

电工电子技术基础

主编 祖国建 姜凤武 主审 邬书跃

TM-43/2

2007

电工电子技术基础

主 编 祖国建 姜凤武

参 编 唐立伟 晏清莲 王玺珍

钟新跃 刘理云

主 审 邬书跃

中南大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术基础/祖国建,姜凤武主编. —长沙:中南大学出版社,
2007. 7

ISBN 978-7-81105-571-9

I. 电... II. ①祖...②姜... III. ①电工技术②电子技术
IV. TMTN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 091319 号

电工电子技术基础

主编 祖国建 姜凤武

☐责任编辑 邓立荣

☐责任印制 文桂武

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-8876770

传真:0731-8710482

☐印 装 长沙市华中印刷厂

☐开 本 730×960 1/16 ☐印张 20.5 ☐字数 372 千字

☐版 次 2007 年 7 月第 1 版 ☐2007 年 7 月第 1 次印刷

☐书 号 ISBN 978-7-81105-571-9

☐定 价 28.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换

内 容 提 要

本书为培养适应 21 世纪复合型、技能型人才的需要,系统地介绍了电工学和电子学的基本内容,在注重知识的系统性和连贯性的同时,把理论知识和实践知识进行了有机的结合。

全书共 12 章,前五章是电工学的内容,包括电路分析基础、正弦交流电路、三相交流电路、磁路和变压器、常用低压电器及异步电动机的控制;后七章是电子学的内容,包括常用半导体器件、基本放大电路、集成运算放大器及其应用、直流稳压电源、数字电子技术基础和组合逻辑电路、触发器和时序逻辑电路、数/模和模/数转换器。

本书在编写上力求通俗易懂,突出知识的厚基础和实用性,省略不必要的数学推导和复杂计算。

本书适用于普通高校及高职院校本、专科非电类理工科专业学生使用。

前 言

为了培养适应21世纪复合型、应用型人才的需要,结合我国高等院校教学的现状,立足培养学生能跟上国际经济的发展水平,更新教学内容和教学方法,反映当代电工电子技术的新技术、新工艺,按照教育部最新制定的电工电子技术的教学大纲,遵循“好教好学”原则,中南大学出版社和有关高校策划出版了这本教材。

通过本课程的学习,学生可获得电工电子技术领域必需的基本理论、基本知识和基本技能,为学生学习有关专业课程提高综合应用能力,为今后工作中应用电工电子技术知识分析问题、解决问题、扩展专业的能力打下良好的基础。

本教材层次分明,条理清晰,结构合理,重点突出,要领阐述清楚准确,内容深入浅出,通俗易懂。在保证基础、加强应用、精选内容、体现先进的前提下,注重能力的培养,精心选配例题和习题,建立了新的教材体系。

本书可作为高校非电类专业电工电子技术课程(少学时)的教材或参考书,也可供有关工程技术人员参考,还可供有兴趣的读者自学使用。

参加本书编写工作的有:祖国建(第6、7、12章)、姜凤武(第3、4章)、唐立伟(第8、9章)、晏清莲(第1、2章)、钟新跃(第11章)、刘理云(第10章)、王玺珍(第5章);祖国建负责全书的统稿工作。

湖南科技大学的鄢书跃教授主审了全书内容并提出了宝贵的修改意见。在本书的编写过程中还得到了湖南娄底职业技术学院龙伟副教授、胡治民副教授和湖南铁道职业技术学院邓木生副教授、张莹副教授的大力支持,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,加之时间较紧,敬请广大师生和读者对书中的错误和不当之处给予批评指正。

编 者

2007年6月

目 录

第1章 电路的基本概念与基本定律	(1)
1.1 电路和电路模型	(1)
1.2 电路的基本物理量	(2)
1.3 电气设备的额定值及电路的工作状态	(6)
1.4 电路基本元件	(7)
1.5 独立电源及其等效变换	(10)
1.6 基尔霍夫定律	(15)
1.7 结点电压法	(19)
1.8 叠加原理	(20)
1.9 戴维宁定理	(22)
思考练习题	(25)
第2章 正弦交流电路	(31)
2.1 正弦交流电的基本概念	(31)
2.2 正弦量的相量表示法	(34)
2.3 单一参数的正弦交流电路	(37)
2.4 电阻、电感、电容组成的串联电路	(41)
2.5 正弦交流电路中的功率	(47)
思考练习题	(51)
第3章 三相交流电路	(55)
3.1 三相交流电概述及三相电源的连接	(55)
3.2 三相负载的连接	(59)
3.3 三相电路的功率	(65)
3.4 安全用电常识	(66)
思考练习题	(70)
第4章 磁路和变压器	(73)
4.1 磁路概述	(73)
4.2 单相变压器的基本结构及工作原理	(76)

4.3 变压器绕组的极性	(82)
4.4 三相变压器	(84)
4.5 变压器的额定值	(88)
4.6 特殊变压器	(88)
思考练习题	(92)
第5章 常用低压电器及异步电动机的控制	(94)
5.1 常用低压电器	(94)
5.2 三相异步电动机的基本知识	(102)
5.3 三相异步电动机的电磁转矩和机械特性	(108)
5.4 三相异步电动机的启动、调速和制动	(114)
5.5 三相异步电动机的继电器-接触器控制电路	(120)
思考练习题	(127)
第6章 常用半导体器件	(129)
6.1 半导体的基础知识	(129)
6.2 半导体二极管	(134)
6.3 晶体三极管	(138)
6.4 单极型三极管	(142)
思考练习题	(143)
第7章 基本放大电路	(145)
7.1 共发射极基本放大器	(145)
7.2 射极输出器多级放大器简介	(151)
7.3 放大器中的反馈	(156)
思考练习题	(160)
第8章 集成运算放大电路及其应用	(163)
8.1 集成运算放大器基本知识	(163)
8.2 集成运放的线性应用	(167)
8.3 集成运放的非线性应用	(173)
8.4 集成运放应用中的一些实际问题	(176)
思考练习题	(178)
第9章 直流稳压电源	(182)
9.1 单相整流滤波电路	(182)

9.2 稳压电路	(188)
9.3 可控整流电路	(192)
思考练习题	(201)
第10章 数字电子技术基本理论与组合逻辑电路	(204)
10.1 数字电路概述	(204)
10.2 数制与码	(205)
10.3 逻辑函数与逻辑门电路	(210)
10.4 逻辑函数的公式化简法	(220)
10.5 组合逻辑电路	(226)
10.6 译码器	(231)
10.7 加法器	(235)
思考练习题	(236)
第11章 时序逻辑电路	(239)
11.1 触发器	(239)
11.2 时序电路的一般分析方法	(253)
11.3 寄存器	(257)
11.4 计数器	(261)
11.5 移位寄存器型计数器	(282)
11.6 顺序脉冲发生器	(288)
11.7 半导体存储器和专用集成电路	(290)
思考练习题	(302)
第12章 数/模和模/数转换器	(306)
12.1 数/模转换器(DAC)	(306)
12.2 模/数转换器(ADC)	(311)
思考练习题	(316)
参考文献	(317)

第1章 电路的基本概念与基本定律

本章主要介绍电路的基本概念、电压源与电流源及其等效变换、基尔霍夫定律、支路电流法、结点电压法、叠加原理、戴维宁定理。

直流电路中的很多概念、定理及解题方法也适用于正弦交流电路及其他各种线性电路。故本章的内容是学习电工学课程的重要基础。

1.1 电路和电路模型

1.1.1 电路

电路是为实现某种功能,由若干电气设备或元器件按一定方式用导线连接而成的电流通路。简单地说,就是电流的通路。实际电路的结构形式多种多样,但就其功能而言,可以划分为电力电路(强电电路)、电子电路(弱电电路)两大类。电力电路主要是实现电能的传输和转换。电子电路主要是实现信号的传递和处理。

1.1.2 电路模型

1. 实际电路

如图1-1所示,实际电路通常由电源、负载及中间环节等三部分组成。电源是将其他形式的能量转换为电能的装置,如发电机、干电池、蓄电池等;负载是取用电能的装置,通常也称为用电器,如白炽灯、电炉、电视机、电动机等;中间环节是传输、控制电能的装置,如连接导线、变压器、开关、保护电器等。

2. 电路模型

在电路的分析计算中,人们往往将实际的元器件理想化,只考虑其主要的电磁性能,而忽略其次要因素,称这样的二端元件为理想元件。由理想元件构成的电路,称为电路模型(简称电路),并用国标规定的符号表示。图1-2为手电筒电路模型。

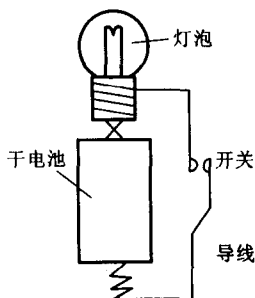


图 1-1 手电筒电路

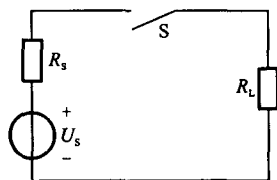


图 1-2 手电筒电路模型

1.2 电路的基本物理量

1.2.1 电流

单位时间内通过导线某一截面的电荷量定义为电流，用符号 i (或 I) 表示。随时间变化的电流定义为

$$i = \frac{dQ}{dt} \quad (1.1)$$

式中 dQ 为时间 dt 内通过导线某一截面的电荷量。

当 $\frac{dQ}{dt}$ 为常数时，则称这种电流为直流。一般用大写字母如 U 、 I 表示直流电压、直流电流，小写字母 u 、 i 表示电压、电流随时间变化的交流量。

在国际单位制(SI)中，电流的单位为安培(简称安)，用 A 表示。

在电场力作用下，电荷有规则地移动，形成了电流。规定正电荷移动的方向为电流的方向。如图 1-3 所示，用箭头表示电流的实际方向。但在较为复杂的电路中，电流实际方向有时难以判定。因此，为了分析、计算的需要，引入了

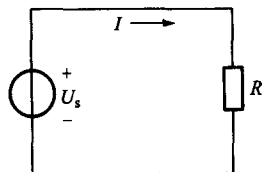


图 1-3 简单电路

电流的参考方向(又称为正方向)。注意：电流的参考方向是人为规定的，在分析和计算电路时，参考方向一旦选定，就不再变动。当电流的参考方向与实际方向相同时，电流为正值；反之，取负值。这样，电流的值就有正有负，它是一个代数量，其正负可以反映电流的实际方向与参考方向的关系。因此电流的正、负，只有在选定了参考方向以后才有意义。

1.2.2 电压

电场力把单位正电荷从电场中的 a 点移到 b 点所做的功称为 a、b 间的电压, 用 $u_{ab}(U_{ab})$ 表示,

$$u_{ab} = \frac{dW_{ab}}{dQ} \quad (1.2)$$

式中, dW_{ab} 为电场力把正电荷 dQ 从电路中 a 点移到电路中 b 点时所做的功。电压的单位为伏特(V)。习惯上把电压降低的方向规定为电压的实际方向, 可用“+”、“-”号表示, 也可用带双下标的字母表示, 还可可用箭头表示, 如图 1-4 所示。

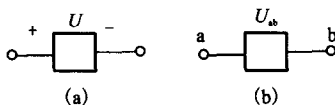


图 1-4 电压参考方向的标注

与电流类似, 在分析电路及有关物理量计算时, 也要预先设定电压的参考方向。当电压的参考方向与实际方向相同时, 电压为正值, 反之为负值。

对一段电路或一个元件而言, 其电流的参考方向和电压的参考方向可以各自独立地任意规定。也就是说, 它们的参考方向可以一致, 也可以不一致。如果电流的参考方向与电压的参考方向一致, 则称之为关联参考方向, 如图 1-5 所示, 在关联参考方向下, 欧姆定律可写为 $U = IR$; 如果电流的参考方向与电压的参考方向不一致, 则称之为非关联参考方向, 如图 1-6 所示, 在非关联参考方向下, 欧姆定律应写为 $U = -IR$ 。

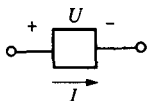


图 1-5 关联参考方向

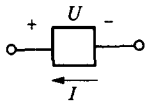


图 1-6 非关联参考方向

1.2.3 电位

在电子技术中经常要用到电位这一概念, 引入这一概念后, 会使一些问题的分析变得简单多了。如分析二极管是否导通, 只需判断阳极电位是否高于阴极电位; 分析三极管的状态, 只需分析三极管三个电极的电位关系等。

在电路图 1-7 中求 a、b 两点间的电压。

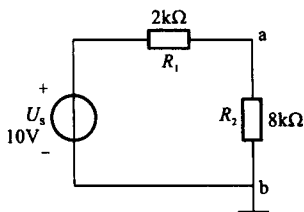


图 1-7 电路中的电位

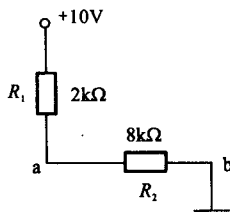


图 1-8 电路中电位的习惯画法

电压 8 V 就是 a、b 两点间的电压, 由电压的定义知, 也就是 a 点和 b 点的电位差。电位不同于电压, 它的文字符号是 V , 电压和电位的关系为

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1.3)$$

在电路图 1-7 中, 若选 b 点为参考点, 参考点就是被选作比较各点电位的基点, 用符号“ $\perp$ ”来表示。通常参考点的电位设为 0, 则 $V_b = 0$, 也即 $V_a = 8 \text{ V}$ 。显然, $V_a = 8 \text{ V}$ 是相对于 $V_b = 0$ 而言的。由此可以得出以下两个结论:

- (1) 某点的电位就是该点对参考点的电压;
- (2) 各点的电位值是相对于参考点而言的, 也就是说, 电路中参考点选得不同, 各点的电位就不同, 而电压与参考点的选择无关, 即两点间的电位差(电压)不变。

引入了电位概念后, 图 1-7 电路就可以画成图 1-8 所示电路图。其中 b 点接“地”, 电位为 0, 电源的正端标上相对于“地”的电位值, 电源的符号不再出现。这种画法各点的电位值一目了然, 有利于对电路的电位分析, 这种方法在电子技术中是常用的方法。

例 1.1 分别求出图 1-9(a) 电路中开关 S 合上和打开时 C 点的电位。

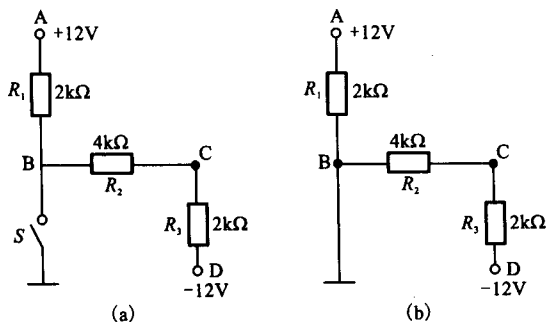


图 1-9 例 1.1 图

解: (1) 当开关合上时, 电路如图 1-9(b) 所示, B 点和“地”连在一起, $V_B = 0$, 则

$$V_C = U_{CB} = \frac{V_D - V_B}{R_2 + R_3} \times R_2 = \frac{-12 - 0}{4 + 2} \times 4 = -8 \text{ V}$$

(2) 当开关打开时, B 点并没有和“地”连在一起, $V_B \neq 0$ 。D 点对“地”的电位没变, 即 $V_D = -12 \text{ V}$ 。 V_C 值可以通过先求电压 U_{CD} 的值, 再通过 $U_{CD} = V_C - V_D$ 求得, 即

$$V_C = U_{CD} + V_D = \frac{V_A - V_D}{R_1 + R_2 + R_3} \times R_3 + V_D = \frac{12 - (-12)}{2 + 4 + 2} \times 2 + (-12) = -6 \text{ V}$$

求电位值时要注意, 如果电路中已选择了参考点, 就要以该点为基准求其他各点的电位; 若电路中没选择参考点, 则必须首先设定参考点, 再求其他各点的电位。

1.2.4 电功率与电能

电路元件在单位时间吸收或提供的电能称为电功率(简称功率), 用 P 表示, 单位为瓦(W)。在直流电路中电功率的计算公式为

$$P = \pm UI \quad (1.4)$$

式(1.4)在关联参考方向下, 若电压和电流的实际方向一致, 则式(1.4)取正号, 反之为负。当 $P > 0$, 表示该部分电路吸收功率(如电阻消耗功率, 其端电压及电流的实际方向总是一致的); 当 $P < 0$, 则表示该电路输出电功率(如供电电源)。

电路元件在一段时间内消耗或释放的能量称为电能, 用 W 表示:

$$W = Pt \quad (1.5)$$

其单位为焦耳, 简称焦, 用字母 J 表示。工程上, 直接用千瓦时($\text{kW} \cdot \text{h}$)作为单位, 俗称“度”, 且 $1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$ 。

例 1.2 在图 1-10 所示电路中, 方框表示电源或电阻, 各元件的电压和电流的参考方向如图 1-10(a) 所示。通过测量得知: $I_1 = 2 \text{ A}$, $I_2 = 1 \text{ A}$, $I_3 = 1 \text{ A}$, $U_1 = 4 \text{ V}$, $U_2 = -4 \text{ V}$, $U_3 = 7 \text{ V}$, $U_4 = -3 \text{ V}$ 。

(1) 试标出各电流和电压的实际方向。

(2) 试求每个元件的功率, 并判断其是电源还是负载。

解:

(1) 当电流和电压为正值, 其实际方向与参考方向一致; 而电流和电压为负值, 其实际方向和参考方向相反。按照上述原则, 各电流和电压的实际方向(用虚线表示)如图 1-10(b) 所示。

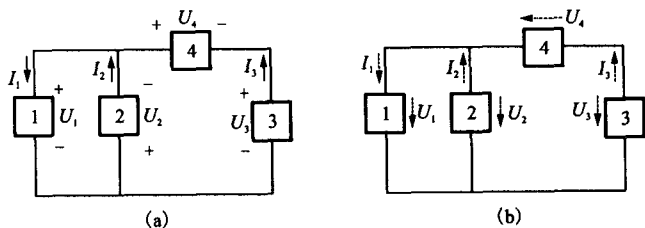


图 1-10 例 1.2 电路图

(2) 计算各元件的功率

元件 1: 电压和电流参考方向一致

$$P_1 = U_1 I_1 = 4 \times 2 = 8 \text{ W} > 0, \text{ 该元件吸收功率, 为负载。}$$

元件 2: 电压和电流参考方向一致

$$P_2 = U_2 I_2 = -4 \times 1 = -4 \text{ W} < 0, \text{ 该元件发出功率, 为电源。}$$

元件 3: 电压和电流的参考方向相反

$$P_3 = -U_3 I_3 = -7 \times 1 = -7 \text{ W} < 0, \text{ 该元件发出功率, 为电源。}$$

元件 4: 电压和电流的参考方向相反

$$P_4 = -U_4 I_3 = -(-3) \times 1 = 3 \text{ W} > 0, \text{ 该元件吸收功率, 为负载。}$$

1.3 电气设备的额定值及电路的工作状态

1.3.1 电气设备的额定值

任何一个电气设备, 为了安全可靠地工作, 都必须有一定的电流、电压和功率的限制和规定值, 这种规定值就称为额定值。如一个白炽灯, 额定值为“220 V、40 W”, 表示该灯泡应在 220 V 电压下使用, 消耗电功率为 40 W, 灯泡才发光正常, 并保证有规定的使用寿命。额定值通常用 I_N 、 U_N 、 P_N 等表示, 这些额定值常标在设备的铭牌上。电气设备和器件应尽量工作在额定状态, 这种状态称为满载; 电流和功率低于额定值的工作状态叫轻载; 高于额定值的工作状态叫过载。

1.3.2 电路的工作状态

1. 有载工作状态

将图 1-11 所示电路中的开关 S 闭合, 电源与负载接通, 电路中有电流流过, 这种工作状态叫有载工作状态。电流大小为

$$I = \frac{U_s}{R_s + R}$$

R 愈小, I 愈大。值得注意的是, 负载大小指的是电流 I 的大小, 并不是电阻的大小。如当 $I < I_N$ 时为轻载, $I > I_N$ 时为过载。

2. 开路状态

当图 1-11 所示电路中的开关 S 断开时, 电路处于开路状态, 电路中无电流流过。这种状态又叫空载。开路时可以认为外电路电阻无穷大。

3. 短路状态

在图 1-12 所示电路中, 如将 cd 间用一导线连接, 因导线电阻极小, 可忽略不计, 所以 cd 等电位。电流 I 全部从导线流过, 这种情况称为 cd 处短路。此时 $I = I_s = \frac{U_s}{R_s}$, 由于电源内阻 R_s 很小, 故 I 很大, 这会引起电源或导线绝缘的损坏。这种情况应避免。

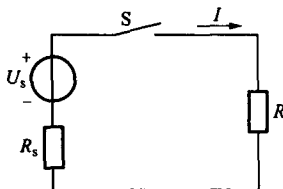


图 1-11 简单电路

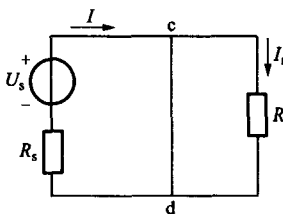


图 1-12 短路

1.4 电路基本元件

电阻元件、电感元件与电容元件都是组成电路模型的理想元件。所谓理想, 就是突出元件的主要电磁性能, 而忽略次要因素。在我们研究的电路中一般含有电阻元件、电容元件、电感元件和电源元件, 这些元件都属于二端元件, 它们都只有两个端点与其他元件相连接。电阻元件、电容元件、电感元件不产生能量, 称为无源元件; 电源元件是电路中提供能量的元件, 称为有源元件。

1.4.1 电阻元件

电阻元件一般为实际电路中的耗能元件, 如电炉、电灯等。在电路图中用字母 R 表示。

当电阻两端的电压和流过电阻的电流是关联参考方向时, 根据欧姆定律, 电压与电流成正比, 有如下关系:

$$u = iR \quad (1.6)$$

当电阻两端的电压和流过电阻的电流是非关联参考方向时, 根据欧姆定律, 电压与电流有如下关系:

$$u = -iR \quad (1.7)$$

把式(1.6)两边乘以 i 得到

$$P = ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R} = Gu^2 \geq 0 \quad (1.8)$$

上式表明:电阻总是消耗能量的,电阻元件吸收的功率恒为正值。因此,电阻元件又称为耗能元件。

其中 $G = \frac{1}{R}$, G 称为电导。电导的单位为西门子,简称西,用符号“S”表示。

电阻的单位是欧姆,简称欧,通常用符号“ Ω ”表示。

在关联参考方向下,当 $R = \frac{u}{i}$ 为常数时,称为线性电阻,其伏安特性是过原点的一直线,如图 1-13 所示。

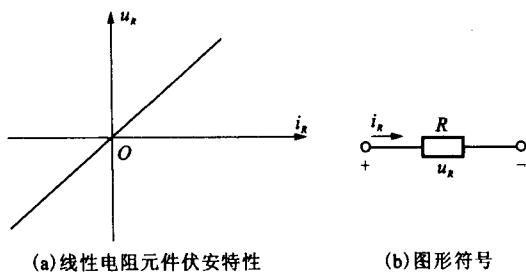


图 1-13 线性电阻元件伏安特性及图形符号

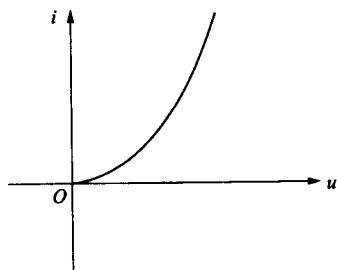


图 1-14 二极管的伏安特性

当电阻两端的电压与电流不成正比例关系时,其伏安特性是曲线,见图 1-14。电阻不是一个常数,称为非线性电阻。

1.4.2 电容元件

电容器是用来储存电荷的容器。

图 1-15 所示是一电容器简单电路,电容器极板上所储存的电荷 q 与其两端电压 u 有以下关系:

$$C = \frac{q}{u} \quad (1.9)$$

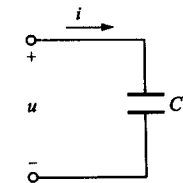


图 1-15 电容元件

C 称为电容,是电容元件的参数。当 C 是常数时,电容为线性电容,其伏安特性为过原点的直线。电容的单位是法拉(简称法),常用符号“F”表示。常用的单位还有“ μF ”、“ pF ”,它们的换算关系如下:

$$1 \text{ F} = 10^6 \mu\text{F} = 10^{12} \text{ pF}$$

当电压、电流为关联参考方向时,线性电容元件的特性方程为

$$i = C \frac{du}{dt} \quad (1.10)$$

它表明电容元件中的电流与其端电压对时间的变化率成正比。比例常数 C 称为电容,是表征电容元件特性的参数。

从式(1.10)可知,只有当电容元件两端的电压发生变化时,才有电流通过。电压变化越快,电流越大。当电压不变(直流电压)时,电流为零,电容相当于开路,所以电容元件有隔直流通交流的作用。

在 u 、 i 关联参考方向下,线性电容元件吸收的功率为

$$P = ui = Cu \frac{du}{dt} \quad (1.11)$$

在 t 时刻,电容元件储存的电场能量为

$$W_c(t) = \frac{1}{2} Cu^2(t) \quad (1.12)$$

该式表明,电容元件在某时刻储存的电场能量只与该时刻电容元件的端电压有关。当电压增加时,电容元件从电源吸收能量,储存在电场中的能量增加,这个过程称为电容的充电过程。当电压减小时,电容元件向外释放电场能量,这个过程称为电容的放电过程。电容在充放电过程中并不消耗能量,因此,电容元件是一种储能元件。

在选用电容器时,除了选择合适的电容量外,还需注意实际工作电压应不大于电容器的耐压值(耐压值是指最大允许电压,在交流电路中是指最大值)。如果实际工作电压过高大于耐压值,介质就会被击穿,电容器就会损坏。

1.4.3 电感元件

电感线圈是利用电磁感应原理工作的器件。在一个线圈中,线圈有 N 匝,当线圈通以电流 I ,在线圈内将产生磁通 Φ_L ,若磁通 Φ_L 与线圈 N 匝都交链,则磁链 $\psi_L = N\Phi_L$ 。

在电路中一般用图 1-16 表示实际线圈,并用字母 L 表示。 Φ_L 和 ψ_L 都是线圈本身电流产生的,叫做自感磁通和自感磁链。

当磁通 Φ_L 和磁链 ψ_L 的参考方向与电流参考方向满足右手螺旋定则时,则

$$\psi_L = Li \quad (1.13)$$

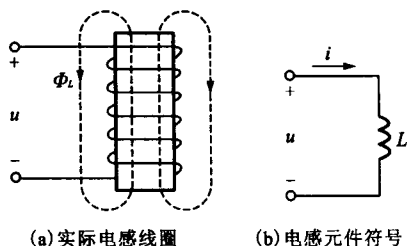


图 1-16 实际电感线圈及电感元件符号