



银领工程系列

电路与电工技术

廖传柱 康玉文 主编
许莉娅 副主编



高等教育出版社
Higher Education Press

银领工程系列

电路与电工技术

廖传柱 康玉文 主编

许莉娅 副主编

高等教育出版社

内容提要

本教材内容包括:电路的基本定律、电路的分析方法、正弦交流电路、电路的瞬态分析、变压器与电机、异步电动机的控制方法。在编写方法上打破以往教材过于注重“系统性”的倾向,摒弃了陈旧内容和繁琐的数学推导,精练理论,以通俗易懂的图示和流程方式说明电路原理,更适合高职高专学生的特点来构建本教材体系结构。

本教材适合技能型人才培养,适合应用电子技术、电子信息工程等电类专业学生使用。

图书在版编目(CIP)数据

电路与电工技术/廖传柱,康玉文主编. —北京:
高等教育出版社, 2006.6
ISBN 7-04-019225-X

I. 电... II. ①廖...②康... III. 电路-高等
学校-教材 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 052557 号

策划编辑 孙 杰 责任编辑 欧阳舟 封面设计 王凌波 责任绘图 朱 静
版式设计 王艳红 责任校对 王效珍 责任印制 陈伟光

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 100011
总 机 010-58581000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 涿州市星河印刷有限公司

网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

开 本 787×1 092 1/16
印 张 11
字 数 260 000

版 次 2006 年 6 月第 1 版
印 次 2006 年 6 月第 1 次印刷
定 价 13.20 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 19225-00

出版说明

为了认真贯彻《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》，落实《2003—2007 年教育振兴行动计划》，缓解国内劳动力市场技能型人才紧缺现状，为我国走新型工业化道路服务，自 2001 年 10 月以来，教育部在永州、武汉和无锡连续三次召开全国高等职业教育产学研经验交流会，明确了高等职业教育要“以服务为宗旨，以就业为导向，走产学研结合的发展道路”，同时明确了高等职业教育的主要任务是培养高技能人才。这类人才既要能动脑，更要能动手，他们既不是白领，也不是蓝领，而是应用型白领，即“银领”。这三次交流会为我国高等职业教育的进一步发展指明了方向。

培养目标的变化直接带来了高等职业教育办学宗旨、教学内容与课程体系、教学方法与手段、教学管理等诸多方面的改变，也产生了若干值得关注与研究的新课题。对此，我们组织有关高等职业院校进行了多次探讨，并从中遴选出一些较为成熟的成果，组织编写了“银领工程”丛书。本丛书围绕培养符合社会主义市场经济和全面建设小康社会发展要求的“银领”人才的这一宗旨，结合最新的教改成果，反映了最新的职业教育工作思路和发展方向，有益于固化并更好地推广这些经验和成果，很值得广大高等职业院校借鉴。我们的这一想法和做法也得到了教育部领导的肯定，教育部副部长吴启迪专门为首批“银领工程”丛书提笔作序。

我社出版的高等职业教育各专业领域技能型紧缺人才培养培训工程系列教材也将陆续纳入“银领工程”丛书系列。

“银领工程”丛书适用于高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校开办的二级职业技术学院、继续教育学院和民办高校使用。

高等教育出版社

2006 年 5 月

前 言

本教材是以教育部最新制定的“高职高专教育电工技术基础课程教学基本要求”为指导,根据高职高专人才培养模式——高等技术应用性专门人才为导向编写而成。

本教材内容包括:电路的基本定律、电路的分析方法、正弦交流电路、电路的瞬态分析、变压器与电机、异步电动机的控制方法。

本教材有如下特色:

1. 从高职学生特点出发,把电路、电工常识及交流电动机控制等内容编在一起,弱电与强电有机结合,使学生能以较短的时间,掌握应用电子技术、电子信息工程等电类专业的后续课程和今后工作所需要的必备知识。

2. 以需求为动力,适应应用电子技术、电子信息工程等电类专业对电路与电工课程在知识结构和学时方面的需求,成为必备的基础教材。

3. 电路与电工理论教学体现以应用为目的,以专业课程教学“必需、够用”为度,避开繁琐的理论推导和较深的理论知识,以通俗易懂的图示和流程方式说明电路原理,更适合高职高专学生的特点。

4. 在选择教学内容时,既保证高职学生的基础理论知识,又考虑他们毕业后的就业需求。教材内容与双证结合,帮助学生在校取得双证,学完本课程后,学生可以参加相关的技能认证,获得相关的职业资格证书,如维修电工证等。

5. 在编写方法上打破以往教材过于注重“系统性”的倾向,摒弃了陈旧内容和繁琐的数学推导,精练理论,突出实用技能,内容体系更加合理。

6. 在教学上采用讨论式、讲练结合等教学方式,可活跃课堂气氛,提高学生学习的积极性,进一步加深对所学理论知识的理解和应用。

7. 本教材反映电路与电工技术的精华,系统地吸收已有相关优秀教材的内核,以及最新的理论研究和实践成果。

本教材由廖传柱、康玉文担任主编,许莉娅担任副主编。参加本教材编写的有詹俊江(第一章),黄启智(第二章),许莉娅(第三章),廖传柱(第四章),李 闯(第五章),林苹华(第六章)。在编写过程中还得到了漳州职业技术学院电子工程系谢一菁、施 众、陈漳华、周桂容等老师的支持与帮助,在此表示衷心的感谢。

本教材由北京理工大学刘蕴陶教授主审,刘蕴陶教授提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示衷心的感谢。

本教材适合技能型人才培养,适应应用电子技术、电子信息工程等电类专业学生使用。

由于编者水平有限,书中的疏漏和错误在所难免,敬请各位读者批评指正。

编者

2005年10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给予严厉打击。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) 58581897/58581896/58581879

传 真：(010) 82086060

E - mail：dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街 4 号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100011

购书请拨打电话：(010)58581118

目 录

第一章 电路的基本定律	1	第一节 换路定理	73
第一节 电路的基本概念	1	第二节 一阶电路的零输入响应	77
第二节 电阻、电压源、电流源和欧姆定律	5	第三节 一阶电路的零状态响应	80
第三节 基尔霍夫定律	7	第四节 一阶电路的全响应	82
第四节 电阻和电源的等效变换	9	第五节 一阶电路的三要素法	85
第五节 受控源及其等效变换	15	小结	90
小结	18	习题	91
习题	18	第五章 变压器与电机	95
第二章 电路的分析方法	21	第一节 用电安全与防护知识	95
第一节 支路电流法	21	第二节 常用仪表与测量	97
第二节 节点分析法	23	第三节 变压器	101
第三节 叠加定理	26	第四节 三相异步电动机的原理与选用	108
第四节 戴维宁定理和诺顿定理	28	小结	121
小结	32	习题	121
习题	33	第六章 异步电动机的控制方法	123
第三章 正弦交流电路	36	第一节 常用低压控制器的结构、工作原 理及使用	123
第一节 正弦交流电路的基本概念	36	第二节 三相异步电动机起动控制	140
第二节 正弦交流电的相量表示法	39	第三节 三相异步电动机制动控制	151
第三节 电容元件和电感元件	42	第四节 三相异步电动机调速控制	157
第四节 正弦交流电路的计算	45	小结	161
第五节 谐振电路	54	习题	162
第六节 三相正弦电路	59	部分习题答案	164
小结	69	参考文献	167
习题	70		
第四章 电路的瞬态分析	73		

第一章

电路的基本定律

第一节 电路的基本概念

一、电路的组成

电路是由电气设备和元器件按一定方式连接起来的整体,它是电流流通的路径。组成实际电路的电气设备和电路元件的不同按其功能可分为:电源、中间环节和负载三个部分,如图 1-1 所示。

电源是提供电能的设备,它的作用是把机械能、化学能等转换为电能向电路提供能量,常见的电源有发电机和电池。

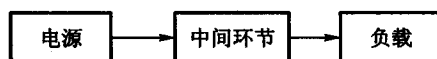


图 1-1

中间环节的作用是把电源和负载连接起来。比如电气开关、导线和保护装置等。

负载是用电设备,它把电能转换为其他形式的能量,如转换为热能、光能和机械能等,在民用设备中常见的负载有照明灯、冰箱、洗衣机、空调、电视机、电风扇和热水器,工厂中的电动机等。

二、电路的模型

本书所讨论的电路是指电路模型,而不是指实际电路。实际电路是由实际的电路元件组成的,如图 1-2(a)所示手电筒电路的示意图,它由电源(干电池)、中间环节(开关和导线)和负载(灯泡)三个部分组成。即使是灯泡,当它发光时,其物理过程也是十分复杂的,很难用简单的数学表达式来描述。为了便于对电路进行分析计算,通常是忽略一些次要因素而把实际电路元件理想化处理。图 1-2(b)是它的电路模型,在图中电池用理想电压源 U_s 和内阻 R_s 来表示,灯泡

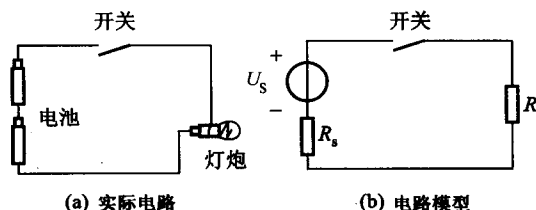


图 1-2

用理想的电阻 R 来代替,忽略导线的电阻值。今后所讨论的电路是指这样的电路模型。

所谓电路模型是指:把实际的电路元件理想化处理,并用规定的符号绘制而成的电路。

三、电路的基本物理量

电路中的物理量很多,其中电流、电压和电位是基本物理量。

1. 电流及其参考方向

带电粒子的定向运动形成电流,通常把正电荷的运动方向定为电流的实际方向,电流的大小用电流强度来表示,电流强度也简称为电流,用 i 表示。其定义是单位时间内流过导体横截面的电荷量。即

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

在国际制(SI)单位中,时间 t 的单位为秒(s),电荷 q 的单位为库(C),电流 i 的单位为安(A)。

常用的电流单位还有千安(kA)、毫安(mA)和微安(μA),其换算关系为

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

方向和大小不随时间变化的电流($\frac{dq}{dt} = \text{常数}$)称为恒定电流,简称为直流,用大写的字母 I 表示。周期地变化而不含直流分量的电流称为交流电流,简称为交流,用小写的字母 i 表示。

在分析复杂的电路时,往往无法用电流的实际方向来分析和计算,原因是电路中电流的实际方向事先很难判断,其次,当电流是交流量时,电流的实际方向是不断随时间变化的。解决的方法是,在电路的分析前,先任意假设其电流的流动方向,这个假设的电流方向称为电流的参考方向。然后进行分析计算,如果计算的结果为正值($i > 0$),说明电流的实际方向和电流的参考方向一致;分析计算的结果为负值($i < 0$),则说明电流的实际方向和电流的参考方向相反。这样就可根据计算出的电流正负值知道电流的实际方向,如图 1-3 所示。

电流的参考方向在电路图中用箭头标注,可以画在线上,也可以画在线外,其标注方法如图 1-4 所示,有时也采用双下标的标记方法,如 i_{ab} 表示电流的方向由 a 点流向 b 点,即电流的参考方向由 a 点指向 b 点。

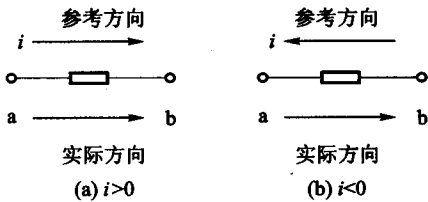


图 1-3

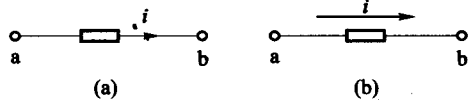


图 1-4

2. 电压及其参考方向

在电路中,电场力把单位正电荷由 a 点移到 b 点所做的功,定义为 a、b 两点之间的电压,用 u_{ab} 表示。即

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

在国际制(SI)单位中,功 W 的单位为焦(J),电压 U 的单位为伏(V)。

常用的电压单位还有千伏(kV)、毫伏(mV)和微伏(μ V),其换算关系为

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

方向和大小不随时间变化的电压称为恒定电压,也称为直流电压,用大写的字母 U 表示。时间函数的瞬时电压,用小写的字母 u 表示。

电压的参考方向与电流的参考方向类似,当计算的结果为正值($u > 0$),说明电压的实际方向和电压的参考方向一致;分析计算的结果为负值($u < 0$),则说明电压的实际方向与参考方向相反,如图 1-5 所示。

电压的参考方向用“+”、“-”符号表示,其标注方法如图 1-6 所示。

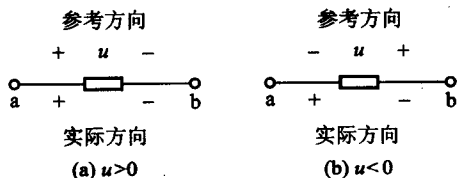


图 1-5

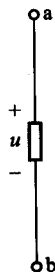


图 1-6

在电路分析时,元件或某段电路中电压和电流的参考方向均可任意假设,两者可以一致,也可以不一致,但一经选定后,在电路的计算过程中不可随意改变。当两者方向一致时,称这种假设为关联参考方向,如图 1-7 中(a)、(b);反之为非关联参考方向,如图 1-7 中(c)、(d)。

3. 电位

在电路的分析中,电压 U_{ab} 也常用 a、b 两点之间的电位差来表示

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-1-3)$$

电位是指在电路中选一点作为参考点(通常是多个支路的交汇点),规定该点的电位值为零,称为零电位点,也称为接地点,用符号“⊥”表示。则电路中某点的电位就是该点与参考点之间的电压,可见电位值是随参考点不同而变化的,而任意两点之间的电压却与参考点无关。

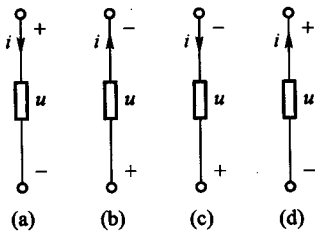


图 1-7

例 1-1 电路如图 1-8(a)所示, $U_{S1} = 5\text{V}$, $U_{S2} = 15\text{V}$, $U_{S3} = 10\text{V}$ 。取 d 为参考点,求各点电位及电压 U_{ab} 和 U_{ac} 。

解: 取 d 为参考点如图 1-8(b)所示, $V_d = 0\text{V}$; $V_a = 5\text{V}$; $V_b = 15\text{V}$; $V_c = 10\text{V}$

$$U_{ab} = V_a - V_b = (5 - 15)\text{V} = -10\text{V}$$

$$U_{ac} = V_a - V_c = (5 - 10)\text{V} = -5\text{V}$$

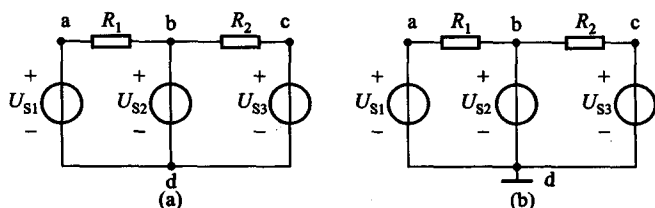


图 1-8

4. 电功率

在电路中有的元件吸收电能,有的元件释放电能。电功率是指单位时间内元件(或某段电路)吸收或释放的电能,电功率也简称为功率,用符号 P 表示。

在国际制(SI)单位中,功率 P 的单位为瓦(W)。工程上常用的单位还有千瓦(kW)和毫瓦(mW),其换算关系为

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

如果元件上电压和电流为关联参考方向,则功率的计算公式为

$$P = UI \quad (1-1-4)$$

如果元件上电压和电流为非关联参考方向,则功率的计算公式为

$$P = -UI \quad (1-1-5)$$

当实际计算的结果为正值($P > 0$),说明该元件(或某段电路)吸收电能,其性质为负载;如果 $P < 0$,则说明该元件(或某段电路)释放电能,其性质为电源。

电路吸收的能量定义为

$$W = \int P dt = \int UI dt \quad (1-1-6)$$

习惯上,还常用“度”来表示电能,1度电等于 $1\text{kW}\cdot\text{h}$ (千瓦时)。

例 1-2 在图 1-9 所示的电路中,已知 $U_1 = 5\text{V}$, $U_2 = 5\text{V}$, $U_3 = -5\text{V}$, $I_1 = 2\text{A}$, $I_2 = 5\text{A}$, $I_3 = 3\text{A}$,求各方框电路吸收或释放的功率,并验证功率是否守恒。

解: 方框 1 因 U_1 和 I_1 是关联参考方向,则

$$P_1 = U_1 I_1 = 5 \times 2\text{W} = 10\text{W} (P_1 > 0, \text{吸收功率})$$

方框 2 因 U_2 和 I_2 是非关联参考方向,则

$$P_2 = -U_2 I_2 = -5 \times 5\text{W} = -25\text{W} (P_2 < 0, \text{释放功率})$$

方框 3 因 U_3 和 I_3 是非关联参考方向,则

$$P_3 = -U_3 I_3 = -(-5) \times 3\text{W} = 15\text{W} (P_3 > 0, \text{吸收功率})$$

最后验证功率是否守恒:

$$P_1 + P_2 + P_3 = 0\text{W}$$

满足功率守恒定律, $\sum P = 0\text{W}$ 。

例 1-3 某家庭有 1 个电饭锅,额定功率为 800W ,每天使用 2h ;一台电视机,功率为 200W ,每天使用 6h 。计算每天耗电多少。

解: 每天耗电为: $800\text{W} \times 2\text{h} + 200\text{W} \times 6\text{h} = 2800\text{W}\cdot\text{h} = 2.8\text{kW}\cdot\text{h}$

答: 每天耗电为 $2.8\text{kW}\cdot\text{h}$ 。

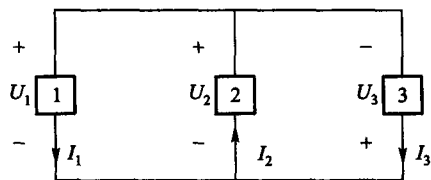


图 1-9

第二节 电阻、电压源、电流源和欧姆定律

一、电阻

具有负载性质的电路元件,工作时总是消耗电能,并将电能转换为其他形式的能量,如白炽灯、电炉等,这类电路元件的理想化模型为电阻,用 R 表示。

电阻元件有线性电阻和非线性电阻之分,图 1-10(a)表示线性电阻,图 1-10(b)表示非线性电阻,本书只讨论线性电阻。

线性电阻是指电阻元件的阻值 R (或电导 G) 是常数,与其电压、电流的大小无关。

在国际制(SI)单位中,电阻 R 的单位为欧(Ω); G 称为元件的电导,其单位为西(S),两者满足 $G = \frac{1}{R}$ 。工程上常用的单位还有千欧($k\Omega$)和兆欧($M\Omega$),其换算关系为

$$1k\Omega = 10^3 \Omega, 1M\Omega = 10^6 \Omega$$

二、电压源

实际电源的种类很多,如干电池、蓄电池、发电机、稳压电源等。在电路分析中,电源可用电压源和电流源模型来表示。

电压源是个理想的二端电路元件,工作时,不管流过多大的电流,其端电压总是保持不变。在直流的情况下,其值为恒定常数;而对交流的情况而言,则是某一特定的时间函数。

电压源的电路符号如图 1-11 所示,(a)图为直流电压源,用大写字母 U_s 表示;(b)图为交流电压源,用小写字母 u_s 表示。

实际电源在工作中,总是存在内部的功率损耗,因此实际电源常用理想电压源 U_s 串联内阻 R_s 的模型来表示,如图 1-11(c)所示。

如果电压源的电压 $U_s = 0$ V,它在电路中相当于短路。

例 1-4 用电压表实测某直流稳压电源的端电压,开路时,电压为 $U_{oc} = 12.5$ V;接上 $1k\Omega$ 的负载电阻 R 后,其值下降为 $U = 12$ V,求该稳压电源的内阻 R_s 。

解: 根据题意该电路模型,如图 1-12 所示有

$$U_s = U_{oc} = 12.5 \text{ V}$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{12 \text{ V}}{1 \text{ k}\Omega} = 12 \text{ mA}$$

$$R_s = \frac{U_{oc} - U}{I} = \frac{12.5 \text{ V} - 12 \text{ V}}{12 \text{ mA}} \approx 41.7 \Omega$$

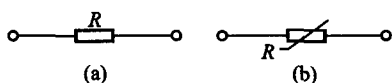


图 1-10

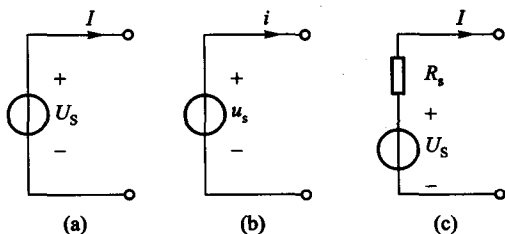


图 1-11

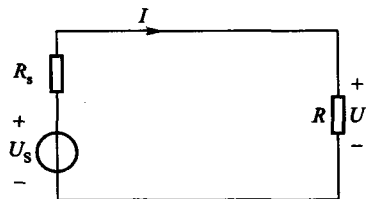


图 1-12

三、电流源

电流源又称为恒流源,它也是由实际电源抽象而来的理想化二端电路元件,在工作时,不管其两端电压如何,它的电流总是保持不变。类似于电压源,电流源也有交流与直流之分。

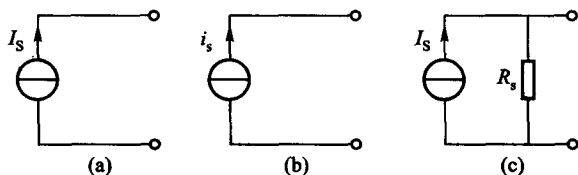


图 1-13

电流源的电路符号如图 1-13 所示,图(a)为直流电流源;图(b)为交流电流源。实际电源常用理想电流源 I_s 并联内阻 R_s 的模型来表示,如图 1-13(c)所示。

如果电流源 $I_s = 0 \text{ A}$,它在电路中相当于开路。

例 1-5 某充电器工作时,可用图 1-14 所示电路等效,试计算图中两电源的功率。

解: 电压源流过的电流 $I = 2 \text{ A}$, 电流源端电压 $U = 6 \text{ V}$ 。

电压源的电功率 $P_1 = I \times 6 \text{ V} = 12 \text{ W} > 0$ 吸收功率

电流源的电功率 $P_2 = -U \times 2 \text{ A} = -12 \text{ W} < 0$ 释放功率

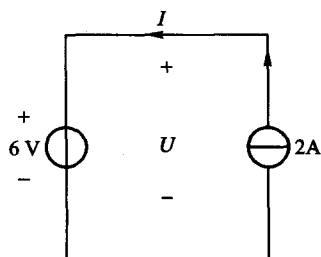


图 1-14

四、欧姆定律

欧姆定律:流过电阻的电流与电阻两端的电压成正比。

欧姆定律数学表达式为

$$I = \frac{U}{R} \text{ 或 } U = IR \quad (1-2-1)$$

式中 U 为电阻 R 两端的电压, I 为流过电阻 R 的电流,且 U 、 I 为关联参考方向。若 U 、 I 参考方向设定为非关联参考方向,则欧姆定律的表达式为

$$I = -\frac{U}{R} \text{ 或 } U = -IR \quad (1-2-2)$$

例 1-6 已知图 1-15 中 $R = 5 \Omega$, $I = 2 \text{ A}$,求电阻两端的电压 U 。

解: 图 1-15(a)中 U 、 I 为关联参考方向 $U = IR = 2 \text{ A} \times 5 \Omega = 10 \text{ V}$

图 1-15(b)中 U 、 I 为非关联参考方向 $U = -IR = -2 \text{ A} \times 5 \Omega = -10 \text{ V}$

图 1-15(c)中 U 、 I 为非关联参考方向 $U = -IR = -2 \text{ A} \times 5 \Omega = -10 \text{ V}$

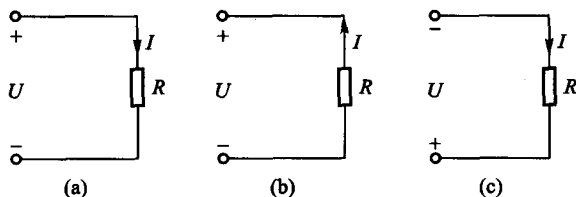


图 1-15 例 1-6 电路

例 1-7 一个 800 W 的电饭锅,使用 220V 的民用电,求电饭锅的电流和电阻。

$$\text{解: } I = \frac{P}{U} = \frac{800}{220} \text{ A} = 3.64 \text{ A}$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{220}{3.64} \Omega = 60.44 \Omega$$

第三节 基尔霍夫定律

所谓的电路分析就是在已知电路的结构和元件参数的前提下,去求解电路中的电压和电流,进而求得功率和能量。分析电路的定律可分为两类:一类是分析元件的定律,即研究元件端钮的电压、电流关系,它只与元件本身的性质有关,而与电路的连接方式无关;另一类只与电路的连接方式有关,而与电路中各元件的性质无关,它就是基尔霍夫定律。

基尔霍夫定律包括电流定律(简称 KCL)和电压定律(简称 KVL)。

一、电路中几个专用名词

(1)支路:在电路中流过相同电流的一个元件或多个元件的连接分支称为支路。图 1-16 中共有 3 条支路:bae、bde、bce。

(2)节点:三条或三条以上支路的连接点叫做节点。图 1-16 中共有 2 个节点:b、e。

(3)回路:电路中闭合的路径称为回路。图 1-16 中共有 3 个回路:abcea、abdea、bcedb。

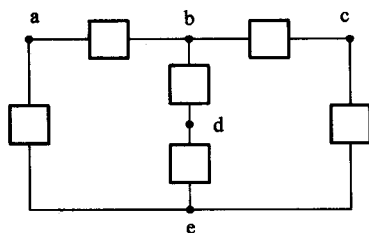


图 1-16

二、基尔霍夫电流定律(KCL)

KCL 的内容是:连接在任一节点的各支路电流代数和为零。它反映了节点电流的连续性。

$$\sum I = 0 \quad (1-3-1)$$

在解题过程中,依据式(1-3-1)列写节点电流方程时,需先规定电流的正负号:若选流进节点的电流为正,则流出节点的电流为负;反之亦然。

以图 1-17 为例来介绍如何列写 KCL 方程。该电路中有两个节点 a 和 b,取流出节点电流为正,则

$$\text{a 点的 KCL 方程为 } -I_1 - I_2 + I_3 = 0 \quad (1-3-2)$$

$$\text{b 点的 KCL 方程为 } -I_3 + I_4 - I_5 = 0 \quad (1-3-3)$$

KCL 不仅适用于节点,也适用于电路中任意假设的封闭面。例如图 1-17 所示电路,用虚线框出一封闭面,根据图中各电流的参考方向,则封闭面的 KCL 方程为

$$-I_1 - I_2 + I_4 - I_5 = 0 \quad (1-3-4)$$

式(1-3-2)加上式(1-3-3)就可得到式(1-3-4),验证了推广运用的正确性。

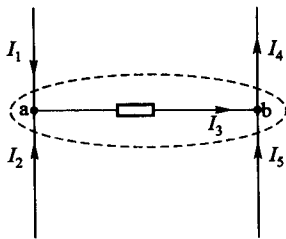


图 1-17

三、基尔霍夫电压定律(KVL)

KVL 的内容是:任一回路上,各元件电压的代数和为零。它反映了能量守恒定律。

$$\sum U = 0 \quad (1-3-5)$$

运用 KVL 解题时,需先标出各回路绕行方向及元件的电压参考方向,列写 $\sum U = 0$ 表达式时,电压方向与回路绕行方向相同取正,相反取负。

以图 1-18 为例来介绍如何列写 KVL 方程。该电路中有三个回路 I、II 和 III,取回路方向(可以任意选取)如图所示,则

$$\text{I 回路的 KVL 方程为} \quad -U_1 + U_2 + U_3 = 0 \quad (1-3-6)$$

$$\text{II 回路的 KVL 方程为} \quad -U_3 - U_4 + U_5 = 0 \quad (1-3-7)$$

$$\text{III 回路的 KVL 方程为} \quad -U_1 + U_2 - U_4 + U_5 = 0 \quad (1-3-8)$$

KVL 也适用于开口二端电路。例如图 1-19 电路,假想一闭合回路如图所示,则

$$\text{KVL 方程为} \quad U + U_1 - U_2 = 0 \quad (1-3-9)$$

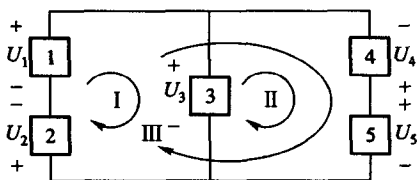


图 1-18

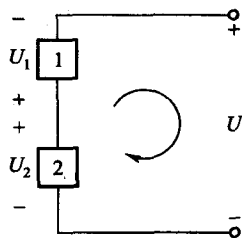


图 1-19

例 1-8 图 1-20 电桥电路中,已知 $I_1 = 4 \text{ A}$ 、 $I_2 = 2 \text{ A}$ 、 $I_5 = 1 \text{ A}$,求电流 I_3 、 I_4 和 I_6 。

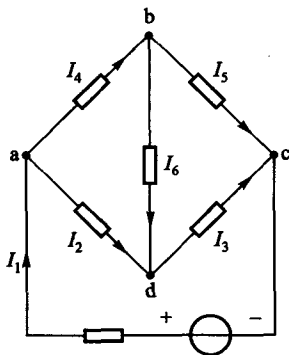


图 1-20

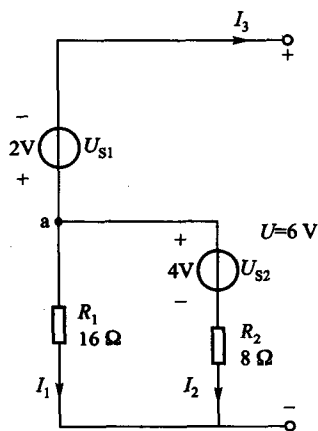


图 1-21

解: 根据 KCL, 设流进节点的电流为正, 可得

a 节点: $I_1 - I_2 - I_4 = 0$, 则 $I_4 = I_1 - I_2 = 2 \text{ A}$

b 节点: $I_4 - I_5 - I_6 = 0$, 则 $I_6 = I_4 - I_5 = 1 \text{ A}$

c 节点: $-I_1 + I_3 + I_5 = 0$, 则 $I_3 = I_1 - I_5 = 3 \text{ A}$

例 1-9 图 1-21 所示直流电路, 求电流 I_1 、 I_2 和 I_3 。

解: 根据 KVL, 由 U 与 U_{S1} 、 R_1 构成的假想回路得

$$U + U_{S1} - I_1 R_1 = 0$$

$$I_1 = \frac{U + U_{S1}}{R_1} = \frac{6 + 2}{16} \text{ A} = 0.5 \text{ A}$$

由 U 与 U_{S1} 、 U_{S2} 、 R_2 构成的假想回路得

$$U + U_{S1} - U_{S2} - I_2 R_2 = 0$$

$$I_2 = \frac{U + U_{S1} - U_{S2}}{R_2} = \frac{6 + 2 - 4}{8} \text{ A} = 0.5 \text{ A}$$

根据 KCL, 设流出节点的电流为正, 由 a 节点得

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0, I_3 = -I_1 - I_2 = -1 \text{ A}$$

例 1-10 图 1-22 所示直流电路, 求三个电源的功率。

解: 由欧姆定律得

$$I_R = \frac{U_{S1}}{R} = \frac{1}{5} \text{ A} = 0.2 \text{ A}$$

根据 KCL 得 $I_2 = I_{S3} = 3 \text{ A}$

$$I_1 = I_2 - I_R = (3 - 0.2) \text{ A} = 2.8 \text{ A}$$

根据 KVL 得 $U_{S1} + U_{S2} + U_3 = 0$,

$$U_3 = -U_{S1} - U_{S2} = -3 \text{ V}$$

电压源 U_{S1} 的电功率 $P_1 = I_1 U_{S1} = 2.8 \times 1 \text{ W} = 2.8 \text{ W}$

>0 吸收功率

电压源 U_{S2} 的电功率 $P_2 = I_2 U_{S2} = 3 \times 2 \text{ W} = 6 \text{ W} > 0$ 吸收功率

电流源 I_{S3} 的电功率 $P_3 = I_{S3} U_3 = 3 \times (-3) \text{ W} = -9 \text{ W} < 0$ 释放功率

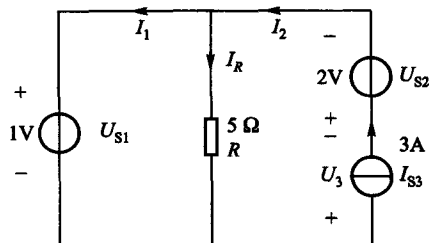


图 1-22

第四节 电阻和电源的等效变换

等效变换是电路分析的一个最基本的方法, 通过它可以把复杂结构的电路化简为简单的电路来分析。

一、电阻串联等效变换

在电路中, 若干个电阻元件依次相连, 连接点都无分支, 这种连接方式称为串联。

图 1-23(a) 为两个电阻的串联电路, 由基尔霍夫定律可得

$$U = U_1 + U_2 = IR_1 + IR_2 = I(R_1 + R_2) = IR \quad (1-4-1)$$

式中 $R = R_1 + R_2$ 。

由式(1-4-1)可知,在端口电压和电流不变的情况下,图 1-23(a)可用图 1-23(b)来等效,即 R_1 和 R_2 的串联,可用一个电阻 R 来等效。

电阻 R_1 两端的电压为

$$U_1 = IR_1 = \frac{U}{R}R_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2}U \quad (1-4-2)$$

电阻 R_2 两端的电压为

$$U_2 = IR_2 = \frac{U}{R}R_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2}U \quad (1-4-3)$$

式(1-4-2)和式(1-4-3)反映了两个电阻串联的电压分配关系,称作分压比公式。

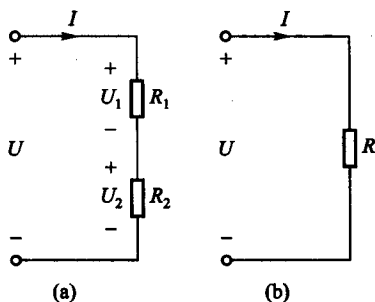


图 1-23

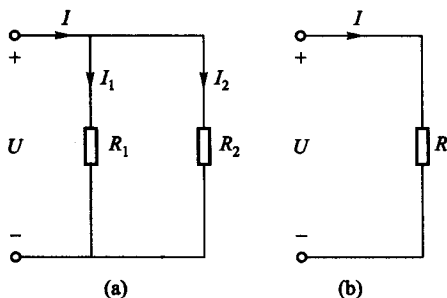


图 1-24

二、电阻并联等效变换

在电路中,若干个电阻元件连接到同一对节点,这种连接方式称为并联。

图 1-24(a)为两个电阻的并联电路,由基尔霍夫定律可得

$$I = I_1 + I_2 = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} = U\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) = \frac{U}{R} \quad (1-4-4)$$

式中 $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ 或 $R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ 。

上式表明,在端口电压和电流不变的情况下,图 1-24(a)可用图 1-24(b)来等效,即 R_1 和 R_2 的并联,可用一个电阻 R 来等效。

由式(1-4-4)可得

$$U = RI = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}I \quad (1-4-5)$$

图 1-24(a)中,流过 R_1 和 R_2 的电流分别为

$$I_1 = \frac{U}{R_1} \text{ 和 } I_2 = \frac{U}{R_2}$$

将式(1-4-5)代入上面两式可得