



普通高等教育“十二五”规划教材

电子技术

(电工学II)

Electrical Technology (Electrotechnics II)

武丽 主编



 **机械工业出版社**
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十二五”规划教材

电子技术（电工学Ⅱ）

主 编 武 丽

副主编 权震华

参 编 王 玉 曹 文



机械工业出版社

本书是以教育部颁发的高等学校工科本科电子技术（电工学Ⅱ）课程教学基本要求为依据，结合多年教学实践经验编写的。

全书共分13章，内容包括常用半导体器件（二极管、双极型晶体管和场效应晶体管）的工作原理及特性，以及由这些半导体器件构成的常用电子电路的分析和应用、常用电子器件、数字电路及其系统的分析和设计等。

本书结构合理，重点突出，内容阐述深入浅出，简洁易懂。

本书主要素材均来源于电子产品的实际电路及教师多年的经验积累，特别适合作为高等工科院校非电类专业的基础课程教材，亦可作为电子技术从业人员的岗前培训和自学用书。

图书在版编目（CIP）数据

电工学.2, 电子技术/武丽主编. —北京：机械工业出版社，2014.6
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-111-46085-5

I. ①电… II. ①武… III. ①电工技术—高等学校—教材②电子技术—高等学校—教材 IV. ①TM②TN

中国版本图书馆CIP数据核字（2014）第044235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：贡克勤 责任编辑：贡克勤 徐凡

版式设计：常天培 责任校对：刘志文

封面设计：张静 责任印制：李洋

三河市国英印务有限公司印刷

2014年6月第1版第1次印刷

184mm×260mm·15.5印张·368千字

标准书号：ISBN 978-7-111-46085-5

定价：32.00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

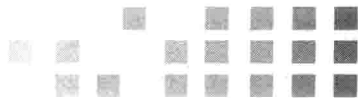
网络服务

社服务中心：(010)88361066 教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售一部：(010)68326294 机工官网：<http://www.cmpbook.com>

销售二部：(010)88379649 机工官博：<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线：(010)88379203 封面防伪标均为盗版



前言



本书是以教育部颁发的高等学校工科本科电子技术（电工学Ⅱ）课程教学基本要求为依据，结合多年教学实践经验编写的。

电工学的内容包括电磁能量和信息在产生、传输、控制和应用这一全过程中所涉及的各种手段和活动。从19世纪电的应用进入人类社会的生产活动以来，电工技术的内涵和外延随着电工领域的扩大不断拓展。电工技术发展的早期，电工技术的主要内容围绕电报和电灯的应用。随后，电力系统的出现，使发电、输电、配电和用电一体化。电能的应用遍及人类生产和生活的各个方面，电工技术的内容除了涉及电力生产和电工制造两大工业生产体系所需的技术外，还与电子技术、自动控制技术、系统工程等相关技术学科互相渗透与交融。

电工学教材含电子技术（电工学Ⅱ）及与此配套出版的电工技术（电工学Ⅰ）。本书为电子技术，共13章，内容包括常用半导体器件（二极管、双极型晶体管和场效应晶体管）的工作原理及特性，以及由这些半导体器件构成的常用电子电路的分析和应用、常用电子器件、数字电路及其系统的分析和设计等。书中带*部分为选学内容。

本书的主要素材均来源于电子产品的实际电路或教师多年的经验积累，特别适合作为高等工科院校非电类专业的基础课程教材，也适合作为电子技术从业人员的岗前培训和自学用书。编写中突出了以下特点：

1. 教材定位于理论以够用为本，加强应用技术能力的培养。在注重讲解基本概念、基本原理和分析方法的同时，通过生产实例强化实际应用能力的训练，避免烦琐的数学公式推导和大篇幅的理论分析。
2. 教材内容以技术应用为主旨，贴近生产实践。使学生在打下牢固理论的基础上，与生产实践相联系，提高分析问题与解决问题的能力。
3. 注重内容的实用性、先进性。元器件主要介绍其结构，学会合理选择，正确使用。单元电路主要介绍基本原理和使用中的调试方法。习题的选择注重对基本理论的理解与实践的应用，兼顾学生自学能力的培养。

全书各章均配有适量的习题，供学生课后复习巩固使用，还可供有关技术专业师生及工程技术人员参考。

本书在题目的组织和编写安排上，力求防止面面俱到，针对非电专业学生的特点，具有内容排列层次分明、文字叙述通俗易懂、概念阐述清晰准确、讲授全面重点突出、注重实际

应用和简化理论推导等特点。

本书由武丽担任主编，权震华为副主编，王玉、曹文参编。刘春梅参加了部分编写工作。全书由武丽和权震华统稿。感谢尚丽平老师在本书编写的过程中给予的支持和帮助，并在此对所有为本书进行审阅并提供宝贵意见以及在编写过程中给予大力支持和帮助的朋友，一并表示衷心的感谢。

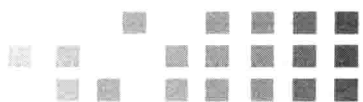
由于水平有限，书中错误和不妥之处在所难免，殷切希望使用本教材的师生及各位读者，给予批评指正。

编 者

本书常用文字符号表

A	集成运放器件	i_s	信号源电流
A 、 $\dot{A}$	增益	i_i	输入电流
A_f	反馈放大电路的闭环增益	i_o	输出电流
A_u 、 $\dot{A}_U$	电压增益	K_{CMR}	共模抑制比
A_i 、 $\dot{A}_i$	电流增益	L	电感
A_r 、 $\dot{A}_R$	互阻增益	L	负载
A_g 、 $\dot{A}_G$	互导增益	N	电子型半导体
A_{uc}	共模电压增益	N	绕组匝数
A_{ud}	差模电压增益	P	功率
A_{uo}	开环电压增益	P_o	输出交变功率
A_{uf}	闭环电压增益	P_{om}	输出交变功率最大值
B	场效应晶体管衬底	P_V	电源提供的直流功率
b	BJT 的基极	P	空穴型半导体
C	电容	Q	静态工作点
$C_{b'c}$	晶体管基极—集电极电容	R	电阻（直流电阻或静态电阻）
$C_{b'e}$	晶体管基极—发射极电容	R_b 、 R_c 、 R_e	BJT 的基极、集电极、发射极电阻
C_{ds}	场效应晶体管漏源电容	R_g 、 R_d 、 R_s	FET 的栅极、漏极、源极电阻
C_e	发射极旁路电容	R_s	信号源内阻
C_{gd}	场效应晶体管栅漏电容	R_L	负载电阻
C_{gs}	场效应晶体管栅源电容	RP	电位器（可变电阻）
c	BJT 的集电极	R_i	放大电路交流输入电阻
D	二极管	R_o	放大电路交流输出电阻
d	场效应晶体管的漏极	R_f	反馈电阻
e	BJT 的发射极	r	电阻（交流电阻或动态电阻）
F 、 $\dot{F}$	反馈放大系数	r_{be}	BJT 的输入电阻
f_L	放大器的下限频率	r_{ce}	BJT 的输出电阻
f_H	放大器的上限频率	$r_{b'b}$	BJT 的基区体电阻
g	场效应晶体管的漏极	S	开关
I 、 i	电流	s	FET 的源极，秒
I_i	输入电流	T	温度（热力学温度以 K 为单位）
I_o	输出电流	U 、 u	电压
I_L	负载电流	U_i	输入电压
I_{IB}	输入偏置电流	U_o	输出电压
I_{IO}	输入失调电流	U_{REF}	参考电压
I_{OM}	最大输出电流	U_{OM}	最大输出电压
I_{REF}	参考电流（基准电流）	$U_{o(AV)}$	输出电压平均值
		u_s	信号源电压

u_i	输入电压	V_{ss}	场效应晶体管源极直流电源电压
u_o	输出电压	VD	二极管
u_f	反馈电压	VS	稳压二极管
u_{id}	差模输入电压	X	电抗
u_{ic}	共模输入电压	$\dot{X}_i$	输入信号
V	三端有源器件 (如 BJT、FET 等)	$\dot{X}'_i$	净输入信号
V_{BB}	双极型晶体管基极直流电源电压	$\dot{X}_f$	反馈信号
V_{EE}	双极型晶体管发射极直流电源电压	$\dot{X}_o$	输出信号
V_{CC}	双极型晶体管集电极直流电源电压	$\dot{X}_s$	源信号
V_{DD}	场效应晶体管漏极直流电源电压		
V_{GG}	场效应晶体管栅极直流电源电压		



目 录



前言

本书常用文字符号表

绪论	1
0.1 电子技术的发展	1
0.2 模拟信号和模拟电子技术	2
0.2.1 模拟信号	2
0.2.2 模拟电子技术	3
0.3 数字信号和数字电子技术	3
0.3.1 数字信号	3
0.3.2 数字电子技术	4
第1章 半导体器件的基本知识	6
1.1 半导体基本知识	6
1.1.1 本征半导体及其导电特性	7
1.1.2 杂质半导体	8
练习与思考	9
1.2 PN结	9
1.2.1 PN结的形成	9
1.2.2 PN结的单向导电性	10
练习与思考	10
1.3 二极管	10
1.3.1 基本结构	10
1.3.2 伏安特性	11
1.3.3 主要参数	11
1.3.4 二极管基本电路及应用	12
练习与思考	13
1.4 特殊二极管	13
1.4.1 稳压二极管	13

1.4.2	光敏二极管	14
1.4.3	发光二极管	15
	练习与思考	15
1.5	双极型晶体管	15
1.5.1	基本结构	15
1.5.2	电流分配与放大原理	16
1.5.3	特性曲线	17
1.5.4	主要参数	19
	练习与思考	20
1.6	场效应晶体管	20
1.6.1	绝缘栅场效应晶体管	20
1.6.2	场效应晶体管的主要参数	24
1.6.3	双极型晶体管和场效应晶体管的比较	24
	练习与思考	25
	习题	25
第2章	基本放大电路	28
2.1	放大电路的主要技术指标	28
2.1.1	放大的概念	28
2.1.2	放大电路的主要技术指标	28
	练习与思考	30
2.2	基本共射极放大电路	30
2.2.1	放大电路的组成原则	30
2.2.2	基本共射放大电路中各元件的作用	30
2.2.3	放大电路工作原理	31
	练习与思考	32
2.3	放大电路的静态分析	32
2.3.1	估算法——用放大电路的直流通路确定静态值	32
2.3.2	用图解分析法确定静态值	32
2.3.3	静态工作点的稳定性	33
	练习与思考	34
2.4	放大电路的动态分析	35
2.4.1	图解分析法	35
2.4.2	微变等效电路法	36
	练习与思考	38
2.5	射极输出器	38
2.5.1	共集电极放大电路的组成	38
2.5.2	共集电极放大电路的电路分析	39
	练习与思考	40

2.6 多级放大电路	40
2.6.1 耦合方式及其特点	41
2.6.2 多级放大电路性能指标的估算	42
练习与思考	43
2.7 差动放大电路	43
2.7.1 差动放大电路的组成	43
2.7.2 共模信号和差模信号	43
2.7.3 差动放大电路的工作原理	44
2.7.4 差动放大电路的分析	45
2.7.5 共模抑制比	46
练习与思考	47
2.8 功率放大电路	48
2.8.1 对功率放大电路的基本要求	48
2.8.2 双电源互补对称功率放大电路的组成及工作原理	50
2.8.3 单电源互补对称电路的组成及工作原理	52
2.8.4 集成功率放大器的原理	53
练习与思考	54
2.9* 场效应晶体管放大电路	54
2.9.1 场效应晶体管放大电路的静态偏置	54
2.9.2 场效应晶体管小信号模型	56
2.9.3 共源极放大电路	57
练习与思考	59
习题	59
第3章 集成运算放大器	63
3.1 集成运算放大器简介	63
3.1.1 集成运算放大器的组成及其特点	63
3.1.2 集成运算放大器的主要技术指标	64
3.1.3 集成运算放大器的电压传输特性	65
3.1.4 集成运算放大器的理想化模型	66
练习与思考	67
3.2 集成运算放大器的线性应用	67
3.2.1 比例运算电路	67
3.2.2 加法运算电路	68
3.2.3 减法运算电路	68
3.2.4 积分运算电路	69
3.2.5 微分运算电路	69
练习与思考	70
3.3 集成运算放大器的非线性应用	70

3.3.1 电压比较器	71
3.3.2 方波发生器	72
练习与思考	73
习题	73
第4章 负反馈放大电路	75
4.1 反馈的基本概念	75
4.1.1 反馈的定义	75
4.1.2 正反馈和负反馈	76
4.1.3 直流反馈和交流反馈	76
4.1.4 电压反馈和电流反馈	76
4.1.5 串联反馈和并联反馈	77
练习与思考	77
4.2 负反馈放大电路的4种组态和反馈的一般表达式	77
4.2.1 负反馈的4种组态	78
4.2.2 反馈的一般表达式	79
练习与思考	81
4.3 负反馈对放大电路性能的影响	81
4.3.1 稳定放大倍数	81
4.3.2 减小非线性失真	82
4.3.3 改变输入电阻和输出电阻	82
4.3.4 展宽频带	83
练习与思考	84
4.4 负反馈放大电路的稳定性	84
4.4.1 负反馈放大电路产生自激振荡的原因和条件	84
4.4.2 负反馈放大电路自激振荡的消除方法	85
练习与思考	86
习题	86
第5章 正弦波振荡电路	89
5.1 产生正弦波振荡的条件	89
5.1.1 正弦波振荡电路的组成	89
5.1.2 自激振荡条件	90
练习与思考	90
5.2 正弦波振荡电路的类型	90
5.2.1 RC桥式振荡电路	90
5.2.2 变压器反馈式LC振荡电路	92
练习与思考	93
5.3 非正弦波发生器	93

5.3.1 矩形波发生电路	93
5.3.2 三角波发生电路	95
练习与思考	95
习题	95
第6章 直流电源电路	97
6.1 直流电源的组成	97
6.2 整流电路	97
6.2.1 单相半波整流电路	98
6.2.2 单相桥式整流电路	99
练习与思考	100
6.3 滤波电路	101
6.3.1 电容滤波电路	101
6.3.2 其他滤波电路	102
练习与思考	103
6.4 稳压电路	103
6.4.1 稳压管稳压电路	103
6.4.2 串联型稳压电路	104
6.4.3 三端集成稳压器	105
6.4.4 直流稳压电源电路示例	107
练习与思考	108
6.5 可控整流电路	108
6.5.1 单向晶闸管	108
6.5.2 可控整流电路	112
6.5.3 双向晶闸管	114
6.5.4 实用可控整流电路实例	115
练习与思考	116
习题	116
第7章 门电路与组合逻辑电路	118
7.1 数字电路与基本逻辑门电路	118
7.1.1 逻辑门	118
7.1.2 集成元件门电路	120
练习与思考	120
7.2 逻辑代数基础	120
7.2.1 基本逻辑运算	121
7.2.2 逻辑代数的基本公式	121
7.2.3 逻辑函数表达式	122
7.2.4 逻辑函数的化简	123

练习与思考	126
7.3 组合逻辑电路的分析与设计	127
7.3.1 组合逻辑电路的分析	127
7.3.2 组合逻辑电路的设计	128
练习与思考	131
习题	131
第 8 章 常用集成组合逻辑器件及其应用	133
8.1 编码器	133
8.1.1 二进制编码器	133
8.1.2 二进制优先编码器	134
8.1.3 二-十进制编码器	135
练习与思考	136
8.2 译码器	136
8.2.1 二进制译码器	137
8.2.2 二-十进制显示译码器	138
练习与思考	140
8.3 加法器	140
8.3.1 半加器	140
8.3.2 全加器	141
8.3.3 多位加法器	142
练习与思考	143
8.4 数据选择器	143
8.4.1 集成数据选择器	144
8.4.2 数据选择器的扩展	144
练习与思考	145
习题	145
第 9 章 触发器	147
9.1 触发器的基本概念及分类	147
9.1.1 触发器的定义及特征	147
9.1.2 触发器的分类	147
练习与思考	148
9.2 RS 触发器	148
9.2.1 门锁电路	148
9.2.2 基本 RS 触发器	148
9.2.3 同步 RS 触发器	150
练习与思考	153
9.3 JK 触发器和 D 触发器	153

9.3.1 主从 JK 触发器	153
9.3.2 边沿 D 触发器	156
练习与思考	157
9.4 触发器功能间的相互转换	157
9.4.1 转换要求及步骤	157
9.4.2 JK 触发器到其他类型触发器的转换	158
9.4.3 D 触发器到其他类型触发器的转换	159
练习与思考	160
习题	160
第 10 章 常用时序逻辑电路及其应用	164
10.1 时序逻辑电路基本概念及分类	164
10.1.1 时序逻辑电路的电路结构及特点	164
10.1.2 时序逻辑电路的描述方法	165
10.1.3 时序逻辑电路分类	165
练习与思考	166
10.2 同步时序逻辑电路分析	166
10.2.1 同步时序逻辑电路基本分析方法	166
10.2.2 同步时序逻辑电路的分析举例	167
练习与思考	170
10.3 计数器	171
10.3.1 计数器的基本概念及分类	171
10.3.2 同步二进制计数器	172
10.3.3 同步十进制计数器	174
10.3.4 集成同步二进制计数器 74161 工作原理及应用	176
练习与思考	181
10.4 寄存器	181
10.4.1 寄存器的基本概念及分类	181
10.4.2 数码寄存器	182
10.4.3 移位寄存器	183
练习与思考	186
习题	186
第 11 章 半导体存储器及其应用	191
11.1 半导体存储器简介	191
11.1.1 半导体存储器的发展	191
11.1.2 半导体存储器的分类	191
11.1.3 半导体存储器的一般结构	193
11.1.4 半导体存储器主要性能指标	194

练习与思考	195
11.2 只读存储器	195
11.2.1 只读存储器的电路结构和工作原理	195
11.2.2 可编程只读存储器	197
11.2.3 可擦除可编程只读存储器	197
11.2.4 ROM 的应用	198
练习与思考	200
11.3 随机存取存储器	201
11.3.1 随机存取存储器的电路结构及工作原理	201
11.3.2 RAM 的扩展	203
练习与思考	205
11.4 闪存	205
11.4.1 闪存的单元电路结构	205
11.4.2 闪存的特点	206
练习与思考	206
习题	206
第 12 章 数/模与模/数转换	209
12.1 数/模与模/数转换的基本概念	209
练习与思考	209
12.2 数/模转换电路	210
12.2.1 数/模转换器的基本概念	210
12.2.2 倒 T 形电阻网络 D/A 转换器工作原理	210
12.2.3 D/A 转换器的主要技术指标	212
12.2.4 集成 D/A 转换器	213
练习与思考	214
12.3 A/D 转换电路	214
12.3.1 A/D 转换的工作过程	214
12.3.2 逐次比较型 A/D 转换器的工作原理	216
12.3.3 A/D 转换器的主要技术指标	217
12.3.4 集成 A/D 转换器	218
练习与思考	219
习题	220
第 13 章 集成 555 定时器与脉冲波形变换	221
13.1 集成 555 定时器	221
13.1.1 集成 555 定时器的电路结构	221
13.1.2 集成 555 定时器的工作原理	222
练习与思考	223

13.2 555 定时器在脉冲波形变换中的应用	223
13.2.1 多谐振荡器	223
13.2.2 单稳态触发器	225
13.2.3 施密特触发器	226
练习与思考	228
习题	228
参考文献	230



人类生活的环境中存在各种各样的信息，信息的产生、存储、传输和处理一般由电子电路完成。近年来，随着计算机、通信和微电子技术的迅猛发展，电子技术的应用愈来愈广泛，涉及计算机、通信、科学技术、工农业生产、医疗卫生等各个领域。

电子技术主要研究电信号（随时间变化的电压和电流信号）的产生、传送、接收和处理。电子技术由模拟电子技术和数字电子技术两部分构成。

0.1 电子技术的发展

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，成为近代科学技术发展的一个重要标志。第一代电子产品以电子管为核心。40 年代末世界上诞生了第一只晶体管，它以小巧、轻便、省电、寿命长等特点，很快地被广泛应用，大范围取代了电子管。50 年代末期，世界上出现了第一块集成电路，它把晶体管等电子元件集成在一块硅芯片上，使电子产品向小型化发展。集成电路从小规模集成电路迅速发展到大规模集成电路和超大规模集成电路，从而使电子产品向着高效能、低消耗、高精度、高稳定、智能化的方向发展。集成电路发展简表如表 0-1 所示。

表 0-1 集成电路发展简表

时 期	规 模	集成度（元件数）
20 世纪 50 年代末	小规模集成电路（SSI）	100
20 世纪 60 年代	中规模集成电路（MSI）	1000
20 世纪 70 年代	大规模集成电路（LSI）	> 1000
20 世纪 80 年代末	超大规模集成电路（VLSI）	10000
20 世纪 90 年代	特大规模集成电路（ULSI）	> 100000

随着晶体管、集成电路的发明和大量应用，它们在各自的应用领域都得到了长足的发展，产品日新月异。模拟电子技术是整个电子技术的基础，在信号放大、功率放大、整流稳压、模拟量反馈、混频、调制解调电路领域具有重要的作用。例如在高保真（Hi-Fi）的音箱系统、移动通信领域的高频发射机等方面的应用。

与模拟电路相比，数字电路具有精度高、稳定性好、抗干扰能力强、可由程序软件控制等一系列优点。从目前的发展趋势来看，除一些特殊领域外，以前一些模拟电路的应用场合，有逐步被数字电路所取代的趋势，如数字滤波器。数字电子技术目前也在向两个截然相反的方向发展：一个是基于通用处理器的软件开发技术，比如单片机、DSP、PLC 等技术，其特点是在一个通用处理器（CPU）的基础上结合少量的硬件电路设计来完成系统的硬件电路，而将主要精力集中在算法、数据处理等软件层次上的系统方法。另一个是基于 CPLD/