

D I A N G O N G D I A N Z I X U E

高等专科学校规划教材

电工电子学

李瑞年 主编

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

高等专科学校规划教材

电工电子学

李瑞年 主 编

中国矿业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电工电子学/李瑞年主编. —徐州:中国矿业大学出版社,2003.12

ISBN 7 - 81070 - 850 - 3

I. 电... II. 李... III. ①电工学—高等学校—教材②电子学—高等学校—教材 N. ①TM1②TN01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 125804 号

书 名 电工电子学

主 编 李瑞年

责任编辑 褚建萍

责任校对 崔永春

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)

排 版 中国矿业大学出版社排版中心

印 刷 中国矿业大学印刷厂

经 销 新华书店

开 本 787×1092 1/16 **印张** 24.5 **字数** 638 千字

版次印次 2003 年 12 月第 1 版 2003 年 12 月第 1 次印刷

定 价 32.80 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

《电工电子学》编委会

主 编 李瑞年

编 委 李瑞年 王金国 刘 涛 叶丽亚

尹新爱 王恩凤 廖光平 黄春雷

于向东 马守卫 童中祥

前 言

本书把握现代教学理念,以基础知识够用为度,避开繁杂的数学推演,理论联系实际,着重演练分析与解决问题的方法;引入了该领域内新技术,具有一定的前瞻性;推出教学成果,改进部分陈旧的提法和推演方法。本书通俗易懂、具有较大的覆盖面,适用于高等职业教育机电、计算机、汽车修理等多个专业。

本书编者由有多年执教经验的骨干教师组成,主编李瑞年设计教材章节,并对全书稿件作了修改,最后统稿。

李瑞年执笔第一、二、三、四章、第七章(部分)、第十七章(部分);王金国执笔第十二、十三、十四章;刘涛执笔第五、六章;叶丽亚执笔第十章;尹新爱执笔第十五章;王恩凤执笔第八章;廖广平执笔第九章;黄春雷执笔第十一章;于向东执笔第十六章(部分);马守卫执笔第七章(部分)、第十七章(部分);童中祥执笔第十六章(部分)。王书营对书中部分数学推演作了校核。

本书由山东科技大学信息与电气工程学院院长亓学广教授审阅,在组稿过程中还得到了许多同行们的帮助,在此表示衷心感谢。

由于水平所限,加之时间仓促,书中错误和不妥之处在所难免,殷切希望使用本书的师生及其他读者,给予批评指正。

编 者

2003年9月3日



李瑞年, 1982年毕业于山东科技大学。现任山东工贸职业学院(筹)专业部主任、副教授, 兖矿集团专业技术拔尖人才, 苏鲁皖高校电子技术教研会会员。曾编著《微机三日通》、《单片机应用技术》等著作。

1972.3

目 录

上篇 电工技术

绪论	3
第一章 电路的基本概念与基本定律	4
第一节 电路模型	4
第二节 电路变量	5
第三节 电阻元件	8
第四节 电源元件	9
第五节 基尔霍夫定律	10
第六节 电阻的串、并联	14
第七节 实际电源模型及其等效变换	16
习题一	18
第二章 电路的分析方法	21
第一节 支路电流法	21
第二节 节点电压法	21
第三节 叠加定理	24
第四节 戴维南定理	27
第五节 受控源	30
习题二	32
第三章 动态元件与动态电路	35
第一节 动态元件及其伏安特性	35
第二节 电路变量初始值的计算	40
第三节 一阶电路的响应	43
习题三	49
第四章 正弦交流电路	51
第一节 正弦电压与电流	51
第二节 正弦量的相量表示法	54
第三节 RLC 元件的交流电路	55
第四节 RLC 元件串联交流电路	61
第五节 稳态交流电路的分析方法	66
第六节 交流电路的频率特性	70
第七节 三相交流电路	77
习题四	84
第五章 磁路与变压器	88
第一节 磁路的基本物理量	88

第二节	磁路的基本定律	89
第三节	铁磁性物质的磁性能	89
第四节	交流铁心线圈	91
第五节	变压器的原理与结构	93
第六节	变压器的电磁关系	96
第七节	变压器参数的测定	102
第八节	变压器的运行特性	104
第九节	变压器的连接组	106
第十节	特种变压器	108
习题五		109
第六章 电机		111
第一节	三相异步电动机的原理与结构	111
第二节	三相异步电动机的电磁关系	116
第三节	三相异步电动机的电磁转矩与机械特性	122
第四节	三相异步电动机的运行	126
第五节	三相异步电动机的选择	129
第六节	单相异步电动机	130
第七节	直流电动机	132
第八节	控制电机	136
习题六		139
第七章 控制元件与控制系统		140
第一节	常用控制电器	140
第二节	鼠笼式电动机的控制线路	144
第三节	行程控制	147
第四节	时间控制	148
第五节	可编程控制器简介	150
第六节	控制系统应用举例	160
习题七		164
第八章 供电系统与安全用电		166
第一节	供电系统概述	166
第二节	工业企业配电	168
第三节	安全用电	169
第四节	工业企业节约电能的一般措施	174
习题八		175

下篇 电子技术

第九章 半导体器件		179
第一节	半导体的基本知识	179
第二节	半导体二极管	183
第三节	半导体三极管	189

第四节	场效应晶体管	195
习题九		198
第十章	分立元件放大电路	200
第一节	放大电路的组成	200
第二节	放大电路工作状态分析及偏置电路	203
第三节	放大电路的图解分析法	207
第四节	放大电路的交流等效电路	211
第五节	共集、共基电极电路	214
第六节	场效应管基本放大电路	217
第七节	多级放大电路	219
第八节	放大电路中的反馈	223
第九节	放大电路的频率特性	230
第十节	差动放大电路	232
第十一节	功率放大器	236
习题十		240
第十一章	集成运算放大器	246
第一节	集成运算放大器构成与基本特性	246
第二节	集成运算放大器在信号运算中的应用	249
第三节	集成运算放大器在信号处理中的应用	254
第四节	使用集成运算放大器应注意的几个问题	257
习题十一		259
第十二章	直流电源	262
第一节	整流电路	262
第二节	滤波电路	266
第三节	直流稳压电路	269
第四节	开关稳压电路	273
第五节	晶闸管整流电路	275
习题十二		283
第十三章	数字电路基础	285
第一节	数制与编码	285
第二节	逻辑代数基础	289
第三节	基本逻辑门电路	292
第四节	集成逻辑门电路及其常用芯片	293
第五节	脉冲信号	300
习题十三		301
第十四章	组合逻辑电路	303
第一节	组合逻辑电路的分析与设计方法	303
第二节	集成加法器	306
第三节	编码器与译码器	308
第四节	数据分配器与数据选择器	312

第五节 数据比较器.....	314
第六节 组合逻辑电路中的竞争冒险.....	315
第七节 组合逻辑电路应用举例.....	317
习题十四.....	318
第十五章 触发器和时序逻辑电路.....	320
第一节 时序电路基础.....	320
第二节 集成触发器.....	322
第三节 时序电路的分析.....	326
第四节 寄存器.....	328
第五节 计数器.....	329
第六节 时序逻辑电路的设计.....	334
第七节 555 电路和时序电路的应用	338
习题十五.....	342
第十六章 半导体存储器与可编程逻辑器件.....	345
第一节 只读存储器.....	345
第二节 随机存取存储器.....	349
第三节 可编程逻辑器件.....	351
习题十六.....	355
第十七章 数/模、模/数转换	357
第一节 数/模转换器	357
第二节 模/数转换器	361
习题十七.....	364
附录.....	366
附录一 半导体分立器件型号命名方法.....	366
附录二 常用半导体分立器件的参数.....	367
附录三 半导体集成电路型号命名方法.....	370
附录四 常用半导体集成电路的参数和符号.....	371
附录五 TTL 门电路、触发器和计数器的部分品种型号	372
附录六 部分集成电路的符号.....	373
习题参考答案.....	374
主要参考文献.....	382

— 上 篇 —

电 工 技 术

绪 论

一、电工电子学课程的性质、作用和研究对象

电工电子技术发展十分迅速,应用非常广泛,当今世界所有的科学领域都和它有着密不可分的联系,在人类的各项活动中,电工电子产品无处不在、无所不有。因此,电工电子学是高等职业学校非电类专业的一门极其重要的课程。

电工电子学的研究对象是电路的基本理论和分析方法以及常用电工设备的工作原理、电子技术的基本理论和分析方法以及常用电子线路和设备的工作原理。同时重视实验技能的培养,造就学生分析与解决实际问题的能力。

二、电工电子技术发展概况

当现代人类充分享受电工电子技术带来的好处时,不应该忘记在该领域内做出巨大贡献的历代科学家。

现代电工技术是19世纪初在欧洲发展起来的一门科学。德国物理学家欧姆经过多次反复试验,在1826年提出了著名的欧姆定律,确立了电阻、电流和电压三者之间的关系。英国物理学家法拉第于1831年发现并证实了电磁感应定律,从此奠定了现代电工学基础。时隔两年,楞次与雅可比发明了第一台电动机。麦克斯韦的电磁波理论1873年公布于世,在该理论的指导下,马可尼与波波夫将无线电通信技术向前推进了一大步。

大发明家爱迪生1883年发现了热电子效应,他发明的电灯为全世界带来了光明。他的同胞弗莱明和德弗雷斯于1906年研制了电子二极管和三极管,为世界上第一台电子计算机于1946年在美国诞生奠定了基础。1948年美国贝尔实验室的几位科学家发明了晶体管,第二代计算机随后就面世了。集成电路的诞生(1958年)和发展极大地开拓了电子技术的应用领域,使得智能化电工电子设备和微型电脑走进人们的工作与生活当中。

数字技术的发展正在推动计算机技术最大限度地融入到人类社会的各个领域,电子化水平已成为衡量一个国家现代化的标志。总之,飞速发展的电工电子技术和日新月异的电工电子产品加快了人类文明前进的步伐。

三、课程的学习方法

丰富多彩的课堂教学仍然是获取知识最快和最有效的学习途径。因此要认真听课,积极地思考问题,不要死记硬背。要善于进行知识的归纳整理;善于学习分析问题、解决问题的方法步骤;善于课前预习,带着问题进课堂;善于请教问题,讨论问题。

习题训练是巩固和加深理解所学知识的有效方法,要在基本掌握了所学内容的前提下,看懂题意再着手解题,解题时要步骤规范、条理清晰,做一道题要有一道题的收获,通过大量的习题演练学会分析问题和解决问题的方法。

实验教学是验证理论、训练技能、培养严谨科学态度的重要手段,务必要认真对待。实验时要认真准备,积极思考,做到胆大心细,通过实验尽快学会常用电子仪器仪表的使用方法。

当然,明确目的和端正态度对学习是至关重要的,为了祖国美好的未来,让我们一起融入到科教兴国的战略当中,探求电工电子学奥妙所在。

第一章 电路的基本概念与基本定律

本章介绍电路的基本概念和基本变量,阐述电路的基本定律,定义常用的两种电路元件——电阻和电源,讨论使用电路基本定律分析简单直流稳态电路的方法。这些内容是全书的基础,务必熟练掌握。

第一节 电路模型

一、电路的组成与基本功能

电路是电流(或电信号)的通路,它是由电工电子器件(或设备)构成,并具有一定功能的整体。电力系统的电路示意图如图 1.1.1(a)所示,它的作用是产生、传输、分配和转换电能;常见的收音机电路示意图如图 1.1.1(b)所示,它实现了信号的接受、放大和转换;计算机电路组成的简化框图如图 1.1.1(c)所示,它的基本功能是完成信息的输入、运算(处理)和变换,最后将结果输出。

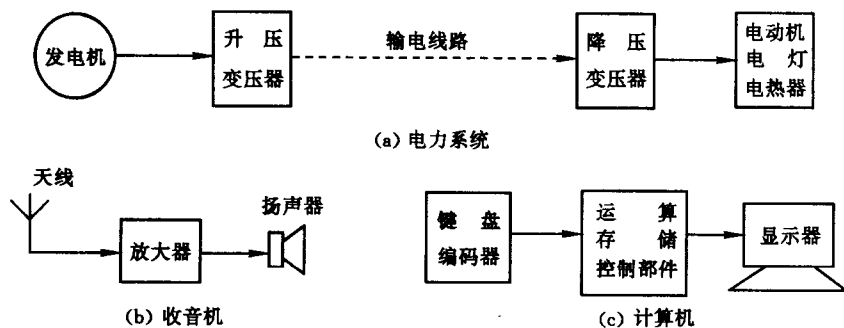


图 1.1.1 电路示意图

通过图 1.1.1 说明电路的结构形式和作用是多多种多样的,但其基本功能不外乎以下两点:

- ① 实现电能的产生、传输、分配和转换;
- ② 完成电信号的产生、传输、变换和处理。

二、电源与负载的概念

在电路理论中通常把为电路提供电能(信号)的器件称为**电源**(信号源),电源的电压或电流称为电路的**激励**。使用电能(信号)的设备称为**负载**,在激励作用下负载上面获得的电压或电流称为电路的**响应**。

在图 1.1.1 所示的 3 个电路中,发电机是电源,它将热能、水能或核能转换为电能,是提供电能的设备。除发电机外,各种电池也是常用的电源,键盘编码器是产生电信号的,也相当于电源。电动机、电灯、电热器、显示器和扬声器等都是负载,是取用(消耗)电能(信号)的设备,它们把电能(信号)转化为机械能、光能、热能等。变压器、输电线路和放大器是连接电源(信号源)和负载的中间环节,它起到传输、分配和变换电能(信号)的作用。

三、电路元件与电路模型

电路理论是在物理学基础上研究电路中的电磁现象,即电能的消耗和电磁能的存储现象。针对一些基本的电磁现象建立起来的模型,称为**理想电路元件**。例如电阻元件用来描述电能的消耗现象,是一个满足欧姆定律的理想电路元件。

实际电路都是由一些起不同作用的实际电路元件或器件所组成(并非都是由理想电路元件组成),一般情况下这些实际电路元器件的电磁现象比较复杂。例如一只简单的电炉,它除具有消耗电能的性质(电阻性)外,当电流通过时还会产生磁场,说明它还具有电感性。但电感微小,可以忽略不计,于是可以近似认为电炉是一电阻元件。

为了便于对实际电路进行分析和用数学来描述,忽略次要因素,将实际元件理想化,由理想电路元件所组成的电路,就是实际电路的**电路模型**。在理想电路(电路模型)中,主要有电源元件、电阻元件、电感元件和电容元件等。这些元件用统一符号标记,分别由相应的参数来表征。

图 1.1.2 为手电筒电路的电路模型,图中 R 表示电阻,是电阻元件,电池是电源元件,其参数用电压源 U_0 和内电阻 R_0 表示, K 为开关,连接导线的电阻可忽略不计,用理想导线表示。

今后,课本中分析研究的对象均为由理想元件组成的电路模型,简称电路。

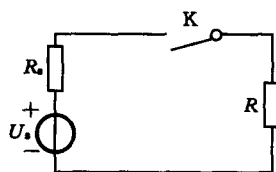


图 1.1.2 电路模型

第二节 电路变量

电路变量是描述电路特性的物理量,常用的电路变量有电流、电压和功率。

一、电流

电荷有规则的定向移动形成**电流**。电流的方向为正电荷的运动方向(和电子运动的方向相反)。计量电流大小的物理量是电流强度,简称电流,用符号 $i(t)$ 或 i 表示。电流强度的数学定义是:单位时间内通过导体横截面的电荷量,即

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

电荷的单位为库仑(C),时间的单位为秒(s)时,电流的单位为安培(A)。计量微小的电流时以毫安(mA)或微安(μ A)做单位,其换算关系是

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

在分析较为复杂的电路时,往往事先难以判定某一支路电流的实际方向。为此,在分析电路时可任意指定某一方向作为电流的**参考方向**(正方向)。任意指定的参考方向并不一定与电流的实际方向一致。当参考方向与实际方向一致时,则电流记为正值;如果两者相反,则记为负值。这样在指定参考方向的前提下,结合电流的正负值就能够判断出电流的实际方向。

电流的参考方向一般用箭头符号“ $\rightarrow$ ”直接标记在电流通过的路径上,也可以标记在路径的一旁。标记电流(电压)的参考方向,是分析电路前首先要完成的工作。因为只有标记了参考方向,计算结果的正负才有实际意义。

二、电压与电位

电压表示电场力做功的多少,用符号 $u(t)$ 或 u 表示。其定义是:电路中 a 、 b 两点之间的电

压,在数值上等于单位正电荷沿电路从 a 点移到 b 点时电场力所做的功,即

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

电荷的单位为库仑(C),功的单位为(J)时,电压的单位为伏特(V)。在实际应用中也常常采用千伏(kV)、毫伏(mV)为单位。

在分析电子电路时,通常要用到电位这个概念。电位表征电路中某一点电势能的高低,在数值上等于该点与参考点之间的电压,其单位和符号与电压一致(采用单下标)。参考点是电路中任意选定的一点,通常规定参考点的电位为零,并用接地符号“(⊥)”标记。

电位和电压是相互联系的两个物理量,电压是针对电路中某一元件或一段电路(两点之间)的,而电位是针对电路中某一点的。电路中任意两点(a 、 b)之间的电压 u_{ab} 等于两点的电位(u_a 和 u_b)之差,即

$$u_{ab} = u_a - u_b \quad (1.2.3)$$

电压的实际方向是电位(电势能)降低的方向。在电路图中,高电位端用“+”标记,称为正极性端;低电位端用“-”标记,称为负极性端(如图 1.2.1 所示)。在算式中采用式(1.2.3)双下标的方法,如 u_{ab} 表示 a 为正极性端、 b 为负极性端。与电流类似,在分析电路之前先要为电压指定一个参考方向(正方向)。电压的实际方向也是按照计算结果的正负来确定的,结果为正时,说明实际方向与参考方向一致,结果为负时,说明实际方向与参考方向相反。

为了便于识别与计算,对同一元件或同一段电路,往往把它们的电流和电压参考方向选为一致,这种情况称为**关联参考方向**[如图 1.2.2(a)所示]。如果两者的参考方向相反则称为**非关联参考方向**[如图 1.2.2(b)所示]。在分析计算电路时,采用的多是关联参考方向。

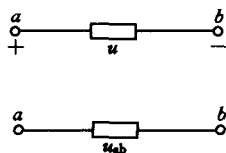


图 1.2.1 电压的方向标注

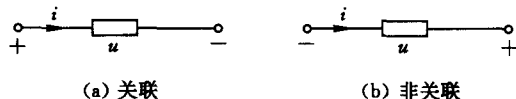


图 1.2.2 电压与电流的方向

在稳态直流电路中,电压、电流均不随时间变化,则称为直流电压、直流电流,分别用大写字母 U 和 I 表示。需要说明的是,在测量直流电流、电压时,测量仪表的极性要和电压的实际极性相对应,并注意测量电流与测量电压时接法的区别,即电流表是串接在电路当中,而电压表则是并接在电路上。

三、能量和功率

单位时间内电场力做功的多少定义为元件的功率。数学描述为

$$p = \frac{dw}{dt} \quad (1.2.4)$$

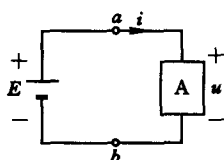
dw 是电路元件在时间 dt 内吸收的能量,在关联参考方向下 $dw = udq$,代入上式则有

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

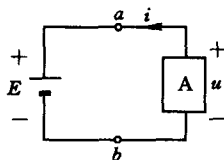
可见,电路元件上的功率等于元件电压与电流的乘积,如图 1.2.3(a)所示。

若采用非关联参考方向,则有

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



(a) $p=ui$ (关联)



(b) $p=-ui$ (非关联)

图 1.2.3 元件功率的计算

在式(1.2.5)和式(1.2.6)中,计算结果 $p>0$ 说明元件在消耗功率; $p<0$ 说明元件发出(产生)功率。这个结论适用于包括电源在内的所有电路元件。功率的单位是瓦特(W)或千瓦(kW)。

根据式(1.2.5)整理后可写出电路元件消耗能量的表达式

$$w = \int_{-\infty}^t p(\xi) d\xi \quad (1.2.7)$$

某一元件任一时刻 t , $w \geq 0$ 时称为无源元件(电路); $w < 0$ 时称为有源元件(电路)。电阻是消耗能量的, $w > 0$, 是无源元件; 而电池则是发出能量的, $w < 0$, 为有源元件。对于直流电路, 式(1.2.5)可写为以下形式

$$W = Pt \quad (1.2.8)$$

在工程上, 常用千瓦时(kW·h)作为电能的单位, 俗称为“度”。也就是说 1 kW 电路元件工作 1 小时, 消耗的电能 1 度。

【例 1】 已知某直流电路由五个元件构成, 各电流的参考方向如图 1.2.4 所示, $I_1=1$ A, $I_2=-3$ A, $I_3=2$ A, d 为参考点, 电位 $U_a=6$ V, $U_b=8$ V, $U_c=12$ V。求

(1) 说明电流 I_1 、 I_2 、 I_3 的实际方向和电压 U_{ab} 、 U_{bc} 的实际方向。

(2) 求各元件消耗的功率, 并说明哪几个是有源元件, 哪几个是无源元件?

(3) 求元件 2 的 24 小时耗电度数。

(4) 若测量元件 1 的电流和元件 3 的电压, 则电流表和电压表如何接入电路?

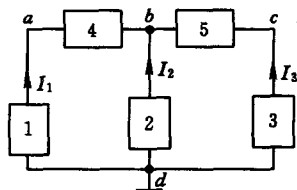


图 1.2.4 例 1 的电路

【解】 (1) 在指定了电流的参考方向之后, 根据电流的正负值即可判定其实际方向。 I_1 、 I_3 均为正值, 表明元件 1、3 电流的实际方向与所标参考方向一致, 即从下到上。 I_2 为负值, 则表明元件 2 电流的实际方向与所标参考方向相反, 即从上到下。

根据电压与电位的关系式(1.2.3)可知

$$U_{ab}=U_a-U_b=6-8=-2 \text{ V}, U_{bc}=U_b-U_c=8-12=-4 \text{ V}$$

由于 $U_{ab}<0$, 电压的实际方向由 b 指向 a , $U_{bc}<0$, 电压的实际方向由 c 指向 b 。

(2) $P_1=-(U_{ad} \times I_1)=-U_a \times I_1=-6 \times 1=-6 \text{ W}<0$ (发出功率, 有源元件)

$P_2=-(U_{bd} \times I_2)=-U_b \times I_2=(-8) \times (-3)=24 \text{ W}>0$ (消耗功率, 无源元件)

$P_3=-(U_{cd} \times I_3)=-U_c \times I_3=-12 \times 2=-24 \text{ W}<0$ (发出功率, 有源元件)

$P_4=U_{ab} \times I_1=-2 \times 1=-2 \text{ W}<0$ (发出功率, 有源元件)

$P_5=U_{cb} \times I_3=(-U_{bc}) \times I_3=-(-4) \times 2=8 \text{ W}>0$ (消耗功率, 无源元件)

在计算功率时, 由于前三个元件为非关联方向, 所以在公式前面加了“-”号。