



普通高等教育“十三五”规划教材
电子电气基础课程规划教材



电工电子技术 (第2版)

■ 田慕琴 陈惠英 主 编
■ 杨铁梅 任鸿秋 副主编



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育“十三五”规划教材

电子电气基础课程规划教材

电子电子技术

(第2版)

田慕琴 陈惠英 主 编

杨铁梅 任鸿秋 副主编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是依据教育部颁布的高等理工科院校“电工电子技术”课程教学基本要求,根据近年来“电工电子技术”课程教学改革的实践经验编写而成的。

本书分为上、下两篇,其中上篇电工技术基础,主要介绍电路、磁路、电机及其控制的分析方法,下篇电子技术基础,主要介绍模拟和数字电子技术,每篇均有实践与仿真章节,书后附有部分习题答案。本书内容精练先进,充分体现了非电类专业“电工电子技术”课程的立体化教学模式的核心:注重理论教学,注重计算机仿真,注重动手能力与工程实践。本书将学科、行业的新知识、新技术、新成果融入其中,有利于宽口径人才创新能力的培养。

本书可作为高等院校理工科非电类专业和计算机专业的教材,也可作为高职高专及成人教育相应专业的教材,还可供研究生和工程技术人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术/田慕琴,陈惠英主编. —2版. —北京:电子工业出版社,2017.6

电子电气基础课程规划教材

ISBN 978-7-121-31642-5

I. ①电… II. ①田… ②陈… 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(2017)第 118917 号

策划编辑:凌毅

责任编辑:凌毅 特约编辑:张莉

印刷:三河市双峰印刷装订有限公司

装订:三河市双峰印刷装订有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开本:787×1 092 1/16 印张:24.5 字数:659 千字

版次:2012 年 7 月第 1 版

2017 年 6 月第 2 版

印次:2017 年 6 月第 1 次印刷

定价:49.80 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系及邮购电话:(010)88254888,88258888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式:(010)88254528,lingyi@phei.com.cn。

第2版前言

“电工电子技术”是高等院校非电类专业本科学生的一门重要的技术基础课,其目的是培养学生掌握和运用电工技术、电子技术的基本理论、基本知识和基本技能。要求学生在学完本课程后,具备一定的分析和处理与电工、电子及控制等相关技术的实际能力,了解这些技术的最新发展和应用情况。

本书第1版自2012年7月出版以来,得到了许多专家、教师和学生的肯定与关注,现依据教育部颁布的高等工科院校“电工电子技术”课程教学基本要求,并根据电工电子技术的最新发展以及大家所提的宝贵意见对本教材进行了修正、补充和完善。主要反映在:①强化了课后习题内容,以提高学生课后的学习思考能力;②对于实际应用较多的知识点进行了内容补充;③对于一些被取代的技术进行了合理删减;④采用了新版的电路仿真软件 Multisim11.0,其界面更加友好、形象、真实,易于操作学习。

本书共16章,分为上、下两篇:上篇电工技术基础,主要介绍电路、磁路、电机及其控制的分析方法;下篇电子技术基础,主要介绍模拟和数字电子技术。每篇均有仿真与实践章节,全书后附有部分习题答案。本书的特色为:①集成度高,包括教学内容、实验实训、Multisim 仿真;②突出电工电子技术应用,加强电气技能素质培养;③系统、精练的内容,满足多种方式的教学需求;④典型、丰富的例题,精析核心内容的问题求解;⑤新颖、宽泛的习题,激发解决问题的创新思维。

本书由太原理工大学和太原科技大学联合编写,田慕琴、陈惠英担任主编,杨铁梅、任鸿秋担任副主编。本书的编写分工如下:陈惠英编写第1、2章,李风霞编写第3章,王跃龙编写第4章,高妍编写第5章,张灵编写第6章,田慕玲编写第7章,任鸿秋编写第8、9章,申红燕编写第10章,杨铁梅编写第11、12章,陶晋宜编写第13章,田慕琴编写第14章,乔计平编写第15章,吴申编写第16章。全书由田慕琴、陈惠英统稿。

本书配有电子课件等教辅资料,读者可以登录华信教育资源网 www.hxedu.com.cn,注册后免费下载。

在本书的编写过程中,作者参考了大量优秀教材,受益匪浅,同时电子工业出版社的有关编辑及工作人员为此书的顺利出版也付出了积极的努力,在此一并致以诚挚的谢意。

最后,感谢使用本书的各高校同行教师和读者,虽然我们精心组织,认真编写,但难免有不妥和疏漏之处,恳请读者给予批评指正。

编者
2017年5月

目 录

上篇 电工技术基础

第1章 电路分析基础	2	2.4 暂态电路的应用	30
1.1 电路的基本概念	2	习题	32
1.1.1 电路的组成和基本功能	2	第3章 正弦交流电路	34
1.1.2 电路模型和理想电路元件	2	3.1 正弦电压和电流	34
1.1.3 电路的基本变量	2	3.2 正弦量的相量表示法	36
1.1.4 电路的基本工作状态	4	3.2.1 正弦量的相量表示法	36
1.1.5 电路中的电位	5	3.2.2 KCL、KVL的相量形式	38
1.2 电路中的常用元件	6	3.3 单一参数的正弦交流电路	39
1.2.1 无源电路元件	6	3.3.1 线性电阻元件的交流电路	39
1.2.2 有源电路元件	8	3.3.2 线性电感元件的交流电路	40
1.3 基尔霍夫定律	9	3.3.3 线性电容元件的交流电路	41
1.3.1 基尔霍夫电流定律	9	3.4 正弦交流电路的分析与计算	43
1.3.2 基尔霍夫电压定律	10	3.4.1 RLC串联电路	43
1.4 电路分析方法	10	3.4.2 阻抗的串并联电路	45
1.4.1 电压源与电流源的等效变换	10	3.5 功率因数的提高	47
1.4.2 支路电流法	11	3.6 电路中的谐振	48
1.4.3 节点电压法	12	3.6.1 串联谐振	48
1.4.4 叠加定理	13	3.6.2 并联谐振	50
1.4.5 等效电源定理	13	3.7 非正弦周期交流电路	51
1.5 含受控源电路的分析	18	3.7.1 非正弦周期信号的谐波分解	51
1.5.1 受控源及其类型	18	3.7.2 非正弦周期信号的有效值和 平均功率	52
1.5.2 含受控源电路的分析	18	3.7.3 非正弦周期交流电路的分析与 计算	53
习题	20	3.8 三相交流电路	54
第2章 暂态电路分析	23	3.8.1 三相电源	54
2.1 换路定则与电压、电流初始值的 确定	23	3.8.2 三相负载的连接	55
2.1.1 换路定则	23	3.8.3 三相负载的功率	58
2.1.2 电压、电流初始值的计算	23	习题	59
2.2 RC电路的暂态过程	24	第4章 变压器和电动机	61
2.2.1 RC电路的零输入响应	24	4.1 磁路和有铁心的交流电路	61
2.2.2 RC电路的零状态响应	25	4.1.1 磁场的基本物理量	61
2.2.3 RC电路的全响应	26	4.1.2 铁磁材料特性	62
2.2.4 一阶线性电路暂态分析的 三要素法	27	4.1.3 磁路及其基本定律	63
2.3 RL电路的暂态过程	29	4.1.4 交流铁心线圈电路	64

4.2 变压器.....	66	习题	116
4.2.1 变压器的基本结构	66	第6章 PLC 及其应用	117
4.2.2 变压器的分类	67	6.1 PLC 概述	117
4.2.3 变压器的型号与额定值	67	6.2 PLC 的结构和工作原理	118
4.2.4 变压器的运行	68	6.2.1 PLC 结构	118
4.2.5 变压器的运行性能	71	6.2.2 PLC 的工作原理	121
4.2.6 变压器原边、副边绕组首末端 标记及极性的判定	72	6.2.3 PLC 的编程语言	122
4.2.7 特殊变压器	73	6.3 PLC 的内部编程元件	122
4.3 异步电动机	74	6.3.1 用户数据的类型	123
4.3.1 三相异步电动机的基本结构	74	6.3.2 编程元件	124
4.3.2 异步电动机的基本工作原理	76	6.4 PLC 指令系统	128
4.3.3 三相异步电动机的电磁关系	79	6.4.1 PLC 基本指令系统	128
4.3.4 异步电动机的电磁转矩和 机械特性	80	6.4.2 PLC 应用指令简介	133
4.3.5 三相异步电动机的运行	82	6.5 简单控制电路的 PLC 设计	135
4.3.6 三相异步电动机的铭牌数据	86	6.5.1 用 PLC 实现异步电动机的 自锁控制	135
4.4 单相电动机	87	6.5.2 用 PLC 实现异步电动机的 正反转控制	136
4.5 同步电动机	89	6.5.3 用 PLC 实现多机顺序联锁 控制	136
4.6 直流电机	91	6.5.4 用 PLC 实现多处控制	137
4.6.1 直流电机的工作原理和基本 结构	91	6.5.5 用 PLC 实现行程自动往返控制 电路	138
4.6.2 直流电机的工作特性	93	6.5.6 用 PLC 控制 Y- Δ 启动电路	139
4.6.3 直流电机的启动、调速	94	6.6 PLC 系统设计与应用实例	139
4.7 控制电机	95	6.6.1 系统设计	139
4.7.1 步进电机	95	6.6.2 三菱 FX2 系列 PLC 实现 人行道与车道交叉路口 红绿灯的控制	140
4.7.2 伺服电机	97	6.6.3 三菱 FX2 系列 PLC 在机械自动 装置控制中的应用	141
4.7.3 测速发电机	99	6.6.4 三菱 FX2 系列 PLC 在电动机 控制中的应用	143
习题	100	习题	144
第5章 继电接触器控制系统	102	第7章 电工技术实验与仿真	145
5.1 工厂常用低压电器	102	7.1 电工电子技术实验须知	145
5.2 异步电动机的直接启动控制	110	7.2 电工技术实验	146
5.2.1 结构组成与工作原理	110	7.2.1 戴维南定理的研究	146
5.2.2 电气原理图	110	7.2.2 一阶 RC 电路的时域 响应	147
5.2.3 基本保护环节	111	7.2.3 日光灯电路及功率因数的 提高	148
5.3 异步电动机的正、反转控制	112	7.2.4 三相交流电路的测量	150
5.4 多机顺序联锁控制	113	7.2.5 变压器的连接与测试	152
5.5 多处控制	113		
5.6 行程控制电路	114		
5.7 时间控制电路	115		
5.7.1 三相鼠笼式异步电动机 Y- Δ 换接 降压启动的时间控制电路	115		
5.7.2 能耗制动控制电路	115		

7.2.6 三相异步电动机正、反转继电器 接触器控制	154
7.3 仿真软件 Multisim11.0 简介	155

7.4 仿真软件 Multisim11.0 应用 举例	157
--------------------------------------	-----

下篇 电子技术基础

第8章 常用半导体器件及基本放大

电路	170
8.1 PN 结和半导体二极管	170
8.1.1 半导体基础知识	170
8.1.2 二极管及其简单应用	172
8.1.3 特殊二极管	174
8.2 半导体三极管	175
8.2.1 基本结构和电流放大作用	175
8.2.2 三极管的特性曲线	176
8.2.3 主要参数	178
8.2.4 开关应用	179
8.3 基本放大电路	179
8.3.1 共发射极放大电路	180
8.3.2 静态工作点的稳定	187
8.3.3 共集电极放大电路	188
8.3.4 放大电路的级间耦合与差分 放大电路	191
8.4 功率放大电路	193
8.4.1 功率放大电路的类型	193
8.4.2 互补对称功率放大电路	194
8.4.3 集成功率放大器简介	195
8.5 绝缘栅型场效应管	197
8.5.1 N 沟道增强型 MOS 管	197
8.5.2 N 沟道耗尽型 MOS 管	199
8.5.3 场效应管与晶体管的比较 及其主要参数	199
习题	200

第9章 集成运算放大器

9.1 集成运算放大器简介	203
9.1.1 集成运放的结构与符号	203
9.1.2 集成运放的主要技术指标	204
9.1.3 集成运放的电压传输特性与 理想化模型	205
9.2 放大电路中的反馈	206
9.2.1 反馈的基本概念	206
9.2.2 反馈放大电路的基本类型及 判断方法	207
9.2.3 负反馈的 4 种组态	209

9.2.4 负反馈对放大电路性能的 影响	210
-------------------------------	-----

9.3 集成运放的线性应用

9.3.1 比例运算电路	211
9.3.2 加法与减法运算电路	212
9.3.3 积分与微分运算电路	213
9.3.4 运放线性应用电路举例	214

9.4 集成运放的非线性应用

9.4.1 比较器	219
9.4.2 方波发生器	222
9.4.3 方波和三角波发生器	224
9.4.4 脉冲和锯齿波发生器	225

9.5 正弦波发生器

9.5.1 自激振荡	226
9.5.2 文氏电桥振荡器	227

9.6 集成运算放大器的正确使用

9.6.1 集成运放的型号选择	228
9.6.2 集成运放的消振和调零	228
9.6.3 集成运算放大器的保护措施	228

习题

第10章 直流稳压电源

10.1 整流与滤波电路	231
10.1.1 整流电路	231
10.1.2 滤波电路	233
10.2 稳压电路	235
10.2.1 稳压管稳压电路	235
10.2.2 串联型稳压电路	237
10.3 集成稳压器	238
10.3.1 三端固定式集成稳压器	238
10.3.2 三端可调式集成稳压器	239
10.3.3 基准电压源	239

习题

第11章 数字电路基础

11.1 数制与编码	242
11.1.1 常用数制及转换	242
11.1.2 二进制代码	245
11.2 逻辑代数的基本运算	247
11.2.1 基本的逻辑运算	248

11.2.2 逻辑代数的基本运算	249	13.1.3 边沿触发器	288
11.2.3 逻辑函数的表示方法	250	13.2 时序逻辑电路分析	289
11.3 逻辑函数的化简	253	13.3 寄存器	291
11.3.1 逻辑函数的代数化简法	253	13.3.1 数码寄存器	292
11.3.2 卡诺图化简法	253	13.3.2 移位寄存器	292
11.3.3 具有无关项的逻辑函数及其 卡诺图化简法	254	13.4 计数器	293
11.4 逻辑门电路	255	13.4.1 计数器的分类和基本原理	294
11.4.1 基本门电路	255	13.4.2 常用的集成计数器	299
11.4.2 常用复合门电路	257	13.4.3 用集成计数器实现任意进制 计数	300
11.5 集成门电路	259	13.5 555 定时器及其应用	302
11.5.1 TTL 系列门电路	259	13.5.1 555 定时器的电路结构与 工作原理	302
11.5.2 CMOS 门电路	263	13.5.2 用 555 定时器构成的施密特 触发器	303
11.5.3 集成电路应用	264	13.5.3 用 555 定时器构成的单稳态 触发器	304
习题	266	13.5.4 用 555 定时器构成的多谐 振荡器	305
第 12 章 组合逻辑电路	268	习题	306
12.1 组合逻辑电路的分析	268	第 14 章 数模和模数转换	309
12.2 组合逻辑电路的设计	269	14.1 D/A 转换器	309
12.3 加法器	271	14.1.1 倒 T 形电阻网络 D/A 转换器	309
12.3.1 半加器	271	14.1.2 D/A 转换器的主要技术 指标	310
12.3.2 全加器	271	14.1.3 集成 D/A 转换器	311
12.4 编码器	272	14.2 A/D 转换器	312
12.4.1 二进制编码器	272	14.2.1 A/D 转换器基本工作原理	312
12.4.2 二-十进制编码器	273	14.2.2 逐次逼近型模数转换器	313
12.4.3 优先编码器	273	14.2.3 集成模数转换器及其应用	315
12.5 译码器	275	习题	316
12.5.1 译码器工作原理	275	第 15 章 电子技术实验与仿真	317
12.5.2 二-十进制译码器	277	15.1 电子技术实验	317
12.5.3 显示译码器	277	15.1.1 基本放大电路的分析	317
12.6 数据选择器和数据分配器	279	15.1.2 集成运放的线性应用	319
12.6.1 数据选择器	279	15.1.3 整流、滤波、稳压电路的 测试	321
12.6.2 数据分配器	280	15.1.4 TTL 集成门电路逻辑功能 测试与变换	323
12.7 组合逻辑电路中的竞争冒险 现象	281	15.1.5 组合逻辑电路的设计	324
12.7.1 竞争冒险现象及其产生 原因	281	15.1.6 任意进制计数器的设计	325
12.7.2 竞争冒险现象的判别	282	15.2 仿真软件 Multisim11.0 应用 举例	326
12.7.3 消除竞争冒险现象的方法	282		
习题	283		
第 13 章 时序逻辑电路	285		
13.1 双稳态触发器	285		
13.1.1 基本 RS 触发器	285		
13.1.2 可控触发器	286		

第 16 章 单片机入门与应用	336	16.4.1 51 汇编语言	353
16.1 概述	336	16.4.2 C 语言	357
16.1.1 单片机定义与特点	336	16.4.3 C 语言和汇编语言的混合 编程	362
16.1.2 C8051F020 芯片简介	337	16.5 单片机程序设计	362
16.2 单片机硬件结构组成和原理 ...	338	16.5.1 顺序结构程序	363
16.2.1 CPU 内核	338	16.5.2 分支结构程序	363
16.2.2 存储器	339	16.5.3 循环结构程序	364
16.2.3 可编程数字 I/O 和交叉 开关	341	16.5.4 算术运算程序设计	366
16.2.4 可编程计数器/定时器阵列 ...	342	16.6 单片机应用系统设计	366
16.2.5 模数转换器件(ADC0 和 ADC1)	342	16.6.1 应用系统设计步骤	366
16.2.6 数模转换器和比较器	344	16.6.2 系统硬件设计	367
16.2.7 中断系统	345	16.6.3 系统软件设计	368
16.2.8 电源管理方式	346	16.6.4 基于单片机的数据采集系统 原理	369
16.3 C8051F020 单片机芯片引脚 与端口电路	347	习题	370
16.3.1 芯片引脚与功能	347	上篇部分习题答案	371
16.3.2 C8051F020 的 I/O 端口	350	下篇部分习题答案	374
16.3.3 复位电路	352	附录 A 51 汇编指令表	377
16.4 单片机 51 指令系统	353	参考文献	382

规定位于有电势的端点为正极，电压在数值上等于该段电路两端电势的代数差，电压用“ U ”表示，单位为伏特（V）。

上篇

电工技术基础

第1章 电路分析基础

第2章 暂态电路分析

第3章 正弦交流电路

第4章 变压器和电动机

第5章 继电器接触器控制系统

第6章 PLC 及其应用

第7章 电工技术实验与仿真



图 1-1-1 电路示意图

第1章 电路分析基础

1.1 电路的基本概念

1.1.1 电路的组成和基本功能

电路是由各种电气元件按照一定方式连接而成的,是电流的流通通路。虽然电路的形式多种多样,但从电路的本质来说,一般由电源、负载和中间环节3个部分组成。如手电筒电路,由电池、灯泡、开关、导线、外壳组成。电池把化学能转换成电能供给灯泡,灯泡把电能转换成光能作照明之用。将化学能、机械能等非电能转换成电能的供电设备称为电源,如干电池、蓄电池和发电机等;将电能转换成热能、光能、机械能等非电能的用电设备称为负载,如电热炉、白炽灯和电动机等;连接电源和负载的部分,称为中间环节,如导线、开关等。

电路的基本功能可概括为两个方面:一是实现电能的传输和转换,如日常的照明用电就是利用灯泡将电能转换为光能和热能,完成电能的传输和转换;二是对信号的传递与处理,如语言、文字、音乐、图像的接收和处理。

1.1.2 电路模型和理想电路元件

实际电路由各种作用不同的电路元器件组成,而电路元器件种类繁多,且电磁特性较为复杂,很难用简单的数学表达式来描述,为了研究电路的一般规律,常常需要将实际的电路元件理想化,忽略其次要的因素,用反映它们主要物理性质的理想元件来代替。这种由理想元件组成的电路称为电路模型,它是对实际电路物理性质的高度抽象和概括。

用于构成电路的元器件或设备统称为实际电路元件。从能量转换角度看,有电能的产生,电能的消耗,以及电场能量和磁场能量的储存。用来表征上述物理性质的理想电路元件有理想电压源 U_S 、理想电流源 I_S 、电阻元件 R 、电感元件 L 、电容元件 C 。图1-1是它们的图形符号。

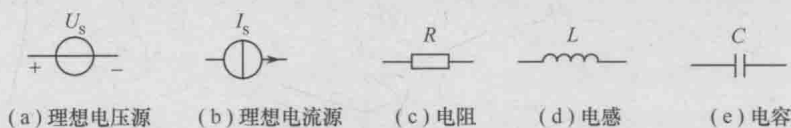


图1-1 理想电路元件符号

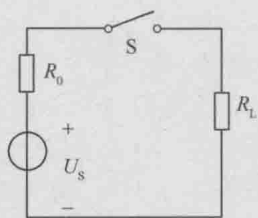


图1-2 手电筒电路的模型

前面提到的手电筒电路的电路模型如图1-2所示。灯泡看成电阻元件 R_L , 电池看成理想电压源 U_S 和电阻元件 R_0 的串联。采用电路模型来分析电路,不仅使计算过程大为简化,而且能更清晰地反映电路的物理实质。

1.1.3 电路的基本变量

在分析各种电路之前,先来介绍电路中的基本变量包括电流、电压和功率及其相关的概念。

1. 电流及其参考方向

带电粒子有秩序的移动形成电流。电流在数值上等于单位时间内通过导体横截面的电量，电流用 i 或 I 表示，单位为安培(A)，即可表示为

$$i = dq/dt \quad (1-1)$$

电流的实际方向规定为正电荷移动的方向。大小和方向都不随时间变化的电流称为恒定电流(直流电流)，简称直流(简称为 DC)。大小或方向随时间变化的电流称为交变电流，简称交流(简称为 AC)。电路中一般用小写字母广义地表示电路的物理量，而大写字母则只表示直流量。需要指明的是：电路中电流形成的必要条件是电路必须闭合。

电流的方向是客观存在的，但在分析较复杂的直流电路时，事先往往难以确定某支路上电流的实际方向，在分析交流电路时，电流是随时间变化的，分析之前无法确定实际方向，所以在分析计算电路时需任意选定某一方向作为电流的参考方向(假设方向)。将参考方向用带方向的箭头标于电路图中，在参考方向之下计算电流，若电流的计算结果为正值，表明电流的实际方向与参考方向一致；若电流的计算结果为负值，表明电流的实际方向与参考方向相反。由参考方向与电流的正、负号相结合可以表明电流的实际方向。在没有假设参考方向的前提下，直接计算得出的电流值的正、负号没有意义。

2. 电压及其参考方向

电路中任意(a、b)两点之间的电压为电场力移动单位正电荷由 a 点到 b 点时所做的功，用 u 或 U 表示，单位为伏特(V)，即可表示为

$$u = dW/dq \quad (1-2)$$

在电路中也可以用电位 v_a 和 v_b 之差表示，故又称为电位差。即

$$u_{ab} = v_a - v_b \quad (1-3)$$

电压的实际方向规定为电位降低的方向，即由高电位(“+”极性)端指向低电位(“-”极性)端。与电流的参考方向类似，对电路中两点之间的电压也可以假定参考方向(参考极性)。计算之前，在参考极性的高电位端标“+”号，在低电位端标“-”号，如图 1-3 所示。在参考极性的前提下计算，如计算值为正值，说明实际极性与参考极性相同，如计算值为负值，说明实际极性与参考极性相反。另外，有时为了画图方便，可用一个箭头表示电压的参考极性，如图中由 A 指向 B 的箭头，箭头方向表示电压降的参考方向。

电压和电流的参考方向可以独立地任意假定，当电流的参考方向从标以电压参考极性的“+”端流入而从“-”端流出时，称电流与电压为关联参考方向，如图 1-4(a)所示；而当电流的参考方向从标以电压参考极性的“-”端流入，而从“+”端流出时，称为非关联参考方向，如图 1-4(b)所示。

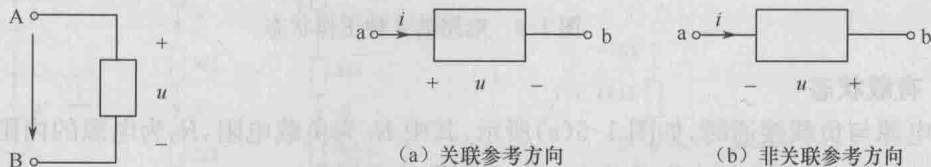


图 1-3 电压参考极性的表示方法

图 1-4 两种参考方向示意图

3. 功率

在电路中，单位时间内电路元件的能量变化用功率表示，功率的单位为瓦特(W)。

在分析电路时,对功率计算公式作如下规定:

(1) 当电流、电压取关联参考方向时,如图 1-4(a)所示,有

$$p = ui \tag{1-4}$$

(2) 当电流、电压取非关联参考方向时,如图 1-4(b)所示,有

$$p = -ui \tag{1-5}$$

把电流 i 和电压 u 代入式(1-4)、式(1-5),当计算结果 $p > 0$ 时,表示元件吸收功率,该元件为负载性;反之,当 $p < 0$ 时,表示元件发出功率,该元件为电源性。

在实际应用中,电路基本变量的单位常使用其国际单位制(SI)的主单位。但有时感到这些单位太小或太大,不大方便,因此常在这些单位前面加上词头,用来表示这些单位乘以 10^n (见表 1-1)后所得到的辅助单位。

表 1-1 SI 词头

因数	10^{-12}	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	10^3	10^6	10^9	10^{12}
符号	p	n	μ	m	k	M	G	T
读法	皮	纳	微	毫	千	兆	吉	太

【例 1-1】 在图 1-5 所示电路中,已知 $U_1 = 20\text{V}$, $I_1 = 2\text{A}$, $U_2 = 10\text{V}$, $U_3 = 10\text{V}$, $I_3 = -3\text{A}$, $I_4 = -1\text{A}$,试求各元件的功率。

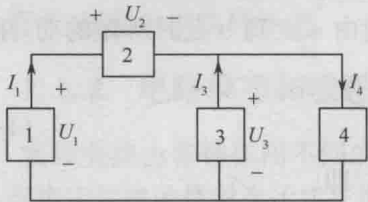


图 1-5 例 1-1 的电路图

【解】 $P_1 = -U_1 I_1 = -20 \times 2 = -40\text{W}$ (发出 40W)
 $P_2 = U_2 I_1 = 10 \times 2 = 20\text{W}$ (吸收 20W)
 $P_3 = -U_3 I_3 = -10 \times (-3) = 30\text{W}$ (吸收 30W)
 $P_4 = U_3 I_4 = 10 \times (-1) = -10\text{W}$ (发出 10W)

可以看出,元件发出的功率之和等于元件吸收的功率之和。

1.1.4 电路的基本工作状态

一个实际电路有有载、开路和短路 3 种基本工作状态。现以图 1-6 所示电路为例,分别讨论每种状态的特点。

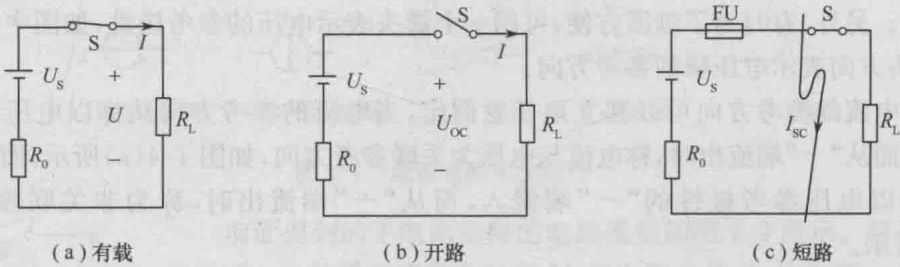


图 1-6 电路的 3 种工作状态

1. 有载状态

当电源与负载接通时,如图 1-6(a)所示,其中 R_L 为负载电阻, R_0 为电源的内阻, U_s 为电源开路时的端电压,该电路便为有载状态。负载两端的电压为

$$U = U_s - IR_0 \tag{1-6}$$

2. 开路状态

开关打开的电路称为开路状态,如图 1-6(b)所示。特征为电路中电流 $I = 0$ 。开路状态下电

源两端的电压称为开路电压,用 U_{OC} 表示,即

$$U_{OC} = U_S \tag{1-7}$$

3. 短路状态

若将电源两端直接连在一起,如图 1-6(c)所示,造成电源短路,称电路处于短路状态。电源短路时外电路的电阻为零,特征为负载两端的电压 $U=0$ 。这时电源的电压全部加在内阻上,形成短路电流 I_{SC} ,即

$$I_{SC} = U_S / R_0 \tag{1-8}$$

一般实际电源的内阻都很小,因此短路时电流很大,将大大地超过电源的额定电流,所以电源短路是一种严重事故,可能使电源遭受机械的与热的损伤或毁坏。为了预防短路事故发生,通常在电路中接入熔断器(FU)或自动断路器,以使短路时能迅速地把故障电路自动切断,使电源、开关等设备得到保护。

4. 电气设备的额定值

电源和负载等电气设备在一定工作条件下其工作能力是一定的。为表示电气设备的正常工作条件和工作能力所规定的数值,称为电气设备的额定值。电气设备的额定值主要有额定电压 U_N 、额定电流 I_N 和额定功率 P_N 等。如果超过或低于这些额定值,都有可能引起电气设备的损坏或降低使用寿命,或不能发挥正常的效能。

1.1.5 电路中的电位

在分析和计算电路时,特别是在电子技术中,常常将电路中的某一点选作参考点,并将参考点的电位规定为零。于是电路中任何一点与参考点之间的电压便是该点的电位。在电力工程中规定大地为零电位的参考点,在电子电路中,通常以与机壳连接的输入或输出的公共导线为参考点,称为“地”,在电路图中用符号“ $\perp$ ”表示。

电路中电位的大小、极性和参考点的选择有关,而两点之间的电压大小、极性则和参考点的选择无关。不指定参考点谈论各点的电位值是没有意义的。两点之间的电压总是等于这两点间的电位之差,如 $U_{ab} = V_a - V_b$ 。

在电子电路中,电源的一端通常都是接“地”的,为了作图简便和图面清晰,习惯上常常不画出电源来,而在电源的非接地的一端注明其电位的数值。例如,图 1-7(b)就是图 1-7(a)的习惯画法。

【例 1-2】 试求图 1-8 电路中,当开关 S 断开和闭合两种情况下 A 点的电位 V_A 。

【解】 (1) 当开关 S 断开时,3 个电阻中为同一电流。可得

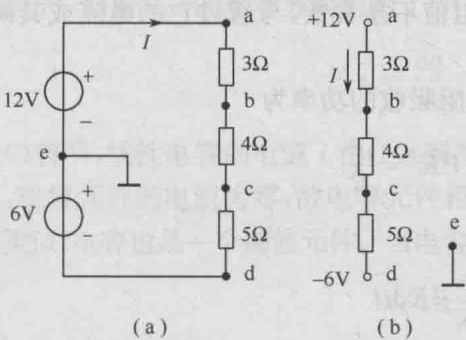


图 1-7 电路的电位

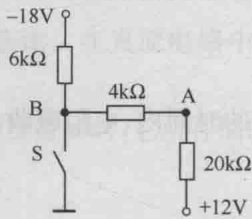


图 1-8 例 1-2 的电路图

$$\frac{-18 - V_A}{(6 + 4)} = \frac{V_A - 12}{20}$$

求得 $V_A = -8\text{V}$ 。

(2) 开关 S 闭合时, $V_B = 0$, $4\text{k}\Omega$ 和 $20\text{k}\Omega$ 电阻为同一电流。可得

$$\frac{V_A}{4} = \frac{12 - V_A}{20}$$

求得 $V_A = 2\text{V}$ 。

1.2 电路中的常用元件

电路中的常用元件按其能否向电路提供能量分为有源元件和无源元件两大类。电阻元件、电感元件和电容元件是常用的 3 种无源元件。而电源、晶体管和集成运算放大器等可以直接或间接为电路提供能量,所以称为有源元件。

1.2.1 无源电路元件

电阻 R 、电感 L 和电容 C 是 3 种具有不同物理性质的电路参数,一般实际元件这 3 种参数都有。只考虑其主要参数的电阻器、电感器、电容器称为单一参数的理想化电路元件,其电路模型分别如图 1-9(a)、(b)、(c) 所示。

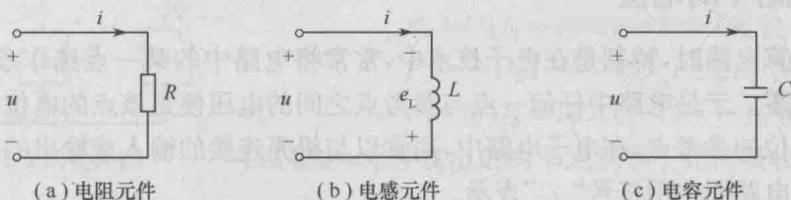


图 1-9 理想电阻、电感、电容元件的电路模型

1. 电阻元件

电阻元件是反映物体把电能转换成热能的理想化模型。当 u 与 i 的参考方向为图 1-9(a) 所示关联参考方向时,则瞬时值关系为

$$u = iR \quad (1-9)$$

若其电压与电流伏安特性曲线是一条通过坐标原点的直线,则称为线性电阻元件。伏安特性曲线不是直线的称为非线性电阻元件。线性电阻的特点是其电阻值为一常数,与通过它的电流或其两端电压的大小无关。非线性电阻的电阻值不是常数,与通过它的电流或其两端的电压的大小有关。

电阻元件要消耗电能,是一个耗能元件。电阻吸收的功率为

$$p = ui = i^2 R = \frac{u^2}{R} \quad (1-10)$$

从 t_1 到 t_2 的时间内,电阻吸收的能量为

$$W = \int_{t_1}^{t_2} i^2 R dt \quad (1-11)$$

单位为焦耳(J)。

对于电阻元件的选用,主要考虑两个参数:一是电阻元件的阻值,二是电阻元件的额定功率。

电路中所有的元件均是线性元件时的电路称为线性电路。含非线性电阻元件的电路称为非线性电阻电路。

2. 电感元件

电感元件是用来反映物体存储磁场能量的理想电路元件。电感元件的符号如图 1-9(b)所示。电感元件通过电流 i 后,磁通链 Ψ 与电流 i 的比值称为元件的电感,即

$$L = \frac{\Psi}{i} \tag{1-12}$$

式中, L 为元件的电感,单位为亨利(H)。 L 为常数的,称为线性电感元件, L 不为常数的称为非线性电感元件。

当通过电感元件的电流 i 随时间变化时,则要产生自感电动势 e_L ,元件两端就有电压 u 。若电感元件 i 、 e_L 、 u 的参考方向如图 1-9(b)所示时,则瞬时值关系为

$$\begin{aligned} e_L &= -\frac{d\Psi}{dt} = -\frac{d\Psi}{di} \frac{di}{dt} = -L \frac{di}{dt} \\ u &= -e_L = L \frac{di}{dt} \end{aligned} \tag{1-13}$$

式(1-13)表明,线性电感两端电压在任意瞬间与 di/dt 成正比。在直流电路中,由于电流不随时间变化,电感元件的端电压为零,所以电感元件相当于短路。

电感元件本身并不消耗能量,是一个储能元件。当通过电感元件的电流为 i 时,它所存储的磁场能量为

$$W_L = \frac{1}{2} Li^2 \tag{1-14}$$

由此可见,电感元件在某一时刻的储能只取决于该时刻的电流值,而与电流的过去变化进程无关。

3. 电容元件

电容元件是用来反映物体存储电荷能力的理想电路元件。电容元件的符号如图 1-9(c)所示。电容元件极板上的电荷量 q 与极板间电压 u 之比称为电容元件的电容,即

$$C = \frac{q}{u} \tag{1-15}$$

式中, C 为元件的电容,单位为法拉(F)。线性电容元件的电容 C 是常数,非线性电容元件的电容 C 不是常数,与极板上存储电荷量的多少有关。

当电容元件两端的电压 u 随时间变化时,极板上存储的电荷量就随之变化,和极板相接的导线中就有电流 i 。如果 u 、 i 的参考方向为图 1-9(c)所示的关联参考方向时,则

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt} \tag{1-16}$$

式(1-16)表明,线性电容的电流 i 在任意瞬间与 du/dt 成正比。在直流电路中,由于电压不随时间变化,电容元件的电流为零,故电容元件相当于开路。

和电感类似,电容也是一个储能元件。当电容元件两端的电压为 u 时,它所存储的电场能量为

$$W_C = \frac{1}{2} Cu^2 \tag{1-17}$$

由此可见,电容元件在某一时刻的储能只取决于该时刻的电压值,而与电压的过去变化进程无关。

1.2.2 有源电路元件

1. 实际电源的两种模型

能向电路独立地提供电压、电流的装置称为独立电源。在对电路进行分析时,实际电源通常可以用两种不同的模型来表示,这两种模型分别称为电压源模型(简称电压源)和电流源模型(简称电流源),它们用理想电源元件和理想电阻元件的组合来表征。电压源模型的外特性及电路模型如图 1-10(a)、(b)所示,电流源模型的外特性及电路模型如图 1-11(a)、(b)所示。

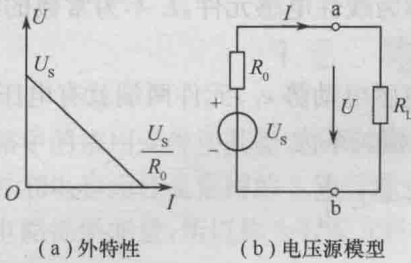


图 1-10 电压源外特性和模型

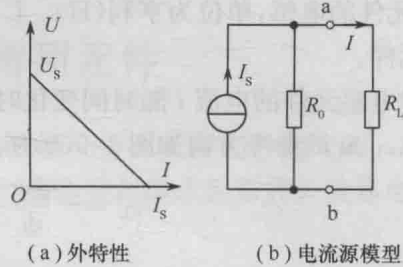


图 1-11 电流源外特性和模型

电压源输出电压与电流之间的关系式为

$$U = U_s - IR_0 \quad (1-18)$$

式中, U 为电压源的输出电压, U_s 为理想电压源的电压, I 为负载电流, R_0 为电压源的内阻。电压源的内阻越小,输出电压就越接近理想电压源的电压 U_s ,内阻 $R_0=0$ 时电压源就是理想电压源。

如将式(1-18)两端除以 R_0 ,则得 $\frac{U}{R_0} = \frac{U_s}{R_0} - I = I_s - I$,即

$$I_s = U/R_0 + I \quad (1-19)$$

式中, I 为负载电流, U 为电流源的输出电压, R_0 为电流源的内阻, $I_s=U_s/R_0$ 为电源的短路电流,具有并联特征。所以可用一个理想电流源和内阻 R_0 并联来代替。电流源的内阻越大,输出电流就越接近理想电流源的电流 I_s ,内阻 $R_0=\infty$ 时电流源就是理想电流源。

2. 理想电压源和理想电流源

理想电压源和理想电流源都是理想的电源元件,它们的外特性 $U=f(I)$ 和图形符号分别如图 1-12(a)、(b)和图 1-13(a)、(b)所示。

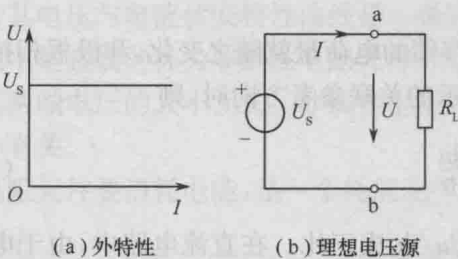


图 1-12 理想电压源外特性与符号

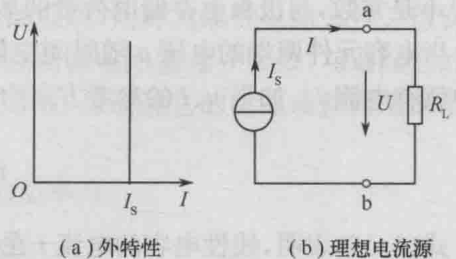


图 1-13 理想电流源外特性与符号

理想电压源可以向外电路提供一个恒定值的电压 U_s 。当外接负载电阻 R_L 变化时,流过理想电压源的电流将发生变化,但电压 U_s 不变。

理想电流源可以向外电路提供一个恒定值的电流 I_s 。当外接负载电阻 R_L 变化时,理想电流源两端的电压将发生变化,但电流 I_s 不变。