

21 世纪电工电子学课程系列教材

电工基础实用教程

(机电类)

主 编 赖旭芝
副主编 张亚鸣 李 飞 阙建荣



中 南 大 学 出 版 社

21 世纪电工电子课程系列教材

电工基础实用教程 (机电类)

主 编 赖旭芝

副主编 张亚鸣 李 飞 阙建荣

中南大学出版社

内容简介

本教材在分析和总结以往的教学经验,根据 21 世纪电工电子学课程教学的要求而编写的。本教材共分 13 章:电路模型与电路定律;电阻电路的一般分析;正弦稳态电路;三相交流电路;电路的暂态分析;二端口网络;磁路与变压器;电动机;控制电机;继电器自动控制;电机智能控制;工业用电和安全用电以及电路仿真工具。书末附有复习思考题与答案。

本教材可用作机电类专业的电工学基础的课程教材,也可用作其他工科专业选用和社会读者阅读。

电工基础实用教程 (机电类)

主 编 赖旭芝

-
- 责任编辑 肖梓高
 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
电子邮件:csuebs @ public. cs. hn. cn
- 经 销 湖南省新华书店
 印 装 湖南航天长宇印刷有限责任公司
-
- 开 本 787×960 1/16 印张 20.25 字数 336 千字
 版 次 2003 年 2 月第 1 版 2003 年 2 月第 1 次印刷
 书 号 ISBN 7-81061-598-X/TM·008
 定 价 25.00 元
-

图书出现印装问题,请与经销商调换

21 世纪电工电子学课程系列教材编委会

主任:陈明义 宋学瑞

成员(以姓氏笔划为序):

文援朝 王英健 李义府 肖梓高 陈明义
宋学瑞 余明扬 罗桂娥 赖旭芝

前 言

为了适应时代的需要,培养的人才能够适应社会和科学技术的不断进步和连续发展,根据我校各专业设置的情况,为此,我们编写了机电类专业的“电工基础实用教程”。该教程一方面强调一些长期起作用的电工学知识,以利学生将来发展的需要;另一方面,又向学生介绍一些新的技术,来拓宽学生的知识面,以适应学科交叉和多学科的相互渗透的需要。本书是我校 21 世纪电工电子学课程系列教材之一。

本教材编入了较多的例题和习题,以便读者能够较好地掌握电工学的基本内容,培养分析问题和解决问题的能力。有些基本概念和方法是通过例题来进行说明的。每章之后都有复习思考题,以便从各个角度来巩固和加深对所学内容的掌握。

参加本教材编写的有中南大学赖旭芝(第 1、2 和 5 章)、中南大学张亚鸣(第 3、4 和 6 章)、长沙交通学院阙建荣(第 7、8 和 9 章)、中南大学李飞(第 10、11、12 和 13 章)。在本书编写过程中,得到了中南大学信息科学与工程学院电工学及应用电子技术研究所和长沙交通学院计算机科学系等单位的全力支持,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,加上时间比较仓促,书中错误和不妥之处在所难免,殷切希望使用本教材的老师和其他读者给予批评指正。

编者

目 录

第 1 章 电路模型与电路定律	(1)
1.1 电路的作用与组成	(1)
1.2 电流和电压参考方向	(1)
1.3 功率和能量	(3)
1.4 元件模型与电路模型	(4)
1.5 基尔霍夫定律	(13)
本章小结	(16)
复习思考题	(17)
第 2 章 电阻电路分析方法	(18)
2.1 等效电路分析方法	(18)
2.2 支路电流分析方法	(28)
2.3 结点电压分析方法	(28)
2.4 回路电流分析方法	(32)
2.5 叠加定理	(35)
2.6 戴维宁定理和诺顿定理	(37)
2.7 非线性电阻电路分析	(44)
本章小结	(48)
复习思考题	(49)
第 3 章 正弦稳态电路	(54)
3.1 正弦量的三要素	(54)
3.2 正弦量的相量表示	(57)
3.3 相量法的分析基础	(61)
3.4 阻抗的串联与并联	(68)
3.5 正弦稳态电路的分析	(72)
3.6 正弦稳态电路的功率	(75)
3.7 功率因数的提高	(79)
3.8 正弦电路的谐振	(82)
3.9 含耦合电感的正弦电路	(88)
3.10 非正弦周期电流电路的分析	(97)
本章小结	(103)
复习思考题	(104)

第4章 三相交流电路	(110)
4.1 三相电路	(110)
4.2 对称三相电路的计算	(113)
4.3 不对称三相电路的计算	(117)
4.4 三相电路的功率	(120)
本章小结	(123)
复习思考题	(124)
第5章 动态电路的分析	(127)
5.1 动态电路的基本概念及三要素法	(127)
5.2 换路定则及初始值的确定	(129)
5.3 一阶电路过渡过程分析	(131)
5.4 二阶电路过渡过程分析	(138)
本章小结	(142)
复习思考题	(143)
第6章 二端口网络	(145)
6.1 二端口网络	(145)
6.2 二端口网络的方程和参数	(146)
6.3 二端口网络的等效电路	(154)
6.4 二端口网络的连接	(155)
本章小结	(157)
复习思考题	(158)
第7章 磁路与变压器	(160)
7.1 磁路	(160)
7.2 交流铁芯线圈	(167)
7.3 变压器	(171)
本章小结	(181)
复习思考题	(182)
第8章 电动机	(184)
8.1 三相异步电动机的结构和工作原理	(184)
8.2 三相异步电动机的电路分析	(190)
8.3 三相异步电动机的电磁转矩与机械特性	(193)
8.4 三相异步电动机的使用	(196)
8.5 单相异步电动机	(209)
8.6 直流电动机	(212)

本章小结	(220)
复习思考题	(221)
第 9 章 控制电机	(224)
9.1 伺服电动机	(224)
9.2 步进电动机	(229)
9.3 测速发电机	(235)
本章小结	(239)
复习思考题	(240)
第 10 章 继电器接触自动控制	(241)
10.1 手动控制	(241)
10.2 启停自动控制	(245)
10.3 正反转控制	(251)
10.4 顺序连锁控制	(253)
10.5 时间控制	(254)
10.6 行程控制	(257)
10.7 应用举例	(258)
本章小结	(259)
复习思考题	(260)
第 11 章 电机智能控制	(264)
11.1 可编程控制器控制电路	(264)
11.2 单片机控制电路	(276)
11.3 PWM 控制电路	(284)
11.4 应用举例	(292)
本章小结	(295)
复习思考题	(296)
第 12 章 工业用电和安全用电	(298)
12.1 发电与输电概述	(298)
12.2 工业配电	(300)
12.3 触电防护	(301)
12.4 静电防护	(305)
12.5 节约用电	(306)
本章小结	(306)
复习思考题	(306)
复习思考题答案	(307)
参考文献	(313)

第1章 电路模型与电路定理

本章介绍电路的作用与组成,电流、电压的参考方向,电路元件模型,电路模型,元件的功率以及集总电路的基尔霍夫定律。

1.1 电路的作用与组成

电路是各种各样实际电器装置的联接体。电路能将其他形式的能量(势能、热能、原子能等)转换成电能,或将电能传输分配到用户再转换成其他形式的能量(如光能、机械能、热能等);同时,电路具有产生和处理电信号以及进行各种各样数学运算功能的作用。

图1-1所示电路是一个简单的实际电路。这个电路包含三个部分:电池、灯泡和连接导线,其中,电池的作用是将化学能量转换成电能,在此电路中向灯泡提供能量,这类器件称为电源;灯泡的作用是将电能转换成热能和光能,在此电路中消耗电池提供的能量,这类器件称为负载;连接导线的作用是将

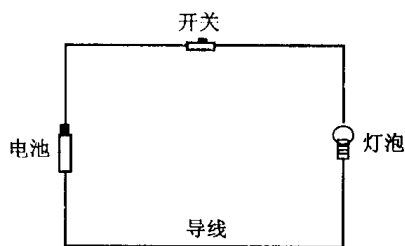


图1-1 手电筒实际电路

将电池和灯泡连接起来,保证电源(电池)和负载(灯泡)之间电流的通行。

实际存在的电器装置种类繁多,功能各异,所涉及到的物理过程各种各样。但是,电路主要分析实际电器装置工作中的电磁过程,而描述电路电磁过程的物理量主要是电流、电压、电荷和磁通。而电磁过程分析的最终目标都可以归结为计算电器器件端子之间的电压、流过端子的电流以及由电压电流形成的功率。

1.2 电流和电压参考方向

电流又称为电流强度,定义为单位时间内电荷的变化率。从数学角度出发,电流 i , 电荷 q 和时间 t 的关系为:

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

电流的方向为单位正电荷定向移动的方向。在国际单位制中,电流的单位为安培(A)。如果电流的大小和方向不随时间变化,这样的电流则被称为直流,直流电流一般用 I 表示;相反,则被称为交变电流。

电路分析目标之一就是计算流过端子的电流。但是,在电路分析中,由于电路的复杂性,难以判断出电路中电流实际方向,为了分析电路的方便,需要引入电流参考方向的概念。电流参考方向就是假设复杂电路中元件电流的方向。电流参考方向的表示方法有两种,第一种方法是用箭头,如图 1-2(a)所示;第二种方法是用双下标,如图 1-2(b)所示。

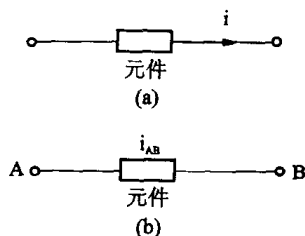


图 1-2 电流参考方向

根据电路结构和参数,如计算出电流 $i_{AB} = 3A$,则说明电流实际方向是从 A 点流向 B 点,即电流实际方向与参考方向一致;如计算出电流 $i_{AB} = -3A$,则说明电流实际方向是从 B 点流向 A 点,即电流实际方向与参考方向相反。于是,可以根据电流参考方向和电流的正负判断电流的实际方向。

分析电路的另一个重要目标是计算端子之间的电压。电压又叫电位差,用符号 u 表示。电路中 A、B 两点之间的电压定义为单位正电荷由 A 点移到 B 点时电场力所作的功,如图 1-3 所示。

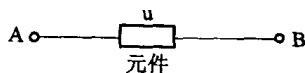


图 1-3 元件电压定义

从数学角度出发,电压 u , 能量 w 和时间 t 的关系为:

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

电压的方向为高电位指向低电位。在国际单位制中,电压的单位为伏特(V)。同样,如果电压的大小和方向不随时间变化,这样的电压则被称为直流电压;相反,则被称为交变电压。

在电路分析中,同样由于电路的复杂性,难以判断出电路中电压实际方向,为了分析电路的方便,需要引用电压参考方向的概念。电压参考方向就是假设复杂电路中电压的方向。电压参考方向的表示方法有三种,第一种方法是用箭头,如图 1-4(a)所示;第二种方法是用双下标,如图 1-4(b)所示;第三种方法是用“+”和“-”,如图 1-4(c)所示。

根据电路结构和参数,如计算出电压 $u_{AB} = 10V$,则说明电压实际方向是 A 点电位高于 B 点电位,即电压实际方向与参考方向一致;如计算出电压 $u_{AB} = -10V$,则说明电压实际方向是 B 点电位高于 A 点电位,即电压实际方向与参考方

向相反。于是,可以根据电压参考方向和电压的正负判断电压的实际方向。

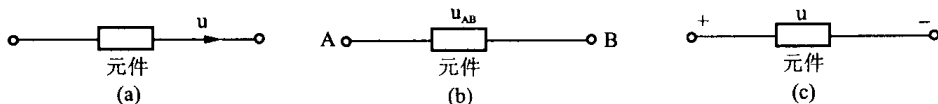


图 1-4 电压参考方向

在分析电路时,既要假定流过元件的电流方向,又要假定元件两端之间的电压方向,当同一个元件的电压和电流参考方向一致时,这样假定的参考方向为关联参考方向,如图 1-5 所示;相反,为非关联参考方向,如图 1-6 所示。

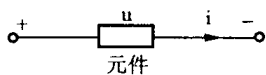


图 1-5 关联参考方向

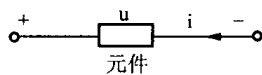


图 1-6 非关联参考方向

1.3 功率和能量

虽然电压和电流是分析电路的两个重要参数,但是它们不足以表达电路的各种性质。在实际电路中,经常需要了解一个电器设备最大的工作功率是多少;另外,在计算电费时,经常使用的是在一段时间内消耗了多少能量的电量。这样,功率和能量是分析电路的另外两个重要参数。

元件从 t_0 到 t 获得的能量 w 可以根据电压和电流的定义求得为:

$$w = \int u i dt \quad (1-3)$$

其中,能量单位为焦耳(J)。

元件的功率是单位时间内所做的功,从数学角度出发,功率 p ,能量 w 和时间 t 的关系为:

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

根据数学表达式(1-3)和(1-4),可得元件功率与元件电压和电流的关系为:

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

从式(1-4)可知,如果电压和电流随时间改变,功率是一个时变函数,即式(1-5)表达的功率是瞬时功率。这样,元件吸收或发出的功率等于元件电压和电流的乘积。根据电压和电流参考方向的定义,可知电压和电流可能为正,也可能为负,因此,功率也就可正可负。如何根据功率的正负判断元件吸收功率还是

发出功率呢?电压和电流参考方向是否关联对判断元件吸收或发出功率起重要的作用。

当元件的电压和电流参考方向为关联参考方向时,功率表达的是元件吸收功率,即当元件功率大于零时,元件吸收功率,在电路中消耗能量,相当于负载;当元件功率小于零时,元件吸收负功率,相当于元件在电路中发出功率,此时,元件在电路中相当于电源,向外提供能量。

当元件的电压和电流参考方向为非关联参考方向时,功率表达的是元件发出功率,即当元件功率大于零时,元件发出功率,向电路提供能量,在电路中起电源作用;当元件功率小于零时,元件发出负功率,相当于元件在电路中吸收功率,此时,元件相当于负载,在电路中消耗能量。

例 1-1 在图 1-7(a) 参考方向下,电压 u 为 10V, 电流 i 为 -3A, 在图 1-7(b) 参考方向下,电压 u 为 10V, 电流 i 为 3A, 试求图 1-7(a) 和 (b) 中元件的功率为多少? 并判断这两个元件的工作状态。

解 根据式(1-5)可得元件功率为 -30W, 由于电流和电压为关联参考方向, 所以该元件发出功率, 是电源工作状态[图 1-7(a)]。

根据式(1-5)可得元件功率为 30W, 由于电流和电压为非关联参考方向, 所以该元件发出功率, 是电源工作状态[图 1-7(b)]。

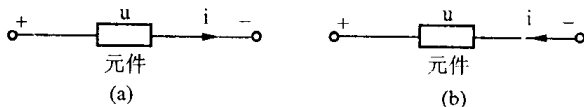


图 1-7 元件的功率

1.4 元件模型与电路模型

电路是各种各样实际电器装置的联接体。而各种实际电器装置都是由电阻器、电容器、线圈、半导体管和变压器等器件组成。为了对实际电路进行分析计算,必须把实际电路加以近似化、理想化,用一个能够表达其主要特性的“模型”来近似。

当各种实际器件的尺寸远小于电路正常工作所对应的电磁波波长时,可将它们所反映的物理现象分别用理想电路元件代替进行研究,这种理想电路元件叫集总参数元件(或集总元件),由集总元件组成的电路叫集总电路。

一个实际元件在某种条件下都可以找到它的模型。有些实际元件的模型比较简单,可以由一种理想元件构成,有些实际元件的模型比较复杂,要用几种理想元件来构成。如手电筒电路,干电池可用一个电阻器理想模型与一个电压源

理想模型的组合来构成,而灯泡可用一个电阻器理想模型来代替,如图1-8所示。

由理想电路元件构成的电路叫电路模型。今后,所研究的电路是电路模型,而不是实际电路。

电路模型有电阻、电容、电感和理想电源等理想电路元件组成。下面分别介绍电路分析中常用的理想电路元件,即电阻、电容、电感、独立电源和受控源。

1.4.1 电阻元件

电阻器、灯泡和电烙铁等都可以看作为纯电阻元件。线性电阻元件(简称为电阻元件)符号如图1-9所示。

在其电压和电流取关联参考方向情况下,在任何时刻,它两端的电压和电流关系服从欧姆定律,即:

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

上式中 R 称为元件的电阻。线性电阻的阻值为一个正实常数。在国际单位制中,当电压单位用伏特(V),电流单位用安培(A)表示时,电阻的单位为欧姆(Ω)。

电阻元件以电压为横坐标或纵坐标,电流为纵坐标或横坐标,电压和电流的关系曲线为电阻的伏-安特性。对于线性电阻,电压和电流的伏-安特性是通过原点的直线,如图1-10所示。电阻元件的电压与电流总是同时存在,即在任何时刻其电压(或电流)是由同一时刻的电流(或电压)所决定的。因此,电阻元件是一个“无记忆”元件。也就是过去电阻上的电压或电流对现在的电压或电流值没有任何影响。

对于非线性电阻,电阻的阻值不等于一个常数,其伏-安特性为曲线。本书主要分析线性电路,没有特殊说明,所有电阻都是线性电阻。

电阻元件已知电压求电流,由式(1-6)可以求出。但是,当知道电阻的电压求电流时,可以根据式(1-7)进行计算。

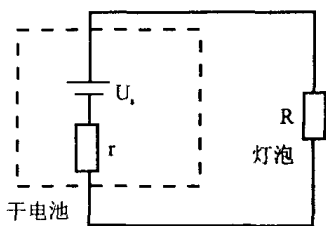


图 1-8 手电筒电路模型

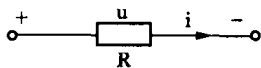


图 1-9 电阻元件图形符号

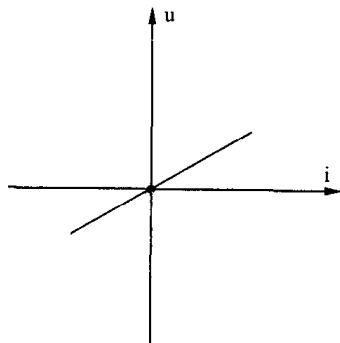


图 1-10

电阻元件的伏-安特性

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

式中 $G = 1/R$, G 为电阻元件的电导,单位是西门子(S)。

在使用式(1-6)和式(1-7)描述的欧姆定律时,必须注意电阻的电压和电流的参考方向问题,当电阻的电压和电流为非关联参考方向,如图1-11所示,则其电压和电流的数学关系为:

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

或

$$i = -Gu \quad (1-9)$$

在关联参考方向下,电阻的功率根据欧姆定律以及元件功率计算可求得为 $p_R = Ri^2$,不管电阻上电流为正还是负,电阻功率都大于零,因此电阻吸收功率,是耗能元件;在非关联参考方向情况下,电阻的功率为 $p_R = -Ri^2$,不管电阻上电流为正还是负,电阻功率都小于零,同样,电阻吸收功率,是耗能元件。即电阻元件在任何时刻都只能从外电路吸收能量,它在任何时刻都消耗电路的电能,把它转换为其它形式的能量。

根据能量定义,电阻从 t 到 t_0 时间内,从外界电路输入的总能量 W_R 为:

$$W_R = \int p_R d\tau \quad (1-10)$$

在关联参考方向情况下,在任何时刻,电阻消耗的功率 $p_R > 0$,根据式(1-10)可知,电阻元件不能对外电路提供电能,这样的元件叫无源元件。

电阻元件的阻值可以从0到无穷大范围内变化,考虑电阻为零和无穷大两种特殊情况是一个比较重要的问题。

电阻的阻值等于零时,则电阻可以用一根理想导线替代,此时电阻处相当于短路。即不管图1-9电流 i 为多大,电压 u 都等于零。

电阻的阻值等于无穷大时,则电阻相当于断开,此时电阻处相当于开路。即不管图1-9电压 u 为多大,电流 i 都等于零。

1.4.2 电容元件

电容是无源元件,但它却是一个储能元件,它把外界传送过来的能量以电场能量的形式储存起来。除电阻以外,电容元件是电子元件中最常用的一个器件。电容被广泛应用于电子学、通讯和计算机等领域。电容是在两块平行的金属板之间衬垫绝缘介质构成。当对电容外加一个电压 u 时,电容的两块金属板分别带上等量的正负电荷 q ,对线性电容而言,所带电荷 q 与外加电压 u 成正比,即:

$$q = Cu \quad (1-11)$$

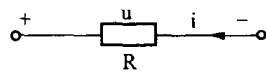


图1-11 电阻元件
为非关联参考方向

$C = q/u$ 为实常数, C 为电容元件的电容量, 电容元件的图形符号如图 1-12 所示。

在国际单位制中, 当电荷为库仑(C), 电压为伏特(V), 电容单位为法拉(F)。对电容来讲, 法拉单位太大, 在实际使用时, 一般都用微法(μF , $1\mu\text{F} = 10^{-6}\text{F}$)和皮法(pF , $1\text{pF} = 10^{-12}\text{F}$)。

电容以电压为横坐标或纵坐标, 电荷为纵坐标或横坐标, 电压和电荷之间的关系曲线为电容的库-伏特性, 如图 1-13 所示。

对于线性电容, 电压和电荷的库-伏特性是通过原点的直线。对于非线性电容, 电容值不等于一个常数, 其库-伏特性为曲线。

本书主要分析线性电路, 没有特殊说明, 所有电容同样都是指线性电容。

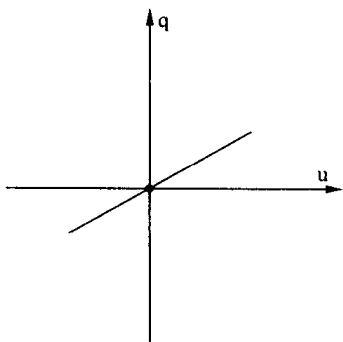


图 1-13 电容元件的库-伏特性

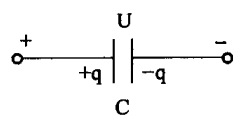


图 1-12 电容元件图形符号

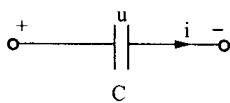


图 1-14 电容元件为关联参考方向

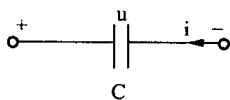


图 1-15 电容元件为非关联参考方向

对于电容元件, 它不象电阻元件, 在任何时刻其电压(或电流)不是由同一时刻的电流(或电压)所决定的。如果已知电容电压, 根据式(1-1)和式(1-11), 在电容电压电流为关联参考方向时, 如图 1-14 所示, 电容的电流与电压微分关系为:

$$i = C \frac{du}{dt} \quad (1-12)$$

对于电容元件, 如果已知电容电流, 在关联参考方向情况下, 电容的电压为:

$$u(t) = u(-\infty) + \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i d\tau \quad (1-13)$$

根据电容元件的微分关系式(1-12)可知, 在直流电路中, 由于电压为常数, 则流过电容的电流恒等于零, 所以, 电容相当于开路。根据电容元件的积分关系式(1-13)可知, 电容元件两端的电压不仅与电容初始值有关, 而且与电容

元件整个变化过程中电流的变化都有关,因此,电容元件具有“记忆”功能。

当电容的电压和电流为非关联参考方向,如图 1-15 所示,则其电压和电流的数学关系为:

$$i = -C \frac{du}{dt} \quad (1-14)$$

在关联参考方向下,电容元件的功率为:

$$p_c = ui = Cu \frac{du}{dt} \quad (1-15)$$

p_c 的正负决定于电容两端电压和电压变化率乘积的符号。 p_c 为正,表示电容从外电路输入能量,并以电场能量的形式储存起来; p_c 为负,表示电容从向外电路输送能量,把电容以前储存的电场能量输送出去。

根据能量定义,电容从 t 到 t_0 时间内,从外界电路输入的总能量为:

$$W_c = \int p_c d\tau = C \int_{u(t_0)}^{u(t)} u du = \frac{1}{2} Cu^2(t) - \frac{1}{2} Cu^2(t_0) \quad (1-16)$$

当 $u(t) > u(t_0)$ 时, $W_c > 0$, 电容从外电路输入能量;当 $u(t) < u(t_0)$ 时, $W_c < 0$, 表示电容把储存的电场能量向外电路输送。

1.4.3 电感元件

电感是无源元件,但它却是一个储能元件,它把外界传送过来的能量以磁场能量的形式储存。电感元件被广泛应用于电子学和能量传输装置系统中。电感是用导线绕在空心或铁芯线圈上而制成的,如图 1-16 所示。

在电感线圈中,当电流 i 通过线圈时,根据右手螺旋法则,电流会在线圈中产生磁通 ϕ , 磁通通过线圈,与 N 匝线圈相交,产生磁通链 ψ ($\psi = N\phi$)。对线性电感而言,磁通链 ψ 与外加电流 i 成正比,即

$$\psi = Li \quad (1-17)$$

$L = \psi/i$ 为实常数, L 为电感元件的电感量。电感线圈的图形符号如图 1-17 所示。

在国际单位制中,当磁通链单位为韦伯(Wb),电流单位为安培(A),则电感单位为亨利(简称亨)(H)。电感单位还有毫亨

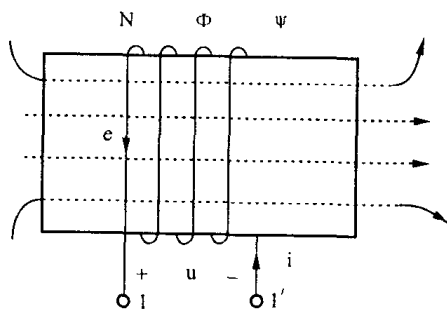


图 1-16 实际电感线圈

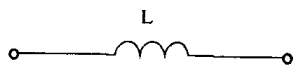


图 1-17 电感线圈图形符号

(mH, 1mH = 10^{-3} H) 和微亨 ($\mu\text{H}, 1\mu\text{H} = 1 \times 10^{-6}$ H)。

电感以电流为横坐标或纵坐标, 磁通链为纵坐标或横坐标, 电流和磁通链之间的关系曲线为电感的韦 - 安特性, 如图 1-18 所示。

对于线性电感, 电流和磁通链的韦 - 安特性是通过原点的直线。对于非线性电感, 电感值不等于一个常数, 其韦 - 安特性为曲线。

本书主要分析线性电路, 没有特殊说明, 所有电感同样都是指线性电容。

线圈电压来源于磁通的变化, 即当磁通变化时, 会在交链的线圈上产生感应电压, 感应电压的方向和大小遵循楞次定律与电磁感应定理。当感应电压与磁通满足右手螺旋法则时, 如图 1-16 所示。磁通链与电动势和电压的关系为:

$$u = -e = \frac{d\psi}{dt} \quad (1-18)$$

电感的电流与磁通链满足右手螺旋法则时, 满足数学关系式(1-17)。而感应电压与磁通链满足右手螺旋法则得数学关系式(1-18)。所以, 根据式(1-17)和式(1-18), 在电感电压电流为关联参考方向时, 如图 1-19 所示, 电感

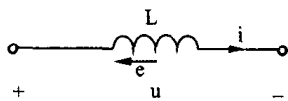


图 1-19

电感元件为关联参考方向

$$u = L \frac{di}{dt} \quad (1-19)$$

对于电感元件, 如果已知电感电压, 在关联参考方向情况下, 可求得电感电流为:

$$i(t) = i(-\infty) + \frac{1}{L} \int_{-\infty}^t u d\tau \quad (1-20)$$

根据电感元件的微分关系式(1-19)可知, 在直流电路中, 由于电流为常数, 则电感两端的电压恒等于零, 所以, 电感相当于短路。根据电感元件的积分关系式(1-20)可知, 流过电感元件的电流不仅与电感电流初始值有关, 而且与电感元件整个变化过程中电压的变化都有关, 因此, 电感元件具有“记忆”功能。

当电感的电压和电流为非关联参考方向时, 如图 1-20 所示, 则其电压和电

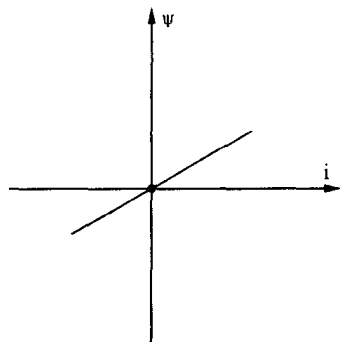


图 1-18

电感元件的韦 - 安特性