



高等学校教材

电工学

陈道红 主编

魏红 张畅 副主编

吕砚山 主审



化学工业出版社
教材出版中心

高等学校教材

电 工 学

陈道红 主编

魏红 张畅 副主编

吕砚山 主审

化学工业出版社

教材出版中心

·北京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

电工学/陈道红主编. —北京: 化学工业出版社,
2001.12

高等学校教材

ISBN 7-5025-3615-9

I. 电… II. 陈… III. 电工学-高等学校-教材
IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 093724 号

高等学校教材

电 工 学

陈道红 主编

魏 红 张 畅 副主编

吕砚山 主审

责任编辑: 张建茹

责任校对: 蒋 宇

封面设计: 蒋艳君

*

化学工业出版社
教材出版中心 出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64918013

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市彩桥印刷厂印刷

北京市彩桥印刷厂装订

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 20¼ 字数 501 千字

2002 年 2 月第 1 版 2002 年 2 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-3615-9/G·966

定 价: 32.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

电工学是高等学校非电专业的一门技术基础课。随着电工技术、电子技术的迅猛发展,为适应面向 21 世纪人才培养的需要,参照原国家教育委员会 1995 年颁布的“电工技术(电工学 I)”和“电子技术(电工学 II)”两门课的基本要求,结合多年来课程改革的探索与研究而编写了这本少学时电工学教材。

本教材在继承传统内容的基础上进行了内容的改革,编写中注意在加强基础,精选内容;面向工程,突出应用;推陈出新,培养能力等方面下功夫。以加强三基为基本原则,对传统经典内容进行了精炼、优化。力求做到文字精炼、概念清楚、重点突出、深入浅出。由于电子技术在非电专业的日益广泛的应用,编写时对教材的内容作了适当的拓宽,如加大了数字电路的比例,加强了集成电路特别是中规模功能器件的功能和应用方面的知识。增加了可编程控制器(PLC)、可编程逻辑器件(PLD)、存储器及非电量电测等方面的内容,并通过应用实例以加强知识的综合和系统的概念,力求突出教材的基础性、应用性、实用性和先进性。

本教材适用于电工学课程 50~70 学时的讲课,10~20 学时的实验,总计 60~90 学时。书中标有 * 号的章节是供选用的内容,可视学时的多少加以选用。

本教材由陈道红任主编并编写第五、六(第六章第一、二节)、十、十一、十二、十三、十四章,魏红编写第二、四、八、九(第九章第二节)章,张畅编写第一、三、七、九(第九章第一节)章,杨晓健编写第六章第三节。

本书由北京化工大学吕砚山教授主审,主审对本书内容进行了仔细的审阅,提出了宝贵的修改意见,在编写过程中得到南京工业大学教务处、信息学院以及其他同志的关心和支持。在此,仅向他们表示衷心的感谢。

由于编者的水平有限,书中必然存在不少的缺点和疏漏,殷切希望使用本书的师生和其他读者给予批评指正。

编 者

2001 年 9 月

目 录

第一章 电路的基本概念	1
第一节 电路的作用和组成.....	1
一、电路的作用.....	1
二、电路的组成.....	1
第二节 电路的基本物理量.....	2
一、电流及其参考方向.....	2
二、电压和电动势及其参考方向.....	3
三、电功率.....	3
第三节 电阻、电容和电感元件.....	4
一、电阻元件.....	4
二、电容元件.....	5
三、电感元件.....	5
第四节 电源元件.....	6
一、独立电源.....	6
二、受控电源.....	7
第五节 电路的工作状态.....	8
一、有载状态.....	8
二、开路状态.....	9
三、短路状态.....	10
第六节 电路的基本定律.....	10
一、欧姆定律.....	10
二、基尔霍夫定律.....	11
第七节 电路中电位的概念及计算.....	13
习题.....	13
第二章 电路分析基础	18
第一节 基尔霍夫定律的应用.....	18
一、支路电流法.....	18
二、节点电压法.....	19
第二节 叠加原理.....	21
第三节 等效法.....	22
一、电阻串并联联接及电阻的星形三角形联接的等效变换.....	23
二、电压源与电流源的等效变换.....	26
三、等效电源定理.....	28
习题.....	30
第三章 交流电路	33

第一节 正弦交流电的基本概念	33
一、正弦交流电的三要素	33
二、正弦交流电的表示法	36
第二节 纯电阻、纯电感、纯电容单相正弦交流电路	38
一、纯电阻交流电路	38
二、纯电感交流电路	40
三、纯电容交流电路	42
第三节 简单单相正弦交流电路的计算	44
一、 R 、 L 、 C 串联交流电路	44
二、阻抗的串联和并联	47
第四节 交流电路中的谐振	49
一、串联谐振	49
二、并联谐振	51
第五节 交流电路的功率因数	53
* 第六节 非正弦交流电路	55
第七节 三相交流电路	57
一、三相电源	57
二、三相负载的联接	59
三、三相功率	63
四、三相功率的测量	64
第八节 安全用电	65
一、电流对人体的作用与安全电压	65
二、触电方式	66
三、电器设备的接地与接零保护	66
习题	68
第四章 电路的过渡过程	72
第一节 换路定律	72
第二节 一阶 RC 电路的过渡过程	74
一、一阶 RC 电路过渡过程的微分方程和三要素公式	74
二、一阶 RC 电路过渡过程的分析	77
三、RC 微分电路和积分电路	80
第三节 一阶 RL 电路的过渡过程	81
一、一阶 RL 电路的零状态响应	81
二、一阶 RL 电路的零输入响应	83
习题	84
第五章 变压器和异步电动机	87
第一节 磁路及交流铁心线圈电路	87
一、磁路	87
二、交流铁心线圈电路	89
第二节 变压器	91

一、变压器的类别	91
二、变压器的基本构造	91
三、变压器的工作原理	92
四、变压器的作用	95
五、变压器的外特性及技术参数	96
六、几种常用的变压器	97
* 七、变压器绕组的极性	99
第三节 三相异步电动机	100
一、异步电动机的模型	100
二、三相异步电动机的结构简介	101
三、三相异步电动机的转动原理	102
第四节 三相异步电动机的转矩与机械特性	106
一、电磁转矩	106
二、三相异步电动机的转矩特性和机械特性	107
第五节 三相异步电动机的使用	109
一、三相异步电动机的铭牌数据	109
二、三相异步电动机的起动	110
三、三相异步电动机的调速	113
四、三相异步电动机的选择	113
五、额定电压和转速的选择	114
* 第六节 单相异步电动机	115
一、转动原理	115
二、单相异步电动机的类型	116
习题	117
第六章 电气自动控制	119
第一节 常用低压控制电器	119
一、手控电器	119
二、自控电器	122
第二节 三相异步电动机常用的继电接触控制电路	125
一、直接起动-停止控制电路	125
二、三相异步电动机正、反转控制电路	126
三、顺序控制	127
四、时间控制	128
五、行程控制	128
* 第三节 可编程序控制器 (PLC) 简介	129
一、PLC 的出现	129
二、PLC 的组成	130
三、PLC 的基本结构	130
四、PLC 的工作方式	131
五、PLC 的梯形图及基本指令	132

六、应用举例	134
七、PLC 的特点	134
习题	135
第七章 分立元件放大电路	137
第一节 半导体器件	137
一、PN 结	137
二、半导体二极管	140
三、晶体三极管	144
四、绝缘栅场效应管	148
第二节 基本放大电路	151
一、放大电路的组成及工作原理	151
二、放大电路的分析	153
第三节 放大电路中静态工作点的稳定	160
第四节 共集电极放大电路	163
一、静态分析	164
二、动态分析	164
第五节 多级放大电路	166
一、阻容耦合放大电路	166
二、直接耦合放大电路	168
第六节 功率放大电路	169
一、乙类互补对称功率放大电路	170
二、甲乙类互补对称功率放大电路	170
习题	171
第八章 集成运算放大器	178
第一节 集成运算放大器概述	178
一、集成运放的基本组成	178
二、集成运放的输入级——差动放大电路	179
三、集成运放的工作原理	181
四、集成运放的特性	182
第二节 放大电路中的负反馈	184
一、反馈的基本概念	184
二、放大电路中负反馈的类型	185
三、负反馈对放大电路性能的改善	189
第三节 集成运放在信号运算方面的应用	191
一、比例运算	192
二、加法运算	193
三、减法运算	193
四、积分运算	194
五、微分运算	195
第四节 集成运放在信号处理方面的应用	196

一、有源滤波器·····	196
二、电压比较器·····	198
第五节 集成运放在信号产生方面的应用·····	200
一、产生正弦波振荡的条件·····	200
二、RC 正弦波振荡电路 ·····	202
习题·····	203
第九章 直流电源 ·····	209
第一节 直流稳压电源·····	209
一、单相桥式整流电路·····	209
二、滤波电路·····	210
三、稳压电路·····	212
第二节 晶闸管和可控整流电路·····	214
一、晶闸管·····	214
二、可控整流电路·····	216
习题·····	217
第十章 数字电路基础 ·····	219
第一节 数字电路概述·····	219
一、模拟信号与数字信号·····	219
二、数字电路·····	220
三、数字电路的分类·····	220
第二节 数制与码制·····	221
一、数制·····	221
二、码制·····	223
第三节 二极管、三极管及 MOS 管的开关特性 ·····	224
一、二极管的开关特性·····	224
二、三极管的开关特性·····	225
三、MOS 管的开关特性 ·····	226
第四节 基本逻辑门电路·····	227
一、“与”逻辑及“与”门电路 ·····	227
二、“或”逻辑及“或”门电路 ·····	228
三、“非”逻辑及“非”门电路 ·····	229
四、正逻辑与负逻辑·····	229
第五节 逻辑代数的基本公式·····	230
习题·····	230
第十一章 集成逻辑门电路和组合逻辑电路 ·····	233
第一节 集成逻辑门电路·····	233
一、TTL 逻辑门电路 ·····	233
二、MOS 逻辑门电路 ·····	239
第二节 逻辑函数的化简·····	243
一、逻辑函数的表示方法·····	243

二、逻辑函数的化简·····	244
第三节 组合逻辑电路·····	246
一、组合逻辑电路的分析·····	246
二、组合逻辑电路的设计·····	247
第四节 常用中规模集成组合逻辑功能器件·····	249
一、二进制并行加法器·····	249
二、译码器·····	249
* 三、数据选择器·····	254
习题·····	255
第十二章 触发器和时序逻辑电路·····	259
第一节 集成双稳态触发器·····	259
一、基本 RS 触发器·····	259
二、钟控触发器（同步触发器）·····	262
第二节 时序逻辑电路·····	267
一、时序逻辑电路的分析·····	268
二、寄存器·····	270
三、计数器·····	271
四、常用中规模集成时序逻辑功能器件·····	274
第三节 555 集成定时器及其应用·····	279
一、555 集成定时器·····	280
二、555 集成定时器的应用举例·····	281
* 第四节 数字集成电路应用实例·····	284
一、循环彩灯·····	284
二、简易数字钟·····	284
三、智力竞赛抢答器·····	285
习题·····	286
第十三章 半导体存储器和可编程逻辑器件·····	291
第一节 半导体存储器·····	291
一、只读存储器（ROM）·····	291
二、随机存取存储器（RAM）·····	292
第二节 可编程逻辑器件（PLD）·····	294
一、PLD 简介·····	294
二、可编程只读存储器·····	295
三、可编程逻辑阵列（PLA）·····	298
四、可编程阵列逻辑（PAL）·····	299
五、通用阵列逻辑（GAL）·····	299
习题·····	300
第十四章 数/模与模/数转换器及在非电量电测中的应用·····	301
第一节 DAC 与 ADC 的转换原理·····	301
一、数/模转换器（DAC）·····	301

二、模/数转换器 (ADC)	304
* 第二节 ADC 在非电量电测中的应用简介	306
一、传感器	307
二、测量电路	309
三、ADC 在非电量电测中的应用举例	310
习题	311
参考文献	312

第一章 电路的基本概念

第一节 电路的作用和组成

电路是由各种电路元件相互连接而构成的电流的通路。电路的种类繁多，用途各异。

一、电路的作用

电路的基本作用可以概括为两大类。

1. 电路能够实现电能的传输和转换

这一类的典型应用是电力系统。其电路如图 1-1 所示。

电源输出电能，电源有多种形式，如发电机、电池等。它们可以将机械能、水能、热能、原子能等形式的能量转换为电能，通过中间环节供给负载。中间环节包括变压器、输电线、开关等其他设备。负载是用电设备，如电灯、电动机、电炉等，它们又分别将电能转换成光能、机械能和热能。

这一类电路的作用主要是以较高的效率传输电能和分配电能，这类电路一般电压较高，电流和功率较大，习惯上常称为“强电”电路。

2. 电路能够实现信号的传递和处理

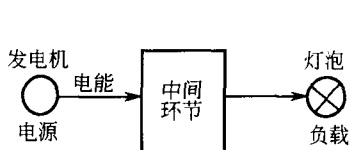


图 1-1 电能的传输和转换

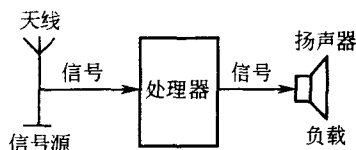


图 1-2 信号的传递和处理

以收音机电路为例，如图 1-2 所示。

收音机的天线将接收到的电磁波转换成相应的电信号，再经放大和处理，最后由扬声器还原出语音信号。天线在这里起到一个信号源的作用，相当于图 1-1 中的电源，但不同于产生电能的一般电源，其主要作用是产生电压信号和电流信号。这里的中间环节含有导线和放大器等。扬声器是接受和转换信号的设备，也就是负载。

这一类电路的作用主要是尽可能准确地传递和处理信号，这类电路通常电压较低，电流和功率较小，习惯上常称为“弱电”电路。

二、电路的组成

实际电路是为了某一目的需要而将实际电路元件相互连接而成。不论其结构和作用如何，均可看成由实际的电源、负载和中间环节（传输和转换电能与传递和处理电信号）这三个基本部分组成。

实际电路元件的电磁性质比较复杂，难以用简单的数学关系表达它的物理特性。例如一个白炽灯通过电流时，除了具有电阻特性外，还会产生磁场，即具有电感性。为了便于对实际电路进行分析，可将实际电路元件理想化（或称模型化），即在一定条件下突出其主要的电磁性质，忽略其次要因素，将其近似地看做理想电路元件。例如白炽灯主要作用是消耗电

能, 呈现电阻特性, 而产生的磁场很微弱, 因而将其近似地看做纯电阻元件。理想电路元件

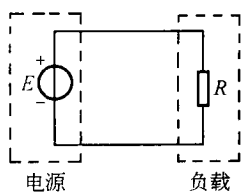


图 1-3 电路模型示例

是对实际电路元件的科学抽象。实际上是一种数学模型。理想电路元件中主要有电阻元件、电容元件、电感元件和电源元件等。由一些理想电路元件组成的电路, 就是实际电路的电路模型。通常把理想电路元件称为元件, 将电路模型简称为电路。最简单的电路如图 1-3 所示。它由电源和负载组成。中间环节是连接导线。这里电源是泛指, 既可以是一般电源也可以是信号源; 负载也是泛指的, 既可以是一般用电设备, 也可以是传输和处理信号的某些装置。连接

导线的电阻忽略不计, 予以理想化。

电路分析中, 把作用在电路上的电源或信号源的电压或电流称为激励, 也叫做输入, 它推动电路工作; 把由于激励在电路各部分产生的电压和电流称为响应, 也叫做输出。所谓电路分析, 就是在已知电路结构和元件参数的条件下, 讨论电路的激励与响应之间的关系。

第二节 电路的基本物理量

为了定量描述电路的电磁过程和状态, 引入了电流、电压、电动势、电荷、磁链、能量、电功率及电能等物理量。下面介绍几个基本物理量。

一、电流及其参考方向

电流是由电荷有规则的定向流动形成的。电流的大小用电流强度来衡量。电流强度等于单位时间内通过导体某截面的电量。电流强度也简称电流, 用字母 i 表示, 即

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

在国际单位制中, 电流 i 的单位是 A (安培), 简称安, 电量 Q 的单位是 C (库仑), 时间 t 的单位是 s (秒)。

如果电流的大小和方向都不随时间变化, 则为直流电流, 用大写字母 I 表示。如果电流的大小和方向都随时间变化, 则为交流电流, 用小写字母 i 表示。

习惯上规定正电荷移动的方向作为电流的实际方向。但在电路分析时, 电流的实际方向有时难以确定, 因而可以任意选定一个方向作为电流的参考方向 (也称为正方向), 并在电路图中用箭头标出, 如图 1-4 所示, 然后根据所假定的电流参考方向列写电路方程求解。因为

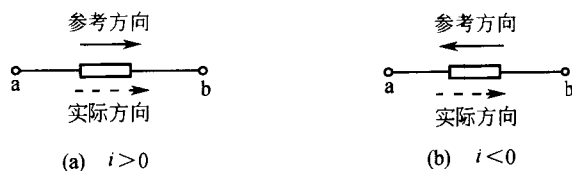


图 1-4 电流的参考方向

所选的电流的参考方向并不一定与电流的实际方向一致, 如果计算结果为正, 则表示电流的实际方向与参考方向相同; 如果计算结果为负, 则表示电流的实际方向与参考方向相反。这样电流的值就有正有负, 是个代数量。交流电流的实际方向是随时间而变的, 因此也必须规定电流的参考方向, 如果某一时刻电流为正值, 即表示在该时刻电流的实际方向和参考方向相同; 如为负值, 则相反。因此在电路分析时设定电流参考方向是不可缺少的。在未标明参考方向的情况下, 电流的正负是毫无意义的。

电流的参考方向除了用箭头表示以外，还可由双下标表示。例如 I_{ab} 表示电流由 a 点流向 b 点，即电流的参考方向是由 a 点流向 b 点。

二、电压和电动势及其参考方向

电场力把单位正电荷从电路中一点移到另一点所作的功，叫做这两点间的电压。即

$$u = \frac{dw}{dq} \tag{1-2}$$

在国际单位制中，电压的单位是 V（伏特）。简称伏。功的单位是 J（焦耳）。直流电压用大写字母 U 表示，交流电压用小写字母 u 表示。电压是标量，但在分析电路时，和电流一样，也具有方向，电压的实际方向规定为由高电位端指向低电位端。

与电流的参考方向类似，可以任意选取电压的参考方向。当实际方向与参考方向相同时，电压为正值；当实际方向与参考方向相反时，电压为负值，如图 1-5 所示。

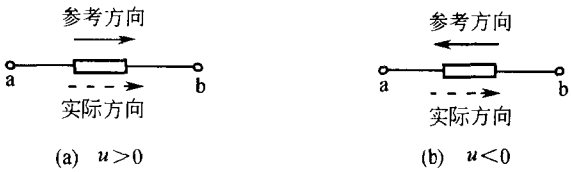


图 1-5 电压的参考方向

分析电路时，电压的参考方向也可以用参考极性表示，参考极性也可以任意假定。在电路图上用“+，-”号表示，“+”表示高电位端，“-”表示低电位端。当电压值为正时，该电压的实际极性与参考极性相同；电压值若为负，该电压的实际极性与参考极性相反。可见，在没有设定参考方向时，电压的正负也是没有意义的。

电压参考方向除用箭头、正负号表示外，还可由双下标表示，例如用 U_{ab} 表示两点间的电压，它的参考方向是由 a 指向 b，也就是说 a 点的参考极性为“+”，b 点的参考极性为“-”。

电动势描述了电源中外力做功的能力，它的大小等于外力在电源内部克服电场力把单位正电荷从负极移到正极所做的功。它的实际方向是在电源内部由负极指向正极，如图 1-6 所示，电动势的单位为 V（伏特）。

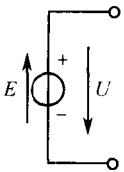


图 1-6 电压和电动势

一个元件或者一段电路中电流和电压的参考方向是可以任意设定的，二者可以一致，也可以不一致。当电流和电压的参考方向一致时，称为关联参考方向；如图 1-7 中 (a)、(b)；两者相反时称为非关联参考方向，如图 1-7 中 (c)、(d)。

在电路中，负载上一般设定为关联参考方向。电源上设定为非关联参考方向。值得注意的是，由于关联参考方向是针对某一具体元件或一段电路而言的，在谈到这一问题时，必须说明在哪个元件或哪一段电路上电压和电流为关联或非关联参考方向。

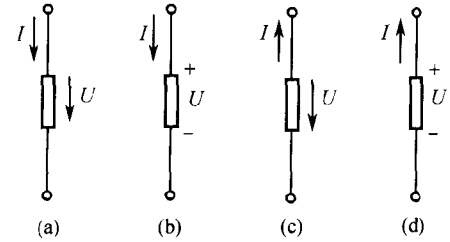


图 1-7 关联参考方向与非关联参考方向

三、电功率

在电路中，有的元件吸收电能，并将电能转换成其他形式的能量；有的元件是将其他形式的能量转换成电能，即元件向电路提供电能。电功率简称

为功率，它描述电路元件中电能变换的速度，其值为单位时间内元件所吸收或输出的电能，即

$$p = \frac{d\omega}{dt} = ui \quad (1-3)$$

在直流情况下为

$$P = UI \quad (1-4)$$

在国际单位制中，功率的单位为 W（瓦特），简称瓦。

功率的定义可推广到任何一段电路，而不局限于一个元件。

在电压和电流的关联参考方向下，计算出的功率为正值，表示该元件吸收功率；若为负值，则表示输出功率。若在非关联参考方向下，则相反。

【例 1-1】 确定图 1-8 所示电路中各元件上的电流、电压和功率，并指出是吸收功率还是输出功率。

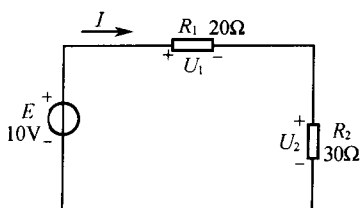


图 1-8 例 1-1 的电路

解

$$I = \frac{E}{R_1 + R_2} = \frac{10}{20 + 30} = 0.2 \text{ A}$$

$$U_1 = R_1 I = 20 \times 0.2 = 4 \text{ V}$$

$$U_2 = R_2 I = 30 \times 0.2 = 6 \text{ V}$$

$$P_E = -EI = -10 \times 0.2 = -2 \text{ W} \quad \text{输出功率}$$

$$P_1 = U_1 I = 4 \times 0.2 = 0.8 \text{ W} \quad \text{吸收功率}$$

$$P_2 = U_2 I = 6 \times 0.2 = 1.2 \text{ W} \quad \text{吸收功率}$$

第三节 电阻、电容和电感元件

一、电阻元件

反映电能消耗的电路参数叫电阻。实际元件的电阻特性在电路中用电阻元件来模拟，电阻元件也简称为电阻。

电阻元件的符号如图 1-9 所示。

电阻元件上电压和电流之间的关系称为伏安特性。如果电阻元件的伏安特性曲线在 $u-i$ 平面上是一条通过坐标原点的直线，则称为线性电阻元件；如果一个电阻元件的伏安特性不是通过原点的直线，则称为非线性电阻元件。

在关联参考方向下，线性电阻元件两端的电压 u 和流过它的电流 i 之间的关系遵循欧姆定律

$$u = iR \quad (1-5)$$

式中 R 为元件的电阻，是一个与电压、电流无关的常数。

电阻元件的特性也可以用另外一个参数 G 来表示，称为电导。电阻与电导的关系为

$$R = \frac{1}{G} \quad (1-6)$$

在国际单位制中，电阻的单位是 Ω （欧姆）简称欧。电导的单位是 S（西门子）。

电阻元件要消耗电能，是一个耗能元件。电阻吸收（消耗）的功率为

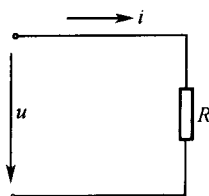


图 1-9 电阻元件

$$p = ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R} \quad (1-7)$$

从 t_1 到 t_2 的时间内, 电阻元件吸收的能量为

$$W = \int_{t_1}^{t_2} Ri^2 dt \quad (1-8)$$

二、电容元件

电容元件简称为电容。电容元件的符号如图 1-10 所示。

对于电容元件, 在任一时刻它所储存的电荷与其端电压之间的关系称为库伏特性。如果一个电容元件的库伏特性曲线在 $u-q$ 平面上为一条通过原点的直线, 则称该电容元件为线性电容元件。如果一个电容元件的库伏特性曲线不是 $u-q$ 平面上一条通过原点的直线, 则称该电容元件为非线性电容元件。

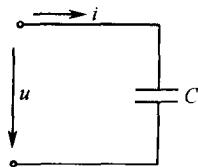


图 1-10 电容元件

线性电容元件库伏特性的数学表达式为

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

式中 C 为元件的电容, 是一个与电荷、电压无关的常数, 单位为 F (法拉)。由于法拉的单位太大, 实用中常采用 μF (微法) 或 pF (皮法), $1\text{ F} = 10^6 \mu\text{F} = 10^{12} \text{ pF}$ 。

电容元件的特性, 是由库伏特性描述的。但在电路分析中, 更感兴趣的是电容元件的伏安特性关系。当电容元件两端的电压发生变化时, 所储存的电荷也相应地变化, 这时将有电荷在电路中流动而形成电流。

在电容电压和电流为关联参考方向时, 由电流的定义

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

上式表明, 在任一时刻流过线性电容元件的电流与其端电压对时间的变化率成正比。对于恒定电压, 电容的电流为零。所以电容元件对直流电路而言相当于开路。

当电容元件上的初始电压为零时, 则有

$$u = \frac{1}{C} \int_0^t i dt \quad (1-11)$$

电容元件是一个储能元件, 当电容的两端电压为 u 时, 它所储存的电场能 (量) 为

$$W = \frac{1}{2} Cu^2 \quad (1-12)$$

三、电感元件

电感元件简称为电感。电感元件的符号如图 1-11 所示。

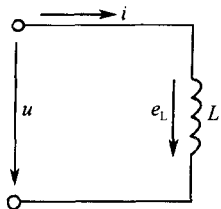


图 1-11 电感元件

对于电感元件, 在任一时刻它的磁链与它的电流之间的关系称为韦安关系。如果一个电感元件的韦安特性曲线在 $i-\psi$ 平面上是一条通过原点的直线, 则称该电感元件为线性电感元件。如空心线圈的电感就是线性电感。如果一个电感元件的韦安特性曲线不是 $i-\psi$ 平面上一条通过原点的直线, 则称该电感元件为非线性电感元件。例如铁心线圈 (线圈中放入铁磁物质) 的电感就是非线性电感。

线性电感元件韦安特性的数学表达式为

$$\psi = Li \quad (1-13)$$

式中 L 为元件的电感。是一个与磁链、电流无关的常数, 单位为 H (亨利)。

电感元件的特性,是由韦安特性描述的。但在电路分析中,更感兴趣的是电感元件的伏安关系。当通过电感元件的电流发生变化时,磁链也相应发生变化,此时电感线圈内将产生感应电动势 e ,通常规定感应电动势 e 的参考方向与磁场线的参考方向符合右手螺旋定则,在此规定下,便可得到自感电动势的表达式

$$e = -\frac{d\psi}{dt} = -L \frac{di}{dt} \quad (1-14)$$

因此电感线圈两端的电压为

$$u = L \frac{di}{dt} \quad (1-15)$$

上式表明,在任一时刻电感元件的电压取决于该时刻电流的变化率。对于恒定电流,电感元件的端电压为零,所以电感元件对直流电路而言相当于短路。

当电感元件上初始电流为零时,由式(1-15)可知

$$i = \frac{1}{L} \int_0^t u dt \quad (1-16)$$

电感元件是一个储能元件。当流过电感元件的电流为 i 时,它所储存的磁场能(量)为

$$W = \frac{1}{2} Li^2 \quad (1-17)$$

第四节 电 源 元 件

一、独立电源

能够独立向外电路提供能量的电源称为独立电源。如蓄电池、发电机、稳压电源和信号源等。电源向电路提供电压或电流,信号源向电路提供信号电压或信号电流,独立电源按照其特性的不同可以分为电压源和电流源。

1. 理想电源

理想电源是实际电源的理想化模型。理想电源分为理想电压源和理想电流源两种。

理想电压源能向负载提供一个恒定值的电压——直流电压 U_s 或按某一特定规律随时间变化的交流电压 u_s (其幅值、频率不变),因此又称为恒压源,如图 1-12 所示。恒压源有两个重要特点:一是恒压源两端的电压与流过电源的电流无关;二是恒压源输出电流的大小取决于恒压源所联接的外电路。

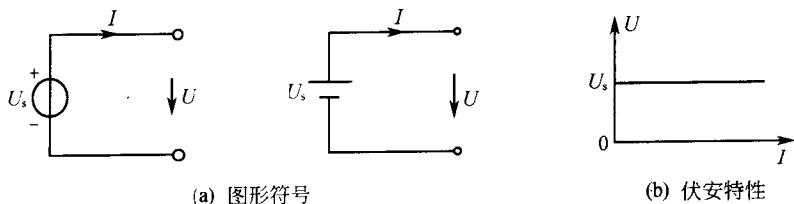


图 1-12 理想电压源

理想电流源能向负载提供一个恒定值的电流——直流电流 I_s 或按某一特定规律随时间变化的交流电流 i_s (其幅值、频率不变),因此又称为恒流源。恒流源有两个重要特点:一是恒流源输出电流与恒流源的端电压无关;二是恒流源的端电压取决于与恒流源相连接的外电路,如图 1-13 所示。