

全国普通高校
电子信息与
电气学科
基础规划教材

模拟电路及其应用

(第2版)

储开斌 何宝祥 徐权 编著



清华大学出版社

全国普通高校电子信息与电气学科基础规划教材

模拟电路及其应用

(第2版)

储开斌 何宝祥 徐权 编著



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书结合应用型人才培养目标和教学特点,在选材上强化基础,精选内容,能够有效激发学生的学习兴趣。本书新版修订过程中,吸收了作者近年的教学实践和广大读者的建议,在内容上做了一定调整,并增加了特色章节——常用模拟电路的设计。

全书共 10 章,以电子元器件及其应用为主线,简单介绍元器件的结构和工作原理,着重介绍元器件的参数及意义、元器件的选型方法,详细介绍了各类元器件组成电路的应用领域、电路的分析方法、实际应用电路举例;本书还从应用角度出发,介绍了部分常用电子电路的设计方法。

修订后的本书更符合当前工程型院校电子技术课程教学的需要,可作为普通高校电类专业和部分非电类专业的教科书,也可作为工程技术人员参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

模拟电路及其应用/储开斌,何宝祥,徐权编著.--2 版.--北京:清华大学出版社,2013.2

全国普通高校电子信息与电气学科基础规划教材

ISBN 978-7-302-30765-5

I. ①模… II. ①储… ②何… ③徐… III. ①模拟电路—高等学校—教材 IV. ①TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 285844 号

责任编辑:梁 颖

封面设计:傅瑞学

责任校对:李建庄

责任印制:王静怡

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 刷 者:清华大学印刷厂

装 订 者:三河市溧源装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:19.75 字 数:488 千字

版 次:2008 年 9 月第 1 版 2013 年 2 月第 2 版 印 次:2013 年 2 月第 1 次印刷

印 数:6001~9000

定 价:33.00 元

产品编号:047942-01

第2版前言

模拟电子技术是一门工程实践性非常强的课程。本书自2008年出版以来,被许多院校采用为教材,得到了广大读者的关心,并反馈了一些宝贵的意见。因此,在初版基础上,根据教学实践、电子技术的发展及应用、广大读者的意见及建议进行修订。在章节内容上作了一定的调整,并增加了特色章节——“常用模拟电路的设计”,使本书更加符合当前应用型本科院校电子技术课程教学的需要。同时本书也适合高职类院校模拟电子技术课程的教学及电子工程师学习用书。

本书共分为10章。第1章介绍了模拟信号及数字信号的特点,模拟电子系统的组成、作用、分析及设计原则,并举例说明了模拟电子技术所研究的问题在电子系统中的应用实例;第2章介绍了模拟电路中的常用元器件的原理、特性、参数,增添了近年来在电子系统中常用的新型电子元件,并介绍了常用元件的测量、识别方法及选用原则;第3章介绍了由分立元件组成的基本模拟电路的分析方法及技术指标,添加了分立元件电路的应用实例,增加了分立元件组成的放大器的设计实例;第4章介绍了模拟电路中的反馈;第5章介绍了集成运算放大器的应用,由于有源滤波器在电子技术中应用极为广泛,所以本版增强了有源滤波器的原理及应用,并举例说明设计方法;第6章介绍了信号的产生与变换等电路的工作原理及参数计算;第7章介绍了稳压电源的组成、工作原理及参数分析,增设了线性稳压电源的设计及应用;第8章介绍了一些典型应用的模拟电路;第9章介绍了常用模拟电路的设计方法,读者在学完模拟电子技术后,可以设计常用的模拟电子电路模块;第10章介绍了Multisim 11在模拟电子技术中的应用,升级了软件版本。

在本版修订时,对每一章后的习题做了增删,并增加了电子课件供读者使用。

本书由储开斌、何宝祥、徐权编著,其中储开斌编写了第1~3章和第8~9章,何宝祥老师编写了第4~7章,徐权编写了第10章。另外蔡小颀及章春艳两位老师为本书的图表绘制付出了辛勤的劳动;在本书编写过程中,始终得到了朱正伟和刘训非等老师的大力帮助,在此谨向他们致谢。本书在编写中还引用了许多专家、学者在著作和论文中的研究成果,在此特向他们表示衷心的感谢。清华大学出版社的编辑也为本书的出版付出了艰辛的劳动,在此一并表示深深的敬意和感谢。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中错误和不妥之处在所难免,殷切希望使用本书的读者继续给予批评指正。

编 者

2012年12月于江苏常州

第1版前言

电子技术的飞速发展引导了人类社会进步的潮流,同时对人们的知识结构提出了更新、更高的要求。教材中太多注重于传统意义上的基础知识介绍,必然会使学生在技术应用能力的培养方面受到挤压,这在一定程度上背离了社会大发展对人们综合能力,尤其是开拓创新能力需求的总体目标。因此,适当地、合乎时宜地提高起点,注重应用技术的介绍便成了本书的基本着眼点。

本书共分9章。第1章介绍了模拟信号的特点、模拟电子系统的组成及各种模拟电路在系统中的作用;第2章介绍了模拟电路中一些常用元器件的特性参数和使用方法;第3章介绍了由分立元件组成的基本模拟电路的分析方法和技术指标;第4章介绍了模拟电路中的反馈;第5章介绍了集成运算放大器的应用;第6章介绍了信号产生与变换等电路;第7章介绍了由电子器件组成的直流稳压电源;第8章介绍了一些典型实用的模拟电路;第9章介绍了 Multisim 7 在模拟电子电路中的应用。

本书在每一章的最后都配备了一定数量的习题,并努力做到题型多样、难度有层次。

本书引用了许多专家、学者在著作和论文中的研究成果,在这里特向他们表示衷心感谢。清华大学出版社的许多领导和老师也为本书的出版付出了艰辛的劳动,在此一并表示深深的敬意和感谢。

本书由何宝祥、朱正伟、刘训非、储开斌编著,其中何宝祥同志编写了第1~3章和第8章,朱正伟同志编写了第4~7章,刘训非同志编写了第9章。另外,储开斌同志编写了部分章节的习题和第8章的部分内容,蔡小颀同志为本书的图表绘制付出了辛勤的劳动。全书由何宝祥同志策划和定稿。

由于我们水平有限,加之时间仓促,书中错误和不妥之处在所难免,殷切希望使用本教材的师生和其他读者给予批评指正。

编 者

2008年6月于常州

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 信号	1
1.2 电子系统	1
1.2.1 电子系统的组成原理	1
1.2.2 电子系统应用举例	2
1.2.3 电子系统的设计原则	3
1.2.4 电子系统的分析方法	4
习题	4
第 2 章 模拟电路常用元器件	5
2.1 普通半导体二极管	5
2.1.1 结构类型及符号	5
2.1.2 伏安特性	6
2.1.3 主要参数	6
2.2 特殊半导体二极管	7
2.2.1 稳压二极管	7
2.2.2 变容二极管	8
2.2.3 光电二极管	9
2.2.4 发光二极管	9
2.2.5 激光二极管	9
2.3 半导体三极管	10
2.3.1 结构类型及符号	10
2.3.2 特性曲线	11
2.3.3 主要参数	12
2.4 场效应管	14
2.4.1 结构类型及符号	14
2.4.2 主要参数	15
2.4.3 特性曲线	15
2.4.4 场效应管与三极管的比较	17
2.5 模拟集成器件	18
2.5.1 集成运算放大器	18
2.5.2 集成比较器	19
2.5.3 集成功率放大器	19

2.5.4 集成温度传感器	20
2.6 常用元器件选型及应用	20
2.6.1 二极管的选型及应用	20
2.6.2 三极管的选型及应用	22
2.6.3 半导体器件识别	22
习题	24
第3章 分立元件基本应用电路及其分析	26
3.1 二极管基本应用电路	26
3.1.1 普通二极管基本电路的分析方法	26
3.1.2 普通二极管基本应用电路	29
3.1.3 特殊二极管在电路中的应用	32
3.1.4 二极管应用实例	35
3.2 基本电压放大电路	36
3.2.1 三极管电压放大电路及其分析	37
3.2.2 场效应管电压放大电路及其分析	47
3.3 基本功率放大电路	50
3.3.1 功率放大电路的一般问题	50
3.3.2 三极管基本功率放大电路	51
3.3.3 场效应管基本功率放大电路	53
3.3.4 互补对称功率放大电路	54
3.3.5 其他类型的功率放大电路	57
3.4 多级放大电路	59
3.4.1 多级放大电路的耦合方式及其特点	59
3.4.2 多级放大电路的分析	60
3.4.3 音频放大电路设计	62
3.5 差分放大电路	65
3.5.1 基本差分放大电路	66
3.5.2 电流源	68
3.5.3 含电流源的差分放大电路	70
3.5.4 差分放大电路的接法	71
习题	71
第4章 放大电路中的负反馈	81
4.1 反馈的基本概念及判断方法	81
4.1.1 反馈的定义	81
4.1.2 反馈的分类及判断	82
4.2 交流负反馈的四种组态	86
4.2.1 电压串联负反馈	86

4.2.2	电压并联负反馈	87
4.2.3	电流并联负反馈	88
4.2.4	电流串联负反馈	89
4.3	负反馈放大电路的方框图及一般表达式	89
4.3.1	负反馈放大电路的方框图	89
4.3.2	负反馈放大电路的一般关系	90
4.3.3	关于反馈深度的讨论	90
4.4	负反馈对放大电路性能的影响	91
4.4.1	提高放大倍数的稳定性	91
4.4.2	减小非线性失真和抑制干扰、噪声	92
4.4.3	扩展频带	93
4.4.4	负反馈对输入电阻的影响	93
4.4.5	负反馈对输出电阻的影响	94
4.4.6	放大电路中引入负反馈的一般原则	95
4.5	负反馈放大电路的分析方法	95
4.5.1	深度负反馈条件下的近似计算	95
4.5.2	深度负反馈条件下电压放大倍数的分析	96
4.6	负反馈放大电路的自激振荡及消除方法	101
4.6.1	负反馈放大电路产生自激振荡的原因及条件	101
4.6.2	负反馈放大电路稳定性的定性分析	102
4.6.3	负反馈放大电路稳定性的判断	102
4.6.4	负反馈放大电路中自激振荡的消除方法	103
习题		105
第 5 章	集成运算放大器及其应用	111
5.1	集成运放简介	111
5.1.1	集成运放的组成	111
5.1.2	集成运放电路的特点	111
5.1.3	集成运放的主要参数	112
5.2	集成运放电路的分析方法	114
5.2.1	集成运放的电压传输特性	114
5.2.2	集成运放的线性工作范围	115
5.2.3	理想集成运放电路的分析方法	115
5.3	基本运算电路	116
5.3.1	比例运算电路	116
5.3.2	加法运算电路	118
5.3.3	减法运算电路	121
5.3.4	积分运算电路	123
5.3.5	微分运算电路	124

5.3.6	对数运算电路	125
5.3.7	指数运算电路	126
5.3.8	模拟乘法器	126
5.4	其他应用电路	127
5.4.1	电压比较器	127
5.4.2	预处理放大器	131
5.5	滤波器	135
5.5.1	滤波器的分类	135
5.5.2	模拟滤波器的频率特性	137
5.5.3	滤波器的主要特性指标	137
5.5.4	二阶滤波器	138
5.5.5	契比雪夫及其他有源滤波器	139
5.6	有源滤波器的分析	140
5.6.1	有源一阶高通、低通滤波器	140
5.6.2	有源高通、低通、带通和带阻滤波器	144
5.7	有源滤波器的设计	151
	习题	154
第6章	信号产生与变换电路	159
6.1	正弦波产生电路	159
6.1.1	概述	159
6.1.2	RC正弦波产生电路	161
6.1.3	LC正弦波发生电路	165
6.1.4	石英晶体正弦波发生电路	170
6.2	非正弦波发生电路	172
6.2.1	矩形波发生电路	172
6.2.2	三角波发生电路	175
6.2.3	锯齿波发生电路	177
6.3	波形变换电路	178
6.3.1	三角波变锯齿波电路	178
6.3.2	三角波变正弦波电路	179
6.3.3	精密整流电路	180
	习题	182
第7章	直流稳压电源	188
7.1	概述	188
7.2	整流电路	188
7.2.1	半波整流电路	189
7.2.2	桥式整流电路	190

7.3	滤波电路	192
7.3.1	电容滤波电路	192
7.3.2	其他滤波电路	194
7.4	并联型稳压电路	195
7.4.1	稳压电路的主要性能指标	195
7.4.2	并联型稳压电路	196
7.5	串联型稳压电路	199
7.5.1	串联型稳压电路的基本原理	199
7.5.2	典型的串联反馈型稳压电路	200
7.6	集成线性稳压电路	201
7.6.1	固定输出的三端集成稳压器	201
7.6.2	可调输出的三端集成稳压器	202
7.7	线性稳压电源设计与应用	203
7.7.1	线性稳压电源的设计	203
7.7.2	线性稳压器特殊应用电路	205
7.8	开关型稳压电路	209
7.8.1	开关稳压电路的工作原理	209
7.8.2	脉宽调制式串联型开关稳压电路	210
	习题	211
第 8 章	典型电路应用技术	215
8.1	基本放大电路的应用	215
8.1.1	BA328 立体声前置放大电路	215
8.1.2	LM324 红外检测电路	215
8.2	功率放大电路的应用	217
8.2.1	TA7232 集成功率放大器的应用	217
8.2.2	TDA2030 集成功率放大器的应用	218
8.3	放大电路的特殊应用	218
8.3.1	程控增益放大器	218
8.3.2	I/U 变换器的应用	219
8.3.3	滤波器应用电路	220
8.3.4	比较器的应用	221
8.4	其他应用电路	222
8.4.1	镍镉电池充电器	222
8.4.2	频谱式电平指示器	223
8.4.3	触摸式音乐门铃电路	225
8.4.4	防盗门用对讲门铃电路	225
8.4.5	线路通断检测仪电路	226
8.4.6	电子蚊蝇拍电路	227

8.4.7	自动空气清新器电路	227
8.4.8	简易水位控制器电路	229
8.4.9	太阳能热水器上水自控电路	230
8.4.10	声、光控照明灯电路	230
8.4.11	自动路灯控制电路	231
8.4.12	摩托车霹雳灯电路	232
8.4.13	超级广场效果的耳机放大器电路	232
8.4.14	从零起调的 W317 稳压器电路	234
8.4.15	晶闸管交流调压器电路	235
8.4.16	全自动电冰箱保护器电路	235
习题		236
第 9 章 模拟电路设计举例		240
9.1	有源滤波器的设计	240
9.1.1	设计任务与要求	240
9.1.2	电路基本原理	241
9.1.3	设计过程指导	241
9.1.4	实验与调试	244
9.2	差分放大电路	244
9.2.1	设计任务与要求	244
9.2.2	电路基本原理与设计指导	245
9.2.3	实验与调试	247
9.3	积分运算电路	249
9.3.1	设计任务与要求	249
9.3.2	电路基本原理	249
9.3.3	设计过程指导	249
9.3.4	实验与调试	251
9.4	水温控制器的设计	251
9.4.1	设计任务与要求	251
9.4.2	电路基本原理	251
9.4.3	设计过程指导	252
9.4.4	实验与调试	253
9.5	扩音机电路的设计	253
9.5.1	设计任务和要求	253
9.5.2	电路基本原理	254
9.5.3	设计过程指导	254
9.5.4	实验与调试	261
9.6	函数发生器的设计	261
9.6.1	设计任务和要求	261

9.6.2	电路基本原理	262
9.6.3	设计过程指导	262
9.6.4	实验与调试	267
第 10 章 Multisim 11 在模拟电子电路中的应用		268
10.1	Multisim 11 简介	268
10.1.1	Multisim 11 的功能特点	268
10.1.2	Multisim 11 用户界面	269
10.1.3	基于 Multisim 软件的仿真实验	270
10.2	分立元件放大电路	270
10.2.1	放大电路静态工作点的分析	271
10.2.2	放大电路的动态分析	272
10.2.3	电压源和电流源激励下的放大电路的输入与输出情况	274
10.2.4	放大电路的指标测量	276
10.2.5	组件参数对放大电路性能的影响	277
10.2.6	三极管故障对放大电路的影响	278
10.3	反馈放大电路	279
10.3.1	负反馈能提高放大器增益的稳定性	279
10.3.2	负反馈能扩展放大器的通频带	281
10.3.3	负反馈能改善放大器的非线性失真	283
10.3.4	负反馈能提高放大器的信噪比	284
10.3.5	负反馈对放大器的输入、输出电阻的影响	284
10.4	信号运算电路	285
10.4.1	反相比例运算电路	286
10.4.2	同相比例运算电路	286
10.5	有源滤波电路	287
10.5.1	低通滤波器	287
10.5.2	高通滤波器	289
10.6	正弦波信号产生电路	291
10.6.1	RC 基本文氏电桥振荡电路	291
10.6.2	RC 移相式振荡器	293
10.7	直流稳压电源	293
10.7.1	线性稳压电源	294
10.7.2	降压式开关电源	294
10.7.3	升压式 DC/DC 转换器	295
习题		296
参考文献		300

第1章 绪 论

引言 20世纪70年代以来,电子技术迅猛发展。在它的推动下,各行各业包括人们的生活都发生了令人瞩目的变化。目前,世界已进入信息时代,作为其发展基础之一的电子技术必将以飞快的速度前进。本章将从信号和电子系统的基本概念入手,初步建立电子系统的组成原理、分析方法和设计原则。

1.1 信号

信号是用来表征信息的物理量,也可以说是信息的载体。例如,声音信号可以传达语言,图像信号可以传达形态,温度信号可以传达热度等。可见,信息需要借助于某些物理量来表示和传递。

然而,一般的非电量信号的直接传递存在着很大的局限性,要实现控制更是难上加难,通常可将这些非电量信号转换为电信号进行间接传递和控制。

所谓电信号,是指随时间 t 而变化的电压 u 或电流 i ,因此在数学描述上可将它表示为时间的函数,即 $u=f(t)$ 或 $i=f(t)$,也可以用波形图加以形象描述。

本书中涉及的信号均是电信号,以后简称为信号。

信号的形式是多种多样的,可以从不同角度进行分类。例如,根据信号是否具有随机性分为确定信号和随机信号,根据信号是否具有周期性分为周期信号和非周期信号,根据信号对时间的取值分为连续时间信号和离散时间信号等。在电子电路中,则将信号分为模拟信号和数字信号。

模拟信号在时间和数值上均具有连续性,即对应于任意值 t 均有确定的函数值 u 或 i ,并且 u 或 i 的幅值是连续取值的。例如,正弦信号就是一种典型的模拟信号。

与模拟信号不同,数字信号在时间和数值上均具有离散性, u 或 i 的变化在时间上不连续,总是发生在离散的瞬间,且它们的数值是一个最小量值的整倍数,并以此倍数作为数字信号的数值。

当然,我们的世界是一个时空自然连续的世界,几乎所有由物理量转换来的信号都是模拟信号。用来处理模拟信号电子电路被称为模拟电路。

1.2 电子系统

1.2.1 电子系统的组成原理

电子系统是指利用电子技术方法实现信号处理的系统。就模拟电子系统而言,系统首先要采集信号,这些信号通常来源于测试各种物理量的传感器、接收器,或者来源于用于测试的信号发生器。对于实际系统,传感器和接收器所提供的信号往往很小,噪声很

大,且易受干扰,有时甚至分不清什么是有用信号,什么是干扰和噪声,因此在加工信号之前需将其进行预处理。预处理时,要根据实际情况利用隔离、滤波、阻抗匹配、补偿等技术手段,将有用信号分离出来并放大。当信号足够大时,再进行信号的运算、转换、比较和保存等不同的加工。最后,一般还要经过功率放大以驱动执行机构,或者经过模拟信号到数字信号的转换,变为计算机可以处理的信号。

按功能划分,模拟电子系统主要由以下几种模拟电路组合而成:

- (1) 放大电路: 用于信号的电压、电流和功率放大。
- (2) 滤波电路: 用于信号的提取和变换。
- (3) 运算电路: 用于信号的加、减、乘、除、微分、积分、对数和指数等运算。
- (4) 转换电路: 用于电压信号与电流信号之间的转换、直流信号与交流信号之间的转换、电压信号与频率信号之间的转换等。
- (5) 信号发生电路: 用于产生正弦、矩形、三角形等波形。
- (6) 直流电源: 将市电(220V/50Hz)转换成不同输出电压和电流的直流电,以作为各种电子电路本身的供电电源。

1.2.2 电子系统应用举例

随着科学技术的迅猛发展,电子系统已经渗透到社会的各个领域,如工业生产的自动化控制,电量及非电量的精密测量,语音、图像、雷达信息处理,通信系统,计算机系统及家用电器等。而近年来,由教育部主导、大学生参与的各类电子、自动化类竞赛,其每个项目都自成一个小的电子系统。下面以大学生参与的智能小车竞赛项目为例,介绍模拟电子技术电子系统中的应用。

全国大学生智能汽车竞赛是由飞思卡尔半导体公司资助举办的大学生课外科技竞赛。它模拟无人自动驾驶汽车,比赛要求在规定的模型汽车平台上,使用微控制器或者数字处理控制器作为核心控制模块,通过增加道路传感器、电机驱动电路以及编写相应软件,制作一个能够自主识别道路模型汽车,并按照规定路线行进,以完成时间最短者为优胜。

其专业知识涉及自动化控制、模式识别、传感测试技术、电子、电气、计算机、机械与汽车等多个专业学科,对学生的知识融合和实践动手能力的培养,对高等学校自动化控制和汽车电子学科学术水平的提高,具有良好的推动作用。

智能小车电子控制系统如图 1.1 所示。

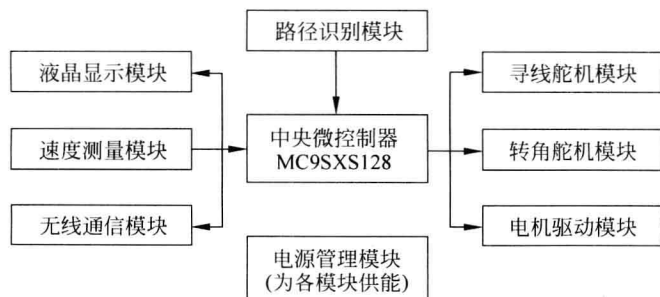


图 1.1 控制系统框图

1. 路径识别模块

作为智能车系统的“眼睛”，其重要性不言而喻。智能车相对于道路的偏移量、方向以及道路的曲率等信息，是实现智能车沿赛道运动的数据基础。获得更多、更远、更精确的赛道信息，是提高智能车运行速度的关键。通常，智能车比赛时，是在白色的跑道上，设置黑色的导引线。为了检测导引线，最常用的方法之一就是光电检测技术。当一束光照射到白色物体时，光的反射最大，而当光线照射到黑色物体时，光线反射很小。利用这个原理，从而可以准确地检测到小车运行的导引线。

为了能够实现该模块功能，该部分应该包括光发射器、光接收器。如采用激光二极管产生聚集性能好的光点，采用光敏二极管接收光发射器产生的激光。而激光二极管及光敏二极管及其他半导体器件就是模拟电子技术所研究的第一个内容——半导体器件。

在光电检测技术中，为了不使可见光及其他杂散光线对系统产生影响，光电发射和接收技术往往采用调制方式实现，即发射管以特定的频率发射脉冲光，而接收电路只接收特定频率信号，而将其他信号滤除。同时，光接收的信号幅度通常较小，所以还需要将该接收信号进行放大处理。该电路就采用了模拟电子技术中的调制技术、滤波技术及信号放大技术等。

2. 舵机模块

舵机模块是用来控制小车方向的电机驱动电路。为了实现精确的转向控制，舵机中应给入一 PWM(脉冲宽度调制)信号，根据正脉冲宽度的不同，小车的转向角度不同。该模块即采用了电子技术的脉冲宽度调制技术。

3. 电机驱动模块

智能车整体的速度性能，取决于它的电池系统和电机驱动系统。智能车的驱动系统一般由控制器、驱动电路以及电动机三个部分组成，在运行时要求电机能提供大转矩，宽调速范围和高可靠性。该驱动技术实际为模拟电子技术中所研究的功率放大电路。

4. 电源管理模块

电源管理模块为系统其他各个模块提供所需的电源。可靠的电源设计是整个硬件电路稳定运行的基础，是整个智能车设计中的重要环节。设计中，除了需要考虑电压范围和电流容量等基本参数之外，还要在电源转换效率、降低噪声、防止干扰和电路简单等方面进行优化。设计要简单可靠，在满足电压波动范围的要求下应尽量简化电源设计。电源管理采用了模拟电子技术中的直流电源技术。

当然，该系统除应用了模拟电子技术外，还大量采用了数字电子技术及计算机技术，如速度检测技术、液晶显示技术及中央微控制器等。

1.2.3 电子系统的设计原则

在设计电子系统时，不但要考虑预期的性能指标和质量指标的实现方法，而且要考虑系统的可测性。一般来讲，应做到以下几点：

(1) 必须满足给定的性能指标和质量指标，如增益、输入电阻、输出电阻、通频带、失真度等。

(2) 电路要尽量简单。电路越简单，元器件以及连线和焊点越少，系统的可靠性就越

好。因此,通常集成电路能实现的不选用分立元件电路,大规模集成电路能实现的不选用小规模集成电路。

(3) 必须考虑电磁兼容性。所谓电磁兼容性,是指电子系统在预定的环境下,既能抵御周围电磁场的干扰,又能较少地影响周围环境。电子系统常常不可避免地工作在复杂的电磁环境中,其中既有来自大自然的各种放电现象、宇宙的各种电磁变化,又有人类自己利用电和电磁场从事的各种活动。空间电磁场的变化对于电子系统均会造成不同程度的干扰,同时电子系统本身也在不同程度上成为其他电子设备的干扰源。

在电子系统中,电磁兼容性的设计首先要分析周围环境电磁干扰的物理特性,然后想办法抑制干扰源或阻断干扰源的传播。一般可采用隔离、屏蔽、接地、滤波、去耦等技术来获得较强的抗干扰能力,必要时还可选用抗干扰能力强的元器件,并对元器件进行精密调整。

(4) 系统的组装、调试,维护、保养,以及功能扩展应简单、方便。

1.2.4 电子系统的分析方法

实际的电子系统往往是较复杂的,为了从理论上更快、更好地了解实际电子系统的性能,通常采用模型等效分析方法,即首先对一些实际的电子元器件及线路进行模型化处理,并根据系统的工作状态和特征进行可能的线性化处理,略去次要成分,简化电路模型,再利用基本的定理、定律和网络分析方法进行分析。显然,模型等效分析方法必然会带来一定的误差,但大多电子元件参数具有离散性,一味追求分析精度自然失去了实际意义。

电子系统分析的意义,除了及时了解系统的各种性能之外,还可以为电子系统的设计提供更多的理论依据,以及制定更准确的策略思想或更丰富的实现方法。由此也可以看到,完成一个电子系统,常常要经过反反复复的分析、设计和调试,甚至没有止境。因此,更为丰富的知识和经验只有在学习和实践中获取和积累。

而今,随着电子系统的计算机辅助分析和设计软件的不开发和完善,使得电子设计自动化(Electronic Design Automation, EDA)不再是一种空想。EDA 的主要特点是硬件设计软件化,它不仅在很大程度上取代了繁琐的手工绘图、计算和调试,节约了硬件资源和研发时间,而且能够实现电子电路的高层次综合和优化。可以说,EDA 技术的形成是电子领域发展史上的一次重大变革。

习题

1.1 填空。

- (1) 信号是反映_____的物理量,电信号是指随_____而变化的电压或电流。
- (2) 模拟信号在时间和数值上均具有_____性,数字信号在时间和数值上均具有_____性。
- (3) 模拟电路是处理_____信号的电路。

1.2 回答下列问题。

- (1) 在设计电子系统时,应尽量做到哪几点?
- (2) 在电子系统中,常用的模拟电路有哪些? 它们各有何功能?
- (3) 电子系统的分析和设计有哪些方法? 各有什么特点?

第2章 模拟电路常用元器件

引言 要学习和掌握模拟电路及其应用技术,首先必须了解模拟电路的各种组成元器件。组成模拟电路的常用元器件主要有半导体二极管、半导体三极管、场效应管以及一些集成器件,本章将对它们的外部特性、参数指标以及使用方法重点予以介绍。

2.1 普通半导体二极管

2.1.1 结构类型及符号

有一种物质,其导电性能介于导体和绝缘体之间,如硅、锗、砷化镓等,当这些物质的原有特征未改变时被称为本征半导体。它们的导电能力都很弱,并与环境温度、光强有很大关系。当掺入少量其他元素后,如硼、磷等,就形成了所谓的杂质半导体,其导电能力会有很大提高。根据掺入元素的不同,杂质半导体可分P型和N型两种。P型半导体和N型半导体结合后,在它们之间会形成一块导电能力极弱的区域,俗称PN结。这个PN结有一个非常重要的性质,即单向导电性。大体来讲,当PN结正向偏置,即P型半导体接电源的正极,N型半导体接电源的负极时,PN结变薄,流过的电流较大,呈导通状态;当PN结反向偏置,即P型半导体接电源的负极,N型半导体接电源的正极时,PN结变厚,流过的电流很小,呈截止状态。

基于PN结,人们生产出了半导体二极管,以后简称二极管,其结构符号如图2.1所示。可见,二极管有两个极,即P极(又称阳极)和N极(又称阴极)。由于极间具有电容效应,为便于不同的应用,二极管有点接触型和面接触型两类。点接触型的二极管电容效应弱,工作电流小,如2AP1的最高工作频率为150MHz,最大整流电流16mA;面接触型的二极管电容效应强,工作电流大,如2CP1的最高工作频率为3kHz,最大整流电流400mA。

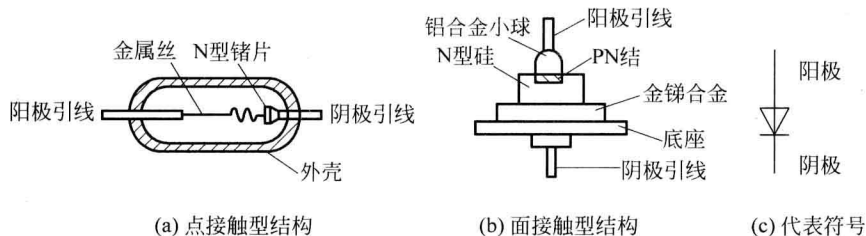


图 2.1 半导体二极管的结构符号