

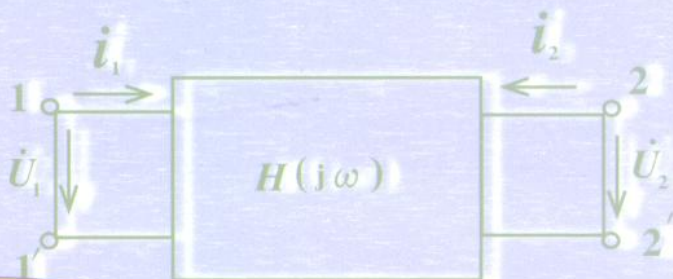
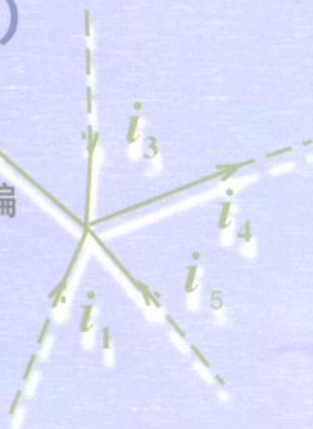
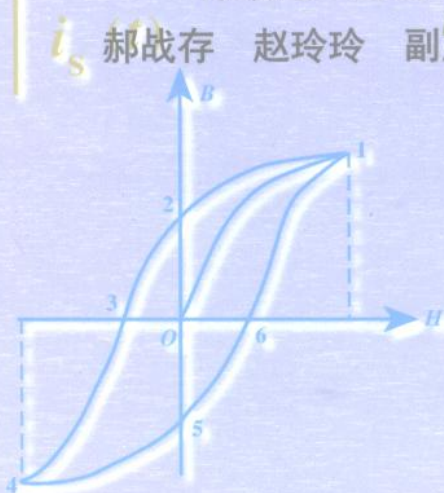
高等学校教材

电工技术

(电工学 I)

陈众起 主编

郝战存 赵玲玲 副主编



机械工业出版社
China Machine Press

高等学校教材

电工技术

(电工学 I)

主 编 陈众起

副主编 郝战存 赵玲玲

参 编 杨奎河 王桂琴

主 审 朱金钧



机械工业出版社

2025/01

本书符合原国家教育委员会 1995 年颁发的高等工业学校“电工技术(电工学 I)”课程教学基本要求,是为适应 21 世纪教学和科技发展新形势的需要而编写的。

本书着重于电路分析基础,突出了两类约束关系——基尔霍夫定律和元件的电压-电流关系。两类约束关系是贯穿本课程的一条基本线索,是建立各种电路方程的基本依据和出发点。掌握了两类约束关系,就可使非电类专业的学生能在有限的课时内比较系统地掌握电路分析的方法。在这一点上,本书是有别于其他版本的《电工学》教材的。另外,还介绍了变压器、电机和电气控制技术。本书可与焦阳主编的“电子技术(电工学 II)”配套使用,作为高等学校非电类专业教材,也可供其他工科专业、工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术:电工学 I /陈众起主编. —北京:机械工业出版社, 2000. 8

ISBN 7-111-07919-1

I. 电… II. 陈… III. 电工技术-高等学校-教材
IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 68296 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:韩雪清 王雅新 版式设计:冉晓华

责任校对:李秋荣 封面设计:方芬 责任印制:路琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2000 年 8 月第 1 版·第 1 次印刷

850mm×1168mm^{1/32}·10.625 印张·281 千字

0 001—7 000 册

定价:14.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页,脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677-2527

前 言

“电工技术（电工学Ⅰ）”以原国家教育委员会高等教育司1995年颁发的高等学校工科基础课程“电工技术（电工学Ⅰ）课程教学的基本要求”作为编写的基本依据，在满足课程教学基本要求的前提下，对现有教材内容进行了精选，加强了知识的综合和系统性，力求保证基础、体现先进、加强应用，处理好基础性、先进性和应用性的关系。

我们把教材的重心放在基本理论、方法、概念和元器件的外特性上，并适当提高了起点，避免和物理学不必要的重复。

在电工理论部分，加强了电路分析基础，把两类约束关系——基尔霍夫定律和元件的电压-电流关系作为贯穿本课程的一条基本线索，这对尽快地使学生掌握电路分析方法，增强学生电路分析的能力是十分有利的。

为了照顾不同专业的需要，尽量接近工程实际，又增添了一些实用技术内容，如直流电机、控制电机、工业企业供电和安全用电、电工测量等，对一些拓宽的内容均在有关的章节标题上打“*”标示，教学时可根据需要选用。本书的图形符号和文字符号全部采用新的国家标准。

“电工技术（电工学Ⅰ）”可与焦阳主编的“电子技术（电工学Ⅱ）”配套使用，其使用对象为非电类专业本科大学生，亦可供工程技术人员学习使用。

全书共十一章，第一、二、五、六章由陈众起编写；第四、七、八章由赵玲玲编写；第三章由陈众起、郝战存共同编写、第九、十、十一章及附录由郝战存编写；第四章第一节及第七、八章习题由杨奎河编写；第五章第三节及该章习题由王桂琴编写。全书由陈众起任主编并统稿。

本教材由河北科技大学朱金钧、王德奎，西安交通大学电气学院王采堂，河北工业大学徐桂芝，石家庄铁道学院马福生审阅，

朱金钧教授任主审。他们以严谨的科学态度和高度负责的精神,认真审阅书稿,提出了许多宝贵的修改意见,对他们的辛勤劳动和贡献,编者表示诚挚的感谢。

由于编者水平有限,不妥之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编者

2000年4月

目 录

前言

第一章 电路的基本概念与基本定律

第一节	电路及电路模型	1
第二节	电路的基本物理量及其正方向	3
第三节	欧姆定律 线性电阻	6
第四节	电功率	8
第五节	电路的有载工作状态、开路与短路	10
第六节	基尔霍夫定律	14
第七节	电路中各点电位的计算	18
第八节	电源	20
小结	.....	25
习题	.....	26

第二章 电路的分析方法

第一节	电阻串并联的等效变换	30
第二节	电阻 Y- Δ 联结的等效互换	36
第三节	支路电流法	39
第四节	节点电压法	42
第五节	回路电流法	45
第六节	叠加原理	47
第七节	戴维南定理和诺顿定理	51
第八节	最大功率传递定理	55
第九节	含受控电源电路的分析	56
第十节	非线性电阻电路的分析	62
小结	.....	64
习题	.....	65

第三章 正弦交流电路

第一节 正弦电压与电流	70
第二节 正弦量的相量表示法	75
第三节 单一参数的交流电路	78
第四节 基尔霍夫定律的相量形式	89
第五节 电阻、电感和电容元件串联的交流电路	91
第六节 负载并联的交流电路	93
第七节 交流电路中的谐振	97
第八节 功率因数的提高	104
小结	106
习题	108

第四章 三相电路

第一节 三相正弦交流电源	114
第二节 三相电路的联结	115
第三节 对称三相电路的计算	122
第四节 不对称三相电路的计算	125
第五节 三相电路的功率	128
小结	133
习题	133

第五章 非正弦周期电流电路

第一节 非正弦周期量的分解	137
第二节 非正弦周期量的有效值和平均值	143
第三节 非正弦周期电流的线性电路的计算	145
第四节 非正弦周期电流电路中的功率	150
第五节 滤波器	152
小结	155
习题	156

第六章 线性动态电路的时域分析

第一节	电压电流初始值的确定	160
第二节	零输入响应	164
第三节	零状态响应	169
第四节	一阶电路的全响应	174
第五节	求解一阶电路的三要素法	177
第六节	RC 串联电路对矩形波电压的响应	181
第七节	一阶电路对正弦交流激励的响应	183
第八节	RLC 串联电路的零输入响应	186
小结	.....	193
习题	.....	194

第七章 磁路与铁心线圈电路

第一节	磁场的基本物理量	198
第二节	磁性材料的磁性能	200
第三节	磁路及其基本定律	203
第四节	交流铁心线圈电路	207
第五节	变压器	211
小结	.....	221
习题	.....	222

第八章 电机

第一节	直流电机	225
第二节	三相异步电动机的结构、额定数据及工作原理	237
第三节	三相异步电动机的机械特性及功率、转矩关系	243
第四节	三相异步电动机的起动、调速和制动	245
第五节	单相异步电动机	250
第六节	同步电动机	251
第七节	控制电机	252
第八节	电动机的选择	255
小结	.....	257
习题	.....	258

第九章 电动机的继电接触器控制系统

第一节 常用控制电器与电气图形符号	261
第二节 电动机的基本控制环节和保护环节	266
第三节 电动机的基本控制原则	270
第四节 电气原理图的读图要点	277
小结	279
习题	279

第十章 工业企业供电与安全用电

第一节 发电、输电概述	281
第二节 工业企业配电	282
第三节 导线截面的选择	283
第四节 安全用电技术	287
小结	290
习题	290

第十一章 电工测量

第一节 基本知识	292
第二节 磁电式测量机构和直流电流、直流电压的测量	297
第三节 电磁式测量机构和交流电流、交流电压的测量	298
第四节 电动式测量机构和功率的测量	301
第五节 万用表	306
第六节 电阻的测量	310
第七节 电感和电容的测量	312
小结	315
习题	316

附 录

附录 A 常用电机、电器、电源的图形符号与文字符号	317
附录 B 异步电动机常用型号说明	319
附录 C CJ10 系列交流接触器技术数据	320
附录 D JR-15 系列热继电器技术数据	320
附录 E RL ₁ 和 RC ₁ 型熔断器的技术数据	321

习题参考答案	322
参考文献	327

第一章

电路的基本概念与基本定律

由分立的电阻、电容、电感等元件组成的电路，称为集总电路。只含电阻元件和电源元件的电路，称为电阻电路，是集总电路中的一类。本章首先通过电阻电路讨论电路的基本物理量、电路的基本定律、电路的工作状态以及电压和电流的正方向等，这些内容是分析与计算各类电路的基础。

第一节 电路及电路模型

一、电路的组成与作用

电路是电流的通路，它是为了满足某种用途由某些电气器件按一定方式相互联接而成的。

电路的结构一般包括电源、负载和中间环节三个组成部分。

电路的作用一般分为两种，一种作用是实现电能的传输和转换。最典型的例子是电力系统，其电路示意图如图 1-1a 所示。发电机是电源，是供应电能的设备。除发电机外，电池也是常用的电源。电灯、电动机和电炉等都是负载，它们分别把电能转换为光能、机械能和热能等。变压器和输电线是中间环节，是联接电源和负载的部分，其作用是传输和分配电能。

电路的另一种作用是传递和处理信号，常见的例子如扩音机，其电路示意图如图 1-1b 所示。先由话筒把语言或音乐（通常称为信息）转换为相应的电压和电流，它们就是电信号。话筒是输出信号的设备，称为信号源，相当于电源，但与上述的发电机、电池这种电源不同，信号源输出的信号电压和电流的变化规律取决于所加的信息。扬声器接受电信号并把它转换为声音，称其为负载。由于由话筒输出的电信号比较微弱，不足以推动扬声器发音，因此中间还要用放大器来放大。信号的这种转换和放大，称为信

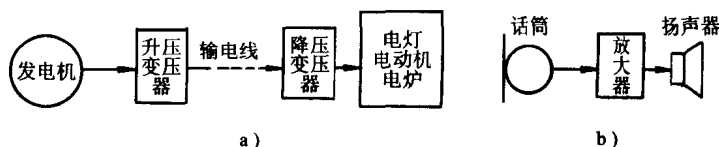


图 1-1 电路示意图

a) 电力系统 b) 扩音机

号的处理。

信号传递和处理的例子是很多的，如收音机和电视机，它们的接收天线（信号源）接收载有语言、音乐和图像信息的电磁波，然后将其转换为相应的电信号，而后通过电路对信号进行传递和处理（调谐、变频、检波、放大等），将其送到扬声器和显像管（负载），还原为原始信息。

不论电能的传输和转换，或者信号的传递和处理，其中电源或信号源的电压或电流称为激励，它推动电路工作；激励在电路各部分产生的电压和电流称为响应。所谓电路分析，就是在已知电路结构和元件参数的条件下，讨论激励与响应之间的关系。

二、电路模型

各种实际电路都是由电阻器、电容器、线圈、变压器、半导体管、电源等实际电气器件组成的。这些实际电气器件的物理功能一般是比较复杂的。一种实际电气器件往往同时具有几种物理功能。例如，一个实际的电阻器有电流通过时，它不仅消耗电能产生热量，而且还会产生磁场，因而还兼有电感的性质；一个实际的线圈，在工作频率比较低时，主要作用是电能转换为磁场能，其次还消耗一部分电能产生热量。在工作频率比较高时，除了存贮磁场能和消耗电能外，还有存贮电场能的物理功能；一个实际电源总有内阻，因而在使用时不可能总保持一定的端电压，等等。这样就往往给分析电路带来困难。

为了便于电路的分析和计算，人们根据实际电气器件的物理功能，抽象出几种理想的电路元件。常用的理想电路元件有理想电阻元件、理想电容元件、理想电感元件、理想电压源、理想电

流源等。这些理想电路元件具有单一的物理功能和严格的数学定义。实际电气器件消耗电能的物理功能用理想电阻元件来表征；实际电气器件存贮电场能的物理功能用理想电容元件来表征；实际电气器件存贮磁场能的物理功能用理想电感元件来表征，等等。这样，根据不同的工作条件，可以把一个实际电气器件用一个理想电路元件或者几个理想电路元件的组合来模拟，从而把一个由实际电气器件联接成的实际电路转化为一个由理想电路元件组合成的电路模型。电路模型中的联接导线为无阻导线。

今后我们所分析计算的电路都是这种电路模型而不是实际电路。大量的实践充分证实，只要电路模型取得恰当，按电路模型分析计算所得结果与对应的实际电路中测量所得结果是基本上一致的。

另外，本书所涉及的理想电路元件都是理想集总电路元件。且把理想集总电路元件简称为电路元件，如电阻元件、电容元件、电感元件、电压源和电流源等。同时，把电路模型简称为电路。

第二节 电路的基本物理量及其正方向

一、电流

我们把单位时间内通过导体横截面的电荷量定义为电流强度，用以衡量电流的大小。电流强度常简称为电流，用符号 i 表示，即

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-1)$$

式中 q 为电荷量，基本单位为库仑，符号 C； t 为时间，基本单位为秒，符号 s； i 为电流，基本单位为安培，符号 A。

如果电流的大小和方向不随时间变化，则这种电流叫做恒定电流，简称直流（简写作 dc 或 DC），它的强度用符号 I 表示。如果电流的大小和方向都随时间变化，则称为交变电流，简称交流（简写作 ac 或 AC）。

我们习惯上规定正电荷运动的方向或负电荷运动的相反方向

为电流的实际方向。电流的实际方向是客观存在的。

二、电压

电路分析中用到的另一个重要物理量是电压。

电压是衡量电场力移动电荷做功本领大小的物理量。电路中 a 、 b 两点间的电压在数值上等于电场力把单位正电荷从 a 点移动到 b 点所做的功。也就是单位正电荷从高电位 a 点移动到低电位 b 点所失去的电能，即

$$u = \frac{dw}{dq} \quad (1-2)$$

式中 w 为电能量，基本单位为焦耳，符号 J； q 为电荷量，基本单位为库仑，符号 C； u 为电压，基本单位为伏特，符号 V。

电路中任意两点间的电压，仅与这两点在电路中的相对位置有关，而与选取的计算路径无关。

我们习惯上规定电压的实际方向由高电位指向低电位。电压的实际方向也是客观存在的。

三、电动势

在电路分析中，我们也常用到电动势这个物理量。

电源的电动势 E 在数值上等于电源力把单位正电荷从电源的负极经电源内部移动到电源正极所做的功，也就是单位正电荷从电源负极移动到电源正极所获得的电能。

电动势的基本单位也是伏特。

我们习惯上规定电动势的实际方向由电源负极（低电位）指向电源正极（高电位）。

在电路分析中，我们也常用电压源的电动势来表示端电压的大小。但是，要注意电压源端电压的实际方向和电动势的实际方向是相反的。

四、正方向

在分析比较复杂的直流电路时，往往事先难于判定电路元件上电压和电流的实际方向。对于交流电路，电路元件上电压和电流的实际方向随着时间的变化而变化，也难于用一箭头来表示电

压和电流每时每刻的实际方向。而在对电路进行分析计算时，需要以电压和电流一定方向为前提条件来列写电路方程。为了解决上述矛盾，引入了正方向的概念。电压和电流的正方向是任意选定的，一旦选定了正方向，电压和电流就成为代数量了。

电压（或电流）的实际方向是由选定的正方向和电压值（或电流值）的正负两个条件来确定的。若电压值（或电流值）是正值，表明电压（或电流）的实际方向与选定的正方向一致；若电压值（或电流值）是负值，表明电压（或电流）的实际方向与选定的正方向相反。

电路图上所标出的电压或电流的方向都是正方向。

通常，电流的正方向在电路图上用箭头表示。电压的正方向既可以用箭头表示，也可以在电路元件或支路的两端用“+”、“-”符号来表示。“+”符号表示高电位端，“-”符号表示低电位端。电压的正方向是由“+”符号指向“-”符号的。

为了简单起见，常把同一电路元件或支路上的电压和电流的正方向选取得一致，称为关联正方向。

当采取关联正方向后，在电路元件或支路上只标出电压（或电流）一个正方向就可以了。

例 1-1 图 1-2a 中的方框表示电路元件。已知流过该元件的直流电流为 4A，流向由 a 至 b ，试问如何表明这一电流？

解 有两种表示方式：

(1) 用图 1-2b 所示的 I_1 表示，则

$$I_1 = 4\text{A}$$

这是因为： I_1 的正方向与电流的实际方向一致。

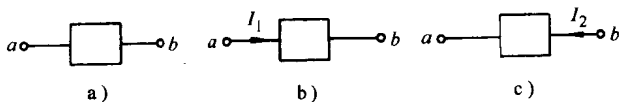


图 1-2 例 1-1 图

(2) 用图 1-2c 所示的 I_2 表示，则 $I_2 = -4\text{A}$ 这是因为： I_2 的正方向与电流的实际方向相反。

显然，这两种表示方式之间的关系为

$$I_1 = -I_2$$

例 1-2 图 1-3a 所示元件两端电压为 2V，若已知正电荷由该元件的 a 端移到 b 端失去能量。若电压选取图 b、图 c 所示的两种正方向，试写出相应的电压表示式。

解 由题意可知，电压的实际方向是由 a 端指向 b 端。

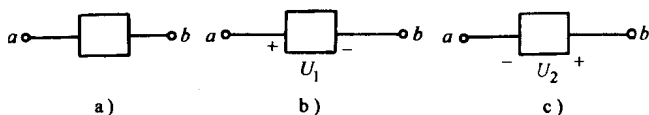


图 1-3 例 1-2 图

若电压的正方向如图 b 所示，则

$$U_1 = 2V$$

若电压的正方向如图 c 所示，则

$$U_2 = -2V$$

显然，这两种表示方式之间的关系是

$$U_1 = -U_2$$

第三节 欧姆定律 线性电阻

一、欧姆定律

通过电阻的电流与电阻两端的电压成正比，这就是欧姆定律。当电阻的电压和电流采取关联正方向时，欧姆定律可表示为

$$\frac{U}{I} = R \quad (1-3)$$

由式 (1-3) 可知，当所加电压一定时，电阻 R 愈大，则电流 I 愈小。显然，电阻具有对电流起阻碍作用的物理性质。

在国际单位制 (SI) 中，电阻的单位是欧姆 (Ω)。当电阻两端的电压为 1V、通过的电流为 1A 时，则该电阻的电阻值为 1Ω 。计量高电阻时，则以千欧 ($k\Omega$) 或兆欧 ($M\Omega$) 为单位。

由式 (1-3) 可得

$$U = IR \quad (1-4)$$

当电阻的电压和电流采取非关联正方向时，则得

$$U = -IR \quad (1-5)$$

对于电阻，通过它的电流和其两端所加的电压的实际方向是一致的。当电流和电压的正方向选取得不一致时，电压和电流，必有一个为正值，另一个为负值。为了使等式成立，因此式(1-5)中要有负号。

例 1-3 应用欧姆定律对图 1-4 的电路列出式子，并求电阻 R 。

解 图 1-4a $R = \frac{U}{I} = \frac{10\text{V}}{2\text{A}} = 5\Omega$

图 1-4b $R = -\frac{U}{I} = -\frac{10\text{V}}{-2\text{A}} = 5\Omega$

图 1-4c $R = -\frac{U}{I} = -\frac{-10\text{V}}{2\text{A}} = 5\Omega$

图 1-4d $R = \frac{U}{I} = \frac{-10\text{V}}{-2\text{A}} = 5\Omega$

二、线性电阻

若通过某一元件的电流和其两端的电压遵循欧姆定律，那么这个元件就是线性电阻。

在直角坐标系中，以外加的电压为纵坐标，以通过线性电阻的电流为横坐标，对应于一系列电压和电流值，得到一条通过坐标原点的直线，这就是线性电阻的电压-电流关系曲线，简称伏安特性（见图 1-5）。

这条直线的斜率就等于线性电阻的电阻值。

若以电压为横坐标，电流为纵坐标，就可以得到线性电阻的另一条伏安特性曲线。这也是一条通过坐标原点的直线，其斜率就等于线性电阻的电导值，电导用字母 G 表示。

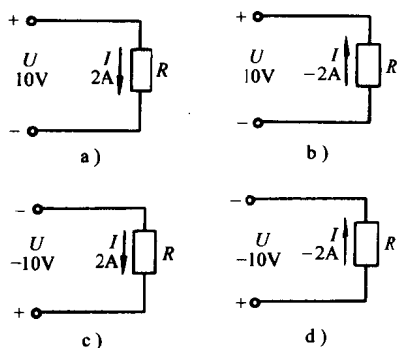


图 1-4 例 1-3 图