

● 高等学校教材

电工电子基础

主 编 韦东梅

副主编 李畸勇 李泽

高等教育出版社

● 高等学校教材

电工电子基础

Diangong Dianzi Jichu

主 编 韦东梅

副主编 李畸勇 李泽

高等教育出版社·北京

内容简介

本书是按照教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会最新制定的“电工学”课程教学基本要求编写的。全书共分为15章,分别是直流电路、正弦交流电路、三相正弦交流电路、动态电路的暂态分析、变压器、三相异步电动机、电气控制技术、建筑电气、常用半导体器件、晶体管放大电路、集成运算放大器、直流稳压电源电路、晶闸管可控整流电路、逻辑代数基础与组合逻辑电路、触发器与时序逻辑电路。本书以引导学生入门为主导思想,注重基础,主要特色是每个章节都有应用案例,特别是小应用,以达到提高学生学习兴趣、激发学生自主学习、提高创新能力的目的。

本书可作为高等学校非电类专业电工电子学课程的教材,也可供有关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子基础 / 韦东梅主编. --北京:高等教育出版社, 2015.2

ISBN 978-7-04-041678-7

I. ①电… II. ①韦… 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(2014)第 296707 号

策划编辑 杨 希
插图绘制 杜晓丹

责任编辑 杨 希
责任校对 李大鹏

封面设计 钟 雨
责任印制 韩 刚

版式设计 范晓红

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
印 刷 涿州市京南印刷厂
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 23
字 数 520 千字
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
版 次 2015年2月第1版
印 次 2015年2月第1次印刷
定 价 33.50元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物 料 号 41678-00

前 言

在当前非电类工科各专业普遍压缩电工电子学课程学时的情况下,为了适应课时数不同的各个专业的不同教学要求,本着通俗易懂的原则,本书按理论课 54~96 学时的长度进行编写,即讲完全书的内容大约需要 96 学时(不包括实验学时),只讲无 * 号的内容大约需要 54 学时。

本教材适用于以下专业:机械工程、土木工程、化学工程与制药工程、资源与冶金工程、轻工与食品工程、生命科学与技术、林业工程、环境工程等。

本书内容涉及电路、电机学、电气控制技术、建筑电气、模拟电子技术、电力电子技术、数字电子技术等内容,以满足非电类理工科本科教育不同专业、不同学生、不同学时对电工电子学的需要。本书以引导学生入门为主导思想,因此所涉及的内容都比较浅显,主要特色是每个章节都有应用案例,特别是小应用,以达到提高学生学习兴趣、激发学生自主学习、提高创新能力的目的。

参与本书编写的有韦东梅(主编,第 1 章、第 2 章),李畸勇(副主编,第 8 章、第 13 章),李泽(副主编,第 5 章、第 6 章),熊小萍(第 3 章),龚文英(第 4 章),黄阳(第 7 章),黄奂(第 9 章),梁冰红(第 10 章),曹玮(第 11 章),梁永清(第 12 章),喻桂兰(第 14 章),周奖(第 15 章),全书由韦东梅统稿、修改和补充。

本书由华南理工大学殷瑞祥教授主审,殷教授提出了许多宝贵的修改意见。高等教育出版社对本书的出版提供了很大的帮助。在此一并表示感谢。

由于水平有限,书中难免存在错误和疏漏,望读者批评指正。

编者邮箱:349073356@qq.com。

编 者
2014 年 9 月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任；构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话 (010) 58581897/58582371/58581879

反盗版举报传真 (010) 82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120

目 录

第 1 章 直流电路	1	* 3-4 安全用电	78
1-1 电路的组成及其基本物理量	1	小结	82
1-2 电压、电流的关联参考方向及功率 正负的意义	5	习题	83
1-3 电路的基本定律	6	* 第 4 章 动态电路的暂态分析	85
1-4 电阻的连接方式及等效运算	10	4-1 换路定则	85
* 1-5 实际电压源与电流源模型及等效 变换	14	4-2 RC 电路的响应	88
1-6 支路电流法	18	4-3 RL 电路的响应	93
* 1-7 两结点的结点电压法	19	4-4 一阶线性电路暂态分析的三要 素法	96
1-8 叠加定理	21	4-5 一阶电路的应用	98
1-9 戴维宁定理	24	小结	99
* 1-10 电路中的电位与电压	26	习题	100
* 1-11 直流电路应用举例	28	* 第 5 章 变压器	103
小结	29	5-1 单相变压器	103
习题	30	5-2 特殊变压器	107
第 2 章 正弦交流电路	34	5-3 三相变压器和三绕组变压器	108
2-1 正弦交流电的概念	34	小结	109
2-2 相量	39	习题	110
2-3 电感与电容	43	第 6 章 三相异步电动机	112
2-4 相量形式的电路定律	44	6-1 三相异步电动机的结构和转动 原理	112
2-5 复阻抗的串联与并联	49	6-2 三相异步电动机的电路分析	115
2-6 正弦交流电路的分析与计算	54	6-3 三相异步电动机的转矩特性和 机械特性	117
2-7 正弦交流电路的功率	56	6-4 三相异步电动机的使用	120
2-8 功率因数的提高	58	* 6-5 单相交流电动机和伺服电动机	126
* 2-9 交流电路中的谐振	60	小结	129
* 2-10 交流电路应用举例	64	习题	129
小结	65	第 7 章 电气控制技术	131
习题	66	7-1 常用低压控制电器	131
第 3 章 三相正弦交流电路	70	7-2 按钮和行程开关	137
3-1 三相电源	70	7-3 直接起动的控制线路	139
3-2 三相负载	72		
3-3 三相功率	76		

7-4 正反转控制电路	140	小结	247
7-5 顺序控制	142	习题	247
7-6 多地点控制	142	第 12 章 直流稳压电源电路	251
7-7 行程控制	143	12-1 直流稳压电源概述	251
* 7-8 时间控制	144	12-2 整流电路	252
小结	146	12-3 滤波电路	258
习题	148	12-4 稳压电路	261
* 第 8 章 建筑电气	150	小结	265
8-1 供电系统	150	习题	266
8-2 建筑施工工地供电线路	156	* 第 13 章 晶闸管可控整流电路	271
8-3 建筑室内供电线路	157	13-1 电力电子器件	271
8-4 建筑电气照明	164	13-2 晶闸管可控整流电路	275
8-5 接地与防雷	177	13-3 晶闸管的触发电路	284
8-6 住宅照明举例	189	13-4 应用举例	286
小结	192	小结	288
习题	193	习题	289
第 9 章 常用半导体器件	194	第 14 章 逻辑代数基础与组合逻辑 电路	290
9-1 半导体基础知识	194	14-1 逻辑代数基础	290
9-2 二极管	197	14-2 逻辑函数的表示和化简方法	293
9-3 稳压二极管	199	14-3 门电路	297
9-4 晶体管	201	14-4 组合逻辑电路的分析和设计	304
小结	205	14-5 编码器	308
习题	206	14-6 译码器	312
第 10 章 晶体管放大电路	208	14-7 加法器	318
10-1 晶体管放大电路	208	* 14-8 应用案例	319
10-2 放大电路的基本分析方法	212	小结	320
10-3 静态工作点稳定电路	223	习题	322
10-4 射极输出器(共集组态基本放大 电路)	228	第 15 章 触发器与时序逻辑电路	328
* 10-5 应用举例	231	15-1 双稳态触发器	328
小结	232	15-2 寄存器	336
习题	233	15-3 计数器	337
第 11 章 集成运算放大器	237	15-4 时序逻辑电路的分析	347
11-1 集成运算放大器简介	237	* 15-5 555 定时器	350
* 11-2 集成运算放大电路中的反馈	240	小结	354
11-3 集成运算放大器在信号运算方面 的应用	243	习题	354
11-4 电压比较器	246	参考文献	360
* 11-5 应用实例	246		

第1章 直流电路

本章提要

直流电路是电工电子技术应用在实际工程中的基础,其分析与计算方法种类繁多。本章重点讨论的内容主要有电压、电流参考方向的概念,基本定律中的欧姆定律及基尔霍夫定律,常用线性电路分析方法与定理中的支路电流法、结点电压法、电源等效变换法、叠加定理及戴维宁定理等,并简单介绍了直流电路应用实例,使读者能初步了解直流电路知识在实际中的具体应用。

§ 1-1 电路的组成及其基本物理量

一、电路的组成

某些电气装置或器件按一定方式组合起来,构成的电流通路,即为电路。

电路由以下 3 部分组成。

1. 电源

电源是将其他形式的能量转换为电能的装置。例如电池、发电机等。

独立电源分为两类:电压源与电流源。电压大小和方向保持恒定不变的电源称为理想电压源(又称恒压源),而电流大小和方向保持恒定不变的电源称为理想电流源(又称恒流源)。理想电压源、理想电流源图形符号如图 1-1(a)、图 1-1(b)所示。



(a) 理想电压源图形符号 (b) 理想电流源图形符号

图 1-1 独立理想电源图形符号

2. 负载

负载是取用电能的装置。例如线性电阻、电灯、电动机、电视机及家用电器等。其中线性电阻的图形符号如图 1-2 所示。

3. 连接环节

连接环节是连接电源和负载之间的装置。它包括电线、开关、变压器等。其中开关的图形符号如图 1-3 所示。

最简单的常见电路为手电筒电路,其形式如图 1-4 所示。

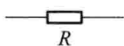


图 1-2 线性电阻图形符号

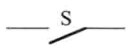


图 1-3 开关图形符号

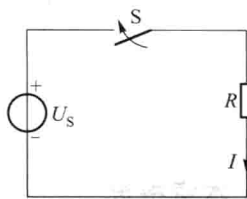


图 1-4 手电筒电路的组成

二、电路的基本物理量

1. 电流

电流是电荷有规律运动形成的电子流,它的大小用电流强度 i 或 I 来表示。所谓电流强度是指:若在很短的时间 dt 内,均匀流过某一导体横截面的电荷量为 dq ,则电流强度为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-1)$$

即流过横截面的电荷量对时间的变化率,一般简称为电流。若电流的大小、方向都不随时间 t 的变化而变化,则这种电流称为恒定电流,简称直流,并用大写字母 I 表示。

电流的物理单位为 A(安[培]),不同的电路及负载,电流的差别极大。电动机电流可达几十或上百安[培],而电子电路的电流仅有百分之几或千分之几安[培]。故计量微小的电流时,可用 mA(毫安)或 μA (微安)为单位。其中

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

电流是有方向的物理量。习惯上将正电荷的运动方向定义为电流的实际方向。在计算和分析复杂电路时,若一段支路上的电流实际方向无法确定,则可任意取某一方向来参与分析和计算,这样的方向又称为参考方向。参考方向由于是任选的,因此有可能与实际方向一致,也有可能不一致。若按参考方向计算出来的电流为正值时,则说明所选择的参考方向与实际方向一致;为负值时,则参考方向与实际方向相反。



图 1-5 电流方向的表示

电流方向的表示方法:用箭头表示,如图 1-5 所示。

2. 电位及电压

(1) 电位:电位用 V 表示。若电场力将正电荷 dq 自某点沿任意路径移到参考点所消耗的电能为 dW ,则该点电位为

$$V = \frac{dW}{dq} \quad (1-2)$$

其中参考点电位为零。

(2) 电压:电压用 u 或 U 表示。若电场力将正电荷 dq 自 A 点沿任意路径移到 B 点所消耗的电能为 dW_{AB} ,则 AB 之间的电压为

$$u_{AB} = \frac{dW_{AB}}{dq} \quad (1-3)$$

AB 之间的电压即为 AB 之间的电位差,即

$$u_{AB} = \frac{dW_{AB}}{dq} = V_A - V_B \quad (1-4)$$

某点的电位即为该点与参考点之间的电压(或电位差)。

当电压的大小、方向都不随时间 t 的变化而变化时,这种电压称为恒定电压,并用大写字母 U 表示。

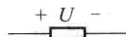
(3) 电压(或电位)的单位为 V(伏[特])。计量低电压(或电位)时,可用 mV(毫伏)或 μ V(微伏)为单位;计量高电压(或电位)时,可用 kV(千伏)为单位。其中

$$1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V}$$

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

(4) 电压与电位的方向:电压与电位也是有方向的物理量。其实际方向被规定为由高电位端指向低电位端的方向,即电压降的方向。与电流一样,在计算和分析复杂电路时,若某两端电压实际方向无法确定时,则可任意取某一方向来参与分析和计算,这样的方向也称为参考方向。某点电位的参考方向一般默认为该点指向参考点。参考方向由于是任选的,因此有可能与实际方向一致,也有可能不一致。若按参考方向计算出来的电压或电位为正值时,则说明所选择的参考方向与实际方向一致;为负值时,则参考方向与实际方向相反。

(5) 电压或电位参考方向表示方法:一般用“+”、“-”表示。



“+”表示高电位端,“-”表示低电位端,如图 1-6 所示。

图 1-6 电压方向的表示

此外,电压文字符号中的下标也用于表示参考方向。如 u_{AB} 表示其参考方向为 A 点指向 B 点, A 为高电位端“+”, B 为低电位端“-”。电位 V_A 表示参考方向为 A 点指向参考点, A 为高电位端“+”,参考点为低电位端“-”。

3. 电动势

电动势用字母 e 来表示。若非电场力将正电荷 dq 从电源负极移到电源正极,使电源获得的电能为 dW 的话,则该电源的电动势为

$$e = \frac{dW}{dq} \quad (1-5)$$

电动势的实际方向被规定为由低电位端指向高电位端的方向,即电压升的方向,与电源两端电压的实际方向相反。电动势的计量单位与电压相同,为 V(伏[特])。恒定不变的电动势用大写字母 E 表示。

4. 功率

功率用字母 p 来表示。若在 dt 时间内,电场力将正电荷 dq 从某元件电压 u 的“+”极移动到“-”极时电场力做的功,也即是该元件吸收的能量为 dW 的话,则该元件吸收的功率为

$$p = \frac{dW}{dt} \quad (1-6)$$

由电流、电压定义及式(1-1)、式(1-3)可见,当某元件上的电压、电流参考方向一致

时,则 t 时刻该元件吸收的功率为

$$p = \frac{dW}{dt} = \frac{u dq}{dt} = ui \quad (1-7)$$

在直流电路中,功率不随时间变化,用大写字母 P 来表示。在国际单位制中,电压的基本单位为 V,电流的基本单位为 A,则功率的基本单位为 W(瓦[特])。除了 W 外,还可用 kW(千瓦)或 mW(毫瓦)作为计量单位。其中

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

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

功率是个标量,没有方向,但有正负。功率正负的含义将在 §1-2 中单独叙述。

5. 电能

电能用字母 W 来表示。由功率的定义及式(1-6)、式(1-7)可见,当某元件上的电压、电流参考方向一致时,则该元件在 t_0 到 t 的时间内吸收的能量为

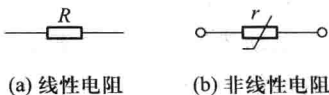
$$W(t) = \int_{t_0}^t p dt \quad (1-8)$$

在国际单位制中,电能的基本单位为 J(焦[耳])。在实际应用中,J 作为计量单位显得太小,不够方便。因此在工程上,常用的电能计量单位还有 kW·h(千瓦·时),1 千瓦·时为 1 度电。其中

$$1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

三、电阻

当把不同的负载接到同一电源时,负载中通过的电流大小是不相同的。这是因为不同的材料对电流有不同阻力的缘故。我们把加在导体两端的电压与通过导体的电流的比值称为电阻。当该比值(电阻值)不随电压、电流的变化而变化,也不随时间的变化而变化,为恒定值时,这种电阻即称为线性定常电阻,用符号 R 表示,图形符号如图 1-7(a) 所示。否则称为非线性电阻,用符号 r 表示,图形符号如图 1-7(b) 所示。



(a) 线性电阻

(b) 非线性电阻

电阻的基本计量单位是 Ω (欧[姆])。计量值大的电阻时,可用 $\text{k}\Omega$ (千欧)或 $\text{M}\Omega$ (兆欧)为单位。其中

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

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

电阻值的大小与材料有关。对于材料均匀,截面也均匀的导体而言,电阻值

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad (1-9)$$

式中 l ——导体长度,单位为 m(米);

S ——导体横截面积,单位为 mm^2 (平方毫米);

ρ ——材料的电阻系数,又称为电阻率,单位为 $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$ (欧·平方毫米/米)。

电阻率 ρ 是长 1 m,横截面积为 1 mm^2 导体的电阻值。不同的材料其电阻率 ρ 则不同。

表 1-1 是几种常用材料在 20 °C 时的电阻率。

表 1-1 几种常用材料的电阻率

用 途	材 料 名 称	电阻率 $\rho/(\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m})$ 温度为 20 °C
导电材料	碳	10
	银	0.0165
	铜	0.0175
	铝	0.0283
电阻材料	锰 铜	0.42
	康 铜	0.44
	镍铬铁	1.0
	铝铬铁	1.2

电阻在使用时常被烧坏,损坏特征明显,有烧焦的痕迹,维修时用一只阻值相同、功率相同的电阻替换即可。

§ 1-2 电压、电流的关联参考方向及功率正负的意义

一、电压、电流的关联参考方向

在前述的 § 1-1 中提过,在计算和分析复杂电路时,各支路上的电压、电流实际方向往往是无法确定的,这时可任意取某一方向来参与分析和计算,这样的方向又称为参考方向。

当某个元件或某条支路上的电压 U 、电流 I 采用的参考方向相同时,如图 1-8(a) 所示,称之为参考方向一致或关联参考方向。反之,如图 1-8(b) 所示,称为参考方向不一致或非关联参考方向。

注意:① 分析电路前必须选定电压和电流的参考方向。② 参考方向一经选定,必须在图中相应位置做标注(包括方向和符号),在计算过程中不得任意改变。

图 1-9 电路中所示电压 U 、电流 I 的参考方向,对 A 元件而言为参考方向不一致或非关联,对 B 元件则为参考方向关联一致。

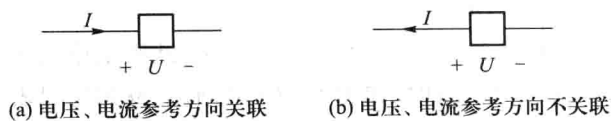


图 1-8 参考方向

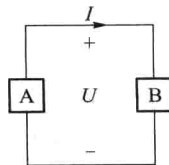


图 1-9 关联参考方向的判断

二、功率正负的意义

由 § 1-1 中[式(1-7)],当某元件上的电压 U 、电流 I 参考方向关联一致时,如图 1-8

(a)所示,则该元件吸收的功率为

$$P = UI$$

注意:因为此时电压 U 、电流 I 的方向是参考方向,不是实际方向, U 或 I 的值有可能大于零,也有可能小于零,因此用此式计算出来的功率值不一定就是大于零的正功率。

反之当某元件上的电压 U 、电流 I 参考方向非关联一致时,如图 1-8(b)所示,则该元件吸收的功率为

$$P = -UI$$

与上述同理,用此式计算出来的功率值不一定就是小于零的负功率。

无论哪种情况,只要计算出来的功率值为大于零的正功率,则说明该元件为“吸收正功率”的消耗能量的元件,正在起负载作用。若计算出来的功率值为小于零的负功率,则说明该元件“吸收负功率”,实际为“发出正功率”的产生能量的元件,正在起着电源的作用。

三、电路中的功率平衡关系

在任一瞬间任一个电路中,根据能量守恒定律易推出,电路中吸收的功率之和恒等于零。其普遍形式为

$$\sum P_{\text{吸收}} = 0 \quad (1-10)$$

§ 1-3 电路的基本定律

电路定律是分析电路和设计电路的基础。本节所讨论和学习的基本定律为欧姆定律及基尔霍夫定律。

一、欧姆定律

欧姆定律的定义为:任一瞬间,流过线性电阻上的电流与该电阻两端的电压成正比,与电阻值成反比。即

$$i = \pm \frac{u}{R} \quad (1-11)$$

在直流电路中

$$I = \pm \frac{U}{R}$$

当电阻 R 上的电压、电流参考方向关联一致时,如图 1-10(a)所示,欧姆定律表达式取“+”;当电阻 R 上的电压、电流参考方向不关联一致时,如图 1-10(b)所示,欧姆定律表达式应取“-”。

例 1-1 某电阻两端的电压为 4 V,流过它的电流为 0.5 A,问应选购阻值、功率为多大的电阻?

解: 根据欧姆定律 $I = \frac{U}{R}$, 有

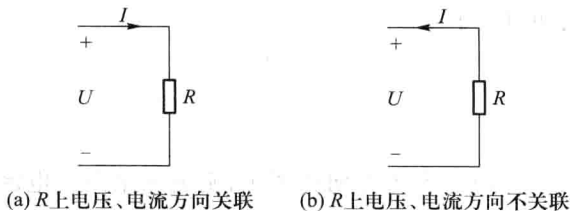


图 1-10 欧姆定律的应用

$$R = \frac{U}{I} = \frac{4}{0.5} \Omega = 8 \Omega$$

$$P = U \cdot I = 4 \times 0.5 \text{ W} = 2 \text{ W}$$

故应购买一只阻值为 8Ω 、功率为 2 W 的电阻。

例 1-2 某白炽灯 R 的阻值为 1210Ω , 加在其两端的电压 $U = 220 \text{ V}$, 问流过白炽灯的电流为多少? 白炽灯的功率(瓦数)为多少?

解: 流过白炽灯的电流应为

$$I = \frac{U}{R} = \frac{220}{1210} \text{ A} = 0.18 \text{ A}$$

根据式(1-7)的直流表达形式及欧姆定律可推出线性电阻上消耗的功率为

$$P = U \cdot I = \frac{U^2}{R} = I^2 R \quad (1-12)$$

因此白炽灯的功率为

$$P = \frac{220^2}{1210} \text{ W} = 40 \text{ W}$$

二、基尔霍夫定律

1. 基本概念

支路: 任意两个不同电位之间流过同一电流的一段电路。图 1-11 中共有 6 条支路。

结点: 3 条或 3 条以上支路的连接点。图 1-11 中共有 a、b、c、d 4 个结点。

回路: 电路中无重复结点的任一闭合路径。图 1-11 中共有 7 个回路。

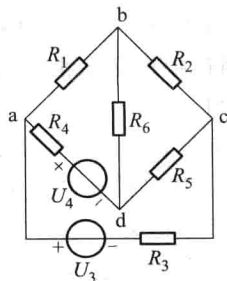
网孔: 没有支路穿过的回路(平面电路中)。图 1-11 中共有 3 个网孔。

基尔霍夫定律包含有两条小定律:基尔霍夫电流定律(又称为基尔霍夫第一定律)和基尔霍夫电压定律(又称为基尔霍夫第二定律)。

2. 基尔霍夫电流定律(KCL)

(1) 定义。

基尔霍夫电流定律的定义为:在任一瞬间对任何结点,流入该结点的电流之和等于流出该结点的电流之和;或在任一瞬间,

图 1-11 基本概念
应用举例

任一结点上电流的代数和恒等于零。即

$$\sum i = 0 \quad (1-13)$$

在直流电路中

$$\sum I = 0 \quad (1-14)$$

在图 1-12 中,设各支路电流参考方向如图示,则流入结点的电流为 I_1 、 I_3 ,流出结点的电流为 I_2 、 I_4 ,根据基尔霍夫电流定律有

$$I_1 + I_3 = I_2 + I_4$$

或

$$I_1 + I_3 - I_2 - I_4 = 0$$

注意: $\sum I = 0$ 的代数和中,若流入结点的电流符号取“+”的话,则流出结点的电流符号取“-”,反过来亦可。

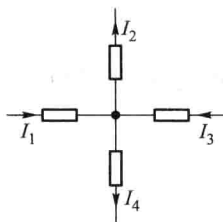


图 1-12 KCL 应用举例图

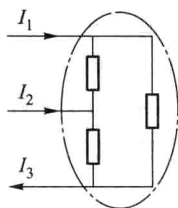


图 1-13 KCL 扩展应用举例

(2) 基尔霍夫电流定律的扩展应用。

基尔霍夫电流定律不仅适用于电路中的任一结点,还适用于电路中包围多个结点的任意封闭面,并称这样的封闭面为广义结点。即在任一瞬间、任一封闭面上电流的代数和恒等于零。

例如图 1-13 中的点画线对应的封闭面,应用基尔霍夫电流定律可列出

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

(3) KCL 应用范围。

① 基尔霍夫电流定律适用于任何电路,与支路上接的是什么元件无关,与电路是线性还是非线性无关。

② 基尔霍夫电流定律方程按电流参考方向列写,与实际方向无关。正因为如此,电流的计算结果有可能正,也有可能负。

例 1-3 在图 1-13 中,若 $I_1 = 2 \text{ A}$, $I_3 = -1 \text{ A}$,试求 I_2 。

解: 根据基尔霍夫电流定律 $I_1 + I_2 - I_3 = 0$

则 $I_2 = I_3 - I_1 = -3 \text{ A}$

负号表示 I_2 的实际方向与图中标注的参考方向相反。

3. 基尔霍夫电压定律(KVL)

(1) 定义。

基尔霍夫电压定律的定义为:在任一瞬间对任何回路,以任意方向循行一周,则在这个方向上的电压升之和等于电压降之和。

如图 1-14 所示的 ABCA 回路,设各电压及电流参考方向如图所示。若按顺时针方向

是线性还是非线性无关。

② 基尔霍夫电压定律方程按电压参考方向列写,与实际方向无关。正因为如此,电压的计算结果有可能正,也有可能负。

例 1-4 在图 1-14 电路中,已知 $U_1=1\text{ V}$, $U_2=2\text{ V}$, $U_3=3\text{ V}$, $U_4=4\text{ V}$, $I_1=1\text{ A}$, $I_2=2\text{ A}$, $R_1=1\ \Omega$, $R_2=2\ \Omega$, $R_3=3\ \Omega$ 。试求 I_3 及 I_A 、 I_B 、 I_C 。

解: 根据基尔霍夫电压定律,按顺时针方向循行一周,有

$$-I_1 R_1 - U_1 - U_2 + I_2 R_2 + U_4 - I_3 R_3 - U_3 = 0$$

$$I_3 = \frac{-I_1 R_1 - U_1 - U_2 + I_2 R_2 + U_4 - U_3}{R_3} = \frac{-1 \times 1 - 1 - 2 + 2 \times 2 + 4 - 3}{3} \text{ A} = \frac{1}{3} \text{ A}$$

据基尔霍夫电流定律,在结点 A、B、C 中有

A 点: $I_A = I_1 + I_2 = (1+2) \text{ A} = 3 \text{ A}$

B 点: $I_1 = I_B + I_3$

$I_B = I_1 - I_3 = \left(1 - \frac{1}{3}\right) \text{ A} = \frac{2}{3} \text{ A}$

C 点: $I_C + I_2 + I_3 = 0$

$I_C = -I_2 - I_3 = \left(-2 - \frac{1}{3}\right) \text{ A} = -\frac{7}{3} \text{ A}$

§ 1-4 电阻的连接方式及等效运算

电阻的连接方式归纳起来有几种:串联、并联、三角形联结及星形联结。本节仅讨论电阻的串联、并联及串并联混合连接方式的特点及等效运算。

一、电阻的串联

1. 电阻串联特征

两个或两个以上的电阻按顺序首尾相接,并流过同一电流,电阻的这种接法称为串联。图 1-15(a) 为多个电阻串联的电路。

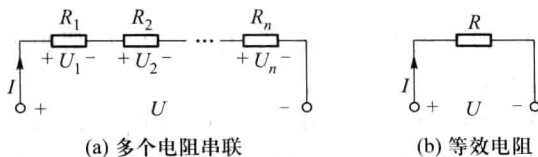


图 1-15 电阻的串联

2. 电阻串联的等效

多个电阻的串联可以等效变换为一个电阻。等效变换的条件为:在同一端口电压 U 的