

高等院校“十三五”规划教材

电工电子技术

主编 谭菊华 陈巍 万彬



重庆大学出版社

内容简介

本书主要阐述电工电子技术的基本理论、基本知识和基本技能。本书共有 10 章,内容包括电路的基本概念和电路定律,电路的分析方法,正弦交流电路,电路的暂态分析,磁路与铁芯线圈电路,电动机,晶体二极管与直流稳压电源,晶体三极管与基本放大电路,集成运算放大器,数字电路。

本书可作为高等院校应用型本科院校工科非电类专业的教材,也可作为各大专院校的教材以及相关工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术 / 谭菊华, 陈巍, 万彬主编. -- 重庆:重庆大学出版社, 2019.7

ISBN 978-7-5689-1540-3

I. ①电… II. ①谭… ②陈… ③万… III. ①电工技术—高等学校—教材②电子技术—高等学校—教材
IV. ①TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 137318 号

电工电子技术

主 编 谭菊华 陈 巍 万 彬

副主编 黄仁如 朱海宽 胡 荣

策划编辑:曾显跃

责任编辑:文 鹏 版式设计:曾显跃

责任校对:邹 忌 责任印制:张 策

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:饶帮华

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路 21 号

邮编:401331

电话:(023)88617190 88617185(中小学)

传真:(023)88617186 88617166

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn (营销中心)

全国新华书店经销

重庆市远大印务有限公司印刷

*

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:14.75 字数:370 千

2019 年 7 月第 1 版 2019 年 7 月第 1 次印刷

印数:1—3 000

ISBN 978-7-5689-1540-3 定价:39.90 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

前言

电工电子技术是高等学校非电类专业的一门重要的专业基础课程。本书是在多年教学改革与实践的基础上,为非电类专业编写的电工电子技术课程的教材。

本书包括电工技术和电子技术两部分内容。课程的主要任务是使工科各专业学生了解电工、电子技术的一些相关理论和知识,并受到必要的基本技能训练。为此,编者在书中对基本理论、基本定律、基本概念及基本分析方法都做了详尽阐述,并通过实例、例题和习题来说明理论的实际应用,以此来使学生加深对理论的掌握和理解,并了解电工电子技术与生产发展之间的密切关系。

随着科学技术的飞速发展,大量新知识正源源不断地补充进“电工电子技术”课程中,与此同时,课程的学时却不断压缩,许多新的课程不断出现,对传统课程形成挤压效应。

因此,我们着重进行以下几方面的工作:

①保证课程之间合理连接。例如电阻串、并联和闭合电路欧姆定律是中学物理的基本知识,也是学习电工电子学课程的基础。我们并没有像中学物理一样直接搬出相关公式,而是在基尔霍夫定律和元件电压电流关系的基础上得出相关的公式,并且借助基尔霍夫定律来判断复杂一点的电阻串、并联,且判断依据简明、直观。

②强调学习方法。

③用程序化的思路讲解,对各种方法都给出了详细步骤,降低思维难度。

④力求做到重点突起、概念清楚、循序渐进、文字简练、理论与实践结合、便于自学。

本书由南昌大学科学技术学院谭菊华、陈巍、南昌职业大学万彬任主编,黄仁如、朱海宽和胡荣任副主编。具体编写分工:第1章、第2章、第11章由谭菊华编写,第3章、第4章、第5章由黄仁如编写,第6章、第7章、第8章由陈巍编写,第9章、第10章由朱海宽编写,第12章由万彬编写,第13章、第14章由胡荣编写。

全书由谭菊华、陈巍、黄仁如组织编写、统稿和审定。另外,在编写过程中,沈放、章小宝、谢芳娟、曾萍萍、陈艳、吴静进、黄灿英等老师做了大量的辅助工作,并提出了许多意见,在此表示衷心感谢!

由于编者水平有限,本书难免会存在错误或不当之处,恳请读者及同行老师批评指正。

编者
2019年5月

目 录

第 1 章 电路的基本概念和电路定律	1
1.1 电路的基本物理量	1
1.2 电路元件	8
1.3 电源元件	12
1.4 基尔霍夫定律	15
本章小结	18
习题	18
第 2 章 电路的分析方法	20
2.1 电源的等效变换	20
2.2 支路电流法	23
2.3 回路分析法	26
2.4 节点电压法	29
2.5 叠加原理	30
2.6 戴维南定理(等效电压源定理)	32
本章小结	34
习题	35
第 3 章 正弦交流电路	37
3.1 正弦交流电的基本概念	37
3.2 正弦量的相量表示法	39
3.3 单一参数的正弦交流电路	42
3.4 串联正弦交流电路	46
3.5 并联正弦交流电路	52
3.6 三相正弦交流电路	54
3.7 安全用电	61
本章小结	65
习题	66

第 4 章 电路的暂态分析	68
4.1 电路的暂态及换路定律	68
4.2 RC 电路的暂态分析	70
4.3 RL 电路的暂态分析	75
4.4 微分电路和积分电路	79
本章小结	82
习题	82
第 5 章 磁路与铁芯线圈电路	85
5.1 磁路与磁路的欧姆定律	85
5.2 变压器的基本结构与原理	87
5.3 变压器的额定值	95
5.4 变压器绕组的极性	96
5.5 三相变压器	97
本章小结	98
习题	100
第 6 章 电动机	102
6.1 三相异步电动机的基本结构和工作原理	102
6.2 三相异步电动机的电磁转矩和机械特性	107
6.3 三相异步电动机的使用	112
6.4 绕线式异步电动机	117
6.5 直流电动机的构造及工作原理	119
本章小结	122
习题	123
第 7 章 晶体二极管与直流稳压电源	125
7.1 概述	125
7.2 半导体二极管	129
7.3 整流电路	132
7.4 滤波电路	136
7.5 硅稳压管稳压电路	139
本章小结	141
习题	142
第 8 章 晶体三极管与基本放大电路	145
8.1 晶体三极管	145
8.2 基本放大电路	150

8.3 级间耦合方式与多级放大电路	160
8.4 负反馈放大器	163
8.5 功率放大电路	167
8.6 晶体管串联型稳压电路	171
本章小结.....	173
习题.....	175
第9章 集成运算放大器.....	177
9.1 集成运算放大器概述	177
9.2 基本运算电路	180
9.3 基本信号处理	185
9.4 集成稳压电路	191
本章小结.....	193
习题.....	194
第10章 数字逻辑基础	197
10.1 数字电路概述.....	197
10.2 逻辑运算.....	198
10.3 逻辑函数及其化简.....	201
10.4 组合逻辑电路.....	208
10.5 时序逻辑电路.....	216
本章小结.....	223
习题.....	223
参考文献.....	226

第 1 章

电路的基本概念和电路定律

本章主要介绍电路的基本概念和电路定律,内容包括:电路和电路模型,电流和电压的参考方向,电功率和能量,电路元件,电阻、电容、电感元件的数学模型及特性,电压源和电流源的概念及特点,受控源的概念及分类,结点、支路、回路的概念和基尔霍夫定律。

1.1 电路的基本物理量

1.1.1 电路与电路模型

电路是电流的通路,主要由电源、负载和中间环节(包括连接导线和开关等)三个基本部分组成。发电机、蓄电池等是电源,它们将非电能转换成电能,向电路提供能量。电灯、电动机、电炉等是负载,分别将电能转换为光能、机械能和热能等非电能,它们是取用电能的设备。中间环节是连接电源和负载的部分,它起着连接与断开电路,控制、传递和分配电能的作用。

(1) 实际电路

实际电路是由电器设备组成(如电动机、变压器、晶体管、电容等),为完成某种预期的目的而设计、连接和安装形成的电流通路。如图 1.1(a)所示为手电筒电路,它由三部分组成:①提供电能的能源(图中为干电池),简称电源或激励源或输入,电源将其他形式的能量转换成电能;②用电设备(图中为灯泡),简称负载,负载将电能转换为其他形式的能量;③连接导线,导线提供电流通路,电路中产生的电压和电流称为响应。

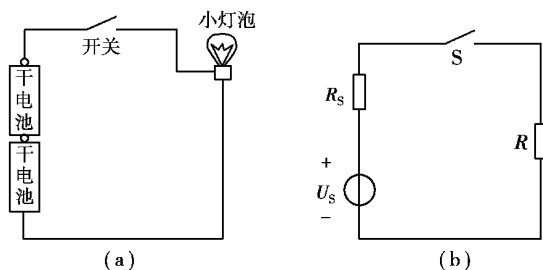


图 1.1 手电筒电路

(2) 电路模型

在集总参数电路中,为了便于进行分析和计算,在一定条件下,将实际元件加以近似化、理想化,忽略其次要性质,用足以表征其主要特征的“模型”来表示,这种元件称为理想元件。由理想电路元件构成的电路,称为实际电路的“电路模型”。如图 1.1(a)所示,为手电筒的实际电路,若将小灯泡看成电阻元件,用符号“ R ”表示,考虑干电池内部自身消耗的电能,将干电池看成电阻元件 R_s 和电压源 U_s 串联,连接导线看成理想导线(其电阻为零)。这样,手电筒的实际电路就可以用电路模型来表示,如图 1.1(b)所示。

电路模型是指足以反映实际电路中电工设备和器件(实际部件)的电磁性能的理想电路元件或它们的组合。

理想电路元件是指抽掉了实际部件的外形、尺寸等差异性,反映其电磁性能共性的电路模型的最小单元。

发生在实际电路器件中的电磁现象按性质可分为:消耗电能、供给电能、储存电场能量、储存磁场能量。

假定这些现象可以分别研究,将每一种性质的电磁现象用一理想电路元件来表征,有如下几种基本的理想电路元件。

- ①电阻:反映消耗电能转换成其他形式能量的过程(如电阻器、灯泡、电炉等)。
- ②电容:反映产生电场、储存电场能量的特征。
- ③电感:反映产生磁场、储存磁场能量的特征。
- ④电源元件:表示各种将其他形式的能量转变成电能的元件。

1.1.2 电流和电流的参考方向

(1) 电流

带电粒子(电子、离子等)的定向运动称为电流。电流的量值(大小)等于单位时间内穿过导体横截面的电荷量,用符号“ i ”表示,即

$$i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt} \quad (1.1)$$

式中, Δq 为极短时间 Δt 内通过导体横截面的电荷量。

在国际单位制(SI)中,电流的单位是安[培](A)。常用的电流的十进制倍数和分数单位有千安(kA)、毫安(mA)、微安(μA)等,它们之间的换算关系为

$$1 \text{ kA} = 10^3 \text{ A} = 10^6 \text{ mA} = 10^9 \mu\text{A}$$

电流的实际方向为正电荷的运动方向。当电流的量值和方向都不随时间变化时, dq/dt 为定值,这种电流称为直流电流,简称直流(DC)。直流电流常用英文大写字母“ I ”表示。对于直流,式(1.1)可写成

$$I = \frac{q}{t} \quad (1.2)$$

式中, q 为时间 t 内通过导体横截面的电荷量。

量值和方向随着时间周期性变化的电流称为交流电流,常用英文小写字母“ i ”表示。

(2) 电流的参考方向

在复杂电路的分析中,电路中电流的实际方向很难预先判断出来,有时电流的实际方向还

会不断改变。因此,很难在电路中标明电流的实际方向。为此,在分析与计算电路时,常可任意规定某一方向作为电流的参考方向或正方向。如图 1.2 所示为电流的参考方向,若电流的实际方向与参考方向一致,如图 1.2(a) 所示,则电流为正值;若两者相反,如图 1.2(b) 所示,则电流为负值。这样就可以利用电流的参考方向和正负值来判断电流的实际方向。应当注意,在未规定参考方向的情况下,电流的正负号是没有意义的。

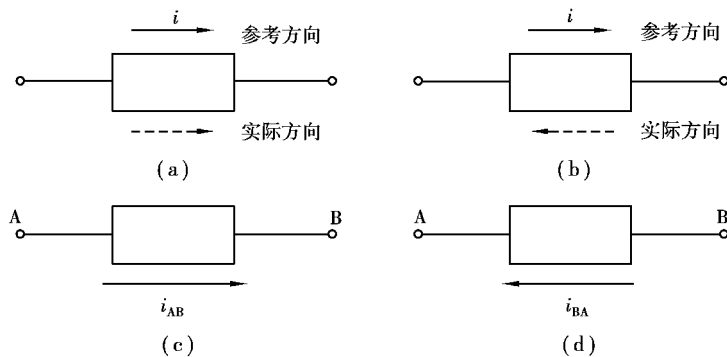


图 1.2 电流的参考方向

电流的参考方向除用箭头在电路图上表示外,还可用双下标表示,如对某一电流,用 i_{AB} 表示其参考方向为由 A 指向 B,如图 1.2(c) 所示;用 i_{BA} 表示其参考方向为由 B 指向 A,如图 1.2(d) 所示。显然,两者相差一个负号,即

$$i_{AB} = -i_{BA}$$

需要指出的是:

- ① 电流的参考方向可以任意指定。
- ② 指定参考方向的用意是将电流看成代数量。在指定的电流参考方向下,电流值的正和负就可以反映出电流的实际方向。

1.1.3 电压和电压的参考方向

(1) 电压

当导体中存在电场时,电荷在电场力的作用下运动,电场力对运动电荷做功,运动电荷的电能将减少,电能转化为其他形式的能量。电路中 A、B 两点间的电压是单位正电荷在电场力的作用下由 A 点移动到 B 点所减少的电能,即

$$u_{AB} = \lim_{\Delta q \rightarrow 0} \frac{\Delta W_{AB}}{\Delta q} = \frac{dW_{AB}}{dq} \quad (1.3)$$

式中, Δq 为由 A 点移动到 B 点的电荷量, ΔW_{AB} 为移动过程中电荷所减少的电能。

电压的实际方向是使正电荷电能减少的方向,当然也是电场力对正电荷做功的方向。在国际单位制中,电压的单位是伏[特](V)。常用的电压的十进制倍数和分数单位有千伏(kV)、毫伏(mV)、微伏(μ V)等,它们之间的换算关系为

$$1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V} = 10^6 \text{ mV} = 10^9 \mu\text{V}$$

量值和方向都不随时间变化的直流电压用英文大写字母“U”表示。量值和方向随着时间周期性变化的交流电压用英文小写字母“u”表示。

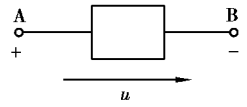
(2) 电压参考方向

与电流类似，在电路分析中也要规定电压的参考方向，通常用 3 种方式表示：

①采用正 (+)、负 (-) 极性表示，称为参考极性，如图 1.3 所示。这时，从正极性端指向负极性端的方向就是电压的参考方向。

②采用实线箭头表示，如图 1.3 所示为电压的参考方向。

③采用双下标表示，如 u_{AB} 表示电压的参考方向由 A 指向 B。



电压的参考方向指定之后，电压就是代数量。当电压的实际方向与参考方向一致时，电压为正值；当电压的实际方向与参考方向相反时，电压为负值。

任一电路的电流参考方向和电压参考方向可以分别独立地规定，如图 1.4 所示为关联方向与非关联方式。但为了分析方便，常使同一元件的电流参考方向与电压参考方向一致，即电流从电压的正极性端流入该元件而从它的负极性端流出。这时，该元件的电压参考方向与电流参考方向是一致的，称为关联参考方向(如图 1.4(a)、(b)所示)；否则，称为非关联参考方向(如图 1.4(c)所示)。

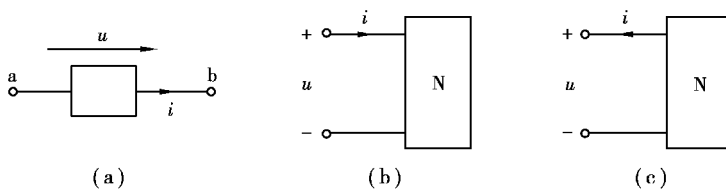


图 1.4 关联方向与非关联方向

1.1.4 电位和电动势

(1) 电位

在复杂电路中，经常用电位的概念来分析电路。所谓电位，是指在电路中任选一点作为参考点，某点到参考点的电压就称为该点的电位。电位用英文大写字母“V”表示，电路中 A 点的电位可表示为 V_A ，如图 1.5 所示为电位表示，其参考方向规定为 A 点为参考正极性，参考点 O 为参考负极性。电位的单位与电压的单位相同，SI 单位均为伏[特](V)。

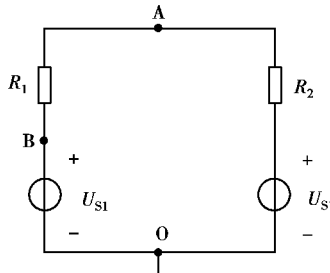


图 1.5 电位的表示

已知 A、B 两点的电位分别为 V_A 、 V_B ，则此两点间的电压为

$$U_{AB} = U_{AO} + U_{OB} = U_{AO} - U_{BO} = V_A - V_B \tag{1.4}$$

即两点间的电压等于这两点的电位的差，所以，电压又称为电位差。

参考点选择不同,同一点的电位就不同,但电压与参考点的选择无关。至于如何选择参考点,则要视分析计算问题的方便而定。电子电路中需选各有关部分的公共线作为参考点,常用符号“ \perp ”表示。

(2) 电动势

电动势是指电场力将单位正电荷从电源的低电位点移到高电位点所做的功。电动势用英文大写字母“ E ”表示,实际方向为电位升的方向,与电压方向相反。

[例 1.1] 试分别说明图 1.6(a)、(b)、(c) 所示电路中:①电流实际方向与电压实际的极性;②电流与电压是关联的还是非关联的?

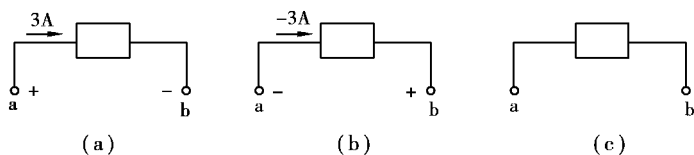


图 1.6 例 1.1 图

解 图 1.6(a), 电流的实际方向为 $a \rightarrow b$, 电压的实际极性 a 端为“+”, b 端为“-”, 电压与电流相关联; 图 1.6(b), 电流的实际方向为 $b \rightarrow a$, 电压的实际极性 a 端为“-”, b 端为“+”, 电压与电流相关联; 图 1.6(c), 电压和电流都未规定参考方向, 所以电流实际方向与电压实际的极性不能判定。

需要指出的是:

- ①分析电路前必须选定电压和电流的参考方向。
- ②参考方向一经选定, 必须在图中相应位置标注(包括方向和符号), 在计算过程中不得任意改变。
- ③参考方向不同时, 其表达式相差一负号, 但实际方向不变。

1.1.5 电功率和能量

(1) 电功率

电功率是电路分析中常用到的一个物理量。传递转换电能的速率称为电功率, 简称功率, 用“ p ”或“ P ”表示。习惯上, 将发出或接受电能说成发出或接受功率。

1) 定义

单位时间内电场力所做的功称为电功率。

$$p = \frac{dW}{dt} \quad (1.5)$$

在国际单位制(SI)中, 电功率的单位是瓦[特](W)。常用的电功率的十进制倍数和分数单位有千瓦(kW)、毫瓦(mW), 它们之间的换算关系为

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

电功率与电压和电流密切相关。由于

$$i = \frac{dq}{dt}, \quad u = \frac{dW}{dq}$$

$$p = \frac{dW}{dt} = \frac{dW}{dq} \cdot \frac{dq}{dt}$$

所以有

$$p = \frac{dW}{dt} = ui \quad (1.6)$$

在直流情况下, 式(1.6)可表示为

$$P = UI \quad (1.7)$$

即电路消耗(或吸收)的功率等于其电压与电流的乘积。

2) 电路吸收或发出功率的判断

用式(1.6)计算功率时, 如果电流、电压选用关联参考方向, 则所得的 p 应看成支路接受的功率, 即计算所得功率为正值时, 表示支路实际接受功率; 计算所得功率为负值时, 表示支路实际发出功率。

同样, 如果电流、电压选择非关联参考方向, 则按式(1.6)所得的 p 应看成支路发出的功率, 即计算所得功率为正值时, 表示支路实际发出功率; 计算所得功率为负值时, 表示支路实际接受功率。

需要指出的是: 对一完整的电路, 其发出的功率等于消耗的功率, 满足功率平衡。

(2) 能量

在 t_0 到 t_1 的一段时间内, 某一个元件或一段电路消耗的电能量 W 可根据电压的定义(a、b 两点的电压在量值上等于电场力将单位正电荷由 a 点移动到 b 点时所做的功)求得, 即

$$W = \int_{t_0}^{t_1} p dt = \int_{t_0}^{t_1} u i dt \quad (1.8)$$

在直流电路中, 电流、电压均为恒值, 在 $t_0 \sim t_1$ 的一段时间内电路消耗的电能为

$$W = P(t_1 - t_0) = UI(t_1 - t_0) \quad (1.9)$$

在国际单位制中, 电能量的 SI 主单位是焦[耳](J)。它等于功率为 1 W 的用电设备在 1 s 内所消耗的电能。在实际生活中, 还采用千瓦时(kW · h)作为电能的单位。它等于功率为 1 kW 的用电设备在 1 h(3 600 s)内所消耗的电能(简称为 1 度电)。

$$1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 10^3 \times 3\,600 \text{ J} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

[例 1.2] 求图 1.7 所示电路中各方框所代表的元件消耗或产生的功率。已知: $U_1 = 1 \text{ V}$, $U_2 = 3 \text{ V}$, $U_3 = 8 \text{ V}$, $U_4 = 4 \text{ V}$, $U_5 = 7 \text{ V}$, $U_6 = -3 \text{ V}$, $I_1 = 2 \text{ A}$, $I_2 = 1 \text{ A}$, $I_3 = -1 \text{ A}$

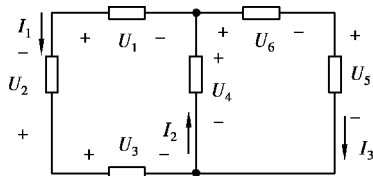


图 1.7 例 1.2 图

解

$$P_1 = U_1 I_1 = (1 \times 2) \text{ W} = 2 \text{ W} \text{ (发出)}$$

$$P_2 = U_2 I_1 = (3 \times 2) \text{ W} = 6 \text{ W} \text{ (发出)}$$

$$P_3 = U_3 I_1 = (8 \times 2) \text{ W} = 16 \text{ W} \text{ (消耗)}$$

$$P_4 = U_4 I_2 = (4 \times 1) \text{ W} = 4 \text{ W} \text{ (发出)}$$

$$P_5 = U_5 I_3 = [7 \times (-1)] \text{ W} = -7 \text{ W} \text{ (消耗)}$$

$$P_6 = U_6 I_3 = [(-3) \times (-1)] \text{ W} = 3 \text{ W} (\text{消耗})$$

本题的计算说明:对一完整的电路,其发出的功率等于消耗的功率。

1.1.6 电路的工作状态

(1) 电源有载工作

如图 1.8(a) 所示为电路的负载状态,当电源向负载正常供电时,电路中流过电流,这种状态称为有载工作状态(又称负载状态)。电压与电流关系

$$I = \frac{E}{R + R_0}$$

电源端电压

$$U_1 = E - IR_0$$

可见,负载状态时,电源端电压 U_1 总是小于电源电动势。

电源输出功率

$$P_1 = U_1 I = (E - IR_0) I = EI - I^2 R_0 = P_E - \Delta P$$

若忽略线路上的压降,则负载从电源吸收的功率

$$P_2 = U_2 I = U_1 I = P_1 = P_E - \Delta P$$

式中, U_2 为负载端电压, $P_E = EI$ 为电源电动势发出的功率, $\Delta P = I^2 R_0$ 为电源内阻上损耗的功率。

这说明,电源供给外电路负载的功率等于电源电动势发出的功率减去内阻上损耗的功率。

(2) 电源的开路

如图 1.8(b) 所示为电路的开路状态,当开关断开时,电源不能向负载供电,电路中电流为零;电源端电压等于电源的电动势,称为开路电压,用 U_0 表示;电源输出的功率和负载吸取的功率均为零,这种状态称为开路。

(3) 电源的短路

如图 1.8(c) 所示为电路的短路状态,当电路中的电源两端短接时,电源内部将流过极大的短路电流 $I_s = \frac{E}{R_0}$;但电源和负载的端电压均为零,输出电流为零。电动势发出的电功率全部被内阻所消耗,电源输出的功率和负载吸取的功率均为零,这种状态称为短路。一般来说,短路是一种严重事故,应尽量预防和避免。

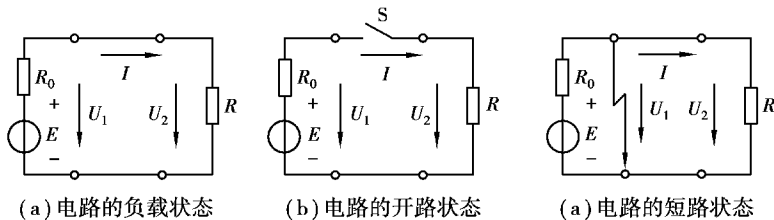


图 1.8 电路的工作状态

1.2 电路元件

电路元件是电路中最基本的组成单元。元件的特性通过与端子有关的物理量来描述。一种元件反映某种确定的电磁性质。表示电路元件特性的数学关系称为元件约束。

电路元件分类如下：

- ①电路元件按与外部连接的端子数目可分为二端、三端、四端元件等。
- ②电路元件按是否给电路提供能量分为无源元件和有源元件。
- ③电路元件的参数如不随端子上电压或电流数值变化称线性元件,否则称非线性元件。
- ④电路元件的参数如不随时间变化称时不变元件,否则称时变元件。

1.2.1 电阻元件

如果一个元件通过电流时总是消耗能量,那么其电压的方向总是与电流的方向一致。电阻元件就是按此而定义的,用来反映能量的消耗。电阻元件是一个二端元件,它的电流方向和电压方向总是一致的,电流和电压的大小成代数关系。

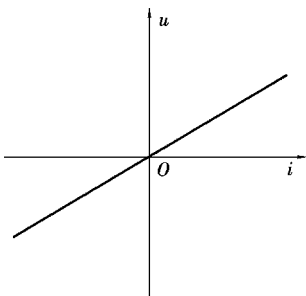


图 1.9 线性电阻的伏安特性曲线

电流和电压的大小成正比的电阻元件称为线性电阻元件。元件的电流与电压的关系曲线称为元件的伏安特性曲线。线性电阻元件的伏安特性为通过坐标原点的直线,这个关系称为欧姆定律。在电流和电压的关联参考方向下,图 1.10 所示为线性电阻的伏安特性曲线,欧姆定律的表达式为

$$u = Ri \quad (1.10)$$

式中, R 是元件的电阻,是反映电路中电能消耗的电路参数,是一个正实常数。式(1.10)中,电压的单位用 V 表示,电流的单位用 A 表示时,电阻的单位是欧[姆](Ω)。电阻的十进制倍数单位有千欧($k\Omega$)、兆欧($M\Omega$)等。

电流和电压的大小不成正比的电阻元件称为非线性电阻元件。式(1.10)称为电阻元件上电压与电流的约束关系(VCR)。

需要说明的是,此公式在电压 u 与电流 i 为关联参考方向下成立。若 u 、 i 为非关联参考方向,则公式表示为

$$u = - Ri \quad (1.11)$$

在国际单位制中,电阻的 SI 单位为欧[姆](Ω)。一般情况下,说“电阻”一词及其符号 R 时,既表示电阻元件也表示元件的参数。

电阻的倒数称为电导,用 G 表示,即 $G = 1/R$, 则式(1.10)变为

$$i = Gu \quad (1.12)$$

式中, G 称为电阻元件的电导,单位是西[门子](S)。

电阻根据阻值 R 的大小,在电路中有两种特殊工作状态:

- ①当 $R = 0$ 时,根据欧姆定律 $u = Ri$,无论电流 i 为何有限值,电压 u 都恒等于零,我们把

电阻的这种工作状态称为短路。

②当 $R = \infty$ 时,根据欧姆定律 $i = u/R$,无论电压 u 为何有限值,电流 i 都恒等于零,我们把电阻的这种工作状态称为开路。

在电流和电压的关联参考方向下,任何瞬时线性电阻元件接受的电功率为

$$p = ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R} = Gu^2 \quad (1.13)$$

由于电阻 R 和电导 G 都是正实数,因此功率 p 恒为非负值。既然功率 p 不能为负值,这就说明任何时刻电阻元件不可能发出电能,它所接受的全部电能都转换成其他形式的能,所以线性电阻元件是耗能元件。

如果电阻元件把接受的电能转换成热能,则从 t_0 到 t 时间内,电阻元件的热量 Q ,也就是这段时间内接受的电能 W 为

$$Q = W = \int_{t_0}^t p dt = \int_{t_0}^t Ri^2 dt = \int_{t_0}^t \frac{u^2}{R} dt \quad (1.14)$$

式中, $T = t - t_0$ 是电流通过电阻的总时间。以上两式称为焦耳定律。

[例 1.3] 有 220 V、100 W 灯泡一个,其灯丝电阻是多少? 每天用 5 h,一个月(按 30 天计算)消耗的电能是多少千瓦时?

解 灯泡灯丝电阻为

$$R = \frac{U^2}{P} = \frac{220^2}{100} \Omega = 484 \Omega$$

一个月消耗的电能

$$W = PT = 100 \times 10^{-3} \times 5 \times 30 \text{ kW} \cdot \text{h} = 15 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

1.2.2 电感元件

电感元件是实际电路中储存磁场能量这一物理性质的科学抽象,凡是电流及其磁场存在的场合总可以用电感元件来加以描述。

电感元件是表征产生磁场、储存磁场能量的元件。一般把金属导线绕在一骨架上来构成一实际电感器,线圈内有电流 i 流过时,电流在该线圈内产生的磁通为自感磁通。如图 1.10 所示为线圈的磁通和磁链, Φ_L 表示电流 i 产生的自感磁通。其中, Φ_L 与 i 的参考方向符合右手螺旋法则,我们把电流与磁通这种参考方向的关系称为关联的参考方向。如果线圈的匝数为 N ,且穿过每一匝线圈的自感磁通都是 Φ_L ,则

$$\Psi_L = N \Phi_L$$

即电流 i 产生的自感磁链。

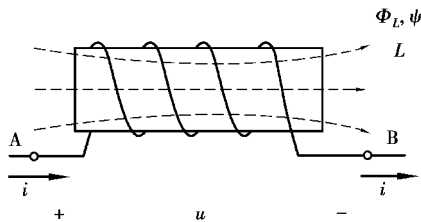


图 1.10 线圈的磁通和磁链

实际线圈通入电流时,线圈内及周围都会产生磁场,并储存磁场能量。电感元件就是体

现实际线圈基本电磁性能的理想化模型。

(1) 元件特性

电感元件中电流 $i(t)$ 与磁通 $\Phi(t)$ 的关系最能反映该元件的性质,所以电感元件的概念可叙述如下:

一个二端元件,如果在任一时刻 t ,其电流 $i(t)$ 和磁通 $\Phi(t)$ 的关系可以唯一地用 $i - \Phi$ 平面上的一条曲线所表征,即有代数关系 $F(i, \Phi) = 0$ 。

如图 1.12 所示为电感元件及其特性。如果电感元件的磁通链为电流的线性函数,即

$$\Psi(t) = Li(t) \tag{1.15}$$

式中, L 称为电感元件的自感系数或电感系数,简称电感。

L 为常数,则此电感元件称为线性的,它的特性曲线如图 1.11(b) 所示,其斜率即为电感量 L 。若在任何时刻该直线的斜率不变,则称为线性时不变电感,以后简称为电感。若电感元件不是线性的,则为非线性电感,如图 1.11(c) 所示。

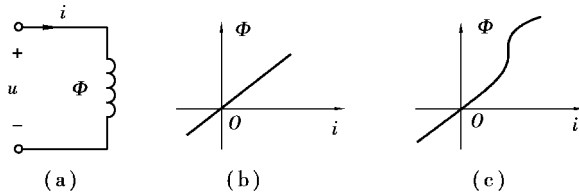


图 1.11 电感元件及其特性

电感的 SI 单位为亨[利](H), $1 \text{ H} = 1 \text{ Wb/A}$ 。通常还用毫亨(mH)和微亨(μH)作为其单位,它们的换算关系为

$$1 \text{ mH} = 10^{-3} \text{ H}, \quad 1 \mu\text{H} = 10^{-6} \text{ H}$$

电感元件和电感线圈也称为电感。所以,电感一词有时指电感元件,有时则是指电感元件或电感线圈的电感系数。

(2) 电感元件的电压、电流关系

电感元件的电流变化时,其自感磁链也随之改变,在元件两端会产生自感电压。在电流与电压的关联参考方向下,如果电压的参考方向与磁通的方向符合右手法则,根据法拉第电磁感应定律与楞次定律,有

$$u(t) = \frac{d\Psi}{dt} = L \frac{di(t)}{dt} \tag{1.16}$$

这就是关联参考方向下电感元件的电压与电流的约束关系或电感元件的 $u-i$ 关系。

由式(1.16)可知,电感元件的电压与其电流的变化率成正比。只有当元件的电流发生变化时,其两端才会有电压。因此,电感元件也称为动态元件。电流变化越快,自感电压越大;电流变化越慢,自感电压越小。当电流不随时间变化时,则自感电压为零。所以,直流电路中,电感元件相当于短路。

$$i(t) = \frac{1}{L} \int_{-\infty}^t u d\xi = \frac{1}{L} \int_{-\infty}^{t_0} u d\xi + \frac{1}{L} \int_{t_0}^t u d\xi = i(t_0) + \frac{1}{L} \int_{t_0}^t u d\xi \tag{1.17}$$

1.2.3 电容元件

(1) 元件特性

电容元件是储存电能的元件,是实际电容器的理想化模型。广而言之,一个二端元件,如