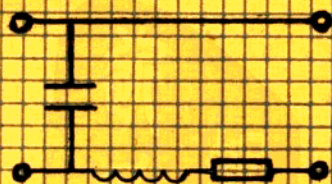


邮·电·中·等·专·业·学·校·教·材

电路基础(修订本) 上册

东毓琮 吴承甲 张志宏 编 吴承甲 修订



人民邮电出版社

前 言

本书是邮电中等专业学校用书。为了适应邮电教育事业发展的需要，我局自1978年以来，先后成立了邮电中专教材编审委员会及基础课和专业课教材编审组（或小组），全面开展了教材编审活动。到目前为止第一轮邮电中专试用教材已基本上出齐。自1982年开始了各编审组（或小组）对试用几年的教材进行了总结，对原教学大纲进行了修订，并在此基础上，对各课程的邮电中专试用教材作了比较全面的修改和补充。以适应当前邮电技术的发展。我们在几年内，将修改后的教材陆续出版，以满足邮电中等专业学校的教学需要。编写教材，是提高教学质量的关键。我们组织编写本教材时，力求以马列主义、毛泽东思想为指导，努力运用辩证唯物主义的观点阐明科学技术的规律，内容上注意了少而精，尽量反映科学技术的新成就。书内难免存在缺点和错误。希望有关教师和同学在使用过程中，把发现的问题提给我们以便修改提高。

邮电部教育局

编 者 的 话

本书是按照邮电中专新修订的教学大纲编写的，并作为邮电通信各专业的技术基础课教材。

在编写本书的过程中，既注意吸取原邮电中专“电路基础”一书的特点，又结合了几年的教学实践，作了比较全面的修改和补充，尤其增加了一些新的内容，使本书更适合目前邮电中专的教学需要和学生的学习。

本书分上、下两册。上册共六章，着重讲述直流、交流电路的基本概念、分析和计算方法以及谐振电路原理。下册共六章，着重讲叙互感电路、非正弦周期电流电路、变压器以及过渡过程。为了便于教学和学习的要求，在各章节中都编入了相应的例题、思考题和练习题，而且每章末还附有习题，作补充内容供教学选用。为了便于自学者的查阅，书后附有习题答案。

本书在编写过程中，力求内容深入浅出，通俗易懂，着重于物理概念的讲解，尽量避免作繁琐的数学推导。因此，本书也适合于从事电信、电子技术工程技术人员阅读。

原书由陈毓琮、吴承甲等编写。本书由吴承甲修订。在编写过程中，邮电中专“电路基础”教学指导小组对书稿作过几次审查，并提出许多宝贵意见，在此谨表示衷心感谢。

由于我们水平有限，实践经验不足，时间仓促，难免存在缺点和错误，恳切希望批评指正。

编者 1992.6

目 录

第一章 电路的基本概念和基本定律

§ 1-1 电路和电路模型	(1)
§ 1-2 电流、电压和功率	(3)
§ 1-3 电阻元件 欧姆定律	(11)
§ 1-4 电压源	(15)
§ 1-5 基尔霍夫定律	(20)
小结	(30)
习题	(30)

第二章 简单电路的分析

§ 2-1 电阻串联电路	(34)
§ 2-2 电阻并联电路	(38)
§ 2-3 电阻混联电路	(44)
§ 2-4 Y形网络和 Δ 形网络的等效电路	(51)
§ 2-5 电路中各点电位的计算	(57)
§ 2-6 负载获得最大功率的条件	(63)
§ 2-7 电流源	(65)
§ 2-8 电源模型的等效互换	(71)
§ 2-9 受控源	(78)
§ 2-10 简单非线性电阻电路的分析	(84)
小结	(91)
习题	(92)

第三章 线性网络的分析方法和定理

§ 3-1 支路电流法	(102)
§ 3-2 网孔电流法	(107)
§ 3-3 节点电位法 弥尔曼定理	(115)
§ 3-4 迭加定理	(125)
§ 3-5 代文宁定理和诺顿定理	(130)
小结	(144)
习题	(145)

第四章 电容元件和电感元件

§ 4-1 电容元件	(150)
§ 4-2 电容的电压—电流关系	(152)
§ 4-3 电容的功率和储能	(157)
§ 4-4 电容的串联和并联	(159)
§ 4-5 电感元件	(166)
§ 4-6 电感的电压—电流关系	(168)
§ 4-7 电感的功率和储能	(171)
小结	(172)
习题	(172)

第五章 正弦交流电路

§ 5-1 交流电的基本概念	(176)
§ 5-2 正弦交流电	(178)
§ 5-3 正弦交流电的有效值和平均值	(191)
§ 5-4 正弦交流电的相量表示法	(194)
§ 5-5 基尔霍夫定律的相量形式	(201)
§ 5-6 电阻电路	(205)
§ 5-7 电容电路	(211)
§ 5-8 电感电路	(218)
§ 5-9 R 、 L 串联电路	(225)

§ 5-10	R 、 C 串联电路	(232)
§ 5-11	R 、 L 、 C 串联电路	(238)
§ 5-12	R 、 L 、 C 并联电路	(244)
§ 5-13	阻抗与导纳的等效互换	(252)
§ 5-14	正弦交流电路的计算	(257)
§ 5-15	正弦交流电路的功率	(271)
§ 5-16	负载获得最大功率的条件	(283)
§ 5-17	交流电路中的实际部件	(287)
§ 5-18	趋表效应	(291)
	小结	(293)
	习题	(297)
	附录 复数的基本知识	(310)
第六章 谐振电路		
§ 6-1	串联电路的谐振条件	(317)
§ 6-2	串联谐振的特性	(319)
§ 6-3	串联谐振电路的谐振曲线	(327)
§ 6-4	串联谐振电路的通频带	(332)
§ 6-5	并联电路的谐振条件	(336)
§ 6-6	并联谐振的特性	(339)
§ 6-7	电源内阻对并联谐振的影响	(343)
§ 6-8	并联谐振电路的频率特性	(349)
§ 6-9	理想状态下的谐振电路	(353)
	小结	(358)
	习题	(360)
	习题答案	(365)

第一章 电路的基本概念和基本定律

本章主要阐述电路的基本定律，包括欧姆定律和基尔霍夫定律，以后各章即以此为基础，讨论电路的分析和计算方法。

在本章中还将讨论电路的一些基本概念，有些内容在物理课已经学过，为了适应电路分析的需要，这里加以必要的补充和发展。

§ 1-1 电路和电路模型

电路就是电流通过的路径。

各种实际电路是由电源、电阻器、电感线圈、电容器、变压器、仪表、半导体管……等种类繁多的部件组成的。这些部件各自具有不同的物理性能和作用，将它们按照一定的方式组合起来，就可以构成各种不同功能的电路。人们设计并使用各种电路来完成电力的传输和分配，信号的处理和传输等任务。

人们设计制作各种电路部件，是为了利用它们的主要物理特性。例如，制作一个电阻器是要利用它的电阻，即对电流呈现阻力的性质；制作一个电源是要利用它正负极间能保持一定电压的性质。然而实际上不可能制造出只表现其主要性质的部件。例如一个实际电阻器通过电流时会产生磁场，因而还兼有电感的性质；一个实际的电源总有内阻，因而在使用时不可能保持定值的端电压。在分析电路时，如果对各部件的全部物理性质都加以考虑，势必会遇到很大的困难，而且也没有这样精

确作的必要。因此,必须在一定条件下对实际部件加以近似化,忽略它的次要性质,用一个足以反映其主要性能模型来表示。模型由一些理想电路元件构成,所谓理想电路元件就是具有某种确定的电或磁性质的假想元件,它们以及它们的组合可以反映出实际部件的电磁性质。例如,“电阻元件”是一个只表示消耗电能,将电能转换成非电能的一种理想电路元件。这样一来,所有的电阻器,电灯、电烙铁等实际部件都可以近似地用“电阻元件”作为它们的模型。

各种实际部件在一定条件下都可以求得它的模型,有的模型比较简单,仅由一种理想元件构成;有的比较复杂,由几种理想元件构成。用来构成模型的理想电路元件只有少数的几种,以后将陆续地进行介绍。

如上所述,电路的实际部件可用表征其主要特性的“模型”来表示,而“模型”又是由几种理想电路元件组成,对各种理想电路元件都用规定的一些图形符号来表示,这样就可以画出只由理想元件组成的电路图,这种电路图就是与实际电路相对应的电路模型。例如,图1-1-1(a)所示的是一个简单的实际电路,其中有一个电源(干电池),一个负载(小灯泡)和两根联接导线;其电路模型将如图1-1-1(b)所示,电阻元件 R 表示小灯泡,

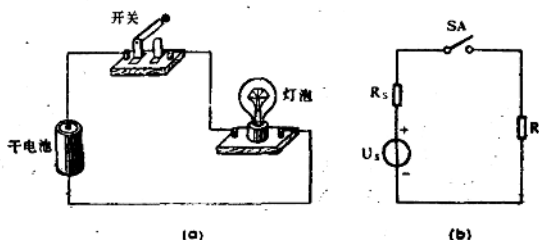


图 1-1-1 实际电路和它的电路模型

干电池则用理想电压源 U_s 和电阻元件 R_s 来表示（这种电源模型将在 § 1-4 中讨论），而连接导线在一般情况下，消耗电能可以忽略不计，即认为它们是电阻为零的理想导体。今后所研究的电路都是这种由理想电路元件构成的电路—电路模型。为简便起见，今后省略理想二字，元件都是指理想元件。

§ 1-2 电流、电压和功率

电路分析的问题通常是给定电路结构及各元件值，求出电路中各部分的电流、电压，有时还要求出各部分的功率。在电路分析中，这几个物理量都作为电路的变量来研究。

一、电流

电荷有规则的运动称为电流。习惯上规定正电荷运动的方向为电流的实际方向。

用来衡量电流大小的物理量是电流强度，其定义是：在单位时间内通过导体横截面的电量。

设在极短时间 dt 内通过导体横截面的电量为 dq ，则电流强度为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-2-1)$$

电流强度 i 一般是时间的函数，即随时间按一定规律变化的。

如果电流的大小及方向都不随时间变化，则这种电流称为恒定电流，简称直流。在这种情况下，电流强度用符号 I 表示，这时 (1-2-1) 式可写为

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

式中 q 为在时间 t 内通过导体横截面的电量。

在国际单位制中，电流强度的单位是安培，简称安(A)。安培是国际单位制的基本单位之一*。电量的单位为库仑，简称库(C)，由 $q=It$ 一式导出，是国际单位制导出单位， $1\text{库}=1\text{安}\cdot\text{秒}$ 。因此

$$1\text{安}=\frac{1\text{库}}{1\text{秒}}$$

电流强度通常简称为电流。这样电流一词就不仅代表一种物理现象，而且也代表一个物理量。

上面已经提到正电荷运动的方向就是电流的实际方向，但在分析电路中，有时对某一段电路中电流的实际方向很难预先判断出来，有时电流的实际方向还在不断变化，因此很难在电路图中标出电流的实际方向。由于这个原因，我们可以事先任意假定电流的方向，这个假定的方向称为参考方向。参考方向又称为正方向，在电路图中用箭头表示。我们规定：如果电流的实际方向与参考方向一致，电流为正值；如果两者相反，电流为负值，如图1-2-1所示。于是，在指定的参考方向下，电流值的正、负就可以反映出电流的实际方向。在未标示参考方向的情况下，电流的正、负是没有意义的。

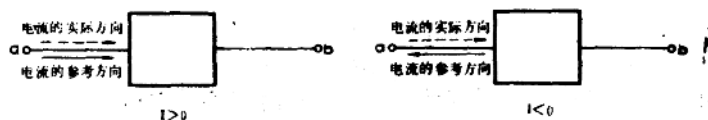


图 1-2-1 电流的参考方向 (图中方框代表一个元件或一段电路)

- 国际单位制的基本单位有：米(m)—长度单位，千克(kg)—质量单位，秒(S)—时间单位，开尔文(K)—热力学温度单位，坎[德拉](cd)—光强度单位。

二、电压

电荷在电路中流动，必然发生能量的交换。电荷在电路中的一些部分（电源处）获得电能，它是由其他形式的能量转换而来，而在另一些部分失去电能，转换为其他形式的能量，例如电阻将电能转换为热能。

电路中 a 、 b 两点之间的电压等于单位正电荷从 a 点移动到 b 点时所获得或失去的电能。电压也称为电位差，用符号 u 表示。在一般情况下：

$$u = \frac{dw}{dq} \quad (1-2-3)$$

式中 dq 为从 a 移动到 b 点的电量， dw 为移动过程中，电荷 dq 所获得或失去的电能。

如果正电荷由 a 移动到 b ，获得能量，则 a 点为低电位，即负极； b 点为高电位，即正极，由 a 到 b 为电压升（电位升）。如果正电荷由 a 移动到 b 失去能量，则 a 点为高电位，即正极， b 点为低电位，即负极，由 a 到 b 为电压降（电位降）。

如果电压的大小和极性都不随时间而变化，这样的电压就叫作恒定电压，简称直流电压，用符号 U 表示，这时(1-2-3)式可写为

$$U = \frac{W}{q} \quad (1-2-4)$$

在国际单位制中，能量的单位为焦耳，简称焦(J)；电量的单位为库仑，简称库；电压的单位为伏特，简称伏(V)。

$$1 \text{ 伏} = \frac{1 \text{ 焦}}{1 \text{ 库}}$$

如同需要为电流规定参考方向一样，也需要为电压规定参

考极性。电压的参考极性也是任意选定的，在电路图中用“+”、“-”符号表示，“+”号表示高电位端，“-”号表示低电位端，如图1-2-2所示。一般规定，当电压的实际极性与参考极性相同时，电压为正值；反之，当电压的实际极性与参考极性相反时，电压为负值。在未标示参考极性的情况下，电压的正负也是没有意义的。电压的参考极性也称为电压的参考方向或正方向。

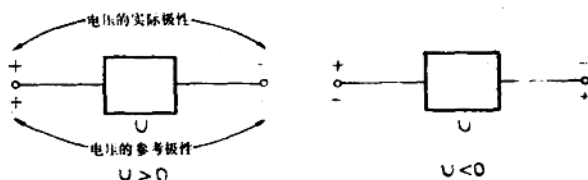


图 1-2-2 电压的参考极性（图中方框代表一个元件或一段电路）。

电压的参考极性除了用“+”“-”符号表示之外，还可以用双下标表示，例如 U_{ab} 表示 a 点为参考正极， b 点为参考负极，即电压降的参考方向是由 a 指向 b 。

对一段电路或一个元件上电压的参考极性和电流的参考方向可以各自独立地加以任意指定。但为了方便起见，一般情况下，应尽可能采取关联的参考方向。所谓关联的参考方向，就是电流的参考方向与电压参考“+”极到“-”极的方向一

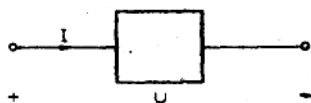


图 1-2-3 关联的参考方向

致，即电流与电压降的参考方向一致，如图1-2-3所示。这样在电路图上，只要标出电压的参考极性，就能确定电流的参考

方向，反之亦然。今后在电路图中所标电流的方向和电压的极性均为参考方向和参考极性。凡未同时标出电流、电压参考方向时，都是采用关联的参考方向。

三、功率

从上面关于电压的讨论可知：正电荷从电路元件的电压“+”极（高电位端）经元件移到电压的“-”极（低电位端）时损失能量，也就是元件吸收能量；相反地，正电荷从元件的电压“-”极经元件移到电压“+”极时获得能量，也就是元件供出能量。

在图1-2-4中，方框代表一个元件，图(a)采用了关联的参考方向，设在 dt 时间内由 a 点移动到 b 点的正电量为 dq ，由 a 到 b 为电压降，其值为 u ，则根据电压的定义式(1-2-3式)可知，在转移过程中，正电荷 dq 失去的电能为

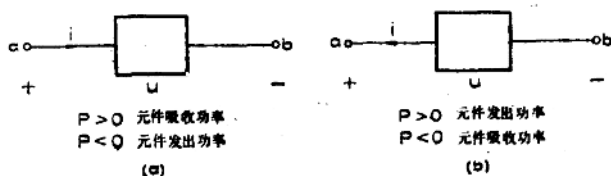


图 1-2-4 功率

$$dw = u \cdot dq$$

正电荷失去电能，也就是元件吸收了电能。因此，元件吸收的功率为

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

但

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

$$\text{故得} \quad p = u \cdot i \quad (1-2-5a)$$

在直流电路中，电压、电流都不随时间变化，则功率也不随时间变化，这时功率用符号 P 表示，于是上式可写成

$$P = UI \quad (1-2-5b)$$

必须注意：在关联的参考方向下，(1-2-5)式中的 p (或 P)是表示元件吸收的功率。当算得的功率为正值时，表明这个元件确实吸收了功率；当算得的功率为负值时，则表明这个元件不是吸收而是发出功率。还需要指出，(1-2-5)式是直接由电压及电流的定义式推导出来的，并未涉及元件本身的特性，因而对任何元件都是适用的。

如果电压降的参考方向与电流的参考方向相反，则(1-2-5)式中的 p (或 P)代表元件发出的功率。这种情况下， p 为正值时，表示元件发出功率， p 为负值时，表示元件吸收功率。

在国际单位制中，电压的单位为伏，电流的单位为安，则功率的单位为瓦特，简称瓦(W)

$$1 \text{ 瓦} = 1 \text{ 伏} \cdot \text{安}$$

以上有关功率的讨论同样适用于任何一段电路，而不局限于一个元件。

前面已介绍了一些物理量的国际制的单位如安、伏、瓦、秒等，但在实际应用中有时嫌小，如计量电力系统中高压设备的电压；有时又嫌太大，如计量电子线路中的电流。所以常在这些单位前加上词头形成辅助单位，例如

$$1 \text{ 微安}(\mu A) = 1 \times 10^{-6} \text{ 安}(A)$$

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

$$5 \text{ 千瓦}(kW) = 5 \times 10^3 \text{ 瓦}(W)$$

等等。现将常用的国际制词冠列于表1-2-1中。

【例1-2-1】电路如图1-2-5所示，图中方框代表电源或电阻

表 1-2-1

国际制词冠

词 冠	符 号		因 数
	中 文	国 际	
兆(mega)	兆	M	10^6
千(kilo)	千	k	10^3
毫(milli)	毫	m	10^{-3}
微(micro)	微	μ	10^{-6}
皮可(pico)	皮	p	10^{-12}

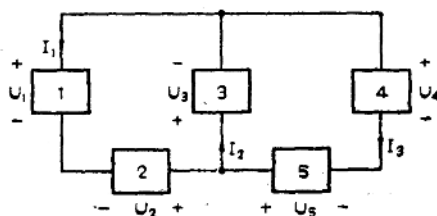


图 1-2-5 例1-2-1电路

元件，各电压、电流的参考方向均已标出。设

$$I_1 = 2\text{A}, I_2 = 1\text{A}, I_3 = -1\text{A},$$

$$U_1 = 7\text{V}, U_2 = 3\text{V}, U_3 = -4\text{V}, U_4 = 8\text{V}, U_5 = 4\text{V}.$$

求各元件消耗或产生的功率。

解：元件 1、3、4 的电压与电流的参考方向是关联的。

$$P_1 = U_1 I_1 = 7 \times 2 = 14\text{W} (\text{消耗})$$

$$P_3 = U_3 I_2 = (-4) \times 1 = -4\text{W} (\text{消耗 } -4\text{W 即产生 } 4\text{W})$$

$$P_4 = U_4 I_3 = 8 \times (-1) = -8\text{W} (\text{消耗 } -8\text{W 即产生 } 8\text{W})$$

元件 2 和 5 的电压、电流的参考方向是非关联的。

$$P_2 = U_2 I_1 = 3 \times 2 = 6\text{W} (\text{产生})$$

$P_5 = U_5 I_5 = 4 \times (-1) = -4\text{W}$ (产生 -4W 即消耗 4W)
就整个电路来说:

消耗的总功率为 $14 + 4 = 18\text{W}$

产生的总功率为 $6 + 4 + 8 = 18\text{W}$

计算结果表明在一个电路中消耗的功率与产生的功率是相等的, 符合能量守恒原理。

练 习 题

1-2-1 在图1-2-6中, 若已知元件吸收功率为 20W , $U = 5\text{V}$, 求电流 I 。

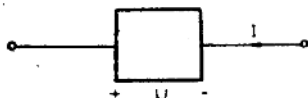


图 1-2-6 练习题1-2-1电路

1-2-2 在图1-2-7中, 试求:

- (1) 图(a)中的 U_1 , 已知元件1吸收的功率为 10W ;
- (2) 图(b)中的 I_2 , 已知元件2吸收的功率为 1000W ;
- (3) 图(c)中的 I_3 , 已知元件3吸收的功率为 -36W ;
- (4) 图(d)中元件所吸收的功率;

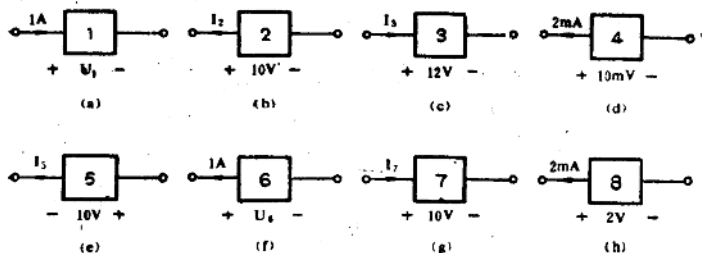


图 1-2-7 练习题1-2-2电路

- (5) 图(e)中的 I_5 , 已知元件 5 发出的功率为 220W;
- (6) 图(f)中的 U_6 , 已知元件 6 发出的功率为 -54W;
- (7) 图(g)中的 I_7 , 已知元件 7 发出的功率为 200W;
- (8) 图(h)中元件 8 发出的功率。

§ 1-3 电阻元件 欧姆定律

前已述及, 今后所研究的电路是由理想电路元件组成的电路—电路模型。因此, 要对电路进行分析计算, 就必须掌握电路元件的特性。它表征为元件的电压与电流之间的关系。本节先说明电阻元件的特性。

一、电阻元件上电压和电流的关系——欧姆定律

电阻元件是代表消耗电能的理想电路元件。电流流过电阻元件要消耗能量。因此, 沿着电流的方向必然会出现电压降。

如果把电阻元件的电压取为纵坐标(或横坐标), 电流取为横坐标(或纵坐标), 画出电压和电流的关系, 这条曲线称为该电阻元件伏安特性曲线。一个电阻元件的伏安特性如果是一条通过原点的直线, 如图1-3-1所示, 则此电阻元件称为线性电阻元件。通常所说的电阻元件都是指线性电阻元件。显然, 线性电阻元件两端的电压与通过它的电流成正比, 这就是我们所熟知的欧姆定律。

欧姆定律可表示为

$$U = IR \quad (1-3-1)$$