

21世纪高等学校规划教材 | 电子信息



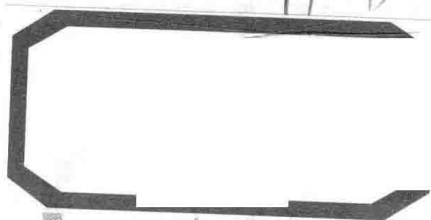
电子技术基础 ——电路与模拟电子（第2版）

赵辉 李燕荣 蔡伟超 编著



清华大学出版社

21世纪高等学校规划教材 | 电子信息



电子技术基础 ——电路与模拟电子（第2版）

赵辉 李燕荣 蔡伟超 编著

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本教材将传统的“电路基础”和“模拟电子技术基础”两门课程合并编写。全书共 11 章,包括:电路的基本概念和定律、电阻电路的分析、动态电路分析、正弦稳态电路分析、耦合电感电路、半导体器件、放大电路分析、负反馈放大电路、集成运算放大器及其应用、波形产生电路、直流稳压电源。为适应本科应用型人才培养的需要,书中穿插典型例题及习题,并提供多媒体教学课件。

本书可作为高等学校计算机、通信、电气电子等相关专业的本科生教材,也可作为成人教育及自学考试试用教材,或作为电子工程技术人员的参考用书。

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

电子技术基础:电路与模拟电子/赵辉,李燕荣,蔡伟超编著.—2版.—北京:清华大学出版社,2017
(21世纪高等学校规划教材·电子信息)

ISBN 978-7-302-45117-4

I. ①电… II. ①赵… ②李… ③蔡… III. ①电路理论—高等学校—教材 ②模拟电路—电子技术—高等学校—教材 IV. ①TM13 ②TN710.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 227221 号

责任编辑:刘向威 梅栾芳

封面设计:傅瑞学

责任校对:焦丽丽

责任印制:李红英

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 装 者:清华大学印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:21.5

字 数:518千字

版 次:2009年9月第1版

2017年1月第2版

印 次:2017年1月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:44.50元

产品编号:069943-01

出版说明

随着我国改革开放的进一步深化,高等教育也得到了快速发展,各地高校紧密结合地方经济建设发展需要,科学运用市场调节机制,加大了使用信息科学等现代科学技术提升、改造传统学科专业的投入力度,通过教育改革合理调整和配置了教育资源,优化了传统学科专业,积极为地方经济建设输送人才,为我国经济社会的快速、健康和可持续发展以及高等教育自身的改革发展做出了巨大贡献。但是,高等教育质量还需要进一步提高以适应经济社会发展的需要,不少高校的专业设置和结构不尽合理,教师队伍整体素质亟待提高,人才培养模式、教学内容和方法需要进一步转变,学生的实践能力和创新精神亟待加强。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2007年1月,教育部下发了《关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见》,计划实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程”(简称“质量工程”),通过专业结构调整、课程教材建设、实践教学改革、教学团队建设等多项内容,进一步深化高等学校教学改革,提高人才培养的能力和水平,更好地满足经济社会发展对高素质人才的需要。在贯彻和落实教育部“质量工程”的过程中,各地高校发挥师资力量强、办学经验丰富、教学资源充裕等优势,对其特色专业及特色课程(群)加以规划、整理和总结,更新教学内容、改革课程体系,建设了一大批内容新、体系新、方法新、手段新的特色课程。在此基础上,经教育部相关教学指导委员会专家的指导和建议,清华大学出版社在多个领域精选各高校的特色课程,分别规划出版系列教材,以配合“质量工程”的实施,满足各高校教学质量和教学改革的需要。

为了深入贯彻落实教育部《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》精神,紧密配合教育部已经启动的“高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作”,在有关专家、教授的倡议和有关部门的大力支持下,我们组织并成立了“清华大学出版社教材编审委员会”(以下简称“编委会”),旨在配合教育部制定精品课程教材的出版规划,讨论并实施精品课程教材的编写与出版工作。“编委会”成员皆来自全国各类高等学校教学与科研第一线的骨干教师,其中许多教师为各校相关院、系主管教学的院长或系主任。

按照教育部的要求,“编委会”一致认为,精品课程的建设工作从开始就要坚持高标准、严要求,处于一个比较高的起点上。精品课程教材应该能够反映各高校教学改革与课程建设的需要,要有特色风格、有创新性(新体系、新内容、新手段、新思路,教材的内容体系有较高的科学创新、技术创新和理念创新的含量)、先进性(对原有的学科体系有实质性的改革和发展,顺应并符合21世纪教学发展的规律,代表并引领课程发展的趋势和方向)、示范性(教材所体现的课程体系具有较广泛的辐射性和示范性)和一定的前瞻性。教材由个人申报或各校推荐(通过所在高校的“编委会”成员推荐),经“编委会”认真评审,最后由清华大学出版

社审定出版。

目前,针对计算机类和电子信息类相关专业成立了两个“编委会”,即“清华大学出版社计算机教材编审委员会”和“清华大学出版社电子信息教材编审委员会”。推出的特色精品教材包括:

(1) 21 世纪高等学校规划教材·计算机应用——高等学校各类专业,特别是非计算机专业的计算机应用类教材。

(2) 21 世纪高等学校规划教材·计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。

(3) 21 世纪高等学校规划教材·电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。

(4) 21 世纪高等学校规划教材·软件工程——高等学校软件工程相关专业的教材。

(5) 21 世纪高等学校规划教材·信息管理与信息系统。

(6) 21 世纪高等学校规划教材·财经管理与应用。

(7) 21 世纪高等学校规划教材·电子商务。

(8) 21 世纪高等学校规划教材·物联网。

清华大学出版社经过三十多年的努力,在教材尤其是计算机和电子信息类专业教材出版方面树立了权威品牌,为我国的高等教育事业做出了重要贡献。清华版教材形成了技术准确、内容严谨的独特风格,这种风格将延续并反映在特色精品教材的建设中。

清华大学出版社教材编审委员会

联系人:魏江江

E-mail: weijj@tup.tsinghua.edu.cn

前言

本书是在第1版教材使用了6年的基础上重新修订而成的。修订过程中根据高校培养应用型人才的需要,对教材内容进行了重新优化,本着循序渐进、理论联系实际的原则,教材内容以适量、实用为度,注重理论知识的运用,着重培养学生应用理论知识分析和解决电路实际问题的能力。教材力求叙述简练,概念清晰,通俗易懂,便于自学。对于电路的分析求解,做到步骤清楚,结果正确,在例题的选择上更接近实际应用并具有典型性,是一本体系创新、深浅适度、重在应用,着重能力培养的应用型本科教材。

全书共11章,主要内容有:电路的基本概念和定律、电阻电路的分析、动态电路分析、正弦稳态电路分析、耦合电感电路、半导体器件、放大电路分析、负反馈放大电路、集成运算放大器及其应用、波形产生电路、直流稳压电源。

本书可作为高等学校计算机、通信、电气电子等相关专业的本科生教材,也可作为成人教育及自学考试用教材,或作为电子工程技术人员的参考用书。

本书第1章、第10章由天津理工大学中环信息学院蔡伟超编写,第2~4章由天津师范大学李燕荣编写,第5~9章及第11章由天津理工大学中环信息学院赵辉编写。全书由赵辉担任主编,完成全书的修改及统稿。本书在编写过程中得到天津理工大学中环信息学院的大力支持,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,再版内容虽有所改进,但书中不当之处在所难免,欢迎广大同行和读者批评指正。

编 者

本书常用符号说明

一、基本原则

1. 电压、电流

I_B, U_{BE}	大写字母、大写下标表示直流量
I_b, U_{be}	大写字母、小写下标表示交流量有效值
i_B, u_{BE}	小写字母、大写下标表示交、直流总量
i_b, u_{be}	小写字母、小写下标表示交流量瞬时值
$\dot{I}_b, \dot{U}_{be}$	表示交流量的相量

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. 电压、电流

I, i	电流的通用符号
U, u	电压的通用符号
U_Q, I_Q	静态电压、静态电流
u_i, i_i	交流输入电压、输入电流
u_o, i_o	交流输出电压、输出电流
u_f, i_f	交流反馈电压、反馈电流
u_i', i_i'	交流净输入电压、净输入电流
U_+, I_+	运放同相输入端电压、电流
U_-, I_-	运放反相输入端电压、电流
U_{OH}, U_{OL}	电压比较器的输出高电平和输出低电平
u_{id}	差模输入电压
u_{ic}	共模输入电压
u_s	交流信号源电压
U_{CC}	双极型晶体管集电极直流电源电压
U_{BB}	双极型晶体管基极直流电源电压
U_{EE}	双极型晶体管发射极直流电源电压
U_{GG}	场效应管栅极直流电源电压
U_{DD}	场效应管漏极直流电源电压

2. 电阻、电容、电感、阻抗

R	电阻的通用符号
-----	---------

G	电导的通用符号
C	电容的通用符号
L	电感的通用符号
Z	阻抗的通用符号
Y	导纳的通用符号
X	电抗的通用符号
R_i, R_o	电路的输入电阻、输出电阻
R_{if}, R_{of}	有反馈电路的输入电阻、输出电阻
R_L	负载电阻
R_+	运放同相输入端外接等效电阻
R_-	运放反相输入端外接等效电阻
R_s	信号源内阻
X_L	电感元件的感抗
X_C	电容元件的容抗

3. 放大倍数、增益、反馈系数

A	放大倍数或增益的通用符号
F	反馈系数的通用符号
A_u	电压放大倍数
A_i	电流放大倍数
A_{uf}	闭环电压放大倍数
A_{us}	考虑信号源内阻时的电压放大倍数
A_{ud}	差模电压放大倍数
A_{uc}	共模电压放大倍数

4. 功率和效率

P	功率的通用符号
η	效率的通用符号
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	晶体管耗散功率
P_V	直流电源供给的功率
Q	无功功率
S	视在功率

5. 频率

f	频率的通用符号
ω	角频率的通用符号

f_{BW}	通频带
f_o	电路的振荡频率
ω_o	电路的振荡角频率
f_H	放大电路的上限截止频率
f_L	放大电路的下限截止频率

三、器件符号及参数

1. 二极管

D	二极管
I_F	二极管的最大整流电流
I_R	二极管的反向电流
U_T	二极管的死区电压(或称导通电压)
U_R	二极管的最高反向工作电压
U_{BR}	二极管的反向击穿电压
f_M	二极管的最高工作频率

2. 稳压二极管

D_Z	稳压二极管
I_Z	稳压二极管的稳定电流
$I_{Zmin}、I_{Zmax}$	稳压二极管的最小稳定电流、最大稳定电流
U_Z	稳压二极管的稳定电压
r_Z	稳压二极管的动态电阻
α	稳压二极管的电压温度系数

3. 双极型晶体管

T	晶体管
c、b、e	集电极、基极、发射极
I_{CBO}	发射极开路时,集电极-基极反向饱和电流
I_{CEO}	基极开路时,集电极-发射极之间的穿透电流
U_{CES}	晶体管的饱和管压降
I_{CM}	集电极最大允许电流
P_{CM}	集电极最大允许耗散功率
$U_{(BR)CEO}$	基极开路时,集电极与发射极之间的反向击穿电压
$U_{(BR)CBO}$	发射极开路时,集电极与基极之间的反向击穿电压
$U_{(BR)EBO}$	集电极开路时,发射极与基极之间的反向击穿电压
$\alpha、\bar{\alpha}$	共基极交、直流电流放大系数
$\beta、\bar{\beta}$	共发射极交、直流电流放大系数
r'_{bb}	基区体电阻

r_{be} 基极与发射极之间的微变等效电阻

4. 场效应管(FET)

JFET 结型场效应管
 MOSFET 绝缘栅型场效应管
 D、G、S 漏极、栅极、源极
 U_P 耗尽型场效应管的夹断电压
 U_T 增强型场效应管的开启电压
 I_{DSS} 耗尽型场效应管的饱和漏极电流
 R_{GS} 场效应管栅-源极之间的直流输入电阻
 g_m 低频跨导
 I_{DM} 漏极最大允许电流
 P_{DM} 漏极最大允许耗散功率
 $U_{(BR)DS}$ 漏-源击穿电压

5. 集成运放

A_{ud} 开环差模电压放大倍数
 K_{CMR} 共模抑制比
 R_{id} 差模输入电阻
 U_{IO} 输入失调电压
 I_{IO} 输入失调电流
 I_{IB} 输入偏置电流
 U_{Idmax} 最大差模输入电压
 U_{Icmax} 最大共模输入电压
 f_{BW} 开环带宽
 f_{BWG} 单位增益带宽
 S_R 转换速率

6. 其他符号

Q 静态工作点、品质因数
 T 周期、温度
 θ 相位角
 φ 相位差
 τ 时间常数
 S_r 稳压系数

目 录

第 1 章 电路的基本概念和定律	1
1.1 电路及电路模型	1
1.1.1 实际电路	1
1.1.2 电路模型	2
1.2 电路的基本物理量	2
1.2.1 电流	2
1.2.2 电压	3
1.2.3 电功率	4
1.3 电阻元件	5
1.3.1 线性电阻	5
1.3.2 电阻元件吸收的功率	6
1.4 电阻电路的等效化简	6
1.4.1 电阻的串联	7
1.4.2 电阻的并联	7
1.4.3 电阻星形联结和三角形联结的等效变换	8
1.5 独立电源元件	10
1.5.1 理想电压源和理想电流源	10
1.5.2 实际电源模型及其等效变换	12
1.6 基尔霍夫定律	16
1.6.1 基尔霍夫电流定律	16
1.6.2 基尔霍夫电压定律	17
1.7 Protel 仿真分析	19
1.8 本章小结	21
习题	22
第 2 章 电阻电路的分析	26
2.1 支路电流法	26
2.2 节点电压法	29
2.2.1 节点电压方程的一般形式	29
2.2.2 含有理想电压源支路的节点电压分析法	32
2.3 网孔电流法	33

2.3.1	网孔电流方程的一般形式	33
2.3.2	含有理想电流源支路的网孔电流分析法	35
2.4	叠加定理	36
2.5	等效电源定理	38
2.5.1	戴维南定理	39
2.5.2	诺顿定理	40
2.5.3	最大功率传输定理	42
2.6	受控源	44
2.7	非线性电阻电路简介	47
2.7.1	非线性电阻元件	48
2.7.2	非线性电阻电路的分析	48
2.8	Protel 仿真分析	50
2.9	本章小结	51
	习题	53
第3章	动态电路分析	58
3.1	动态电路元件	58
3.1.1	电容元件	58
3.1.2	电感元件	61
3.2	动态电路初始值的计算	64
3.2.1	换路定律	64
3.2.2	初始值的计算	64
3.3	一阶电路的零输入响应	66
3.3.1	一阶 RC 电路的零输入响应	66
3.3.2	一阶 RL 电路的零输入响应	67
3.4	一阶电路的零状态响应	70
3.4.1	一阶 RC 电路的零状态响应	70
3.4.2	一阶 RL 电路的零状态响应	72
3.5	一阶电路的完全响应	74
3.6	求解一阶电路动态响应的三要素法	75
3.7	Protel 仿真分析	78
3.8	本章小结	80
	习题	81
第4章	正弦稳态电路分析	84
4.1	正弦量的基本概念	84
4.1.1	正弦量的三要素	85
4.1.2	同频率正弦量的相位差	87
4.1.3	正弦量的有效值	88

4.2	正弦量的相量表示	89
4.2.1	复数的概念及其运算	89
4.2.2	正弦量的相量表示	90
4.3	基本元件 VAR 和基尔霍夫定律的相量形式	91
4.3.1	基本元件 VAR 的相量形式	91
4.3.2	基尔霍夫定律的相量形式	95
4.4	复阻抗和复导纳	97
4.4.1	复阻抗	97
4.4.2	复导纳	98
4.4.3	阻抗的串并联	99
4.5	正弦交流电路的相量分析法	102
4.6	正弦稳态电路的功率	105
4.6.1	二端网络的功率	105
4.6.2	最大功率传输	108
4.7	谐振电路	109
4.7.1	串联谐振电路	109
4.7.2	并联谐振电路	112
4.8	三相电路	114
4.8.1	三相电源	114
4.8.2	对称三相电路的计算	117
4.9	Protel 仿真分析	120
4.10	本章小结	121
	习题	123

第 5 章 耦合电感电路 127

5.1	耦合电感元件	127
5.1.1	耦合电感的概念	127
5.1.2	耦合电感线圈的电压、电流关系	128
5.1.3	耦合电感线圈的等效受控源电路	130
5.1.4	耦合电感线圈电压、电流关系的相量形式	130
5.2	耦合电感的去耦等效电路	131
5.2.1	耦合电感的串联等效	131
5.2.2	耦合电感的 T 形等效	132
5.3	空心变压器	135
5.4	理想变压器	138
5.4.1	理想变压器两个端口电压、电流关系	138
5.4.2	理想变压器变换阻抗的作用	139
5.5	Protel 仿真分析	140
5.6	本章小结	142

习题	143
第 6 章 半导体器件	146
6.1 半导体的基础知识	146
6.1.1 半导体的导电特性	146
6.1.2 PN 结及其单向导电特性	148
6.2 半导体二极管	150
6.2.1 半导体二极管的结构与分类	150
6.2.2 二极管的伏安特性曲线	151
6.2.3 二极管的主要参数	152
6.2.4 稳压二极管	153
6.3 半导体三极管	154
6.3.1 三极管的结构及放大原理	154
6.3.2 三极管的特性曲线	156
6.3.3 三极管的主要参数	159
6.4 场效应晶体管	161
6.4.1 结型场效应管	161
6.4.2 绝缘栅型场效应管	165
6.4.3 场效应管的主要参数	168
6.5 Protel 仿真分析	169
6.6 本章小结	170
习题	171
第 7 章 放大电路分析	174
7.1 共发射极基本放大电路	174
7.1.1 共发射极基本放大电路的组成	174
7.1.2 放大电路的工作原理	175
7.1.3 直流通路和交流通路	176
7.2 共发射极放大电路的分析	177
7.2.1 静态分析	177
7.2.2 动态分析	180
7.3 工作点稳定电路	187
7.4 其他类型放大电路	190
7.4.1 共集电极放大电路	190
7.4.2 共基极放大电路	193
7.4.3 三种组态放大电路的比较	194
7.5 场效应管放大电路	196
7.5.1 场效应管的偏置电路及静态分析	196
7.5.2 场效应管的简化微变等效电路	198

7.5.3	共源极放大电路的动态分析	198
7.5.4	共漏极放大电路的动态分析	200
7.6	多级放大电路	201
7.6.1	多级放大电路概述	201
7.6.2	多级放大电路的分析	202
7.7	放大电路的频率特性	205
7.7.1	频率特性的基本概念	205
7.7.2	简单 RC 电路的频率特性	206
7.7.3	三极管的频率参数	209
7.7.4	多级放大电路的频率特性	211
7.8	功率放大电路	212
7.8.1	功率放大电路概述	212
7.8.2	双电源互补对称功率放大电路	213
7.8.3	单电源互补对称功率放大电路	216
7.9	集成运算放大器简介	217
7.9.1	集成运算放大器的框图及符号	217
7.9.2	集成运放的电压传输特性	218
7.9.3	集成运放的主要性能指标	218
7.10	Protel 仿真分析	220
7.11	本章小结	223
	习题	224
第 8 章	负反馈放大电路	230
8.1	反馈的基本概念	230
8.1.1	反馈的定义	230
8.1.2	反馈的类型及判断方法	231
8.2	交流负反馈的四种组态	233
8.2.1	负反馈放大电路的一般表达式	233
8.2.2	电压串联负反馈	235
8.2.3	电压并联负反馈	236
8.2.4	电流串联负反馈	236
8.2.5	电流并联负反馈	237
8.3	负反馈对放大电路性能的影响	239
8.3.1	提高放大倍数的稳定性	239
8.3.2	改变输入电阻和输出电阻	239
8.3.3	减小非线性失真和抑制干扰、噪声	241
8.3.4	扩展频带	242
8.4	深度负反馈放大电路的分析计算	242
8.4.1	深度负反馈放大电路放大倍数的近似估算	243

8.4.2	电压串联负反馈电路	243
8.4.3	电压并联负反馈电路	244
8.4.4	电流串联负反馈电路	245
8.4.5	电流并联负反馈电路	246
8.5	Protel 仿真分析	248
8.6	本章小结	249
	习题	251
第9章	集成运算放大器及其应用	255
9.1	差动放大电路	255
9.1.1	基本差动放大电路	255
9.1.2	差动放大电路的输入、输出方式	258
9.1.3	恒流源差动放大电路	261
9.2	理想集成运算放大器	262
9.2.1	理想集成运放的电路模型	262
9.2.2	理想集成运放的特点	263
9.3	运算电路	264
9.3.1	比例运算电路	264
9.3.2	加减运算电路	266
9.3.3	积分和微分运算电路	269
9.4	有源滤波器	270
9.4.1	滤波器的分类	270
9.4.2	低通滤波器	271
9.4.3	高通滤波器	272
9.4.4	带通滤波器和带阻滤波器	273
9.5	电压比较器	274
9.5.1	简单的电压比较器	274
9.5.2	滞回电压比较器	275
9.6	Protel 仿真分析	277
9.7	本章小结	279
	习题	281
第10章	波形产生电路	285
10.1	正弦波产生电路	285
10.1.1	产生正弦波振荡的条件	285
10.1.2	正弦波振荡电路的组成	286
10.1.3	RC 正弦波振荡电路	287
10.1.4	LC 正弦波振荡电路	289
10.2	非正弦波产生电路	295

10.2.1	矩形波产生电路	295
10.2.2	三角波产生电路	297
10.2.3	锯齿波产生电路	298
10.3	本章小结	299
	习题	300

第 11 章 直流稳压电源 304

11.1	单相整流电路	304
11.1.1	单相半波整流电路	304
11.1.2	单相桥式整流电路	306
11.2	滤波电路	308
11.2.1	电容滤波电路	308
11.2.2	其他形式的滤波电路	309
11.3	稳压电路	311
11.3.1	稳压电路的性能指标	311
11.3.2	硅稳压管稳压电路	312
11.3.3	串联型稳压电路	314
11.4	集成稳压电路	316
11.4.1	集成稳压器的基本应用电路	316
11.4.2	扩大输出电流的电路	317
11.4.3	输出电压可调的电路	317
11.5	Protel 仿真分析	318
11.6	本章小结	319
	习题	320

参考文献 322