



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101758854 B

(45) 授权公告日 2012. 03. 28

(21) 申请号 201010100812. 5

(22) 申请日 2010. 01. 22

(73) 专利权人 武汉理工大学

地址 430070 湖北省武汉市洪山区珞狮路
122 号

(72) 发明人 喻厚宇 黄妙华 李波 田哲文
李乐 廖凌霄 秦岭

(74) 专利代理机构 湖北武汉永嘉专利代理有限
公司 42102

代理人 钟锋

(51) Int. Cl.

B62D 6/00 (2006. 01)

B60L 15/00 (2006. 01)

B62D 113/00 (2006. 01)

B62D 127/00 (2006. 01)

B62D 137/00 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 201021151 Y, 2008. 02. 13, 全文.

US 2004/0263112 A1, 2004. 12. 30, 全文.

CN 1475390 A, 2004. 02. 18, 全文.

US 6349782 B1, 2002. 02. 26, 全文.

JP 昭 61-241274 A, 1986. 10. 27, 全文.

审查员 徐趁肖

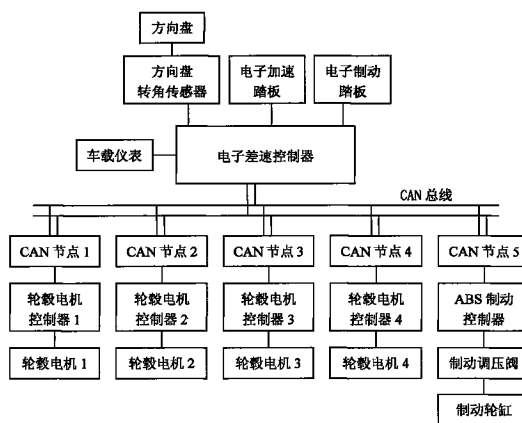
权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图 2 页

(54) 发明名称

电动轮驱动汽车的电子差速控制系统

(57) 摘要

本发明涉及电动轮驱动汽车的电子差速控制系统,它包括控制器、各轮毂电机的电机控制器、用于测量方向盘转角的转角传感器、能输出开度值的电子加速踏板、用于测量轮毂电机实际转速的转速传感器;电子加速踏板、转速传感器、转角传感器的信号输出端分别和控制器的信号输入端连接,控制器与各轮毂电机控制器通讯连接;所述控制器包括第一级跟随控制模块和第二级跟随控制模块。本发明可对各驱动电机进行合理的电子差速控制。



1. 电动轮驱动汽车的电子差速控制系统,其特征在於:它包括控制器、各轮毂电机的电机控制器、用于测量方向盘转角的转角传感器、能输出开度值的电子加速踏板、用于测量轮毂电机实际转速的转速传感器;电子加速踏板、转速传感器、转角传感器的信号输出端分别和控制器的信号输入端连接,控制器与各轮毂电机控制器通讯连接;

所述控制器包括第一级跟随控制模块和第二级跟随控制模块;

第一级跟随控制模块用于根据电子加速踏板输出的开度值向参考轮毂电机控制器发出参考轮毂电机目标转速指令;所述参考轮毂电机为轮毂电机中的一个;

第二级跟随控制模块用于通过以下公式得到向其它轮毂电机控制器发出所控轮毂电机目标转速指令:

方向盘转角的绝对值小于等于 σ 时, $n_i^* = g_i \cdot n_1$,

或

方向盘转角的绝对值大于 σ 时, $n_i^* = g_i \cdot n_1 \cdot f_i(\varphi)$;

其中: n_1 为参考轮毂电机的实际转速; n_i^* 为其它轮毂电机中的一个轮毂电机的目标转速;参考轮毂电机不输出动力时, $1 < g_i \leq 1.25$;参考轮毂电机输出动力时, $g_i = 1$, $f_i(\varphi) = n_i'/n_1'$, n_i' 为各轮毂电机均不通电,外力推动车辆滑行时,四个车轮均作纯滚动,测量不同方向盘转角 φ 时的各轮转速 n_1' 、 n_2' 、 n_3' 、 n_4' ; σ 为设定的方向盘转动死区角度。

2. 如权利要求 1 所述的电子差速控制系统,其特征在於:所述转速传感器设置在轮毂电机控制器内。

3. 如权利要求 1 或 2 所述的电子差速控制系统,其特征在於:所述轮毂电机控制器为根据控制器发出的目标转速和所控轮毂电机实际转速对所控轮毂电机进行转速闭环控制的轮毂电机控制器。

4. 如权利要求 1 所述的电子差速控制系统,其特征在於:控制器通过 CAN 总线分别与各轮毂电机控制器通讯连接。

5. 如权利要求 3 所述的电子差速控制系统,其特征在於:轮毂电机控制器采用增量式 PID 控制方法对轮毂电机转速进行闭环控制。

6. 如权利要求 1 所述的电子差速控制系统,其特征在於:它还包括能输出开度值的电子制动踏板,电子制动踏板的信号输出端和控制器的信号输入端连接。

电动轮驱动汽车的电子差速控制系统

技术领域

[0001] 本发明涉及电动汽车,具体涉及电动汽车的转向控制系统,特别是电动轮驱动汽车的转向控制系统。

背景技术

[0002] 电动汽车具有节能和环保的优点,是当前汽车技术发展的一种趋势。电动轮驱动汽车是一种新型的电动汽车。驱动电机直接或通过减速机构安装在车轮上,构成电动轮。电动轮的布置非常灵活,可作为电动汽车的两个前轮、两个后轮或四个车轮,相应使电动汽车成为前轮驱动、后轮驱动或四轮驱动汽车。

[0003] 与内燃机汽车和单电机驱动电动汽车相比,电动轮驱动汽车在动力源配置、底盘结构等方面有独特的技术特点和优势。电动轮车中由于电机可直接驱动车轮,故可实现各电动轮从零到最大速度的无级变速和各电动轮间的差速要求,从而省略了内燃机汽车所需的机械式操纵换档装置、离合器、变速器、传动轴和机械差速器等,使得驱动系统和整车结构简化,有效可利用空间增大,传动链缩短,传动效率提高。

[0004] 汽车转向行驶时,外侧车轮的转弯半径比内侧车轮的转弯半径大,必须利用差速装置调整内、外侧驱动轮的转速,使外侧驱动轮转速大于内侧驱动轮转速。否则,驱动轮会产生滑移从而引起轮胎磨损加剧、转向困难、道路附着性能变差等。对于内燃机汽车和单电机驱动电动汽车,需在驱动桥中采用机械差速器,以实现转向行驶时内、外侧驱动轮的差速要求。对于电动轮驱动的电动汽车,由于每个电动轮的电机转速可有效地独立调节控制,故可通过电子差速控制系统使内、外侧电动轮转速满足转向行驶时的差速要求,从而可省去结构复杂的机械差速器。电子差速的优点是可简化底盘结构,提高电动汽车性能,但在不同行驶条件下对多个电机进行合理、有效、精确、可靠的控制是需解决的关键问题。

发明内容

[0005] 本发明所要解决的技术问题是:提供一种电动轮驱动汽车的电子差速控制系统,该系统可对各驱动电机进行合理的电子差速控制。

[0006] 本发明为解决上述提出问题所采用的解决方案为:

[0007] 电动轮驱动汽车的电子差速控制系统,它包括控制器、各轮毂电机的电机控制器、用于测量方向盘转角的转角传感器、能输出开度值的电子加速踏板、用于测量轮毂电机实际转速的转速传感器;电子加速踏板、转速传感器、转角传感器的信号输出端分别和控制器的信号输入端连接,控制器与各轮毂电机控制器通讯连接;

[0008] 所述控制器包括第一级跟随控制模块和第二级跟随控制模块;

[0009] 第一级跟随控制模块用于根据电子加速踏板输出的开度值向参考轮毂电机控制器发出参考轮毂电机目标转速指令;所述参考轮毂电机为轮毂电机中的一个;

[0010] 第二级跟随控制模块用于通过以下公式得到向其它轮毂电机控制器发出所控轮毂电机目标转速指令:

[0011] 方向盘转角的绝对值小于等于 σ 时, $n_i^* = g_i \cdot n_1$,

[0012] 或

[0013] 方向盘转角的绝对值大于 σ 时, $n_i^* = g_i \cdot n_1 \cdot f_i(\varphi)$;

[0014] 其中: n_1 为参考轮毂电机的实际转速, n_i^* 为其它轮毂电机中的一个轮毂电机的目标转速, 参考轮毂电机不输出动力时, $1 < g_i \leq 1.25$; 参考轮毂电机输出动力时, $g_i = 1$, $f_i(\varphi)$ 为满足差速要求时第 i 轮转速与参考轮转速 n_1 的比值随方向盘转角 φ 变化的函数, σ 为设定的方向盘转动死区角度。

[0015] 上述方案中, 所述转速传感器设置在轮毂电机控制器内。

[0016] 上述方案中, 所述轮毂电机控制器为根据控制器发出的目标转速和所控轮毂电机实际转速对所控轮毂电机进行转速闭环控制的轮毂电机控制器。

[0017] 上述方案中, 控制器通过 CAN 总线分别与各轮毂电机控制器通讯连接。

[0018] 上述方案中, 轮毂电机控制器采用增量式 PID 控制方法对轮毂电机转速进行闭环控制。

[0019] 上述方案中, 电子差速控制系统还包括能输出开度值的电子制动踏板, 电子制动踏板的信号输出端和控制器的信号输入端连接。

[0020] 本发明的优点在于:

[0021] 1、车辆驱动时, 控制器根据驾驶员的方向盘转角指令控制各轮毂电机, 从而使各轮毂电机得到合理的电子差速控制。

[0022] 2、控制器可根据电子加速踏板输出的开度值信号, 以及各轮毂电机的实际转速控制各轮毂电机。

[0023] 3、采用二级转速跟随控制, 即参考轮毂电机转速对电子加速踏板开度值对应转速指令的第一级跟随控制, 其它各轮毂电机转速对参考轮实际转速的第二级跟随控制。这种二级转速跟随控制有利于保证在转速跟随调节过程中各轮转速满足差速要求。

[0024] 4、若各轮毂电机均按差速关系跟随电子加速踏板的转速指令, 则会由于各轮毂电机转速对转速指令跟随的不同步, 导致在转速调节过程中各轮毂电机转速不一定满足差速要求, 因此, 本发明采用其它各轮毂电机转速跟随参考轮实际转速, 这样易于实现各轮毂电机转速的协调关系。

[0025] 5、当车轮纯滚动时, 车轮滑转率为零, 这会导致车轮与路面间的纵向力系数减小, 从而使地面对驱动轮的驱动力减小, 造成车辆行驶的动力性变差。因此, 本发明在车轮纯滚动转速基础上适当增加车轮转速, 即 $1 < g_i \leq 1.25$, g_i 为增益系数, 使车轮滑转率由零增大为较优值, 以使车轮与路面间的纵向力系数增大, 从而使地面对驱动轮的驱动力增大, 提高车辆行驶的动力性。

[0026] 6、所述轮毂电机控制器为根据控制器发出的目标转速和所控轮毂电机实际转速对所控轮毂电机进行转速闭环控制的轮毂电机控制器, 可减小实际转速和目标转速之间的差值。

[0027] 7、利用现有的 CAN 总线进行通讯, 结构简单。

[0028] 本发明适合在四电动轮驱动、两电动前轮驱动、两电动后轮驱动等电动轮驱动汽车上使用。

[0029] 本发明使电动轮驱动汽车在不同行驶条件下对多个电机转速进行合理、有效、可

靠的协调控制,实现转向行驶时内、外侧驱动轮的电子差速,直行时前、后驱动轮间避免功率循环现象。

附图说明

[0030] 图 1 为本发明实施例 1 的结构示意图

[0031] 图 2 为本发明实施例的控制流程图

具体实施方式

[0032] 如图 1 所示的本发明实施例 1,它为四电动轮驱动汽车的电子差速控制系统,它包括:控制器(或称电子差速控制器)、四个轮毂电机的四个轮毂电机控制器、用于测量方向盘转角的转角传感器、用于测量轮毂电机实际转速的转速传感器、能输出开度值的电子加速踏板和能输出开度值的电子制动踏板;转角传感器、电子加速踏板、电子制动踏板的信号输出端和控制器的信号输入端连接,控制器通过 CAN 总线分别与四个轮毂电机控制器通讯连接。所述转速传感器集成在轮毂电机控制器内。控制器的信息输出端与车载仪表连接。

[0033] 本实施例 1 采用基于 CAN 总线的主从控制结构,下层的四个轮毂电机控制器作为从控制器分别控制四个轮毂电机,上层的控制器作为整车级主控制器对下层四个轮毂电机控制器的工作进行监测和协调控制。下层四个轮毂电机控制器通过各自的 CAN 节点与 CAN 总线相连,上层电子差速控制器通过其内部的 CAN 通讯模块与 CAN 总线相连,以此方式主电子差速控制器和从轮毂电机控制器进行 CAN 通讯互传信息。方向盘的转角信号通过方向盘转角传感器传至电子差速控制器,电子加速踏板和电子制动踏板的开度电信号直接传至电子差速控制器,四个轮毂电机的工作电压、电流和转速信号由各自的轮毂电机控制器通过 CAN 节点上传至电子差速控制器。电子差速控制器对各轮毂电机的调压调速指令通过 CAN 总线下传至各轮毂电机控制器。车载仪表与电子差速控制器相连,用于显示电子差速控制器接收的四个轮毂电机转速、电压和电流信号,以及由轮毂电机转速确定的车速信号。

[0034] 本实施例 1 中,电子差速控制器采用型号为 TMS320F2812 的 DSP。主控芯片上运行的程序根据本发明采用 C 语言编写并经编译后下载到主控芯片中。轮毂电机控制器主控芯片采用英飞凌 Infineon 单片机 XC846,驱动电路采用 12 个场效应晶体管(MOSFET)构成的三相 H 型桥式逆变电路,并设置有利用轮毂电机的霍尔元件信号测量轮毂电机实际转速的转速传感器。CAN 总线中的 CAN 驱动芯片型号为 PCA82C250,与轮毂电机控制器相配的 CAN 控制器型号为 P82C150。方向盘转角传感器采用基于各向异性磁电阻效应的非接触式角位移传感器,安装在转向柱上。电子加速踏板和电子制动踏板采用带微动开关的电位器型电子踏板。电子踏板开度值对应于电位器电阻值。微动开关用于发出确认踏板踩下信号。

[0035] 另外,与本实施例配合的轮毂电机采用永磁无刷直流电机,额定电压 48V,额定功率 500W,四台轮毂电机分别安装在四个车轮中。轮毂电机输出端和车轮直接固连,轮毂电机转速等于车轮转速。四台轮毂电机的驱动状态组合有三种:四台轮毂电机均输出动力驱动;仅左、右前轮的轮毂电机输出动力驱动;仅左、右后轮的轮毂电机输出动力驱动。车载仪表采用由液晶屏显示的虚拟仪表,用于显示车速、各轮毂电机转速、电压和电流。液压制动系统采用普通轿车用的液压盘式制动器、制动调压阀、ABS 制动控制器、相关的交叉型双回路液压制动管路和液压制动主缸。电动轮驱动汽车车体为微型双座四轮车,整车整备质量约

为 335kg。

[0036] 如图 2 所示,所述控制器包括第一级跟随控制模块和第二级跟随控制模块;

[0037] 第一级跟随控制模块根据电子加速踏板输出的开度值向参考轮毂电机控制器发出参考轮毂电机目标转速指令;所述参考轮毂电机为四个轮毂电机中的一个;

[0038] 参考轮毂电机目标转速 n_1^* 与电子加速踏板输出的开度值(从初始状态至当前状态的变化值)成正比。

[0039] 第二级跟随控制模块通过以下公式得到向其它轮毂电机控制器发出所控轮毂电机目标转速指令:

[0040] 方向盘转角的绝对值小于等于 σ 时, $n_i^* = g_i \cdot n_1$,

[0041] 或

[0042] 方向盘转角的绝对值大于 σ 时, $n_i^* = g_i \cdot n_1 \cdot f_i(\varphi)$;

[0043] 其中: n_1 为参考轮毂电机的实际转速, n_i^* ($i = 2, 3, 4$) 为其它轮毂电机中的一个轮毂电机的目标转速,参考轮毂电机不输出动力时, $1 < g_i \leq 1.25$;参考轮毂电机输出动力时, $g_i = 1$, $f_i(\varphi)$ 为满足差速要求时第 i 轮转速与参考轮转速 n_1 的比值随方向盘转角 φ 变化的函数, σ 为根据转向器传动间隙设定的方向盘转动死区角度(如 σ 设定为 3°)。

[0044] 所述轮毂电机控制器为根据电子差速控制器发出的目标转速和所控轮毂电机实际转速对所控轮毂电机进行转速闭环控制的轮毂电机控制器。

[0045] 轮毂电机控制器采用增量式 PID 控制方法对轮毂电机转速进行闭环控制。

[0046] 具有本发明实施例 1 的车辆驱动时,轮毂电机以电动机状态工作,电子差速控制器根据驾驶员的方向盘转角指令、电子加速踏板开度指令和电子制动踏板开度指令,以及四个轮毂电机工作状态反馈信息(轮毂电机的工作电压、电流和转速),通过电子差速控制算法确定四个轮毂电机各自的目标转速,计算各轮毂电机的目标转速与相应实际转速的差值,利用 PID 控制算法确定各轮毂电机控制器的 PWM 调压调速指令,各轮毂电机控制器通过 PWM 调压调速方式调节相应轮毂电机的转速。车辆制动时,轮毂电机可空转不工作或以发电机状态工作。若制动时轮毂电机空转不工作,则电动轮均为从动轮,不需进行电子差速控制,只需由 ABS 制动控制器对液压制动器进行 ABS 液压制动控制。若制动时轮毂电机以发电机状态工作进行再生制动,则各轮毂电机再生制动时的电子差速控制方式与驱动时的电子差速控制方式相似,以保证制动时各车轮的运动协调,同时 ABS 液压制动的强度可减弱,这样即可回收部分制动能量以延长续驶里程,也可减少制动器的磨损以延长使用寿命。

[0047] 本实施例 1 考虑车辆转向行驶内、外侧驱动轮的差速运行要求,也附加考虑车辆直行时各驱动轮转速之间的允许偏差。电子差速控制系统控制流程分转向行驶和直行两个分支,具体流程如下。车辆启动前电子差速控制系统进行启动自检,检查电子差速控制器、各轮毂电机控制器、CAN 总线、各轮毂电机、各传感器和车载仪表是否工作正常,若检测到异常情况,则显示故障信息和报警。若检测正常,则电子差速控制系统检测电子制动踏板是否踩下,即检测电子制动踏板开度是否为零,若电子制动踏板踩下,其开度不为零,则各轮毂电机不上电或进行再生制动。若电子制动踏板未踩下,其开度为零,则检测电子加速踏板是否踩下,即检测电子加速踏板开度是否为零,若电子加速踏板未踩下,其开度不为零,则检测方向盘转角绝对值是否大于方向盘转动死区角度 σ ,若方向盘转角绝对值小于等于转角死区范围,则认为车辆处于

直行状态。若方向盘转角绝对值大于转角死区范围,则认为车辆处于转向行驶状态。

[0048] 本实施例 1 以左前轮为参考轮,转向行驶或直行时,其它三轮的转速应与参考轮左前轮的转速相协调。电子加速踏板开度值与驾驶员的车速指令相对应,驾驶员的车速指令与参考轮左前轮的转速指令相对应,故电子加速踏板开度值与参考轮左前轮的转速指令相对应,即零开度值与零转速指令相对应,最大开度值与最大转速指令相对应,开度值与转速指令线性对应。假设参考轮左前轮以电子加速踏板开度值对应的转速指令值为目标转速 n_1^* ,且四个车轮的半径相等。当车辆处于转向行驶状态时,其它三个车轮参考左前轮以差速关系确定的转速为目标转速 n_2^* 、 n_3^* 、 n_4^* ,即左前轮毂电机目标转速为 n_1^* ,其它三个轮毂电机目标转速分别为 n_2^* 、 n_3^* 、 n_4^* 。当车辆处于直行状态时,其它三个车轮以参考轮左前轮的实际转速 n_1 为目标转速,即 $n_2^* = n_3^* = n_4^* = n_1$,这样可使四个车轮的转速易于协调一致。

[0049] 测量各轮毂电机的实际转速 n_i ($i = 1, 2, 3, 4$),根据轮毂电机目标转速 n_i^* 与实际转速 n_i 的差值 $n_i^* - n_i$,利用增量式 PID 控制方法对各轮毂电机转速进行闭环控制。利用增量式 PID 控制算法确定各轮毂电机控制器的 PWM 调压调速指令,即 $\Delta PWM_i = PWM_i(k) - PWM_i(k-1) = K_p \cdot \Delta e(k) + K_i \cdot e(k) + K_d \cdot [\Delta e(k) - \Delta e(k-1)]$,式中: $e(k) = n_i^*(k) - n_i(k)$, $\Delta e(k) = e(k) - e(k-1)$, k 表示 k 时刻, K_p 、 K_i 、 K_d 分别为比例、积分、微分系数,这三个系数的值通过实车试验反复调整确定。为减小调速时间,若 PID 闭环调速控制使 $|n_i^* - n_i| / n_i^* \leq \varepsilon$, ε 为较小值,则认为轮毂电机实际转速与相应目标转速的偏差在允许范围内,从而结束调速过程。

[0050] 以四个车轮纯滚动时的车辆转向行驶运动学模型为基础,确定转向行驶时四个车轮的转速关系,同时考虑车轮动力学模型,适当增加驱动轮转速,使驱动轮滑转率由纯滚动时的零值变为较优值,以实现即满足转向行驶时内、外侧车轮转速差,又保证较大驱动力的双重要求(运动协调,动力充沛)。由车辆转向行驶运动学模型分析知,满足差速要求时其它三轮转速 n_2 、 n_3 、 n_4 与参考轮转速 n_1 的比值是只与车辆轴距,主销轴线与路面交点到车轮中心平面与路面交线的距离,内、外侧前轮转向角 α 、 β 有关的量,由于前二者为定值,后二者为变值,故一对 α 、 β 对应一组 n_2/n_1 、 n_3/n_1 、 n_4/n_1 ,又由于方向盘转角 φ 对应一对 α 、 β ,故某一方向盘转角 φ 对应一组 n_2/n_1 、 n_3/n_1 、 n_4/n_1 。当四个轮毂电机均不通电,外力推动车辆滑行时,四个车轮均作纯滚动,测量不同方向盘转角 φ 时的各轮转速 n_1' 、 n_2' 、 n_3' 、 n_4' ,便可得该 φ 值时满足差速要求的 n_2'/n_1' 、 n_3'/n_1' 、 n_4'/n_1' 这样一组比例。实际执行电子差速控制时,根据所测量的方向盘转角 φ 查询 φ 与 n_2'/n_1' 、 n_3'/n_1' 、 n_4'/n_1' 的插值表,及所测量的参考轮转速 n_1 ,即可确定其它三轮的纯滚动目标转速,即 $n_2^* = n_1 \cdot f_2(\varphi)$ 、 $n_3^* = n_1 \cdot f_3(\varphi)$ 、 $n_4^* = n_1 \cdot f_4(\varphi)$,其中 $f_i(\varphi)$ ($i=2,3,4$) 表示满足差速要求时第 i 轮转速与参考轮转速 n_1 的比值随方向盘转角 φ 变化的函数,本实施例 $f_i(\varphi)$ 以插值表的形式可表示为:

[0051]

φ	φ_1	φ_2	φ_3	φ_4	φ_5
$f_i = n_i'/n_1'$	$(n_i'/n_1')_1$	$(n_i'/n_1')_2$	$(n_i'/n_1')_3$	$(n_i'/n_1')_4$	$(n_i'/n_1')_5$

[0052] ,插值表中各值通过实车试验测量确定。该种通过试验确定 $n_i^* = n_1 \cdot f_i(\varphi)$ ($i = 2, 3, 4$) 的方法可避免测量难准确测量的内、外侧前轮转向角 α 、 β 和车辆结构参数。由车轮动力学模型知,当车轮不输出动力纯滚动时,车轮滑转率为零,这会导致车轮与路面间的纵向力系数减小,从而使地面对驱动轮的驱动力减小,造成车辆行驶的动力性变差。因此,当参

考轮不输出动力时,可在车轮纯滚动转速基础上适当增加车轮转速,即 $n_i^* = g_i \cdot n_1 \cdot f_i(\varphi)$, $i = 2, 3, 4, 1 < g_i \leq 1.25$, g_i 为增益系数,使车轮滑转率由零增大为较优值,以使车轮与路面间的纵向力系数增大,从而使地面对驱动轮的驱动力增大,提高车辆行驶的动力性。当参考轮输出动力驱动时, n_1 为在一定滑转率下的驱动轮转速, n_1 中已暗含了 g_i ,故可取 $g_i = 1$ 。通过同时考虑车辆运动学和动力学要求,按上述方法确定转向行驶时各车轮转速,可同时满足四轮的差速要求和动力性要求。

[0053] 电子差速控制时,采用二级转速跟随控制,即参考轮转速对电子加速踏板开度值对应转速指令的第一级跟随控制,其它三轮转速对参考轮实际转速的第二级跟随控制。这种二级转速跟随控制有利于保证在转速跟随调节过程中四轮转速满足差速要求。因为若四个车轮均按差速关系跟随电子加速踏板的转速指令,则会由于四轮转速对转速指令跟随的不同步,导致在转速调节过程中四轮转速不一定满足差速要求。若其它三轮转速跟随参考轮实际转速,则易于实现四轮转速的协调关系。

[0054] 前、后驱动轮间转速应协调以避免功率循环现象,减少轮胎异常磨损和内耗。前、后驱动轮转速协调的方法与转向行驶时内、外侧驱动轮的转速协调方法相似。

[0055] 转向过程中再生制动时也实施电子差速控制,以保证制动过程中四轮运动协调。再生制动时,四个轮毂电机以发电机状态工作,各轮毂电机的转速控制方式与驱动时的电子差速控制方式相似。若再生制动不足以提供车辆所需的制动力,则由液压制动系统提供不足的制动力。制动时参考轮目标转速由电子制动踏板开度值确定。

[0056] 转向时考虑由转向器传动间隙引起的方向盘转角死区对转向轮转向角改变的滞后影响。由于转向器中的传动副间存在间隙,故在转动方向盘消除转向器传动间隙之前,转向轮并未转动。当方向盘从直行位置向左、右两侧转动死区角度 σ 范围内,转向轮未转动时仍认为车辆直行而不进行转向。死区角度 σ 为较小值,可通过实车测量确定,即方向盘处于直行位置时转动方向盘直至转向轮开始转动时方向盘转动的角度便为死区角度 σ 。在转向行驶过程中,当方向盘转动的方向改变时,仍考虑转角死区的影响,即转向轮转向角的改变滞后于方向盘转角的改变。

[0057] 本实施例 1 的用于测量轮毂电机实际转速的转速传感器也可以为独立的转速传感器。

[0058] 本发明实施例 2,它为两电动前轮(或后轮)驱动汽车的电子差速控制系统,它与本发明实施例 1 基本相同,只是 $n_i^*(i = 2)$ 为另一轮毂电机的目标转速。

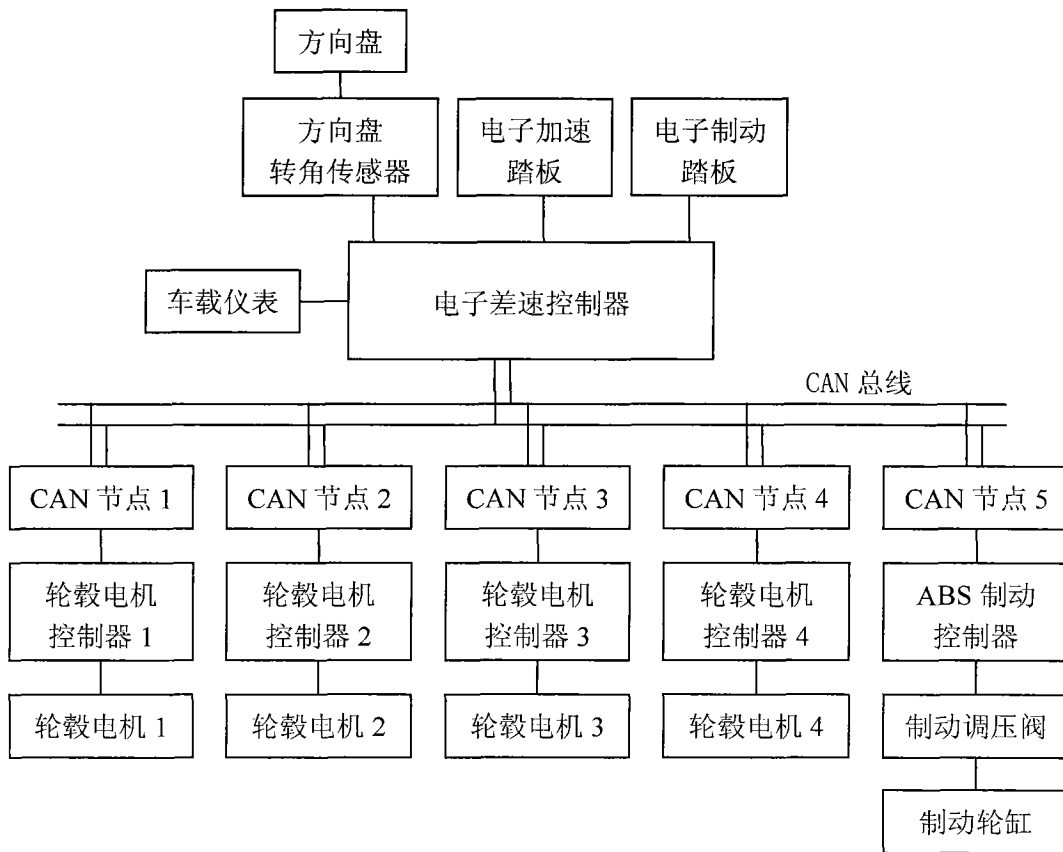


图 1

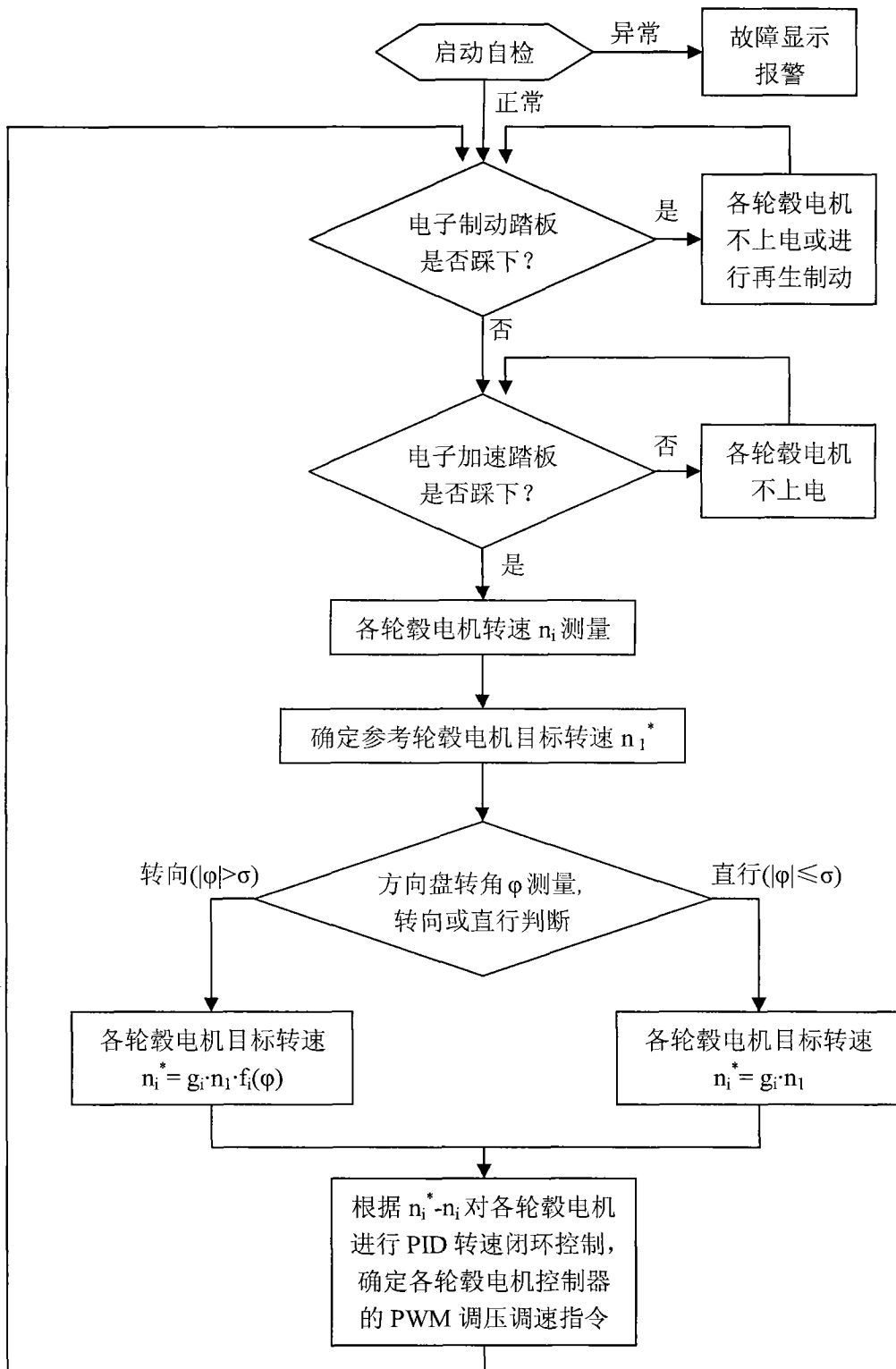


图 2