

# 基于 MPC555 的混合动力电动汽车 整车控制器硬件系统设计\*

潘 凯, 张俊智, 甘海云, 李雅博, 朱海涛  
(清华大学, 汽车安全与节能国家重点实验室, 北京 100084)

[摘要] 介绍了一种基于 32 位 MPC555 微控制器的并联式混合动力电动汽车整车控制器(HCU)硬件系统的设计。阐述了几个重要模块的电路原理和系统的电磁兼容性设计方法。给出了利用硬件在环仿真测试和发动机台架试验进行硬件系统功能验证的结果。试验证明,所开发的 HCU 工作可靠、能够实现目标控制功能。

关键词:混合动力电动汽车,动力总成,硬件系统,电磁兼容

## Hardware Design of Vehicle Control Unit for Hybrid Electric Vehicle Based on MPC555

Pan Kai, Zhang Junzhi, Gan Haiyun, Li Yabo & Zhu Haitao

Tsinghua University, State Key Laboratory of Automotive Safety and Energy, Beijing 100084

[Abstract] The hardware design of vehicle control unit for a parallel hybrid electric vehicle based on a 32-bit micro-controller MPC555 is presented. The method of electro-magnetic compatibility design for the system and its major modules is discussed. A hardware-in-the-loop simulation is performed and verified by engine bench test. The results proved that the developed hardware system is reliable and can fulfill the objective control function.

Keywords: Hybrid electric vehicle, Powertrain, Hardware system, Electro-magnetic compatibility

### 1 前言

具有高精度、高速度、高可靠性的混合动力电动汽车整车控制器(HCU, hybrid electric vehicle control unit)是实现 HEV 整车控制的基础。微控制器(MCU, micro-controller unit)作为电控单元(ECU)的核心,其功能日趋复杂化,嵌入式、高精度的高速 MCU 开始得到广泛应用,32 位 MCU 已成为汽车动力系统的发展趋势。Motorola 公司于 1996 年推出的具有 32 位浮点运算内核的 PowerPC500 (MPC500) 系列 MCU,代表了汽车电子的发展趋势,在近几年被广泛应用到了 BMW、Ford、GM 等汽车公司的发动机和动力传输控制系统中。

### 2 并联式 HEV 及其控制系统简介

并联式 HEV 的动力源有两个(图 1):一个是发

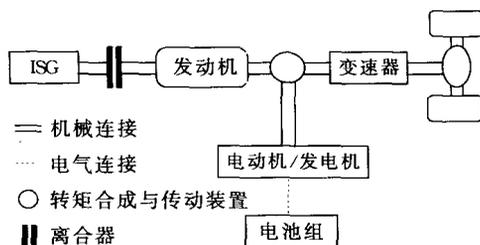


图 1 并联式 HEV 动力总成示意图

动机,另一个是蓄电池和电动机,二者之间通过转矩合成装置相连。根据不同的汽车行驶工况,动力总

\*国家 863 计划电动汽车重大专项资助项目(2003AA501212)。

原稿收到日期为 2003 年 12 月 17 日,修改稿收到日期为 2004 年 3 月 11 日。

成可以采取发动机、电动机单独驱动或联合驱动模式,以获得最佳燃油经济性、减小排气污染。为达到这一目的,需要建立一套高效而可靠的控制系统。如图2所示,并联式HEV控制系统由HCU和各部件ECU组成(包括发动机、电动机、电池、AMT、ABS、动力转向以及智能仪表等各部件的控制系统),各ECU之间通过CAN总线通信。HCU是控制系统的枢纽,它要通过CAN通信或直通方式接收来自不同ECU的信号并按照一定的控制策略发送控制信号,以完成HEV不同工作状态的切换和切换过程的协调控制。

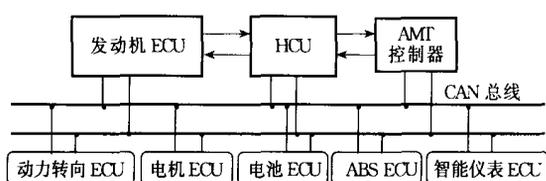


图2 并联式HEV控制系统组成

作者基于MPC555MCU,为并联式HEV设计出了一款HCU。

### 3 HCU硬件系统设计

#### 3.1 设计目标分析

作为硬件设计,首先要满足整车控制的功能性需求;其次要考虑系统的工程化特点,使HCU具有较高可靠性、满足汽车运行环境;第三,系统要具有可调试性,容易发现错误和不足,便于进一步改进。此外,要兼顾系统的标准化和平台化设计,使HCU能够与不同的HEV控制系统兼容。HCU硬件系统应具有以下特点。

(1)功能性 采用32位嵌入式MPC555微控制器,满足运算量大、实时性高的系统程序运行需求;可以处理从传感器接收的各种信号,并能向执行器输出具有足够的驱动能力的各类控制信号;具有电控节气门控制功能和一定的AMT控制能力;具有CAN总线接口,以实现与动力总成不同ECU间的信号共享和控制信号的总线方式传送;具有诊断接口,可以对动力总成进行故障诊断。

(2)工程性 MCU具有高度的灵活性和可靠性,可以在高速移动、苛刻的汽车运行环境下工作;具有较大容量的SRAM,方便程序调试和控制参数的在线标定,满足实时内核对静态随机存储器的容

量要求;具有较强的抗干扰能力,电磁兼容性满足国家及行业标准;控制器温度范围和尺寸满足车用要求。

(3)可调试性 设置BDM调试接口,预留重要信号的测试点,对MCU启动配置和复位操作进行冗余设计。

(4)平台化 电路功能模块化,具有标准连接器接口,支持CAN2.0B通信协议。

#### 3.2 硬件接口的模块化设计

##### 3.2.1 总体方案

HCU是一个多输入多输出的非线性系统,待处理的信号较多、电路结构较为复杂,但是电路功能相对独立、可以清晰地划分为不同的单元,从而实现电路的模块化设计。电路的模块化设计可以降低设计难度、缩短研发周期,同时有利于优化PCB布局、提高系统抗干扰能力,也便于软件的模块化设计。

在功能分析的基础上,将HCU硬件电路划分为以下模块。

(1)电源管理模块 将+12V蓄电池电源转换为+5V和+3.3V,为MCU和各电路模块提供工作电源。

(2)MCU配置模块 MCU正常工作的基本维护电路,包括时钟配置、启动配置、复位以及SRAM扩展等电路。

(3)SCI串行通信模块 符合RS232通信标准,提供软件调试、数据标定的通信接口。

(4)CAN通信模块 符合CAN2.0B通信协议,提供HCU与各ECU间的CAN通信接口以及用于CCP标定系统。

(5)模拟量信号调理电路(AI模块) 接收来自各传感器或ECU的模拟量信号,并进行调理。

(6)输入数字量信号调理电路(DI模块) 接收来自各传感器或ECU的数字量信号,并进行调理。

(7)输入脉冲信号调理电路(PI模块) 接收来自传感器的转速信号,并进行调理。

(8)输出数字量信号隔离与驱动模块(DO模块) 向执行器输出具有一定驱动能力的数字量信号。

(9)节气门H桥驱动模块 H桥驱动电路,输出驱动节气门的PWM信号。

HCU硬件系统总体方案如图3所示<sup>[1]</sup>,由图中可看到各电路模块应用MCU内部资源的情况。

下面详细介绍几个重要电路模块的设计原理。

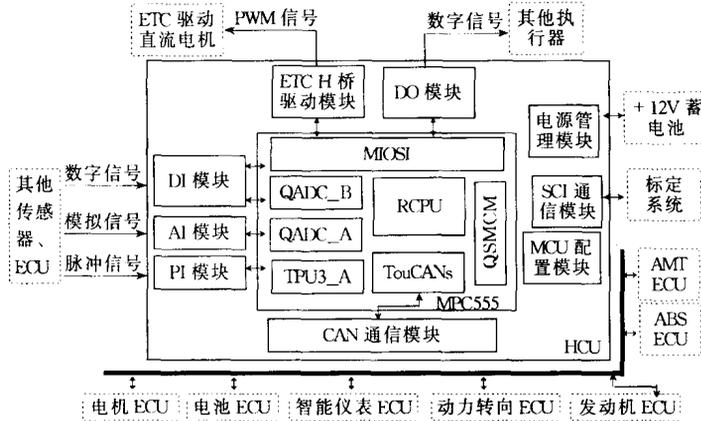


图3 HCU硬件系统总体方案

### 3.2.2 电源管理模块

HCU的工作电压为+5V和+3.3V,而其输入电源为车载+12V蓄电池,电源管理模块要具有电压转换功能;同时,输入电源是噪声的重要来源,电源管理模块要能隔离干扰,保持电压稳定。

电源管理模块电路包括+12V到+5V和+5V到+3.3V两个电压转换电路,两个电路都采用了智能集成电路芯片。其中+12V到+5V电压转换通过一个降压转换器来实现,该芯片的内部结构保证反馈端SENSE具有+2.42V稳定参考电压,选择合适的电阻值就可在输出端VSW得到理想的输出电压。该芯片具有较高的开关频率,可满足高速瞬态响应并具有良好的回路稳定性,能够承受蓄电池较高的电压波动。得到的+5V电压经过一个低功耗三态整流稳压器后得到+3.3V电压。电路中,+12V二极管起反接保护作用,稳压管起稳压作用、可防止输入电压过高,钽电容可有效地滤除电源噪声。

输入电源经过电源管理模块后得到了稳定而可靠的需求电压。

### 3.2.3 CAN通信模块

HEV各控制系统之间依靠CAN总线通信,HCU是其中一个非常重要的节点单元。由于MPC555片内集成了两个CAN2.0B总线控制器模块(TouCAN),所以HCU的CAN通信模块不需要添加片外CAN控制器、电路设计较为简单。

CAN通信接口采用Philips的PCA82C250作为CAN收发器,该芯片适合汽车中的高速应用(高达1M baud),可以对总线提供不同的发送能力和对CAN控制器提供不同的接收能力,它符合CAN2.0标准,完全与“ISO11898”标准兼容。PCA82C250可以承受汽车环境中可能产生的高瞬变电压,具有总线保护瞬变、对电池和地的短路保护、热保护等功

能,抗电磁干扰能力强,是专为汽车电子环境设计的芯片。

为了保护系统电路、提高抗干扰能力,在MCU与CAN收发器之间采用了高速光隔离器件4N25,可以消除CAN总线网络对系统的影响。

### 3.2.4 电控节气门H桥驱动电路

电控节气门的开度控制是HCU要实现的重要功能之一,其控制策略采用文献[2]中研究的方法,由MCU产生两路PWM信号来控制电控节气门的直流驱动电机。MCU直接输出的PWM信号电流仅为几mA,必须通过搭建H桥驱动电路来提高其驱动能力。

该电路主芯片采用了Motorola的MC33186,它是一个H桥驱动集成电路,该芯片具有40V瞬时过电压保护、过热保护、短路保护和欠压禁用等功能,直流电流负载达到5A、工作频率可达20kHz,具有诊断输出功能,能够满足ETC驱动电机大电流、高开关频率的要求。

### 3.3 电磁兼容性设计

在汽车电子环境中,HCU会面临来自多方面的干扰,包括电源噪声、各种功率执行器产生的瞬变脉冲电压、电磁波信号发射等,这对系统的可靠性会产生非常不利的影晌。为了提高控制系统的工作可靠性和耐久性,就必须在硬件系统设计阶段采取相应的措施以提高其抗干扰能力。电磁兼容性已成为汽车电子控制系统设计中越来越得到重视的一个问题。

HCU硬件系统对电磁兼容性做了全面考虑,在不同的设计阶段采取了相应的抗干扰措施<sup>[3,4]</sup>。

(1)设计安全可靠的电源管理模块 智能电源芯片的使用,以及防反接、稳压、电容滤波及解耦等措施可有效抑制外界电磁干扰,提高电源可靠性。

(2) 进行信号调理 通过 RC 滤波、电容滤波、稳压管稳压等电路,对进出 HCU 的 I/O 信号进行滤波及稳压调理,滤除信号噪声。

(3) 集成电路芯片电源解耦 对集成电路,在芯片的电源和地引脚之间并接大容量钽电容和小容量非电解电容,以去除输入电源耦合噪声,减小干扰。

(4) 合理的 PCB 布局和模块隔离 模拟电路、数字电路以及大功率驱动电路等电路模块互相独立并隔离,避免相互干扰;HCU 的 PCB 设计采用 6 层制板工艺,留有独立的电源平面和地平面;并根据不同的电源和地类型将电源平面和地平面进行分割,采用多点接地。

采取以上措施后,HCU 硬件单元获得了良好的抗干扰性能,已经通过符合 GB/T 17619—1998 标准的电磁兼容检测试验。

## 4 硬件系统功能验证

### 4.1 实验室硬件功能测试

首先对 HCU 进行了实验室环境的硬件功能调试,调试内容包括:

- (1) 上电后,电源管理模块电压转换结果;
- (2) 编制简单程序,测试 MCU 启动、复位以及基本运行情况;
- (3) 编制 MCU 的底层驱动程序(包括 AD 模块,TPU3 模块 PWM 功能、频率测量功能,MIOS 模块 PWM 功能、I/O 功能,MGPIO 模块以及 PIT 中断功能),测试各模块的信号质量;
- (4) 利用 Windows 超级终端和 SCI 驱动程序,测试 SCI 串行通信。

调试结果表明:MCU 各个通道可以正常工作,HCU 通过了实验室环境的测试。

### 4.2 硬件在环仿真测试

在 dSPACE 实时硬件平台中建立 HEV 仿真模型,包括:整车动力学模型、各部件及其控制器模型、通信信号处理模型等。利用此硬件在环仿真系统(HILS)对 HCU 进行信号通信测试和控制功能测试,测试过程如图 4 所示。



图 4 HILS 测试示意图

对通信信号的测试结果显示,HEV 仿真模型与

实际 HCU 之间的信号能够正常通信且通信完全符合信号通信协议;对 HCU 的控制功能测试包括纯电机起步、ISG 启动发动机、固定挡位发动机单独驱动、固定挡位混合驱动、行车充电、制动能量回馈和起步急加速等。

测试结果表明:设计的 HCU 硬件系统能够正常工作,具有良好的响应特性,可以完成目标控制功能并实现目标控制策略。

### 4.3 发动机台架试验

在通过实验室环境测试和硬件在环仿真测试之后,HCU 与各部件 ECU(包括发动机 ECU、电机 ECU、电池管理系统、仪表 ECU 等)在发动机台架上实现了整个并联式 HEV 动力总成的联合试验。

试验内容包括:

- (1) ISG 启动发动机试验;
- (2) 蓄电池供电,电动机单独驱动试验;
- (3) 发动机单独驱动,发电机为蓄电池充电试验;
- (4) 发动机单独驱动,ISG 对蓄电池充电试验;
- (5) 电机单独驱动,发动机驱动 ISG 对蓄电池充电试验;
- (6) 发动机和电机联合驱动试验;
- (7) 制动能量回收试验。

试验结果表明:HCU 与各部件 ECU 之间可以实现正常的 CAN 通信;HCU 能够实现对电控节气门的控制;HCU 响应速度快、实时性强,可以较好地实现动力总成控制策略以及控制参数的标定。

另外,在发动机台架试验中,电机、蓄电池和配电系统运行时的强电高达 300~400V,电池充放电过程中产生的交变电流也有数十安培,HCU 能够在这样恶劣的电磁环境中长期稳定地运行,说明它具有良好的电磁兼容性。

## 5 结论

具有高性能、高可靠性的 HCU 是实现 HEV 控制的基本保障。文中的硬件设计兼顾功能性和工程性,HCU 具有良好的电磁兼容性;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 HCU 的平台化设计打下了基础;HILS 测试和台架试验表明 HCU 硬件系统满足混合动力系统要求,并为实车试验做好了前期准备。

(下转第 27 页)

下的车速对比。图6为制动距离比较,图7、图8分别为车辆加速度比较与加速度变化率比较。

由图5、图6可见,在能量回馈辅助制动力矩的作用下,制动时间减少了17%,制动距离缩短了22%。

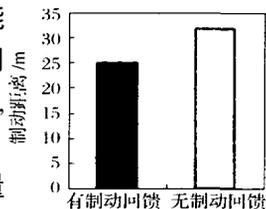


图6 制动距离比较

从图7、图8可见,能量回馈辅助制动力矩作用后,

车辆加速度及其变化率的变化过程均与原车制动系统(即无制动能量回馈)相似,说明两者的制动感觉、驾驶柔顺性相近,车速不会出现突变(图5),采用图2控制策略,制动能量回馈力矩的加入没有影响制动过程的柔顺性。

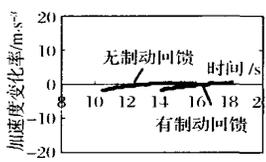
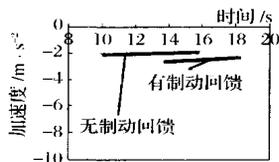


图7 加速度变化趋势

图8 加速度变化率的趋势

图9是能量回馈控制对蓄电池能量消耗的比较。试验在采用能量回馈策略前后,样车分别按欧洲城市循环ECE-EUDC工况连续运行3个循环,试验前蓄电池的SOC均为100%。可见,采用能

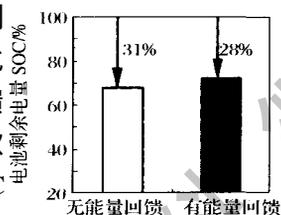


图9 工况循环后电池电量

量回馈控制策略,可使蓄电池SOC少消耗3%,蓄电池能量消耗可相对减少10%,证明能量回馈的控制是成功而有效的。

## 6 结论

(1)文中设计了基于常规汽车制动系统的能量回馈控制方式,该方式已成功地运用于国家科技部“863”计划中开发的纯电动轿车上。

(2)实车试验证明,提出的能量回馈控制策略是成功且安全可靠的,车辆驾驶柔顺性较好。

(3)利用能量回馈技术,纯电动轿车按城市循环工况运行,能有效延长车辆一次充电的续驶里程。

## 参考文献

- 1 宋小庆,等. 电动装甲车无刷直流电机驱动系统的再生制动. 微电机, 2001, 34(1)
- 2 Cikanek S R, Bailey K E. Regenerative Braking System for a Hybrid Vehicle. Proceedings of the American Control Conference Anchorage, AK May 8-10, 2002
- 3 Panagiotidis M, et al. Development and Use of a Regenerative Braking Model for a Parallel Hybrid Electric Vehicle. Paper 2000-01-0995
- 4 Paterson John, Ramsay Mike. Electric Vehicle Braking by Fuzzy Logic Control. IAS Annual Meeting, Manufacturing Systems Development and Applications, 1993

(上接第23页)

## 参考文献

- 1 Motorola, Inc. Motorola. MPC555/565 User's Manual. Motorola Literature Distribution, 2000
- 2 李雅博. 发动机电控节气门控制器的研发. 公路交通科技, 2004,

(上接第46页)

## 参考文献

- 1 Yang J K. Injury Biomechanics in Car-Pedestrian Collisions: Development, Validation and Application of Human-Body Mathematical Models. Thesis for the Degree of Doctor of Philosophy. Department of Injury Prevention Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, 1997
- 2 王正国. 我国2001年的交通事故. 中华创伤杂志, 2003, 19(11)
- 3 王正国. 道路交通事故研究拾零. 中华创伤杂志, 2003, 19(9)

(3)

- 3 Stevan D. EMC Guidelines for MPC500-Based Automotive Powertrain Systems. Motorola Semiconductor Application Note, AN2127, 2001
- 4 王幸之, 王雷, 翟成, 等. 单片机应用系统抗干扰技术. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2001

- 4 AAAM(1990). Abbreviated Injury Scale-1990 Revision. Association for the Advancement of Automotive Medicine, Des Plaines, IL, USA.
- 5 Allsop D L, Perl D R & Warner C Y. Force/Deflection and Fracture Characteristics of the Temporo-Parietal Region of the Human Head. In: Proc of the 35th Stapp Car Crash Conference. USA: SAE, Warrendale, PA, 1991.
- 6 Viano. Brain Injury Biomechanics in Closed-Head Impact: Study on Injury Epidemiology, Tolerance Criteria, Biomechanics and Traffic Injury Prevention. Stockholm, Sweden: Karolinska Institute, 1997.