

# ISG混合动力汽车整车控制器的设计\*

袁银南<sup>1</sup>, 王忠<sup>1</sup>, 钱恒荣<sup>2</sup>, 黄成海<sup>2</sup>

(1. 江苏大学汽车与交通工程学院, 镇江 212013; 2. 一汽解放汽车公司无锡柴油机分公司, 无锡 214026)

**[摘要]** 根据 ISG 用于带增压柴油机的混合动力汽车的特点, 设计了基于 CAN 总线的 ISG 混合动力汽车的整车控制器, 包括硬件的模块化设计、CAN 总线的应用设计及针对废气涡轮增压柴油机的 ISG 混合动力汽车控制策略设计, 并且详细介绍了其硬件设计方法以及部分主要模块和算法的程序流程图。实验结果表明, 该控制器功能强大、性能可靠, 能准确实现带增压柴油机的 ISG 混合动力汽车的整车控制策略。

**关键词:** 混合动力电动汽车; 集成式起动机/发电机; 控制策略

## Design of Vehicle Control Unit for ISG Hybrid Electric Vehicle

Yuan Yinnan<sup>1</sup>, Wang Zhong<sup>1</sup>, Qian Hengrong<sup>2</sup> & Huang Chenghai<sup>2</sup>

1. School of Automobile and Traffic Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013;

2. Wuxi Diesel Engine Works, FAW Jiefang Automotive Company, Ltd., Wuxi 214026

**[Abstract]** Based on the features of integrated starter/generator (ISG) when used in hybrid electric vehicles (HEV) with turbocharged diesel engine, a CAN bus-based vehicle control unit for ISG HEV is designed, covering the modularized design of hardware, the application design of CAN bus and the design of control strategy of ISG HEV, specifically aimed for exhaust-turbocharged diesel engine, with hardware design method and the program flow chart of some key modules and algorithms presented in detail. The test results show that the control unit has powerful function and reliable performance and can accurately achieve the vehicle control strategy for ISG HEV with turbocharged diesel engine.

**Keywords:** HEV; ISG; control strategy

## 前言

混合动力汽车在节能减排方面体现出巨大的优势, 已成为当前的研究热点。为了降低混合动力汽车的制造成本和整车质量, 采用小功率电动机的轻度混合动力汽车的研制开发引起了广泛关注<sup>[1-2]</sup>。其中, 制造成本最低, 最容易实现批量生产的是采用集成式起动机/发电机技术的 ISG 型轻度混合动力汽车<sup>[3]</sup>。ISG 型混合动力汽车中, 电动机取代发动机原有飞轮, 直接与发动机曲轴相连, 通过 ISG 实现汽车发动机怠速停机、功率补偿、制动能量回收以及主动减振功能<sup>[4]</sup>, 具有对原车技术继承性好、实施方

便、适用范围广等特点。而随着目前车用发动机柴油化的趋势, 废气涡轮增压技术已成为目前车用柴油机采用的主要技术之一, 废气涡轮增压柴油机只有在高速或中高速时才能输出比普通发动机较高的转矩。废气涡轮增压柴油机处于加速工况时, 由于废气涡轮增压器叶轮的惯性使得空气进气有着明显的滞后性, 因此为了保证加速过程中烟度满足法规要求, 加速过程中就必须相应地对发动机进油量进行限制, 这样就使得加速转矩不足, 进而造成加速无力的后果, 采用 ISG 不仅可以替代原来的起动机和发电机, 同时在低速时提供辅助功率<sup>[5]</sup>, 以及减轻曲轴的振动<sup>[1]</sup>, 回收制动能量。这样不仅弥补了废气涡轮增压发动机低速时输出转矩不足的缺陷, 同时

\*江苏省工业高技术研究项目 (BG2004016) 资助。

原稿收到日期为 2008 年 11 月 4 日, 修改稿收到日期为 2008 年 12 月 26 日。

降低加速烟度,改善汽车的加速特性。文中的 ISG 采用了外环式高效永磁电机,定子组体安装在飞轮壳内气缸体端面处,由 16 块永磁体组成的转子组体安装在发动机飞轮端面处,发动机飞轮作为转子铁芯。ISG 在增压柴油机上的改装结构实物图见图 1。

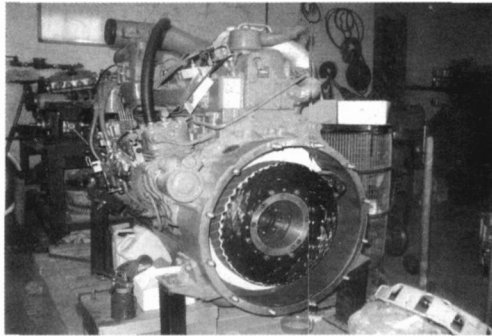


图 1 ISG 用在废气涡轮增压发动机的改装实物图

ISG 型混合动力汽车的整车控制器是根据驾驶员的操作、加速踏板位置、车速和发动机转速、水温等参数,按照一定的规则即控制策略,使发动机和电动机输出相应的转矩(或功率),以满足驱动轮驱动力矩的要求,以及实现柴油机、电机、蓄电池和传动系统的优化匹配。

### 1 ISG 控制系统总体设计

ISG 混合动力汽车整车控制系统采用分层分布式控制方案,第 1 层为整车控制器(HCU);第 2 层为各子系统的控制器,其中包括发动机控制器、电机控制器和电池控制器、动力转向、智能仪表、ABS、直流电源隔离模块 DC/DC、诊断节点,标定节点等各子系统的控制器。HCU 根据实时测量的驾驶员操控信息、车辆行驶信息以及各子系统实时反馈的信息,通过计算和逻辑推理向各子系统控制器发送控制指令,并由各子系统控制器控制各子系统的运行,从而实现 HCU 对整车的控制。

ISG 控制系统的功能:(1) 实时而准确可靠地测取驾驶员操控信息,如加速踏板信号、离合器踏板信号、制动踏板信号、挡位信号、空调等各种开关信号以及车辆行驶信息,如车速信号等,以获得汽车的运行工况;(2) 与第 2 层控制器的信息实时通信与交互控制,文中采用 CAN 总线通信方式;(3) 标定监测功能采用基于 CAN 总线通信的标定监测系统和在线故障诊断功能。根据上述功能,确定输入 ISG 控制器的信号主要包括启动开关、油门位置及其变

化率、车速信号、发动机转速信号、冷却水温信号、制动信号,ISG 控制器通过启动开关、油门位置、制动信号与车速信号来判断驾驶员的操作意图以及当前汽车的运行工况。通过发动机的转速、油门位置、水温来确定当前发动机的最优工作状态,由当前汽车的运行工况和发动机的最优工作状态来确定电机所处的工作模式。

### 2 ISG 控制系统硬件设计

控制系统硬件电路主要包括电源电路、时钟电路、复位电路、A/D 接口电路、转速采集电路、开关量输入整车控制器。由整车控制器按照给定的控制策略与算法程序协调电机和发动机的工作,输出整车需要的开关状态与 PWM 调制波。ISG 整车控制系统 ECU 硬件总体结构示意图见图 2。

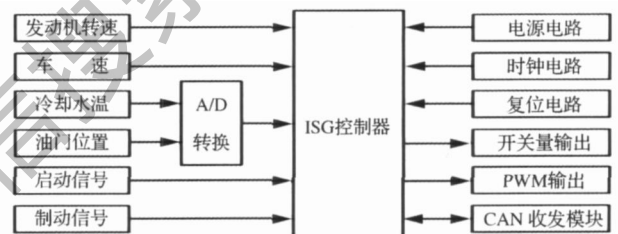


图 2 硬件电路结构图

车速信号由霍尔式转速传感器将转速信号通过上拉、硬件整形,转换为电压脉冲信号,经硬件电路滤波、整形后送到 MCU 的中断引脚,MCU 通过计算转过相邻两齿之间的时间算出转速。

由温度传感器将冷却水温度信号转换为电压信号,经硬件电路滤波、钳位后送到 MCU 的 A/D 引脚,作为判断发动机工作状态的辅助信号。

油门位置信号由位置传感器测得,经滤波后,为增加驱动能力用电压跟随器送到 MCU;在位置信号后加微分电路使其输出位置微分信号,即油门位置的变化速度,来判断驾驶员是否急加速或急减速,油门位置电路以及油门位置微分电路见图 3。

发动机转速信号由电磁式转速传感器输出后,经 R6 和 C18 滤波,经稳压二级管钳位后,再由 R37、R18、R31、R39 和 3 个三级管以及比较器整形形成脉冲信号,输入 MCU 的外部中断引脚。发动机转速测量电路见图 4。

发动机的启动信号与制动信号等开关量经滤波与钳位后直接送到 MCU 的并行口,电路见图 5。

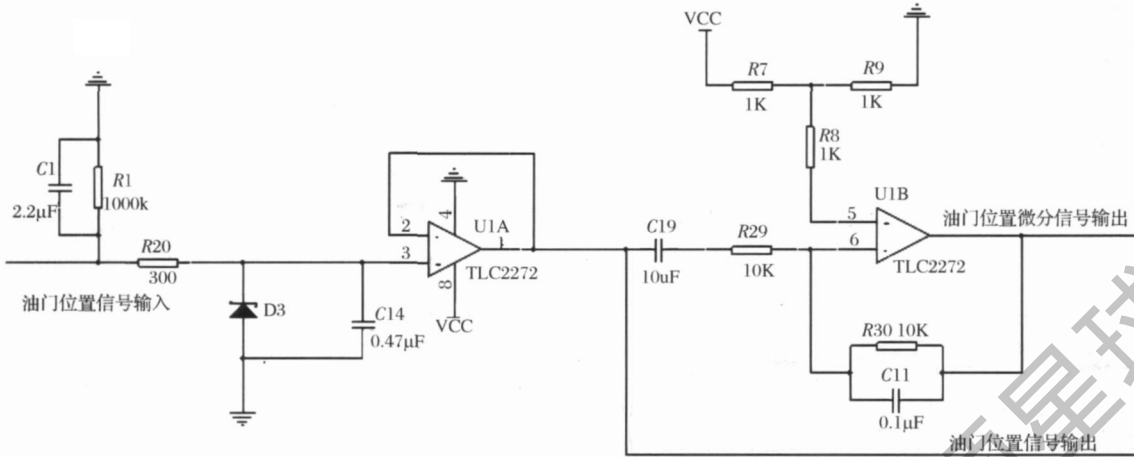


图 3 油门位置电路

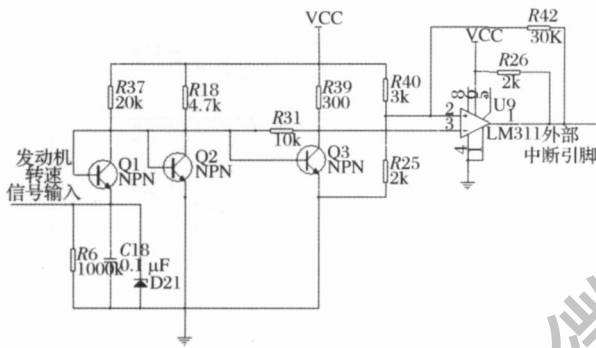


图 4 发动机转速测量电路

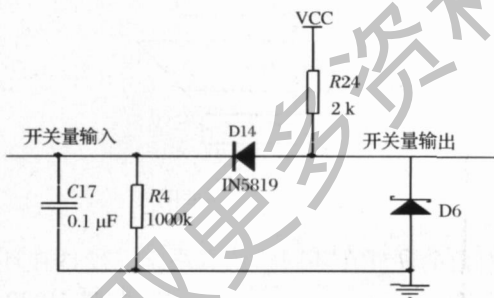


图 5 开关量的输入电路

系统 CAN 总线电路采用 PCA82C250,为 CAN 总线收发器。为匹配总线阻抗,总线的两端分别接有 2 个 120 电阻。物理总线选用了屏蔽双绞线。电路原理图见图 6。

### 3 控制策略

传统 ISG混合动力汽车常采用转矩分离式控制策略<sup>[6-7]</sup>,它用于汽油机混合动力汽车时,因汽油机转速较高,电机与之匹配时低速效率较低,使得控制策略采用低速或 1 挡时不助力,而文中的 ISG 电机使用在废气涡轮增压柴油机上,转速较低,同时因废气涡轮增压器只有在高速或中高速时才能有效增加发动机的进气压力,因而只保证了其高速或中高速时的性能,低速时输出转矩较低,即不能同时兼顾高低速时的性能。文中电机通过结构改进使得电机的低速效率明显改善,同时电机的高效率区覆盖了柴油机的转速范围,所以文中的控制策略将弥补发动机低速输出转矩不足和加速烟度较高的缺陷。ISG 混合动力汽车的控制策略见图 7。

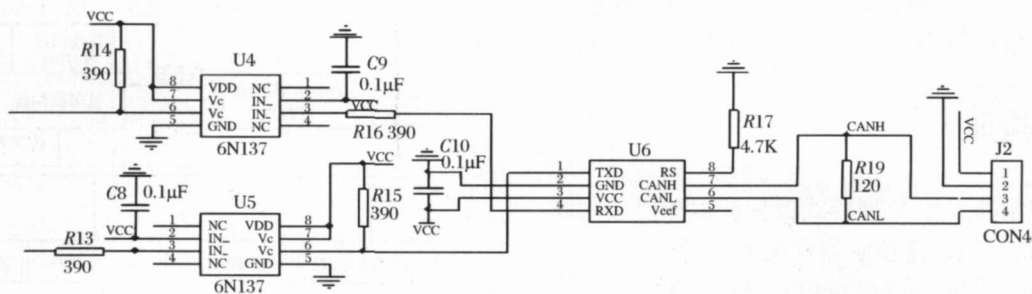


图 6 CAN 总线硬件电路图

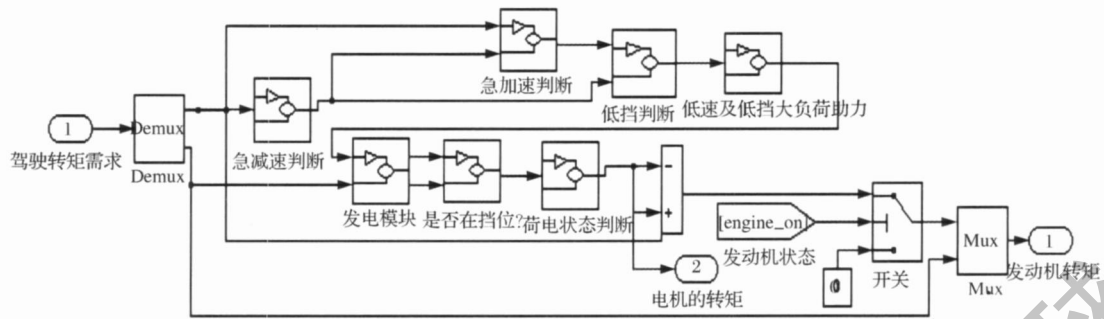


图 7 ISG混合动力汽车的控制策略

ISG混合动力汽车控制策略根据车速和从离合器传递过来的转矩需求,计算出 ISG电机应该输出的辅助转矩,剩余的转矩则由发动机提供。ISG按照以下准则输出转矩:(1)汽车加速时,根据所需转矩和加速度值,ISG辅助发动机工作;(2)当汽车减速制动时,ISG工作在发电机状态,回收一部分制动能量;(3)当汽车行驶速度低于一设定值时,制动过程不再回收能量;(4)汽车行驶在 1挡和低速、油门位置大于设定值时,ISG辅助发动机工作。

文中 ISG混合动力汽车没有纯电动工况,在大多数情况下发动机都工作。只当同时满足以下几个条件时,发动机才关闭:(1)蓄电池 SOC 值小于设定的最低 SOC 值;(2)汽车处于减速或驻车工况;(3)汽车速度低于一个设定值;(4)驾驶员没有进行换挡操作;(5)发动机的冷却系统温度大于设定值。

根据驾驶员选择的汽车运行模式,如经济模式、动力模式等,MCU 自动改变系统输入参数,例如增大电动机提供辅助转矩的最大与最小值等,来适应不同的模式。

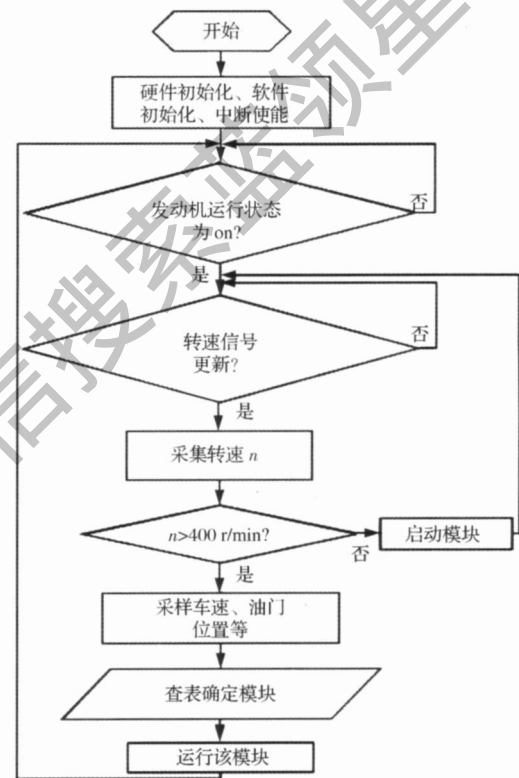


图 8 主程序框图

### 4 程序设计

控制程序采用面向驾驶员的思路,通过驾驶员所做的动作来判断当前驾驶员的操作意图,根据汽车运行状态判断汽车的工况,来查表选择发动机、发电机、起动机所处的模式,再根据控制策略计算电机与发动机的目标转矩。主程序框图如图 8 所示。

### 5 实验验证

文中控制器采用 V 型模式设计流程和模块化设计方法,实验首先搭建控制器样机硬件平台,为便于通过实时硬件系统中运行被控对象的模型,对控制器产品样机进行测试,缩短测试周期和费用,设计了

控制对象的硬件在环回路仿真系统。硬件在环实验原理见图 9。CAN 总线通信<sup>[8]</sup>实验按照 J1939 的协议格式定义通信协议。波特率设置为 250k bit/s,采用扩展帧格式发送数据。各个数据帧标识符见表

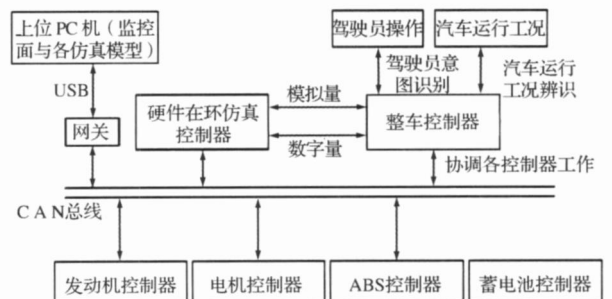


图 9 硬件在环实验原理图

1。CAN总线部分实验结果见表 2。

表 1 各个数据帧标识符

数据帧	扩展帧标识符 (识别码)																															
	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	RTR		
整车发送给电机的数据帧	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	00H				20H				18H				10H																			
电机对整车的检查应答	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	
	COG				18H				10H				18H																			
电池对整车的检查应答	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
	COH				18H				10H				08H																			
整车检查电池请示帧	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
	COH				08H				08H				10H																			
整车检查电机请求帧	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
	COH				08H				18H				10H																			
整车请求电池数据帧	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
	60H				10H				08H				10H																			
电池发送给整车的数据帧	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
	60H				18H				10H				08H																			

表 2 CAN总线部分实验结果

汽车工况	启动开关	制动开关	发动机转速 / r · min <sup>-1</sup>	油门位置 / %	车速 / km · h <sup>-1</sup>	SOC / %	整车控制器 发送的数据		电机控制器 接收的数据		电机工况
起步	闭合	断开	0	0	0	80	03H	0FFH	03H	0FFH	启动
起步	闭合	断开	200	0	0	70	03H	0FFH	03H	0FFH	启动
爬坡	断开	断开	1400	80	21	50	01H	55H	01H	55H	助力
爬坡	断开	断开	1500	90	22	40	01H	4CH	01H	4CH	助力
加速	断开	断开	1500	60	60	50	01H	4CH	01H	4CH	助力
加速	断开	断开	1600	70	50	40	01H	41H	01H	41H	助力

按图 7描述的控制策略,在 JB/T9773.2—1999《柴油机冷启动性能试验方法》要求条件下,发动机均可以启动,且在 0 时,可以满足快速启动功能与发电功能。表用 ISG的废气涡轮增压发动机的外特性见图 10。该控制策略可以弥补发动机低速输出转矩不足和加速烟度较高的缺陷,以及利用发电机吸收制动能量。实验证明了控制器的硬件和底层驱动的设计符合既定的设计要求,能够准确及时地采集输入信号和输出控制信号,可以完成设定的控制策略,具有良好的可靠性。

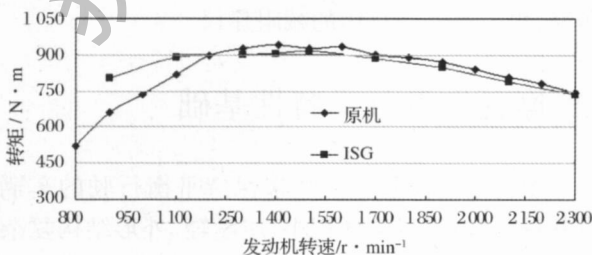


图 10 ISG用于废气涡轮增压发动机的外特性转矩曲线与原机对比图

## 6 结论

文中 ISG混合动力汽车整车控制系统的硬件设计中兼顾功能和可靠性,采用模块化设计方法降低了成本、缩短了研发周期,有利于硬件设计的标准化、系列化,为混合动力系统的开发打下了基础。该控制系统的控制策略设计在本田 insight混合动力汽车的转矩分离控制策略的基础上进行改进,适应了 ISG在增压发动机上的应用,实验证明该改进的策略可以满足系统的设计需要,整车控制器的硬件和底层驱动的设计符合既定的设计要求,能够准确实时地采集输入信号和输出控制信号,可以完成设定的控制策略,具有良好的可靠性。为增加控制系统的可扩展性和可移植性,内核可采用基于 OSEK/VDX协议的实时操作系统,使控制器功能更强大。

(下转第 633页)

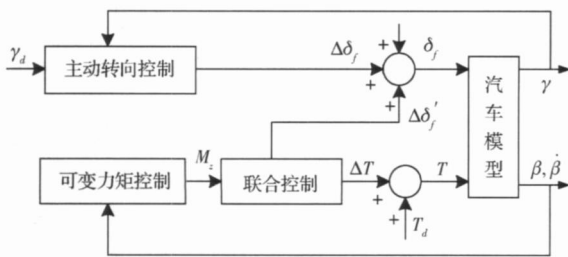


图 11 AFS + VTD控制框图

向发展,保证并提高了车辆的整体性能。

(3)为进一步提高车辆的综合性能,还可在前述的两个子系统进行集成控制的基础上,继续引入主动抗侧倾控制等电子底盘控制系统,形成多个子系统集成控制,实现真正的汽车底盘一体化控制。

### 参考文献

- [1] 赵树恩,李以农,郑玲,等.基于滑模控制理论的车辆横向稳定性控制[J].重庆大学学报(自然科学版),2007,30(8):1-5.
- [2] Koehn Philip, Eckrich Michael. Active Steering-the BMW Approach Towards Moden Steering Technology[C]. SAE Paper 2004-01-1105.
- [3] Takahiro Kojo, Masato Suzumura, Yoshiaki Tsuchiya. Development of Active Front Steering Control System[C]. SAE Paper 2005-01-0404.
- [4] Sanjay Singh. Design of Front Wheel Active Steering for Improved Vehicle Handling and Stability[C]. SAE Paper 2000-01-1619.
- [5] Huh Kunsso, Seo Chanwon, Kim Joonyoung, et al. Active Steering Control Based on the Estimated Tire Forces[C]. Proc of ACC, San Diego, California June 1999: 729-733.
- [6] 高晓杰,余卓平,张立军,等.机械式前轮主动转向系统的原理与应用[J].汽车工程,2006,28(10):918-921.
- [7] NorManiha Ghani, Yahaya Md San. Sliding Mode Control of Active Car Steering with Various Boundary Layer Thickness and Disturbances[C]. IEEE, 2007: 2494-2499.
- [8] Mammars S, Koenig D. Vehicle Handling Improvement by Active Steering[J]. Vehicle System Dynamics, 2002, 38(3): 212-242.
- [9] 陈德玲,殷承良,陈俐.基于状态观测器的主动前轮转向研究[J].中国机械工程,2007,18(24):3019-3023.
- [10] 高晓洁,余卓平,张立军.基于车辆状态识别的AFS与ESP协调控制研究[J].汽车工程,2007,29(4):283-291.
- [11] 王其东,王霞,陈无畏,等.汽车主动前轮转向和防抱死制动协调控制[J].农业机械学报,2008,39(3):2-4,18.
- [12] Motoki Shino, Masao Na. Yaw-Moment Control of Electric Vehicle for Improving Handling and Stability[J]. JSAE Review, 2001, 22(5): 472-480.
- [13] 晏蔚光,毋茂盛,余达太,等.一种基于横摆力矩和主动前轮转向控制的制动稳定性控制方法[J].北京科技大学学报,2005,27(4):505-508.
- [14] He Junjie, Crolla David A, Martin C, et al. Integrated Active Steering and Variable Torque Distribution Control for Improving Vehicle Handling and Stability[C]. SAE Paper 2004-01-1071.

(上接第 605页)

### 参考文献

- [1] Koichi F, Akira F, Masaaki S, et al. Development of the Ultra-low-fuel-consumption Hybrid Car-INSIGHT[J]. JSAE Review, 2001, 22(1): 95-103.
- [2] Phillips A M, Jankovic M, Bailey K E, et al. Vehicle System Controller Design for a Hybrid Electric Vehicle[C]. In Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on the Control Applications, USA, 2000, 9: 297-302.
- [3] 秦大同,舒红,胡建军,等.轻度混合动力汽车性能仿真与动力系统参数匹配研究[J].机械工程学报,2004(2):78-82.
- [4] 张科勋,童毅,李建秋,等.一体式起动发电机系统概述[J].汽车工程,2005,27(3):377-380.
- [5] Wang Zhong, Yuan Yinnan. The Design of 42V Power System in Turbocharged Diesel Engine[C]. IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, 2008, China.
- [6] National Renewable Energy Laboratory. ADVISOR2002 DOCUMENT[S].
- [7] Paganelli, Gino, et al. General Supervisory Control Policy for the Energy Optimization of Charge-sustaining Hybrid Electric Vehicles[J]. JSAE Review, 2001(2): 511-518.
- [8] Recommended Practice for a Serial Control and Communications Vehicle Network[S]. SAE J1939, 2000.