



## (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102386836 A

(43) 申请公布日 2012.03.21

(21) 申请号 201010268863.9

(22) 申请日 2010.08.27

(71) 申请人 永济新时速电机电器有限责任公司  
地址 044502 山西省永济市电机大街 18 号

(72) 发明人 陈振锋 荆跃鹏 梁培志 程卫东  
陈振强 段迎洁

(74) 专利代理机构 北京同立钧成知识产权代理  
有限公司 11205  
代理人 刘芳

(51) Int. Cl.

H02P 21/14 (2006.01)

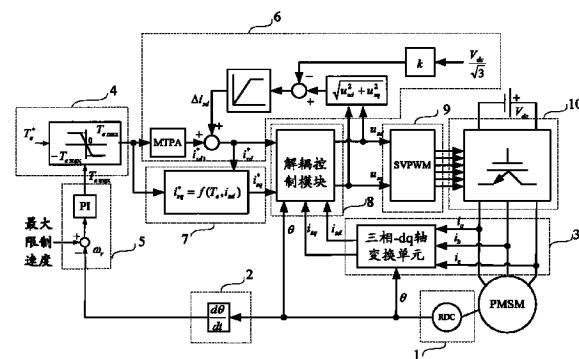
权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 2 页

## (54) 发明名称

永磁同步电机传动控制方法及装置

## (57) 摘要

本发明提供一种永磁同步电机传动控制方法及装置，属于自动控制技术领域。该方法包括：基于给定的转矩参数，产生 d 轴给定电流的控制信号，并进一步根据所述给定的转矩参数和所述 d 轴给定电流的控制信号产生 q 轴给定电流的控制信号，并将所述 d 轴给定电流的控制信号和所述 q 轴给定电流的控制信号输入到所述解耦控制模块的步骤，所述解耦控制模块输出调制信号到逆变器的步骤，逆变器根据所述调制信号驱动所述永磁同步电机运行的步骤。该装置包括：d 轴给定电流控制信号产生模块，q 轴给定电流控制信号产生模块，解耦控制模块、调制模块、逆变器和转矩给定模块。通过本发明获得的永磁同步电机的转矩较稳定且鲁棒性好。



1. 一种永磁同步电机传动控制方法,包括:将等效于转子坐标系下的d轴给定电流的控制信号和q轴给定电流的控制信号输入到解耦控制模块的步骤,所述解耦控制模块输出调制信号到逆变器的步骤,逆变器根据所述调制信号驱动所述永磁同步电机运行的步骤;其特征在于:所述将等效于转子坐标系下的d轴给定电流的控制信号和q轴给定电流的控制信号输入到解耦控制模块的步骤具体包括:

给定转矩参数;

基于所述给定的转矩参数,产生所述d轴给定电流的控制信号,并进一步根据所述给定的转矩参数和所述d轴给定电流的控制信号产生所述q轴给定电流的控制信号;

将所述d轴给定电流的控制信号和所述q轴给定电流的控制信号输入到所述解耦控制模块。

2. 根据权利要求1所述的永磁同步电机传动控制方法,其特征在于:还包括:

当所述永磁同步电机转速超过最大限制速度时,对所述永磁同步电机转速进行PI调节,将所述永磁同步电机转速控制在所述最大限制速度。

3. 根据权利要求1所述的永磁同步电机传动控制方法,其特征在于:给定转矩参数,包括:

以给定电压的方式给定转矩参数。

4. 根据权利要求3所述的永磁同步电机传动控制方法,其特征在于:以给定电压的方式给定转矩参数,包括:

通过脚踏板给定电压,并将脚踏板输出的电压通过线性隔离转换为所述永磁同步电机牵引所述逆变器的工作电压,并将所述转换后的最大工作电压值转换为所述脚踏板张开的程度的最大值,通过所述脚踏板张开的程度给所述永磁同步电机给定转矩。

5. 根据权利要求1所述的永磁同步电机传动控制方法,其特征在于:通过如下公式根据所述给定的转矩参数和所述d轴给定电流的控制信号产生所述q轴给定电流的控制信号:

$$T_e^* = \frac{3}{2} P_n [i_{sq}^* \psi_f + (L_d - L_q) i_{sq}^* i_{sd}^*]$$

其中,Pn为极对数,ψ<sub>f</sub>为永磁体在电机气隙中产生的磁链,L<sub>d</sub>为d轴电感,L<sub>q</sub>为q轴电感,T<sub>e</sub><sup>\*</sup>为给定的转矩参数,i<sub>sd</sub><sup>\*</sup>为d轴给定电流的控制信号,i<sub>sq</sub><sup>\*</sup>为q轴给定电流的控制信号。

6. 一种永磁同步电机传动控制装置,包括:d轴给定电流控制信号产生模块,q轴给定电流控制信号产生模块,解耦控制模块,调制模块和逆变器,其特征在于:所述装置还包括:转矩给定模块,用于给定转矩参数;

所述q轴给定电流控制信号产生模块,用于基于所述转矩给定模块给定的转矩参数和所述d轴给定电流控制信号产生模块产生的d轴给定电流控制信号产生q轴给定电流控制信号,并将产生的q轴给定电流控制信号和d轴给定电流控制信号输入至所述解耦控制模块。

7. 根据权利要求6所述的永磁同步电机传动控制装置,其特征在于:还包括PI调节器,用于当所述永磁同步电机转速超过最大限制速度时,将所述永磁同步电机转速控制在所述最大限制速度。

8. 根据权利要求6或7所述的永磁同步电机传动控制装置,其特征在于:所述转矩给

定模块，具体用于以给定电压的方式给定转矩参数。

9. 根据权利要求 8 所述的永磁同步电机传动控制装置，其特征在于：所述转矩给定模块包括：

第一转换单元，用于将通过脚踏板给定的电压通过线性隔离转换为所述永磁同步电机牵引所述逆变器的工作电压；

第二转换单元，用于将所述第一转换单元转换后的工作电压转换为所述脚踏板张开的预设份数，通过所述脚踏板张开的份数给所述永磁同步电机给定转矩。

10. 根据权利要求 9 所述的永磁同步电机传动控制装置，其特征在于：所述转矩给定模块通过如下公式产生所述 q 轴给定电流控制信号产生模块：

$$T_e^* = \frac{3}{2} P_n [i_{sq}^* \psi_f + (L_d - L_q) i_{sq}^* i_{sd}^*]$$

其中， $P_n$  为极对数， $\psi_f$  为永磁体在电机气隙中产生的磁链（链过定子绕组）， $L_d$  为 d 轴电感， $L_q$  为 q 轴电感， $T_e^*$  为给定的转矩参数， $i_{sd}^*$  为 d 轴给定电流的控制信号， $i_{sq}^*$  为 q 轴给定电流的控制信号。

## 永磁同步电机传动控制方法及装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种电动机控制技术,尤其涉及一种永磁同步电机传动控制方法及装置。

### 背景技术

[0002] 永磁同步电机因具有体积小、重量轻、效率高、节约能源、运行速度高等优点,正日益得到越来越广泛的应用。目前,控制永磁同步电机的方式主要有2种,一种是矢量控制方式,另一种是直接转矩控制方式。

[0003] 矢量控制方式是将实际的三相定子电流等效为转子坐标系下的d轴实际电流  $i_{sd}$  和q轴实际电流  $i_{sq}$ (以转子永磁体基波励磁磁场轴线为d轴,逆时钟方向旋转90度电角度为q轴);并且给永磁同步电机的传动控制系统给定总电流,并将给定总电流经过最大转矩电流比 (Maximum Torque PerAmpere, MTPA) 控制计算出d轴给定电流,再将给定总电流和d轴给定电流相减计算出q轴给定电流;然后将d轴给定电流  $i_{sd}^*$  和d轴实际电流  $i_{ds}$ 、q轴给定电流  $i_{sq}^*$  和q轴实际电流  $i_{sq}$  进行解耦控制,解耦控制的实质也就是通过PI 调节使  $i_{sd} = i_{sd}^*$ ,  $i_{sq} = i_{sq}^*$ 。当  $i_{sd} = i_{sd}^*$ ,  $i_{sq} = i_{sq}^*$  时的电压作为d轴电压  $u_{sd}$  和q轴电压  $u_{sq}$ ,对得到的  $u_{sd}$  和  $u_{sq}$  进行调制,将调制后得到的开关信号通过逆变器转换为三相交流电输入到永磁同步电机,驱动永磁同步电机运行,从而实现对永磁同步电机的矢量控制。

[0004] 在实现本发明过程中,发明人发现现有技术中至少存在如下问题:

[0005] 现有技术根据给定总电流计算d轴给定电流,然后将给定总电流和d轴给定电流相减得到q轴给定电流,但是根据d轴给定电流和q轴给定电流不一定能获得预期的转矩,从而可能会导致输出转矩不稳定,鲁棒性差。

### 发明内容

[0006] 本发明实施例提供一种永磁同步电机传动控制方法及装置,用以解决现有技术中转矩给定复杂,鲁棒性差的缺陷。

[0007] 本发明提供了一种永磁同步电机传动控制方法,将等效于转子坐标系下的d轴给定电流的控制信号和q轴给定电流的控制信号输入到解耦控制模块的步骤,所述解耦控制模块的输出调制信号到逆变器的步骤,逆变器根据所述调制信号驱动所述永磁同步电机运行的步骤;所述将等效于转子坐标系下的d轴给定电流的控制信号和q轴给定电流的控制信号输入到解耦控制模块的步骤具体包括:

[0008] 给定转矩参数;

[0009] 基于所述给定的转矩参数,产生所述d轴给定电流的控制信号,并进一步根据所述给定的转矩参数和所述d轴给定电流的控制信号产生所述q轴给定电流的控制信号;

[0010] 将所述d轴给定电流的控制信号和所述q轴给定电流的控制信号输入到所述解耦控制模块。

[0011] 本发明提供了一种永磁同步电机传动控制装置,d轴给定电流控制信号产生模块,

q 轴给定电流控制信号产生模块,解耦控制模块、调制模块,逆变器和转矩给定模块,转矩给定模块用于给定转矩参数;

[0012] 所述 q 轴给定电流控制信号产生模块,用于基于所述转矩给定模块给定的转矩参数和所述 d 轴给定电流控制信号产生模块产生的 d 轴给定电流控制信号产生 q 轴给定电流控制信号,并将产生的 q 轴给定电流控制信号和 d 轴给定电流控制信号输入至所述解耦控制模块。

[0013] 本发明中直接给永磁同步电机给定转矩参数,然后基于给定的转矩参数产生等效于转子坐标系下的 d 轴给定电流的控制信号和 q 轴给定电流的控制信号,由于是直接基于给定转矩参数来计算 d 轴给定电流的控制信号和 q 轴给定电流的控制信号的,因此通过 d 轴给定电流的控制信号和 q 轴给定电流的控制信号就可以获得预期的转矩,获得的转矩不仅稳定性好而且鲁棒性好。

## 附图说明

[0014] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作一简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动性的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0015] 图 1 为本发明永磁同步电机传动控制方法实施例的流程示意图;

[0016] 图 2 为脚踏开关信号处理示意图;

[0017] 图 3 为本发明永磁同步电机传动控制装置实施例结构示意图。

## 具体实施方式

[0018] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0019] 实施例 1

[0020] 图 1 为本发明永磁同步电机传动控制方法实施例的流程示意图,如图 1 所示,该方法包括:

[0021] 步骤 101:检测永磁同步电机的直流母线电压  $V_{dc}$  和三相定子电流  $i_a$ 、 $i_b$  和  $i_c$ ;

[0022] 步骤 102:检测永磁同步电机的转子位置角  $\theta$ ,根据该转子位置角  $\theta$  计算永磁同步电机转速  $\omega_r$ ;并根据转子位置角  $\theta$  将  $i_a$ 、 $i_b$  和  $i_c$  等效为转子坐标系下电流的控制信号,即 d 轴实际电流的控制信号  $i_{sd}$  和 q 轴实际电流的控制信号  $i_{sq}$ ;

[0023] 在实际控制中,检测到的是永磁同步电机的三相定子电流,需要将三相定子坐标下的电流经过坐标变换,等效为转子坐标系下电流的控制信号。要实现定子坐标系到转子坐标系的变换,必须实时检测永磁同步电机的转子位置,常用的转子位置由增量式光电编码器、绝对式光电编码器或旋转变压器等检测传感器进行检测,本发明实施例以旋转变压器为例进行说明。

[0024] 具体的,采用公式(1)计算永磁同步电机转速  $\omega_r$ ,

[0025]

$$\omega_r = \frac{d\theta}{dt} \quad (1)$$

[0026] 采用公式(2)产生d轴实际电流的控制信号*i<sub>sd</sub>*和q轴实际电流的控制信号*i<sub>sq</sub>*,

[0027]

$$\begin{pmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \end{pmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{pmatrix} \cos\theta & \cos(\theta - \frac{2}{3}\pi) & \cos(\theta + \frac{2}{3}\pi) \\ \sin\theta & \sin(\theta - \frac{2}{3}\pi) & \sin(\theta + \frac{2}{3}\pi) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{pmatrix} \quad (2)$$

[0028] 步骤103:给定转矩参数,当永磁同步电机转速 $\omega_r$ 超过最大限制速度时,还可以对永磁同步电机转速 $\omega_r$ 进行PI调节,将永磁同步电机转速控制在最大限制速度;

[0029] 本发明实施例可以应用在电动汽车中,因此,可以在电动汽车司机室安装脚踏开关,司机通过踩脚踏板以给定电压的方式给定转矩参数。本发明也可以应用在其它控制系统中,相应的,可以根据具体情况给永磁同步电机给定转矩参数,本发明对此不做限定。

[0030] 实际应用中,出于安全考虑,永磁同步电机转速是不允许大于永磁同步电机的最大限制速度的,也就是说当电动汽车速度是不允许大于最大限制速度的。如果当永磁同步电机转速大于永磁同步电机的最大限制速度时,或者当电动汽车速度大于最大限制速度时,现有技术强制将给定转矩设为0,这就导致电动汽车速度大于最大限制速度时无法平稳运行,并由此可能发生事故;而本发明通过对超过最大限制速度的永磁同步电机转速 $\omega_r$ 进行PI调节,使得永磁同步电机转速 $\omega_r$ 逐渐减小到最大限制速度,由于永磁同步电机转速 $\omega_r$ 和给定转矩之间的线性关系,在永磁同步电机转速 $\omega_r$ 减小的同时,给定转矩也会逐渐减小到与永磁同步电机的负载平衡,这样不仅防止了永磁同步电机转速 $\omega_r$ 超过最大限制转速造成安全事故,而且使得电动汽车在最大限制速度时能够平稳运行,更进一步的提高了电动汽车运行的安全性。

[0031] 司机通过踩脚踏板给定转矩参数的具体过程是:司机在驾驶汽车时,可以根据路况、行车距离、汽车当前速度等因素判断当前是需要增大给定转矩,还是减小给定转矩,而增大和减小给定转矩都是通过司机踩脚踏板来进行的。当电动汽车运行在最大限制速度以下时,速度控制系统是开环的,电动汽车的速度由司机根据当前路况、车况等因素加大油门和减小油门来控制,当需要加大电动汽车速度时,司机通过脚踏板增大给定转矩,也就是司机就往下踩脚踏板,即“加大油门”,当需要减小电动汽车速度时,也就是减小给定转矩时,司机就往上松开脚踏板,即“减小油门”;当电动汽车的速度超过最大限制速度时,司机通过脚踏板给定的给定转矩就不起作用了,该控制系统对该最大限制速度进行PI调节,将电动汽车的速度控制在最大限制速度,防止汽车速度过快而导致事故的发生。

[0032] 本发明实施例中,脚踏板的输出电压是0~11伏,而永磁同步电机牵引逆变器的控制系统的工作电压是5V,因此可以通过线性隔离将0~11V的电压转换为0~5V。

[0033] 线性隔离还可以防止外部信号对永磁同步电机牵引逆变器的干扰,提高永磁同步电机牵引逆变器的抗干扰能力,同时确保这个隔离是线性正比变化的,而不是非线性变化的。

[0034] 例如,当脚踏板的输出电压为0伏时,经过线性隔离后的输出电压也为0伏;当脚踏板的输出电压为11伏时,经过线性隔离后的输出电压为5伏,脚踏板的输出电压和线性

隔离后的输出电压之间的比例关系是 5 伏 /11 伏,由此可以推出,当脚踏板的输出电压为 5.5 伏时,经过线性隔离后的输出电压为  $5 \text{ 伏} \times 5.5 \text{ 伏} / 11 \text{ 伏} = 2.5 \text{ 伏}$ 。

[0035] 为了对脚踏板张开的程度(简称开度,实际中也可说成是“油门”的大小)进行定量的表示,可以将脚踏板的开度分成 1024 等份,通过脚踏板张开的份数给永磁同步电机给定转矩。具体的可以将经过线性隔离后的输出电压经过 AD 转换成十位数字信号,即为 0~1023。例如,当司机不踩脚踏板时,脚踏开关的输出电压为 0 伏,线性隔离后的输出电压为 0 伏,此时 AD 转换结果也为 0;当司机将脚踏板踩到最大时,脚踏开关的输出电压为 11 伏,线性隔离后的输出电压为 5 伏,此时 AD 转换结果为 1023。由上述可知,整个转换过程都是线性的,即将电机的最大转矩平分成了 1024 等份。当司机不踩脚踏板时,表示给定转矩为 0,当司机将脚踏板踩到最大时,表明给定转矩为最大转矩。

[0036] 图 2 为脚踏开关信号处理示意图,如图 2 所示,0~11V 的电压通过线性隔离电路转换为 0~5V,然后再将 0~5V 通过 AD 转换划分为 1024 等份。

[0037] 需要说明的是,在电动汽车阻力一定时,转矩与永磁同步电机转速的关系可以表示为:

[0038]

$$\frac{d\omega_r}{dt} = p_n \frac{1}{J} \left[ T_e - B \frac{\omega_r}{p_n} - T_L \right] \quad (3)$$

[0039] 公式 (3) 可以说明增大转矩可以使永磁同步电机速度增大;减小转矩可以使永磁同步电机速度降低。其中,  $p_n$  为极对数,  $J$  是电机的转动惯量,  $B$  是摩擦系数,  $T_L$  是负载转矩。

[0040] 步骤 104: 基于给定的转矩参数,通过 MTPA 控制和通过弱磁控制来产生 d 轴给定电流的控制信号  $i_{sd}^*$ ,然后根据 d 轴给定电流的控制信号  $i_{sd}^*$  和给定的转矩参数  $T_e^*$  产生 q 轴给定电流  $i_{sq}^*$ ;

[0041] 具体的,将给定的转矩参数通过 MTPA 控制获得 d 轴给定电流的控制信号  $i_{sd}^*$  的一部分  $i_{sd1}^*$ ,然后通过弱磁控制获得  $\Delta i_{sd}$ ,将  $i_{sd1}^*$  和  $\Delta i_{sd}$  相加获得  $i_{sd}^*$ 。本发明实施例在通过 MTPA 控制获得  $i_{sd1}^*$  时,可以通过查表得到  $i_{sd1}^*$ ,这样可提高系统运算速度。

[0042] 具体的,计算  $\Delta i_{sd}$  的过程如下:

[0043] a) 根据 d 轴电压  $u_{sd}$  和 q 轴电压  $u_{sq}$ ,计算输出电压值  $V_1^* = \sqrt{u_{sd}^2 + u_{sq}^2}$ ;

[0044] b) 根据步骤 101 检测到的直流母线电压  $V_{dc}$  计算电压限制值为  $V_{1max}^*$ ,即  $V_{1max}^* = \frac{V_{dc}}{\sqrt{3}}$ ;

图 3 中的 k 是图中的 k 是一个比例系数,与具体传动系统相关,是个可调量。

[0045] c) 对输出电压值  $V_1^*$  和电压极限值  $V_{1max}^*$  进行调节得到  $\Delta i_{sd}$ 。

[0046] 需要说明的是,每次计算  $\Delta i_{sd}$  时用到的  $u_{sd}$  和  $u_{sq}$  是上一时刻的 d 轴电压  $u_{sd}$  和 q 轴电压  $u_{sq}$ 。当初次计算  $\Delta i_{sd}$  时,可以将 d 轴电压  $u_{sd}$  和 q 轴电压  $u_{sq}$  视为 0 进行计算。

[0047] 得到 d 轴给定电流的控制信号  $i_{sd}^*$  之后,根据永磁同步电机的转矩公式 (3) 产生 q 轴给定电流的控制信号  $i_{sq}^*$ ;

[0048]

$$T_e^* = \frac{3}{2} p_n [i_{sq}^* \psi_f + (L_d - L_q) i_{sq}^* i_{sd}^*] \quad (4)$$

[0049] 公式(4)中,  $P_n$  为极对数,  $\psi_f$  为永磁体在电机气隙中产生的磁链(链过定子绕组),  $L_d$  为 d 轴电感,  $L_q$  为 q 轴电感。

[0050] 步骤 105 : 将 d 轴给定电流的控制信号  $i_{sd}^*$  和 d 轴实际电流的控制信号  $i_{sd}$ 、q 轴给定电流的控制信号  $i_{sq}^*$  和 q 轴实际电流的控制信号  $i_{sq}$  进行解耦控制, 得到 d 轴电压  $u_{sd}$  和 q 轴电压  $u_{sq}$ ;

[0051] 具体的, 解耦控制也就是 PI 调节, 通过 PI 调节使  $i_{sd} = i_{sd}^*$ ,  $i_{sq} = i_{sq}^*$ 。当  $i_{sd} = i_{sd}^*$ ,  $i_{sq} = i_{sq}^*$  时的电压作为 d 轴电压  $u_{sd}$  和 q 轴电压  $u_{sq}$ 。若  $i_{sd} = i_{sd}^*$ ,  $i_{sq} = i_{sq}^*$ , 则可以实现对 d 轴和 q 轴电流控制信号的单独控制, 从而实现了矢量控制。

[0052] 步骤 106 : 对得到的  $u_{sd}$  和  $u_{sq}$  进行调制, 将调制后的信号通过逆变器转换为三相交流电输入到永磁同步电机, 从而驱动永磁同步电机运行。

[0053] 具体的, 将得到的 d 轴电压  $u_{sd}$  和 q 轴电压  $u_{sq}$  输入到 SVPWM 单元, SVPWM 单元用来对  $u_{sd}$  和  $u_{sq}$  进行调制, 并将调制后得到的开关信号输入到逆变器, 逆变器输出三相交流电给永磁同步电机, 从而驱动永磁同步电机运行, 本步骤属于现有技术, 此处不再详细描述。

[0054] 本发明通过给定电压的方式直接给定转矩参数, 转矩的给定简单方便, 并基于给定的转矩参数和产生的 d 轴给定电流的控制信号来产生 q 轴给定电流的控制信号。由于是直接基于给定的转矩参数来产生 d 轴给定电流的控制信号和 q 轴给定电流的控制信号, 因此通过 d 轴给定电流的控制信号和 q 轴给定电流的控制信号就可以获得预期的转矩, 获得的转矩不仅稳定性好而且鲁棒性好。而现有技术中是根据给定总电流来产生 d 轴给定电流的控制信号和 q 轴给定电流的控制信号, 而通过给定总电流产生的 d 轴给定电流的控制信号和 q 轴给定电流的控制信号不一定能够获得预期的转矩, 可能使得获得的转矩不稳定, 且鲁棒性差; 并且当永磁同步电机转速超过最大限制速度时, 现有技术将强制使转矩变为 0 来达到控制永磁同步电机转速, 使得永磁同步电机在高速运行时可能处于不稳定的状态, 带来安全隐患; 而本发明中当永磁同步电机的转速超过最大限制速度时, 对永磁同步电机的转速进行 PI 调节, 将永磁同步电机速度控制在最大限制速度, 使得永磁同步电机在高速运行时能够平稳运行, 防止了永磁同步电机转速超过最大限制转速造成的安全事故; 进一步地, 将永磁同步电机应用在电动汽车上时, 当汽车速度超过最大限制速度时, 通过对永磁同步电机的转速进行 PI 调节, 将永磁同步电机速度控制在最大限制速度, 使得电动汽车在最大限制速度时能够平稳运行, 更进一步的提高了汽车运行的安全性。

[0055] 实施例 2

[0056] 图 3 为本发明永磁同步电机传动控制装置实施例结构示意图, 如图 3 所示, 该装置包括: 转子位置角检测器 1、转速计算模块 2、实际电流控制信号产生模块 3、转矩给定模块 4、PI 调节器 5、d 轴给定电流控制信号产生模块 6、q 轴给定电流控制信号产生模块 7、解耦控制模块 8、调制模块 9、逆变器 10;

[0057] 转子位置角检测器 1, 用于检测转子位置角  $\theta$ ;

[0058] 转速计算模块 2, 用于根据转子位置角检测器检测的转子位置角计算永磁同步电机转速  $\omega_r$ ;

[0059] 实际电流控制信号产生模块 3, 用于产生等效于转子坐标系下的 d 轴实际电流的控制信号和 q 轴实际电流的控制信号;

[0060] 转矩给定模块 4, 用于给定转矩参数;

[0061] 本发明可以应用于电动汽车中, 在这种情况下, 转矩给定模块具体用于通过脚踏板以给定电压的方式给定转矩参数。

[0062] 具体的, 转矩给定模块 4 包括:

[0063] 第一转换单元, 用于将通过脚踏板给定的电压通过线性隔离转换为永磁同步电机牵引所述逆变器的工作电压;

[0064] 第二转换单元, 用于将第一转换单元转换后的工作电压转换为脚踏板张开的预设份数, 通过脚踏板张开的份数给永磁同步电机给定转矩。

[0065] PI 调节器 5, 用于当永磁同步电机转速超过最大限制速度时, 将永磁同步电机转速控制在最大限制速度;

[0066] d 轴给定电流控制信号产生模块 6, 用于基于转矩给定模块 4 给定的转矩参数通过 MTPA 控制和弱磁控制产生 d 轴给定电流的控制信号, 并将产生的 d 轴给定电流的控制信号输入至解耦控制模块 8;

[0067] 具体的, d 轴给定电流控制信号产生模块 6 通过 MTPA 控制获得 d 轴给定电流的控制信号  $i_{sd}^*$  的一部分  $i_{sd1}^*$ , 同时再通过弱磁控制计算  $\Delta i_{sd}$ , 将  $i_{sd1}^*$  和  $\Delta i_{sd}$  相加获得 d 轴给定电流的控制信号  $i_{sd}^*$ 。

[0068] q 轴给定电流控制信号产生模块 7, 用于基于转矩给定模块 4 给定的转矩参数和 d 轴给定电流控制信号产生模块 6 产生的 d 轴给定电流的控制信号产生 q 轴给定电流的控制信号, 并将产生的 q 轴给定电流的控制信号输入至解耦控制模块 8;

[0069] 具体的, 由于已经给定转矩参数  $T_e^*$ , 并根据  $T_e^*$  产生了 d 轴给定电流的控制信号  $i_{sd}^*$ , 因此可以通过公式 (5) 计算出 q 轴给定电流的控制信号:

[0070]

$$T_e^* = \frac{3}{2} p_n [i_{sq}^* \psi_f + (L_d - L_q) i_{sq}^* i_{sd}^*] \quad (5)$$

[0071] 解耦控制模块 8, 用于根据 d 轴给定电流的控制信号和 d 轴实际电流的控制信号、q 轴给定电流的控制信号和 q 轴实际电流的控制信号计算 d 轴电压  $u_{sd}$  和 q 轴电压  $u_{sq}$ , 并将得到的 d 轴电压  $u_{sd}$  和 q 轴电压  $u_{sq}$  输入至调制模块 9;

[0072] 调制模块 9, 用于对解耦控制模块 8 得到 d 轴电压  $u_{sd}$  和 q 轴电压  $u_{sq}$  进行调制, 将调制后的开关信号输入至逆变器 10;

[0073] 具体的, 本发明中的调制模块 9 可以是 SVPWM, SVPWM 对 d 轴电压  $u_{sd}$  和 q 轴电压  $u_{sq}$  调制后, 将 d 轴电压  $u_{sd}$  和 q 轴电压  $u_{sq}$  转换为逆变器 10 需要的开关信号。

[0074] 逆变器 10, 用于将调制模块 9 输入的开关信号转换为三相交流电输入到所述永磁同步电机, 驱动所述永磁同步电机运行。

[0075] 其中, 实际电流控制信号产生模块 3 包括: 电流检测器和三相 -dq 轴变换单元;

[0076] 电流检测器, 用于检测永磁同步电机的三相电流  $i_a$ 、 $i_b$  和  $i_c$ ;

[0077] 三相 -dq 轴变换单元, 用于根据转子位置角检测器检测的转子位置角将电流检测器检测的三相电流等效为转子坐标系下的 d 轴实际电流的控制信号  $i_{sd}$  和 q 轴实际电流的

控制信号  $i_{sq}$ 。

[0078] 本发明实施例提供的永磁同步电机传动控制装置应用于电动汽车中。

[0079] 本发明通过给定电压的方式直接给定转矩参数，转矩的给定简单方便，并基于给定的转矩参数和产生的 d 轴给定电流的控制信号来产生 q 轴给定电流的控制信号。由于是直接基于给定的转矩参数来产生 d 轴给定电流的控制信号和 q 轴给定电流的控制信号，因此通过 d 轴给定电流的控制信号和 q 轴给定电流的控制信号就可以获得预期的转矩，获得的转矩不仅稳定性好而且鲁棒性好。而现有技术中是根据给定总电流来产生 d 轴给定电流的控制信号和 q 轴给定电流的控制信号，而通过给定总电流产生的 d 轴给定电流的控制信号和 q 轴给定电流的控制信号不一定能够获得预期的转矩，可能使得获得的转矩不稳定，且鲁棒性差；并且当永磁同步电机转速超过最大限制速度时，现有技术将强制使转矩变为 0 来达到控制永磁同步电机转速，使得永磁同步电机在高速运行时可能处于不稳定的状态，带来安全隐患；而本发明中当永磁同步电机的转速超过最大限制速度时，对永磁同步电机的转速进行 PI 调节，将永磁同步电机速度控制在最大限制速度，使得永磁同步电机在高速运行时能够平稳运行，防止了永磁同步电机转速超过最大限制转速造成的安全事故；进一步地，将永磁同步电机应用在电动汽车上时，当汽车速度超过最大限制速度时，通过对永磁同步电机的转速进行 PI 调节，将永磁同步电机速度控制在最大限制速度，使得电动汽车在最大限制速度时能够平稳运行，更进一步的提高了汽车运行的安全性。

[0080] 最后应说明的是：以上实施例仅用以说明本发明的技术方案，而非对其限制；尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明，本领域的普通技术人员应当理解：其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改，或者对其中部分技术特征进行等同替换；而这些修改或者替换，并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的精神和范围。

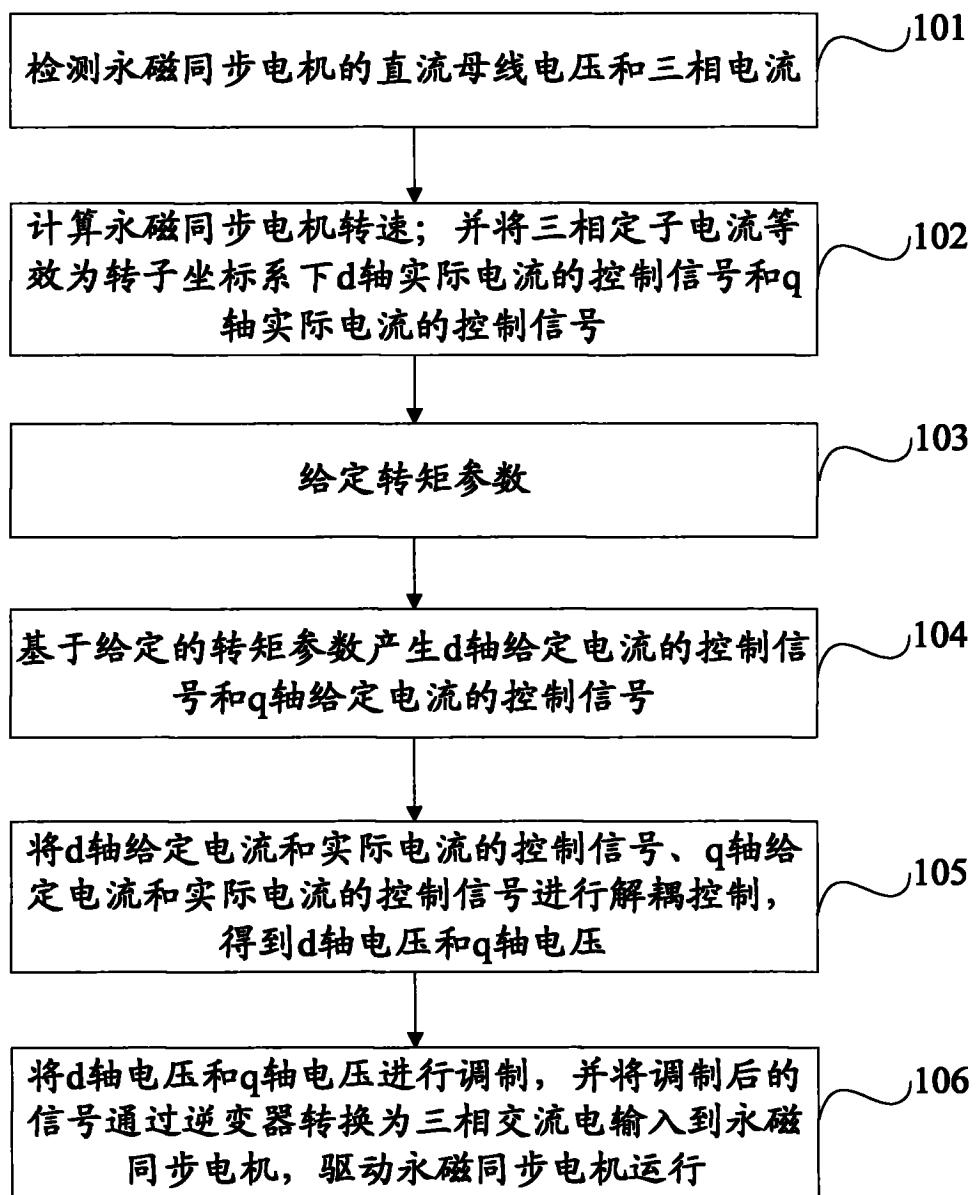


图 1

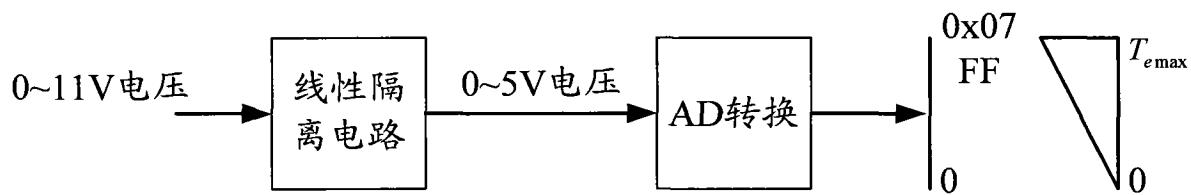


图 2

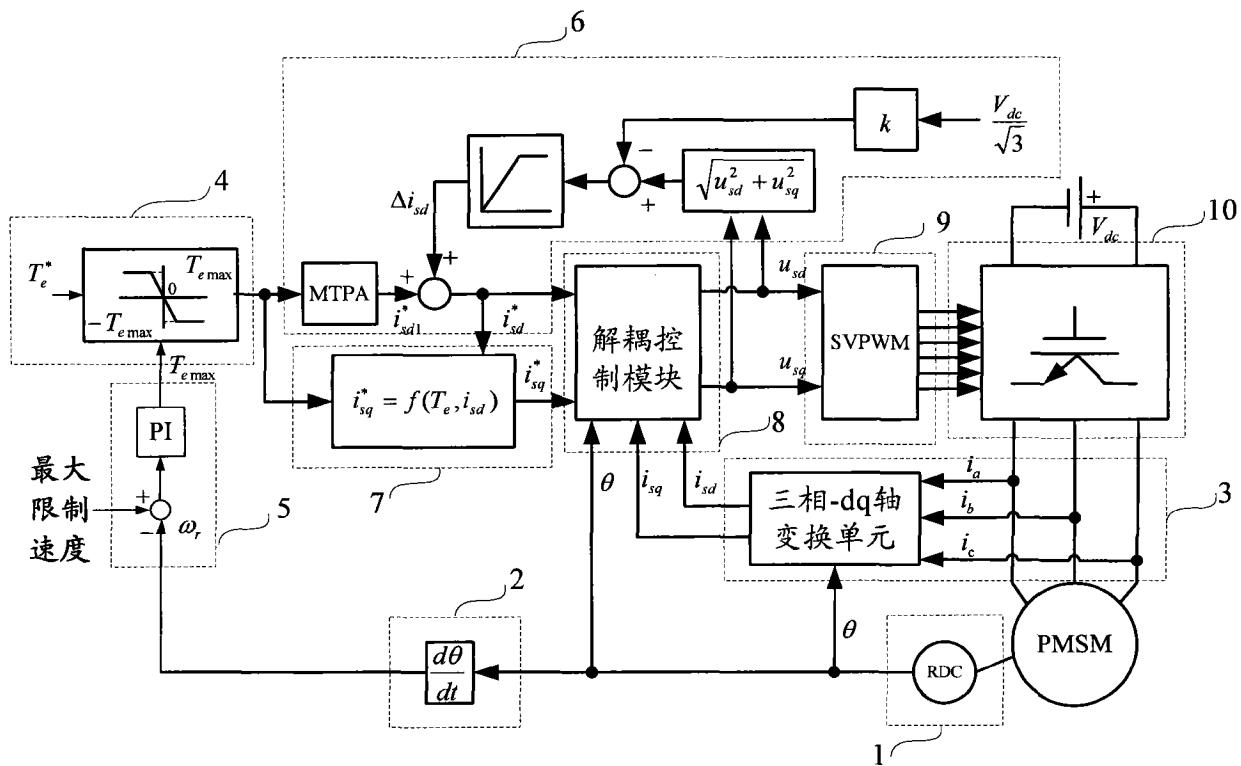


图 3