

# 电路电子学基础

李天利 主 编  
侯勇严 汤 伟 副主编

清华大学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书将“电路分析”“模拟电子技术基础”及“数字电子技术基础”3门课程的内容有机地结合为一体。全书共分19章,包括电路的基本概念及理论,电阻电路的分析方法,电路定理,一阶电路,单相交流电路稳态分析,三相交流电路稳态分析,半导体器件,基本放大电路,集成运算放大器,负反馈放大器,波形的产生、变换与处理,功率放大器,直流稳压电源,逻辑代数基础,逻辑门电路,组合逻辑电路,触发器,时序逻辑电路,脉冲电路。在讲述必要的经典内容的同时,又反映近代电路理论和先进技术,在理论与应用的关系上,力求实用,以应用为主。各章配有丰富的例题、习题,并提供习题参考答案。

本书可作为高等院校计算机、人工智能、智能制造、机械类以及材料化工类相关专业的教材,也可供工程技术人员参考。

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。举报:010-62782989, beiqinquan@tup.tsinghua.edu.cn。

### 图书在版编目(CIP)数据

电路电子学基础 / 李天利主编. —北京: 清华大学出版社, 2022.1

ISBN 978-7-302-59292-1

I. ①电… II. ①李… III. ①电路—高等学校—教材②电子学—高等学校—教材 IV. ①TM13  
②TN01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2021)第 200842 号

责任编辑: 王 定

封面设计: 孔祥峰

版式设计: 思创景点

责任校对: 成凤进

责任印制: 刘海龙

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](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质 量 反 馈: 010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

印 装 者: 大厂回族自治县彩虹印刷有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 185mm×260mm

印 张: 26.75

字 数: 668 千字

版 次: 2022 年 2 月第 1 版

印 次: 2022 年 2 月第 1 次印刷

定 价: 79.80 元

---

产品编号: 090821-01

# 前 言

本书根据教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会提出的《电路课程教学基本要求》《电子技术课程教学基本要求》，融合了各高校近年来教学改革的经验 and 作者多年的教学经验，并吸取各方面的建议和意见编写而成。本书注重理论与实践相结合，力求将讲授与自学有机结合起来，启发学生思考，引导教学互动，提高教师教学效果和学生自主学习的效果。

全书共分 19 章，主要介绍了电路的基本概念及理论，电阻电路的分析方法，电路定理，一阶电路，单相交流电路稳态分析，三相交流电路稳态分析，半导体器件，基本放大电路，集成运算放大器，负反馈放大器，波形的产生、变换与处理，功率放大器，直流稳压电源，逻辑代数基础，逻辑门电路，组合逻辑电路，触发器，时序逻辑电路，脉冲电路等内容。各章节内容的选择上，突出重点，注重实践性和应用性。

每章先介绍本章主要内容，再进行主要内容的讲解，做到主要的知识点都有例题，详略处理得当，例题、习题配置齐全，难度适中，使得读者在学习过程中，既能学习理论知识，又可培养实践能力，知识点与例题有机结合，易于理解和掌握，符合学习和认知的基本规律。

本书由李天利任主编，负责全书的架构、组织和统稿，第 1 章和第 14 章由陈蓓编写，第 2 章和第 16 章由吴彦锐编写，第 3 章和第 15 章由李霞编写，第 4 章由赵艳编写，第 5 章由张福才编写，第 6 章由兀旦晖编写，第 7 章由戴庆瑜编写，第 8~10 章由侯勇严编写，第 11 章由周晓慧编写，第 12 章和第 13 章由汤伟编写，第 17~19 章由李天利编写。张开生、辛登科和张玲仔细审阅了全书并提出不少宝贵的建设性意见。

本书免费提供教学课件、电子教案、教学大纲、习题参考答案，读者可扫二维码获取。



教学课件



电子教案



教学大纲



习题参考答案

本书在编写过程中，清华大学出版社编辑给予了大力支持并对书稿进行了认真、细致的审读，提出许多宝贵的意见和建议，在此表示诚挚的感谢。

由于作者的能力和水平不足，本书难免有表述不妥之处，希望读者提出批评和建议，以利再版修正。

编 者

2021 年 10 月



# 目 录

第 1 章 电路的基本概念及理论	1
1.1 电路概述	1
1.1.1 电路	1
1.1.2 电路的组成	1
1.1.3 电路的作用	1
1.1.4 电路模型	2
1.2 电路变量	2
1.2.1 电流	3
1.2.2 电压	4
1.2.3 电动势	5
1.2.4 功率	5
1.2.5 电能及计算	6
1.3 电阻、电容及电感元件	7
1.3.1 电阻元件	7
1.3.2 电容元件	8
1.3.3 电感元件	11
1.4 独立源及受控源	14
1.4.1 独立电源	14
1.4.2 受控电源	15
1.4.3 受控源与独立源的比较	16
1.5 基尔霍夫定律	17
1.5.1 名词解释	17
1.5.2 KCL	17
1.5.3 KVL	18
1.5.4 KCL、KVL 小结	19
1.6 电路中电位的计算	20
1.6.1 电位	20
1.6.2 利用电位简化电路	21
习题 1	24
第 2 章 电阻电路的分析方法	27
2.1 电阻电路的等效变换	27
2.1.1 基本概念	27
2.1.2 电阻串联的等效变换	27

2.1.3 电阻并联的等效变换	28
2.1.4 电阻混联的等效变换	28
2.2 电阻的星形和三角形连接的等效变换	30
2.3 电源的等效变换	32
2.3.1 理想电源的串并联	32
2.3.2 实际电源的等效变换	34
2.4 支路电流法	35
2.4.1 支路电流法概述	36
2.4.2 说明	36
2.5 网孔电流法	37
2.5.1 网孔电流法概述	37
2.5.2 几种特殊情况及处理方法	39
2.6 节点电压法	41
2.6.1 节点电压法概述	41
2.6.2 几种特殊情况及处理方法	42
习题 2	45
第 3 章 电路定理	50
3.1 叠加定理	50
3.1.1 定理的内容及应用方法	50
3.1.2 定理应用时的注意事项	50
3.2 替代定理	53
3.2.1 定理的内容	53
3.2.2 定理应用时的注意事项	53
3.3 其他常用电路定理	54
3.3.1 戴维南定理	54
3.3.2 诺顿定理	56
3.3.3 最大功率传输定理	59
习题 3	61
第 4 章 一阶电路	65
4.1 动态电路的求解	65
4.1.1 求解动态电路的基本步骤	65
4.1.2 一阶微分方程的求解	65

4.2 电路的初始条件 .....	66	6.2 对称三相电源线电压(电流)与 相电压(电流)的关系 .....	121
4.2.1 相关概念 .....	66	6.2.1 星形连接时线电压(电流)与 相电压(电流)的关系 .....	121
4.2.2 电路产生瞬态过程的条件 .....	66	6.2.2 三角形连接时线电压(电流)与 相电压(电流)的关系 .....	121
4.2.3 换路定则 .....	66	6.3 对称三相电路的计算 .....	122
4.2.4 电压和电流初始值的计算 .....	67	6.3.1 对称三相四线制电路的 计算 .....	122
4.3 一阶电路的响应 .....	69	6.3.2 对称三相三线制电路的 计算 .....	123
4.3.1 相关概念 .....	69	6.3.3 对称三相电路的一般计算 方法 .....	123
4.3.2 一阶电路的零输入响应 .....	69	6.4 不对称三相电路的计算 .....	125
4.3.3 一阶电路的零状态响应 .....	72	6.4.1 星形连接 .....	125
4.3.4 一阶电路的全响应 .....	75	6.4.2 三角形连接 .....	127
4.3.5 三要素法 .....	76	6.5 三相电路的功率 .....	130
习题 4 .....	79	习题 6 .....	133
<b>第 5 章 单相交流电路稳态分析 .....</b>	<b>84</b>	<b>第 7 章 半导体器件 .....</b>	<b>136</b>
5.1 正弦量 .....	84	7.1 半导体基础知识 .....	136
5.1.1 相关概念 .....	84	7.1.1 半导体 .....	136
5.1.2 正弦量的表达式 .....	84	7.1.2 PN 结 .....	138
5.2 相量法 .....	87	7.2 二极管 .....	139
5.2.1 复数表示方法 .....	87	7.2.1 二极管的结构和符号 .....	140
5.2.2 正弦电量的相量表示 .....	88	7.2.2 二极管的分类 .....	140
5.2.3 正弦量的计算 .....	90	7.2.3 二极管的型号命名方法 .....	140
5.2.4 电路定理的相量形式 .....	91	7.2.4 二极管的特性 .....	141
5.3 电阻、电感和电容元件的相量 模型 .....	92	7.2.5 二极管的主要参数 .....	143
5.3.1 电阻元件的正弦交流电路 .....	92	7.2.6 二极管电路分析 .....	143
5.3.2 电感元件的正弦交流电路 .....	93	7.2.7 特殊二极管 .....	146
5.3.3 电容元件的正弦交流电路 .....	94	7.3 三极管 .....	151
5.4 阻抗与导纳 .....	96	7.3.1 三极管概述 .....	151
5.4.1 阻抗 .....	97	7.3.2 三极管的电流放大作用 .....	153
5.4.2 导纳 .....	98	7.3.3 三极管的共发射极特性 曲线 .....	156
5.5 正弦交流电路的计算 .....	102	7.3.4 三极管的主要参数 .....	158
5.6 正弦交流电路的功率 .....	105	7.4 场效应管 .....	161
习题 5 .....	112	7.4.1 绝缘栅场效应管 .....	161
<b>第 6 章 三相交流电路稳态分析 .....</b>	<b>118</b>		
6.1 三相电路 .....	118		
6.1.1 三相电源 .....	118		
6.1.2 三相负载及其连接 .....	120		

7.4.2 结型场效应管	163	9.2.1 集成运算放大器概述	211
7.4.3 使用场效应管的注意 事项	165	9.2.2 集成运算放大器内部 电路	212
7.4.4 场效应管与晶体管的 比较	165	9.2.3 集成运算放大器的电路 符号	213
习题 7	167	9.2.4 集成运算放大器的主要 参数	213
<b>第 8 章 基本放大电路</b>	<b>171</b>	9.3 集成运算放大器的基本 应用	215
8.1 放大电路的主要性能指标	171	9.3.1 理想运算放大器的特点	215
8.1.1 放大倍数	171	9.3.2 反相放大与同相放大	216
8.1.2 输入电阻和输出电阻	172	9.3.3 加法运算与减法运算	218
8.1.3 最大不失真输出电压	173	9.3.4 积分运算与微分运算	220
8.2 放大电路的组成和工作 原理	173	9.4 集成运算放大器实用电路 举例	222
8.2.1 放大电路的组成	173	9.4.1 高精度测量放大电路	222
8.2.2 放大电路的工作原理	175	9.4.2 线性整流电路	222
8.3 放大电路的分析方法	179	9.5 电压比较器	224
8.3.1 静态分析	180	9.5.1 过零比较器	224
8.3.2 动态分析	184	9.5.2 一般单门限比较电路	224
8.4 三种基本的晶体管放大 电路	191	9.5.3 迟滞比较电路	225
8.4.1 分压式偏置共射极放大 电路	192	习题 9	229
8.4.2 共集电极放大电路和共基极 放大电路	194	<b>第 10 章 负反馈放大器</b>	<b>232</b>
8.4.3 三种基本放大电路的性能 比较	198	10.1 反馈的基本概念与分类	232
8.5 场效应管放大电路	199	10.1.1 反馈的基本概念	232
8.5.1 共源极放大电路	199	10.1.2 反馈的分类	233
8.5.2 共漏极放大电路	201	10.2 负反馈对放大器性能的 影响	237
8.5.3 共栅极放大电路	202	10.2.1 减小非线性失真	237
习题 8	203	10.2.2 提高增益的稳定性	238
<b>第 9 章 集成运算放大器</b>	<b>207</b>	10.2.3 负反馈对输入电阻的 影响	238
9.1 差分放大电路	207	10.2.4 负反馈对输出电阻的 影响	239
9.1.1 直接耦合放大电路中的 特殊问题	207	10.3 深度负反馈放大电路的 分析	240
9.1.2 基本差分放大电路	208	10.3.1 深度负反馈的特点	240
9.2 集成运算放大器基础	211		

10.3.2 深度负反馈放大电路的 参数估算 .....	240	13.2 单相桥式整流电路 .....	271
习题 10 .....	244	13.3 滤波电路 .....	272
<b>第 11 章 波形的产生、变换与处理</b> .....	<b>246</b>	13.4 稳压电路 .....	274
11.1 正弦波信号发生器 .....	246	13.4.1 稳压电源的主要技术 指标 .....	274
11.1.1 产生正弦波的振荡 条件及组成 .....	246	13.4.2 稳压电路 .....	275
11.1.2 RC 正弦波振荡电路 .....	248	13.4.3 三端集成稳压器 .....	278
11.2 方波、三角波信号发生器 .....	251	习题 13 .....	281
11.2.1 单运放方波、三角波 振荡器 .....	251	<b>第 14 章 逻辑代数基础</b> .....	<b>284</b>
11.2.2 双运放方波、三角波 振荡器 .....	253	14.1 数制与编码 .....	284
习题 11 .....	254	14.1.1 数制 .....	284
<b>第 12 章 功率放大器</b> .....	<b>256</b>	14.1.2 数制之间的转换 .....	286
12.1 功率放大器概述 .....	256	14.1.3 二进制数的算术运算 .....	287
12.1.1 放大电路的特点 .....	256	14.1.4 二进制编码 .....	290
12.1.2 放大电路的要求 .....	256	14.2 二值逻辑变量与基本逻辑 运算 .....	291
12.1.3 功率放大器的分类 .....	256	14.2.1 数字信号的基本概念 .....	291
12.2 乙类互补对称功率放大 电路 .....	257	14.2.2 二值数字逻辑及正、 负逻辑 .....	292
12.2.1 电路组成及工作原理 .....	257	14.2.3 基本逻辑运算 .....	292
12.2.2 功率和效率的估算 .....	258	14.2.4 其他常用逻辑运算 .....	294
12.2.3 交越失真及其消除 .....	258	14.2.5 逻辑函数的表示方法 .....	296
12.3 单电源互补对称功率放大 电路 .....	261	14.2.6 逻辑函数的表示方法的 相互转换 .....	297
12.4 集成功率放大器介绍 .....	263	14.3 逻辑代数的运算规则 .....	300
12.4.1 集成功率放大器的主要 性能指标 .....	263	14.3.1 逻辑代数的基本公式 .....	300
12.4.2 LM386 组成的功放 电路 .....	264	14.3.2 逻辑代数的常用公式 .....	300
12.4.3 TDA2030 组成的功放 电路 .....	265	14.4 逻辑代数的规则 .....	301
习题 12 .....	267	14.4.1 代入规则 .....	301
<b>第 13 章 直流稳压电源</b> .....	<b>270</b>	14.4.2 对偶规则 .....	301
13.1 概述 .....	270	14.4.3 反演规则 .....	301
13.2 整流电路 .....	270	14.5 逻辑函数的标准形式 .....	302
13.2.1 半波整流电路 .....	270	14.5.1 最小项和最大项 .....	302
		14.5.2 逻辑函数的标准或与 式——最小项之和 标准型 .....	304
		14.5.3 逻辑函数的标准或与 式——最大项之积 标准型 .....	304

14.5.4	逻辑函数形式的变换	305	15.4.4	TTL 集成逻辑门电路的 使用要点	328
14.6	逻辑函数的化简	306	习题 15		328
14.6.1	公式化简法	306	<b>第 16 章 组合逻辑电路</b>		<b>331</b>
14.6.2	卡诺图化简法	307	16.1	概述	331
14.6.3	具有无关项的逻辑 函数的化简	310	16.1.1	组合逻辑电路的特点	331
习题 14		312	16.1.2	组合电路逻辑功能的 描述方法	331
<b>第 15 章 逻辑门电路</b>		<b>315</b>	16.1.3	组合逻辑电路的分类	332
15.1	逻辑门电路概述	315	16.2	组合逻辑电路的分析与设计 方法	332
15.1.1	门电路	315	16.2.1	组合逻辑电路的分析 方法	332
15.1.2	正逻辑与负逻辑	315	16.2.2	组合逻辑电路的设计 方法	334
15.1.3	高电平和低电平的 获得	316	16.3	若干典型的组合逻辑集成 电路	337
15.1.4	门电路分类	316	16.3.1	编码器	337
15.2	分立元件门电路	316	16.3.2	译码器	342
15.2.1	二极管与门电路	316	16.3.3	数据分配器	347
15.2.2	二极管或门电路	317	16.3.4	数据选择器	348
15.2.3	三极管非门电路	318	16.3.5	数值比较器	350
15.2.4	二极管与门和或门 电路的缺点	318	16.3.6	加法器	351
15.2.5	与非门电路	319	16.4	组合逻辑电路的竞争与 冒险	355
15.3	CMOS 集成逻辑门电路	320	16.4.1	竞争与冒险	355
15.3.1	CMOS 反相器的电路 结构及工作原理	321	16.4.2	竞争与冒险的判断	355
15.3.2	电压传输特性和电流 传输特性	321	16.4.3	冒险现象的消除	356
15.3.3	输入端噪声容限	322	习题 16		356
15.3.4	CMOS 反相器的静 态输入特性	322	<b>第 17 章 触发器</b>		<b>358</b>
15.3.5	CMOS 反相器的静态 输出特性	323	17.1	RS 触发器	358
15.3.6	传输延迟时间	324	17.1.1	触发器概述	358
15.3.7	交流噪声容限	324	17.1.2	由与非门组成的基本 RS 触发器	359
15.3.8	动态功耗	324	17.1.3	电平触发的触发器的 同步 RS 触发器	360
15.4	TTL 集成逻辑门电路	325	17.2	脉冲触发的主从触发器	363
15.4.1	TTL 与非门电路	325	17.2.1	主从 RS 触发器	363
15.4.2	TTL 非门电路	326			
15.4.3	TTL 或非门和与或非门 电路	327			

17.2.2	主从 JK 触发器	364	习题 18	402	
17.2.3	脉冲触发方式的动作特点	366	<b>第 19 章 脉冲电路</b>	<b>406</b>	
17.3	边沿触发器	367	19.1	描述脉冲的主要参数	406
17.3.1	维持阻塞边沿 D 触发器	367	19.2	555 定时器	407
17.3.2	CMOS 主从结构的边沿触发器	369	19.2.1	555 定时器的电路结构	407
17.4	触发器的逻辑功能及其描述方法	369	19.2.2	555 定时器各引脚的名称和功能	407
17.4.1	时钟触发器按逻辑功能的分类	369	19.2.3	555 定时器的工作原理	408
17.4.2	触发器的电路结构和逻辑功能、触发方式的关系	372	19.3	用 555 定时器接成的施密特触发器	408
17.4.3	触发器的逻辑功能转换	372	19.3.1	施密特触发器电路的组成	409
习题 17		373	19.3.2	施密特触发器的工作原理	409
<b>第 18 章 时序逻辑电路</b>		<b>376</b>	19.3.3	施密特触发器的主要参数	409
18.1	概述	376	19.3.4	施密特触发器的应用	410
18.1.1	时序逻辑电路的构成及结构特点	376	19.4	用 555 定时器接成的多谐振荡器	410
18.1.2	时序电路的分类	377	19.4.1	多谐振荡器电路的组成及工作原理	410
18.2	时序电路的功能描述	377	19.4.2	多谐振荡器振荡频率的估算	411
18.2.1	状态转换表	377	19.4.3	占空比可调的多谐振荡器	411
18.2.2	状态转换图	378	19.5	用 555 定时器接成的单稳态触发器	412
18.2.3	时序图	379	19.5.1	单稳态触发器的工作原理	412
18.3	时序电路的分析	379	19.5.2	单稳态触发器主要参数估算	413
18.3.1	同步时序逻辑电路的分析方法	379	习题 19		414
18.3.2	异步时序逻辑电路的分析方法	382	<b>参考文献</b>		<b>415</b>
18.4	同步时序逻辑电路的设计	383			
18.5	异步时序逻辑电路的设计	385			
18.6	计数器	387			
18.6.1	二进制计数器	388			
18.6.2	十进制计数器	394			
18.6.3	用集成计数器构成任意计数器	398			

# 第1章 电路的基本概念及理论

本章主要介绍电路的基本概念、常见的电路元件、电路中的电压与电流的参考方向和基尔霍夫定律等。电路中的电压、电流受元件伏安特性的约束，同时受基尔霍夫定律的约束，这是电路分析的基础。

## 1.1 电路概述

电路有实际电路与电路模型之分，前者是实际存在的电路，后者是把实际电路在一定条件下理想化而得到。

### 1.1.1 电路

电路就是电流通过的闭合路径，它是由各种电气器件按一定方式用导线连接组成的总体。从广义上来说，电路的结构形式和所能完成的任务是多种多样的，从日常生活中使用的用电设备到工、农业生产中用到的各种生产机械的电器控制部分及计算机、各种测试仪表等，都是电路。图 1-1 所示的手电筒电路是最简单的电路。



图 1-1 手电筒电路

直流电路是由直流电源供电的电路。

### 1.1.2 电路的组成

电路主要由电源、负载和中间环节三部分组成。

(1) 电源。电源是提供电能的装置，把非电能转换成电能，如电池、蓄电池、发电机等。在发电厂内，可以将化学能或机械能等非电能转换为电能。

(2) 负载。负载是消耗电能的装置，把电能转化成非电能，又称用电器，作用是将电能转换成其他形式的能量，如电灯、电炉、扬声器、电动机等。

(3) 中间环节。中间环节用来连接电源和负载，起传递和控制电能的作用，如变压器、输电线等。

### 1.1.3 电路的作用

(1) 进行电能的传输和转换，如照明电路、动力电路等。典型电路是电力系统电路，如图 1-2 所示。

(2) 实现信号的传输和处理，如测量电路、扩音机电路、计算机电路等。典型电路是扩音机电路，如图 1-3 所示。

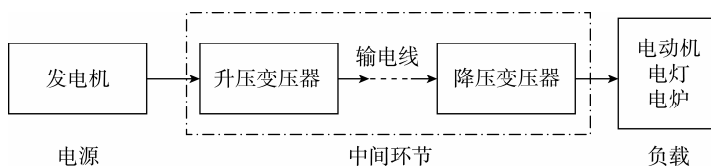


图 1-2 电力系统电路

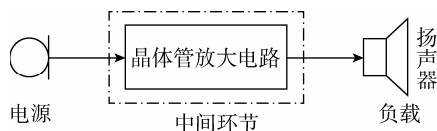


图 1-3 扩音机电路

### 1.1.4 电路模型

(1) 理想化电路元件，是指体现某种基本现象，具有某种确定的电磁性能和精确数学定义的电路元件。理想电路元件不是实际电路的部件，而是一些数学模型，即在一定条件下能够准确地反映实际电路及其部件的电磁性能模型。常用理想元件及符号如表 1-1 所示。

表 1-1 常用理想元件及符号

名称	符号	名称	符号
电阻		电压表	
直流电压源		接地	
灯泡		熔断器	
开关		电容	
电流表		电感	

(2) 电路模型，是指由理想电路元件构成的电路。手电筒电路对应的电路模型如图 1-4 所示。

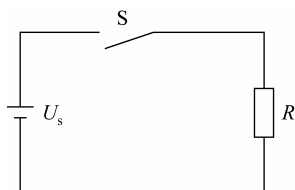


图 1-4 手电筒电路对应的电路模型

## 1.2 电路变量

电压、电流是电路分析中经常用到的两个电路变量，要搞清楚它们的概念、实际方向、参考方向。

## 1.2.1 电流

### 1. 电流的基本概念

电路中, 电荷沿着导体的定向运动形成电流, 其方向规定为正电荷流动的方向(或负电荷流动的反方向), 其大小等于在单位时间内通过导体横截面的电量, 称为电流强度(简称电流), 用符号  $I$  或  $i(t)$  表示, 讨论一般电流时可用符号  $i$ 。

设在  $\Delta t = t_2 - t_1$  时间内, 通过导体横截面的电荷量为  $\Delta q = q_2 - q_1$ , 则在  $\Delta t$  时间内的电流强度可用数学公式表示为

$$i(t) = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

式中,  $\Delta t$  为很小的时间间隔, 时间的国际单位制为秒(s), 电量  $\Delta q$  的国际单位为库仑(C)。电流  $i(t)$  的国际单位为安培(A)。

常用的电流单位还有毫安(mA)、微安( $\mu\text{A}$ )、千安(kA)等, 它们与安培的换算关系为

$$1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A} \quad 1 \mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A} \quad 1 \text{ kA} = 10^3 \text{ A}$$

### 2. 直流电流

如果电流的大小及方向都不随时间变化, 即在单位时间内通过导体横截面的电量相等, 则称之为稳恒电流或恒定电流, 简称直流(direct current), 记为 DC 或 dc, 直流电流要用大写字母  $I$  表示。

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{Q}{t} = \text{常数}$$

直流电流  $I$  与时间  $t$  的关系在  $I-t$  坐标系中为一条与时间轴平行的直线。

### 3. 交流电流

如果电流的大小及方向均随时间变化, 则称为变动电流。对电路分析来说, 正弦交流电流是一种较为重要的变动电流, 其大小及方向均随时间按正弦规律做周期做变化, 将之简称为交流(alternating current), 记为 AC 或 ac, 交流电流的瞬时值用小写字母  $i$  或  $i(t)$  表示。

### 4. 电流的方向

(1) 实际方向。规定正电荷移动的方向或负电荷移动的反方向为电流的实际方向。

(2) 参考方向。人为规定的电流方向。在分析电路时, 常常要知道电流的方向, 但有时电路中电流的实际方向难以判断, 此时可任意选定某一方向作为电流的参考方向(也称正方向)。

所选的参考方向不一定与实际方向一致。

当电流的实际方向与其参考方向一致时, 则电流为正值; 当电流的实际方向与其参考方向相反时, 则电流为负值, 如图 1-5 所示, (a)图参考方向与实际方向一致, (b)图参考方向与实际方向相反。

### 5. 电流参考方向的表示方法

电流参考方向的表示方法有两种。

(1) 用箭头表示: 箭头的指向为电流的参考方向, 如图 1-5 所示。

(2) 用双下标表示:  $I_{AB}$  表示电流的参考方向由  $A$  点指向  $B$  点。

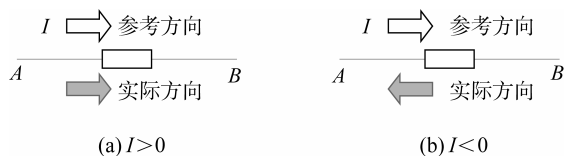


图 1-5 电流的参考方向与实际方向

## 6. 电流的测量

电流用电流表(安培表)来测量。测量时注意:

- (1) 交、直流电流用不同的表测量。
- (2) 电流表应串联在电路中,如图 1-6 所示。
- (3) 直流电流表有正、负端子,用+、-区分,接线时不能接错,如图 1-6 所示。
- (4) 选择正确的量程。

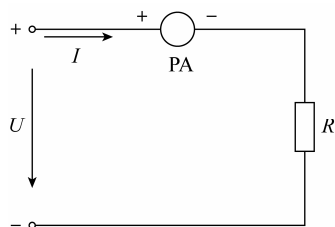


图 1-6 电流测量电路

## 1.2.2 电压

### 1. 电压的概念

电压是指电路中两点  $A$ 、 $B$  之间的电位差(简称电压),其大小等于单位正电荷因受电场力作用从  $A$  点移动到  $B$  点所做的功,电压的方向规定为从高电位指向低电位的方向。

电压的国际单位为伏特(V),常用的单位还有毫伏(mV)、微伏( $\mu\text{V}$ )、千伏(kV)等,它们与伏特的换算关系为

$$1 \text{ mV} = 10^{-3} \text{ V} \quad 1 \mu\text{V} = 10^{-6} \text{ V} \quad 1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V}$$

### 2. 直流电压

如果电压的大小及方向都不随时间变化,则称之为**稳恒电压**或**恒定电压**,简称直流电压,用大写字母  $U$  表示。

### 3. 交流电压

如果电压的大小及方向随时间变化,则称之为变动电压。对电路分析来说,正弦交流电压(简称交流电压)是一种较为重要的变动电压,其大小及方向均随时间按正弦规律做周期性变化。交流电压的瞬时值用小写字母  $u$  或  $u(t)$  表示。

### 4. 电压的方向

- (1) 实际方向: 由高电位指向低电位。
- (2) 参考方向: 人为规定的电压方向。在分析电路时,常常要知道电压的方向,但有时电路中电压的实际方向难以判断,此时可任意选定某一方向作为电压的参考方向(也称正方向)。

所选的参考方向不一定与实际方向一致。

当电压的实际方向与其参考方向一致时,则电压为正值;当电压的实际方向与其参考方向相反时,则电压为负值,如图 1-7 所示。

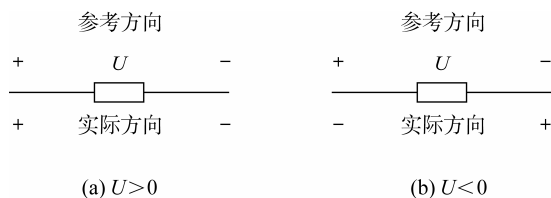


图 1-7 电压的参考方向与实际方向

### 5. 电压参考方向的表示方法

电压参考方向的表示方法有 3 种。

- (1) 用箭头表示,如图 1-8(a)所示。

(2) 用正负号+、-表示,如图 1-8(b)所示。

(3) 用双下标  $U_{AB}$  表示,如图 1-8(c)所示。

## 6. 电压的测量

电压用电压表(伏特表)来测量。测量时注意:

(1) 交、直流电压用不同的表测量。

(2) 电压表应并联在被测电路两端,如图 1-9 所示。

(3) 直流电压表有正、负端子,用+、-区分,接线时不能接错,如图 1-9 所示。

(4) 选择正确的量程。

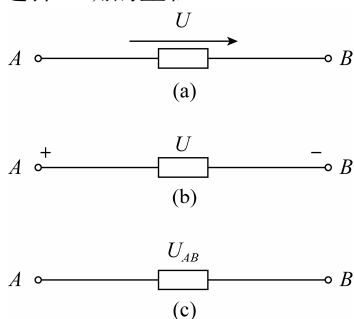


图 1-8 电压参考方向的表示

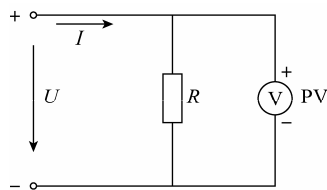


图 1-9 电压测量电路

## 1.2.3 电动势

(1) 物理意义: 正极增加的电能叫电动势,用  $E$  表示。

(2) 电动势的实际方向: 在电源内部由负极指向正极,即电位升,其单位与电压单位相同,也是伏特。

对电源来说,既有电动势,又有端电压。电动势只存在于电源内部,方向由负极指向正极;而端电压只存在于电源外部,其方向由正极指向负极。

一般情况下,电源的端电压总是低于电源内部的电动势,只有当电源开路或者电源的内阻忽略不计时,电源的端电压才与其电动势相等。

## 1.2.4 功率

### 1. 定义

功率指单位时间内能量的变化,其定义式为

$$p(t) = \frac{dw}{dt} = u(t) \frac{dq}{dt} = u(t)i(t)$$

把能量传输(流动)的方向称为功率的方向,消耗功率时功率为正,产生功率时功率为负。符号为  $P$ ,单位为瓦(W)。

### 2. 功率计算中应注意的问题

功率的计算公式为  $p(t) = u(t)i(t)$ ,若选取元件或电路部分的电压  $u$  与电流  $i$  的方向关联,即方向一致。

实际功率  $p(t) > 0$  时,电路部分吸收能量,此时的  $p(t)$  称为吸收功率;

实际功率  $p(t) < 0$  时,电路部分发出能量,此时的  $p(t)$  称为发出功率。

## 1.2.5 电能及计算

在电压、电流选定关联参考方向时，在  $t_0$  到  $t$  时刻部分电路所吸收的能量为

$$w(t_0, t) = \int_{t_0}^t p(\xi) d\xi = \int_{t_0}^t u(\xi) i(\xi) d\xi$$

电能的单位为焦耳(J)，表示功率为 1W 的用电设备在 1s 内消耗的电能。在日常生活中常用度(千瓦·小时, kW·h)来表示电路吸收的电能，就是说 1kW 的设备在 1 小时内消耗的电能 1 度。

**【例 1-1】** 电路如图 1-10 所示，已知电源电动势  $E = 10\text{V}$ ，求  $U_{ab}$  和  $U_{ba}$ 。

解：  $U_{ab} = E = 10\text{V}$ ，  $U_{ba} = -U_{ab} = -10\text{V}$ 。

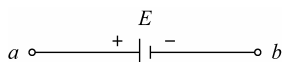


图 1-10 例 1-1 电路图

**【例 1-2】** 有一个功率为 60W 的电灯，每天使用它照明的时间为 4h，如果按每月 30 天计算，那么每月消耗的电能多少度？合多少焦耳？

解：该电灯平均每月工作实际  $t = 4\text{h}/\text{天} \times 30\text{天} = 120\text{h}$ ，则  $W = Pt = 60\text{W} \times 120\text{h} = 7200\text{W} \cdot \text{h} = 7.2\text{kW} \cdot \text{h}$ 。

即每月消耗的电能 7.2 度，所吸收的能量  $3.6 \times 10^6 \text{J} \times 7.2\text{度} \approx 2.6 \times 10^7 \text{J}$ 。

**【例 1-3】** 某 19 寸彩电功率为 180W，平均每天开机 2h，若每度电费 0.5 元，则一年(以 360 天计算)要缴纳多少电费？

解：  $W = Pt = 0.18\text{kW} \times 2\text{h}/\text{天} \times 360\text{天} = 129.6\text{kW} \cdot \text{h} = 129.6\text{度}$

$129.6\text{度} \times 0.5\text{元}/\text{度} = 64.8\text{元}$

**【例 1-4】** 说明图 1-11(a)、(b)中：

(1)  $u$ 、 $i$  的参考方向是否关联？

(2)  $ui$  乘积表示什么功率？

(3) 如果图 1-11(a)中  $u > 0$ 、 $i < 0$ ，图 1-11(b)中  $u > 0$ 、 $i > 0$ ，元件实际发出功率还是吸收功率？

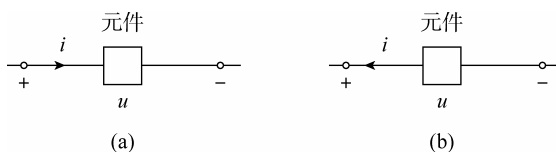


图 1-11 例 1-4 电路图

解：(1) 图 1-11(a)中， $u$ 、 $i$  的参考方向关联——同一元件上的电压、电流的参考方向一致，称为关联参考方向；图 1-11(b)中， $u$ 、 $i$  的参考方向非关联——同一元件上的电压、电流的参考方向相反，称为非关联参考方向。

(2) 图 1-11(a)中， $ui$  乘积表示吸收功率——关联方向下，乘积  $p = ui > 0$  表示元件吸收功率；图 1-11(b)中， $ui$  乘积表示发出功率——非关联方向下，调换电流  $i$  的参考方向之后，乘积  $p = ui < 0$  表示元件发出功率。

(3) 如果图 1-11(a)中  $u > 0$ 、 $i < 0$ ，元件实际发出功率——关联方向下， $u > 0$ ， $i < 0$ ，功率

$p$  为负值, 元件实际发出功率; 如果图 1-11(b) 中  $u > 0$ 、 $i > 0$ , 元件实际吸收功率——非关联方向下, 调换电流  $i$  的参考方向之后,  $u > 0$ ,  $i > 0$ , 功率  $p$  为正值, 元件实际吸收功率。

## 1.3 电阻、电容及电感元件

电阻元件、电感元件和电容元件的概念、伏安关系, 以及功率分析是我们以后分析电路的基础知识。

### 1.3.1 电阻元件

#### 1. 电阻及其与温度的关系

(1) 电阻。电阻元件是对电流呈现阻碍作用的耗能元件, 例如灯泡、电热炉等电器。电阻的计算公式为

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

式中,  $\rho$  为制成电阻的材料电阻率, 国际单位为欧姆·米( $\Omega \cdot \text{m}$ );  $l$  为绕制成电阻的导线长度, 国际单位为米(m);  $S$  为绕制成电阻的导线横截面积, 国际单位为平方米( $\text{m}^2$ );  $R$  为电阻值, 国际单位为欧姆( $\Omega$ )。

经常用的电阻单位还有千欧(k $\Omega$ )、兆欧(M $\Omega$ ), 它们与欧姆( $\Omega$ )的换算关系为

$$1 \text{ k}\Omega = 10^3 \Omega \quad 1 \text{ M}\Omega = 10^6 \Omega$$

(2) 电阻与温度的关系。电阻元件的电阻值大小一般与温度有关, 衡量电阻受温度影响程度的物理量是温度系数, 其定义为温度每升高  $1^\circ\text{C}$  时电阻值发生变化的百分数。

如果设任一电阻元件在温度  $t_1$  时的电阻值为  $R_1$ , 当温度升高到  $t_2$  时电阻值为  $R_2$ , 则该电阻在  $t_1 \sim t_2$  温度范围内的(平均)温度系数为

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1(t_2 - t_1)}$$

如果  $R_2 > R_1$ , 则  $\alpha > 0$ , 将  $R$  称为正温度系数电阻, 即电阻值随着温度的升高而增大; 如果  $R_2 < R_1$ , 则  $\alpha < 0$ , 将  $R$  称为负温度系数电阻, 即电阻值随着温度的升高而减小。显然  $\alpha$  的绝对值越大, 表明电阻受温度的影响也越大。

$$R_2 = R_1[1 + \alpha(t_2 - t_1)]$$

#### 2. 线性电阻

(1) 定义。任何一个二端元件, 若选取元件电压  $U$  与电流  $I$  方向关联, 即方向一致, 如图 1-12 所示, 在任意时刻的电压和电流之间存在代数关系, 即不论电压和电流的波形如何, 电阻元件的伏安关系服从欧姆定律, 即

$$U = RI \quad \text{或} \quad I = U/R = GU$$

式中,  $G = 1/R$ , 电阻  $R$  的倒数  $G$  叫作电导, 其国际单位为西门子(S), 则此二端元件称为电阻元件, 单位为欧姆( $\Omega$ )。

(2) 伏安特性曲线。线性电阻元件的伏安特性曲线是一、三象限的一条过原点的直线, 如图 1-13 所示。

## (3) 短路和开路。

短路： $U=0$ 可看成电阻为零的电阻元件，其特性曲线与  $I$  轴重合。

开路：开路( $I=0$ )可看成电阻为无穷大的电阻元件，其特性曲线与  $U$  轴重合。

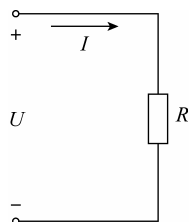


图 1-12 电阻元件

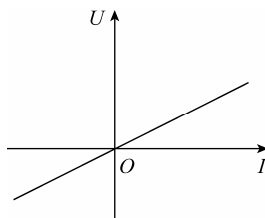


图 1-13 线性电阻元件的伏安特性曲线

(4) 功率。对于任意线性电阻，若选取元件或电路部分的电压  $u$  与电流  $i$  方向关联，即方向一致，因为  $R = u(t) / i(t)$ ，因此  $p(t) = u(t)i(t) > 0$ ，也就是说，这种电阻元件始终吸收功率，为耗能元件。

电阻(或其他的电路元件)上吸收的能量与时间区间相关。设从  $t_0$  到  $t$  时间区间内电阻  $R$  吸收的能量为  $w(t)$ ，则该能量应等于从  $t_0$  到  $t$  对电阻吸收的功率  $p(t)$  做积分，即

$$Q = \int_{t_0}^t i^2(\xi) R d\xi$$

结论：无论电流、电压如何变化，电阻上的功率  $P$  总是大于零，说明电阻总是在消耗功率，电阻是耗能元件。

## 1.3.2 电容元件

### 1. 电容器

(1) 结构。两个彼此靠近又相互绝缘的导体就构成了一个电容器，这对导体叫电容器的两个极板。

(2) 种类。电容器按其电容量是否可变，可分为固定电容器和可变电容器，可变电容器还包括半可变电容器。固定电容器的电容量是固定不变的，它的性能和用途与两极板间的介质有关。一般常用的介质有云母、陶瓷、金属氧化膜、纸介质、铝电解质等。

电解电容器是有正负极之分的，使用时不可将极性接反或接到交流电路中，否则会将电解电容器击穿。

电容量在一定范围内可调的电容器叫可变电容器。半可变电容器又叫微调电容器。

(3) 作用。电容器是储存和容纳电荷的装置，也是储存电场能量的装置。电容器每个极板上所储存的电荷的量叫电容器的电量。

将电容器两极板分别接到电源的正负极上，使电容器两极板分别带上等量异号电荷，这个过程叫电容器的充电过程。

电容器充电后，极板间有电场和电压。

用一根导线将电容器两极板相连，两极板上正负电荷中和，电容器失去电量，这个过程称为电容器的放电过程。

(4) 平行板电容器。由两块相互平行、靠得很近、彼此绝缘的金属板所组成的电容器叫平行板电容器。平行板电容器是一种最简单的电容器。

### 2. 线性电容

(1) 定义。任何一个二端元件，如果在任意时刻的电压和电流之间的关系总可以由  $q - u$

平面上的一条过原点的曲线所决定, 则此二端元件称为电容元件。数学定义式为

$$q=Cu \quad (C \text{ 为正实常数})$$

电容的单位有法拉(F)、微法( $\mu\text{F}$ )、皮法(pF), 它们之间的关系为

$$1 \text{ F} = 10^6 \mu\text{F} = 10^{12} \text{ pF}$$

(2) 元件图形符号。元件图形符号如图 1-14 所示, 图中电压与电流为关联参考方向。

(3) 线性电容的库伏特性曲线。线性电容元件的库伏特性曲线是一、三象限的一条过原点的直线, 如图 1-15 所示。

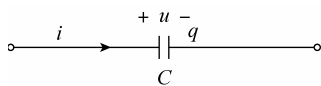


图 1-14 电容元件

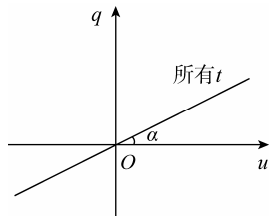


图 1-15 线性电容元件的库伏特性曲线

电容  $C$  表征元件储存电荷的能力, 对于极板电容而言, 其大小不随电路情况变化, 取决于介电常数、极板相对的面积及极板间距。

$$C = \frac{\varepsilon S}{d}$$

(4) 线性电容的伏安特性。由于  $i = \frac{dq}{dt}$ , 而  $q = Cu$ , 所以电容的伏安( $u-i$ )关系为微分关系, 即  $i = C \frac{du}{dt}$ 。由此可见, 电路中流过电容的电流的大小与其两端的电压的变化率成正比, 电压变化越快, 电流越大。可以得出结论: 电容元件隔直通交, 通高阻低。

$i-u$  的关系为积分关系, 即

$$\begin{aligned} q &= \int_{q_1}^{q_2} dq = \int_{t_1}^{t_2} idt \\ q &= \int_{q_1}^{q_2} dq = q_2 - q_1 = \int_{t_1}^{t_2} idt \\ q_2 &= q_1 + \int_{t_1}^{t_2} idt \end{aligned}$$

两边同时除以  $C$ , 有

$$\begin{aligned} \frac{q_2}{C} &= \frac{q_1}{C} + \frac{1}{C} \int_{t_1}^{t_2} idt \\ u(t_2) &= u(t_1) + \frac{1}{C} \int_{t_1}^{t_2} i(t) dt \end{aligned}$$

如果取初始时刻  $t_1 = 0$ ,  $t = t_2$ , 则

$$u_c(t) = u_c(0) + \frac{1}{C} \int_0^t i(t) dt$$

由此可见, 电容元件某一时刻的电压不仅与该时刻流过电容的电流有关, 还与初始时刻的电压大小有关。可见, 电容是一种电压“记忆”元件。

(5) 功率。对于任意线性的正值电容, 若选取元件或电路部分的电压  $u$  与电流  $i$  方向关联, 即方向一致, 则其功率为

$$p = u(t)i(t) = Cu \frac{du}{dt}$$

那么从  $t_0$  到  $t$  时间内, 电容元件吸收的电能为

$$w(t) = \int_{t_0}^t u(\tau)i(\tau)d\tau = \int_{t_0}^t u(\tau)C \frac{du(\tau)}{d\tau} d\tau = \int_{u(t_0)}^{u(t)} u(\tau)d\tau = \frac{1}{2}Cu^2(t) - \frac{1}{2}Cu^2(t_0)$$

则从  $t_1$  到  $t_2$  时间内, 电容元件吸收的电能为

$$w = \frac{1}{2}Cu_2^2 - \frac{1}{2}Cu_1^2$$

也就是说, 当  $u_2 > u_1$  时,  $w > 0$ , 电容吸收能量, 为充电过程; 当  $u_2 < u_1$  时,  $w < 0$ , 电容放出能量, 为放电过程。

(6) 说明以下几点。

- ① 电容为储能元件, 并不消耗电能。
- ② 电容为电压记忆元件, 其电压与初始值有关。
- ③ 电容为动态元件, 其电压、电流为积分关系。
- ④ 电容为电压惯性元件, 即电流为有限值时, 电压不能跃变。
- ⑤ 电容元件隔直通交, 通高阻低。

(7) 电容器的连接包括串联和并联。

① 电容器的串联。把几个电容器首尾相接连成一个无分支的电路, 称为电容器的串联, 如图 1-16 所示。

串联时, 每个极板上的电荷量都是  $q$ 。设每个电容器的电容分别为  $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$ , 电压分别为  $U_1$ 、 $U_2$ 、 $U_3$ , 则

$$U_1 = \frac{q}{C_1}, U_2 = \frac{q}{C_2}, U_3 = \frac{q}{C_3}$$

总电压  $U$  等于各个电容器上的电压之和, 所以

$$U = U_1 + U_2 + U_3 = q \left( \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \right)$$

设串联总电容(等效电容)为  $C$ , 则由  $C = \frac{q}{U}$ , 可得

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

即串联电容器总电容的倒数等于各电容器电容的倒数之和。

② 电容器的并联。如图 1-17 所示, 把几个电容器的一端连在一起, 另一端也连在一起的连接方式叫作电容器的并联。

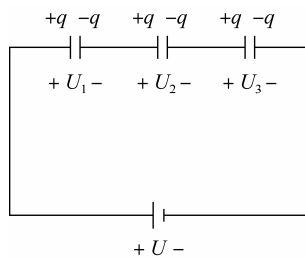


图 1-16 电容器的串联

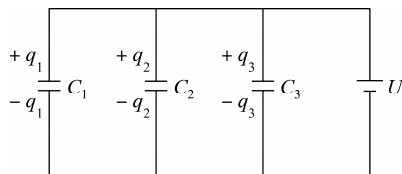


图 1-17 电容器的并联

电容器并联时,加在每个电容器上的电压都相等。设电容器的电容分别为  $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$ ,所带的电量分别为  $q_1$ 、 $q_2$ 、 $q_3$ ,则

$$q_1 = C_1 U, \quad q_2 = C_2 U, \quad q_3 = C_3 U$$

电容器组储存的总电量  $q$  等于各个电容器所带电量之和,即

$$q_1 + q_2 + q_3 = (C_1 + C_2 + C_3)U$$

设并联电容器的总电容(等效电容)为  $C$ ,由  $q = CU$  得  $C = C_1 + C_2 + C_3$ ,即并联电容器的总电容等于各个电容器的电容之和。

(8) 电容器中的电场能量。

① 能量来源。电容器在充电过程中,两极板上有电荷积累,极板间形成电场。电场具有能量,此能量是从电源吸取过来储存在电容器中的。

② 储能大小的计算。电容器充电时,极板上的电荷量  $q$  逐渐增加,两板间电压  $u_C$  也在逐渐增加,电压与电荷量成正比,即  $q = Cu_C$ ,在电压、电流关联参考方向下,功率为

$$p = u_C i_C = u_C C \frac{du_C}{dt}$$

当  $u_C(-\infty) = 0$  时,从  $-\infty$  到  $t$  的时间段内,电容元件吸收的电场能量为

$$W_C = \int_{-\infty}^t p dt = \int_{-\infty}^t Cu_C \frac{du_C}{dt} dt = \int_{-\infty}^{u_C} Cu_C du_C = \frac{1}{2} Cu_C^2(t)$$

式中,电容  $C$  的单位为 F,电压  $u_C$  的单位为 V,电荷量  $q$  的单位为 C,能量的单位为 J。

电容器中储存的能量与电容器的电容成正比,与电容器两极板间电压的平方成正比。

(9) 电容器在电路中的作用。当电容器两端电压增加时,电容器从电源吸收能量并储存起来;当电容器两端电压降低时,电容器便把它原来所储存的能量释放出来。即电容器本身只与电源进行能量交换,而并不损耗能量,因此电容器是一种储能元件。

实际的电容器由于介质漏电及其他原因,也要消耗一些能量,使电容器发热,这种能量消耗称为电容器的损耗。

(10) 电容器质量的判别。利用电容器的充放电作用,可用万用表的电阻挡来判别较大容量电容器的质量。

将万用表的表棒分别与电容器的两端接触,若指针偏转后又很快回到接近起始位置的地方,则说明电容器的质量很好,漏电很小;若指针回不到起始位置,停在标度盘某处,说明电容器漏电严重,这时指针所指的电阻数值即该电容的漏电阻值;若指针偏转到零欧位置后不再回去,说明电容器内部短路;若指针根本不偏转,则说明电容器内部可能断路。

### 1.3.3 电感元件

#### 1. 定义

任何一个二端元件,如果在任意时刻的电压和电流之间的关系总可以由自感磁通链-电流( $\Psi - i$ )平面上的一条过原点的曲线所决定,则此二端元件称为电感元件。数学定义式为

$$\Psi = Li$$

式中,  $\Psi$  为通过线圈的磁链,  $\Psi = N\Phi$ , 单位是韦伯(Wb);  $I$  为通过线圈的电流,单位是安培(A);  $L$  为比例常数,称为线圈的电感或自感系数,简称自感,体现电感线圈储存磁场的的能力,单位是亨利(H)。

## 2. 元件符号与图形

电感元件符号与图形如图 1-18 所示。

## 3. 线性电感元件的韦安特性曲线

线性电感元件的韦安特性曲线是一、三象限的一条过原点的直线，如图 1-19 所示。

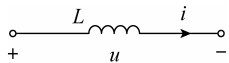


图 1-18 电感元件符号

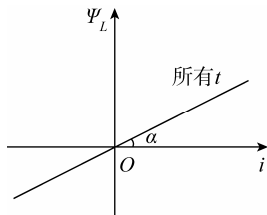


图 1-19 线性电感元件的韦安特性曲线

## 4. 线性电感的伏安特性

由楞次定理可得  $u_L = L \frac{d\phi_L}{dt}$ ，而  $\phi_L = Li(t)$ ，所以电感的伏安( $u-i$ )关系为  $u_L = L \frac{di}{dt}$ 。

由此可见，电路中电感两端的电压的大小与流过它的电流的变化率成正比，电流变化越快，电压越高。可以得出结论：电感元件通直隔交，通低阻高。

$u-i$  关系为积分关系，即

$$i(t) = i(t_1) + \frac{1}{L} \int_{t_1}^t u(t) dt$$

如果取初始时刻  $t_0=0$ ，则

$$i(t) = i(0) + \frac{1}{L} \int_0^t u(t) dt$$

由此可见，电感元件某一时刻流过的电流不仅与该时刻电感两端的电压有关，还与初始时刻的电流大小有关。可见，电感是一种电流“记忆”元件。

## 5. 功率

对于任意线性的正值电感，若选取元件或电路部分的电压  $u$  与电流  $i$  方向关联，其功率为

$$p = u_L i_L = Li_L \frac{di_L}{dt}$$

那么，从  $t_0$  到  $t$  时间内，电容元件吸收的电能为

$$W_L = \int_{-\infty}^t p dt = \int_{-\infty}^t Li_L \frac{di_L}{dt} dt = \int_{-\infty}^{i_L} Li_L di_L = \frac{1}{2} Li_L^2(t)$$

从  $t_1$  到  $t_2$  时间内，电感元件吸收的电能为

$$W_L = \frac{1}{2} Li_L^2(t_2) - \frac{1}{2} Li_L^2(t_1)$$

也就是说，当  $i_2(t) > i_1(t)$  时， $W_L > 0$ ，电感吸收能量，为充电过程；当  $i_2(t) < i_1(t)$  时， $W_L < 0$ ，电感放出能量，为放电过程。

## 6. 说明

- (1) 电感为储能元件，并不消耗电能。
- (2) 电感为电流记忆元件，其电流与初始值有关。

- (3) 电感为动态元件，其电流、电压为积分关系。  
 (4) 电感为电流惯性元件，即电压为有限值时，电流不能跃变。  
 (5) 电感元件通直隔交，通低阻高。

【例 1-5】已知  $C=6\mu\text{F}$ ，流过该电容的电流波形如图 1-20 所示，当初始电压为  $0\text{V}$  时，求：

- (1)  $u(t)$  波形；  
 (2)  $p(t)$ ；  
 (3)  $t=1\text{s}$ 、 $2\text{s}$ 、 $\infty$  时的储能。

解：(1)  $u_C(t) = u_C(0) + \frac{1}{C} \int_0^t i(t) dt$ ，因此可以先写出  $i(t)$  的函数方程：

$$i(t) = \begin{cases} 1 & 0 < t \leq 1\text{s} \\ 2t - 4 & 1\text{s} < t \leq 2\text{s} \\ 0 & t > 2\text{s} \end{cases}$$

当  $0 < t < 1\text{s}$  时， $u_C(t) = u_C(0) + \frac{1}{C} \int_0^t i(t) dt = t$ ；

当  $t=1\text{s}$  时， $u(1)=1\text{V}$ ；

当  $1\text{s} < t < 2\text{s}$  时， $u_C(t) = u_C(1) + \frac{1}{C} \int_1^t i(t) dt = t^2 - 4t + 4$ ；

当  $t=2\text{s}$  时， $u(2)=0\text{V}$ ；

当  $t > 2\text{s}$  时， $u_C(t) = u_C(2) + \frac{1}{C} \int_2^t i(t) dt = 0$ 。

所以，函数  $u(t)$  为

$$u(t) = \begin{cases} t & 0 < t \leq 1\text{s} \\ t^2 - 4t + 4 & 1\text{s} < t \leq 2\text{s} \\ 0 & t > 2\text{s} \end{cases}$$

$u(t)$  波形如图 1-21 所示。

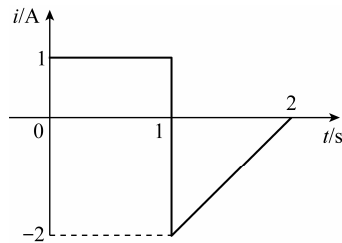


图 1-20 例 1-5 电路图

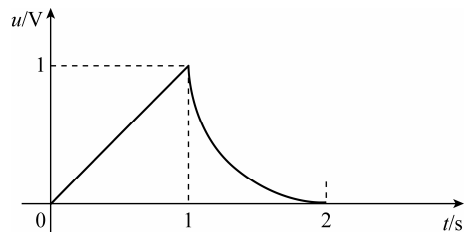


图 1-21 例 1-5 波形图

(2) 因为

$$i(t) = \begin{cases} 1 & 0 < t \leq 1\text{s} \\ 2t - 4 & 1\text{s} < t \leq 2\text{s} \\ 0 & t > 2\text{s} \end{cases}, \quad u(t) = \begin{cases} t & 0 < t \leq 1\text{s} \\ t^2 - 4t + 4 & 1\text{s} < t \leq 2\text{s} \\ 0 & t > 2\text{s} \end{cases}$$

所以

$$p(t) = u(t)i(t) = \begin{cases} t & 0 < t \leq 1\text{s} \\ 2t^3 - 12t^2 + 24t - 16 & 1\text{s} < t \leq 2\text{s} \\ 0 & t > 2\text{s} \end{cases}$$

(3) 因为  $u(0)=0$ , 所以  $W_C(0) = \frac{1}{2}Cu_C^2(0) = 0$ 。

当  $t=1\text{s}$  时,  $u(1)=1\text{V}$ ,  $W_C(1) = \frac{1}{2}Cu_C^2(1) = 3 \times 10^6 \text{J}$ ;

当  $t=2\text{s}$  时,  $u(2)=0\text{V}$ ,  $W_C(2) = \frac{1}{2}Cu_C^2(2) = 0$ ;

当  $t=h$  时,  $u(h)=0$ ,  $W_C(\infty) = \frac{1}{2}Cu_C^2(\infty) = 0$ 。

## 1.4 独立源及受控源

实际电源有蓄电池、发电机等。电压源、电流源是从实际电源抽象得到的电路模型。受控源反映了电路某支路的电压或电流对另一支路的电压或电流的控制功能。

### 1.4.1 独立电源

独立电源就是电压源的电压(电流源的电流)一定, 与流过的电流(两端的电压)无关的元件, 也与其他支路的电流电压无关。独立电源分为独立电压源和独立电流源。

#### 1. 独立电压源

(1) 定义。独立电压源也称理想电压源, 是一个理想的二端元件, 其端电压为定值或给定的时间函数, 与流过的电流无关。

恒压源是输出电压为直流时的理想电压源。

理想电压源的两个基本性质:

- ① 电源两端的电压是给定值或给定的时间函数。
- ② 输出电流是由外电路与电压源共同决定的。

(2) 元件符号与图形。电压源的图形符号如图 1-22 所示。端电压  $U_S(t)$  为定值或给定的时间函数, 与流过的电流无关。

(3) 伏安特性曲线。独立电压源的伏安特性曲线如图 1-23 所示。它的电压为给定的时间函数, 与流过的电流无关, 是平行于电流轴的一条直线。

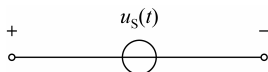


图 1-22 电压源符号

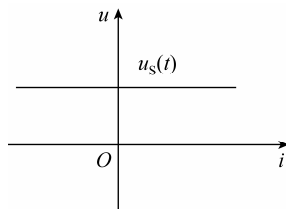


图 1-23 独立电压源的伏安特性曲线

(4) 说明。

- ① 电压源为一种理想模型。
- ② 与电压源并联的元件，其端电压为电压源的值。
- ③ 电压源的功率从理论上来说可以为无穷大。

## 2. 独立电流源

(1) 定义。独立电流源也称理想电流源，是一个理想的二端元件，其电流为定值或给定的时间函数，与其端电压无关。

恒流源是输出电流为直流时的理想电流源。

理想电流源的两个基本性质：

- ① 输出电流是给定值或给定的时间函数，其电流是任意的。
- ② 端电压是由外电路与电流源共同决定的。

(2) 元件符号与图形。电流源的图形符号如图 1-24 所示。电流  $I_S(t)$  为定值或给定的时间函数，与其端电压无关。

(3) 伏安特性曲线。独立电流源的伏安特性曲线如图 1-25 所示。它的电流为给定的时间函数，与端电压无关，是平行于电压轴的一条直线。

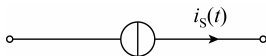


图 1-24 电流源符号

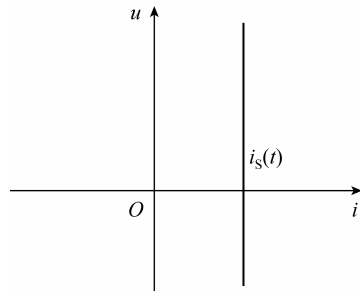


图 1-25 独立电流源的伏安特性曲线

(4) 说明。

- ① 电流源为一种理想模型。
- ② 与电流源串联的元件，流过其的电流为电流源的值。
- ③ 电路中所含的电源均为直流电源时，电路称为直流电路。直流电路中的电量用大写字母表示。

## 1.4.2 受控电源

### 1. 定义

电压或电流的大小和方向不是给定的时间函数，而是受电路中某处的电压(或电流)控制的电源，称为受控电源。

### 2. 元件符号

受控源是从晶体管、电子管电路中总结出来的一种双口元件模型。图 1-26 所示为 4 种受控源的符号，分别为电流控制电压源 CCVS、电流控制电流源 CCCS、电压控制电压源 VCVS、电压控制电流源 VCCS。

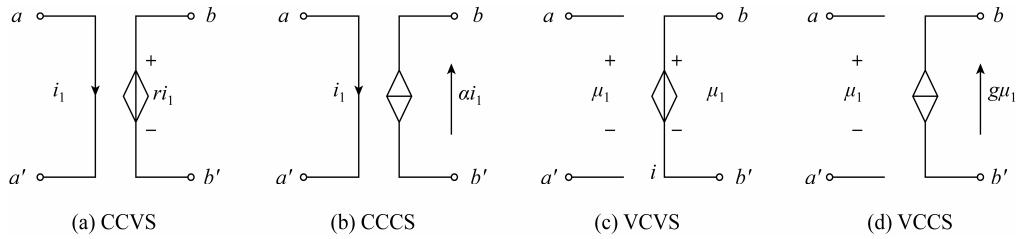


图 1-26 受控源

### 3. 伏安关系

每一种线性受控源可由线性方程式来表示。

电压控制电压源 VCVS:  $u_2 = \mu u_1$ ,  $\mu$  为转移电压比。

电流控制电压源 CCVS:  $u_2 = r i_1$ ,  $r$  为转移电阻。

电压控制电流源 VCCS:  $i_2 = g u_1$ ,  $g$  为转移电导。

电流控制电流源 CCCS:  $i_2 = a i_1$ ,  $a$  为转移电流比。

受控源用来反映电路中某处的电压或电流能控制另一处的电压或电流这一现象，或表示一处的电路变量与另一处电路变量之间的一种耦合关系。

#### 1.4.3 受控源与独立源的比较

独立源电压(或电流)由电源本身决定，与电路中其他电压、电流无关，而受控源电压(或电流)由控制量决定。

独立源在电路中起“激励”作用，在电路中产生电压、电流，而受控源反映电路中某处的电压或电流对另一处的电压或电流的控制关系，在电路中不能起“激励”作用。

【例 1-6】已知电路如图 1-27 所示，求：

- (1) 电路中各个元件的功率；
- (2) 其中的受控源是否可以用电阻元件代替，若能，电阻值为多少？

解：列写电路方程： $5 - 5I = -10I$ ，解得  $I = -1A$ 。由受控源的电压、电流的实际方向可以看出，受控源吸收的功率为  $P = UI = 5W$ ，因此可以用电阻元件代替，如果替代的电阻值为  $R$ ，则  $P = I^2 R = 5$ ，得  $R = 5\Omega$ 。

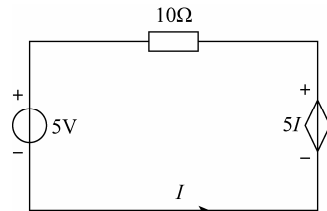


图 1-27 例 1-6 电路图

【例 1-7】在指定的电压  $u$  和电流  $i$  的参考方向下，写出图 1-28 所示各元件的  $u$  和  $i$  的约束方程。

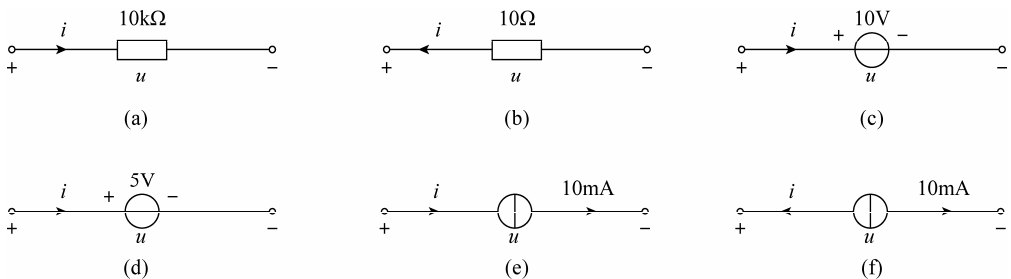


图 1-28 例 1-7 电路图

- 解: (a) 电阻元件,  $u$ 、 $i$  为关联参考方向, 由欧姆定律可得  $u = Ri = 10^4 i$ ;  
 (b) 电阻元件,  $u$ 、 $i$  为非关联参考方向, 由欧姆定律可得  $u = -Ri = -10 i$ ;  
 (c) 理想电压源与外部电路无关, 故  $u = 10V$ ;  
 (d) 理想电压源与外部电路无关, 故  $u = -5V$ ;  
 (e) 理想电流源与外部电路无关, 故  $i = 10 \times 10^{-3} A = 10^{-2} A$ ;  
 (f) 理想电流源与外部电路无关, 故  $i = -10 \times 10^{-3} A = -10^{-2} A$ 。

## 1.5 基尔霍夫定律

基尔霍夫定律包括基尔霍夫电流定律(KCL)和基尔霍夫电压定律(KVL)。它反映了电路中所有支路电压和电流所遵循的基本规律, 是分析电路的基本定律。基尔霍夫定律与元件特性构成了电路分析的基础。

电路是由电路元件按照一定的方式组成的系统, 因此整个电路的表现既取决于电路中各个元件的特性, 也取决于电路中的元件的连接方式。

### 1.5.1 名词解释

- (1) 支路: 电路中每一个二端元件就称为一条支路或电路中通过同一电流的分支。
- (2) 节点: 电路中各个支路的连接点。
- (3) 回路: 电路中的任一闭合路径。
- (4) 网孔: 对平面电路, 其内部不含任何支路的回路称网孔。

网孔是回路, 但回路不一定是网孔。例如, 图 1-29 中共有 8 条支路, 分析时也可以看成 7 条支路, 即 4 和 8 为同一条支路。图 1-29 中共有 4 个节点, 分析时也可以看成 3 个节点, 即 4 和 8 之间的连接点不算作节点。图 1-29 中共有 4 个网孔, 10 个回路。

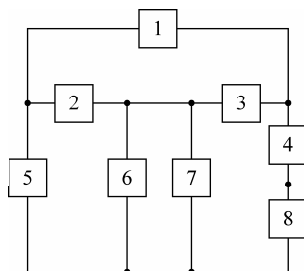


图 1-29 电路框图一

### 1.5.2 KCL

(1) 定律内容。对于任一集总电路中的任一节点, 在任一时刻, 流进(或流出)该节点的所有支路电流的代数和为零; 或对于任一集总电路中的任一节点, 在任一时刻, 流进该节点的所有支路电流的和等于流出该节点的所有支路电流的和。即如果  $i_k(t)$  表示流入(或流出)节点的电流,  $n$  为节点处的支路数, 有下面的式子成立:

$$\sum_{k=1}^n i_k(t) = 0 \quad \text{或} \quad \sum i_{\lambda} = \sum i_{\text{出}}$$

- (2) 定律的实质是电荷守恒。
- (3) 关于 KCL 的说明有以下几点。
  - ① KCL 是电荷守恒和电流连续性原理在电路中任意节点处的反映。
  - ② KCL 是对节点处支路电流加的约束, 与支路上的元件无关, 与电路是线性还是非线性无关。

③ KCL 方程是按电流参考方向列写的，与电流实际方向无关。

④ KCL 可推广应用于电路中包围多个节点的任一闭合面——广义节点。

例如，图 1-30(a)中， $i_1 + i_2 = i_3$  或  $i_1 + i_2 - i_3 = 0$ ；图 1-30(b)中， $i_1 + i_2 + i_3 = 0$ 。

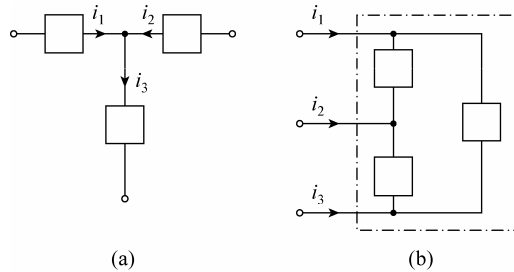


图 1-30 电路框图二

### 1.5.3 KVL

(1) 定律内容。对于任一集总电路中的任一回路，在任一时刻沿着该回路的所有支路电压降的代数和为零；或对于任一集总电路中的任一回路节点，在任一时刻沿着该回路的所有支路的电压降的和等于沿着该回路的所有支路的电压升的和。即如果  $v_k(t)$  表示回路中第  $k$  条支路电压， $k$  为回路中的支路数，有下面的式子成立：

$$\sum_{k=1}^n u_k(t) = 0 \quad \text{或} \quad \sum u_{\text{升}} = \sum u_{\text{降}}$$

(2) 定律的实质是电荷守恒和能量守恒。

(3) 关于 KVL 的说明有以下几点。

① KVL 反映了电路遵从能量守恒。

② KVL 是对回路中的支路电压加的约束，与回路各支路上的元件无关，与电路是线性还是非线性无关。

③ 使用 KVL 时，直接用参考方向根据选定的绕行方向列写方程。

④ KVL 也适用于电路中任一假想的回路——广义回路。

例如在图 1-31 中，选择箭头所示的方向作为列写方程的绕行方向。对于 1、3、4 组成的回路，有  $u_1 + u_3 - u_4 = 0$ 。对于 1、2、4、5、7、8 组成的回路，有  $u_1 - u_2 - u_4 - u_5 + u_7 + u_8 = 0$ 。

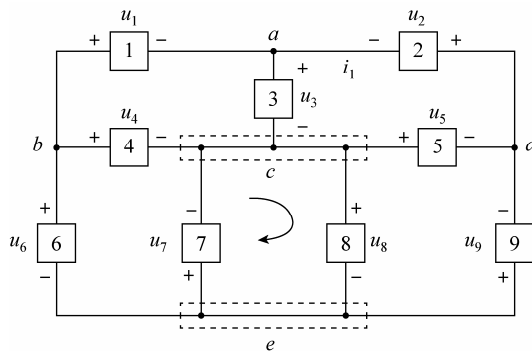


图 1-31 电路框图三

另外，注意列写 KVL 方程时使用双下标表示方法，在实际使用时常常用到两点间电

压与路径无关的结论, 例如对于图 1-31, 有

$$u_{ce} = u_8 = -u_7 = u_{cb} + u_{be} = -u_4 + u_6 = u_{cd} + u_{de} = -u_9 + u_5$$

### 1.5.4 KCL、KVL 小结

- (1) KCL 是对支路电流的线性约束, KVL 是对回路电压的线性约束。
- (2) KCL、KVL 与组成支路的元件性质及参数无关。
- (3) KCL 表明电荷在每一节点上是守恒的, KVL 是能量守恒的具体体现(电压与路径无关)。
- (4) 电路中 KCL、KVL 方程的独立性。

对于具有  $n$  个节点、 $b$  条支路、 $m$  个网孔的平面电路, 独立的 KCL 方程为  $n-1$  个, 独立的 KVL 方程为  $m$  个, 其中  $m = b - (n-1)$ 。

**【例 1-8】** 试求图 1-32 所示电路中控制量  $u_1$  及电压  $u$ 。

解: 设电流为  $i$ , 列 KVL 方程

$$\begin{cases} 1000i + 10 \times 10^3 i + 10u_1 = 2 \\ u_1 = 10 \times 10^3 i + 10u_1 \end{cases}$$

得:

$$u_1 = 20\text{V}$$

$$u = 200\text{V}$$

**【例 1-9】** 求图 1-33 所示电路中的电流  $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$ 、 $I_4$ 。

解: 对节点  $A$  应用 KCL, 得

$$I_3 = -8 - 6 - 4 = -18\text{A}$$

对节点  $B$  应用 KCL, 得

$$I_4 = 15 + 7 + I_3 = 15 + 7 - 18 = 4\text{A}$$

对节点  $C$  应用 KCL, 得

$$I_1 = 10 + I_4 - 5 = 10 + 4 - 5 = 9\text{A}$$

对节点  $D$  应用 KCL, 得

$$I_2 = I_1 + 6 + 6 = 9 + 6 + 6 = 21\text{A}$$

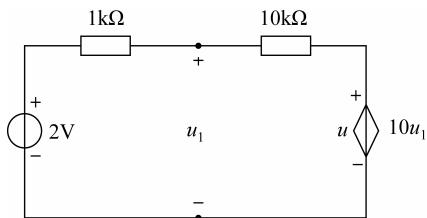


图 1-32 例 1-8 电路图

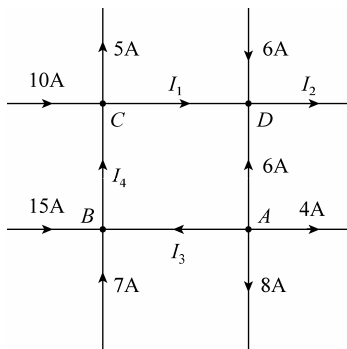


图 1-33 例 1-9 电路图

**【例 1-10】** 图 1-34(a)所示电路中, 求两电源的功率, 并指出哪个元件吸收功率? 哪个元件发出功率? 图 1-34(b)所示电路中, 哪个元件的工作状态与  $R$  有关? 并确定  $R$  为何值时, 该元件是吸收功率、发出功率及功率为零?

解：图 1-34(a)中，由题中所给条件及功率计算公式得

$$P_{U_s} = -15 \times 3 = -45\text{W}, \quad P_{I_s} = 15 \times 3 = 45\text{W}$$

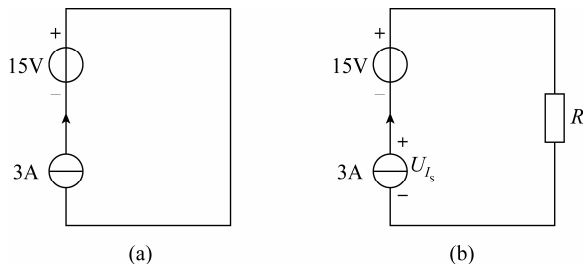


图 1-34 例 1-10 电路图

计算表明，电流源吸收功率，电压源发出功率。

图 1-34(b)中，电压源发出 45W 功率，电阻吸收功率，电流源的工作状态与 R 有关。

当  $U_{I_s} = -15 + 3R > 0$ ，即  $R > \frac{15}{3} = 5\Omega$  时，电流源发出功率。

当  $U_{I_s} = -15 + 3R < 0$ ，即  $R < \frac{15}{3} = 5\Omega$  时，电流源吸收功率。

当  $U_{I_s} = -15 + 3R = 0$ ，即  $R = \frac{15}{3} = 5\Omega$  时，电流源功率为零。

【例 1-11】求图 1-35 所示电路中的  $U_s$ 、 $R_1$  和  $R_2$ 。

解：根据 KCL、KVL 及欧姆定律得

$$I_2 = \frac{3}{2} = 1.5\text{A}$$

$$I_1 = 2 - I_2 = 2 - 1.5 = 0.5\text{A}$$

$$U_{R_2} = 5 - 3 = 2\text{V}$$

$$R_2 = \frac{U_{R_2}}{I_2} = \frac{2}{1.5} \approx 1.3333\Omega$$

$$R_1 = \frac{5}{I_1} = \frac{5}{0.5} = 10\Omega$$

$$U_s = 3 \times 2 + 5 = 11\text{V}$$

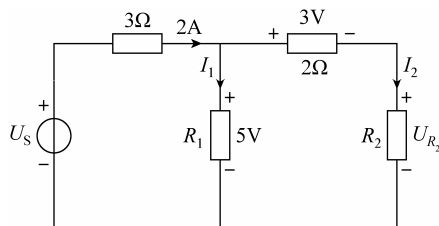


图 1-35 例 1-11 电路图

## 1.6 电路中电位的计算

电压是两点之间的电位差，某点电位是在选定参考点之后，该点与参考点之间的电压。电位是相对的，电压是绝对的。

### 1.6.1 电位

(1) 定义。电路中某点的电位定义为该点到参考点的电压。

进行电路研究时,常常要分析电路中各点电位的高低。为了确定电路中各点的电位值,必须选择电位的零点,即参考点,在电路图中用符号“⊥”来表示,又称零电位。若电路中 $O$ 点为参考点,则 $V_o=0V$ 。其他各点的电位都同它相比较,比它高的电位为正,比它低的电位为负。

电路中某一点的电位等于该点到参考点之间的电压。

根据定义,电路中 $a$ 点的电位为 $V_a=U_{ao}$

(2) 电位和电压的区别如下:

① 电位针对一点 $V_a=U_{ao}$ , 电压针对两点 $U_{ab}=V_a-V_b$ 。

② 电位是相对的,电压是绝对的。

(3) 电位的意义如下:

① 相对的;

② 参考点不同,同一点电位不同。

③ 一旦参考点选定,同一点的电位唯一。

## 1.6.2 利用电位简化电路

(1) 简化电路的意义。在电子线路中,由于电路中的各个支路常常具有公共交汇点,因此为了方便绘制电路图及简便计算过程,于是采用简化电路。

(2) 简化方法如下:

① 选取多条支路的交汇点作为电路参考点(地),一般将“地”选取在与电源直接相连处。

② 将与地相连的电源及其与地的连线去掉,并用带有+、-符号及大小的标注代替。

③ 保留电路的其他所有部分。

例如,图 1-36 所示为省略电源的简化电路。

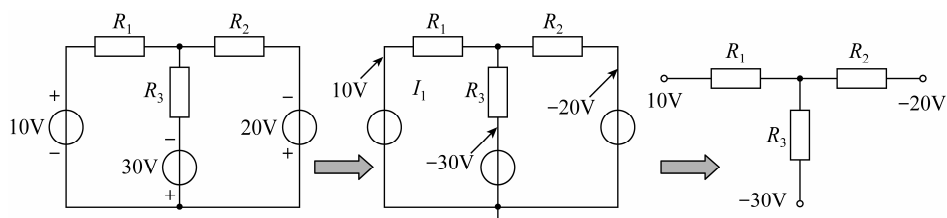


图 1-36 省略电源的简化电路

**【例 1-12】** 已知电路如图 1-37 所示,求开关 $S$ 断开与闭合时 $A$ 点的电位。

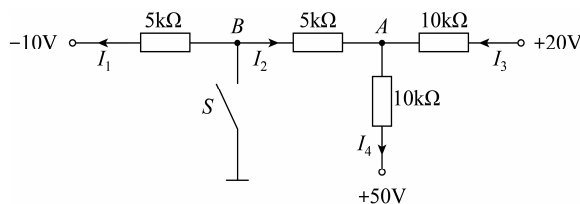


图 1-37 例 1-12 电路图

解:  $S$  断开时, 因为

$$I_1 = -I_2 = \frac{V_A - (-10)}{5 + 5} = \frac{V_A + 10}{10}$$

$$I_3 = \frac{20 - V_A}{10}$$

$$I_4 = \frac{V_A - 50}{10}$$

对节点  $A$  列写 KCL 方程:  $I_2 + I_3 = I_4$ , 可以解出所求的  $V_A = 20V$ 。  
当开关  $S$  闭合时,  $V_B = 0$ , 则

$$I_2 = \frac{V_B - V_A}{5} = -\frac{V_A}{5}$$

$$I_3 = \frac{20 - V_A}{10}$$

$$I_4 = \frac{V_A - 50}{10}$$

对节点  $A$  列写 KCL 方程:  $I_2 + I_3 = I_4$ , 可以解出所求的  $V_A = 17.5V$ 。

**【例 1-13】** 三极管特性为  $I_C = \beta I_B = 37.5 I_B$ ,  $U_{BE} = 0.7V$ , 由三极管组成的放大电路的静态电路如图 1-38 所示。求  $I_B$ 、 $I_C$ 、 $U_{CE}$ (静态工作点)。

**解:** 根据基尔霍夫定律, 由图 1-38 中左回路和右回路可以列写方程如下:

$$300I_B + U_{BE} = 12$$

$$4I_C + U_{CE} = 12$$

$$I_C = \beta I_B = 37.5 I_B, U_{BE} = 0.7V, I_E = I_B + I_C,$$

可以解得:

$$I_B = \frac{V_{CC} - U_{BE}}{R_B} \approx \frac{V_{CC}}{R_B} = 0.04mA = 40\mu A$$

$$I_C = \beta I_B = 37.5 \times 40 = 1.5mA$$

$$U_{CE} = V_{CC} - I_C R_C = 12 - 1.5 \times 4 = 6V$$

对这样的简化电路进行分析计算有一定的技巧与方法, 一般来说都是通过求取电路中的各点电位, 从而得出其他一些未知量。求取各点电位时, 往往使用对节点列写 KCL 方程的方法。

**【例 1-14】** 求图 1-39(a)所示电路在开关  $S$  打开和闭合两种情况下  $A$  点的电位; 求图 1-39(b)所示电路中  $B$  点的电位。

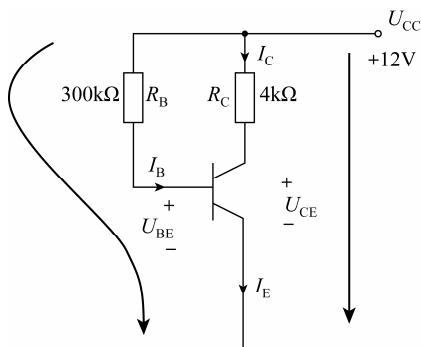
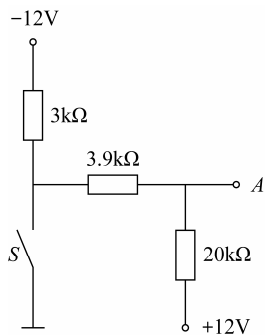
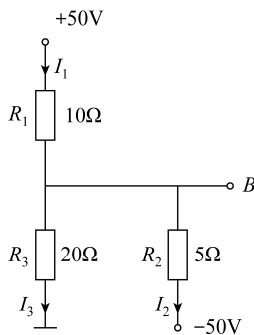


图 1-38 例 1-13 电路图



(a)



(b)

图 1-39 例 1-14 电路图

解:  $S$  打开时, 有

$$V_A = \frac{-12-12}{3+3.9+20} \times 20 + 12 = -5.8439 \text{ V}$$

$S$  闭合时, 有

$$V_A = \frac{0-12}{3.9+20} \times 20 + 12 = 1.9582 \text{ V}$$

对图 1-39(b)所示电路应用欧姆定律, 得

$$I_1 = \frac{50 - V_B}{R_1} = \frac{50 - V_B}{10} = 5 - 0.1V_B$$

$$I_2 = \frac{V_B - (-50)}{R_2} = \frac{V_B + 50}{5} = 10 + 0.2V_B$$

$$I_3 = \frac{V_B}{R_3} = \frac{V_B}{20} = 0.05V_B$$

对节点  $B$  应用 KCL, 有

$$I_1 = I_2 + I_3$$

即

$$5 - 0.1V_B = 10 + 0.2V_B + 0.05V_B$$

可得

$$V_B = \frac{-10 + 5}{0.1 + 0.2 + 0.05} = -14.286 \text{ V}$$

【例 1-15】求图 1-40 所示电路中各点的电位。

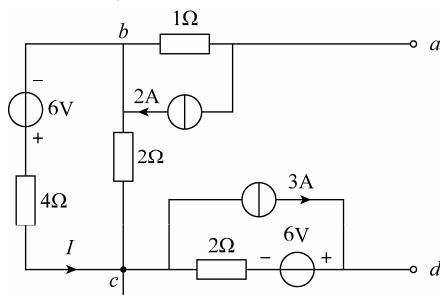


图 1-40 例 1-15 电路图

解: 因端口  $a$ 、 $d$  开路, 故有

$$I = \frac{6}{4+2} = 1 \text{ A}$$

电路中各点电位分别为

$$V_c = 0 \text{ V}$$

$$V_d = V_c + 6 + 2 \times 3 = 12 \text{ V}$$

$$V_b = V_c - 2I = -2 \times 1 = -2 \text{ V}$$

$$V_a = V_b - 2 \times 1 = -2 - 2 = -4 \text{ V}$$

# 习题 1

1. 在图 1-41 所示电路中, 已知  $U=4V$ , 电流  $I=-2A$ , 则电阻值  $R$  为( )。
2. 在图 1-42 所示电路中,  $U_S$ 、 $I_S$  均为正值, 其工作状态是( )。
3. 图 1-43 所示电阻元件  $R$  消耗电功率  $10W$ , 则电压  $U$  为( )。

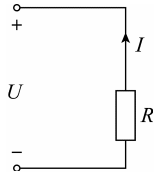


图 1-41 题 1 图

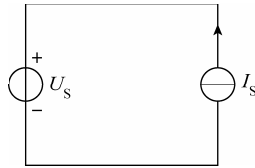


图 1-42 题 2 图

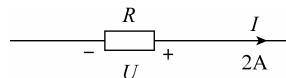


图 1-43 题 3 图

4. 一个实际电源可以用电压源模型表示, 也可以用电流源模型来表示。在这两种模型中, 该实际电源的内阻应为( )。
5. 理想电流源的外接电阻越大, 则它的端电压( )。
6. 理想电压源的外接电阻越大, 则流过理想电压源的电流( )。
7. 图 1-44 所示电路中, 当  $R_1$  增加时, 电压  $U_2$  将( )。
8. 图 1-45 所示电路中, 当  $R_1$  增加时, 电流  $I_2$  将( )。

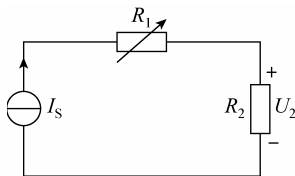


图 1-44 题 7 图

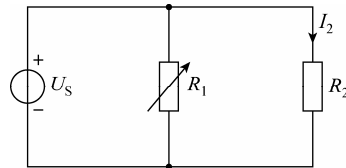


图 1-45 题 8 图

9. 在图 1-46 所示电路中, 已知电流  $I_1=1A$ ,  $I_3=-2A$ , 则电流  $I_2$  为( )。
10. 在图 1-47 所示电路中, 已知  $U_S=2V$ ,  $I_S=2A$ 。电流  $I$  为( )。

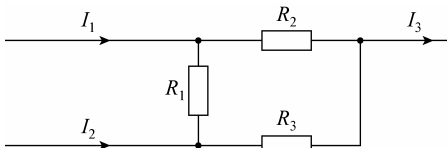


图 1-46 题 9 图

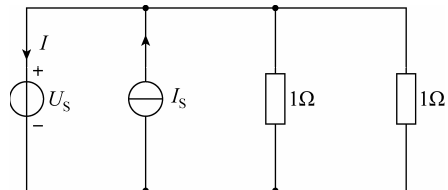


图 1-47 题 10 图

11. 在图 1-48 所示电路中, 已知  $U_S=12V$ ,  $I_S=2A$ 。A、B 两点间的电压  $U_{AB}$  为( )。
12. 在图 1-49 所示电路中, 理想电压源发出的功率  $P$  为( )。

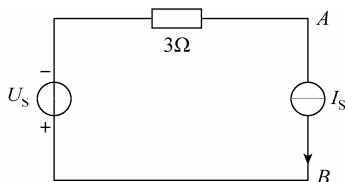


图 1-48 题 11 图

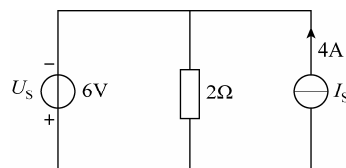


图 1-49 题 12 图

13. 图 1-50 所示电路中,  $R_L$  消耗功率 20W, 则理想电压源  $U_S$  供出电功率为( )。  
 14. 图 1-51 所示电路中的电压  $U_{AB}$  为( )。

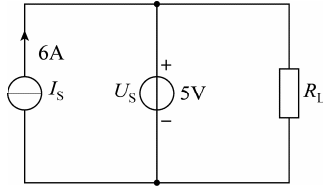


图 1-50 题 13 图

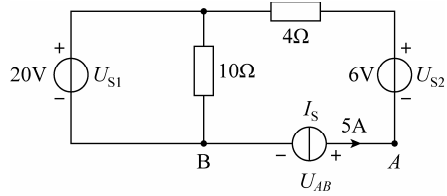


图 1-51 题 14 图

15. 图 1-52 所示电路中, 电压  $U_{AB}$  为( )。  
 16. 求图 1-53 所示电路中各元件的功率, 并指出每个元件起电源作用还是负载作用。

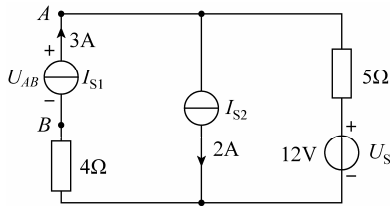


图 1-52 题 15 图

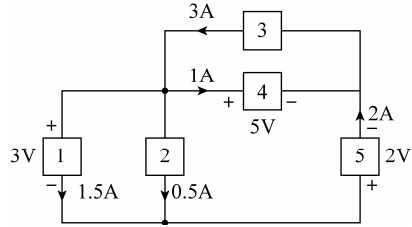


图 1-53 题 16 图

17. 求图 1-54 所示电路中的电流  $I$ 、电压  $U$  及电压源和电流源的功率。  
 18. 求图 1-55 所示电路中的电流  $I_1$ 、 $I_2$  及  $I_3$ 。

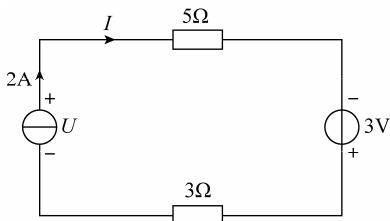


图 1-54 题 17 图

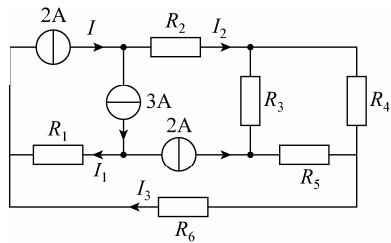


图 1-55 题 18 图

19. 试求图 1-56 所示电路的  $U_{ab}$ 。  
 20. 求图 1-57 所示电路中的  $I$ 、 $I_X$ 、 $U$  及  $U_X$ 。

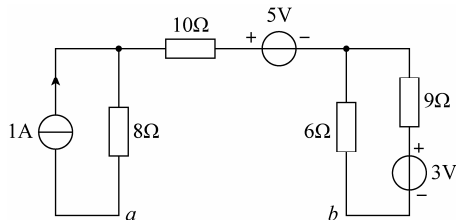


图 1-56 题 19 图

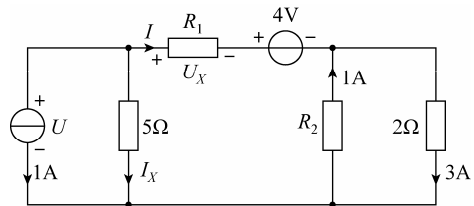


图 1-57 题 20 图

21. 电路如图 1-58 所示, 试求:  
 (1) 求电压  $u$ ;  
 (2) 如果原为  $1\Omega$ 、 $4\Omega$  的电阻和  $1A$  的电流源可以变动(可以为零, 也可以为无穷大)对

结果有无影响。

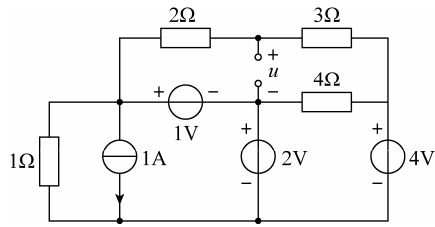


图 1-58 题 21 图

22. 试求图 1-59 所示电路中各元件的功率。

23. 求图 1-60 所示电路中电源发出的功率。

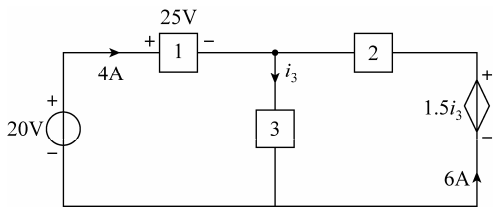


图 1-59 题 22 图

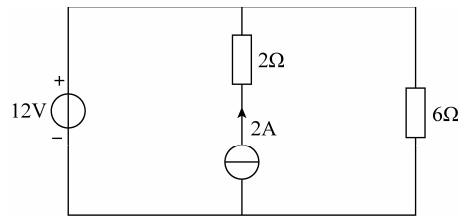


图 1-60 题 23 图