

中等专业学校试用教材

非电专业通用

电 工 学

沈裕钟 主编

(第 三 版)

人 民 教 育 出 版 社

中等专业学校试用教材

非电专业通用

电 工 学

沈裕钟 主编

(第三版)

人民教育出版社

本书是根据教育部1981年10月在南京召开的中等专业学校技术基础课教学大纲审议会议上所通过的电工学教学大纲,在饶昌植、沈裕钟编写的机械制造类各专业适用的《电工学》(1978年修订本)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),电磁现象和磁路,正弦交流电和单相正弦交流电路,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。本书附有插图405幅,习题204题,书末附有计算题答案。本书深浅适当,解说清楚,便于学生阅读。

本书可作为中等专业学校非电专业电工学课程的教材(适用于招收高中毕业生的二年半学制和招收初中毕业生的四年学制),也可供有关中等工程技术人员参考。

中等专业学校试用教材

非电专业通用

电 工 学

沈裕钟 主编

*

人民教育出版社出版

新华书店上海发行所发行

上海新华印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张12.25 字数 295,000

1964年9月第1版

1982年6月第3版 1983年4月第1次印刷

印数 00,001—90,500

书号 15012·0415 定价 1.15 元

前 言

本书是根据教育部 1981 年 10 月在南京召开的中等专业学校技术基础课教学大纲审订会议上所通过的电工学教学大纲,在饶昌植、沈裕钟编写的机械制造类专业适用的《电工学》(1978 年修订本)的基础上重新修订和编写的。

本书按照教学大纲的基本要求,精选教学内容,力求做到深浅合适,主次分明,详略恰当,既注意加强基础理论,又注意联系实际。在内容的阐述方面,以物理概念为主,对某些疑难的章节作了比较详细的分析,文字通顺,便于学生学习。书中带*号的部分是选学内容,可根据不同专业、不同学制的需要加以选择。

本书由南京机器制造学校沈裕钟主编,福建机电学校王喆参加编写。绪论、直流电路、电磁现象和磁路、正弦交流电和单相正弦交流电路、三相交流电路、变压器、交流电动机、直流电机等章由沈裕钟执笔;低压电器和基本控制线路的部分内容、安全用电和节约用电以及计算题答案由王喆执笔。书中插图由南京机器制造学校瞿祖庚和福建机电学校宋绳平绘制,全书的修改定稿由沈裕钟负责。

本书由南京工学院李士雄教授主审。本书经主审审阅后,又经一机系统中等专业学校电工学课程组召开审稿会议审阅。审稿会由主审主持。在审稿会上,人民教育出版社以及上海机器制造学校、咸阳机器制造学校、山东省机械工业学校、哈尔滨电机制造学校、黑龙江机械制造学校、北京机械学校、福建机电学校、河北纺织工业学校、南京机电学校的同志们仔细地阅读原稿,提出了许多修改意见和建议。编者在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,加以时间比较仓促,书中可能仍有错误和不妥之处.殷切期望使用本书的师生和广大读者给予批评指正,以便今后修订提高.

编 者

1982年3月

目 录

前 言	1
绪 论	1
第一章 直流电路	5
1-1. 电路的基本概念	5
1-2. 电能和电功率	9
1-3. 欧姆定律·电阻	11
1-4. 电阻的串联、并联、混联电路	17
1-5. 含有反电动势的电路	25
1-6. 电气设备的额定工作状态·断路·短路	27
1-7. 克希荷夫定律	33
1-8. 电路中电位的计算	38
1-9. 电压源和电流源	41
1-10. 叠加原理	46
1-11. 戴维南定理	50
1-12. 电容器及其充电和放电	53
思考题	62
计算题	65
第二章 电磁现象和磁路	73
2-1. 电流的磁场	73
2-2. 磁场的基本物理量	74
2-3. 全电流定律	79
2-4. 铁磁材料的性质和用途	81
2-5. 磁路·磁路欧姆定律	86
2-6. 简单磁路的计算	88
2-7. 直流电磁铁	92
2-8. 电磁感应	95
2-9. 自感和互感	98

2-10. 涡流	102
思考题	103
计算题	106
第三章 正弦交流电和单相正弦交流电路	109
3-1. 概述	109
3-2. 正弦交变电动势的产生	111
3-3. 相位和相位差	115
3-4. 正弦交流电的有效值	118
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	120
3-6. 交流电路引言	125
3-7. 纯电阻电路	126
3-8. 纯电感电路	128
3-9. 纯电容电路	132
3-10. 具有电阻和电感的串联电路	135
3-11. 电阻、电感和电容串联的电路	140
3-12. 电感性负载与电容器并联的电路	144
3-13. 提高功率因数的重要意义	148
3-14. 谐振电路	151
*3-15. 符号法	159
3-16. 由铁心线圈组成的交流电路	168
3-17. 交流电磁铁	173
*3-18. 趋肤效应	175
思考题	177
计算题	180
第四章 三相交流电路	187
4-1. 概述	187
4-2. 三相对称电动势的产生	187
4-3. 三相发电机绕组的连接法	189
4-4. 三相负载的星形连接	194
4-5. 三相负载的三角形连接	202
思考题	205

计算题	207
第五章 变压器	210
5-1. 概述	210
5-2. 单相变压器的工作原理	210
5-3. 单相变压器绕组的同极性端及其测定	217
*5-4. 三相变压器	220
5-5. 变压器的构造和铭牌上的主要数据	222
5-6. 自耦变压器	224
*5-7. 仪用互感器	226
*5-8. 电焊变压器	229
思考题	230
计算题	231
第六章 交流电动机	233
6-1. 概述	233
6-2. 异步电动机的构造	233
6-3. 旋转磁场	235
6-4. 异步电动机的工作原理	242
6-5. 转差率·转子各量和转差率的关系	244
6-6. 异步电动机的电磁转矩	248
6-7. 异步电动机的机械特性	252
6-8. 异步电动机的起动	254
6-9. 异步电动机的调速、反转和制动	261
6-10. 异步电动机的铭牌	265
6-11. 单相异步电动机	268
*6-12. 三相同步电动机	273
*6-13. 同步补偿机	274
6-14. 单相反应式同步电动机	275
思考题	277
计算题	278
第七章 直流电机	280
7-1. 概述	280
7-2. 直流电机的基本原理	280

7-3. 直流电机的构造	282
7-4. 直流电机按励磁方式的分类及额定值	285
*7-5. 并励发电机	288
*7-6. 复励发电机	291
7-7. 直流电动机的工作原理	292
7-8. 并励电动机	294
7-9. 串励电动机	296
7-10. 直流电动机的起动	297
7-11. 直流电动机的调速、反转、制动	299
7-12. 电机的维护常识	304
思考题	305
计算题	306
第八章 低压电器和基本的控制线路	308
8-1. 概述	308
8-2. 控制电器和保护电器	308
8-3. 鼠笼式电动机直接起动、点动、正反转的控制线路	321
*8-4. 两台鼠笼式电动机联锁的控制线路	328
8-5. 行程开关和工作台自动循环的控制线路	331
8-6. 时间继电器和鼠笼式电动机 Y- Δ 降压起动的控制线路	336
8-7. 鼠笼式电动机能耗制动的控制线路	340
*8-8. 速度继电器和鼠笼式电动机反接制动的控制线路	341
*8-9. 电流继电器和机械扳手的控制线路	343
*8-10. 几种生产机械的电气原理图	345
思考题	359
第九章 发电、输电、配电·安全用电	363
9-1. 发电、输电、配电概况	363
9-2. 安全用电	365
9-3. 节约用电	370
思考题	371
附录一 本书采用的文字符号表	372
附录二 几种低压电器的技术数据	377
计算题答案	380

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技术领域中的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,电气机车、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。

在日常生活中,电灯,电话,电影,电视以及无线电广播等都要用到电工技术。

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一些物理量(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,航空工业中需要用比重小、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)、原子能(原子能发电)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,二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. 上课时**要专心听讲并积极思考;**2. 课后**要及

时复习并仔细阅读教科书，在弄清物理概念的基础上再去完成作业；3.学完一个部分(例如电路、电机等)以后，可把学过的内容做一总结对比，找出它们之间的相互联系和本质区别。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，是能够取得好的学习效果的。

第一章 直流电路

1-1. 电路的基本概念

电路就是电流通过的路径。图 1-1 为一最基本的简单电路，它由电源、负载、连接导线和开关等组成。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。

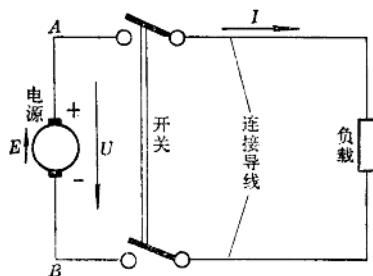


图 1-1. 最简单的电路。

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，电动机把电能转换为机械能，电灯把电能转换为光能和热能。

在电源的两端分别聚集有正电荷和负电荷，所以在电源的两端间始终有电场存在。电源的两端分别聚集正电荷和负电荷的过程，可用发电机原理为例，说明如下：当发电机中的导体切割磁力线时，由实验得知，导体中的正电荷和负电荷将分别受到磁场力（称为局外力，用 $F_{\text{外}}$ 表示）的作用，于是正电荷和负电荷就分别向

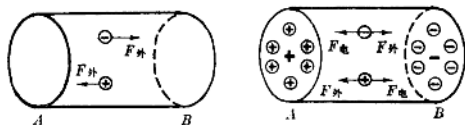


图 1-2. 电荷受到的局外力和电场力。

导体的两端聚集,如图 1-2 所示*。

随着电荷的聚集,导体中出现了电场。此后,导体中的电荷不仅受到局外力 $F_{\text{外}}$ 的作用,而且还受到电场力 $F_{\text{电}}$ 的作用。由于电场力对电荷的作用与局外力的作用相反,因此, $F_{\text{电}}$ 将阻碍电荷向两端聚集。当 $F_{\text{电}}$ 增大到与 $F_{\text{外}}$ 相等时,导体两端的正电荷和负电荷就不再继续增多。这时导体两端聚集了一定数量的电荷,建立了一定强度的电场。若把电路接通,则正极上的电荷通过连接导线和负载流向负极。随着电荷的移动,电源两端的正电荷和负电荷比电路未接通时减少了。这样一来,局外力便又大于电场力,在局外力的作用下电源内部的正电荷就继续由负极流向正极,于是在电路中形成了连续不断的电流。

综上所述,只要在闭合回路中有电源存在,回路中便能建立和维持一电场,产生一持续的电流。而建立和维持电场的过程,也就是局外力克服电场力驱使正电荷和负电荷分别向电源两端移动的作功过程。这种由局外力克服电场力所做的功就转换成电能。

局外力把正电荷从“-”端(即 B 端)移到“+”端(即 A 端)所做的功 W_{BA} 与被移动的电量 Q 的比值,称为 B、A 两端间的电动势,用 E 表示,即

$$E_{BA} = \frac{W_{BA}}{Q}. \quad (1-1)$$

* 图 1-2 中的磁场方向是自读者指向图,而导体的运动方向是向上的,但图中均未标出。

由此可见, B 、 A 两端间的电动势在数值上就等于局外力把单位正电荷从 B 端移到 A 端所做的功.

电动势的单位是伏特, 简称伏(V). 如果局外力把 1 库仑[简称库(C)]电量从 B 端移到 A 端所做的功是 1 焦耳, 简称焦(J), 则 B 、 A 两端间的电动势就等于 1 伏.

电动势的方向规定为由低电位端指向高电位端, 如图 1-1 中的 E 所示. 由于正电荷在电源的“+”端所具有的电位能最高, 而正电荷在电源的“-”端所具有的电位能最低, 所以电源的“+”端具有高电位, 而“-”端则具有低电位. 故电动势的方向即是由电源的“-”端指向“+”端. 可见, 在电动势的方向上电位是逐点升高的.

在外电路中, 正电荷受电场力作用由电源的“+”端通过负载向电源的“-”端移动, 正电荷所具有的电位能逐渐减小, 从而把电能转换为其他形式的能量.

电场力把正电荷从 A 端移到 B 端所做的功 W_{AB} 与被移动的电量 Q 的比值称为 A 、 B 两端间的电压, 用 U_{AB} 表示, 即

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{Q}. \quad (1-2)$$

由上式可知, A 、 B 两端间的电压, 在数值上就等于电场力把单位正电荷从 A 端移到 B 端所做的功.

电压的单位也是伏. 较大的电压单位是千伏(kV), 1 千伏 = 10^3 伏, 较小的电压单位是毫伏(mV), 1 毫伏 = 10^{-3} 伏. 如果电场力把 1 库电量从 A 端移到 B 端所做的功是 1 焦, 则 A 、 B 两端间的电压就等于 1 伏.

电压的方向规定为由高电位端指向低电位端, 亦即由电源的“+”端指向“-”端, 如图 1-1 中的 U 所示. 因此, 在电压的方向上电位是逐点降低的.

电路上某两端间的电压，就是这两端间的电位差。电位用字母 φ 表示。例如，负载两端间的电压 $U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$ 。若负载两端间的电压很高，即负载两端的电位差很大，则单位正电荷通过负载所放出的能量也愈大。

以上是用正电荷移动来阐述电路中电流的形成过程。但在金属导体中实际上是自由电子移动而不是正电荷移动。虽然这时自由电子的移动方向和正电荷的移动方向相反，但从电流这一概念来说两者却是等效的。

由于习惯上规定用正电荷移动的方向来表示电流方向，所以在外电路中电流的方向是由正极指向负极，亦即由高电位点指向低电位点。在内电路中，电流的方向是由负极指向正极，亦即由低电位点指向高电位点。

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，其电流强度是用单位时间内通过导体横截面的电量来度量的，即

$$I = \frac{Q}{t}. \quad (1-3)$$

电流的单位是安培，简称安 (A)。如果在 1 秒钟内通过导体横截面的电量是 1 库，则此导体中的电流为 1 安。

在一段无分支的导体中，流过导体某一横截面的电荷数总是等于在相同时间内流经该导体另一横截面的电荷数，这就是电流的连续性原理。否则将会在电路的某一点上造成电荷的无限堆集，这是不可能的。因此，在一条无分支的电路上，不论各段导体横截面的大小如何，电流总是处处相等的。图 1-1 所示的电路是一无分支电路，因此，流过电源的电流与流过负载的电流相等。