

高等学校教材

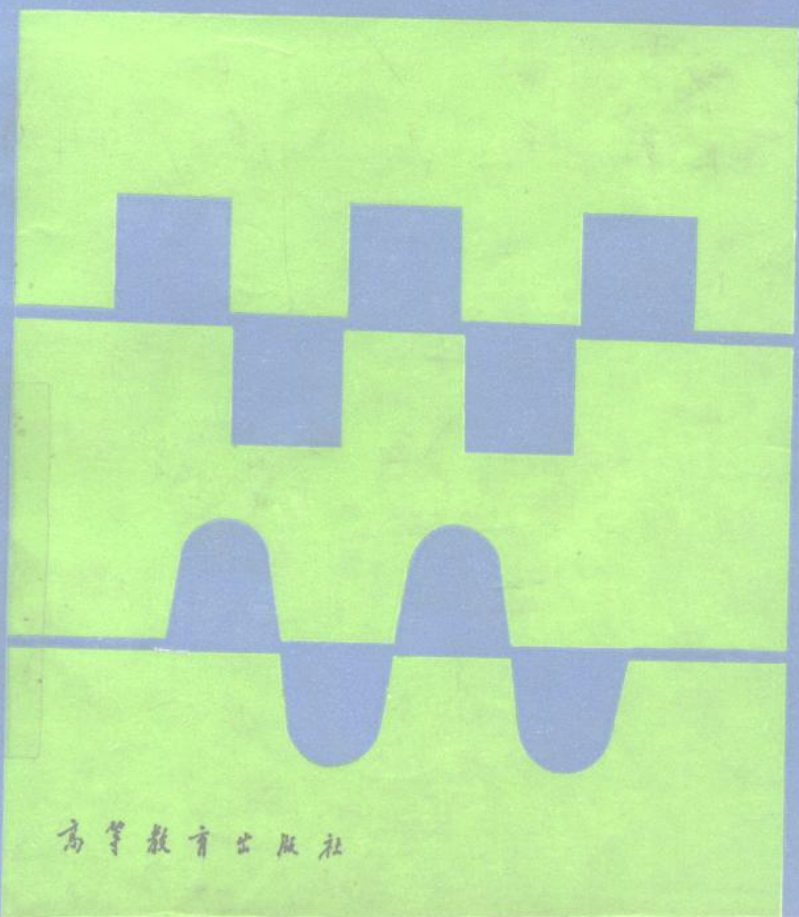
电工学 I

电工技术

(第三版)

浙江大学电工学教研室 编

罗守信 主编



高等教育出版社

7.13
3-3

高等学校教材

电 工 学 (I)

电 工 技 术

(第三版)

浙江大学电工学教研室编

罗守信 主编

高等教育出版社

(京) 112 号

内 容 简 介

本书主要内容有：直流电路、交流电路、三相交流电路、电路的瞬变过程、变压器、三相异步电动机、电动机的继电接触控制。

修订后的第三版紧扣高等工业学校电工技术(电工学 I)课程教学基本要求。份量适当，教材篇幅与学时数相适应。

教学时数为 46 ~ 55 学时。

本书可作为高等工业学校非电专业教材，也可借工程技术人员参考。

高等学校教材
电 工 学 (I)
电 工 技 术
(第 三 版)

浙江大学电学教研室编
罗宁楮 主编

高等教育出版社出版
新华书店总店科技发行所发行
高等教育出版社印刷厂印装

开本 850×1168 1/32 印张 10.75 字数 270 000

1979 年 5 月第 1 版 1993 年 10 月第 3 版 1994 年 6 月第 1 次印刷

印数 0 001—9 977

ISBN7-04-004537-0/TM·229

定价 5.05 元

第三版序言

本书第一版是根据 1977 年教育部组织制订的化工轻工类《电工学》教材编写大纲编写的，于 1979 年出版。第二版修订本是根据 1980 年教育部颁发的 120 学时电工学教学大纲修订的，于 1985 年出版。本版是根据 1987 年国家教育委员会颁发的电工技术和电子技术的教学基本要求修订的，可作为高等工业学校“电工技术”(电工学 I)和“电子技术”(电工学 II)两门课程的教材。

本书修订时采纳了许多学校使用本教材的教师，特别是主审张南教授提出的许多有益的建设性意见，按照少学时(92 ~ 110 学时)课程进行编写修订。因此，编写时根据“电工技术”和“电子技术”两门课程教学基本要求精选内容，力求贯彻“少而精”的教学原则。为了便于教学，删去了一部分非基本要求的内容，对于不同专业要求的内容、教师讲授时可以补充，或查阅电工设备和电子技术手册。

本书在电路部分，对基本概念，基本理论和基本定律力求叙述清楚，深入浅出，便于自学。根据本课程的性质和要求，在电机和继电接触控制部分，把电机作为一种器件，讨论其基本结构，工作原理，性能和使用方法，删去不常用的电机。

在模拟电子技术部分，随着半导体集成电路的发展，大量电子产品都从分立元件发展到采用集成电路的元器件。因此，这部分教材内容体系作了适当地改革。将分立元件放大电路集中一章——晶体管基本放大电路，紧接着讨论集成运算放大器及其应用，内容紧凑，减少了教材篇幅和教学时数，同时，将放大电路的负反馈放在集成运算放大器一章讨论，以加强反馈系统的

概念。并介绍用集成运算放大器组成的正弦波振荡电路和集成稳压电源等，体现了保证基础，管为路用，加强集成电路的指导思想。

为使教材反映数字电子技术的发展和应用，这部分内容也作了较大的调整，增加了异或门，三态门和集电极开路门等门电路，增加了寄存器、数/模转换器、模/数转换器和定时器，并介绍了相应的部分集成电路芯片的功能及使用方法。此外还通过一些实例，加强了对数字电路应用的介绍。

根据教学基本要求，讲授的先后次序和习题的选择，完全可由教师决定。有些内容可通过实验、电教片、习题或课外自学让学生掌握，不必逐章、逐节全部在课堂上讲授。例题和习题是作为理论的实际应用，使学生通过课后复习和练习，更好地理解 and 掌握理论，一般不必讲授。本版各章均不安排小结，而是让学生学习各章后，自己作一小结，有利于培养、锻炼学生的独立思考和独立工作的能力。

本书可供“电工技术”和“电子技术”两门课程使用，也可作为“电工学”一门课程使用，学时分配如下：

电工学 I (电工技术) 46 ~ 55 学时

电工学 II (电子技术) 46 ~ 55 学时

各章学时分配表 (供作参考)

章 次		少学时		多学时	
		讲课	实验	讲课	实验
一	直流电路	6	2	7	2
二	单相交流电路	8	2	9	4
三	三相交流电路	2	2	3	2
四	电路的瞬变过程	4	0	4	2
五	变压器	3	0	4	0
六	电动机	5	2	6	2
七	异步电动机的继电接触控制	6	2	6	2
八	晶体二极管及其应用	2	0	3	0

续表

章 次		少学时		多学时	
		讲课	实验	讲课	实验
九	晶体三极管及其基本放大电路	9	2	10	2
十	集成运算放大器及其应用	7	2	8	4
十一	正弦波振荡电路	2	2	3	2
十二	直流稳压电源与晶闸管的应用	4	2	5	2
十三	数字电路	10	4	12	4
机 动		2		2	
小 计		70	22	82	28
合 计		92		110	
说 明		打 * 号和应用 举例可不讲授			

第三版由罗守信同志主编。第一、二、三章由王志云同志执笔，第四、九章由高维宏同志执笔，第五、十三章由叶挺秀同志执笔，第八、十一、十二章由沈允刚同志执笔，第六、七、十章由罗守信同志执笔。参加本书第二版电机和继电接触控制部分编写的是张民强同志。严克宽、尚功泰两同志为本书第二版提供了习题。

本教材由华东化工学院张南教授主审，他详细地审阅了全部书稿，提出了许多宝贵意见和建议，对于提高本教材的质量起了很好的作用，我们在这里向张南老师表示衷心的感谢。

本书在编写过程中得到高等教育出版社胡淑华同志的许多帮助，并得到浙江大学、电机工程学系和电工学教研室的领导和许多同志的关心和支持，在此谨向他们致以衷心的感谢。

由于本人的学识有限，书中必然存在不妥和错误之处。希望读者和使用本教材的教师批评指正。

罗守信

于浙江大学

1992年9月

目 录

第三版序言	(1)
绪论	(1)
第一章 直流电路	(5)
内容提要	(5)
1-1 电路及电路模型	(5)
一、电路的作用与组成	(5)
二、电路模型	(6)
1-2 克希荷夫定律及其应用	(15)
一、克希荷夫电流定律(KCL)	(16)
二、克希荷夫电压定律(KVL)	(17)
1-3 电路基本分析方法	(21)
一、支路电流法	(21)
二、叠加原理	(26)
*三、节点电位法	(29)
四、电源模型及其等效互换	(32)
五、等效电源定理	(37)
1-4 非线性电阻电路	(45)
一、非线性电阻概念	(45)
二、简单非线性电阻电路的计算	(48)
习题	(49)
第二章 交流电路	(57)
内容提要	(57)
2-1 正弦交流电的基本概念	(57)
一、正弦交流电的周期和频率	(57)
二、正弦交流电的相位和相位差	(58)
三、正弦交流电的有效值	(60)
2-2 正弦交流电的相量表示法	(61)

2-3 单一参数的交流电路	(68)
一、纯电阻电路	(68)
二、纯电感电路	(70)
三、纯电容电路	(74)
2-4 交流电路的分析方法	(77)
一、 R 、 L 、 C 串联电路	(77)
二、 R 、 L 、 C 并联电路	(83)
三、交流负载的串联和并联电路	(86)
2-5 交流电路的功率及功率因数的提高	(91)
一、交流电路的功率	(91)
二、功率因数的意义及其提高	(95)
2-6 R 、 L 、 C 谐振电路	(98)
一、串联谐振电路	(98)
二、并联谐振电路	(104)
2-7 非正弦周期电流电路	(109)
一、信号波形的分解和合成	(110)
二、非正弦周期信号的最大值、平均值和有效值	(112)
* 三、非正弦周期信号作用下的线性电路计算	(115)
习题	(120)
第三章 三相交流电路	(126)
内容提要	(126)
3-1 三相交流电源	(126)
3-2 对称三相电路的计算	(129)
一、负载的星形联接	(129)
二、负载的三角形联接	(132)
*3-3 不对称三相电路的概念	(136)
3-4 三相电路的功率	(139)
*3-5 交流电功率的测量	(142)
一、电动式瓦特表	(142)
二、三相功率的测量	(144)
习题	(145)
第四章 电路的瞬变过程	(149)

内容提要	(149)
4-1 概述	(149)
4-2 换路定律和初始值的计算	(150)
一、换路定律	(150)
二、电路中电压和电流初始值的计算	(151)
4-3 一阶 RC 电路的暂态响应	(155)
一、一阶 RC 电路的零状态响应	(155)
二、一阶 RC 电路的零输入响应	(160)
三、一阶 RC 电路的全响应	(167)
4-4 RC 电路在周期性矩形脉冲激励下的响应	(173)
一、 RC 微分电路	(173)
二、 RC 耦合电路	(174)
三、 RC 积分电路	(175)
4-5 一阶 RL 电路的暂态响应	(177)
一、一阶 RL 电路的零状态响应	(177)
二、一阶 RL 电路的零输入响应	(180)
三、一阶 RL 电路的全响应	(182)
习题	(185)
第五章 变压器	(190)
内容提要	(190)
5-1 磁路	(190)
一、磁路概念	(190)
二、铁磁材料的磁性能	(191)
三、简单磁路的分析	(194)
四、交流磁路的特点	(198)
5-2 变压器的结构和工作原理	(201)
一、变压器的基本结构	(202)
二、变压器的工作原理	(204)
5-3 变压器的特性和额定值	(211)
一、变压器的外特性	(211)
二、变压器的损耗和效率	(212)
三、变压器的额定值	(213)

四、变压器绕组的极性	(215)
*5-4 自耦变压器和仪用互感器	(216)
一、自耦变压器	(216)
二、仪用互感器	(218)
习题	(220)
第六章 电动机	(223)
内容提要	(223)
6-1 三相异步电动机	(223)
一、三相异步电动机的结构和工作原理	(223)
二、三相异步电动机的电磁转矩和机械特性	(232)
三、三相异步电动机的工作特性和额定值	(237)
四、三相异步电动机的使用——起动、反转和调速	(240)
*5、绕线式异步电动机	(245)
6-2 单相异步电动机	(247)
一、单相异步电动机的工作原理	(247)
二、单相异步电动机的起动	(250)
6-3 交流执行电动机	(253)
*6-4 三相同步电动机	(255)
*6-5 直流电动机	(259)
6-6 电动机的选择	(265)
一、电动机容量的选择	(265)
二、电动机种类的选择	(266)
三、电动机防护型式的选择	(267)
四、电动机的额定电压和转速的选择	(268)
习题	(268)
第七章 电动机的继电接触控制	(271)
内容提要	(271)
7-1 常用低压电器	(271)
一、手动电器与熔断器	(271)
二、自动电器	(277)
7-2 三相异步电动机继电接触控制电路的基本环节	(281)
一、点动控制环节	(282)

二、具有自锁环节的直接起动控制电路	(283)
三、具有短路和过载保护环节的控制电路	(283)
四、具有联锁环节的正反转控制电路	(287)
7-3 三相异步电动机继电接触控制的常用基本线路	(289)
一、顺序控制电路	(290)
二、时间控制电路	(291)
三、多地点的控制电路	(294)
四、行程控制电路	(295)
* 五、电液压控制	(297)
7-4 继电接触控制线路原理图的阅读	(299)
一、阅读原理图的一般步骤	(300)
二、阅读控制线路举例	(302)
习题	(304)
文字符号说明	(307)
附录一 安全用电	(311)
一、电流对人体的危害	(311)
二、触电方式	(311)
三、电气设备的保护接地	(312)
四、电气设备的保护接零	(313)
附录二 Y 系列三相异步电动机的技术数据	(315)
参考书目	(318)
中英名词对照	(320)

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和电子技术上应用的科学。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。

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

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。

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。

对生产过程中所涉及到的一些物理量(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、本课程的性质、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,电工技术和电子技术广泛应用于现代各个工业部门中。因此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和电子技术知识,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。

为了提高教学质量和方便教学,1987年经国家教育委员会批准将原电工学分为电工技术(电工学I)和电子技术(电工学II)两门课程。各专业可以根据专业培养目标和教学计划选学其中

一门或两门课程。“电工技术”(电工学 I)和“电子技术”(电工学 II)是高等工业学校各非电专业的技术基础课,学习本课程的目的是掌握必要的电工技术和电子技术的基本理论知识,了解本专业内常用的电机、电器和主要电子器件,以及由这些器件所组成的典型环节的基本原理和应用,并受到必要的电工和电子实验技能的训练,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。

本课程的内容分为下列两部分

1. 电工技术(电工学 I)

(1) 电路基础

(2) 电机和继电接触控制

(3) 电工测量和安全用电

2. 电子技术(电工学 II)

(1) 模拟电子技术

(2) 数字电子技术

这些内容是从各非电专业工程上用电的角度考虑的。

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,并安排了电位计算、电压源、电流源、叠加原理,戴维南定理和诺顿定理,非线性电阻电路及瞬变过程等内容。

电机和继电接触控制部分:把电机作为一个元件,重点讨论最常用的异步电动机的基本结构,运行特性和使用方法。学习根据生产要求来选电动机和常用的继电接触控制电路。

常用电工和电子测量仪表的功能和正确使用,以及安全用电等将是电工和电子技术实验的部分内容之一。

模拟电子技术部分:在介绍常用电子器件的外部特性、功能和主要参数的基础上,主要讨论常用典型放大电路的基本概念和分析方法。把集成运算放大器作为元件使用,重点放在集成运算放大器的应用电路上,如运放的负反馈电路,模拟信号运

算,测量放大,有源滤波电路,电压比较器及其应用,用运放组成的正弦波振荡电路和集成稳压电源等,体现了保证基础、管为路用、加强集成电路元件应用的指导思想。

数字电子技术部分:对数字电路的器件,侧重介绍它的图形符号,逻辑功能和用途,增添了异或门。三态门,主要讨论应用逻辑代数分析组合逻辑电路、触发器的逻辑功能、寄存器的工作原理、译码显示、A/D 和 D/A 转换等,并通过数字电路应用举例,使学生对数字系统有一个完整的概念。

如上所述,各部分的内容是十分丰富的,怎样学习本课程呢?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,本课程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,学习时应密切结合理论完成一定数量的习题和作业,并在学习本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,鉴于本课程的性质,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,才能较好地把本课程学到手。

第一章 直流电路

内 容 提 要

本章在物理学的基础上进一步叙述电路的基本定律和定理，以及用于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电路的基础。

1-1 电路及电路模型

一、电路的作用与组成

某些电气装置或器件按一定方式连接起来，构成电流的通路，称为电路。例如图 1-1 为由直流发电机和灯泡组成的简单

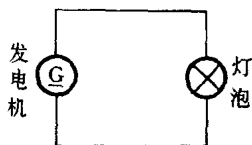


图 1-1 简单照明电路

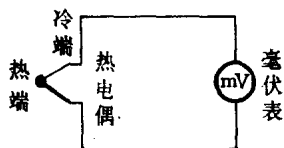


图 1-2 简单测温电路

照明电路。发电机将机械能转换为电能，是电源；它通过导线将电能输送给灯泡。灯泡接受电能并将电能转换为热能和光能，是负载。像这类电力电路的主要作用是实现电能的输送、分配和转换。图 1-2 是由热电偶和毫伏表组成的简单测温电路。热电偶的热端受热时，会在两个冷端之间产生温差电动势，它是反映热

端与冷端之间温度差这一信息的电信号，通过导线传递给毫伏表，测量出电信号。热电偶在这里将热能转换为电信号，起着信号源的作用；毫伏表将电信号转换为毫伏表的指针偏转，起着负载的作用。由于电信号的能量比较微弱，常需要配备中间环节(如电子电路)进行放大、转换和处理，才能合适地指示出结果。象这类微弱电信号的电路(包括电子电路)的主要作用，是准确地传递和处理信息。

由以上两类实际电路的例子可以看出，电路所用的电气装置的种类不同，但电路都是由电源(或信号源)、负载和连接导线三个部分组成，电路的作用也都有输送和转换电能或传递和处理信息两个方面。

二、电路模型

电路中连接的电气装置或器件，如发电机、蓄电池等实际电源元件和灯泡、电炉、电动机等实际负载元件，种类很多，形态各异，物理性质复杂，所以由实际元件画成的电路结构复杂，不便进行分析计算。为此，需要将实际电路元件理想化、模型化，即突出其主要电磁特性，忽略次要因素，用某些足以表征其主要特性的单一理想电路元件或其组合来代替。基本的理想电路元件有电阻元件、电感元件、电容元件、理想电压源和理想电流源五种，它们的电路图形符号如图1-3(a)、(b)、(c)、(d)和(e)所示。

理想电路元件的“理想”两字常可以不说，如前三种理想元件：理想电阻元件简称为电阻元件，理想电感元件简称为电感元件，理想电容元件简称为电容元件等，它们具有负载性质，各自都有单一的电路参数，分

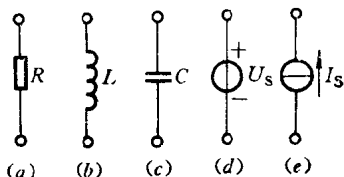


图1-3 理想电路元件

别为电阻 R 、电感 L 和电容 C 。电阻元件将电能不可逆地转换