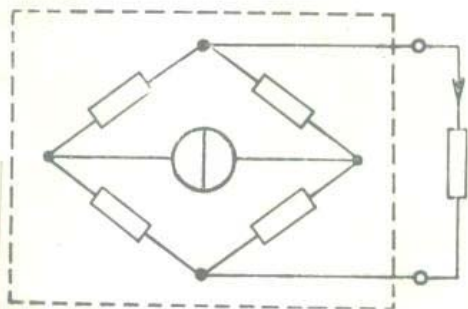


电路基础

王定中 梁振权

江勋兰 林继尧 编



华南理工大学出版社

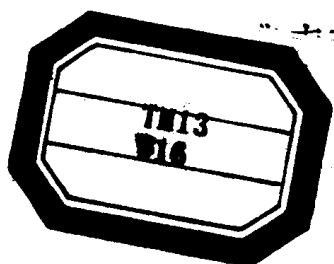
TM13

W16

电 路 基 础

王定中 梁振权 编
江勋兰 林继尧

理工大学出版社



72666

内 容 简 介

本书是根据1991年高等教育自学考试《电路基础》自学考试大纲编写的。全书分为电阻电路、正弦稳态电路和动态电路三部分共10章，根据电路元件电压和电流的关系、电路电流定律和电压定律，由浅入深地阐明电路分析与计算的方法，以及有关定理的应用。书中有较丰富的例题和练习题，每章配有总习题；书末附有练习题和习题答案，便于读者自学。

本书可作高等工业学校电类各专业的大专教材，也可供有关师生及科技人员参考。

【粤】新登字12号

电 路 基 础

王定中 梁振权

江勋兰 林继尧

责任编辑 谢艳桂

编

华南理工大学出版社出版发行

(广州五山 邮码 510641)

广东省新华书店经销

佛冈县印刷厂印装

开本：787×1092 1/32 印张：14.625 字数：327千

1994年2月第1版 1997年10月第3次印刷

印数12 001-15 000

ISBN 7-5623-0595-1

TM-14 定价：20.00元

序 言

本教材是根据全国自学考试委员会审定的电子技术专业电路基础教学大纲（1991年修订）编写的。可供电类各专业大专生教学使用。

在编写时，力求做到简明扼要，通俗易懂，说理清楚，逻辑性强。每章开始指出了该章的基本要求，便于读者自学。每节后附有练习题，每章后有总习题，着重基本概念的理解和基本方法的训练，以利于读者有针对性地复习和练习。

参加本教材编写工作的有：王定中（第一章至第四章），梁振权（第五、六章），江勋兰（第七、八、九章）和林继尧（第十章）。本书承陈国荣教授仔细审阅，并提出了宝贵意见，对本书的进一步修改帮助很大，在此谨表示衷心的感谢。

编 者

1993年3月

目 录

第 1 章 电路元件和电路定律	(1)
1-1 电路模型和电路元件概述.....	(1)
1-2 电流和电压的参考方向.....	(3)
1-3 功率.....	(5)
1-4 基尔霍夫定律.....	(8)
1-5 电阻元件.....	(15)
1-6 电压源.....	(19)
1-7 电流源.....	(23)
1-8 受控电源.....	(27)
1-9 结束语.....	(32)
习题 1	(33)
第 2 章 简单电阻电路的分析	(36)
2-1 网络等效的定义.....	(36)
2-2 简单电阻电路的计算.....	(38)
2-3 星形网络与三角形网络的等效变换.....	(48)
2-4 实际电源的两种模型.....	(56)
2-5 含源支路的串并联.....	(61)
2-6 含受控源电路的等效变换及化简.....	(66)
习题 2	(73)
第 3 章 线性电阻电路的一般分析方法	(77)
3-1 KCL和 KVL 方程的独立性.....	(77)
3-2 支路电流法.....	(82)
3-3 回路电流法.....	(89)
3-4 节点电压法.....	(101)

习题 3	(108)
第 4 章 线性电路的几个定理	(112)
4-1 叠加定理	(112)
4-2 戴维南定理	(121)
4-3 诺顿定理	(130)
4-4 最大功率传递定理	(134)
4-5 替代定理	(137)
4-6 互易定理	(141)
习题 4	(146)
第 5 章 正弦电流电路和相量法	(150)
5-1 交变电流 正弦量	(150)
5-2 正弦量的三要素	(153)
5-3 复数	(163)
5-4 正弦量的相量表示法	(173)
5-5 RLC 元件伏安关系的相量形式	(184)
5-6 阻抗	(201)
5-7 导纳	(213)
5-8 阻抗与导纳的等效变换	(223)
5-9 正弦电流电路中的功率	(236)
5-10 正弦电流电路的稳态计算	(250)
5-11 最大功率传输	(263)
5-12 非正弦周期电流电路的计算	(270)
习题 5	(278)
第 6 章 三相电路	(285)
6-1 三相电路	(285)
6-2 对称三相电路的计算	(294)
6-3 不对称三相电路的计算	(305)

6-4	三相电路的功率及其测量	(311)
习题 6		(320)
第 7 章	耦合电感和理想变压器	(323)
7-1	耦合电感的伏安关系	(323)
7-2	含有耦合电感元件电路的分析	(330)
7-3	空芯变压器电路的反映阻抗	(336)
7-4	理想变压器	(340)
习题 7		(345)
第 8 章	谐振电路	(349)
8-1	串联谐振电路	(349)
8-2	串联谐振电路的谐振曲线和选择性	(354)
8-3	并联谐振电路	(360)
习题 8		(367)
第 9 章	双口网络	(369)
9-1	双口网络及其端口条件	(369)
9-2	双口网络的方程和参数	(370)
9-3	有载双口网络	(383)
9-4	双口网络的等效电路	(385)
习题 9		(388)
第10章	动态电路的分析	(391)
10-1	动态电路及其方程	(391)
10-2	初始条件的确定	(393)
10-3	一阶电路的零输入响应	(398)
10-4	一阶电路的零状态响应	(409)
10-5	一阶电路的全响应 三要素法	(419)
10-6	单位阶跃函数和一阶电路的阶跃响应	(426)
10-7	RLC 串联二阶电路的零输入响应	(432)

习题 10.....	(438)
附录 练习题和习题答案	(443)
参考文献	(458)

第 1 章

电路元件和电路定律

本章介绍电路模型和电路元件，包括电阻元件、独立电源和受控电源。引入电流、电压的参考方向。基尔霍夫定律是集总参数电路的基本定律。

本章的内容是本课程的基础，虽然有些内容已在物理学中接触过，但现在要从电路的角度深入理解其含义。由于本章的内容与以后各章的内容密切相关，而有些概念也要在学习了后面各章的内容后才能深入理解。因此，在以后的学习中，尚需经常复习本章的内容。

1-1 电路模型和电路元件概述

各种实际电路是由实际部件（例如电阻器、线圈、电容器、晶体管、变压器等）相互联接而构成的。有一些实际电路可用来传输能量和变换能量。如一个电力系统，可以把发电厂发电机组产生的电能，通过变压器、输电线输送到用户。有一些实际电路可用来对电信号进行处理。如一部收音机，能把接收到的微弱信号进行放大、变换（如变频、检波），最后以声音的形式从喇叭输出。尽管实际电路的形式和功能是多种多样的，均可用不同的电路去完成各自的任任务，然而，它们之间存在着共同的规律。电路理论这门学科

正是在这种共同的基础上发展的。电路理论的目标是计算电路中各部件的端电压和电流。

电路理论和其他学科一样，使用理想化的模型来描述所研究的物理系统——实际电路。各种实际部件的电磁现象，按其性质可分为：消耗电能、供给电能、储存磁场能量、储存电场能量等等。我们将每一种性质的电磁现象，用一理想元件来表征。例如：消耗电能的用理想电阻元件来表征；储存磁场能量的用理想电感元件来表征；储存电场能量的用理想电容元件来表征；等等。当然，实际部件的电磁现象是很复杂的。例如：电阻器、电烙铁、电炉丝等，除消耗电能的特性外，也还有磁场和电场方面的特性，不过消耗电能的特性是主要的。为此，忽略次要因素，用理想电阻元件来作电阻器、电烙铁、电炉丝等部件的模型。与此同时，对于每一种理想元件，用一定的数学关系来表征它。因此，把模型看作是系统物理特性的数学抽象，是物理系统的一种近似。显然，电路模型也就是一种数学模型。

理想元件虽然是从实际电路部件中抽象出来的假想元件，但反过来，又能用理想元件或它们的组合来表示实际部件的主要电磁特性，即用来构造部件的模型。因此，可以认为：为了构造部件的模型（如模拟电子技术课程中讲到晶体管小信号等效电路，即晶体管模型），在电路理论中，明确定义了一批电路元件，这些电路元件是理想元件，或称为假想元件。这样，在电路理论中所用的全部元件都是有严格定义的，每一种元件同时用一种电路符号来表征。本书所介绍的各种元件以及电路中的元件都是指假想元件，而不是实际元件，今后一律简称元件。

定义元件、构造实际部件的模型，这实际上已经是作了

集总的假设。即是说，只考虑了实际部件的电磁性质，而没有考虑部件的尺寸和大小。因此，我们所讨论的元件是**集总参数元件**，由这些元件互相联接而组成的电路称为**集总参数电路**。画出的电路图，不反映实际电路的几何尺寸，联接导线无电阻，联线的长短、形状均无关紧要。

顺便指出，用模型来表示实际电路，不可避免会带来误差。一个部件的模型是根据具体情况来构成的。显然，模型越是简单，分析和计算也就容易，但误差较大；反之，模型愈精确，分析和计算也就愈复杂。因此该部件的模型不是唯一的。在讨论到具体工程问题时，如何协调得失，选择最佳方案是重要的，但这不是本课程的任务。本课程的任务是在选择模型之后，分析和计算由模型构成的电路。这就是说，我们所分析和计算的电路是由理想元件构成的电路。因此，在本书中出现诸如电流或电压为无限大的说法，对于实际电路是不可能出现的，而对于由电路元件构成的电路来说是允许的。

1-2 电流和电压的参考方向

电路元件有很多种，具有两个引出端钮的叫做**二端元件**，有三个或三个以上端钮的叫做**多端元件**。

设有一个任意的二端元件，其端钮分别记为 a 和 b ，如图 1-1 所示。图中方框用来泛指元件，暂且不考虑元件本身

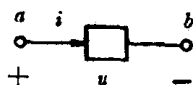


图 1-1 二端元件

的性质、视为一条支路。下面来说明支路电流和元件端电压的参考方向。

在物理学中，把单位时间内通过导体截面的电荷量定义为电流强度，简称电流，用数学式子表示为

$$i(t) = \frac{dq(t)}{dt}$$

习惯上把正电荷运动的方向规定为电流的实际方向。

电流在二端元件中流动，它有两种可能的流动方向。然而，对于一般的电路来说，在求解之前通常并不知道电流的实际流动方向。因此，在求解之前，先设定电流的参考方向（参考方向是任意设定的方向），然后根据电路的基本定律求出电流。若求得电流为正值，则表明电流的实际方向与所设的参考方向一致；若所得电流为负值，则表明电流的实际方向与所设参考方向相反。在电路中，电流的参考方向用箭头表示（如图 1-1）。

今后将会看到，在交流电路的计算中，设定电流参考方向的必要性就更明显了。事实上，任何具有正负值的物理量都需要规定其数值正、负的含义，否则无法用数学函数表达，也无法进行运算和研究。在没有设定参考方向的情况下，讨论电流的正、负是没有意义的。

和电流一样，电压也需要预先设定参考方向。在电路图中，电压的参考方向用“+”和“-”符号表示。“+”号表示高电位端，“-”号表示低电位端，如图 1-1 所示。有时也用双下标表示参考方向，如 U_{ab} ，下标的第一个字母 a 为高电位端，下标的第二个字母 b 为低电位端，下标的次序决不可搞错。

电流和电压的参考方向都可以任意选定，它们彼此可以

独立设定，不过为了方便起见，常常选用所谓关联参考方向，即：如果电流从标有“+”号的端钮流入，从标有“-”号的端钮流出，即电流与电压降参考方向一致，如图 1-1 所示。这样，在电路图上就只需标出电流的参考方向或电压的参考极性中任何一种。

1-3 功率

从物理学已经知道，功率也是一个重要的物理量，它是用来衡量能量转换速率的物理量。用小写英文字母 p 表示功率（注：大写字母 P 用于表示直流电路的功率和交流电路的平均功率）， w 表示能量；在数值上，功率等于单位时间内转换的电能，即

$$p(t) = \frac{dw(t)}{dt}$$

设图 1-2 所示的方框是电路的一部分（可能是一个元件，或是多个元件的组合）， $u(t)$ 和 $i(t)$ 的参考方向如图 1-2 a 所示。设在 dt 时间内，在电场力的作用下，由端钮

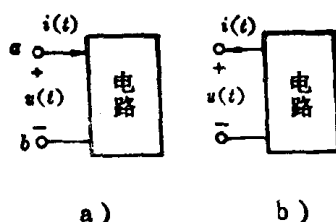


图 1-2 电路的一部分

a 转移到端钮 b 的正电量为 $dq(t)$ ，由 a 到 b 的电压为 $u(t)$ ，在转移过程中电荷失去的能量为

$$dw(t) = u(t) dq(t)$$

电荷失去的电能为该部分电路所吸收，因此该部分电路吸收的功率为

$$p(t) = \frac{dw(t)}{dt} = u(t) \frac{dq(t)}{dt} = u(t)i(t) \quad (1-1)$$

由于电压 $u(t)$ 和电流 $i(t)$ 都是具有正负值的物理量，因而 $p(t)$ 的值可正可负，由功率的定义式(1-1)可知，当 $u(t)$ 、 $i(t)$ 的参考方向一致时(如图1-2a)，若 $p(t) > 0$ ，即电场力作正功，因而电路消耗电能，我们则说电路消耗(吸收)功率；若 $p(t) < 0$ ，即电场力作负功，由式(1-1)所得的功率为电路发出(产生)的功率，或者说电路消耗负功率。

如果电压参考方向与电流参考方向相反，如图1-2b所示，依然用公式(1-1)计算功率，则由于参考方向改变($u(t)$ 和 $i(t)$ 的参考方向由一致变为相反)，因而上述结论也要调换，即是说：若 $p(t) > 0$ ，则电路发出功率；若 $p(t) < 0$ ，则电路吸收功率。在图1-2b所示的参考方向下，也可以把计算功率的公式改写为

$$p(t) = -u(t)i(t) \quad (1-2)$$

此时若 $p(t) > 0$ ，则电路消耗(吸收)功率；若 $p(t) < 0$ ，则电路发出(产生)功率。尽管几种说法表面上不同，但它们表述的本质是一致的，这里包含了对参考方向的正确理解。

在国际单位制中，电压的单位为伏，用V表示；电流的单位为安，用A表示；则功率的单位为瓦特，简称瓦，用符号W表示。

例1-1 试计算图1-3所示各元件吸收或产生的功率。

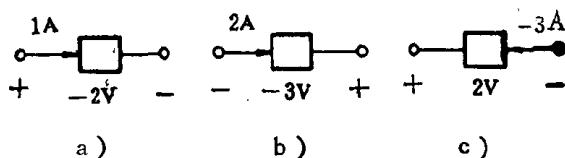


图 1-3

解 在图a中, 电流、电压的参考方向相同, 应用(1-1)式计算

$$p = (-2)(1) = -2 \text{ W}$$

$p < 0$, 表明元件产生功率。

在图b中, 电流、电压的参考方向相反, 应用(1-2)式计算

$$p = -(-3)(2) = 6 \text{ W}$$

$p > 0$, 元件吸收功率。

在图c中, 电流、电压的参考方向相反, 应用(1-2)式计算

$$p = -(2)(-3) = 6 \text{ W}$$

$p > 0$, 元件吸收功率。

练 习 题

1-1 在图1-4所设参考方向下, 若按(1-1)式计算功率得正值, 该元件发出的功率是正还是负? 消耗的功率是正还是负?

1-2 两电路相联接, 如图1-5所示, 已知 $i(t) = 1 \text{ A}$,

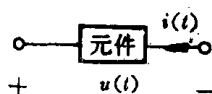


图 1-4 练习题 1-1

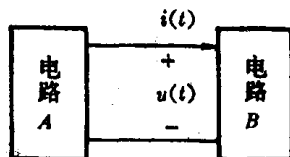


图 1-5 练习题 1-2

$u(t) = 2\text{ V}$ ，试分别求电路A和B发出的功率。

1-4 基尔霍夫定律

本节将研究集总参数电路中两个基本定律——基尔霍夫电流定律(kirchhoff's Current Law, 简记KCL)和基尔霍夫电压定律(Kirchhoff's Voltage Law, 简记KVL)。这两个定律已在物理学中提到过，它们是基尔霍夫于1848年首先提出的。

在叙述定律之前，以图1-6所示的电路为例，介绍几个以后将经常用到的名词。

集总参数电路是由元件联接而成的，至于各元件在空间放置的位置是无关紧要的。各元件间的连线看作是理想的（即连线看作是没有电阻的，其长短和形状无关紧要），一般来说，电路中的每一个二端元件称为一条支路，但有时为了分析和计算方便，也可以把两个或多个串联的元件（如两个电阻串联或电阻与电压源串联）合并当作一条支路。把支路互相联接起来的点，如图1-6电路中的①，②，③和④。

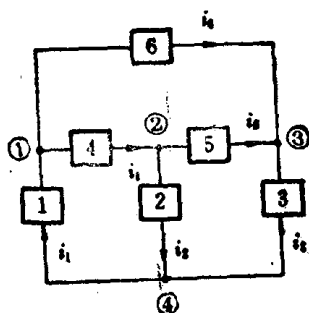


图 1-6 说明KCL的示意图

称为节点。电路中的任一闭合路径称为回路。例如图中元件 1、4、2 和元件 1、6、3 均构成回路，该电路共有七个回路。在回路内部不另含有支路的回路，称为网孔。例如图中元件 1、4、2，元件 2、5、3 和元件 4、5、6 均构成网孔，该电路共有三个网孔。显然，网孔是回路的一种特殊情况。元件 1、4、5、3 构成的回路，回路中有元件 2，所以它不是网孔。

在图 1-6 电路中，已标出各支路电流的参考方向，元件的端电压称为支路电压。

首先说明 KCL。

根据电荷守恒原理，流入某节点的电荷不能在节点堆积，而必将流出去。例如图 1-6 电路中的节点①，流入节点的电流 i_1 等于流出节点的电流 i_4 和 i_6 之和，即

$$i_1 = i_4 + i_6$$

上式也可以写成

$$i_1 - i_4 - i_6 = 0$$

或

$$-i_1 + i_4 + i_6 = 0$$

这表明流出（或流入）节点①的电流的代数和等于零。至此，可以将 KCL 表述如下：

对于电路中任一节点，在任一时刻，流出（或流入）该节点的所有支路电流的代数和恒为零。其数学式是

$$\sum_K i_K = 0 \quad (1-3)$$

若规定流出节点的支路电流取正号，流入节点的电流取负号，图 1-6 电路中四个节点可列出四个电流方程如下：

$$\text{节点①} \quad -i_1 + i_4 + i_6 = 0$$

$$\text{节点②} \quad i_2 - i_4 + i_5 = 0$$