

高等学校教材

电 工 学

(第 二 版)

上 册

浙江大学电工学教研室编

罗守信 主编

序 言

我教研室编写的电工学试用教材(120学时)1979年出版以来,得到各方面的关怀和重视,许多学校用作教本。经过几年来的使用,在总结教学实践的基础上,我室教师通过讨论,在原有基础上进行修订。修订本采纳了使用本教材的教师,特别是主审单位提出的许多有益的建设性意见。修订时力求贯彻“少而精”的教学原则,努力精选教材内容,加强基础,以利于进一步提高教学质量。

1980年6月,教育部在成都召开了高等学校工科电工教材编审委员会扩大会议,审订了《高等工业学校电工学教学大纲(草案)》(120学时),经教育部批准于同年8月印发。这样,我们的修订工作就有了依据。

修订本分上、下两册。上册为电路基础和电机及继电接触控制,下册为工业电子技术。

经过几年来的教学实践,大家感到本课程教学中的主要矛盾是内容偏多而学时有限。因此新版本按上述“教学大纲”的要求重新组织教材,以使用较少的学时,讲授“教学大纲”所规定的内容。

例如,电路基础部分,在保证加强基础的前提下,精选教材基本内容,力求概念叙述清楚,深入浅出,便于自学。根据本课程的性质和要求,在电机及继电接触控制部分,把电机作为一种器件,讨论其基本构造,工作原理,性能和使用方法,删去不常用的电机。在工业电子技术部分,采用“管路结合,管为路用”的原则。随着电子技术的迅速发展,集成电路的应用已经非常普遍,因此把集成运算放大器作为一个电子器件来应用;数字电路只讨论集成元件及其组成的触发器,计数器和译码器等。

本书可结合各学校的实际情况“因材施教”,有些内容学生在

物理课程中学得较好,就不必详细讲解。例如直流电路的基本物理量,半导体机理等,只作简单复习,讲得快些,甚至可让学生自学。教学安排要与教学法配合好,不必逐章,逐节讲。例如,集成运算放大器及集成“与非”门的内部电路可不讲,只讲方框图,外部特性和主要参数。

本教材中还安排了若干加深和加宽的内容,以便使用学校根据实际学时的差别和不同专业对教材内容要求的差异,选讲部分内容。这些内容标有“*”号。

新版本在每章的开始加了内容提要,目的是给学生一条线索,使学生便于学习。结尾有一小结,主要指出该章内容重点,和易于疏忽及混淆的问题,启发学生通过小结进一步提高。

根据使用的要求,并加强学生的基本概念和基本技能的训练,新版本对习题也进行了修订,难易适当搭配,并在书末附上部分习题答案,供读者自行检查。

新版本由我教研室集体编写,罗守信同志主编。第一、二、三章由王志云同志执笔,第四、十、十一章由高维宏同志执笔,第五、十四章由叶挺秀同志执笔,第六、七、八章由张民强同志执笔,第九、十三章由沈允刚同志执笔,第十二章由罗守信同志执笔。教研室全体教师分章参加了讨论,并提出了详细的修订意见。严克宽、尚功泰两同志为本书提供了习题。张兆祥、段水福两同志承担了部分制图工作。

本教材由华东化工学院张大恒教授主审,参加主审工作的还有:张南、王春田、梁天白和余宗廉等同志。我们对以上同志表示衷心感谢。

本书初稿经主审单位初审后进行了修改。于1983年9月由电工学教材编审小组主持召开的杭州审稿会上,编审小组的全体成员对本教材进行了认真的审阅,并提出许多宝贵的修改意见,在

此谨致以衷心感谢。

会议同意主审单位的初稿意见，要求编者参照会议提出的修改意见进行修改，并建议高等教育出版社作为电工学 120 学时类型全国通用教材出版。

会后，经编者进行修改，又请主审单位提出复审意见，再次修改定稿。

由于编者的学识有限，书中必然存在许多缺点和错误，恳切希望使用本书的教师和读者批评，指正。

编 者

1983 年 9 月

绪 论

一、电能的应用及其与生产发展的关系

电工学是研究电的基本规律及电磁现象在电工技术上应用的科学。电工学是现代技术的基础之一。

电的应用是极其广泛的。随着生产力的发展,电能在工业、农业、交通运输业以及日常生活中得到越来越广泛的应用,并占着十分重要的地位。

在现代的工业生产中,绝大多数生产机械的原动机都采用电动机。例如,机械工业中的各种金属加工机床;矿冶工业中的矿井卷扬机、轧钢机;化学工业中的各种泵、鼓风机、压缩机;轻工业中的纺织机、造纸机;建筑工业中的挖土机、起重机,等等。

在农业中电能的应用也是很广泛的。例如,用电动机拖动排灌机械、打稻机、碾米机、茶叶揉制机,等等。

在交通运输业中,电力的应用也日益增加。例如电车、电气机车等。

在日常生活中,电也是现代物质、文化生活所不可缺少的。例如,电灯、电话、电报、电冰箱、洗衣机、电影、电视、无线电广播、X射线透视等等。

此外,电工技术还广泛地应用于工业生产的各种工艺过程中,并不断地创造了新的工艺。例如,机械工业中的电焊、电镀、机械零件的电加工(钻孔、磨削、高频淬火、电子束和离子束加工等);矿冶工业中的电炉炼钢;化学工业中的电解、电炉烧结、气体电净;轻工业中的静电纺纱、静电植绒;建筑工业中的电热烘焙水泥、冻土,以及应用于各方面的超声波、红外线和工业电视等等。

对生产过程中所涉及到的某些物理量(如长度、压力、温度、水位、流量等)都可用电的方法来测量和进行自动调节,以实现生产过程自动化。

随着科学技术和生产发展的需要,电子科学技术、特别是电子计算机的高度发展及其在生产领域中的广泛应用,不仅可以模拟人的感觉和思维,把人们从大量的、繁重的、简单的劳动中解放出来,而且可以逾越人体机能的限制,在检测、计算、判断、控制等方面,能完成人体难于承担的任务,为我们提供新的生产手段。因此,电能的应用可把生产自动化提高到一个新的水平,从而获得更高的劳动生产率。

电能之所以在现代工业生产中得到广泛的应用,是由于它具有很多优越性,这主要表现在三个方面:(1)和其他能量形态之间的转换较易;(2)无论作为能量的传输和分配或作为信号的传递和处理都很容易、迅速、经济而又可靠;(3)易于控制,测量和调整。这就为提高劳动生产率和产品质量,为生产过程的电气化、自动化创造了有利条件。

二、电工学课程的性质、目的、主要内容和学习方法

在把我国建设成为具有现代农业、现代工业、现代国防和现代科学技术的社会主义国家的过程中,迅速地发展生产力和改善生产技术是一项极其重要的任务。由于电能所具有的优越性,电工技术广泛应用于现代各个工业部门中,对于社会主义建设,实现四个现代化占着重要的地位。然而使本专业的工业部门实现电气化、自动化,对于每个专业技术干部来说,都有责任来完成这一光荣而又艰巨的任务。

由于上述原因,对于从事各非电专业的技术干部,不仅应精通本专业范围内的业务知识,而且要掌握一定程度的电工知识,以便

更好地采用现代化、自动化的生产手段，并能与电气工程师合作，为提高本专业电气化、自动化的水平而努力。

因此，电工学是高等工业学校各非电专业学生所必修的课程。它是一门技术基础课。学习电工学课程的目的是掌握电工学的基本理论知识，了解本专业内常用的电机、电器、主要电子器件以及由这些器件所组成的典型环节的基本原理和应用，并受到必要的电工学实验技能的训练，为学习专业知识和从事工程技术工作奠定一定的技术基础。

电工学课程的内容分为下列三部分：

1. 电路基础；
2. 电机和继电接触控制；
3. 工业电子技术。

电工学各部分的内容，是从各非电专业用电的角度考虑的。

电路基础部分：结合电子电路和电机的需要，加强必要的技术基础，把研究的重点放在稳态直流和交流电路上，并重新安排了电位计算、电压源、电流源、戴维南定理和诺顿定理、非线性电阻电路以及瞬变过程等内容。

电机和继电接触控制部分：把电机作为一个元件，研究各种常用电机的基本构造，运行特性和使用方法。学习根据生产要求来选择电动机的方法和常用的继电接触控制电路。

工业电子技术部分：主要讨论常用电子器件的外部特性、功能和主要参数，按照“管路结合，管为路用”的原则，把重点放在应用电路上，讨论常用典型电路的基本概念和基本分析方法。运算放大器作为元件使用，并讨论它的基本规律和工作原理，及其应用举例。数字电路着重讨论数字集成元件的外部特性和主要参数，及其组成的触发器、计数器、译码器等。

如上所述，电工学各部分的内容是十分丰富的，怎样学习电工

学呢？重要的是：一要有正确的学习态度；二要掌握科学的学习方法。此外，着重强调两点：第一，电工学是一门实践性较强的技术基础课程。要注意贯彻理论密切联系实际这一极其重要的方法。例如上述的基本理论、基本知识和基本技能的获得，如果仅仅停留于理论学习，而不去反复实践，就不可能学到手。因此，学习电工学应密切结合理论完成一定数量的习题和作业，并在学习电工学课程的过程中要勤于动手，做好规定的各项实验，初步掌握实验测试技能和根据理论分析实验数据规律的能力。第二，鉴于电工学课程的特点，必须紧紧抓住用电为主的特点，体现重在使用的要求。对于教材中的电路基础部分，要求能初步掌握一般电路的分析方法；对于各种电机和电子器件，主要掌握其工作原理，外部特性及其正确使用，不必过细地追究其内部机理。要搞清几种典型的电子线路，继电接触控制电路的工作原理和应用。并注意在今后工作中结合实际需要，不断地进行实践，以进一步加深提高理性认识。只有这样，才能较好地把电工学学到手。

目 录

序言 绪论

第一篇 电路基础

第一章 直流电路	1
内容提要	1
1-1 电路的基本物理量	1
1-2 电路的基本组成	7
1-3 电路的三种状态	10
一、通路	10
二、开路	13
三、短路	13
1-4 两种电源模型的等效互换	15
1-5 电路中各点电位的计算	19
1-6 克希荷夫定律	23
一、克希荷夫电流定律(KCL)	24
二、克希荷夫电压定律(KVL)	25
1-7 支路电流法	29
1-8 叠加原理	33
1-9 节点电位法	36
1-10 两端网络和等效电源定理	39
一、两端网络	39
二、等效电源定理	42
*1-11 非线性电阻电路	47
一、非线性电阻概念	47
二、简单非线性电阻电路的计算	50
本章小结	51
习题	52
第二章 交流电路	

内容提要	64
2-1 正弦交流电的基本概念	64
一、正弦交流电的周期和频率	65
二、正弦交流电的相位和相位差	66
三、正弦交流电的有效值	68
2-2 正弦交流电的旋转矢量表示法	70
2-3 正弦交流电的相量表示法	74
2-4 单一参数的交流电路	79
一、纯电阻电路	80
二、纯电感电路	82
三、纯电容电路	86
2-5 RLC 串联电路	90
2-6 RLC 并联电路	97
*2-7 负载的串联和并联	100
2-8 交流电路的功率	108
2-9 功率因数的提高	112
2-10 RLC 谐振电路	115
一、串联谐振电路	115
二、并联谐振电路	120
2-11 非正弦交流电的概念	124
一、信号波形的分解和合成	125
二、非正弦周期信号的最大值、平均值和有效值	131
*三、非正弦周期信号作用下的线性电路计算	133
本章小结	138
习题	141
第三章 三相交流电路	148
内容提要	148
3-1 三相交流电源	148
3-2 对称三相电路的计算	151
一、负载的星形连接	151
二、负载的三角形连接	154
对称三相电路的计算	158

3-4 三相电路的功率	164
*3-5 交流电功率的测量	167
一、电动式瓦特表	167
二、三相功率的测量	169
本章小结	171
习题	172
第四章 电路的瞬变过程	176
内容提要	176
4-1 概述	176
4-2 瞬变过程初始值的确定(换路定律)	177
4-3 RC 电路的瞬变过程	178
一、 RC 电路与直流电压的接通	178
二、具有初始储能 RC 电路的短接	183
三、 RC 电路的时间常数	185
4-4 RC 微分电路和积分电路	188
一、 RC 微分电路	188
二、 RC 积分电路	191
4-5 RL 电路的瞬变过程	193
一、 RL 电路与直流电压的接通	193
二、具有初始储能的 RL 电路的短接	195
*4-6 电容对 RL 电路的振荡放电	197
本章小结	201
习题	202

第二篇 电动机和继电器接触控制

第五章 变压器	206
内容提要	206
5-1 磁路	206
一、磁路概念	206
二、铁磁材料的磁性能	206
三、简单磁路的分析	206
5-2 变压器的分类、基本结构和额定值	206

一、变压器的分类	215
二、变压器的基本结构	216
三、变压器的额定值	219
5-3 变压器的空载运行	220
一、空载运行的基本情况	220
二、变压器的电压变换作用	221
三、空气隙和电源电压对励磁电流大小的影响	224
四、变压器绕组的极性	225
5-4 变压器的负载运行	227
一、负载运行时的电压平衡方程式	227
二、负载运行时的磁动势平衡方程式和电流变换作用	229
三、变压器的损耗和效率	230
四、变压器的外特性	231
五、变压器的阻抗变换作用	233
△5-5 三相电压的变换	234
5-6 自耦变压器	237
△5-7 仪用互感器	239
一、电压互感器	239
二、电流互感器	240
本章小结	242
习题	243
第六章 交流电动机	246
内容提要	246
6-1 概述	246
6-2 三相异步电动机的结构	247
6-3 旋转磁场	250
6-4 三相异步电动机的工作原理	255
6-5 三相异步电动机的电磁转矩和机械特性	257
6-6 三相异步电动机的工作特性	264
6-7 异步电动机的额定值	265
6-8 异步电动机的使用	267
一、异步电动机的起动	267
二、异步电动机的反转	271

*三、异步电动机的调速·····	272
△6-9 线绕式异步电动机·····	273
6-10 单相异步电动机·····	276
*6-11 交流执行电动机·····	282
△6-12 三相同步电动机·····	286
*6-13 步进电动机·····	291
本章小结·····	294
习题·····	295
△第七章 直流电动机·····	299
内容提要·····	299
7-1 直流电动机的构造·····	299
7-2 直流电动机的工作原理·····	302
7-3 直流电动机按励磁方式的分类·····	305
7-4 并励电动机的机械特性·····	307
7-5 并励电动机的使用·····	309
一、并励电动机的起动·····	309
二、并励电动机的反转·····	311
三、并励电动机的调速·····	312
*7-6 串励电动机·····	316
本章小结·····	318
习题·····	319
第八章 电动机的继电接触控制·····	321
内容提要·····	321
8-1 常用低压电器·····	321
一、闸刀开关·····	321
二、熔断器与熔体·····	322
三、交流接触器·····	325
四、按钮·····	328
五、热继电器·····	329
六、中间继电器·····	332
七、行程开关·····	333
八、时间继电器·····	333

九、图形符号和文字符号	336
8-2 三相异步电动机的直接起动控制电路	337
8-3 直接起动的三相异步电动机的正反转控制电路	341
8-4 行程控制电路	343
8-5 两台鼠笼式电动机联锁起动的控制电路	345
一、按一定顺序联锁起动的控制电路	346
二、按一定顺序联锁自动起动的控制电路	347
*8-6 电动机的选择	348
一、电动机容量的选择	348
二、电动机种类的选择	349
三、电动机防护型式的选择	350
四、电动机的额定电压和转速的选择	352
本章小结	353
习题	354
文字符号说明	357
附录一 安全用电	361
一、电流对人体的危害	361
二、触电方式	361
三、电气设备的保护接地	362
四、电气设备的保护接零	363
附录二 谐振曲线通频带〔式(2-107)〕的推导	365
附录三 国产常用电动机的系列型号及其主要用途	367
一、大型三相交流同步电动机	367
二、大型三相异步电动机	367
三、中型三相交流异步电动机	368
四、小型三相交流异步电动机	369
五、防爆电动机	370
六、Y系列三相异步电动机	371
七、Z ₂ 系列小型直流电机	373
各章部分习题答案	376
参考书目	380
索引	381

第一篇 电路基础

第一章 直流电路

内 容 提 要

本章从电路的基本物理量及其单位出发,着重讨论电路的基本知识和基本定理,以及应用基本定理分析一般直流电路的方法。这些方法虽然在直流电路中提出,但原则上也适用于正弦交流电路及其它各种线性电路。从普遍意义来说,这些方法也是以后分析电子线路的重要基础。

1-1 电路的基本物理量

在电路中,最重要的物理现象是电荷的运动。

电荷 自然界存在的电荷分为两类:正电荷和负电荷。原子中的质子带有正电荷,电子带有负电荷。在正常情况下,电子的负电荷和质子的正电荷刚好平衡,而使物质的原子成为中性。但是,电荷是不灭的,它们只能从一个物体转移到另一个物体上,或者在一个物体内部移动。当物体中电子从一个物体跑到另一物体时,失去电子的物体则变成了带正电,得到电子的物体则带了负电。

要以准确的术语去讨论电荷和它的运动,我们需要一个统一的单位制,用来表示所有的物理量并贯穿全书,我们将采用国际单位制。在此单位制内长度用米(m),质量用千克(kg),时间用秒

(s) 和电流用安培 (A) 表示。在表 1-1 中列出了国际单位制中常用的电学量单位。

表 1-1 国际单位制中常用的电学量单位

电 学 量		单 位	
名 称	符 号	名 称	符 号
电 流	I, i	安培(安)	A
电 荷	Q, q	库仑(库)	C
电流密度	$J, j, (\delta)$	安/米 ²	A/m ²
电 压	U, u	伏特(伏)	V
电 阻	R	欧姆(欧)	Ω
电 抗	X	欧姆(欧)	Ω
阻抗(复数阻抗)	Z^*	欧姆(欧)	Ω
电 感	L	亨利(亨)	H
电 容	C	法拉(法)	F
电 导	G	西门子	S
电 纳	B	西门子	S
导纳(复数导纳)	Y	西门子	S
功 率	P, p	瓦特(瓦)	W
电 能	W	焦耳(焦)	J

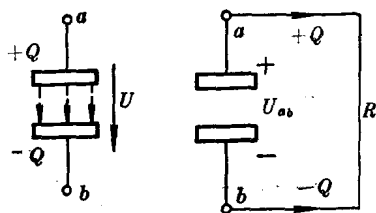
在国际单位制中, 电荷的名称用字母 Q 表示, 电荷的单位用库仑, 简称为库(见表 1-1)。

由于同性电荷之间具有排斥力, 异性电荷之间具有吸引力。将一电荷移入另一电荷所在的空间, 这一电荷就要受到另一电荷的作用力, 说明在电荷周围的空间中存在着特殊形态的物质, 这就是电场。电场与电荷有着密切的联系: 有电荷, 其周围就有电场。它表现为对移入其中的电荷产生作用力, 所以电场具有能量。

电压 设将图 1-1(a) 所示的电容器充电, 使 a 电极带正电 ($+Q$), b 电极带负电 ($-Q$), 因此, 在两电极之间产生电场, 其方向为从 a 指向 b 。

如果用导线将 a 和 b 连接起来, 如图 1-1(b) 所示, 则在电场

的作用下, 将使正电荷从 a 极沿导线移至 b 极 [实际上是负电荷(电子)从 b 极经导线移至 a 极, 因为两种电荷相反移动的作用是等效的, 因此, 以后我们按习惯只说是正电荷移动], 电场力驱使正电荷克服导线的阻力(电阻)做了功。为了表示电场做功的能力,



(a) 电荷的电场

(b) 电场做功

图 1-1 说明电压概念的图

在电学中引入了电位差这一物理量。一般来说, 电场力驱使单位正电荷从 a 点移至 b 点所做的功, 称为 a 、 b 两点之间的电位差, 也称电压, 用字母 U_{ab} 表示。电压的单位为伏特(V) (见表 1-1)。 a 、 b 两点之间的电压 U_{ab} 在数值上就等于 a 点的电位 V_a 与 b 点的电位 V_b 之差, 即

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-1)$$

因为 a 点充有正电荷, b 点充有负电荷, 所以 a 点的电位高于 b 点。电位的高低差别, 形成电压。因此, 电压是有极性的。

电压的极性常用高电位点标“+”号和低电位点标“-”号来表示 [参看图 1-1(b)], 也可以用电压 U 的下标字母 ab 标注, 例如 U_{ab} 表示 a 点电位高于 b 点, U_{ba} 表示 b 点电位高于 a 点, 因而 $U_{ab} = -U_{ba}$ 。从物理意义来说, 电压是无向量。但为了表示电压的极性方便起见, 有时候也采用电压方向的概念。电压的方向规定为从高电位点指向低电位点, 即为电位降低的方向, 并用字母 U 旁的箭头标出 [参看图 1-1(a)]。电压的实际极性可以采用以上三种方法中的任意一种来表示。

当电路内含有几个不同的元件时, 特别是电压的极性随时间交变时, 要预先确定电压的方向是比较困难的。在分析电路时常采用电压的正方向, 即在电路元件上用箭头预先将电压规定一个