

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2018.04.015

基于驾驶安全性的纯电动汽车转矩 信号处理方法研究

周斯加¹, 任俊雄¹, 符兴锋²

(1. 温州大学 机电工程学院, 浙江 温州 325035; 2. 广汽集团汽车工程研究院, 广东 广州 510640)

摘要: 为了提高纯电动汽车(EV)的驾驶安全性,再考虑到实际驾驶情况的复杂性,针对能够影响纯电动汽车驱动转矩安全性控制的主要因素进行了相应的分析。针对纯电动车的驱动电机转矩信号的处理方法进行了特性分析,并讨论了其对纯电动汽车的驱动安全性的影响;针对纯电动汽车的扭振信号的仿真的频域处理方法进行了试验分析,并提出了相应的处理方法;针对紧急断电情况下纯电动汽车的转矩信号的处理方法进行了试验分析,并发现试验结果满足设计要求。研究了纯电动汽车的转矩信号通过加汉宁窗的卷积幅值校正法和纯电动汽车转速跟踪分析法改进的效果,并把处理方式应用于纯电动汽车的驱动控制策略开发。为了验证开发的控制策略,并进行了仿真和实车验证。试验结果证明:采用加汉宁窗(Hanning)的方法分析可以降低扭振信号的谐波误差和幅值误差,从而提升信号的精确性并加快了信号的处理速度。滤波处理和数据优化后,纯电动汽车的整车控制效率和模式切换的平顺性和安全性得到了提高。仿真和试验的结果均表明,选用的转矩和扭转信号处理方法有效,控制的精度和实时性均满足试验的设计要求。设计的控制策略安全有效,能够提高纯电动汽车转矩控制的质量、提高纯电动汽车的驱动效率和驾驶安全性。

关键词: 汽车工程;控制策略;信号处理;转矩信号;纯电动汽车

中图分类号: U467.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268(2018)04-0115-08

Study on Torque Signal Processing for Electric Vehicle Based on Driving Safety Performance

ZHOU Si-jia¹, REN Jun-xiong¹, FU Xing-feng²

(1. School of Mechanical & Electrical Engineering, Wenzhou University, Wenzhou Zhejiang 325035, China;

2. Automotive Engineering Institute, Guangzhou Automobile Group Co., Ltd., Guangzhou Guangdong 510640, China)

Abstract: In order to improve EV driving safety, considering the complexity of the actual driving situation, the main factors that affect the safety control of driving torque of EV are analyzed. The processing method of torque signal for driving motor of EV is analyzed, and its influence on the driving safety of EV is discussed. The frequency domain processing method of torsional vibration signal of EV is experimental analyzed, The torque signal processing method of EV in frequency domain is experimental analyzed, and the corresponding processing method is put forward. The torque signal processing method of EV under emergency power cut is experimental analyzed, the result meets the design requirements. The improving effects of the torque signal by convolution amplitude correction method with Hanning window and rotation rate track method are researched, and the processing means is applied to develop the driving control strategy of EV. The developed control strategy effect is simulated and verified. The test shows that (1) adding a Hanning window can reduce the

收稿日期: 2017-03-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(51505340); 浙江省自然科学基金项目(LQ13E070003); 温州市公益性科技计划项目(G20150008)

作者简介: 周斯加(1981-), 男, 湖北云梦人, 博士。(16122513@qq.com)

harmonic and amplitude errors of the torsional vibration signal, and increase the accuracy and the processing speed of the signal; (2) after filtering and data optimization, the control efficiency as well as the smoothness and safety of the mode switching of EV are improved. The simulation and test show that the selected torque and torsional signal processing methods are effective, and the control accuracy and real-time performance can meet the design requirements of the test. The designed control strategy is safety and effective, it can improve torque control quality, driving efficiency and safety performance of EV.

Key words: automobile engineering; control strategy; signal processing; torque signal; electric vehicle

0 引言

2014 年是我国纯电动汽车 (EV) 快速增长的一年, 全年产销分别完成 48 605 辆和 45 048 辆, 比 2013 年分别增长 2.4 倍和 2.1 倍^[1]。EV 的快速发展使得其整车安全性备受关注。整车控制器 (Vehicle Control Unit 简称 VCU)、电机控制器和动力电池管理系统 BMS 是 EV 的核心控制单元。整车控制策略依托这几个重要的控制硬件平台, 来实现驾驶员驾驶意图的解析^[2]、驱动转矩的安全控制^[3]、高效率能量管理、制动能量的回收和其他重要信号的解析和处理等^[4-6]。

EV 的许多重要信号, 比如挡位、钥匙开关位置、车速、加速踏板位置等都需要先由传感器采集并经数据校验和信号处理, 再由 VCU 进行数据解析和逻辑判断, 并最终实现对 EV 的准确控制。所以一旦数据解析和相应的逻辑判断出现混乱, 就会对车辆的安全运行造成严重的威胁^[7-11]。EV 驱动安全性控制策略设计的核心内容之一就是驱动转矩的安全控制。转矩安全控制的效果与采集到的转矩信号的处理速度和精度直接相关联, 而转矩控制的精度和响应速度又影响到 EV 的操纵稳定性^[12]和 NVH 性能。目前在对 EV 的稳态和动态转矩信号处理的过程中, 普遍存在着处理速度较慢、幅值和相值偏差较大的问题, 从而影响到控制效果。因此, 寻找一种可以高速处理多个转速下稳态和动态转矩信号的处理系统来提高转矩信号分析和处理效率是非常必要的。

1 转矩信号对 EV 驱动安全性的影响

驱动电机和动力电池组成的电驱动系统是 EV 的唯一动力源。任何情况下的高压系统掉电故障都会导致车辆失去控制, 从而严重影响到 EV 的驱动安全性。驱动转矩是影响 EV 驱动安全性最直接的因素, 因为扭矩因素引起 EV 驱动安全性的因素有:

1.1 驱动机构的转矩特性无法及时响应驾驶员的意图

EV 驱动安全控制策略最基本的要求就是需要根据钥匙开关的位置、变速器的挡位、当前的车速、驾驶员的驾驶意图 (加速踏板的位置)、动力电池组的 SOC 和充放电功率值等信息, 对驱动过程中的运行模式进行判断。控制策略分析计算得到驾驶员的准确意图, 会转换成相应的转矩需求指令发送给执行机构执行。如果驱动机构不能及时响应转矩信号的请求或控制策略无法在规定的时间内及时解析出驾驶员的扭矩请求, 则会极大地降低 EV 车辆的可操作性、驱动性能甚至引发危险。

对于 EV 来讲, 在任何情况下只能处于一个工作模式, 在同时满足进入两个或者以上的工作模式判断条件下, 控制策略如不能准确地区分需要进入的工作模式, 则会出现工作模式转换混乱造成高压掉电或者无法解析转矩请求, 会影响车辆正常工作。

1.2 传感器故障导致采集的数据信号异常

EV 上存在大量的传感器, 比如温度、转矩、电压、电流、加速度、位移和挡位传感器等。很多重要的传感器是无法做到全部双传感器校验的。这样在高压上电或者行车过程中, 有可能因为某种原因导致传感器采集信号异常或者丢失, 造成 EV 工作状态受到影响。控制策略的转矩计算依赖于及时得到各种信号的处理结果, 还需要考虑在部分传感器数据信号异常或者丢失情况下的转矩计算方法, 最大限度地保证驾驶人的安全。

1.3 关键零部件质量的不稳定导致车辆工作异常

EV 目前生产的批量不是很大, 因此关键零部件大多没有经过大规模应用化的检验, 很多关键的零部件, 比如电机、动力电池和电机控制器都大量采用手工样件或者半自动化生产的方式, 因此产品的一致性和工作稳定性存在不足。比如电机控制器在相应 VCU 控制器转矩请求时的反馈输出转矩可能存在较大的波动性, 导致 EV 行驶稳定性受到影响, 这就需要想办法去抑制驱动转矩的波动量, 以减少 EV

的冲击感,提高行驶的平顺性和操纵稳定性。

1.4 CAN 总线网络存在干扰引起网络通信异常

EV 的 VCU 目前基本上都是通过 CAN 总线和其他控制节点进行通信,来实现不同控制单元的信号交互和确认,以实现驾驶员的驾驶意图。个别零部件的差异性,可能导致 EV 的 CAN 总线网络上存在着一定的错误帧或者随机出现的通讯异常情况。如果不能实时有效地对于这种情况进行处理,可能影响到行车的安全性或者操纵性,影响车辆乘员的安全。

2 EV 驱动转矩信号特性分析

EV 的驱动转矩安全控制策略是 EV 安全系统开发的核心内容。车型不同则系统构架不同,则驱动转矩安全性控制策略的内容也不尽相同。但是总的来讲,EV 的转矩驱动安全性控制策略的开发内容分

为以下的几大部分^[3]。

2.1 EV 转矩识别器的设计

EV 的驱动转矩需求取决于多个因素,包括加速踏板行程信号 A_{ccP} 、制动踏板行程信号 B_{rkP} 、车速信号 V_{eh} 、动力电池荷电状态 SOC 、动力电池组的总电压 U_b 和总电流信号 I_b 、ESP 或者 ABS 反馈的制动转矩信号 T_{in} 、挡位信号 G_{pos} 、驱动电机的转速 n_m 、电机可以提供的转矩能力信号 T_{mmax} 等信息,构成了一个复杂的计算公式:

$$T_{drive} = F(A_{ccP}, B_{rkP}, V_{eh}, SOC, U_b, I_b, T_{in}, G_{pos}, n_m, T_{mmax})。 \quad (1)$$

其中,整车需求转矩又可以细分为驾驶员的需求转矩 T_{exp} 和驱动电机实际的输出转矩 T_d 。

$$T_{exp} = F(A_{ccP}, B_{rkP}, V_{eh}, G_{pos}), \quad (2)$$

$$T_d = F(SOC, U_b, I_b, T_{in}, G_{pos}, n_m, T_{mmax})。 \quad (3)$$

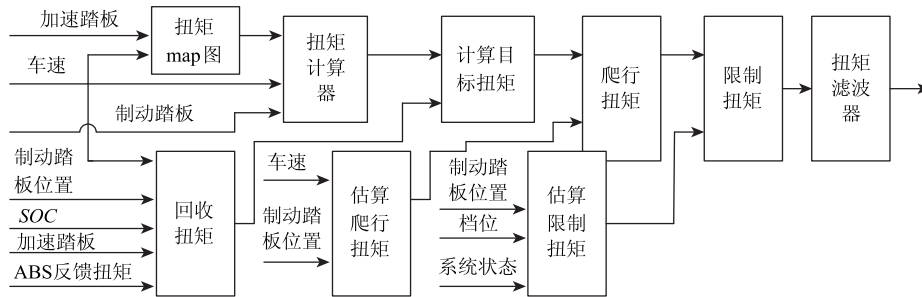


图1 转矩识别器计算流程图

Fig. 1 Flowchart of calculation by torque identifier

电机驱动运行时的需求转矩计算综合了电机的功率限制系数、倒档速度限制系数、电池低电压保护系数及加速踏板开度等影响因素,计算得到最终的需求力矩输出值给电机控制器。

制动能量回馈时,制动回馈的力矩由制动强度和回馈曲线计算值决定,见图2所示。

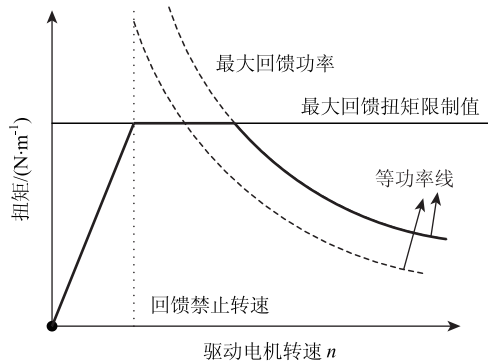


图2 最大回馈功率曲线

Fig. 2 Max feedback power curve

如图2所示,回馈计算系数由最大回馈转矩限制值、回馈禁止转速和最大回馈功率3个参数构成的包络线构成,即粗实线所示部分。

EV 转矩需求器的算法核心就是在保证车辆行驶安全性的前提下,根据输入的驱动需求信号和其他传感器的信号,计算输出实际的输出转矩,确保驾驶性、安全性、NVH 和效率最优。

制动能量回收过程主要发生在 EV 制动减速过程中,制动能量回收的比率尽量不超过引起原型车已经标定好的 ABS 系统,因此制动能量回收的比率被控制在较小的比例范围内,即不超过原车制动最大转矩的 10%。

2.2 EV 计算数据的处理方法

目前大部分的 EV 仿真计算模型和控制算法的设计多采用 Matlab 软件进行。Matlab 仿真的数据都是浮点数,但是处理器运算大部分都是定点运算,数据需要定点存储和计算,因此需要对控制模型中变

量的范围和精度进行设置,也就是“定标”。为了获得足够的计算精度并保证计算过程中没有溢出,每个变量必须根据其可能的大小来分配取值范围和数据的长度。

变量 x 和表达式 x' 之间的关系为:

$$x = L'_x + L_o. \quad (4)$$

式中, L'_x 为 x' 的最低有效位; L_o 为给定的偏移量。Targetlink 是从 Matlab/Simulink 图形化开发环境中直接可以生成产品级 C 代码的工具 Targetlink 软件提供如下的几种定标方式, 2 底数幂定标和非 2 底数幂定标, 含有 0 偏移限制和不含 0 偏移限制。2 底数幂的定点运算比任意定标运算简单快速, 而任意定标运算有更高的计算准确度, 但是同时增加了代码长度, 造成运算速度下降。

输入模块对所有输入的模拟量、数字量及 CAN 信号进行处理。为保证信号的可靠性和有效性, 对所有输入信号进行范围检查和防抖处理。当信号超出允许值范围时, 使用上一时刻的正常值, 而当信号超出允许范围且持续一段时间时, 将采用默认值替代, 同时上报信号错误信息; 随后如果信号开始恢复正常, 该信号仍保持默认值一段时间, 直到达到一定时间后, 信号恢复为当前的输入值, 同时清除信号错误信息。另外, 对于模拟信号, 必须首先经过低通滤波处理后再进行范围和有效性检查。选用这种数据处理方法, 可以在尽量保证车辆驾驶安全性的基础上, 及时准确地估算出下一时刻的转矩需求。

2.3 紧急下电故障的 EV 转矩信号的处理方法

在 EV 使用过程中, 如果发生了危及乘员安全的故障或者有可能损坏车辆关键零部件的故障需要紧急下电时, 动力电池需要在规定的时间内打开高压继电器以切断高压电路。如果在高压继电器打开时, 整个高压电路还存在着较大的驱动电流 (即驱动机构还有较大的残留转矩), 则高压继电器则会在带载荷的情况下打开, 有可能损坏高压继电器或者造成继电器粘连。因此在紧急断电条件下, 要求控制策略在高压继电器响应动作的时间内, 迅速将驱动转矩信号降为 0, 以保护高压继电器。

2.4 EV 电动机转矩信号处理方法

EV 传动轴系, 会因为机械、电气、动力传递和动态负荷变化等原因造成转矩输出的短暂或者持续的波动或振荡, 使得驱动旋转轴系产生严重的扭转振动。这种扭振不仅影响到驾驶的平顺性和操纵稳定性, 而且扭振产生的扭转应力会使得轴系各个截

面产生交变的剪切应力, 引起轴系材料的疲劳磨损, 从而引起较大的噪声并加速零部件的磨损, 造成严重的安全隐患。

在稳态扭振信号处理过程中, 存在谱分析的各谐次幅值精度不高, 速度较慢的缺点。

随着计算机软硬件的飞速发展, 各种计算机辅助测试分析系统相继面世。计算机辅助扭振测试系统能够有效地将转速测试数据采集、频谱分析及提取各谐次幅值和曲线拟合、绘图、结果输出合为一体, 并且形成一套高速处理多个转速下稳态扭振信号的处理系统, 可以大大提高分析速度和处理效率。

设整周期采样序列为 $x(i)$ ($i = 0, 1, 2, \dots, N-1$), N 为采样点数。根据傅立叶级数的原理, 各谐次的幅值是:

$$a_n = \frac{2}{N} \sum_{i=0}^{N-1} x(i) \cos\left(\frac{2\pi in}{N}\right) \quad n = 0, 1, 2, \dots, N/2 - 1, \quad (5)$$

$$b_n = \frac{2}{N} \sum_{i=0}^{N-1} x(i) \sin\left(\frac{2\pi in}{N}\right) \quad n = 0, 1, 2, \dots, N/2 - 1, \quad (6)$$

$$A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad n = 0, 1, 2, \dots, N/2 - 1. \quad (7)$$

导致谱线干涉的原因是信号中存在有非整数倍转频的成分。图 3 为 1~4 阶频率的理论频谱 (幅值谱), 实际作谱分析时, 由于时域截断 (加矩形窗) 的影响, 谱图中会出现主瓣及旁瓣,

在驱动电机的转速跟踪分析中, 由于谱峰密集, 因此如果信号中出现非整数倍转频成分, 就会使分析结果产生很大的误差。

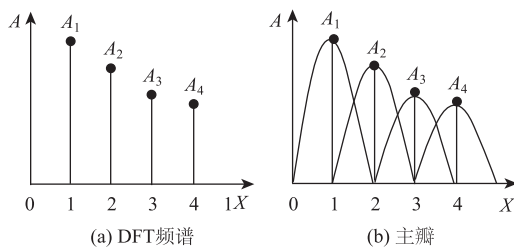


图 3 1~4 阶频率 DFT 频谱和主瓣

Fig. 3 First-fourth order frequency DFT spectrum and main lobe

为了降低旁瓣的干扰, 通常是对时域信号加哈宁窗 (Hanning)^[13-18] 或其它窗, 但主瓣宽度会增加一倍。这样就会产生如图 3 所示的严重主瓣干涉。因此, 转速跟踪分析就不能通过直接加窗函数的方法来减小旁瓣干涉。对 EV 而言, 绝大部分扭振信号中都含有非整数倍转频成分的低频滚振干扰成分。采用转速跟踪方法分析时, 这种干扰成分会导致谱

线干涉,使各谐次的幅值产生很大误差。这是其最大的局限性。所以不能采用传统的转速跟踪分析方法分析电机升降速过程中带有滚振等低频干扰频率成分的扭振信号。接下来研究采用加 Hanning 窗跟踪分析转矩信号精度的方法。

在频谱分析中,汉宁窗的定义为:

$$w(t) = \begin{cases} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos \frac{\pi t}{T} \right) & |t| \leq T \\ 0 & |t| > T \end{cases}, \quad (8)$$

其频谱函数为:

$$W(\omega) = \frac{\sin \omega T}{\omega T} + \frac{1}{2} \left[\frac{\sin(\omega T + \pi)}{\omega T + \pi} + \frac{\sin(\omega T - \pi)}{\omega T - \pi} \right], \quad (9)$$

式中, T 为采样周期; ω 为电机转速。根据傅立叶级数的原理,考虑到加 Hanning 窗的幅值恢复系数 $k_i = 2$,各谐次幅值为:

$$a_n = \frac{2k_i}{2T} \int_{-T}^T f(t) \cos(n\omega_0 t) w(t) dt, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (10)$$

$$b_n = \frac{2k_i}{2T} \int_{-T}^T f(t) \sin(n\omega_0 t) w(t) dt, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (11)$$

$$A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (12)$$

与采样频率没有降低之前周期为 $[-T/2, T/2]$ 时相比,有 $A_{2i} = A_i \quad i = 1, 2, 3, \dots$; A_{2i-1} 是受到加 Hanning 窗主瓣干涉影响的谱线。

3 EV 转矩信号仿真的频域处理与试验结果分析

3.1 EV 车辆转矩信号处理方法仿真研究

精确地提取各谐次幅值是扭振信号处理精度的核心内容。传统的 FFT 和谱分析由于只能对有限多个样本进行计算,因此不可避免地存在由于时域截断产生的能量泄漏,从而使幅值产生较大的误差。扭振信号的频率成分主要是由低频的滚振成分和与转速有关的各谐次成分组成,是一组离散的频率成分。对于这种离散频率成分的信号,特别适合采用三点卷积幅值校正法加 Hanning 窗求解信号各谐次频率成分的幅值,从而大大提高了扭振分析的精度。

加 Hanning 窗时,如果有低频干扰,干扰信号的主瓣除对第一根谱线有影响外,由于其旁瓣衰减很快,所以对其他谱线已不构成干涉。同理,当某两个谐次中间有一个干扰频率存在的时候,该干扰频率成分只会对这两个谐次的幅值产生干涉,而对其他谐次的幅值基本没有影响。

Matlab 生成的仿真信号:

$$f(t) = \cos(2\pi \cdot 195t + 50 \cdot \pi/180) + \cos(2\pi \cdot 200.5t + 25 \cdot \pi/180) + 5\cos(2\pi \cdot 201.3t). \quad (13)$$

在分析时采样点数选取 1 024,选用传统转速跟踪方法时的采样频率为 10 240 Hz,采用一次采样样本所包含的整周期数扩大一倍的方法时选取采样频率为 5 120 Hz。表 1 是采用不同的方法处理得到的谐次谱及误差,除第一谐次外,采用本文方法得到的其它各谐次的幅值误差均小于 1%,大大提高了分析精度。

表 1 两个频率成分重叠信号谱分析校正结果

Tab. 1 Correction result of signal spectrum of two overlap frequencies

	幅值	频率/Hz	相位/(°)
仿真频谱	6.605 9	201.000 0	19.217 6
设定频率成分 1	1.000 0	200.500 0	25.000 0
校正频率成分 1	1.000 0	200.500 0	24.998 1
设定频率成分 2	5.000 0	201.300 0	0.000 0
校正频率成分 2	4.999 8	201.299 7	0.000 0
设定频率成分 3	1.000 0	195.000 0	50.000 0
校正频率成分 3	0.998 4	195.000 0	49.947 2

仿真计算结果表明,所用的扭振信号处理方法对于具有两个相互重叠频率成分信号离散频谱校正具有很高的精度,幅值误差 $\leq 0.16\%$,频率误差 $\leq 0.000 3$ Hz,相位误差 $< 0.06^\circ$ 。从表 1 的结果还可以看出,该校正方法可以对谱峰间距大于 0.01 个频率分辨率的两个有重叠的频率成分进行精确的幅值、频率和相位的校正。

3.2 EV 车辆转矩信号处理方法试验

对于 EV 扭振信号的处理方法分为稳态转矩信号和瞬态分析两种。稳态扭振信号处理中,最方便、最经济、实用和自动化程度高的方法是:首先在各稳态转速下采集扭振信号和转速信号;然后采用一次批处理全部分析出各转速下的各谐次幅值;最后对各转速下的各谐次幅值进行整理,并用曲线拟合得到转速—振幅图。该方法完全避免了人工选择各谐次幅值,自动化程度大大提高,从而有效地提高了分析处理速度,实际应用证明在试验后 2 min 内可完成全部的数据处理,得到各谐次的扭振曲线。

与稳态分析相比,瞬态分析不用分别测试各个转速下的扭振信号,而是在一次升降速过程采集不同转速下的信号,就可以全部分析出各转速下的各谐次幅值;最后对各转速下存盘的各谐次幅值进行整理,并用曲线拟合得到转速—振幅图。所以,瞬

态分析比稳态分析速度更快。

图4是实测得到的EV驱动电机在恒定转速1500 r/min下的扭振测试分析数据。由图中数据可知,在电机的恒速转动过程中,驱动电机扭振信号干扰主要来自于低频滚振。这种低频滚振会影响到各谐次的幅值,使得测试误差增大。而采用加Hanning窗的方法进行转速跟踪分析则能够克服这种缺陷,图5为驱动电机在升速过程中加Hanning窗的方法卷积幅值校正法求出的幅值谱。由图中数据可知,除了0.5谐次误差较大(163%,理论分析为主瓣干涉导致),其他各谐次幅值误差均不超过5%。考虑到电机升速过程是不稳定工况,这个误差分析结果还是可以接受的。

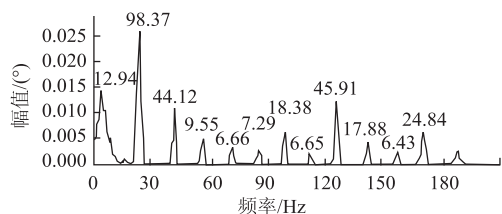


图4 恒定转速时的校正幅值谱

Fig. 4 Correction result of signal spectrum at constant speed

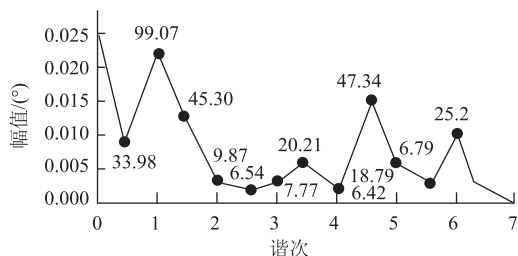


图5 电机升速过程中加Hanning窗转速跟踪分析谐次谱

Fig. 5 Rotation rate tracking harmonic spectrum analysed by Hanning window method when motor speed up

分析得到了可能影响到驱动电机输出转矩质量的扭振信号特征后,分析单位时间的间隔三维谱阵,发现有较大的二阶频率成分,而且二阶频率随着电机转速的降低而降低,因此判断为电机轴承和减速器的连接部分对中性不佳,检查发现不对称量超过100 μm,远远超过安装标准。

重新校准电机和减速器的动平衡性,并对于EV驱动电机转矩信号进行针对性的处理,并选取合适的滤波方法,抑制干扰信号的发生,并进行数据处理优化后,可以大大提高EV转矩信号的处理质量,为车辆的有效控制提供数据支撑。

图6对于EV电机扭振和转矩信号滤波处理并优化整车控制策略后的百公里加速试验实测数据。由

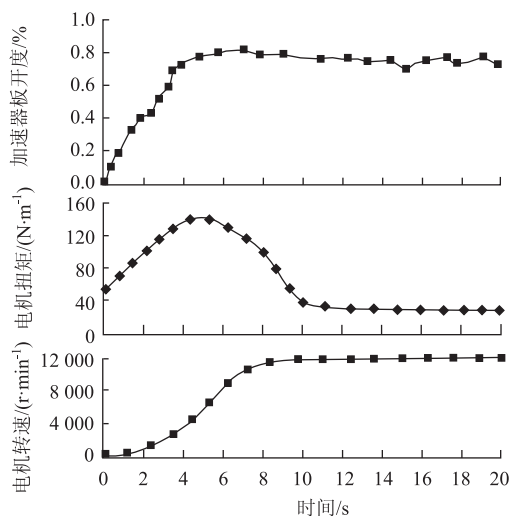


图6 百公里加速过程中的试验数据

Fig. 6 Test data of 100 km acceleration process

图6可知,在得到驾驶员加速踏板开度信号并不稳定的情况下,通过对于驾驶员驾驶意图的解析和判断,对于可能存在干扰的信号进行插值处理,将驱动电机的输出转矩波形平顺化处理,在加速10.5 s左右,瞬态驱动模式切换到稳态驱动模式,模式切换过程中,车速上升平稳,转矩切换平滑,驱动效率明显提高,百公里加速时间<13 s,达到设计目标。

图7、图8为紧急工况下的转矩信号处理结果试验。在转鼓试验台上,将EV运行在匀速行驶模式,按下紧急下电按钮,实车采集到的数据结果如图8所示。由图8可知,在整车控制器发出了高压继电器打开指令的同时,需求转矩信号同时开始迅速下降,大概在7 ms左右,转矩信号下降到0;继电器的状态在大约13 ms后,处于打开状态;在继电器打开的瞬间,需求转矩已经提前降为0,高压继电器实现无负载断开;试验结果满足设计要求。当然这种试验情况有一定的危险性,在EV实车控制策略中,尽量会避免在车速不为0的情况下出现紧急下电动作,紧急下电动作发生的条件设置的非常苛刻,尽可能的避免可能带来的危险。

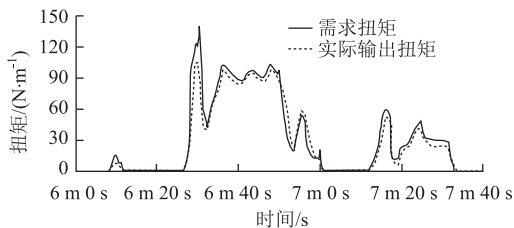


图7 NEDC工况下的需求转矩和实际输出转矩

Fig. 7 Required and actual torques under NEDC cycle

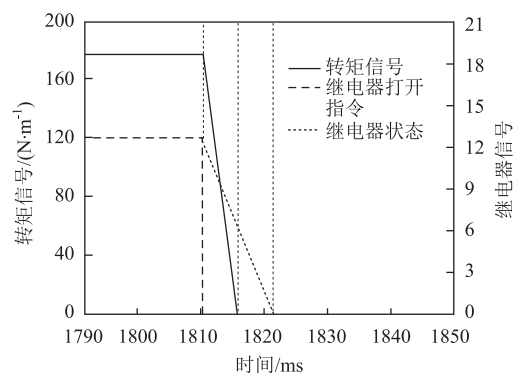


图8 紧急情况下转矩信号处理试验

Fig.8 Test of torque signal processing under emergency situation

4 结论

针对EV驱动控制策略安全性进行了研究,重点分析了电机的转矩信号和扭振信号特征的处理方法。采用加Hanning窗的方法分析降低扭振信号的谱次误差和幅值误差,提高驱动电机的转矩信号质量。滤波处理和数据优化后,提高EV整车控制效率和模式切换的平顺性和安全。仿真和试验的结果表明,选用的转矩和扭转信号处理方法有效,控制的精度和实时性均满足设计要求。

本研究的转矩信号处理方法可以有效地分析驱动电机在稳态和瞬态的扭振信号特征和转矩控制效果,对于优化EV转矩控制安全性研究有一定的参考作用。

参考文献:

References:

- [1] 杨晓红. 全球2014年电动车销量排名, 比亚迪康迪进前十 [EB/OL]. (2015-02-09) [2017-04-05]. <http://www.d1ev.com/37425.html>.
YANG Xiao-hong. The Global Electric Car Sales Ranking in 2014, BYD Kndi in the Top Ten [EB/OL]. (2015-02-09) [2017-04-05]. <http://www.d1ev.com/37425.html>.
- [2] 秦大同, 周孟喜, 胡明辉, 等. 电动汽车的加速转矩补偿控制策略 [J]. 公路交通科技, 2012, 29 (5): 146-151.
QIN Da-tong, ZHOU Meng-xi, HU Ming-hui, et al. Strategy of Acceleration Torque Compensation Control for Electric Vehicle [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2012, 29 (5): 146-151.
- [3] 王姝, 余强, 赵轩. 基于驾驶员意图识别的电动汽车电机失效监控系统研究 [J]. 公路交通科技, 2016, 33 (12): 145-153.
WANG Shu, YU Qiang, ZHAO Xuan. Study on System

- of Monitoring Motor Brake Failure of Electric Vehicle Based on Driver Intention Recognition [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2012, 33 (12): 146-151.
- [4] 黄万友, 程勇, 纪少波, 等. 基于最优效率的纯电动汽车驱动控制策略开发 [J]. 汽车工程, 2013, 35 (12): 1062-1067.
HUANG Wan-you, CHENG Yong, JI Shao-bo, et al. Development of the Driving Control Strategy for Battery Electric Vehicles Based on Optimum Efficiency [J]. Automotive Engineering, 2013, 35 (12): 1062-1067.
- [5] 魏寒冰, 何义团, 李军, 等. 混合动力电动汽车控制策略: 分类、现状与趋势 [J]. 重庆交通大学学报: 自然科学版, 2013, 32 (5): 1049-1054.
WEI Han-bing, HE Yi-tuan, LI Jun, et al. Classification, State of the Art and Development Tendency of Strategies for Hybrid Electric Vehicles [J]. Journal of Chongqing University: Natural Science Edition, 2013, 32 (5): 1049-1054.
- [6] 张炳力, 张平平, 赵韩. 基于离散动态规划的PHEV燃油经济性全局最优控制 [J]. 汽车工程, 2010 (11): 923-927.
ZHANG Bing-li, ZHANG Ping-ping, ZHAO Han, et al. Fuel Economy Global Optimal Control of PHEV Based on Discrete Dynamic Programmin [J]. Automotive Engineering, 2010, 32 (11): 923-927.
- [7] 秦大同, 叶心, 胡明辉. ISG型中度混合动力汽车驱动工况控制策略优化 [J]. 机械工程学报, 2010, 46 (12): 86-92.
QIN Da-tong, YE Xin, HU Ming-hui, et al. Optimization of Control Strategy for Medium Hybrid Electric Vehicle with ISG at Drive Condition [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2010, 46 (12): 86-92.
- [8] 周孟喜. 电动汽车驱动工况下的整车控制策略研究 [D]. 重庆: 重庆大学, 2012.
ZHOU Meng-xi. Study on Control Strategy for Electric Vehicle under Drive Condition [D]. Chongqing: Chongqing University, 2012.
- [9] 秦大同, 周孟喜, 胡明辉, 等. 电动汽车的加速转矩补偿控制策略 [J]. 公路交通科技, 2012, 29 (5): 146-151.
QIN Da-tong, ZHOU Meng-xi, HU Ming-hui, et al. Strategy of Acceleration Torque Compensation Control for Electric Vehicle [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2012, 29 (5): 146-151.
- [10] 王佳, 杨建中, 菜志标, 等. 基于模糊控制的纯电动汽车整车优化控制策略 [J]. 汽车工程, 2009, 3

- (4): 362–365.
WANG Jia, YANG Jian-zhong, CAI Zhi-biao, et al. The Optimum Control Strategy of Battery Electric Car Based on Fuzzy Control [J]. Automotive Engineering, 2009, 3 (4): 362–365.
- [11] BORIS R, VERMILLION C, BUTTS K. A Comparative Analysis of Electronic Pedal Algorithms Using a Driver in-the-loop Simulator and System Identification of Driver Behavior [C] // 2010 American Control Conference (ACC 2010). Baltimore: American Control Conference, 2010: 682–687.
- [12] 孙涛, 都培培, 郑松林, 等. 某型电动助力转向系统的多学科优化设计及操稳性能评价 [J]. 公路交通科技, 2016, 33 (7): 145–152.
SUN Tao, DU Pei-pei, ZHENG Song-lin, et al. Multi-disciplinary Optimization for an Electric Power Steering System and Evaluation of Vehicle Handling Stability [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2016, 33 (7): 145–152.
- [13] 赵欣欣, 索红光, 刘玉树, 基于改进汉宁窗的信息检索模型 [J]. 广西师范大学学报: 自然科学版, 2013, 4 (24): 191–194.
ZHAO Xin-xin, SUO Hong-guang, LIU Yu-shu. Information Retrieval Algorithm Based on Improved Hanning Window [J]. Journal of Guangxi Normal University: Natural Science Edition, 2013, 4 (24): 191–194.
- [14] 王刘旺, 黄建才, 孙建新, 等. 基于加汉宁窗的 FFT 高精度谐波检测改进算法 [J]. 电力系统保护与控制, 2012, 24 (40): 28–33.
WANG Liu-wang, HUANG Jian-cai, SUN Jian-xin, et al. An Improved Precise Algorithm for Harmonic Analysis Based on Hanning-windowed FFT [J]. Power System Protection and Control, 2012, 24 (40): 28–33.
- [15] 徐志钮, 律方成, 赵丽娟. 基于加汉宁窗插值的谐波分析法用于介损角测量的分析 [J]. 电力系统自动化, 2006, 30 (2): 81–85.
XU Zhi-niu, LU Fang-cheng, ZHAO Li-juan. Analysis of Dielectric Loss Angle Measurement by Hanning Windowing Interpolation Algorithm Based on FFT [J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30 (2): 81–85.
- [16] 蔚慧甜. 基于汉宁窗函数的滤波器的设计 [J]. 传感器世界, 2011, 17 (12): 27–29.
YU Hui-tian. Design of Filter Based on Hanning Window Function [J]. Sensor World, 2011, 17 (12): 27–29.
- [17] 涂亚庆, 沈廷鳌, 张海涛. 基于重叠短汉宁窗 DTFT 算法的科氏流量计信号处理方法 [J]. 数据采集与处理, 2013, 28 (1): 22–27.
TU Ya-qing, SHEN Ting-ao, ZHANG Hai-tao. Signal Processing Method for Coriolis Mass Flowmeter Based on DTFT Algorithm with Overlap Hanning Windows [J]. Journal of Data Acquisition & Processing, 2013, 28 (1): 22–27.
- [18] 陈奎孚, 王建立, 张森文. 短记录加汉宁窗的频谱校正 [J]. 振动与冲击, 2008, 27 (4): 49–51.
CHEN Kui-fu, WANG Jian-li, ZHANG Sen-wen. Spectrum Correction for Short Records Weighted by a Hanning Window [J]. Journal of Vibration and Shock, 2008, 27 (4): 49–51.
- +++++
- (上接第 107 页)
- WANG Hua-rong, SUN Xiao-duan, HE Yu-long, et al. Effects of Geometric Features of Rear-end Crash Accidents on Mountainous Two-lane Highways [J]. Journal of Beijing University of Technology, 2010, 36 (9): 1236–1241.
- [12] 孟祥海, 张晓明, 郑来. 基于线形与交通状态的山区高速公路追尾事故预测 [J]. 中国公路学报, 2012, 25 (4): 113–118.
MENG Xiang-hai, ZHANG Xiao-ming, ZHENG Lai. Prediction of Rear-end Collision on Mountainous Expressway Based on Geometric Alignment and Traffic Conditions [J]. China Journal of Highway and Transport, 2012, 25 (4): 113–118.
- [13] 刘鑫鑫. 高速公路追尾事故严重程度影响因素分析及预防对策研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2016.
LIU Xin-xin. Research on Influencing Factors of Severity of Rear-end Accident on Freeway and Countermeasures [D]. Changchun: Jilin University, 2016.
- [14] 赵军芳. 基于 PC-Crash 的车辆偏置追尾事故仿真分析 [D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2015.
ZHAO Jun-fang. Simulation of Vehicle Bias Rear-end Collision Based on PC-Crash [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2015.
- [15] BURNHAM K, ANDERSON D, BURNHAM P, et al. Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-theoretical Approach [M]. New York: Springer New York, 2010.
- [16] HURVICH CM, TSAI C. Regression and Time Series Model Selection in Small Samples [J]. Biometrika, 1989, 76 (2): 297–307.
- [17] SCHWARZ G. Estimating the Dimension of a Model [J]. Annals of Statistics, 1978, 6 (2): 15–18.
- [18] WIT E, HEUVEL E V D, ROMEIJN J W. ‘All Models Are Wrong...’: An Introduction To model Uncertainty [J]. Statistica Neerlandica, 2012, 66 (3): 217–236.