

高等学校试用教材

电工学基本教程

孙骆生 主编

DIANGONGXUE

JIBEN

JIAOCHENG

上

高等教育出版社

内 容 提 要

本书是根据1980年6月审定的高等工业学校120学时类型“电工学教学大纲(草案)”编写的,经过电工教材编审委员会电工学教材编审小组评选,作为高校非电专业120学时类型电工学课程的基本教材。

本书分上、下册出版,上册包括直流电路、单相交流电路、三相交流电路、电路的瞬变过程、磁路和变压器、异步电动机、直流电动机和继电器控制。每章均穿插有例题、思考题,并附有小结、习题和部分习题答案。

高等学校试用教材 电工学基本教程

上 册

孙骆生 主编

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

北京新华印刷厂印装

开本 850×1168 1/32 印张11.375 字数 270,000

1984年3月第1版 1984年9月第1次印刷

印数 00,001—27,700

书号 15010·0578 定价1.80元

前 言

本书是根据1980年6月在成都召开的高等学校工科电工教材编审委员会扩大会议审订、教育部批准的高等工业学校120学时类型《电工学教学大纲(草案)》(四年制非电专业试用)编写的,经过电工教材编审委员会电工学教材编审小组评选,作为120学时类型电工学课程的基本教材。

本书分上、下两册。第一、四、五、十、十二章由北京轻工业学院孙骆生编写,第二、三章,第六、七、九、十三章,第八、十一章分别由东北工学院汤肇善、邹笃镭、裴新才编写,由孙骆生担任主编。

全书初稿经主审单位北京航空学院罗中仙、耿长柏、李郁芬三位同志审阅,并在电工学编审小组主持召开的西安评选会议上,按照1980年审订的120学时电工学教学大纲(草案)和1982年11月在南宁召开的电工学教学大纲讨论会提出的高等工业学校120学时《电工学教学大纲(草案)补充说明》的要求进行了认真的讨论,提出了修改意见,经编者修改、主编定稿后,最后由主审单位进行了复审。

参加本书审稿会的还有西安交通大学的袁旦庆、沙烽等同志。

审稿会上提出的修改意见,对于保证基本教材的质量十分宝贵,我们在此表示衷心感谢。

按照编审小组和审稿会的意见和要求,本书在编写和修改中,注意了加强基本概念、基本理论的讲解和反复运用,理论联系实际,精简次要内容,以便学生把基本内容学到手;在讲述方法上力求循序渐进,从具体到抽象,从特殊到一般,以便学生容易接受和进行自学;在体例安排上,主要章节有例题,主要段落后面有思考

题,每章有一定分量的习题,以便学生搞清基本概念,掌握所讲理论,锻炼分析解决问题的能力(供选做的难题打有*号,有的习题只给出供自我检查、校核用的部分答案)。

由于我们水平有限,书中难免存在不少缺点和错误,殷切希望读者给予批评指正。

编 者

1983年11月

目 录

绪论	1
第一章 直流电路	3
1-1 电路和电路图	4
一、电路的组成和作用	4
二、电路模型和电路图	5
1-2 简单电路的分析计算	7
一、简单电路和复杂电路	7
二、电路基本物理量的表示方法	9
三、电阻的串并联及其应用	14
1-3 电气设备的额定值和电路的几种状态	18
一、电气设备的额定值	18
二、电路的几种状态	19
1-4 电压源和电流源及其等效变换	20
一、电压源	21
二、电流源	23
三、电压源和电流源的等效变换	25
1-5 克希荷夫定律	29
一、克希荷夫电流定律	29
二、克希荷夫电压定律	31
1-6 支路电流法	35
1-7 电路中电位的计算	40
1-8 叠加原理	43
1-9 等效电源定理	47
一、戴维南定理	48
二、诺顿定理	52
本章小结	55
习题	57
第二章 单相交流电路	65
2-1 交流电的基本概念	65

一、周期电流和电压	65
二、正弦交流电及其三要素	67
三、相位差	70
2-2 交流电的有效值	72
2-3 正弦量的旋转矢量表示法	74
一、正弦量的旋转矢量表示法	75
二、用矢量法计算两个同频率正弦量之和	77
2-4 正弦量的相量表示法	80
一、用相量表示正弦量	80
二、同频率正弦量相加的相量计算法	82
2-5 单一参数的交流电路	84
一、纯电阻交流电路	84
二、纯电感交流电路	88
三、纯电容交流电路	94
2-6 电阻电感和电容串联的交流电路	101
一、 R 、 L 、 C 串联电路中电压和电流的关系	102
二、交流电路的欧姆定律和复阻抗	104
2-7 一般交流负载的功率	108
一、瞬时功率和有功功率	109
二、无功功率	110
三、视在功率和功率三角形	111
四、电路的功率守恒	112
2-8 并联交流电路和功率因数的提高	116
一、并联交流电路	116
二、提高功率因数	118
2-9 电路中的谐振	122
一、串联谐振	122
二、并联谐振	128
2-10 非正弦周期电压和电流	130
本章小结	135
习题	137
第三章 三相交流电路	144
3-1 三相交流电源	145

一、三相电动势	145
二、三相电源的星形联接	147
3-2 三相负载的星形联接	149
一、三相四线制电路	150
二、三相三线制电路	152
3-3 三相负载的三角形联接	157
一、三角形联接电路中的一般关系式	158
二、对称负载的三角形联接电路	159
3-4 不对称三相负载电路简介	161
一、三角形联接的不对称负载电路	162
二、星形联接的不对称负载电路	162
3-5 三相负载的功率	164
3-6 安全用电	166
一、触电的危险和预防	166
二、保护性接地和接零	168
本章小结	170
习题	171
第四章 电路的瞬变过程	175
4-1 瞬变过程概述和换路定律	176
4-2 电阻电容电路的瞬变过程	184
一、电容器充电过程	184
二、电容器放电过程	192
4-3 微分电路和积分电路	193
一、 RC 微分电路	194
二、 RC 积分电路	197
4-4 电阻电感电路的瞬变过程	199
一、接通直流电压源	199
二、关闭直流电流源	201
三、电感电路断路时的过电压现象和防护措施	202
4-5 一阶电路瞬变过程的一般求解方法	203
本章小结	209
习题	211
第五章 磁路和变压器	215

5-1 磁路的基本知识和基本定律	215
一、磁路和电路的对偶关系	216
二、磁路的基本定律	218
5-2 交流铁心线圈	222
一、电压和电流、磁通的关系	223
二、功率损耗和电压、电流的关系	226
5-3 变压器的基本结构	227
5-4 变压器工作原理	229
一、空载运行和电压变换	229
二、负载运行和电流变换	232
三、阻抗变换	235
四、变压器绕组的极性	236
△5-5 三相变压器	238
5-6 变压器的额定值	239
5-7 自耦变压器	240
△5-8 仪用互感器	241
本章小结	243
习题	244
第六章 异步电动机	248
6-1 三相异步电动机的结构	248
一、三相异步电动机定子的结构	248
二、三相异步电动机转子的结构	250
6-2 三相异步电动机的旋转磁场	252
6-3 异步电动机的转动原理	257
6-4 异步电动机的铭牌和技术数据	258
一、铭牌	258
二、异步电动机的技术数据	261
6-5 异步电动机的电磁转矩	265
一、电磁转矩公式	265
二、 $T \sim s$ 曲线	268
6-6 异步电动机的机械特性和运行特性	270
一、机械特性	270
二、运行特性	271

6-7 鼠笼式三相异步电动机的起动、反转和调速·····	273
一、鼠笼式三相异步电动机的起动·····	273
二、鼠笼式三相异步电动机的反转·····	276
[△] 三、鼠笼式三相异步电动机的调速·····	277
[△] 6-8 绕线式三相异步电动机·····	279
一、绕线式三相异步电动机的机械特性·····	279
二、绕线式三相异步电动机的起动·····	280
三、绕线式三相异步电动机的调速·····	283
6-9 单相异步电动机·····	284
一、电容分相式异步电动机·····	284
二、罩极式异步电动机·····	286
[△] 6-10 同步电动机·····	287
本章小结·····	288
习题·····	290
[△] 第七章 直流电动机·····	293
7-1 直流电动机的结构·····	293
7-2 直流电动机的转动原理·····	296
7-3 直流电动机的电磁转矩和电枢电动势·····	297
7-4 直流电动机的机械特性·····	300
一、直流电动机按励磁方式的分类·····	300
二、他励和并励电动机的机械特性·····	302
三、串励电动机的机械特性·····	303
7-5 直流电动机的起动、反转和调速·····	306
一、直流电动机的起动·····	306
二、直流电动机的反转·····	306
三、直流电动机的调速·····	307
7-6 电动机的选择·····	310
一、电动机种类和型式的选择·····	310
二、电动机电压和转速的选择·····	311
三、电动机容量的选择·····	311
本章小结·····	315
习题·····	316
第八章 继电器接触器控制·····	318

8-1 常用的低压控制电器·····	318
8-2 三相异步电动机的直接起动控制电路·····	331
8-3 三相异步电动机的正反转控制电路·····	335
8-4 行程控制·····	337
8-5 时间控制·····	340
8-6 顺序连锁控制·····	342
本章小结·····	345
习题·····	348

绪 论

电工学是一门主要供非电专业学生学习、掌握电工技术(包括电子技术)的技术基础课程。从上个世纪末叶以来,由于电能便于转换、传输和控制,电工技术中不论是电力还是电讯这两个方面,都已经在工农业生产、科学实验和日常生活等各个领域得到了广泛的应用,因而在生产技术上引起了划时代的革命。本世纪中叶出现了电子计算机,七十年代以来微电子技术有了飞跃的发展,大规模集成电路可以在一块几平方毫米的心片上集成几千到几十万个晶体管,这就使得计算机微型化、价格大幅度降低和智能化程度显著提高,从而日益在生产的各个部门和人们生活中得到普及应用,可以预见,这必将给生产和社会面貌带来巨大的变化。

我国正在进行社会主义现代化建设,实现这一宏伟目标,要靠党的领导,要靠科学技术的进步。因此电工技术(包括电子技术及其新成果)普遍应用于国民经济的各个部门将具有重大意义。对于非电专业的工程技术人员和科研人员,应该掌握电工学课程的基本理论、基本知识和基本技能,打好从事技术工作和科学研究工作的基础,以便为实现四个现代化多做贡献。

电工技术发展十分迅速,电工学课程的内容总在不断地更新。本书是电工学的基本教程,它是根据1980年审订的高等工业学校120学时电工学教学大纲(草案)编写的。全书包括电路、电机和控制、电子技术三部分。电路部分讲述基本电路元件的性质、电路的基本定律和分析计算方法,是整个课程的理论基础;电机和控制部分讲述常用电机、电器的基本工作原理、性能、使用方法及其控制电路,侧重外部特性,只介绍继电接触控制电路;电子技术部分讲述基本电子器件的性能和电子线路基本环节的工作原理和应用,

为了适应科学技术的发展, 这部分内容在全课程中所占比重比以前有所增加, 主要讲晶体管分立元件电路, 适当地介绍集成电路。

1980年审订的教学大纲在试行中存在着内容多而学时少的问题, 1982年电工学教学大纲讨论会根据“打好基础、精选内容、逐步更新、利于教学”的原则作了教学大纲的补充说明, 本书又按照大纲补充说明进行了修改。

电工学是一门实践性较强的技术基础课, 必须按教学大纲的要求, 开出有关的实验, 让学生通过实践获得进行电工实验和使用一般电工仪表、常用电子仪器的基本技能, 为工作中应用电工技术打好基础。

电工技术内容十分广泛, 日新月异, 电工学课程只能是非电专业工程技术人员掌握电工技术的“入门课”, 在讲授本课程时, 要十分注意培养学生的自学能力, 以便将来在工作中可以通过自学和实践增补所需要的电工技术知识。

第一章 直流电路

电在工农业生产、科学研究和日常生活等各方面的应用十分广泛，有的利用电能变换为其他能量(例如机械能)使生产设备运转，有的利用电信号进行通讯或实现自动控制。无论是输送电能还是传递电信号，一般总要构成这样或那样的电路，因此学习电工技术通常总是从掌握电路理论入手。电路基本理论是电工学课程的基础。

本章主要结合直流电路介绍一般电路(包括交流电路)所遵循的基本规律和最基本的电路分析计算方法。电路遵循的基本规律包含着相对独立的两个方面的内容，一是组成电路的各个元件的特性，二是整个电路中各个元件相互之间必须服从的关系。前者决定于元件内部遵循的电磁学定律，由元件端电压和流过元件的电流之间的数学关系来描述，在这一章只介绍直流电源和电阻元件的特性；后者遵循克希荷夫电流和电压定律，在这一章要介绍该定律的一般数学表达式、应用该定律分析计算电路的基本方法以及由该定律导出的、用以简化电路的定理。

本章在物理电学的基础上进行讨论，某些内容(例如电路的基本物理量)就不再从头论述，而侧重于介绍应用时要注意的问题(例如用参考方向结合代数量表示这些物理量的方法)，复习某些物理中有关内容时，尽量联系电工技术中的应用，并介绍某些工程上的实用知识。

1-1 电路和电路图

一、电路的组成和作用

电路指的是由一些电气设备或器件组成的，以备电流流过的通路。若工作时其中电流不随时间变化，就称为直流电路。图 1-1 所示是蓄电池对白炽灯供电的电路，蓄电池是电源，它发出电能（由化学能变换来的），白炽灯是负载，它消耗电能（变换为热能和光能）。它们由两根导线联接成闭合电路，工作时，电流（习惯上指

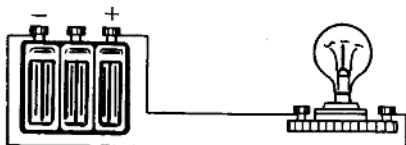
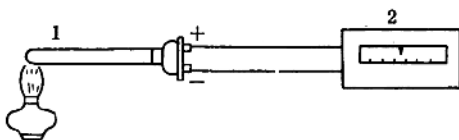


图 1-1 蓄电池对白炽灯供电电路

正电荷的流动，在导线中，实际是电子沿相反方向的流动)从电源的正极流出，经过负载，流回到电源的负极，电流的方向固定，数值基本不变。这类电路的作用主要是以较高的效率传输电能和分配电能（有多个负载时）。图 1-2 所示是用热电偶测量温度的电路，



1. 热电偶 2. 毫伏表

图 1-2 热电偶测温电路

左边的热电偶虽然能将热能变换为电能，但数量很微小，不能作为电源，而所生温差电动势可以作为反映热端温度的信号，因此是一种信号源，右边的毫伏电压表是接受信号的负载，它能指示温差电

动势,从而间接指示热电偶所测量的温度,这类电路的作用主要是尽可能准确地传递信号和处理信号(例如数字式测温仪还要有电子电路将微弱信号放大并转换成数字信号进行显示)。

上面是两个实际电路的举例,随着电工技术的发展,电路的形式和功能是多种多样的,有的还十分复杂,但总的来说,它们具有下述共同点:

(1) 电路的组成一般包括电源(或信号源)、负载和联接导线三个部分。

(2) 电路的作用主要有传输和变换电能与传递和处理电信号两个方面。

因此,我们可以利用上述比较简单的电路来说明一般电路的具有普遍意义的问题。实际使用的电路中,还有开关设备和保护装置,在分析电路工作原理时,一般都不作专门讨论。

二、电路模型和电路图

上述实际电路的示意图画出了组成该电路的电气设备和器件(或称电路部件)的实物。在电力和电讯工程上,通常按国家统一规定的各种电气设备和器件的符号绘制电路图。例如:图 1-1 电路可以用图 1-3(a)电路图表示,左边为蓄电池,右边为白炽灯;图 1-2 电路可以用图 1-3(b)电路图表示,左边为热电偶,右边为毫伏表。

在电路理论上,为了表征电路部件的主要物理性质,以便进行

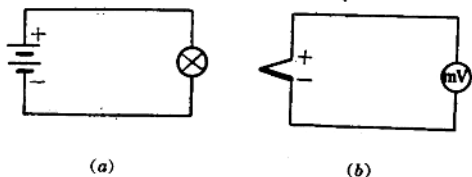
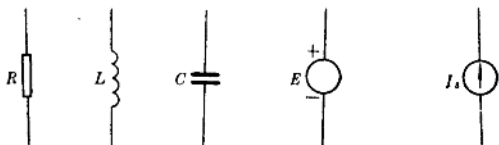


图 1-3 用电路部件符号绘制的电路图

定量分析，通常将电路部件的实体用它的模型来代替。电路部件的模型由一些具有单一物理性质的理想电路元件构成。基本理想电路元件有五种，即：电阻元件、电感元件、电容元件、理想电压源和理想电流源，在电路图中，它们分别用图 1-4(a)、(b)、(c)、(d)、(e)所示符号表示。



(a) 电阻 (b) 电感 (c) 电容 (d) 理想电压源 (e) 理想电流源

图 1-4 理想电路元件

前三种理想电路元件中，电阻元件消耗电能(变换为热能、光能)，电感元件以磁场形式储存能量，电容元件以电场形式储存能量。它们的性质可分别用称作电路参数的物理量来表示，电阻元件遵循欧姆定律，其端电压和流过的电流是正比关系，比例常数 R (称作电阻)就是表示这种元件物理性质的电路参数。电感和电容元件的性质及其参数电感 L 和电容 C 的含义将在第二章“单相交流电路”中讨论，应当指出，实际的电路元件同理想电路元件有区别，例如在高频时，一个实际的电阻器，除具有电阻的作用外，还具有电感的作用。上述白炽灯主要起耗能作用，它的模型可以只由电阻元件构成。

后两种理想电路元件中，理想电压源和电流源是分别能够提供一定电压和电流，而无内部电能损耗的理想化电源，直流电压源内部有恒定的电动势 E ，直流电流源内部有恒定的电激流 I_s 。上述蓄电池内部既有由化学作用形成的电动势，又在供电时有较小的能耗，它的模型可以由理想电压源和代表内阻的电阻元件串联构成。在供给电能的电力电路中，实际电源在内阻很小时，性质接

近理想电压源, 而性质接近理想电流源的主要是个别的信号源。

按照用模型代替实体的原则, 各种实际电路都可以近似地看作是由理想电路元件组成的理想化的电路, 这就是所谓的电路模型, 我们可以通过分析电路模型来揭示实际电路的性能。在讨论电路问题时, 所画电路图一般都是电路模型图, 也叫原理电路图。例如图 1-3 的两个电路, 在联接导线比较短, 其线路电阻可以忽略不计时, 分别用图 1-5 的两个电路图表示, (a) 图中 E 和 R_0 为蓄电

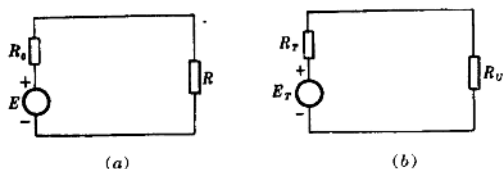


图 1-5 用理想电路元件绘出的电路图

池的电动势和内阻, R 为白炽灯的电阻, (b) 图中 E_T 和 R_T 为热电偶的温差电动势和内阻, R_V 为毫伏表的内阻。两个电路形式相同, 因此具有某些相同的性质, 但它们的电动势、电阻和电流的数量级差别很大, 所以作用并不相同。由于习惯, 在直流电路中, 有时也用电池符号表示只有电动势没有内阻的理想电压源。用理想电路元件绘出的电路图中, 联接导线代表理想导体, 不计算电阻。

1-2 简单电路的分析计算

为了便于讨论电工技术中的电路问题, 有些基本知识须要先说明一下, 物理学中关于电路的理论也须要结合例题复习一下, 并联系到实际应用上去, 这些内容可以结合简单电路的分析计算进行讲解。

一、简单电路和复杂电路

前面电路举例比较简单, 实际工作中所遇到的电路往往要复