

2006003

混合动力车用汽油机电控节气门系统的开发研究

谢辉,郝明德,周能辉

(天津大学,内燃机国家重点实验室,天津 300072)

[摘要] 为使发动机满足混合动力系统转矩分配控制的需要,针对 TJ376QE电喷汽油机,采用步进电机将其机械节气门改造成电控节气门,利用 MC68376单片机 TPU 模块的步进电机控制功能,实现了电控节气门开度的有效控制。台架联合调试结果表明,所开发的电控节气门系统具有较高的响应速度和控制稳定性,可准确执行主控制器的发动机转矩控制指令。

关键词:电控节气门,汽油机,混合动力汽车

Development of Electrically Controlled Throttle System of Gasoline Engine for Hybrid Electric Vehicle

Xie Hui, Hao Mingde & Zhou Nenghui

Tianjin University, State Key Laboratory of Engine Combustion, Tianjin 300072

[Abstract] The original mechanical throttle of TJ376QE EFI gasoline engine is modified into an electrically controlled throttle with a step motor. Utilizing the step motor control function of TPU module in microprocessor MC68376, the effective control on the opening of throttle is realized. Experiment results show that the electrically controlled throttle developed has high response speed and good control stability, which can implement accurately the engine torque command from main controller.

Keywords: Electrically controlled throttle, Gasoline engine, HEV

1 前言

内燃机-电机混合动力系统,充分利用电机的发电和电动特性,采用合理的转矩分配控制,使车用内燃机能始终处于或接近最佳工况区运行,显著提高能量利用效率,降低油耗和排放。丰田公司全混型(电机可以单独驱动车辆)Prius混合动力汽车百公里油耗比同车型降低50%以上^[1],本田公司轻度混型(电机作为辅助动力)Insight混合动力汽车,百公里油耗比同车型降低30%以上^[2]。混合动力系统潜力的发挥关键在于内燃机和电机转矩之间的协调控制,控制系统需要根据车辆、内燃机、电机、电池以及道路等综合信息,确定工作模式,实时分配电机和内燃机的工作转矩。在混合动力系统中,内燃机的工作负荷已不再由驾驶员加速踏板直接控

制,而是由混合动力系统主控制器根据转矩分配策略来实时调整。因此,传统电喷汽油机用于混合动力系统,必须采用电控节气门。作者在XL轻度混合动力系统开发中,采用TJ376QE电喷汽油机,虽然目前已有成熟电控节气门产品应用于部分中高档轿车,但如果将其直接代替TJ376QE电喷汽油机现有节气门,不仅进气流特性不匹配,而且与发动机的ECU也不匹配,需要重新开发与之相关的控制程序。为此,在XL混合动力轿车动力总成控制系统的开发过程中,提出了一种步进电机驱动TJ376QE原机械节气门的电控节气门方案,不仅不改变节气门的进气流特性,还可充分利用发动机ECU原控制功能(如怠速控制),不必对其作任何修改。电控节气门的软硬件驱动模块ETC集成于开发的混合动力系统主控制器内,控制硬件简单可靠,控制软件几乎不占用主控制器的CPU时间。

原稿收到日期为2004年11月11日,修改稿收到日期为2005年2月28日。

2 XL轻度混合动力系统

XL轻度混合动力系统如图1所示,以 TJ376QE 电喷汽油机为核心,将原汽油机飞轮更换成一个 10kW 永磁直流电机。该电机的转子和发动机曲轴直接相连,定子固定在发动机机体上,电机既可以作为电动机快速启动发动机,也可以作为发电机给锂离子电池组充电。发动机的最大转矩为 $80.9\text{N}\cdot\text{m}$ ($3\,600\text{r}/\text{min}$),最大功率为 41kW ($6\,000\text{r}/\text{min}$)。电机最大转矩为 $50\text{N}\cdot\text{m}$,额定转速为 $2\,000\text{r}/\text{min}$ 。主控制器根据驾驶员的驾驶操作、车辆状态以及从 CAN 总线获得的电机信息和电池信息,确定内燃机和电机的工作模式和工作转矩;通过 CAN 总线向电机控制器发出转矩指令,实现对电机转矩的控制;通过控制电控节气门开度,实现对发动机转矩的控制;通过管理电控喷油器组的功率回路进行启停管理。这种控制结构可以不对原发动机电控系统作任何改动,从而缩短开发周期,节省开发成本。

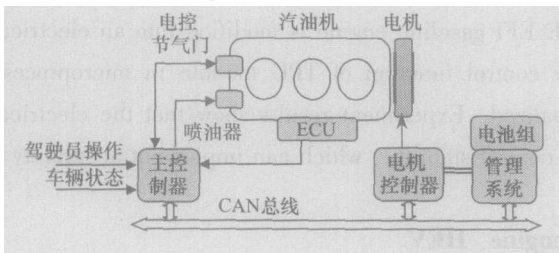


图 1 XL轻度混合动力系统

3 电控节气门系统硬件结构

电控节气门系统是在原机械节气门的基础上,采用步进电机,通过一对齿轮(齿数比为 2:1)传动驱动节气门,如图 2 所示。在节气门轴上增加一个旋转位置传感器 2。步进电机受主控制器中驱动模块 ETC 控制,节气门旋转位置传感器 2 的信号提供给主控制器,主要用于电控节气门的测试和位置校准。位置传感器 1 是原汽油机电喷系统的传感器,为发动机 ECU 提供节气门位置信号。研究中没有直接采用位置传感器 1 的信号,主要是为了避免与发动机电喷系统发生信号交叉,引起不必要的干扰。

电控节气门步进电机的驱动,利用了主控制器单片机 MC68376 中 TPU 模块的步进电机控制功能^[3],该功能可将 TPU 的 4 个连续通道组合成一个步进电机环形脉冲分配器,同时在步进脉冲的产生

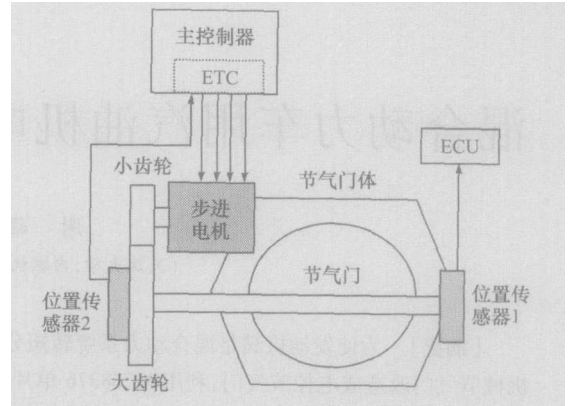


图 2 电控节气门示意图

过程中还提供线性加速或者减速控制能力,具有多达 14 种可编程步进频率。步进电机的步进方向、步数、频率以及加减速度等,均可通过相应的寄存器由 CPU 编程设置。CPU 一旦完成设置,TPU 模块即可独立指挥步进电机按照给定的运动规律转动到指定位置。步进电机控制的步距角为 0.9° ;由于齿轮传动比为 2:1,节气门旋转精度则为 0.45° ;节气门最大转角为 90° ;因此节气门开度控制的分辨率可达到 0.5%,可以满足发动机转矩控制的需要。图 3 为电控节气门的功率驱动电路,功率芯片采用双全桥驱动器 L298,该电路具有过电流保护功能。由于 TPU 具有步进电机控制功能,驱动控制电路大大简化。在主控制器硬件中,电控节气门驱动模块仅占很小的尺寸空间。

4 电控节气门控制程序

电控节气门控制指令由混合动力主控算法的驱动模式控制模块确定^[4],图 4 为控制指令的形成流程。进入驱动模式后,根据加速踏板位置计算驾驶员的转矩需求,然后根据转矩分配 MAP,计算电机转矩以及发动机转矩。由于发动机转矩执行的时间滞后特性,重新补偿电机转矩,并根据电池 SOC 和充放电能力对电机转矩进行限制性修正。其差值再补偿到发动机转矩中,确保总转矩不变。发动机转矩最终确定后,根据存于 FLASH 中的转矩-节气门 MAP 计算节气门开度。转矩-节气门开度 MAP 是一个二维表格,该表格通过发动机台架试验得到。根据发动机转速和所需要的转矩,通过查表运算,即可得到应设定的节气门开度。由该开度值,设置 TPU 模块中的步进位置、步进频率、加/减速度等寄存器,即可完成节气门位置的控制。

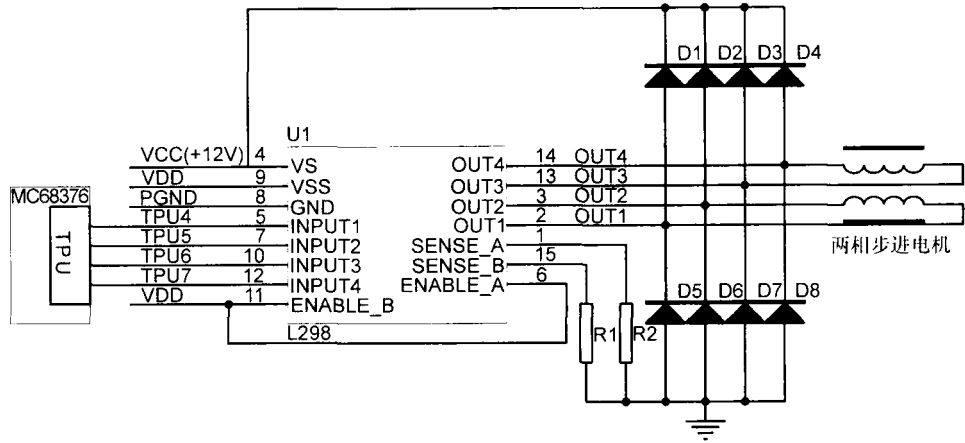


图 3 电控节气门硬件驱动电路

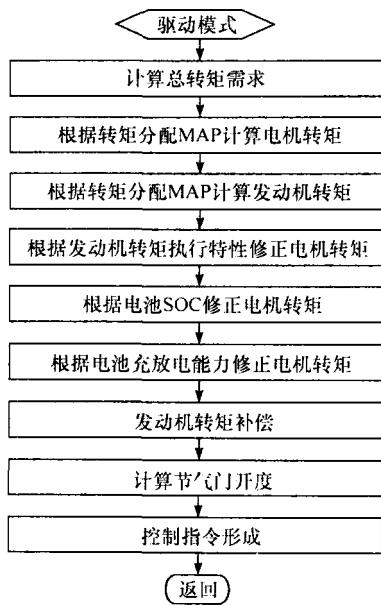


图 4 电控节气门控制指令流程图

在步进脉冲发送完毕后,主控制器调用位置校核和补偿程序,通过采集节气门位置传感器 2 的数据获得节气门的实际执行位置。如果实际位置与设定位置存在偏差但偏差较小,则意味着步进电机出现失步,如果偏差很大,则表明步进电机失步严重。此时主控制器给出位置补偿指令。如果偏差始终很大而且无法弥补,则认定为步进电机失效,给出故障报警,进入相应的保护程序。

节气门位置控制采用的这种开环步进与监测补偿相结合的方法,不需要采用闭环控制 PD 算法,软件实现简单,控制稳定性好。

5 试验效果

在混合动力系统的台架联合调试试验中,对所开发的电控节气门系统控制响应速度和稳定性进行了测试。

图 5 为发动机转速在 1 200r/min 和 3 600r/min 时,节气门指令值和实际执行值的对比。节气门在 0~100% 之间的各个开度下,指令值与执行值均完全重合,体现了很好的控制准确性。图 6 为连续动态驾驶操作过程中电控节气门指令位置和和执行位置之间的比较。可以看出,在节气门指令值剧烈变化过程中,其执行值始终与指令值较好重合。

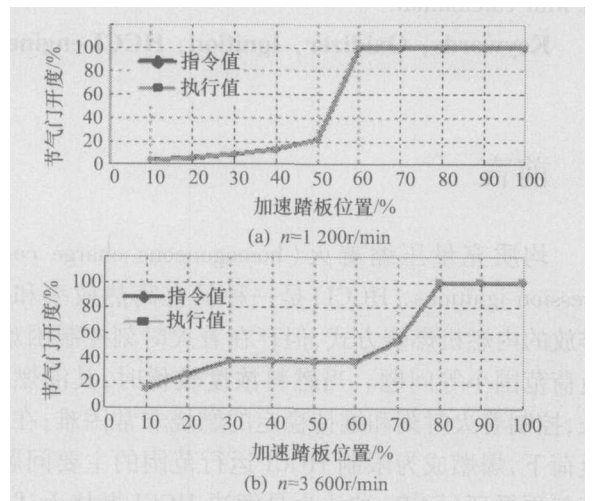


图 5 节气门指令执行情况

图 7 为一组制动操作过程中电控节气门的跟随情况。随着制动踏板的踏下,主控制器发出减少节气门开度指令,节气门位置迅速跟随指令值变化。

(下转第 37 页)

为负),发动机处于待机状态;20s < t < 27s时制动踏板动作,主电机转矩急剧减少(负向增大),系统处于充电制动状态,对制动能量进行回收。t > 27s后,发动机处于待机状态,主电机、副电机转矩为零。

测试结果表明,多能源动力总成控制能够正常运行,实现了预先制定的能量管理策略和系统控制逻辑,满足设计目标要求,因此 HCU 的开发是成功的。

7 结论

通过对某混联式混合动力车的研究,重点讨论了基于规则的稳态能量管理策略在混联式混合动力系统中的应用,并在此基础上利用模块化设计方法设计基于 CAN 的 HCU。通过搭建硬件在环实时仿真系统对 HCU 进行系统性测试,测试结果表明,该 HCU 不仅能定时、准确地混联式混合动力系统中

实施基于规则的稳态能量管理策略,而且通过对整车的实时性系统控制,保证了多能源动力总成控制系统在实施控制策略时的协调和同步性要求。

参考文献

- [1] Hemance David, et al Hybrid Electric Vehicles Take to the Street [J]. IEEE Spectrum, 1999(11).
- [2] 陈洁平,王耀南. 基于 DSP 的能源动力总成控制系统 [J]. 控制工程, 2003, 12(1).
- [3] 梁龙,张欣,等. 并联式混合动力汽车多能源动力总成控制单元的研究与开发 [J]. 高技术通信, 2003, 26(4).
- [4] 赵宏伟,陈鹏,等. 混合动力汽车多能源动力总成嵌入式系统 [J]. 吉林大学学报, 2003, 33(3).
- [5] Brooker Aaron, Hendricks Terry, Johnson Valerie, et al ADV F SOR 3. 1 Documentation [G]. National Renewable Energy Laboratory, 2001.
- [6] 季小尹,符向荣. 混合动力汽车用无刷直流电机驱动系统的关键技术研究 [J]. 机械与电子, 2004(2).

(上接第 19 页)

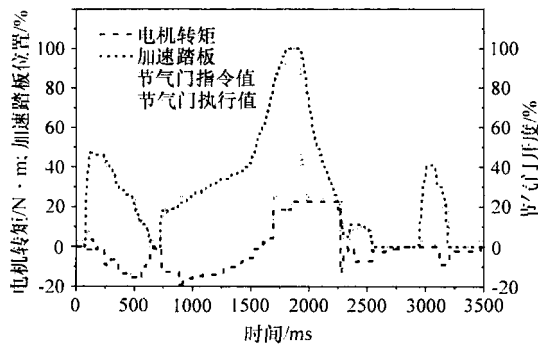


图 6 动态驾驶过程中节气门指令执行情况

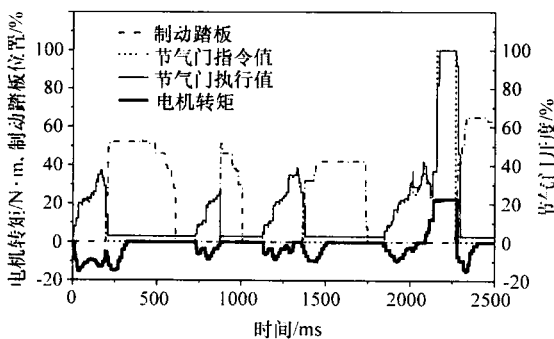


图 7 制动操作过程中电控节气门的动态响应

气门开度的指令。从图中可以看出,电控节气门的执行值与主控制器发出的节气门指令值吻合非常好。

试验表明,电控节气门的控制响应可以满足混

合动力转矩分配控制的实时性要求。

6 结论

(1) 针对 TJ376QE 电喷汽油机,采用步进电机将其机械节气门改造成电控节气门,充分利用 MC68376 单片机 TPU 模块的步进电机控制功能,大大简化了驱动控制电路。

(2) 混合动力主控制器以极小的软件代价,实现了电控节气门开度的有效控制。

(3) 混合动力系统台架联合调试结果表明,所开发的电控节气门系统具有较高的响应速度和控制稳定性,可准确执行主控制器的发动机转矩控制指令。

参考文献

- [1] Kenneth J. Kelly, et al Battery Usage and Thermal Performance of the Toyota Prius and Honda Insight During Chassis Dynamometer Testing [C]. 2002 IEEE
- [2] Koichi Fukuo, Akira Fujimura Development of the Ultra-low-fuel-consumption Hybrid Car-NSIGHT [C], JSAE Review, 2001 (22).
- [3] 齐秋群. Motorola 32 位单片机 [M]. 北京:北京理工大学出版社, 1993.
- [4] 谢辉,宋小武 等. 轻度混合动力系统控制模式分层决策及能量管理策略的研究 [J]. 内燃机学报, 2005, 23(2).