

高等职业教育电气类“十三五”系列教材

# 电路与磁路基础

主编 谢雅倩 沙莎



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

高等职业教育电气类“十三五”系列教材

# 电路与磁路基础

主编 谢雅倩 沙莎



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

·北京·

## 内 容 提 要

本书是依据高职高专院校培养应用型技能人才的要求组织编写，理论基础适用够用，更注重培养学生的思维能力与应用能力，突出职业教育的特点。

本书主要内容为：电路的基本元件、基本定律及安全用电；直流电阻电路的分析；单相正弦交流电路；三相交流电路以及磁路分析。同时也对安全用电及常用的电工工具进行了介绍，安排了部分实训，通过实训来检验学生掌握的理论知识与工具的使用，提升学生的实训技能。

本书可作为高职高专电类相关专业的教材，亦可作为自学者考取电工类职业技能证书与专升本的参考书。

## 图书在版编目（C I P）数据

电路与磁路基础 / 谢雅倩, 沙莎主编. -- 北京 :  
中国水利水电出版社, 2019. 8  
高等职业教育电气类“十三五”系列教材  
ISBN 978-7-5170-7897-5

I. ①电… II. ①谢… ②沙… III. ①电路—高等职业  
教育—教材②磁路—高等职业教育—教材 IV. ①TM13  
②TM14

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第173091号

书 名	高等职业教育电气类“十三五”系列教材 <b>电路与磁路基础</b> DIANLU YU CILU JICHU
作 者	主编 谢雅倩 沙莎
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
刷 印	清淤永业(天津)印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 9.5印张 231千字
版 次	2019年8月第1版 2019年8月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	<b>29.00元</b>

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换  
版权所有·侵权必究

# 前言



随着职业教育改革的深入，作为“三教”改革之一的教材也越来越受到各职业院校的重视。而随着《国家职业教育改革实施方案》的实施，贵州水利水电职业技术学院已开始启动1+X证书制度，要求学生在校期间获取相关职业技能证书。电类相关专业学生在校期间可通过职业技能鉴定获得电工类技能证书。

电路与磁路基础是高职高专电力类、电气类、机电类、电子类、物联网类等电类相关专业的一门重要的专业基础课程，其任务是既能满足学生掌握电路与磁路的基本理论知识，为后续专业核心课程奠定重要基础；同时也能培养学生的职业能力，将职业技能证书中要求的知识融入到平时的教学中。

本书主要分为电路部分与磁路部分，共5章，每章后均有课后习题，重点考查学生对于本章内容的掌握程度，由简到难。同时本书中也对安全用电及常用的电工工具进行了介绍，安排了部分实训，通过实训来检验学生掌握的理论知识与工具的使用，提升学生的实训技能。

本书建议安排教学学时72~96学时，也可按照各专业实际自主调整。

本书由贵州水利水电职业技术学院谢雅倩、沙莎主编。教材编写过程中，得到了电力工程系各位领导与老师的大力支持与帮助；同时参考了许多相关书籍，在此一并表示由衷感谢。同时由于时间仓促，编者水平有限，书中难免疏漏及不妥之处，敬请读者批评指正。

编者

2019年6月

# 目录



## 前言

<b>第 1 章 电路的基本元件、基本定律及安全用电</b> .....	1
1.1 电路与电路模型 .....	1
1.2 电路的基本物理量 .....	4
1.3 电阻元件 .....	10
1.4 电容元件 .....	12
1.5 电感元件 .....	16
1.6 电压源和电流源 .....	18
1.7 基尔霍夫定律 .....	20
1.8 安全用电常识 .....	23
习题 .....	25
<b>第 2 章 直流电阻电路的分析</b> .....	29
2.1 电路的等效变换及电阻的串联、并联和混联 .....	29
2.2 电阻的 Y 形连接和 $\Delta$ 形连接及其等效变换 .....	33
2.3 电源的连接及实际电源模型的等效变换 .....	35
2.4 直流电路的一般分析方法 .....	38
2.5 电路分析定理 .....	44
习题 .....	51
<b>第 3 章 单相正弦交流电路</b> .....	56
3.1 正弦交流电 .....	56
3.2 相量法基础 .....	61
3.3 正弦交流电的相量表示法 .....	64
3.4 电路定律的相量形式 .....	65
3.5 正弦交流电路中的单一元件 .....	66
3.6 RLC 串联电路分析 .....	76
3.7 RLC 并联电路分析 .....	80
3.8 复阻抗的连接 .....	82
3.9 正弦交流电路的功率 .....	84

3.10	功率因数 .....	87
3.11	谐振 .....	89
	习题 .....	92
<b>第4章</b>	<b>三相交流电路 .....</b>	<b>96</b>
4.1	三相电源的产生 .....	96
4.2	三相电源的连接 .....	98
4.3	三相负载的连接 .....	101
4.4	对称三相电路的分析 .....	105
4.5	三相电路的功率 .....	112
	习题 .....	115
<b>第5章</b>	<b>磁路分析 .....</b>	<b>118</b>
5.1	磁路的基本概念 .....	118
5.2	磁场的基本作用及电磁感应定律 .....	122
5.3	磁路与磁路定律 .....	125
5.4	铁磁物质的磁化 .....	128
5.5	自感和互感 .....	130
5.6	涡流 .....	133
	习题 .....	134
<b>附录A</b>	<b>常用基本电工工具 .....</b>	<b>135</b>
<b>附录B</b>	<b>荧光灯电路的安装与检测 .....</b>	<b>141</b>
	参考文献 .....	143

# 第 1 章 电路的基本元件、基本定律及安全用电

## 学习目标：

- (1) 了解电路的基本知识，包括其定义、组成部分及作用。
- (2) 了解电路元件、电路模型的建立，以及电路的基本物理量。
- (3) 掌握电路中的基本元件，掌握电路中的两种电源。
- (4) 掌握基尔霍夫定律（节点电流定律和回路电压定律）。
- (5) 理解安全用电的基本知识，掌握触电处理知识及预防措施。

## 1.1 电路与电路模型

### 1.1.1 电路

#### 1.1.1.1 电路的基本知识

若干个电气设备或器件按照一定方式组成的导电回路，称为电路。

在实际生活中，电视机、音响设备、通信系统、计算机和电力网络中的各种电气设备里可以看到各种各样的电路，这些电路的特性和作用各不相同，但它们都是物理实体，称为实际电路。实际电路是由一些电气器件或设备按一定方式连接起来的，以完成能量的传输、转换或信息的处理、传递。能量传输、转换的典型实例是电力系统。发电机将其他形式的能源转换为电能，再通过变压器和输电线路将电能输送给工厂、农村和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量。

手电筒是最常见的电器设备，它由电池、灯泡、导线、开关组成，图 1.1 为常见手电筒，其实际接线如图 1.2 所示。



图 1.1 手电筒实物图

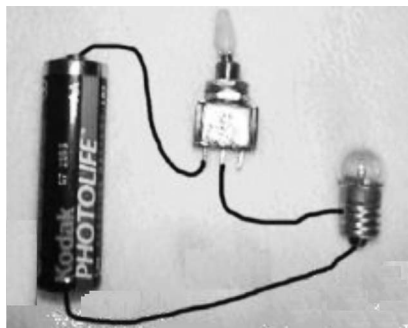


图 1.2 手电筒实际电气元件及接线图

电路的形式多种多样，有的简单，有的复杂。不管电路图结构和复杂程度如何，它都是由三部分组成的，即电源、负载、中间环节。其中，负载包括电阻、电容、电感性负



载，中间环节包括控制和保护设备、连接导线等。

(1) 电源：电源是将其他形式的能量转化为电能的元件，它是电路中电能提供者。如干电池、蓄电池、发电机等。

(2) 负载：负载是把电能转化为其他形式能量的元件，它是电路中电能的使用者和消耗者。直流电路中，负载主要以电阻形式表现，如白炽灯、电炉、电动机等。

(3) 中间环节：主要是由控制和保护元件、连接导线组成。电路中开关 S 属于控制元件，熔断器 FU 是保护元件。开关 S 用来接通和断开回路。保护元件用来保护回路，如在回路发生短路时，熔断器 FU 熔芯熔断，可切断回路，保护回路中元器件不因回路电流过大而被损坏。由于开关 S、熔断器 FU 在回路中电阻很小，对电流流动影响甚微，其作用相当于连接导线。连接导线能够将电源、负载等器件连接成回路。导线是电流流动的通路，没有连接导线，不能够形成电路。

### 1.1.1.2 电路元件

(1) 实际元器件：某些元器件中除了基本特性外，由于制造等因素，还具有其他元器件的特性。例如，电感器由金属导线绕制而成，主要特性为电感，同时还具有电阻特性，但电感的电阻特性在多数情况下可以忽略。图 1.3 为常见的实际元器件。

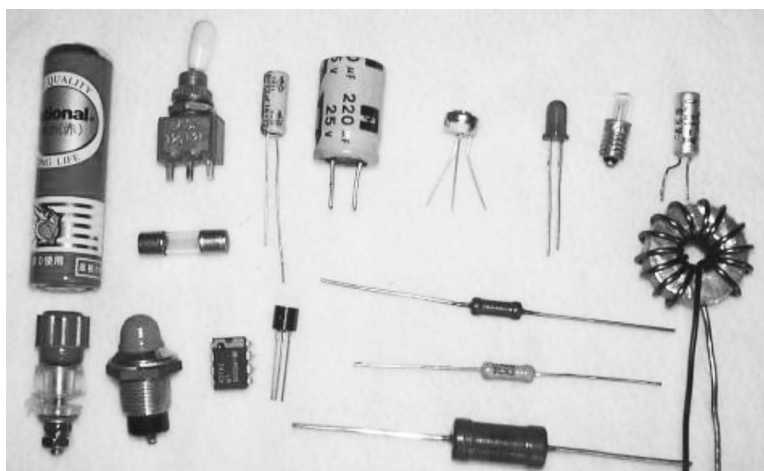


图 1.3 常见实际元器件

(2) 理想电路元件：元件种类很多，主要特性表现为电阻、电感、电容或电源。在电路理论中，需要根据实际电路中的各个元件主要的物理性质进行科学的抽象归类，建立物理模型，这些抽象化的基本物理模型就称为理想电路元件，简称电路元件。

1) 电阻元件：电阻元件是体现电能转化为其他形式能量的二端元件，简称电阻，用字母  $R$  表示。在国际单位制中，电阻的单位是欧姆，符号为“ $\Omega$ ”。电阻元件符号如图 1.4 所示。

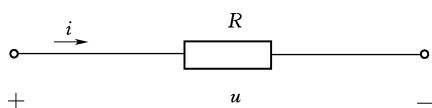


图 1.4 电阻元件

2) 电容元件：电容元件是体现电场储能的二端元件，简称电容，用字母  $C$  表示。电容符号如图 1.5 所示，在国际单位制中，电容的单位是法拉，符号为“F”。



3) 电感元件：电感元件是体现磁场储能的二端元件，简称电感，用字母  $L$  表示，符号如图 1.6 所示。在国际单位制中，电感的单位是亨利，符号为“H”。

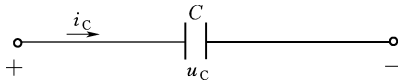


图 1.5 电容元件

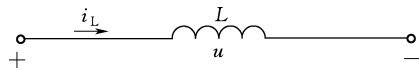


图 1.6 电感元件

4) 独立电源元件：实际电路中一般均有电源。电源可以是各种电池、发电机、电子电源，也可以是微小的电信号。在电路分析中，根据电源的不同特性，可建立两种不同表征电源元件的电路模型：理想电压源和理想电流源。电压源基本模型见图 1.7。

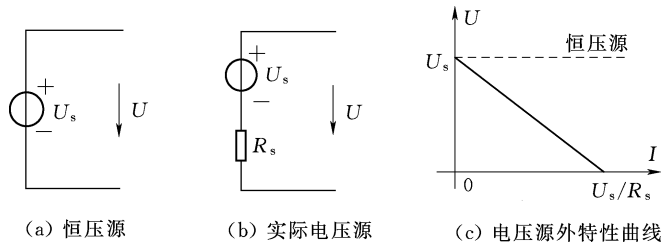


图 1.7 电压源基本模型

### 1.1.2 电路模型

如图 1.2 所示手电筒实际接线图在分析电路元器件的接法和原理时很有用，但要用它对电路进行定量分析和计算则非常困难。为了便于分析研究实际电气装置，常采用模型化的方法，如图 1.8 所示，即用理想元件及其组合近似地代替实际的元器件，从而构成了与实际电路相对应的电路模型。

将实际电路抽象为电路模型，需要将实际电路中的每一个实际电路元器件的主要电磁性质进行科学的抽象和概括。此处科学抽象的办法是：定义一些理想化的电路元件来近似地模拟电气元器件的电磁特性。

例如无论是照明用的灯泡、加热用的电炉，还是将电

能转换为机械能的电动机等电路元器件，其消耗电能这一电磁特性在电路模型中均可用理想电阻元器件  $R$  来表示；定义电容元件是一种只储存电场能量的理想元件；电感元件是一种只储存磁场能量的理想元件。用电阻、电容、电感等理想电路元器件来近似模拟实际电路中每个电气元器件和设备，再根据这些元器件的连接方式，用理想导线将这些电路元件连接起来，就得到该实际电路的电路模型。图 1.9 为手电筒实际电路与电路模型的转换。

关于实际部件的模型概念需要强调几点：

(1) 理想电路元件是具有某种确定电磁性能的元件，是一种理想的模型，实际中并不存在，但在电路理论分析与研究中充当重要角色。

(2) 不同的实际电路元件，只要具有相同的主要电磁性能，在一定条件下可用同一模

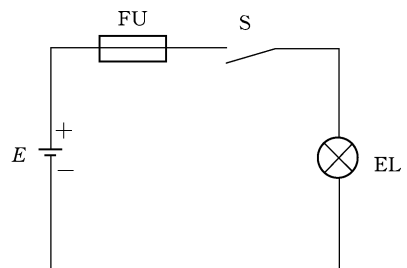


图 1.8 手电筒电路图

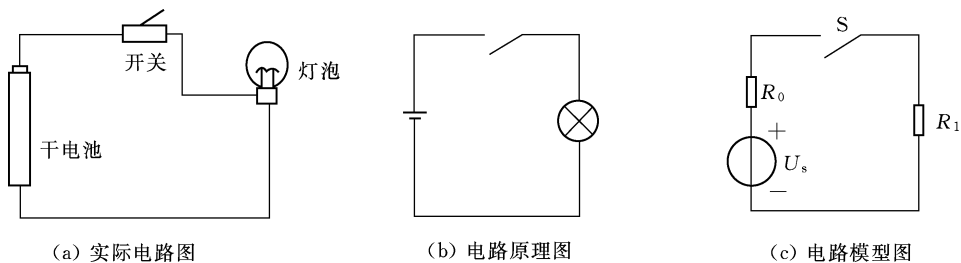


图 1.9 实际电路和电路模型

型表示。如只表示消耗电能的理想电阻元器件  $R$  (电灯、电炉、电烙铁等), 只表示存储磁场能量的理想电感元器件  $L$  (各种电感线圈), 只表示存储电场能量的理想电容元器件  $C$  (各种类型的电容器)。这三种最基本的理想元器件可以代表种类繁多的负载。

(3) 同一个实际电路部件在不同的应用条件下, 它的模型可以有不同的形式。如实际电感元器件应用在低频电路时, 可以用理想电感元件  $L$  代替; 应用在较高频率电路中, 可以用理想电感元件  $L$  与理想电阻元件  $R$  串联代替; 应用在更高频率电路中, 则可以用理想电感元件  $L$  与理想电阻元件  $R$  串联后, 再与理想电容元件  $C$  并联代替。

将实际电路中各个部件用其模型符号来表示, 这样画出来的图称为实际电路的电路模型图, 也称为电路原理图。

## 1.2 电路的基本物理量

电路中描述电路特性的基本物理量有电流、电压、电位、电动势、电功率等。

### 1.2.1 电流及其参考方向

#### 1.2.1.1 电流的定义

物质内部有正、负两种电荷, 电荷的定向移动称为电流。电流分直流和交流两种。直流电路中, 电流的大小和方向恒定, 不随时间变化, 简称直流 (写作 DC), 用大写字母  $I$  表示, 方向规定为正电荷定向移动的方向。

交流电路中, 电流的大小和方向都随时间变化, 简称交流 (写作 AC), 用小写字母  $i$  表示。交流电将在正弦交流电章节中专门讲解。

#### 1.2.1.2 电流的大小和单位

电源的电动势形成了电压, 继而产生了电场力。在电场力的作用下, 处于电场内的电荷发生定向移动, 形成了电流。电流的大小称为电流强度 (简称电流, 符号为  $I$ ), 是指单位时间  $t$  内通过导线某一截面的电荷量  $Q$ 。

(1) 电流大小: 每秒通过 1 库仑 (C) 的电量称为 1 安培 (A), 公式如下:

$$I = Q/t$$

单位时间内通过导体横截面的电荷越多, 流过导体的电流越强; 反之, 电流就越弱。

(2) 电流的单位: 电流的单位为安培 (A), 常用单位有千安 (kA)、毫安 (mA) 或者微安 ( $\mu\text{A}$ )。  $1\text{A} = 1000\text{mA}$ ,  $1\text{mA} = 1000\mu\text{A}$ 。

**【例 1.1】** 5min 内均匀通过某导体横截面的电荷量为 6C, 导体中流过的电流是多少?



解：
$$I = \frac{Q}{t} = \frac{6}{5 \times 60} = 0.02(\text{A}) = 20\text{mA}$$

(3) 电流产生的条件：

1) 必须具有能够自由移动的电荷（金属中只有负电荷移动，电解液中为正负离子同时移动）。

2) 导体两端存在电压差（要使闭合回路中得到持续电流，必须要有电源）。

3) 电路必须为通路。

### 1.2.1.3 电流的实际方向与参考方向

物理上规定电流的方向，是正电荷定向移动的方向。电荷指的是自由电荷，在金属导体中的电子是自由电子。在电源外部电流方向是正电荷移动的方向，在电源内部由负极流回正极。

在对电路进行分析计算时，很多情况下不能确定电路中电流的实际方向。为了计算方便，常先任意假定一个电流方向，称为参考方向（在未标注参考方向时，电流的正负号是毫无意义的。电路图中所标注的电流方向均指参考方向）或假定正方向（简称正方向），用箭头表示。当然，所选电流的参考方向不一定就是电流的方向。我们规定：当电流的方向与参考方向一致时，电流为正值（ $I > 0$ ）；当电流的方向与参考方向相反时，电流为负值（ $I < 0$ ）。因此，在选定的参考方向下，根据电流的正、负，就可以确定电流的方向，如图 1.10 所示。

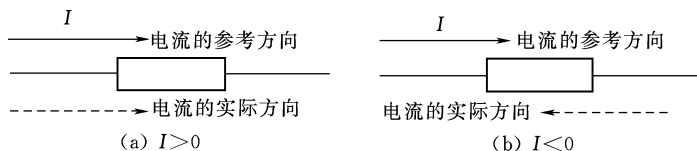


图 1.10 电流的参考方向与实际方向的关系

**【例 1.2】** 分析如图 1.11 所示中电流的实际方向。

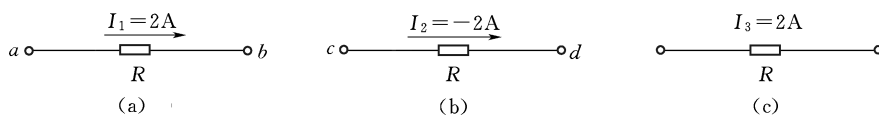


图 1.11 [例 1.2] 题图

解：

图 (a) 中电流的参考方向由  $a$  到  $b$ ， $I_1 = 2\text{A} > 0$ ，电流为正值，说明电流的实际方向和参考方向相同，即从  $a$  流到  $b$ ；

图 (b) 中电流的参考方向由  $c$  到  $d$ ， $I_2 = -2\text{A} < 0$ ，电流为负值，说明电流的实际方向和参考方向相反，即从  $d$  流到  $c$ ；

图 (c) 中因为没有给出电流的参考方向，电流的实际方向不能确定。

### 1.2.1.4 电流的测量

电流可以用电流表测量。测量的时候，必须把电流表串联在电路中，并使电流从表的正端流入、负端流出。要选择好电流表量程，使其大于实际电流的数值，这样可以防止电流过大而损坏电流表。电流测量电路图如图 1.12 所示。

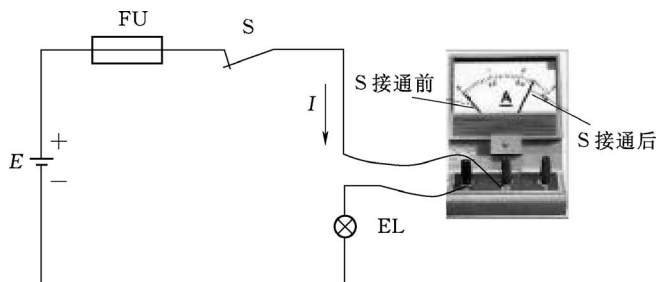


图 1.12 电流测量电路图

### 1.2.2 电压及其参考方向

在电位差的存在下，电荷能够发生运动。在这里电位差也就是电压，电压是形成电流的原因。

#### 1.2.2.1 电压的基本概念

电压是指电路中两点  $A$ 、 $B$  之间的电位差（简称为电压），电压的方向规定为从高电位指向低电位的方向。如果电压的大小及方向都不随时间变化，则称之为直流电压，用大写字母  $U$  表示。

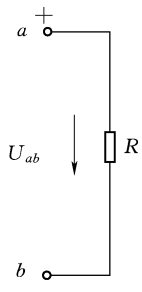


图 1.13 电压的方向

如果电压的大小及方向随时间变化，称交流电压。交流电压的瞬时值用小写字母  $u$  或  $u(t)$  表示。

#### 1.2.2.2 电压的大小和单位

(1) 电压大小：电压用  $U$  表示。电压大小为单位正电荷因受电场力的作用从  $a$  点移动到  $b$  点时所做的功。因电压是对两点之间而言，所以表示时要用下标表示电压方向。若正电荷从  $a$  点移动到  $b$  点，则规定电压方向为从  $a$  点指向  $b$  点，记为  $U_{ab}$ ，如图 1.13 所示。

$$U_{ab} = \frac{dW}{dq}$$

式中  $dW$ ——电荷由  $a$  点移动到  $b$  点所做的功， $J$ ；

$dq$ ——由  $a$  点移动到  $b$  点的电荷量， $C$ ；

$U_{ab}$ —— $a$ 、 $b$  两点间的电压。

由此可知电压是反映电场力做功能力的物理量。

(2) 电压单位：电压的单位是伏特，符号为  $V$ 。如图 1.14 所示，如果将 1 库仑正电荷从  $a$  点移动到  $b$  点，电场力所做的功为 1 焦耳，则  $a$  和  $b$  两点之间的电压为 1 伏 ( $V$ )。电压的常用单位有千伏 ( $kV$ )、毫伏 ( $mV$ ) 或者微伏 ( $\mu V$ )。 $1kV = 1000V$ ， $1V = 1000mV$ ， $1mV = 1000\mu V$ 。

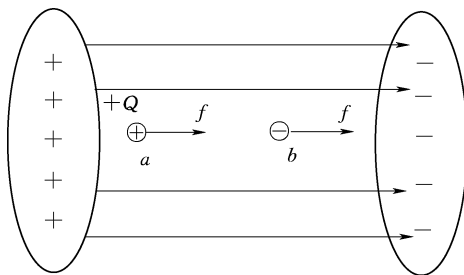


图 1.14 电场力做功

(3) 常见电压知识：电视信号在天线上感应的电压约  $0.1mV$ ，维持人体生物电流的电压约  $1mV$ ，碱性电池标称电压  $1.5V$ ，电子手表氧



化银电池两极间的电压 1.5V，干电池两级间的电压 1.5V，一节蓄电池电压 2V，手持移动电话电池两极间的电压 3.6V，对人体安全的电压干燥情况下不高于 36V，家庭电路的电压 220V，动力电路电压 380V，无轨电车电源的电压 550~600V，列车上方电网电压 1500V，电视机显像管的工作电压 10kV 以上，发生闪电的云层间电压可达 10000kV。

电压可分为高电压、低电压和安全电压。

高低电压的区别是：以电气设备的对地电压值为依据，对地电压高于 250V 的为高电压，对地电压小于 250V 的为低电压。其中安全电压指人体较长时间接触而不致发生触电危险的电压。

### 1.2.2.3 电压的实际方向与参考方向

实际方向：在电场力的作用下，正电荷总是从高电位向低电位运动，我们规定电压的方向为由高电位点指向低电位点。

电压总是对电路中的两点而言，因而用双下标表示，如  $U_{ab}$ 。其中  $V_a$  代表正电荷运动的起点电位， $V_b$  代表正电荷运动的终点电位，电压的方向则由起点指向终点。在电路中，电压的方向也称作电压的极性，用“+”和“-”表示正电荷的“起点”和“终点”，称作“正极”和“负极”。

电压的参考方向：电路中任意两点之间的电压的实际方向往往不能预先确定，此时，为了方便电路分析，任意设定该段电路电压的参考方向，并以此为依据进行电路分析和计算。

若计算电压结果为正值，说明电压的设定参考方向与实际方向一致；若计算电压结果为负值，说明电压的设定参考方向与实际方向相反。图 1.15 为电压参考方向的三种表示方法。

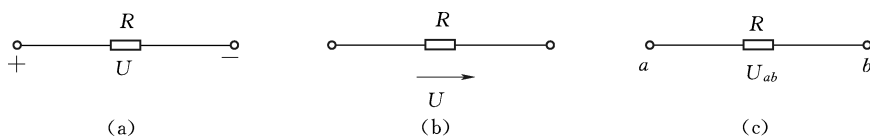


图 1.15 电压参考方向的三种表示方法

### 1.2.2.4 电压的测量

电压可以用电压表测量。测量的时候，电压表的正、负极性和被测电压要一致，把电压表并联在电路元器件两端。要选择电压表指针接近满偏转的量程。如果电路上的电压大小估计不出来，要先用大的量程，粗略测量后再用合适的量程。这样可以防止由于电压过大而损坏电压表。电压测量电路图见图 1.16。

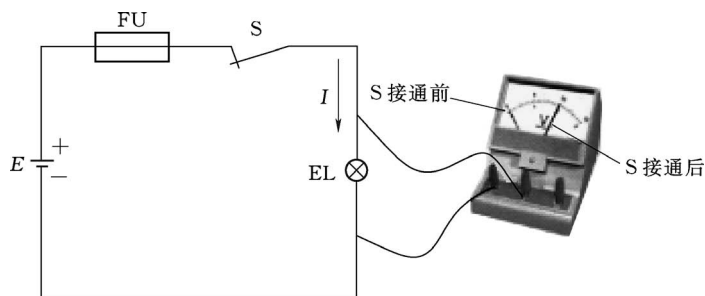


图 1.16 电压测量电路图



### 1.2.3 电压和电流的参考方向

已知实际电路中，电压与电流的实际方向是客观存在的，而参考方向却是由于电路分析需要人为设定。所以在电路分析中我们都是依据设定的参考方向列写电路相关方程，不管分析何种电路，得出的结果仅会出现实际数学符号的差异。因此，当我们求解出电路最后结果时带有负号，说明我们假设的参考方向与实际电路电压电流方向相反。

因此在电路分析中，若电流的参考方向从电压参考方向的正极流向负极时，称此时电压与电流为关联参考方向，反之则称为非关联参考方向。

**【例 1.3】** 判断如图 1.17 中电流与电压参考方向关系。

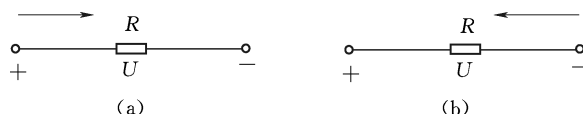


图 1.17 [例 1.3] 题电路图

**解：**图 (a) 中电压与电流方向一致，是关联参考方向；图 (b) 中电压与电流参考方向不一致，是非关联参考方向。

### 1.2.4 电位

电位是指电路中某点与参考点之间的电压。通常把参考点的电位规定为零，又称为零电位。电位的文字符号用带单下标的字母  $V$  表示，即电位又代表一点的数值，如  $V_a$  表示  $a$  点的电位。电位的单位也是伏特 (V)。

因此用  $V_a$  表示  $a$  点的电位。一般选大地为参考点，即视大地为零电位。电路中任意两点 (如  $a$ 、 $b$  两点) 之间的电位差 (电压) 与该两点电位的关系为

$$U_{ab} = V_a - V_b$$

即电路中任意两点之间的电位差就等于这两点之间的电压。故电压又称为电位差。

电压具有相对性，即电路中某点的电位随参考点位置的改变而改变；而电位差具有绝对性，即任意两点之间的电位差值与电路中参考点的位置选取无关。

由式  $U_{ab} = V_a - V_b$  可知， $U_{ab} = -U_{ba}$ 。如果  $U_{ab} > 0$ ，则  $V_a > V_b$ ，说明  $a$  点电位高于  $b$  点电位；反之， $U_{ab} < 0$ ，则  $V_a < V_b$ ，说明  $a$  点电位低于  $b$  点电位。

电位有正电位与负电位之分，当某点的电位大于参考点电位 (零电位) 时，称其为正电位，反之叫负电位。

在电力系统中，电子仪器和设备中又常把金属外壳或电路的公共接点的电位规定为零电位。

**【例 1.4】** 如图 1.18 所示，已知  $V_a = 36\text{V}$ ， $V_b = 24\text{V}$ ， $V_c = 10\text{V}$ ，若以  $d$  为参考点，试求  $U_{ba}$ 、 $U_{cd}$ 、 $U_{ac}$  各为多少？

**解：**

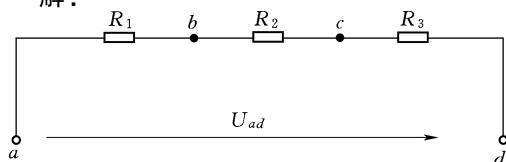


图 1.18 [例 1.4] 电路图

以  $d$  为参考点，则可设  $V_d = 0\text{V}$ ，则

$$U_{ba} = V_b - V_a = 24 - 36 = -12(\text{V})$$

$$U_{cd} = V_c - V_d = 10 - 0 = 10(\text{V})$$

$$U_{ac} = V_a - V_c = 36 - 10 = 26(\text{V})$$



### 1.2.5 电动势

电动势是衡量电源将非电能转换成电能的物理量，是指在电源内部外力将单位正电荷从电源的负极 b 移动到正电极 a 所做的功，用符号  $E$  表示。电动势的单位与电压相同，用伏 (V) 表示。其数学表达式为

$$E = \frac{dW_{ab}}{dq}$$

正电荷在电源内部是由“—”极移动到“+”极，是由于电源内部非电场力的作用，如电池内部的化学力、发电机内部的电磁力等，通称为电源力。电源力做功能力的大小用电动势来表示。

电动势方向：电动势的方向规定为由电源“—”极指向“+”极，即电位升的方向，用箭头表示。与电流、电压相似，电路图中电动势  $E$  的参考方向就是实际方向，如图 1.16 所示。图 1.16 中，电源两端的电压的方向由“+”极指向“—”极，即电位降低的方向。图中同时表示了电源两端的电压和电动势的参考方向，两者箭头方向正好相反（电动势的箭头可以不画出）。

### 1.2.6 电能和电功率

#### 1.2.6.1 电功率

在实际电力系统中，正常工作时总有能量的相互转换，而电路元件及设备本身都有额定功率，使用时不能超过这个额定值，否则将会破坏电路及器件，使元件及电气设备遭受不可逆的损坏。

定义在单位时间内电路吸收或者消耗的电能，即为

$$p = \frac{dW}{dt}$$

在直流电路中电功率实际上可表示为

$$P = UI$$

功率的国际标准单位是瓦特，简称瓦，符号是 W。

在实际电路分析中，若考虑电路中电压及电流参考方向为非关联时，此时计算电功率时为

$$P = -UI$$

不管电压及电流参考方向如何，对于电功率有如下结论：

- (1) 若  $P > 0$ ，电路元件吸收功率，属于耗能元件，起负载作用。
- (2) 若  $P < 0$ ，电路元件发出功率，属于非耗能元件，起电源作用。
- (3) 若  $P = 0$ ，电路元件既不吸收功率，也不消耗功率。

**【例 1.5】** 计算图 1.19 中各元件的功率，已知  $U_1 = 10\text{V}$ ， $U_2 = -6\text{V}$ ， $I = 2\text{A}$ ；试分析各元件是吸收功率还是发出功率，并求电路总功率。

**解：**由图 1.19 可知，电阻  $R_1$  电压与电流为关联参考方向，则

$$P_1 = U_1 I = 10\text{V} \times 2\text{A} = 20\text{W}$$

电阻  $R_2$  两端电压与电流为非关联参考方向，则

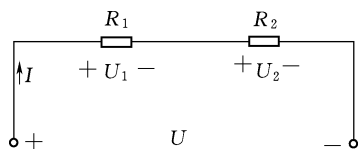


图 1.19 [例 1.5] 图



$$P_2 = -U_2 I = -(-6\text{V} \times 2\text{A}) = 12\text{W}$$

电路总功率为

$$P = P_1 + P_2 = 20\text{W} + 12\text{W} = 32\text{W}$$

分析可知在该电路中电源发出功率为 32W,  $R_1$  与  $R_2$  分别吸收 20W 及 12W 功率, 整个电路功率保持平衡。

### 1.2.6.2 电能

对于电路而言, 电场所具有的能量称为电能, 即可定义为电路元件在一段时间 (假设  $t_1 - t_2$  时间) 内吸收或发出的能量, 表示为

$$W = \int_{t_1}^{t_2} p(t) dt$$

对于直流电路而言:

$$W = P(t_2 - t_1) = PT = UIT$$

在国际单位制中, 电能的单位为焦耳, 简称焦 (J), 而在实际生活中, 常用“度”来计量电能, 即 1 度 =  $1\text{kW} \cdot \text{h}$ ,  $1\text{kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{J}$ 。

## 1.3 电阻元件

### 1.3.1 电阻元件的定义

电路是由不同的电路元件按一定方式连接组成的, 其中最基本元件有电阻、电容和电感。

我们将导体对电流的阻碍作用称为电阻。电阻小的物质称为电导体, 简称导体。电阻大的物质称为电绝缘体, 简称绝缘体。

电阻常用  $R$  来表示, 其单位为欧姆 ( $\Omega$ ); 导体的电阻  $R$  跟它的长度  $l$  成正比, 跟它的横截面积  $s$  成反比, 还跟导体的材料有关系, 这个规律就叫电阻定律:

$$R = \rho \frac{l}{s}$$

式中  $\rho$ ——电阻率。

某种材料制成长 1m、横截面积是  $1\text{mm}^2$  的导线的电阻, 即为这种材料的电阻率。电阻率是描述材料性质的物理量。国际单位制中, 电阻率的单位是欧姆·米 ( $\Omega \cdot \text{m}$ ), 常用单位是欧姆·平方毫米/米 ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )。与导体长度  $l$ 、横截面积  $s$  无关, 只与物体的材料和温度有关, 有些材料的电阻率随着温度的升高而增大, 有些反之。表 1.1 是常见的不同材料、性质的电阻的特性及用途。

表 1.1 不同材料、性质的电阻的特性及用途

性质	材料名称	电阻率 ( $20^\circ\text{C}$ ) / $(\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m})$	电阻温度系数 $\alpha(20^\circ\text{C})/(1/^\circ\text{C})$	用途
导体材料	银	0.0165	0.0036	导线镀银
	铜	0.0175	0.004	导线, 主要导电材料
	铝	0.0283	0.004	导线
	碳	10	-0.0005	电刷

性质	材料名称	电阻率 (20℃) /(Ω·mm <sup>2</sup> /m)	电阻温度系数 α(20℃)/(1/℃)	用途
电阻材料	钨	0.055	0.005	白炽灯的灯丝, 电器的触头
	康铜	0.44	0.000005	标准电阻
	锰铜	0.42	0.000005	标准电阻
	镍铬铁合金	1.12	0.00013	电炉丝
	铝铬铁合金	1.3~1.4	0.00005	电炉丝
	铂	0.106	0.00398	热电偶或电阻温度计

电阻元件还可根据通过电阻元件的电压、电流是否呈线性关系分为线性电阻元件和非线性电阻元件, 在不作特定说明情况下, 本书所讲的都是线性电阻元件。

### 1.3.2 电阻元件的伏安特性

利用电阻两端的电压  $U$  和流经该电阻的电流  $I$  来描述电阻的特性, 称为电阻元件的伏安特性。

由电阻元件的欧姆定律可知导体中的电流跟导体两端的电压成正比, 跟导体的电阻阻值成反比。即

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

式中  $I$ 、 $U$ 、 $R$ ——同一部分电路中同一时刻的电流强度、电压和电阻。

此时  $I = \frac{U}{R} = GU$ , 将  $G = \frac{1}{R}$  称为电导, 一般情况下是常实数, 国际单位制中用西门子 (S) 来表示其单位。

对于关联参考方向下的电阻元件, 其伏安特性曲线如图 1.20 所示。

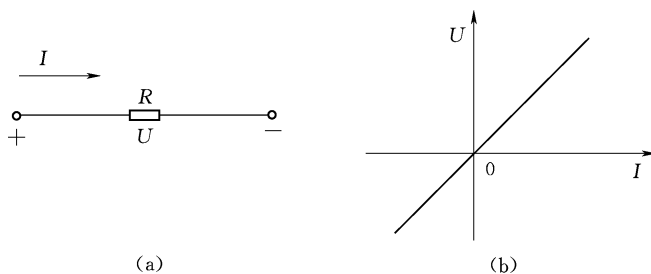


图 1.20 关联参考方向电阻元件伏安特性曲线

若电流、电压参考方向取非关联参考方向, 欧姆定律就变为

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

此时线性电阻元件的伏安特性曲线如图 1.21 所示。

### 1.3.3 电阻元件的功率

电路中电流电压参考方向取关联参考方向时, 电阻元件的功率为