



电工技术

漆仕速 主编

湖南大学出版社

电 工 技 术

漆仕速 主 编

责任编辑 黄道见



湖南大学出版社出版发行

(长沙岳麓山)

长沙环保学校印刷厂印装



787×1092毫米 16开 20.25印张 492千字

1989年9月第1版 1989年9月第1次印刷

印数: 0001—8000册

ISBN 7-314-00454-4/TM·12

定价: 6.50元

前 言

我们根据国家教委电工学课程教学指导小组制订的“电工技术”课程教学基本要求（以下简称基本要求），曾于1986年8月编印了“电工技术”油印讲义，1987年9月改为铅印。本书就是在上述教材的基础上编写而成的。

本书保留了原教材的体系，其特点是：电路部分，用近代电路理论的观点进行阐述，加强了系统概念。电机部分，着重于应用。本书例题较为丰富。各章重点内容之后均附有“练习与思考”，这些题一般比较简单，以便巩固所学的基本内容。各章章末另有习题，书后附有习题答案，以供参考。本书还编入了少量加深、拓宽的内容，对这些内容均标有*号，以便选用。

本书与原教材组比，有些章节作了较大变动。动态电路的时域分析一章中，一阶电路全部改写，更加突出了RC电路的响应。第六章是新增加的，该章内容主要介绍电磁器件的基本知识，以便使读者对变压器和电机建立比较系统的概念。原教材中微特电机一章，现在分为两章，即第十章直流电动机，以他激直流电动机为主；第十一章仍为微特电机，但删去了力矩电动机和直线电动机。

本教材内容除注*号者外，“基本要求”所规定的内容，大致可用42学时讲完。全书适用于56至70学时，实验为14至18学时（未列入）。根据原教材多次试用情况，讲授“基本要求”的内容所需学时数大致如下：

第一章：5学时

第二章：5学时

第三章：6学时

第四章：10学时

第五章：2学时

第六章：1学时

第七章：2学时

第八章：5学时

第九章：4学时

第十二章及第十三章：可在实验课中介绍或自学。机动2学时。

本书系湖南省高校电工学研究会组织国防科技大学、湖南大学、中南工业大学、湘潭大学、长沙交通学院及湘潭矿业学院共同编写的。参加编写工作的有漆仕速（第一章）、张绪琨（第二章）、谢克彬（第三、七章）、王炳勋（第四、八章）、于明月（第四、九章）、杜文贵（第五章）、李德化（第六、十、十一章）、刘小泉（第十二、十三章），由漆仕速主编。参加原教材编写的还有付恩锡。

本书承中南工业大学赵阜南教授仔细审阅，并提出了宝贵的修改意见，谨致以衷心谢

意。在本书出版过程中，得到湖南大学出版社的大力支持，亦表感谢。

由于编者水平有限，缺点和错误之处在所难免，希望使用本教材的老师 and 读者提出批评指正！

编 者

1989年3月

目 录

第一章 电路模型和电路定律	(1)
1.1 电路和电路模型.....	(1)
1.2 电流和电压的参考方向.....	(2)
1.2.1 电流的参考方向.....	(3)
1.2.2 电压的参考方向.....	(3)
1.2.3 电压、电流的关联参考方向.....	(3)
1.3 无源二端元件.....	(5)
1.3.1 电阻元件.....	(5)
1.3.2 电容元件.....	(6)
1.3.3 电感元件.....	(10)
1.3.4 实际元件的电路模型和额定值.....	(12)
1.4 独立电源.....	(13)
1.4.1 电压源.....	(13)
1.4.2 电流源.....	(14)
1.4.3 实际电源的两种电路模型.....	(15)
*1.5 受控源.....	(15)
1.6 克希荷夫电流定律.....	(17)
1.7 克希荷夫电压定律.....	(19)
习 题.....	(22)
第二章 电阻电路分析	(27)
2.1 支路电流法.....	(27)
2.2 叠加定理.....	(30)
2.3 戴维南定理.....	(32)
2.4 诺顿定理.....	(36)
2.5 实际电源两种电路模型的等效变换.....	(39)
*2.6 节点电压法.....	(41)
*2.7 含受控源电路的分析方法.....	(44)
2.8 非线性电阻电路的图解法.....	(46)
习 题.....	(48)
第三章 动态电路的时域分析	(54)

3.1 动态电路的特点	(54)
3.2 电压、电流初始值的计算	(55)
3.3 RC电路的零输入响应	(58)
3.4 RC电路的时间常数	(62)
3.5 RC电路在直流电源激励下的零状态响应	(65)
*3.6 阶跃函数和阶跃响应	(70)
3.7 RC电路对矩形脉冲的响应	(73)
3.8 RC电路的全响应	(77)
3.9 RL电路的时域响应	(84)
*3.10 一阶电路的三要素法	(90)
*3.11 二阶电路的零输入响应	(94)
*3.12 模拟	(104)
习 题	(106)
第四章 正弦稳态分析	(116)
4.1 正弦稳态响应	(116)
4.2 正弦量的三要素	(117)
4.2.1 周期、频率、角频率	(117)
4.2.2 振幅(最大值)	(118)
4.2.3 初相位	(119)
4.3 有效值和相位差	(119)
4.3.1 有效值	(119)
4.3.2 相位差	(120)
4.4 相量和相量图	(123)
4.4.1 正弦量的相量表示法	(124)
4.4.2 正弦量的加减用相量求解	(126)
4.5 R、C、L元件电压与电流关系的相量形式	(128)
4.5.1 电阻元件	(128)
4.5.2 电容元件	(129)
4.5.3 电感元件	(130)
4.6 克希荷夫定律的相量形式	(133)
4.7 复阻抗	(135)
4.7.1 复阻抗: 阻抗、阻抗角	(135)
4.7.2 R、C、L元件的复阻抗	(136)
4.7.3 RCL串联电路的复阻抗	(136)
4.7.4 复阻抗的串并联	(137)
*4.8 复导纳	(140)
4.9 正弦稳态分析	(142)

4.9.1 电路的相量模型	(142)
4.9.2 正弦稳态电路的分析计算方法	(143)
4.10 功率	(146)
4.10.1 瞬时功率	(146)
4.10.2 平均功率	(149)
4.10.3 无功功率	(150)
4.10.4 视在功率	(150)
4.10.5 功率因数	(152)
*4.11 频率响应——滤波的概念	(155)
4.12 串联谐振	(157)
4.13 并联谐振	(160)
4.14 非正弦周期激励下的稳态响应	(162)
习 题	(167)

第五章 三相电路	(173)
5.1 三相电源	(173)
5.2 电源和负载的联接方式	(174)
5.3 星形联接时线电压和相电压的关系	(175)
5.4 三角形联接时线电流和相电流的关系	(176)
5.5 三相电路的计算	(177)
5.5.1 对称三相电路的计算	(178)
5.5.2 不对称三相电路的计算	(179)
5.6 对称三相电路的功率	(182)
习 题	(186)

第六章 电磁器件的基本知识	(188)
6.1 磁路	(188)
6.2 磁路定律	(189)
*6.3 简单直流磁路的计算	(190)
6.4 感应电动势	(192)
6.5 交流铁心线圈端电压与磁通的关系	(192)
6.6 电磁力	(194)
*6.7 电磁铁吸引力	(194)
*6.8 铁心损耗	(195)
习 题	(196)

第七章 变压器	(198)
7.1 变压器的基本结构	(198)

7.2 变压器的工作原理	(199)
7.3 变压器的外特性和效率	(204)
7.4 变压器的铭牌和绕组极性的测定	(206)
*7.5 自耦变压器及三相变压器	(209)
习题	(213)

第八章 三相异步电动机 (216)

8.1 概述	(216)
8.2 三相异步电动机的结构	(217)
8.2.1 定子	(217)
8.2.2 转子	(218)
8.3 三相旋转磁场	(219)
8.3.1 旋转磁场的产生	(219)
8.3.2 旋转磁场的旋转方向	(220)
8.3.3 旋转磁场的转速	(220)
8.4 三相异步电动机的工作原理	(221)
8.5 电磁转矩	(222)
8.6 三相异步电动机的机械特性和运行特性	(224)
8.6.1 机械特性	(224)
8.6.2 运行特性	(226)
8.7 三相异步电动机的使用	(227)
8.7.1 鼠笼式三相异步电动机的起动	(227)
8.7.2 鼠笼式三相异步电动机的调速	(229)
8.7.3 绕线式三相异步电动机的起动与调速	(229)
*8.7.4 三相异步电动机的制动	(231)
8.8 产品系列、技术数据和铭牌	(232)
*8.9 电动机功率的选择	(235)
*8.10 单相异步电动机	(238)
习题	(240)

第九章 三相异步电动机的继电——接触器控制电路 (242)

9.1 控制电器和控制电路	(242)
9.2 三相异步电动机的“点动”与连续运行控制电路	(244)
9.2.1 点动控制电路	(244)
9.2.2 连续运行控制电路	(246)
9.3 三相异步电动机的正反转控制电路	(247)
9.4 两台三相异步电动机先后起动控制电路举例	(250)
9.5 三相异步电动机的时间控制电路举例	(250)

9.6 三相异步电动机的行程控制电路举例·····	(252)
9.7 如何阅读三相异步电动机继电——接触器控制电路图·····	(254)
习 题·····	(255)
* 第十章 直流电动机 ·····	(259)
10.1 直流电动机的结构·····	(259)
10.2 直流电动机的工作原理·····	(260)
10.3 他励直流电动机的机械特性·····	(261)
10.4 他励直流电动机的起动与调速·····	(262)
10.4.1 直流电动机的起动·····	(262)
10.4.2 他励直流电动机的调速·····	(262)
习 题·····	(266)
* 第十一章 微特电机 ·····	(267)
11.1 交直流伺服电动机·····	(267)
11.1.1 两相交流伺服电动机·····	(267)
11.1.2 直流伺服电动机·····	(270)
11.1.3 产品的选择·····	(273)
11.2 测速发电机·····	(274)
11.2.1 交流测速发电机·····	(274)
11.2.2 直流测速发电机·····	(276)
11.3 步进电动机·····	(279)
11.3.1 步进电动机的结构与工作原理·····	(279)
11.3.2 小步距角步进电动机·····	(281)
习 题·····	(284)
第十二章 电工测量 ·····	(286)
12.1 直读式仪表的误差和准确度·····	(287)
12.2 磁电式仪表·····	(289)
12.3 电磁式仪表·····	(290)
12.4 电动式仪表·····	(291)
12.5 万用表·····	(293)
* 12.6 数字式仪表 ·····	(295)
12.7 电工仪表的选择与使用·····	(297)
习 题·····	(299)
第十三章 安全用电 ·····	(300)
13.1 触电与急救·····	(301)

13.2 保护接地与接零.....	(302)
13.3 静电防护.....	(303)
13.4 电气火灾与预防.....	(305)
习 题.....	(305)
习题答案	(307)

第一章 电路模型和电路定律

电路理论的研究对象是由若干理想化元件组成的电路模型。电路的主要变量是电压和电流。虽然有各种各样的电路，但电压和电流在电路中的分配，是有其共同客观规律的，即受两种规律的约束：一种是电路的普遍规律，即克希荷夫定律；另一种是电路元件本身电压和电流之间的特殊规律。这两种规律或者说两类约束，是分析集总电路的基本依据，必须深刻理解和熟练掌握。

本章首先介绍有关电路模型和参考方向的概念，然后分别介绍几种电路元件的特性和克希荷夫电流定律和电压定律。

1.1 电路和电路模型

实际电路 (electric circuit) 都是由若干物理的 (实际的) 电气元件 (element) 或器件 (device) 用导线按一定方式联接而成的。例如手电筒的照明电路，由干电池、灯泡和导体组成；万用表用来测量电阻的测量电路是由干电池、表头、电阻器、转换开关等组成的；一台晶体管收音机的电路中有干电池、磁性天线、晶体管、电阻器、电容器、变压器及扬声器等元、器件；大的电力系统由发电机、变压器、输电线、控制设备及用电设备等组成。在实际电路中，用来提供电能的设备，称为电源 (source)，如干电池、发电机等。消耗电能的设备称为负载 (load)，如灯泡、扬声器等。

实际电路的种类繁多，功能各异。其主要功能之一，是能量的转换、传递和分配，如电力系统。另一主要功能就是电信号 (signal) 的传送和处理，如电话线路、滤波电路等。电路还有贮存信息的功能，如数字计算机的存贮电路，以及测量电量的功能，如万用表中测量电压、电流、电阻的测量电路等。

实际元件或器件中发生的电磁现象是复杂的，例如实验室用的电阻箱，是由许多用导线绕成线圈形状的电阻器组装而成的。电流通过它要消耗电能、发热，这是它的主要表现；此外，它也有贮存磁场能量和电场能量的性质。电流变化的频率不同，上述现象的表现程度也不一样。可见，一个实际元件中发生的物理过程，仔细分析起来也不简单。由实际元件组成的电路中所发生的电磁过程，就更加复杂了。

我们知道：任何事物的本质都是由事物的主要矛盾决定的。科学分析的方法是抓住事物的主要矛盾或主要现象进行分析。通常采用理想化的方法即模型 (model) 的概念。

电路理论就是建立在模型概念的基础上的。所谓模型，就是把实际元件理想化，即假定每个理想化元件只集中具有一种电的或磁的性质，例如理想化电阻元件，只有消耗电能的性质；理想化电感元件只有贮存磁场能量的性质；理想化电容元件，只有贮存电场能量的性质。这些理想化元件就是实际元件的模型。理想化元件称为电路元件 (circuit element)，

又称集总 (lumped) 元件。所谓集总, 是指每个理想化元件只具有一种电或磁的性质, 元件两端电压和通过它的电流都有确定的数值。实际电路可以用若干个电路元件的组合来表示。由电路元件组成的电路就称为实际电路的电路模型, 又称集总电路。例如图1—1是万用表用来测量电阻时的实际电路, 它的电路模型如图1—2所示, 图中虚线框内的电路是万用表

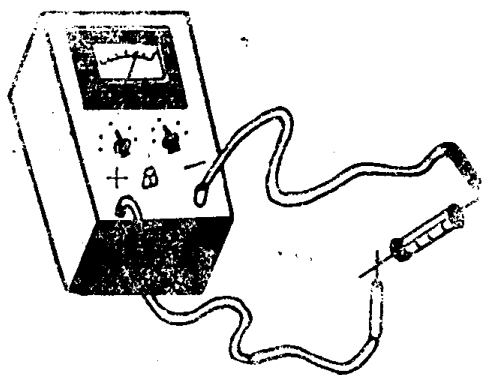


图1—1 万用表测量电阻

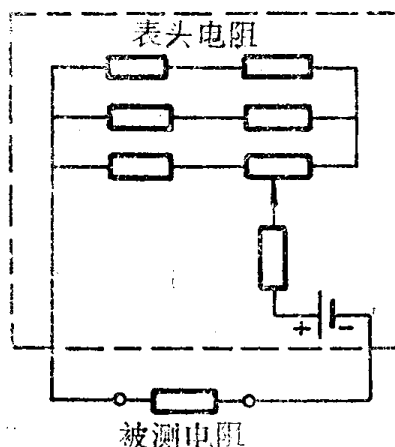


图1—2 万用表测量电阻的电路模型

内部相应的实际电路的电路模型。应该明确指出: 电路理论的研究对象是电路模型, 并非实际电路。电路模型更具有普遍的代表性, 例如一个电阻元件, 既可代表灯泡, 也可代表电阻箱, 还可代表电烙铁等。

应当注意, 采用理想化或集总假设是有条件的。这条件就是要求实际电路的尺寸远小于正常工作时最高频率所对应的电磁波波长。例如电力用电的频率为50赫, 对应的波长为 $\lambda = 3 \times 10^8 / 50 = 6 \times 10^6 \text{ m} = 6000 \text{ km}$, 实际的电气设备的尺寸与这个长度相比可以略而不计。

电路有时称网络 (network) 或系统 (system), 因此, 在本书中, 对电路、网络、系统一词, 一般不加区别。

电路问题分为两类: 一类是电路分析问题, 即给定电路的结构及元件的参数, 计算在电源作用下, 电路各部分的电压和电流; 另一类是电路综合问题, 它与电路分析相反, 给定电路的性能, 设计能满足这一特性要求的电路结构并确定元件的参数。本书只讨论电路分析问题。

1.2 电流和电压的参考方向

电路的工作过程主要用电压 (voltage)、电流 (current) 两个物理量来描述。电压、电流是电路分析中的主要变量。关于它们的定义, 在物理学中已有介绍, 这里不再赘述。我们知道, 欲表示一段电路中的电流, 不仅要指出它的大小, 而且还要说明电流的方向; 电路中两点间电压就是两点电位之差, 当谈到电压时, 除了指出它的大小外, 还必须说明哪点电位高, 哪点电位低。电位高的一端是正极性, 电位低的一端是负极性。如何表示电流的方向和电压的极性? 这就是本节要讨论的问题。

1.2.1 电流的参考方向

电荷的定向移动形成电流。习惯上把正电荷运动的方向作为电流的方向。如图1—3所示的一段电路中，电流的实际方向有两种可能，或者由a端流向b端；或者由b端流向a端。在简单直流电路（电路中电压、电流不随时间变化）中，电流的实际方向容易判断。但在复杂电路中，就不容易判明。如果电流是按正弦规律变化，则由于电流的实际方向时刻在改变，就更难判定。为了便于研究，进行电路分析时，我们可以事先假定一个正电荷运动的方向，这个假定的方向称为电流的参考方向（reference direction），或电流的正方向。电流的参考方向可以任意选定，在电路图中用箭头表示（见图1—3）；也可以用双下标来表示如 i_{ab} ，即电流的参考方向是由a至b。有了参考方向，则电流的实际方向就可以在电流的数值前用“+”号或“-”号表示。当电流的实际方向与电流的参考方向一致时，取“+”号，反之取“-”号。例如电流的参考方向如图1—3所示，当电流的大小为5安，电流的实际方向与参考方向一致时，则电流表示式为 $i = +5\text{A}$ ，通常“+”号可省略，即 $i = 5\text{A}$ 。如果电流的实际方向与参考方向相反，则 $i = -5\text{A}$ 。必须指出，电流表示式中的“+”、“-”号是对选定的参考方向而言的，离开了参考方向，“+”、“-”号没有任何意义。因此，进行电路分析时，必须在电路图中标明电流的参考方向。而电流的实际方向，一般不必在电路图中标示。

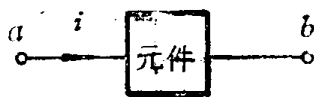


图1—3 电流的参考方向

例1—1：在图1—4中已标明电流的参考方向，已知 $I = -1\text{A}$ ，试指出电流的实际方向。



图1—4 例1—1电路

解： $I = -1\text{A}$ ，其中“-”号表示电流实际方向与参考方向相反，即正电荷由a端向b端流动。

1.2.2 电压的参考方向

电压的实际极性（polarity），一般也不是能事先知道的。因此，我们也可以事先假定一种极性，这个假定的极性称为电压的参考极性。电压的参考极性也是可以任意选定的。在电路图中，电压的参考极性用+、-号表示（见图1—5）。如果电压的实际极性与参考极性一致，则在电压的数值前取“+”号，反之取“-”号。

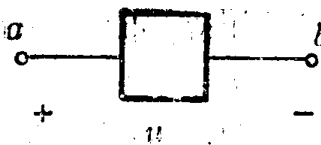


图1—5 电压的参考极性

例1—2：图1—5中，如已知 $u = 6\text{V}$ ，问何端电位较高？

解： $u = 6\text{V}$ ，数值前为“+”号，说明电压的实际极性与参考极性一致，故a端电位较高。

电压的参考极性也可用电压的参考方向表示。所谓电压的参考方向就是指由选定的高电位端指向低电位端的方向。在电路图中电压的参考方向也用箭头表示（图1—6），箭头所指方向为电位下降的方向。电压的参考方向还可以用双下标表示如 u_{ab} ，即假定a端电位高于b端电位。

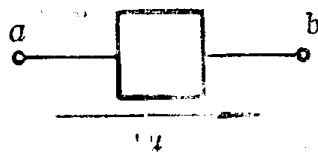


图1—6 电压的参考方向

1.2.3 电压、电流的关联参考方向

前面已经指出，电流、电压的参考方向都是可以任意选定的。在电路分析中，为了方便

起见，习惯上选取电流的参考方向与电压的参考方向一致，即电流从“+”极性端流向“-”极性端。这样选定的电流、电压的参考方向称为关联参考方向 (associated reference direction)，如图1—7 (a) 所示。采用关联参考方向时，在电路图中只须标示电压的参考方向或电流的参考方向即可，见图1—7 (b) 或 (c)。如无特别说明，本书一般均采用关联参考方向。

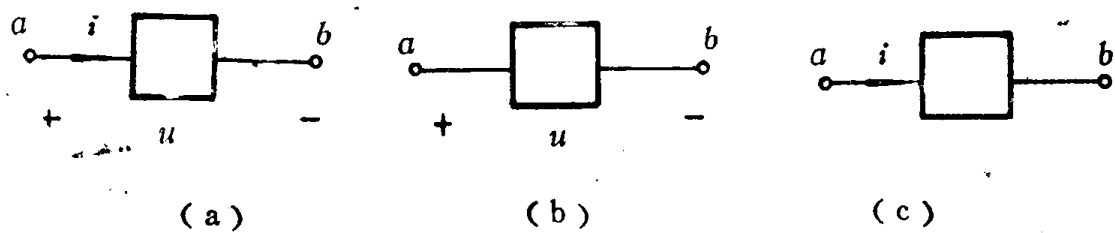


图1—7 关联参考方向

下面谈一下根据参考方向计算功率的问题。对一段电路来说，如果采用电压 u 、电流 i 的关联参考方向，则意味着我们假定正电荷从“+”极性端流入，这时电场力作功，所以这段电路是吸收能量的，功率用下式计算

$$p = ui \tag{1-1}$$

如 $p > 0$ ，则表示这段电路实际是吸收功率的；如 $p < 0$ ，则表示这段电路实际是产生功率的。因为 p 为负值，说明正电荷是从“-”极性端流入，这时电场力作负功。

式 (1—1) 中， u 的单位为伏， i 的单位为安， p 的单位为瓦 (w)，更大或更小的单位为：

$$1 \text{ 千瓦 (kw)} = 10^3 \text{ 瓦 (w)}, \quad 1 \text{ 毫瓦 (mw)} = 10^{-3} \text{ 瓦 (w)}$$

例1—3：图1—8中，已知 (1) $u = 10\text{v}$ ， $i = -1\text{A}$ ，
(2) $u = -10\text{v}$ ， $i = -1\text{A}$ ，试计算上述两种情况下，该电路吸收或产生的功率。

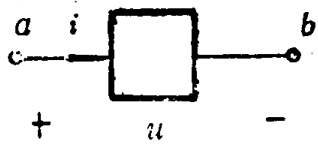


图1—8 例1—3电路

解：图中电流、电压是关联参考方向。

$$(1) \quad p = ui = 10 \times (-1) = -10\text{w}$$

负号表示该段电路实际是产生功率的。

$$(2) \quad p = ui = (-10) \times (-1) = 10\text{w}, \text{ 该段电路是吸收功率的。}$$

练习与思考：

1—1 试说明图1—9中电流的实际方向。

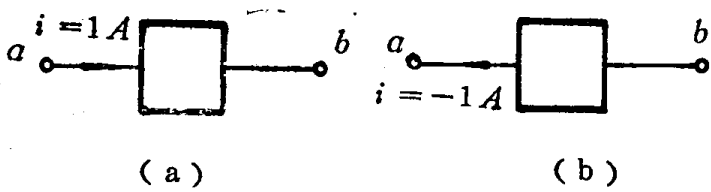


图1—9

1—2 在图1—10中，已知a端电位比b端电位高。下列各电压表示式中哪些是正确的？哪些是错误的？为什么？

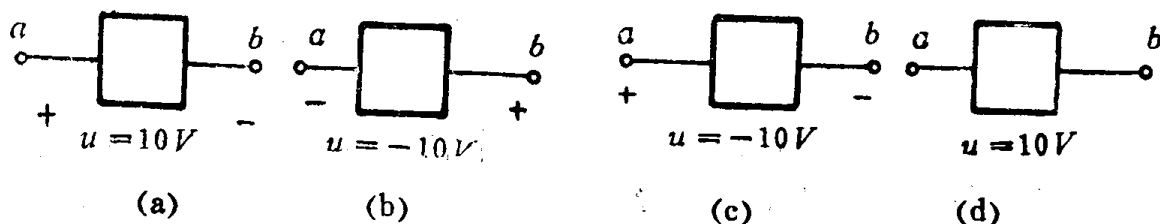


图1—10

1—3 通过以上两题，你对参考方向有何体会？

1—4 图1—8中，如 $u = -10\text{V}$ ， $i = 1\text{A}$ ，求 $p = ?$ 是吸收还是产生功率？

1.3 无源二端元件

最简单的电路元件是二端元件 (two terminal element)。因为这种元件只有二个端钮与外电路联接，所以称为二端元件。电流从元件的一端流入，从另一端流出，流入的电流与流出的电流大小相等，并有确定的数值；两端钮间的电压也有确定的数值。因此，二端元件的特性可以用它的电压 u 与电流 i 来描述。用来表示两者之间的关系的方程式称为该元件的特性方程或约束方程，即该元件端电压与通过其中电流必须服从的规律。

二端元件分为两大类，一类为无源二端元件，一类为有源二端元件。本节分别介绍三种基本的无源元件，即电阻元件，电容元件和电感元件。

1.3.1 电阻元件

电阻元件是实际电阻器理想化的模型。在任何时刻，二端元件的端电压 u 与通过元件的电流 i 的关系，可以在 $u-i$ 平面（电压取为纵坐标，电流取为横坐标；或者相反）上用一条曲线表示的元件称为电阻元件 (resistor)。这条曲线则称为电阻元件的伏安特性曲线（图1—11）。如果这条曲线是通过坐标原点的一条直线，则这种电阻元件称为线性 (linear) 电阻元件，它的符号如图1—12所示。否则，称为非线性电阻元件。线性电阻元件的端电压 u 与通过它的电流 i 成正比，服从欧姆定律，它的约束方程用下式表示：

$$u = Ri \quad (1-2)$$

$$\text{或 } R = \frac{u}{i} \quad (1-3)$$

式中 R 是一个正值常数，称为电阻。电压的单位为伏，电流的单位为安，电阻的单位为欧，用 Ω 表示。电阻较大的单位为千欧 ($\text{k}\Omega$)，兆欧 ($\text{M}\Omega$)。

$$1\text{k}\Omega = 10^3\Omega, \quad 1\text{M}\Omega = 10^6\Omega$$

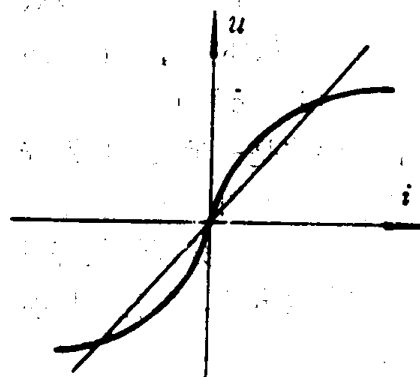


图1—11 电阻元件的伏安特性

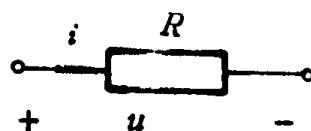


图1—12 线性电阻元件符号

在式(1-2)中, 令 $G = \frac{1}{R}$ (1-4)

则有 $i = Gu$ (1-5)

或 $G = \frac{i}{u}$ (1-6)

上述 G 称电阻元件的电导 (conductance), 单位为西门子, 简称西, 国际代号为 S 。

电阻和电导都是用来表示电阻元件的导电能力的, 导电性能好, 则电导大, 电阻小。

应当指出, 式(1-2)及式(1-5)只适用于电压、电流参考方向一致的情况。如果采用非关联参考方向(图1-13), 则式(1-2)及式(1-5)应改为

$$u = -Ri \text{ 或 } i = -Gu \quad (1-7)$$

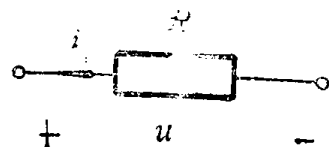


图1-13 电阻元件的非关联参考方向

采用关联参考方向时, 电阻元件中消耗的功率为

$$p = ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R} \quad (1-8)$$

在第一节中已提到, 我们研究的是集总电路, 故电阻元件是集总元件, 它只集中反映电流的热效应, 也就是说电流通过电阻元件只具有消耗电能的性质。因此, 电阻元件又称为耗能元件。

电阻元件简称电阻。我们常说电阻 R , 它既代表元件, 又是一种电路参数(parameter)。

练习与思考

1-5 在电路中, 如通过电阻元件的电流为零, 问元件两端的电位如何?

1-6 将式(1-2)中 u 与 i 对调一下, 并用 G 代替 R , 则得到式(1-5), 用相似的方法, 也可以将式(1-5)变换成式(1-2)。这种关系称为对偶(dual)关系。 u 与 i , R 与 G 称为对偶量。从你学过的电路知识中, 能否列举出其它对偶关系?

1.3.2 电容元件

电容元件也是一种集总电路元件, 它是实际电容器理想化的模型。最简单的实际电容器是平板电容器, 如图1-14所示, 它由两块金属平行板用电介质隔开构成。当两极板间加上电压时, 两极板上便分别聚集等量异号的电荷, 在介质中建立电场, 并贮存有电场能量。电容元件只有聚集电荷, 贮存电场能量的性质, 并不消耗能量, 故称贮能元件。

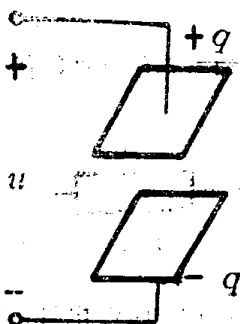


图1-14 电容器

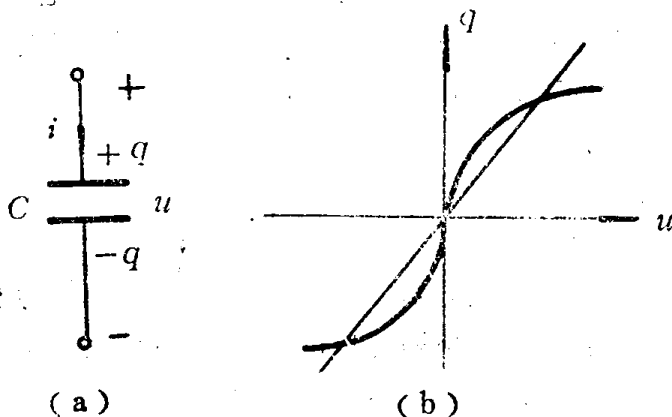


图1-15 电容元件

在任何时刻，二端元件的电荷 q 与其端电压 u 的关系在 $q-u$ 平面上能用一条曲线（图1—15b）表示的二端元件称为电容元件（capacitor）。如果这条曲线是一条通过坐标原点的直线，则这种电容元件称为线性电容元件，它的符号如图1—15a所示。否则，称为非线性电容元件。本书只讨论线性电容元件。

线性电容元件的 q 与 u 的关系可用下式表示

$$q = Cu \quad (1-9)$$

式中 C 是一个正值常数，称为电容。在国际单位制中， q 的单位为库（仑）， u 的单位为伏， C 的单位为法拉简称法用 F 表示。较小的单位如下：

$$1 \text{ 微法}(\mu F) = 10^{-6} \text{ 法}, \quad 1 \text{ 皮法}(pF) = 10^{-12} \text{ 法}$$

在电路分析中，我们感兴趣的是电容元件的端电压 u 与通过其中的电流 i ，两者的关系如何？下面着重讨论这个问题。

当电容元件两端的电荷发生变化时，在与元件相联接的导线中便有电荷运动，从而形成导线中的电流，即

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-10)$$

对线性电容元件来说，将式（1—9）代入上式得

$$i = C \frac{du}{dt} \quad (1-11)$$

式（1—11）表明了电容元件中的电流与电压的关系，它就是电容元件的特性方程或约束方程。电流与电压是导数关系，不是正比关系，这一特点与电阻元件不同。因此，称电容元件为动态元件（dynamic element）。

式（1—11）也可写成积分形式，即

$$\begin{aligned} u &= \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i(\xi) d\xi = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^{t_0} i(\xi) d\xi + \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i(\xi) d\xi \\ &= u(t_0) + \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i(\xi) d\xi \end{aligned} \quad (1-12)$$

式中时间变量改用 ξ 表示，是为了与积分上限 t 加以区别。 t_0 是一个指定时刻，例如计算时间的起始时刻。如果选 $t_0 = 0$ 是计时起点，则式（1—12）可写成

$$u = u(0) + \frac{1}{C} \int_0^t i(\xi) d\xi \quad (1-13)$$

应当指出，式（1—11）与式（1—12）都只适用于 u 、 i 为关联参考方向的情况。这两个公式都很重要，应深入理解和熟练掌握。

应当记住： i 与 u 的变化率成正比，只有当电容元件的电压发生变化时（即电荷有变化时），才有电流通过。当电压为直流电压时，电流为零，这时电容元件相当于开路。因此，电容元件有隔断直流电流的作用。电容电压变化越快，电流越大。

式（1—11）及式（1—12）还告诉我们，电容元件具有以下性质：

1) 电容电压具有连续性。对于有限电流值来说，电容电压的变化率不能为无限大，即电容电压不能发生跃变，必须是连续变化的。也就是说， $u \sim t$ 是一条连续曲线，或者说 $u(t)$ 是连续函数。电压、电流随时间变化的关系曲线，称电压、电流的波形。