



21世纪
全国高等教育应用型精品课规划教材

电路基础

dianlu jichu

◆ 主编 李雪红 韦禄民

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

21 世纪全国高等教育应用型精品课规划教材

电 路 基 础

主 编 李雪红 韦禄民

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书包括 6 个项目。包括直流电路的基本概念,直流电路的分析方法,单相交流电路,三相正弦交流电路,动态电路的暂态分析,磁路、交流铁心线圈和非正弦周期电流电路。

本书可作为高等院校电子、电气类相关专业的教材,也可供工程技术人员参考使用。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

电路基础 / 李雪红, 韦禄民主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2009. 8
ISBN 978-7-5640-2757-5

I. 电… II. ①李…②韦… III. 电路理论 IV. TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 150683 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市南阳印刷厂

开 本 / 710 毫米×1000 毫米 1/16

印 张 / 15.75

字 数 / 297 千字

版 次 / 2009 年 8 月第 1 版 2009 年 8 月第 1 次印刷

印 数 / 1~1500 册

定 价 / 27.00 元

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题,本社负责调换

出版说明

21 世纪是科技全面创新和社会高速发展的时代,面临这个难得的机遇和挑战,本着“科教兴国”的基本战略,我国已着力对高等学校进行了教学改革。为顺应国家对于培养应用型人才的要求,满足社会对高校毕业生的技能需要,北京理工大学出版社特邀一批知名专家、学者进行了本系列规划教材的编写,以期能为广大读者提供良好的学习平台。

本系列规划教材贴合实践。作者在编写之际,广泛考察了各校应用型学生的学习实际,本着“实用、适用、先进”的编写原则和“通俗、精炼、可操作”的编写风格,以学生就业所需的专业知识和操作技能为着眼点,力求提高学生的实际运用能力,使学生更好地适应社会需求。

一、教材定位

- 以就业为导向,培养学生的实际运用能力,以达到学以致用目的。
- 以科学性、实用性、通用性为原则,以使教材符合课程体系设置。
- 以提高学生综合素质为基础,充分考虑对学生个人能力的提高。
- 以内容为核心,注重形式的灵活性,以便学生易于接受。

二、编写原则

- 定位明确。为培养应用型人才,本系列教材所列案例均贴合工作实际,以满足广大企业对于应用型人才实际操作能力的需求,增强学生在就业过程中的竞争力。
- 注重培养学生职业能力。根据专业实践性要求,在完成基础课的前提下,使学生掌握先进的相关操作软件,培养学生的实际动手能力,提高学生迅速适应工作岗位的能力。

三、丛书特色

- 系统性强。丛书各教材之间联系密切,符合各个学校的课程体系设置,为学生构建牢固的知识体系。
- 层次性强。各教材的编写严格按照由浅及深,循序渐进的原则,重点、难点突出,以提高学生的学习效率。

- 先进性强。吸收最新的研究成果和企业的实际案例,使学生对当前专业发展方向有明确的了解,并提高创新能力。
- 操作性强。教材重点培养学生的实际操作能力,以使理论来源于实践,并最大限度运用于实践。

北京理工大学出版社

前 言

要培养从事强电、弱电应用的技术人员,《电路基础》是一门必修的基础课程,它不仅为后续专业课程打基础,也是学生走向工作岗位所必备的基础知识。

本书具有以下特点:

一、采用项目教学法,实行理论、实践一体化的单元式教学。每个项目有教学目标要求,包括能力目标要求和知识目标要求;每单元安排一个或若干个实训,包括实训目的、器材、内容和实训报告要求。

二、每单元均有小结和练习题,帮助学生巩固基本概念,掌握重点知识;在例题和习题的选择上,尽量列举生活中能接触到的或与后续课程相关的一些实际电路,以激发学生的学习兴趣。

本书项目一由韦禄民、罗英和、王森编写,项目二由黄东、欧阳恕、雷红梅编写,项目三由李雪红、雷红梅、胡慧艳编写,项目四由雷红梅、李雪红编写,项目五由黄权、徐贵财编写,项目六由雷红梅、黄东编写。

本书在编写过程中参考了不少同行编写的优秀教材,从中得到了不少启发和教益,在此致以诚挚的感谢!

虽然我们编写组同心协力,但由于水平有限,书中错误和不妥之处在所难免,敬请广大师生和读者提出宝贵意见,以便今后进一步修改提高。

编 者

目 录

项目一 直流电路的基本概念	(1)
【实训 1.1】 简单的日常照明电路、扩音电路	(1)
1.1 电路和电路模型	(2)
【实训 1.2】 直流电路的电压、电流测量(电位的测量)	(4)
1.2 电路的基本物理量	(4)
1.3 电路的三种基本元件及其伏安关系	(10)
【实训 1.3】 直流电路的电流、电压和电位的测量	(15)
1.4 基尔霍夫定律	(16)
1.5 电压源和电流源(包括受控源)	(19)
【实训 1.4】 万用表的使用	(24)
【实训 1.5】 磁电式电流表、电压表的扩程与校验	(27)
【实训 1.6】 直流单臂电桥、兆欧表的使用	(29)
小结	(34)
练习题	(35)
项目二 直流电路的分析方法	(37)
2.1 电阻的连接	(37)
2.2 支路电流法	(43)
2.3 网孔电流法	(45)
2.4 节点电压法	(47)
【实训 2.1】 叠加定理的验证	(52)
2.5 叠加定理	(53)
【实训 2.2】 戴维南定理的验证	(55)
2.6 有源二端网络定理	(58)
小结	(65)
练习题	(66)
项目三 单相交流电路	(69)
【实训 3.1】 单相交流电的波形观察与分析	(69)
3.1 正弦交流电路的基本概念	(71)
3.2 正弦交流量的相量表示法	(76)

3.3	正弦交流电路中的电阻、电感、电容元件伏安关系及其功率	(83)
3.4	复阻抗与复导纳	(90)
3.5	正弦交流电路的功率	(101)
【实训 3.2】	日光灯电路及功率因数的提高	(104)
3.6	功率因数的提高	(106)
【实训 3.3】	RLC 串联谐振电路	(108)
3.7	正弦交流电路中的谐振	(110)
【实训 3.4】	同名端及互感系数的测量	(115)
3.8	耦合电感电路	(118)
【实训 3.5】	线圈参数的测量	(128)
【实训 3.6】	单相电能表的校验	(131)
【实训 3.7】	家庭照明线路的设计与连接	(133)
小结		(134)
练习题		(139)
项目四	三相正弦交流电路	(142)
【实训 4.1】	三相正弦交流电路电压、电流的测量	(142)
4.1	三相正弦交流电路的基本概念	(145)
4.2	三相负载及其电压、电流关系	(149)
4.3	对称三相电路的分析方法	(154)
4.4	简单不对称三相电路的分析	(159)
【实训 4.2】	三相正弦交流电路功率的测量	(166)
4.5	三相电路的功率及测量	(168)
小结		(172)
练习题		(176)
项目五	动态电路的暂态分析	(178)
5.1	一阶电路的基本概念	(178)
5.2	一阶电路的零输入响应	(185)
5.3	一阶电路的零状态响应	(189)
5.4	一阶电路的全响应	(192)
5.5	一阶电路的三要素法	(193)
小结		(195)
练习题		(198)
项目六	磁路、交流铁心线圈和非正弦周期电流电路	(201)
6.1	磁场的基本物理量	(201)
6.2	铁磁物质的磁化	(203)
6.3	磁路的基本定律	(206)

6.4 交流铁心线圈	(209)
6.5 变压器	(218)
6.6 非正弦周期电流电路	(230)
小结.....	(238)
练习题.....	(240)

项目一 直流电路的基本概念

教学目标要求

1. 能力目标要求

- (1) 理解电路中电压、电流的参考方向和电路元件的伏安特性；
- (2) 熟练应用基尔霍夫定律求解复杂电路；
- (3) 正确使用万用电表和直流电源。

2. 知识目标要求

- (1) 掌握电路和电路模型的概念；
- (2) 掌握电流、电压、电位、电动势电功率、电能等基本物理量；
- (3) 掌握电压、电流的参考方向和电路元件的伏安特性；
- (4) 掌握基尔霍夫定律。

【实训 1.1】 简单的日常照明电路、扩音电路

实训目的

1. 熟悉简单的日常照明电路、扩音电路，以此作为学习电路课程的入门。
2. 学会万用表的使用方法及其读数。
3. 熟悉实验室的仪器设备，区分交流电相(火)线、零线以及地线。
4. 理解实际电路、电路原理图、电路模型、理想元件等概念。
5. 理解电路的组成、电路的作用等内容。

实训器材

1. 干电池、开关、灯泡。
2. 传声器、晶体管、输出变压器、电阻、扬声器(喇叭)。
3. 万用表、导线。

实训内容

1. 按图 1-1 接线，分别接通照明电路、扩音电路。
2. 用万用表 DCV(直流电压 V—)、DCA(直流电流 A—)档分别测量灯泡、晶体管电压和电流。并记入表 1-1。
3. 分别用万用表 ACV(交流电压)档、DCV(直流电压)档测量电源插座及电池的电压。

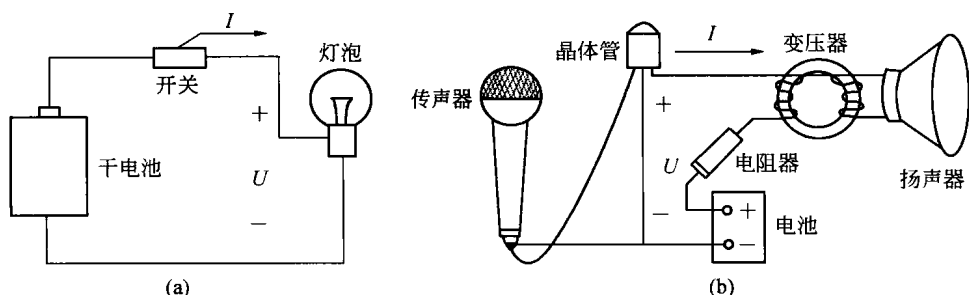


图 1-1

表 1-1

	电压 $U(\text{V})$	电流 $I(\text{A})$
灯泡		
晶体管		

实训报告要求

1. 实验报告要包含全部实验内容(为什么做此实验? 怎样进行实验? 实验得到什么样的结果? 对实验结果和数据进行分析等)。

2. 分析和讨论

(1) 预习 1.1 章节内容, 绘制照明电路、扩音电路的电路原理图和电路模型。

(2) 预习 1.1 章节内容, 指出照明电路、扩音电路的作用。

(3) 观察实验室的交流电源, 了解什么叫相线(火线)、中性线(零线)、地线?

(4) 相线与中性线之间的电压称为什么电压? 相线与相线即两根火线之间的电压称为什么电压?

(5) 观察表 1-1 的测量结果, 是否发现问题?

1.1 电路和电路模型

1.1.1 电路

电路是电流的通路。实际电路是为了某种需要由某些电气设备或电路元器件按一定方式互相连接组成的整体, 并实现某一特定功能。电路的结构有多种形式, 不同电路的作用也各不相同。按其完成的基本功能, 电路可分为两类: 一类是能够进行能量转换和传输的电路, 如电力电路; 另一类是能够实现信号的产生、传递和处理的电路, 如电话线路, 扩音机电路等。

虽然实际电路的组成很复杂,形式也有很多种,但是对于一个完整的电路,无论它是进行能量的转换和传输,还是实现信号的产生、传递和处理,都是由电源、负载和中间环节组成。

电源是为电路提供电能的装置,其主要作用是把其他形式的能量转换成电能。负载是电路中使用电能的装置,其主要作用是把电能转换成其他形式的能量。中间环节的主要作用是传递、分配和控制电能。最简单的中间环节是连接电源和负载的导线、控制电路通断的开关。

1.1.2 电路模型

实际电路是由起各种不同作用的实际电路元件组成,在分析电路时,物理过程比较复杂,即使是最简单的电阻器,也很难用一个简单的数学表达式来表示出其物理过程。为了简化分析,常略去元件次要的物理过程,突出其主要的物理过程,把它近似化、理想化,使之可以用一个简单的数学式来描述。这种经过简化的器件称为理想元件或元件模型。理想元件分为有源元件和无源元件两种。无源元件包括:电阻元件、电容元件和电感元件;有源元件包括:电压源元件、电流源元件等。其图形符号如图 1-2 所示。

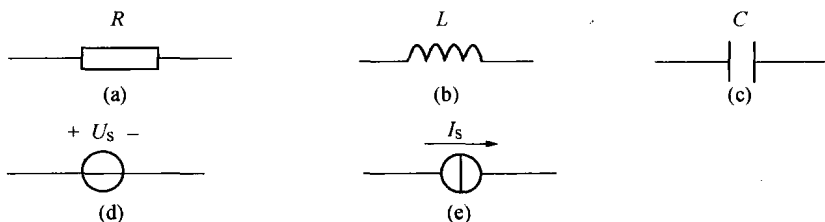


图 1-2 电路中常见几种元件的图形符号

(a)电阻元件;(b)电感元件;(c)电容元件;(d)电压源元件;(e)电流源元件

用理想电路元件及其组合代替实际电路元件,用特定的符号代表理想元件,用特定符号绘制的电路图代替实际电路图的连接关系及功能,称之为实际电路的电路模型。如手电筒的电路模型如图 1-3 所示。电珠是电阻元件,其参数为电阻 R ,干电池是电源元件,其参数为电动势 U_s 和内电阻 R_s ,筒体是联结干电池与电珠的中间环节(还包括开关),其电阻忽略不计,认为是一无电阻的理想导体。

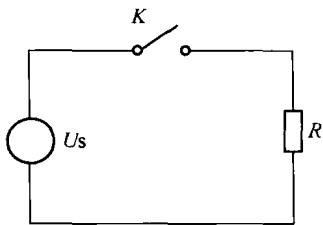


图 1-3 电路模型

今后,如未加特别说明,我们所说(本书中提到)的电路均是电路模型,所说(本书中提到)的元件均是理想元件。

【实训 1.2】 直流电路的电压、电流测量(电位的测量)

实训目的

1. 掌握使用万用表测量电流、电压和电位的方法；
2. 掌握简单直流电路的连接方法；
3. 通过对直流电路电压、电流的测量，掌握电路电压、电流关系的特点；
4. 通过电压、电位的测定，初步了解电压和电位的区别和联系。

实训器材

可调直流稳压电源 1 个、万用表 1 个、电学实验台 1 台、导线若干。

实训内容

1. 已知 $R_1=100\Omega$, $R_2=200\Omega$, $R_3=300\Omega$, $R_4=510\Omega$, $R_5=100\Omega$ ，在实验板上按图 1-4 插拼连接电路；

2. 检查电路无误后，调准直流稳压电源电压值为 $U_{S1}=6V$ ，再将其接入实验线路中；

3. 使用万用表电流挡测量 I_1 、 I_2 、 I_3 的电流值，数据填入表中；

4. 以图中的 D 点作为电位的参考点，使用万用表电压挡，分别测量 A、B、C、E、F 各点的电位值 V_A 、 V_B 、 V_C 、 V_E 、 V_F ，数据填入表中；

5. 使用万用表电压挡，分别测量两点间的电压值 U_{AB} 、 U_{BC} 、 U_{DE} 、 U_{EF} 、 U_{FA} ，数据填入表中；

6. 以 B 点作为参考点，重复实验内容 4、5 的测量，测得数据填入表中；

7. 将直流稳压电源电压值调为 12V，重复实验内容 3、4、5 的测量，测得数据填入表中。

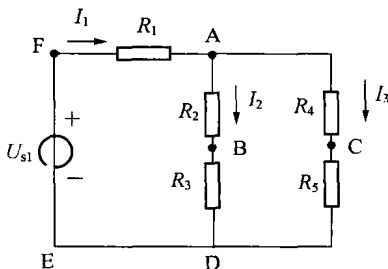


图 1-4 电压、电位的测定

实训报告要求

1. 设计实验数据表，并将实验数据填入表中；
2. 分析实验数据，说明电压和电位的区别和联系；
3. 分析实验数据，说明电路电压关系、电流关系的特点；
4. 总结使用万用表测量电流、电压和电位的方法。

1.2 电路的基本物理量

1.2.1 电流

电荷的定向移动形成电流(electric current)。要形成电流，电荷必须是自由

电荷, 既使有足够自由移动的电荷。由于导体物质的原子核外电子较易挣脱原子核的束缚成为自由电子, 因此一切导体中都有自由电荷。例如: 金属中的自由电子, 电解溶液、气态导体中的正、负离子, 都是自由电荷。

什么条件下自由电荷(简称电荷)才能做定向移动呢?

在图 1-5 所示电路中, 导体(负载白炽灯)的两端分别接到电源的两极上, 导体两端有了电压, 这时导体中也有了电场, 电场力的方向由电压的正极指向负极, 导体中的电荷在电场力的作用下发生定向移动, 形成电流。正电荷定向移动方向与电场力方向相同, 而负电荷定向移动方向与电场力方向相反。导体中的电流可以是正电荷, 也可以是负电荷的定向移动。习惯上规定正电荷定向移动的方向为电流的实际方向。电路中电源的作用是保持导体上的电压, 使导体存在电场, 从而使导体中有持续的电流。

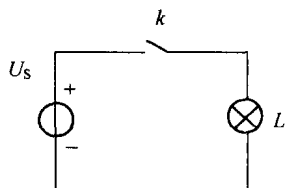


图 1-5 简单电路

电流的大小如何表征呢?

在一段时间 Δt 内, 通过导体横截面的电荷量为 Δq , 则电流 i 可定义为

$$i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt} \quad (1-1)$$

式(1-1)中, 电流 i 的单位是安(A), 电荷量 q 的单位是库仑(C)。常用的电流单位还有毫安(mA)和微安(μA)等。

$$1A = 10^3 mA$$

$$1A = 10^6 \mu A$$

当任意一段时间 Δt 内流过导体横截面的电荷量 Δq 都相等时, 式(1-1)可简化为

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \text{恒量} \quad (1-2)$$

式(1-2)说明导体电流大小是恒定的, 把大小和方向均不随时间改变的电流称为恒定电流, 简称直流(DC)。

当任意一段时间 Δt 内流过导体横截面的电荷量 Δq 不等时, 导体电流大小是变化的, 把大小和方向随时间改变的电流称为变动电流。周期性变化且平均电流为零的变动电流称为交变电流, 简称交流(AC)。把大小随时间改变而方向不变化的电流称为脉动直流电流。直流、交流和脉动直流随时间变化的关系如图 1-6 所示。

注意:

(1) 电流即是一种物理现象, 又是一个表示电荷定向运动强弱的物理量。

(2) i 小写字母表示电流为交变电流, I 大写字母表示电流为直流。

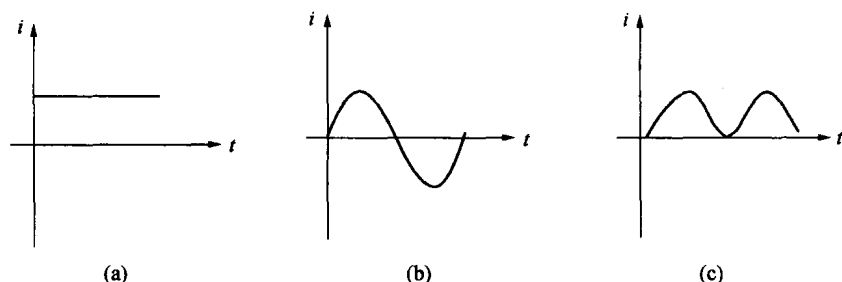


图 1-6 $i-t$ 变化关系图
(a) 直流; (b) 交流; (c) 脉动直流

1.2.2 电压和电位

1.2.2.1 电压

电荷在电场力的作用下移动时, 电场力要做功。在图 1-7 所示电场中, 电荷 dq 在电场力作用下, 由 A 点移动到 B 点, 移动距离为 L_{AB} , 那么电场力对电荷做的功为

$$d\omega = dFL_{AB}$$

为了衡量电场力做功能力的大小, 引入电压这个物理量。电场力把电荷由 A 点移动到 B 点所做的功 $d\omega$, 与被移动电荷电荷量 dq 的比, 叫做 A、B 两点间的电压 u_{AB} , 可用下式表示

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

式中, ω 的单位为焦耳(J); u_{AB} 单位是伏特(V)。

在国际单位制中, 电压的常用单位还有千伏(kV)和毫伏(mV):

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

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

电压的实际方向规定为在电场中正电荷受电场力作用而移动的方向, 即高电位指向低电位的方向。

任何时刻电场力将电荷 dq 从 A 点移动到 B 点, 所做的功 $d\omega$ 都相等时, 式(1-3)可以简化为

$$U_{AB} = \frac{d\omega}{dq} = \text{恒量} \quad (1-4)$$

式(1-4)说明导体两端的电压 U_{AB} 为直流电压, 它具有大小和方向均不随时间改变的特点。

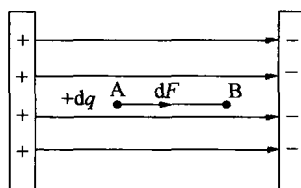


图 1-7 电场力对电荷做功

任何时刻电场力将电荷 dq 从 A 点移动到 B 点, 所做的功 dW 不相等时, 导体两端的电压 u_{AB} 为交流电压, 其大小和方向随时间改变。

1.2.2.2 电位

在电路中, 选定某点 O 作为参考点, 把任一点 A 与参考点 O 之间的电压 u_{AO} 称为点 A 的电位 V_A 。选定的参考点的电位为零, 即 $V_O = 0$, 所以参考点也叫零电位点。参考点在电路图中常用符号“ $\perp$ ”表示。设图 1-8 所示的一段电路中取 O 作为参考点, 有

$$V_A = u_{AO}, V_B = u_{BO}$$

1.2.2.3 电压和电位的区别和联系

电压和电位有何区别和联系呢? 如图 1-9 电路中, 已知各电阻均为 100Ω , 直流电源电压 $U_S = 20V$, 分别以 A 点、B 点为参考零电位点, 各点的电位值及其两点间的电压值如表 1-2。

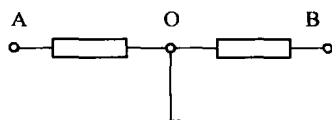


图 1-8 某点的电位

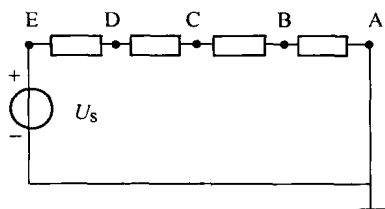


图 1-9 电压与电位

表 1-2 电压与电位的关系

测量内容 参考点	U_{BA} (V)	U_{CB}	U_{DA}	U_{EC}	U_{AB}	V_A	V_B	V_C	V_D	V_E
A 点	5	5	15	10	-5	0	5	10	15	20
B 点	5	5	15	10	-5	-5	0	5	10	15

观察并分析表 1-2 数据, 不难发现:

- (1) 电压和电位的单位都是伏(V);
- (2) 电压是指两点间的电压, 而电位是指某一点的电位;
- (3) 电压是绝对的, 即两点间的电压与零参考点的选择无关, 而电位是相对的, 即某一点的电位是相对于零参考点而言, 与零参考点的选择有关;
- (4) $U_{BA} = -U_{AB}$, 即 B 点到 A 点的电压方向与 A 点到 B 点的电压方向相反;
- (5) $U_{BA} = V_B - V_A$, $U_{EC} = V_E - V_C$ 等, 即两点间的电压等于这两点的电位之差。

[例 1-1] 在图 1-10 所示电路中, $U_{AC} = 4V$, $U_{BC} = -14V$, $U_{OC} = 6V$, 求 V_A 、 V_B 、 V_C 的电位值。

解：图中标明 O 点接地，则 $V_O = 0$

$$U_{OC} = V_O - V_C = 0 - V_C = -V_C$$

$$V_C = -6V$$

$$U_{AC} = V_A - V_C$$

$$V_A = U_{AC} - V_C = 4 - (-6) = 10V$$

$$U_{BC} = V_B - V_C$$

$$V_B = U_{BC} - V_C = -14 - (-6) = 10V$$

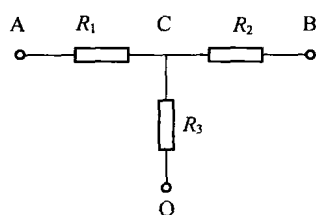


图 1-10 例 1-1 图

1.2.2.4 电流与电压的参考方向

电流和电压是电路分析中通常要求解的物理

量。前面虽然对电流和电压的方向作了明确的规定，但在电路计算时，有很多情况是事先无法确定电路中电流或电压的实际方向，为了计算方便，常常事先选取一个电流或电压方向（假想的方向），称为参考方向。

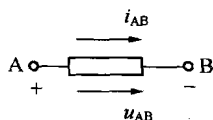


图 1-11 电流与电压的参考方向

参考方向如何表示呢？在电路中参考方向一般用实线箭头表示，电压参考方向还可以用“+”、“-”符号表示，“+”号表示假设的高电位端，“-”号表示假设的低电位端，由“+”号指向“-”号的方向就是电压的参考方向，也可以用双下标表示，如 i_{AB} 、 u_{AB} 等。如图 1-11。

任意选取的电流、电压的参考方向可能一致，也可能相反。在电路中，将一段电路或某个元件的电流、电压参考方向选取一致，这种关系的参考方向称为关联参考方向，简称关联方向，本书中若未特别说明，均采用关联方向。

参考方向与实际方向有什么关系呢？在电路中，选定电流（或电压）的参考方向后，如果计算的结果为正值，那么电流（或电压）的实际方向与参考方向一致，如果计算的结果为负值，那么电流（或电压）的实际方向与参考方向相反。

〔例 1-2〕 在图 1-12 所示电路中， $U_1 = 50V$ ， $U_2 = 80V$ ，用箭头表示 U_1 、 U_2 的参考方向，求： U_{AB} 和 U_{BC} 的值。

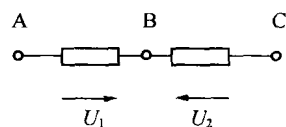


图 1-12 例 1-2 图

解： U_{AB} 表示电压参考方向由 A 点指向 B 点，与 U_1 的参考方向一致， U_{BC} 表示其参考方向由 B 点指向 C 点，与 U_2 的参考方向相反，故有

$$U_{AB} = U_1 = 50V$$

$$U_{BC} = -U_2 = -80V$$

1.2.3 电动势

在图 1-13 所示电路中，虚线框内是电源， R 是用电器。电源外部的电路简称外电路，电源内部的电路简称内电路。