

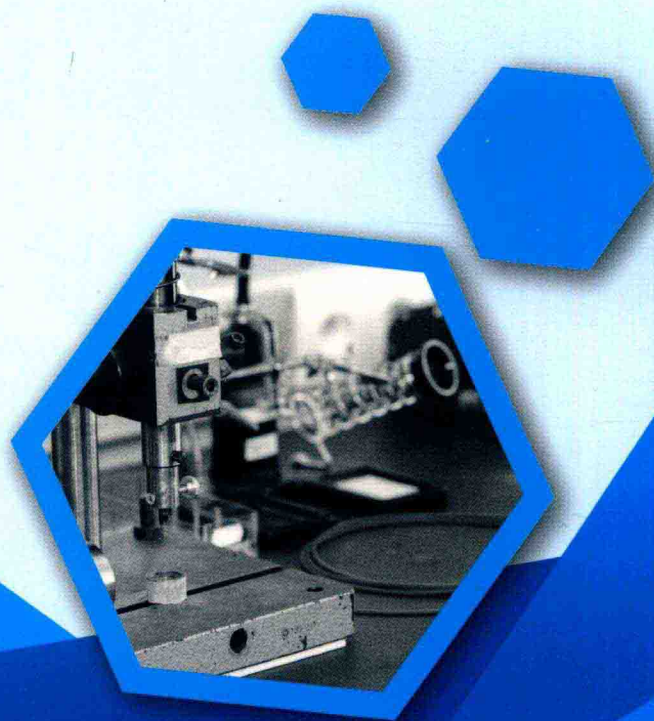


高等院校“十三五”规划教材

电工电子技术项目化教程

DIANGONG DIANZI JISHU XIANGMUHUA JIAOCHENG

主编 谭延良 胡 诚



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS



高等院校“十三五”规划教材

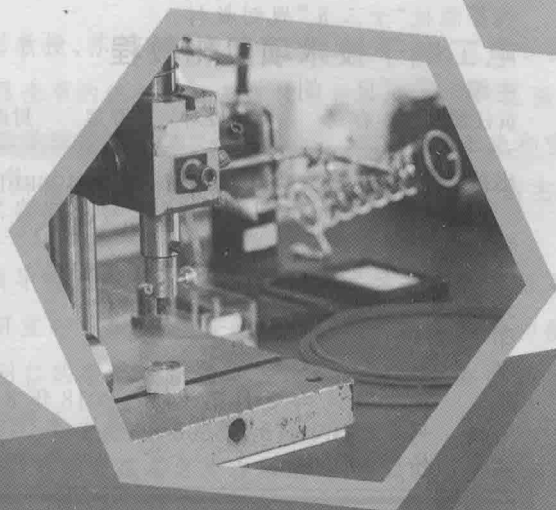
电工电子技术项目化教程

DIANGONG DIANZI JISHU XIANGMUHUA JIAOCHENG

主 编 谭延良 胡 诚

副主编 王国强 杨振宇 郝志坚 朱 艳

倪丹艳 喻丽丽 高世明



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS



内 容 提 要

本书作为高等院校工科类专业的基础教材,主要内容包括:直流电路的分析及应用、正弦交流电路的分析及应用、三相正弦交流电路的分析及应用、一阶电路的暂态分析、磁路与变压器的分析及应用、三相交流异步电动机、电动机的继电—接触器控制分析及应用、半导体二极管与直流电源的分析及应用、晶体三极管与其应用电路的分析及应用、集成运算放大器及其应用、门电路与组合逻辑电路的分析及应用、触发器与时序逻辑电路的分析及应用。

本书的主要特点是以项目为导向、任务为驱动,理论与技能训练并重。本书可作为高等院校非电类工科学生的专业基础教材,也可供相关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术项目化教程/ 谭延良,胡诚主编. —
上海: 同济大学出版社,2018.8

ISBN 978-7-5608-8039-6

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 165802 号

高等院校“十三五”规划教材

电工电子技术项目化教程

主编 谭延良 胡 诚

责任编辑 李春亮 责任校对 徐春莲 封面设计 唐韵设计

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn
(上海市四平路 1239 号 邮编 200092 电话 021-65985622)

经 销 全国各地新华书店
印 刷 三河市海新印务有限公司
开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 19
字 数 416 千字

版 次 2018 年 8 月第 1 版 2018 年 8 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-8039-6

定 价 49.80 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

前 言

本书作为高等院校工科类专业的基础教材,集各位编者多年教学、培训和工程实践的经验而编撰。本书根据以培养高素质应用型人才为目标,以培养技能和工程应用能力为出发点,重点突出学生电路分析能力的培养。本书在编写过程中尽量减少一些公式的推导,加强定性分析和物理意义的阐述。在教学过程中,可以根据各自的特点要求进行必要的删减。

全书共有十二个项目,包括:直流电路的分析及应用、正弦交流电路的分析及应用、三相正弦交流电路的分析及应用、一阶电路的暂态分析、磁路与变压器的分析及应用、三相交流异步电动机、电动机的继电—接触器控制分析及应用、半导体二极管与直流电源的分析及应用、晶体三极管与其应用电路的分析及应用、集成运算放大器及其应用、门电路与组合逻辑电路的分析及应用、触发器与时序逻辑电路的分析及应用。按着器件—电路—系统—应用的原则,力求做到以素质教育为核心,围绕学生职业能力的培养,以项目为引导、任务为驱动、教学一体化。按照任务描述、任务分析、关联知识、任务实施为主线,将知识点、技能点融入到实际项目中,引导学生进入各个阶段的学习,提高学生的学习兴趣,促进学生的求知欲和学习的主动性。

本书由金山职业技术学院谭延良副教授、苏州高博软件技术职业学院胡诚副教授担任主编,负责全书内容和章节的确定以及全书的统稿。江苏农牧科技职业学院的王国强、安徽交通职业技术学院的杨振宇、沈阳工学院的郝志坚、金山职业技术学院的朱艳和喻丽丽、太原城市职业技术学院的高世明、苏州高博软件技术职业学院的倪丹艳担任副主编。参加本书编写的还有高博软件技术职业学院的惠越超和杨帅鹏老师。

本书在编写过程中得到了各院校领导的大力支持,金山职业技术学院教务处王军处长做了大量工作,江苏大学电工电子教研室赵不赓、诸德宏教授和周新云副教授对初稿提出了很多宝贵意见,在此对各位领导和同仁的帮助致以最真诚的谢意。本书在编写过程中参阅了同行们撰写的许多著作,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,时间又十分仓促,不足或疏漏之处在所难免,恳请广大读者指正。

编者

2018年3月

目 录

项目一	直流电路的分析及应用	1
任务 1	电路的作用、组成及工作状态	1
任务 2	电路元件及模型	3
任务 3	电路中的基本物理量和方向	9
任务 4	电路的功率	11
任务 5	基尔霍夫定律	12
任务 6	电压源、电流源及其等效变换	16
任务 7	节点电压法	20
任务 8	叠加定理	22
任务 9	戴维南定理	25
任务 10	电路中的电位及其计算	28
项目二	正弦交流电路的分析及应用	36
任务 1	正弦交流电的基本概念	36
任务 2	正弦量的相量表示法	39
任务 3	单一参数的正弦交流电路	40
任务 4	RLC 串联电路的正弦响应	46
任务 5	一般交流电路的正弦响应	50
任务 6	功率因数的提高	54
任务 7	交流电路的谐振	56
项目三	三相正弦交流电路的分析及应用	63
任务 1	三相正弦交流电源及其连接	63
任务 2	三相负载的连接与分析	66
任务 3	三相电路的功率	73
任务 4	安全用电	74
项目四	一阶电路的暂态分析	81
任务 1	问题的导入	81
任务 2	一阶电路暂态分析的三要素法	83
任务 3	RC 电路的脉冲响应	89
项目五	磁路与变压器的分析及应	94
任务 1	磁路中的基本知识	94
任务 2	铁芯线圈	97
任务 3	变压器	99
任务 4	其他变压器	104

项目六	三相交流异步电动机	110
任务 1	三相交流异步电动机的结构	110
任务 2	三相交流异步电动机的电磁转矩和机械特性	116
任务 3	三相异步电动机的启动、调速和制动	119
任务 4	三相交流异步电动机的选择	126
项目七	电动机的继电—接触器控制的分析及应用	133
任务 1	常用控制电器及电路绘制原则	133
任务 2	电动机的基本控制电路	143
项目八	半导体二极管与直流电源的分析及应用	152
任务 1	半导体基础知识及 PN 结的特性	152
任务 2	半导体二极管及应用	155
任务 3	二极管单相整流电路	159
任务 4	滤波电路	161
任务 5	稳压电路	164
项目九	晶体三极管与其应用电路的分析及应用	170
任务 1	晶体三极管	170
任务 2	放大电路的认知	177
任务 3	共发射极放大电路	178
任务 4	共集电极放大电路(射极输出器)	188
任务 5	多级放大电路及其频率特性	192
任务 6	功率放大电路	195
任务 7	差分放大电路	199
项目十	集成运算放大器及其应用	211
任务 1	集成运算放大器认知	211
任务 2	集成运算放大器在信号运算电路中的应用	214
任务 3	放大电路中的负反馈	222
任务 4	运算放大器的非线性应用	229
项目十一	门电路与组合逻辑电路的分析及应用	242
任务 1	数字电路概述	242
任务 2	逻辑代数	247
任务 3	逻辑门电路	254
任务 4	组合逻辑电路的分析与设计	258
任务 5	常用集成组合逻辑电路	262
项目十二	触发器与时序逻辑电路的分析及应用	272
任务 1	双稳态触发器	272
任务 2	寄存器	279
任务 3	计数器	282
参考文献		298

项目一

直流电路的分析及应用

【学习提要】

学习目标	①掌握电路模型、电流、电压及参考方向的概念； ②掌握单一无源元件的伏安关系； ③掌握电路的三种工作状态及其特点； ④掌握电源的特点及其伏安关系； ⑤掌握基尔霍夫定律； ⑥掌握电路分析的几种方法； ⑦掌握电路中电位的分析方法
知识点	①电路与电路模型； ②电路中的基本物理量； ③电阻、电感、电容的伏安特性及能量关系； ④电源的伏安关系与等效变换； ⑤支路电流法、叠加定理、节点电压法和戴维南定理
难点与重点	①关联参考方向与非关联参考方向的分析； ②电流方程与电压方程的应用； ③电位的计算与分析； ④选用合适的电路分析方法分析和计算电路

电路理论是电工学的基础理论。在这个项目中,将讨论电路的主要物理量(电流、电压、功率等)、电路元件的伏安关系、能量关系和电路中各个元件上电流与电压之间的约束关系,并着重介绍电路分析的基本定律——基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律。

任务1 电路的作用、组成及工作状态

【知识点】

- ☆电路的概念和基本组成。
- ☆电路的三种工作状态。

一、电路的作用

电路也称为网络,它是由若干电器元件或设备按一定的方式连接起来的总体。它能

够实现能量的传输和转换(图 1.1.1)或者信号的采集、传递和处理(图 1.1.2)。

电路的结构形式因所完成任务不同而不同,但就其基本组成而言,任何电路都必不可少地由电源(信号源)、中间环节和负载这三个要素组成。在图 1.1.1 中,发电机是电源,它把其他形式的能量(热能、核能、水能、风能、太阳能等)转换成电能;变压器、输电线等是电路的中间环节,在电源和负载之间传输和分配电能;电灯、电动机等用电设备是负载,它们把电能分别转换成光能、热能和机械能。在图 1.1.2 所示半导体扩音器示意图中,话筒把声音转换成电信号,经中间环节(放大等)的传递和处理,最后由扬声器将电信号还原成声音输出。

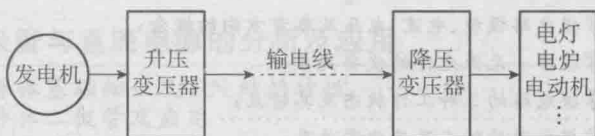


图 1.1.1 发电、输电、配电系统示意图



图 1.1.2 半导体扩音器电路示意图

二、电路的三种工作状态

电路的工作有三种状态:空载、负载和短路状态。

1. 空载状态

空载状态也称为断路状态或开路状态,如图 1.1.3 所示。当开关 S_1 断开时,电路没有负载。在空载状态下,电路中的电流为 0,即 $I=0$;电路的输出电压等于电源的电动势 E ,即 $U=E$;电源的输出功率 $P_E=0$,即电源不对外电路输出功率。

2. 负载状态

在图 1.1.3 中,闭合开关 S_1 、断开开关 S_2 ,此时电路中的电流为 $I=E/(R_1+R_2)$;电路的输出电压为 $U=E-R_1I$;电源的输出功率为

$$P_o=UI=(E-R_1I)I=EI-R_1I^2$$

3. 短路状态

在图 1.1.3 中,闭合开关 S_1 和开关 S_2 ,此时电阻 R_2 处于被短路状态。电阻 R_2 两端的电压为 0,通过 R_2 的电流为 0;而此时电路中的电流 $I=E/R_1$;电路的输出电压 $U=0$ 。必须指出:电路的短路通常是一种严重事故,在实际工作中应力求避免,为此在实际电路中通常有短路保护。

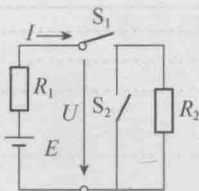


图 1.1.3 电路的三种工作状态

任务2 电路元件及模型

【知识点】

☆电路基本元件。

☆电路的模型。

☆掌握电阻、电感、电容元件的伏安特性。

☆能利用欧姆定律计算电路的电压、电流和电阻。

☆会计算储能元件所储存的能量。

一、电路模型

实际电路都是由复杂的元器件所组成的,在电路分析中通常抓住其主要性质,忽略其次要性质,将实际电路中的元器件所体现出来的物理性质抽象化,用一些集中的理想电路元件模拟实际电路元件。例如,日光灯电路,其灯管可用电阻元件表示,其镇流器可用电感串联电阻表示,如图 1.2.1 所示。

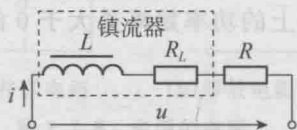


图 1.2.1 日光灯模型电路图

用理想电路元件组成的电路等效地模拟实际电路的功能,称为电路模型。图 1.2.2 给出了五种理想电路元件模型的电气图形符号(简称图形符号)和文字符号。

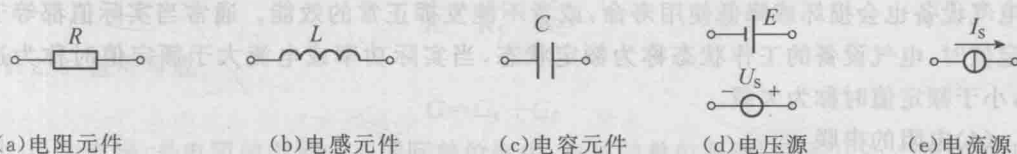


图 1.2.2 五种理想电路元件的图形符号

二、理想电路元件

1. 电阻 R

电阻元件用字母 R 表示,电阻有线性电阻和非线性电阻之分,它们的图形符号如图 1.2.3(a)所示。本书所讨论的都是线性电阻,图 1.2.3(a)、(b)所示为线性电阻的电路图形符号和伏安关系。

(1) 伏安关系

线性电阻,即电阻元件的阻值 R 是个常数,加在该电阻元件上的电压 U 和通过电阻的电流 I 成正比,即

$$U = IR$$

式中:电压的单位为伏[特](V);电流的单位为安[培](A);电阻的单位为欧[姆](Ω)。这就是欧姆定律。

线性电阻的伏安关系如图 1.2.3(b)所示。

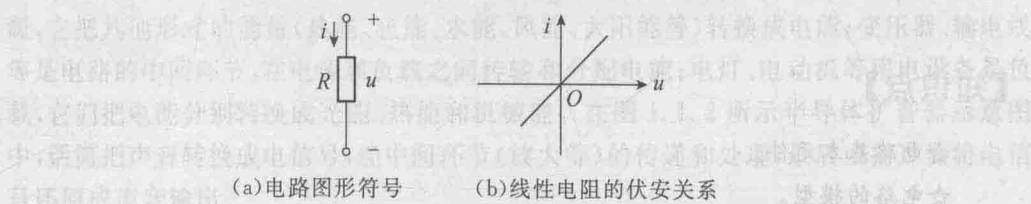


图 1.2.3 电阻元件的电路符号及伏安关系

电阻的单位有时还用千欧($k\Omega$)或兆欧($M\Omega$)等辅助单位计量,其换算关系为

$$1 M\Omega = 10^3 k\Omega = 10^6 \Omega$$

(2) 功率关系

功率等于电压与电流之积,即

$$P = UI = I^2 R = U^2 / R \quad (1.2.1)$$

式中:电压的单位为伏(V);电流的单位为安(A);功率的单位为瓦[特](W)。同样功率的单位有时也用千瓦(kW)或毫瓦(mW)计,其换算关系为

$$1 kW = 10^3 W = 10^6 mW$$

由式(1.2.1)可知,电阻元件上的功率始终是大于0的,也就是说电阻元件是个耗能元件。

(3) 额定值

各种电气设备在工作时,其电压、电流和功率都有一定的限额,这些限额是用来表示它们的正常工作条件和工作能力的,称为电气设备的额定值。使用时必须遵守这些规定,如果实际值超过额定值,将会引起电气设备的损坏或降低使用寿命;如果低于额定值,某些电气设备也会损坏或降低使用寿命,或者不能发挥正常的效能。通常当实际值都等于额定值时,电气设备的工作状态称为额定状态,当实际功率或电流大于额定值时称为过载,小于额定值时称为欠载。

(4) 电阻的串联

如果电路中有两个或两个以上的电阻顺序连接,而且这些电阻中通过的是同一个电流,这样的连接方法称为串联。图 1.2.4(a)所示为两个电阻串联连接的电路,其等效电阻如图 1.2.4(b)所示。

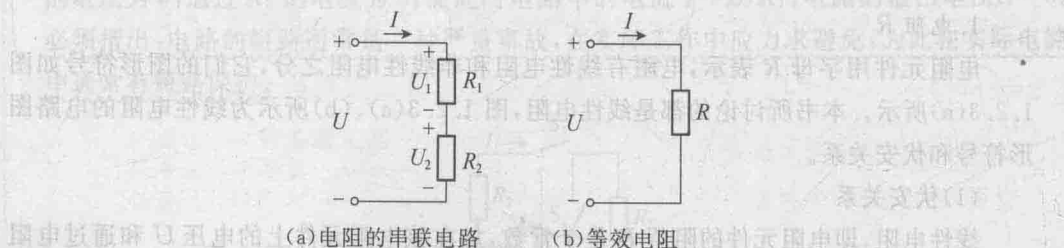


图 1.2.4 电阻的串联

由于 R_1 、 R_2 通过同一个电流,所以电路的等效电阻等于各个串联电阻之和,即

$$R = R_1 + R_2 + \dots$$

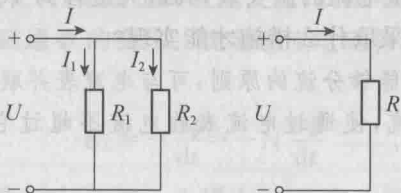
两个电阻上的电压分别为

$$\begin{cases} U_1 = R_1 I = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U \\ U_2 = R_2 I = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U \end{cases} \quad (1.2.2)$$

由式(1.2.2)可知,电阻串联时电压的分配与电阻的阻值成正比。电阻串联的应用很多。例如,在负载的额定电压低于电源电压的情况下,可以与负载串联一个电阻,在电阻上降落一部分电压;有时为了限制负载中通过过大的电流,也可以与负载串联一个限流电阻;为了调节电路中的电流,一般也可以在电路中串联一个变阻器来进行调节。

(5) 电阻的并联

如果电路中有两个或两个以上的电阻连接在两个公共节点之间,这样的连接方法称为电阻的并联。电阻并联连接时,各个电阻上承受的是同一个电压。图 1.2.5(a)就是两个电阻并联连接的电路,其等效电阻如图 1.2.5(b)所示。



(a) 电阻的并联电路 (b) 等效电阻

图 1.2.5 电阻的并联

两个电阻并联可用一个等效电阻 R 来代替,如图 1.2.5(b)所示。等效电阻的倒数等于各个并联电阻的倒数之和,即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (1.2.3)$$

式(1.2.3)也可写成

$$G = G_1 + G_2$$

式中: G 为电导,是电阻的倒数。在国际单位制中,电导的单位是西[门子](S)。并联电阻用电导表示,在计算分析多支路并联电路时能简便一些。

此时,通过电阻 R_1 、 R_2 的电流分别为

$$\begin{cases} I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I \\ I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I \end{cases} \quad (1.2.4)$$

由此可见,并联电阻上电流的分配与电阻阻值成反比。有时将电路中的某一段与电阻或变阻器并联,以起到分流或调节电流的目的。

负载在很多情况下都是并联运用的。这是因为并联负载处在同一个电压下,任何一个负载的工作情况基本上不受其他负载的影响。

【任务 2.1】 有一个测量电压的电压表,其最大量程为 100 V,内阻 $r_0 = 500 \text{ k}\Omega$,如果

要测量 150 V 的电压,应串联多大阻值的电阻?

【实施】 根据串联电路的分压原理,可采用如图 1.2.6 所示电路。

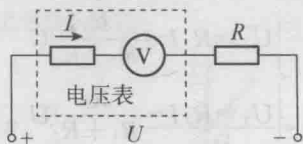


图 1.2.6 串联电阻扩大电压表量程的电路

因为

$$\frac{100}{500} = \frac{150}{500 + R}$$

所以

$$R = \frac{150 \times 500 - 100 \times 500}{100} = 250 (\text{k}\Omega)$$

即应与电压表串联一个 250 kΩ 的电阻,该电阻称为分压电阻。

【任务 2.2】 有一个测量电流的微安表,其最大量程为 100 μA,内阻 $r_0 = 1 \text{ k}\Omega$,如果要测量 10 mA 的电流,问应采取什么措施才能实现?

【实施】 根据并联电阻能够分流的原则,可与电流表并联一个电阻,在测量较大电流时,并联电阻分去一部分电流,使通过电流表的电流不超过它的最大量程。如图 1.2.7 所示。

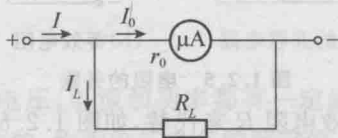


图 1.2.7 并联电阻扩大电流表量程的电路

因为

$$I_0 = 100 \mu\text{A} = 0.1 \text{ mA}, r_0 = 1 \text{ k}\Omega, I = 10 \text{ mA}$$

所以

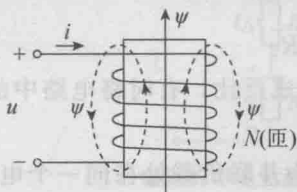
$$I_L R_L = I_0 r_0 = (I - I_L) r_0$$

$$R_L = \frac{I_0 r_0}{(I - I_L)} = \frac{0.1 \times 1}{10 - 0.1} = 0.0101 (\text{k}\Omega) = 10.1 (\Omega)$$

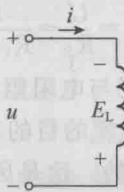
即与电流表并联一个 10.1 Ω 的电阻就可以测量 10 mA 的电流。该并联电阻称为分流电阻。

2. 电感元件

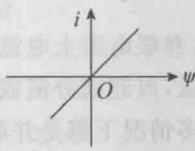
电感元件用 L 表示,其图形符号如图 1.2.8(b)所示。



(a) 电感元件



(b) 图形符号



(c) 线性电感的伏安特性

图 1.2.8 电感元件的图形符号及伏安特性

电感元件的实际器件是线圈。通常空芯线圈用线性电感表征,铁芯线圈用非线性电感表征。这里仅讨论线性电感。

(1) 伏安关系

图 1.2.8(a)所示线圈,当线圈中通过电流 i 时,线圈中会建立磁场。设线圈匝数为 N ,磁通为 Φ ,则与每匝线圈相链的磁通总和,即磁链为

$$\psi = N\Phi$$

磁通 Φ 与电流 i 之间的方向由右手螺旋定则确定。

电感 L 的定义为

$$L = \psi / i$$

式中: L 又称为电感系数或自感系数。

当 ψ 的单位是韦[伯](Wb), i 的单位是安(A)时,电感 L 的单位是亨[利](H),有时也用毫亨(mH),其换算关系为

$$1 \text{ H} = 10^3 \text{ mH}$$

通过线圈的电流发生变化时,磁通也要发生变化,线圈中就会产生感应电动势 E_L ,而且感应电动势 E_L 总是阻碍磁通 Φ 的变化。规定感应电动势 E_L 和磁通 Φ 的参考方向之间符合右手螺旋定则,则

$$E_L = -\frac{d\psi}{dt} = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

由上式可见,当电流 i 增大时,磁链 ψ 也增大, ψ 的变化速率 $d\psi/dt$ 为正, E_L 为负, E_L 与 i 方向相反,阻碍电流增大;当电流 i 减小时,磁链 ψ 也减小, ψ 的变化速率 $d\psi/dt$ 为负, E_L 为正, E_L 与 i 方向相同,阻碍电流减小。即自感电动势具有阻碍电流变化的性质。

按图 1.2.8(b)规定的参考方向,当电压 u 为正时,感应电动势 E_L 恰好为负;当电压 u 为负时,感应电动势 E_L 恰好为正,则

$$u = -E_L = \frac{d\psi}{dt} = L \frac{di}{dt} \quad (1.2.5)$$

这说明:线性电感两端的电压与通过电感的电流变化率成正比。只有通过电感的电流发生变化时,电感元件两端才有电压。因此电感元件是一种动态元件。

特例:在直流电路中,当电路处于稳定状态时,由于电路中的电流为一定值,即 $\frac{di}{dt} = 0$,所以线圈两端电压为 0,此时常常将线圈看成短路。

(2) 能量关系

对式(1.2.5)两边积分,得

$$i = \frac{1}{L} \int_{-\infty}^t u dt = \frac{1}{L} \int_{-\infty}^0 u dt + \frac{1}{L} \int_0^t u dt = i_{(0)} + \frac{1}{L} \int_0^t u dt$$

式中: $i_{(0)}$ 为初始值,即在 $t=0$ 时电感元件中通过的电流,这说明电感元件具有记忆功能。

若 $i_{(0)} = 0$, 则

$$i = \frac{1}{L} \int_0^t u dt$$

此时电感线圈所储存的能量为

$$W_M = \int_0^t ui dt = \int_0^t Li dt = \frac{1}{2} Li^2 \quad (1.2.6)$$

由此可见,电感元件是一种储能元件。当电感元件中的电流增大时,磁场能量增大;在此过程中电能转换为磁能,即电感元件从电源取用能量。式(1.2.6)中的 $\frac{1}{2} Li^2$ 就是磁场能量。当电流减小时,磁场能量减小,磁场能转换为电能,即电感元件向电源放还能量。

3. 电容元件

电容器是用来表征电路中电场能量存储这一物理性质的理想元件。当电路中有电容器(图1.2.9(a))存在时,它的两个金属极板上会聚集起等量异号的电荷。电压 u 越高,聚集的电荷 q 越多,产生的电场就越强,存储的电场能量越多。电荷 q 与电压 u 的比值为电容,即

$$C = \frac{q}{u} \quad (1.2.7)$$

式中:电荷 q 的单位为库[仑](C);电压 u 的单位为伏(V);电容 C 的单位为法[拉](F)。

电容元件的电路图形符号如图1.2.9(b)所示。

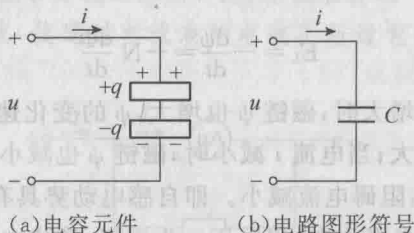


图 1.2.9 电容元件及电路图形符号

一般法拉的单位太大,在工程中常用微法(μF)或皮法(pF),其单位的换算关系为

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

(1) 伏安关系

根据电流的定义有

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt} \quad (1.2.8)$$

式(1.2.8)说明:通过线性电容的电流与其两端电压变化率成正比。只有当电容器两端电压发生变化时,才有电流通过电容,因此电容是一种动态元件。

特例:在直流电路中,当电路处于稳定时,由于电容两端的电压为一定值,即 $\frac{du}{dt} = 0$,通过电容的电流为0,故常常将电容看成断路。

(2) 能量关系

对式(1.2.8)两边积分,得

$$u = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i dt = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^0 i dt + \frac{1}{C} \int_0^t i dt = u_{(0)} + \frac{1}{C} \int_0^t u dt$$

式中: $u_{(0)}$ 是初始值, 即在 $t=0$ 时电容元件中两端的电压, 这说明电容元件具有记忆功能。

此时电容器所储存的能量为

$$W_E = \int_0^t ui \, dt = \int_0^u Cu \, du = \frac{1}{2} Cu^2 \quad (1.2.9)$$

式(1.2.9)说明, 电容元件是一种储能元件。当电容两端的电压升高时, 电场能量增大; 在此过程中电能转换为电场能, 即电容元件从电源取用能量。式中的 $\frac{1}{2} Cu^2$ 就是电场能量。当电压降低时, 电场能量减小, 电场能转换为电能, 即电容元件向电源放还能量。

表 1.2.1 列出了电阻元件、电感元件和电容元件的特征, 以便于对照、理解和记忆。表格中的电流电压瞬时值的关系是在 u 和 i 关联参考方向的情况下给出的, 并且这些元件均为线性元件。

表 1.2.1 电阻元件、电感元件和电容元件的特征

元 件	电阻元件	电感元件	电容元件
电压、电流关系	$u=Ri$	$u=L \frac{di}{dt}$	$u=C \frac{du}{dt}$
参数意义	$R=\frac{u}{i}$	$L=\frac{N\Phi}{i}$	$C=\frac{q}{u}$
能量	$\int_0^t Ri^2 \, dt$	$\frac{1}{2} Li^2$	$\frac{1}{2} Cu^2$

任务 3 电路中的基本物理量和方向

【知识点】

☆ 电路中各物理量的概念。

☆ 电路中电压电流的参考方向。

☆ 电路中电压电流的关联方向。

电路中的主要物理量有电压、电流、电动势和能量, 而在分析计算中常用的变量是电流和电压。为了对电路进行正确的分析和计算, 必须在电路图中用箭标或“+”“-”号标出电路中的基本物理量电流 I 、电压 U 和电动势 E 的方向或极性, 从而列出正确的电路方程。

1. 电流、电压的实际方向

电流是带电粒子的有规则运动; 电压是电场力移动单位正电荷所做的功。

物理学中规定, 电流的实际方向为正电荷的运动方向。电压的实际方向规定为由高电位(“+”极性)端指向低电位(“-”极性)端, 即电位降低的方向。电动势的方向规定为在电源内部由低电位(“-”极性)端指向高电位(“+”极性)端, 即电位升高的方向。图 1.3.1 所示为一个简单的电路模型。

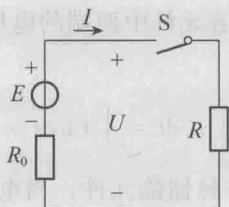


图 1.3.1 电流、电压的方向

2. 电流、电压的参考方向

在较为复杂的直流电路中,尽管它们的方向不变,但在分析电路前往往难以判断出它们的实际方向。为了方便地分析电路,通常不管它们的实际方向如何,任意选定一个方向作为它们的参考方向,然后根据选定的参考方向列出分析计算的电路方程,从计算结果中得到它们的实际方向和大小。若计算结果为正值,则说明参考方向和实际方向一致;若计算结果为负值,则说明参考方向和实际方向相反。在图 1.3.2 中,用方框泛指电路元件,电流的方向为参考方向。在图 1.3.2(a)中由于没有指定电流的参考方向,所以电流的数值就失去了意义,而且不能参与分析计算;在图 1.3.2(b)中,电流在所示参考方向下,数值为正,说明电流的实际流向与参考方向相同,因此电流是从 a 流向 b ;在图 1.3.2(c)中,电流在所示参考方向下,其值为负,说明电流的实际流向与参考方向相反,即从 b 流向 a 。

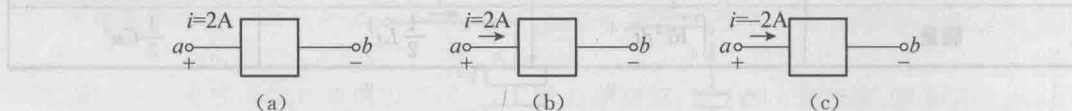


图 1.3.2 电流及其参考方向

参考方向常采用箭标的表示方法,此外,还可以用“+”“-”号或双下标表示。其中,“+”号表示高电位、“-”号表示低电位;而双下标的表示方法是首字母表示高电位、次字母表示低电位。

必须指出:在分析电路时,一旦电路的参考方向确定了,那么在电路的整个分析计算过程中就不能再作变动。

3. 电流、电压的关联方向

当一个元件或一段电路上的电流、电压参考方向一致时,则称为关联的参考方向,如图 1.3.3(a)所示;否则就是非关联参考方向,如图 1.3.3(b)所示。在分析电路时,常常采用关联参考方向。在图 1.3.3(a)中,电压、电流之间采用了关联的参考方向,这时电阻 R 的端电压为

$$U=RI$$

而图 1.3.3(b)则采用了非关联参考方向,这时的端电压为

$$U=-RI$$

注意:一个式子中有两套正负号,上述两式中的正负号是根据电压、电流的参考方向得出的。除此之外,电压、电流本身还有正值和负值之分。

在一般情况下,为方便起见,常常定义某一元件端电压的参考极性与电流的参考方向一致,即电流的参考方向就是电压降的参考方向。

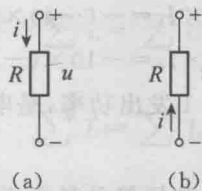


图 1.3.3 参考方向的关联性

任务 4 电路的功率

【知识点】

☆掌握电路功率的计算。

☆根据功率的正负能判别是负载还是电源。

电路的作用是将电能转换成其他形式的能量,一个电路元件(或一段电路)上的电功率等于该元件(或该段电路)两端的电压与流过该元件(或该段电路)的电流的乘积,即 $P=UI$ (直流电路)或 $p=ui$ (交流电路)

(1)当电压、电流取关联的参考方向时,有

$$\begin{cases} P=UI \\ p=ui \end{cases} \quad (1.4.1)$$

(2)当电压、电流取非关联的参考方向时,有

$$\begin{cases} P=-UI \\ p=-ui \end{cases} \quad (1.4.2)$$

在此规定下,若计算结果 $P>0$ ($p>0$),表示元件(或电路)吸收功率;若 $P<0$ ($p<0$),表示元件(或电路)发出功率。功率的单位为瓦(W)、千瓦(kW)、毫瓦(mW),其换算关系为

$$1 \text{ W} = 10^{-3} \text{ kW} = 10^3 \text{ mW}$$

【任务 4.1】 在如图 1.4.1 所示的电路中,已知: $U_1=14 \text{ V}$, $I_1=2 \text{ A}$, $U_2=10 \text{ V}$, $I_2=1 \text{ A}$, $U_3=-4 \text{ V}$, $I_4=-1 \text{ A}$,试求:各方框电路中的功率,并说明是负载还是电源。

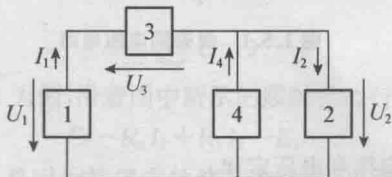


图 1.4.1 任务 4.1 的电路

【实施】 由于方框 1 两端的电压与通过其的电流为非关联方向,所以

$$P_1 = -U_1 \cdot I_1 = -14 \times 2 = -28 (\text{W})$$

$$P_2 = U_2 \cdot I_2 = 10 \times 1 = 10 (\text{W})$$