



南京航空航天大学
研究生系列精品教材

车辆电子学

主 编 魏民祥

副主编 赵万忠 李玉芳 石志伟



科学出版社

南京航空航天大学研究生系列精品教材

车辆电子学

主 编 魏民祥

副主编 赵万忠 李玉芳 石志伟

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书着重研究车辆电子控制系统的理论与方法,包括车辆发动机电子控制系统、车辆底盘与车身电子控制系统的控制模型、控制算法,从整体和系统的角度讨论车辆电子控制系统的组成、原理,同时对先进的典型车辆电子系统进行实例分析。

本书可作为车辆工程专业研究生的教材,也可作为相关专业的研究生教学参考书,特别适合作为理论教学和应用设计的教科书,供相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

车辆电子学 / 魏民祥主编. —北京: 科学出版社, 2016.2
ISBN 978-7-03-047175-8

I. ①车… II. ①魏… III. ①汽车-电气设备 IV. ①U463.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 008821 号

责任编辑: 余 江 张丽花 / 责任校对: 郭瑞芝

责任印制: 徐晓晨 / 封面设计: 迷底书装

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京京华虎彩印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 2 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2016 年 2 月第一次印刷 印张: 10 3/4

字数: 255 000

定价: 45.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

电子信息技术开创了当今的汽车电子时代,汽车电子化、数字化、网络化将成为汽车工业的主导。汽车的电子化程度已成为衡量汽车技术水平高低的重要标志之一,智能汽车的发展需要大量汽车电子高层次人才。国内设有车辆工程研究生专业的高校普遍开设车辆电子学课程,以适应现代汽车电子技术发展的高层次人才需求。为了加强对研究生在汽车电子与控制方面的培养,特编写了这本用于车辆工程专业研究生的教科书。

本书基于附录中列举的重要参考文献,着重研究车辆电子控制系统理论与方法,包括车辆发动机电子控制系统、车辆底盘与车身电子控制系统的控制模型、控制算法;同时对先进的典型车辆电子系统进行实例分析,包括发动机喷油控制程序的设计与调试,结合作者科研工作积累,内容深度适当,列举设计实例,紧密结合最新技术,从创新和设计角度探讨车辆电子控制技术,有利于研究生创新能力、实践能力以及分析问题、解决问题的综合素质的提高。

本书共6章,其中第1章概述了汽车电子与控制发展方向;第2章讨论了发动机、底盘与车身电子控制系统的传感器与调理电路、驱动元件与驱动电路等;第3章讨论了电子控制单元硬件设计、软件设计与编程基础、RS232与CAN通信软件设计等;第4章讨论了汽油进气管喷射发动机电子控制系统、汽油缸内直喷发动机电子控制系统(包括缸内高压喷射电控系统、空气辅助缸内直喷发动机电控系统)、汽油机电控单元仿真与标定、柴油机高压共轨电子控制系统等;第5章讨论了车辆自动变速器电子控制系统、车辆防滑与平面稳定性电子控制系统、车辆转向电子控制系统、车辆悬架电子控制系统等;第6章讨论了汽车主动防撞控制系统、自适应巡航控制系统、车道保持辅助系统等。本书内容系统、翔实、新颖,图文并茂,重点突出,特别适合作为理论教学和应用设计的教科书。

参加本书编写工作的主要有:魏民祥编写第1章、第2章、第4章、5.1节、5.4节、第6章;李玉芳编写5.2节;赵万忠编写5.3节;石志伟编写第3章。全书由魏民祥进行统稿修改,并制作了书中用图。

本书的编写得到了南京航空航天大学研究生院领导的大力支持和帮助,得到了南京航空航天大学研究生教育优秀工程教材建设项目的资助,在此一并表示感谢。

由于时间仓促,书中难免存在不足,敬请读者批评指正。

编 者

2015年9月

目 录

前言	
第 1 章 绪论	1
1.1 车辆电子综述	1
1.2 车辆电子学研究内容	5
第 2 章 车辆电子传感器与执行器驱动基础	6
2.1 发动机传感器与调理电路	6
2.1.1 发动机转速传感器	6
2.1.2 发动机温度传感器	8
2.1.3 发动机进气压力传感器	10
2.1.4 热膜式空气流量传感器	12
2.1.5 氧传感器	13
2.1.6 爆震传感器	15
2.1.7 曲轴位置传感器	16
2.1.8 节气门位置传感器	16
2.2 底盘与车身传感器及调理电路	17
2.2.1 加速度传感器	17
2.2.2 踏板位置传感器	19
2.2.3 轮速传感器	20
2.2.4 转向盘转矩传感器	20
2.2.5 测距传感器	21
2.3 执行器驱动	21
2.3.1 驱动元件与驱动电路	21
2.3.2 集成驱动模块	24
第 3 章 车辆电子微控制器应用基础	25
3.1 8 位微控制器的基本构架	25
3.2 8 位单片机电子控制单元硬件设计	29
3.3 车辆电子控制软件设计与编程基础	31
3.3.1 电控单元软件的总体设计	31
3.3.2 主要功能模块的设计	32
3.3.3 软件开发环境	37
3.3.4 软件抗干扰措施	38
3.4 RS232 通信软件设计	39

3.4.1	RS232 通信基本原理	39
3.4.2	串口通信模块程序设计	40
3.5	CAN 通信软件设计	42
3.5.1	MSCAN 的基础	42
3.5.2	CAN 总线通信的软件设计	45
3.5.3	基于 CAN 总线的软件程序设计实例	46
第 4 章	车辆发动机电子控制系统	58
4.1	进气管喷射汽油发动机电子控制系统	58
4.1.1	发动机模型	58
4.1.2	喷油控制模型的建立	62
4.1.3	发动机初始喷油 MAP 图的数值计算	64
4.1.4	喷油控制策略及控制软件设计	67
4.2	汽油缸内直喷发动机电子控制系统	75
4.2.1	缸内直喷发动机燃烧模式	75
4.2.2	缸内高压喷射控制系统	77
4.2.3	空气辅助缸内直喷发动机电控系统	79
4.3	汽油机电控单元仿真与标定	88
4.3.1	仿真模块	89
4.3.2	标定模块	90
4.3.3	基于 CCP 的标定系统简介	93
4.4	柴油机高压共轨电子控制系统	95
4.4.1	基本组成	95
4.4.2	控制功能与基本原理	97
第 5 章	车辆底盘电子控制系统	103
5.1	车辆自动变速器电子控制系统	103
5.1.1	车辆自动变速器系统组成	103
5.1.2	自动变速器电子控制换挡原理	103
5.1.3	计算模型和换挡控制原理	104
5.1.4	两参数换挡电控系统分析	109
5.2	车辆防滑与平面稳定性电子控制系统	113
5.2.1	汽车制动防抱死控制系统	113
5.2.2	驱动防滑/牵引力控制系统	119
5.2.3	平面稳定性电子控制系统	123
5.3	车辆转向电子控制系统	127
5.3.1	电控动力转向系统	128
5.3.2	电控四轮转向系统简介	137
5.3.3	主动转向系统简介	140
5.4	车辆悬架电子控制系统	142

5.4.1	电控悬架系统的功能和类型.....	143
5.4.2	电控悬架控制系统的组成及原理.....	143
5.4.3	磁流变液减振器.....	146
第 6 章	车辆驾驶安全与辅助驾驶电子控制系统.....	149
6.1	汽车主动避撞控制系统.....	149
6.1.1	纵向控制系统.....	149
6.1.2	侧向控制系统.....	153
6.2	自适应巡航控制系统.....	155
6.2.1	自适应巡航控制系统基础.....	155
6.2.2	弯道目标识别.....	158
6.3	车道保持辅助系统.....	160
参考文献		162

第 1 章 绪 论

1.1 车辆电子综述

1. 汽车文明

汽车自 1886 年发明以来已经有 100 多年的历史,汽车已成为人们日常生活中不可缺少的交通工具。汽车扩展了人类出行的半径,缩短了人与人之间的距离,提高了物流和信息传递的速度,改变了人类的生活方式;汽车带来了速度和效率,带来了财富与繁荣,改变了人类的生产方式,极大地满足了人类社会对物质财富的需求。

2. 汽车公害

汽车带来交通事故、环境污染、资源枯竭,威胁着人类的生存。依靠传统的机械技术已经不能适应日益严格的公害控制法规,作为机械技术在汽车领域的应用已相当成熟,有的已达到了物理极限,使基于机械技术的传统汽车产品进入高度成熟期,并即将进入衰退期,难以实现技术上的重大突破,不能完全满足人们对汽车“安全、舒适、方便、节能、环保”的要求,汽车产业要发展,必须寻找新的技术突破口。

3. 汽车技术的转化方向

电子信息技术为汽车工业的突破性发展提供了千载难逢的机遇,汽车电子数字化成为当今世界汽车技术发展的主流。汽车产业电子数字化已成为提升汽车传统产业技术的根本途径。

随着汽车向微电子、信息、新材料、新能源等高新技术方向转变,汽车的性能和质量得到了进一步提高,逐步解决汽车环保生态问题,明显提高了汽车的动力性、舒适性、安全性和燃油经济性。

目前,汽车的电子化程度已成为衡量汽车技术水平高低的重要标志。汽车电子产品具有重量轻、占用空间小、处理速度快、传感精度高、信息容量大等特点。未来汽车市场的竞争,其本质上就是汽车电子化的竞争。

电子信息技术开创了当今的汽车电子时代。汽车电子化、数字化、网络化将成为汽车工业的主导。

汽车电子控制系统是为了解决与汽车功能要求有关的问题,而这些问题仅依靠通常的机械系统是难以解决的。例如,汽车制动防抱死系统 ABS 是为了保证车辆在湿滑路面上行驶时的安全性;悬架控制用来改善汽车的平顺性、操纵稳定性;而动力转向的目的是为了改善停车或低速驾驶时的转向轻便性以及保证在高速行驶时的路感。

近年来汽车电子技术飞速发展的主要原因如下:

(1) 电子技术在汽车发动机及整车上的广泛应用,可使汽车在各种工况下始终处于最佳工作状态,各项性能指标获得较大的改善。诸如燃油消耗降低,动力性提高,排气污染减少,并能大大提高汽车工作可靠性、安全性和乘员舒适性。电子技术可使汽车、道路、环境与乘员之间形成一个完整的系统网络,这是采用任何机械的手段所无法达到的。

(2) 电子装置运行极为精确,并且本身不会磨损。若把电子技术应用于汽车控制与监测,由于有自学习功能和一些闭环控制,使生产或运行中产生的一些误差也会受到严格控制,这将会改善汽车功能,并能延长汽车的维修周期和使用寿命。

(3) 电子装置通用性好。如各种传感器、报警器、计算机系统软件等,比机械部件更容易换装到各种车辆上。

(4) 随着电子技术的发展,电子电路集成化程度越来越高,因而电子装置具有体积小、重量轻、故障率低、使用方便等优点。

(5) 高新技术的飞速发展,使电子产品价格不断下降,品种越来越多,产量越来越大,因而在各领域中得到了广泛应用。

汽车电子控制技术不仅可对现有机械设计进行性能改进,在很大程度上还会影响传统设计方法,从而启发创新的机械系统设计。这种创新设计方案需要结合或依靠电控系统来实现。汽车设计已经演变为机械、电子控制与信息一体化设计模式。

4. 汽车电子与控制技术的基本含义

汽车电子与控制技术是指将以计算机为代表的微电子技术、信息技术引入汽车工业领域,使传统汽车机械系统与电子技术、信息技术相融合,实现汽车产品的电子数字化、网络信息化和控制智能化,满足人们对汽车“安全、舒适、方便、节能、环保”的要求。

汽车电子技术的广泛应用,更新了传统的汽车概念。传统的汽车主要是一个机械系统,现代汽车是一个机械电子体系,现代汽车正在成为机电一体化、多种高新技术综合集成的载体。可以形象地说,现代汽车是车轮上的计算机。传统汽车工程学科的基础是力学、机械工程、材料科学;现代汽车工程除了上述学科之外,电子学、计算机、自动控制、信息技术、互联网技术正在快速向汽车工业渗透并成为现代汽车的支撑学科。

汽车电子与控制技术是汽车电子控制领域中具体应用的分支学科,主要以数学方法和工程方法为工具,综合运用汽车和微电子技术以及自动控制理论,并使三者有机结合,实现汽车性能的最优化,保证汽车总体性能水平。

5. 传统汽车电子与控制技术

传统汽车电子与控制技术主要以 8 位、16 位、32 位微控制器(MCU)为核心,依据汽车发动机、底盘和车身等工作原理和控制要求,设计电子控制单元(ECU)、电子控制模块(ECM)和控制算法,实现电子控制,提高汽车性能,主要包括发动机电子控制、底盘电子控制、车身电子控制和总线网络等。

1) 发动机电子控制

发动机电子控制包括空燃比控制、点火正时控制、废气再循环控制、怠速控制、进气控制等,典型的发动机电子控制范例为发动机进气管燃油喷射控制系统,如图 1.1 所示。

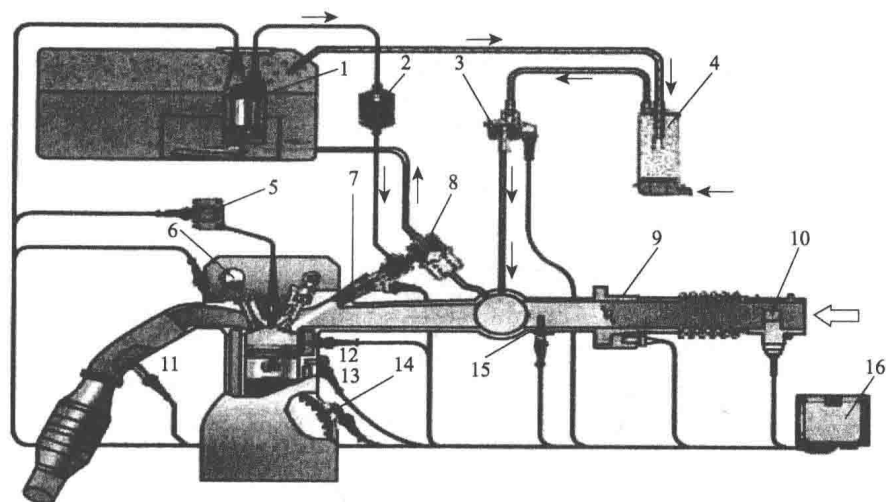


图 1.1 发动机进气管燃油喷射控制系统

- 1-燃油泵；2-滤清器；3-碳罐控制阀；4-碳罐；5-点火线圈；6-凸轮；7-喷油器；8-调压器；9-节气门；
10-空气流量传感器；11-氧传感器；12-冷却液温度传感器；13-爆燃传感器；
14-发动机转速和曲轴位置传感器；15-进气温度传感器；16-电子控制单元

2) 底盘电子控制

底盘电子控制包括制动防抱死控制、驱动防滑控制、牵引力控制、电子控制悬架、车辆稳定性控制、电子控制自动变速器、汽车动力转向控制等。

典型的底盘电子控制范例为电子控制悬架系统，如图 1.2 所示。

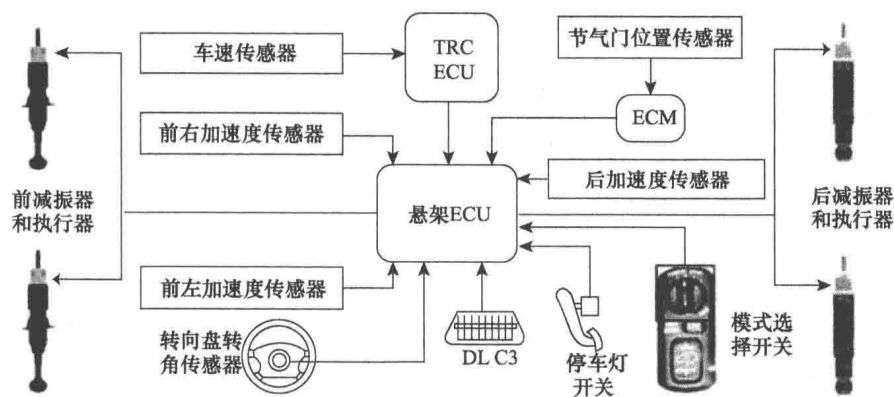


图 1.2 电子控制悬架系统

3) 车身电子控制

车身电子控制包括电子控制安全带、安全气囊、汽车防撞、自适应巡航、车道保持、车内气候控制、电子防盗系统、遥控门锁、电动座椅、电动后视镜、电子仪表板、灯光控制、轮胎压力监测、CAN 总线技术等。

典型的车身电子控制范例为汽车防撞控制系统，如图 1.3 所示。

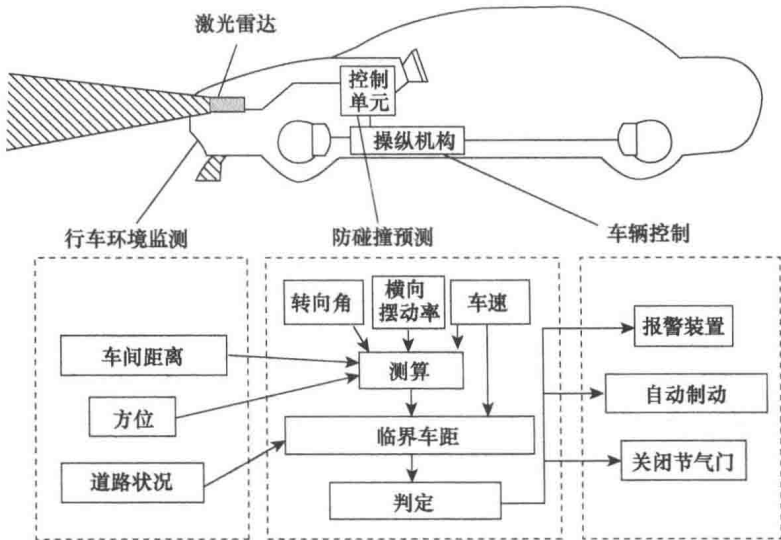


图 1.3 汽车防撞控制系统

4) 车载汽车电子设备

车载汽车电子设备包括车载娱乐、汽车信息、导航系统等辅助设备。例如，数字式收音机、音响、冰箱、电视、CD、汽车行驶的信息系统、车载通信系统、语音信息系统、网络设备、导航系统和智能运输系统的辅助设备等等。

6. 现代汽车电子与控制技术及发展

1) 汽车电子集成控制

发动机在不同转速和扭矩下燃油喷射与点火集成控制，得到动力、油耗和排放的综合控制；无级变速系统与发动机集成控制，使传动系统与发动机实现最佳匹配；将转向、制动及悬架系统集成控制，得到优良的操控性与驾驶性；发动机动力与制动系统的集成控制，在实现汽车避撞的同时，提高了乘坐舒适性；汽车导航系统与自动驾驶、汽车防撞集成设计，提高汽车安全性和驾驶舒适性。

2) 车联网技术

基于车内网络 CAN 总线、FlexRay 总线网络，借助于通信网络和全球定位系统 (GPS、北斗)，发展车间通信网络、车与地面交通设施之间通信网络，可使汽车、道路、环境与乘员之间形成一个完整的系统网络，实现各种信号数据在不同控制子系统之间的共享和实时交换，提高信号的利用率，实现远程通信、调控和故障诊断化，提高交通运输效率，降低交通事故发生概率，降低能耗和排放量。

3) 车辆驾驶安全与辅助驾驶电子控制系统

为了提高汽车驾驶的安全性，车道保持辅助系统、防撞避撞控制系统利用超声波传感器、视觉传感器、毫米波雷达与激光雷达传感器等，与汽车自动制动和自动转向系统相结合，实现自动泊车、车道保持以及防撞避撞；与精密导航系统等技术相结合，最终实现自动驾驶。

4) 汽车智能化技术

汽车集成控制逐渐向智能控制发展,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,其中控制软件借助于新型传感器、高性能电控单元、智能控制理论,使其具有判断推理、逻辑思维和自主决策等能力,实现自动行驶、制动和转向操作,提高现代汽车的自动化与智能化水平。

1.2 车辆电子学研究内容

车辆电子学,讨论车辆电子控制系统理论与方法,从整体和系统的角度讨论车辆电子控制的组成、原理与设计,包括传感器、执行器和控制器特性评价,信号调理、驱动电路以及电控单元设计。

进一步研究车辆电子控制系统理论与方法,包括车辆发动机电子控制系统、车辆底盘与车身电子控制系统的控制模型、控制算法,从整体和系统的角度讨论车辆电子控制系统的组成、原理与设计,简要介绍车辆驾驶安全与辅助驾驶电子控制系统。

同时对先进的典型车辆电子系统实例进行分析,包括发动机喷油控制程序的设计与调试,结合作者科研工作积累,内容深度适当,列举设计实例,紧密结合最新技术,从创新和设计角度探讨车辆电子控制技术,有利于研究生创新能力、实践能力以及分析问题、解决问题的综合素质的提高。

第 2 章 车辆电子传感器与执行器驱动基础

2.1 发动机传感器与调理电路

2.1.1 发动机转速传感器

发动机转速信号传感器分为磁电式、霍尔式和光电式三种。

1. 磁电式转速传感器

磁电式转速传感器由永久磁铁定子、线圈和转子齿盘组成，如图 2.1 所示。转子盘由导磁材料加工而成，它与曲轴或分电器轴同轴旋转。定子与转子间的磁隙交替变化。转子转至与齿顶相对时，磁隙最小，磁回路中的磁阻最小；当转子转至齿凹槽时，磁隙最大，磁回路中的磁阻最大。通过线圈的磁通量发生周期性变化。磁通量变化曲线如图 2.2 所示。根据磁路欧姆定律，磁势一定，磁阻交替变化，根据电磁感应定律，线圈中产生交变感生电动势，电动势峰值随着转速提高而增大，其输出信号波形如图 2.1 所示，通过整形后可得到发动机转速。

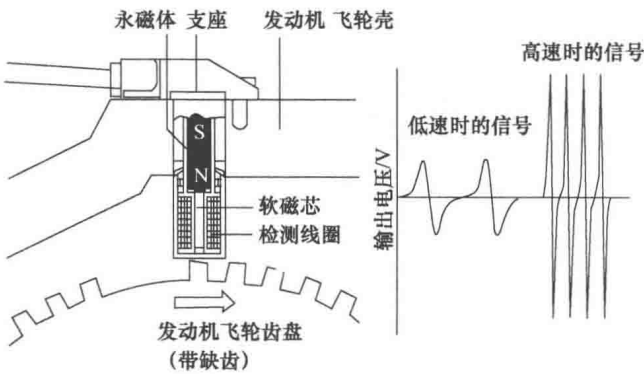


图 2.1 磁电式转速传感器

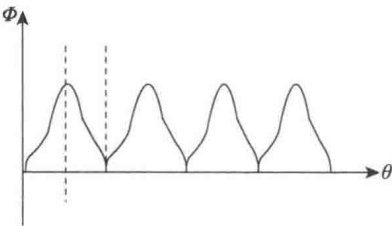


图 2.2 磁通量变化曲线

NCV1124 芯片是一款双通道磁电式传感器接口集成电路芯片，对可变磁阻式传感器的信号处理有较好的效果。该芯片内部有集成的动态钳位电路，可以将不同的输入信号的电压钳位到一定范围值。图 2.3 为可变磁阻传感器调理电路。

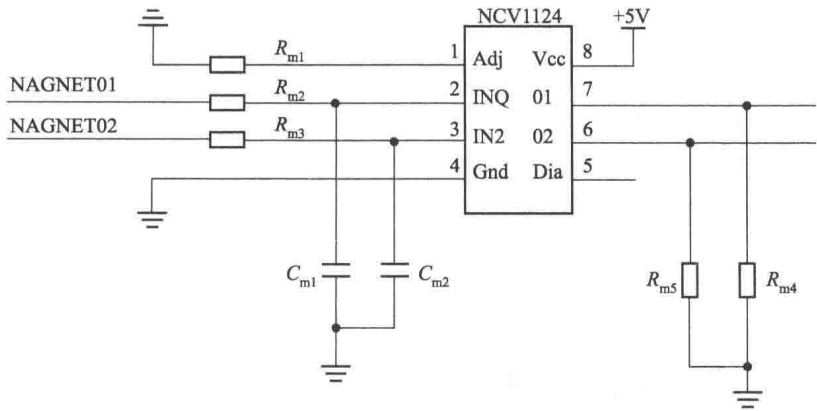


图 2.3 可变磁阻传感器调理电路

2. 霍尔式转速传感器

霍尔效应，将霍尔元件置于磁场 B 中，当在板长度方向通以控制电流 I 时，则在板的侧向产生电势差

$$u = K_H IB \tag{2.1}$$

典型的霍尔式转速传感原理如图 2.4 所示，金属转子齿盘齿顶到达霍尔元件时，施加到霍尔元件上的磁场强度最大，同样驱动电流条件下，霍尔元件输出高电平；转子齿盘齿凹到达霍尔元件时，施加到霍尔元件上的磁场强度最小，霍尔元件输出低电平。输出信号高低电平变化频率与单位时间转子齿数成正比，以此测出转速，对应调理电路如图 2.5 所示。

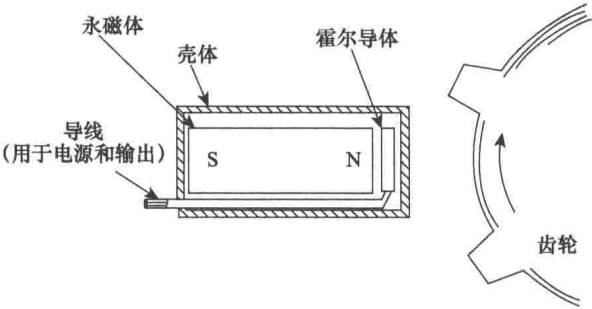


图 2.4 霍尔式转速传感器测量原理

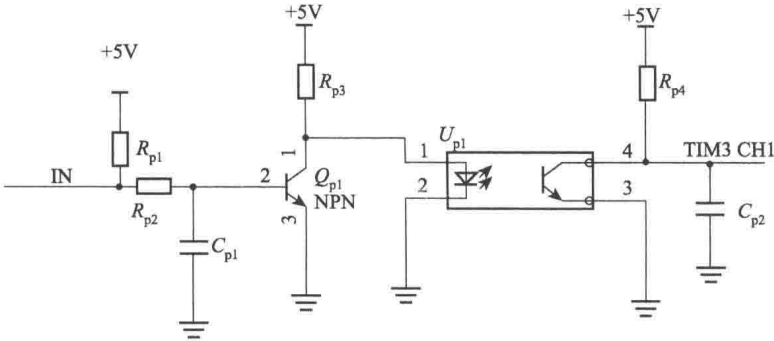


图 2.5 霍尔式转速传感器调理电路

3. 光电式转速传感器

光电式转速传感器由发光二极管、光敏三极管和遮光盘等组成,如图 2.6 所示。遮光盘旋转,当发光二极管发出的光被遮光盘遮挡时,光敏三极管截止,输出高电平信号;当发光二极管光线透过缝隙照在光敏三极管上时,光敏三极管导通,输出低电平信号。这样转速传感器输出周期性高低电平脉冲信号。

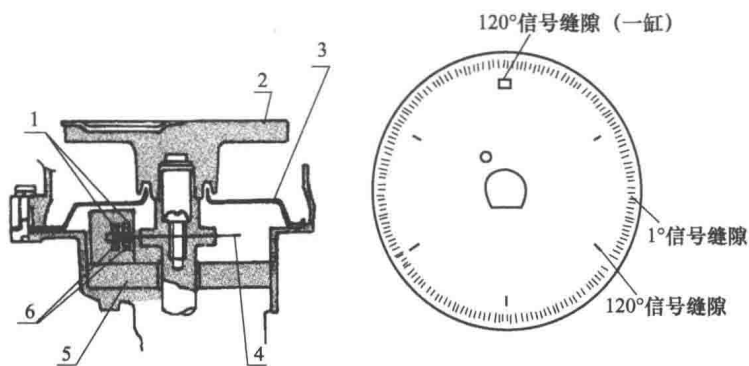


图 2.6 光电式转速传感器

1、6-光电对管；2-分火头；3-密封盖；4-信号盘；5-调理电路

在转速较低时,光电传感器仍能保持较高的测量精度,而且信号不受电波的干扰,对环境的适应性强。调理电路与图 2.5 基本一致。

2.1.2 发动机温度传感器

1. 发动机缸体温度传感器

发动机缸体温度传感器(或冷却液温度传感器)一般采用负温度系数热敏电阻(NTC)。

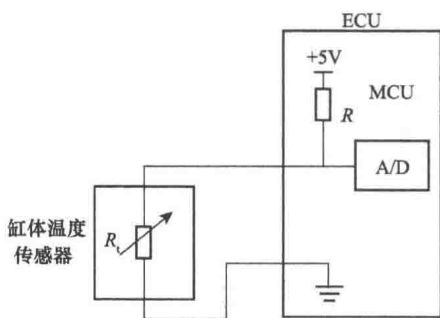


图 2.7 缸体温度传感器的工作原理图

热敏电阻阻值随温度上升呈指数减小;图 2.7 所示为缸体温度传感器的工作原理图。根据分压原理,ECU 内部的 5V 电压通过分压电阻 R 加在缸体温度传感器内的热敏电阻上,再通过接地构成回路。缸体温度传感器的输出信号即为加在热敏电阻上的电压。

为了得到缸体温度传感器输出信号与温度的对应关系,首先对温度传感器进行标定,掌握其特性。标定过程中用一个可变电阻模拟缸体温度传感器,改变电阻值,输出信号进入 MCU 的 A/D 引脚。标定结果如图 2.8 所示。

根据图 2.8 中的曲线,可得到缸体温度传感器局部输出特性的拟合公式为

$$y = -2.0461x^3 + 17.49x^2 - 68.359x + 126.11 \quad (2.2)$$

式中, y 为缸体温度; x 为缸体温度传感器输出的电压值。

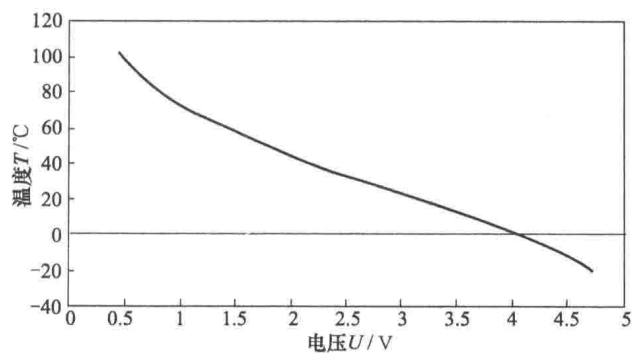


图 2.8 缸体温度传感器输出特性标定曲线

2. 发动机进气温度传感器

热敏电阻型发动机进气温度传感器与发动机缸体温度传感器类似，这里不再赘述。进气温度或缸体温度可以采用铂电阻 Pt100 作为传感器。铂电阻温度传感器精度高，稳定性好，线性度好，并且有较强的抗干扰能力。其中 Pt100 是一种广泛应用的铂电阻式测温元件，温度测量范围-50~600℃。

理想情况下 Pt100 在 0℃ 时的阻值一般为 100Ω，在 100℃ 时阻值应为 138.5Ω，但由于加工工艺以及导线的影响，其实际的阻值并不等于理想情况下的阻值，所以需要标定实验用的 Pt100(包括导线)在各种温度下的实际阻值，然后将各种温度下的实际阻值进行线性拟合，得到传感器的特性曲线。

3. 发动机排气温度传感器与缸头温度传感器

1) 排气温度传感器

排气温度传感器一般使用镍铬-镍硅热电偶(K 型热电偶)。适用温度为-200~1300℃。K 型热电偶具有线性度好、互换性好、稳定性和均匀性较好、抗氧化性能强、价格便宜等优点。

K 型热电偶调理模块采用 AD597，调理电路如图 2.9 所示。

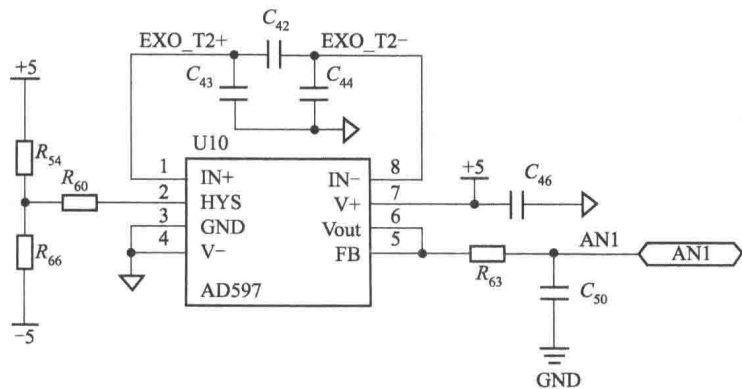


图 2.9 K 型热电偶调理电路

2) 缸头温度传感器

缸头温度传感器一般采用铁-铜镍热电偶(J 型热电偶)。铁-铜镍热电偶的测量温区为-200~1200℃, 常用的温度范围为 0~750℃。

J 型热电偶具有线性度好、互换性好、稳定性和均匀性较好、价格便宜等优点, 应用广泛。J 型热电偶调理模块采用 AD596。调理电路与 AD597 类似。

2.1.3 发动机进气压力传感器

1. 进气歧管压力传感器

采用微细加工技术(MEMS)制造压力硅微传感器, 简单的结构是用一个硅膜片, 并在其上扩散生成压阻区来检测膜片的位移, 如图 2.10 (a) 所示。

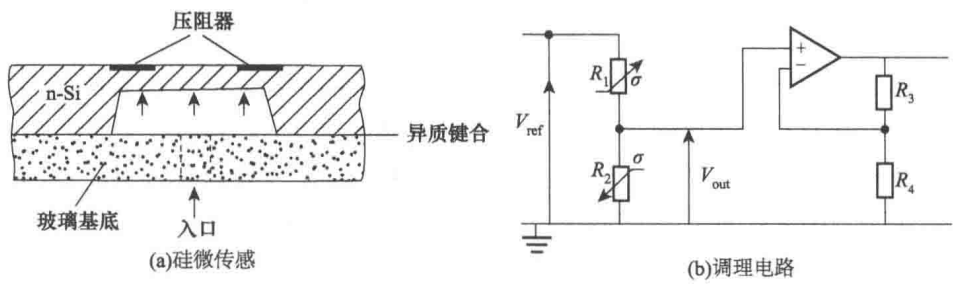


图 2.10 硅微进气压力传感器

进气歧管绝对压力传感器的压力测量单元 MAP 部分基于 MEMS 技术的压阻效应原理, 采用三维集成电路工艺, 在同一硅片上进行特定晶向的微机械加工, 生成分别受拉和受压的四个应变电阻, 构成惠斯顿检测电桥, 成为集应力敏感与力电转换检测于一体的压力感应模块, 如图 2.11 所示。

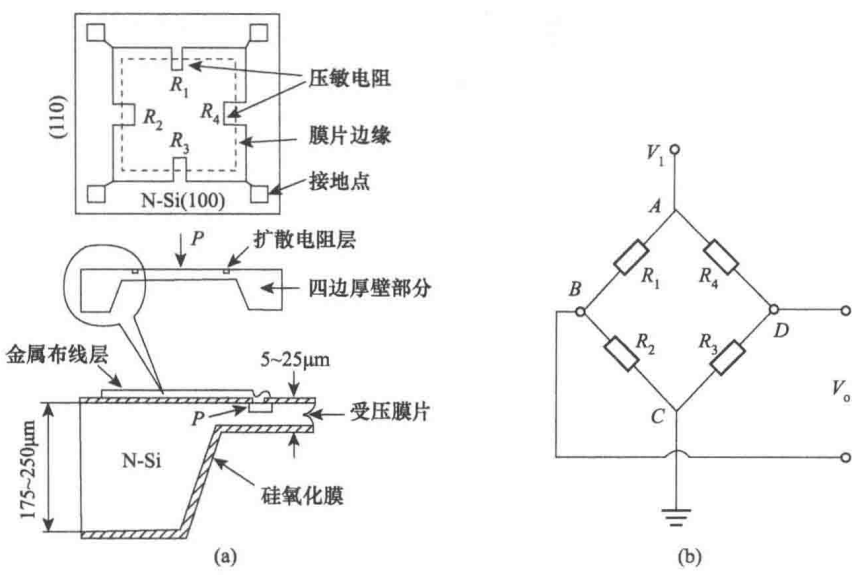


图 2.11 进气歧管绝对压力传感器的测量原理