



普通高等教育“十二五”规划教材
电子电气基础课程规划教材

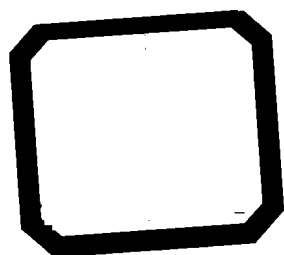


电工与电子技术

叶敦范 郭红想 主 编
余蓓蓓 杨 勇 副主编



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



规划教材

电工与电子技术

叶敦范 郭红想 主 编
余蓓蓓 杨 勇 副主编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书是按照教育部颁发的“电工技术”和“电子技术”教学基本要求,并考虑到 21 世纪高等院校工科专业教学内容和体系改革的需要而编写的。

全书共 10 章,包括电路及其分析方法、正弦交流电路、三相正弦交流电路、电路的暂态分析、晶体二极管与直流稳压电路、晶体三极管与交流放大电路、集成运算放大器、门电路和组合逻辑电路、触发器和时序逻辑电路、模拟量和数字量的转换等内容。每章附有丰富的思考与练习题和习题。

本书可作为高等院校工科专业电工技术、电子技术课程的教材(少学时),也可供从事电子技术工程的人员学习参考。

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

电工与电子技术 / 叶敦范, 郭红想主编. —北京:电子工业出版社, 2011.6

电子电气基础课程规划教材

ISBN 978-7-121-13850-8

I. ①电… II. ①叶… ②郭… 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(2011)第 113974 号

责任编辑:凌 毅 特约编辑:张 莉

印 刷:

装 订: 北京中新伟业印刷有限公司

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: 12.25 字数: 314 千字

印 次: 2011 年 6 月第 1 次印刷

印 数: 3000 册 定价: 25.00 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。

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

服务热线:(010)88258888。

前 言

电工技术和电子技术是高等院校工科专业的一门重要的技术基础课。

为了进一步提高学生分析问题和解决问题的能力,书中各章均附有丰富的思考与练习题和习题。全书结构合理,叙述清楚,重点明确。考虑到各个学校对课程内容的不同要求,特安排了可作为选讲的部分内容,并在书中用“*”表示。本课程的参考学时为 60~80 学时(含实验),教师可根据具体情况对教材内容进行适当取舍。

本书的第 1 章、第 2 章、第 4 章由郭红想编写,第 3 章由叶敦范编写,第 5 章、第 6 章、第 7 章由叶敦范、杨勇编写,第 8 章、第 9 章、第 10 章由叶敦范、余蓓蓓编写。全书由叶敦范进行统稿工作。武汉大学的甘良才博导、中国地质大学(武汉)的王典洪博导为本书提出了许多宝贵的意见,在此表示感谢。

与本书配套的有多媒体课件、疑难指导及习题全解等教学资源,这些教学资源以基本概念、基本知识、基本技能为核心,为读者提供预习、复习和自测的平台,形成系统的立体化教学。读者可登录华信教育资源网(www.hxedu.com.cn)免费下载。

由于编者水平有限,书中难免存在一些缺点和不足,殷切希望广大读者,特别是使用本书的教师和同学们提出批评和改进意见,以便今后修订提高。

作者

2011 年 5 月

目 录

第 1 章 电路及其分析方法	1
1.1 电路与电路模型	1
1.1.1 电路	1
1.1.2 电路模型	2
1.2 电压和电流的参考方向	2
1.3 基尔霍夫定律	4
1.3.1 基尔霍夫电流定律	5
1.3.2 基尔霍夫电压定律	5
1.4 电阻的串联与并联	6
1.4.1 电阻的串联	7
1.4.2 电阻的并联	7
1.5 电源有载工作、开路与短路	8
1.5.1 电源有载工作	8
1.5.2 电源开路	9
1.5.3 电源短路	9
1.6 电路的基本分析方法	10
1.6.1 支路电流法	10
1.6.2 电压源与电流源的等效变换	11
1.6.3 叠加原理	14
1.6.4 戴维南定理与诺顿定理	15
习题 1	18
第 2 章 正弦交流电路	20
2.1 正弦量的三要素	20
2.1.1 周期与频率	20
2.1.2 幅值与有效值	21
2.1.3 相位与初相位	22
2.2 正弦量的相量表示法	24
2.2.1 复数	24
2.2.2 正弦量的相量表示法	24
2.3 单一参数的正弦交流电路	26
2.3.1 电阻元件的交流电路	26
2.3.2 电感元件的交流电路	27
2.3.3 电容元件的交流电路	29
2.4 电阻、电感与电容元件串联的交流电路	31
2.5 阻抗的串联与并联	33
2.5.1 阻抗的串联	34
2.5.2 阻抗的并联	34

2.6	电路中的谐振	36
2.6.1	串联谐振	36
2.6.2	并联谐振	37
2.7	功率因数的提高	38
2.7.1	提高功率因数的意义	38
2.7.2	提高功率因数的方法	39
2.8	非正弦周期电路	40
2.8.1	非正弦周期量的分解	40
2.8.2	非正弦周期量的最大值、平均值和有效值	41
2.8.3	非正弦交流电路的平均功率	42
2.8.4	非正弦周期电流电路的计算	42
	习题 2	42
第 3 章	三相正弦交流电路	45
3.1	三相交流电源	45
3.1.1	三相电动势的产生及其主要特征	45
3.1.2	三相电源的星形连接	47
3.2	三相负载的连接	48
3.2.1	负载的星形连接	48
3.2.2	负载三角形连接的三相电路	49
3.3	三相电路的功率	51
3.4	安全用电	51
	习题 3	52
第 4 章	电路的暂态分析	54
4.1	暂态过程与换路定则	54
4.1.1	暂态过程	54
4.1.2	换路定则	55
4.2	一阶电路的暂态过程	56
4.2.1	一阶电路的零输入响应	57
4.2.2	一阶电路的零状态响应	59
4.2.3	一阶电路的全响应	61
4.3	一阶电路的三要素法	62
4.4	微分电路与积分电路	63
4.4.1	微分电路	63
4.4.2	积分电路	64
	习题 4	66
第 5 章	晶体二极管与直流稳压电源	68
5.1	半导体的基础知识	68
5.1.1	本征半导体	68
5.1.2	杂质半导体	68
5.1.3	PN 结及其单向导电性	69
5.2	晶体二极管	71

5.2.1	基本结构	71
5.2.2	伏安特性	71
5.2.3	主要参数	72
5.3	特殊二极管	72
5.3.1	稳压二极管	72
5.3.2	光电二极管	73
5.3.3	发光二极管	73
5.4	直流电源	74
5.4.1	单相整流电路	74
5.4.2	电容滤波电路	76
5.4.3	稳压电路	78
习题 5		80
第 6 章	晶体管与交流放大电路	81
6.1	晶体管	81
6.1.1	基本结构	81
6.1.2	电流分配和放大原理	81
6.1.3	特性曲线	82
6.1.4	主要参数	83
6.2	共发射极放大电路的组成	84
6.3	共发射极放大电路的静态分析	85
6.3.1	用估算法求放大电路的静态值	86
6.3.2	用图解法确定静态工作点	86
6.4	共发射极放大电路的动态分析	87
6.4.1	图解法	87
6.4.2	微变等效电路法	89
6.5	静态工作点的稳定	92
6.6	射极输出器	95
6.6.1	静态分析	96
6.6.2	动态分析	96
6.7	差分放大电路	99
6.7.1	静态分析	99
6.7.2	动态分析	100
6.8	互补对称式功率放大电路	101
6.8.1	对功率放大器的基本要求	101
6.8.2	互补对称式功率放大电路	102
6.9	场效应管及其放大电路	103
6.9.1	绝缘栅场效应晶体管	104
6.9.2	场效应管放大电路	105
习题 6		107
第 7 章	集成运算放大器	110
7.1	集成运算放大器概述	110

7.1.1	集成运放的电路结构	110
7.1.2	主要参数	110
7.1.3	理想运算放大器及其分析依据	111
7.2	运算放大器在信号运算方面的应用	112
7.2.1	比例运算	112
7.2.2	加法运算	114
7.2.3	减法运算	115
* 7.2.4	积分运算	115
* 7.2.5	微分运算	116
* 7.3	运算放大器在信号处理方面的应用	116
7.3.1	有源滤波器	116
7.3.2	信号幅度的采样保持	117
7.3.3	电压比较器	118
7.4	放大电路中的负反馈	119
7.4.1	反馈的概念	119
7.4.2	正反馈与负反馈的判别	119
7.4.3	负反馈的类型	119
7.4.4	负反馈对放大电路性能的影响	121
习题 7		121
第 8 章	门电路和组合逻辑电路	124
8.1	基本门电路及其组合	124
8.1.1	分立元件逻辑门电路	124
8.1.2	基本逻辑门电路的组合	126
8.2	TTL 门电路	128
8.2.1	TTL 与非门电路	128
8.2.2	三态输出与非门电路	130
8.3	CMOS 门电路	131
8.3.1	CMOS 非门电路	131
8.3.2	CMOS 与非门电路	131
8.3.3	CMOS 或非门电路	131
* 8.3.4	CMOS 传输门电路	132
8.4	逻辑代数	132
8.4.1	逻辑代数的基本定律	132
8.4.2	逻辑函数的化简	133
8.5	组合逻辑电路的分析和设计	134
8.5.1	组合逻辑电路的分析	134
8.5.2	组合逻辑电路的设计	135
8.6	常用组合逻辑功能器件	136
8.6.1	加法器	136
8.6.2	编码器	139
8.6.3	译码器和数字显示电路	141

8.6.4 数据分配器和数据选择器	145
习题 8	146
第 9 章 触发器和时序逻辑电路	149
9.1 双稳态触发器	149
9.1.1 RS 触发器	149
9.1.2 JK 触发器	152
9.1.3 D 触发器	153
9.1.4 T 触发器	155
9.2 寄存器	156
9.2.1 数码寄存器	156
9.2.2 移位寄存器	156
9.3 计数器	157
9.3.1 二进制计数器	157
9.3.2 十进制计数	160
9.3.3 任意进制计数器	162
9.4 555 定时器及其应用	164
9.4.1 555 定时器	164
9.4.2 555 定时器的应用	166
习题 9	169
第 10 章 模拟量和数字量的转换	173
10.1 数模转换器	173
10.1.1 倒 T 形电阻网络数模转换器	173
10.1.2 集成数模转换器及其应用	174
10.1.3 数模转换器的主要技术指标	176
10.2 模数转换器	176
10.2.1 逐次逼近型模数转换器	176
10.2.2 集成模数转换器及其应用	178
10.2.3 模数转换器的主要技术指标	180
习题 10	180
部分习题答案	181
参考文献	185

第 1 章 电路及其分析方法

本章概要:

电路是电工技术和电子技术的基础。

本章首先讨论电路的基本概念和基本定律,如电路模型、电压和电流的参考方向、基尔霍夫定律、电阻的串并联以及电源的 3 种基本工作状态,这些内容是分析与计算电路的基础。

其次讨论电路的几种常用的电路分析方法,如支路电流法、电压源和电流源的等效变换、叠加原理和戴维南定理。通过本章学习,应能根据电路的结构特点,运用这些定律和分析方法简化电路,分析与计算电路中的有关物理量。

教学重点:

- (1)理解电路模型及电压、电流参考方向的意义。
- (2)理解并能正确运用基尔霍夫定律。
- (3)熟练运用电压源与电流源的等效变换和戴维南定理进行求解。
- (4)理解叠加原理。

教学难点:

掌握戴维南定理分析电路的方法。

1.1 电路与电路模型

1.1.1 电路

电路,简单地说就是电流的通路。它是由某些电气设备、元件按一定方式用导线连接而成的。电路的元器件及其连接方式是多种多样的,其特性和功能也各不相同。

最典型的例子是电力系统,其电路示意图如图 1.1.1(a)所示。它的作用是实现电能的输送与转换,其中包括电源、负载和中间环节这 3 个基本组成部分。发电机是电源,是将其他形式能量转换为电能的装置。它可将化学能、机械能、水能、原子能等能量转换为电能。电灯、电动机、电炉等都是负载,是将电能转换为非电能的用电设备,它们可将电能转换成光能、机械能和热能等。变压器和输电线是中间环节,是连接电源和负载的部分,主要起传输和分配电能的作用。

电路的另一种作用是传递和处理信号。常见的例子如扩音机,其电路示意图如图 1.1.1(b)所示。先由话筒把语言或音乐(通常称为信息)转换为相应的电压和电流,即电信号,而后通过电路传递到扬声器,把电信号还原为语言或音乐。由于话筒输出的电信号比较微弱,不足以推动扬声器发音,因此中间还要用放大器来放大。在图 1.1.1(b)中,话筒是输出信号的设备,称为信号源,相当于电源,但与上述的发电机、电池等电源不同,信号源输出的电信号(电压和电流)的变化规律取决于所加的信息。扬声器是接收和转换信号的设备,也就是负载。

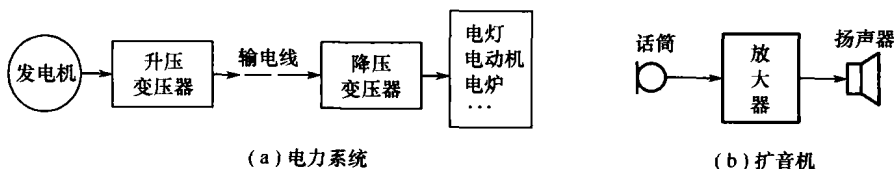


图 1.1.1 电路示意图

信号传递和处理的例子很多,如收音机和电视机,它们的接收天线(信号源)把载有音乐、语言、图像信息的电磁波接收后转换为相应的电信号,再经过电路传递和处理(调谐、变频、检波、放大等)后,送到扬声器和显像管(负载),还原为原始信号。

无论电能的传输和转换,或者信号的传递和处理,其中电源或信号源的电压或电流称为激励,它推动电路工作;激励在电路各部分产生的电压和电流称为响应。所谓电路分析,就是在已知电路结构和元件参数的条件下,讨论电路激励与响应之间的关系。

1.1.2 电路模型

实际电路都是由一些按需要起不同作用的实际电路元件或器件组成的,如发电机、变压器、电动机、电池、晶体管及各种电阻器和电容器等,它们的电磁性质较为复杂,如一个白炽灯,它除了具有消耗电能的性质(电阻性)外,当通有电流时还会产生磁场,即还具有电感性。但电感微小,可忽略不计,于是可认为白炽灯是一电阻元件。

为了便于对实际电路进行分析和进行数学描述,通常将实际元件理想化(或称模型化),即在一定条件下突出其主要的电磁性质,忽略其次要因素,把它近似地看作理想电路元件,并用规定的图形符号表示。由一些理想元件所组成的电路,就是实际电路的电路模型,简称电路,它是对实际电路电磁特性的科学抽象和概括。手电筒的实际电路如图 1.1.2(a)所示,其电路模型如图 1.1.2(b)所示。灯泡是电阻元件,其参数为电阻 R ;干电池是电源元件,其参数为电动势 E 和内阻 R_0 ;筒体是连接干电池和灯泡的中间环节(还包括开关),其电阻可忽略不计,认为是一无电阻的理想导体。

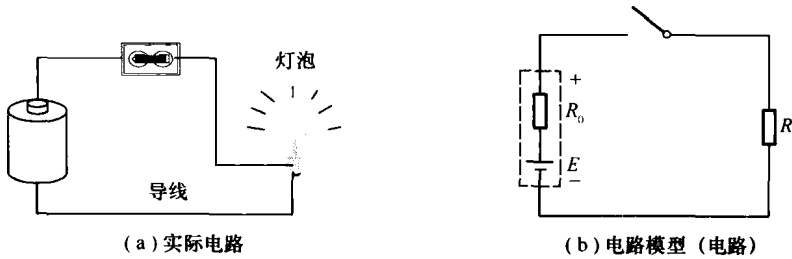


图 1.1.2 手电筒的电路及其模型

今后所分析的都是指电路模型,简称电路。在电路图中,各种电路元件用规定的图形符号表示。

1.2 电压和电流的参考方向

关于电压和电流的方向,有实际方向和参考方向之分,应加以区别。

我们习惯上规定正电荷运动的方向或负电荷运动的反方向为电流的实际方向。电流的方向是客观存在的。但在分析复杂的直流电路时,往往难以事先判断某支路中电流的实际方向,为此,在分析与计算电路时,常可任意选定某一方向作为电流的参考方向。

图 1.2.1 表示一个电路的一部分,其中的长方框表示一个二端元件。流过这个元件的电流为 i ,其实际方向或是由 A 到 B,或是由 B 到 A。在该图中用实线箭头表示电流的参考方向,它不一定就是电流的实际方向。如果电流 i 的实际方向是由 A 到 B,如图 1.2.1(a)中虚线箭头所示,它与参考方向一致,则电流为正值,即 $i > 0$ 。在图 1.2.1(b)中,指定电流的参考方向由 B 到 A(见实线箭头),如果电流的实际方向是由 A 到 B(见虚线箭头),两者不一致,故电流为负值,即 $i < 0$ 。这样,在指定的电流参考方向下,电流值的正和负就可以反映出电流的实际方向。

所以,在今后分析与计算电路时,都要在电路中标出有关支路电流的参考方向。这样,最后计算出来的电流值的正负才有意义。

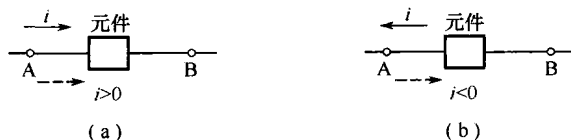


图 1.2.1 电流的参考方向

电压和电动势都是标量,但在分析电路时,和电流一样,我们也说它们具有方向。电压的实际方向规定为由高电位(“+”极性)端指向低电位(“-”极性)端,即为电位降低的方向。电源电动势的实际方向规定为在电池内部由低电位(“-”极性)端指向高电位(“+”极性)端,即为电位升高的方向。和电流一样,在较为复杂的电路中,我们也往往无法先确定它们的实际方向(或者极性)。因此,在电路图上所标出的也都是电动势和电压的参考方向。若参考方向与实际方向一致,则其值为正;若参考方向与实际方向相反,则其值为负。

电压的参考方向除用极性“+”、“-”表示外,也可以用双下标表示。例如 a, b 两点间的电压 U_{ab} , 它的参考方向是由 a 指向 b, 也就是说 a 点的参考极性为“+”, b 点的参考极性为“-”。

在国际单位中,电流的单位是安[培](A)。计量微小电流时,以毫安(mA)或微安(μ A)为单位。

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

电压和电动势的单位是伏[特](V)。计量微小电压时,以毫伏(mV)或微伏(μ V)为单位。

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

在分析和计算电路时,特别是在电子技术中,常常引入电位的概念,即选电路中的某一点为参考点,则电路中其他任何一点与参考点之间的电压便是该点的电位。在同一电路中,由于参考点选的不同,各点的电位值会随之改变,但是任意两点之间的电压值是不变的。所以各点的电位高低是相对的,而两点间的电压值是绝对的。

原则上,参考点可以任意选择,但为了统一起见,工程上常选大地为参考点。机壳需要接地的设备,可以把机壳选作电位的参考点。有些电子设备,机壳虽不一定接地,但为分析方便起见,可以把它们当中元件汇集的公共端或公共线选作参考点,也称为“地”,在电路图中用“ $\perp$ ”表示。

【例 1.2.1】在图 1.2.2 所示电路中,求开关 S 闭合和断开两种情况下 a、b、c 三点的电位。

解:当开关 S 闭合时, $U_a=6\text{V}$, $U_b=-3\text{V}$, $U_c=0\text{V}$ 。

当开关 S 断开时, a 点的电位不变 $U_a=6\text{V}$ 。

因为电路中无电流流过电阻 R, $U_b=U_a=6\text{V}$ 。

c 点的电位比 b 点电位高 3V, $U_c=6+3=9\text{V}$ 。

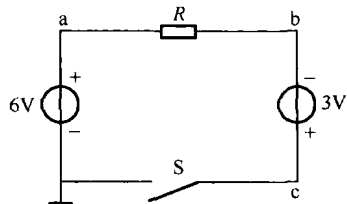


图 1.2.2 例 1.2.1 的图

在电路的分析和计算中,功率的计算也是十分重要的。这是因为一方面电路在工作状态下总伴随有电能与其他形式能量的相互转换;另一方面,电气设备、电路部件本身都有功率的限制,在使用时要注意其电流值或电压值是否超过额定值,超载会使设备或部件损坏,或不能正常工作。

功率是能量转换的速率,电路中任何元件的功率 P ,都可用元件的端电压 U 和其中的电流 I 相乘求得。

不过,在写表达式求解功率时,要注意 U 与 I 的参考方向是否一致。

若 U 与 I 的参考方向一致,则 $P=UI$ (1.2.1)

若 U 与 I 的参考方向相反,则 $P=-UI$ (1.2.2)

另外, U 和 I 的值还有正负之分。当把 U 和 I 的值代入上列两式计算后,所得的功率也会

有正负的不同。功率的正负表示了元件在电路中的作用不同。若功率为正值,则表明该元件在电路中是负载,将电能转换成了其他的能量;若功率是负值,则表明该元件在电路中是电源,将其其他形式的能量转换成电能。

在图 1.2.3 中,已知某元件两端的电压 U 为 5V,A 点电位高于 B 点电位,电流 I 的实际方向是从 A 点到 B 点,其值为 2A,在图 1.2.3(a)中 U 和 I 的参考方向一致,功率 $P=UI=5\times 2=10\text{W}$,为正值,表明此元件吸收的功率为 10W。如果 U 和 I 的参考方向不一致,如图 1.2.3(b)所示,若此时 $U=-5\text{V}$, $I=2\text{A}$,功率 $P=-UI=-(-5)\times 2=10\text{W}$,所以此元件还是吸收了 10W 的功率,与图 1.2.3(a)求得的结果一致。

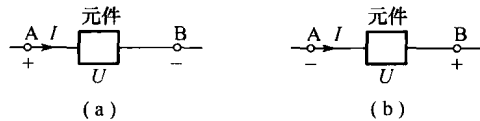


图 1.2.3 元件的功率

在同一个电路中,发出的功率和吸收的功率在数值上是相等的,这就是电路的功率平衡。

在国际单位中,功率的单位是瓦[特](焦耳/秒),用大写字母“W”表示,还有千瓦(kW)、毫瓦(mW)等单位。它们之间的换算关系如下:

$$1\text{kW}=10^3\text{W}=10^6\text{mW}$$

思考与练习

- 1.2.1 求如图 1.2.4 所示电路中开关 S 闭合和断开两种情况下 a、b、c 三点的电位。
- 1.2.2 一个电源的功率,也可用其电动势 E 和电流 I 相乘求得。试说明采用此方法计算的电源功率的正负值的意义。
- 1.2.3 求如图 1.2.5 所示电路中通过两个恒压源的电流 I_1 、 I_2 及其功率,并说明这两个电源在电路中分别是起电源作用还是起负载作用。

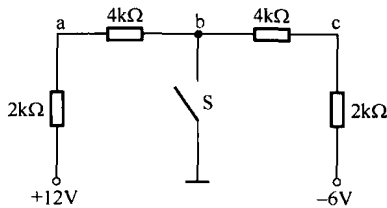


图 1.2.4 思考与练习 1.2.1 图

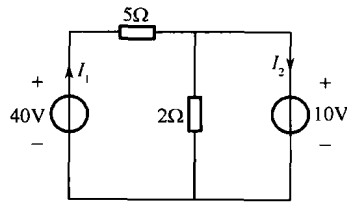


图 1.2.5 思考与练习 1.2.3 图

1.3 基尔霍夫定律

电路是由多个元件互联而成的整体,在这个整体中,元件除了要遵循自身的电压、电流关系外,同时还必须服从电路整体上的电压、电流关系,即电路的互联关系。基尔霍夫定律就是研究这一规律的。该定律包括电流定律和电压定律,前者描述电路中各电流之间的约束关系,后者描述电路中各电压之间的约束关系。

为了便于学习基尔霍夫定律,首先结合图 1.3.1 所示电路来介绍电路中的几个名词。

- (1)支路:电路中的每一个分支称为支路,一条支路流过同一个电流。
- (2)节点:电路中 3 条或 3 条以上支路的连接点称为节点。
- (3)回路:由一条或多条支路所组成的闭合电路。
- (4)网孔:内部不含支路的回路称为网孔。

图 1.3.1 所示的电路中共有 acb、adb、acb 三条支路,a 和 b 两个节点,adbca、aebda、aebca 三个回路,adbca、aebda 两个网孔。

1.3.1 基尔霍夫电流定律

基尔霍夫电流定律(KCL)是用来确定连接在同一节点上的各支路电流关系的。KCL 指出:在任一瞬时,流入电路中任一节点的各支路电流之和等于流出该节点的各支路电流之和。

在图 1.3.1 所示的电路中,对节点 a 可以得到

$$I_1 + I_2 = I_3 \quad (1.3.1)$$

或将上式改写成

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

即

$$\sum I = 0 \quad (1.3.2)$$

就是在任一瞬时,一个节点上电流的代数和恒等于零。如果规定参考方向指向节点时电流为正,则背向节点就为负。

基尔霍夫电流定律不仅适用于某一具体节点,而且还可以推广用于电路中任一假定的闭合面。例如在图 1.3.2 所示的晶体管中,对虚线所示的闭合面来说,3 个电极电流的代数和应等于零,即

$$I_C + I_B - I_E = 0$$

由于闭合面具有与节点相同的性质,因此称为广义节点。

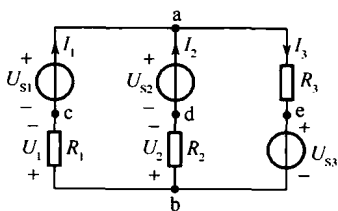


图 1.3.1 基尔霍夫定律

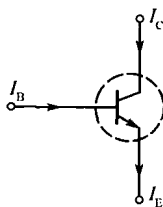


图 1.3.2 广义节点

【例 1.3.1】在图 1.3.3 所示的部分电路中,已知, $I_1 = 3\text{A}$, $I_4 = -5\text{A}$, $I_5 = 8\text{A}$, 试求 I_3 和 I_6 的值。

解:根据图中标出的电流参考方向,应用基尔霍夫电流定律,分别由节点 a、b、c 求得

$$I_6 = I_4 - I_1 = -5 - 3 = -8\text{A}$$

$$I_2 = I_5 - I_4 = 8 - (-5) = 13\text{A}$$

$$I_3 = I_6 - I_5 = -8 - 8 = -16\text{A}$$

在求得 I_2 后, I_3 也可以由广义节点求得,即

$$I_3 = -I_1 - I_2 = -3 - 13 = -16\text{A}$$

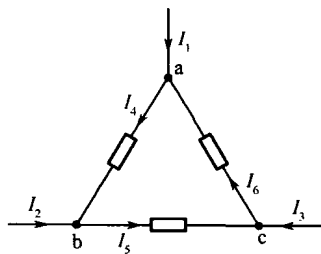


图 1.3.3 例 1.3.1 图

1.3.2 基尔霍夫电压定律

基尔霍夫电压定律(KVL)是用来确定回路中各部分电压间关系的。KVL 指出:在任一瞬时,从回路中任一点出发,沿任一循行方向绕回路一周,则在这个方向上的电位降之和等于电位升之和。

在图 1.3.4 所示电路中,按 ABCD 循行的方向可列出

$$I_1 R_1 + I_2 R_2 + I_3 R_3 + E_3 = I_4 R_4 + E_4$$

或将上式改写成

$$I_1R_1+I_2R_2+I_3R_3+E_3-I_4R_4-E_4=0$$

即

$$\sum U=0 \tag{1.3.3}$$

也就是说,在任一瞬间沿任一循行方向绕回路一周,回路中各段电压的代数和恒等于零。如果规定电位降为正,则电位升就为负,反之亦可。

在对图 1.3.4 所示电路的回路列写上述 KVL 方程时,遵循了以下几点:

- ①首先在图中标明各支路电压、电流的参考方向,然后选择一个循行方向;
- ②当支路电流的参考方向与循行方向一致时,电阻压降取正,反之取负;
- ③当电动势的参考方向与循行方向相反时取正,一致时取负。

【例 1.3.2】在图 1.3.5 中, $I_1=3\text{mA}$, $I_2=1\text{mA}$ 。试确定电路元件 3 中的电流 I_3 及其两端电压 U_3 , 并说明它是电源还是负载。

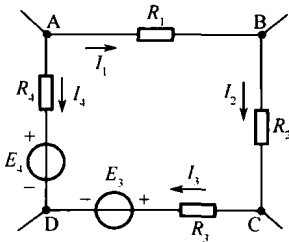


图 1.3.4 KVL 电路

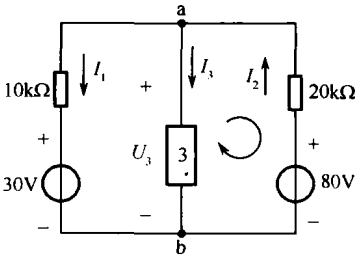


图 1.3.5 例 1.3.2 图

解:根据 KCL,对于节点 a 有

$$I_1-I_2+I_3=0$$

代入 I_1 和 I_2 数值,得

$$(3-1)+I_3=0$$

$$I_3=-2\text{mA}$$

根据 KVL 和图 1.3.5 右侧网孔所示的循行方向,可列写该回路的电压方程为

$$-U_{ab}-20I_2+80=0$$

代入 I_2 数值,得

$$U_{ab}=60\text{V}$$

显然,元件 3 两端电压和流过它的电流实际方向相反,是产生功率的元件,即电源。

思考与练习

1.3.1 在图 1.3.6 所示电路中,电流 I_1 和 I_2 各为多少?

1.3.2 试写出如图 1.3.7 所示电路中的回路 ABDA、AFCBA 和 AFCBDA 的 KVL 方程。

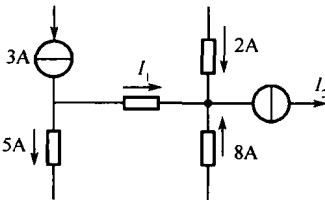


图 1.3.6 思考与练习 1.3.1 图

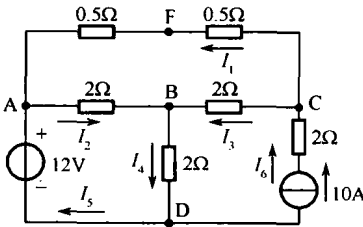


图 1.3.7 思考与练习 1.3.2 图

1.4 电阻的串联与并联

在实际应用中根据不同的目的,各电阻可连接成不同的形式,其中最简单、最常用的形式是串联与并联。

1.4.1 电阻的串联

如果将若干个电阻依次首尾连接,并且在这些电阻中通过同一电流,则这样的连接形式就称为电阻的串联,如图 1.4.1(a)所示。

在图 1.4.1(a)中,有

$$U = U_1 + U_2 + \cdots + U_n = IR_1 + IR_2 + \cdots + IR_n \\ = I(R_1 + R_2 + \cdots + R_n)$$

令
$$R = R_1 + R_2 + \cdots + R_n = \sum_{i=1}^n R_i$$

则
$$U = IR \quad (1.4.1)$$

其中, R 定义为串联电路的等效电阻,其等效电路如图 1.4.1(b)所示。

电阻的串联可用一个等效电阻 R 来代替,由此简化了电路。由式(1.4.1)和欧姆定律可求出串联各电阻两端的电压与总电压的关系式,即串联电阻的分压公式为

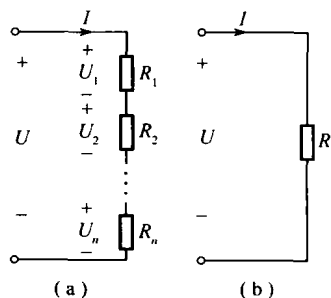


图 1.4.1 电阻的串联及等效电阻

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= IR_1 = \frac{R_1}{R} U \\ U_2 &= IR_2 = \frac{R_2}{R} U \\ &\vdots \\ U_n &= IR_n = \frac{R_n}{R} U \end{aligned} \right\} \quad (1.4.2)$$

式(1.4.2)说明在电阻串联电路里,当外加电压一定时,各电阻端电压的大小与它的电阻值成正比。电路串联的应用很多。例如在负载电压低于电源电压的情况下,通常需要给负载串联一个电阻,以此来降低负载上的电压。当需要调节电路中的电流时,也可以在电路中串联一个变阻器来进行调节。

1.4.2 电阻的并联

如果电路中有若干个电阻连接在两个公共节点之间,使各个电阻承受同一电压,则这样的连接形式就称为电阻的并联,如图 1.4.2(a)所示。

在图 1.4.2(a)中,根据 KCL,并联电路的总电流应等于电路中各支路电阻分电流之和,即

$$I = I_1 + I_2 + \cdots + I_n = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \cdots + \frac{U}{R_n} \\ = U \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n} \right)$$

令
$$\frac{1}{R} = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n} \right) \quad (1.4.3)$$

则
$$I = \frac{U}{R}$$

其中, R 定义为并联电路的等效电阻,等效电路如图 1.4.2(b)所示。

由式(1.4.3)和欧姆定律可求得通过并联各电阻的电流和总电流的关系式,即并联电阻的分流公式为

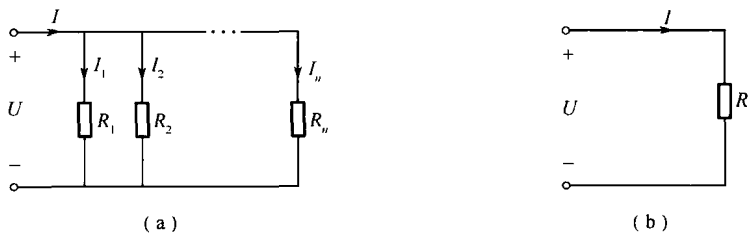


图 1.4.2 电阻的并联及等效电阻

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{U}{R_1} = \frac{IR}{R_1} \\ I_2 &= \frac{U}{R_2} = \frac{IR}{R_2} \\ &\vdots \\ I_n &= \frac{U}{R_n} = \frac{IR}{R_n} \end{aligned} \right\} \quad (1.4.4)$$

可见, 并联电阻上电流的大小与其阻值成反比。

一般负载都有一定的额定电压, 因此总是并联运行的。负载并联运行时, 它们处于同一电压之下, 可以认为任何一个负载的工作情况不受其他负载的影响。并联的负载电阻越多, 则总电阻越小, 电路中总电流和总功率也就越大, 但每个负载的电流和功率没有变化。

思考与练习

1.4.1 试求图 1.4.3 中 a 、 b 两点间的等效电阻 R_{ab} 。

1.4.2 通常电灯开得越多, 总的负载电阻是越大还是越小?

1.4.3 计算图 1.4.4 所示电阻并联电路的等效电阻。

1.4.4 如图 1.4.5 所示电路中, 其中 $R_1 = 10\Omega$, $R_2 = 5\Omega$, $R_3 = 2\Omega$, $R_4 = 3\Omega$, 电源电压 $U = 125V$, 试求电流 I_1 、 I_2 和 I_3 的值。

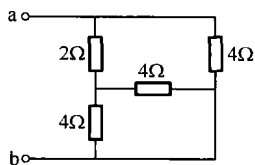


图 1.4.3 思考与练习 1.4.1 图

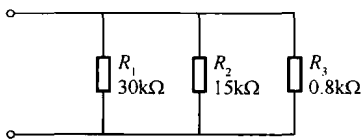


图 1.4.4 思考与练习 1.4.3 图

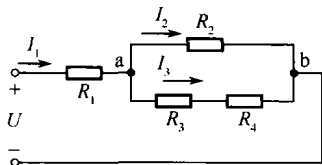


图 1.4.5 思考与练习 1.4.4 图

1.5 电源有载工作、开路与短路

1.5.1 电源有载工作

在图 1.5.1 中, 当开关 S 闭合后, 电源和负载接通形成闭合回路, 这就是电源有载工作。在有载工作状态下, 电路具有下列特征:

(1) 电路中的电流为

$$I = \frac{E}{R_0 + R_L} \quad (1.5.1)$$

当 E 和 R_0 一定时, 电流 I 由负载电阻 R_L 的大小决定。负载电阻 R_L 越小 (即所带的负载越多), 则电流 I 越大。

(2) 电源输出的端电压 U 等于负载电阻两端的电压, 由上式可得