

高等院校规划教材

# 汽车电子控制技术

QICHE DIANZI KONGZHI JISHU

## 上册

付百学 胡胜海 主编



赠电子课件

 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



高等院校规划教材

# 汽车电子控制技术

上册

付百学 胡胜海 主编



机械工业出版社

本书共分七章, 主要介绍了汽车电子控制技术的应用现状、基本组成、控制理论及其发展趋势, 电控汽油喷射系统的结构原理, 微机控制点火系统的结构原理, 汽油机辅助控制, 典型汽油机电控系统实例, 汽油机电控系统的故障诊断与检修和柴油机电控燃油喷射系统等内容。

本书可作为高等院校汽车类专业(方向)的教材, 也可作为高等职业院校汽车类相关专业的教材, 可供从事汽车电子控制技术应用与研究的工程技术人员及汽车使用与维修人员借鉴参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

汽车电子控制技术. 上册/付百学, 胡胜海主编.  
—北京: 机械工业出版社, 2010. 8  
高等院校规划教材  
ISBN 978-7-111-31429-5

I. ①汽… II. ①付…②胡… 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(2010)第 146001 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: 杜凡如 责任编辑: 杜凡如 责任校对: 陈立辉  
封面设计: 路恩中 责任印制: 乔宇  
北京铭成印刷有限公司印刷  
2010 年 9 月第 1 版第 1 次印刷  
184mm × 260mm · 14 印张 · 292 千字  
0001—3000 册  
标准书号: ISBN 978-7-111-31429-5  
定价: 29.00 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

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010)68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部: (010)88379649

读者服务部: (010)68993821

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

随着汽车工业的迅速发展，我国汽车产销量和保有量迅速增加，2009年我国汽车产、销量分别为1397.1万辆和1364.48万辆，汽车保有总量达到7619.3万辆。到2020年，中国本土汽车产量将达到2000万辆，汽车保有量将增长到1.2亿辆。汽车车型、结构、性能在不断改变，汽车电子化程度越来越高，新结构与装置不断涌现，尤其是汽车电气与电子控制装置装车率迅速增长，要求汽车相关专业的学生，以及从事汽车专业的技术人员、汽车维修人员及时掌握汽车电子控制技术的理论知识，熟悉汽车电子控制装置的检测、故障诊断与维修的基本方法，不断更新知识，以适应日新月异的现代汽车技术发展的要求。

本书介绍了汽车电子控制技术的应用现状、基本组成、控制理论及其发展趋势，电控汽油喷射系统的结构原理，微机控制点火系统的结构原理，汽油机辅助控制，典型汽油机电控系统实例，汽油机电控系统的故障诊断与检修和柴油机电控燃油喷射系统等内容。在编写过程中从基本概念、基本组成入手，由浅入深地讲述，注重反映实用性，体现最新汽车电子技术发展动向。语言通俗易懂，实例典型，图文并茂，文字简洁，教学内容深浅有度、重点突出、层次结构合理，便于教学和自学。

本书由付百学、胡胜海主编。编写分工：第一章，季海成，哈尔滨工业大学；第二章，付百学，黑龙江工程学院；第三章，张锐，青海交通职业技术学院；第四章，胡胜海，哈尔滨工程大学；第五章，吕德刚，黑龙江工程学院；第六章，杜锋，齐齐哈尔职业学院；第七章，张莉，东北林业大学。本书由东南大学何丹娅教授主审。

由于编者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，恳请广大师生和读者批评指正。

编 者

# 目 录

## 前言

<b>第一章 绪论</b> .....	1
第一节 汽车电子技术的发展历程 .....	1
第二节 汽车电子控制技术应用现状 .....	2
第三节 汽车电子控制系统的基本组成 .....	4
一、信号输入装置 .....	4
二、ECU .....	6
三、执行器 .....	8
第四节 汽车电子控制技术控制理论 .....	8
一、控制系统类型 .....	8
二、控制理论在汽车电子控制系统中的应用 .....	10
第五节 汽车电子控制技术发展趋势 .....	12
本章小结 .....	14
复习思考题 .....	15
<b>第二章 电控汽油喷射系统的结构原理</b> .....	16
第一节 概述 .....	16
一、发动机对可燃混合气的要求 .....	16
二、汽油喷射系统的分类 .....	18
三、电控汽油喷射系统的优点 .....	24
第二节 电控汽油喷射系统的组成 .....	25
一、空气供给系统 .....	26
二、汽油供给系统 .....	27
三、汽油喷射电子控制系统 .....	28
第三节 传感器的结构原理 .....	30
一、歧管压力传感器 .....	30
二、空气流量传感器 .....	33
三、节气门位置传感器 .....	39
四、曲轴位置传感器和凸轮轴位置传感器 .....	41
五、氧传感器 .....	47
六、温度传感器 .....	50
第四节 执行器的结构原理 .....	52
一、喷油器 .....	52
二、电动汽油泵 .....	57
第五节 电控汽油喷射系统控制原理 .....	60

一、喷油器控制 .....	60
二、喷油正时控制 .....	61
三、喷油量控制 .....	63
四、发动机断油控制 .....	64
本章小结 .....	66
复习思考题 .....	66
<b>第三章 微机控制点火系统的结构原理 .....</b>	<b>67</b>
第一节 微机控制点火系统的组成 .....	67
第二节 MCI 主要部件的结构原理 .....	68
一、爆燃传感器 .....	68
二、点火控制组件 .....	70
三、闭磁路式点火线圈 .....	71
第三节 MCI 控制原理 .....	72
一、基本控制原理 .....	72
二、点火提前角控制 .....	72
三、MCI 配电方式 .....	74
四、发动机爆燃控制 .....	77
本章小结 .....	78
复习思考题 .....	79
<b>第四章 汽油机辅助控制 .....</b>	<b>80</b>
第一节 怠速控制 .....	80
一、旁通空气式 .....	80
二、节气门直动式 .....	85
第二节 排放控制 .....	86
一、废气再循环 .....	86
二、汽油蒸发排放控制系统 .....	88
三、催化转化器 .....	89
四、二次空气喷射系统 .....	90
第三节 可变配气相位控制 .....	91
一、可变气门正时 .....	91
二、可变气门升程 .....	93
第四节 进气与增压控制 .....	95
一、谐波进气增压控制系统 .....	95
二、共振增压可变进气系统 .....	96
三、废气涡轮增压系统 .....	97
第五节 稀薄燃烧控制技术 .....	98
一、概述 .....	98
二、稀薄燃烧方式及特点 .....	98
三、稀薄燃烧的控制方法 .....	103

本章小结 .....	104
复习思考题 .....	104
<b>第五章 典型汽油机电控系统实例 .....</b>	<b>105</b>
<b>第一节 广州本田雅阁轿车汽油机电控系统 .....</b>	<b>105</b>
一、基本组成 .....	105
二、控制功能 .....	108
<b>第二节 别克轿车汽油机电控系统 .....</b>	<b>109</b>
一、系统特点 .....	109
二、汽油喷射控制 .....	110
三、点火控制 .....	112
四、汽油机排放控制 .....	115
<b>第三节 富康轿车汽油机电控系统 .....</b>	<b>116</b>
一、基本组成 .....	116
二、控制功能 .....	116
本章小结 .....	123
复习思考题 .....	123
<b>第六章 汽油机电控系统的故障诊断与检修 .....</b>	<b>124</b>
<b>第一节 常用测试工具与专用测试仪器 .....</b>	<b>124</b>
一、常用测试工具 .....	124
二、专用测试仪器 .....	128
<b>第二节 故障诊断与排除 .....</b>	<b>143</b>
一、故障诊断的基本方法 .....	143
二、常见故障诊断与排除 .....	157
三、故障诊断实例 .....	163
<b>第三节 主要部件检修 .....</b>	<b>172</b>
一、传感器 .....	172
二、ECU .....	179
三、执行器 .....	182
<b>第四节 案例分析 .....</b>	<b>188</b>
本章小结 .....	191
复习思考题 .....	191
<b>第七章 柴油机电控燃油喷射系统 .....</b>	<b>192</b>
<b>第一节 概述 .....</b>	<b>192</b>
一、柴油机电控燃油喷射系统的优点 .....	192
二、柴油机电控燃油喷射系统的类型及应用情况 .....	192
<b>第二节 分配泵电控燃油喷射系统 .....</b>	<b>193</b>
一、概述 .....	193
二、位置式电控分配泵 .....	194
三、时间式电控分配泵 .....	196

第三节 直列式喷油泵电控技术 .....	199
一、直列式电控喷油泵的组成 .....	199
二、喷射量控制 .....	199
三、滑套式可变预行程控制机构 .....	201
四、可变预行程喷油泵工作原理 .....	202
五、TICS 泵的控制内容 .....	204
第四节 共轨式电控高压喷射系统 .....	205
一、特点 .....	205
二、类型 .....	205
三、结构原理 .....	205
第五节 电控泵喷油器和单体泵 .....	213
一、电控泵喷油器 .....	213
二、电控单体泵 .....	213
本章小结 .....	214
复习思考题 .....	215



# 第一章 绪 论

## 第一节 汽车电子技术的发展历程

汽车电子技术最初诞生于1861年，爱蒂恩斯·雷诺(Etienne Lenoir)利用伦科夫(Runkorf)1851年发明的电磁感应线圈发明了电子线圈点火装置，并用于煤气机。1866年，卡尔·本茨(Karl Benz)发明了一种带传动的永磁发电机，1886年又利用电池和线圈点火方法，开发出汽车点火装置，并首次用于奔驰汽车。

19世纪末到20世纪初，汽车电子技术主要用于开发和完善汽油机的点火系统、发电机及蓄电池充电系统。如：1887年博世(Bosch)发明的低电压永磁发电机，应用于固定式汽油机；1889年乔治·伯顿(Georges Bouton)发明的线圈点火系统采用断电器，首次调整汽油机的点火装置；1895年埃米尔·摩尔斯(Emile Mors)利用带驱动直流发电机，第一个成功地实现蓄电池的充电系统；1897年博世和西门子发明由H形电枢制成，用于汽车点火系的低压永磁发电机；1901年兰彻斯特(Lanchester)制造出第一台飞轮式永磁发电机；1902年博世制造出高电压永磁发电机；1905年汉斯·雷特(Hans Leitner)和R. H. 卢卡斯(R. H. Lucas)发明了三刷直流发电机；1908年C. A. 万德弗(C. A. Vandervell)发明了电子点火装置；1912年查里斯·弗朗克林·卡特灵(Charles Franklin Kertering)改进他曾在开发研制现金出纳机时开发过的小电动机，发明了起动机，并首次应用于由亨利·玛尔廷·理朗德设计制造的凯迪拉克汽车；1920年美国开发研制出蓄电池-线圈式点火装置；1939年在点火分电器上安装点火自动提前装置等，由此完成了经典的汽油机点火系统、电子起动机和发电充电系统。

1948年晶体管的发明和1958年集成(IC)电路的发明，使得汽车电子技术有了新的飞跃。1951年德国博世公司率先开发了汽油喷射系统，并于1954年在轿车上采用了该项技术。1960年半导体元件应用于汽车上的交流发电机整流器、调压器和晶体管点火系。同年交流发电机开始替代直流发电机，1965年防抱死制动系统(ABS)问世。

1966年，美国加利福尼亚州首次制定汽车排放法规，有力地推动了汽车电子控制技术的发展。1967年，博世发明的Jetronic质量流量式燃油喷射系统投入生产，IC技术在1967年以后逐渐应用于汽车，如：IC电压调节器、IC点火模块等。在此期间，开发出的模拟电路式汽油喷射装置、巡航装置、变速器控制装置等，由于成本高而未能普及应用。

1970年后，基于美国发布的安全、排放、油耗三大法规，以及1971年计算机的问世，车用电子技术得到了迅速发展。针对安全法规，要求开发出不系安全带，车就不能起动的系统。为此需开发耗电量少的IC，以尽可能降低蓄电池的放电量。1974年无触点式电子点火系统首次在汽车上得到应用。1980年以后，尖端技术的发展、用户要求的多样化以及微机的普及和数字化控制的发展，使电子技术得以应用于整车控制，并使整车综合控制技术得到全面发展。

汽车电控系统采用电子控制单元(Electronic Control Unit, ECU)，对汽车某一系统的控制

采用独立控制模式,很难实现汽车多系统同步适时控制,且线路复杂、成本高。其次,多个系统采用多个 ECU,同一种信号几个独立控制系统的 ECU 均需要时,必须同时配备几个相同的传感器,势必会造成系统结构复杂、维修困难、控制效果差及可靠性较低等问题。为此,采用集中控制,比如发动机控制系统从独立控制发展到集中控制,其主要控制对象为燃油喷射控制和点火控制,再根据不同车型适当增加一些辅助控制功能,如怠速控制、废气再循环控制、发电机控制、变速控制、汽油泵控制、加速踏板控制、巡航控制、极限转速控制、发动机闭缸控制和自诊断系统等。除发动机集中控制外,还以此为中心进行传动控制,并向车辆集中控制方向发展。

20 世纪 60 年代,伴随着半导体技术的发明与发展,汽车电子控制技术处于开发研制阶段;70 年代,随着集成电路及传感器技术的发展,汽车电子控制技术处于不断成熟的阶段;80~90 年代,伴随着计算机技术的发展与应用,汽车电子控制技术全面进入到数值化控制和集中控制阶段,见图 1-1。进入 21 世纪,实现了半导体技术大规模集成化,传感器向智能化发展,微机技术不断完善,同时引入模糊控制、神经网络、自适应控制、最优控制等新的现代控制理论,使得汽车动力传递控制及车辆驾驶安全等综合控制得到进一步完善。

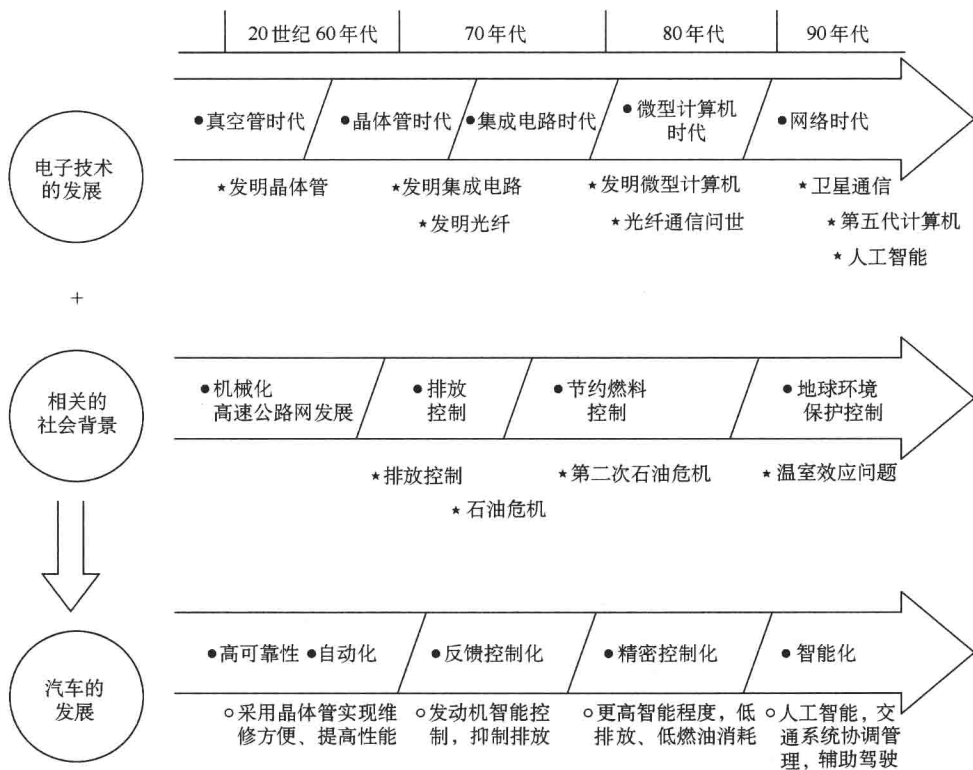


图 1-1 汽车电子技术的发展历程

## 第二节 汽车电子控制技术应用现状

汽车电控系统包括发动机控制系统、底盘控制系统、车身控制系统和信息通信系统,其

主要控制内容和功能见表 1-1。

表 1-1 汽车电控系统的主要控制内容和功能

类 型		功 能 说 明	
发 动 机	汽 油 机	电控燃油喷射系统 (EFI)	精确控制混合气空燃比,使其在各种工况下都能达到或接近于理论值,提高发动机功率、降低油耗、减少排放
		微机控制点火系统 (MCI)	控制发动机在不同条件下,获得最佳点火提前角并进行点火,以输出最大功率和转矩,并降低油耗和减少排放
		怠速控制系统	发动机怠速在不同工况下可进行自动调整,能有效降低油耗和减少排放
		排放控制系统	利用曲轴箱通风和废气再循环技术,控制发动机有害气体的生成
		进气与增压控制系统	在发动机不同负荷和转速下,改善充气效率,提高发动机输出转矩或动力
		可变配气相位控制系统	可变气门正时技术可改善发动机在低、中转速下的转矩输出,大大增强驾驶的操纵灵活性;可变升程正时能使发动机的气门升程随发动机转速的变化而改变
	柴 油 机	VE 型分配泵	能满足简单的供油特性和供油时刻变化特性,需在此基础上采用电子控制技术,提高其供油特性和控制精度
		TICS 泵	能有效地改善柴油机的动力性、经济性和排放特性
		共轨式电控高压喷射系统	采用新型高压燃油系统,用电磁阀控制喷射过程,喷油量和喷油正时控制灵活
		泵喷油器	直接将柱塞偶件和喷油器偶件组合安装在壳体内,取消了高压油管,直接用凸轮轴通过挺柱驱动喷油泵的柱塞
	单体泵	解决了高压共轨喷射系统的高压油管长、安装在气缸盖上的泵喷油器体积大、结构复杂等问题,高速响应特性及动态控制特性等方面不及高压共轨系统和泵喷油器	
底 盘	汽车防抱死制动系统 (ABS)		确保在紧急制动、易打滑路面及制动时的方向稳定性、操纵可靠性和制动时的安全性
	汽车驱动防滑转系统 (ASR)		减少驱动轮空转,增大牵引力,提高汽车加速性和操纵稳定性
	电控自动变速器 (EAT)		减少频繁换档和换档冲击,增强变速与汽车性能的匹配,提高行驶平顺性和乘坐舒适性
	无级变速器 (CVT)		
	电子控制悬架 (ECS)		缓和并衰减由地面引起的对车身的冲击和振动,在车轮与车身之间传递力和力矩,提高汽车行驶平顺性和乘坐舒适性
	巡航控制系统 (CCS)		将汽车控制在经济车速下行驶,降低油耗;无需频繁加油,提高舒适性和安全性
	动力转向控制系统 (EPS)		借助于发动机动力或电源电力,将其转换成液压能或机械能,驱动转向轮偏转,实现助力转向,使转向轻便,减轻驾驶员劳动强度,提高安全性
四轮转向系统 (4WS)		提高汽车转向的机动灵活性和高速行驶的操纵稳定性	

(续)

类 型		功 能 说 明	
车 身	安全性	安全气囊(SRS)	减轻二次碰撞所造成的乘员伤害或避免死亡, 提高汽车行驶安全性
		电控安全带	
		中央门锁系统	提高汽车使用的方便性和行驶安全性
		防盗报警系统	防止车辆和物品被盗, 提高停车时的安全性
	方便性和舒适性	电动座椅	根据各自功能, 提高操作方便性和乘员乘坐的舒适性
		电动门窗	
		电动天窗	
		自动空调(A/C)	夏天制冷, 冬天制热, 随时通风换气, 提高舒适性, 净化车室内空气
信息与通信	显示装置	中央综合显示, 多画面电子地图, 前视窗显示, 电子时钟	
	信息通信	车载网络技术, 蜂窝电话	
	导航系统	惯性导航, GPS 导航	
	故障自诊断系统	人工或仪器读取故障码、数据流, 便于故障诊断与排除	

### 第三节 汽车电子控制系统的基本组成

汽车电子控制系统主要由信号输入装置、ECU 和执行器等组成。

#### 一、信号输入装置

信号输入装置包括各种传感器和开关。车用传感器有两类, 一类用于控制汽车运行状态, 另一类让驾驶员了解某些状态(如冷却液温度、润滑油压力、燃油量等)。车用传感器的种类及用途见表 1-2。

表 1-2 车用传感器的类型和功能

物理量	测试部位	传感元件	基本要求	功 能
转角	曲轴角度	电磁型拾音器、光电遮断器、霍尔集成电路	小型化、提高分辨能力	EFI
	节气门开度	电位计(电路组件)	提高触点的接触可靠性、高寿命	
	转向角	光电遮断器、静电容量式	小型化、提高分辨能力	4WS、EPS
	车高	超声波、激光、电位计	低成本化	ECS
	角速度、方位	振动陀螺仪、光纤陀螺仪、地磁陀螺仪、排气流量陀螺仪	提高耐高温特性、降低与其他转轴的灵敏度、低成本化、零件集成化、消除残留磁性	导航系统

(续)

物理量	测试部位	传感元件	基本要求	功能
转速	发动机转速	电磁型拾音器、霍尔集成电路	小型化、耐噪声	EFI、EAT、ECS、ASR、中央门锁、扰流器、导航系统等
	变速器转速	电磁型拾音器、霍尔集成电路、MR元件	耐振动性、耐噪声性、耐高温	
	车轮转速	电磁型拾音器、霍尔集成电路、MR元件	零点车速的检测	ABS等
加速度	质心弹簧上的加速度	差动变量器、光电遮断器、霍尔集成电路	小型化、提高频率响应特性	ABS、ASR、4WS、ECS及导航系统
	碰撞加速度	机械式、半导体式开关	触点接触可靠、耐冲击、耐高温	SRS
压力	发动机进气压力	半导体式	密度校正	EFI等
	发动机润滑油压力	机械式膜片、半导体式	触点接触可靠、耐高温、耐高压	
	制动液压力	半导体式	耐高温、耐高压	ABS、ASR
流量	发动机吸入空气量	翼片式、卡门涡旋式、热丝式、热膜式	触电接触可靠、耐振动、耐污染、耐噪声、耐吸气脉动	EFI等
液量	燃油、润滑油、冷却液	浮子、电位计式、静电容式	触点接触可靠、低成本、耐噪声	
温度	发动机冷却液温度	热敏电阻	提高灵敏度、小型化	EAT
	发动机进气温度	铂电阻		
	制冷剂温度	热电偶、热敏电阻	提高放大器性能	
	变速器油液温度	热敏铁氧体	提高灵敏度	
	控制器、车室内外温度	热敏电阻	提高灵敏度	A/C、通风装置
废气/氧气	废气中氧浓度	导电性陶瓷、电解质陶瓷	耐高温、稳定性好	EFI

输入信号主要是由传感器或开关产生的电信号，输入计算机的信号通常为电压信号，电压信号分模拟信号和数字信号，见图 1-2。模拟信号是指在给定范围内无穷可变，来自传感

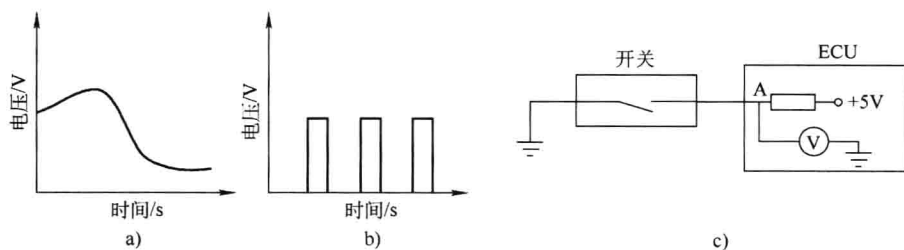


图 1-2 输入信号

a) 模拟信号 b) 数字信号 c) 信号发生器

器的信号大都是模拟信号。数字信号是指通-断、高-低或有-无等两种状态中的一种。中央处理器(CPU)接收的信号为数字信号。

简单的数字信号发生器,如驾驶员操纵的开关见图1-2c。当开关打开时,ECU A点处电压信号为5V;当开关闭合时,ECU A点处电压为0V。对于只需要“是-否”或“开-停”的工作状态,都可以用开关作输入信号,开关通常控制搭铁。

## 二、ECU

ECU由输入接口、计算机和输出接口等组成,见图1-3。其基本功能如下:

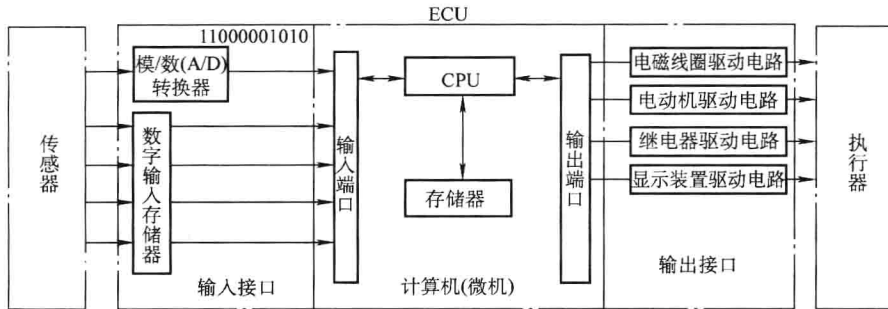


图1-3 ECU的基本结构

**信号输入:**计算机接收来自传感器或开关的电信号,并对传感器提供基准工作电压(2V、5V、9V或12V)。

**信号处理:**采集输入信息,通过逻辑电路将输入信号加工成输出信号。

**储存:**程序指令、车辆参数、运算数据及故障信息等被存入存储器。

**信号输出:**计算机将输入信号处理后,调用程序指令,向执行器发出控制命令或向仪表盘输出其他信息。

### 1. 输入接口

输入接口也称为输入回路,来自传感器的信号要经过输入回路滤波、整形、放大等处理后,才能送到CPU进行运算,见图1-4。由于传感器检测的信号有模拟信号和数字信号,而计算机只能接收数字信号,因此要用输入接口电路将模拟信号转换成数字信号,即在输入接口中采用A/D(模拟/数字)转换器,见图1-5。

### 2. 计算机

计算机(微机)由输入和输出、CPU、存储器、地址总线 and 数据总线等组成,见图1-6。

### 3. 输出接口

计算机输出的电信号是数字信号,而有些执行器需要计算机输出模拟信号。因此,输出接口需要D/A(数/模)转换器。同时,由于计算机输出的电信号较弱,不能直接控制执行器。因此,输出电路中大多采用由大功率晶体管组成的输出驱动器,见图1-7,由计算机输出信号控制晶体管的导通

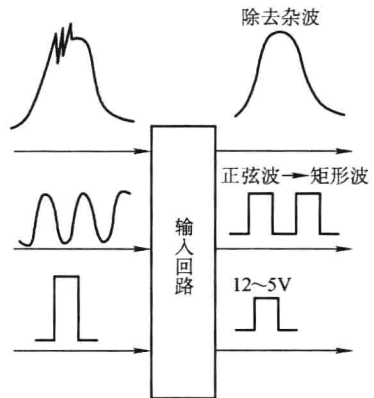


图1-4 输入回路

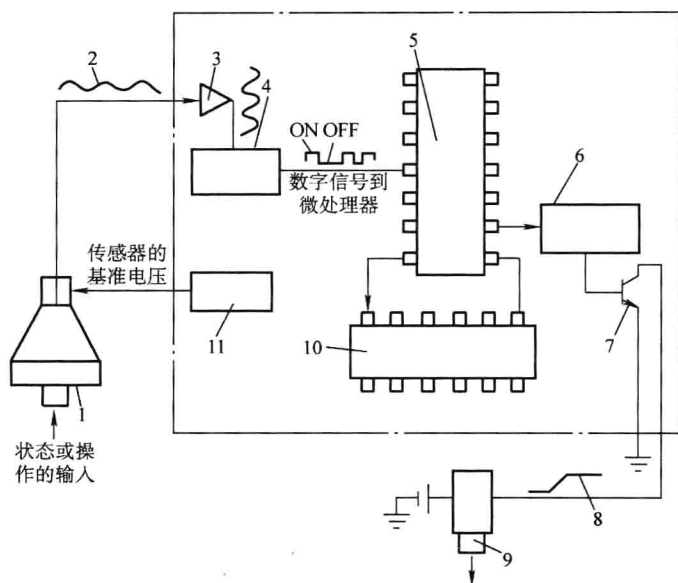


图 1-5 信号转换

1—传感器 2—模拟信号 3—放大器 4—A/D 转换器 5—CPU 6—D/A 转换器 7—功率晶体  
管(或驱动器) 8—模拟信号 9—执行器 10—存储器 11—稳压器

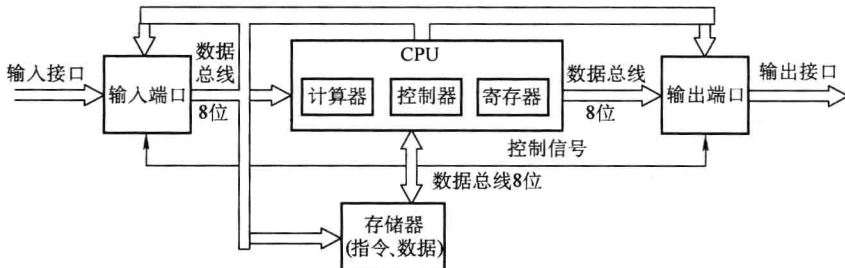


图 1-6 计算机的组成

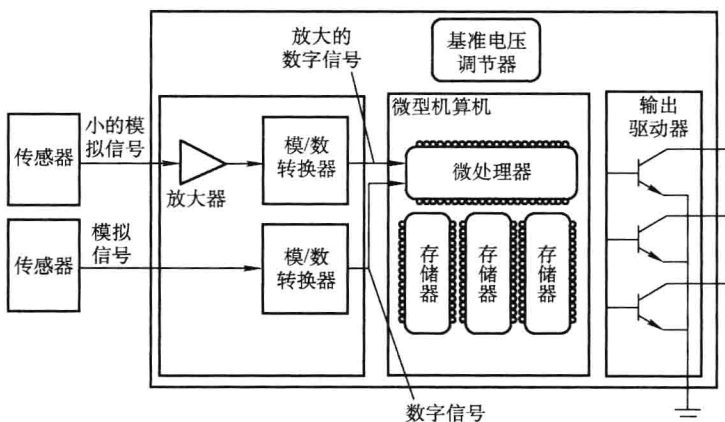


图 1-7 输出回路

与截止，从而控制执行器的搭铁回路。

### 三、执行器

执行器根据 ECU 输出的控制信号执行某项控制功能，常用执行器见表 1-3。

表 1-3 常用执行器

名 称		驱 动 能 源	应 用 举 例
电动机	直流电动机	电能	刮水器
	伺服电动机	电能	节气门开度
	步进电动机	电能	节气门开度、电子悬架阻尼与刚度控制
控制阀	2/2 开关阀	液压/气动	ABS、ASR、EAT
	3/3 开关阀	液压/气动	ABS、ASR、EAT
	比例压力阀	液压/气动	离合器控制、CVT 金属带夹紧力控制
	比例流量阀	液压/气动	CVT 连续速比控制
继电器		电能	电磁阀驱动、电动机驱动
电磁铁	比例	电能	电磁离合器、比例液压阀
	开关	电能	开关电磁阀

## 第四节 汽车电子控制技术控制理论

### 一、控制系统类型

#### 1. 开环控制系统和闭环控制系统

(1) 开环控制系统 在控制系统中，若系统的输出量对系统的控制作用没有影响，则称其为开环控制系统，见图 1-8。开环控制系统的输出量不被反馈到输入端，对控制没有作用。由于该系统没有自动修正控制偏差的能力，系统控制精度取决于系统校准的精度。当实际系统的参数在控制中发生了变化或系统受到外界干扰时，系统控制的精度会变差。系统结构简单、调整方便、成本低，适用于控制精度要求不高、外界扰动较小的情况。汽车电子控制系统中电动汽油泵工作的控制、冷却风扇转速的控制等均采用了开环控制。



图 1-8 开环控制系统

(2) 闭环控制系统 闭环控制又称反馈控制，系统将输出信号通过反馈环节在输入端与输入信号进行比较。若输入信号与反馈信号相加，称为“正反馈”；若输入信号与反馈信号相减，称为“负反馈”，见图 1-9。负反馈应用较多，其输入信号与反馈信号的差值作为输入信号再一次输入，从而修正了系统控制的误差。闭环系统由于采用了反馈控制，控制系统对内部参数的改变和外界的干扰不敏感，系统控制精度高。通过闭环控制，就有可能采用不太精密的、成本低的元器

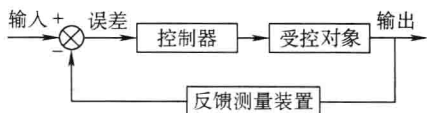


图 1-9 闭环控制系统



件组成精确的控制系统。怠速控制、空燃比控制、爆燃控制、自动空调的温度控制等均采用了闭环控制。

(3) 复合控制系统 为进一步提高反馈控制系统的性能,有些控制系统在反馈控制的基础上,还附加有前馈控制器,见图1-10。这类控制系统称为复合控制系统,其目的是克服系统的动态误差。

(4) 发动机燃油喷射系统的开环控制和闭环控制

1) 燃油喷射系统开环控制。当发动机运行时,ECU根据系统中各个传感器信号,经过处理,判断发动机实时所处的运行工况,再根据保存在CPU中的喷油脉谱图,计算出最佳的喷油量,并经

输出级放大后,通过控制喷油器的喷油脉宽来精确地控制混合气的空燃比。即给定控制系统一个输入,希望产生一个期望输出。开环系统结构简单,易于实现。但其控制精度直接依赖于所设定的喷油脉谱图和一些基准数据的精度,以及喷油器的调整与校定。当喷油器及发动机的性能由于长期运行、磨损、老化等原因而出现性能变化时(即系统模型参数发生变化),则混合气浓度就不能准确地保持为预定的空燃比。

2) 燃油喷射系统闭环控制。通常在发动机的排气管上安装一个氧传感器,该传感器检测排气中氧气的含量,以判断混合气浓度,见图1-11。若氧含量大,说明混合气稀,应增大喷油量;反之,应减少喷油量。反馈环节将检测出的反映空燃比的信号反馈到ECU,与设定的目标空燃比进行比较,得出误差信号,并把此误差信号作为输入信号再次输入,从而修正了控制所产生的误差。燃油喷射闭环控制过程见图1-12。燃油喷射系统的闭环控制可以达到较高的控制精度,可消除因产品制造差异或磨损、老化等原因引起的性能变化,工作稳定性好,抗干扰能力强。

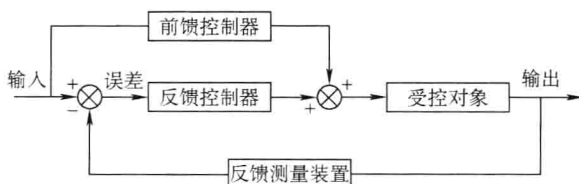


图 1-10 复合控制系统

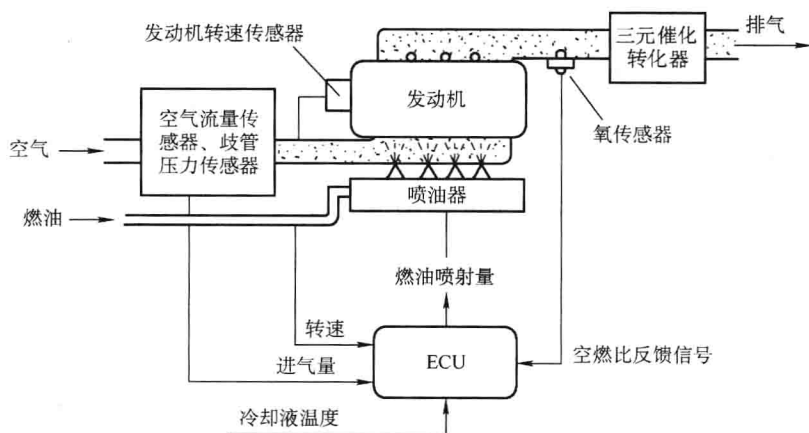


图 1-11 燃油喷射闭环控制系统

## 2. 线性系统和非线性系统

(1) 线性系统 可用线性微分方程或差分方程描述的系统,称为线性系统。如果微分方程或差分方程的系数为常数,则称为线性定常系统;否则为线性时变系统。线性系统已有