

高等院校非电类专业电工学教材

- 面向高等工程教育
- 注重学生能力培养
- 以实用够用为宗旨
- 融理论实践于一体

电工技术与电子技术基础

DIANGONG JISHU YU DIANZI JISHU JICHU

(第3版)

符磊 王久华 主编
黄仁如 朱蔓菁 陈巍 副主编

清华大学出版社



电工技术与电子技术基础

(第3版)

符 磊 王久华 主 编
黄仁如 朱蔓菁 陈 巍 副主编

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本教材是根据高等工科大学电工课程教学指导小组审定的《电工技术》、《电子技术》课程的教学基本要求编写的,内容包括电路的基本定律与分析方法,正弦交流电路,电路的暂态过程,变压器和电磁铁,电动机,继电接触控制电路,晶体二极管与整流、滤波及并联稳压电路,晶体三极管和基本放大电路,集成运算放大器,组合逻辑电路,触发器和时序逻辑电路。

本书可作为高等工科大学(含独立学院)非电类专业本科生、大专生学习电工学的教材,也可作为高等职业技术学院实用性本科及专科的教材以及工程技术人员的参考书。

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

电工技术与电子技术基础(第3版)/符磊,王久华 主编.

—北京:清华大学出版社,2011.5

ISBN 978-7-302-25007-4

I. 电… II. ①符… ②王… 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(2011)第 042156 号

责任编辑:刘金喜

封面设计:卢肖卓

版式设计:孔祥丰

责任校对:蔡娟

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

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

印 装 者:北京密云胶印厂

经 销:全国新华书店

开 本:195×260 印 张:26.25 字 数:736千字

版 次:2011年5月第3版 印 次:2011年5月第1次印刷

印 数:1~5000

定 价:38.00元

前 言

自 1997 年编写本教材第一版, 2005 年编写本教材第二版以来, 又历经了 5 年。在此期间教学内容和体系的改革在不断地深入开展。本次改版与修订遵循第一版的编写思想, 进一步精选内容、突出重点和要点, 注重实用电路的分析与计算, 更适应教学要求和非电专业的需要。

与第二版相比, 本版主要作了如下变动和修改:

- 考虑到非电专业的总学时的限制以及避免与其他相关课程的内容重复, 删除第二版上册的第 7 章(可编程控制器), 下册的第 13 章(数—模和模—数转换器), 第 14 章(存储器与可编程逻辑器件)三章内容。并且将第二版的上下册合并为一册出版。
- 为了让学生及时掌握每章所讲授的基本内容, 在章后增加了内容小结。重要的基本概念、关键词等用暗影予以显示。
- 为配合本教材的使用, 特编写了《电工技术与电子技术基础实验教程》一书。
- 为方便教师教学需要, 可通过 E-mail(hrr18@126.com)向编者索取本书的思考题及习题解答。

参加本版教材编写的有黄仁如(第 4、5、6、9 章)、朱蔓菁(第 3、10、11 章)、陈巍(第 1、2、7、8 章), 全书由符磊、王久华组织编写、统稿和审定。

南昌大学科学技术学院教务处、信息学科部、电子系十分重视全书的编写与修订工作, 并给予了极大的关心与支持, 在此深表谢意!

由于编者水平有限, 书中错误及不妥之处在所难免, 恳请读者及同行老师指正。

编 者
2010 年 10 月

目 录

第 1 章 电路的基本定律与分析方法	1	2.3.2 纯电感电路	30
1.1 电路与电路的基本定律	1	2.3.3 纯电容电路	32
1.1.1 电路与电路模型	1	思考题	34
1.1.2 电路的基本物理量与正方向	1	2.4 串联正弦交流电路	35
1.1.3 电路的三种工作状态	3	2.4.1 RLC 串联交流电路	35
1.1.4 基尔霍夫定律	4	2.4.2 串联谐振电路	39
1.1.5 电路中电位的概念和计算	6	2.4.3 复阻抗的串联电路	41
思考题	7	思考题	43
1.2 电压源和电流源及其等效变换	8	2.5 并联正弦交流电路	44
1.2.1 电压源	8	2.5.1 RLC 并联交流电路	44
1.2.2 电流源	8	2.5.2 复阻抗的并联电路	45
1.2.3 电压源和电流源的等效变换	9	2.5.3 感性负载功率因数的提高	46
思考题	11	2.5.4 并联谐振电路	47
1.3 电路分析方法	12	思考题	49
1.3.1 节点电压法	12	2.6 三相正弦交流电路	51
1.3.2 叠加原理	13	2.6.1 三相交流电及其表示方法	51
1.3.3 戴维南定理(等效电压源定理)	15	2.6.2 三相电源星形接法	52
思考题	18	2.6.3 负载星形连接的三相交流电路	54
小结	19	2.6.4 负载三角形连接的三相交流电路	58
习题	20	2.6.5 负载星形接法和三角形接法 的确定	60
第 2 章 正弦交流电路	23	2.6.6 三相电路的功率	60
2.1 正弦交流电的基本概念	23	思考题	63
2.1.1 正弦量的三要素	23	2.7 安全用电	63
2.1.2 同频率正弦量的相位关系	25	2.7.1 触电	64
思考题	25	2.7.2 防止触电的保护措施	65
2.2 正弦量的相量表示法	26	思考题	68
2.2.1 复数及其运算	26	小结	68
2.2.2 相量、相量的复数运算法	27	习题	70
2.2.3 相量图、相量图法	28	第 3 章 电路的暂态过程	75
思考题	28	3.1 电路的暂态及换路定律	75
2.3 单一参数的正弦交流电路	29	3.1.1 电路的暂态	75
2.3.1 纯电阻电路	29		

3.1.2 换路定律及电路初始值的确定	76	4.7 电磁铁	118
思考题	77	4.7.1 电磁铁的结构和电磁吸力	118
3.2 RC 电路的暂态分析	78	4.7.2 直流电磁铁	118
3.2.1 RC 电路与直流电压的接通	78	4.7.3 交流电磁铁	119
3.2.2 具有初始储能 RC 电路的短接	81	思考题	120
3.2.3 RC 电路的时间常数	83	小结	120
思考题	86	习题	122
3.3 微分电路和积分电路	87	第5章 电动机	124
3.3.1 微分电路	88	5.1 三相异步电动机的基本结构和工作原理	124
3.3.2 积分电路	89	原理	124
思考题	90	5.1.1 概述	124
3.4 RL 电路的过渡过程	90	5.1.2 三相异步电动机的构造	124
3.4.1 RL 电路与直流电压的接通	90	5.1.3 三相异步电动机的工作原理	126
3.4.2 RL 电路的短接	94	思考题	129
3.4.3 电感电路突然断开, 过电压的产生及防止	95	5.2 三相异步电动机的电磁转矩和机械特性	129
思考题	96	5.2.1 异步电动机与变压器比较分析	129
小结	96	5.2.2 异步电动机的电磁转矩	130
习题	97	5.2.3 异步电动机的机械特性	133
第4章 变压器和电磁铁	100	思考题	135
4.1 磁路与磁路的欧姆定律	100	5.3 三相异步电动机的使用	135
4.1.1 磁路及磁性材料的磁性能	100	5.3.1 起动	135
4.1.2 磁路的欧姆定律	102	5.3.2 反转	138
思考题	102	5.3.3 调速	138
4.2 变压器的基本结构与原理	103	5.3.4 制动	139
4.2.1 变压器的基本结构	103	思考题	141
4.2.2 变压器的工作原理	104	5.4 绕线式异步电动机	142
4.2.3 变压器的外特性、损耗和效率	109	思考题	143
思考题	110	5.5 单相异步电动机	144
4.3 变压器的额定值	111	5.5.1 工作原理	144
思考题	112	5.5.2 几种类型的单相异步电动机	145
4.4 变压器绕组的极性	113	思考题	147
思考题	114	5.6 直流电动机的构造及工作原理	147
4.5 三相变压器	114	5.6.1 直流电动机的结构	147
4.6 特殊用途变压器	115	5.6.2 直流电动机的工作原理	148
4.6.1 自耦变压器	115	5.6.3 直流电动机的电磁转矩和电枢电势	149
4.6.2 仪用互感器	116	思考题	150
思考题	118		

5.7 直流电动机的机械特性	151	第 7 章 晶体二极管与整流、滤波并联稳压电路	186
5.7.1 直流电动机按励磁方式分类	151	7.1 半导体的基本特性及其 PN 结单向导电性	186
5.7.2 机械特性	151	7.1.1 本征半导体	186
思考题	153	7.1.2 PN 结及其单向导电性	188
5.8 直流电动机的使用	153	7.2 半导体二极管	190
5.8.1 直流电动机的起停	153	7.2.1 基本结构	190
5.8.2 直流电动机的反转	155	7.2.2 伏安特性	191
5.8.3 直流电动机的调速	155	7.2.3 主要参数	192
思考题	157	7.2.4 特殊二极管	194
5.9 电动机的额定值	158	思考题	195
小结	159	7.3 整流电路	195
习题	161	7.3.1 直流稳压电源的工作原理	195
第 6 章 继电接触控制电路	163	7.3.2 桥式整流电路	196
6.1 常用低压电器及其图形符号和文字符号	163	思考题	200
6.1.1 刀开关和组合开关	163	7.4 滤波电路	202
6.1.2 熔断器	164	7.4.1 电容滤波电路	202
6.1.3 按钮	166	7.4.2 电感滤波电路	204
6.1.4 交流接触器	167	7.4.3 其他类型滤波电路	205
6.1.5 中间继电器	168	思考题	205
6.1.6 热继电器	168	7.5 硅稳压管稳压电路	206
6.1.7 低压断路器	169	7.5.1 稳压管	206
思考题	170	7.5.2 并联稳压电路	208
6.2 异步电动机的基本控制电路和保护环节	170	7.5.3 稳压管及限流电阻的选择	209
6.2.1 单向运转的“起—停”控制电路	170	思考题	210
6.2.2 正反转控制电路	172	小结	210
思考题	174	习题	211
6.3 异步电动机常用的控制方式	174	第 8 章 晶体三极管及基本放大电路	214
6.3.1 行程控制	175	8.1 晶体三极管	214
6.3.2 时间控制	176	8.1.1 三极管的结构与电流放大作用	214
6.3.3 顺序控制	178	8.1.2 三极管的特性曲线和工作状态	217
6.3.4 速度控制	179	8.1.3 三极管的主要参数	218
思考题	181	思考题	220
小结	182	8.2 基本放大电路	221
习题	183	8.2.1 基本放大电路的组成及各元件的作用	221
		8.2.2 放大电路的静态分析	222

8.2.3	放大电路的动态分析	224	9.1.2	差动放大电路的工作原理	272
8.2.4	静态工作点稳定电路	228		思考题	274
8.2.5	射极输出器	231	9.2	集成运算放大器简介	274
	思考题	233	9.2.1	集成运算放大器的组成	275
8.3	级间耦合方式与多级放大电路	233	9.2.2	集成运算放大器的主要参数	276
8.3.1	级间耦合方式	233	9.2.3	运算放大器理想化的参数条件及 电压传输特性	277
8.3.2	多级放大电路电压放大倍数 A_u 、 输入电阻 r_i 与输出电阻 r_o	234		思考题	278
8.3.3	多级放大电路的频率特性	236	9.3	集成运算放大器的线性应用电路	278
	思考题	238	9.3.1	比例运算电路	279
8.4	负反馈放大器	238	9.3.2	加法、减法运算电路	280
8.4.1	负反馈的基本概念	238	9.3.3	微分、积分运算电路	283
8.4.2	反馈类型和极性的判定	238	9.3.4	电流、电压转换电路	285
8.4.3	负反馈对放大器性能的影响	242	9.3.5	有源滤波器	285
	思考题	244		思考题	287
8.5	功率放大电路	244	9.4	集成运算放大器的非线性应用 电路	287
8.5.1	功率放大电路的基本要求及其工作 状态	244	9.4.1	比较器	287
8.5.2	互补对称功率放大电路	245	9.4.2	方波发生器	292
	思考题	249		思考题	293
8.6	晶体管串联型稳压电路	249	9.5	正弦波振荡电路	293
8.6.1	基本串联稳压电路	249	9.5.1	正弦波振荡器的基本概念	293
8.6.2	具有放大环节的串联型稳压 电路	250	9.5.2	RC 振荡器	295
	思考题	252		思考题	297
8.7	集成稳压电路	252	9.6	集成运算放大器在使用中的一些 问题	297
8.7.1	固定式三端集成稳压器	252	9.6.1	合理选用集成运放型号	297
8.7.2	可调式三端集成稳压器	254	9.6.2	消振与调零	298
	思考题	254	9.6.3	保护措施	298
8.8	场效应管及其放大电路	254		思考题	299
8.8.1	绝缘栅场效应管	255	小结		299
8.8.2	场效应管放大电路	259	习题		300
	思考题	263	第 10 章	组合逻辑电路	304
小结		263	10.1	数字电路与基本逻辑门电路	304
习题		266	10.1.1	数字电路及其特点	304
第 9 章	集成运算放大器	271	10.1.2	数字电路的基本单元 ——逻辑门	305
9.1	差动放大电路	271	10.1.3	分立元件门电路	309
9.1.1	直接耦合放大器的特殊问题	271			

10.1.4 集成元件门电路	311	11.5 集成 555 定时器及其应用	389
思考题	316	11.5.1 555 定时器	389
10.2 逻辑函数及其化简	318	11.5.2 施密特触发器	390
10.2.1 逻辑代数的运算法则	318	11.5.3 单稳态触发器	393
10.2.2 逻辑函数及其表示方法	319	11.5.4 多谐振荡器	395
10.2.3 逻辑函数式的化简	322	思考题	398
10.2.4 逻辑函数式的转换	327	小结	398
思考题	328	习题	403
10.3 组合逻辑电路的分析与设计	329	参考文献	408
思考题	333		
10.4 基本组合逻辑部件	334		
10.4.1 加法器	334		
10.4.2 编码器	337		
10.4.3 译码器及其数字显示电路	340		
10.4.4 数据选择器	347		
思考题	349		
小结	349		
习题	351		
第 11 章 触发器和时序逻辑电路	356		
11.1 触发器	356		
11.1.1 基本 RS 触发器	356		
11.1.2 同步 RS 触发器	358		
11.1.3 其他功能类型的钟控电平 触发器	360		
11.1.4 集成边沿触发器	363		
11.1.5 触发器逻辑功能的转换	365		
思考题	367		
11.2 时序逻辑电路概述	368		
11.3 寄存器和移位寄存器	369		
11.3.1 寄存器	369		
11.3.2 移位寄存器	370		
思考题	374		
11.4 计数器	374		
11.4.1 异步二进制计数器	374		
11.4.2 同步二进制计数器	377		
11.4.3 同步十进制计数器	380		
11.4.4 集成计数器及其应用	381		
思考题	388		

第1章 电路的基本定律与分析方法

本章主要讨论电路的基本概念、基本定律，以及应用基本定律分析一般直流电路的方法。这些研究直流电路的理论和方法，原则上也适用于其他电路。

1.1 电路与电路的基本定律

1.1.1 电路与电路模型

电路是电流的通路，主要由电源、负载和中间环节(包括连接导线和开关等)三个基本部分组成。发电机、蓄电池等是电源，它们将非电能转换成电能，向电路提供能量。电灯、电动机、电炉等是负载，分别把电能转换为光能、机械能和热能等非电能，它们是取用电能的设备。中间环节是连接电源和负载的部分，它起着连接与断开电路，控制、传递和分配电能的作用。

电路依其功能可分为两大类。一类是实现电能的传输、转换和分配，如电力系统，称为电力电路。这类电路，一般要求在传输、转换和分配电能的过程中，尽可能地减少能量损耗以提高效率。另一类是实现信号(例如语言、音乐、文字、图像、温度、压力等)的传递和处理，在电子技术、电子计算机和非电量电测中应用广泛，如广播电信系统，称为信号电路。在这种系统中，信号源是电源，扬声器、电视、电话机等是负载。这类电路，一般要求信号传递质量好、不失真、准确、灵敏和快速等。

由于电路元器件的品种繁多，在电路分析中不可能因物而异，通常是将实际的电路元器件理想化(或称模型化)。即在一定的条件下，突出其主要的电磁性质，忽略其次要因素，把它们近似地看作理想元件，用一个理想电路元件或几个理想电路元件的组合来代替实际的电路元器件。如用“电阻”这个理想的电路元件来代替灯泡、电炉等。这样，用理想电路元件及其组合来代替实际的电路元器件，就构成了与实际电路相对应的电路模型，为对实际电路进行分析研究和数学描述提供了极大的方便。人们所分析研究的电路都是指这种电路模型。

在电路分析中，常用的理想电路元件有理想电阻元件、理想电感元件和理想电容元件，以及理想电压源和理想电流源。实际电源的电路模型有电压源和电流源，它们在电路原理图中一律采用国家规定的图形符号表示。

1.1.2 电路的基本物理量与正方向

电流、电压和电动势是电路中的基本物理量。物理学中，规定电压的实际方向与电场的方向相同，即从高电位端指向低电位端。电动势的方向在电源内部是由低电位端指向高电位端，即电位升高的方向。电流的方向规定为正电荷在电路中流动的方向。在电源内部，电流的方向由低电位端流向高电位端，与电动势方向相同；在电源外部，电流的方向是由高电位端流向低电位端，与电压方向相同，这些方向称为电压、电动势、电流的实际方向，如图 1.1.1 所示。

在图 1.1.1 所示的简单电路中,很容易判断电压、电流的实际方向。但在电路分析中,有时往往难以事先判断电压、电流的实际方向。为了解决电路的分析和计算问题,可任意选定一方向作参考,称为**参考方向(或正方向)**,在电路图中用箭头表示。并规定:当电流(或电压)的实际方向与参考方向一致时,电流(或电压)取正值。当电流(或电压)的实际方向与参考方向相反时,电流(或电压)取负值。这样,在电路计算时,只要选定了参考方向,并算出了电流(或电压)值,就可以根据其值的正负号判断其实际方向了。

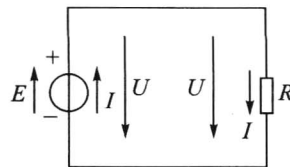


图 1.1.1 电路中电流、电压、电动势的方向

在分析电路时,首先要假定电流(或电压)的参考方向,并以此为准去分析计算,最后从答案的正负值来确定电流(或电压)的实际方向。本书电路图上所标出的电流(或电压)的方向都是指参考方向。

为了计算方便,应注意尽可能使所选的参考方向与实际方向一致,并将负载元件,例如将电阻元件上的电压和电流的参考方向选得一致(称为**关联参考方向**),这样,在电路图中就只需要标出电压或电流的参考方向中的一个即可;并将电源元件上的电压和电流的参考方向选得相反(称为**非关联参考方向**),如图 1.1.1 所示。

电路中电路元件单位时间内消耗的电能称为**电功率**,电功率的大小等于电流与电压的乘积,即 $P=UI$ 。**判断负载和电源的方法:**当电流与电压的实际方向一致时,表示该电路元件是负载,消耗电能;当电流与电压的实际方向相反时,表示该电路元件是电源,向负载提供电能。

[例 1.1.1] 图 1.1.2(a)所示电路中,方框代表电源或负载,电流和电压的参考方向如图 1.1.2(a)所示,通过测量得知: $I_1=4A, I_2=2A, I_3=-2A, U_1=8V, U_2=8V, U_3=2V, U_4=8V, U_5=10V, U_6=-18V$ 。

- (1) 试标出各电流、电压的实际方向或极性;
- (2) 判断哪几个方框代表电源,哪几个方框代表负载;
- (3) 计算各个方框所代表电源(或负载)提供(或消耗)的功率。

解:(1) 根据参考方向与实际方向间关系的规定(各正值的电流、电压的实际方向与参考方向相同),只要把各负值的电流、电压的正方向反过来便是该电流、电压的实际方向,如图 1.1.2(b)所示。

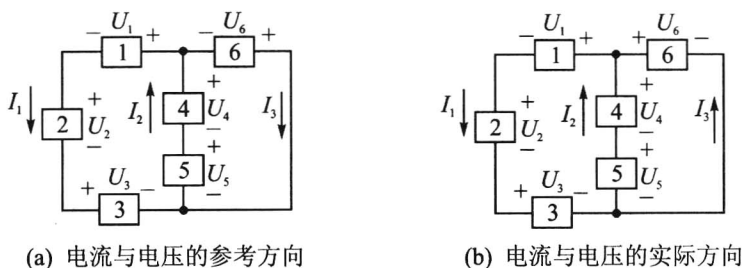


图 1.1.2 例 1.1.1 的电路

(2) 根据电流、电压的实际方向,可以判断是负载还是电源。当元件上的电流、电压的实际方向一致时,是负载。反之,是电源。观察图 1.1.2(b)可知: 4、5、6 为电源, 1、2、3 为负载。

(3) 各元件的功率计算如下:

$$P_1 = U_1 I_1 = 8 \times 4 = 32 \text{ W}$$

$$P_2 = U_2 I_1 = 8 \times 4 = 32 \text{ W}$$

$$P_3 = U_3 I_1 = 2 \times 4 = 8 \text{ W}$$

$$P_4 = U_4 I_2 = 8 \times 2 = 16 \text{ W}$$

$$P_5 = U_5 I_2 = 10 \times 2 = 20 \text{ W}$$

$$P_6 = U_6 I_3 = 18 \times 2 = 36 \text{ W}$$

显然, $P_1 + P_2 + P_3 = P_4 + P_5 + P_6$, 即负载消耗的功率等于电源提供的功率。

1.1.3 电路的三种工作状态

当电源向负载正常供电时, 电路中流过电流, 这种状态称为**有载工作状态**(又称**负载状态**)。根据电流、电压、电动势的正方向规定, 可作出电路模型如图 1.1.3(a)所示。这时有

$$I = \frac{E}{R + R_0} \quad (1.1.1)$$

即负载电流 I 等于电源电动势 E 除以负载电阻 R 与电源内阻 R_0 之和。

电源端电压为

$$U_1 = E - IR_0 \quad (1.1.2)$$

可见, 负载状态时, 电源端电压 U_1 总是小于电源电动势。

电源输出功率为

$$P_1 = U_1 I = (E - IR_0)I = EI - I^2 R_0 = P_E - \Delta P \quad (1.1.3)$$

若忽略线路上的压降, 则负载从电源吸收的功率

$$P_2 = U_2 I = U_1 I = P_1 = P_E - \Delta P \quad (1.1.4)$$

式中, U_2 为负载端电压, $P_E = EI$ 为电源电动势发出的功率, $\Delta P = I^2 R_0$ 为电源内阻上损耗的功率。

这说明, 电源供给外电路负载的功率等于电源电动势发出的功率减去内阻上损耗的功率。

显然, 当开关断开时, 如图 1.1.3(b)所示, 电源不能向负载供电, 电路中电流为零; 电源端电压等于电源的电动势, 称为**开路电压**, 用 U_0 表示; 电源输出的功率和负载吸取的功率均为零, 这种状态称为**开路**。

当电路中的电源两端短接时, 如图 1.1.3(c)所示, 电源内部将流过极大的短路电流 $I_S = \frac{E}{R_0}$; 但电源和负载的端电压均为零, 输出电流为零。电动势发出的电功率全部被内阻所消耗, 电源输出的功率和负载吸取的功率均为零, 这种状态称为**短路**。一般来说, 短路是一种严重事故, 应尽量预防和避免。

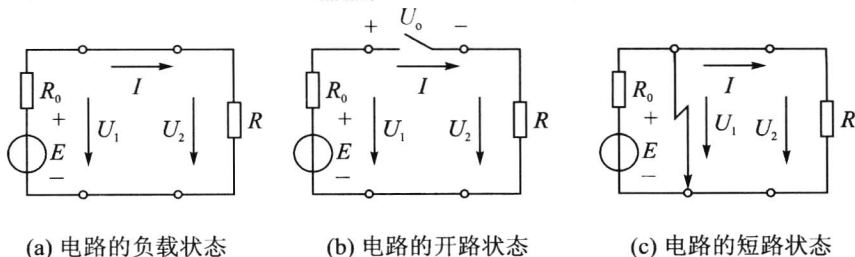


图 1.1.3 电路的工作状态

1.1.4 基尔霍夫定律

在任意电路中, 电流和电压总是严格遵循两大定律, 这就是**基尔霍夫第一定律(节点电流定律)**和**基尔霍夫第二定律(回路电压定律)**。

支路 电路中的每一分支称为支路, 每一支路流过一个电流, 称为支路电流。图 1.1.4 中共有 AB、ACB、ADB 三条支路、三个支路电流。

节点 电路中三条或三条以上支路的交点称为节点。在图 1.1.4 中, 共有 A、B 两个节点。

回路 电路中任意闭合电路称为回路。图 1.1.4 中, 共有 ACBA、ABDA、ACBDA 三条回路。

网孔 内部不含有支路的回路称为网孔。图 1.1.4 中, 共有 ABCA、ABDA 两个网孔。

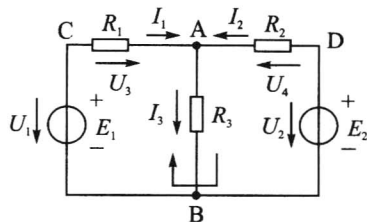


图 1.1.4 电路举例

1.1.4.1 基尔霍夫电流定律(KCL)

基尔霍夫第一定律是说明电路中电流分布规律的一个基本定律, 故又称为**节点电流定律(KCL)**。其内容为: 在任一瞬时, 流入某一节点的电流之和, 等于从该节点流出的电流之和。它的理论根据是电流的连续性, 否则将在节点处引起电荷的积累或消失。

在图 1.1.4 中, 对节点 A 可以写出节点方程

$$I_1 + I_2 = I_3$$

如果规定流入节点的电流为正, 从节点流出的电流为负, 则可写成一般式

$$\sum I = 0 \quad (1.1.5)$$

因此, 基尔霍夫第一定律又可以归纳为: 在电路中的任何节点上, 电流的代数和等于零。

基尔霍夫第一定律通常适用于节点, 但也可以把它推广应用于任意假设的闭合面。

在应用基尔霍夫第一定律时, 要先在电路图上标定支路电流的参考方向, 再写出节点电流方程。根据计算结果和参考方向的规定, 就可以求得各支路电流的大小和实际方向了。

1.1.4.2 基尔霍夫电压定律(KVL)

基尔霍夫第二定律是说明电路中电压分布规律的一个基本定律, 故又称为**回路电压定律(KVL)**。其内容为: 在任一瞬时, 沿任一回路循行方向, 回路中所有支路或元件电压的代数和等于零, 即

$$\sum U = 0 \quad (1.1.6)$$

列式时, 凡电压(或电流)的参考方向与循行方向一致者取正号, 反之取负号。

下面仍以图 1.1.4 为例, 其中电源电动势、电流和电压的正方向如图 1.1.4 所示。按顺时针方向沿 ADBCA 循行一周, 应用基尔霍夫第二定律可以写出回路电压方程为

$$-U_1 + U_2 - U_4 + U_3 = 0$$

即

$$E_1 - E_2 = I_1 R_1 - I_2 R_2$$

$$\sum E = \sum IR \quad (1.1.7)$$

因此,基尔霍夫第二定律又可以归纳为:在任一回路循行方向上,回路中电动势的代数和等于电压降的代数和。列式时,凡电动势、电压(或电流)的参考方向与回路循行一致者取正号,反之取负号。

基尔霍夫第二定律通常适用于任一闭合回路,但也可以推广应用于任意假想回路。

基尔霍夫两大定律是电路遵守的最基本的规律,也是进行电路计算的理论基础。它不但可用于直流电路,也可以应用于交流电路;不但可应用于线性电路,还可以用于非线性电路。

值得指出的是,在应用定律时,会用到两套正负符号,务必不要混淆。一是列方程式时各项前的符号,即它必须遵循列 KVL 和 KCL 方程式符号法则的规定(此时不要考虑本身数值的正负)。二是每项电流或电压数值的符号,即若计算中,得出的电流或电压数值为正,说明其实际方向与所标正方向一致;得出的数值为负,说明其实际方向与所标正方向相反。

1.1.4.3 支路电流法

【例 1.1.2】在图 1.1.5 中,已知, $R_1=R_2=10\Omega$, $R_3=5\Omega$, $E_1=10V$, $E_2=5V$, 试求各支路电流。

解:观察图 1.1.5,对节点 a,由基尔霍夫第一定律可得节点电流方程

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

显然,对两节点电路,只有一个节点电流方程是独立的。

由基尔霍夫第二定律可得两网孔回路的两独立电压方程。

对图 1.1.5 中 abc 网孔

$$-E_1 = I_1 R_1 - I_3 R_3$$

对图 1.1.5 中 adb 网孔

$$-E_2 = -I_2 R_2 + I_3 R_3$$

综合上述三个独立方程,可得三支路电流的方程组

$$\begin{cases} I_1 + I_2 + I_3 = 0 \\ -E_1 = I_1 R_1 - I_3 R_3 \\ -E_2 = -I_2 R_2 + I_3 R_3 \end{cases}$$

将已知数据代入,即得

$$\begin{cases} I_1 + I_2 + I_3 = 0 \\ -10 = 10I_1 - 5I_3 \\ -5 = -10I_2 + 5I_3 \end{cases}$$

可解得 $I_1 = -0.875A$, 其值为负,故 I_1 实际方向与参考方向相反。 $I_2 = 0.625A$, $I_3 = 0.25A$, 两值均为正,故其实际方向与参考方向相同。

从上述解题过程,可以得到用基尔霍夫两定律解题的方法和步骤如下:

(1) 若电路有 m 条支路,则设定 m 个支路电流,并选定各支路电流的参考方向。

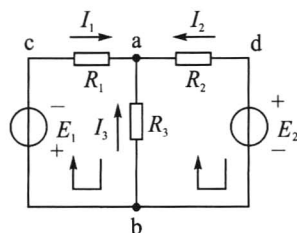


图 1.1.5 例 1.1.2 的电路

(2) 若电路有 n 个节点, 则由基尔霍夫第一定律, 列出 $n-1$ 个独立的节点电流方程。

(3) 选定 $m-(n-1)$ 个独立回路, 并选定各回路的循行方向, 由基尔霍夫第二定律列出 $m-(n-1)$ 个独立回路电压方程。

(4) 解 m 个独立方程组成的方程组, 可得 m 个支路电流。

上述这种方法是用基尔霍夫两定律求解复杂电路最基本、最直接的方法, 由于这种方法是以各支路电流为求解对象, 故上述解题方法称为支路电流法。

1.1.5 电路中电位的概念和计算

电位是电路中一个极重要的概念。在电子技术中, 常应用电位的概念分析电路。例如, 二极管只有当其阳极电位高于阴极电位且两者电位差大于导通电压(锗管的正向导通压降为 $0.2\sim 0.3\text{V}$, 硅管的正向导通压降为 $0.6\sim 0.7\text{V}$)才能导通。在讨论三极管的工作状态时, 也要分析各个极的电位高低。两点间的电压就是两点间的电位差。为简化电路图的画法, 更需要应用电位的概念。

为了求出各点的电位, 必须选定电路中的某一点作为参考点, 并规定参考点的电位为零。则电路中的任意一点与参考点之间的电压(即电位差)就是该点的电位, 用 V 表示。现仍以例 1.1.2 中图 1.1.5 所示电路为例, 来讨论电路中的电位问题。

在图 1.1.5 中, 已求得 $I_1 = -0.875\text{A}$, $I_2 = 0.625\text{A}$, $I_3 = 0.25\text{A}$, 现设 b 点作为参考点, $V_b = 0$, 容易求得各元件与 b 点之间的电压, 故不难求得电路中任一点的电位。

$$V_c = U_{cb} = -E_1 = -10\text{V}$$

$$V_d = U_{db} = E_2 = 5\text{V}$$

$$V_a = U_{ab} = -I_3 R_3 = -0.25 \times 5 = -1.25\text{V}$$

或

$$V_a = -I_2 R_2 + V_d = (-0.625 \times 10) + 5 = -1.25\text{V}$$

若选 c 点为参考点, 即 $V_c = 0$, 则有

$$V_a = U_{ac} = -I_1 R_1 = 8.75\text{V}$$

$$V_b = U_{bc} = E_1 = 10\text{V}$$

$$V_d = U_{dc} = E_1 + E_2 = 15\text{V}$$

$$U_{ab} = V_a - V_b = 8.75 - 10 = -1.25\text{V}$$

从上面的结果可以看出: (1)某点的电位就是该点对参考点的电压。电路中的某一点的电位与参考点的选择有关, 而与计算时所选择的路径无关。参考点的选择不同, 电路中的各点的电位就不同。(2)各点的电位值是相对于参考点而言, 电路中参考点选得不同, 各点的电位值就不同, 但任意两点间的电压则是不变的。所以, 电路中的各点的电位是相对的, 而两点间的电压则是绝对的。在研究同一电路系统时, 只能选取一个电位参考点。电位相同的各点可用短路线连通。比参考点高的电位为正, 比参考点低的电位为负。

在电力系统中, 常选大地为参考点, 通常用符号“ \perp ”表示; 在电子线路中, 则常选机壳或电路的公共线为参考点, 通常用符号“ \perp ”表示, 简称接“地”。

图 1.1.6 所示电路是利用电位的概念, 简化图 1.1.5 所画出的电路图。在电子线路中, 常使用这种画法。

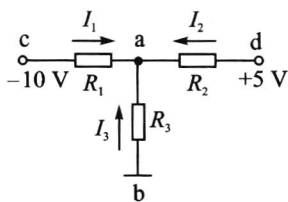


图 1.1.6 例 1.1.2 的简化电路

思考题

- 1.1.1 已知 $R=10\Omega$ ，分别计算图 1.1.7 中的电压 U_{ab} ，并指出电压和电流的实际方向。
- 1.1.2 (1) 图 1.1.8 中，已知 $I_1=1A$ ，则 $I_2=?$
 (2) 若断开 AB 支路，则 $I_2=?$ 此时 U_{AB} 、 U_{CD} 皆等于零吗？为什么？
- 1.1.3 图 1.1.9 中，根据 KCL 定律可得： $I_A+I_B+I_C=0$ 。有人问：电流都流入封闭面内的电路，那怎么流回去呢？如何解释这个问题？

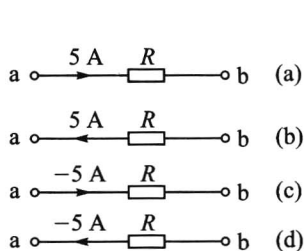


图 1.1.7 思考题 1.1.1 的图

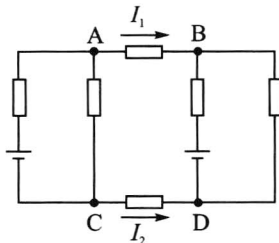


图 1.1.8 思考题 1.1.2 的图

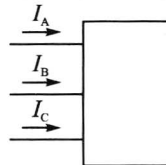


图 1.1.9 思考题 1.1.3 的图

- 1.1.4 分别计算图 1.1.10 电路中的电压 U_{AB} ，并比较各点电位的高低。

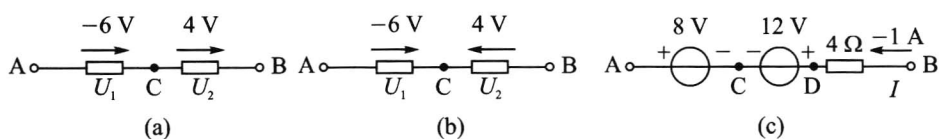


图 1.1.10 思考题 1.1.4 的图

- 1.1.5 画出图 1.1.11 电路的电源，并标明电位参考点。试说明电位器 R_p 的滑动触点 C 处于其中间位置时的电位 $V_C=?$ 若将其滑动触点 C 右移，则 V_C _____ (升高、降低、不变)。
- 1.1.6 图 1.1.12(a)和(b)电路中，分别计算开关 S 闭合和断开时 B 点的电位 V_B 和电流 I 。

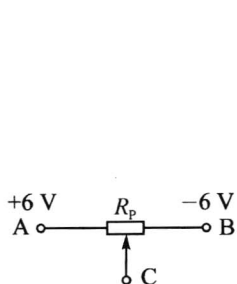


图 1.1.11 思考题 1.1.5 的图

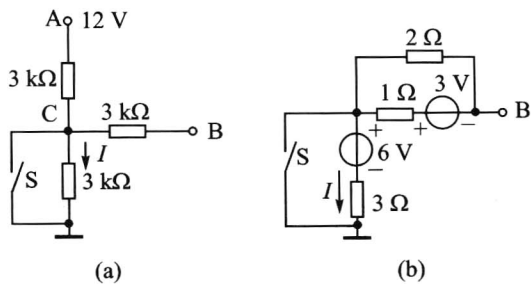


图 1.1.12 思考题 1.1.6 的图

1.1.7 如何判断电路中的元件是输出功率还是吸取功率? 能否根据元件的电压、电流的正方向和功率值的正、负来判断呢? 举例说明。

1.1.8 图 1.1.13 电路中, U 、 I 的参考方向和数值如图中所示。

- (1) 列写 A 元件的 KVL 方程式, 计算功率 P_A , 它 _____ (输出、吸取) 功率。
- (2) 列写 B 元件的 KVL 方程式, 计算功率 P_B , 它 _____ (输出、吸取) 功率。

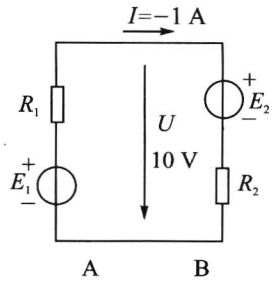


图 1.1.13 思考题 1.1.8 的图

1.2 电压源和电流源及其等效变换

电源是电路中提供电能的部分, 可以用两种模型来表示: 一种是电压源模型, 另一种是电流源模型。

1.2.1 电压源

一个电源, 如电池、发电机、信号源等, 含有电动势和内阻。因此, 电源常用电动势 E 和内阻 R_0 相串联表示, 这种电源模型称为**电压源**, 如图 1.2.1(a)所示。

如果电压源的内阻 $R_0=0$, 则这种电压源的端电压恒等于电源电动势 E , 称为理想电压源, 用 E 或 U_S 表示, 其图形符号如图 1.2.1(b)所示。如果一个实际电源的内阻远小于负载电阻, 则内阻压降可忽略不计, 于是 $U \approx E$, 输出电压基本上恒定, 可以认为该电压源是**理想电压源**或**恒压源**, 如实际应用中的稳压电源, 其输出电压不随输出电流的变化而变化。

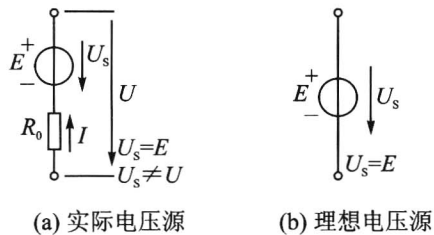


图 1.2.1 电压源符号

理想电压源具有恒压的特性, 因此在其两端并联电阻(或其他元件), 不会改变它对原来外电路的输出, 所以在计算外电路时, 这种与理想电压源直接并联的电阻(或其他元件)可以除去, 而不会影响外电路的计算结果。

1.2.2 电流源

凡是电源, 都能够向负载输出电流, 因此电源也可以用电流源模型来表示。如果输出电流不随负载的改变而变化, 则这种电流源便称为**理想电流源**或**恒流源**, 用 I_S (又称为电激流)表示, 其图形符号如图 1.2.2(a)所示。因为任何电源内部总有损耗, 即都有内阻 R_0 , 所以一个实际电源的输出电流总是随负载的改变而变化的, 因此可用理想电流源 I_S 与内阻 R_0 相并联组成的电源模型描述, 称为**实际电流源**,