

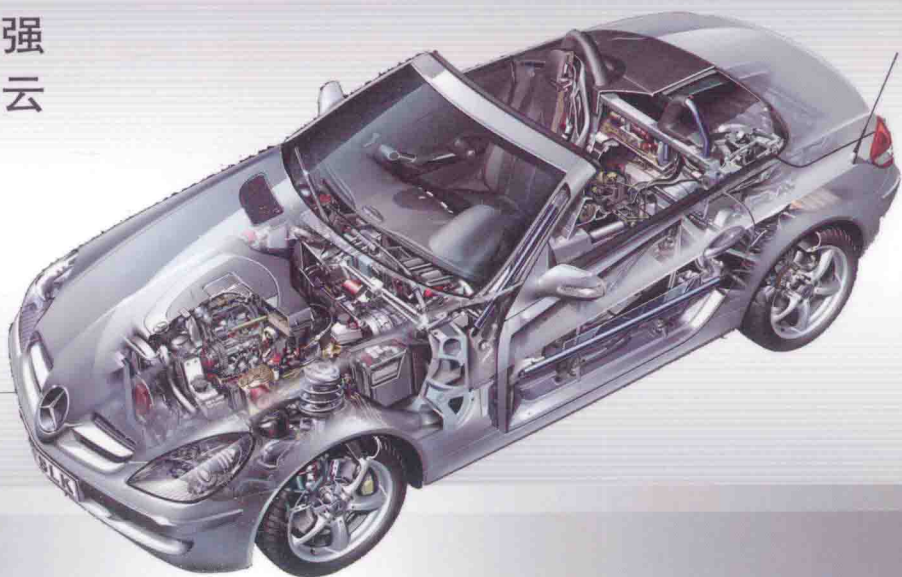


普通高等教育“十二五”汽车类专业（方向）规划教材

汽车电子及 控制技术基础



主 编◎彭忆强
副主编◎甘海云



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

014057543

普通高等教育“十二五”汽车类专业（方向）规划教材

汽车电子及控制技术基础

主 编 彭忆强
 副主编 甘海云
 参 编 吴 琼 陈 飞 尹继辉
 袁鹏平 黎 薇 刘 辉
 主 审 张付军 孙仁云



机械工业出版社



北航

C1745979

U463.6-43

55

014027243

本书是根据全国普通高等教育汽车类专业（方向）教材编审委员会确定的教材规划编写的。全书共分十三章，分别讲述汽车电子控制技术及现代仿真技术在汽车电子控制系统开发过程中的应用，涉及软件在环仿真、硬件在环仿真及快速原型开发方法等方面的基础内容，反映了汽车电子控制技术发展的最新状况。在汽车电子控制技术部分，涉及的内容包括汽油/柴油发动机电子控制技术、自动变速器电子控制技术、汽车防滑电子控制技术、转向与悬架电子控制系统等；同时，还包括 MATLAB 在汽车电子控制系统设计中的应用、AMESim 软件在汽车电子控制系统设计中的应用、快速原型开发工具介绍等方面的内容。

本书是高等院校本科汽车类专业（方向）的教材，可以作为车辆工程、汽车发动机、汽车服务工程、汽车电子技术及相关专业的教材，还可供相关研究生、工程技术人员参考。

主 编 王 云

副主编 甘 武

参 审 吴 昊 李 平

参 审 李 平 李 昊

图书在版编目（CIP）数据

汽车电子及控制技术基础/彭忆强主编. —北京：机械工业出版社，2014.7
普通高等教育“十二五”汽车类专业（方向）规划教材
ISBN 978-7-111-46571-3

I. ①汽… II. ①彭… III. ①汽车—电子控制—高等学校—教材
IV. ①U463.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2014）第 087679 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：冯春生 责任编辑：冯春生 贺贵梅 卢若薇

版式设计：霍永明 责任校对：刘志文

封面设计：张 静 责任印制：李 洋

三河市国英印务有限公司印刷

2014 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 26 印张 · 640 千字

标准书号：ISBN 978-7-111-46571-3

定价：49.80 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：(010) 88361066

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售一部：(010) 68326294

机工官网：<http://www.cmpbook.com>

销售二部：(010) 88379649

机工官博：<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线：(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

随着现代汽车技术的发展,电子控制技术在汽车上得到了广泛的应用。在汽车发动机控制、底盘控制、车身控制、车辆故障诊断以及车载音响设备、通信设备、GPS 导航设备等方面,均使用电子控制技术,使得车辆的动力性、经济性、安全性、稳定性及舒适性有了很大的提高。可以说,现代汽车技术水平的提高在很大程度上取决于汽车电子控制技术的水平。而汽车电子控制技术是一门多学科交叉的综合技术,涉及电子技术、传感器技术、计算机技术、控制技术、仿真技术等多方面。这些技术的快速发展,加速了汽车电子控制技术的更新。因此,作为车辆工程专业的学生,应该也必须掌握汽车电子控制技术的相关知识。

从培养研发应用型人才的角度出发,本书紧密结合汽车产业对相关人员的知识结构需求的特点,组织材料编写,适用于汽车类本科(含车辆工程、汽车发动机、汽车服务工程等相关专业)的教学,也可供从事汽车电子控制技术研究与应用的技术人员参考。

本书是根据全国普通高等教育汽车类专业(方向)教材编审委员会确定的教材规划编写的。全书共分十三章,分别讲述汽车电子控制技术及应用、现代仿真技术在汽车电子控制系统开发过程中的应用,涉及软件在环仿真、硬件在环仿真及快速原型开发方法等方面的基础内容,反映了汽车电子控制技术发展的最新状况。在汽车电子控制技术部分,涉及的内容包括汽/柴油发动机电子控制技术、自动变速器电子控制技术、汽车防滑电子控制技术、转向与悬架电子控制系统等;同时,还包括 MATLAB 在汽车电子控制系统设计中的应用、AMESim 软件在汽车电子控制系统设计中的应用、快速原型开发工具介绍等方面的内容。这些内容对高年级的本科生开展毕业设计工作、参加科技创新活动以及研究生开始从事研究工作、毕业生到单位参加具体的工作具有重要的指导意义。

本书由彭忆强(西华大学)任主编,甘海云(中国汽车工程研究院)任副主编;参编人员有吴琼(安徽江淮汽车股份有限公司技术中心)、陈飞(西华大学)、尹继辉(东北林业大学)、袁鹏平(江苏大学)、刘辉(西华大学)、黎薇(联合汽车电子有限公司)。其中,绪论由彭忆强编写;第一章由彭忆强、刘辉编写;第二章由尹继辉编写;第三~五章由甘海云编写;第六~八章由吴琼编写;第九章由尹继辉编写;第十章由袁鹏平编写;第十一章由黎薇、彭忆强编写;第十二章由陈飞、彭忆强编写;第十三章由彭忆强编写。

本书由北京理工大学张付军教授、西华大学孙仁云教授任主审。两位教授仔细阅读了对应部分的原稿，并提出了许多建设性的意见，在此表示最诚挚的谢意。西华大学交通与汽车工程学院杨燕红高级工程师阅读了本书的部分章节，并提出了许多宝贵意见，中国汽车工程研究院葛晓成为第十三章提供了部分资料，在此一并致谢。

在本书撰稿的过程中，引用了一些国内外期刊、文献的资料，充实了本书的内容，借此机会向相关文献的作者表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，敬请广大师生和读者批评指正。

编者

目 录

前言	1	第四章 柴油发动机电子控制技术	110
绪论	1	第一节 概述	110
第一节 汽车电子控制技术研究必要性	1	第二节 柴油发动机电子控制燃油喷射技术	114
第二节 汽车电子控制技术发展简介	2	第三节 柴油发动机废气涡轮增压系统	129
第三节 汽车电子控制技术发展方向	4		
第四节 本书的基本内容	4		
思考题	5		
第一章 汽车电子控制理论基础	6		
第一节 汽车电子控制技术的基本概念	6		
第二节 汽车电子控制技术的理论基础	7		
第三节 数字PID控制算法	9		
第四节 模糊控制系统概述	14		
思考题	21		
第二章 车用传感器、执行器和电子控制单元	22		
第一节 车用传感器	22		
第二节 执行器	36		
第三节 电子控制单元的基本结构	38		
思考题	40		
第三章 汽油发动机电子控制技术	41		
第一节 概述	41		
第二节 汽油发动机电子控制燃油喷射系统	43		
第三节 汽油发动机电子控制点火系统	67		
第四节 汽油发动机的充量更换控制系统	73		
第五节 怠速控制系统	80		
第六节 排放控制技术	85		
第七节 汽油发动机新型燃烧技术简介	93		
第八节 气体燃料发动机电子控制技术	99		
思考题	109		
第四章 柴油发动机电子控制技术	110		
第一节 概述	110		
第二节 柴油发动机电子控制燃油喷射技术	114		
第三节 柴油发动机废气涡轮增压系统	129		
		第五章 柴油发动机尾气后处理技术	132
		思考题	138
		第五章 发动机ECU及其软件开发	139
		第一节 发动机ECU硬件和软件	139
		第二节 发动机ECU软件开发简介	144
		思考题	156
		第六章 自动变速器电子控制技术	157
		第一节 概述	157
		第二节 电控液力自动变速器	159
		第三节 电控机械式自动变速器	171
		第四节 双离合自动变速器结构与工作原理	175
		第五节 电控无级变速器	178
		思考题	182
		第七章 汽车防滑电子控制技术	183
		第一节 概述	183
		第二节 制动防滑控制系统	186
		第三节 驱动防滑控制系统	197
		第四节 电子稳定性程序	203
		思考题	213
		第八章 转向与悬架电子控制系统	214
		第一节 电控助力转向系统	214
		第二节 汽车电控悬架系统	226
		思考题	238
		第九章 车身电子控制技术	239
		第一节 概述	239
		第二节 安全气囊装置	239
		第三节 中央门锁与防盗系统	243
		第四节 汽车空调控制系统	247
		思考题	255
		第十章 汽车网络技术	256
		第一节 概述	256
		第二节 CAN总线网络及其诊断技术	260
		第三节 LIN总线网络	271
		第四节 其他网络简介	275
		思考题	277

第十一章 Simulink 在汽车电子控制

系统设计中的应用 278

第一节 Simulink 简介 278

第二节 MATLAB/Simulink 工具箱的应用 289

第三节 MATLAB/Stateflow 开发工具的使用 301

第四节 MATLAB 其他工具箱在汽车电子控制系统设计中的应用 317

思考题 333

第十二章 AMESim 软件在汽车电子

控制系统设计中的应用 334

第一节 AMESim 软件简介 334

第二节 AMESim 软件在汽车电子控制

系统研制中的应用 354

第三节 MATLAB/Simulink 与 AMESim 软件的联合仿真 364

思考题 380

第十三章 快速原型开发工具 381

第一节 汽车电子控制单元开发模式 381

第二节 MACS565 快速控制原型开发系统及应用 385

第三节 dSPACE 快速控制原型开发系统简介 402

思考题 409

参考文献 410

Table listing various references and topics, including 'AMESim 软件在汽车电子控制系统设计中的应用', 'MATLAB/Simulink 与 AMESim 软件的联合仿真', and '快速原型开发工具'. It includes page numbers and chapter/section indicators.

绪论

第一节 汽车电子控制技术研究必要性

随着世界范围内汽车工业的高速发展,汽车的产量和汽车的保有量大幅度增长。汽车在给人们的生活带来巨大好处的同时,也带来了如下三个方面的问题:

1) 汽车发动机的排放污染已成为大气污染最主要的根源,严重地危害着人类的健康。汽车发动机所排放的尾气的主要成分包括二氧化碳(CO_2)、水蒸气(H_2O)、过量空气、残余氮气(N_2)及不完全燃烧产物和有害的氧化物,如一氧化碳(CO)、碳氢化合物(HC)、氮氧化物(NO_x)、二氧化硫(SO_2)、微粒(PM)等。据研究,目前大气中38.5%的一氧化碳(CO)、21.7%的碳氢化合物(HC)、87.6%的氮氧化物(NO_x)、11.7%的二氧化碳(CO_2)、6.2%的二氧化硫(SO_2)、32%的微粒物(PM)均来自汽车废气排放;尤其是在城市大气中,61%的一氧化碳(CO)、87%的碳氢化合物(HC)、55%的氮氧化物(NO_x)来自汽车废气排放。因此,解决汽车排放对环境污染的危害,已成为世界各国多年来研究的最重要的课题之一。

2) 汽车是一个高能耗的产业,汽车的大量使用将导致能源紧缺问题。目前汽车消耗的燃料主要是石油,其消耗量占世界石油消耗量的一半。而石油是一种无法短期再生的资源,按照目前的消耗率,地球上的石油燃料在今后几十年内可能会消耗殆尽,这使得全球范围内的能源紧缺问题日益突出。现在能源问题已被广为关注,是事关国家经济发展、社会稳定和国家安全的重大问题。现在原油的开采、价格的变化都与居民的生活紧密地联系在一起,更成为各国经济发展的重要评价指标。

3) 随着汽车的大量使用,车辆驾乘人员以及其他道路使用者的安全问题也日益突出。在汽车消费繁荣的背后,交通事故的发生却是令人触目惊心。世界银行的统计表明,全世界平均每年有117万人死于道路交通事故,其中,车辆驾乘人员的死亡率占35%,而其他道路使用者(如行人、骑车人等)的死亡率为65%。欧盟的统计数据显示,交通事故中行人的死亡系数是车内乘员的9倍,骑车人的死亡系数是车内乘员的8倍。据我国公安部统计,我国交通事故死亡人数连续十余年居世界第一,汽车保有量占世界的3%,但交通事故死亡人数却占世界的16%,我国在迅速跻身为世界汽车大国的同时,也尴尬地成为世界上交通最为危险的国家之一。近年来,我国对汽车和交通安全持续进行关注和投入,汽车安全碰撞试验被广泛接受和推广。然而,这些努力大多数是针对车辆驾乘人员,对于其他道路使用者的安全保护,至今未引起社会各方的充分重视。

汽车工业界的研究者针对上述问题都在努力探索解决方法,使汽车工业能走上与人类生存环境及社会和谐发展的道路。因此,安全、环保和节能已经成为当今汽车工业发展的三大主题。这也是促使人们在汽车产品中采用先进技术的主要原因。

另外,随着人们生活质量的提高,对汽车的操控性、舒适性等方面的要求也在不断提

高,这也促使汽车界的研究人员采用各种先进技术,改进汽车各方面的性能,以满足消费者对汽车产品性能的要求。

而电子技术是19世纪末、20世纪初开始发展起来的一门新兴技术,在20世纪的发展最为迅速、应用最为广泛,成为近代科学技术发展的一个重要标志。第一代电子产品以电子管为核心。20世纪40年代末,世界上诞生了第一只半导体晶体管,它小巧、轻便、省电、使用寿命长等特点,很快被各国应用起来,在很大范围内取代了电子管。20世纪50年代末,世界上出现了第一块集成电路(IC),它把许多晶体管等电子元件集成在一块硅芯片上,使电子产品向更小型化发展。集成电路从小规模集成电路迅速发展到大规模集成电路和超大规模集成电路,从而使电子产品向着高效能而低消耗、高精度、高稳定、智能化的方向发展。而与电子技术密切相关的计算机技术的飞速发展,为在汽车上应用先进的电子控制技术奠定了良好的基础。

由于上述各种社会需求和相关技术的发展,从20世纪80年代开始,国际上汽车工业的微电子化得到了迅猛的发展,电子控制技术已经成为提高汽车产品质量、改进汽车各种性能等的最佳手段。电子控制技术的应用能有效地改善汽车的动力性、经济性、安全性、操控性和舒适性,并能降低排放指标。目前,在西方发达国家市场上的汽车几乎全部采用电子控制技术,在我国汽车电子技术也非常普及,先进的电子控制技术已成为汽车工业发展的必然趋势。汽车电子化已经成为各汽车制造商夺取汽车市场的有效手段,而汽车电子化的过程被认为是汽车技术发展进程中的一次革命。

在我国,从事汽车电子控制技术应用性开发的人员较多,而从事开发性研究的人员较少,在汽车电子控制技术方面与国外相比存在较大的差距。虽然近年来我国汽车的销售量和保有量迅速增长,但每年都要进口大量的汽车电子控制产品,这已经成为我国汽车工业发展的瓶颈问题。因此,我国应该在引进、吸收并消化国外先进汽车电子控制技术成果的同时,加强自主创新能力,发展并壮大自身的汽车电子控制技术的科技力量,以尽快赶上世界先进发展水平,这也是我国汽车工业发展的必由之路。

2009年2月,国家发展和改革委员会(简称国家发改委)批准建立汽车电子控制技术国家工程实验室,将建设基础元器件、控制仿真与策略研发、动力传动系统控制、汽车总线与电子电器、底盘控制与主动安全五个研发平台。这表明,我国已经充分认识到了汽车电子控制在汽车产品中的重要性,必将进一步推动汽车电子控制技术在我国的发

展。综上所述,进行汽车电子控制技术研究对于节约能源、保护环境、提高汽车动力性、安全性、舒适性、操控性和经济性等性能指标具有重要的意义;同时,也可增强我国的自主研发能力,提高自主汽车品牌的竞争力,为我国汽车工业的高速发展奠定基础。

第二节 汽车电子控制技术发展简介

汽车作为机电一体化产品的典型代表,其发展过程与机电一体化系统的发展过程紧密相连。机电一体化的新型现代汽车在动力性、操控性、可靠性、安全性、舒适性和经济性等方面的性能指标都有了大幅度的提高。这其中,汽车电子控制技术发挥了巨大的作用。

现在普遍认为,汽车电子控制技术的发展经历了三个阶段:第一阶段,从20世纪60年代中期到70年代末期;第二阶段,从20世纪70年代末期到90年代中期;第三阶段,从20

世纪 90 年代中期至今。

在第一阶段中,人们开始研究在汽车产品上应用电子技术,并在汽车上采用一些电子控制装置,以改善部分机械部件的性能。在此阶段中,典型的汽车电子控制装置有电子点火控制装置和燃油喷射电子控制装置。虽然这些电子控制装置仅采用开环控制方式,但是,它们在汽车上的应用使汽车发动机的排放指标大幅度降低,达到了当时排放法规的要求;同时,使发动机的动力输出和燃油经济性有了显著的提高。

第二阶段是汽车电子控制技术蓬勃发展的阶段。在此阶段中,电子技术、计算机技术、自动控制技术和通信技术有了长足的发展,为汽车电子控制技术的发展奠定了良好的技术基础。而大规模、超大规模集成电路和微型计算机的迅猛发展,为汽车电子控制技术的发展提供了充分的物质基础。基于上述技术基础和物质基础,在汽车产品的设计、制造和生产过程中,形成了“机电一体化”的思想和技术。在此期间,汽车产品上开始大量使用微处理器和集成电路(IC)。采用闭环控制的汽车发动机电子控制系统研制成功,显著地降低了汽车的排放污染,使汽车的性能大大提高,这也标志着汽车系统控制技术微电子化的开端。随后,相继出现了电子控制自动变速器、电子控制制动装置、电子控制防抱死制动系统、自动巡航控制系统、发动机故障诊断系统、车辆导航系统、防盗系统、电子组合仪表等。在此阶段中,各种汽车电子控制系统的主要特点是各系统相互独立。

汽车电子控制技术的第三阶段处于高科技迅速发展的时期,进入汽车电子控制技术的纵深发展阶段。此阶段的主要工作是使用功能更加强大的微处理器,以增强汽车电子控制系统的功能,进一步提高汽车的性能。同时,对汽车电子控制系统的建模设计、分析和集成测试等方面的研究也更加深入。在此阶段中,电子控制技术在汽车上得到了越来越广泛的应用,控制功能和控制范围进一步扩大,电子控制单元(ECU)从普通的八位单片机发展到十六位甚至三十二位单片机,同时,单片机的主频也由 6MHz 发展到 12MHz、18MHz,甚至更高,因此,ECU 控制的智能化程度越来越高,控制的实时性和精确度大幅度提高。并且,为实现各汽车电控系统的协调、综合控制,各 ECU 通过通信接口形成了车载分布式计算机网络,以满足各种不同控制目标的要求。在此阶段中,汽车电子控制系统的功能更加明确地划分为五大部分,即发动机控制、底盘控制、主动或被动安全控制、车身电子控制和信息与通信控制,使得汽车各方面的性能都有了很大的提高。

同时,随着汽车电子控制系统的发展,其复杂程度越来越高,采用传统的控制系统设计方法已经不能满足应用的要求。为此,基于模型的建模设计方法和基于各种在环仿真测试技术的方法被广泛地应用于汽车电子控制系统的设计过程,大大提高了汽车电子控制系统的设计质量,加速了汽车电子控制系统的设计过程,降低了汽车电子控制系统的设计成本。

另外,作为汽车电子控制系统的核心,控制策略是实现汽车电子控制的重要保证,而控制策略的具体实现即控制算法。随着汽车电子控制系统复杂程度的增加,不仅传统的单变量定常系统的 PID 控制算法在汽车电子控制系统中得到了广泛的应用,同时采用现代控制理论和智能控制理论的算法,如模糊控制、神经网络控制和自适应控制等,也在汽车电子控制系统中得到了应用,并呈逐渐增加的趋势。

第三节 汽车电子控制技术发展方向

汽车的电子化涉及机械、电子、光学、控制、计算机、信息技术等多学科的交叉融合,它的发展和进步依赖于上述相关学科的发展,同时也会促进这些学科的发展和进步。因此,汽车电子控制技术的主要发展方向概括如下:

(1) 智能化 各种汽车电子控制设备的智能化是汽车电子控制技术的一个重要发展方向。在汽车电子控制设备中采用的控制算法,将在经典控制理论的基础上,吸收人工智能、计算机科学、模糊数学、心理学和生理学等新思维、新方法,使其具有判断推理、逻辑思维和自主决策等能力,以实现更高的控制目标。无人驾驶汽车的成功研制,展示了汽车电子控制设备智能化的最新发展状态。

(2) 模块化 由于汽车电子控制产品的种类和生产厂家繁多,因此研制和开发具有标准电气接口、动力接口的标准汽车电子控制单元(ECU)是一项十分复杂和非常重要的任务。利用标准电子控制单元(ECU)可以迅速开发出新产品,同时可扩大生产厂家的生产规模。为此,需要制定各种标准,以便各汽车部件、电子控制单元(ECU)的匹配和连接。因此,无论对于汽车电子控制单元(ECU)的生产企业,还是对于汽车整车生产厂商,汽车电子控制设备的模块化都将为汽车生产产业链带来巨大的好处。

(3) 网络化 随着汽车电子技术的发展,汽车电子控制设备日趋完善。随着汽车电子控制设备的不断增加,传统的线束已经远远不能满足应用的需要。为实现各种信号数据在不同控制子系统中的共享和实时交换,提高信号的利用率,汽车电子控制系统的生产厂家和汽车整车生产厂家联合开发了以CAN总线为代表的车载网络系统,并在各汽车厂家的中高端产品中应用。现在,为适应不同的应用环境,还出现了LIN总线、FlexRay总线、MOST总线等。车载网络总线的应用,极大地提高了汽车产品的技术水平。因此,车载网络系统将是今后汽车电子控制技术的发展方向之一。

(4) 人性化 未来的汽车产品开发会更加注重与驾驶操控者及乘坐者的关系。汽车产品的人性化是指在绝大多数情况下,汽车产品的最终使用者是人,如何赋予汽车产品一定的人的智能、情感和人性显得越来越重要。而汽车电子控制技术的发展,为实现这一目标提供了可能。个性化的汽车产品将为汽车电子控制技术的发展提供更加广阔的空间。

第四节 本书的基本内容

本书分为三大部分,即汽车电子控制技术基础篇、汽车电子控制技术篇和汽车电子控制技术应用与提高篇。

第一部分汽车电子控制技术基础篇,包括第一、二两章。第一章讲授汽车电子控制技术所涉及的基础控制理论和方法,如开闭环控制、PID控制及模糊控制等基本控制思想和控制策略。第二章讲授为实现汽车电子控制,所使用的车用传感器、执行器及电子控制单元(ECU)的基本结构。

第二部分汽车电子控制技术篇,包括第三~十共八章,为本教材的主要内容。第三章讲授汽油发动机的电子控制方法,涉及电子控制燃油喷射、电子点火控制、进气控制、怠速控

制及排放控制等方面的内容。同时,将简单介绍新型燃烧技术,如缸内直喷控制技术、均质压燃(HCCI)方式的燃烧控制技术等。在本章中,还将介绍常用的气体燃料发动机,如压缩天然气(CNG)、液化石油气(LPG)发动机的电子控制技术。第四章讲授柴油机电子控制技术,涉及燃油喷射、空气供给及尾气后处理等方面的电子控制技术。为增强本书的实用性,在第五章中将讲授发动机管理系统匹配和标定涉及的基本知识,以及发动机故障诊断技术。第六章讲授自动变速器的电子控制技术,将分析电子控制机械式自动变速器、电子控制液力自动变速器和电子控制无级变速器的基本工作原理及控制方法。第七章讲授汽车防滑电子控制技术,阐述制动防滑控制系统(ABS)、驱动防滑控制(ASR)系统以及电子稳定控制系统(ESP)等的工作原理和控制策略。第八章讲授汽车的转向与悬架电子控制系统,涉及各系统的工作原理及控制策略。第九章讲授车身电子控制技术,在阐明汽车主动安全、被动安全及舒适性等基本概念的基础上,分析汽车安全气囊、车门电子控制系统和车用空调电子控制系统的工作原理及控制策略。第十章讲授车载网络技术,主要涉及CAN总线和LIN总线的基本结构及功能,同时简单介绍其他汽车总线,如MOST、FlexRay总线的基本结构和功能。

第三部分汽车电子控制技术应用与提高篇,包括第十一~十三共三章,为本书的特色内容,涉及汽车电子控制系统开发的相关基础知识。第十一章讲授MATLAB/Simulink仿真软件在汽车电子控制系统设计中的应用,通过学习MATLAB/Simulink软件提供的一些工具箱,阐明MATLAB/Simulink软件在汽车电子控制系统设计中的作用。第十二章讲授AMESim软件在汽车电子控制系统设计中的应用,通过典型设计案例的分析,了解AMESim软件在汽车电子控制系统设计过程中的应用方法,以及采用AMESim/Simulink软件进行联合仿真,用于控制算法研制的过程。第十三章讲授汽车电子控制系统的V型开发模式,阐明软件在环仿真和硬件在环仿真的基本概念。同时,介绍两款汽车电子控制快速原型开发系统(即MACS565和dSpace开发系统)的基本结构、功能,以及在汽车电子控制系统开发过程中的典型应用案例。

思考题

查阅相关的最新文献,论述汽车电子技术的发展趋势。

第一章 汽车电子控制理论基础

第一节 汽车电子控制技术的基本概念

现在,各种汽车电子控制设备已成为汽车上不可缺少的部分,并且这些电子控制设备在车辆运行过程中担当的角色越来越重要。各种汽车电子控制技术均以自动控制理论作为其理论基础。

自动控制理论的核心问题是对整个控制系统的研究。所谓整个控制系统,就是指控制设备和控制对象所组成的整体,通常控制设备被称为控制器,而控制对象是指被控制的装置。自动控制理论则是研究控制系统分析与设计的原理和方法。

汽车电子控制系统的基本概念如图 1-1 所示。其中,控制系统的作用在于按照控制系统的输入需求,将系统的输出(或称被控变量)调整或控制到预定的值。



图 1-1 汽车电子控制系统的基本概念

从是否采用反馈的角度看,控制系统分为开环控制系统和闭环控制系统两类,而闭环控制系统又被称为反馈控制系统。大部分的汽车电子控制系统为反馈控制系统,根据应用的需要,也有开环控制系统。

一、开环控制系统

开环控制系统的结构框图如图 1-2 所示。

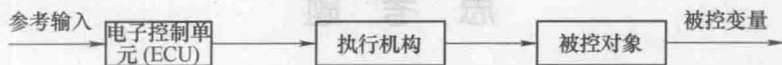


图 1-2 开环控制系统的结构框图

在开环控制系统中,其控制对象的输入信号不受输出信号的影响。由图 1-2 可见,在开环控制系统中,当没有外界干扰(如环境温度变化、扰动等)时,对于恒定的参考输入,控制器按照一定的算法产生一驱动信号作用于控制对象,使其输出也保持恒定。

但是,当存在外界干扰或控制系统内部参数发生变化时,系统的输出会与期望的输出产生偏差,达不到期望的控制效果。

由图 1-2 可见,由于开环控制系统不需要不断地测量以及进行系统输出信号与参考输入的比较,因此这种系统结构较为简单,消耗的功率较小。当系统的输入量及干扰的变化规律能够预知时,或在输出量很难测量或控制系统精度要求不高的情况下,可以采用开环控制系统。

在汽车电子控制设备中,典型的应用开环控制系统的案例有后视镜控制、座位调整控制和瞬态空燃比控制。

二、闭环控制系统

由于车辆的应用环境（如环境温度、地面的平顺度）以及电子控制系统元器件参数的变化，采用开环控制系统不能实现预期的精确控制，因此需要引入闭环控制系统。闭环控制系统的原理框图如图 1-3 所示。



图 1-3 闭环控制系统的原理框图

在闭环控制系统中，系统的被控变量反馈到输入端，并与参考输入信号进行比较，将比较结果作为误差信号输入控制器，控制器按照一定的控制算法产生所需的驱动信号；然后，将驱动信号作用于被控对象，使被控变量改变。由于采用了负反馈，因此使控制系统本身具有将误差减至最小的趋向，使控制系统对外部的扰动和系统内部参数的变化不敏感，进而达到精确控制的目的。

汽车电子控制设备中，典型的应用闭环控制算法的情况有发动机的怠速控制和基于空燃比的发动机燃油喷射控制等。

汽车电子闭环控制系统的基本组成如图 1-4 所示。

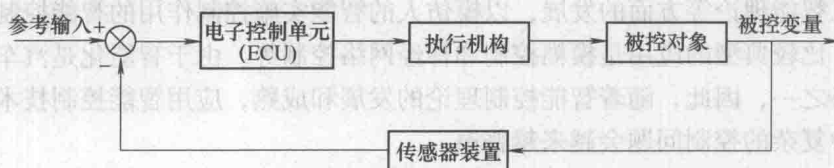


图 1-4 汽车电子闭环控制系统的基本组成

由图 1-4 可见，在汽车电子闭环控制系统中，包含如下功能模块：

(1) 电子控制单元（ECU） 电子控制单元（ECU）是实现控制算法（软件）的载体，由微控制器构成。其中的控制算法是根据被控对象的输出信号与系统期望的输入信号之间的误差而设计的控制方法，使被控对象的输出信号尽可能地接近系统期望的输入信号。

(2) 执行机构 执行机构把电子控制单元（ECU）的控制信号输出动作转换为准确的执行动作。汽车电子控制系统中常见的执行机构有电动装置、液压装置和气动装置等。

(3) 传感器装置 通过各种传感器测量被控对象的变化信息，以实现对被控对象的精确控制。

(4) 被控对象 被控对象是指各种汽车电子控制系统中对应的被控装置。

第二节 汽车电子控制技术的理论基础

一、汽车电子控制技术的基本理论

从汽车电子控制技术的发展来看，一个显著且重要的趋势是针对汽车电子控制系统中不

同的控制对象,越来越多地引入了自动控制技术,以满足各种需求。因此,自动控制理论是汽车电子控制技术的理论基础。

在汽车电子控制技术中所用到的控制理论涉及三方面的内容:经典控制理论、现代控制理论和智能控制理论。

经典控制理论的主要内容是研究单输入单输出(SISO)的线性定常系统。其主要概念是借助拉普拉斯变换得到传递函数,在此基础上采用频率法和根轨迹法设计控制器;对于离散系统,则是借助 Z 变换得到脉冲传递函数,然后采用与连续系统类似的方法进行控制器的设计。在此领域内,应用最成功的是比例积分微分(简称PID)控制。它是一种目前得到广泛应用的常规控制算法,属于线性控制。此种控制方式的最大优点是结构简单,可以不用被控对象的模型参数,直接根据输出的偏差实施控制。但当被控对象比较复杂时,难以得到满意的控制效果。

而现代控制理论是在经典控制理论的基础上发展起来的。随着控制对象越来越复杂、要求越来越高,不仅需要研究和设计多输入多输出(MIMO)控制系统,而且还要研究和设计变参数、非线性、高精度、高效能的控制系统。因此,必须应用以矩阵为基本数学工具、以系统状态空间为基本分析方法的现代控制理论。采用该理论进行控制时,需要提供被控对象准确的数学模型。尽管现在数值计算与计算机技术的发展为求解模型参数提供了有效的方法和工具,但由于这些模型方程中有很多参数需要估计,而求解这些参数时又往往缺少足够的信息特征和信息量,因此限制了现代控制理论的有效应用。

随着人工智能理论等方面的发展,以模仿人的智能实施控制作用的智能控制有了迅速的发展。目前,比较典型的应用是模糊控制和神经网络控制等。由于智能化是汽车电子控制技术发展的趋势之一,因此,随着智能控制理论的发展和成熟,应用智能控制技术解决汽车电子控制系统中复杂的控制问题会越来越普遍。

二、汽车电子控制系统的基本要求和一般设计方法

汽车电子控制系统作为一种自动控制系统,其目的是使被控对象的控制变量按一定的规律进行变化,因此必须具备一定的性能。主要包括稳定性、快速性和精确性。

1) 稳定性。一个控制系统能够使用的首要条件是系统必须是稳定的。这也是对汽车电子控制系统的一个基本要求。

2) 快速性。在实际的汽车电子控制系统中,不仅要求系统稳定,而且要求被控变量能迅速地按照输入信号所规定的趋势变化,即要求系统具有一定的响应速度。

3) 精确性。在汽车电子控制系统中,除了要求控制系统稳定性好和响应速度快以外,还要求控制系统的控制精度高。

为满足汽车电子控制系统的基本要求,在进行控制系统设计时控制系统和被控对象均应在设计的范畴之内,通过将二者有机结合,可使设计具有更广的选择余地和更好的灵活性,所设计出的系统性能也更好。

汽车电子控制系统设计的基本方法是根据物理或数学原理,建立系统中所有环节的数学模型,并对此模型进行分析和研究。因而,各环节的特性可按系统的整体要求进行匹配和统筹设计。汽车电子控制系统设计可参考下述步骤进行:

1) 准备阶段。在此阶段,应对设计的对象进行机理分析和理论抽象,明确被控对象的

特点及要求；限定控制系统的工作条件及环境，确定安全保护措施及等级；明确控制方案的特殊要求；确定技术经济指标；制定试验项目及指标。

2) 理论设计。在此阶段，应建立被控对象的数学模型，把被控对象的控制特性用数学表达式加以描述，作为控制方案选择和控制器设计的依据；确定控制算法及电子控制单元（ECU）的结构，选择微处理器、确定存储器大小等，完成主要软、硬件设计以及各种接口的选择和设计；确定控制系统的初始结构及参数，进行系统性能的分析 and 优化。由于汽车电子控制系统的使用环境较为恶劣，在保证系统主要功能和性能的前提条件下，还应对系统的安全性、可靠性和耐久性等给予足够的重视。

3) 实现设计。在此阶段，应完成系统仿真和各种测试工作，最后进行各模块的组装。

4) 设计定型。在此阶段，应形成各种技术文件，包括设计图样、电子元器件明细表、系统操作程序及说明书、维修及故障诊断说明书及使用说明书等。

第三节 数字 PID 控制算法

在汽车电子控制系统中，由于被控对象的精确模型难以建立而系统参数又经常发生变化，运用现代控制理论分析和综合要耗费很大的代价进行模型辨识且难以达到满意的效果，所以现在常用 PID（比例，即 Proportion；积分，即 Integrating；微分，即 Differentiation）控制算法。此算法结构简单，参数易于调整，在长期、广泛的使用中已经得到了不断的修正和完善。本节将着重介绍适合于计算机控制的数字 PID 控制算法。

一、模拟 PID 控制器

PID 控制器的基础是模拟 PID 控制器。模拟 PID 控制器的功能图如图 1-5 所示。

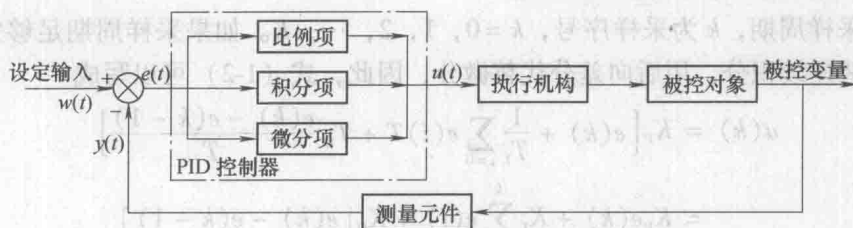


图 1-5 模拟 PID 控制器的功能图

这种控制器是将系统所设定的期望响应值 w 与被控对象的实际输出值 y 进行比较，以构成控制偏差 e ，即

$$e(t) = w(t) - y(t) \quad (1-1)$$

将偏差的比例、积分、微分通过线性组合构成控制量。从图 1-5 可见，控制器的输出与输入之间的关系为

$$\bar{u}(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^T e(t) dt + T_D \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (1-2)$$

用传递函数的形式表示为

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p + K_i \frac{1}{s} + K_d s \quad (1-3)$$

式中, T_I 为积分时间常数; T_D 为微分时间常数; K_P 为比例系数; $K_I = K_P/T_I$, 称为积分系数; $K_D = K_P T_D$, 称为微分系数。

比例控制能够迅速反映误差的变化, 在控制的初期起主要作用。比例控制只能起到减小误差的作用, 但不能最终消除误差。比例系数增大, 可能会引起系统不稳定。

积分器的累加特点使得它在控制的后期起主要作用。它可以大大减少甚至消除系统稳态误差, 提高控制精度。如果积分时间常数 T_I 过小, 积分作用太强会增大系统的超调量, 甚至使系统出现振荡; 而增加 T_I 则将减缓消除静态误差的过程, 但可以减小系统的超调量, 提高系统的稳定性。因此, T_I 必须根据被控对象的特性进行选择。

微分控制与误差的变化率成比例, 是一种超前控制。在较大的误差到来之前, 微分控制器即可以提供一个校正量, 以减少误差的增长, 但其作用是短暂的。微分控制作用对于很慢的变化并不敏感, 因此, 系统稳态运行时它不起作用。也就是说, 微分作用能改善系统的动态性能, 减少系统的超调量, 克服振荡, 使系统趋于稳定。它加快了系统的动作速度, 减少了系统的调整时间。

从上述分析可知, PID 控制器能从各个方面提高系统的性能, 如提高稳定性、提高响应速度、减小超调量、减少稳态误差等。如果三个控制参数选择合适, 则可使控制过程快速、平稳、准确, 收到很好的控制效果。同时, 在实际应用中, 还可以根据被控对象特性和控制要求, 灵活地选择 P, PI, PD, PID 等各种控制方式, 构成不同的控制规律。

二、数字 PID 控制器

上述模拟 PID 控制器的输入量和输出量均为连续时间信号, 而现在的汽车电子控制系统多为计算机控制系统, 不能直接进行模拟量的计算。为此, 必须将连续形式的微分方程式 (1-2) 转化成离散形式的差分方程形式。

设 T 为采样周期, k 为采样序号, $k=0, 1, 2, \dots, K$ 。如果采样周期足够短, 则可用矩形面积代替连续积分, 用后向差分代替微分, 因此, 式 (1-2) 可以写成

$$\begin{aligned} u(k) &= K_P \left[e(k) + \frac{1}{T_I} \sum_{i=0}^k e(i) T + T_D \frac{e(k) - e(k-1)}{T} \right] \\ &= K_P e(k) + K_I \sum_{i=0}^k e(i) + K_D [e(k) - e(k-1)] \end{aligned} \quad (1-4)$$

式中, $K_I = \frac{K_P T}{T_I}$, 为积分系数; $K_D = \frac{K_P T_D}{T}$, 为微分系数。

式 (1-4) 为位置式数字 PID 控制算法。它的输出 $u(k)$ 是全量输出, 其值与过去的的所有状态有关, 计算时要占用大量的内存和花费大量的时间。为此, 需采用增量式控制算法, 其推导过程如下:

按照式 (1-4), 可写出 $u(k-1)$ 的表达式

$$u(k-1) = K_P e(k-1) + K_I \sum_{i=0}^{k-1} e(i) + K_D [e(k-1) - e(k-2)] \quad (1-5)$$

式 (1-4) 减去式 (1-5) 可得增量式计算式

$$\Delta u(k) = K_P [e(k) - e(k-1)] + K_I e(k) + K_D [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \quad (1-6)$$

而递推形式的位置式计算式为