

新世纪高职高专教改项目成果教材

电 路 基 础

王慧玲 主 编
刘炳辉 副主编

高等教育出版社

内容提要

本书是新世纪高职高专教改项目成果教材，依据教育部最新制定的《高职高专教育电工技术基础课程教学基本要求》编写而成。

本书主要内容有：电路的基本概念和基本定律、直流电阻性电路的分析、正弦交流电路、三相正弦电路、互感耦合电路、谐振电路、非正弦周期电流电路、线性动态电路分析、二端口网络、磁路与铁心线圈电路等十章内容，还配有精选的例题、思考与练习题和习题。

本书适合高职高专电类专业师生使用，也可供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路基础/王慧玲主编. —北京：高等教育出版社，

2004.2

ISBN 7-04-013902-2

I. 电... II. 王... III. 电路理论—高等学校：技术学校—教材 IV. TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 004855 号

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 010-82028899

经 销 新华书店北京发行所

印 刷

开 本 787×1092 1/16

印 张 17.75

字 数 430 000

购书热线 010-64054588

免费咨询 800-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

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

版 次 年 月第 1 版

印 次 年 月第 次印刷

定 价 20.70 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

策划编辑	尹 洪
责任编辑	李 刚
封面设计	王凌波
责任绘图	朱 静
版式设计	王艳红
责任校对	杨雪莲
责任印制	

出版说明

为认真贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》和《面向 21 世纪教育振兴行动计划》，研究高职高专教育跨世纪发展战略和改革措施，整体推进高职高专教学改革，教育部决定组织实施《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》（教高〔2000〕3 号，以下简称《计划》）。《计划》的目标是：“经过五年的努力，初步形成适应社会主义现代化建设需要的具有中国特色的高职高专教育人才培养模式和教学内容体系。”《计划》的研究项目涉及高职高专教育的地位、作用、性质、培养目标、培养模式、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，重点是人才培养模式的改革和教学内容体系的改革，先导是教育思想的改革和教育观念的转变。与此同时，为了贯彻落实《教育部关于加强高职高专教育人才培养工作的意见》（教高〔2000〕2 号）的精神，教育部高等教育司决定从 2000 年起，在全国各省市的高等职业学校、高等专科学校、成人高等学校以及本科院校的职业技术学院（以下简称高职高专院校）中广泛开展专业教学改革试点工作，目标是：在全国高职高专院校中，遴选若干专业点，进行以提高人才培养质量为目的、人才培养模式改革与创新为主题的专业教学改革试点，经过几年的努力，力争在全国建成一批特色鲜明、在国内同类教育中具有带头作用的示范专业，推动高职高专教育的改革与发展。

教育部《计划》和专业试点等新世纪高职高专教改项目工作开展以来，各有关高职高专院校投入了大量的人力、物力和财力，在高职高专教育人才培养目标、人才培养模式以及专业设置、课程改革等方面做了大量的研究、探索和实践，取得了不少成果。为使这些教改项目成果能够得以固化并更好地推广，从而总体上提高高职高专教育人才培养的质量，我们组织了有关高职高专院校进行了多次研讨，并从中遴选出了一些较为成熟的成果，组织编写了一批“新世纪高职高专教改项目成果”教材。这些教材结合教改项目成果，反映了最新的教学改革方向，很值得广大高职高专院校借鉴。

新世纪高职高专教改项目成果教材适用于高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举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

2002 年 11 月 30 日

前 言

本书是新世纪高职高专教改项目成果教材，是根据教育部制定的《高职高专教育电工技术基础课程教学基本要求》编写的。

高职高专教学改革要求：注重素质教育，注重应用型人才能力的培养，把立足点放在工程技术应用上，课程内容应删繁就简、突出主线、突出重点，做到既为后续课程服务，又能强化工程技术应用能力的培养。

本书在结构、内容安排等方面，吸收了编者多年来在教学改革、教材建设等方面取得的经验，力求全面体现高等职业教育的特点，满足当前教学的需要。

本教材主要特点有：

1. 为适应现代电气电子强、弱电技术互相渗透、融合的发展趋势，以及培养知识面宽、适应性强的复合型人才的要求，本书采用强、弱电知识合一体系。

2. 教材的结构采用模块式，教材整体分为基础模块和选用模块两大部分。基础模块(前四章)是必学模块，其教学要求对于各类学校、不同学制、不同专业基本一致。选用模块(后六章)是在必学模块基础上向专业方向进行的拓展与加深。尽量使两模块之间、各章节之间、各知识点之间构成从易到难、循序渐进的逻辑体系。

3. 体现时代特征，更新教材内容。本教材注意删去老化的知识点，尽量多介绍电气、电子技术领域的有关新知识和技术，使学生能学到新颖的、适用的知识，有利于培养学生创新精神。

4. 根据电路基础课程教学的特点，在内容选取上，重视基本概念、基本定律、基本分析方法的介绍，淡化复杂的理论分析，如对电路的暂态分析，采用分离变量法，避免了微分方程的求解，降低了理论难度。每节之后辅以适量的思考与练习题，并精选了每章的习题。全书内容层次清晰、循序渐进，力求使学生对基本理论能系统、深入地理解，为今后的学习奠定基础，同时注重分析问题、解决问题能力的培养。

5. 强化工程技术应用能力的培养，如：第4章三相电路功率的测量，第5章同名端的测量，第7章非正弦电路的测量，第9章实验参数的测定等，在叙述了电路原理的同时又介绍了具体的测量方法。再如：第6章谐振电路的应用，第7章的滤波器，第8章的微分电路与积分电路等，体现了理论与实际的结合。第10章通过介绍查基本磁化曲线和硅钢片的比损耗，引入了工程手册的图表查法。

6. 本书力求文字深入浅出，通俗易懂，版面设计图文并茂。

7. 体现职教特色，重视实际应用。注重将理论讲授与实践训练相结合，通过配套教材《电路基础实验与综合训练》完成对学生工程素质和动手能力的培养。

8. 本教材参考学时数为90~100学时，各校、各专业可根据自己的实际情况制定教学方案。

本书由王慧玲担任主编，刘炳辉担任副主编，李梅、樊会灵参编。其中王慧玲编写了第5、6、7、8、9章，并参加了第3章的编写；刘炳辉编写了第1、2章；李梅编写了第3、4章；樊会灵编写了第10章。全书由王慧玲统稿。

本教材由薛涛主审，他认真仔细地审阅了全书，并提出了许多宝贵意见，在此表示诚挚的谢意。

编者

2003年8月

目 录

基础模块

第 1 章 电路的基本概念和基本定律	3	§ 2-10 含受控源电路的分析	65
§ 1-1 电路和电路模型	3	本章小结	69
§ 1-2 电路的基本物理量	4	习题二	70
§ 1-3 电阻元件	9	第 3 章 正弦交流电路	77
§ 1-4 电源元件	12	§ 3-1 正弦交流电的基本概念	77
§ 1-5 基尔霍夫定律	16	§ 3-2 正弦量的相量表示法	81
§ 1-6 电路的工作状态	20	§ 3-3 单一参数正弦交流电路的分析	86
§ 1-7 电路中电位分析	22	§ 3-4 基尔霍夫定律的相量形式	95
本章小结	24	§ 3-5 RLC 串联电路的分析	97
习题一	25	§ 3-6 阻抗的串联与并联	100
第 2 章 直流电阻性电路的分析	30	§ 3-7 用相量法分析正弦交流电路	103
§ 2-1 电阻的串联、并联和混联电路	30	§ 3-8 功率因数的提高	106
§ 2-2 电阻的星形与三角形联结及等效 变换	36	本章小结	108
§ 2-3 电源的联结及两种实际电源模型 的等效变换	39	习题三	109
§ 2-4 支路电流法	44	第 4 章 三相正弦电路	114
* § 2-5 网孔电流法	46	§ 4-1 三相电源及其联结	114
§ 2-6 结点电位法	49	§ 4-2 负载星形联结的三相电路	116
§ 2-7 叠加定理	54	§ 4-3 负载三角形联结的三相电路	121
§ 2-8 戴维宁定理与诺顿定理	57	§ 4-4 三相电路的功率	124
§ 2-9 最大功率传输定理	63	* § 4-5 三相电路功率的测量	126
		本章小结	128
		习题四	129

选用模块

第 5 章 互感耦合电路	133	第 6 章 谐振电路	148
§ 5-1 互感	133	§ 6-1 串联谐振电路	148
§ 5-2 互感线圈的串联、并联	138	§ 6-2 并联谐振电路	151
* § 5-3 空心变压器	143	* § 6-3 谐振电路的频率特性	154
本章小结	144	* § 6-4 谐振电路的应用	159
习题五	145	本章小结	162

习题六	163	本章小结	214
第 7 章 非正弦周期电流电路	165	习题八	216
§ 7-1 非正弦周期量	165	第 9 章 二端口网络	223
§ 7-2 非正弦周期信号的谐波分析	167	§ 9-1 二端口网络的概念	223
§ 7-3 非正弦周期波的有效值、平均值 和功率	173	§ 9-2 二端口网络的基本方程和参数	224
§ 7-4 非正弦周期电压作用下的线性 电路	177	§ 9-3 二端口网络的等效电路	233
* § 7-5 滤波器	178	§ 9-4 二端口网络的阻抗和传输函数	235
本章小结	183	本章小结	239
习题七	184	习题九	241
第 8 章 线性动态电路分析	187	第 10 章 磁路与铁心线圈电路	244
§ 8-1 换路定律	187	§ 10-1 磁场的基本物理量和基本定律 ...	244
§ 8-2 电路初始值与稳态值的计算	190	§ 10-2 铁磁物质的磁化	247
§ 8-3 一阶电路的零输入响应	193	§ 10-3 磁路和磁路定律	252
§ 8-4 一阶电路的零状态响应	197	§ 10-4 恒定磁通磁路的计算	255
§ 8-5 一阶电路的全响应	200	§ 10-5 交流铁心线圈	259
§ 8-6 一阶电路的三要素法	202	§ 10-6 电磁铁	266
* § 8-7 微分电路与积分电路	209	本章小结	269
* § 8-8 <i>RLC</i> 串联电路的零输入响应	211	习题十	271
		参考文献	273

基础模块

第 1 章

电路的基本概念和基本定律

本章首先介绍了电路与电路模型的概念，电压、电流及其参考方向的概念，电阻、电压源、电流源、受控源等理想元件及基尔霍夫定律。电路分析的对象是电路模型而不是实际电路。电路分析的任务就是求解在特定激励下电路的电压、电流及功率，而电压、电流的参考方向是电路分析的前提，理想元件的电压电流关系(VCR)以及基尔霍夫定律是电路分析的两个重要依据，又称电路的两个约束。因此，本章介绍的这些基本概念、基本定律和理想元件是学习电路的重要基础。然后介绍了电位的计算、电路或元件工作状态的判断，作为学习本章的初步应用。

§ 1-1 电路和电路模型

一、电路

人们生活在电气化、信息化的社会里，广泛地应用着各种电子产品和设备，它们中有各种各样的电路。例如，传输、分配电能的电力电路；转换、传输信息的通信电路；控制各种家用电器和生产设备的控制电路；交通运输中使用的各种信号的控制电路等等。这些电路都是由各种电器元件按照一定方式连接而成，它可提供电流流通的路径。现实中电路式样非常多，但从其作用来看，有两类：一是实现能量的转换和传输；二是实现信号的传递和处理。

从电路的组成来看，实际电路总可以分为三个部分：一是向电路提供电能或信号的电器元件，称为电源或信号源；二是用电设备，称为负载；三是中间环节，如导线、开关、控制器等。电路在电源或信号源作用下，才会产生电压、电流，因此在某种场合又把电源或信号源称为激励，由激励所产生的电压和电流称响应。图 1-1 所示电路是由一个电源(干电池)、一个负载(小电珠)、一个开关和若干导线组成的最简单电路。

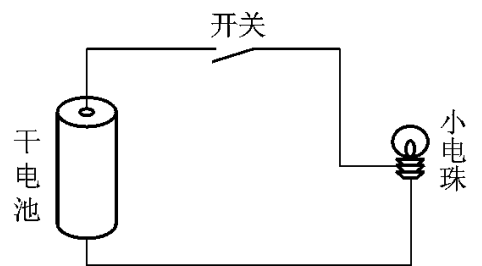


图 1-1 手电筒实际电路图

二、电路模型

当接触实际电路时，就会发现情况非常复杂。比如从电路的几何尺寸来看，大的可达数千公里，甚至连接全世界，如电力网、通信网、因特网；而小的如集成电路，虽然只有指甲那么

大，却是由千千万万个小电路集合而成一个电路或系统。又如从电路中所进行的电磁运动来看，一个最简单的线绕式电阻器，通电时电能转化为热能，这种转换是与流过电流的大小有关而且不可逆转。因此，电阻器是一个消耗电能的器件，但是通电的导线周围有磁场，于是一部分电能转换为磁能。再进一步分析，会发现该磁场随着流过的电流频率不同而不同。任何一个实际电路器件在电压、电流作用下，总是同时发生多种电磁效应，但电阻主要消耗电能，电感线圈主要储存磁场能量，电容器主要储存电场能量，电池和发电机等主要提供电能。为了便于对电路进行分析和计算，常把实际的元件加以理想化，在一定条件下忽略其次要电磁性质，用足以表征其主要电磁性质的理想化的电路元件来表示。例如，用电阻元件来反映电路或器件消耗电能的电磁性质；用电感元件来反映电路或器件储存磁能的电磁性质；用电容元件来反映电路或器件储存电场能量的电磁性质；用电源元件来反映电能量(电功率)发生器的电磁性质，这样就有了四个理想电路元件，如图 1-2 所示。

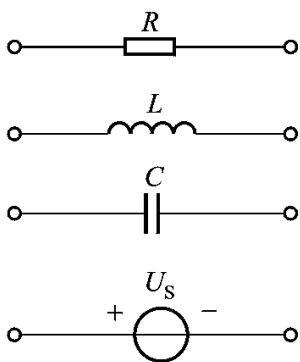


图 1-2 四个理想电路元件的电路模型

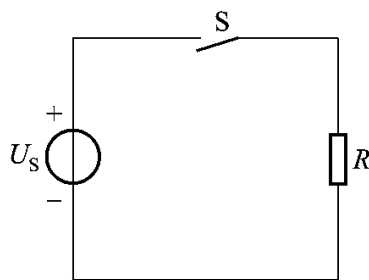


图 1-3 手电筒电路模型

由理想电路元件及其组合来近似替代实际电路元件 从而构成了与实际电路相对应的电路模型。

理想电路元件的图形符号是有国家标准的，根据国家标准绘制的电路模型图称为电路图，如图 1-3 所示，它是对手电筒实际电路进行抽象后的电路模型图。 U_s 是电压源，这里将干电池的内阻忽略不计； S 表示开关； R 是电阻元件，表示小电珠。各个理想元件之间的导线连接用连线来表示。有了电路图就可方便地进行电路研究了。今后书中未加特别说明时，所说的电路均指这样抽象的电路模型，所说的元件均指理想电路元件。

§ 1-2 电路的基本物理量

电路分析中常用到电流、电压、电位、功率等物理量，本节对这些物理量以及与它们有关的概念进行简要说明。

一、电流

带电粒子的定向移动形成电流。如导体中自由电子、电解液和电离了的气体中的自由离子、半导体中的电子和空穴，都属带电粒子或称载流子。

单位时间内通过导体横截面的电荷量 定义为电流，用 i 表示，有

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

式中， dq 为 dt 时间内通过导体横截面的电荷量。

在直流电路中，单位时间通过导体横截面的电荷是恒定不变的，有

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-2)$$

国际单位制(SI)中，电荷[量]的单位为库[仑](C)；时间单位为秒(s)；电流单位为安[培]，简称安(A)。有时也会用到千安(kA)、毫安(mA)、微安(μA)等单位。

习惯上将正电荷移动的方向规定为电流的实际方向。在分析电路时，对复杂电路中某一段电路电流的实际方向有时很难立即判定，有时电流的实际方向还在不断改变，因此在电路中很难标明电流的实际方向。为了解决这一问题，引入了参考方向这个概念。

电流的参考方向是任意选定的方向，当选定的电流参考方向与实际方向一致时，电流为正值($i > 0$)；当选定的电流参考方向与实际方向不一致时，电流为负值($i < 0$)。可见，在选定参考方向后，电流值才有正负之分，如图1-4所示。

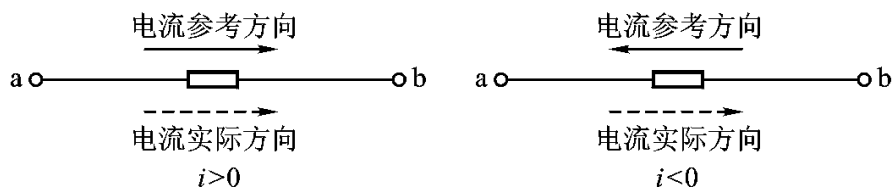


图1-4 电流参考方向与实际方向关系

在电路中，元件的电流参考方向可用箭头表示，如图1-5所示，在文字叙述时也可用电流符号加双下标表示，如 i_{ab} ，它表示电流由 a 流向 b。并有 $i_{ab} = -i_{ba}$ 。

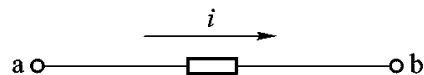


图1-5 电流参考方向的表示

二、电压

在匀强电场中，正电荷 Q 在电场力 F 的作用下，由 a 点移到 b 点，电场力所做的功为 W ，则 a 点到 b 点的电压为

$$U = \frac{W}{Q} \quad (1-3)$$

同理，单位正电荷由电路的 a 点移到 b 点所获得或失去的能量，称为 ab 两点间的电压，即

$$u = \frac{dw}{dq} \quad (1-4)$$

式中， dq 为由 a 点移到 b 点的电荷[量]， dw 为电荷移动过程中所获得或失去的能量， u 为两点间的电压。规定：若正电荷从 a 点移到 b 点，其电势能减少，电场力做正功，电压实际方向从 a 到 b。

国际单位制(SI)中，功的单位为焦[耳](J)；电荷[量]的单位为库[仑](C)；电压单位为伏[特](V)，也用千伏(kV)、毫伏(mV)、微伏(μV)。

电压参考方向和电流参考方向一样，也是任意选定。在分析电路时，选定某一方向作为电压方向，当选定的电压参考方向与实际方向一致时，则电压为正值($u > 0$)；当选定的电压参考方向与实际方向不一致时，则电压为负值($u < 0$)，如图1-6所示。

电压的参考方向可以用“+”、“-”极性表示，还可以用双下标表示，如图1-7所示，并有 $U_{ab} = -U_{ba}$ 。

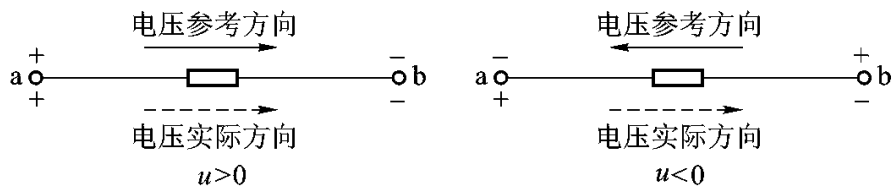


图 1-6 电压参考方向与实际方向关系

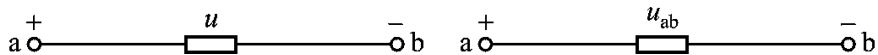


图 1-7 电压参考方向的表示

例 1-1 如图 1-8 所示，电路中电流或电压参考方向已选定。已知： $I_1 = 5 \text{ A}$ ， $I_2 = -5 \text{ A}$ ， $U_1 = 10 \text{ V}$ ， $U_2 = -10 \text{ V}$ ，试指出电流或电压的实际方向。

解： $I_1 > 0$ ， I_1 的实际方向与参考方向相同，电流 I_1 由 a 流向 b，大小为 5A。

$I_2 < 0$ ， I_2 的实际方向与参考方向相反，电流 I_2 由 b 流向 a，大小为 5 A。

$U_1 > 0$ ， U_1 的实际方向与参考方向相同，电压 U_1 由 a 指向 b，大小为 10 V。

$U_2 < 0$ ， U_2 的实际方向与参考方向相反，电压 U_2 由 b 指向 a，大小为 10 V。

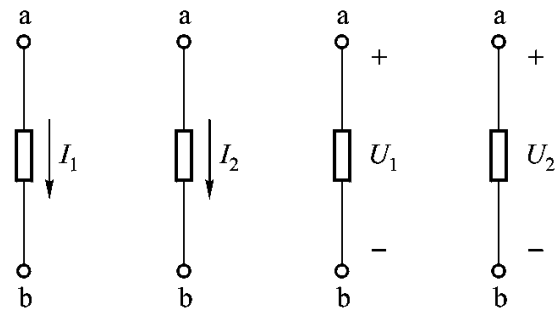


图 1-8 例 1-1 电路图

参考方向是电路计算中的一个基本概念，对此着重指出如下几点：

(1) 电流、电压的实际方向是客观存在的，而参考方向是人为选定的。

(2) 当电流、电压的参考方向与实际方向一致时，电流、电压值取正号，反之取负号。

(3) 分析计算每一电流、电压时，都要先选定其各自参考方向，否则计算得出的电流、电压正负值是没有意义的。

(4) 电路中某一支路或某一元件上的电压与电流参考方向的选定，可以选一致的参考方向，称关联参考方向，如图 1-9(a)所示。也可选择不一致的参考方向，称非关联参考方向，如图 1-9(b)所示。

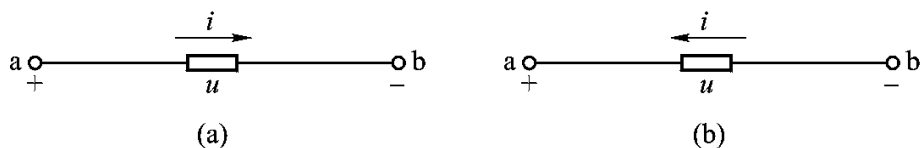


图 1-9 关联参考方向与非关联参考方向

三、电位

在电路中任选一点为参考点，则某一点 a 到参考点的电压就叫做 a 点的电位，用 V_a 表示。根据定义，有

$$V_a = U_{a0} \quad (1-5)$$

电位实质上就是电压，其单位也是伏特 [V]。

如图 1-10 所示，以电路中的 0 点为参考点，则有

$$V_a = U_{a0}, V_b = U_{b0}$$

$$U_{ab} = U_{a0} + U_{0b} = U_{a0} - U_{b0} = V_a - V_b \quad (1-6)$$

式(1-6)说明，电路中 a 点到 b 点的电压等于 a 点电位与 b 点电位之差。当 a 点电位高于 b 点电位时， $U_{ab} > 0$ ，反之，当 a 点电位低于 b 点电位时， $U_{ab} < 0$ 。一般规定电压的实际方向由高电位点指向低电位点。

参考点是可以任意选定的，一经选定，电路中的各点电位也就确定了。参考点选择不同，电路中各点电位将随参考点的变化而变化，但任意两点的电压是不变的。

四、功率

在电路中常用一个方框和两个引出端表示任意一个二端元件，如图 1-11 所示元件 A。当

正电荷在电场力作用下，从元件 A 的电压“+”极端经元件移到电压“-”极端，即从高电位端移到低电位端，这时，电场力对正电荷做了功，该元件吸收了电能，如图 1-11(a)所示。相反，正电荷从元件 A 的电压“-”极经元件移到电压的“+”极，是外力克服电场力做了功，该元件发出了电能，如图 1-11(b)所示。

把单位时间内元件吸收或发出的电能定义为该电路的功率，用 p 表示。设 dt 时间内元件转换的电能为 dw ，则

$$p = \frac{dw}{dt} \quad (1-7)$$

国际单位制(SI)中，功率的单位为瓦[特]，简称瓦(W)。此外常用的单位还有千瓦(kW)、毫瓦(mW)等。

对式(1-7)进一步推导，得

$$p = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \times \frac{dq}{dt} = ui \quad (1-8)$$

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = T \int_0^T ui dt \quad (1-9)$$

在直流电路中，功率

$$P = UI \quad (1-10)$$

在电压和电流为关联参考方向时，如图 1-11(a)所示，功率 P 表示元件 A 吸收功率。此时用式(1-9)或式(1-10)计算出的功率 $p > 0$ 时，表示元件实际吸收电能；当计算出的功率 $p < 0$ 时，表示元件实际发出电能。

在电压和电流为非关联参考方向时，如图 1-11(b)所示，取

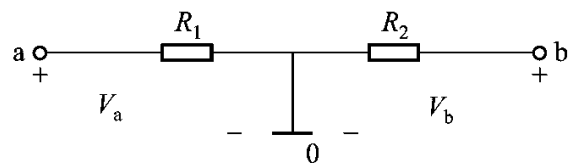


图 1-10 电位表示图

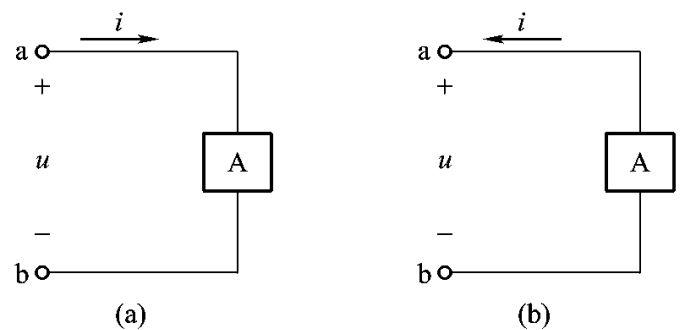


图 1-11 元件吸收和发出能量

$$p = -ui \quad (1-11)$$

在直流电路中，功率

$$P = -UI \quad (1-12)$$

这样规定之后， $p > 0$ ，仍表示元件吸收电能； $p < 0$ ，表示元件发出电能。

例 1-2 图 1-12 为某电路中的一部分，三个元件中流过相同电流 $I = -1\text{A}$ ， $U_1 = 2\text{V}$ 。(1) 求元件 A 的功率 P_1 ，并说明是吸收还是发出功率；(2) 若已知元件 B 吸收功率为 12W ，元件 C 发出功率为 10W ，求 U_2 ， U_3 。

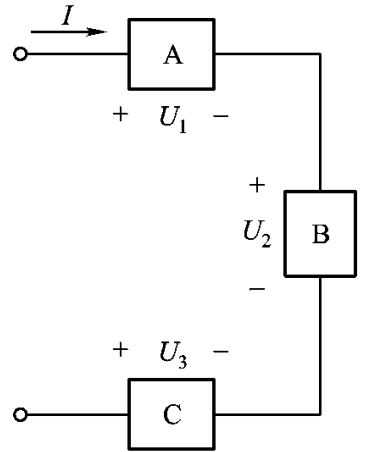


图 1-12 例 1-2 电路图

解：(1) 对于元件 A， U_1 、 I 为关联参考方向

$$P_1 = U_1 I = 2 \times (-1)\text{W} = -2\text{W} < 0$$

说明元件 A 发出功率 2W 。

(2) 元件 B 的 U_2 、 I 为关联参考方向，且吸收功率，则 P_2 为正值

$$P_2 = U_2 I = 12\text{W}$$

则 $U_2 = \frac{12}{-1}\text{V} = -12\text{V}$

元件 C 的 U_3 、 I 为非关联参考方向，且发出功率，则 P_3 为负值

$$P_3 = -U_3 I = -10\text{W}$$

则 $U_3 = -10\text{V}$

根据能量守恒原理，电路中，一部分元件发出的功率一定等于其他部分元件吸收的功率，或者说，整个电路的功率代数和为零，即功率平衡，则

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

在 t_0 到 t_1 的时间内，元件或电路消耗的电能应为

$$W = \int_{t_0}^{t_1} p dt \quad (1-14)$$

直流时， P 为常量，则

$$W = P(t_1 - t_0) \quad (1-15)$$

国际单位制(SI)中电能 W 的单位为焦耳(J)，实际中还常采用千瓦时($\text{kW}\cdot\text{h}$) (一般称为度)的电能单位，即

$$1\text{kW}\cdot\text{h} = 10^3 \times 3600\text{J} = 3.6 \times 10^6\text{J}$$

思考与练习题

1-2-1 图 1-13 所示电路，指出电流、电压的实际方向。

1-2-2 已知某电路中 $U_{ab} = -5\text{V}$ ，说明 a，b 两点中哪点电位高。

1-2-3 图 1-14 所示电路中，已知 $V_a = 5\text{V}$ ， $V_c = -2\text{V}$ ，求 U_{ab} 、 U_{bc} 、 U_{ca} 。若改 c 点为参考点，求 V_a 、 V_b 、 U_{ab} 、 U_{bc} 、 U_{ca} 。由计算结果可以说明什么道理。

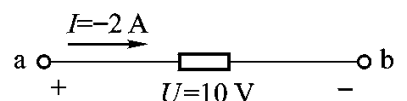


图 1-13 思考与练习题 1-2-1 图

1-2-4 图 1-15 所示电路，计算各元件的功率，并说明功率性质。

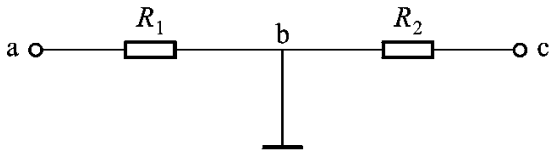


图 1-14 思考与练习题 1-2-3 电路图

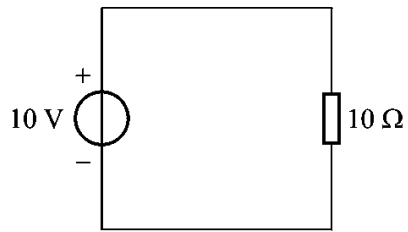


图 1-15 思考与练习题 1-2-4 电路图

1-2-5 一实习室有 100 W、220 V 电烙铁 50 把，每天使用 4 h(小时)，问一月[按 30 d(天)计]用电多少度？

§ 1-3 电阻元件

一、电阻

物体对电流的阻碍作用称为电阻。物体导电时带电粒子会和原子发生碰撞、摩擦，这种碰撞、摩擦一方面阻碍了带电粒子的定向移动，另一方面将电能转变为热能使物体发热，这种发热所消耗的电能是不可逆转的。物体电阻的大小用电阻量表示，简称电阻，用符号 R 表示，单位为欧姆 (Ω)。工程上还常用千欧 ($k\Omega$)、兆欧 ($M\Omega$) 做单位，它们之间的关系是

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

$$1 k\Omega = 10^3 \Omega$$

在电气工程中根据不同的用途，用不同的材料制成各种形式的电阻器。当电流流过电阻器时，电阻器会发热，消耗电能。这是所有电阻器的共同特征。但是电路中使用电阻器，主要是利用它会阻碍电流的特性。

材料的电阻会随温度变化而变化。当温度升高时，物质分子热运动加剧，自由电子移动受到的阻碍作用增大，电阻值相应增大；但是温度升高时，物质中带电粒子数目也增多，更容易导电，电阻值应相应减少。温度升高时，究竟电阻值是增大还是减少，这与材料有关。一类材料，如银、铜、铝、铁、钨等金属材料，当温度升高时，它们的电阻值也增大；另一类材料，如碳、某些半导体材料和电解液等，电阻值随温度升高而减少；第三类材料，如康铜、锰铜等，温度变化时，电阻值变化极少。材料的电阻值随温度变化是用电阻温度系数“ α ”来表示， α 可查找有关手册。

由于不同的材料电阻温度系数不同，因此使用的场合也不同。例如，锰铜、康铜的 α 非常小，比较适合于制造标准电阻、电阻箱；一些材料具有高温系数特点，如铜的氧化物、锰和铁，可将其制成热敏电阻。在电子电路中，一些电子元件因温度变化而工作不稳定，可用热敏电阻来补偿；在工业上，为了测量大范围变化的温度，可使用金属材料制成的电阻温度计，例如用铂丝制作的电阻温度计，其测量范围为 $-263\text{ }^\circ\text{C} \sim 1\ 000\text{ }^\circ\text{C}$ 。

电阻器在使用中要注意其额定值，一般用额定电阻值和额定功率 P_N 表示，大型的电阻器也常采用额定电阻与额定电流两个参数表示。

电阻的倒数称为电导，它是表示材料导电能力的一个参数，用符号 G 表示。

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-16)$$

在国际单位制(SI)中，电导的单位是西[门子]，简称西(S)。

二、电阻元件

在电路理论中，电阻元件是耗能元件的理想化模型，它是一个二端元件。其符号在如图 1-2 中已介绍过。

在讨论各种理想元件的性能时，重要的是要确定其端电压与电流的关系，这种关系称为元件的 VCR，又称为元件约束。在电压与电流为关联参考方向下，如图 1-16(a) 所示，称为电阻元件的 VCR。

$$u = Ri \quad (1-17)$$

式(1-17)就是著名的欧姆定律，它在电路理论中具有重要的地位，并且应用广泛。从式(1-17)还可推出：

$$i = \frac{u}{R} \quad (1-18)$$

$$R = \frac{u}{i} \quad (1-19)$$

$$P = ui = \frac{u^2}{R} = i^2 R \quad (1-20)$$

应用欧姆定律时，要注意电流的参考方向，在电阻元件的电压与电流为非关联参考方向下，如图 1-16(b) 所示，有

$$u = -Ri \quad (1-21)$$

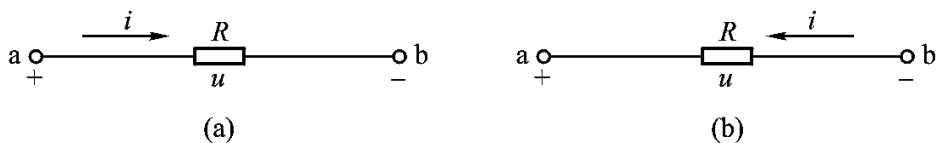


图 1-16 电阻元件电压电流关系

例 1-3 某一电阻元件为 10Ω ，额定功率 $P_N = 40 \text{ W}$ 。(1)当加在电阻两端电压为 30 V 时，该电阻能正常工作吗？(2)若要使该电阻正常工作，外加电压不能超过多少伏？

解：(1) 根据式(1-17)，流过电阻的电流

$$I = \frac{U}{R} = \frac{30}{10} \text{ A} = 3 \text{ A}$$

此时电阻所消耗的功率 $P = UI = 30 \times 3 \text{ W} = 90 \text{ W}$

由于 P 大于 P_N ，该电阻将烧毁。

(2) 根据式(1-20)，有

$$P_N = \frac{U^2}{R}$$

则 $U = \sqrt{P_N R} = \sqrt{40 \times 10} \text{ V} = 20 \text{ V}$