

文章编号:1000-58 2X(2012)09-001-07

纯电动汽车坡道自适应起步控制策略

陈淑江,秦大同,胡明辉,隗寒冰

(重庆大学 机械传动国家重点实验室,重庆 400044)

摘要:以一款三相交流异步电机为动力源的纯电动汽车为研究对象,搭建了三相交流异步电机动力传动系统试验台,研究了三相交流异步电机在转速控制模式下的堵转特性,得到了不同转速偏差下的电机转矩响应规律。建立了纯电动汽车坡道识别模型和起步过程中各控制量的计算模型,提出了一种基于电机堵转特性的纯电动汽车坡道自适应起步控制策略,通过 Matlab/Simulink 软件建立了仿真模型,对不同坡道的上坡起步和下坡起步进行了仿真研究,结果表明,提出的起步控制策略能够较好地适应纯电动汽车的坡道起步。

关键词:电动汽车;起步;自适应控制;电机堵转特性;交流异步电机

中图分类号:U462.2

文献标志码:A

Ramp adaptive launch control strategy of pure electric vehicles

CHEN Shujiang, QIN Datong, HU Minghui, WEI Hanbing

(The State Key Laboratory of Mechanical Transmission, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: A pure electric vehicle loading three-phase AC asynchronous motor is taken as the research object, firstly a drive transmission system test bench of three-phase AC asynchronous motor is built to investigate the plugging turn characteristics in speed control mode of three-phase AC asynchronous motor, and the torque response rules of different motor speed errors is achieved. Further, a ramp recognition model and the calculation model of controlled variable are established, herein, a ramp adaptive launch control strategy of pure electric vehicle is presented, the simulation model through Matlab/Simulink is built, and the simulation results show that the launch control strategy can well adapt to different ramp starts.

Key words: electric vehicles; launch; adaptive control; locked-rotor; AC asynchronous motor

纯电动汽车(EV)起步控制的核心和难点是起步过程中电机输出扭矩的控制,其控制目标既要保证在上坡等大负荷起步工况下起步扭矩能够克服起步阻力,避免发生车辆倒溜现象,又要防止在下坡等小负荷起步工况下起步扭矩过大,造成冲击度过高,甚至“飞车”。因此,研究纯电动汽车起步控制策略对纯电动汽车的产业化具有重要意义。

目前,关于车辆起步控制的研究已有很多,文献[1-3]研究了双离合自动变速器车辆起步与换挡

过程中离合器的动态控制,文献[4-7]针对 AMT 车辆的起步和换挡过程进行了研究。汪贵平等^[8]为了提高电动汽车起步加速过程的性能,建立了车速与电流双闭环调速系统的仿真模型,并对车速阶跃响应进行了仿真研究。余建强等^[9]针对电动汽车的起步加速过程,提出了恒转矩+恒功率控制、恒转矩控制和恒功率控制的 3 种电机控制方案,并分析了采用不同的电机控制方案对电动车原地起步加速时间的影响。但他们都没有考虑不同坡道对起步性能

收稿日期:2012-04-11

基金项目:重庆市自然科学基金重点项目(CSTC,2011BA3019);重庆市自然科学基金项目(CSTC,JJA60001)

作者简介:陈淑江(1985-),男,重庆大学博士研究生,主要从事电动汽车传动系统匹配优化与综合控制研究。

秦大同(联系人),男,重庆大学教授,博士生导师,(E-mail)dtqin@cqu.edu.cn。

的影响。Delvecchio 等^[10]针对装备电制动器的车辆设计了一种坡道起步辅助系统,根据车轮处的转矩和车辆运动状态对电制动器进行控制以实现坡道平稳起步。崔海峰等^[11-12]提出了一种基于扭矩传感器的坡道起步辅助系统,该系统能够很好地辅助驾驶员实现坡道起步,有效避免溜车现象的发生。但以上两种坡道起步方法都必须利用扭矩传感器进行转矩检测,适用范围受到限制。

笔者搭建了三相交流异步电机动力传动系统试验台,研究了三相交流异步电机在转速控制模式下的堵转特性。对纯电动汽车起步过程进行动力学分析,建立了起步过程中各控制量的计算模型,提出了一种基于电机堵转特性的纯电动汽车坡道自适应起步控制策略,建立了相应的仿真模型,通过计算机仿真分析,验证了起步控制策略的合理性。

1 纯电动汽车起步特性

1.1 纯电动汽车起步原理

以一款三相交流异步电机为动力源的纯电动汽车为研究对象,将纯电动汽车起步过程分为预起步、正常起步和有驾驶员参与起步 3 个阶段。其中,预起步阶段和正常起步阶段为车辆自动起步阶段。

预起步阶段电机工作于转速控制模式,由于一开始电机输出转矩不能克服起步阻力,因此,电机处于堵转状态。电机工作于转速控制模式下的堵转状态时其转矩可以自动增大,直至克服起步阻力并达到转速指令指定转速^[13-14],转矩自动增大过程的快慢与转速指令的大小有关。此阶段不仅可以克服起步阻力,还可以通过起步阻力识别车辆所处坡道的大小,因此预起步阶段又可以分为克服车辆倒溜阶段和坡道识别阶段。

正常起步阶段电机工作于转矩控制模式,根据预起步阶段计算出的坡道大小,计算当前坡道下最低稳定车速所对应的阻力,并将其作为转矩指令发送给电机控制器,使车辆在自动起步阶段保持在最低稳定车速。

在正常起步阶段之后或预起步阶段之前,若检测到有加速踏板信号,则进入有驾驶员参与起步阶段,根据加速踏板信号和坡道识别信息确定电机转矩指令的大小。

由上面的叙述可知,纯电动汽车起步过程中最重要的一个环节就是预起步阶段,因此需要对三相交流异步电机的堵转特性进行研究。

1.2 三相交流异步电机堵转特性

为了在车辆预起步阶段快速克服并精确识别起

步阻力,笔者搭建了三相交流异步电机动力传动系统试验台(如图 1),用于研究三相交流异步电机在转速控制模式下的堵转特性,为起步控制策略的制定提供依据。

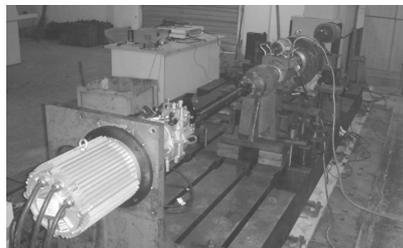


图 1 三相交流异步电机动力传动系统试验台

试验设备:96 V 动力电池组、三相交流异步电机及其控制器、动力传动系统、测功机、dSPACE 以及相关线束。

试验原理:三相交流异步电机在转速控制模式的堵转状态下可以根据负载大小自动调整输出转矩,转速指令与实际转速之间的转速偏差 Δn 越大,电机输出转矩的变化率也越大,能够更快地克服负载转矩。因此,可以通过研究三相交流异步电机堵转特性来研究纯电动汽车预起步阶段的特性。

试验步骤:

1)将测功机加载至 $40 \text{ N} \cdot \text{m}$,用以模拟最大爬坡度时的起步阻力。

2)通过 dSPACE 控制电机工作于转速控制模式,分别给电机发送转速指令为 $20 \sim 500 \text{ r/min}$ (间隔为 20 r/min)、 $500 \sim 650 \text{ r/min}$ (间隔为 30 r/min)、 700 r/min ,电机实际转速大于零时令电机转速指令为零,并分别记录各转速指令与实际转速的差值 Δn 下电机输出转矩 T_m 随时间变化的数据。

根据步骤 2 得到的数据可以得到三相交流异步电机在转速控制模式堵转状态下不同 Δn 对应的电机输出转矩 T_m 响应曲线,如图 2 所示(图 2 中仅画出了图 3 中的前两段)。

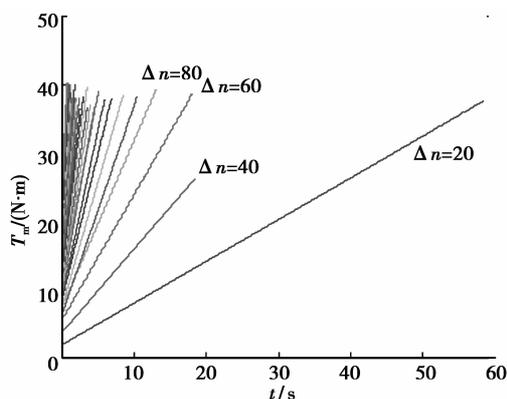


图 2 不同 Δn 对应的电机输出转矩响应曲线

以 $\Delta n=700$ 时的电机输出转矩 T_m 响应曲线(如图3)为例对三相交流异步电机堵转特性进行分析,得到如下结论:

1)在三相交流异步电机转速控制模式堵转状态下,电机输出转矩与时间呈分段线性关系,可分为3段;

2)时间 $t \leq t_0$ 时为第1段,此段转矩变化率较大,且与 Δn 的大小无关;

3)时间 $t_0 < t \leq t_1$ 时为第2段,此段转矩变化率比第1段小,且与 Δn 的大小有关;

4)时间 $t > t_1$ 时为第3段,当电机实际转速 $n > 0$ 时,令电机转速指令为零,电机输出转矩降低至恰与测功机模拟的坡道阻力平衡。

5)第1段与第2段的交点 (t_0, T_{m0}) 随着 Δn 的增大沿第1段直线往上移动。

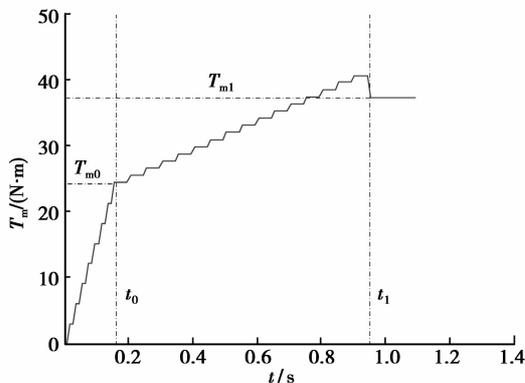


图3 $\Delta n=700$ 时的电机输出转矩 T_m 响应曲线

因此,电机输出转矩 T_m 响应曲线可以拟合为

$$T_m = \begin{cases} k_0 t, & t \leq t_0; \\ k(\Delta n)t + b(\Delta n), & t_0 \leq t \leq t_1; \\ T_{m1}, & t > t_1. \end{cases} \quad (1)$$

式中: k_0 为为第1段的转矩变化率,与 Δn 的大小无关; t_1 为图3中第2段与第3段相交的时刻,对应的转矩 T_{m1} 其大小等于起步阻力; $k(\Delta n)$ 为第2段方程的斜率,即转矩变化率,与 Δn 的大小有关; $b(\Delta n)$ 为第2段方程的截距,与 Δn 的大小有关; t_0 为图3中第1段与第2段相交的时刻,其对应的转矩为

$$T_{m0} = \frac{k_0 b(\Delta n)}{k_0 - k(\Delta n)}. \quad (2)$$

式(1)中,由于第1段的转矩变化率比较大,所以可以利用第1段来克服起步阻力,因此下面将研究第1段与第2段交点位置与 Δn 的具体数学关系。

由于式(1)中第1段方程是确定的,所以要求得第1段方程与第2段方程的交点,关键是要找出第2段方程与 Δn 的关系。如图4所示,第2段方程的斜率 $k(\Delta n)$ 与截距 $b(\Delta n)$ 随 Δn 的变化曲线基本呈线性关系,其拟合方程为

$$\left. \begin{aligned} k(\Delta n) &= \frac{dT_m}{dt} = k_1 \Delta n + b_1, \\ b(\Delta n) &= k_2 \Delta n + b_2. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

将式(3)代入式(2)得

$$T_{m0} = \frac{k_0(k_2 \Delta n + b_2)}{k_0 - k_1 \Delta n + b_1}, \quad (4)$$

即

$$\Delta n = \frac{(k_0 + b_1)T_{m0} - k_0 b_2}{k_0 k_2 + k_1 T_{m0}}. \quad (5)$$

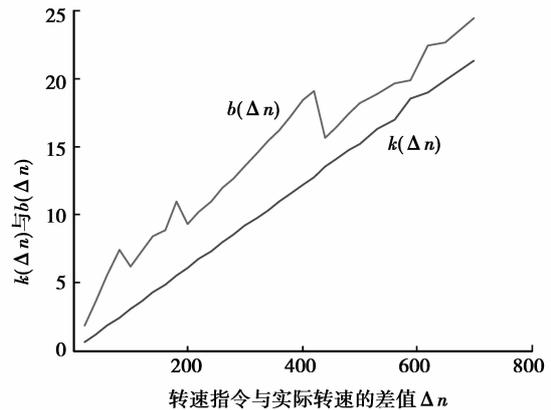


图4 $k(\Delta n)$ 与 $b(\Delta n)$ 随 Δn 的变化曲线

对试验数据进行线性拟合可得到 k_0, k_1, k_2, b_1, b_2 , 如表1所示。

表1 拟合结果

参数名称	参数值
k_0	152.000
k_1	0.030
b_1	-0.037
k_2	0.029
b_2	4.014

2 坡道自适应起步控制策略

2.1 纯电动汽车起步过程的动力学分析

根据坡道的不同可以将纯电动汽车起步过程分为上坡起步、下坡起步和平路起步3种情况,由于纯电动汽车起步过程的关键阶段为预起步阶段,所以下面针对预起步阶段进行动力学分析。

2.1.1 上坡起步

若车辆处于自由状态时,坡道阻力 F_i 克服滚动阻力 F_r 驱动车辆倒溜,则认为其处于上坡坡道。

纯电动汽车上坡起步过程中在预起步阶段,车辆驱动力 F_t 从0开始迅速增大至克服起步阻力,其加速度为

$$a = \begin{cases} \frac{F_t - (F_i - F_f)}{\delta m}, F_t < M; \\ 0, M \leq F_t \leq F_i + F_f; \\ \frac{F_t - (F_i + F_f)}{\delta m}, F_t > F_i + F_f. \end{cases} \quad (6)$$

式中: δ 为旋转质量换算系数; m 为整车质量; M 为上坡起步过程中倒溜车速减为 0 时的车辆驱动力, 其大小为

$$F_t - F_f < M = 2(F_i - F_f) \leq F_i + F_f.$$

或

$$a = \begin{cases} \frac{F_t - (F_i - F_f)}{\delta m}, F_t \leq M; \\ \frac{F_t - (F_i + F_f)}{\delta m}, F_t > M. \end{cases} \quad (7)$$

式中 M 的大小为

$$M = 2(F_i - F_f) > F_i + F_f.$$

当 $0 < F_t < M$ 时, 处于克服车辆倒溜阶段, 车辆的倒溜距离可根据公式(6)(7)得到

$$s = \left| \int_0^{t_2} \int_0^t \frac{F_t - (F_i - F_f)}{\delta m} dt dt \right|, \quad (8)$$

式中 t_2 为倒溜车速减为 0 的时刻。

当 $F_t > M$ 后, 进入坡道识别阶段, 车辆会开始向前运动, 整车控制器一旦检测到车辆向前运动, 立即令电机转速指令为 0, 此时电机控制器会控制电机输出转矩减小至车辆驱动力与阻力平衡状态, 此时车辆的转矩平衡方程为

$$T_{m1} = \frac{(mg \sin \alpha + mgf \cos \alpha)r_w}{\eta_T i_g i_0}, \quad (9)$$

式中: 所有变量均取非负数, 其中 T_{m1} 为上坡起步过程中车辆驱动力与阻力平衡时的电机输出转矩; r_w 为车轮半径; g 为重力加速度; η_T 为传动系统效率; i_g 、 i_0 为变速器、主减速器传动比; f 为滚动阻力系数。

根据式(9)可以得到车辆所处的坡道为

$$\alpha = \arcsin \frac{T_{m1} i_g i_0 \eta_T}{mgr_w \sqrt{1 + f^2}} - \arctan f. \quad (10)$$

2.1.2 下坡起步

若车辆处于自由状态时, 坡道阻力 F_i 克服滚动阻力 F_f 驱动车辆前溜, 则认为其处于下坡坡道。

纯电动汽车下坡起步过程中在预起步阶段, 车辆驱动力 F_t 从 0 开始迅速增大至克服起步阻力, 其加速度为

$$a = \frac{F_t + (F_i - F_f)}{\delta m}. \quad (11)$$

下坡起步时不会出现倒溜现象, 没有克服车辆倒溜阶段, 直接进入坡道识别阶段, 整车控制器一旦检测到车辆向前运动, 立即令电机转速指令为 0, 此时电机控制器会控制电机输出转矩减小至车辆驱动

力与阻力平衡状态, 此时车辆的转矩平衡方程为

$$T_{m2} = \frac{(mg \sin \alpha - mgf \cos \alpha)r_w}{\eta_T i_g i_0}, \quad (12)$$

式中所有变量均取非负数, 其中 T_{m2} 为下坡起步过程中车辆驱动力与阻力平衡时的电机输出转矩。

根据式(12)可以得到车辆所处的坡道为

$$\alpha = \arcsin \frac{T_{m2} i_g i_0 \eta_T}{mgr_w \sqrt{1 + f^2}} + \arctan f. \quad (13)$$

2.1.3 平路起步

若车辆处于自由状态时, 车辆静止不动, 则认为其处于平路。此处的平路并非真正的平路, 可以是不足以导致车辆溜动的小坡道。

纯电动汽车平路起步过程中在预起步阶段, 车辆驱动力 F_t 从 0 开始迅速增大至克服起步阻力, 其加速度为

$$a = \begin{cases} 0, F_t \leq F_i + F_f; \\ \frac{F_t - (F_i + F_f)}{\delta m}, F_t > F_i + F_f. \end{cases} \quad (14)$$

平路起步时不会出现倒溜现象, 没有克服车辆倒溜阶段, 直接进入坡道识别阶段, 其坡道识别方法与上坡起步时相同。

2.2 起步过程控制量的计算

2.2.1 预起步阶段电机转速指令计算

由于纯电动汽车在预起步阶段车速保持为零, 电机处于堵转状态, 所以转速偏差 Δn 的大小在预起步阶段一直等于电机转速指令 n_0 。

因此, 预起步阶段电机转速指令 n_0 既要满足 T_{m0} 大于最大爬坡度对应的阻力, 又要满足冲击度要求。因此, 可以建立如下计算模型。

目标函数:

$$n_0 = \min(\Delta n) = \min\left(\frac{(k_0 + b_1)T_{m0} - k_0 b_2}{k_0 k_2 + k_1 T_{m0}}\right). \quad (15)$$

约束条件:

$$\left. \begin{aligned} T_{m0} &> \frac{2(mg \sin \alpha_{\max} - mgf \cos \alpha_{\max})r_w}{i_g i_0}, \\ j = \frac{da}{dt} = \frac{i_g i_0}{\delta m r_w} \frac{dT_{m0}}{dt} &\leq 10 \text{ m/s}^3. \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

式中 j 为车辆起步时的冲击度。

2.2.2 正常起步阶段电机转矩指令计算

1) 上坡起步时, 根据公式(10)计算得到的坡道值, 代入式(17)可以得到最低稳定车速时的阻力, 即电机的转矩指令:

$$T_{cmd} = \frac{mg \sin((1+e)\alpha)r_w}{\eta_T i_g i_0} + \frac{(mgf \cos((1+e)\alpha) + \frac{C_D A v_i^2}{21.15})r_w}{\eta_T i_g i_0}, \quad (17)$$

式中: e 为坡道识别误差; v_t 为最低温空车速; C_D 为空气阻力系数; A 为车辆迎风面积。

2)下坡起步时,根据公式(13)计算得到的坡道值,代入式(18)可以得到最低稳定车速时的阻力,即电机的转矩指令:

$$T_{\text{cmd}} = \frac{mg \sin((1+e)\alpha) r_w}{\eta_T i_g i_0} - \frac{\left(mg f \cos((1+e)\alpha) + \frac{C_D A v_t^2}{21.15} \right) r_w}{\eta_T i_g i_0} \quad (18)$$

3)平路起步时,电机的转矩指令的计算方法与上坡起步时相同,因此可按照公式(10)(17)计算。

2.3 纯电动汽车起步控制策略

根据前面对三相交流异步电机堵转特性的研究可知,三相交流异步电机转速控制模式下堵转状态的第1阶段转矩变化率较高。若找到一个合适的转速偏差 Δn ,使电机输出转矩能够满足图3中第1段与第2段曲线交点处的转矩 T_{m0} 大于最大爬坡度时的动力需求,则各种坡道下的预起步过程都可以在堵转状态的第1阶段内完成,预起步过程将会缩短,上坡起步时的倒溜将会得到遏制,起步性能将得到改善。

因此,结合对纯电动汽车起步过程的动力学分析,提出了一种纯电动汽车坡道自适应起步控制策略,其控制流程如图5所示,该策略可以总结为8个步骤:

1)松开制动后,判断有无加速踏板信号,若有踏板信号则直接进入有驾驶员参与起步阶段,根据加速踏板开度计算转矩指令。

2)若无加速踏板信号,进入车辆自动起步阶段,控制电机工作于转速控制模式下,令转速指令为 n_0 ,进入预起步阶段。

3)判断电机转向是否为正向(正向表示电机正向转动或静止),若为正向则继续判断电机实际转速是否大于零,若电机实际转速等于零,返回继续判断电机转向是否为正向,若电机实际转速大于零则令电机转速指令为0。

4)若电机转向为反向,则识别为上坡起步,继续判断电机实际转速是否大于零,若电机实际转速小于或等于零则返回继续判断电机实际转速是否大于零,若电机实际转速大于零则令电机转速指令为0。

5)判断电机输出转矩 T_m 是否为负,若为负,则识别为下坡起步,待电机输出转矩保持稳定,按照公式(13)计算坡道,然后根据坡道计算结果,按照公式(18)计算电机转矩指令。

6)若电机输出转矩 T_m 不为负,则为上坡起步或平路起步,根据步骤4)的识别结果可进一步识别出为上坡起步还是平路起步,待电机输出转矩保持

稳定,按照公式(10)计算坡道,然后根据坡道计算结果,按照公式(17)计算电机转矩指令。

7)控制电机工作于转矩控制模式,转矩指令为步骤5)或6)的计算结果。

8)判断有无加速踏板信号,若无加速踏板信号则返回继续判断,若有加速踏板信号则进入驾驶员参与起步阶段,根据加速踏板开度信号和坡道识别信息计算转矩指令。

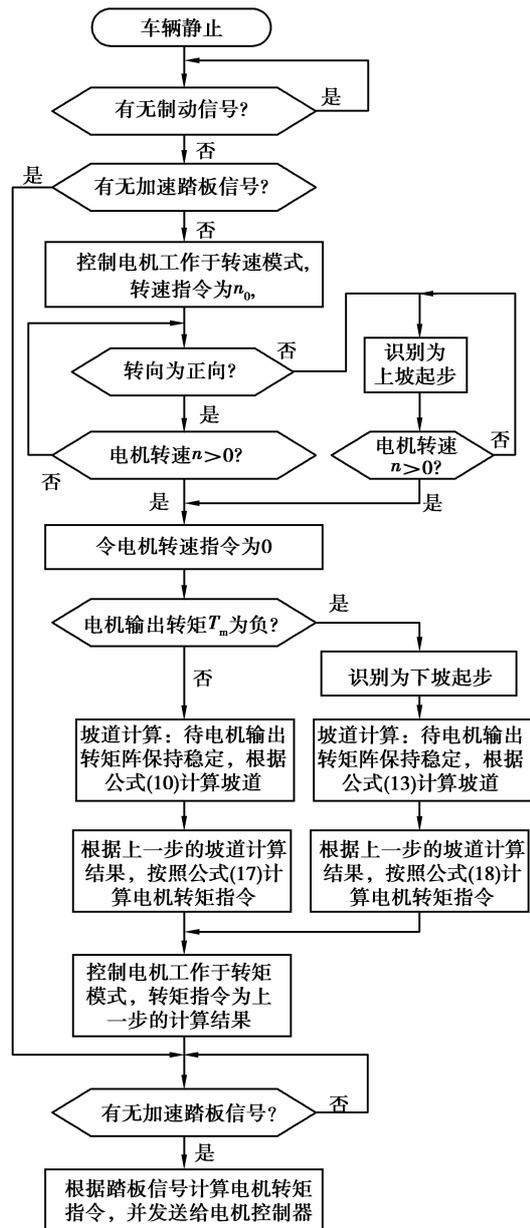


图5 纯电动汽车坡道自适应起步控制方法

3 仿真分析

在前面理论研究的基础上,利用 Matlab/Simulink 仿真平台,建立了纯电动汽车起步控制仿

真模型(如图 6 所示),从坡道识别精度、坡道起步溜车距离以及起步冲击度 3 个方面,对提出的纯电动

汽车坡道自适应起步控制策略进行仿真研究,仿真结果如表 2、3 所示。

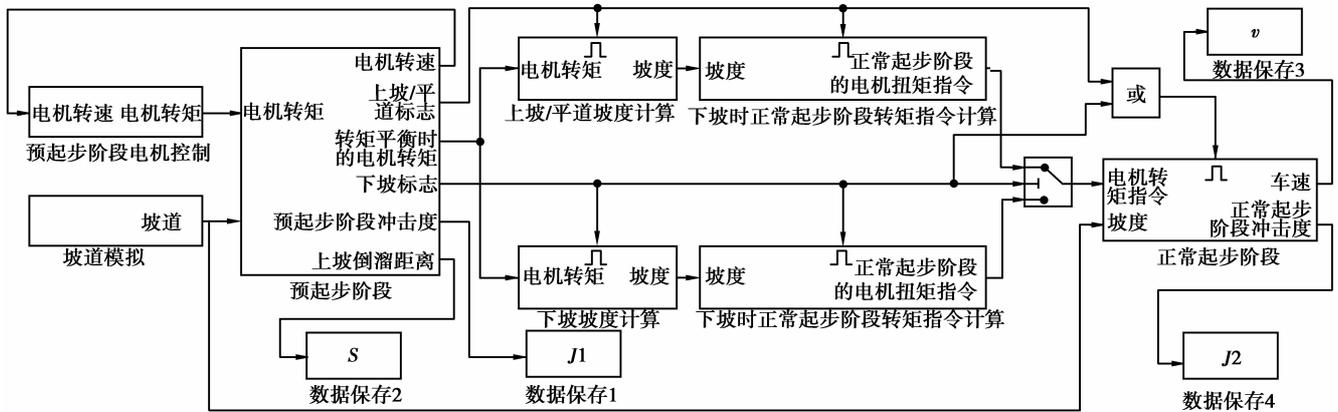


图 6 纯电动汽车自适应坡道起步控制 MatLab/Simulink 模型

表 2 为纯电动汽车上坡起步过程仿真结果,由表 2 可以看出,纯电动汽车上坡起步时,在坡道小于 10% 时,倒溜距离为毫米级,可以忽略不计;坡道为 10%~20% 的大坡道时,倒溜距离为 1~7 cm,在可以接受的范围内。坡道识别误差在 2% 坡道时,误差为 7%,其他坡道识别误差均在 3% 以内,冲击度仅为 6.840 1 m/s³,小于德国冲击度标准 10 m/s³,远小于中国标准 17.64 m/s³[15]。

表 3 为纯电动汽车下坡起步过程仿真结果,由表 3 可以看出,纯电动汽车下坡起步时,坡道识别误差均在 2% 以内,冲击度仅为 6.840 1 m/s³,小于德国冲击度标准 10 m/s³,远小于中国冲击度标准 17.64 m/s³ [15]。

表 2 纯电动汽车上坡起步过程仿真结果

输入坡道/%	识别坡道/%	识别误差/%	倒溜距离/mm	最大冲击度/(m·s ⁻³)
2	2.140	7.000	0.006	6.840 1
4	4.084	2.100	0.243	6.840 1
6	6.107	1.783	1.198	6.840 1
8	8.133	1.662	3.367	6.840 1
10	10.009	0.090	7.231	6.840 1
12	12.040	0.003	13.250	6.840 1
14	14.000	0	21.850	6.840 1
16	15.970	0.188	33.440	6.840 1
18	17.940	0.333	48.380	6.840 1
20	19.850	0.750	67.010	6.840 1

表 3 纯电动汽车下坡起步过程仿真结果

输入坡道/%	识别坡道/%	识别误差/%	最大冲击度/(m·s ⁻³)
2	1.977	1.15	6.840 1
4	3.996	0.10	6.840 1
6	5.939	1.02	6.840 1
8	7.962	0.48	6.840 1
10	9.909	0.91	6.840 1
12	11.940	0.50	6.840 1
14	13.890	0.79	6.840 1
16	15.850	0.94	6.840 1
18	17.740	1.40	6.840 1
20	19.710	1.45	6.840 1

5 结 论

1) 提出了一种纯电动汽车用三相交流异步电机在转速控制模式下的堵转特性研究方案,并搭建了三相交流异步电机动力传动系统试验台,对三相交流异步电机在转速控制模式下的堵转特性进行了基础研究,为纯电动汽车起步控制策略的制定奠定了基础。

2) 建立了纯电动汽车坡道识别模型和起步过程中各控制量的计算模型,提出了一种基于电机堵转特性的纯电动汽车坡道自适应起步控制策略,并在 Matlab/Simulink 平台下进行了仿真研究。

3)仿真结果表明,笔者提出的控制策略不仅可以很好地解决上坡起步的倒溜问题,有效改善车辆上坡起步时的倒溜现象;还可以较准确地识别起步坡道,提高了坡道起步的自适应性;同时,其起步冲击度也满足中国冲击度标准。

参考文献:

- [1] 秦大同,刘永刚,胡建军,等. 双离合器式自动变速器两离合器起步控制与仿真[J]. 机械工程学报, 2010, 46(18):121-127.
QIN Datong, LIU Yonggang, HU Jianjun, et al. Control and simulation of launch with two clutches for dual clutch transmissions [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2010, 46(18):121-127.
- [2] Kulkarni M, Shim T, Zhang Y. Shift dynamics and control of dual-clutch transmissions [J]. Mechanism and Machine Theory, 2007, 42(2):168-182.
- [3] Amir I A, Qin D T, Liu Z J. A control strategy on starting up a vehicle with automatic manual transmissions (AMT) [J]. Information Technology Journal, 2005, 4(2):140-145.
- [4] Zhao Y S, Chen L P, Zhang Y Q, et al. Enhanced fuzzy sliding mode controller for automated clutch of AMT vehicle [C]//Proceedings of the SAE 2006 World Congress & Exhibition, April 3-6, 2006, Detroit, MI, USA. [S. l.]: SAE International Technical Papers, 2006:2006-01-1488.
- [5] Liu H O, Chen H Y, Ding H R, et al. Adaptive clutch engaging process control for automatic mechanical transmission [J]. Journal of Beijing Institute of Technology, 2005, 14 (2):170-174.
- [6] Chen R, Sun D Y. Fuzzy neural network control of AMT clutch in starting phase [C]//Proceedings of the Second International Symposium on Intelligent Information Technology Application, Dec. 20-22, 2008, Shanghai, China. [S. l.]:IEEE Press, 2008, 2: 712-715.
- [7] Zhao Y S, Chen L P, Zhang Y Q, et al. Enhanced fuzzy sliding mode controller for launch control of AMT vehicle using a brushless DC motor drive [J]. International Journal of Automotive Technology, 2007, 8(3):383-394.
- [8] 汪贵平,马建,杨盼盼,等. 电动汽车起步加速过程的动力学建模与仿真[J]. 长安大学学报:自然科学版, 2009, 29(6):98-102.
WANG Guiping, MA Jian, YANG Panpan, et al. Dynamic modeling and simulation of starting and acceleration for electric vehicle[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2009, 29 (6): 98-102.
- [9] 余建强,万淑芸. 电动汽车电动机起步加速控制研究[J]. 湖北汽车工业学院学报, 2003, 17(1):1-3.
SHE Jianqiang, Wan Shuyun. A study on the control of starting and acceleration for EV motor [J]. Journal of Hubei Automotive Industries Institute, 2003, 17(1):1-3.
- [10] Delvecchio D, Savaresi S M, Spelta C. A control system for hill start assistance for commercial vehicles [C]//Proceedings of the ASME 2009 Dynamic Systems and Control Conference(DSCC2009), October 12-14, 2009, Hollywood, California, USA. [S. l.]: ASME Digital Library, 2009:517-524.
- [11] 崔海峰,刘昭度,王国业,等. 基于扭矩传感器的汽车坡道起步辅助系统[J]. 仪器仪表学报, 2006, 27(10): 1191-1193.
CUI Haifeng, LIU Zhaodu, WANG Guoye, et al. Hill-start assist control system based on torque sensor for car [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2006, 27(10):1191-1193.
- [12] 崔海峰,刘昭度,吴利军,等. 基于ABS/ASR集成控制系统的汽车坡道起步辅助装置[J]. 农机化研究, 2006 (8):193-195.
CUI Haifeng, LIU Zhaodu, WU Lijun, et al. Hill-start assist system based on integrated control system of ABS/ASR for car [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2006(8):193-195.
- [13] Anggun A, Rosli O, Marizan S, et al. Fuzzy optimization for speed controller of an indirect vector controlled induction motor drive using matlab simulink [J]. Journal of Theoretical and Applied Information Technology, 2011, 28 (2):108-120.
- [14] Jeong Y S, Lee J Y. Parameter identification of an induction motor drive with magnetic saturation for electric vehicle [J]. Journal of Power Electronics, 2011, 11(4):418-423.
- [15] 陈然,孙冬野,刘永刚. 双离合器式自动变速器建模与控制仿真分析[J]. 重庆大学学报, 2010, 33(9): 1-7.
CHEN Ran, SUN Dongye, LIU Yonggang. Modeling and control simulation of automobile DCT [J]. Journal of Chongqing University, 2010, 33(9):1-7.