



21世纪电气信息学科立体化系列教材

电工与电子技术

● 主编 陶桓齐

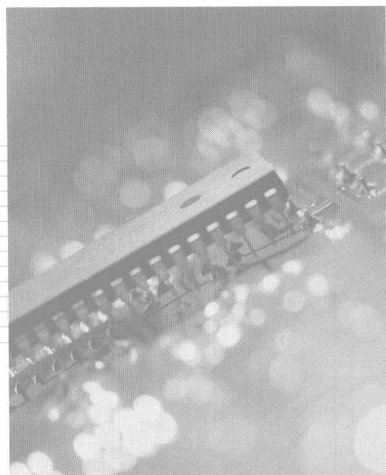
华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>



21世纪电气信息学科立体化系列教材

电工与电子技术

主 编 陶桓齐
副主编 杨 刚 喻向东 吕晓雁
张 珩 刘文琮



华中科技大学出版社

(中国·武汉)

图书在版编目(CIP)数据

电工与电子技术/陶桓齐 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2008年9月
ISBN 978-7-5609-4865-2

I. 电… II. 陶… III. ①电工技术-高等学校-教材 ②电子技术-高等学校-教材 IV. TM TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 135634 号

电工与电子技术

陶桓齐 主编

策划编辑:王红梅

责任编辑:王红梅

责任校对:刘 竣

封面设计:秦 茹

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:武汉科远图文激光照排中心

印 刷:武汉科利德印务有限公司

开本:787mm×960mm 1/16

印张:23 插页:2

字数 490 000

版次:2008年9月第1版

印次:2008年9月第1次印刷

定价:38.80元

ISBN 978-7-5609-4865-2/TM·104

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)



21世纪电气信息学科立体化系列教材

编审委员会

顾问：

潘 垣（中国工程院院士，华中科技大学）

主任：

吴麟章（湖北工业大学）

委员：（按姓氏笔画排列）

王 斌（三峡大学电气信息学院）

余厚全（长江大学电子信息学院）

陈铁军（郑州大学电气工程学院）

吴怀宇（武汉科技大学信息科学与工程学院）

陈少平（中南民族大学电子信息工程学院）

罗忠文（中国地质大学信息工程学院）

周清雷（郑州大学信息工程学院）

谈宏华（武汉工程大学电气信息学院）

钱同惠（江汉大学物理与信息工程学院）

普杰信（河南科技大学电子信息工程学院）

廖家平（湖北工业大学电气与电子工程学院）

内 容 简 介

本书是高等学校“21 世纪电气信息学科立体化系列教材”之一。根据国家教育部颁发的高等学校“电工技术”和“电子技术”两门课程的基本要求,本着“加强基础、注重实用、精简内容、创新思维”的原则编写而成。主要内容包含:电路基本概念与定律、电路分析方法、正弦交流电路、三相电路、线性电路的暂态分析、变压器与电动机、半导体二极管及其应用、三极管及其放大电路、集成运算放大器及其应用、直流稳压电源、组合逻辑电路、时序逻辑电路等。各章均有内容提要、小结和精选的练习题。

本书适用于高等学校理工科非电类各专业及相关课程的本科教材,也可作为相关专业工程技术人员的阅读和参考书。

前 言



“电工与电子技术”课程是高等学校非电类专业开设的一门技术基础课。随着科学技术的快速发展,电工电子技术已越来越广泛地渗透到各个学科和技术领域。因而它具有重要的基础性,广泛的应用性和典型的先进性。

“电工与电子技术”作为非电类专业的技术基础课程,其主要目的是使学生通过本课程的学习,获得电工与电子技术必要的基本理论,基本知识和基本技能;了解电工与电子技术的应用和发展概况;获得电工与电子技术的基本分析方法和应用技巧;熟悉常用电子元器件的基本特性和应用条件。从而培养初步的实践技能,以及分析问题和解决问题的实际能力。为学生学习后续课程和专业知识以及从事相关的工程技术和科学研究工作打好电工电子技术必要的理论基础,也为自学深造、拓宽视野和创新知识建立基础平台。

根据教育部有关提高高等学校教学水平,加强教学质量建设的总体要求,结合本课程的教学改革需要,现有教材显现出内容过多、篇幅过长、部分内容过时的缺陷,面对科学技术的飞速发展和市场变化的需求,电工电子技术的教材应不断更新。因此,为适应课程改革的要求,解决非电类专业课时少、内容多的矛盾,本教材致力于突出以下的特点。

1. 以“强调基础、注重实用、精简内容、创新思维”为原则,适当减少以往同类教材的繁杂叙述和冗长部分,及时增加最新的科技成果等内容。

2. 为便于有效掌握知识要点,提高学习效率,每章的开始和结束部分分别设置有内容提要和本章小结等内容结构,以达到提出问题、分析问题、理清思路、突出主干、分辨重点和难点的目的。

3. 为加强课后练习和效果检验,每章习题的选择既有检测性,又有启迪性。加强基础训练,联系实际应用,选题形式多样灵活,突出培养和提高学生的思维方式和分析方法。

4. 以工程应用为主线,以典型案例为示范,配有相应的电子课件、习题及解答、教学

大纲及授课实施方案,从而便于教师教学和学生自学。

由于非电类专业较多,且有些专业的发展与电的联系程度不一。因此,对电工与电子技术的要求不一样,相应的学时也有差别,为了使本教材具有灵活性,本书的内容可大致分为两种类别:

(1)基本内容:作为教学要求所规定的内容;

(2)选讲内容(书中用※号加以区别):作为不同专业要求或加深加宽的内容。

为了适应不同专业的教学要求,建议本教材授课学时分为两种选择:一种是一个学期结束课程的,可选择70—74学时;另一种是两个学期结束课程的,可选择100—110个学时,其中均包括课内实验。任课教师可灵活选取或删减。

参加本书编纂的教师都有着多年的教学经验和科研实践经历,其中杨刚编写第1、2章;陶恒齐编写第3、10、11、12章及附录;张珩编写第4、9章;刘文琮编写第5章;喻向东编写第6章;吕晓雁编写第7、8章。全书由陶恒齐担任主编,并负责策划、统稿和校订。王水兵、马双宝、李颂战、郭旻、严新、刘丰等参与部分内容的编写及课件制作。

本书的出版得到了武汉科技学院教材建设出版基金的资助,同时得到武汉科技学院张建钢教授以及华中科技大学出版社领导和专家的大力支持;本书参阅了有关作者的教材和文献资料,在此一并致以衷心的感谢!由于编者水平有限,见解不深,书中难免不妥之处,真诚希望读者,尤其是使用本教材的教师和同学们提出批评和改进意见,以便修订提高。

编 者

2008年1月



1 电路的基本概念与定律

1.1 电路的基本概念	(1)
1.2 电路的模型与理想元件	(3)
1.3 电路的基本状态	(7)
1.4 基尔霍夫定律	(11)
1.5 电路中电位的概念及计算	(13)
1.6 电阻的串联与并联	(15)
本章小结	(18)
习题 1	(19)

2 电路的分析方法

2.1 电压源与电流源的等效变换	(21)
2.2 支路电流法	(26)
2.3 节点电压法	(28)
2.4 叠加定理	(29)
2.5 等效电源定理	(32)
本章小结	(38)
习题 2	(39)

3 正弦交流电路

3.1 正弦交流电的基本概念	(41)
3.2 正弦量的相量表示法	(45)
3.3 单一元件参数的正弦交流电路	(51)
3.4 混合元件参数的正弦交流电路	(59)
3.5 交流电路的功率因数	(68)
3.6 交流电路的频率特性	(71)
本章小结	(78)
习题 3	(79)

4 三相电路

4.1 三相电源	(83)
4.2 三相负载	(86)

4.3 三相功率	(91)
4.4 安全用电	(92)
本章小结	(94)
习题4	(95)

5 电路的暂态分析

5.1 暂态分析的基本概念	(97)
5.2 RC 电路的暂态响应	(102)
5.3 一阶线性电路暂态分析的三要素法	(109)
5.4 RL 电路的暂态响应	(110)
5.5 微分电路与积分电路	(113)
本章小结	(115)
习题5	(116)

6 变压器与电动机

6.1 磁路的基本概念	(119)
6.2 变压器	(124)
6.3 电动机	(130)
6.4 电气控制电路	(147)
本章小结	(155)
习题6	(155)

7 半导体二极管及其应用电路

7.1 半导体的基本特性	(157)
7.2 半导体二极管	(161)
7.3 二极管应用电路	(167)
本章小结	(170)
习题7	(170)

8 晶体三极管及其基本放大电路

8.1 晶体三极管	(173)
8.2 共发射极放大电路的静态分析	(179)
8.3 共发射极放大电路的动态分析	(183)
8.4 静态工作点的稳定	(189)
8.5 射极输出器	(191)
8.6 多级放大电路	(194)
8.7 互补对称功率放大电路	(197)
8.8 场效应晶体管及其放大电路	(201)
本章小结	(206)
习题8	(206)

9 集成运算放大器及其应用

9.1 直接耦合电路与零点漂移	(211)
9.2 差分放大电路	(212)
9.3 集成运算放大器的简单介绍	(215)
9.4 放大电路中的负反馈	(218)
9.5 运算放大器在信号运算方面的应用	(224)
9.6 运算放大器在信号处理方面的应用	(229)
本章小结	(235)
习题 9	(235)

10 直流稳压电源

10.1 单相整流电路	(240)
10.2 滤波电路	(243)
10.3 直流稳压电源	(247)
本章小结	(254)
习题 10	(254)

11 组合逻辑电路

11.1 数字电路基本概念	(257)
11.2 逻辑关系与逻辑门电路	(261)
11.3 逻辑代数	(274)
11.4 组合逻辑电路的分析和综合	(283)
11.5 常用组合逻辑集成器件	(286)
本章小结	(297)
习题 11	(298)

12 时序逻辑电路

12.1 双稳态触发器	(303)
12.2 寄存器	(314)
12.3 计数器	(316)
12.4 单稳态和无稳态触发器	(327)
本章小结	(332)
习题 12	(332)

附录

附录 A 电路仿真软件 EWB-Multisim 简介	(337)
附录 B 常用半导体分立器件的参数	(349)
附录 C 部分模拟集成电路主要参数	(351)
附录 D 部分数字集成电路品种型号	(353)
附录 E 习题部分参考答案	(354)

参考文献

1

电路的基本概念与定律

本章将以物理概念为基础,并结合电工技术的需要,重点讨论电压和电流的参考方向、电路的基本状态和基尔霍夫定律等,这些内容都是分析和计算电路的基础,应当给予足够的重视。

1.1 电路的基本概念

1.1.1 电路的作用与组成

电路是指为了某个目的而将相应的元器件按照一定的原理组合起来、并通以电流作用的路径。

虽然电路的使用目的和结构形式是多种多样、千差万别的,但根据电路的功能,其作用大致可以分为两个方面:电能的传输和转换、信号的传递和处理。

1. 电能的传输和转换

用于电能传输与转换的电路的特征是电压较高且电流较大,习惯上称这样的电路为强电电路,其电路示意图如图 1-1 所示。它由电源、负载和中间环节三个部分组成,主要的功能是实现电能的传输和转换。因此,要求这种电路在输送和转换电能的过程中具有尽可能高的效率。

电源,是指能将其其他形式的能量转换成电能的设备。如化学能电池、太阳能电池、水力发电机、汽轮发电机、核能发电机等。

负载,是指能将电能转换成其他形式能量的设备,如电灯、电炉、电动机等。

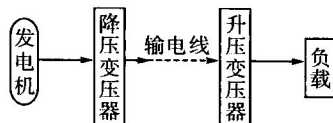
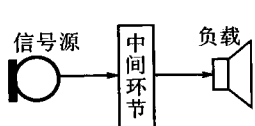


图 1-1 电力系统电路示意图

中间环节,是指将电源和负载连接起来的部分,包括导线、变压器、开关、仪表和保护设备等。

2. 信号的传递和处理

用于信号传递与处理的电路的特征是电压较低且电流较小,习惯上称这样的电路为弱电电路,其电路示意图如图 1-2 所示。它由信号源、中间环节和负载三个部分组成,主要功能是实现信息的传递和处理。因此,要求此种电路在传递和处理信息的过程中必须具有较高的保真度。



信号源是指能将语言、文字、图像、音乐和数据等信息转换为相应电信号的设备,如扩音机的话筒、收音机和电视机的天线、DVD 机等。

电路的中间环节是指能将接收的信号进行传递和处理的电路,如调谐、变频、检波、放大和分频电路等。

电路中的负载是指能将电信号还原为原始信息的设备,如扬声器可将电信号还原为语言和音乐、显像管可将电信号还原为文字、数据和图像等。

因为电源和信号源的电压、电流能使电路发生作用,故称作激励(原因);由于激励的作用而在电路中产生的电压和电流称作响应(结果)。

电路分析是指在已知电路结构的条件下,讨论激励和响应之间的关系。

1.1.2 电路的基本物理量

无论是强电还是弱电,其电流 I 、电压 U 和电动势 E 均为电路的基本物理量。由于它们在电路中不仅有作用大小的区别,还有作用方向的区别,因此在分析电路时必须要在电路图上标注它们的方向或极性,只有这样才能正确地列出电路的代数方程。

电荷在电场力作用下有规则地运动形成电流,衡量电流大小的物理量是电流强度,简称为电流。电流大小等于单位时间内通过导体横截面的电荷量,即

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

在国际单位制中,电流的基本计量单位是安培,简称安(A),其他还有千安(kA)、毫安(mA)和微安(μA),它们的换算关系是: $1 \text{ kA} = 10^3 \text{ A}$; $1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}$; $1 \mu A = 10^{-6} \text{ A}$ 。

大小和方向随时间变化而变化的电流称为变动电流,用小写字母 i 表示;大小和方向都不随时间变化的电流则称为恒定电流,简称直流,用大写字母 I 表示。

习惯上规定,正电荷运动的方向为电流的实际流动方向。电流在导线中流动方向只有两种可能,如图 1-3 所示。然而,在分析或计算复杂电路时,一般不可能预先确定电流流动的实际方向。为此,可先在电路图上任意选定某一方向作为电流的假定正方向,或称作电流的参考方向,一般采用箭标或双下标(如 I_{ab})来表示参考方向。当电流的实际方向与选定的参考方向一致时,则电流为正值(图 1-3(a));反

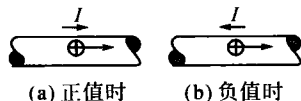


图 1-3 电流的参考方向

之,则电流为负值(图 1-3(b))。因此,只有在参考方向选定之后,电流才有正、负值之分。

电场力将单位正电荷从 a 点移到 b 点所做功的数值就是 a 点到 b 点间的电压 U_{ab} 。习惯上规定,电压的实际极性是由高电位(“+”极性)端指向低电位(“-”极性)端,即为电位降落的方向。

电源动力在电源内部将单位正电荷从 b 点移到 a 点所做功的数值就是电源的电动势,用符号 E_{ba} 表示,其中,下标 ba 表示电动势的正方向,如图 1-4 所示。习惯上规定,电动势的实际极性是在电源内部由低电位端指向高电位端,即为电位升高的方向。

应特别指出的是,对于同一个电源而言,电动势与端电压的实际极性相反。

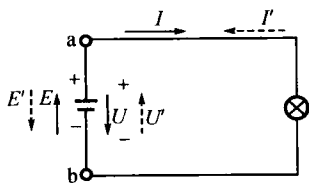


图 1-4 电压和电流的参考方向

在国际单位制中,电压和电动势的基本计量单位都是伏特,简称伏(V),其他还有千伏(kV)、毫伏(mV)和微伏(μV)。它们之间的换算关系是: $1\text{ kV} = 10^3\text{ V}$; $1\text{ mV} = 10^{-3}\text{ V}$; $1\text{ }\mu\text{V} = 10^{-6}\text{ V}$ 。

同样,在分析或计算复杂电路时往往也不可能预先确定电压和电动势的实际极性,为此,应先在电路图上任意选定电压和电动势的假定正极性(方向),或称作参考极性(方向),一般也是采用箭标或双下标来表示参考极性(方向),如 U_{ab} 。当电压和电动势的实际极性与选定的参考极性一致时,则电压和电动势为正值;反之,则电压和电动势为负值。因此,在参考极性或方向选定之后,电压和电动势也就有了正、负值之分。

在电路图中标注的 I 、 U 、 E 的方向,一般表示为参考方向(假定正方向),它们是取正值还是取负值,均要根据参考方向而定。

在图 1-4 所示的各个电量的参考方向中,a 点为高电位,b 点为低电位。根据 I 、 U 、 E 实际方向(极性)的规定,则 $I = I_{ab} > 0$ 、 $U = U_{ab} > 0$ 、 $E = E_{ba} > 0$;若 I 、 U 、 E 参考方向的选取与图中所示的相反时,则 $I' = I_{ba} < 0$ 、 $U' = U_{ba} < 0$ 、 $E' = E_{ab} < 0$ 。对于同一个电路,当选取的参考方向相反时,则 $I_{ab} = -I_{ba}$ 、 $U_{ab} = -U_{ba}$ 、 $E_{ba} = -E_{ab}$,即绝对值相等,而符号相反。

电路的物理量是电路分析的基础,在分析过程中,一定要注意正确使用,包含其计量单位。

1.2 电路的模型与理想元件

1.2.1 电路模型

实际应用的电路,均是由起不同作用的各种电路元器件按照一定的要求组成的,每一个元、器件所起的作用都比较复杂。例如,具有典型意义的绕线型电阻,其主要作用是

消耗电能,即主要是电阻的性质;但同时由于绕线又具有一定的电感性质,两者相比较,电阻作用远远大于电感作用。因此,主要研究电阻作用,而忽略次要的电感作用,可认为绕线型电阻就是一个纯电阻,即实际元件理想化的思想,使实际电路的分析和计算既简便又实用。由理想元件构成的电路称为实际电路的电路模型。使用电路模型的主要目的是便于分析、计算。实践证明,采用电路模型分析完全可以满足一般条件下的工程要求。

理想元件(简称元件)及参数主要有电阻元件 R 、电感元件 L 、电容元件 C 、电源元件电动势 E 和内电阻(简称内阻) R_0 等。

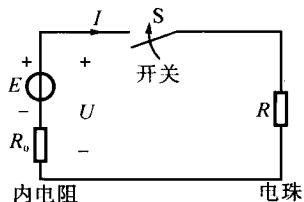


图 1-5 手电筒的电路模型

手电筒的电路模型如图 1-5 所示。整个电路包括干电池电动势 E 和内电阻 R_0 。(为分析和计算的需要,常将它们分开),负载为电珠 R ,开关 S 和金属体(无电阻的)构成中间环节。下面所分析的电路(在无特殊说明时)都是指电路模型,简称电路。在电路图中,各种电路元件都用规定的图形符号来表示。

1.2.2 电压源和电流源

电源是为电路提供能源的特殊理想元件,通常又称为有源元件。根据电源的外特性,分为电压源和电流源两种。

1. 电压源

目前使用的绝大部分电源,无论是交流的还是直流的,当外接电阻 R_L 变化时,电源的输出端电压即电路端电压 U 波动较小,通常将具有此种特性的电源称为电压源。发电机、稳压电源、电池以及各种信号源,其内部都含有电动势为 E 的理想电压源和内阻 R_0 ,这类电源的内阻 R_0 比较小。在分析和计算电路时,往往将它们分开画出,即由电动势为 E 的理想电压源和阻值为 R_0 的内阻串联而成的电路模型,如图 1-6 所示,即电压源模型,简称电压源。

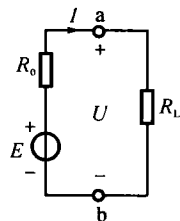


图 1-6 电压源电路

2. 电流源

另外,还有一种电源,当外接的电阻 R_L 变化时,电源的输出电流 I 波动较小,通常将具有此种特性的电源称为电流源,如光电池等。其电路模型是:内部含有理想电流源 I_S 和内阻 R_0 。一般情况下,这类电源的内阻 R_0 比较大,在分析和计算电路时,往往是将它们分开画出,即由理想电流源 I_S 和阻值为 R_0 的内阻并联而成的电路模型,如图 1-7 所示的即为电流源模型,简称电流源。

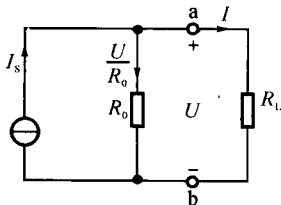


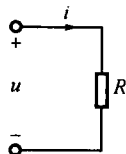
图 1-7 电流源电路

1.2.3 电阻、电感和电容元件

电阻、电感和电容这三种理想元件在电路中不提供能源,因而都被称为理想无源元件。但是,它们的特性及其在电路中的作用各不相同。

1. 电阻元件

电阻元件被表征为电路中消耗电能理想元件,具有阻碍电流的特性,当电流经过时,则在电阻两端将产生电压。电阻元件上电压和电流的参考方向如图 1-8 所示,根据欧姆定律可得电阻元件的参数



$$R = \frac{u}{i} \text{ 或 } u = iR \quad (1-2) \quad \text{图 1-8 电阻元件}$$

简称电阻,它是具有对电流起阻碍作用的物理量。如果电阻两端的电压与通过的电流成正比,这说明电阻是一个常数,不随电压或电流的变化而变化,这种电阻称为线性电阻;如果电阻不是一个常数,而是随着电压或电流的变化而变化,这种电阻称为非线性电阻。

金属导体的电阻 R 与导体的截面积 S 、长度 L 及导体材料的导电性能有关,即

$$R = \frac{\rho l}{S} \quad (1-3)$$

式中, ρ 为电阻率。在国际单位制中,电阻的单位是欧姆,简称欧(Ω),其他还有千欧($k\Omega$)和兆欧($M\Omega$),它们之间的换算关系是: $1 M\Omega = 10^3 k\Omega = 10^6 \Omega$ 。

在式(1-2)两边同乘以 i 时,则电阻 R 吸收的功率为 $ui = Ri^2$ 。再对功率积分,即得到电阻从电源获得的能量,用 W_R 表示,计量单位为焦耳(J)。电阻在一定时间内所消耗的能量为

$$W_R = \int_0^t ui dt = \int_0^t Ri^2 dt \quad (1-4)$$

式(1-4)表明,电阻将电能转换为热能而消耗掉了,这是一个不可逆的转换过程。

2. 电感元件

由物理学可知,流过线圈的电流产生磁场,而磁场的变化又感应出电场,所以,电路中的线圈被称为电感线圈(或电感元件),简称电感。一个有 N 匝线圈的空芯线圈,如图

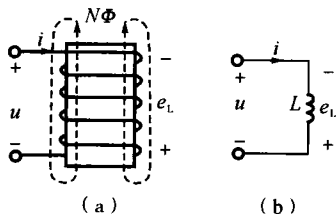


图 1-9 电感元件及其电路符号

1-9(a) 所示。作为理想电感元件,图中 i 、 Φ 、 e_L 的极性或参考方向,遵循右手螺旋法则,同时符合电动势与电流的方向。

设电流通过一匝线圈所产生的磁场通量(或称磁通)为 Φ ,则相同的电流通过 N 匝线圈所产生的总磁通(也称磁链)为 $N\Phi$,记作 Ψ 。实验表明,在空芯线圈中,总磁通 Ψ 与电流 i 成正比例的关系,即总磁通 Ψ 与

电流 i 的比值为一常数,用 L 表示,有

$$\Psi = N\Phi = iL \quad \text{或} \quad L = \frac{\Psi}{i} = \frac{N\Phi}{i} \quad (1-5)$$

式(1-5)中, L 称为线圈的电感值,也常称为自感。这一比例常数说明: N 匝空芯线圈的电感值与电流无关,只与电感元件自身的结构和材料有关。当线圈的 N 越大(匝数越多)时, L 就越大;或线圈中单位电流 i 产生的 Ψ 越大(线圈中加入导磁材料)时, L 也越大。在国际单位制中,电感的单位有亨利(H)、毫亨(mH)和微亨(μ H)。它们的换算关系是: $1\text{mH} = 10^{-3}\text{H}$, $1\mu\text{H} = 10^{-6}\text{H}$ 。

根据电磁感应定律:当流过电感线圈的电流 i 发生变化时,将在电感线圈中产生变化的磁通 $\Delta\Psi$,变化的磁通将产生自感电动势 e_L ,其大小与电流的变化率成正比, e_L 的极性(方向)也随 i 的改变而变化,且具有反抗 i (或 Ψ)的变化的特性,即

$$e_L = -\frac{d\Psi}{dt} = -\frac{d(N\Phi)}{dt} = -\frac{d(Li)}{dt} = -L\frac{di}{dt} \quad (1-6)$$

式(1-6)中的负号是由楞次定律决定的,表示自感电动势 e_L 的方向与线圈电流 i 或者磁通变化的方向相反。

根据图 1-9 中的参考方向可得电感电压为

$$u + e_L = 0$$

$$\text{或} \quad u = -e_L = L\frac{di}{dt} \quad \text{即} \quad u = L\frac{di}{dt} \quad (1-7)$$

当线圈中通过恒定电流(直流)时,电流对时间的导数为零,故其上的电压 u 为零,视其为短路。因此,直流电路中,暂不讨论电感电路。

将式(1-7)两边乘以 i ,并对之积分,则可得电感的储能为

$$W_L = \int_0^i ui dt = \int_0^i iL \frac{di}{dt} dt = \int_0^i Li di = \frac{1}{2} Li^2 \quad (1-8)$$

由物理知识可知,式(1-8)表示磁场能量,这说明当电流增加时,电感从电源获取电能后转换为磁能储存起来,没有变为热能耗散,这是一个可逆的转换过程。当电流减少时,又将磁能转换为电能,返还给电源,完成一个能量交换过程。可见,理想电感元件不消耗能量,只储存磁场能量,是储能元件。

3. 电容元件

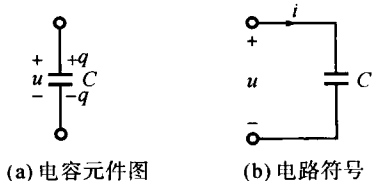


图 1-10 电容元件及其电路符号

电容器及其电路符号如图 1-10 所示,其基本结构是由两个相互绝缘的金属极板组成。由静电学知识可知,当电容两端加上电压后,两个极板上分别感应出等量异号的电荷,电荷与电压的极性相同。对于一个理想的电容器,其极板上聚集的电荷只与两极间的电压成正比,即

$$q = Cu \quad \text{或} \quad C = \frac{q}{u} \quad (1-9)$$

式(1-9)中,比例常数 C 就是电容元件的电容值,也称为电容。此常数表明:一个电容元件的电容值 C 与电荷及电压无关,只与其自身的材料和结构有关。例如,平板电容器的电容量 C 与 ϵS 成正比,与 d 成反比,即

$$C = \frac{\epsilon S}{d} \quad (1-10)$$

式中: S 为平行的金属极板的面积; ϵ 为两平行极板间绝缘介质的介电常数; d 为两极板间的距离。在国际单位制中,电容 C 的单位有法拉(F)、微法拉(μF)和皮法拉(pF)。它们的换算关系为: $1\text{F} = 10^6 \mu\text{F}$, $1\mu\text{F} = 10^6 \text{pF}$ 。

当电容上的电荷量 q 或两端电压 u 发生变化时,电路中便引起电流。当选择图 1-10 所示的端电压 u 和电流 i 的参考方向(i 为电容器充电电流)时,则有

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

式(1-11)表明,电容上的电流与电压成微分关系。当电容两端加上恒定电压(即直流)时,电压对时间的导数为零,则其上的电流 i 为零,视其为开路。因此,直流电路中也暂不讨论电容电路。

将式(1-11)两边均乘以 u ,并对之积分,则得电容的储能为

$$W_C = \int_0^t u i dt = \int_0^t u C \frac{du}{dt} dt = \int_0^u C u du = \frac{1}{2} C u^2 \quad (1-12)$$

根据物理学知识可知,式(1-12)表示电容电场的能量,这说明当电压增加时,电容从电源获取电能(即充电)后转为电场能储存下来,没有变为其他能量消耗,这也是一个可逆转换过程。当电压降低时,电容又将电场能通过电流形式返还给电源(即放电),也就完成了一次能量交换过程。可见,理想电容元件不消耗能量,只是储存电场能量,也是储能元件。

电阻、电感元件和电容元件也有线性和非线性之分,当 R 、 L 和 C 为常数时即为线性元件,否则为非线性元件。

1.3 电路的基本状态

电路的基本状态包括电源的有载工作、开路和短路等三种状态,下面将讨论在不同的状态下,电路的电流 I 、电压 U 和功率 P 所具有的特征。

1.3.1 有载工作状态

电路的有载工作状态,即电路的正常工作状态。在图 1-11 中,当开关 S 闭合时,电源与负载形成一个闭合电路,电路中将产生电流 I ,这一状态称为电路的有载工作状态。下面将讨论关于有载的几个问题。