

并联式混合动力汽车模糊逻辑控制策略的研究

蒋洪平, 过 磊

(无锡机电高等职业技术学校, 江苏 无锡 214028)

摘 要:针对并联式混合动力汽车,设计了一种模糊逻辑驱动控制策略,算法简单实用,通过 ADVISOR 软件验证了控制策略的可行性;结合 CAN 网络特点,完成了硬件电路设计,通过调试能正常工作,达到了设计预期。

关键词:并联式混合动力汽车;模糊逻辑控制策略;CAN 总线

中图分类号:U469.7

文献标识码:A

文章编号:1672-545X(2013)11-0007-03

近年来,迫于能源危机与环境保护两大压力,电动汽车在全球范围内得到了大力发展,但由于电池技术的瓶颈,纯电动和燃料电池电动汽车技术发展相对缓慢,混合动力汽车发展势态迅猛,市场化进程很快。与传统汽车相比,并联式混合动力汽车发动机常常工作在最佳工况下,提高了效率,降低了排放,而能量制动回收,又改善了整车的能量利用效率,在某些路况下还能采用纯电动模式,实现特定区域零排放。模糊逻辑控制策略不依赖精确的数学模型,能很好的解决非线性复杂问题,因此特别适用于并联式混合动力电动汽车。

本文针对并联式混合动力汽车双动力源(发动机和电动机)能源分配问题进行研究,引入模糊逻辑控制算法,意在保证发动机最高燃油效率的前提下,实现蓄电池充放电平衡,以期解决混合动力汽车实时驱动力优化分配问题。

1 并联式混合动力汽车控制策略的确定

1.1 控制策略任务

并联式混合动力汽车有双动力源,根据路况整车所需驱动扭矩 T_{req} 分别由发动机输出扭矩 T_{ice} 和电动机输出扭矩 T_{mot} 复合而成,如图 1 所示。但是 T_{ice} 和 T_{mot} 之间相互独立,控制策略核心任务就是要在一定目标前提下,合理分配发动机和电动机各自承担转矩。

1.2 控制策略重点

混合动力汽车有双动力源,控制策略首要问题

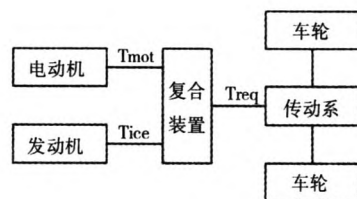


图 1 并联式混合动力汽车动力复合示意图

是决定哪个动力源占优,混合度(Degree of Hybridization,简称 DOH)可以量化发动机和电动机输出功率比例,帮助设计者决定控制重点,计算公式如式(1)所示^[1]。

$$DOH = \frac{|P_{max,ICE} - P_{max,EM}|}{P_{max,ICE} + P_{max,EM}} \quad (1)$$

式中,

$P_{max,ICE}$ 为发动机最大功率;

$P_{max,MOT}$ 为电动机最大功率。

混合度是一个重要的参数,取值在 0 和 1 之间,表示两个动力源的最大功率输出的比值。当 DOH 在发动机一侧并且值小于 0.48 时,控制策略重点应放在优化发动机的性能上,因为发动机的性能对于整车的影响更大,如图 2 所示。

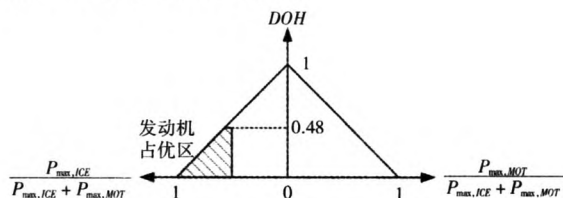


图 2 混合度(DOH)示意图

混合动力样车 $P_{max,ICE}$ 为 41 kW, $P_{max,MOT}$ 为 25 kW, 根据式(1)计算得混合度(DOH)值约为 0.24,处于图

收稿日期:2013-08-06

作者简介:蒋洪平(1969—),男,江苏宜兴人,副教授,工学硕士,研究方向:数控技术、CAD/CAM、结构动态分析与优化,职业技术教育;过 磊(1980—),男,江苏无锡人,无锡机电高等职业技术学校,机电工程系,专业课教师,讲师,工学硕士,研究方向:机电一体化技术与教育教学研究。

2 中发动机占优区,故控制策略重点应放在优化发动机性能上,通过电动机来调整发动机的工作点,使其尽量工作在效率高,油耗小的区域。另外,样车所选发动机属于最有效率点出现在接近全负荷的类型,适合采用最高燃油效率模式。

1.3 控制策略选择

目前用于并联式混合动力汽车的控制策略一般有并联电辅助驱动式、并联自适应式(有时也称实时控制策略)和模糊逻辑控制三种。并联电辅助驱动式控制最简单,控制策略即一条条“硬”规则,针对性强但不可移植,缺乏系统性;并联自适应式控制较为复杂,能根据车辆状态实时调整控制策略,但对系统可靠性要求高,控制系统庞大而难于实现;模糊逻辑控制策略是基于规则的即时控制策略,它不依赖系统精确的数学模型,大大增加了控制的自由度,有很强的鲁棒性,能很好解决非线性复杂问题,修改规则库能适应不同的车辆系统,特别适用于并联式混合动力汽车。

2 并联式混合动力汽车模糊逻辑控制策略的设计

2.1 总体方案设计

模糊逻辑控制策略设计目标:在保证发动机最高燃油效率的前提下,实现蓄电池充放电平衡。设计采用 Takagi-Sugeno(高木—关野)型模糊推理系统,和标准模糊系统模型不同的是这类模糊逻辑系统采用了将模糊推理与去模糊化结合的运算操作,其输出为精确量。优点是输出量可用输入量的线性组合来表示,因而能够利用参数估计方法来确定系统的参数;同时,可以应用线性控制系统的分析方法来近似分析和设计模糊逻辑系统^[2]。

模糊逻辑控制系统由两个输入参数:

- (1) 道路请求转矩(T_{req})与发动机优化目标转矩(T_{arg})的差值 ΔT ;
 - (2) 电池荷电状态(State Of Charge,简称 SOC)。
- 一个输出参数 K , K 与 T_{arg} 相乘得混合动力汽车发动机实际承担转矩 T_{ice} ,而需求转矩 T_{req} 与 T_{ice} 的差值为电动机实际承担转矩 T_{mot} ,系统原理如图 3 所示。

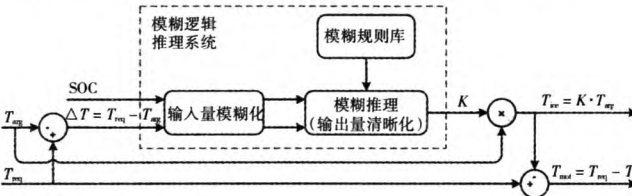


图 3 模糊逻辑控制策略总体方案示意图

2.2 模糊逻辑控制器设计

一个模糊推理系统由输入、输出语言变量及其隶属度函数、模糊规则、模糊推理机和去模糊化方法等各部分组成。隶属函数式是对模糊概念的定量描述,一般是根据经验或统计进行确定,也可由专家、权威给出。模糊语言值的名称通常具有一定的含义,每个语言值都对应一个隶属度函数。

模糊逻辑推理系统输入量 ΔT 描述 {NB(Negative Big, 负大)、NS(Negatives Small, 负小)、ZE(Zero, 零)、PS(Positive Small, 正小)、PB(Positive Big, 正大)};SOC 描述 {LM(Low More, 过低)、LL(Low Little, 偏低)、MD(Medium, 适中)、HL(High Little, 偏高)、HM(High More, 过高)}。隶属度函数分别如图 4、图 5 所示。输出参数 K 值{0,0.75,0.8,0.85,0.9,1,1.05,1.1,1.2,1.25}。

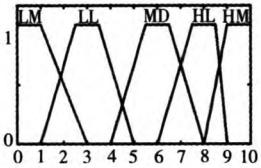
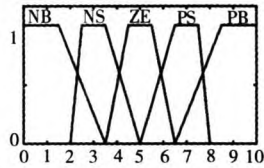


图 4 ΔT 隶属度函数示意图 图 5 SOC 隶属度函数示意图

规则库见表 1(部分),由若干“IF-THEN”规则构成,设计中建立规则库的原则是在保证发动机转矩工作在最高燃油效率区域条件下,尽量使电池充放电平衡。如 IF ΔT “NB”,且 SOC“LM”,THEN K 为“1”,发动机工作在目标转矩,多出来的转矩用来给电池充电;IF ΔT “NB”,且 SOC“HM”时,则 K 为“0”,此时关闭发动机,只有电动机提供驱动转矩。模糊推理系统中“与”运算采用极小运算,“或”运算采用极大运算,模糊蕴含采用极小运算,去模糊化采用均值运算。

表 1 模糊逻辑规则库列表(部分)

If(ΔT is NB)and(SOC is LM)	Then K is 1
If(ΔT is NB)and(SOC is LL)	Then K is 0.9
If(ΔT is NB)and(SOC is MD)	Then K is 0.8
If(ΔT is NB)and(SOC is HL)	Then K is 0.75
If(ΔT is NB)and(SOC is HM)	Then K is 0
If(ΔT is NS)and(SOC is LM)	Then K is 1.05
If(ΔT is NS)and(SOC is LL)	Then K is 1
If(ΔT is NS)and(SOC is MD)	Then K is 0.9

3 并联式混合动力汽车模糊逻辑控制策略的仿真

3.1 模糊逻辑控制策略仿真

混合动力汽车仿真参数主要有:整车质量 1 800 kg,风阻系数 0.335,迎风面积 2.1 m²;发动机采用电喷汽油机,排量 1.0 L,功率 41 kW;电动机采用交流感应电机,峰值功率为 25 kW,额定电压 144 V,额定效率 0.9;蓄电池系统由 25 块铅酸电池组成,容量为

18 Ah, 质量为 167 kg^[3]。仿真采用美国再生能源实验室(National Renewable Energy Laboratory)开发的 AD-VISOR (ADvanced VehIcle SimulatOR, 高级车辆仿真器)平台, 欧洲城市道路循环 EUDC, 总行程 10.93 km, 时间 1 225 s, 最大速度 120 km/h, 行驶期间共计 3 次停车, 如图 6 所示。仿真结果分别见图 7 发动机实际输出转速, 图 8 电动机实际输出扭矩和图 9 蓄电池 SOC 变化。

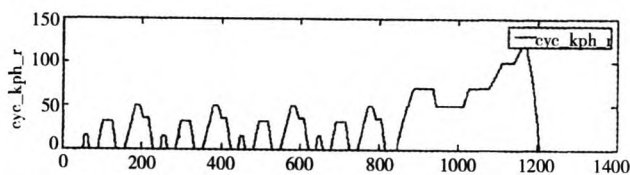


图 6 EUDC 城市道路循环

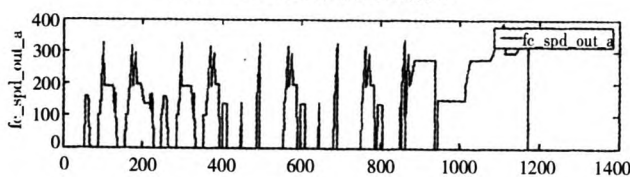


图 7 发动机实际输出转速

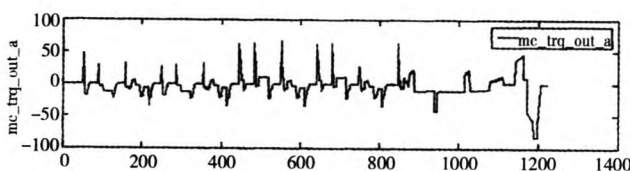


图 8 电动机实际输出扭矩

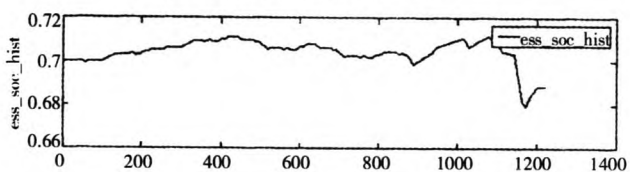


图 9 蓄电池 SOC 变化

3.2 仿真结果分析

图 7 是发动机转速, 从仿真结果可以观察到在道路循环的停车期间, 发动机处于关闭状态, 以降低油耗。图 8 为电动机输出扭矩, 可以观察到汽车加速时, 电动机提供辅助驱动, 减速、停车时, 电动机回收制动。图 9 是蓄电池 SOC 值动态变化过程, SOC 初始值为 0.7, 最大值为 0.711 7, 最小值为 0.679 8, 波动范围在 0.031 9 之间, 可见变化不大, 对电池有利, 另外 SOC 值由原来的 0.7 变化至 0.688 67, 基本实现了电池在循环前后的充放电平衡。

4 并联式混合动力汽车模糊逻辑控制策略的实现

4.1 CAN 总线技术

我国“863 计划”关于电动车发展规划中也已明

确规定: 新申报的电动车开发项目必须采用基于 CAN 总线的整车通讯控制系统^[4]。混合动力汽车利用 CAN 总线可以便捷的将分布于汽车不同部分的电子控制单元(Electronic Control Unit, 简称 ECU)连接起来组成网络, 每个 ECU 可以不断的向 CAN 总线上发送数据, 也可以从 CAN 总线上获得所需要的数据。本文设计的模糊逻辑控制系统就为 CAN 总线上的一个 ECU, 通过 CAN 总线采集发动机和蓄电池数据, 作为控制系统两个输入 ΔT 和 SOC, 内部计算处理后再通过总线分别向发动机和电动机 ECU 发送控制结果 T_{ice} 和 T_{mot} 。

4.2 硬件电路设计

模糊逻辑控制系统作为一个单独的节点挂在 CAN 总线上, 硬件电路的设计主要是 CAN 通信控制器与微处理器之间以及 CAN 总线收发器与物理总线之间的接口电路的设计, 系统硬件框图如图 10 所示。

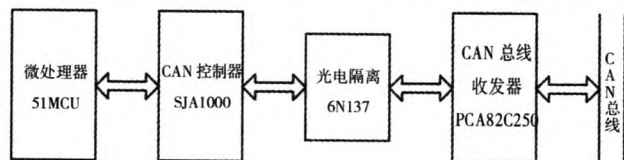


图 10 模糊逻辑控制系统硬件电路框图

硬件系统采用 8 位 51 系列微处理器, CAN 通信控制器是 CAN 总线接口电路的核心, 采用 PHILIPS 公司 SJA1000 芯片, 硬件默认模式是 BasicCAN, 与微处理器的接口简单, 微处理器以访问外部存储器方式来访问 SJA1000。PCA82C250 是 PHILIPS 公司生产的 CAN 总线收发器, 它是 CAN 控制器和物理总线间的接口, 具备对总线的差动发送和接收能力。为了提高系统抗干扰能力, 在控制器 SJA1000 和收发器 PCA82C250 之间增加了由高速光电隔离器件 6N137 构成的隔离电路。

5 结束语

驱动控制策略是并联式混合动力汽车核心组成部分, 本文设计了一种基于模糊逻辑控制的驱动控制策略, 通过仿真验证了算法的可行性, 结合 CAN 网络特点, 完成了硬件电路设计, 并在实验室通过了调试, 已能正常工作, 基本达到了设计预期。设计中也发现了一些不尽完善之处, 有待进一步研究:

(1) 本文设计的模糊逻辑控制策略虽然原理清晰、易于实现但还是个开环系统, 精度不高;

(2) 模糊逻辑控制策略目标是在控制发动机最高燃油效率前提下, 实现蓄电池充放电平衡, 未对车辆排放有所考虑。

(下转第 13 页)

结论表明,应用有限元分析方法获得的精度较高,这对单一型变幅杆和组合型变幅杆的设计和研

参考文献:

[1] 林仲茂. 超声波变幅杆的原理和设计[M]. 北京: 北京科学出版社, 1987.

[2] 曹凤国. 超声加工技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.

[3] 黄霞春, 李玉平, 周里群. 超声波变幅杆的参量计算[J]. 装备制造技术, 2007(10): 38-40.

[4] 黄霞春. 超声变幅杆的参数计算及有限元分析[D]. 湘潭: 湘潭大学, 2007.

[5] 刘凯欣, 高凌天. 离散元法研究的评述[J]. 力学进展, 2003(4): 483-490.

Model Analysis and Harmonious Response Analysis of Ultrasonic Amplitude Amplifier Pole

HUANG Xia-chun, YANG Yi-mei, ZHAO Qi

(Hunan Vocational Institute of Technology, Xiangtan Hunan 411104, China)

Abstract: Model analysis and harmonic response analysis were made by finite element analysis for four horns. The dynamic performance of the amplitude in ultrasonic machining was researched. The intrinsic frequency of it was found. Some important characteristic parameters such as resonance frequency vibration mode and magnifying factor are obtained. The comparison with the results in theory shows the modal analysis has obtained accurate results, which have a reference value for designing and studying of the amplitude of engineering practice.

Key words: ultrasonic horns; finite element; model analysis; harmonic response analysis

(上接第 9 页)

参考文献:

[1] Bernd M. Baumann, et al. Mechatronic Design and Control of Hybrid Electric Vehicles[J]. IEEE/ASME TRANSACTION ON MECHATRONICS, 2000, 5(1): 58-72.

[2] 李国勇. 智能控制及其 MATLAB 实现[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.

出版社, 2005.

[3] 过 磊. 混合动力电动汽车驱动控制策略与能量控制系统研究[D]. 南宁: 广西大学硕士学位论文, 2006.

[4] 李雅博, 张俊智, 卢青春. 混合动力电动汽车车上 CAN 网络设计实时性分析[J]. 汽车工程, 2005, 27(1): 16-19.

Study on Fuzzy Logic Control Strategy of Parallel Hybrid Electric Vehicle

JIANG Hong-ping, GUO Lei

(Wuxi Machinery and Electron Higher Professional and Technical School, Wuxi Jiangsu 214028, China)

Abstract: For parallel hybrid electric vehicle, this paper designs a fuzzy logical drive control strategy, which is simple and practical, and verified the feasibility through the ADVISOR software. Combined with characteristics of the CAN network, the hardware circuit is designed, which is debugged in the laboratory and already can be worked normally. The paper is summarized and suggested at last, and hopes to be companies using for reference.

Key words: parallel hybrid electric vehicle (PHEV); fuzzy logic control strategy; CAN bus