



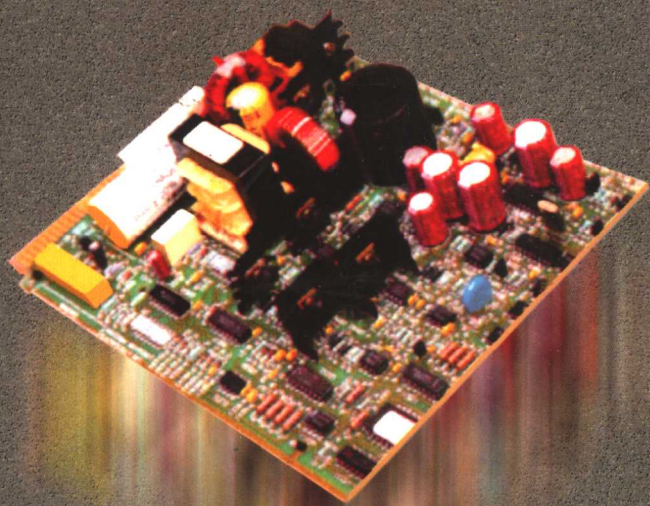
中等专业学校教材

非电专业通用

电 工 学

(第四版)

沈裕钟 主编



高等教育出版社

中等专业学校教材

非电专业通用

电 工 学

(第四版)

沈裕钟 主编

高等教育出版社

内 容 简 介

本书(第四版)是根据1987年原国家教育委员会颁发的中等专业学校工科非电类专业通用的《电工学教学大纲》,在沈裕钟主编的《电工学》(第三版)的基础上重新修订和编写的。

本书的内容有:直流电路(包括一些复杂电路的分析方法),电磁,单相正弦交流电路,三相交流电路,变压器,交流电动机,直流电机,低压电器和基本的控制线路,发电、输电、配电、安全用电、计划用电和节约用电。每章附有思考题和计算题,书末附有部分习题答案。本书深浅适当,解说清楚,便于学生阅读和自学。

本书可作为中等专业学校电工学课程的教材,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工学/沈裕钟主编. —4版. —北京:高等教育出版社,
1995(2004年重印)

ISBN 7-04-005372-1

I. 电… II. 沈… III. 电工学 IV. TM1

中国版本图书馆CIP数据核字(95)第01444号

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-64054588
社 址	北京市西城区德外大街4号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-82028899		http://www.hep.com.cn
经 销	新华书店上海发行所		
印 刷	常州武进第三印刷有限公司	版 次	1964年9月第1版
开 本	850×1168 1/32		1996年3月第4版
印 张	10.875	印 次	2004年4月第21次印刷
字 数	280 000	定 价	16.50元

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等
质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

第四版序言

本书(第四版)是根据1987年国家教育委员会颁发的中等专业学校工科非电类专业通用的《电工学教学大纲》，在沈裕钟主编的《电工学》(第三版)的基础上重新修订和编写的，可作为中等专业学校电工学课程的教材。

本版与第三版比较，作了以下一些修改：1. 在基本概念和基本定律方面作了必要的加强，如电流、电压的正方向，等效变换的概念，基尔霍夫定律的应用等。2. 在交流电动机方面，增加了双鼠笼式和深槽式三相异步电动机以及三相异步电动机的维护和常见故障等内容，适当反映了科技新成就，增加了一些实例，以加强教材的应用性。3. 全书的图形符号和文字符号改用新的国家标准[GB4728《电气图用图形符号》和GB7159-87《电气技术中的文字符号制订通则》]。4. 增加了计划用电和节约用电的内容。

书中带有*号的内容，可根据专业需要选用。

本书(第四版)由南京机械高等专科学校沈裕钟修订和编写；由湖南株洲铁路电机学校赵承荻主审。

本书前三版得到了很多师生和读者的关怀，他们提出了许多宝贵的修改意见，在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中仍可能存在错误和不当之处，殷切期望使用本书的师生和读者给予批评指正，以便今后修订提高。

沈裕钟

1991.11

目 录

绪论	1
第一章 直流电路	5
1-1. 电路的组成和作用	5
1-2. 电路的基本物理量	6
1-3. 电能和电功率	11
1-4. 欧姆定律·线性电阻与非线性电阻	13
1-5. 电阻串并联连接的等效变换	17
1-6. 电气设备的额定值·电路的几种状态	22
1-7. 电源的两种等效电路及其变换	28
1-8. 基尔霍夫定律	33
1-9. 支路电流法	36
1-10. 电路中电位的计算	39
1-11. 叠加原理	43
1-12. 戴维宁定理	46
1-13. 电容器及其充电和放电	49
思考题	56
计算题	59
第二章 电磁现象及其应用简介	66
2-1. 磁场的基本物理量	66
2-2. 全电流定律	71
2-3. 铁磁材料的性质和用途	73
2-4. 磁路·磁路欧姆定律	77
* 2-5. 简单磁路的计算	79
2-6. 直流电磁铁	82
2-7. 电磁感应	85
2-8. 自感应和自感系数	88
2-9. 涡流	91

思考题	93
计算题	95
第三章 正弦交流电和单相正弦交流电路	98
3-1. 概述	98
3-2. 正弦交变电动势的产生	100
3-3. 相位和相位差	104
3-4. 正弦交流电的有效值	107
3-5. 正弦交流电的旋转矢量表示法 · 几个正弦交流电的 相加和相减	108
3-6. 交流电路引言	113
3-7. 纯电阻电路	114
3-8. 纯电感电路	116
3-9. 纯电容电路	120
3-10. 具有电阻和电感的串联电路	123
3-11. 电阻、电感和电容串联的电路	128
3-12. 电感性负载与电容器并联的电路	132
3-13. 提高功率因数的重要意义	136
3-14. 谐振电路	138
思考题	145
计算题	147
第四章 三相交流电路	153
4-1. 三相对称电动势的产生	153
4-2. 三相发电机绕组的星形(Y)连接	155
4-3. 三相负载的星形连接	158
4-4. 三相负载的三角形(D)连接	165
思考题	169
计算题	170
第五章 变压器	173
5-1. 交流铁心线圈电路	173
5-2. 变压器的用途和基本构造	177
5-3. 单相变压器的工作原理	179
5-4. 单相变压器绕组的同极性端及其测定	188

5-5. 三相变压器	191
5-6. 变压器的额定值	193
5-7. 自耦变压器	195
5-8. 仪用互感器	197
* 5-9. 电焊变压器	200
* 5-10. 交流电磁铁	201
思考题	204
计算题	205
第六章 交流电动机	207
6-1. 三相异步电动机的构造	207
6-2. 三相电流的旋转磁场	211
6-3. 三相异步电动机的工作原理	215
6-4. 转差率·转子各量和转差率的关系	217
6-5. 三相异步电动机的电磁转矩	220
6-6. 三相异步电动机的机械特性	223
6-7. 三相异步电动机的起动	225
6-8. 三相异步电动机的调速、反转和制动	232
6-9. 三相异步电动机的铭牌	236
6-10. 双鼠笼式和深槽式三相异步电动机	240
6-11. 单相异步电动机	243
6-12. 三相异步电动机的维护和常见故障	248
6-13. 三相同步电动机	251
思考题	254
计算题	256
第七章 直流电机	258
7-1. 直流电机的基本原理	258
7-2. 直流电机的构造	260
7-3. 直流电机按励磁方式的分类及额定值	263
7-4. 直流电动机的工作原理	266
7-5. 并励电动机	268
* 7-6. 串励电动机	269
7-7. 直流电动机的起动	271

7-8. 直流电动机的调速、反转、制动	272
思考题	277
计算题	278
第八章 低压电器和基本的控制线路	280
8-1. 控制电器和保护电器	280
8-2. 鼠笼式电动机直接起动、点动、正反转的控制线路	290
8-3. 两台鼠笼式电动机联锁的控制线路	296
8-4. 行程开关和工作台自动循环的控制线路	298
8-5. 时间继电器和鼠笼式电动机 Y-D 降压起动的控制线路	301
8-6. 鼠笼式电动机能耗制动的控制线路	305
* 8-7. 速度继电器和鼠笼式电动机反接制动的控制线路	306
* 8-8. 电流继电器和机械扳手的控制线路	308
* 8-9. 几种生产机械的电气原理图	310
思考题	316
第九章 发电、输电、配电·安全用电·计划用电和 节约用电	320
9-1. 发电、输电、配电概况	320
9-2. 安全用电	321
9-3. 计划用电和节约用电	326
思考题	331
附录 几种低压电器的技术数据	332
计算题答案	335
参考书目	340

绪 论

(一) 电能的应用·电气化对社会主义

建设的重要作用

电工学是研究电磁现象及其基本规律在工程技术领域中应用的一门技术基础课程。

近代,电工技术在工业、农业、交通运输业以及日常生活中得到愈来愈广泛的应用并占有很重要的地位。

在工业生产中,几乎一切生产机械都是用电动机来拖动的。例如,各种金属加工机床、起重机、轧钢机、鼓风机、空气压缩机以及各种泵类等。

在农业生产中也广泛采用电动机。例如,电力排灌设备、电力拖拉机和收割机、粮食和饲料的电力加工装置等。

在交通运输方面,电力机车、电车是靠电力来牵引的,其他如轮船、飞机和汽车等也都装有许多电气设备。

在自动控制方面,电工技术的应用正在日益发展。例如机床的数字控制,它把机床的各种动作和加工尺寸都用数字的形式表示在纸带上,经过电子控制线路和运算线路的变换,而后发出相应的指令去控制机床的动作,完成加工任务。这种机床具有很多优点,尤其对加工不同型式的产品是十分有利的。机床的数控技术已成为现代机床技术水平和设计、制造能力的重要标志,是实现工业现代化的一种重要技术措施。此外,生产过程中所涉及到的某些物理量(流量、压力、温度、水位等),都可用电的方法进行测量并实现自动调节,从而使生产过程自动化。

在机械制造工艺方面,电工技术的应用也很广泛。例如,电

镀、电焊、高频淬火、电蚀加工(电火花钻小孔、磨削、强化)、电解加工、电子束加工等。电子束加工主要用于特殊材料的制造工艺中。例如,航空工业中需要比重小、高温时强度高的钛;化学工业中需要用抗腐蚀性能强的钽等。对于这些特殊材料必须采用真空电子束焊接加工,否则将会使材料的性能大为降低。

随着生产和科学技术的发展,电子技术得到了高度的发展和广泛的应用。电子计算机的出现,对于社会生产力的发展起着变革性的推动作用。电子计算机不仅能解决各种数学计算问题,而且还能解决各种逻辑问题。例如,文字翻译、自动控制、统计分析等。总之,现代一切新的科学技术的发展无不与电能的应用有着密切的联系。

电能之所以得到如此广泛的应用,是因为它具有无可比拟的优点,主要有:

1. 易于转换 电能可以很方便地由水能(水力发电)、热能(火力发电)、化学能(电池)、核能(核能发电)等转换而得。同时,电能又可以很方便地转换为其他形态的能量。例如,利用电动机把电能转换为机械能,利用电炉把电能转换为热能,利用电灯把电能转换为光能等。由此可见,电能可以满足各方面的需要。

2. 易于输送和分配 通常工厂应建设在原料产地或交通方便之处,而发电厂则应建设在煤矿或河川的附近,两者的所在地常常是不一致的。这一矛盾因电能可以很方便地输送到远方而得到解决。此外,电能在分配上也很方便,无论是对集中的用电场所或是对分散的,甚至单独的用户;无论是对几千千瓦的电动机或是对几十瓦的电灯,电能均能分配自如。

3. 易于控制、测量和调整 由于电气设备的动作比较迅速,而且不受控制距离的限制,因此,大量采用电工技术来控制生产过程,就为实现自动化创造了有利的条件。

生产过程自动化只有在电气化的条件下才有可能实现,所以生产力的高度发展是与电气化分不开的。实现生产过程自动化,

不仅可以大大地提高劳动生产率和产品质量，而且还可以改善劳动条件和减轻劳动强度，对加速社会主义建设，提高人民的物质和文化生活水平具有极为重要的作用。

(二) 电工学和非电专业的关系 · 本课程的目的和任务

如前所述，电工技术在近代工农业生产中得到了极其广泛的应用。而各专业部门如何采用先进技术以改进工艺并不断地提高劳动生产率和产品质量，则是各专业的工程技术人员经常需要研究的课题。因为先进技术常常和电工技术有着密切的联系，所以非电专业的工程技术人员不仅要掌握本专业的知识而且要学习电工学。

非电专业的学员学习电工学的目的是：

1. 掌握工程技术人员必需具有的电工基本理论、基本知识和基本技能。
2. 为学习专业课程、从事工程技术工作和进一步钻研新技术打下基础。

这样，就可在工作中采用所学专业和电气相结合的方法搞好生产和科研，以适应“四化”建设的需要。

电工学的内容很广泛，它的理论性和系统性也很强，而非电专业的学员接触电类课程的时间又较少。因此，在学习中有时感到对内容的理解不深刻、甚至前后混淆。为了学好本课程，下面对学习方法的提几点建议：

1. 学习时对基本概念一定要搞清楚，尤其是对那些经常用到的，几乎贯穿于全课程的基本概念和基本定律（例如电流、电压的正方向，等效的概念，基尔霍夫定律，基本电路元件的伏安关系等）更要深入钻研，达到充分理解和熟练掌握的程度。这对学好本课程具有重要作用。

2. 在学习各种电机和电器时,要注意进行总结对比,找出它们在基本结构上、工作原理上的异同之处,认清它们各自的特点和本质区别,防止张冠李戴,混淆不清。

3. 课后要及时复习并仔细阅读教科书和有关参考书,遇到不理解的问题时,应及时解决,不要使问题越集越多,以致最后提不出任何问题;要在搞清公式的物理意义及应用条件的基础上再去完成作业,防止盲目套用公式。做好作业对于巩固概念,启发思考,以及暴露学习中存在的问题都是很有帮助的,要认真对待,不应草率从事。

此外,还必须认真地进行实验,通过实验可以使学到的理论知识得到验证和巩固,熟悉电气设备的使用和操作方法,掌握实验技能,培养分析问题和解决实际问题的能力。只要我们认真学习并注意改进自己的学习方法,是会取得好的学习效果的。

第一章 直流电路

1-1. 电路的组成和作用

电路是由电工设备和器件按某种方式连接在一起而组成的。电路的结构形式多样，繁简不一，功能也不尽相同。在研究电路的工作原理时，通常是用一些规定的图形符号来代表实际的设备和器件，并用连线表示出这些设备和器件之间的连接关系，画成原理电路图进行分析。为简便起见，原理电路图的“原理”二字常略去不写。

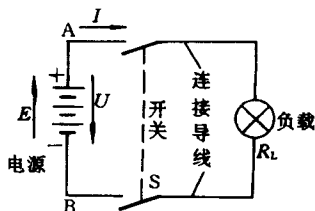


图 1-1 最简单的电路

图 1-1 为一最简单的电路。图中的电源是电池组；负载是电灯。对电源来讲，负载、连接导线和开关称为外电路，电源内部的一段电路称为内电路。

电源是供应电能的装置，它把其他形式的能量转换为电能。例如发电机把机械能转换为电能，电池把化学能转换为电能。

负载是取用电能的装置，它把电能转换为其他形式的能量。例如电灯把电能转换为光能和热能，电动机把电能转换为机械能。

连接导线和开关，用来连接电源与负载，使它们构成电流的通路，把电源的能量输送给负载，并根据需要控制电路的接通和断开。

上述电路的主要作用是传输和转换能量，电力电路都属于这种类型。例如发电、输电、配电、电力拖动、电热、电气照明电路

等。在这些电路中，由于需要输送的能量较大，所以要求电能的传输效率高、损耗小。

另有一类电路，它的主要作用不在于传输和转换能量，而是传递和处理信号。例如在扩音机电路中，传声器(话筒)把语言或音乐转换为变化的电压和电流，这就是带有信息的电信号。此信号经扩音机内的放大器放大后，通过连接导线传递给终端设备(扬声器)，由终端设备把这一电信号再还原为音响增强了的语言或音乐输出。信号的这种转换和放大，称为信号的处理。在信号传递和处理的电路中，输出电信号的装置称为信号源(相当于电源)，接受电信号的装置称为负载，连接导线则称为信号的通道。

以传递和处理信号为主要目的的电路很多，例如收音机、电视机电路等。在这类电路中，虽然也有能量的传输和转换，但其值较小，所以电能传输效率的高低并不是它的首要问题。而如何保持信号的变化规律，准确地进行传递和处理却是这类电路的主要任务。

综上所述，不论是以传输和转换能量为主要目的的电路，还是以传递和处理信号为主要目的的电路，就其基本的组成而言，它们都包括有电源(或信号源)、负载、连接导线三个部分。

1-2. 电路的基本物理量

为了分析、计算电路的能量转换和信号的处理，需要明确几个电学量的物理意义。

(一) 电 流

电流是由电荷的定向移动而形成的。当金属导体处在电场之内时，自由电子要受到电场力的作用，逆着电场的方向作定向移动，这就形成了电流。

电流的强弱用电流强度来表示。如果电流的大小和方向均不

随时间变化,这种电流称为恒定电流,简称直流。对于直流,其电流强度用单位时间内通过导体横截面的电量来度量,即

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-1)$$

电流强度简称电流。“电流”一词,既代表一种物理现象,又代表一个物理量。

电流的单位用电流表示,简称安(A)。如果一秒钟内通过导体横截面的电量是1库仑(C),则此导体中的电流为1安。

计量微小电流时,电流的单位用毫安(mA)或微安(μ A)表示。

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

电流的方向是指电流沿导体循行的指向。习惯上规定用正电荷移动的方向表示电流的实际方向。在金属导体中,正电荷并不移动,而是自由电子移动。虽然自由电子在电场中的移动方向与正电荷相反,但从电流这一概念来说两者是等效的。

在简单电路中,电流的实际方向可由电源的极性确定。例如在图 1-1 所示的电路中,电流的实际方向是由正极 A 经过负载指向负极 B;在内电路中,则由 B 经过电源内部指向 A。但是在一些复杂电路中,电流的实际方向有时难于事先确定。例如图 1-2 所示的电桥电路, R_g 中的电流方向是从 A 指向 B,还是从 B 指向 A,不能预先得知,需要经过计算或测量才可确定。

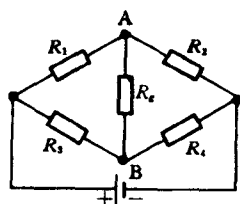


图 1-2 电桥电路

为了分析电路的需要,引入了电流参考方向的概念。电流的参考方向又称为正值方向,简称正方向。在进行电路计算时,先任意选定某一方向作为待求电流的正方向,并根据此正方向进行计算。若算得的结果为正值,说明电流的实际方向与正方向相同,

若算得的结果为负值,说明电流的实际方向与正方向相反。电流的正、负值与正方向及实际方向之间的关系,如图 1-3 所示。

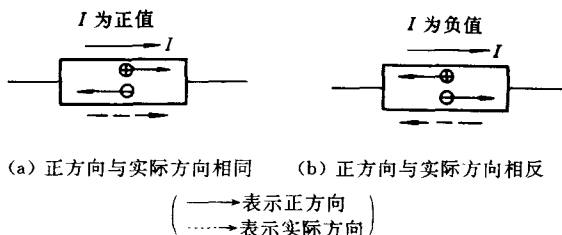


图 1-3 电流的正方向

本书电路图上所标出的电流方向均为正方向,需要表明实际方向时用虚线箭头表示或加说明。

(二) 电位与电压

与物体在某一位置上具有一定的位能相类似,正电荷在电路的某一点上具有一定的电位能。要确定电位能的大小,必须在电路上选择一参考点作为基准点,正像要确定物体位能的大小必须选择一个基准点一样。

在图 1-4 所示的电路中,把 B 点作为参考点(用符号 $\perp$ 表示),则正电荷在 A 点所具有的电位能就等于电场力把正电荷从 A 点经负载 R_L 移到 B 点(基准点)所做的功。正电荷受电场力作用,顺着电场的方向移动,正电荷的电位能逐渐减小,正电荷失去能量,把电能转换为其他形式的能量。

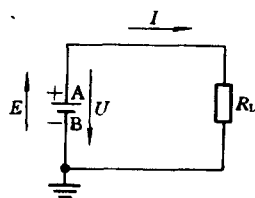


图 1-4 B 点为参考点的电路

正电荷在 A 点所具有的电位能 W_A 与正电荷所带电量 Q 的比值,称为电路中 A 点的电位,用 V_A 表示;即

$$V_A = \frac{W_A}{Q} \quad (1-2)$$

由式(1-2)可知, 电路中某点相对于参考点电位的大小, 在数值上就等于单位正电荷在该点所具有的电位能。

电位的单位是焦耳/库仑(J/C), 称为伏特, 简称伏(V)。

电路中某点电位的高低是相对于参考点而言的, 参考点不同, 则各点电位的大小也不同。但参考点一经选定, 则电路中各点的电位就是一定值。参考点的电位设为零, 所以参考点又称为零电位点。在电路中电位比参考点高的一些点, 它们的电位为正值, 用“+”表示; 电位比参考点低的一些点, 它们的电位为负值, 用“-”表示。

电路中任意两点间的电位差, 称为这两点间的电压, 用字母 U 表示。例如 A、B 两点间的电压为

$$U_{AB} = V_A - V_B \quad (1-3)$$

电压是衡量电场力做功能力的物理量, 它在数值上等于单位正电荷受电场力作用从电路的某一点移到另一点所做的功, 或等于单位正电荷顺着电场的方向从某一点移到另一点所失去的能量。

电压的单位也用电压表示。如果电场力把 1 C 电量从 A 点移到 B 点所做的功是 1 J, 则 A 与 B 两点间的电压就是 1 V。

计量较大的电压时用千伏(kV); 计量较小的电压时用毫伏(mV)。

$$1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V}; 1 \text{ mV} = 10^{-3} \text{ V}$$

电压的实际方向规定为从高电位点指向低电位点, 即由“+”极性指向“-”极性。因此在电压的方向上电位是逐点降低的。

在一些复杂电路中, 某两点间的电压实际方向有时难于事先确定, 这时可在这两点间画一箭头作为电压的正方向。箭头的起点代表假定的高电位点, 箭头的终点代表假定的低电位点, 并根据此正方向进行计算。若算得的结果为正值, 说明电压的实际方