

+	-	+	-	+	-	+
-	+	-	+	-	+	-
+	-	+	-	+	-	+
-	+	-	+	-	+	-
+	-	+	-	+	-	+
-	+	-	+	-	+	-

陈新龙 胡国庆 编著

电工电子技术 基础教程

+	-	+	-	+	-	+	-	+
-	+	-	+	-	+	-	+	-
+	-	+	-	+	-	+	-	+
-	+	-	+	-	+	-	+	-
+	-	+	-	+	-	+	-	+
-	+	-	+	-	+	-	+	-
+	-	+	-	+	-	+	-	+
-	+	-	+	-	+	-	+	-



清华大学出版社

陈新龙 胡国庆 编著

电工电子技术 基础教程

+ - + - + - +
- + - + - + -
+ - + - + - +
- + - + - + -
+ - + - + - +
- + - + - + -

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书继承了已出版的《电工电子技术(上、下)》(“十五”国家级规划教材)的建设成果,力图通俗易懂,编写时相对压缩了电工电子技术各基础理论,突出了“数字电子技术”、“大规模集成电路”、“电子控制”等电工电子重点应用方面的教学内容,并对电路、数字电子技术嵌入了计算机仿真结果(程序或分析过程)。

全书共分为两篇。上篇为电工基础,包括电路理论、变压器、电动机;下篇为电子技术,包括模拟电子技术、数字电子技术、大规模集成电路、电气过程中的测量及控制技术。各章均备有较多的例题、习题、思考题及小结。

本书及其配套资源构成了全立体化的电工电子技术教材,包括文字、电子两种形式。文字教材包括主教材(本书)、电工电子实践教程(实验指导书)、电工电子技术基础教程全程辅导三本书。电子教材包括公开教学网站(<http://dgdz.ccee.cqu.edu.cn>),有着比文字教材更丰富的内容和计算机仿真程序、部分习题答案、每章复习指导等,对读者在较短时间内理解并掌握本教材内容有较大帮助。

本书可作为重点本科“电工电子技术”、“电工学”少学时课程教材;也可作为二、三类本科、应用本科类似课程的教材;还可供有兴趣的读者自学使用。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

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。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术基础教程/陈新龙,胡国庆编著. —北京:清华大学出版社,2006.7

ISBN 7-302-12708-5

I. 电… II. ①陈… ②胡… III. ①电工技术—高等学校—教材 ②电子技术—高等学校—教材
IV. ①TM ②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 021029 号

出 版 者: 清华大学出版社 地 址: 北京清华大学学研大厦

<http://www.tup.com.cn> 邮 编: 100084

社 总 机: 010-62770175 客户服务: 010-62776969

责任编辑: 刘 彤

印 刷 者: 北京密云胶印厂

装 订 者: 北京市密云县京文制本装订厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 185 × 260 印张: 31.5 字数: 753 千字

版 次: 2006 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-12708-5/TN · 315

印 数: 1 ~ 3000

定 价: 39.00 元



前言

电的发现是人类社会最伟大的发现之一。电子的流动是一种能量的流动,在带给人们光明与动力的同时推动了一个时代的进步,推动着电气化时代的兴旺与繁荣。发电机、变压器、电动机及其控制成为电气化时代的典型生产力,电工技术成为推动国民经济发展的主要技术动力之一。

半导体器件的出现赋予了电子的流动以新的内涵。半导体器件的应用使这种能量的流动成为了一种信号的传递,一种超强功能的集成信息的传输。集成电路的问世引起了电子技术领域一场新的革命,超大规模集成电路的诞生推动着一个新的时代的来临。因特网络、电信网络、电视网络带给人们的不仅是一种娱乐,所有的这些宣告了一个时代的结束,一个新的时代的来临。

在这个时代里,各种电器设备在各个领域中均扮演着重要角色甚至关键角色,发挥着越来越重要的作用,掌握电工电子技术的初步知识成为非电类工科各专业学生的基本技能要求。因此,各大高校非电类工科专业均开设了“电工电子技术”、“电工技术”、“电子技术”、“电工学”或类似课程。

必须指出的是,“电工电子技术”是一个理论性、专业性、应用性均较强的课程,所涉及教学内容广,内容本身也较难掌握。因此,如何在规定的学时数内使学生掌握电工电子技术的初步知识,为非电类工科各专业学生在今后的学习和工作中更好地利用和发挥电器设备在工程中的作用打下坚实的基础,成为教学实施的难点。

本书教学内容分为三个层次:公共部分、非公共部分(标有“*”的小节)、扩展部分(编写在电子教材中)。本书电子教材网络版 2002 年 9 月获“第六届全国多媒体教育软件大奖赛”二等奖,支持智能教学、远程同步教学、顺序教学、查询教学、阶段复习、课余练习、网络自测等多种教学手段并提供自学、授课两种风格,对读者在较短时间内理解并掌握本教材内容有较大帮助。建议读者文字教材结合电子教材学习本课程。习惯了网络学习环境的读者也可以电子教材结合文字教材方式学习。

本书文字教材的第 1 章,第 3 章,第 12 章的 12.1 节、12.2 节和 12.6 节及全书的计算机仿真由胡国庆整理编写;其余章节由陈新龙

整理编写。在本教材的建设过程中,得到了重庆大学教材建设基金资助。此外,尚有许多老师及同学对本书提出了宝贵的、建设性的意见与建议并参与了本教材及电工电子技术远程网站建设的许多工作,在此谨表示感谢。

由于编者水平有限,不妥甚至错误之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者
2005 年 9 月

常用符号

1. 电工基础部分常用符号

符 号	描 述	符 号	描 述
B	磁感应强度、电纳	B_L	感纳
B_C	容纳	C	电容
E	电动势	F	磁通势
f	频率	f_0	谐振频率、半功率点频率
G	电导	H	磁场强度
I	直流电流、正弦电流有效值	i	交流电流
I_S	电流源短路电流	I_m	复数取虚部
i_1, I_1	变压器初级电流	i_2, I_2	变压器次级电流
I_{1N}	变压器初级额定电流	I_{2N}	变压器次级额定电流
$\dot{i}, \dot{i}_m$	正弦电流有效值、最大值相量	I_L, I_P	线电流、相电流
L	电感	N_2	次级绕组匝数
N_1	初级绕组匝数	P	直流电路功率、正弦交流电路平均功率
P_E	电源产生功率	ΔP	电源内阻消耗功率
ΔP_{Fe}	变压器的铁损	ΔP_{Cu}	变压器的铜损
$p(t)$	瞬时功率	Q	无功功率、品质因素
Q_L	电感无功功率	Q_C	电容无功功率
R	电阻	R_m	磁阻
R_0 或 R_S	戴维宁等效电阻、电源内阻	R_L	负载电阻
S	面积、视在功率	S_N	变压器额定容量
T	周期	U_0, U_{OC}	开路电压
U	直流电压、正弦电压有效值	u	交流电压
U_S	电压源电压	U_m	交流瞬时电压
u_1, U_1	变压器初级电压	u_2, U_2	变压器次级电压
U_{1N}	变压器初级额定电压	U_{2N}	变压器次级额定电压
$\dot{U}, \dot{U}_m$	正弦电压有效值、最大值相量	U_L, U_P	三相电源线电压、相电压
V	电位	$w(t)$	瞬时能量
W_C	电容元件平均储能	W	平均能量
W_L	电感元件平均储能	X	电抗
X_C	容抗	X_L	感抗
Y	导纳	Y	星形联接
Y_0	星形联接(中性点引出中线)	Z	阻抗
ω	角频率	ω_0	谐振角频率、半功率点角频率

续表

符 号	描 述	符 号	描 述
φ	相位差、阻抗角	φ'	导纳角
θ	初相角	ψ	磁通量、磁链
$\varphi(\omega)$	相频特性函数	$ T(j\omega) $	幅频特性函数
ρ	特性阻抗	λ	功率因数
var	无功功率单位(乏)	Φ	磁通
τ	时间常数	μ	磁性材料磁导率
$\triangle$	三角形联接	ϵ	绝对误差
∂	相对误差		

2. 电子技术部分常用符号

符 号	描 述	符 号	描 述
A	增益(放大倍数)	A_s	源增益
A_c	共模电压增益	A_d	差模电压增益
A_i	电流增益	A_g	互导增益
A_r	互阻增益	A_u, A_{us}	电压增益、源电压增益
A_{uo}	开环电压放大倍数	A_{uf}	闭环电压放大倍数
A_f	闭环放大倍数	E_{G0}	禁带宽度
F	反馈系数	g_m	低频跨导,体现了 Δu_{GS} 对 Δi_D 的控制作用
I_F	二极管最大整流电流、反馈电流信号	I_R	二极管反向电流
I_{D0}	增强型 MOS 管 $u_{GS} = 2U_{GS(th)}$ 时的 i_D	I_D	场效应管漏极电流、二极管电流
I_{DSS}	场效应管 $u_{GS} = 0$ 的漏极电流	$I_C(I_{CM})$	集电极(最大允许)电流
I_{CQ}	集电极静态电流	I_{CS}	三极管集电极临界饱和电流
I_B, I_E	基极、发射极电流	I_{BQ}, I_{EQ}	基极、发射极静态电流
I_{BS}, I_{ES}	基极、发射极临界饱和电流	I_{CEO}	集电极与射极之间的反向截止电流(穿透电流)
I_{IO}	输入失调电流	I_{IB}	输入偏置电流
I_{CBO}	集电极与基极之间的反向截止电流	K_{CMRR}	共模抑制比
K_{CMR}	共模抑制比(对数形式)	P_{CM}	集电极最大允许耗散功率
P_{DM}	漏极最大允许耗散功率	r_D	二极管正向导通电阻
r_{be}	三极管输入电阻	r_{ce}	三极管输出电阻
R_i	放大电路输入电阻	R_o	放大电路输出电阻
R_{id}	差模输入电阻	R_{od}	差模输出电阻
r_{ds}	场效应管输出电阻	R_B	三极管基极电阻
R_C	三极管集电极电阻	R_E	三极管发射极电阻



续表

符 号	描 述	符 号	描 述
R_G	场效应管栅极电阻	R_D	场效应管漏极电阻
R_S	场效应管源极电阻、信号源内阻	R_f	反馈电阻
R_{RP}	可调电位器	U_{ON}	二极管正向导通压降
$U_D(u_D)$	二极管压降	$U_{(BR)}$	PN 结反向击穿电压
U_R	二极管最大反向工作电压	u_T	温度电压当量
U_{CES}	三极管集电极、发射极间临界饱和电压	U_{CE}	三极管集电极、发射极间电压
U_{BE}	三极管发射结电压	U_{CB}	三极管集电结电压
U_{BB}	三极管基极直流电压源电压	U_{CC}	三极管集电极直流电压源电压
$U_{BE(ON)}$	三极管发射结导通压降	U_Z	稳压管稳定电压
U_{GS}	场效应管栅、源极间电压	U_{DS}	场效应管漏、源极间电压
$U_{GS(th)}$	开启电压	$U_{GS(off)}$	夹断电压
$u_{id}、u_{od}$	共模输入、输出电压	$u_{ic}、u_{oc}$	共模输入、输出电压
U_{ICM}	集成运放共模输入电压范围	U_{DD}	场效应管漏极直流电压源电压
U_{GD}	场效应管栅、漏极间电压	u_-	集成运放反相端电位
u_+	同相端电位	U_{IO}	集成运放输入失调电压
U_{opp}	集成运放最大输出电压	u_f	反馈电压信号
$\beta、h_{fe}$	三极管电流放大系数	α	共基交流电流放大系数
$\bar{\beta}$	共射直流电流放大系数	$\bar{\alpha}$	共基直流电流放大系数
D	二极管	D_Z	稳压二极管



目 录

上篇 电 工 基 础

第 1 章 电路的组成及其分析方法	3
1.1 电路的组成及其模型	3
1.1.1 电路的组成	3
1.1.2 电路模型	4
1.2 电压和电流的方向	5
1.3 分析电路的三个基本定律	6
1.3.1 欧姆定律	7
1.3.2 基尔霍夫电流定律	7
1.3.3 基尔霍夫电压定律	9
1.4 电阻元件的联接及其等效变换	12
1.4.1 电阻元件的串联联接	12
1.4.2 电阻元件的并联联接	13
1.4.3 通过合并串并联电阻简化电路	14
* 1.4.4 电阻元件的三角形与星形联接	16
1.5 电源元件的使用及其模型	19
1.5.1 电源元件的使用	19
1.5.2 电流源模型	24
* 1.5.3 受控电源	26
1.6 电源元件的联接及其等效变换	27
1.6.1 电源元件的联接	27
1.6.2 电压源与电流源的等效变换	28
1.7 电路分析基本方法：支路电流法与结点电压法	31
1.7.1 支路电流法	31
1.7.2 结点电压法	32
1.7.3 电位的引入	33
1.8 叠加原理	36
1.9 戴维宁定理与诺顿定理	38

1.9.1 戴维宁定理	38
1.9.2 诺顿定理	40
1.10 线性电阻电路分析小结	41
本章小结	41
习题	42
第2章 交流电路分析的基本方法	46
2.1 正弦量及其相量表示	46
2.1.1 正弦量的三要素	46
2.1.2 两个同频率正弦量的相位差	49
2.1.3 正弦量的相量表示	50
2.2 3种基本电路元件	55
2.2.1 电阻元件	55
2.2.2 电容元件	56
2.2.3 电感元件	57
2.3 3种基本元件的相量模型及其正弦激励下的功率	59
2.3.1 电阻元件的相量模型及功率	60
2.3.2 电容元件的相量模型及功率	61
2.3.3 电感元件的相量模型及功率	64
2.3.4 阻抗的引入在正弦交流电路分析中的作用	66
2.4 基本元件串联的正弦交流电路	67
2.5 基本元件并联的正弦交流电路	72
* 2.6 一般正弦交流电路的计算	76
2.7 功率因数的提高	80
2.8 交流电路的频率特性	83
2.8.1 RC低通滤波器	83
2.8.2 RL高通滤波器	84
2.8.3 RC带通滤波器	85
2.8.4 谐振电路	86
* 2.9 非正弦交流电路	87
2.9.1 非正弦周期量分解为傅里叶级数	87
2.9.2 有效值与平均功率	89
2.9.3 非正弦交流电路的计算	90
本章小结	92
习题	92
第3章 三相电路及其应用	97
3.1 三相电压	97

3.1.1	三相电压的形式及其特点	97
3.1.2	三相绕组的联接方式	98
3.2	对称三相电路的特点	100
3.2.1	对称 Y-Y 联接三相电路的特点	101
3.2.2	对称 Δ - Δ 联接三相电路的特点	102
3.2.3	对称三相电路的平均功率	104
3.3	三相电路的计算	105
3.4	发电、输电及工业企业配电	108
3.4.1	发电与输电概述	108
3.4.2	工业企业配电的基本知识	109
3.5	安全用电	110
3.5.1	触电	110
3.5.2	接地	111
3.5.3	保护接零	112
	本章小结	113
	习题	113
第 4 章	电路的暂态分析	116
4.1	电压电流的初始值	116
4.2	RC 电路的暂态分析	120
4.2.1	零输入响应	120
4.2.2	零状态响应	123
4.2.3	全响应	125
4.3	一阶线性电路暂态分析的三要素法	129
4.4	RL 电路的暂态分析	132
4.4.1	零输入响应	132
4.4.2	零状态响应与全响应	134
4.5	暂态过程的利用及预防	137
	本章小结	138
	习题	138
第 5 章	变压器	142
5.1	磁路的概念及其简单计算	142
5.1.1	磁路及其相关的几个概念	142
5.1.2	磁路的计算	144
5.2	变压器的工作原理及特性	145
5.2.1	理想变压器	145
5.2.2	实际变压器	146

5.2.3 变压器的额定值、外特性及效率	148
5.3 变压器绕组的极性及其联接	150
5.3.1 变压器绕组的极性	150
5.3.2 变压器绕组的联接	151
5.4 三相变压器和特殊用途变压器	152
5.4.1 三相变压器	152
5.4.2 特殊用途变压器	153
本章小结	155
习题	155
第6章 电动机	157
6.1 感应电动机	157
6.1.1 感应电动机的运转原理	157
6.1.2 旋转磁场的产生	158
6.1.3 异步电动机的分类	159
6.2 三相异步电动机的结构、主要特性及铭牌数据	160
6.2.1 三相异步电动机的结构	160
6.2.2 三相异步电动机的主要特性	161
6.2.3 三相异步电动机转矩计算的实用公式	167
6.2.4 三相异步电动机的铭牌数据	168
6.3 三相异步电动机的使用	169
6.3.1 三相异步电动机的启动	169
6.3.2 三相异步电动机的调速	174
6.3.3 三相异步电动机的制动	176
6.4 其他类型电动机	177
6.4.1 单相异步电动机	177
6.4.2 直流电动机	178
本章小结	180
习题	180

下篇 电子技术

第7章 放大器基础	185
7.1 半导体二极管及其模型	185
7.2 半导体三极管及其模型	192
7.2.1 三极管的伏安特性	192
7.2.2 三极管的主要参数	193

7.2.3	三极管电路模型	195
7.2.4	三极管电路分析方法	197
7.3	用三极管构成小信号放大器的一般原则	200
7.3.1	小信号放大器的一般结构	200
7.3.2	放大器的基本性能指标	200
7.3.3	基本放大器的工作原理及组成原则	202
7.4	放大器的三种基本组态	203
7.4.1	共射放大器	204
7.4.2	共集、共基放大器	206
7.5	工程实用放大器的电路构成原理及特点	210
7.5.1	构成框图	210
7.5.2	差动输入电路	211
7.5.3	多级共射放大电路	214
7.5.4	互补输出级	215
7.5.5	恒流偏置电路	216
7.6	场效应管放大电路	218
7.6.1	场效应管的种类及其特性	218
7.6.2	场效应管的主要参数	221
7.6.3	场效应管的模型	221
7.6.4	场效应管放大器的构成	223
7.6.5	自给偏压电路	224
7.6.6	分压式偏置电路	225
	本章小结	227
	习题	228
第 8 章	集成运算放大器及其应用	234
8.1	集成运算放大器简介	234
8.1.1	集成运算放大器的符号、类型及主要参数	234
8.1.2	集成运算放大器的理想化条件	236
8.1.3	什么是反馈	236
8.1.4	集成运放的两种工作状态及相应结论	237
8.2	用集成运放构成放大电路	239
8.3	用集成运放构成信号运算电路	244
8.3.1	用集成运放实现信号的加、减	244
8.3.2	用集成运放实现信号的微分与积分	245
8.4	用集成运放构成信号处理电路	248
8.4.1	用集成运放构成滤波器	248
8.4.2	电压比较器及其应用	251
* 8.5	用集成运放构成振荡电路	252

8.5.1 产生正弦波振荡的条件	252
8.5.2 RC 振荡电路	253
8.6 运放电路中的负反馈	255
8.7 使用运算放大器应注意的几个问题	259
8.8 其他常用模拟集成电路	261
8.8.1 音频放大器	261
8.8.2 模拟乘法器	261
8.8.3 三端稳压器	262
本章小结	266
习题	266
第9章 门电路和组合逻辑电路	272
9.1 逻辑代数基础知识	272
9.1.1 概述	272
9.1.2 基本逻辑运算	276
9.1.3 导出逻辑运算	277
9.1.4 逻辑代数的公理、公式及其规则	280
9.1.5 逻辑函数的表示方法	281
9.1.6 逻辑函数的化简	283
* 9.1.7 利用任意项化简逻辑函数	289
9.2 基本逻辑门电路	291
9.2.1 晶体管的开关特性	291
9.2.2 MOS管的开关特性	292
* 9.2.3 分立元件门电路	293
9.2.4 TTL与非门	295
9.2.5 CMOS集成门电路	301
9.3 组合逻辑电路的分析与设计	304
9.3.1 概述	304
9.3.2 组合逻辑电路的分析	304
9.3.3 用小规模器件实现组合逻辑电路(SSI设计)	307
9.4 常见中规模组合逻辑电路芯片原理及其应用	310
9.4.1 编码器	310
9.4.2 译码器	316
9.4.3 加法器	320
9.4.4 数据选择器	321
9.4.5 利用中规模器件实现组合逻辑电路(MSI设计)	323
本章小结	327
习题	328



第 10 章 触发器和时序逻辑电路	334
10.1 触发器	334
10.1.1 什么是触发器	334
10.1.2 触发器的逻辑功能描述	336
10.1.3 常见触发器的逻辑功能	338
10.1.4 触发器的动作特点	341
10.2 时序逻辑电路的分析	347
10.2.1 概述	347
10.2.2 同步时序逻辑电路的分析	348
10.2.3 异步时序逻辑电路的分析	352
10.3 寄存器与计数器的电路特点	354
10.3.1 寄存器	355
10.3.2 同步计数器	357
10.3.3 异步计数器	363
10.4 常用中规模时序逻辑电路芯片特点及其应用	366
10.4.1 集成二进制同步计数器	366
10.4.2 集成二进制异步计数器	369
10.4.3 集成十进制同步计数器	370
10.4.4 集成十进制异步计数器	371
10.4.5 用中规模集成计数器实现 N 进制计数器	372
10.4.6 集成移位寄存器及其应用	377
10.5 脉冲单元电路	380
10.5.1 施密特触发器	381
10.5.2 单稳态触发器	382
10.5.3 多谐振荡器	383
10.5.4 555 定时器	384
本章小结	390
习题	390
第 11 章 大规模集成电路	397
11.1 数-模转换器	397
11.1.1 概述	397
11.1.2 理论转换公式	398
11.1.3 D/A 转换器的芯片实例	399
11.2 模-数转换器	399
11.2.1 模-数转换的一般过程	400
11.2.2 模-数转换器的芯片实例	402

11.2.3	其他类型模-数转换器	403
11.2.4	利用 A/D、D/A 构成数字应用系统	403
11.3	存储器	404
11.3.1	存储器的电路结构及主要参数	405
11.3.2	存储器的种类及其芯片实例	406
11.3.3	存储器的扩展	407
11.4	利用大规模集成电路芯片实现组合逻辑电路	410
11.4.1	用 ROM 实现组合逻辑电路	410
11.4.2	用可编程逻辑器件实现组合逻辑电路	414
	本章小结	416
	习题	416

第 12 章 电气过程中的测量与控制技术 419

12.1	电工测量概述	419
12.1.1	测量值及其误差	419
12.1.2	直读式电工测量仪表的种类	420
12.1.3	数字化测量	421
12.2	常见电参量的测量方法简介	422
12.2.1	电压的测量	422
12.2.2	电流的测量	423
12.2.3	电阻的测量	423
12.2.4	电容的测量	425
12.2.5	电感的测量	425
12.3	自动控制的两种类型	426
12.3.1	顺序控制	427
12.3.2	反馈控制	428
12.4	触点控制系统	429
12.4.1	常用控制电器	429
12.4.2	顺序控制的基本电路	433
12.4.3	三相异步电动机的控制	435
12.5	可编程控制器简介	439
12.5.1	PLC 的种类、组成	440
12.5.2	梯形图	441
12.5.3	FX 系列 PLC 的基本逻辑指令	444
12.5.4	PLC 程序的运行原理	447
12.5.5	PLC 程序的编制方法	448
12.6	微机控制系统概述	452
12.6.1	微型计算机的模块构成	452
12.6.2	微型计算机的指令及其执行	454



12.6.3 与微型计算机相关的重要概念	456
12.6.4 利用微机实现简单的打印控制	457
本章小结	458
习题	459
附录 A 用 MATLAB 分析例 2.1.2 并画出相量图	464
附录 B 常用导电材料的电阻率和温度系数	467
附录 C MAX+plus II 的简要说明	468
附录 D 例 9.3.1 仿真实现	473
附录 E 本书中所介绍的芯片	477
主要参考书	482