



浙江省高等教育重点建设教材
应用型本科规划教材

PRINCIPLES OF
CIRCUITS

电路原理

◆ 主 编 蔡伟建

副主编 孙学东 丁金婷 刘伯恕



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大學出版社

浙江省高等教育重点建设教材
应用型本科规划教材

电 路 原 理

主 编 蔡伟建

副主编 孙学东 丁金婷 刘伯恕

浙江大學出版社

内 容 简 介

本书是在中国高等教育发展从“精英教育”阶段向“大众化教育”阶段转型的形势下,为适应不同层次、不同办学特色的学校的教学需要而编写的,内容符合教育部颁布的《电路课程教学基本要求》。

主要内容有:电路的基本概念和基本定律、直流电阻的分析与计算、直流电阻电路的基本定理、正弦交流电路的基本概念、正弦交流电路的稳态分析、互感电路与交流变压器、三相交流电路、非正弦周期电流电路的分析与计算、动态电路的时域分析、动态电路的频域分析、网络函数与二端口网络、非线性电路的基本概念、分布参数电路简介。书末附有部分习题参考答案。

本书为电子信息类各专业基础平台课程教材。可供应用型本科院校的自动化类、信息电子类、测控技术与仪器、通信工程、计算机科学与技术等电类专业及其他相近专业作为本科生教材,也可作为其他非电类专业和工程技术人员的参考书籍。

图书在版编目(CIP)数据

电路原理 / 蔡伟建主编. —杭州:浙江大学出版社,
2006.7

应用型本科规划教材

ISBN 7-308-04777-6

I. 电... II. 蔡... III. 电路理论—高等学校—教材
N. TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 064693 号

电路原理

蔡伟建 主编

丛书策划 樊晓燕

责任编辑 王 波 樊晓燕

封面设计 刘依群

出版发行 浙江大学出版社

(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310028)

(E-mail: zupress@mail.hz.zj.cn)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 浙江大学出版社电脑排版中心

印 刷 浙江省良渚印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 13.75

字 数 335 千

版 次 2006 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月第 1 次印刷

印 数 0001—3000

书 号 ISBN 7-308-04777-6/TM·035

定 价 23.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部邮购电话(0571)88072522

应用型本科院校信电专业基础平台课规划教材系列

编 委 会

主 任 顾伟康

副主任 王 薇 沈继忠 梁 丰

委 员 (以姓氏笔画为序)

方志刚 古 辉 李 伟

何杞鑫 林雪明 张增年

唐向宏 夏哲雷 钱贤民

蔡伟健

总 序

近年来我国高等教育事业得到了空前的发展,高等院校的招生规模有了很大的扩展,在全国范围内发展了一大批以独立学院为代表的应用型本科院校,这对我国高等教育的持续、健康发展具有重大的意义。

应用型本科院校以着重培养应用型人才为目标,目前,应用型本科院校开设的大多是一些针对性较强、应用特色明确的本科专业,但与此不相适应的是,当前,对于应用型本科院校来说作为知识传承载体的教材建设远远滞后于应用型人才培养的步伐。应用型本科院校所采用的教材大多是直接选用普通高校的那些适用研究型人才培养的教材。这些教材往往过分强调系统性和完整性,偏重基础理论知识,而对应用知识的传授却不足,难以充分体现应用类本科人才的培养特点,无法直接有效地满足应用型本科院校的实际教学需要。对于正在迅速发展的应用型本科院校来说,抓住教材建设这一重要环节,是实现其长期稳步发展的基本保证,也是体现其办学特色的基本措施。

浙江大学出版社认识到,高校教育层次化与多样化的发展趋势对出版社提出了更高的要求,即无论在选题策划,还是在出版模式上都要进一步细化,以满足不同层次的高校的教学需求。应用型本科院校是介于普通本科与高职之间的一个新兴办学群体,它有别于普通的本科教育,但又不能偏离本科生教学的基本要求,因此,教材编写必须围绕本科生所要掌握的基本知识与概念展开。但是,培养应用型与技术型人才又是应用型本科院校的教学宗旨,这就要求教材改革必须淡化学术研究成分,在章节的编排上先易后难,既要低起点,又要有坡度、上水平,更要进一步强化应用能力的培养。

为了满足当今社会对信息与电子技术类专业应用型人才的需要,许多应用型本科院校都设置了相关的专业。而这些专业的特点是课程内容较深、难点较多,学生不易掌握,同时,行业发展迅速,新的技术和应用层出不穷。针对这一情况,浙江大学出版社组织了十几所应用型本科院校信息与电子技术类专业的教师共同开展了“应用型本科信电专业教材建设”项目的研究,共同研究目前教材的不适应之处,并探讨如何编写能真正做到“因材施教”、适合应用型本科层次

信电类专业人才培养的系列教材。在此基础上,组建了编委会,确定共同编写“应用型本科院校信电专业基础平台课规划教材系列”。

本专业基础平台课规划教材具有以下特色:

在编写的指导思想上,以“应用类本科”学生为主要授课对象,以培养应用型人才为基本目的,以“实用、适用、够用”为基本原则。“实用”是对本课程涉及的基本原理、基本性质、基本方法要讲全、讲透,概念准确清晰。“适用”是适用于授课对象,即应用型本科层次的学生。“够用”就是以就业为导向,以应用型人才为培养目的,达到理论够用,不追求理论深度和内容的广度。突出实用性、基础性、先进性,强调基本知识,结合实际应用,理论与实践相结合。

在教材的编写上重在基本概念、基本方法的表述。编写内容在保证教材结构体系完整的前提下,注重基本概念,追求过程简明、清晰和准确,重在原理,压缩繁琐的理论推导。做到重点突出、叙述简洁、易教易学。还注意掌握教材的体系和篇幅能符合各学院的计划要求。

在作者的遴选上强调作者应具有应用型本科教学的丰富的教学经验,有较高的学术水平并具有教材编写经验。为了既实现“因材施教”的目的,又保证教材的编写质量,我们组织了两支队伍,一支是了解应用型本科层次的教学特点、就业方向的一线教师队伍,由他们通过研讨决定教材的整体框架、内容选取与案例设计,并完成编写;另一支是由本专业的资深教授组成的专家队伍,负责教材的审稿和把关,以确保教材质量。

相信这套精心策划、认真组织、精心编写和出版的系列教材会得到广大院校的认可以,对于应用型本科院校信息与电子技术类专业的教学改革和教材建设起到积极的推动作用。

系列教材编委会主任 顾伟康

2006年7月

前 言

1999年初,党中央、国务院按照“科技兴国”的战略部署,做出了高等教育大发展的重大决策。此项重大决策,带动了高等教育发展主导思想的重大变化,教育宏观发展政策由“稳步发展”转为“快速发展”,拉开了我国高等教育从“精英教育”阶段向“大众化教育”阶段转变的序幕,大大加快了高等教育发展的步伐。高等教育办学体制的改革,国外发达国家的先进教学模式的引进,使得我国高等教育的办学层次、办学特色在许多高校得到了明显的体现。随着我国国民经济的快速发展,各行各业都需要大批技术人员,以保证经济持续而又健康地发展。上世纪90年代之后随着欧美等发达国家高等教育模式的引进,学习和借鉴这些国家先进办学经验,高等教育的办学模式改变了以往由国家统一包办的局面,中外合作办学、民办大学等各种高等教育模式的出现,同时陆续出现了一大批办学特色明显的应用型本科高等院校,它们为国民经济建设培养了大量的应用型技术人才。与一般综合型、研究型大学不同,应用型本科院校为国民经济建设培养的是直接面向生产一线的工程技术人员,因此突出办学特色、分层教学、加强动手和实践能力成为这些院校的突出特点。为了达到这些目标,必须要有相应的配套措施来保证,其中教材建设是重要的一个环节。本教材是根据国家教育部确定的为应用型本科院校编写有特色的、实践性和应用性强的教材的有关精神及原则而编写的。

本教材是为应用型本科院校自动化类、信息电子类、通信工程及计算机科学与技术等电类专业及其他相近专业的本科学生而编写的,也可以作为其他非电类专业的参考书。教材本着“加强基础、学以致用、突出重点、够用即可”的原则,重点加强基本概念和基础理论的介绍,并通过结合工程实际来举例说明理论在实际中的应用,通过习题来加深学生对理论的理解和掌握,从而为后续课程的学习打下一个良好的基础。

本书由浙江科技学院蔡伟建任主编,孙学东、丁金婷、刘伯恕任副主编。参

加编写的有浙江科技学院蔡伟建(第1章、第9章),浙江万里学院孙学东、樊慧丽(第2章、第3章),中国计量学院刘伯恕(第4章、第5章),浙江大学城市学院丁金婷、杜鹏英、黄清波(第6章、第7章、第8章、第10章),宁波理工学院吴飞青、刘毅华、关宏伟(第11章、第12章、第13章)。

由于作者水平有限,书中难免存在疏漏或错误之处,欢迎广大师生给予批评指正。

编著者

2006年6月

目 录

第 1 章 电路的基本概念和基本定律	1
1.1 电路及其理论模型	1
1.2 电路变量及电流和电压的参考方向	2
1.3 电路元件及其伏安特性关系	4
1.4 基尔霍夫定律	10
习题	13
第 2 章 直流电阻电路的分析与计算	16
2.1 电阻电路的等效变换	16
2.2 电阻的串联与并联	17
2.3 电阻星形连接与三角形连接之间的等效变换	19
2.4 实际电源的模型及其等效变换	22
2.5 一端口网络的输入电阻	24
2.6 支路电流法	26
2.7 回路电流法	30
2.8 结点电压法	35
习题	40
第 3 章 直流电阻电路的基本定理	46
3.1 线性叠加定理	46
3.2 替代定理	48
3.3 戴维南定理和诺顿定理	49
3.4 特勒根定理	54
习题	56
第 4 章 正弦交流电路的基本概念	60
4.1 正弦量的三要素	60
4.2 正弦量的相量表示	63

4.3 电路定律和电路元件伏安特性的相量表示	66
习题	70
第5章 正弦交流电路的稳态分析	73
5.1 RLC 串联电路和 RLC 并联电路	73
5.2 复阻抗的串联和并联	78
5.3 正弦稳态电路的分析与计算	80
5.4 正弦稳态电路的功率	81
5.5 正弦稳态电路的串联谐振	86
5.6 正弦稳态电路的并联谐振	88
习题	90
第6章 互感电路与交流变压器	97
6.1 磁耦合与互感	97
6.2 含有互感电路的分析计算	100
6.3 理想变压器	102
6.4 空心变压器	104
习题	106
第7章 三相交流电路	108
7.1 三相交流电路的基本概念	108
7.2 负载的星形连接和三角形连接	111
7.3 对称三相交流电路	111
7.4 不对称三相交流电路	114
7.5 三相交流电路的功率	116
习题	117
第8章 非正弦周期电流电路的分析与计算	119
8.1 非正弦周期函数的傅里叶级数分解	119
8.2 非正弦同期电流电路的有效值和平均功率	121
8.3 非正弦周期电流电路的分析与计算	122
习题	125
第9章 动态电路的时域分析	127
9.1 动态电路方程及换路定则	127
9.2 一阶动态电路的零输入响应	129
9.3 一阶动态电路的零状态响应	133
9.4 一阶动态电路的全响应	136
9.5 求解一阶动态电路的三要素法	140

9.6 一阶动态电路的阶跃响应和冲激响应	143
9.7 二阶动态电路的零输入响应	148
习题	153
第 10 章 动态电路的频域分析	158
10.1 拉普拉斯变换的定义及基本性质	158
10.2 拉普拉斯反变换有理分式的展开定理	160
10.3 电路元件和电路定律的运算形式表示	162
10.4 动态电路的拉普拉斯变换求解	164
习题	167
第 11 章 网络函数与二端口网络	170
11.1 网络函数的定义	170
11.2 网络函数的极点、零点和冲激响应	171
11.3 网络函数的极点、零点和频率响应	173
11.4 二端口网络的定义	173
11.5 二端口网络的参数矩阵	174
11.6 二端口网络的等效电路	179
11.7 二端口网络的连接	180
习题	183
第 12 章 非线性电路的基本概念	185
12.1 非线性元件	185
12.2 含有非线性元件的电路方程	188
12.3 小信号分析法求解非线性电路	189
习题	192
第 13 章 分布参数电路简介	194
13.1 分布参数电路的定义	194
13.2 均匀传输线及其电路方程	195
13.3 均匀传输线电路方程的正弦稳态解	197
习题	200
部分习题参考答案	201
参考书目	208

第 1 章 电路的基本概念和基本定律

本章主要介绍有关电路的基本概念与基本定律,这些基本概念和基本定律对后面电路理论的分析 and 理解起着重要的作用。

1.1 电路及其理论模型

在现代工业、农业、国防建设、科学研究及日常生活中,广泛而又大量地使用着各种各样的电气设备或电气装置,这些设备或装置实际上是由各种各样的电器元件或部件组成,并按一定的方式连接起来以达到使它们按照某种要求和规定进行工作的。各种电器元件及其连接方式就构成了实际电路。

实际电路种类繁多,但不管简单还是复杂,我们总可以对其从组成、功能等方面进行归类。从组成上讲,任何实际电路都由三部分组成。

(1) 电源部分:提供电能或电信号的电气装置,作用是向电路中其他电器元件提供工作时所必需的电压、电流或功率;

(2) 负载部分:消耗电能的电气装置,作用是将电源提供的电能转换成其他形式的能量;

(3) 连接部分:通常由金属导线组成,作用是将电源和负载连接起来使电路能正常工作。

从功能上讲,实际电路主要体现在以下两个方面:

1. 能量的产生、传输与转换

以电力的产生、传输和分配为例。发电厂(水电、火电、核电等多种形式的发电方式)首先利用各种电气装置将不同形式的能量转换成电能,然后利用输电线路将发电厂发出的电能传输到城市、乡村及所有需要用到电能的地方,在那里再将电能分配到各个厂矿企业和千家万户,最终各个用户根据自己的需要将电能转换成机械能、光能、热能等其他形式的能量。

2. 信号的传递、变换与处理

以无线电通信为例。我们利用各种电气装置将声音、图像等转换成无线电信号,这个信号从能量上讲,远比电力系统小得多,无线电信号在大气层中传播,用户利用电气装置从接收到的无线电信号中重新将声音、图像等还原出来,在这个过程中我们还可以对还原的信号进行适当的处理。

由于实际电气装置、设备和元件种类繁多、数量巨大,其工作时的物理过程也很复杂,不便于一一进行分析,同时在电磁现象方面却又有着许多相同的地方。为了便于分析实际电路的主要特性和功能,须对实际电气装置或电器元件进行科学抽象,找出其主要的电磁特性,

忽略其次要的电磁特性,经过这种抽象后的电器元件我们称之为理想元件,如同化学理论中的理想气体、力学理论中的理想刚体,它们都具有精确的数学定义,在一定的条件下,对由这些理想元件组成的理想电路进行分析计算得到的结果与实际电路工作时的状况相同或非常接近,可以对实际电路的工作状态进行理论上的预测。在电路理论中对实际电气装置或电路元件进行理论抽象后,常用的理想元件主要有以下几种:

(1) 电阻元件

凡是在实际电路中消耗电能的电气装置或电器元件都可抽象为电阻元件,用 R 表示。

(2) 电容元件

凡是在实际电路中能储存电场能量的电气装置或电器元件都可抽象为电容元件,用 C 表示。

(3) 电感元件

凡是在实际电路中能储存磁场能量的电气装置或电器元件都可抽象为电感元件,用 L 表示。

(4) 电源元件

凡是在实际电路中能够提供电能的电气装置或电器元件都可抽象为电源元件,电源元件分为电压源和电流源,分别用 u_s 和 i_s 表示。

上述 4 种元件的电气符号分别如图 1.1 所示。

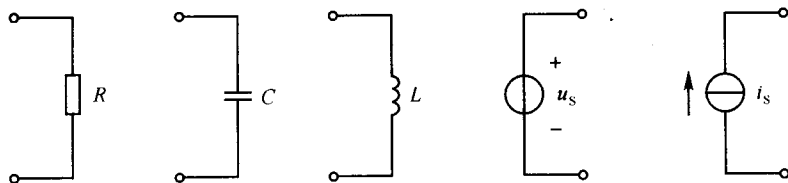


图 1.1 各种理想元件的电气符号

对于抽象的理想元件模型应当注意以下几点:

(1) 理想电路元件只是一种理想的元件模型,在现实中是不存在的。

(2) 不同的电气装置或电路元件,只要具有相同的主要电磁性能,在一定条件下就可以抽象成相同的理想电路元件。

(3) 对同一个电气装置或电路元件在不同的条件下,它的理想模型也有不同的形式。

将千差万别、种类繁多的实际电气装置或电路元件抽象成理想元件或理想元件的组合是电路理论中的建模问题,模型建得复杂会造成分析计算的困难,模型建得简单会使分析计算的结果与实际情况不符。因此,电路理论的建模问题是比较复杂的问题,需进行专门的研究,在本书中不作探讨。

1.2 电路变量及电流和电压的参考方向

1.2.1 电路变量

在电路理论中涉及的变量主要有电流、电压、电荷、磁通、磁通链、功率和能量。其中电流、电压、功率和能量最为常用。

1. 电流

电流是因电荷有规则的定向运动所形成的。规定正电荷流动的方向为电流的方向。电流的大小可用电流强度表示。电流强度定义为单位时间内通过导体横截面的电荷量,即

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

当电流强度与时间无关时,即为直流电流,用 I 表示。电流强度通常简称为电流,单位是安培(A)。

2. 电压

电压定义为将单位正电荷从电路中一点移动到另一点时电场力所做的功,或表示为电路中任意两点之间的电位之差,即

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

当电压与时间无关时,即为直流电压,用 U 表示。电压的单位是伏特(V)。电压的极性规定为从高电位指向低电位。

3. 能量和功率

能量定义为在 t_0 到 t 的时间内,电场力将单位正电荷由 A 点移动到 B 点时所做的功,用 W 表示。根据电压的定义有

$$W = \int_{t_0}^t w(t) dt = \int_{q(t_0)}^{q(t)} u(t) dq(t) \quad (1-3)$$

将 $i(t) = \frac{dq(t)}{dt}$ 代入上式得

$$W = \int_{t_0}^t u(\xi) i(\xi) d\xi \quad (1-4)$$

能量的单位是焦耳(J)。

功率定义为单位时间内能量的变化率,即

$$p(t) = \frac{dw(t)}{dt} = u(t)i(t) \quad (1-5)$$

功率的单位为瓦特(W)。

1.2.2 参考方向

1. 电流的参考方向(流向)

在电路分析计算中,对于简单电路,我们很容易判定电流的实际流动方向,但对复杂电路,我们很难直接判断电流的实际流向。因此,为列电路方程而必须事先人为地假定电流的流向,这我们称之为电流的参考方向。当我们通过对电路分析计算后得到的电流值为正值时,电流的参考方向就是电流的实际流向,当得到的电流值为负值时,表明电流的实际流向与参考方向相反。这样,在假定的电流参考方向下,计算得到的电流值的正或负就可以表明电流的实际流向。在图 1.2 中,图(a)表示电流的实际流向与参考方向相同,图(b)表示电流的实际流向与参考方向相反。

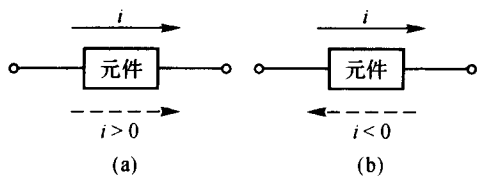


图 1.2 电流的参考方向

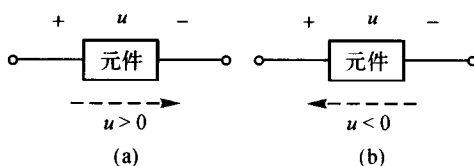


图 1.3 电压的参考方向

2. 电压的参考方向(极性)

同样,我们也可以对电路中任意两点之间的电压事先假定一个参考极性,当计算得到的电压值为正值时,电压的参考极性就是电压的实际极性,当计算得到的电压值为负值时,电压的实际极性与参考极性相反。这样,在假定的电压参考极性下,计算得到的电压值的正或负就可以表明电压的实际极性。在图 1.3 中,图(a)表示电压的实际极性与参考极性相同,图(b)表示电压的实际极性与参考极性相反。

3. 关联参考方向

电路中每个元件的电流或电压的参考方向或参考极性是相互独立的,在对电路分析计算前可以任意假定。但为了便于分析电路的其他变量或性质,我们一般将电流的参考方向和电压的参考极性设为一致,将其称为关联参考方向。在后面电路分析计算中的公式都是在关联参考方向的前提下给出的。

当电路中任何一个元件指定其电压和电流的参考方向为关联参考方向后,我们根据计算得到的电压和电流的实际结果很容易判定该元件是消耗还是提供功率。

$$p(t) = u(t)i(t) > 0 \quad \text{消耗功率}$$

$$p(t) = u(t)i(t) < 0 \quad \text{提供功率}$$

例如,当一个元件的电压和电流的参考方向指定为关联参考方向,我们经过计算后得到该元件的电压和电流分别为 $u = 2\text{V}$, $i = 5\text{A}$ 则 $p = ui = 10\text{W}$,该元件消耗功率 10W ,当经过计算得到 $u = -2\text{V}$, $i = 5\text{A}$ 则 $p = ui = -10\text{W}$,该元件提供功率 10W 。

1.3 电路元件及其伏安特性关系

电路元件是对实际电气装置或电器元件进行抽象后得到的电路中最基本的理想元件,元件的电磁特性可以用精确的数学表达式描述。在本书的电路理论中,主要研究的是集总参数元件和集总参数电路。集总参数元件定义为,在任何时刻,对于二端元件,流入一个端子的电流一定等于从另一个端子流出的电流,同时元件两个端子之间的电压为单值。由集总参数元件组成的电路称为集总参数电路。用集总参数电路模型来描述实际电路应当满足的条件是:实际电路的尺寸 l 远小于电路工作时的电磁波的波长 λ 。不满足此条件的实际电路只能用后面介绍的分布参数电路模型描述。

下面将介绍电路理论中常用的几种二端元件的电磁性质。

1.3.1 电阻元件

凡是以消耗电能为主要电磁特性的实际电气装置或电器元件,理论上都可以抽象成理想电阻元件,简称电阻。电阻有线性和非线性、时变和非时变之分。下面只讨论线性电阻。电

路中讨论元件的电磁性质主要是研究元件的外特性,即元件两端的电压与元件中流过的电流之间的关系等。对线性电阻,当其电压和电流采用关联参考方向时,线性电阻两端的电压和电流之间的关系服从欧姆定律,即

$$u = Ri \quad (1-6)$$

式中 R 称为电阻元件的电阻,当电压用伏特(V),电流用安培(A)作单位时,电阻的单位为欧姆(Ω)。由于电压和电流的单位分别为伏特和安培,因此电阻元件的外特性又称为伏安特性关系,如图 1.4 所示。当电压和电流没有采用关联参考方向时,欧姆定律公式中需加一负号,即

$$u = - Ri$$

我们有时要用到欧姆定律的另一种形式,即

$$i = Gu \quad (1-7)$$

式中 $G = 1/R$,称为电阻元件的电导,单位为西门子(S)。

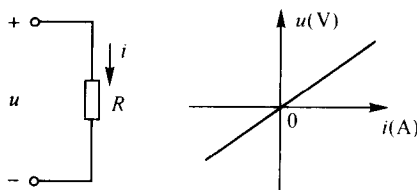


图 1.4 电阻元件及伏安特性关系

由于欧姆定律是线性方程,故在电阻元件的伏安特性图中是一条过原点的直线,直线的斜率与元件的电阻 R 成正比。

当电阻元件的电压和电流采用关联参考方向时,电阻元件消耗的功率为

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

式中 R 和 G 是正实常数,功率 $p \geq 0$,所以线性电阻始终消耗功率,是一种无源元件。

电阻元件从 t_0 到 t 时间内从电源吸收的电能为

$$W = \int_{t_0}^t Ri^2(\xi) d\xi = \int_{t_0}^t \frac{u^2(\xi)}{R} d\xi \quad (1-9)$$

从上面的分析可知,电阻 R 既表示线性电阻元件电压与电流的比例关系,同时它也是一个实在的元件。

1.3.2 电容元件

凡是能够以储存电场能量为主要电磁特性的实际电气装置或电器元件从理论上都可抽象成理想电容元件。而实际电容元件从构成上来说,都是由两块平行金属板、中间放入不同的绝缘介质(如云母、电介质、聚烯、钽等材料)所构成。当在两块金属板上加上电压时,就会在金属板上分别聚集起等量的正负电荷,从而在绝缘介质中建立电场并具有电场能量。当把电压移去,电荷仍然保留在极板上,电场和电场能量继续存在。

线性电容的电路符号如图 1.5 所示。与电压正极相连的极板聚集的是正电荷,与电压负极相连的极板聚集的是负电荷。通过研究发现,极板上的电荷量 q 与所加的电压 u 成正比,于是有

$$q(t) = Cu(t) \quad (1-10)$$

式中 C 为表示电容元件的参数,称为电容。当电荷的单位为库仑(C),电压为伏特(V),则电容的单位为法拉(F)。如图 1.5 所示,线性电容的库伏特性是一条过原点的直线。

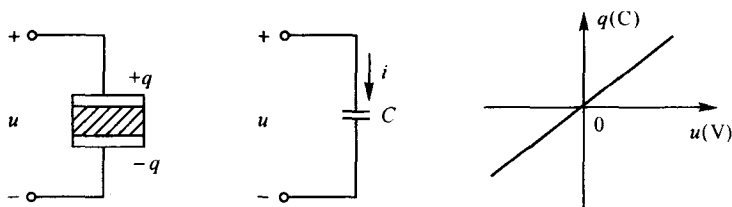


图 1.5 电容元件及伏安特性关系曲线

电容元件具有下列特性:

1. 电容是一种动态元件

当电容元件的电压和电流取关联参考方向,则有

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

这表明电容中的电流与其两端电压的变化率成正比,当电容两端加的是直流电压时,电流为零,我们说电容有隔断直流的作用。

2. 电容是一种记忆元件

将公式(1-1) 改写为

$$q(t) = \int i(t) dt$$

根据电路具体情况,我们可以确定它的积分上下限

$$q(t) = \int_{-\infty}^t i(\xi) d\xi = \int_{-\infty}^{t_0} i(\xi) d\xi + \int_{t_0}^t i(\xi) d\xi = q(t_0) + \int_{t_0}^t i(\xi) d\xi \quad (1-12)$$

式中 $q(t_0)$ 为 t_0 时刻电容所带的电荷量。上式表明,电容在 t 时刻所带的电荷量等于 t_0 时刻的电荷量加上从 t_0 到 t 时间内增加的电荷量。如果设 t_0 为计时起点,并令其为零,则

$$q(t) = q(0) + \int_0^t i(\xi) d\xi \quad (1-13)$$

由式(1-10) 可知,电容元件的电压也具有上述性质

$$u(t) = u(0) + \frac{1}{C} \int_0^t i(\xi) d\xi \quad (1-14)$$

从上两式可知,电容两个极板上的电荷量和电容的电压除与 0 到 t 时刻的电流值有关外,还与 $q(0)$ 或 $u(0)$ 值有关,即与电容以前的状态有关,我们由此性质称电容是一种“记忆”元件。而电阻元件在任何时刻 t 的电压仅与该瞬间的电流值有关,而与之之前的状态没有关系,所以我们说电阻是无“记忆”的元件。

3. 电容是一种储能元件

在电压和电流取关联参考方向下,线性电容元件的功率表达式为

$$p(t) = u(t)i(t) = Cu(t) \frac{du(t)}{dt} \quad (1-15)$$

电容元件在 t 时刻吸收电场能量为

$$W_C = \int_{-\infty}^t u(\xi)i(\xi)d\xi = \int_{-\infty}^t Cu(\xi) \frac{du(\xi)}{d\xi} d\xi$$