

电路基础

吕天祥 魏绍芬 编

西南交通大学出版社

电 路 基 础

(修 订 版)

吕 天 祥 编
魏 绍 芬

西南交通大学出版社

内 容 提 要

本书是根据 1985 年 6 月在北京召开的铁道部高等工科院校电技术基础协会教材会议通过“关于加强电技术基础课教材建设的决定”编写的。

本书共有四章，主要讨论直流和交流电路的基本概念、基本定律和基本分析方法。

直流部分，从建立电路模型，根据电路基本规律介绍线性网络的基本稳态解算方法和非线性网络的基本知识。交流部分，介绍向量分析法和运用复数工具解决正弦交流电路的稳态影响。最后对电路的暂态分析介绍了两种解算方法。教材中编入了较多结合实际例题和习题。全书结构紧凑，叙述深入浅出，分析物理过程详细、易懂，便于自学。本书可作为高等院校、职工大学、函授大学、电视大学等非电专业的共同基础技术课的试用教材，也可供有关工程技术人员参考。

电 路 基 础

(修订版)

吕天祥 魏绍芬 编

*

西南交通大学出版社出版
(成都 二环路北一段 610031)

郫县印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 10.75
字数: 252 千字 印数: 30501—35500 册
1987 年 1 月第 1 版 1990 年 1 月第 2 版
1994 年 2 月第 3 版 1997 年 3 月第 2 次印刷

ISBN 7-81057-049-8/T·228

定价: 11.00 元

第三版前言

1993年1月在北方交通大学召开的铁道部高等工科院校电工学研究会第五届年会上,对已使用七年的非电专业电技术基础系列教材进行了总结。通过对使用本教材学生的考核、测试等工作,实践充分证明:本套教材符合国家教委的“高等工科院校非电专业电工学课程的基本要求”;对铁路高校乃至路外部分高校电工学的课程建设起了积极作用;得到路内、外高校的肯定。为适应电技术的迅速发展,进一步提高质量,作者在原教材基础上进行了增删、修订。

编者

1993年6月

第二版前言

于1988年10月在四川西南交通大学召开的铁道部高等工科院校电技术基础协会年会上,对初版教材在各院校使用以来的情况进行了总结。会议肯定本教材符合高等工科院校非电专业电技术基础教学大纲的要求,为进一步提高质量,对各章进行详细讨论。作者根据会议精神在原教材基础上作部分修改和补充,书中所有电气图形符号均采用国家标准,并由上海铁道学院朱典丰副教授主审定稿。

编 者

1989年8月

第一版前言

《电路基础》一书，是根据1985年6月在北京召开的铁道部高等工科院校电技术基础协会教材会议通过“关于加强电技术基础课教材建设的决定”编写的。

本教材包括电路分析的基本概念、基本定律和基本方法。第一章从电气设备能量传送、转换观点建立电路模型，根据电路基本规律通过对直流电路的讨论，介绍了线性网络的最基本的稳态解算方法和非线性网络的基本知识。第二章、第三章介绍了向量分析法，并运用复数工具解决正弦交流电路的稳态响应。第四章通过对一阶电路的暂态分析阐明换路过程的现象、本质和特点，并介绍了两种解算方法。

在教材中编入了较多的例题和习题，以便读者能较好的掌握基本内容，培养分析问题和解决问题的能力。同时叙述深入浅出，分析物理过程详细易懂，便于自学。通过本课程的学习可为以后的模拟电子电路、数字电路以及电机等课程的学习准备必要的基础理论知识。

本书在编写过程中参考了国内外一些近年来出版的有关教材，力求适应时代的发展。

本书第一章、第三章、第四章由长沙铁道学院吕天祥同志编写。第二章由北方交通大学魏绍芬同志编写。

本书由上海铁道学院朱典丰同志主审，参加校审的有刘芳田、邵强华、阎学珍等同志。北方交通大学、西南交通大学、华东交通大学、石家庄铁道学院、大连铁道学院，上海铁道学院、兰州铁道学院和长沙铁道学院的有关同志，参加了1986年4月在上海召开的教材审稿会议，提出了许多宝贵意见，在此表示衷心感谢。

由于我们水平有限，加上编写时间仓促，书中可能存在不少缺点和错误。希望读者，特别是使用本书的教师和同学积极提出批评和改进意见，以便修订提高。

编 者

1986年6月

目 录

第一章 直流电路

第一节 电路	1
第二节 理想电路元件模型	6
第三节 独立电源	10
第四节 含源支路的串联、并联和混联	16
第五节 电路的工作状态	18
第六节 克希荷夫定律	21
第七节 电路中各点电位的计算	24
第八节 支路电流法	26
第九节 节点电位法	29
第十节 叠加原理	32
第十一节 有源二端网络等效电源定理	34
第十二节 受控电源模型	38
第十三节 非线性电阻电路分析	42
*第十四节 星形网络与三角形网络等效变换	46
习 题	48

第二章 正弦交流电路

第一节 正弦交流电路的基本概念	56
第二节 正弦交流电的基本参数	57
第三节 正弦交流电量的矢量表示法	61
第四节 正弦交流电量的相量表示法(符号法)	63
第五节 纯电阻交流电路	66
第六节 纯电感交流电路	67
第七节 纯电容交流电路	71
第八节 电阻、电感、电容串联电路、复数阻抗	75
第九节 电阻、电感、电容并联电路、复数导纳	79
第十节 功率因数的提高	81
第十一节 电路中的谐振	85
第十二节 复杂电路	89
第十三节 非正弦周期电流的电路	93

习 题.....	100
----------	-----

第三章 正弦三相交流电路

第一节 概 述.....	106
第二节 三相交流电源.....	106
第三节 三相负载.....	111
第四节 对称三相电路的功率.....	116
第五节 不对称三相电路的讨论.....	119
*第六节 三相电路中功率的测量	122
第七节 安全用电.....	125
习 题.....	129

第四章 电路的暂态分析

第一节 换路定律与电路初始状态的计算.....	131
第二节 RC 电路的零输入响应	134
第三节 RC 电路的零状态响应	137
第四节 RC 电路的完全响应	139
第五节 RC 微分电路和积分电路	143
第六节 RC 电路对方波激励的响应	146
第七节 RL 电路的暂态过程	148
第八节 一阶电路暂态分析的三要素法.....	152
*第九节 二阶电路的概念	155
习 题.....	157

部分习题参考答案	160
----------------	-----

第一章 直流电路

第一节 电 路

一、电路的作用

我们在高中和大学的物理课程中都曾经接触过电路。在人们的日常生活、工农业生产、科学研究等任何领域都要用电，用电就离不开电路，因此要研究电路。

电路是为了某种需要由若干电工设备或元件按一定方式组成的总体，是电流的通路。

电路的形式是多种多样的，就其作用而言，可分两大类：在电力系统中组成的电路（如图 1—1），主要是传送、分配和变换电能。我们将侧重讨论能量传送和转换的效率。例如发电厂的发电机将热能、水能或核能转换成电能，通过变电所的变压器、输电线将电能送到用电设备，再根据需要将电能转换成机械能、热能和光能等其他形式的能量；在通信、控制和计算机科学领域中，则是为了信息的传输和处理——传送信号或对信号进行必要的加工。例如，扩音机电路，如图 1—2 所示。先由话筒把语言或音乐（通常称信号）转换成电压或电流，即

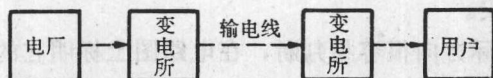


图 1—1 电力系统电路示意框图



图 1—2 扩音机电路示意图

电信号。而后通过放大器电路传递到扬声器，把电信号还原为语言和音乐。当然在这过程中也完成能量的传递和分配，然而，这类问题主要关心的是如何准确地传递和处理信息，如何使信号不失真。无论哪一类电路，都是建立在同一电路理论基础上的。

二、电路的组成

电路一般由电源、负载及中间环节三部分组成。

电源是供应电能的装置，如：电池、发电机、各种信号源等。它把热能、水能、原子能、太阳能或化学能等非电能转变为电能。

负载是用电设备，如电灯、电炉、电动机、扬声器等。它们将电能转换为其他形式的能量如光能、热能、机械能、声能等。

中间环节是传递、分配、控制和保护的装置。如输电线、变压器、配电装置、开关、熔断器、扩大器等。

日常生活中的手电筒就是一个最简单的电路。这个电路是由干电池、灯泡、连接导体（手电筒壳）和开关组成的。干电池是一种电源，在其正、负极间能保持一定的电压，对电路

提供电能；灯泡实际上是一个电阻器，是一个电流流过时能发热发光的用电部件；开关和连接导体是使电流构成通路和起控制作用必不可少的中间环节。

电路中由负载和连接导线等中间环节组成的部分称为外电路，而电源内部的通路称为内电路。

三、电流的参考方向，电压的参考极性

对电路进行分析，重要问题之一就是决定电路各部分的电压与电流。电压、电流的大小和方向都不随时间变化的电路，叫做直流电路；电压、电流的大小和方向都是随时间变化的电路，则叫交流电路。

物理学中指出：电荷在电场力作用下运动形成电流。电流的大小（强弱）用电流强度来衡量，电流强度等于单位时间内通过导体某横截面的电量。电流强度通常简称为电流。用字母*i*表示，即

$$i = \frac{dq}{dt} \tag{1-1}$$

式中，*dq* 为在极短时间 *dt* 内通过导体某横截面的电量。

习惯上规定：正电荷运动的方向作为电流的方向。

如果电流的大小和方向都不随时间变化，那么这种电流称为直流。以后，不随时间变化的电量，一般用大写字母表示，随时间变化的电量，一般用小写字母表示。直流电流 *I* 的表示式可以写成

$$I = \frac{Q}{t} \tag{1-2}$$

在国际单位制中：*Q* 为电量，单位为库仑（1库仑 = 6.25×10^{18} 电子电量）；*t* 为时间，单位为秒；*I* 为电流强度，单位为安培（库仑/秒），简称安。

在简单的直流电路中，各元件中电流的实际方向很容易判断，在电路图上标明它的实际方向并不困难。但当电路比较复杂时，电流的实际方向往往难以在电路图上标出。例如，图 1—3 所示的惠斯顿电桥电路，在电桥不平衡时，检流计 *G* 中的电流是从 *c* 流向 *d* 还是从 *d* 流向 *c*，必须通过计算才能确定。对于交流电路，电流的方向是随时间变化的，根本无法在电路图上用一个固定的箭头来表示实际方向。为了解决这一困难，我们引入参考方向这一概念。一段电路中电流的方向有两个可能，可以任意选定其中一个方向作参考方向，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。这样，我们就可以利用电流的正负值，结合参考方向来表明电流的实际方向。例如图 1—4，先指定了电流的参考方向，用实线箭头表示，当测出电流为正值（*i* > 0）时，即

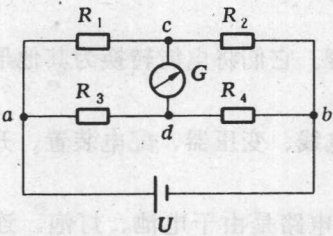


图 1—3 电桥电路

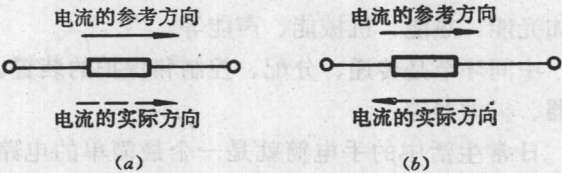


图 1—4 电流的参考方向

表示实际方向（用虚线箭头表示）和参考方向一致，如图 1—4 (a)。若测出电流为负值 ($i < 0$) 时，即表示实际方向和参考方向相反，如图 1—4 (b)。

今后，电路图中所标的电流方向箭头都是参考方向箭头，不一定是电流的实际方向。电流的参考方向又叫电流的正方向。

显然，在电路图上未标出参考方向的情况下，电流的正负值是毫无意义的。因此，在分析电路时，我们首先任意假定电流的参考方向，并以此为准去进行分析计算。

电荷在电路中运动，就必然发生能量的交换。电荷在电路的一些部分（电源处）获得电能，而在另一些部分（如电阻处）消耗电能。这种电能的得失是和其他形式能量相互转化的结果。为了衡量电场力对电荷做功的能力，引入电压这个物理量。电压有时也叫做电位差。在电路中， a 、 b 两点之间的电压表明了单位正电荷由 a 点移到 b 点时电场力所作的功。即

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{Q} \quad (1-3)$$

在国际单位制中： W_{ab} 为电荷 Q 在移动过程中电场力所做的功，单位为焦耳 (J)； U_{ab} 为电压，单位为伏特 (V)。

如果 $U_{ab} > 0$ ，则表示正电荷由 a 点移到 b 点通过这段电路时电场力是做功的，也就是这段电路吸收电能。换句话说，正电荷在 a 点所具有的能量（电位能） W_a 比它在 b 点时所具有的能量（电位能） W_b 要大，其差额等于这段电路吸收的能量。

$$U_{ab} = \frac{W_a - W_b}{Q} = \frac{W_a}{Q} - \frac{W_b}{Q} = V_a - V_b \quad (1-4)$$

式中， V_a 、 V_b 分别为 a 点和 b 点的电位，单位为伏特 (V)。

在电路中电压的实际方向总是从高电位指向低电位，或者说，电压的实际方向是电位降的方向。用“+”号表示高电位，“-”号表示低电位。当两点间电压的实际极性或方向不易判断或随时间改变时，我们需要象对电流规定参考方向一样，对电压规定参考极性。电压的参考极性是任意在元件或电路的两端用“+”“-”符号来表示。“+”号表示高电位端，“-”号表示低电位端；而从任意选定的“+”极指向“-”极的方向叫做电压的参考方向（用箭头表示）。如图 1—5 所示。当电压的实际极性（或实际方向）和参考极性（或参考方向）一致时，电压为正值；反之则为负值。今后，在分析电路时，应先在电路图上标明电压的参考极性（或参考方向），根据计算、测量结果的正负，确定电压的实际极性（或实际方向）。

综上所述，在分析电路时，我们既要为通过元件的电流选定参考方向，也要为元件二端的电压假定参考极性，彼此可独立无关地任意假定。但为了方便起见，我们常采用相关的参考定向法则：电流的参考方向与电压参考方向从“+”极到“-”极的方向一致，即电流与电压降方向一致，如图 1—6 (a) 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，如图 1—6 (b)、(c) 所示。

功率是电路分析中常用到的另一个物理量。图 1—6 (a) 表示电路的一部分，图中方框代表电气设备或元件的组合。采用相关定向法则，如图 1—6 所示。设在 dt 时间内由 a 点转移到 b 点的正电量为 dq ，且由 a 到 b 为电压降，其值为 u ，则这部分电路吸收的电能为

$$dW = u dq$$

上式表明有多少电能转换为其他形式的能量。因此，单位时间内消耗的电能，即电功率

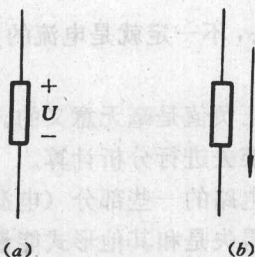


图 1—5 电压的参考极性和参考方向

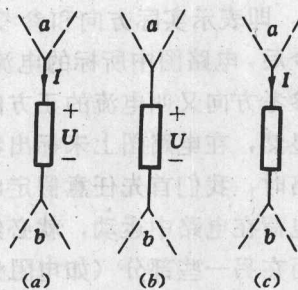


图 1—6 相关的参考方向

$$p = \frac{dW}{dt}$$

但
故

$$dq = idt$$

$$p = ui$$

(1—5a)

在直流情况下

$$P = UI$$

(1—5b)

在国际单位制 (SI) 中, 电功率的单位为瓦特, 简称瓦 (W)

$$1 \text{ 瓦特} = 1 \text{ [伏特]} \times 1 \text{ [安培]}$$

根据 (1—5) 式, 当知道了某个元件或某段电路的电压和电流时可算出其功率。采用相关定向, 则当算得的电功率为正值时, 表示这部分电路消耗电功率, 是负载; 算得的功率为负值时, 表示这部分电路产生和送出电功率, 是电源。

根据式 (1—5a), 在 t_1 时间内, 电路消耗的电能

$$W = \int_0^{t_1} p dt \quad (1—6a)$$

直流时

$$W = Pt_1 \quad (1—6b)$$

在国际单位制中, 电能的单位为焦耳 (J)

$$1 \text{ [焦耳]} = 1 \text{ [瓦特]} \times 1 \text{ [秒]}$$

电能的单位常用千瓦小时来计量, 工业上用“度”表示

$$\begin{aligned} 1 \text{ [度]} &= 1 \text{ [千瓦小时]} = 1000 \text{ [瓦]} \times 1 \text{ [小时]} \\ &= 3600000 \text{ 焦耳} = 3.6 \times 10^6 \text{ 焦耳} \end{aligned}$$

在电路分析中用到的基本物理量是电流、电压和电功率, 其相应的单位是安培 (A)、伏特 (V) 和瓦特 (W) 等, 但在实际应用中有时感到这些单位太大或太小, 使用不便, 因此, 我们常在这些单位前加上表 1—1 所示的词头, 用来表示这些单位乘以 10^n 后所得的辅助单位, 例如

$$1 \text{ 毫安 (mA)} = 1 \times 10^{-3} \text{ 安 (A)}$$

$$1 \text{ 千伏 (kV)} = 1 \times 10^3 \text{ 伏 (V)}$$

$$1 \text{ 微秒}(\mu\text{s})=1\times 10^{-6}(\text{s})$$

$$1 \text{ 兆瓦}(\text{MW})=1\times 10^6 \text{ 瓦}(\text{W})$$

部 分 国 际 制 词 头

表 1—1

词 头		皮 可	纳 诺	微	毫	千	兆	吉 咖	太
符 号	中 文	皮	纳	微	毫	千	兆	吉	太
	国 际	p	n	μ	m	k	M	G	T
因 数		10^{-12}	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	10^3	10^6	10^9	10^{12}

例 1—1 图 1—7 所示直流电路中，方框代表电源或电阻（负载）。各电压、电流的参考方向如图所选定，且经计算或实测得知：

$$I_1=2 \text{ A}, I_2=1 \text{ A}, I_3=-1 \text{ A}; U_1=1 \text{ V},$$

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

$$U_6=-3 \text{ V}.$$

思考讨论部分：试标出各电流的实际方向及各电压的实际极性，并说明测量 I_1 、 I_3 、 U_1 及 U_3 时，电流表及电压表是如何接入？

计算部分：试求电路中 a 、 b 两点间和 a 、 d 两点间的电压。

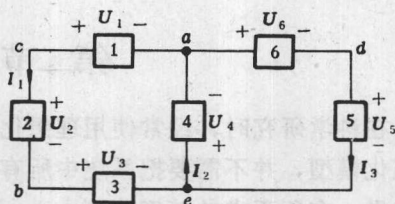


图 1—7 电路框图

解 求解这类问题时，常采用双下标记法，如 U_{ab} 、 U_{ad} 等，双下标字母即表示计算电压降时所遵循的方向。例如双下标 ab 表示由 a 点到 b 点计算电压降，而下标 ba 表示由 b 点到 a 点计算电压降。

双下标的前后次序任意选定，但一经选定，即应以此为准去求两点之间路径上全部电压降的代数和。

本题中

$$U_{ab}=-U_1+U_2=- (1) + (-3) =-4 \text{ V}$$

因选定由 a 到 b 计算电压降，而 U_1 的参考极性与之相反，故取负号。至于括弧内的正负号则表明电压本身数值的正负，来源于各电压的参考极性与实际极性是否一致。两套正负号不要互相混淆。

最后计算所得结果为负值，说明 a 到 b 不是电压降而是电位升。

如果计算 U_{ba} ，则得

$$U_{ba}=-U_2+U_1=- (-3) + (1) =4 \text{ V}$$

计算结果为正值说明由 b 到 a 确实是电压降，即 b 点为高电位而 a 点为低电位。

至于 ad 间的电压，则由

$$U_{ad}=U_6= (-3) =-3 \text{ V}$$

可知 a 点是低电位， d 点是高电位。

例 1—2 电路如图 1—7，已知各电压、电流如例 1—1 所示，试求各方框代表的元件所消耗或供应的电功率。

解 $P_1 = -U_1 I_1 = -1 \times 2 = -2 \text{ W}$ (供应)

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

$P_3 = U_3 I_1 = 8 \times 2 = 16 \text{ W}$ (消耗)

$P_4 = U_4 I_2 = (-4) \times 1 = -4 \text{ W}$ (供应)

$P_5 = U_5 I_3 = 7 \times (-1) = -7 \text{ W}$ (供应)

$P_6 = U_6 I_3 = (-3) \times (-1) = 3 \text{ W}$ (消耗)

就整个电路来说

消耗的总功率 $= 16 + 3 = 19 \text{ W}$ (负载消耗的电能)

供应的总功率 $= 2 + 6 + 4 + 7 = 19 \text{ W}$ (电源送出的电能)

显见, 消耗的功率与供应的功率是相等的, 这表明在一个电路中消耗的功率与供应的功率总是平衡的。

第二节 理想电路元件模型

在科学研究时, 经常使用理想化的模型来描述所研究的物理系统。一个具有实用价值的理想化模型, 并不需要把系统中所有的一切不分主次地一一表示出来。但是, 根据模型分析的结果, 在所要求的精度范围内必须与物理系统的实际测量结果相符合。电路理论同样也是建立在模型概念的基础上, 为了分析和设计实际电路, 通常将它理想化, 建立电路的模型。

各种实际电工装置在一定条件下都可以求得它的模型, 模型表征或近似地表征装置的性质和其中发生的物理现象。模型电路由一些理想元件构成。值得注意的是: (1) 模型并不是实际装置, 而是实际装置的科学抽象; (2) 用理想元件模型替代实际装置是一种逼近。当用一个理想元件模型不能最有效逼近实际装置时, 就可用多个或多种理想元件模型的组合来逼近; (3) 用理想元件模型电路 (以后简称电路) 来替代实际电路的分析, 是一种有效的科学方法, 在今后学习中切不可将电路和实际电路混为一谈。

实际电工装置的运用都和电磁现象有关, 我们把分布在空间的电磁过程用三种最基本的理想元件集中地表示出来, 分析问题时不必再考虑电磁场在空间的分布情况, 这种电路称为“集中参数电路”。本书研究的都是集中参数电路。

电路模型由三类基本元件组成: 供能元件、耗能元件和储能元件。

供能元件指能源或电源, 可理想化为电压源和电流源两种情况, 根据性质不同, 又分为独立源和受控源。这将在第三节和第十二节中讨论。

一、耗能元件

凡是在电工设备中不可逆地将电能转换成热能、光能或其他形式的能量, 就可用“电阻”这个理想元件来表征消耗电能的特征。例如电灯、电炉等都可以用电阻来代替。

电阻 R 的电路图符号在图 1-8 中表示。通过一个电阻元件的电流 i 与元件两端的电压 u 成正比, 与元件的电阻 R 成反比, 这就是众所周知的欧姆定律。其数学模型

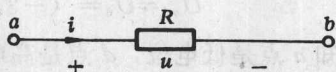


图 1-8 电阻符号

$$i = \frac{u}{R} \quad (1-7)$$

或

$$u = Ri \quad (1-8)$$

$$R = \frac{u}{i} \quad (1-9)$$

国际单位制中，电阻的单位为欧姆，简称欧(Ω)。

$$1[\text{欧姆}] = \frac{1[\text{伏特}]}{1[\text{安培}]}$$

必须指出，在电阻中，电流的实际方向一定是从高电位流向低电位，在应用式(1-7)~(1-9)式时，必须符合相关定向。若所选电流参考方向是从低电位流向高电位时，电流取负值。

电阻的倒数叫电导，用 G 表示，即

$$G = \frac{1}{R} = \frac{i}{u} \quad (1-10)$$

国际单位制中电导的单位为西门子，简称西(S)。

用电导表征电阻元件时，欧姆定律为

$$i = Gu \quad (1-11)$$

在直流情况下，欧姆定律写成

$$U = RI \quad (1-12)$$

$$I = GU \quad (1-13)$$

电阻元件的电压与电流总是同时并存的，在 t 时刻其电压(或电流)是由同一时刻的电流(或电压)所决定的，因此，电阻元件是一种“无记忆”元件，换句话说， t 时刻以前电阻上的电压或电流的数值对现在的数值是没有影响的。

在直角坐标系中，以外加电压为横坐标(或纵坐标)，通过电阻的电流为纵坐标(或横坐标)，对于一系列的电压和电流值就可画出一条代表电流与电压之间的函数关系的曲线，这种曲线叫做电阻的伏安特性曲线，简称伏安特性。如果一个电阻的伏安特性是通过坐标原点的一条直线(见图1-9a)，就定义为线性电阻。线性电阻的电阻值可由它的伏安特性的斜率来确定，是一个常数。也就是说， R 等于常数与伏安特性具有线性的特点是同一含义。

如果电阻元件的电阻值随着通过它的电流的大小和方向而变化，或随着加在它两端电压的大小和方向而变化(见图1-9b)，其伏安特性不是直线，称为非线性电阻。

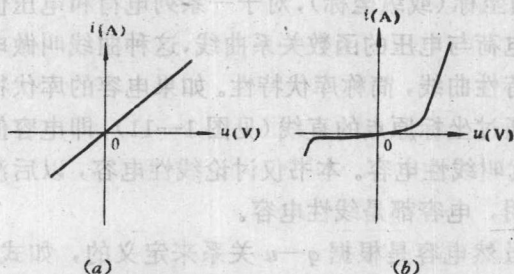


图 1-9 电阻的伏安特性

由于电阻元件的电流和电压降的实际方向总是一致的，所以算出的电功率任何时刻总是正值，是消耗电能。因此，电阻是一

种耗能元件。直流电路时可按下式计算

$$P = I^2 R = \frac{U^2}{R} = UI \quad (1-14a)$$

或

$$P = U^2 G = UI \quad (1-14b)$$

例 1—3 一只 220 伏、100 瓦的白炽灯，正常工作时通过的电流和灯丝的电阻是多少？

解 由式 (1—14a)，通过灯丝的电流为

$$I = \frac{P}{U} = \frac{100}{220} = 0.45 \text{ A}$$

灯丝的电阻为

$$R = \frac{U^2}{P} = \frac{220^2}{100} = 484 \Omega$$

在选用电阻器时，一个重要的指标是功率，若超过额定功率使用，将使电阻器过热而损坏或使用寿命大大减小。例 1—3 的白炽灯使其通过的电流为 0.5 安，此时消耗电能为 121 瓦，将使白炽灯很快因过热而损坏。

二、储能元件——电感、电容元件

电容器能够储存电荷。凡用绝缘介质隔开的两个导体就构成了电容器。在外电源作用下，极板上便能分别聚集等量的异性电荷，外电源撤走后，极板上的电荷仍能依靠电场力的作用互相吸引，又因中间被绝缘介质所隔开不能中和，这样电荷可长期地储存起来。电荷聚集的过程也就是电场建立的过程，在这过程中外力所做的功应等于电容器中所储藏的能量。因此我们说电容器是一种储能元件。

电容 C 的电路图符号如图 1—10 所示。物理学中指出：在任一时刻极板上聚集的电量取决于同一瞬间电容元件两端的电压。用极板上聚集的电荷 q 与其两端电压的比值定义为电容器的电容，若其比值为常数，则叫做线性电容，用符号 C 表示，即

$$C = \frac{q}{u} \quad (1-15)$$

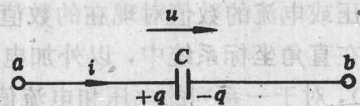


图 1—10 电容的符号

在国际单位制中，电容的单位为法拉，简称“法”(F)。

在直角坐标系中，以电容元件储存的电荷 q 为纵坐标（或横坐标），电容元件两端的电压 u 为横坐标（或纵坐标），对于一系列电荷和电压值就可得到电荷与电压的函数关系曲线，这种曲线叫做电容的库伏特性曲线，简称库伏特性。如果电容的库伏特性是一条通过坐标原点的直线（见图 1—11），即电容值是常数，就叫线性电容。本书仅讨论线性电容，以后没有特殊说明，电容都是线性电容。

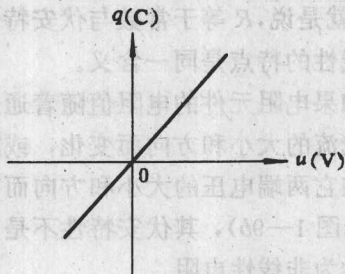


图 1—11 电容的库伏特性

虽然电容是根据 $q-u$ 关系来定义的，如式 (1—15) 所示，但在电路分析中常用的是电容器端电压与电流之间的关系。电容两端电压不变，则极板上电荷稳定不变，这时电路中没有电流。当它的两端电压发生变化

时, 聚集的电荷也相应发生变化, 这时才有电荷在电路中移动, 形成电流。

设电容的端电压 u 和电流 i 的参考方向一致, 如图 1—10 所示, 并设 q 为电流参考方向箭头所指极板上的电荷, 其值为正。由

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

及

$$q = Cu$$

可得

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt} \quad (1-16)$$

这就是线性电容的电压 u 和电流 i 的基本关系式。

式 (1—16) 表明: 某一时刻电容的电流取决于该时刻电容两端电压的变化率。如果电压不变, 则 $\frac{du}{dt}$ 等于零, 也就是说, 虽有电压, 电流却为零。电容电压变化越快, 电流也越大。必须注意该关系式是在相关定向为前提成立, 如果 u 和 i 的参考方向不一致, 则

$$i = -C \frac{du}{dt} \quad (1-17)$$

我们也可以把电容电压 u 表示为电流 i 的函数, 对 (1—16) 式积分, 可得

$$u(t) = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i(t') dt' \quad (1-18)$$

式中 t ——积分上限, 正好是 t 时刻;

t' ——时间变量。

式 (1—18) 表明: 在某一时刻 t 时电容电压的数值并不取决于这一时刻的电流值, 而取决于从 $-\infty$ 到 t 所有时刻的电流值, 也就是说电容电压与电流过去的全部历史有关。这就显出电容电压有“记忆”的作用, 电容元件是一种“记忆元件”。这和电阻元件完全不同, 电阻两端的电压仅决定于同一时刻电阻元件中所流过的电流。

在选用电容器时, 一个重要指标是电容器的耐压值, 绝缘介质不损坏的电压。外加电压不容许超过规定的耐压值。

电感器能够储存能量于磁场之中。当电流通过电感线圈时, 线圈周围就建立起磁场, 储存了磁场能量, 所以电感线圈也是储能元件。

实际的电感线圈除具有储存磁能的主要性质外, 尚要消耗一些电能——发热。也就是说, 总是有一点电阻。如果消耗的能量忽略不计, 则可用理想电感元件作为它的模型, 简称为电感, 在电路图中用符号 L 表示, 如图 1—12 所示。

根据楞次—法拉第定律, 我们知道电感元件所交链的磁链 ψ 与元件中的电流 i 的关系

$$\psi = f(i)$$

在国际单位制中, ψ 为磁链 (或磁通), 其单位为韦伯 (Wb), 电流单位为安培。

在 $i-\psi$ 的直角坐标系中, 以自感磁链 ψ 为纵坐标 (或横坐标), 电流 i 为横坐标 (或纵坐标), 对一系列 ψ 和 i 值, 就可获得一条磁链与电流之间的函数关系曲线, 叫做电感的韦安特性曲线, 简称韦安特性, 如果韦安特性是一条通过坐标原点的直线, 如图 1—13 所示, 称为线性电感。