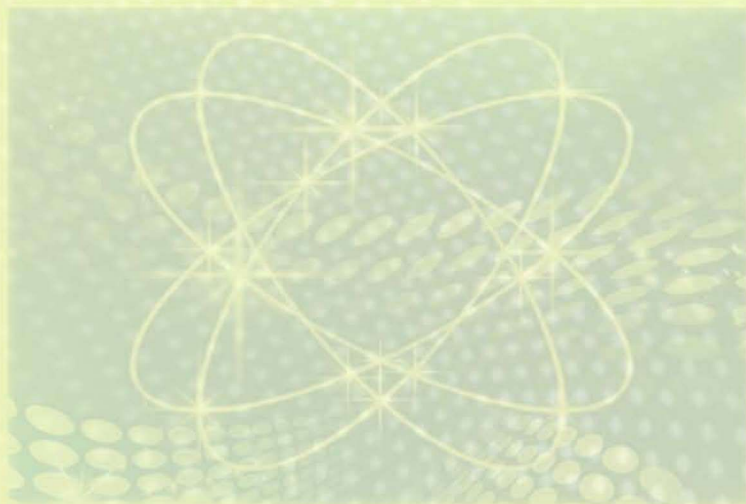


电工电子技术基础

(第三版)

主编 李若英



重庆大学出版社



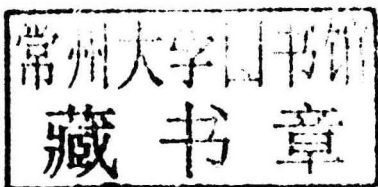
普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电工电子技术基础

(第三版)

主 编 李若英

副主编 汪 建 闫 琳 杨新明



重庆大学出版社

内 容 简 介

本教材共分八章,包含电工和电子技术两部分。电工部分的内容包括:电路的基本理论和基本分析方法,电路瞬态分析,正弦交流电路,三相电路,磁路与变压器,异步电动机及其控制,安全用电等内容。电子技术部分的内容突出集成化、数字化,并注重应用性、先进性,内容包括:晶体管、集成运放及其应用,门电路和组合逻辑电路,触发器和时序逻辑电路等内容。本教材的基本理论本着必需、够用为度的出发点,尽量减少理论论证,以掌握概念,突出应用、培养技能为教学重点。为帮助学生理解和掌握基本概念,本教材编写了丰富的例题和思考题,每章后有小结和习题。

本书适用于高职高专及其成教的机械类专业“电工与电子技术”课程的学生使用,也适用于同类院校机电类、计算机类专业的相关课程(少学时)的学生使用,还可供从事机械类专业、机电类及计算机类的工程技术人员和业余爱好者学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术基础/李若英主编. —3 版. —重庆:重庆大学出版社,2013. 1

高职高专机械系列教材

ISBN 978-7-5624-2878-7

I. ①电… II. ①李… III. ①电工技术—高等职业教育—教材②电子技术—高等职业教育—教材
IV. ①TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 180804 号

电工电子技术基础

(第三版)

主 编 李若英

副主编 汪 建 阎 琳 杨新明

责任编辑:曾显跃 版式设计:曾显跃

责任校对:刘 真 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:邓晓益

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路 21 号

邮编:401331

电话:(023)88617183 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

重庆五环印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:18.5 字数:462 千

2013 年 1 月第 3 版 2013 年 1 月第 10 次印刷

印数:33 001—37 000

ISBN 978-7-5624-2878-7 定价:35.00 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

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,根据国家教育部高职高专培养目标和对本课程的基本要求,结合全国高等职业技术教育机械类专业系列教材研讨会的精神编写而成。2003年出版了第一版,在此基础上总结提高,2008年出版了第二版,为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,现在修订编写出版的为第三版。

本书在三个版本的编写过程中,始终坚持为高职教育服务的思想,力求编出特色、编出质量,注意强化了以下基本内容:

①教材内容与高职学生的知识、能力结构相适应,重点突出职业特色,加强工程针对性、实用性。

②在内容阐述方面,力求简明扼要,通俗易懂,加强理论与实践的结合。

③教材的基本理论本着必需、够用为度的出发点,尽量减少理论论证,以掌握概念、突出应用、培养技能为教学重点。

④根据电子技术的发展情况和机械类专业的要求,本书弱化了模拟电路,强化了数字电路,并列举了大量的应用实例,可供不同专业选用。

⑤在电气安全知识中,与实际接轨,介绍了最新的实用技术。

全书共分8章,内容包括:电路的基本理论及基本分析方法,正弦交流电路,磁路与变压器,异步电动机及其控制,电气安全知识,晶体管及其应用,门电路和组合逻辑电路,触发器和时序逻辑电路。为帮助学生理解和掌握基本概念,本书编写了丰富的例题和思考题,每章后均有小结和习题。

本书第一版第1、第2章由李若英编写,第3章由杨新民、贾海瀛编写,第4章由包中婷编写,第5章由范钧编写,第6章由肖卫忠编写,第7章、第8章由汪建编写,附录由杨梅编写。

本书第二版在第一版的基础上,除了对部分章节进行修编和错误进行修正外,主要增加了如下内容:

①修编了“4.2 常用低压电器及继电接触控制系统”,增加了电机及其控制部分的应用内容,加强了控制基础的知识。

②在电气安全知识中,与实际接轨,介绍了最新的实用技术,增编了“5.6 电磁兼容的基本概念和基本技术简介”,引入了企业“3C”论证项目的电磁兼容性知识。

③修编了第6章。

④为了方便自学,书后增编了习题答案。

第二版第3章由杨新民、尹一帆修编;第4章的4.2节由郑骊编写,包中婷提供初稿;第5章的5.6节由彭志红编写;第6章由闫琳编写,肖卫忠提供初稿;习题答案由邱世卉编写。

本书第三版又在第二版的基础上,根据教学中反馈的意见,为拓展其专业适用性,对某些章节的内容作了延伸讲解,特别是数字电路部分,增编了“7.3 逻辑函数的表示方法及其相互转换”、“7.4 逻辑函数的代数化简法”、“7.5 组合逻辑电路的分析与设计”,加强了实用理论的编写,以突出应用和技能培养。

本书第三版新编部分的7.3、7.4、7.5节由邱世卉编写。

本书第一版由梁功勋高级工程师审阅,第二版由梁功勋高级工程师、关美华副教授共同审阅,第三版由唐红副教授审阅。在此,对于以上审阅者给予各版书稿所提供的诸多宝贵意见表示衷心的感谢。

本书历经三版,虽然对其中的错误进行了修正、不足之处进行了修编,但由于编者能力有限,书中尚存不妥之处在所难免,希望读者,予以批评指正。

编 者
2012年6月

目 录

第 1 章 电路的基本理论及基本分析方法	1
1.1 电路及电路模型	1
1.2 电路的基本物理量	2
1.3 电路基本元件及其伏安关系	6
1.4 基尔霍夫定律	13
1.5 电源的有载工作状态、开路与短路	19
1.6 叠加定理	22
1.7 戴维南定理	24
1.8 电路的暂态分析(简介)	27
小结	35
习题	36
第 2 章 正弦交流电路	40
2.1 正弦量的三要素	40
2.2 正弦量的相量表示	44
2.3 相量形式的基尔霍夫定律	46
2.4 正弦交流电路中的电阻、电感和电容	48
2.5 简单正弦交流电路分析	53
2.6 正弦交流电路的功率	60
2.7 三相电路	64
小结	74
习题	76
第 3 章 磁路与变压器	80
3.1 磁路的基本概念	80
3.2 变压器	84
3.3 特殊用途变压器	92

小结	95
习题	97
第4章 电动机及控制基础	99
4.1 三相交流异步电动机	99
4.2 常用低压电器及继电接触控制系统	111
小结	122
习题	123
第5章 电气安全知识	126
5.1 概述	126
5.2 电气事故	126
5.3 电气安全防护技术	128
5.4 电气防火、防雷、静电安全及电磁场安全	137
5.5 触电的急救	139
5.6 电磁兼容的基本概念和基本技术简介	142
小结	146
习题	146
第6章 半导体器件、集成运放及其应用	147
6.1 半导体的基础知识	147
6.2 半导体二极管及其应用	150
6.3 半导体三极管及其应用	161
6.4 集成运算放大器	176
6.5 场效应管	187
小结	191
习题	193
第7章 门电路和组合逻辑电路	200
7.1 概述	200
7.2 逻辑门电路	201
7.3 逻辑函数的表示方法及其相互转换	209
7.4 逻辑函数的代数化简法	211
7.5 组合逻辑电路的分析与设计	214
7.6 加法器	217
7.7 编码器	219
7.8 译码器和数字显示电路	223

7.9 应用举例	228
小结	229
习题	230
第 8 章 触发器和时序逻辑电路	232
8.1 触发器	232
8.2 寄存器	240
8.3 计数器	243
8.4 555 定时器及其应用	250
8.5 应用举例	257
小结	259
习题	259
附录	263
附录 A 电机的电气参数	263
附录 B 我国现行电磁兼容标准(部分)	265
附录 C 半导体分立器件	266
附录 D 半导体集成电路	272
附录 E 门电路、触发器和计数器的部分品种型号表	275
习题参考答案	276
参考文献	287

第 1 章

电路的基本理论及基本分析方法

电路是电工技术和电子技术的基础,它是为学习本书后面的变压器、电机以及电子电路打基础的。

本章介绍电路的基本概念、基本定律和基本分析方法。主要有电路的组成和作用、电路和电路模型、电路的基本物理量、电压和电流的参考方向、电位的概念及计算、电路的基本定律——欧姆定律和基尔霍夫定律、叠加定理、戴维南定理、电路的工作状态、电路的暂态分析。

1.1 电路及电路模型

1.1.1 电路的组成和作用

电路是电流的通路,它是为了实现某种功能,由一些电气器件和设备按一定方式连接而成。比较复杂的电路呈网状,称为网络。

电路的结构形式很多,功能各不相同。电路的一种功能是实现电能的传输和转换,例如图 1.1.1(a)所示手电筒电路。其中,干电池是一种电源,将化学能转换成电能,供负载取用;电灯泡是电路的负载,取用电能,并将电能转换成光能;开关和导线是电路的传输环节,使电流构成通路。

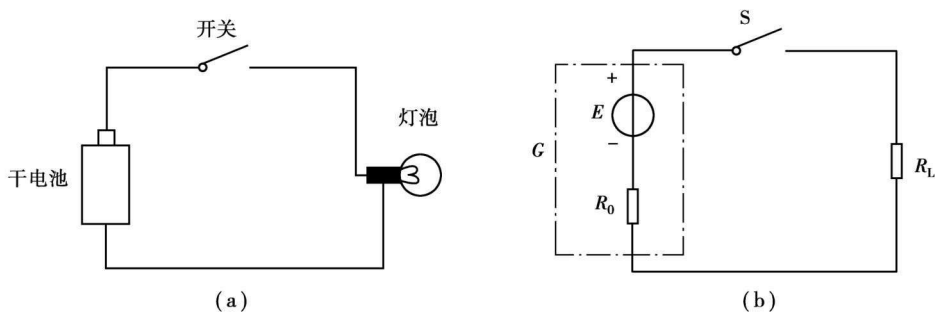


图 1.1.1 手电筒电路

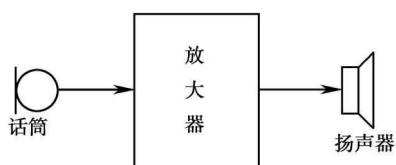


图 1.1.2 扩音机电路示意图

电路的另一种功能是实现电信号的传递和处理。例如图 1.1.2 所示的扩音机电路。话筒能将声音信号转换成相应的电压和电流(这就是电信号),然后由放大器传递到扬声器,扬声器再将电信号还原成声音信号。其中,由于话筒输出的信号比较微弱,不足以推动扬声器发音,因此中间需要放大器来放大。这种信号的转换和放大,称为信号的处理。话筒是输出电信号的设备,称为信号源,相当于电源;放大器放大和传递信号,相当于传输环节;扬声器接受和转换信号,相当于负载。可见,电源、负载和传输环节是组成电路必不可少的三部分。

电压源、信号源输出电压和电流推动电路工作,称为激励;激励在电路中各部分产生的电压和电流,称为响应。

1.1.2 电路模型和理想电路元件

在设计和制造某种器件时,是利用它的某种电磁性质;但是,实际器件的电磁性质比较复杂,常常几种电磁现象交织在一起。例如,在手电筒电路中,电灯泡除了消耗电能的性质(电阻性)外,当有电流通过时还有磁场,即具有电感的性质;电压源因有内阻,使用时端电压不可能总保持不变;导线和开关总有些电阻,甚至还有电感。这都会使实际电路的分析变得比较复杂。为了简化分析,需要将实际器件理想化,即在一定条件下突出其主要的电磁性质,忽略其次要的电磁性质,将其理想化为一个元件或几个元件的组合。这种元件只体现一种电磁性质,称为理想电路元件,简称电路元件。例如,在手电筒电路中,可以将电灯泡视为一个电阻元件,干电池理想化为电压源与电阻串联,开关闭合的接触电阻和导线的电阻忽略不计,视为无电阻的理想导体。理想电路元件主要有电阻元件、电感元件、电容元件、电源元件等。

由理想电路元件组成的电路称为实际电路的电路模型。图 1.1.1(b)就是手电筒电路的电路模型。今后分析的都是电路模型,简称电路。

1.2 电路的基本物理量

1.2.1 电流及其参考方向

带电粒子(电子、离子等)的有序运动形成电流。将单位时间内通过导体横截面的电量定义为电流强度,用以衡量电流的大小。电流强度简称为电流,用符号“ i ”表示其瞬时值,即

$$i(t) = \frac{dq}{dt} \quad (1.2.1)$$

式中, dq 是指在极短的时间 dt 内通过导体横截面的电荷量。我国法定计量单位是以国际单位制(SI)为基础的。在国际单位制中电流的单位是安[培](A)。当 1 秒(s)内通过导体横截面的电荷量为 1 库[仑](C)时,电流为 1 A。计量微小的电流时,以毫安(mA)或微安(μA)为单位。

习惯上规定正电荷运动的方向为电流的方向。若电流的量值和方向不随时间变动,即 $\frac{dq}{dt}$

等于定值,则这种电流称为直流电流,简称直流(DC),用符号“ I ”表示。

直流以外的电流统称为时变电流,如第1章的1.8中的响应电流或电压、第2章的正弦交流电流。

由于在分析较为复杂的电路时,往往难于事先判定某支路中电流的实际方向,为此,在分析计算时,可以任意选定某一方向作为电流的参考方向。电流的参考方向有两种表示方法,如图1.2.1所示。图(a)电流参考方向用箭头表示,图(b)和(c)用双下标表示。图(b)电流的参考方向由 a 指向 b ,图(c)的由 b 指向 a 。

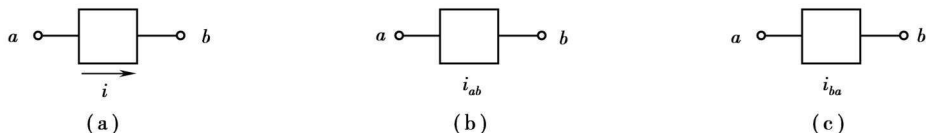


图 1.2.1 电流参考方向的两种表示

规定了参考方向后,电流就是一个代数量。若电流的参考方向和实际方向一致,则电流取正值;反之,则取负值。

1.2.2 电压、电位、电动势及其参考方向

(1) 电压、电位、电动势

电路中 a 、 b 两点间的电压为单位正电荷在电场力的作用下从 a 点转移到 b 点时所失去的电能,用符号“ u ”表示,即

$$u_{ab}(t) = \frac{dw}{dq} \quad (1.2.2)$$

式中, dq 为由 a 点转移到 b 点的正电荷的电量, dw 为转移过程中失去的电能。失去电能体现为电位的降低,即电压降。所以,电压的方向为电位降低的方向。

若取电路中的一点 o 为参考点,则由某点 a 到参考点的电压 u_{ao} 称为 a 点的电位,用符号“ v_a ”表示。参考点可以任意选择,但是,在一个连通的电路中,只有一个参考点,参考点的电位为零。

电压和电位的关系为: a 、 b 两点间的电压等于这两点的电位差,即

$$u_{ab} = v_a - v_b \quad (1.2.3)$$

所以,电压有时也称电位差。

应当注意,电路中各点的电位值随所选参考点位置的不同而不同,但参考点一经选定,则各点的电位值就是唯一确定的,这是电位的相对性和单值性;电路中任意两点间的电压值取决于这两点的电位值之差,与参考点选择在何处无关。

在电场力的作用下,一般正电荷总是从高电位向低电位转移,而在电源内部有一种电源力,可以将正电荷从低电位转移到高电位,因此,闭合电路中才能形成连续的电流。电动势就是指单位正电荷在电源力的作用下在电源内部转移时所增加的电能,用符号“ e ”表示,即

$$e(t) = \frac{dw}{dq} \quad (1.2.4)$$

式中, dq 为转移的正电荷, dw 为正电荷在转移过程中增加的电能。增加电能体现为电位的升高,即电压升。所以,电动势的方向是电位升高的方向。

电压、电位和电动势的 SI 单位都是伏[特](V)。计量微小电压(电位、电动势)时,以毫伏(mV)或微伏(μV)为单位。计量高电压(电位、电动势)时,以千伏(kV)为单位。

当电压和电动势的大小和方向都不变时,称为直流电压和电动势,分别用符号“ U ”和“ E ”表示。

(2) 电压、电动势的参考方向

与电流类似,在分析计算电路时,也必须事先规定电压、电动势的参考方向,因此,它们也是代数量。当电压、电动势的参考方向与实际方向一致时,取正值;反之,取负值。电压、电动势的参考方向一般有三种表示方式。图 1.2.2(a)采用正“+”、负“-”极性表示,称为参考极性。此时,正极指向负极的方向就是电压的方向,而负极指向正极的方向就是电动势的方向。图 1.2.2(b)采用箭头表示。图 1.2.2(c)采用双下标表示,“ u_{ab} ”表示电压的参考方向是由 a 指向 b ,“ e_{ba} ”表示电动势的参考方向是由 b 指向 a 。在图 1.2.2(a)、(b)中,都有 $u = e$,在图 1.2.2(c)中,有 $u_{ab} = e_{ba}$ 。

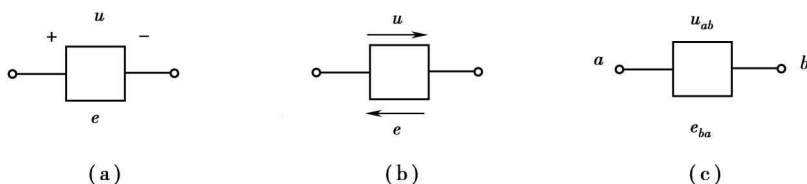


图 1.2.2 电压和电动势参考方向的三种表示

应当注意:

①电流、电压、电动势的参考方向可以任意规定而不影响实际结果,当规定的参考方向相反时,计算出的结果相差一个负号。

②参考方向一经规定,在整个电路的分析计算中就必须以此为准,不能变动。

③电压和电流的参考方向可以分别独立规定,但是,一般规定同一个元件的电压和电流的参考方向相同,即参考电流方向为从参考电压的正极性端流入该元件而从它的负极性端流出,如图 1.2.3(a)所示。此时,称该元件的电压、电流参考方向为关联参考方向;反之,则称为非关联参考方向,如图 1.2.3(b)。

④在没有规定参考方向的情况下,电流、电压的正负号是没有意义的。



图 1.2.3 电压、电流参考方向的关联与非关联

1.2.3 电功率和电能

电能转换的速率就是电功率,简称功率,用符号“ p ”表示,即

$$p = \frac{dw}{dt} \quad (1.2.5)$$

若一个元件或网络有两个引出端,则称为二端元件或二端网络。例如,图 1.2.4 中网络 N



图 1.2.4 二端网络的功率

就是二端网络。图 1.2.4(a) 电压和电流为关联参考方向,由电流和电压的定义可以推导出该二端网络吸收功率的计算公式,即

$$p = ui \quad (1.2.6)$$

图 1.2.4 (b) 电压和电流为非关联参考方向,由电流和电压的定义也可以推导出该二端网络吸收功率的计算公式,即

$$p = -ui \quad (1.2.7)$$

在分析计算时,无论用的是哪一个公式,只要 $p > 0$,则表明该二端网络吸收功率或消耗功率,为负载; $p < 0$,则表明该二端网络发出功率或产生功率,为电源。

对于直流电路,上面的公式表示为

$$P = UI \text{ 或 } P = -UI \quad (1.2.8)$$

功率的 SI 单位为瓦[特](W)。计量大功率时,以千瓦(kW)、兆瓦(MW)表示,计量小功率时,以毫瓦(mW)表示。

【例 1.2.1】在图 1.2.4 中,若 $u = 5 \text{ V}$, $i = -3 \text{ A}$,试分别求图(a)、(b)所示二端网络的功率 p 。

解 ①因为电压与电流关联,所以有

$$p = ui = 5 \times (-3) \text{ W} = -15 \text{ W} \quad (\text{产生})$$

即二端网络产生 15 W 的功率。

②因为电压与电流非关联,所以有

$$p = -ui = -5 \times (-3) \text{ W} = 15 \text{ W} \quad (\text{吸收})$$

即二端网络吸收 15 W 的功率。

根据功率的定义可以推出从 $t_0 \sim t$ 时间内电路吸收或消耗的电能量(简称电能)的公式,即

$$w = \int_{t_0}^t p dt \quad (1.2.9)$$

对于直流

$$W = P(t_0 - t) \quad (1.2.10)$$

电能的 SI 制单位是焦[耳](J),它表示 1 W 的用电设备在 1 s 内消耗的电能。在电力工程中常用千瓦时(kW·h)作为电能的单位,它表示 1 kW 的用电设备在 1 h(3 600 s)内消耗的电能(俗称为 1 度电)。

【练习与思考】

1.2.1 某一电路的电流和电压参考方向如图 1.2.5 所示,试确定对网络 A 电流和电压

是否关联？对网络 B 呢？

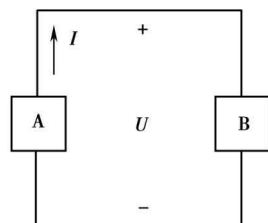


图 1.2.5

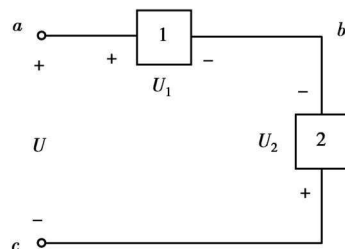


图 1.2.6

1.2.2 有人说“两点间的电压等于这两点的电位值之差。由于电位值取决于电路的参考点,所以当参考点改变时,这两点间的电压也会改变。”你同意他的观点吗？

1.2.3 在图 1.2.6 的电路中,已知 $U_1 = 10 \text{ V}$, $U_2 = 5 \text{ V}$ 。试计算:①若参考点选在 c 点,求 V_a 、 V_b 、 V_c 、 U ;②若参考点选在 b 点,再求 V_a 、 V_b 、 V_c 、 U 。

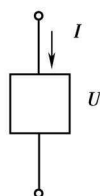


图 1.2.7

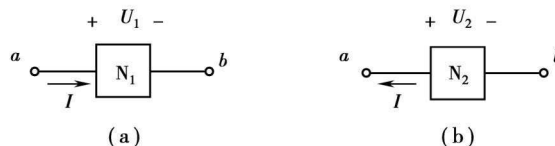


图 1.2.8

1.2.4 在图 1.2.7 的电路中,已知元件产生的功率为 $-UI$,试确定电压的参考极性。

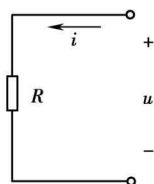
1.2.5 在图 1.2.8 的电路中,已知 $U_1 = 1 \text{ V}$, $U_2 = -1 \text{ V}$, $I = 2 \text{ A}$,试问:①a、b 两点哪一点电位高? ②分别求网络 N_1 、 N_2 的功率 P_1 、 P_2 ,它们是吸收功率还是发出功率?

1.3 电路基本元件及其伏安关系

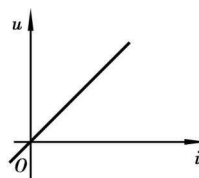
电路是由元件连接而成的。元件电流与电压之间的关系(即伏安关系),简称为 VAR,反映了元件的基本性质,它和基尔霍夫定律构成了分析电路的基础。

1.3.1 电阻元件及其伏安关系

电阻元件是实际电阻器的理想化模型,是反映电流热效应现象的理想电路元件,其电路模型如图 1.3.1(a)所示。



(a) 电阻元件的电路模型



(b) 线性电阻元件的伏安特性

图 1.3.1 电阻元件

当线性电阻的电压 u 与电流 i 的参考方向关联时,伏安关系为

$$u = Ri \quad (1.3.1)$$

这个关系称为欧姆定律,表述为线性电阻元件的端电压与流过它的电流成正比。比例系数 R 称为电阻,是表示电阻元件特性的参数。图 1.3.1(b) 所示的曲线直观地反映了电阻的伏安关系,称为伏安特性曲线。若 R 为常数,称该电阻为线性非时变电阻。若不申明,均指线性非时变电阻,简称为线性电阻。

当线性电阻的电压 u 与电流 i 的参考方向非关联时,伏安关系为

$$u = -Ri \quad (1.3.2)$$

若电阻的伏安特性曲线不是一条直线,则称该电阻为非线性电阻。应当注意,非线性电阻不满足欧姆定律。

电阻的 SI 单位是欧[姆](Ω)。计量大电阻时,以千欧($k\Omega$)、兆欧($M\Omega$)为单位。习惯上将电阻元件称为电阻,故“电阻”既表示电阻元件,又表示元件的参数。

电阻的参数也可以用电导 G 表示, $G=1/R$, 其 SI 单位是西[门子](S)。线性电阻用电导表示时,伏安关系为

$$i = Gu \text{ 或 } i = -Gu \quad (1.3.3)$$

电阻元件的功率为

$$p = ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R} \quad (1.3.4)$$

可见,电阻元件总是取用功率,与电压、电流的实际方向无关。故电阻是一种耗能元件,并将电能转化为热能,其热能为

$$Q = I^2 Rt \quad (1.3.5)$$

式(1.3.5)为焦耳-楞次定律的公式,它反映了电流的热效应,热能的 SI 单位是焦[耳](J)。

应当指出,这种热效应的应用是很多的,如制造各种发热装置(电炉、电吹风等),但更应当注意这种热效应带来的危害。过大的电流造成局部过热,会损坏绝缘材料,烧坏元器件,甚至引发火灾。

1.3.2 电容元件及其伏安关系

一个简单的电容器是由两个金属极板用介质隔开构成的。由于理想介质是不导电的,在外加电源的作用下,两个极板上分别储存着等量的异性电荷;当外电源撤掉以后,这些异性电荷因介质阻隔不能中和,故能在极板上永久的储存下去。电荷建立起电场,电场中储存着能量,所以,电容器是储存电场能的器件。电容元件是实际电容器的理想化模型,是反映储存电场能的理想电路元件。电容元件简称电容,其电路模型如图 1.3.2 所示。

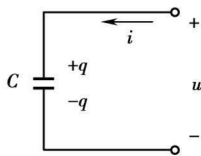


图 1.3.2 电容元件电路模型

电容也是一种电荷与电压相约束的元件,其金属极板上储存的电荷量 q ,与电压 u 成正比。图 1.3.2 中电荷与电压参考方向关联,有

$$q = Cu \quad (1.3.6)$$

比例系数 C 称为电容,是表示电容特性的参数。故“电容”既表示电容元件,又表示元件的参数。若 C 为常数,称该电容为线性非时变电容;若不申明,均指线性非时变电容。

电容的 SI 单位是法[拉](F)。实际电容比 1 F 小得多,以微法(μF)、纳法(nF)、皮法(pF)为单位。

当极板上的电荷变化时,电容中就会有电流流过。在电压和电流的参考方向关联时,流过电容的电流为

$$i(t) = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt} \quad (1.3.7)$$

式(1.3.7)就是电容的伏安关系的微分形式。该式表明,某一时刻流过电容的电流取决于此时电压的变化率。即只有当电压变化时,电容中才会有电流流过;电压变化越快,电流越大。当电容两端加直流电压时, $du/dt=0$, $i=0$,所以,在直流稳态电路中,电容相当于开路,这就是电容的隔直作用。当电压升高, $du/dt>0$, $dq/dt>0$, $i>0$,极板上电荷增加,电容充电;当电压降低, $du/dt<0$, $dq/dt<0$, $i<0$,极板上电荷减少,电容放电。该式还表明,在电容的电流有界时,电容两端的电压不能跃变,即电容的电压是连续的。如果电压跃变, du/dt 为无穷大, i 也为无穷大,这对实际器件来说,当然不可能。

在电压和电流的参考方向关联时,电容的功率为

$$p(t) = ui = Cu \frac{du}{dt} \quad (1.3.8)$$

t 时刻电容储存的电场能为

$$w_c(t) = \int_0^t p(t) dt = \int_0^u C u du = \frac{1}{2} C u^2(t) \quad (1.3.9)$$

上式表明,某一时刻电容的储能仅与此时的电压值及电容的参数 C 有关。电容有电压就有储能。当 C 一定时,电容的电压越高,储存的电场能就越多;反之,储存的电场能就越少。当电压一定时, C 越大,电容储存的电场能就越多;反之,储存的电场能就越少。故电容的电压反映了电容的储能状态,参数 C 反映了电容的储能能力。因此,又将参数 C 称为容量。对于直流

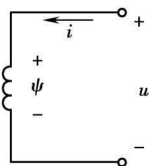
$$W_c = \frac{1}{2} C U^2 \quad (1.3.10)$$

式中, $W_c(w_c)$ 的 SI 单位是焦[耳](J)。

1.3.3 电感元件及其伏安关系

导线通过电流时,周围即建立起磁场。为了增强内部的磁场,通常将导线绕制成线圈,称为电感器或电感线圈。理想的电感器只具有储存磁场能的作用,是一种电流与磁链相约束的器件,称为电感元件,简称电感,其电路模型如图1.3.3所示。

当元件代表的电感线圈的电流与磁链的参考方向符合右手螺旋法则时,在电流流入电感



处标以磁链的“+”号,称电流与磁链关联。图 1.3.3 中 u 、 i 、 ψ 三者关联。此时,电流与磁链的约束关系表示为

$$\psi = Li \quad (1.3.11)$$

比例系数 L 称为电感,是表示电感特性的参数。故“电感”既表示电感元件,又表示元件的参数。若 L 为常数,称该电感为线性非时变电感。若不申明,均指线性非时变电感。

图 1.3.3 电感元件的电路模型

电感的 SI 单位是亨[利](H)。实际电感比 1 H 小得多,以毫亨(mH)、微亨(μH)为单位。

当通过电感的电流变化时,磁链也相应地变化,根据电磁感应定律,电感两端会出现感应电压,这个感应电压等于磁链的变化率。在电感的电压、电流和磁链的参考方向关联时有

$$u = \frac{d\psi}{dt} = L \frac{di}{dt} \quad (1.3.12)$$

式(1.3.12)就是电感的伏安关系的微分形式。该式表明,某一时刻电感的电压取决于此时电流的变化率。即只有当电流变化时,电感两端才会有电压;电流变化越快,电压越大。当电感通过直流电流时, $di/dt=0$, $u=0$,所以,在直流稳态电路中,电感相当于短路。该式还表明,在电感的电压有界时,电感的电流不能跃变,即电感的电流是连续的。如果电流跃变, di/dt 为无穷大, u 也为无穷大,这对实际器件来说,当然不可能。

在电压和电流的参考方向关联时,电感的功率为

$$p(t) = ui = Li \frac{di}{dt} \quad (1.3.13)$$

t 时刻电感储存的磁场能为

$$w_L(t) = \int_0^t p(t) dt = \int_0^i L i di = \frac{1}{2} L i^2(t) \quad (1.3.14)$$

上式表明,某一时刻电感的储能仅与此时的电流值及电感的参数 L 有关。电感有电流就有储能。当 L 一定时,电感的电流越高,储存的磁场能就越多;反之,储存的磁场能就越少。当电流一定时, L 越大,电感储存的磁场能就越多;反之,储存的磁场能就越少。故电感的电流反映了电感的储能状态,参数 L 反映了电感的储能能力。因此,又将参数 L 称为容量。对于直流

$$W_L = \frac{1}{2} L I^2 \quad (1.3.15)$$

式中, $W_L(w_L)$ 的 SI 单位是焦[耳](J)。

1.3.4 电源及其伏安关系

(1) 理想电压源

理想电压源是从实际电压源抽象出来的理想二端元件,其电压总保持定值或一定的时间函数,与通过它的电流无关。理想电压源简称电压源,图形符号如图 1.3.4 所示。

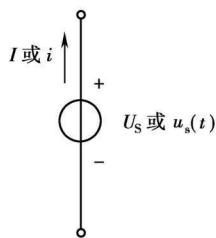


图 1.3.4 电压源的图形符号

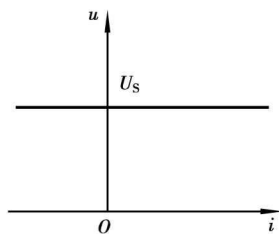


图 1.3.5 直流电压源的伏安特性曲线

电压为定值的电压源称为直流电压源。电池是人们很熟悉的一种电源,它可以对外提供一定值的电能,并体现为一定值的电动势。在理想状况下,电池内部没有能量损耗(即电池内阻为零),其端电压为定值,恰好等于电池的电动势。这种电池就是一个直流电压源。直流电