

电子技术基础

Basic Electronic Technology

主编 刘春艳



国防工业出版社

National Defense Industry Press

青海大学教材基金项目支持

电子技术基础

主 编 刘春艳

副主编 唐 岩 司 杨

参 编 张海峰 沈媛萍 司 杨 唐 岩

主 审 李钊年



国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书是为高等学校电气类、电子类、自动化类和计算机及相关专业的电子技术基础课程而编写的教材。主要内容包括:常用半导体器件的基础知识;基本电压放大电路及其应用;多级放大电路及集成运算放大器的各组成单元;放大电路的反馈;集成运算放大器及运算电路,信号处理与产生电路;直流稳压电源;数字逻辑基础;集成逻辑门电路;组合逻辑电路及其分析和设计;触发器;时序逻辑电路;脉冲信号的产生与整形;数模和模数转换电路。

本书内容结合近年来电子技术的发展和多年教学实践,针对教学基本要求和学习特点,夯实基础、注重应用,每章均配有相应习题。本书可作为工科院校电类专业教材,也可作为高职高专及函授教材或工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术基础 / 刘春艳主编. —北京:国防工业出版社, 2016. 3

ISBN 978 - 7 - 118 - 10733 - 3

I. ①电… II. ①刘… III. ①电子技术 IV. ①TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 048352 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

腾飞印务有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787 × 1092 1/16 印张 26 $\frac{1}{4}$ 字数 636 千字

2016 年 3 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 68.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

前 言

本书是根据工科高等学校本科阶段的培养方案及教学计划等教学基本要求,针对电气类、电子类和自控类等工科专业的不同需求,结合近年来电子技术的发展,在总结以往多年教学实践经验的基础上,针对教学中的难点和学习特点,吸取其他教材的优点,所编写的适合工科院校电类专业电子技术基础课程的教学用书。

“电子技术基础”课程具有概念抽象、内容庞杂、难于记忆的特点,即人们常说的“入门难”。再者课程内容较多,知识量大,与当前的“少学时”存在很大的矛盾。为提高本科学生的专业理论素质和分析解决问题的综合能力,在本书的编写中注重加强基础理论知识的讲解,突出重点,拓展相应的知识面。本书内容本着精炼、实用的原则,有针对性,做到学科的先进性和教学的适用性相统一;同时注重加强对学生实践动手能力的培养,做到理论与实践的结合。

本书包括模拟电子技术和数字电子技术两部分内容。

模拟电子技术部分:常用半导体器件,包括二极管、双极型三极管以及单极型场效应晶体管的相关基础知识;常用半导体器件构成的基本电压放大电路及其应用;多级放大电路及集成运算放大器的组成单元,包括差分放大电路、功率放大电路及恒流源电路;放大电路的反馈;集成运算放大器以及运算电路,信号的处理与信号的产生电路;直流稳压电源。

数字电子技术部分:数字逻辑基础;集成逻辑门电路;组合逻辑电路及其分析和设计;触发器;时序逻辑电路;脉冲信号的产生与整形;数模和模数转换电路。

本书内容体现“夯实基础、注重应用”的思路,每章均配有相应习题。学生通过本课程的学习,可以获得模拟电子技术和数字电子技术必要的基础理论、基础知识和基本技能,为后续“电力电子技术”“微机原理及应用”“电子设计自动化”“传感器技术”“测控原理”等多门课程提供理论基础和技术储备。同时本课程是一门具有很强的实践性和实用性的专业基础课程,通过学习,学生能够完成简单电子产品的设计与制造,从而解决实际问题。

本书由刘春艳主编,负责全书统稿,并编写模拟技术部分中第1~5章内容;第6、7章由张海峰编写;第8章由沈媛萍编写。数字技术部分中第9~12章由司杨编写;第13~16章由唐岩编写。

本书由李钊年主审,并提出了宝贵的修改意见,谨致以衷心的感谢。编写本书时,参考了众多的文献资料,得到很多启发,在此向参考文献的作者表示感谢。

由于编者水平有限,书中缺点、错误在所难免,敬请读者提出宝贵意见,以便修改。

编 者

2015年10月于青海大学

目 录

第1章 绪论	1
1.1 电子技术的发展与应用概况	1
1.1.1 电子技术的重要性	1
1.1.2 电子器件及其应用技术的发展	1
1.2 学科结构及电信号	2
1.2.1 电信号	2
1.2.2 模拟信号和数字信号	3
1.3 电子信息系统	3
1.3.1 电子元件	3
1.3.2 电子信息系统中的模拟电路	4
1.3.3 电子信息系统中的数字电路	4
1.3.4 电子信息系统的组成原则	5
1.3.5 电子系统的应用	6
1.4 课程的特点及学习分析方法	6
1.4.1 本课程的特点和分析方法	6
1.4.2 电子电路的计算机辅助分析及软件	7
第2章 常用半导体器件	9
2.1 半导体基础知识及特性	9
2.1.1 半导体及其相关概念	9
2.1.2 PN结的形成及其特性(单向导电性)	10
2.2 半导体二极管及其基本电路	14
2.2.1 半导体二极管	14
2.2.2 半导体二极管基本电路及其分析方法	15
2.3 特殊二极管及其应用	19
2.3.1 稳压二极管及其应用	19
2.3.2 光电子器件	21
2.3.3 其他特殊二极管	22
2.4 半导体三极管	23
2.4.1 半导体三极管结构、符号及类型	23
2.4.2 三极管的电流放大作用(电流分配)	24
2.4.3 三极管的特性曲线(内部载流子运动的外部表现)	26
2.4.4 三极管的主要参数	28
2.4.5 温度对晶体管参数及特性的影响	30

2.5	场效应管	30
2.5.1	结型场效应管	31
2.5.2	绝缘栅场效应管	32
2.5.3	场效应管的主要参数	33
2.5.4	场效应管使用注意事项	33
2.5.5	场效应管与晶体管的区别	33
	习题	34
第3章	基本放大电路	36
3.1	放大电路的基本知识	36
3.1.1	放大的概念及目的	36
3.1.2	放大电路分类及模型	37
3.1.3	放大电路的主要性能指标	40
3.2	基本放大电路	43
3.2.1	基本放大电路的组成及元件作用	44
3.2.2	放大电路的直流通路和交流通路	44
3.2.3	共发射极放大电路的静态分析	45
3.3	共发射极基本放大电路的动态分析	47
3.3.1	图解分析法	48
3.3.2	微变等效电路分析法(小信号模型分析法)	50
3.4	静态工作点的稳定	54
3.4.1	静态工作点稳定的放大电路	55
3.4.2	分压偏置放大电路的静态分析	56
3.4.3	分压偏置放大电路的动态分析	56
3.5	共集电极与共基极放大电路的分析	58
3.5.1	共集电极放大电路	58
3.5.2	共基极放大电路	59
3.6	场效应晶体管放大电路	61
3.6.1	共源极放大电路	61
3.6.2	源极跟随器	63
3.7	放大电路的频率响应	63
3.7.1	频率响应概述	63
3.7.2	晶体管 BJT 的高频等效模型及高频参数	66
3.7.3	共发射极基本放大电路的频率响应	70
	习题	78
第4章	多级及集成运算放大电路	81
4.1	多级放大电路	81
4.1.1	阻容耦合放大电路	81
4.1.2	直接耦合放大电路	84
4.1.3	变压器耦合	85
4.1.4	光电耦合	86

4.1.5	多级放大电路的频率响应	87
4.2	集成电路及差动放大电路	88
4.2.1	集成电路的特点与分类	88
4.2.2	差动放大电路	89
4.2.3	长尾式双端输入/双端输出差动放大电路	90
4.2.4	带射极恒流源的双端输入/双端输出差动放大电路	94
4.3	功率放大电路	95
4.3.1	功率放大电路的特点及类型	96
4.3.2	互补对称功率放大电路	97
4.3.3	单电源供电功率放大电路	98
4.4	恒流源电路	98
4.4.1	基本电流源电路	98
4.4.2	电流源的应用	101
4.5	集成运算放大器介绍	102
4.5.1	集成运算放大器的电路结构	102
4.5.2	集成运算放大器的主要功能	105
4.5.3	理想集成运算放大器	105
	习题	106
第5章	放大电路中的负反馈	107
5.1	反馈的基本概念及判断方法	107
5.1.1	反馈的基本概念及反馈电路方框图	107
5.1.2	放大电路中负反馈的类型及判断	108
5.2	负反馈放大电路的一般表达式	111
5.3	负反馈对放大电路性能的影响	112
5.4	集成运放的工作区与分析依据	114
	习题	115
第6章	集成运算放大器和运算电路	116
6.1	集成运放概述	116
6.1.1	集成运放电路结构特点	116
6.1.2	集成运放电路组成	117
6.1.3	集成运放的符号和电压传输特性	117
6.2	集成运放的模型	118
6.2.1	理想运放的模型	118
6.2.2	实际集成运放的模型	119
6.3	集成运放的性能指标	120
6.3.1	集成运放主要参数	121
6.3.2	集成运放手册的阅读	124
6.4	集成运放的种类和选择	126
6.4.1	集成运放的发展概况	126
6.4.2	集成运放的种类	127

6.4.3	集成运放的选择	129
6.5	集成运放的使用	130
6.5.1	使用中必做的工作	130
6.5.2	运放的保护措施	131
6.5.3	常见集成运放芯片	132
6.5.4	运放使用中的几个问题	133
6.6	基本运算电路	137
6.6.1	比例运算电路	137
6.6.2	加法运算电路	141
6.6.3	减法运算电路	143
6.6.4	加减法运算电路	144
6.6.5	积分运算电路	145
6.6.6	微分运算电路	146
6.7	对数和指数运算电路	147
6.7.1	对数运算电路	147
6.7.2	指数运算电路	149
6.8	模拟乘法器电路	149
6.8.1	乘法运算电路	149
6.8.2	乘方运算电路	153
6.8.3	除法运算电路	154
6.8.4	开方运算电路	154
	习题	155
第7章	信号处理电路和信号发生电路	156
7.1	有源滤波器	156
7.1.1	滤波器基础知识	156
7.1.2	低通滤波器(LPF)	159
7.1.3	高通滤波器(HPF)	169
7.1.4	带通滤波器(BPF)	171
7.1.5	带阻滤波器(BSF)	173
7.1.6	全通滤波器(APF)	175
7.2	电压比较器	177
7.2.1	概述	177
7.2.2	单门限电压比较器	178
7.2.3	滞回比较器	183
7.2.4	窗口比较器	185
7.2.5	集成电压比较器	186
7.3	检波器	187
7.4	正弦波发生电路	189
7.4.1	正弦波振荡电路基本原理	189
7.4.2	RC文氏桥正弦波振荡电路	192

7.4.3	LC 正弦波振荡电路	196
7.4.4	石英晶体振荡电路	202
7.4.5	各种正弦波振荡器的使用场合	206
7.5	非正弦波发生电路	207
7.5.1	矩形波发生电路	207
7.5.2	三角波发生电路	210
7.5.3	锯齿波发生电路	212
第 8 章	直流稳压电源	214
8.1	概述	214
8.2	整流电路	215
8.2.1	整流电路的技术参数	215
8.2.2	单相半波整流电路	215
8.2.3	单相桥式整流电路	217
8.2.4	倍压整流电路	219
8.3	滤波电路	221
8.3.1	电容滤波电路	221
8.3.2	其他滤波电路	222
8.4	稳压电路	224
8.4.1	稳压电路的技术参数	224
8.4.2	稳压管稳压电路	225
8.4.3	串联型稳压电路	226
8.5	集成三端稳压器	229
8.5.1	固定式三端稳压器	230
8.5.2	可调式三端稳压器	234
8.6	电压基准	238
8.6.1	电压基准的主要参数	238
8.6.2	两端型电压基准	239
8.6.3	三端型电压基准	239
	习题	240
第 9 章	数字逻辑基础	242
9.1	概述	242
9.1.1	数字信号和模拟信号	242
9.1.2	数字电路	242
9.1.3	数字电路的特点	242
9.2	数制与编码	243
9.2.1	数制	243
9.2.2	编码	246
9.3	逻辑代数及其运算	249
9.3.1	逻辑变量	249
9.3.2	三种基本逻辑运算	249

9.3.3	逻辑函数	253
9.3.4	逻辑代数基本运算规则及定理	255
9.4	逻辑函数的化简	257
9.4.1	公式法化简	257
9.4.2	卡诺图法化简	258
9.5	正、负逻辑问题	262
	习题	263
第 10 章	集成逻辑门电路	265
10.1	概述	265
10.1.1	晶体管的开关特性	265
10.1.2	门电路的概念	266
10.1.3	集成逻辑门电路	266
10.2	TTL 门电路	268
10.2.1	TTL 逻辑门电路的原理	268
10.2.2	TTL 集电极开路门和 TTL 三态门	269
10.2.3	常用集成 TTL 逻辑门电路	270
10.3	CMOS 门电路	277
10.3.1	CMOS 逻辑门电路的原理	277
10.3.2	常用集成 CMOS 逻辑门电路	279
10.4	集成门电路的电气特性及主要参数	288
	习题	290
第 11 章	组合逻辑电路	291
11.1	概述	291
11.2	常用中规模组合逻辑器件	291
11.2.1	加法器	291
11.2.2	数值比较器	297
11.2.3	编码器	301
11.2.4	译码器	306
11.2.5	数据选择器	312
11.2.6	数据分配器	317
	习题	318
第 12 章	组合逻辑电路的分析与设计	319
12.1	概述	319
12.2	组合逻辑电路的分析	319
12.2.1	组合逻辑电路分析的步骤	319
12.2.2	由门电路构成的组合逻辑电路分析	320
12.2.3	含中规模组合逻辑器件电路的分析	323
12.3	组合逻辑电路的设计	324
12.3.1	用门电路进行组合逻辑电路设计	324
12.3.2	用中规模组合逻辑器件进行电路设计	328

12.4	组合逻辑电路的冒险现象	335
	习题	337
第 13 章	触发器	338
13.1	概述	338
13.2	RS 锁存器	338
13.2.1	与非门组成的 RS 锁存器	338
13.2.2	或非门组成的 RS 锁存器	340
13.2.3	RS 锁存器应用举例	341
13.3	电平触发的触发器	342
13.3.1	电平触发 RS 触发器	342
13.3.2	电平触发 D 触发器	345
13.3.3	电平触发的触发器的空翻现象	346
13.4	脉冲触发的触发器	346
13.4.1	主从 RS 触发器	346
13.4.2	主从 JK 触发器	348
13.4.3	脉冲触发方式的动作特点	349
13.5	边沿触发的触发器	350
13.5.1	维持—阻塞边沿 D 触发器	350
13.5.2	利用 CMOS 传输门的边沿 D 触发器	351
13.5.3	边沿触发方式的动作特点	352
13.6	触发器的逻辑功能及其描述方法	352
13.6.1	触发器按逻辑功能的分类	352
13.6.2	触发器的逻辑功能和电路结构的关系	355
13.7	集成触发器	355
13.7.1	常用集成触发器简介	355
13.7.2	触发器逻辑功能的转换	357
	习题	357
第 14 章	时序逻辑电路	359
14.1	概述	359
14.2	时序逻辑电路的分析	360
14.2.1	分析时序逻辑电路的一般步骤	360
14.2.2	同步时序逻辑电路的分析	360
14.2.3	异步时序逻辑电路的分析	365
14.3	时序逻辑电路的设计	366
14.4	中规模时序逻辑电路	371
14.4.1	寄存器和移位寄存器	371
14.4.2	计数器	375
	习题	382
第 15 章	脉冲信号的产生与整形	384
15.1	概述	384

15.2	555 集成定时器	384
15.2.1	555 定时器的电路结构	385
15.2.2	555 定时器的逻辑功能	386
15.3	施密特触发器	386
15.3.1	用 555 定时器构成施密特触发器	387
15.3.2	集成施密特触发器	388
15.3.3	施密特触发器的应用	389
15.4	单稳态触发器	390
15.4.1	用 555 定时器构成单稳态触发器	390
15.4.2	用施密特触发器构成单稳态触发器	392
15.4.3	集成单稳态触发器	392
15.4.4	单稳态触发电路应用	395
15.5	多谐振荡器	395
15.5.1	用 555 定时器构成多谐振荡器	395
15.5.2	用施密特触发器构成多谐振荡器	397
15.5.3	石英晶体多谐振荡器	397
	习题	398
第 16 章	数/模和模/数转换器	399
16.1	概述	399
16.2	数/模(D/A)转换器	399
16.2.1	D/A 转换器的主要技术指标	399
16.2.2	倒 T 形电阻网络 D/A 转换器	400
16.2.3	集成 D/A 转换器	401
16.3	模/数(A/D)转换器	401
16.3.1	A/D 转换器的工作原理	401
16.3.2	逐次逼近型 A/D 转换器	403
16.3.3	双积分型 A/D 转换器	405
16.3.4	集成 A/D 转换器	405
	习题	407
	参考文献	408

第1章 绪 论

自英国物理学家麦克斯韦(J. C. Maxwell)1865年发表第一篇有关电磁场的论文和德国物理学家赫兹(H. R. Hertz)1887年用实验验证了电磁波的存在,一门新兴的学科即电子学诞生了。正是由于物理学的重大突破,电子学得到迅速的发展,作为研究和应用电子学的电子技术在20世纪也取得了惊人的发展与进步。

1.1 电子技术的发展与应用概况

1.1.1 电子技术的重要性

电子技术最早应用于通信领域,随着它的不断发展,尤其是以信息技术为中心的包括计算机技术、光电子技术、新型材料及新型能源发电及应用技术,军事电子技术、生物基因工程及生物电子学等高新技术群的兴起,引起人类从生产到生活各个方面的巨大变革。而电子技术是其他高新技术发展的基础和龙头,特别是近50年来,它的发展带动了其他高新技术的发展。在当下以电子技术为基础的信息时代中,其应用渗透到我们生产、生活的各行各业,如工农业自动化生产、国防、科研、日常生活中的电视机、收录机、高保真度音响等家用电器、各种通信设备、智能手机、个人计算机等都离不开电子技术。由于它的重要性,当今世界没有一个国家不把发展电子信息技术摆在优先的地位,因此可见学习电子技术基础的重要意义。

1.1.2 电子器件及其应用技术的发展

电子技术是研究电子器件及其性能、电子电路分析和设计及其应用的工程实用技术。

电子设备或系统都是由电子线路构成,而电子线路又是由电阻、电容、二极管、三极管、集成电路等电子元器件组成并具有一定功能的电路。电子元器件是电子线路的核心,它的发展促进了电子技术的发展,但同时社会生产力的提高和科技进步对电子技术提出的新要求,反过来又促使电子器件的改进和新型器件的发明。

1904年电子管的发明,使电子技术进入了第一个时代——电子管时代。从此无线电信、广播、电视、雷达、导航电子设备和计算机等逐渐问世,并得到迅速发展。

1948年贝尔(Bell)实验室发明晶体管后,电子技术进入晶体管时代,使人类社会步入信息时代。晶体管的广泛应用,开创了电子设备朝小型化、微型化发展的新局面。

1958年,得克萨斯仪器公司发明了集成电路,使电子技术进入集成电路时代。它的出现打破了由电子管、晶体管等独立电子器件和元件构成的分立元件电路(Discrete Component Circuit)的传统观念,使电子技术的发展与应用有了新的突破。集成电路芯片是通过一系列特定的加工工艺,将二极管、晶体管等有源器件和电阻、电容等无源器件,按照一定的电路结构互连,集成在一块半导体单晶片上,实现特定的电路或系统功能。它具有外接元件少、可

靠性高、便于安装与调试等优点。集成电路的集成度以年增长 46% 的速率持续发展,已从 20 世纪六七十年代的小、中规模,进入八九十年代的大规模和超大规模集成电路。而产品价格却直线下降,因而应用范围迅速扩大。进入系统集成芯片 SOC (System On Chip) 时代,可将整个系统或子系统集成在一个硅芯片上。进一步发展,与特种物理、化学和生物等领域各种功能的传感器(完成信息获取功能)、变送器(完成电量的变化功能)和执行器及信息处理系统集成在一起,从而完成信息的获取、处理、存储、传输和执行的系统功能,这是一个更广义的系统集成芯片,可以认为这是电子技术又一次革命性变革。

2000 年以集成电路为基础的电子信息产业已成为世界第一大产业。电子信息产业的发展,在国民经济发展中具有十分重要的战略意义。现代经济发展的数据表明,GDP 每增长 100 元,需要 10 元左右电子工业产值和 1~3 元集成电路产值的支持。几乎所有的传统产业只要与电子技术结合,用集成电路进行智能改造,就会重新焕发青春。例如汽车的电子化导致汽车工业的革命,目前现代化的汽车,电子装备已占其总成本的 70%。进入信息化社会后,集成电路成为军事领域的基本组成单元,于是电子战、智能武器应运而生。雷达的精确定位和导航、战略导弹的减重增程、战术导弹的精确制导、巡航导弹的图形识别与匹配,以及各类卫星的有效载荷和寿命的提高等,其核心技术都是电子技术。

美国工程技术界曾评出 20 世纪世界最伟大工程技术成就,在谈到电子技术时指出:从真空管到半导体、集成电路已成为各行各业智能工作的基石。由于集成电路的原料是硅,它改变着社会的生产方式和人们的生活方式,不仅成为现代产业和科学技术的基础,而且正在创造着代表信息时代的硅文化(Silicon Culture)。因此,有科学家认为,人类继石器、青铜器、铁器时代之后,进入硅石时代。

1.2 学科结构及电信号

电子技术基础学科结构分为两大部分,即模拟电子技术和数字电子技术。模拟电子技术是分析讨论各种模拟电子电路的基本概念、结构、原理、基本分析方法及应用的技术,其中模拟电路是处理模拟信号的电子线路;数字电子技术是分析讨论各种数字电子电路的结构、基本分析方法及应用的技术,处理数字信号的电子线路称为数字电路。

那么什么是模拟信号及数字信号?

1.2.1 电信号

信号是反映消息的物理量,例如工业控制中的温度、压力、流量,自然界的声信号等,因而信号是消息的表现形式。这里所说的信息,是指存在于消息之中的新内容,例如人们从各种媒体上获得原来未知的消息,就是获得了信息。可见,信息需要借助于某些物理量(如声、光、电)的变化来表示和传递,广播和电视利用电磁波来传递声音和图像就是最好的例证。

由于非电的物理量很容易转换成电信号,例如通过热电偶可将温度信号转换为电信号,话筒可将声音信号转换为电信号,等等;而电信号又容易传送和控制,因而电信号成为应用最为广泛的信号,信息便可以通过电信号进行传送、交换、存储、提取等。电信号是指随时间而变化的电压 u 或电流 i ,因此在数学描述上可表示为时间 t 的函数,即 $u=f(t)$ 或 $i=f(t)$,并可画出其波形。电子电路中的信号均为电信号,以下简称为信号。

1.2.2 模拟信号和数字信号

信号的形式多种多样,可以从不同的角度进行分类。如依据信号是否具有随机性可分为确定信号和随机信号;根据信号是否具有周期性可分为周期信号和非周期信号;根据信号对时间的取值可分为连续时间信号和离散时间信号,等等。而在电子电路中,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,即对应于任意时间值 t 均具有确定的函数值 u 或 i ,并且 u 或 i 的幅值是连续取值的,例如正弦波信号就是典型的模拟信号。而与模拟信号不同,数字信号在时间和数值上均具有离散性, u 或 i 的变化在时间轴上不连续,总是发生在离散的瞬间,且其数值是某一个最小量值的整数倍,并以此倍数作为数字信号的数值。

应当指出,大多数物理量转换成的信号均为模拟信号。在信号处理时,模拟信号和数字信号可以相互转换。例如,用计算机处理信号时,由于计算机只能识别数字信号,故需将模拟信号转换为数字信号,称为模/数转换,简称 A/D 转换(Analog to Digital);而由于负载常需模拟信号进行驱动,故需将计算机输出的数字信号转换为模拟信号,称为数/模转换,简称 D/A 转换(Digital to Analog)。

1.3 电子信息系统

电子信息系统简称为电子系统。在此简要介绍电子系统所包含的主要组成部分和各部分的作用,以及电子系统的设计原则、组成系统时所要考虑的问题和系统中常用的具体电子电路。

1.3.1 电子元件

所有的电子系统和电路例如收音机、电视、手机、对讲机等都是由许多电子元件组成的。总的来说,电子元器件被分为无源和有源两大类,具体由其能量 $W(t)$ 决定:

$$W(t) = \int_{-\infty}^t p(\alpha) d\alpha = \int_{-\infty}^t u(\alpha) i(\alpha) d\alpha$$

无源电子元件只吸收能量,这样能量 $W(t)$ 总是正的。相反,有源器件可以提供能量,因此能量可以是负值。电阻、电容和电感、变压器是无源器件,而半导体二极管和晶体管、集成电路是有源器件的代表。

有源元件是电子系统的重要组成部分。例如,它们用来组成各种放大电路。如果放大电路可以用来增加信号的功率,被称作功率放大电路;如用来提高信号电压的放大电路,被称作电压放大电路。当然如果可以用来增强电流,称作电流放大电路。放大电路是很多电子系统的重要组成部分。例如电辅助制动器和汽车的助力转向是放大电路在机械工程领域的扩展应用。

本书主要介绍含有如二极管和晶体管等有源元件的电路,同时也将重点学习讨论重要的电路元件即运算放大电路。由晶体管构成的集成运算放大电路是很多电子电路的组成部分,例如,运算放大电路可使信号反向(即相位相差 180°),或是将电路的两部分隔离(该部分电路称为缓冲器)。在“电路原理”课程中探讨了无源滤波器,在本课程中,运算放大电路被视作有源滤波器的重要组成部分来讨论。

1.3.2 电子信息系统中的模拟电路

在电子系统中,处理模拟信号的电路称为模拟电路,对模拟信号最基本的处理是放大。放大电路是构成各种功能模拟电路的基本电路。常用的模拟电路及其功能如下。

- (1) 放大电路:用于模拟信号的电压、电流或功率放大。
- (2) 滤波电路:用于模拟信号的提取、变换或抗干扰。
- (3) 运算电路:完成一个或多个模拟信号的加、减、乘、除、积分、微分、对数、指数等运算。
- (4) 信号转换电路:用于将电流信号转换成电压信号或将电压信号转换成电流信号、将直流信号转换为交流信号或将交流信号转换为直流信号、将直流电压转换为与之成正比的频率等。
- (5) 信号发生电路:用于产生正弦波、矩形波、三角波、锯齿波等。
- (6) 直流电源:将 220V、50Hz 交流电转换成不同输出电压和电流的直流电,作为各种电子电路的供电电源。

在上述电路中均含有放大电路,因此放大电路是模拟电子电路的基础。在不同的应用系统中,不同的模拟电路可以组成不同的模拟电子系统,如图 1.1 所示为电子信息系统的示意图。系统首先采集信号进行信号的提取。通常,这些信号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,传感器或接收器所提供的信号幅值往往很小,噪声很大,且易受干扰,有时甚至分不清什么是有用信号,什么是干扰信号或噪声,因此,在加工信号之前需将其进行预处理。进行预处理时,要根据实际情况利用隔离、滤波、阻抗变换等各种手段将有用信号分离出来并进行放大。当信号足够大时,再进行信号的运算、转换、比较、采样保持等不同的加工。最后,一般还要经过功率放大以驱动执行机构(负载),或者经过模拟信号到数字信号的转换变为计算机可以接收的信号。



图 1.1 电子信息系统的示意图

图 1.1 中信号的(预)处理和信号的加工可合二为一,统称为信号的处理。

1.3.3 电子信息系统中的数字电路

利用二极管和晶体管等有源元件工作在饱和导通、截止关断的开关状态,构成电子开关电路,从而构成各种逻辑门电路,完成数字信号的逻辑与、或、非、与非、或非、与或非、异或、同或等逻辑功能,利用不同的逻辑门及反馈环节构成各种触发器。根据数字电路的结构特点及其对输入数字信号响应规则的不同,可构成组合逻辑电路和时序逻辑电路。具体的典型组合逻辑电路有加法器、数值比较器、编码器及译码器、数据选择器和数据分配器等;利用触发器构成的典型时序逻辑电路有寄存器、各种计数器等,从而完成相应的数字信号的不同功能要求,当然包括数字脉冲的产生、整形及变换等。

以上这些电路,由于都只能实现某种单一的特定功能,称为功能部件级电路。由若干这样的数字电路和逻辑部件构成的,按一定顺序处理和传输数字信号的设备,称为数字系统,如电子计算机、数码照相机、数字电视等。数字系统从结构上可以划分为数据处理单元和控

制单元两部分,如图 1.2 所示。

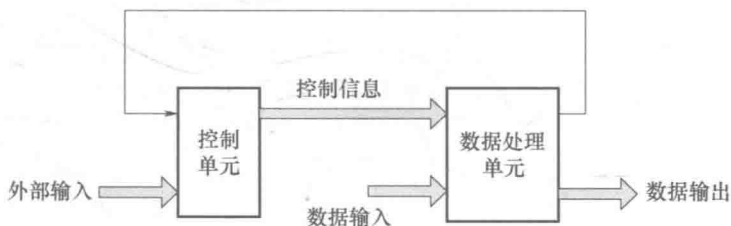


图 1.2 数字系统示意图

数据处理单元接收控制单元发来的控制信号,对输入的数据进行算术运算、逻辑运算、移位操作等处理,然后输出数据,并将处理过程中产生的状态信息反馈到控制单元。数据处理单元也称为数据通路(Datapath)。

控制单元根据外部输入信号及数据处理单元提供的状态信息,决定下一步要完成的操作,并向数据处理单元发出控制信号以控制其完成该操作。通常以是否有控制单元作为区别功能部件和数字系统的标志,凡是包含控制单元且能按顺序进行操作的系统,不论规模大小,一律称为数字系统,否则只能算是一个子系统部件,不能称为一个独立的数字系统。例如大规模存储器只是功能部件而不是数字系统。

1.3.4 电子信息系统的组成原则

在设计电子信息系统时,不但要考虑如何实现预期的功能和性能指标,而且还要考虑系统的可测性和可靠性。所谓可测性,包含两个含义,其一是为了调试方便引出合适的测试点,其二是为系统设计有一定故障覆盖率的自检电路和测试激励信号。所谓可靠性是指系统在工作环境下能够稳定运行,具有一定的抗干扰能力。

在系统设计时,应尽可能做到以下几点:

(1) 必须满足功能和性能指标的要求。

(2) 在满足功能和性能指标要求的前提下,电路要尽量简单。因为同样功能的电路,电路越简单,元器件数目越少,连线和焊点越少,出现故障的概率越小,系统的可靠性也就越高。因此对于电子系统,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,就不选用小规模集成电路。

(3) 电磁兼容性。电子系统常常不可避免地工作在复杂的电磁环境之中,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;与此同时,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。所谓电磁兼容性,是指电子系统在预定的环境下,既能够抵御周围电磁场的干扰,又能够较少地影响周围环境。在设计电子系统时,电磁兼容性设计的重点是要研究周围环境电磁干扰的物理特性,以及如何采取必要措施抑制干扰源或阻断干扰源的传播途径,使干扰信号不损害有用信号,保证系统正常工作。

在电子系统中,多采用隔离、屏蔽、接地、滤波、去耦等技术来获得较强的抗干扰能力;此外,必要时还应选用抗干扰能力强的元器件,并对元器件进行精密的调整。

(4) 系统的调试应简单方便,而且生产工艺应简单。