

中等专业学校教材

# 电路基础

燕康年 编

西安电子科技大学出版社

## 前 言

为了满足教学需要，我们按照中等专业学校工科电类有关专业的《电路基础》教学大纲的精神编写了本书。

为了便于教学，本书将理论部分(共八章)和电路实验指导书合编在一起。理论部分包括：电路的基本定律、电路的分析方法、电路的基本定理、正弦交流电路、互感与变压器电路、谐振与滤波、双口网络和电路的暂态过程。为了加强基础，培养学生的分析能力，在编写中，对传统内容进行了精选，概念叙述尽量清晰准确，并注意难点分散和理论联系实际。为了适应现代电路的发展需要，本着“教材要逐步更新”的精神，把受控源和运算放大器等重要新内容放在第二章作了适当的介绍，并在以后的章节、习题和实验中逐步巩固这些知识。

本书对练习题和习题进行了精选，使其密切围绕书中的基本内容。共选出 221 题。每节后的练习题可作为课堂练习用或课外作业；每章后的习题一般较综合，可作为作业或复习用。

本书的电路实验与理论部分是密切配合的。所选的 10 个实验都具有代表性，对于培养学生的实际操作能力是极为重要的。打“\*”号的内容可作为选做内容。

本书的理论部分讲课时数约需 76 学时左右，实验部分约需 20 学时左右。

本书承西北工业大学黄正中教授主审。黄教授在百忙中

对书稿作了仔细地审校，为后来的修改和定稿工作提供了许多宝贵的具体意见，特表示最衷心的感谢。

在本书的编写过程中，编者曾参考了吴大正教授所编的《电路基础》以及国内外其他学者的论著。陕西省高教系统职业技术学校的领导和西安电子科技大学（原西北电讯工程学院）职业技术分校培训部的田耀章同志给予了大力支持和帮助，在此一并致以谢意。

由于编者水平有限，时间仓促，书中可能有错漏之处，希望读者批评指正。

编 者

于西安电子科技大学

1987.5

# 目 录

## 第一篇 电路基础理论

<b>第一章 电路的基本定律</b>	
§ 1-1 引论	1
§ 1-2 电流、电压和功率	3
§ 1-3 电压源与电流源	8
§ 1-4 电阻元件与欧姆定律	11
§ 1-5 基尔霍夫电压定律	14
§ 1-6 基尔霍夫电流定律	22
<b>第二章 电路的分析方法</b>	
§ 2-1 电源互换法	32
§ 2-2 $\Delta$ -Y 变换法	37
§ 2-3 网孔电流法	43
§ 2-4 节点电压法	50
§ 2-5 含受控源电路的分析	54
§ 2-6 含运算放大器电路的分析	59
<b>第三章 电路的基本定理</b>	
§ 3-1 叠加定理	68
§ 3-2 替代定理	73
§ 3-3 戴维南定理与诺顿定理	75
§ 3-4 最大功率传输定理	81
<b>第四章 正弦交流电路</b>	

§ 4-1	正弦交流电的基本概念	87
§ 4-2	正弦量的复数表示	95
§ 4-3	交流电通过电阻元件	102
§ 4-4	交流电通过电感元件	106
§ 4-5	交流电通过电容元件	114
§ 4-6	阻抗与导纳	122
§ 4-7	一般交流电路的分析	132
§ 4-8	复功率与共轭匹配	137
§ 4-9	三相交流电路	145
<b>第五章 互感与变压器电路</b>		
§ 5-1	互感与互感电压	155
§ 5-2	空芯变压器的等效电路	164
§ 5-3	理想变压器	171
<b>第六章 谐振与滤波</b>		
§ 6-1	串联谐振电路	180
§ 6-2	并联谐振电路	191
§ 6-3	RC 电路的频率响应	198
§ 6-4	滤波器的概念	205
<b>第七章 双口网络</b>		
§ 7-1	双口网络的方程与参数	215
§ 7-2	双口网络的等效	222
<b>第八章 电路的暂态过程</b>		
§ 8-1	换路定律	229
§ 8-2	RC 电路的暂态过程	237
§ 8-3	RL 电路的暂态过程	247
§ 8-4	三要素法	255

§ 8-5	微分电路与积分电路·····	263
§ 8-6	$RLC$ 电路的暂态过程·····	269

## 参 考 文 献

### 练习题和习题参考答案

## 第二篇 电路实验

### 第一部分 实验知识与实验仪表简介

1-1	实验知识·····	289
1-2	仪表的基本知识·····	291
1-3	万用表·····	296
1-4	电子电压表·····	300
1-5	信号发生器·····	304
1-6	示波器·····	308

### 第二部分 实验指导书

实验一	电阻、电压和电流的测量·····	317
实验二	二端网络伏安特性的测量·····	323
实验三	阻抗的测量·····	327
实验四	用示波器测量周期、频率和阻抗角·····	330
实验五	串联谐振电路的特性·····	333
实验六	$RC$ 电路的频率响应·····	336
实验七	一阶电路的暂态过程·····	339
* 实验八	二阶电路的暂态响应·····	343
* 实验九	$RC$ 双 $T$ 网络的特性·····	345
* 实验十	实现受控源·····	347

# 第一篇 电路基础理论

## 第一章 电路的基本定律

### § 1-1 引 论

电路理论是一门重要的基础性工程学科。它是人类长期研究电磁现象所总结出来的一个科学分支。电气工程的各个领域，如电子学、电力系统、通信系统及控制系统等，都是建立在电路理论基础之上的。“电路基础”，则是从事电气工程的学生最重要的入门课程之一。

在通信、自动控制、计算机、电力和电子仪器等技术领域中应用着各种形式的电路。电路的功能大致可分为两大类。一类功能是进行能量的转换、传输和分配。其中包括将其他形式的能量转换为电能和设备，如发电机、电池等。电路的第二类功能是进行信号的处理。如收音机和电视机中的放大电路；选择不同信号的滤波电路；计算机中的记忆电路；交通运输和自动生产线上的控制电路等。

工程中运行的实际电路是由各种电气元件和设备按一定的方式联接起来的。常用的电气器件有电阻器、电感器、电容器、变压器、晶体管、运算放大器、集成电路块和各种电源设备等。

实际电路中的器件虽然种类很多，但从电磁现象的角度

划分主要有四类：有的元件主要消耗电能，如各种电阻器、电灯、电烙铁等；有的元件主要储存磁场能量，如各种电感线圈；有的元件主要储存电场能量，如各种类型的电容器；有的元件主要供给电能，如电池和发电机等。为了便于对电路进行分析和计算，我们常把实际的元件加以理想化，在一定的条件下用足以表征其主要特性的“模型”来表示。例如，我们用“电阻元件”这样一个理想元件来反映消耗电能的特征。这样，在电源频率不太高的电路中，所有的电阻器、电灯、电烙铁等，都可以用电阻元件这个模型来近似地表示。同样，电感线圈可以用“电感元件”来近似地表示，电容器可以用“电容元件”来近似地表示，干电池、蓄电池等电源则可用“电源元件”来近似地表示。

电路中的实际元件用其模型表示后，就可绘出只由理想元件组成的电路图。这种由理想元件构成的电路，就称为实际电路的**电路模型**。今后，本书中未加特殊说明时，我们所研究的电路均为这种电路模型，所说的元件均指理想元件。

例如，图 1.1-1(a)是手电筒实际电路的示意图。它由干电池(电源)、小灯泡(负载)、一个开关和连接导体(电筒壳)所组成，当我们将其理想化后，就可以画出它的电路模型。

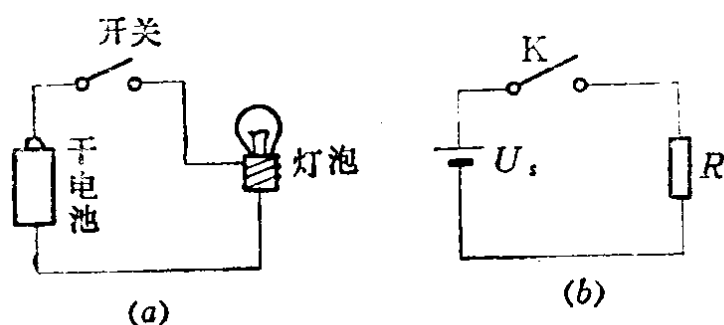


图 1.1-1



如图 1.1-1(b)所示。

本课程的任务，就是针对各种形式的电路模型，学习分析电路的基本概念、基本理论和基本方法，为今后学习专业课程打下基础。

## § 1-2 电流、电压和功率

在电路中，电流、电压和功率是最基本的物理变量，是电路分析的主要对象。

### 一、电流及其参考方向

电荷的规则运动称为**电流**。为了量度电流的大小(强弱)，我们把单位时间内通过导体横截面的电量定义为**电流强度**，用符号  $i$  表示，即

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

电流的基本单位是安培(A)，是以法国物理学家安培(1775~1836)的名字命名的。

$$1 \text{ 安培(A)} = \frac{1 \text{ 库仑(C)}}{1 \text{ 秒(s)}}$$

在电路分析中，传统上都把正电荷运动的方向规定为电流的真实方向。而实际上，电流的真实方向应是电子运动的方向。只是由于富兰克林在 1752 年假想正电荷总是从电源的正极流向负极，所以从这以后，这一习惯一直沿用至今。

若电流的大小和方向不随时间变化，这种电流则称为**恒定电流**，简称**直流**(简写为 dc 或 DC)；如果电流的大小和方

向都随时间变化，则称为**交流**(简写为 ac 或 AC)。

在电路分析中，有时并不容易标出各个电流的实际方向，为了方便，我们引入参考方向的概念。在电路中，可以任意选定一个方向，作为电流的参考方向，并用箭头标出。并且规定：若电流的真实方向与参考方向一致，电流值为正，即  $i > 0$ ；若电流的实际方向与参考方向相反，则电流值为负，即  $i < 0$ 。这样电流便成为一个代数量，其值有正负之分。于是，在参考方向选定以后，根据电流的正或负，就可以确定出某一时刻电流的真实方向。如图 1.2-1 所示。要强调指出的是，若没有指定电流的参考方向时，电流的正、负是没有意义的。今后，我们只采用参考方向。

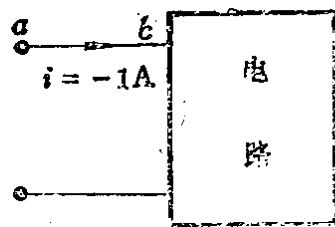


图 1.2-1 电流  $i$  的实际方向是从  $b$  流向  $a$

## 二、电压及其参考方向

电压有时也叫做电位差。电路中  $a$ 、 $b$  两点间的电压定义为单位正电荷由  $a$  点移动到  $b$  点电场力或局外力所做的功，用  $u$  表示，即

$$u = \frac{dw}{dq} \quad (1-2)$$

如果功的单位为焦耳(J)，电荷的单位为库仑，则电压的单位为伏特，简记为 V。

$$1 \text{ 伏特(V)} = \frac{1 \text{ 焦耳(J)}}{1 \text{ 库仑(C)}}$$

两点之间的电压的实际方向是由高电位点指向低电位点。为了分析方便，通常首先指定电压的参考方向，并规定：

当电压的实际方向与它的参考方向一致时，电压值为正，即  $u > 0$ ，反之，电压值为负，即  $u < 0$ 。

表示电压参考方向的方法主要有两种：一是用“+”号表示高电位端，用“-”号表示低电位端；二是用双下标表示，如电压  $u_{ab}$  就表示该电压的参考方向是由  $a$  指向  $b$ 。如图 1.2-2(a)、(b) 所示。显然电压  $u_{ab} = -u_{ba}$ 。

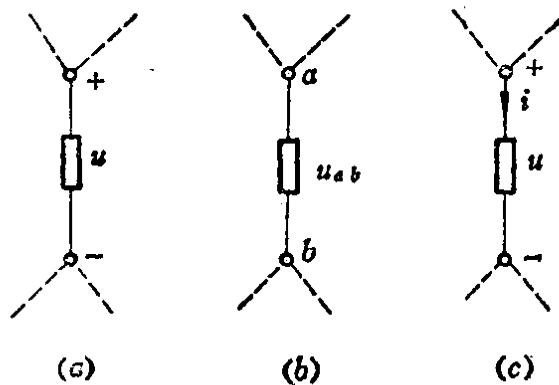


图 1.2-2

对于一段电路或一个元件，其电压参考方向和电流参考方向可以任意单独地加以选定。为了分析方便，实际中常常选择电流的参考方向与电压的参考方向一致，即选电流从标以电压正极性的一端流入，从标以负极性的一端流出。这时称电压、电流的方向为**关联参考方向**，简称**关联方向**，如图 1.2-2(c) 所示。

### 三、功率

电路分析中常用到的另一个物理量是功率，它是电路中能量变化的速率。正电荷从电路元件的电压“+”极，经元件移到电压的“-”极，即从高电位端移到低电位端，是电场

力对电荷做功，这时元件吸取能量。相反地，正电荷从元件的电压“-”极经元件移到电压“+”极，是外力克服电场力对电荷做功，这时元件向外放出能量。

设在  $dt$  时间内，正电荷  $dq$  从电路元件的电压“+”极经元件移到电压“-”极，如元件上电压降为  $u$ ，则电场力对电荷所做的功为

$$dw = udq$$

也就是说，在  $dt$  时间内，电路元件吸收(或消耗)的电能为  $dw$ 。

电能量对时间的变化率称为**瞬时功率**，也常简称为**功率**，用符号  $p$  表示。

$$p = \frac{dw}{dt} = u \frac{dq}{dt}$$

由于

$$i = \frac{dq}{dt}$$

故功率

$$\boxed{p = ui} \quad (1-3)$$

在电压和电流的关联参考方向下，当计算出功率值为正，即  $p > 0$  时，表示元件实际吸收或消耗功率；当计算出功率值为负，即  $p < 0$  时，表示元件实际发出功率。

若电压的单位为伏特，电流的单位为安培，则功率的单位为瓦特，并记为 W。

$$1 \text{ 瓦特 (W)} = 1 \text{ 伏特 (V)} \times 1 \text{ 安培 (A)}$$

附带说明的是，电能也常用千瓦时作单位。

$$1 \text{ 千瓦时} = 1000 \text{ 瓦} \times 1 \text{ 小时}$$

$$= 1000 \frac{\text{焦耳}}{\text{秒}} \times 3600 \text{秒}$$

$$= 3600000 \text{焦耳} = 1 \text{度}$$

平时我们常说用了多少“度”电，就是指消耗了多少电能。

最后，介绍一下常用的十倍数单位。我们前面已指出了一些物理量的国际制(SI)基本单位，如伏、安、瓦等，实用中有时感到这些单位太大，经常使用一些十倍数单位，如mA，mV等。例如

$$2 \text{毫伏(mV)} = 2 \times 10^{-3} \text{伏(V)}$$

$$3 \text{毫安(mA)} = 3 \times 10^{-3} \text{安(A)}$$

$$5 \text{微秒}(\mu\text{s}) = 5 \times 10^{-6} \text{秒(s)}$$

$$2 \text{千瓦(kW)} = 2 \times 10^3 \text{瓦(W)}$$

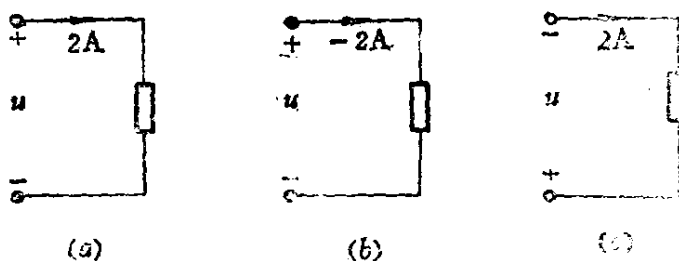
为了今后便于使用十倍数单位，这里将部分国际制词头列于表1-1，以便使用。

表 1-1 部分国际制词头

因数	词 头 名 称		符号
	原 文 (法)	中 文	
$10^9$	giga	吉	G
$10^6$	mega	兆	M
$10^3$	kilo	千	k
$10^{-3}$	milli	毫	m
$10^{-6}$	micro	微	$\mu$
$10^{-9}$	nano	纳	n
$10^{-12}$	pico	皮	p

## 练习题

1.2-1 图示电路中的电压和电流均为关联方向，试确定各电流、电压的实际方向。



题 1.2-1 图

1.2-2 若已知电压  $u_{ab} = -5\text{ V}$ ，求  $u_{ba}$ 。如何用正、负极性的方法表示  $u_{ab}$  的参考方向？

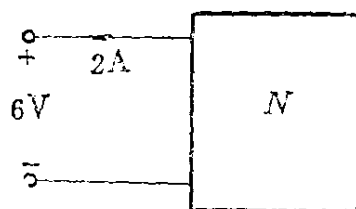
1.2-3 换算下列单位：

(1)  $0.015\text{ A} = \quad \text{mA}$

$= \quad \mu\text{ A}$

(2)  $125\text{ mV} = \quad \text{V}$

(3)  $2 \times 10^6\text{ W} = \quad \text{MW}$



题 1.2-4 图

1.2-4 如图示部分电路  $N$ ，求其吸收的功率。

## § 1-3 电压源与电流源

电路中常遇到两类电源：一类电源如电池、稳压电源等，当接上负载后，在一定范围内，其输出电流随负载的变化而变化，但电源两端的电压几乎不变，这类电源常称为**电压源**；

另一类电源,如光电池等,当负载在一定的范围内变化时,其两端的电压随之变化,但电源的输出电流却几乎不变,这类电源常称为**电流源**。

这样,人们从实际电源抽象出两种理想元件,即理想电压源(简称电压源)和理想电流源(简称电流源)。它们的符号如图 1.3-1 所示。

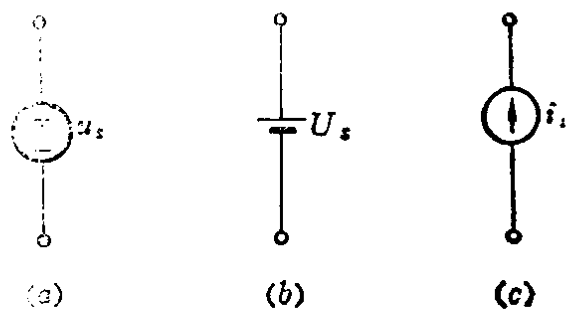


图 1.3-1

(a) 电压源; (b) 直流电源; (c) 电流源

下面给出电压源和电流源的定义:

电压源: 其端电压为定值或是一定的时间函数, 与通过它的电流  $i$  大小无关。

电压源的这一定义可示于图 1.3-2(a)。图 (b) 为含电压源的电路图。

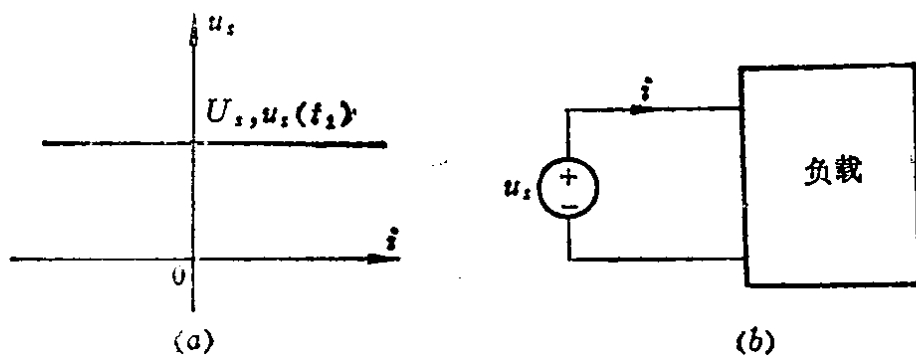


图 1.3-2

电流源：其电流为定值或是一定的时间函数，与其两端电压  $u$  的大小无关。

电流源的这一定义，可示于图 1.3-3(a)。图(b)为含电流源的电路图。

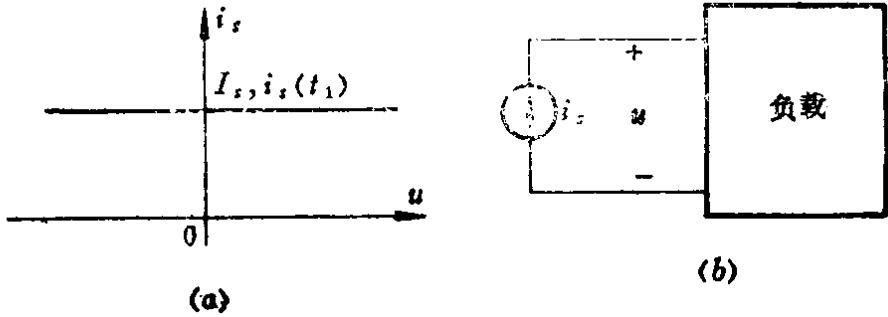
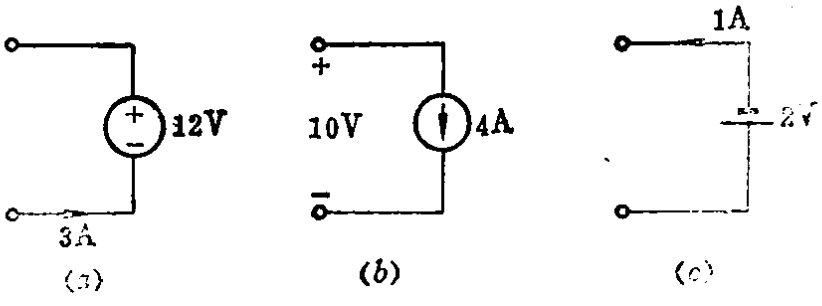


图 1.3-3

电压源和电流源都是理想模型，用它们分析电路和研究实际电源的性能是非常有用的。

**练 习 题**

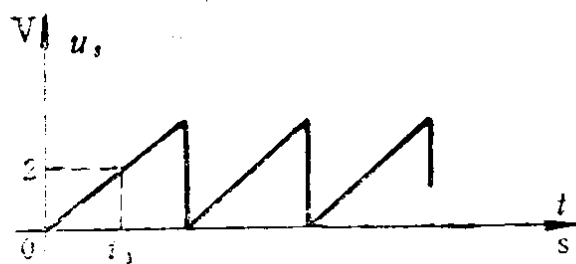
1.3-1 求图示各电源产生的功率。



题 1.3-1 图

1.3-2 对于图示电源电压的波形，试画出在  $t_1$  时刻电压随电源输出电流变化的特性。





题 1.3-2 图

## § 1-4 电阻元件与欧姆定律

电路中最简单最常用的电路元件是电阻。它是所有消耗能量的电路器件的理想模型。其电路符号如图 1.4-1(a) 所示。

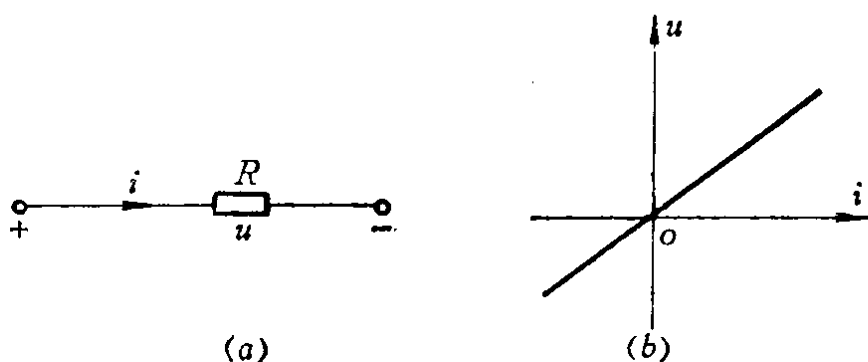


图 1.4-1

如果电阻元件的电压、电流关系在任何时刻都是通过  $u-i$  平面坐标原点的一条直线，如图 1.4-1(b) 所示，则该电阻就称为**线性电阻**。确切反映线性电阻上电压和电流关系的欧姆定律如下：

欧姆定律：在线性电阻上，其端电压与通过它的电流成正比。即

$$u = Ri \quad (1-4)$$