



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电工电子技术

史仪凯 主编



科学出版社

www.sciencep.com

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
国家精品课程主干教材

电工电子技术

史仪凯 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,也是国家精品课程“电工学”少学时教材。全书共 14 章,包含电工技术和电子技术两大部分,主要内容有电路与分析方法、电路暂态分析、半导体器件与基本放大电路、集成运算放大器及其应用、直流稳压电源、门电路与组合逻辑电路、触发器与时序逻辑电路、变压器与电动机、电气自动控制、电工电子 EDA 仿真、现代通信技术等。每章有丰富的例题、练习与思考、本章小结和习题,书后附有部分习题答案。

本书可作为高等学校非电类专业本科生、专科生、高等职业和成人教育少学时“电工学”教材,也可作工程技术人员的自学用书。

本书配有支持教学的多媒体电子教案和网络课程,可免费提供给使用本书的教师。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术/史仪凯主编. —北京:科学出版社,2009

(普通高等教育“十一五”国家级规划教材·国家精品课程主干教材)

ISBN 978-7-03-025126-8

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 132689 号

责任编辑:余 江 潘继敏 / 责任校对:朱光光

责任印制:张克忠 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 8 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2009 年 8 月第一次印刷 印张: 25 1/4

印数: 1—3 500 字数: 488 000

定价: 38.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

本书主要根据教育部高等学校电子信息科学与工程类基础课程教学指导分委员会 2004 年修订的高等学校工科“电工电子技术(电工学少学时)”课程的教学基本要求编写而成。参考学时为 60~80 学时。

本书编写的指导思想:在内容上力求贯彻少而精的原则,既覆盖了教学基本要求所规定的全部内容,又增添了一些拓宽和加深的内容,可供非电类各专业根据具体需要取舍;在阐述上由浅入深,循序渐进,使之符合人们认识客观事物的规律,便于自学,适当反映了现代科学技术发展的新成就;在体系上注意各部分章节的有机联系,根据编者的教学实践和体会,对传统的体系结构作了适当的整合,加强了各主要部分内容的逻辑性,便于培养读者的应用和科技创新能力;在教学上配有多媒体电子教案,教师可以对电子教案进行修改,有利于教师组织课堂教学和提高教学质量。书中带“*”标号的章节属于加深、拓宽内容,教师可根据专业特点和学时取舍。

本书由西北工业大学史仪凯主编和统稿,袁小庆任副主编。其中第 1 章、第 11 章和第 14 章由史仪凯编写;第 2 章和第 13 章由赵妮编写;第 3 章和第 6 章由袁小庆编写;第 4 章由张海南编写;第 5 章由赵敏玲编写;第 7 章由刘雁编写;第 8 章由向平编写;第 9 章由卢健康编写;第 10 章由李志宇编写;第 12 章由田梦君编写;附录和部分习题答案由张华编写。

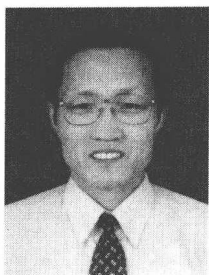
西安交通大学马西奎教授审阅本书,并提出了宝贵意见和修改建议;在本书编写过程中,编者借鉴了有关参考资料,还得到了科学出版社、西北工业大学的支持和关心。在此一并致以诚挚的谢意。

由于编者水平所限,书中难免有疏漏和不妥之处,恳请使用本书的教师和同学,以及广大读者提出宝贵意见。

史仪凯

2009 年 4 月于西北工业大学

主 编 简 介



史仪凯 西北工业大学机电学院教授、博士生导师、国家级教学名师。现任西北工业大学电工教学实验中心主任,“电工学”国家精品课程负责人。兼任陕西省高等学校电工学会理事长、中国高等学校电工学会副理事长、教育部高等学校高职高专电气技术类专业教学指导委员会委员。

长期从事电工学、机械电子工程、电气工程教学和科研工作。主讲本科生、研究生课程 10 余门。先后主持国家自然科学基金、省部级基金课题等 20 余项,国家和省部级教学研究课题多项。已培养博士、硕士研究生 70 多人。主编(著、译)出版教材和著作 20 余部。在国内外学术刊物、会议发表论文 100 余篇,其中被 SCI、EI、ISTP 收录 40 多篇,申请授权和受理国家发明专利 11 项。先后获国家级教学成果二等奖 1 项、省部级教学成果和科技奖等 8 项、宝钢优秀教师奖 1 项。

联系地址:西安市友谊西路 127 号 西北工业大学 403 信箱

邮编: 710072

电话: 029—88494893

传真: 029—88494893

E-mail: ykshi@nwpu.edu.cn

目 录

前言

第 1 章 电路概念与分析方法	1
1.1 电路和电路模型	1
1.1.1 电路组成	1
1.1.2 电路模型	2
1.2 电流和电压的参考方向	2
1.2.1 电流参考方向	2
1.2.2 电压参考方向	3
1.2.3 电功率	3
1.3 无源电路元件	5
1.3.1 电阻元件	5
1.3.2 电感元件	6
1.3.3 电容元件	7
1.4 有源电路元件	8
1.4.1 独立电源	8
1.4.2 独立电源等效变换	10
* 1.4.3 受控电源	12
1.5 基尔霍夫定律	15
1.5.1 基尔霍夫电流定律	15
1.5.2 基尔霍夫电压定律	16
1.6 支路电流法	20
1.7 叠加原理	23
1.8 结点电压法	25
1.9 戴维南定理	27
1.10 电路中电位的计算	29
本章小结	31
习题	32
第 2 章 电路的暂态分析	35
2.1 换路定则和初始值的确定	35
2.1.1 换路定则	35
2.1.2 初始值确定	36

2.2	一阶电路暂态过程分析方法	38
2.2.1	经典法	38
2.2.2	三要素法	39
2.2.3	一阶电路暂态过程的三种响应	40
* 2.3	一阶电路的脉冲响应	46
2.3.1	微分电路	46
2.3.2	积分电路	48
	本章小结	48
	习题	49
第3章	正弦交流电路	52
3.1	正弦交流电压和电流	52
3.1.1	频率	52
3.1.2	有效值	53
3.1.3	初相位	53
3.1.4	正弦量的相量表示法	55
3.2	单一元件正弦交流电路	58
3.2.1	电阻元件交流电路	58
3.2.2	电感元件交流电路	60
3.2.3	电容元件交流电路	62
3.3	RLC 串联交流电路	64
3.3.1	电压和电流的关系	64
3.3.2	功率关系	67
3.4	阻抗串联和并联	69
3.4.1	阻抗串联	69
3.4.2	阻抗并联	69
3.5	电路中的谐振	71
3.5.1	串联谐振	71
3.5.2	并联谐振	73
3.6	功率因数的提高	74
3.6.1	提高功率因数的意义	74
3.6.2	提高功率因数的措施	75
3.7	三相正弦交流电路	76
3.7.1	三相电压	76
3.7.2	三相电路中负载连接	78
3.7.3	三相电路的功率	81
3.8	非正弦周期交流电路	83

3.9 安全用电常识.....	84
3.9.1 触电方式.....	84
3.9.2 触电防护.....	85
3.9.3 保护接地和接零	86
3.9.4 电气防火和防爆	87
本章小结	88
习题	89
第4章 半导体器件	93
4.1 半导体基础知识.....	93
4.1.1 本征半导体和掺杂半导体.....	93
4.1.2 PN 结	94
4.2 半导体二极管.....	96
4.2.1 基本结构.....	96
4.2.2 伏安特性.....	96
4.2.3 主要参数.....	97
4.2.4 特殊二极管	98
4.3 晶体管	100
4.3.1 基本结构	100
4.3.2 放大作用	101
4.3.3 特性曲线	103
4.3.4 主要参数	105
4.4 绝缘栅场效应管	106
4.4.1 基本结构	106
4.4.2 工作原理	107
4.4.3 特性曲线	108
4.4.4 主要参数	109
本章小结.....	109
习题.....	110
第5章 基本放大电路.....	112
5.1 电压放大电路	112
5.1.1 电路组成和工作原理	112
5.1.2 静态分析	113
5.1.3 动态分析	115
5.1.4 静态工作点的稳定	120
5.2 射极输出器	122
5.2.1 静态分析	123

5.2.2	动态分析	123
5.2.3	射极输出器应用	125
* 5.3	场效应管放大电路	126
5.3.1	静态分析	127
5.3.2	动态分析	127
5.4	多级放大电路	129
5.4.1	级间耦合	129
5.4.2	分析计算	130
5.5	差分放大电路	132
5.5.1	静态分析	132
5.5.2	动态分析	133
5.5.3	输入和输出方式	136
5.6	功率放大电路	137
5.6.1	要求和特点	137
5.6.2	OCL 互补对称功率放大电路	138
5.6.3	OTL 互补对称功率放大电路	139
本章小结		140
习题		141
第 6 章	集成运算放大器	144
6.1	集成运算放大器简介	144
6.1.1	组成原理	144
6.1.2	主要参数	146
6.1.3	传输特性和分析方法	147
6.2	集成运算放大电路中的反馈	149
6.2.1	反馈基本概念	149
6.2.2	反馈类型和判断	151
6.2.3	具体负反馈电路分析	153
6.2.4	负反馈对放大电路性能影响	157
6.3	集成运算放大器线性应用	159
6.3.1	比例运算电路	159
6.3.2	加法和减法运算电路	161
6.3.3	积分和微分运算电路	163
6.4	集成运算放大器非线性应用	165
6.4.1	电压比较电路	165
6.4.2	矩形波产生电路	167
6.4.3	RC 正弦波振荡电路	168

6.5 运算放大器使用时应注意问题	171
6.5.1 选件和调零	171
6.5.2 消振和保护	172
本章小结	174
习题	174
第7章 直流稳压电源	178
7.1 不可控整流电路	178
7.2 滤波电路	180
7.3 稳压电路	182
7.3.1 简单稳压电路	182
7.3.2 集成稳压电路	183
7.3.3 开关稳压电路	185
7.4 可控整流电路	187
7.4.1 晶闸管	188
7.4.2 可控整流电路	190
本章小结	192
习题	192
第8章 门电路与组合逻辑电路	194
8.1 数字信号和数制	194
8.1.1 数字信号	194
8.1.2 数制	195
8.2 逻辑门电路	197
8.2.1 基本逻辑门电路	197
8.2.2 TTL 集成门电路	200
8.2.3 CMOS 集成门电路	203
8.3 组合逻辑电路分析和综合	204
8.3.1 逻辑代数基本定律	204
8.3.2 逻辑函数表示方法	206
8.3.3 逻辑函数化简	207
8.3.4 组合逻辑电路分析	208
8.3.5 组合逻辑电路综合	209
8.4 集成组合逻辑电路	210
8.4.1 加法器	210
8.4.2 编码器	211
8.4.3 译码器和数码显示	213
* 8.5 半导体存储器和可编程逻辑器件	217

8.5.1	只读存储器	217
8.5.2	可编程只读存储器	219
8.5.3	可编程逻辑阵列	220
8.5.4	通用阵列逻辑器件	221
* 8.6	应用举例	221
8.6.1	产品判别电路	221
8.6.2	多路故障检测电路	222
8.6.3	公用照明延时开关电路	222
	本章小结	223
	习题	224
第9章	触发器与时序逻辑电路	227
9.1	双稳态触发器	227
9.1.1	RS 触发器	227
9.1.2	JK 触发器	230
9.1.3	D 触发器	232
9.2	寄存器	234
9.2.1	数码寄存器	234
9.2.2	移位寄存器	234
9.3	计数器	237
9.3.1	二进制计数器	237
9.3.2	十进制计数器	241
9.3.3	集成计数器	242
9.4	555 定时器与应用	244
9.4.1	555 定时器	245
9.4.2	555 定时器应用	246
* 9.5	应用举例	249
9.5.1	四人抢答电路	249
9.5.2	多路彩灯控制电路	250
	本章小结	251
	习题	252
*第10章	模拟量与数字量的转换	256
10.1	D/A 转换器	256
10.1.1	T 型电阻网络 DAC	256
10.1.2	倒 T 型电阻网络 DAC	258
10.1.3	集成电路 DAC	259
10.2	A/D 转换器	260

10.3 数据采集系统	263
10.3.1 多通道共享 S/H 和 A/D 系统	263
10.3.2 多通道共享 A/D 系统	264
10.3.3 多通道 A/D 系统	264
本章小结	265
习题	265
第 11 章 变压器与电动机	266
11.1 磁路	266
11.1.1 磁性材料的磁性能	266
11.1.2 磁路分析方法	268
11.2 变压器	271
11.2.1 变压器工作原理	271
11.2.2 变压器特性和额定参数	275
11.2.3 特殊变压器	278
11.3 三相异步电动机	280
11.3.1 结构和原理	280
11.3.2 电磁转矩和机械特性	285
11.3.3 使用	288
11.4 单相异步电动机	293
* 11.5 直流电动机	295
* 11.6 控制电动机	298
11.6.1 交流伺服电动机	298
11.6.2 步进电动机	300
* 11.7 超声波电动机	303
本章小结	305
习题	306
第 12 章 电气自动控制技术	309
12.1 常用控制电器	309
12.1.1 刀开关和熔断器	309
12.1.2 自动空气断路器	311
12.1.3 主令电器	311
12.1.4 交流接触器	313
12.1.5 热继电器	314
12.1.6 时间继电器	315
12.2 三相异步电动机基本控制电路	316
12.2.1 直接启停和点动控制	316

12.2.2	正反转和行程控制	319
12.2.3	时间和顺序控制	323
12.3	可编程序控制器	325
12.3.1	组成和原理	326
12.3.2	程序设计方法	330
12.4	可编程序控制器应用举例	334
12.4.1	三相异步电动机正反转控制	334
12.4.2	三相异步电动机 Y- Δ 启动控制	337
	本章小结	338
	习题	338
*第 13 章	电工电子 EDA 仿真技术	342
13.1	Multisim 10 主窗口和工具库	342
13.1.1	主窗口	342
13.1.2	元器件库	343
13.1.3	测试仪器	345
13.2	仿真电路的创建	348
13.2.1	界面设置	348
13.2.2	元器件操作和仪器调用	349
13.2.3	仪器的调用及连接	350
13.3	电路仿真分析	350
13.3.1	RC 电路仿真	351
13.3.2	电压比较电路仿真	352
13.3.3	集成计数器功能仿真	353
	本章小结	353
	习题	353
*第 14 章	现代通信技术	355
14.1	通信系统分类	355
14.2	光纤通信技术	360
14.3	卫星通信技术	363
14.3.1	卫星通信特点	363
14.3.2	卫星通信分类	364
14.3.3	卫星通信系统	365
14.4	移动通信技术	366
14.4.1	公用移动电话系统	367
14.4.2	无绳电话系统	368
14.4.3	专用移动通信系统	369

14.4.4 CDMA	370
14.4.5 3G 移动通信	371
本章小结.....	371
习题.....	372
部分习题答案.....	373
参考文献.....	380
附录 A 电阻器、电容器的标称系列值	381
附录 B 半导体器件型号命名方法	382
附录 C 半导体集成器件型号与命名	385
附录 D 常用半导体集成器件参数	386
附录 E TTL 门电路、触发器和计数器部分型号	387

第 1 章 电路概念与分析方法

电路元件和基本定律是电路分析计算的基础。本章首先讨论电路的组成和各量的参考方向;其次扼要介绍电路无源和有源元件,以及电路基本定律;最后重点介绍几种常用的电路分析方法,如支路电流法、结点电压法、叠加原理和戴维南定理等。

1.1 电路和电路模型

1.1.1 电路组成

电路就电流所通过的路径,由电气设备和电路元件按一定方式连接而成。按功能不同电路可分为许多种,但电路的结构主要由电源、负载和中间环节三部分组成,如图 1.1.1 所示。电源是提供电能的装置。电源可将其他形式的能量转换成电能,如电池是将化学能转换成电能,发电机是将水能、热能、机械能、原子能等转换成电能。负载是取用电能的用电设备。负载可将电能转换成其他形式的能量,如灯泡是将电能转换成光能,电炉是将电能转换成热能,电动机是将电能转换成机械能等。中间环节是连接电源与负载的部分。中间环节包括输电线和开关,具有控制和保护电路等作用。

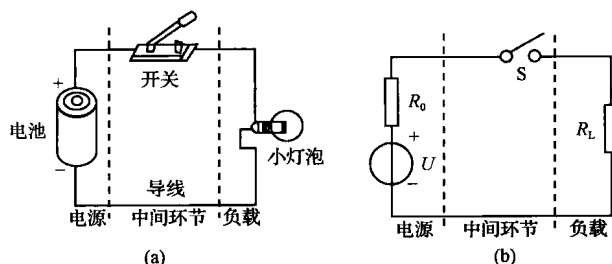


图 1.1.1 电路的组成和电路模型

(a) 电路组成; (b) 电路模型

根据实际电路的功能和作用,大致可将电路分为两大类。一类为电能的传输和转换,如发电、供电系统、电力拖动、电气照明等,通常也称这种电路为电力电路;另一类为信号的传输和处理,如各种电信号的产生、放大、整形、数字信号的运算和处理、存储等,通常也称这种电路为电子电路。

1.1.2 电路模型

实际电路是由几种电气装置或电路元件组成的,如发电机、变压器、电动机、电池,以及电阻、电感和电容等,这些电路元器件所表现出的电磁现象和能量转换特征较为复杂。例如,在图 1.1.1(a)所示的电池与小灯泡连接的电路中,接通电路时不仅会消耗电能(具有电阻性质),还会产生磁场(具有电感性质),若导线间存在分布电容,则还有电容性质。各种性质交织在一起,其表现程度也就不相同。因此,为研究电路的普遍规律,没有必要也不可能探讨一个个实际电路,为了对实际电路进行分析计算和数学描述,通常将实际元件理想化。由理想电路元件组成的电路称为电路模型,简称电路,如图 1.1.1(b)所示。值得注意的是,我们以后研究的电路都是指电路模型,而不是实际电路。

所谓的理想电路元器件,就是指在一定条件下突出主要的电磁性质,忽略次要因素,将实际的元件抽象为仅含有一种参数的电路元件。例如由导线绕制的线圈,在直流条件下,忽略其电感和分布电容,将其用电阻元件表征;在交流条件下,电路实际元件则用电阻元件和电感元件串联表征。

1.2 电流和电压的参考方向

无论电能的转换和传输,还是信号的传递和处理,都是通过电流、电压和电动势来实现的。在简单电路分析时,可根据电源极性较容易分析电路元件上电流和电压的实际方向。但是,当电路较为复杂时,往往很难判断电流的实际方向,尤其是较为复杂的交流电路。由于交流电路中电流和电压的实际方向随时间变化,难以在电路中标注。因此,引入了参考方向(也称正方向)的概念,这是分析和计算电路的基础。

1.2.1 电流参考方向

习惯上固定正电荷运动的方向或负电荷运动的相反方向为电流的实际方向。但在分析计算较为复杂的电路时,往往难以事先判定某一支路中电流的实际方向,故在分析和计算电路时,可任意选定某一方向作为电流的参考方向。所选电流的参考方向是任意假定的,并不一定与电流的实际方向一致。当电流的实际方向与所选定的参考方向一致时,则电流为正值($I>0$),如图 1.2.1(a)所示;当电流的实际方向与所选定参考方向相反时,则电流为负值($I<0$),如图 1.2.1(b)所示。图中实线代表电流的参考方向,虚线代表电流的实际方向。电流的参考方向也可以用箭头(“→”)表示。因此,分析和计算电路时,在参考方向选定后,电流的值才有正负之分。

电流的单位为安[培](A)、毫安(mA)和微安(μA)。 $1\text{mA}=10^{-3}\text{A}$, $1\mu\text{A}=10^{-6}\text{A}$ 。

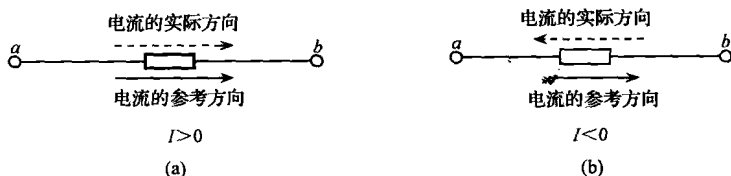


图 1.2.1 电流的参考方向与实际方向

1.2.2 电压参考方向

电压和电动势都是标量,但在分析和计算电路时,它们和电流一样也具有方向。通常规定电压的方向从高电位(“+”极性)端指向低电位(“-”极性)端,即电位降低的方向。电源电动势的方向规定在电源内部由低电位(“-”极性)端指向高电位(“+”极性)端,即为电位升高的方向。

在电路的分析和计算时,所标的电流、电压和电动势的方向,通常都是指参考方向,至于它们是正值还是负值,要根据选定的参考方向而定。例如在图 1.2.2 所示电路中,如果 a 、 b 两点间电压 U 的参考方向与实际方向一致,则为正值,即 $U > 0$;如果 b 、 a 两点间电压 U' 的参考方向与实际方向相反,则为负值,即 $U' < 0$ 。两者间关系为 $U = -U'$ 。

电压的参考方向也可用双下标表示。如 a 、 b 间的电压可表示为 U_{ab} ,说明电压的参考方向是由 a 指向 b ; a 点的参考极性为“+”, b 点的参考极性为“-”,即 $U_{ab} = U$ 。反之,电压可表示为 U_{ba} ,说明电压的参考方向由 b 指向 a ,即 $U_{ba} = U'$ 。同样电流的参考方向也可双下标表示。

电压和电动势的单位为伏[特](V)、毫伏(mV)和微伏(μV)。 $1\text{mV} = 10^{-3}\text{V}$, $1\mu V = 10^{-6}\text{V}$;计算高电压时,则用千伏(kV)为单位。

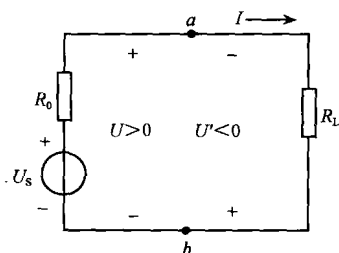


图 1.2.2 电压的参考方向

1.2.3 电功率

根据物理学中功率的定义,电路中某元件的电功率(简称功率)为

$$p = ui \quad (1.2.1)$$

式中, u 为电路元件的端电压; i 为流经电路元件中的电流。

在正弦交流电路(AC)中,由于电压 u 和电流 i 随时间变化,则功率 p 也随时间变化,则在一个周期内的平均功率为

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{1}{T} \int_0^T u i dt \quad (1.2.2)$$

式中, T 为电压、电流的变化周期。