

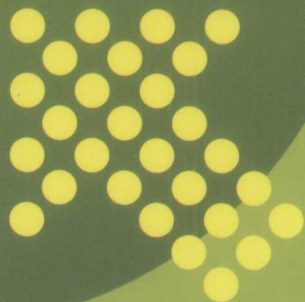
21世纪高等学校规划教材



DIANGONG JISHU

电工技术

李海 崔雪 编著



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

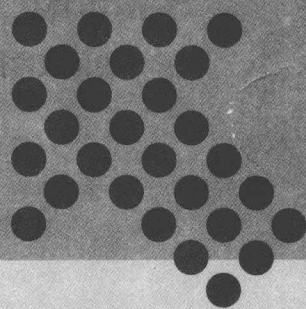
21世纪高等学校规划教材



DIANGONG JISHU

电工技术

编著 李 海 崔 雪
主审 朱承高



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为 21 世纪高等学校规划教材。

全书共分为 2 篇 13 章, 主要内容包括电路元件及基本定律、电路分析方法和电路定理、电路的暂态分析、正弦交流电路、三相电路、非正弦交流电路、磁路与变压器、异步电动机、直流电动机、同步电机、控制电机、电气自动控制技术和电力系统及设备。

本书可作为普通高等学校非电专业电工学系列“电工技术”课程的教材, 也可作为其它强弱电结合专业的教材和有关技术人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

电工技术/李海, 崔雪编著. —北京: 中国电力出版社, 2010.9

21 世纪高等学校规划教材

ISBN 978 - 7 - 5123 - 0870 - 1

I. ①电… II. ①李…②崔… III. ①电工技术—高等学校—教材
IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 179827 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2010 年 10 月第一版 2010 年 10 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 22.25 印张 536 千字

定价 36.00 元

敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签, 加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前 言

近代科学技术发展的特点是继承积累和多种学科成果的综合。前者体现在继承前人的知识、经验和成果的基础上向前发展；而后者是依靠和综合多种学科的成果，将多种技术结合起来实现科学技术的飞跃或更快的发展。

多种学科成果综合离不开现代仪器、机器，现代仪器、机器多采用多种先进技术形式综合集成，其根本上是电工电子技术的集成。在今天，无论从事何种职业都离不开电工知识和技能掌握。

本教材是根据笔者前两版的同名教材重新编著而成的，本次修订考虑到电工电子新技术的不断产生和发展，人们对电工电子技术应用需求和内容的扩展要求，以及教学手段的不断更新等因素，在体系上作了些微调，对前几版的传统内容进行精选和压缩，考虑到部分专业的特殊需求，增加了发电厂电气设备的相关内容，力求使教材适应非电类更多专业的需求和应用。

本次修订编写工作由李海、崔雪承担。第7~11章由崔雪编写，第1~6、12、13章由李海编写。全书由李海统稿。

上海交通大学朱承高教授担任本书主审。

本书引用了许多同仁的优秀成果，在此对原作者表示衷心感谢。

编 者

2010年5月于武汉大学

目 录

前言

第1篇 电 路 基 础

第1章 电路元件及基本定律	1
1.1 电路及其基本物理量	1
1.1.1 电路及其分类	1
1.1.2 电路中的基本变量	2
1.1.3 物理量的方向	2
1.2 电路基本元件	3
1.2.1 独立电源	3
1.2.2 电阻元件	4
1.2.3 电容元件	5
1.2.4 电感元件	6
1.2.5 受控源	7
1.3 电路基本定律	8
1.3.1 电路结构术语	8
1.3.2 基尔霍夫定律	9
1.4 元件连接及等效简化	11
1.4.1 无源元件的串并联	11
1.4.2 元件的Y形与 Δ 形连接	13
1.4.3 理想电源间的连接	14
1.4.4 实际电源的电路模型	16
1.5 电路工作状态	17
1.5.1 电气设备的额定值	17
1.5.2 电源工作状态	18
习题	19
第2章 电路分析方法与电路定理	22
2.1 电位计算及电路的简化表示	22
2.1.1 电位计算	22
2.1.2 电路的简化表示	23
2.2 电路一般分析方法	23
2.2.1 支路电流法	23
2.2.2 结点电压法	25

2.3	分解法及端口网络	28
2.3.1	端口网络	28
2.3.2	端口网络的连接	28
2.3.3	端口的伏安关系	29
2.3.4	单口网络的输入电阻	30
2.4	电路定理	31
2.4.1	齐性定理	31
2.4.2	叠加定理	32
2.4.3	替代定理	35
2.4.4	罗森定理	36
2.4.5	戴维宁—诺顿定理	37
2.4.6	最大功率传输定理	42
2.5	含受控源电路分析方法	43
2.6	非线性电阻电路分析	45
2.6.1	非线性电阻网络的基本概念	45
2.6.2	非线性电阻参数	46
2.6.3	非线性电阻电路分析方法	47
	习题	50
第3章	电路的暂态分析	55
3.1	暂态分析的概念	55
3.1.1	暂态产生的原因	55
3.1.2	换路定则及LC的暂态模型	55
3.1.3	零输入和零状态	57
3.2	RC一阶电路的零输入响应	59
3.2.1	RC串联电路的零输入响应	59
3.2.2	时间常数	60
3.3	RC一阶电路的零状态响应	62
3.4	RC一阶电路的全响应	65
3.4.1	全响应	65
3.4.2	全响应的求解	65
3.5	一阶电路的三要素法	67
3.6	微分电路与积分电路	70
3.6.1	微分电路	70
3.6.2	积分电路	71
3.7	RL一阶电路的暂态分析	71
3.7.1	零输入响应	72
3.7.2	零状态响应	73
3.7.3	全响应	74
3.8	二阶电路的暂态分析	75

3.8.1	二阶电路的零输入响应	75
3.8.2	二阶电路的零状态响应	79
习题		80
第4章	正弦交流电路	84
4.1	正弦交流电的基本概念	84
4.1.1	正弦量的三要素	84
4.1.2	相位差	85
4.1.3	正弦量的有效值	86
4.2	正弦量的相量表示	86
4.2.1	电工数学知识	86
4.2.2	正弦量的相量表示法	87
4.2.3	正弦量微分与积分的相量	88
4.3	电路约束的相量形式	90
4.3.1	元件 VCR 的相量形式	90
4.3.2	基尔霍夫定律的相量形式	93
4.4	复阻抗与复导纳	94
4.4.1	复阻抗与复导纳的概念	94
4.4.2	复阻抗和复导纳的计算	95
4.5	正弦稳态分析的相量法	98
4.5.1	正弦稳态分析的复数算法	98
4.5.2	正弦稳态分析的相量图法	102
4.6	正弦交流电路的功率	105
4.6.1	交流电路的功率概念	105
4.6.2	单一元件的功率特性	106
4.6.3	阻抗元件的功率特性	109
4.6.4	功率因数的提高	110
4.7	正弦稳态的端口网络分析法	112
4.7.1	二端口网络的方程	113
4.7.2	二端口网络的参数	113
4.7.3	二端口网络的连接	118
4.7.4	二端口网络的等效电路	121
习题		122
第5章	三相电路	126
5.1	三相电路的概念	126
5.1.1	三相电源	126
5.1.2	三相电压	127
5.2	三相电路的计算	128
5.2.1	负载星形连接	128
5.2.2	负载三角形连接	131

5.3 三相电路的功率	133
习题与思考题	134
第6章 非正弦交流电路	136
6.1 非正弦交流电路的计算	136
6.1.1 非正弦周期量的傅立叶级数	136
6.1.2 非正弦周期量的有效值	137
6.1.3 非正弦电路的分析步骤	138
6.1.4 非正弦交流电路的功率	140
6.2 网络函数	145
6.2.1 网络函数的概念	145
6.2.2 网络函数的表示法	145
6.3 RC 电路的频率特性	146
6.3.1 一阶 RC 电路的频率特性	146
6.3.2 二阶带通电路	148
6.4 LC 电路的频率特性	149
6.4.1 LC 电路的特性参数	150
6.4.2 串联谐振	150
6.4.3 LC 串联电路的频率响应	151
6.4.4 并联谐振	152
习题	153

第2篇 技术应用

第7章 磁路与变压器	156
7.1 磁路及其计算	156
7.1.1 磁路的基本知识	156
7.1.2 磁路及其基本定律	158
7.1.3 磁路的计算	161
7.2 交流铁心线圈电路	162
7.2.1 铁心线圈中的物理过程	162
7.2.2 感应电动势的计算	163
7.2.3 电压和电流关系	163
7.2.4 铁心线圈中的功率	164
7.2.5 互感及端钮极性	165
7.3 变压器	166
7.3.1 基本原理	167
7.3.2 变压器的功能	168
7.3.3 变压器的外特性和额定值	172
* 7.3.4 三相变压器	174
7.3.5 自耦变压器	175

7.3.6 仪用互感器	175
习题与思考题	177
第8章 异步电动机	181
8.1 三相异步电动机的构造	181
8.1.1 定子	181
8.1.2 转子	181
8.2 三相异步电动机的工作原理	183
8.2.1 旋转磁场	183
8.2.2 异步电动机的转动原理	185
8.3 三相异步电动机的电路	186
8.3.1 定子电路	186
8.3.2 转子电路	187
8.4 三相异步电动机的转矩与机械特性	188
8.4.1 电源电压对电磁转矩的影响	188
8.4.2 转矩特性	189
8.4.3 机械特性	190
8.5 异步电动机的使用	192
8.5.1 异步电动机的铭牌	192
8.5.2 三相异步电动机的起动	193
8.5.3 异步电动机的调速	197
8.5.4 异步电动机的制动	199
8.5.5 三相异步电动机的选择	200
8.6 单相异步电动机	202
8.6.1 单相异步电动机的工作原理	202
8.6.2 单相异步电动机的类型与起动方法	204
习题与思考题	205
第9章 直流电动机	209
9.1 直流电动机的构造	209
9.1.1 直流电机的定子部分	209
9.1.2 直流电机的转子部分	210
9.2 直流电机的工作原理	211
9.2.1 直流发电机的工作原理	211
9.2.2 直流电动机的工作原理	212
9.2.3 直流电机的励磁方式	212
9.3 直流电动机的基本特性	213
9.3.1 转速特性	213
9.3.2 转矩特性	214
9.3.3 机械特性	214
9.4 直流电动机的起动、调速和制动	216

9.4.1	直流电动机的起动	216
9.4.2	直流电动机的调速	217
9.4.3	直流电动机的制动与反转	218
	习题与思考题	220
第 10 章	同步电机	222
10.1	同步电机工作原理及运行方式	222
10.1.1	同步电机的基本结构	222
10.1.2	同步电机的运行状态	224
10.1.3	同步电机的励磁方式	225
10.1.4	同步电机的额定值	225
10.2	同步发电机	226
10.2.1	同步发电机的空载运行	226
10.2.2	同步发电机的电枢反应	227
10.2.3	外特性及调整特性	232
10.2.4	同步发电机的并网运行	233
10.3	同步电动机	238
10.3.1	基本电磁关系及电压平衡方程	238
10.3.2	同步电动机的特性	239
10.3.3	同步电动机的起动	242
10.3.4	同步电动机的补偿运行	242
	习题	243
第 11 章	控制电机	245
11.1	伺服电动机及其控制	245
11.1.1	伺服电动机的基本结构和工作原理	245
11.1.2	伺服电动机的驱动和控制系统	248
11.2	步进电动机及其控制	249
11.2.1	步进电动机的基本结构和工作原理	249
11.2.2	步进电动机的驱动和控制	252
11.3	测速发电机	254
11.3.1	直流测速发电机	254
11.3.2	交流测速发电机	255
11.3.3	测速发电机的应用	256
11.4	自整角机	257
11.4.1	控制式自整角机	257
11.4.2	力矩式自整角机	259
11.4.3	自整角机的应用	260
	习题	260
第 12 章	电气自动控制技术	262
12.1	常用控制电器	262

12.1.1	电磁铁	262
12.1.2	刀开关	265
12.1.3	熔断器	266
12.1.4	低压断路器	266
12.1.5	交流接触器	267
12.1.6	控制继电器	268
12.1.7	按钮和行程开关	270
12.2	继电器—接触器控制系统及应用	271
12.2.1	基本控制电路	271
12.2.2	时间控制	274
12.2.3	行程控制	275
12.3	PLC 控制系统	276
12.3.1	可编程控制系统及 PLC	276
12.3.2	可编程控制器工作原理	277
12.3.3	可编程控制器的编程语言及编程原则	278
12.3.4	FP1 系列 PLC 基本指令	281
12.3.5	编程举例	286
12.3.6	可编程控制器的主要技术指标	288
	习题	289
第 13 章	电力系统及设备	292
13.1	电力系统的基本概念	292
13.1.1	电力系统的构成	292
13.1.2	电力系统的电压等级	294
13.1.3	电力系统的短路	294
13.1.4	电力系统中性点运行方式	295
13.2	高压电器	297
13.2.1	概述	297
13.2.2	高压断路器	297
13.2.3	负荷开关	304
13.2.4	隔离开关	305
13.2.5	熔断器	307
13.2.6	互感器	308
13.2.7	母线和绝缘子	311
13.3	电气接线	313
13.3.1	电气主接线	313
13.3.2	厂用电及接线	316
13.3.3	二次回路概念	317
13.4	配电装置	318
13.4.1	配电装置的一般问题	318

13.4.2 屋内配电装置.....	321
13.4.3 屋外配电装置.....	323
13.4.4 发电机与配电装置的连接.....	326
13.5 电气设备防雷与接地.....	327
13.5.1 电气设备的防雷保护.....	327
13.5.2 电气设备接地.....	328
思考题.....	329
部分习题答案.....	331
参考文献.....	343

第1篇 电路基础

第1章 电路元件及基本定律

电工和电子技术的应用实践中离不开电路。作为未来的工程师和科技工作者,掌握电工技术的有关理论知识和技能是极为重要的。学习电路主要掌握电路的基本规律及其计算方法,从而了解典型电路的特性,为今后的实际工作做好理论准备。但是,书本中所能介绍的电路毕竟是有限的,而今后工作中可能遇到的电路问题则是千变万化、层出不穷的,因此,我们应立足于掌握分析问题的方法,这样在解决实际问题时就能得心应手,应付自如。

本章从建立实际装置的电路符号入手,进而遵照电路的基本规律建立其数学模型,由此引出的一些基本概念是后面各章学习的基础。

1.1 电路及其基本物理量

一门严谨的学科理论,往往有若干公理作为全部立论依据,以示无懈可击。电路理论发展成为完整的理论体系也有其理论支柱,即电荷守恒、能量守恒两条公理和一条集中化假设——理想模型(元件)不具有空间几何尺寸。凡符合上述集中化假设条件的元件称为集中参数元件。由此组成的电路称集中参数电路。集中参数电路中各部分的电压和电流仅是时间 t 的函数,可表示为 $u(t)$ 和 $i(t)$ 。而元件端钮上的电压和电流,可以用物理方法准确地测定,不因其测试位置的不同而不同。凡不符合上述假设条件者用分布参数表示。本课程只讨论集中参数电路。

1.1.1 电路及其分类

人们在日常生活、生产和科学研究中,常遇到各种各样的电路,它们功能各异,结构繁简差别甚大,但不管差异多大,所有电路都有相同的组成部分,即都是由电源(信号源)、负载、控制开关和中间处理环节组成。

多种形式的电路,就其主要功能而言,可分为下面两类。一类是传输、分配和使用电能的电路,如照明电路、动力电路及电力系统。这类电路由于电压较高,电流和功率较大,习惯称为“强电”电路。另一类是传递、变换、存储和处理电信号的电路,如电子仪器设备、计算机、电视机、收音机等电路。这类电路通常电压较低,电流和功率较小,习惯称为“弱电”电路。

无论是电能的传输、分配和转换,还是信号的传递和处理,其中电源或信号源总是向电路输入能量推动电路工作,故称为激励源,简称激励;在激励作用下,电路各部分产生的电压、电流(经电路传递和处理后的信号)称为响应。有时根据激励和响应的因果关系,把激励称为输入,响应称为输出。

为了分析和研究电路,常采用模型化的方法,即在一定的条件下,对某物理过程忽略次要因素,用足以表示其主要特征的理想化“模型”来表示它,即用电路元件上物理量的数学

关系(模型)来描述。这种理想化“模型”常称为电路元件,由电路元件构成的电路,称为实际电路的“电路模型”。电路理论所研究的电路就是电路模型。

1.1.2 电路中的基本变量

电路中存在着能量转换和能量交换两种物理过程。能量转换是指电能与非电能间的物理过程;能量交换是指电场能量与磁场能量间的物理过程。电路理论主要研究电磁过程,其主要物理量表现为电流、电压、电荷和磁通,而常用的是电压和电流以及由它们形成的电功率。为了便于应用,下面对电工技术中最常用的电压、电流和功率略加回顾。

1. 电压

电压是电路中任意两点电位之差值,即电位差,在数值上等于电场力驱使单位正电荷从一点移到另一点时所做的功。其可表示为

$$u = \frac{d\omega}{dq} \quad (1-1)$$

法拉第发现:线圈两端之间的电压还可简单地表示为

$$u = \frac{d\phi}{dt} \quad (1-2)$$

当电荷 q 的单位为 C (库仑),能量的单位为 J (焦耳),磁通 ϕ 的单位为 Wb (韦伯),时间的单位为 s (秒)时,电压的单位为 V (伏特),在实用中还有 μV 、 mV 、 kV 。

2. 电流

电荷的定向运动就形成电流,其大小等于单位时间通过导体横截面的电量,表示为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-3)$$

当电荷 q 的单位为 C (库仑),时间 t 的单位为 s (秒)时,电流 i 的单位为 A (安培),在实用中还有 mA 、 μA 、 kA 。

如果电压、电流的大小和方向不随时间变化,则称为“直流电”,分别用大写字母 U 和 I 表示。

3. 功率

单位时间内电路消耗(或吸收)的能量称为功率,可表示为

$$p = \frac{d\omega}{dt} \quad (1-4)$$

当能量 ω 的单位为 J (焦耳),时间的单位为 s (秒)时,功率的单位是 W (瓦特),在实用中还有 mW 、 kW 。

若每秒消耗 1J 的电能,则其功率为 1W,于是功率表达式可改写成

$$p = \frac{d\omega}{dq} \cdot \frac{dq}{dt}$$

应用式(1-1)和式(1-3)可得

$$p = ui \quad (1-5)$$

对直流电,则功率为

$$P = UI \quad (1-6)$$

结果表明,功率是两个基本变量的乘积,即可用基本变量表示,故称 p 为复合变量。

1.1.3 物理量的方向

电压、电动势存在着高低电位端之分,电流存在着流向,习惯称之为方向。在电路计算

中常用到实际方向和参考方向两个术语。

1. 实际方向

所谓实际方向,是指反映物理量物理意义的方向。电压为由高电位指向低电位;电动势则是由低电位指向高电位;电流在外电路由高电位流向低电位;在电源内部由低电位流向高电位。

2. 参考方向

在电路分析计算时,要根据电路定律建立电路方程,而在建立电路方程时需要知道电压、电流的方向。然而,在绝大多数情况下,特别是一些复杂电路,很难事先直观判断确定各电压、电流的实际方向,为了解决这一矛盾引进参考方向。

所谓参考方向(或正方向),是为了定量分析计算而事先假定的电压、电流方向。在电路图中,电流多用箭头“ $\rightarrow$ ”标注,而电压多用“+、-”极性标注。在文字符号中常用双下标表示,如 U_{ab} 表示电压的参考方向为由a指向b。

电压、电流方向的选择,原则上讲是任意的,但当把同一元件上的电压和电流方向选择一致时,则给电路分析带来很多方便,这种组合选择称为关联参考方向。本书选择关联参考方向来讨论元件的特性。

1.2 电路基本元件

电路元件按其引出端钮数目分为二端元件和多端元件;从能量的转换关系分为有源元件和无源元件;按其元件的数学模型又分为线性和非线性两大类。

有源元件分为独立电源和受控源,无源元件又分为储能元件和耗能元件,下面以有源和无源为序给出电路元件的定义。

1.2.1 独立电源

若电源的电压(或电流)大小和变化规律取决于局外力的做功,具有这种特性的电源,称为独立电源。独立电源包括电动势源和电激流源两类。

1. 电动势源

电动势源亦称理想电压源,简称电压源。其定义为:能维持端口电压为定值(常数或确定的时变函数),而与通过的电流无关的二端元件,称为理想电压源。其维持能力靠局外力做功来实现,并用电动势描述,故称为电动势源,用 e 或 u_s 表示,其伏安特性及电路符号如图1-1(a)、(b)所示。电路符号旁边的“+”、“-”表示电源的极性(高低电位端),电动势表示电位的升高,故正方向由“-”指向“+”。当 $e(t) = E$ 为常数时电源称为恒定电动势源,简称恒压源;若 $e(t)$ 按某种确定的函数规律(如正弦)变化时则称为交变电动势源,其波形如图1-1(c)、(d)所示。

由图1-1(a)所示曲线可知,电动势源的伏安关系为

$$u = E \quad (1-7)$$

2. 电激流源

电激流源又称为理想电流源,简称电流源,其定义为:能维持端口电流为定值(常数或确定的时变函数),而与两端的电压无关的二端元件,称为电激流源,用 i_s 表示。其维持能力也是靠局外力做功来实现。其伏安特性及电路符号如图1-2(a)、(b)所示。若 $i_s(t) = I_s$ 。

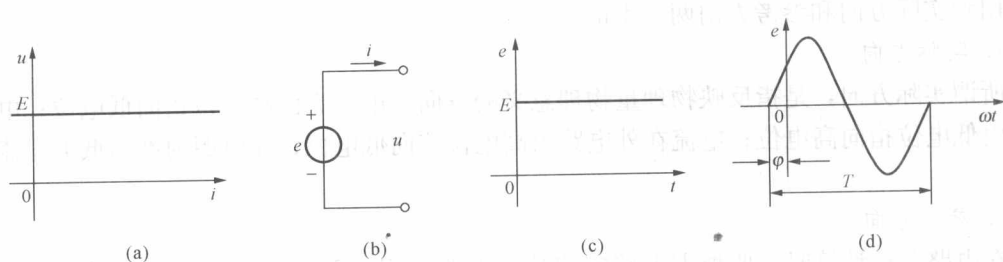


图 1-1 电动势源模型及变化规律

(a) 伏安特性; (b) 电路符号; (c) 恒定电动势源; (d) 交变电动势源

为常数时,称为恒定电激流源,简称恒流源;若 $i_s(t)$ 按某种确定的函数规律(如正弦)变化时则称为交变电激流。其波形如图 1-2 (c)、(d) 所示。

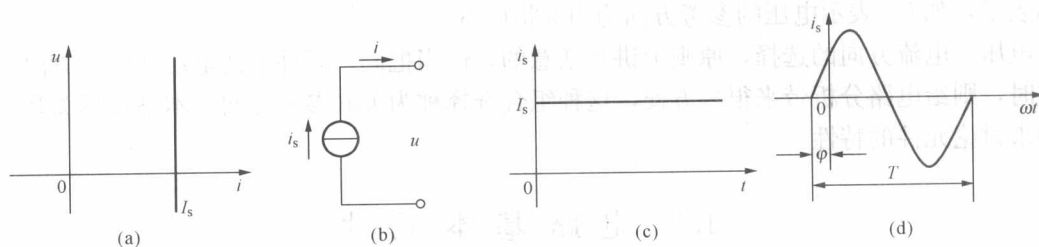


图 1-2 电激流源模型及变化规律

(a) 伏安特性; (b) 电路符号; (c) 恒定电激流源; (d) 交变电激流源

由图 1-2 (a) 所示曲线可知,电激流源的伏安关系为

$$i = I_s \quad (1-8)$$

电阻元件、电容元件和电感元件是电路的基本无源元件。它们分别代表实际装置中的电磁能量与其它形式能量的转换、电场能量和磁场能量储存和变化的外部功能。

1.2.2 电阻元件

电阻是对电阻器进行抽象而得到的理想模型。对于理想模型应有确切的定义,电阻元件可定义为:在任一时刻 t ,其特性可用 $u-i$ 平面中的一条曲线所表征的二端元件,称为电阻元件。该曲线称为电阻在某一时刻 t 的 $u-i$ 特性曲线,如图 1-3 (a) 所示。

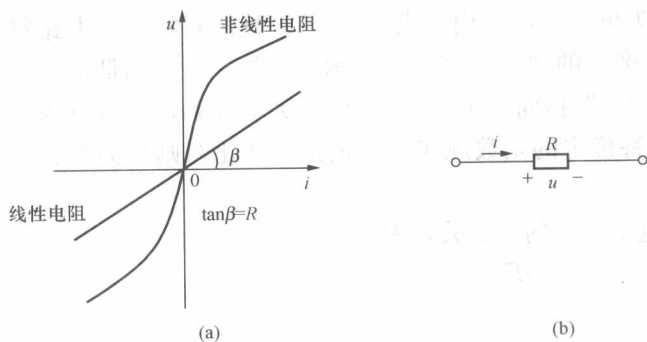


图 1-3 电阻元件模型

(a) 特性曲线; (b) 线性电阻电路符号

如果电阻的特性曲线在所有时间都是通过原点的一条直线,则称为线性电阻,否则称为非线性电阻,它们的电路符号如图 1-3 (b) 所示。所以任何一个电阻可按照它是线性还是非线性、时变还是定常进行归类。本课程主要讨论线性定常和非线性定常两类电阻。下面以线性定常电阻为例介绍电阻元件数学模型的建立。

由解析几何可知, 线性定常电阻的特性曲线方程为

$$u = Ri \quad (\text{或 } i = Gu) \quad (1-9)$$

式中: R 为电压与电流的比例系数, 称它为电阻元件的参数, 即 R 表示电阻, 其单位为 Ω (欧姆); $G = \frac{1}{R}$, 称为电导, 其单位为 S (西门子)。

式 (1-9) 反映了电阻元件上的电压 u 和电流 i 这两个基本变量的一种约束关系, 称为电阻元件的伏安关系, 用文字符号 VCR^① 表示, 若电压、电流取非关联参考方向时, 则 $u = -Ri$ 。

从特性曲线来看, 此时电压、电流是一个代数量, 即电压、电流可能为正或为负。但是从物理方面看, 电压、电流为正或为负并无实际意义。为了给电压、电流的正负赋予物理的解释, 引进物理量的参考方向。有了参考方向后, 电压、电流为正, 则表示实际方向与参考方向一致, 为负则表示实际方向与参考方向相反。人们把参考方向说成是连通数学和物理的桥梁, 可见在电路分析计算中参考方向是十分重要的。

同一元件上的电压和电流常假设相同的参考方向, 即关联参考方向, 在这种假定下, 电阻上的功率总是正的, 即 $p > 0$ 。在电阻上电压、电流参考方向选择一致, 又称为负载惯例。用负载惯例讨论元件的特性时, $p < 0$ 时为电源元件, 电源消耗负的功率, 即发出功率。

1.2.3 电容元件

电容是对电容器进行抽象而得到的理想模型, 用它来表示实际装置中电场的外部功能。理想电容的定义为: 在任一时刻 t , 其特性能用 $q-u$ 平面上的一条曲线描述的二端元件, 称为电容元件。如果特性曲线在所有的时刻都是通过原点的一条直线, 如图 1-4 (a) 所示, 则称为线性定常电容。

线性定常电容的特性曲线方程为

方程两边对时间求导则有

考虑电流的定义, 上式可改写成

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

式中: C 为一个常数, 是联系电流与电压微分的比例常数, 称之为电容元件的参数, 其单位为 F (法拉)。

式 (1-10) 是电容元件的伏安关系 (VCR) 式, 若电压、电流取非关联参考方向时, 则 $i = -C \frac{du}{dt}$ 。

电容元件的伏安关系表明, 任意时刻线性电容的电流与端电压的变化率成正比, 与该时刻电压的大

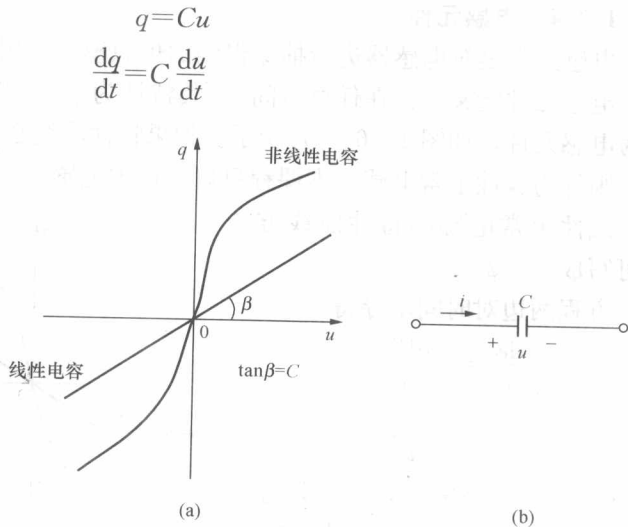


图 1-4 电容元件模型
(a) 特性曲线; (b) 电路符号

① VCR—Voltage Current Relation