

21世纪高等院校教材

周新云 主 编

电工技术



科学出版社
www.sciencep.com

21 世纪高等院校教材

电 工 技 术

周新云	主 编
谭延良	副主编
孙玉坤	主 审

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书共12章。主要内容有:电路的基本概念和基本定律、电路的分析方法、电路的暂态分析、正弦交流电路、三相电路、非正弦周期信号电路、磁路和变压器、三相交流电动机、其他电动机、电动机的继电器接触器控制、可编程控制器和电工测量。书末附有部分习题答案和相关附录。

本书可作为普通高等学校本科、专科机械类、计算机类、化工类及工商、信息管理类专业“电工技术”课程的教材,也可供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术/周新云主编. —北京:科学出版社,2005
21世纪高等院校教材

ISBN 7-03-014567-4

I. 电… II. 周… III. 电工技术-高等学校-教材 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 132409 号

责任编辑:马长芳 / 文案编辑:董 斌 / 责任校对:钟 洋

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:陈 敬

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005年2月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2005年2月第一次印刷 印张:22

印数:1—5 000 字数:430 000

定价:28.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

前 言

本书是根据国家教育部“电工技术”(电工学 I)课程的教学基本要求编写的,主要目的是适应教学内容和课程体系改革的需求。

电工技术是普通高等工科学校非电类专业一门重要的技术基础课。希望通过本书的学习,使读者为后续课程和将来的工作储备必要的基础知识。因此,本书注重电工技术的基础性、应用性和先进性,以电路的基本概念、基本理论和基本分析方法为重点,以技术应用为主导,融入电工领域的一些新技术、新成果。

本书是按 75 学时(包括实验学时)编写的。对于授课学时较少的专业,可选择其中部分内容进行教学。同时,为了兼顾不同专业的需要,书中还编写了一些选修内容(带 * 号部分),教学时可根据需要选用。每章附有例题、习题,书末有习题答案。

本书由周新云任主编(编写第 2 章、第 4 章、第 5 章和第 7 章),谭延良任副主编(编写第 8~10 章),诸德宏编写第 1 章,刘玉华编写第 3 章和第 6 章,吴中俊编写第 11 章,杜天艳编写第 12 章。另外,陈山参与了第 7 章的编写,黄丽参与了第 8 章和第 9 章的编写。

全书由孙玉坤教授任主审,赵不贿教授和陈晓平副教授在百忙中对本书进行了仔细审阅,提出了许多宝贵意见,本书在编写过程中还得到了教研室同仁们的大力协助,在此一并深表谢意。

由于编者水平有限,因而书中难免有不妥和错误之处,敬请广大读者给予批评和指正,以便本书在修订时改正。

编 者

于江苏大学

2004 年 9 月

目 录

前言

第 1 章 电路的基本概念和基本定律	1
1.1 电路的作用与组成	1
1.2 电路模型	1
1.3 电流和电压的参考方向	2
1.4 电路的功率	4
1.5 电路元件	6
*1.6 电阻 Y- Δ 连接电路的等效变换	21
1.7 基尔霍夫定律.....	24
1.8 电路中的电位及其计算.....	28
习题	31
第 2 章 电路的分析方法	38
2.1 支路电流法.....	38
2.2 结点电压法.....	40
2.3 叠加定理.....	43
2.4 戴维南定理和诺顿定理.....	46
*2.5 受控源电路的分析.....	52
*2.6 非线性电阻电路.....	54
习题	55
第 3 章 电路的暂态分析	60
3.1 概述.....	60
3.2 换路定律及初始值的确定.....	62
3.3 RC 电路的分析	64
3.4 一阶电路暂态分析的三要素法.....	71
3.5 RC 电路的脉冲响应	73
3.6 RL 电路的暂态分析	76
习题	84
第 4 章 正弦交流电路	89
4.1 正弦量.....	89
4.2 正弦量的相量表示法.....	92
4.3 电阻元件上的正弦响应.....	95

4.4	电感元件上的正弦响应	97
4.5	电容元件上的正弦响应	100
4.6	电阻、电感与电容元件串联电路的正弦响应	104
4.7	一般交流电路的正弦响应	109
4.8	功率因数的提高	116
4.9	交流电路的频率特性	119
	习题	128
第5章	三相电路	134
5.1	三相电源	134
5.2	负载星形连接的三相电路	138
5.3	负载三角形连接的三相电路	143
5.4	三相电路的功率	147
5.5	安全用电	149
	习题	153
第6章	非正弦周期信号电路	156
6.1	非正弦周期信号的分解	157
6.2	非正弦周期信号的有效值和平均值	161
6.3	非正弦周期电流电路的平均功率	162
6.4	非正弦周期信号电路的计算	163
	习题	164
第7章	磁路与变压器	168
7.1	磁路中的基本物理量	168
7.2	铁磁材料	169
7.3	磁路的基本定律	171
7.4	铁心线圈	173
7.5	变压器	177
7.6	电磁铁	188
	习题	190
第8章	三相交流电动机	192
8.1	三相交流异步电动机的结构	192
8.2	三相交流异步电动机的工作原理	196
8.3	三相交流异步电动机的电磁转矩和机械特性	200
8.4	三相交流异步电动机的启动、调速和制动	206
8.5	三相交流异步电动机的选择	217
	习题	223

*第9章 其他电动机	225
9.1 单相异步电动机	225
9.2 三相同步电动机	228
9.3 直流电动机	232
9.4 控制电机	239
习题	249
第10章 电动机的继电接触器控制	250
10.1 常用控制电器	250
10.2 电动机的基本控制电路	259
10.3 电动机的基本控制方式	264
*10.4 控制电路应用实例	273
习题	276
第11章 可编程控制器	279
11.1 可编程控制器的基本组成及其工作原理	279
11.2 S7-200 可编程控制器的基本构成	282
11.3 S7-200 可编程控制器的指令系统	285
11.4 可编程控制器的程序设计方法及其应用实例	293
习题	307
第12章 电工测量	309
12.1 测量误差与仪表准确度	309
12.2 仪表的分类和选择	311
12.3 电流、电压和功率的测量	315
12.4 电阻、电感和电容的测量	319
12.5 万用表	323
习题	326
习题答案	327
参考文献	332
附录1 S7-200 PLC 部分指令	333
附录2 新旧电气图形符号对照表	334
汉英名词对照表	338

第 1 章 电路的基本概念和基本定律

电路理论是电工学的基础理论。本章着重讨论电路的主要物理量(电流、电压、功率等)、电路元件端口上的伏安关系和能量关系,重点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。

1.1 电路的作用与组成

学习要点 理解电路的作用和组成电路的基本要素。

电路是由电器元件或设备组成的。它能够实现能量的传输和转换(图 1.1-1)或者信号的传递和处理(图 1.1-2)。

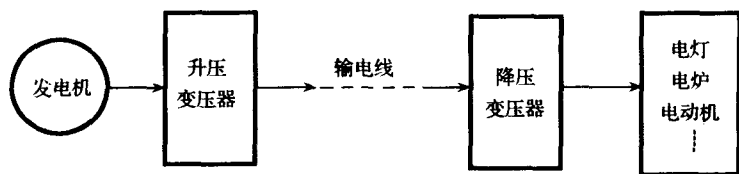


图 1.1-1 电力系统示意图

电路的结构形式因所完成任务的不同而不同;但就其基本组成而言,任何电路都是由电源(信号源)、中间环节和负载这三个要素组成。图 1.1-1 中,发电机是电源,它把其他形式的能量(热能、核能等)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



图 1.1-2 半导体扩音器原理示意图

传输和分配电能;电灯、电动机等用电设备是负载,它们分别把电能转换成光能、机械能等。在图 1.1-2 中,话筒把声音转换成电信号,经中间环节(放大电路等)的传递和处理,最后由扬声器将电信号还原成声音输出。

1.2 电路模型

学习要点 掌握理想电路元件(电阻、电感、电容)组成的电路模型。

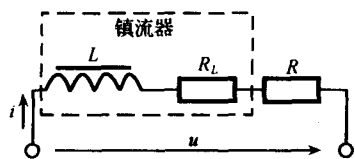


图 1.2-1 日光灯模型电路图

实际电路都是由电磁性质较为复杂的元器件组成的,这些元器件难以用数学模型描述。在电路分析中通常应抓住其主要性质,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来模拟实际电路元件。比如日光灯电路,其灯管用电阻元件来表示,

镇流器用电感串联电阻来表示,如图 1.2-1 所示。

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 给出了三种理想电路元件模型的电路符号和文字符号。

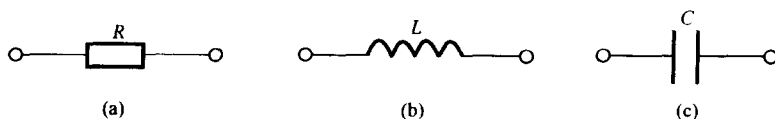


图 1.2-2 三种理想电路元件的图形符号

(a)电阻元件; (b)电感元件; (c)电容元件

1.3 电流和电压的参考方向

学习要点 掌握电流和电压参考方向的概念;理解电流和电压的实际方向和参考方向的区别。

电路中的主要物理量有电压、电流、电动势和能量,而在分析计算中常常用到的变量是电流和电压。为了对电路进行正确的分析和计算,需要在电路图中用箭头标示或用“+”、“-”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

物理学中规定,正电荷的移动方向为电流的实际方向。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 就是一个简单的电路模型。

(2) 电流、电压的参考方向

在交流电路中,由于电流或电压的方向随时间而变,无法用一个箭头来表示它们在某一瞬间的实际方

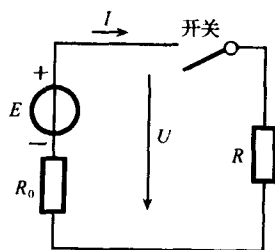


图 1.3-1 电路模型及
电流、电压方向

向;在较为复杂的直流电路中,也难以判断出电流或电压的实际方向。因此,为了方便地分析和计算电路,通常选定一个方向作为电流或电压的参考方向(也称为正方向),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。图 1.3-2 中,用方框泛指电路元件,电流的方向为参考方向。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;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 端流向 b 端;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。

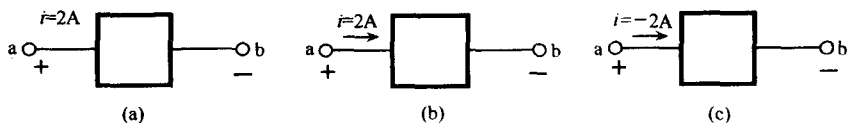


图 1.3-2 电流及其参考方向

参考方向常采用箭头标示的表示方法,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,如图 1.3-2 中,电流或电压可分别表示为 i_{ab} 、 u_{ab} 、 i_{ba} 、 u_{ba} 等。

需要注意的是:在分析电路时,一旦电路中电流或电压的参考方向确定了,那么在电路的整个分析与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和电压参考方向一致时,则称它们为关联的参考方向;否则就是非关联参考方向,如图 1.3-3(a)所示。图中,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,这时电阻 R 的端电压为

$$U = -RI$$

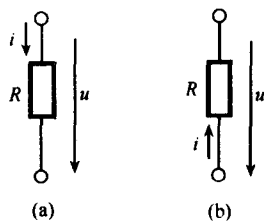


图 1.3-3 参考方向的
关联性

必须指出,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。

练习与思考

- 1.3.1 在图 1.3-4(a) 电路中, 电压 $U_{ac} = (\quad)$ V, 从 a 点至 b 点的电压 $U_{ab} = (\quad)$, 从 b 点至 c 点的电压 $U_{bc} = (\quad)$ 。

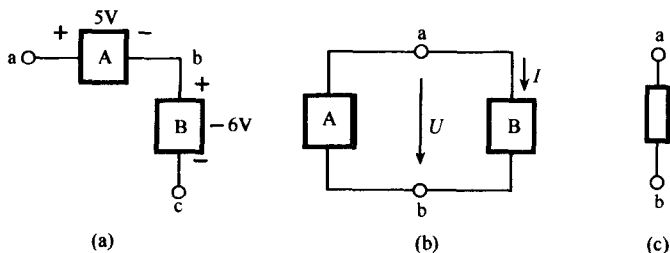


图 1.3-4

- 1.3.2 在图 1.3-3(b) 电路中, 元件 B 的电压、电流的参考方向是关联的, 而对于元件 A, 则是()。
- 1.3.3 在图 1.3-3(c) 电路中, $U_{ab} = -5$ V, 试问 a、b 两点哪点电位高?
- 1.3.4 U_{ab} 是否表示 a 点的电位高于 b 点电位?

1.4 电路的功率

学习要点 掌握关联参考方向或非关联参考方向时电路功率的计算; 理解功率正负值的意义。

电路的作用之一是将电能转换成其他形式的能量, 描述能量的转换速率的物理量是电功率(简称功率)。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、电流取关联参考方向时, 有

$$P = UI \quad (1.4.1)$$

$$p = ui \quad (1.4.2)$$

- (2) 当电压、电流取非关联参考方向时, 有

$$P = -UI \quad (1.4.3)$$

$$p = -ui \quad (1.4.4)$$

在此规定下, 若计算结果 $P > 0$ ($p > 0$), 表示元件(或该段电路)吸收功率; 若 $P < 0$ ($p < 0$), 表示元件(或该段电路)发出功率。

功率的单位为 W(瓦特)、kW(千瓦)、mW(毫瓦)。

$$1\text{W} = 10^{-3}\text{kW} = 10^3\text{mW} \quad (1.4.5)$$

【例 1.4.1】 电路如图 1.4-1 所示。已知 $U_1=14\text{V}$, $I_1=2\text{A}$, $U_2=10\text{V}$, $I_2=1\text{A}$, $U_3=-4\text{V}$, $I_4=-1\text{A}$, 求各方框电路中的功率, 并说明是负载还是电源。

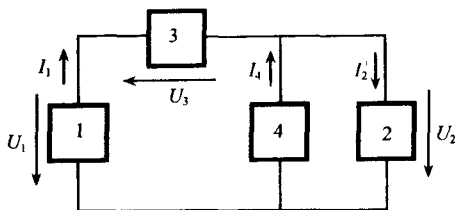


图 1.4-1

【解】 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

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

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

$$P_3 = -U_1 \times I_1 = -(-4) \times 2 = 8\text{W}$$

$$P_4 = -U_2 \times I_4 = 14 \times 2 = 10\text{W}$$

由于 $P_1 < 0$, 说明方框 1 发出功率, 是电源; P_2, P_3, P_4 均大于 0, 说明方框 2、3、4 吸收功率, 是负载。

在一个完整的电路中, 负载吸收的功率总和等于电源发出功率的总和, 或 $\sum P = 0$, 这反映了电路中的能量守恒。

如上例中, $\sum P = -28 + 10 + 8 + 10 = 0$ 。

练习与思考

- 1.4.1 有一额定值 10W 、 500Ω 的线绕电阻, 其额定电流为多少? 在使用时, 电阻两端的电压最大为多少?
- 1.4.2 在图 1.4-2 中, 已知 $U=220\text{V}$, $I=-1\text{A}$, 试问哪些方框是电源, 哪些是负载?

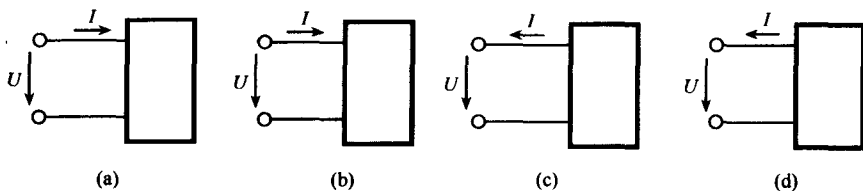


图 1.4-2

- 1.4.3 图 1.4-3(a) 是一电池电路。当 $U=3\text{V}$, $E=5\text{V}$ 时, 该电池是用作电源(供电), 还是用作负载(充电)? 图 1.4-3(b) 也是一电池电路, 当 $U=5\text{V}$, $E=3\text{V}$ 时, 则又如何?

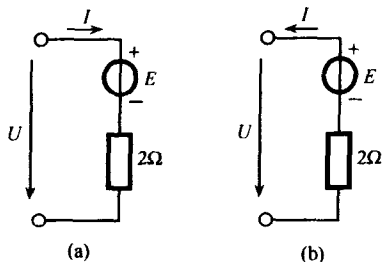


图 1.4-3

1.4.4 一个电热器从 220V 的电源上取用的功率是 1000W, 如果将它接到 110V 的电源上, 则取用的功率为多少?

1.5 电路元件

学习要点 掌握无源电路元件(电阻、电感和电容)的伏安特性和有源电路元件(电压源和电流源)的伏安特性; 理解实际电压源与恒压源、实际电流源与恒流源之间的关系; 掌握实际电压源与实际电流源之间的等效变换; 掌握电路无源元件串联、并联、混联的计算。

电路元件是用来表征电路实际部件的。常用的电路元件分为无源元件和有源元件, 其中无源元件为电阻、电感和电容, 而有源元件为电压源和电流源。

1.5.1 无源电路元件

1. 电阻元件

电阻元件用字母 R 来表示, 电阻有线性电阻和非线性电阻之分, 它们的图形符号如图 1.5.1 所示。本书主要讨论线性电阻。图 1.5-1(a)、(b) 分别是线性电阻的电路符号、伏安关系。

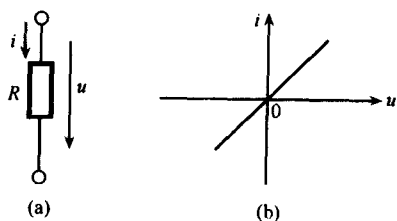


图 1.5-1 电阻元件的电路

符号及伏安特性

(a) 电路符号; (b) 伏安特性

(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。如在图 1.5-1(a) 所示的关联参考方向下, 其伏安关系为

$$U = IR \quad (1.5.1)$$

式中: 电压的单位为伏特(V), 电流的单位为安培(A), 则电阻的单位为欧姆(Ω)。这就是欧姆定律。

有时电阻的单位还用千欧姆(kΩ)或兆欧姆(MΩ)等辅助单位计量,其换算关系为

$$1\text{M}\Omega = 10^3\text{k}\Omega = 10^6\Omega$$

(2) 功率关系

$$P = UI = I^2R = U^2/R \quad (1.5.2)$$

式中:电压单位为伏特(V),电流单位为安培(A),则功率的单位为瓦特(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

$$1\text{kW} = 10^3\text{W} = 10^6\text{mW}$$

由式(1.5.2)可知,电阻元件上的功率始终是大于零的,即电阻元件在电路中始终为负载,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。额定值通常在铭牌上标出,也可从产品目录中查到。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。

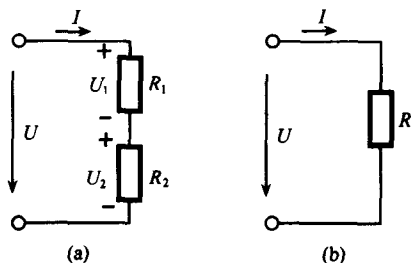


图 1.5-2 电阻的串联

(a)电阻的串联;(b)等效电阻

(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 1.5-2(a)就是两个电阻串联连接的电路,其等效电阻如图 1.5-2(b)所示。

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

$$R = R_1 + R_2 \quad (1.5.3)$$

两个电阻上的电压分别为

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= R_1 I = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U \\ U_2 &= R_2 I = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U \end{aligned} \right\} \quad (1.5.4)$$

由式(1.5.4)可知,串联电阻上电压的分配与电阻的阻值成正比,有时在电路中串联一个电阻(或变阻器),可起到分压或调节电压的目的。

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结点之间,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 1.5-3a 就是两个电阻并联连接的电路,其等效电阻如图 1.5-3(b)。

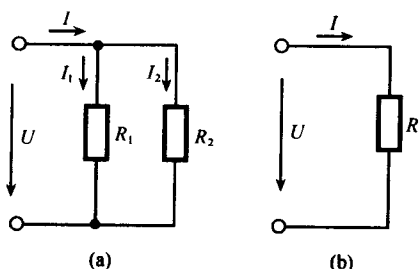


图 1.5-3 电阻的并联
(a)电阻的并联; (b)等效电阻

两个电阻并联可用一个等效电阻 R 来代替,如图 1.5-3(b)所示。等效电阻的倒数等于各个并联电阻的倒数之和,即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (1.5.5)$$

上式也可写成

$$G = G_1 + G_2 \quad (1.5.6)$$

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 S [西(门子)]。并联电阻用电导来表示,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

$$\begin{aligned} I_1 &= \frac{U}{R_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I \\ I_2 &= \frac{U}{R_2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I \end{aligned} \quad (1.5.7)$$

由式(1.5.7)可知,并联电阻上电流的分配与电阻成反比。有时将电路中的某一段并联一个电阻(或变阻器),可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行的。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。

在电源电压保持不变的前提下,并联的负载电阻越多(负载增加),则总电阻越小,电路中总电流和总功率越大。但是每个负载的电流和功率却不会变化。

【例 1.5.1】 有一个测量电流的微安表,其最大量程为 $100\mu A$,内阻 $r_0 = 1k\Omega$ 。如果要测量 $10mA$ 的电流,问应采取什么措施才能实现?

【解】 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 1.5-4

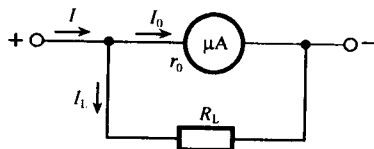


图 1.5-4 并联电阻扩大电流量程的电路

所示。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 10.1Ω 的电阻就可以测量 10mA 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 来表示,其图形符号如图 1.5-5(b)所示。

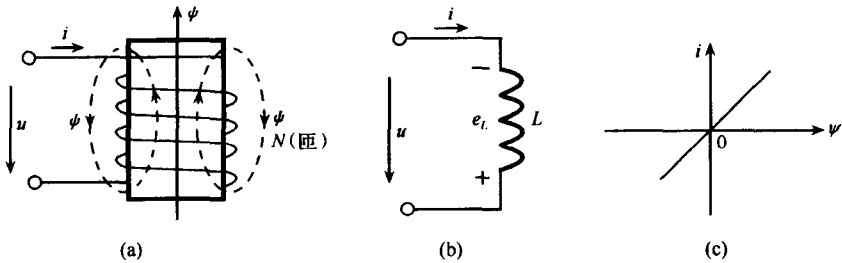


图 1.5-5 电感元件的电路符号及韦安特性

(a) 电感元件; (b) 电感元件符号; (c) 线性电感的韦安特性

电感元件的实际器件是线圈。通常空心线圈用线性电感来表征,铁心线圈用非线性电感来表征。本书主要讨论线性电感元件。

(1) 伏安关系

如图 1.5-5(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 ψ 为

$$\psi = N\Phi \quad (1.5.8)$$

磁通 Φ 与电流 i 之间的方向由右手螺旋定则确定。

电感 L 定义为

$$L = \psi/i \quad (1.5.9)$$

L 又称为电感系数或自感系数。对线性电感元件而言, L 是一个实常数。通常把线性电感元件简称为电感,所以本书中“电感 L ”一方面表示电感元件,另一方面也表示电感元件的参数。当 ψ 的单位是韦伯(Wb), i 的单位是安培(A)时,电感 L 的单位是亨利(H),有时也用毫亨(mH)。

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

当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

$$e_L = - d\psi/dt \quad (1.5.10)$$

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。

由图 1.5-5(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,因此

$$u = - e_L = \frac{d\psi}{dt} = L \frac{di}{dt} \quad (1.5.11)$$

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。

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常数,则 $\frac{di}{dt} = 0$,所以电感线圈两端电压为零,因此在直流电路中,电感元件可以用短接线来表示,此时将电感线圈看成短路。

(2) 能量关系

对式(1.5.11)两边积分,

$$i = \frac{1}{L} \int_{-\infty}^t u dt = \frac{1}{L} \int_{-\infty}^0 u dt + \frac{1}{L} \int_0^t u dt = i(0) + \frac{1}{L} \int_0^t u dt \quad (1.5.12)$$

式中, $i(0)$ 是初始值,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

$$i = \frac{1}{L} \int_0^t u dt \quad (1.5.13)$$

此时电感元件所储存的能量为

$$W_M = \int_0^t u i dt = \int_0^t L i di = \frac{1}{2} L i^2 \quad (1.5.14)$$

上式说明,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。上式中的 $\frac{1}{2} L i^2$ 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) 电感的串联

电感元件是按一定规格生产的,有时就需要把电感元件串联或并联起来使用。例如电感元件的串联,如图 1.5-6(a)所示。