编码器或者旋转变压器检测电机的实际运行角度。

[0038] 本发明所采取的第二技术方案是：

[0039] 基于分数阶滑模控制的电机抗干扰控制系统，包括：

[0040] 干扰预估模块，对电机受到的干扰大小进行预估，得到干扰预估值；

[0041] 增益大小计算模块，用于根据干扰预估值，计算滑模切换的增益大小；

[0042] 滑模控制模块，用于根据计算的增益大小，采用基于分数阶的滑模控制算法对电机的角速度进行闭环控制。

[0043] 本发明所采取的第三技术方案是：

[0044] 基于分数阶滑模控制的电机抗干扰控制装置，包括：

[0045] 存储器，用于存储程序；

[0046] 处理器，用于加载程序，以执行如第一技术方案所述的基于分数阶滑模控制的电机抗干扰控制方法。

[0047] 本发明的有益效果是：本发明通过预估电机受到的干扰大小，然后计算滑模切换的增益大小，最终根据计算得到的增益大小对电机进行闭环控制，本发明基于精确的增益大小来进行滑模控制，不但能保证滑模控制算法的强鲁棒性，而且能够有效地抑制抖震，提高了电机速度控制的精度；另外，本发明基于分数阶的微积分领域来执行滑模控制算法，进一步提高了滑模控制算法的鲁棒性。

附图说明

[0048] 图1为本发明基于分数阶滑模控制的电机抗干扰控制方法的步骤流程图；

[0049] 图2为本发明的电机抗干扰控制系统的结构框图。

具体实施方式

[0050] 下面结合说明书附图和具体实施例对本发明作进一步解释和说明。对于本发明实施例中的步骤编号，其仅为了便于阐述说明而设置，对步骤之间的顺序不做任何限定，实施例中的各步骤的执行顺序均可根据本领域技术人员的理解来进行适应性调整。

[0051] 参照图1，本发明基于分数阶滑模控制的电机抗干扰控制方法，包括以下步骤：

[0052] 对电机受到的干扰大小进行预估，得到干扰预估值；

[0053] 根据干扰预估值，计算滑模切换的增益大小；

[0054] 根据计算的增益大小，采用基于分数阶的滑模控制算法对电机的角速度进行闭环控制。

[0055] 进一步作为优选的实施方式，还包括获取电机的实际运行角速度的步骤。

[0056] 进一步作为优选的实施方式，所述获取电机的实际运行角速度这一步骤，包括以下步骤：

[0057] 检测电机的实际运行角度；

[0058] 根据电机的实际运行角度，计算电机的实际运行角速度。

[0059] 进一步作为优选的实施方式，所述对电机受到的干扰大小进行预估，得到干扰预估值这一步骤，包括以下步骤：

[0060] 对电机角速度进行预测，得到角速度预估值，所述角速度预估值的计算公式为：

$$[0061] \hat{\omega} = \hat{\varphi} - \frac{B}{J}\omega + \frac{3nL}{2J}i + k_1(\omega - \hat{\omega})$$

[0062] 其中， $\hat{\omega}$ 代表电机的角速度预估值； $\hat{\varphi}$ 代表干扰预估值；B代表摩擦系数；J代表电机转动惯量； ω 代表电机的实际运行角速度；n代表电机极对数；L代表电机等效电感；i代表电机等效电流； k_1 为第一系数；

[0063] 根据电机的实际运行角速度和角速度预估值，计算电机受到的干扰预估值，所述干扰预估值的计算公式为：

$$[0064] \hat{\varphi} = k_2(\omega - \hat{\omega})$$

[0065] 其中， k_2 为第二系数。

[0066] 进一步作为优选的实施方式，所述根据干扰预估值，计算滑模切换的增益大小这一步骤中，所述滑模切换的增益大小K的计算公式为： $K = \hat{\varphi}$ 。

[0067] 进一步作为优选的实施方式，所述根据计算的增益大小，采用基于分数阶的滑模

控制算法对电机的角速度进行闭环控制这一步骤,包括以下步骤:

[0068] 计算分数阶滑模流形,所述分数阶滑模流形的计算公式为:

$$[0069] s = {}_0D_t^r(e) + e$$

[0070] 其中,s代表分数阶滑模流形; ${}_0D_t^r(e)$ 代表分数阶微分算子;r代表导数的阶次,即r(0<r<1)阶导数;t代表积分时间上限;e代表电机的角速度误差;

[0071] 根据计算的分数阶滑模流形和增益大小,采用分数阶滑模控制算法计算电机在旋转坐标下的直流电流,所述旋转坐标下的直流电流的计算公式为:

$$[0072] i = -b^{-1} [{}_0D_t^{r+1} e + ae + K \text{sign}(S)]$$

[0073] 其中, $b = \frac{3nL}{2J}$; $a = -\frac{B}{J}$;K为滑模切换增益;

[0074] 根据电机在旋转坐标下的直流电流,对电机的角速度进行闭环控制。

[0075] 进一步作为优选的实施方式,所述根据电机在旋转坐标下的直流电流,对电机的角速度进行闭环控制这一步骤,包括以下步骤:

[0076] 对电机在旋转坐标下的直流电流进行映射,得到电机在静止坐标下的直流电流;

[0077] 对电机在静止坐标下的直流电流进行转换,得到电机的三相电压;

[0078] 通过脉冲宽度对电机的通电时间进行调节;

[0079] 根据电机的通电时间和三相电压,得到电机的三相交流电;

[0080] 根据电机的三相交流电,对电机的角速度进行闭环控制。

[0081] 进一步作为优选的实施方式,所述检测电机的实际运行角度这一步骤,其具体为:

[0082] 通过编码器或者旋转变压器检测电机的实际运行角度。

[0083] 与图1的方法相对应,本发明基于分数阶滑模控制的电机抗干扰控制系统,包括:

[0084] 干扰预估模块,对电机受到的干扰大小进行预估,得到干扰预估值;

[0085] 增益大小计算模块,用于根据干扰预估值,计算滑模切换的增益大小;

[0086] 滑模控制模块,用于根据计算的增益大小,采用基于分数阶的滑模控制算法对电机的角速度进行闭环控制。

[0087] 与图1的方法相对应,本发明基于分数阶滑模控制的电机抗干扰控制装置,包括:

[0088] 存储器,用于存储程序;

[0089] 处理器,用于加载程序,以执行本发明的基于分数阶滑模控制的电机抗干扰控制方法。

[0090] 参照图2,下面以具体的电机控制系统为例,详细描述本发明基于分数阶滑模控制的电机抗干扰控制方法的具体实施步骤:

[0091] S1、检测电机的实际运行角度,然后根据电机的实际运行角度,计算电机的实际运行角速度。步骤S1具体为:通过安装在伺服电机的编码器检测到伺服电机在检测时间T内的实际运行角度 $\Delta\theta$,然后根据下式计算伺服电机的角速度 ω : $\omega = \frac{\Delta\theta}{T}$ 。

[0092] S2、对电机受到的干扰大小进行预估,得到干扰预估值。

[0093] 其中,步骤S2包括以下步骤:

[0094] S21、对电机角速度进行预测,得到角速度预估值,所述角速度预估值的计算公式

为：

$$[0095] \quad \hat{\omega} = \hat{\varphi} - \frac{B}{J}\omega + \frac{3nL}{2J}i + k_1(\omega - \hat{\omega})$$

[0096] 其中， $\hat{\omega}$ 代表电机的角速度预估值； $\hat{\varphi}$ 代表干扰预估值；B代表摩擦系数；J代表电机转动惯量； ω 代表电机的实际运行角速度；n代表电机极对数；L代表电机等效电感；i代表电机等效电流； k_1 为第一系数；

[0097] S22、根据电机的实际运行角速度和角速度预估值，计算电机受到的干扰预估值，所述干扰预估值的计算公式为：

$$[0098] \quad \hat{\varphi} = k_2(\omega - \hat{\omega})$$

[0099] 其中， k_2 为第二系数， k_1 和 k_2 均大于零。

[0100] 本发明根据电机的运行的状态方程，来定义角速度预估值的计算公式和干扰预估值的计算公式；最终通过角速度预估值的计算公式和干扰预估值的计算公式，计算出电机受到的干扰大小；其中，所述电机的状态方程为： $\dot{\omega} = -\frac{B}{J}\omega + \frac{3nL}{2J}i + \varphi$ 。

[0101] S3、根据干扰预估值，计算滑模切换的增益大小，其中，所述滑模切换的增益大小K的计算公式为： $K = \hat{\varphi}$ 。

[0102] 本发明的关键之一就是选择滑模切换增益的大小，如果增益选择过大，则会在高频切换时带来激烈的抖震，如果增益选择太小，则对干扰没有鲁棒性。本发明通过计算准确的干扰值，然后使滑模切换增益等于该干扰值，从而实现最优选择。

[0103] S4、根据计算的增益大小，采用基于分数阶的滑模控制算法对电机的角速度进行闭环控制。

[0104] 其中，步骤S4具体包括以下步骤：

[0105] S41、计算分数阶滑模流形，所述分数阶滑模流形的计算公式为：

$$[0106] \quad s = {}_0D_t^r(e) + e$$

[0107] 其中，s代表分数阶滑模流形； ${}_0D_t^r(e)$ 代表分数阶微分算子；r代表导数的阶次，即r(0<r<1)阶导数；t代表积分时间上限；e代表电机的角速度误差；

[0108] S42、根据计算的分数阶滑模流形和增益大小，采用分数阶滑模控制算法计算电机在旋转坐标下的直流电流，所述旋转坐标下的直流电流的计算公式为：

$$[0109] \quad i = -b^{-1}[{}_0D_t^{r+1}e + ae + Ksign(s)]$$

[0110] 其中， $b = \frac{3nL}{2J}$ ； $a = -\frac{B}{J}$ ；K为滑模切换增益；

[0111] S43、对电机在旋转坐标下的直流电流进行映射，得到电机在静止坐标下的直流电流；步骤S43采用如图2所示的旋转变换模块来实现。

[0112] S44、对电机在静止坐标下的直流电流进行转换，得到电机的三相电压；步骤S44采用如图2所示的PWM模块来实现。

[0113] S45、通过脉冲宽度对电机的通电时间进行调节；

[0114] S46、根据电机的通电时间和三相电压，得到电机的三相交流电；步骤S46采用如图

2所示的逆变模块来实现。

[0115] S47、根据电机的三相交流电,对电机的角速度进行闭环控制。其中,如图2所示的PMSM代表永磁同步电机;R代表编码器或者旋转变压器,用于检测电机的实时运行角度。

[0116] 综上所述,本发明基于基于分数阶滑模控制的电机抗干扰控制方法、系统及装置具有以下优点:

[0117] 1)、本发明基于精确的增益大小来进行滑模控制,不但能保证滑模控制算法的强鲁棒性,而且还能够有效地抑制抖震,提高了电机速度控制的精度。

[0118] 2)、本发明基于分数阶的微积分领域来执行滑模控制算法,进一步提高了滑模控制算法的鲁棒性。

[0119] 以上是对本发明的较佳实施进行了具体说明,但本发明并不限于所述实施例,熟悉本领域的技术人员在不违背本发明精神的前提下还可作出种种的等同变形或替换,这些等同的变形或替换均包含在本申请权利要求所限定的范围内。

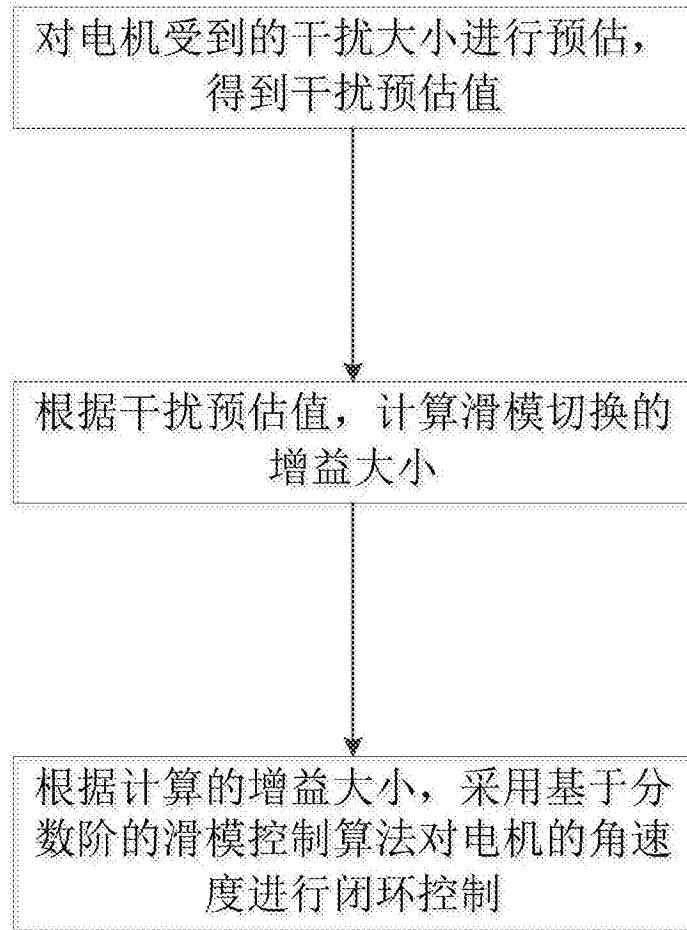


图1

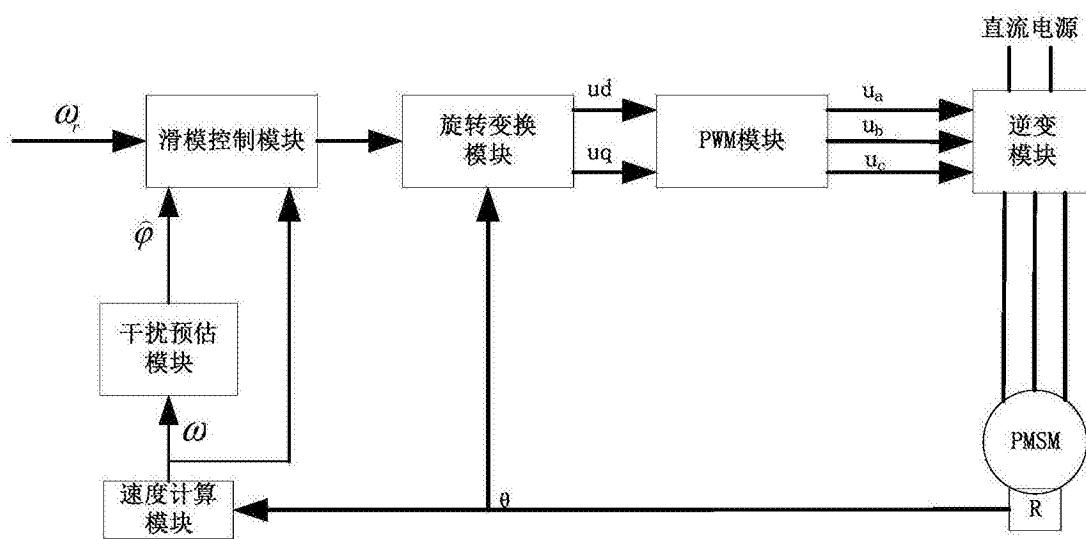


图2