

文章编号:1000-582X(2002)09-0059-04

混合动力车及其电气驱动系统*

杜雪飞, 孙跃

(重庆大学自动化学院, 重庆 400044)

摘要:混合动力车是电动车和传统汽车相结合的产物,具有减少废气排放、降低油耗等优点,是21世纪汽车工业发展的新方向。介绍了混合动力车的相关情况,讨论了混合动力车动力系统的基本框架、电气驱动的基本类型以及它们的特点和国内外发展现状,分析了决定混合动力车驱动性能和控制性能的部分关键技术。

关键词:电动车;混合动力;电气驱动

中图分类号:U469.72

文献标识码:A

1 电动车与混合动力车

电动车(EV),是指从能量存储系统(如蓄电池)中获取电能,用电动机驱动的汽车。早在1881年,法国巴黎就出现了第一台电动车。经过一兴一衰,电动车现在成为汽车工业的新增长点。它具有零排放、低噪声、高效率、维护简单和节约能源等优点,是解决当今汽车工业全球性两大突出难题——能源危机和环境污染的重要途径。但电动车价格贵、续驶里程短、充电站配置滞后和充电时间过长,特别是电池开发的滞后性等原因,使得电动车的普及在短期内无法实现。

混合动力车(HEV),是指在一辆汽车中同时采用了电动机和燃油(汽)发动机作为其动力装置的汽车。为提高电动车续驶里程和降低汽车排放,产生了混合动力车。混合动力车结合了电动车和传统汽车的优点:废气排放减少70%,油耗降低25%~50%;行驶距离和传统汽车一样;价格低于电动车。

自从1997年日本推出Prius起,混合动力车在发达国家就开始进入实用阶段。

本田从2001年底在日本推出油电混合型“思域(Civic)”。Civic是在微型轿车“思域 Ferrio”的车体中配备油电混合系统“新IMA(综合电动机辅助)系统”而成的。据介绍,思域的燃效为29.5 km/L,超过了Prius的29 km/L。通过减少蓄电池组的厚度,Civic与Insight相比体积减小了42%,重量由86.3 kg降低到了55.0 kg。

福特的爱仕(Escape) HEV概念车在2001年北美国

际车展上亮相。爱仕 HEV 的动力系统采用 65 kW 永磁电动机配 28 kW 发电机加 Zetec 四缸发动机的艾金森循环发动机,性能却与配备 V6 发动机的 Escape 车不相上下,用一箱汽油能够行驶 800 km 以上,且能够满足加利福尼亚排放标准中对超低排放车辆(SULEV)的要求和欧洲 2005 年生效的第四级排放要求。

“九五”结束后,我国电动车的电池、电机和电控系统三大关键技术,开始进入以产业化为目标的电动车整车开发阶段。清华大学与厦门金龙联合汽车公司合作研制的串联式混合电动客车参加了1999年北京第16届国际电动车会议暨展览会,表明我国HEV研究进入实质性阶段^[1]。在2001年第三届北京国际电动车、清洁汽车及环保技术交流展览会上,一汽集团展示了红旗牌混合动力车。据介绍,国家对“十五”电动车重大专项总投资将达到9亿元人民币,这将对混合动力车的发展起到巨大的推动作用,可望在2006年实现其产业化。

2 HEV 的动力系统

混合动力车将两种或更多的能量转换技术(如发动机、发电机、电动机)和一种或多种能量存储技术(如燃料、电池、飞轮)集合于一体。它采取两种动力装置混合驱动,一种是传统的内燃机,另一种是电动机。通过二者之间的优化耦合,充分发挥内燃机车和电动车的优点,实现低排放和提高燃油经济,并可以达到与燃油汽车相同的行驶里程、乘坐舒适和具有便利的燃料

* 收稿日期:2002-05-20

作者简介:杜雪飞(1977-),男,重庆人,重庆大学硕士研究生。主要从事电动车电气驱动的研究。

补充方式。根据驱动系统的配置和组合方式,可将其分为以下 3 类。

2.1 串联式混合动力系统

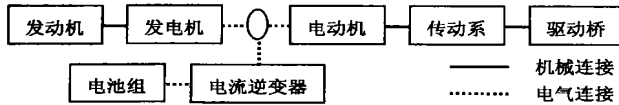


图 1 串联式混合动力系统

串联式 HEV 采用的是电动机直接驱动车轮的驱动方式,电动机的电能来自于蓄电池组和发电机。发动机作为发电机的动力来源,直接驱动发电机产生电能,为电动机供电和对蓄电池充电。小负荷时,由电池单独为电动机供能;大负荷时,则由发动机带动发电机为电动机供电。当汽车处于启动、加速、爬坡等工况时,发动机-发电机和电池组共同向电动机提供电能;当电动车处于低速、滑行、怠速等工况时,则由电池组驱动电动机,由发动机-发电机组向电池组充电。发电机和电动机之间采用柔性连接^[2](即为电气连接,而非机械连接),使发动机不受汽车行驶工况的影响,工作在最高效率和较低排放状态,故可选用功率较小的发动机。串联式 HEV 结构简单,对控制技术要求不高,适合于市内低速运行。不足之处在于:能量传递为机械能—电能—机械能,效率较低。

2.2 并联式混合动力系统

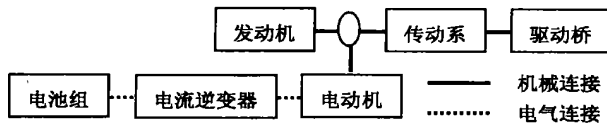


图 2 并联式混合动力系统

并联式 HEV 的发动机和电动机以机械能叠加的方式实现驱动,发动机与电动机分属两套系统,既可共同驱动又可单独驱动。发动机发出的机械能可直接传到驱动桥驱动汽车,电动机也可产生驱动力矩来驱动汽车。这里的电动机既可以作电动机又可以作发电机使用,称为电动-发电机组。即汽车处于制动状态时,电动机作为发电机使用;而在其余状态下,其仍作为电动机使用。发动机与后续驱动系统直接连接,能源利用率较高。并联式 HEV 适合于高速公路上稳定行驶的工况。相比串联式 HEV,结构相对复杂,不需要发电机,实现形式较多,控制技术、结构设计及制造要求高。

2.3 混联式混合动力系统

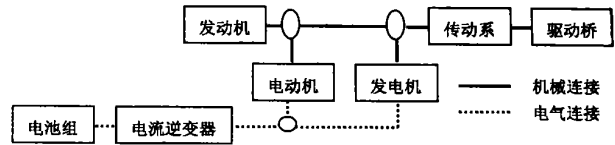


图 3 混联式混合动力系统

混联式是串联式和并联式动力系统的综合。通过计算机实时控制工作过程,实现发动机和电动机的优化耦合,在结构上保证系统可工作于更复杂的工况下,克服了串联式的能量损失和并联式的热机工作点优化问题。但系统更为复杂,对动力复合装置要求更高。混联式混合动力系统的控制策略是:汽车低速行驶时,驱动系统以串联工作方式为主;汽车高速稳定行驶时,驱动系统以并联工作方式为主^[1]。

3 HEV 的电气驱动方案

HEV 中的电机驱动系统应具有较高的转矩/惯量比,尽可能宽广的高效率区以及良好的转矩转速特性,正在向大功率、高转速、高效率和小型化方向发展^[3]。目前和未来可选取的电气驱动方案有以下几种:

交流感应电机驱动系统是 90 年代发展起来的,有结构简单、制造容易、价格低和坚固耐用等特点,适用于混合电动车。其控制可采用磁场定向矢量控制和直接转矩控制。磁场定向矢量控制具有类似直流电机的优良特性;但控制技术复杂,控制器成本较高,电机参数变化影响较大。直接转矩控制直接在电动机定子坐标上计算磁链的模和转矩的大小,直接控制电机电压以达到电机系统的高性能。其系统结构简单,动、静性能优良。有一些改进方法,如矢量控制离线式效率最佳化的方案等。

开关磁阻电机调速范围广、转矩惯量比较高,但由于转矩脉动及噪声过大和严重的非线性等特点,在混合电动车中极少应用。通过采用一些现代控制技术,如香港大学提出了模糊滑模控制(FSMC)来实现对开关磁阻电机的控制,沈阳建筑工程学院提出基于神经网络的新型期望转矩控制法等,来改善开关磁阻电机的控制及运行性能,作为电动车的电气驱动还是一个可选方案。

永磁无刷电动机在电动车中获得了最广泛应用^[4],可分为二类:一类是方波驱动的无刷直流电动机系统(BDCM),另一类是永磁同步电动机系统(PMSM),也称正弦波驱动的无刷直流电动机系统。永磁无刷电动机系统具有体积小、重量轻、效率高和控制灵活;但

磁钢价格高,过载能力受控制器限制,可靠性和使用寿命等比感应交流电机驱动系统差。

针对电动车和混合电动车的电气驱动最优控制问题,世界各国进行了大量的研究,出现了一些现代控制技术,如自适应控制(MRAC)、自调整控制(STC)、变结构控制(SVC)、模糊控制(Fuzzy)、神经网络控制(Neural Networks)和专家系统控制系统(Expert System)已被成功运用在电动车的电气驱动控制中。

4 HEV 的关键技术分析

4.1 混合动力单元技术

混合动力车的动力来自热机(又称混合动力单元, HPU)和电动机。可选择的 HPU 技术包括:直喷压燃(CIDI)发动机、斯特灵发动机和燃气涡轮发动机等。其中,CIDI 发动机通过压缩点火,是最有希望的 HPU。在 CIDI 发动机中,采用“共轨系统”,能根据需要准确、灵活地调节喷油时间、喷油量和喷射压力,可解决噪音问题和降低碳烟排放^[5]。为降低排放,HPU 可采取:优化燃烧系统、改进尾气处理技术和研究代用燃料(天然气、液化气、甲醇和酒精等)。此外,为提高燃料经济性,须对混合动力单元作进一步改进:要求 HPU 能够快速启动和关闭,并降低启动时的排放等^[6]。

4.2 再生制动

HEV 与传统汽车最重要区别之一就是 HEV 能够实现再生制动,即能够回收制动时消耗的一部分能量。当汽车制动时,电机变成了发电机,将汽车运行的动能转换成电能,并将其存储在蓄电池中以备后用,燃油经济可大幅提高(如 Toyota 的 THS 车辆,燃油经济提高的 20%来自再生制动)。电动机能以同样的方式控制驱动和控制再生,所以用来发电的功率几乎等于驱动功率^[7]。故在正常情况下,混合电动车的蓄电池只需较短的外部充电时间甚至不需通过外部电源充电。但因存在电池的过充电和急速充电问题,使电动机和蓄电池的工作条件变得复杂,对控制系统的要求很高。采用电子控制的再生制动系统(电)和摩擦制动系统(油压)同时作用,可取得很好的效果。除发动机制动外,还需安置一种脚制动踏板时的连动装置,以进一步提高再生效率。

4.3 能量存储技术和电池管理系统

电动车电池开发的重点在于提高充电一次的行驶里程、电池充电速度、质量电荷量、生命周期、安全性和成本等。目前常用的电池有镍氢电池(Ni/MH)、锂离子电池(LIB)和燃料电池等。

镍氢电池是一种绿色镍金属电池,比能量超过

80 W h/kg,比功率达 160~500 W/kg,循环使用寿命超过 600 次。其主要缺陷是成本高,效率低,同时还需要控制氢的损失。锂电池的比能量为 100 W h/kg,比功率为 200 W/kg,循环使用寿命为 1200 次,充电时间 2~4 h。对于 HEV,锂离子电池有效利用率则可达 90%,远高于镍氢电池的 50%。燃料电池不通过热机过程,故不受卡诺循环的限制,能源转换率是普通内燃机的 2~3 倍,而且燃料电池不需要更换或充电。制造成本高是燃料电池商业化所面临的主要问题,且其比功率仅为常规内燃机的 1/3。

节能高效的电池能量管理系统(BMS),可以监测控制每一个电池的性能,最大限度地协调电池组的工作,有效延长电池的使用寿命,提高电能的利用效率、电动车的性能和续驶里程等重要技术性能指标。BMS 需要监测电池状态和充放电参数,它们对于汽车的可靠运行具有重要的意义。电池状态包括电池端电压、电流、温度、剩余电量、电池充电量、电池放电量等,对驾驶员的操作和汽车控制系统的优化提供有效依据。BMS 的功能如下:对电池电压、电流、温度进行监测报警;充放电控制,决定何时需要充电,并对电池过放电和过充电等非正常情况进行报警;判断电池是否损坏或老化需更换;热管理;冷却系统;剩余电量管理;车辆剩余里程预测。

去年,北京星恒电源有限公司研制成功 500 W 的锂离子电池,而清华大学和雷天公司等也共同开发推出一种环保型高性能电池管理系统(已通过国家有关专家检测)。该电池组管理模块针对锂离子蓄电池在组合串、并联中使用,可防止过充、过放电;可在高寒和高温地区使用,有效解决了电动车电池在长期使用中,反复充放电而造成单体电池的失效问题。按目前的发展形势,估计至 2020 年全球会有 3 亿辆车需装高功率动力电池,电池及其管理系统的市场需求规模有几千亿美金。

4.4 汽车集成电力电子模块(AIPM)的研究与开发

HEV 的电气驱动装置及系统需要电力电子装置、功率变换器、低损耗的开关等相关装置,其选择对整车特性有非常重要的影响。将电力电子装置及相关控制线路集成在单一封装内,即集成电力电子模块(AIPM)。AIPM 能给汽车提供的功率为 10~100 kW,其功能有:控制电机的输入和输出功率、发动机的输出功率以及能量储存系统的离合;控制再生制动能量的回收与释放;有适应各种驱动系统的保护装置等。在 AIPM 的开发中还存在一些的问题:发动机舱的温度范围为 -40~225℃,需要研究散热技术和散热材料;减

小封装体积和重量;降低制造成本,提高系统可靠性^[6]。微机和 DSP 的运用,将有效地促进 AIPM 的独立性和普遍适用性。

4.5 开发方式

目前 HEV 主要的开发方式为计算机仿真、试验台测试和实车开发平台 3 种。

计算机仿真模型为每个候选子系统提供了详细规格和设计参数,从而便于灵活地调整设计方案和优化参数。计算机仿真有应变性强、科研费用低、周期短等优点,但受动力系统复杂的数学模型的制约,难以得到准确结果,仿真结果的可信性和可用性必须通过其它途径来检验^[8]。国外用于混合汽车的仿真软件很多,有 ADVISOR、MARVEL、SIMPLEV、ELPH、和 V-Elph 等。

台架试验台能有效地对汽车各部件进行性能测试,显示测量数据,并对动态控制策略的优劣进行分析和评价。台架试验应采取模块化设计,以满足通用性并便于扩展。在 HEV 开发中,它具有计算机仿真和实车平台所不可替代的作用。

实车平台可为汽车提供真实的运行环境,但价格高、可移植性差,只能有限使用。

5 结束语

混合动力车不只是电动车的过渡产品,而是汽车工业即将面临的一场新的革命。随着混合动力车的结构由简单(串联)走向复杂(并联、混联),混合动力单元由

柴油机变为 CIDI 发动机,电机驱动系统由直流电机更替为交流感应电机、开关磁阻电机和永磁无刷电机驱动系统,电力电子器件由分散的部件集中封装为单一的模块,蓄电池也由铅酸电池升级为锂电池和燃料电池,以及电池管理系统和开发方式等相关技术的发展,都将有助于促进混合电动车的技术进步和早日普及。

参考文献:

- [1] 麻友良,陈世全. 混合动力电动汽车的发展[J]. 公路交通科技,2001(1):77-80.
- [2] 孙龙林,何仁. 最小化混合动力传动系统的初步探讨[J]. 江苏理工大学学报(自然科学版),2001(2):14-17.
- [3] 宋慧,胡骅. 电动汽车的现状与发展() [J]. 汽车电器,2000(1):51-56.
- [4] 邓隐北,姜彦珍. 电动汽车的电机驱动系统[J]. 河南交通科技,1999(2):59-63.
- [5] 徐清富. 汽车混合动力系统的研究[J]. 汽车研究与开发,1999(3):34-37.
- [6] 陈晓东,高世杰. 混合动力汽车发展所面临的挑战[J]. 汽车工业研究,2001(6):16-20.
- [7] 杨建云. 电动汽车技术的现状和未来[J]. 湖北汽车,1999(3):14-18.
- [8] 谢起成,王冬,田光宇. 混合动力电动汽车(HEV)动力系统试验台的模块化设计研究[J]. 交通运输工程学报,2001(1):32-36.

Hybrid Electric Vehicle and Its Electrical Drive System

DU Xue-fei, SUN Yue

(College of Automation, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: Hybrid electric vehicle (HEV) is a mixture of electric vehicle and conventional vehicle, which has the merits of reducing exhaust gas and the consumption of gasoline. HEV is the new development way of automobile industry. This paper introduces HEV, and discusses the essential framework of HEV drive system, the basic types of the electrical drive and their features and the present state of the development at home and abroad. Some key technologies are also proposed which determine the drive and control performance of HEV.

Key words: electric vehicle; hybrid power; electrical drive

(责任编辑 张 苹)