

普通高等教育“十三五”规划教材

电 路

刘建军 臧雪岩 肇巍 © 编著



COMPUTER



教师免费下载
3045474130@qq.com
010-88379564

赠电子课件、习题答案、
模拟试卷及答案等

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十三五”规划教材

电 路

刘建军 臧雪岩 肇 巍 编 著
刘艳侠 主 审



机械工业出版社

本书共分为8章,内容包括电路的基本概念和基本定律、电路的基本分析方法、正弦交流电路、频率响应与谐振、动态电路、互感电路、非正弦交流电路和非线性电阻电路。每章的每节都配备了同步训练,每章都配有习题。

本书是根据近几年我国高校学生的具体特点,在总结多年教学经验的基础上编写的,在编写过程中注重了理论与实践的结合,强调了实践能力的培养,同时注重了知识的可读性,为学生的自学留下了一定的空间。

本书可作为本科院校电气工程及其自动化、电子信息工程等电类各专业及相关专业的教材,也可作为继续教育的本科教材及有关技术人员自学的参考用书。

为方便教学,本书配有免费电子课件、习题答案、模拟试卷及答案等,凡选用本书作为授课书的学校,均可来电(010-88379564)或邮件(3045474130@qq.com)索取,有任何技术问题也可通过以上方式联系。

图书在版编目(CIP)数据

电路/刘建军,臧雪岩,肇巍编著. —北京:机械工业出版社,2016.8
普通高等教育“十三五”规划教材
ISBN 978-7-111-54242-1

I. ①电… II. ①刘…②臧…③肇… III. ①电路-高等学校-教材
IV. ①TM13

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第156976号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:曲世海 责任编辑:曲世海

版式设计:霍永明 责任校对:潘蕊

封面设计:赵颖喆 责任印制:乔宇

北京富生印刷厂印刷

2016年8月第1版第1次印刷

184mm×260mm·12印张·290千字

标准书号:ISBN 978-7-111-54242-1

定价:29.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88379833

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

前 言

本书是根据目前我国高等教育和职业教育改革与发展的需要编写而成的。本书的宗旨是紧跟教学改革的特点，满足教学改革的需要，推进技能型人才的培养。

为适应高等教育不断深化的教学改革需要，本书编写过程注重了以下几个方面：

1. 强调了书的实践性与实用性的结合，提高了知识的实际应用部分所占的比例，为优化学生的知识结构和将来的上岗就业做了铺垫。

2. 加强了学科之间的横向联系，强调了知识拓展，为学生的个性化发展提供了条件。

3. 增强了书的通用性，淡化了强电与弱电的严格区分和不同专业之间的细小差别，为专业间的互相渗透和培养学生综合职业技术能力提供了方便，使书既“必须”又“够用”，部分章节可作为选学内容或留给学生自学，给不同层次的学生留有一定的空间。

4. 章节后的同步训练和习题是在多年教学实践积累中提炼出来的，题目以“应知应会”为目的，紧扣各章节的内容，同时紧密结合实际，适合学生理解和巩固所学内容，同时给学生留有思考的空间。

5. 在书的编写过程中借鉴了国内外职业教育的经验和理念，突出了“以学生为中心”“以实用为目的”的原则，注意了本课程与前后课程的衔接问题，深入浅出，可读性强。在附录中介绍了复数，为教师和学生使用提供了方便。

本书共有8章，部分章节可作为选学内容，根据实际需要讲授。全书适合学时数为80~100学时。

本书第1、2、8章由臧雪岩教授编写，第4、5章由肇巍副教授编写，刘建军教授编写了第3、6、7章及附录等，并负责全书的统稿，刘艳侠教授任主审。

由于时间仓促和编者水平所限，错误疏漏之处难免存在，敬请广大读者批评指正，以便修改和提高。

编 者

目 录

前 言

第 1 章 电路的基本概念和基本定律	1
1.1 电路	1
1.1.1 电路及其组成	1
1.1.2 电路模型	1
1.1.3 电路的作用	2
1.1.4 描述电路的基本物理量	3
1.2 电路元件	10
1.2.1 电阻元件	10
1.2.2 电感元件	13
1.2.3 电容元件	16
1.3 电源的等效变换	19
1.3.1 电压源	19
1.3.2 电流源	20
1.3.3 电压源与电流源的等效变换	21
1.4 基尔霍夫定律	23
1.4.1 基尔霍夫电流定律	24
1.4.2 基尔霍夫电压定律	24
1.5 受控源	27
1.5.1 受控源的概念	27
1.5.2 受控源的类型	27
1.5.3 受控源的伏安关系	28
习题 1	30
第 2 章 电路的基本分析方法	34
2.1 支路电流法	34
2.2 网孔电流法	36
2.3 节点电压法	38
2.3.1 节点电压方程的一般形式	38
2.3.2 弥尔曼定理	41
2.4 叠加定理	43
2.5 戴维南定理与诺顿定理	45
2.5.1 戴维南定理	46
2.5.2 诺顿定理	48
习题 2	49
第 3 章 正弦交流电路	52

3.1 正弦交流电路的基本概念	52
3.1.1 正弦交流电的周期与频率	52
3.1.2 正弦量的三要素	53
3.1.3 相位差计算	54
3.1.4 正弦量的有效值和平均值	55
3.2 正弦量的相量表示法	57
3.2.1 相量的概念	57
3.2.2 用相量表示正弦量	57
3.2.3 相量图	58
3.3 单一元件电路	59
3.3.1 电阻元件电路	59
3.3.2 电感元件电路	61
3.3.3 电容元件电路	63
3.4 RLC 串联电路	66
3.4.1 RLC 串联电路中电压与电流的关系	66
3.4.2 电路的性质	66
3.4.3 电路的功率	67
3.4.4 三个三角形	67
3.5 并联电路的计算	69
3.5.1 并联电路的复阻抗计算法	69
3.5.2 并联电路的复导纳计算法	70
3.6 功率因数的提高	71
3.6.1 提高电路功率因数的意义	71
3.6.2 并联电容提高电路的功率因数	72
3.7 三相交流电路	74
3.7.1 三相电源	74
3.7.2 三相电源的连接	75
3.7.3 三相负载	77
3.7.4 对称三相电路的功率	80
3.7.5 三相功率的测量	81
习题 3	82
第 4 章 频率响应与谐振	85
4.1 频率响应与网络函数	85
4.2 串联谐振电路	86
4.2.1 串联谐振的定义和条件	87
4.2.2 串联谐振的特点	88
4.2.3 谐振电路的选择性	89
4.3 并联谐振电路	91
4.3.1 并联谐振的条件	91
4.3.2 并联谐振的特点	93
4.3.3 并联谐振的频率特性	93

习题 4	95
第 5 章 动态电路	96
5.1 换路定律与初始值计算	96
5.1.1 动态电路	96
5.1.2 换路定律	97
5.1.3 初始值的计算	97
5.2 直流激励下一阶电路的零输入响应	99
5.2.1 RC 电路的零输入响应	99
5.2.2 RL 电路的零输入响应	102
5.3 直流激励下一阶电路的零状态响应	104
5.3.1 RC 电路的零状态响应	104
5.3.2 RL 电路的零状态响应	105
5.4 求解一阶电路的三要素法	109
5.4.1 一阶电路的全响应	109
5.4.2 一阶电路的三要素法	109
5.5 阶跃函数和阶跃响应	113
5.5.1 阶跃函数	113
5.5.2 阶跃响应	114
5.6 二阶电路的零输入响应	116
5.6.1 RLC 串联电路的零输入响应	116
5.6.2 零输入响应的三种情况分析	117
习题 5	120
第 6 章 互感电路	125
6.1 互感与同名端	125
6.1.1 互感	125
6.1.2 互感电压	126
6.1.3 互感线圈的同名端	126
6.2 互感线圈的串联	129
6.2.1 两线圈顺向串联	129
6.2.2 两线圈反向串联	130
6.3 互感线圈的并联	132
6.3.1 同名端相连	132
6.3.2 异名端相连	133
6.3.3 两线圈一端相连	133
6.4 空心变压器	136
6.4.1 空心变压器的概念与方程	136
6.4.2 空心变压器的计算	137
6.5 理想变压器	139
6.5.1 理想变压器的概念	139

6.5.2 交流铁心绕组上电压与磁通的关系	140
6.5.3 理想变压器的电压变换	141
6.5.4 理想变压器的电流变换	141
6.5.5 理想变压器的阻抗变换	142
习题 6	143
第 7 章 非正弦交流电路	148
7.1 非正弦周期波的谐波分析	148
7.1.1 谐波	148
7.1.2 谐波分析法	148
7.2 波形对称性与所含谐波分量的关系	151
7.2.1 对称性分析	151
7.2.2 非对称性非正弦周期波的谐波分析	153
7.3 非正弦周期波的平均值、有效值及功率	155
7.3.1 非正弦周期波的直流分量和平均值	155
7.3.2 非正弦周期波的有效值	155
7.3.3 非正弦周期电流电路的功率	156
7.4 非正弦交流电路的分析计算	158
习题 7	161
第 8 章 非线性电阻电路	164
8.1 非线性电阻元件	164
8.1.1 非线性电阻的伏安特性	164
8.1.2 非线性电阻的静态电阻和动态电阻	165
8.1.3 非线性电阻的主要特点	166
8.2 非线性电阻电路的分析方法	168
8.2.1 图解法与解析法	168
8.2.2 小信号分析法	170
8.3 非线性电阻的串联与并联	173
8.3.1 非线性电阻的串联	173
8.3.2 非线性电阻的并联	173
习题 8	174
附录 复数简介	178
参考文献	182

第 1 章 电路的基本概念和基本定律

【内容简介】

1. 电路、电路模型、电路的工作状态。
2. 电流、电压、电位、电动势、电功率、电能等基本物理量。
3. 电阻、电感、电容等基本元件特性。
4. 电压源、电流源特性及其等效变换。
5. 基尔霍夫定律。
6. 受控源的概念及应用。

1.1 电路

1.1.1 电路及其组成

把若干电气设备或元器件，按其所要实现的功能，用一定方式连接起来的电流通路称为电路。图 1-1-1 是最简单的电路，由干电池（电源）、小电珠（负载）和开关（中间环节）三部分组成。

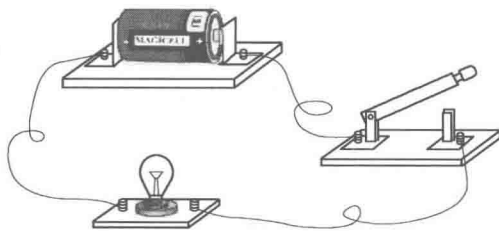


图 1-1-1 简单电路

一个完整的电路由电源、负载和中间环节等三部分组成。

1) 电源是将各种其他形式的能如化学能、机械能、光能等转换为电能，并向电路提供能量的设备，如干电池、蓄电池、发电机等。

2) 负载是指电路中能将电能转换为其他各种形式能的用电设备，也称用电器，如照明灯、电动机、各种家用电器和车载电器等。

3) 中间环节是指连接闭合电路的导线以及开关设备、保护设备，如刀开关、熔断器、继电器等。

1.1.2 电路模型

实际电路的分析和计算是根据电路图来进行的。

国家统一规定了表示电路元器件的图形符号，称为电路符号。电路图通常用电路符号表示实际电路器件的连接关系。常用的电路元器件符号如表 1-1-1 所示。

表 1-1-1 常用电路元器件符号

元器件名称	符 号	元器件名称	符 号
导线		可调电阻器	
交叉不相连接的导线		可变电位器	
交叉相连接的导线		电容	
开关		可调电容	
电池		微调电容	
直流电压源		电解电容	
交流电压源		电感线圈	
固定电阻		铁心线圈	

表 1-1-1 中的每一个符号都表示一个元器件，这些元器件都只有一种电或磁的性质。而实际的元器件，特性一般都比较复杂，它们往往同时具有电或磁的多种属性，如果这些性质同时考虑，则电路理论将会变得非常复杂，因此电路基础一般并不研究实际的元器件，而是把实际的元器件进行抽象和简化，忽略其次要性质，只保留其主要性质，这种只有一种电或磁特性的元件模型，称为**理想元件**。例如电灯、电风扇、电热器等消耗电能的器件，在一定条件下，这些器件都可以用一个表示消耗电能特性的理想元件来表示，这个元件就是电阻元件。又如负荷开关、断路器、隔离开关以及继电器的触点等都是接通和断开电路用的，就它们的作用而言，都可以用一个理想元件来表示，这个理想元件就是开关。

有了理想元件，我们在进行电路的分析计算时就可以省去很多麻烦，而又不影响电路的性质。这种由理想元件构成的电路，就称为实际电路的**电路模型**。以后本书中所说的元件如无特殊说明都指理想元件，所说的电路都指电路模型。图 1-1-2 就是图 1-1-1 的电路模型。

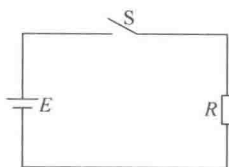


图 1-1-2 图 1-1-1 的电路模型

1.1.3 电路的作用

电路的作用有两类：一是可以实现能量的传输与转换。如电力系统，发电机将其他形式的能转换为电能，再通过变压器和输电线路将电能输送给工厂、千家万户的用电设备，这些用电设备再将电能转换为机械能、热能、光能或其他形式的能。二是可以实现信号的传递和处理，例如无线电通信电路将接收到的声音信号转换成电信号，经放大、

调制后发送出去，接收后经选频、放大、检波等再转换成声音信号的过程就是信号的传递和处理过程。

1.1.4 描述电路的基本物理量

描述电路的基本物理量有电流、电压、电位、电动势、电能和电功率等。

1. 电流

(1) 电流的概念 导体中自由电荷在电场力的作用下发生的定向移动就形成电流，其数值等于单位时间内通过导体某一横截面的电荷量。

设在 dt 时间内通过导体某一横截面的电荷量为 dq ，则通过该截面的电流为

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

如果电流恒定不变，则这种电流称恒定电流。直流电源供电的电路流过的电流即为恒定电流，电流的通路称直流电路。在直流电路中，式(1-1-1)可写成

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

在国际单位制(SI)中，规定电流的单位为安培(A)，即 $1\text{A} = 1\text{C/s}$ 。计量微小电流时，以毫安(mA)或微安(μA)为单位，其换算关系为 $1\text{A} = 10^3\text{mA} = 10^6\mu\text{A}$ 。

(2) 电流的参考方向 在简单电路中，可以很容易判断出电流的实际方向，如图1-1-3a中的 I_1 、 I_2 。倘若在图中A、B两点间再接入一个电阻如图1-1-3b所示，那么该电阻中的电流方向就很难直观判断了。另外，在交流电路中，电流是随时间变化的，在图上也无法表示其实际方向。为了解决这一问题，引入参考方向这一概念。

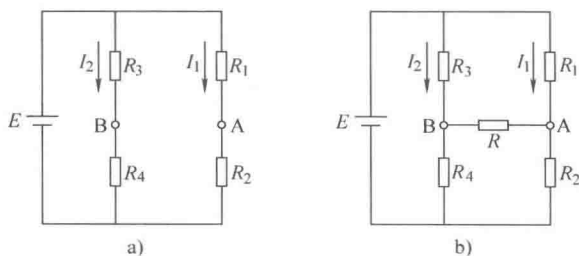


图 1-1-3 电流方向的判断

参考方向是假定的方向。电流的参考方向可以任意假定，在电路中一般用箭头表示。根据电流的正负就可以判定电流的参考方向和实际方向的关系，如电流为正值($I > 0$)，则电流的参考方向与实际方向一致；如电流为负值($I < 0$)，则电流的参考方向与实际方向相反。电流的参考方向与实际方向如图1-1-4所示。

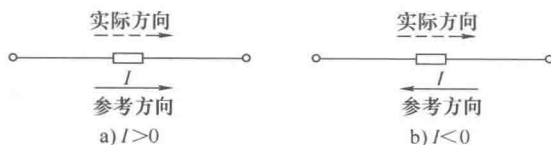


图 1-1-4 电流的参考方向与实际方向

在分析电路时，首先要假定电流的参考方向，并据此去分析计算，最后再从答案的正负值来确定电流的实际方向。如不作说明，电路图上标出的电流方向一般都是指参考方向。

例 1.1.1 电流的大小及参考方向如图 1-1-5 所示，试指出电流的实际方向。

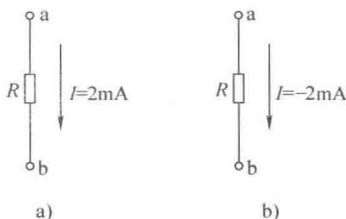


图 1-1-5 例 1.1.1 图

解： $I = 2\text{mA} > 0$ 说明电流的参考方向与实际方向一致，所以电流的实际方向为由 a 到 b。

$I = -2\text{mA} < 0$ 说明电流的参考方向与实际方向相反，因此电流的实际方向为由 b 到 a。

(3) 电流的测量 电流的测量用电流表，但为测量方便，通常测量电学相关参数（如电流、电压等）都选用万用表。万用表是一种多功能测量仪表，可以测电流、电压、电阻，还可以检测电子元器件特性等，分模拟万用表和数字万用表两种。

用万用表（或电流表）测量电流时必须先断开电路，再将表串联接入待测电路中。测直流时红表笔接电源正极，黑表笔接电源负极。一定要注意明确电流是直流还是交流，交、直流电流表或万用表的交、直流电流档位不能混用，防止损坏表头。另外选择合适的量程也很重要，一般所选量程应为被测电流的 1.5~2 倍。

此外还有一种专门测量电流的工具是钳形电流表（电流钳），其优势是测量时不需要断开电路，只需将导线置于电流钳口中央即可直接读数。

2. 电压

(1) 电压的概念 在电路中，设正电荷 dq 由 A 点移到 B 点时电场力所做的功为 dW ，则 A、B 两点间的电压为

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

即 A、B 两点间的电压在数值上等于电场力把单位正电荷由 A 点移送到 B 点时所做的功。在直流电路中，上式可写成

$$U = \frac{W}{Q} \quad (1-1-4)$$

国际单位制 (SI) 中，电压的单位是伏特 (V)。当电场力把 1 库仑 (C) 的电荷从一点移送到另一点所做的功为 1 焦耳 (J) 时，该两点间的电压即为 1 伏特 (V)。计量较低电压时，常以毫伏 (mV) 或微伏 (μV) 为单位。计量较高电压时，常以千伏 (kV) 为单位，其换算关系为 $1\text{kV} = 10^3\text{V}$ ， $1\text{V} = 10^3\text{mV} = 10^6\mu\text{V}$ 。

电压的方向（实际方向）通常规定从高电位指向低电位，即电压降的方向。

(2) 电压的参考方向 在复杂电路中，同样存在电压方向不明确的情况，因此在分析和计算电路时，可任意假定电压的参考方向。参考方向在电路图中可用箭头表示，也可用极性“+”“-”表示。“+”表示高电位，“-”表示低电位。当电压的参考方向与实际方向一致时，电压

为正 ($U > 0$)；相反时，电压为负 ($U < 0$)。电压的参考方向与实际方向如图 1-1-6 所示。

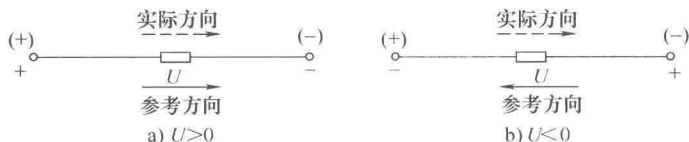


图 1-1-6 电压的参考方向与实际方向

例 1.1.2 电压的参考方向如图 1-1-7 所示，试指出图中电压的实际极性。

解：图 1-1-7a 中电压的参考方向由 b 指向 a， $U = 10\text{V}$ ，说明参考方向与实际方向一致，所以电压的实际方向为由 b 指向 a。

图 1-1-7b 中电压的参考方向由 a 指向 b， $U = -10\text{V}$ ，说明参考方向与实际方向相反，所以，电压的实际方向为由 b 指向 a。

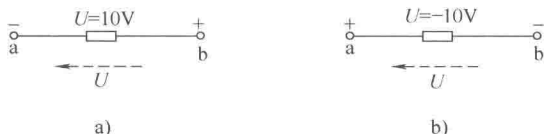


图 1-1-7 例 1.1.2 图

在分析和计算电路时，电压和电流参考方向的假定，原则上是任意的。但为了方便，元件上的电压和电流常取一致的参考方向，这称为关联参考方向，反之，称为非关联参考方向。

图 1-1-8a 所示的 U 与 I 参考方向一致，则其电压与电流的关系是 $U = IR$ ；而图 1-1-8b 所示的 U 与 I 参考方向不一致，则电压与电流的关系是 $U = -IR$ 。可见，在写电压与电流的关系式时，式中的正负号由它们的参考方向是否一致来决定。

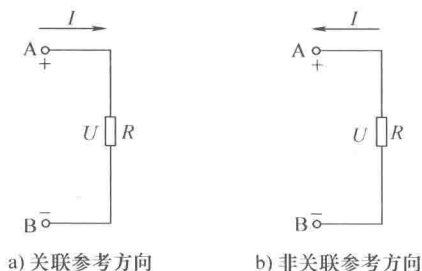


图 1-1-8 关联参考方向与非关联参考方向

(3) 电压的测量 电压的测量用电压表，也可以选用万用表。用万用表（或电压表）测量电压时无须断开电路，可直接将表与待测电路并联。测直流电压时红表笔接电源正极，黑表笔接电源负极。同样，也要注意明确待测电压是直流电压还是交流电压，交、直流电压表或万用表的交、直流电压档位不能混用，防止损坏表头；另外，要选择合适的量程。

3. 电位

在电器设备的调试和检修中，经常要测量某个点的电位，看其是否符合设计要求。电位

是度量电位能大小的物理量，某点电位在数值上等于电场力将单位正电荷从该点移动到参考点所做的功，可用符号“V”表示。电路中任意一点的电位，就是该点与参考点之间的电压。因此，电路中某点电位的测量实质上就是该点与参考点之间电压的测量。而电路中任意两点之间的电压，也等于这两点电位之差，即

$$U_{AB} = V_A - V_B \quad (1-1-5)$$

在电工电子技术中，原则上电位参考点的选取是任意的，但为了统一，工程上常选大地为参考点，在电路图中用符号“ \perp ”表示。机壳需要接地的电子设备，可以把机壳作为参考点。有些电子设备机壳虽然不一定接地，但为分析方便，可以把它们当中元器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 ”来表示。

通常取参考点的电位为零，电位高于零电位为正值，低于零电位为负值。电路中任意两点间的电压与参考点的选取无关，而任意一点的电位与参考点的选取有关，因为电路中各点的电位高低是相对于参考点而言的，如果不选择参考点去讨论电位是没有意义的。

例 1.1.3 如图 1-1-9 所示，分别选取 O、B、A 点为参考点，求 A、B 两点电位及 AB 两点间的电压。

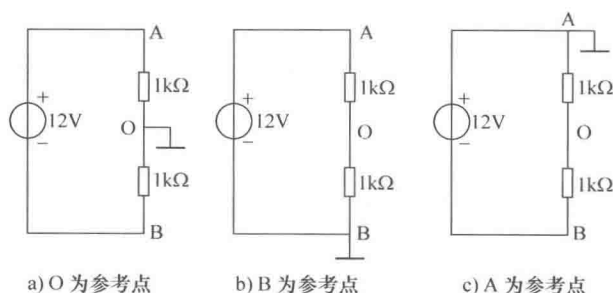


图 1-1-9 例 1.1.3 图

解：如选择 O 点为参考点，即令 $V_O = 0$ ，如图 1-1-9a 所示，则

$$V_A = V_A - V_O = U_{AO} = 6V$$

$$V_B = V_B - V_O = U_{BO} = -U_{OB} = -6V$$

$$U_{AB} = V_A - V_B = 12V$$

如以 B 点为参考点，即令 $V_B = 0$ ，如图 1-1-9b 所示，则

$$V_A = V_A - V_B = 12V$$

$$V_B = 0$$

$$U_{AB} = V_A - V_B = V_A = 12V$$

如以 A 点为参考点，即令 $V_A = 0$ ，如图 1-1-9c 所示，则

$$V_A = 0$$

$$V_B = V_B - V_A = U_{BA} = -U_{AB} = -12V$$

$$U_{AB} = V_A - V_B = 12V$$

可见，参考点选取不同，电路中各点电位也不同，但任意两点间的电压不变。

在电工电子技术的学习中，经常用电位来分析和讨论问题，比如对二极管而言，只有当它的阳极电位高于阴极电位时，管子才能导通，否则就截止；讨论晶体管的工作状态时，也

要分析晶体管三个极的电位高低等。为了简化电路，在绘制电路图时，常常不把电源画出，而改用电位标出。例如图 1-1-9a、b、c 可等效成图 1-1-10a、b、c。

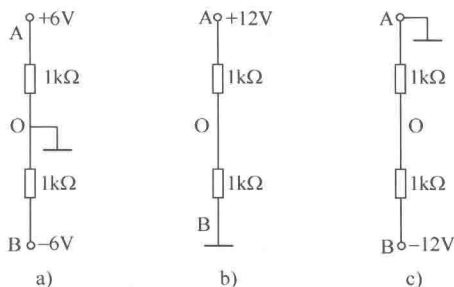


图 1-1-10 图 1-1-9 的等效电路图

例 1.1.4 试计算图 1-1-11 所示电路中 B 点的电位 V_B 。

解：如图 1-1-11 所示，电路中的电流为

$$I = \frac{V_A - V_C}{R_1 + R_2} = \frac{10 - (-5)}{100 + 50} \text{ mA} = 0.1 \text{ mA}$$

电阻 R_1 上的电压降为

$$U_{AB} = R_1 I = 100 \times 0.1 \text{ V} = 10 \text{ V}$$

故 B 点的电位为

$$V_B = V_A - R_1 I = (10 - 10) \text{ V} = 0 \text{ V}$$

或

$$V_B = V_C + R_2 I = (-5 + 50 \times 0.1) \text{ V} = 0 \text{ V}$$

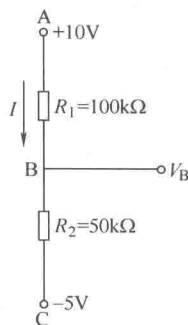


图 1-1-11 例 1.1.4 图

计算表明，当选取电位参考点以后，电路中的各点都具有确定的电位，与计算的路径无关。

电子线路中，为了画图简便，常常不画出电源，而是采用标出其各点电位的大小和极性的方法来替代电源。例如图 1-1-12a 所示的电路可采用图 1-1-12b 所示简化图，图 1-1-13a 所示的简化图也可以还原为图 1-1-13b 所示电路。

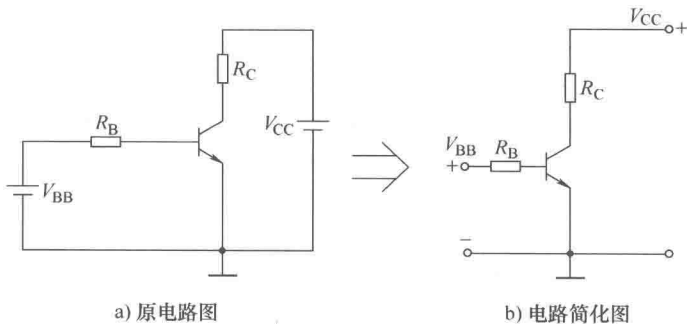


图 1-1-12 电路图的简化

4. 电动势

在电路中，电源内部不断有非电场力把正电荷从电源负极移送电源正极，即从低电位移

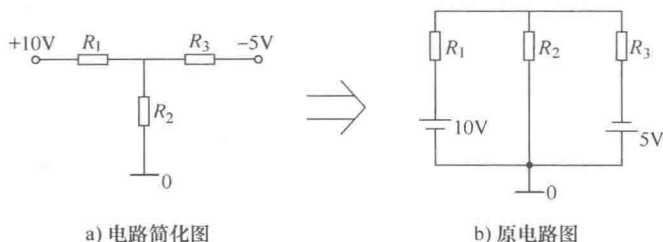


图 1-1-13 简化电路图的还原

送到高电位，这个非电场力做功的过程就是电源将其他形式的能转换成电能的过程。这个非电场力也可称为电源力。电动势就是为了衡量电源力对电荷做功的本领大小而引入的一个物理量。在数值上电动势的大小等于电源力将单位正电荷从电源负极移到电源正极所做的功，用 E 表示：

$$E = \frac{W}{Q} \quad (1-1-6)$$

式中， W 为非电场力（电源力）对电荷所做的功。

电动势的方向规定为在电源内部由电源负极指向电源正极，即由低电位指向高电位，与电压的规定方向相反。电动势的参考方向也可用箭头或“+”“-”极性表示，如图 1-1-14 所示。电动势的单位与电压的单位相同，也用 V 表示。

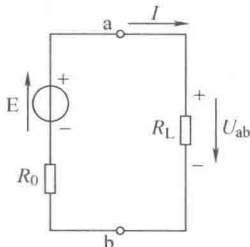


图 1-1-14 电动势的参考方向

一种快速测量电源电动势的方法是，当电路处于空载状态（开路）时，测量电源两端的开路电压，即可认为等于电源的电动势。

5. 电能和电功率

电流流过电气设备时要做功，做功的过程就是消耗电能，使其转化成其他形式能的过程，如电流流过灯、电炉、电烙铁等时，电场力做功，电能转化成了热能；电流流过电动机时，电场力做功，电能转化成了机械能。电场力所做的功即电能的大小与电压、电流和通电时间成正比，即

$$W = UQ = UI t \quad (1-1-7)$$

在国际单位制中，功和能的单位是焦耳（ J ），工程上常用度即千瓦时（ $kW \cdot h$ ）作单位， $1kW \cdot h = 3.6 \times 10^6 J$ 。

单位时间内消耗的电能称为电功率（简称功率），即负载消耗（或吸收）的电功率：

$$P = \frac{W}{t} = UI \quad (1-1-8)$$

在时间 t 内, 电源力将电荷 Q 从电源负极经电源内部移送到电源正极所做的功为

$$W_E = EQ = EIt \quad (1-1-9)$$

电源产生 (或发出) 的电功率为

$$P_E = EI \quad (1-1-10)$$

闭合电路中, 电源产生的功率与负载、导线以及电源内阻上消耗的功率总是平衡的, 遵循能量守恒和转换定律。

在国际单位制中, 功率的单位是瓦特 (W)。常用单位还有千瓦 (kW)、毫瓦 (mW) 等, 且 $1\text{kW} = 10^3\text{W} = 10^6\text{mW}$ 。

在电路分析中, 不仅要计算功率的大小, 有时还要判断功率的性质, 即该元件是产生电功率还是消耗电功率。一般情况下, $P = UI$ 适用于电压与电流为关联参考方向的场合, 如果取非关联参考方向, 则应写成 $P = -UI$ 。这样, 如果 $P > 0$, 元件消耗功率, 属于负载性质; 如果 $P < 0$, 元件输出 (提供) 功率, 属于电源性质。

一种计量电功 (电能) 的测量仪表称电能表, 它的计量单位是千瓦时 (度)。电能表有两个回路, 即电压回路和电流回路, 连接方式有直接接入和间接接入两种, 低压小电流线路可直接接入, 低压大电流线路需经电流互感器将电流变小再接入电能表。测量功率可选用功率表, 功率表也有两个回路, 即电压回路和电流回路, 测量时电流回路应串联接入待测电路, 电压回路应并联接入待测电路, 也可以选用电压表和电流表分别测电压和电流, 再根据 $P = UI$ 求出功率。

【同步训练】

1. 有一个两路输出的稳压电源, 电阻若干, 电压表、电流表、功率表各一块, 自己设计一个电路, 练习电压、电流、电位和功率的测量。

2. 如图 1-1-15 所示, 试计算两个图中各点的电位, 实际连接电路, 进行测量, 比较测量值与计算值。

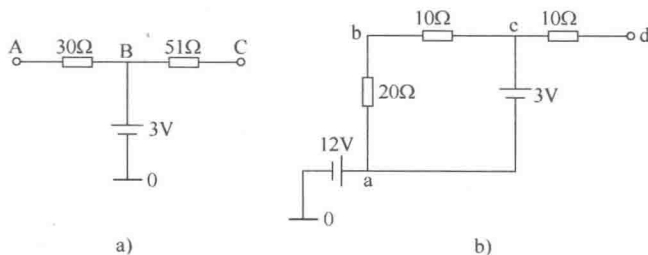


图 1-1-15 2 题图

3. 如图 1-1-16 所示, 求各元件的功率并指出是吸收功率还是发出功率。

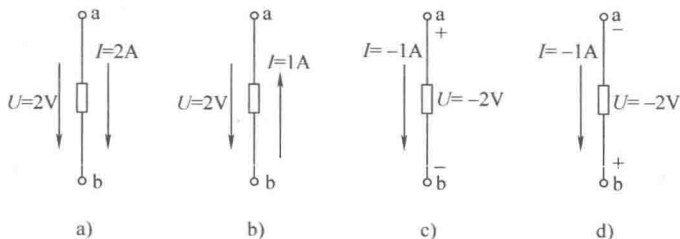


图 1-1-16 3 题图