

高 等 学 校 教 材

模拟电子技术基础

华北电力大学电子技术课程组 编

主 编 刘向军

副主编 孙淑艳 刘春颖

高等教育出版社

高 等 学 校 教 材

模拟电子技术基础

Moni Dianzi Jishu Jichu

华北电力大学电子技术课程组 编

主 编 刘向军

副主编 孙淑艳 刘春颖

高等教育出版社·北京

内容简介

本书为电子技术基础课程系列教材之一,全书包括十章:第一章半导体二极管及应用电路、第二章晶体管及基本放大电路、第三章场效应晶体管及场效应晶体管放大电路、第四章功率放大电路、第五章多级放大电路和集成运算放大器、第六章负反馈放大电路、第七章集成运算放大器的应用电路、第八章信号产生电路、第九章直流稳压电源、第十章电流模电路基础。本书采用先器件后电路、先分立后集成、先原理后应用的方式进行内容的组织安排,建立了由浅入深、由简单到复杂的系统知识体系,利用 Multisim 12 进行电子电路的仿真分析贯穿全书,每章对知识点进行归纳总结,并设计了大量的习题和思考题。为体现模拟电路的新技术增加了电流模电路部分,为与后续课程的衔接在直流稳压电源部分增加了与电力电子有关的一些初步知识,充分体现以学生为本的教育思想。

本书可作为高等院校电类相关专业的“模拟电子技术基础”课程的教材,同时也可作为各类电子竞赛学生自学的参考书以及相关工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术基础 / 刘向军主编;华北电力大学电子技术课题组编. -- 北京:高等教育出版社,2016.7

ISBN 978-7-04-044948-8

I. ①模… II. ①刘… ②华… III. ①模拟电路-电子技术-高等学校-教材 IV. ①TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 035161 号

策划编辑 王耀锋
插图绘制 杜晓丹

责任编辑 王耀锋
责任校对 刘娟娟

封面设计 杨立新
责任印制 朱学忠

版式设计 马敬茹

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
印 刷 高教社(天津)印务有限公司

开 本 787mm × 1092mm 1/16
印 张 33.75
字 数 830 千字
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.hepmall.com.cn>
<http://www.hepmall.com>
<http://www.hepmall.cn>
版 次 2016 年 7 月第 1 版
印 次 2016 年 7 月第 1 次印刷
定 价 48.60 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 44948-00

前 言

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》文件的精神,根据当前教育教学改革的发展趋势,本着满足大学生的知识结构、综合能力、创新能力等方面的需求,华北电力大学电子技术课程组编写了一套电子技术基础课程系列教材。该系列教材是编者对高等学校电工电子系列课程的内容和体系进行了深入研究,针对华北电力大学电类和非电类专业的特点,并总结多年理论教学和实践经验的基础上编写而成的。本套系列教材充分体现工程技术教育的特点,力求达到教学与实验相结合、理论与应用相统一,培养学生运用电子技术解决实际问题的工程能力和实践能力。其主要内容覆盖模拟电子技术、数字电子技术、电子电路的测试技术以及计算机辅助分析和设计方法等。本套教材包括《电子技术基础》、《模拟电子技术基础》、《数字电子技术基础》、《电子技术实验指导书》、《模拟电子技术实验指导书》、《数字电子技术实验指导书》、《电子技术综合实验指导书》。

《模拟电子技术基础》是系列教材中的一部。

一、教材编写背景

随着电子技术的迅猛发展,其已日益渗透到其他学科,深入到国民经济的各个领域,可谓“无所不用,无处不在”。模拟电子技术基础是电类专业本科生的一门必修技术基础课,它是一门理论性和实践性很强的课程,在电类专业的课程体系中有不可替代的地位。

一方面,随着半导体技术的发展,模拟电子技术课程所涵盖的内容越来越多,但受限于新的教学大纲和学生知识结构的变化,本课程的授课学时数却越来越少;另一方面,不同专业要求不同,不同行业侧重点也不同,为适应这种形式的需要和体现电力行业特色的需要,编写了该教材。

二、教材内容

本书涵盖了模拟电子技术基础课程大纲要求的全部内容,主要包括:半导体二极管及应用电路、晶体管及基本放大电路、场效晶体管及场效晶体管放大电路、功率放大电路、多级放大电路和集成运算放大器、负反馈放大电路、集成运算放大器的应用电路、信号产生电路、直流稳压电源和电流模电路基础。

三、教材特点

编者分析研究了最近几年出版或再版的若干国内外同类优秀教材的特长,结合多年教学实践体会,力求体现以下思路和特色。

1. 写作思路,以“夯实基础,拓展应用”为宗旨。虽然电子技术日新月异,但基本概念、基本原理不会变化。所以注重强调概念的物理本质和含义,把基本概念、基本原理和基本分析方法贯穿全书的各章节。单元分立元件电路重基础,集成电路重应用,首先要打好基础,才能有效地提高学生“读电路”的能力,做到灵活应用集成电路,发挥好集成电路的作用。

2. 教材理念上,力求体现归类对比、问题启发式、系统论等教学理念。做到增加可读性,减少学生阅读和学习的困难,文字叙述上做到易教、易读、易学。充分体现以学生为本的教育思路。

II 前言

3. 内容组织上,删繁就简,以利于教和学。以“边器件边电路”的方法组织内容,体现管为路用的思路。放大电路的分析按照先基础电路后实用变形电路来编排。在章节次序的安排上尽量符合由浅入深、由个别到一般的认识规律。

4. 分析计算上,抓住主要矛盾忽略次要因素。既不失计算的正确性和可靠性,又能使分析和设计计算简单化,减少繁琐的数学公式推导,减轻学生的学习负担。

5. 知识更新上,面对新世纪人才培养的要求,基础课程的教学应该与科技发展同步。教材除了对通用模拟集成电路集成运算放大器重点分析外,对电流模技术也做适当的介绍,以增加学习兴趣,开阔视野和开拓思路,适应现代科技对人才的要求。

6. 课程体系上,保证模拟电子技术课程的系统性。每章内容建立了理论、实例、思考题、归纳总结、习题、仿真的体系;章与章之间建立了简单到复杂、分立到集成、原理到应用、基本到拓展的知识体系结构;建立了课程与专业的衔接,让学生感受到它不是孤立的一门课,而是课程系统群中的一个环节。例如,为体现电力行业特色,确立了模拟电子技术在电力强电专业的课程群中的地位,实现与专业后续课程的衔接。

四、适用范围

本书可作为高等学校电类专业本科生模拟电子技术课程的教材,还可供有关工程技术人员参考。

参加本书编写工作的有文亚风(第三章、第四章、第九章)、刘向军(第二章、第十章)、孙淑艳(第一章、第五章、第九章)、王赞(第七章、第八章)、刘春颖(第六章)。由刘向军任主编,负责全书的统稿工作,孙淑艳和刘春颖任副主编。本书的编写还得到了华北电力大学电工电子中心各位老师的帮助,在此,向他们表示感谢。本书由山东理工大学李震梅教授主审,李教授在百忙中对书稿进行了认真负责地审阅,提出了不少宝贵意见,我们谨向她表示衷心的感谢。

本书尚有许多待改进之处,敬请读者在使用本书时,将发现的问题及时指出,并将意见和建议及时反馈给我们,以便今后不断改进。编者邮箱为 Lxjun@ncepu.edu.cn。

编 者

2015年8月于华北电力大学

常用符号说明

一、几点原则

1. 电流和电压 (以基极电流为例,其他电流、电压可类比)

$I_B(I_{BQ})$	大写字母、大写下标,表示直流量(或静态电流)
i_B	小写字母、大写下标,表示交、直流量的瞬时总量
I_b	大写字母、小写下标,表示交流有效值
i_b	小写字母、小写下标,表示交流瞬时值
$\dot{I}_b$	大写字母并上加小黑点、小写下标,表示交流复数值
Δi_B	表示瞬时总值的变化量

2. 电阻

R	电路中的电阻或等效电阻
r	器件内部的等效电阻

二、基本符号

1. 电流和电压

I, i	电流的通用符号
U, u	电压的通用符号
i_I, u_I	输入电流、输入电压
i_O, u_O	输出电流、输出电压
i_S, u_S	信号源电流、信号源电压
i_F, u_F	反馈电流、反馈电压
I_Q, U_Q	电流、电压静态值
I_{REF}, U_{REF}	参考电流、参考电压
$u_{Ic}, \Delta u_{Ic}$	共模输入电压、共模输入电压增量
$u_{Id}, \Delta u_{Id}$	差模输入电压、差模输入电压增量
i_P, u_P	集成运算放大器同相输入端的电流、电位
i_N, u_N	集成运算放大器反相输入端的电流、电位
U_T	电压比较器的阈值电压
U_{OH}, U_{OL}	电压比较器的输出高电平、输出低电平
V_{BB}, V_{CC}, V_{EE}	基极、集电极、发射极回路电源
V_{DD}, V_{SS}	漏极、源极回路电源

2. 电阻

R	电阻通用符号
R_b, R_c, R_e	晶体管外接的基极电阻、集电极电阻、发射极电阻
R_g, R_d, R_s	场效晶体管外接的栅极电阻、漏极电阻、源极电阻
R_i, R_{if}	放大电路的输入电阻、负反馈放大电路的输入电阻
R_o, R_{of}	放大电路的输出电阻、负反馈放大电路的输出电阻

II 常用符号说明

R_L	负载电阻
R_S	信号源内阻

3. 放大倍数(增益)

A	放大倍数(增益)的通用符号
A_c	共模电压放大倍数
A_d	差模电压放大倍数
$\dot{A}_u$	电压放大倍数的通用符号, $\dot{A}_u = \dot{U}_o / \dot{U}_i$
$\dot{A}_{us}$	源电压放大倍数的通用符号, $\dot{A}_{us} = \dot{U}_o / \dot{U}_s$
$\dot{A}_{uu}$	电压放大倍数的符号, 第一个下标为输出量, 第二个下标为输入量, $\dot{A}_{ui}$ 、 $\dot{A}_{ii}$ 、 $\dot{A}_{iu}$... 以此类推, 分别称为互阻放大倍数、电流放大倍数、互导放大倍数。
$\dot{A}_{up}$	有源滤波电路的通带放大倍数
$\dot{F}$	反馈系数的通用符号
$\dot{F}_{uu}$	反馈系数, $\dot{F}_{uu} = \dot{U}_f / \dot{U}_o$, 第一个下标为反馈量, 第二个下标为输出量, $\dot{F}_{ui}$ 、 $\dot{F}_{ii}$ 、 $\dot{F}_{iu}$... 以此类推。

4. 功率

P	功率的通用符号
p	瞬时功率
P_o	输出交流功率
P_{om}	最大输出交流功率
P_T	晶体管的耗散功率
P_V	电源消耗的功率

5. 频率

f	频率的通用符号
ω	角频率的通用符号
BW	通频带
f_H 、 f_L	放大电路的上限截止频率、下限截止频率
f_p	滤波电路的通带截止频率

三、器件的参数符号

1. 半导体二极管

D	二极管的通用符号
D_Z	硅稳压二极管的通用符号
U_{on}	二极管的开启电压
U_D	二极管的导通电压(正向压降)
$U_{(BR)}$	二极管的反向击穿电压
I_D	二极管的电流
I_F	二极管的最大整流平均电流
I_R 、 I_S	二极管的反向电流、反向饱和电流
r_d	二极管导通时的动态电阻
r_z	稳压二极管工作在稳压状态下的动态电阻

2. 晶体管

T	晶体管的通用符号
-----	----------

b, c, e	基极、集电极、发射极
I_{CBO}	集电极-基极反向饱和电流
I_{CEO}	集电极-发射极反向饱和电流(穿透电流)
$U_{(BR)CEO}$	集电极-发射极反向击穿电压
I_{CM}	集电极最大允许电流
P_{CM}	集电极最大允许耗散功率
I_{BS}	基极临界饱和电流
I_{CS}	集电极饱和电流
U_{CES}	晶体管的饱和压降
α	晶体管的共基极交流电流放大系数
β	晶体管的共发射极交流电流放大系数

3. 场效晶体管

T	场效晶体管的通用符号
T_N	N 沟道 MOS 场效晶体管
T_P	P 沟道 MOS 场效晶体管
d, g, s	漏极、栅极、源极
g_m	低频跨导
$U_{GS(off)}$ 或 U_P	耗尽型场效晶体管的夹断电压
$U_{GS(th)}$ 或 U_T	增强型场效晶体管的开启电压
I_{DO}	增强型 MOS 管在 $U_{GS} = 2U_{GS(th)}$ 时的漏极电流
r_{ds}	漏极-源极间的动态电阻

4. 集成运算放大器

A	集成运算放大器的通用符号
A_{od}	开环差模电压放大倍数
r_{id}	差模输入电阻
r_o	输出电阻
K_{CMR}	共模抑制比
I_{IB}	输入偏置电流
I_{IO}	输入失调电流
U_{IO}	输入失调电压
SR	转换速率

四、其他符号

X	电抗的通用符号
G	电导的通用符号
C	电容的通用符号
L	电感的通用符号
K	热力学温度的单位
Q	静态工作点
T	温度, 周期
η	功率放大电路的效率
τ	时间常数
φ	相位角

目 录

第 0 章 绪论	1	2.1 晶体管	43
0.1 电子技术的发展史	1	2.1.1 晶体管的结构和类型	44
0.2 电子技术的应用	2	2.1.2 晶体管的放大原理	45
0.3 模拟信号与模拟电子电路	3	2.1.3 晶体管的特性曲线及工作状态	49
0.4 电子电路的仿真软件介绍	5	2.1.4 晶体管的主要参数	53
0.5 课程特点及学习方法	6	思考题	57
第 1 章 半导体二极管及应用电路	8	2.2 放大的概念和放大电路的主要性能指标	57
1.1 半导体基础	8	2.2.1 放大的概念	57
1.1.1 半导体的共价键结构	9	2.2.2 放大电路的主要性能指标	57
1.1.2 本征半导体	9	思考题	61
1.1.3 杂质半导体	11	2.3 放大电路的组成和工作原理	61
1.1.4 PN 结	12	2.3.1 基本共射放大电路的组成	62
思考题	17	2.3.2 基本共射放大电路的工作原理	63
1.2 半导体二极管	18	2.3.3 放大电路的组成原则	64
1.2.1 半导体二极管的结构	18	思考题	64
1.2.2 半导体二极管的特性曲线及参数	19	2.4 放大电路的基本分析方法	65
思考题	22	2.4.1 直流通路和交流通路	65
1.3 半导体二极管的应用电路	22	2.4.2 图解法	67
1.3.1 二极管的模型	22	2.4.3 微变等效电路分析法	75
1.3.2 二极管的应用电路分析	26	思考题	84
思考题	30	2.5 放大电路静态工作点的稳定问题	84
1.4 特殊二极管	30	2.5.1 固定偏流放大电路的优缺点	84
1.4.1 稳压二极管	30	2.5.2 温度对放大电路静态工作点的影响	85
1.4.2 其他特殊二极管	33	2.5.3 工作点稳定的发射极偏置放大电路	86
思考题	35	思考题	90
1.5 二极管应用电路的 Multisim 仿真	35	2.6 共集电极放大电路和共基极放大电路	90
1.5.1 二极管电路的静态分析	35	2.6.1 共集电极放大电路	90
1.5.2 二极管的应用电路	36		
本章小结	38		
习题	39		
第 2 章 晶体管及基本放大电路	43		

2.6.2 共基极放大电路	94	分析	153
2.6.3 三种基本放大电路的比较	96	3.4.2 场效晶体管放大电路的动态 分析	156
思考题	96	思考题	162
2.7 复合管及放大电路	97	3.5 场效晶体管放大电路的频率 响应	162
2.7.1 复合管的基本概念	97	3.6 场效晶体管共源放大电路的 Multisim 仿真研究	164
2.7.2 复合管放大电路	99	本章小结	167
思考题	99	习题	168
2.8 放大电路的频率响应	99	第4章 功率放大电路	173
2.8.1 频率响应的基本概念	100	4.1 功率放大电路概述	173
2.8.2 简单 RC 电路的频率响应分析	102	4.1.1 功率放大电路的主要技术指标	173
2.8.3 晶体管的高频等效模型	105	4.1.2 功率放大电路中的一些特殊 问题	174
2.8.4 放大电路的频率响应分析	110	思考题	175
思考题	119	4.2 甲类功率放大电路	175
2.9 放大电路的 Multisim 仿真	120	4.2.1 静态工作点与放大电路的工作 状态	175
本章小结	124	4.2.2 甲类功率放大电路的输出功率及 效率的计算	177
习题	127	4.2.3 提高功率放大电路效率的方法	178
第3章 场效晶体管及场效晶体管放大 电路	137	思考题	178
3.1 结型场效晶体管	137	4.3 乙类功率放大电路	178
3.1.1 N 沟道结型场效晶体管的结构	138	4.3.1 乙类双电源互补对称功率放大 电路	178
3.1.2 结型场效晶体管的工作原理	138	4.3.2 乙类单电源互补对称功率放大 电路	185
3.1.3 结型场效晶体管的特性曲线	141	思考题	186
思考题	143	4.4 甲乙类功率放大电路	187
3.2 绝缘栅型场效晶体管	143	4.4.1 甲乙类双电源互补对称功率放大 电路	187
3.2.1 N 沟道增强型绝缘栅场效 晶体管	143	4.4.2 甲乙类单电源互补对称功率放大 电路	189
3.2.2 N 沟道耗尽型绝缘栅场效 晶体管	147	思考题	191
3.2.3 场效晶体管的主要参数	148	4.5 集成功率放大电路简介	191
思考题	149	4.6 OCL 互补对称功放电路的 Multisim 仿真研究	192
3.3 各种场效晶体管的比较和使用注意 事项	150	本章小结	195
3.3.1 各种场效晶体管的比较	150		
3.3.2 使用场效晶体管的注意事项	151		
3.3.3 场效晶体管与晶体管的比较	152		
思考题	152		
3.4 场效晶体管放大电路	152		
3.4.1 场效晶体管的直流偏置电路及静态			

习题	196	6.3 深度负反馈下放大电路的 计算	268
第 5 章 多级放大电路和集成运算 放大器	200	6.3.1 负反馈放大电路的框图	268
5.1 多级放大电路的分析	201	6.3.2 负反馈放大电路的一般表达式	269
5.1.1 多级放大电路的耦合方式	201	6.3.3 深度负反馈的实质	270
5.1.2 多级放大电路的分析方法	204	6.3.4 深度负反馈下放大电路的近似 计算	271
5.1.3 多级放大电路的频率特性	206	思考题	277
5.1.4 多级直接耦合放大电路的零点漂移 现象	208	6.4 负反馈对放大电路性能的 影响	277
思考题	209	6.4.1 稳定放大倍数	277
5.2 差分放大电路	210	6.4.2 负反馈对输入电阻和输出电阻的 影响	278
5.2.1 典型长尾式差分放大电路	210	6.4.3 展宽通频带	281
5.2.2 具有电流源的差分放大电路	220	6.4.4 减小非线性失真	282
思考题	222	6.4.5 减少反馈环内的干扰和噪声	283
5.3 集成运算放大器	223	思考题	284
5.3.1 集成运算放大器概述	223	6.5 在放大电路中引入负反馈	284
5.3.2 电流源电路	225	思考题	285
5.3.3 以电流源为有源负载的放大 电路	228	6.6 负反馈放大电路的稳定问题	286
5.3.4 集成运算放大器举例	229	6.6.1 负反馈放大电路的自激振荡	286
5.3.5 集成运算放大器的主要参数	236	6.6.2 负反馈放大电路稳定性的判断	288
5.3.6 集成运算放大器的使用常识	238	6.6.3 负反馈放大电路自激振荡的消除 方法	291
5.3.7 集成运算放大器的分类	239	思考题	293
思考题	242	6.7 负反馈放大电路的 Multisim 仿真	293
5.4 差分放大电路的 Multisim 仿真	242	本章小结	296
本章小结	244	习题	298
习题	247	第 7 章 集成运算放大器的应用电路	305
第 6 章 负反馈放大电路	253	7.1 集成运算放大器的应用电路分析 方法	305
6.1 反馈的基本概念及分类	253	7.1.1 理想集成运算放大器	305
6.1.1 反馈的基本概念	253	7.1.2 集成运算放大电路应用电路的分析 依据	306
6.1.2 反馈的分类	256	思考题	308
思考题	258	7.2 基本运算电路	308
6.2 交流负反馈的四种基本组态	259	7.2.1 比例运算电路	308
6.2.1 电压串联负反馈	260		
6.2.2 电压并联负反馈	262		
6.2.3 电流串联负反馈	264		
6.2.4 电流并联负反馈	266		
思考题	267		

7.2.2 求和运算电路	312	8.4.1 正弦信号产生电路	397
7.2.3 减法运算电路	314	8.4.2 方波三角波产生电路	398
7.2.4 积分和微分运算电路	316	本章小结	400
7.2.5 对数和反对数运算电路	321	习题	401
7.2.6 模拟乘法器	323	第9章 直流稳压电源	408
思考题	326	9.1 直流稳压电源概述	408
7.3 有源滤波电路	327	9.2 整流电路	409
7.3.1 滤波电路的作用与分类	327	9.2.1 单相半波整流电路	409
7.3.2 有源低通滤波电路	328	9.2.2 单相全波整流电路	412
7.3.3 其他有源滤波电路	333	9.2.3 单相桥式整流电路	414
7.3.4 开关电容滤波器	340	9.2.4 倍压整流电路	417
思考题	342	思考题	418
7.4 电压比较电路	343	9.3 滤波电路	418
7.4.1 电压比较器概述	343	9.3.1 电容滤波电路	419
7.4.2 单门限比较器	344	9.3.2 其他滤波电路	423
7.4.3 迟滞比较器	346	思考题	424
7.4.4 窗口比较器	350	9.4 稳压管稳压电路	425
思考题	352	9.4.1 稳压电路的技术指标	425
7.5 集成运放应用电路的 Multisim		9.4.2 稳压管稳压电路	427
仿真	353	思考题	429
7.5.1 有源滤波器的频率特性分析	353	9.5 串联型稳压电路	429
7.5.2 迟滞比较器的传输特性分析	354	9.5.1 串联型稳压电路的引出	430
本章小结	356	9.5.2 具有放大环节的串联反馈式稳压	
习题	358	电路	431
第8章 信号产生电路	366	9.5.3 集成稳压电路	435
8.1 正弦信号产生电路	366	思考题	442
8.1.1 正弦波振荡电路的振荡条件	367	9.6 开关型稳压电路	443
8.1.2 RC 正弦波振荡电路	370	9.6.1 开关型稳压电路的特点和分类	443
8.1.3 LC 正弦波振荡电路	375	9.6.2 串联型开关稳压电路	445
8.1.4 石英晶体正弦波振荡电路	383	9.6.3 基于集成调制器 TL494 的串联型开关	
思考题	387	稳压电源	450
8.2 非正弦信号产生电路	387	9.6.4 并联型开关稳压电路	452
8.2.1 方波发生器	387	思考题	453
8.2.2 三角波发生器	390	9.7 可控整流电路	453
8.2.3 锯齿波发生器	392	9.7.1 晶闸管	453
思考题	394	9.7.2 单相桥式半控整流电路	458
8.3 集成函数发生器	394	9.7.3 晶闸管的触发电路	462
8.4 振荡电路的 Multisim 仿真	397	思考题	463

9.8 稳压电源的 Multisim 仿真	463	10.3.2 跨导线性电路	490
9.8.1 串联反馈式稳压电源的指标 测试	463	思考题	494
9.8.2 并联型开关稳压电路仿真分析	466	10.4 运算跨导放大器(OTA)	494
本章小结	468	10.4.1 运算跨导放大器(OTA)的基本 概念	494
习题	469	10.4.2 集成运算跨导放大器 OTA	496
第 10 章 电流模电路基础	476	10.4.3 OTA 的应用电路	497
10.1 电流模电路的基本概念	476	思考题	504
10.2 电流传输器	478	10.5 OTA 应用电路的 Multisim 仿真	504
10.2.1 电流传输器的端口特性	478	本章小结	506
10.2.2 电流传输器的应用	482	习题	508
思考题	486	部分习题答案	514
10.3 跨导线性电路	486	参考文献	524
10.3.1 跨导线性原理	486		

第0章

绪论

通过本章学习,使学生了解电子技术的发展及其应用,掌握模拟信号与数字信号的区别;了解模拟电子技术基础的课程内容及电子电路的仿真软件,了解其工程性与实践性强的特点,从而正确掌握模拟电子技术基础课程的学习方法。

电子技术是 19 世纪末 20 世纪初开始发展起来的新兴技术,20 世纪发展最迅速、应用最广泛,已成为近代科学技术发展的一个重要标志。

0.1 电子技术的发展史

电子技术的发展很大程度上反映在电子器件的发展上,基本分为四个阶段。

第一阶段:电子管的发明

1904 年,英国的佛莱明发明了真空二极管。1906 年,美国的德福雷斯特发明了真空三极管,这是电子学发展史上的第一个里程碑。但是电子管笨重、能耗大、寿命短、噪声大、制作工艺复杂。

第二阶段:晶体管的诞生

1947 年 11 月底,贝尔实验室的三位科学家发明了晶体管,并在 12 月 16 日正式宣布“晶体管”的诞生,由于这一贡献,这三位科学家一起获得了 1956 年的诺贝尔物理学奖。

与电子管相比,晶体管具有诸多优越性:晶体管的寿命比电子管长 100 到 1 000 倍;晶体管

消耗电子少,仅为电子管的十分之一或几十分之一;晶体管结实可靠,比电子管可靠100倍,耐冲击、耐震动。因此,晶体管在很多领域替代了电子管。

晶体管的性能明显优于电子管,从而大大促进了电子技术的应用与发展,晶体管的发明是电子学发展史上的第二个里程碑。

第三阶段:集成电路问世

20世纪50年代末期世界上出现了第一块集成电路。

1958年9月12日美国德州仪器公司的实验室里,成功地实现了将电子电路集成在一块半导体材料上的构想,于2000年获诺贝尔物理学奖,为现代信息技术奠定了基础。

集成电路是通过一系列特定的加工工艺,将晶体管、二极管等有源器件和电阻、电容等无源器件,按照一定规则的电路互联,集成在一块半导体晶片上,执行特定电路或系统的功能。于德克萨斯发明的第一片集成电路只有4个晶体管,而1997年时一片集成电路中有4亿个晶体管。

第四阶段:大规模集成电路和超大规模集成电路的出现

集成电路由起初的小规模集成电路(SSI)发展到中规模集成电路(MSI)、大规模集成电路(LSI)、超大规模集成电路(VLSI),集成度逐渐提高、器件尺寸逐渐减小。大规模集成电路和超大规模集成电路的出现使电子装置发生了根本变化。电子设备的功能、速率、体积、功耗、可靠性等方面都取得了惊人的成就。电子技术发展至今,已经进入了微电子学的时代。

0.2 电子技术的应用

随着电子技术的发展,国民经济的各个领域都离不开电子技术的应用。

一、农业领域的应用

电子技术在农业中得到了广泛的应用:节水灌溉作业的自动控制、农业温室的自动控制、果实收货作业的自动控制、农产品加工的自动控制和农业生产工厂化等方面。比如,在温度控制机电一体化中,通过温度传感器芯片驱动、继电器、电机控制侧面的卷帘,热屏遮荫系统,能充分利用充足的太阳光热资源,白天使作物进行旺盛的光合作用,日落后又促使光合产物的转移,并尽量减少消耗呼吸,这样可大大提高果蔬的产量。

二、汽车领域的应用

电子技术作为支撑现代汽车工程的技术基础之一,在解决提高汽车性能、环保、能源、安全等问题中将占有不可替代的重要地位。成熟的汽车电子控制系统主要有发动机电子控制、底盘电子控制、车身电子控制、信息传递等。

电子技术的应用使汽车的各种性能更加完美,控制更加精确,乘坐更加舒适。举个简单的例子,以前的汽车都是化油器的,现在都是电喷的,这就是电子技术的应用,电喷车使燃油控制更加精确,喷油正时、点火正时以及点火提前角的调整使汽车的燃油经济性和动力性都得到了提高。

三、医学中的应用

电子技术在医学中的应用主要有电子病历、生物芯片、便携式医疗电子检测仪、远程诊疗系统等。电子病历是电子技术和网络技术的结合,可以为医疗机构提供适时的医疗信息,是系统化的居民健康档案,也可以为医疗责任提供证据;利用传感器的生物芯片,可以对人体进行 DNA 的检测,快速处理相关信息,以及用于亲子鉴定等;电子技术应用于便携式医疗电子检测仪,可以通过微控制器,连接医疗机构网络,实现医生对患者的后期诊疗观察,有利于医疗效果的发挥;同时,利用医学与网络技术、微电子技术等,可以达到医学的远程诊疗,实现医学资源的共享,有利于偏远地区的医学诊疗。

四、军事领域的应用

国防事业的发展很大程度上依赖于国防电子企业的发展,而国防电子企业的发展又依赖于电子技术的进步。比如海湾战争中大規模电子战术的运用,涉及电子侦察、电子干扰、电子通信等,美军运用自己先进的电子技术对伊拉克的雷达阵地进行破坏和电子干扰,使伊拉克的导弹和机场成为了活靶子。这反映了电子技术在现代战争当中的重要地位。

五、电力系统中的应用

电子技术包括信息电子技术和电力电子技术两大分支。信息电子技术主要用于对信息的处理,如我们熟悉的扩音器就是一种对语音信号进行放大的电路,人的声音通过话筒转变为微弱的电信号,然后送到扩音器中去放大,最后使扬声器发出洪亮的声音。而电力电子技术则主要用于对电能的变换和控制,如蓄电池、太阳能电池等都是直流电源,当需要这些电源向交流负载(如交流电机)供电时,就需要利用电能变换(逆变)电路把直流电转变成交流电。

电力电子技术是电力与电子技术的融合,是强电与弱电的融合,以电力电子器件为工具,通过弱电对强电的控制,以实现电能变换与控制的技术。电力电子技术的应用已涉及电力系统的各个方面,包括发电环节、输配电系统、储能系统等。

总而言之,现在的世界,电子技术已无处不在。

0.3 模拟信号与模拟电子电路

一、电子信息系统

所谓电子系统,是指由一些基本电路组成的能完成某一特定功能的复杂电子电路。系统框图如图 0.3.1 所示。

通常电子系统的输入信号来自各种传感器,它们将不同的物理量(如声音、温度、压力、流量等)转换成相应的电信号;由于传感器所提供的电信号不仅幅值很小,而且还可能混入干扰和噪声,因此,系统还应对传感器提供的电信号进行预处理,以将有用信号分离出来,然后将所得的有用信号进行放大处理,使有用信号在幅度等方面比较适合做进一步的分析或处理;对放大的有用信号再进行变换、运算、传输等加工。有的系统,直接将模拟信号进行加工处理,但大部分现代

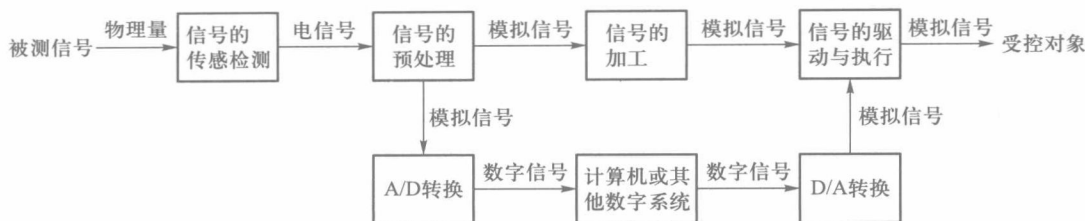


图 0.3.1 电子系统的示意图

电子系统都是先将预处理后所得的模拟信号用 A/D 转换器转换为数字信号,经计算机或其他数字系统处理后,再将数字信号用 D/A 转换器转换为模拟信号,最后去驱动负载,为了驱动执行机构(即受控对象),系统常常要对信号进行功率放大。

二、模拟信号与数字信号

时间上、数值上都连续的信号称为模拟信号,比如正弦波。从宏观上看,我们周围世界中的大多数物理量都是时间连续、数值连续的变量,如气温、气压、风速、压力等。由于非电的物理量很容易转换成电信号,而且电信号又容易传送和控制,因此电信号成为应用最为广泛的信号。非电的物理量通过相应的传感器都可转换为模拟电信号输入到电子系统中去。模拟电信号的形式有电压和电流两种,即模拟电信号是指随时间而变化的电压 u 或电流 i ,记作 $u=f(t)$ 或 $i=f(t)$,如图 0.3.2(a)所示。在电子电路中模拟信号指的就是模拟电信号。

时间和幅值都离散的信号称为数字信号,如脉冲波形,如图 0.3.2(b)所示。

处理模拟信号的电子电路称为模拟电子电路。处理数字信号的电子电路称为数字电子电路。

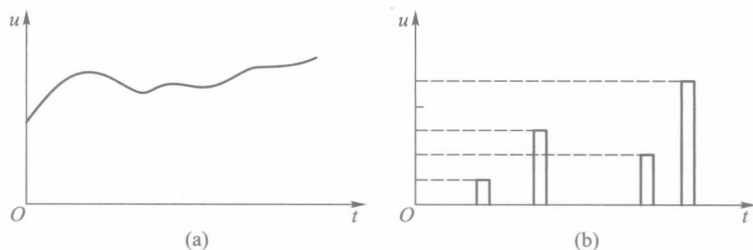


图 0.3.2 模拟信号与数字信号

(a) 模拟信号 (b) 数字信号

三、模拟电子电路

模拟电子电路以半导体元器件为基础,放大电路为核心,实现对模拟信号的放大、滤波、产生等,其主要内容包括以下几个方面:

(1) 半导体元器件主要包括二极管、晶体管和场效晶体管

模拟电子电路由半导体器件构成,为了更好地使用半导体器件,主要研究其结构、工作原理、