



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电工技术(电工学 I)

(第三版)

■ 天津大学电工学教研室 编

■ 姚海彬 贾贵玺 主编



高等教育出版社
Higher Education Press



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电工技术(电工学 I)

(第三版)

■ 天津大学电工学教研室 编

■ 姚海彬 贾贵玺 主编



高等教育出版社
Higher Education Press

内容简介

《电工技术》(电工学 I)(第三版)是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。本书根据课程教育部教学指导委员会最新制定的“电工学”教学基本要求(草案),在前两版的基础上修订、编写的。根据各非电行业的需要,本书对传统电工技术的内容进行了调整和拓宽,突出概念、突出应用、突出新技术、新产品。本书内容简明、语言流畅、通俗易懂。本书例题、思考题、习题丰富,每章后有小结,书后有部分习题答案。本书还配套出版了学习辅导与习题解答和多媒体教学课件(PPT 版本),便于教学使用。

本书可以作为高等学校工科非电类专业本科生、专科生及职业继续教育的教材或参考书,也可供有关工程技术人员学习使用。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术. 电工学. I. / 姚海杉, 贾贵玺主编; 天津大学
电工学教研室编. —3 版. —北京: 高等教育出版社,
2008. 11

ISBN 978-7-04-024962-0

I. 电… II. ①姚…②贾…③天… III. 电工学-高等学
校-教材 IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 149530 号

策划编辑 金春英 责任编辑 曲文利 封面设计 于文燕 责任绘图 杜晓丹
版式设计 陆瑞红 责任校对 杨凤玲 责任印制 朱学忠

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 人民教育出版社印刷厂

开 本 787×960 1/16
印 张 23.25
字 数 430 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 1999 年 9 月第 1 版
2008 年 11 月第 3 版
印 次 2008 年 11 月第 1 次印刷
定 价 26.70 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 24962-00

第三版前言

.....

《电工技术》(电工学 I)第一版、第二版是面向 21 世纪课程和教育部电工电子学科“九五”、“十五”规划教材,本教材是以教育部教学指导委员会最新制定的“电工学”教学基本要求(草案)的精神为依据进行编写的。

本教材自第一版于 1999 年出版至今已近十年,在国内多所高校使用,得到很多同行老师的关心和支持,给我们的教材提出了很多宝贵的意见和建议。在这期间我国科学技术水平日新月异,高等教育事业也在蓬勃发展,对高等教育的教材不断提出新的要求。这些都促使我们对本教材继续修改。

本次修改在总结本教材使用情况、保持教材原有特色的基础上,重点进行了如下修改:

1. 随着科学技术的发展,有针对性地及时反映现代电工技术的新技术、新成果。增加了“异步电动机矢量控制”、“永磁同步电动机与无刷直流电动机”和“旋转变压器”的内容,修改了“可编程控制器及其应用”的内容。

2. 对教材中某些地方进行了适当的精简,如“复导纳”内容;删去了汉英名词对照。

3. 修订了各章思考题与习题。

本教材由姚海彬、贾贵玺任主编,其中第 1~4 章由王月芹编写、第 5~7 章及第 12 章由刘艳莉编写、第 8~11 章和附录由贾贵玺编写,全书由贾贵玺最后审阅定稿。

为了便于教学,还编写出版了与本教材(第三版)配套使用的学习辅导与习题解答,包括各章节的教学要求和教学重点、全部习题答案和解题过程。本教材还配套出版了多媒体教学课件(PPT 版本)。以上配套教材均由高等教育出版社出版。

本教材(第三版)由清华大学王鸿明教授主审,王鸿明教授对书稿进行了十

分仔细的审阅,提出了许多中肯的修改意见,在此,我们表示由衷的感谢。

本教材难免存在不妥和错误之处,恳请使用本教材的教师、学生和读者提出批评和改进意见

编 者

2008年6月

第二版前言

.....

《电工技术》(电工学 I)是面向 21 世纪课程教材和教育部电工电子学科“九五”规划教材,于 1999 年由高等教育出版社出版,至今已有四年。在这四年中,我国的科学技术水平迅速提高,高等教育蓬勃发展,对高等教育的教材提出新的要求,在教育部电工学课程指导小组和高等教育出版社的大力支持下,编者对第一版教材进行了修改。

本教材以教育部 1995 年颁发的《高等学校工科本科电工技术(电工学 I)课程教学基本要求》和 2003 年《电工技术(电工学 I)课程教学基本要求》修订稿的精神为依据进行改编,在保持第一版原有特点(重点保证“三基”,足够大的信息量,突出电工技术的应用知识和技能,便于教与学等)的基础上,重点进行了如下修改:

1. 随着科技的发展,及时反映现代电工技术的新成果、新技术,加强了“变频调速、可编程控制器”的内容,并将“可编程控制器及其应用”作为独立的一章重新编写。

2. 适当增加信息量,注重实际应用,增加了变压器同极性端的内容,强调了安全用电的内容。

3. 对教材中的某些内容进行了适当的精简,如复杂交流电路的分析、磁路部分内容等。

4. 重新修改和补充了各章、节的概述、思考题和小结。

5. 为适用高等教育各层次的教学要求,加大了各章的习题量,增加了选择题。

本教材由姚海彬任主编,王月芹、贾贵玺任副主编,参加修改工作的有贾贵玺、刘艳莉、王月芹,其中第 1~4 章由王月芹执笔、第 5~7 章和第 12 章由刘艳莉执笔、第 8~11 章和附录部分由贾贵玺执笔,全书由贾贵玺最后审阅定稿。

为了便于教学,使学生更好地掌握本课程的教学基本要求,编写了与本教材(第二版)配套使用的《学习辅导与习题全解》,包括各章节的教学要求和教学重点,全部习题的详细解答过程和答案。为适应多媒体教学需要,本教材还配备了多媒体教学软件,由刘艳莉编写。以上配套教材均由高等教育出版社出版。

本教材在修改过程中,得到天津大学现代电工电子中心电工学教研室全体教师的支持和帮助,他们提出了许多中肯的修改建议,在此谨向他们表示真诚的谢意。

本教材(第二版)由北京工商大学孙骆生教授主审,孙骆生教授对书稿进行了十分仔细的审阅,提出许多宝贵的修改意见。在此,作者对孙骆生教授表示衷心地感谢。但由于我们水平和能力有限,修改后的第二版教材难免还会有不足或错误之处,敬请读者批评指正。

编 者

2003 年 10 月于天津大学

第一版前言

.....

本教材是天津大学电工学教研室在近几年开展的高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革研究的基础上,以教育部(原国家教委)颁发的《高等学校工科本科电工技术(电工学 I)课程教学基本要求》为依据编写的。参考学时为 55~70 学时。

本教材注意处理更新和继承的关系,注重电工技术的基础性、应用性和先进性,以电路、磁路的基本概念、基本理论和基本分析方法为重点,以这些理论、方法和技术应用为主导,融入电工领域的新技术、新成果,以增强教材的活力和生命力。

我们本着少而精的原则,对“三基”即电路基本理论、基本知识和基本技能方面的内容力求定义准确,概念清楚,阐述简明,省略对一些定理的推导和证明,突出其应用。同时注意将电路理论、分析方法等向其他学科延伸和渗透,为学生今后学习相关的后续课程和自身发展打下一定的理论基础。

本教材具有强电、弱电兼顾,起点高,信息量大的特点。教材开头从电路模型、电路—网络—系统的概念入手,再由整体到局部,由表及里逐次展开,介绍结构约束、元件约束及分析电路的方法。教材中还编入了一些带“*”的内容,如受控源、频率特性、直流电机、同步电机等,作为延伸和拓宽的选讲内容,以适应各种类型及不同层次的院校使用。删去选讲内容不影响教学和全书的连贯性。

新技术、新成果反映了现代科学技术的发展水平。本教材在电动机一章引入了三相异步电动机的软起动法和变频调速技术;在电气控制一章引入了可编程控制器(PLC),并作为必讲内容,使学生领略和掌握现代化技术和控制手段,激发他们的进取精神。

为便于教与学,本教材的各章开头有概述,后面有小结,另外还配有多种类型的例题、练习与思考和习题。例题多为联系实际、巩固知识、开拓思路的题目,

可不讲或少讲,学生可自学。练习与思考题是教师根据多年的教学经验,总结学生容易出现的模糊概念和作题中的问题,并参考许多优秀教材编选的。习题大致分为三个层次:基本题、较难题和综合题。基本题着重于对基本概念、基本理论和基本分析方法的练习和掌握;较难题需要灵活运用概念和方法才能得出结论;综合题则需要将知识融会贯通、综合运用。不同层次的题目可使学生收到不同的效果。

本教材由四部分组成,共 11 章。第一部分为电路理论,包括第 1~6 章;第二部分为磁路、电机和电气控制,包括第 7~9 章;第三、四部分为电工测量和安全用电,分别为第 10 章和第 11 章。书后有附录、汉英名词对照及部分习题答案。

本教材与刘全忠主编的《电子技术》(电工学 II)均由天津大学电工学教研室编写,作为电工学的一套教材,在章节安排和内容取舍上都作了仔细的协调。本教材由姚海彬教授主编,王月芹任副主编。第 1~4 章由王月芹执笔,第 5~7 及 10 章由刘艳莉执笔,第 8、9、11 章由贾贵玺执笔。

本教材由清华大学宗孔德教授、北京轻工业学院孙骆生教授主审。两位教授对书稿进行了详细的审阅,并提出了许多宝贵的意见和建议,在此谨向他们表示衷心的感谢。在教材编写过程中,高等教育出版社电工电子室的同志们给予了极大的关心和支持,我们向他们表示真诚的谢意和感激。

由于我们水平有限,书中难免存在疏漏和错误之处,恳祈使用本书的教师和读者不吝指正,意见请寄天津大学电工学教研室。邮编:300072。

编 者

1999 年 5 月于天津大学

目 录

.....

第 1 章 电路的基本概念和基本定律	1
§ 1.1 电路与电路模型	1
§ 1.2 电压、电流及其参考方向	4
§ 1.3 电路的功和功率	7
§ 1.4 基尔霍夫定律	9
§ 1.5 无源电路元件	11
§ 1.6 有源电路元件	17
*§ 1.7 受控源	22
§ 1.8 电路的基本状态和电气设备的额定值	23
本章小结	26
习题	27
第 2 章 电路的分析方法	35
§ 2.1 支路电流法	35
§ 2.2 叠加定理	39
§ 2.3 网络的化简	42
§ 2.4 戴维宁及诺顿等效网络定理	46
*§ 2.5 结点电压法	50
*§ 2.6 含受控源电路的分析	51
§ 2.7 非线性电阻电路	54
本章小结	57
习题	58

第3章 正弦交流电路	68
§ 3.1 正弦量的基本概念	68
§ 3.2 正弦量的相量表示法	72
§ 3.3 元件约束和结构约束的相量形式	76
§ 3.4 复阻抗	83
§ 3.5 正弦交流电路分析举例	86
§ 3.6 正弦交流电路的功率	91
§ 3.7 功率因数的提高	96
§ 3.8 电路的谐振	99
* § 3.9 频率特性	104
本章小结	109
习题	111
第4章 三相正弦交流电路	121
§ 4.1 三相正弦交流电源	121
§ 4.2 负载的连接	124
§ 4.3 三相电路分析	125
§ 4.4 三相电路的功率	128
本章小结	130
习题	130
第5章 非正弦周期信号电路	133
§ 5.1 周期信号的傅里叶级数	133
§ 5.2 非正弦周期信号的平均值、有效值和非正弦周期信号电路的 平均功率	137
§ 5.3 非正弦周期信号电路的谐波分析法	139
本章小结	142
习题	143
第6章 电路的暂态分析	147
§ 6.1 概述	147
§ 6.2 换路定理及初始值的确定	148
§ 6.3 一阶电路的零输入响应	153
§ 6.4 一阶电路的零状态响应	158
§ 6.5 一阶电路的全响应和三要素法	161

* § 6.6 一阶电路的脉冲响应	166
本章小结	169
习题	170
第7章 磁路和变压器	178
§ 7.1 磁路的基本物理量和基本性质	178
§ 7.2 铁磁材料	179
§ 7.3 磁路的概念及磁路的基本定律	182
§ 7.4 直流磁路计算	186
§ 7.5 交流磁路与交流铁心线圈	188
§ 7.6 电磁铁	192
§ 7.7 变压器	194
本章小结	206
习题	207
第8章 电动机	212
§ 8.1 三相异步电动机的结构	212
§ 8.2 三相异步电动机的工作原理	215
§ 8.3 三相异步电动机的电磁转矩和机械特性	218
§ 8.4 三相异步电动机的运行特性和额定值	223
§ 8.5 三相异步电动机的起动、反转、制动和调速	227
§ 8.6 单相异步电动机	236
* § 8.7 三相同步电动机	239
* § 8.8 直流电动机	241
* § 8.9 永磁同步电动机与无刷直流电动机	246
* § 8.10 电动机的选择	248
* § 8.11 微特电机	252
本章小结	258
习题	259
第9章 电气控制	262
§ 9.1 低压控制电器	262
§ 9.2 继电-接触器控制系统	271
本章小结	277
习题	277

第 10 章 可编程控制器及其应用	279
§ 10.1 PLC 的基本结构与性能指标	280
§ 10.2 PLC 的工作原理	286
§ 10.3 PLC 的程序设计方法及应用举例	287
本章小结	298
习题	298
第 11 章 安全用电	302
§ 11.1 概述	302
§ 11.2 触电形式	303
§ 11.3 触电急救与防护措施	305
§ 11.4 保护接地和保护接零	305
§ 11.5 静电的危害及防护	309
§ 11.6 雷电防护	310
本章小结	312
习题	312
第 12 章 电工测量	313
§ 12.1 概述	313
§ 12.2 电工仪表的分类	314
§ 12.3 测量误差及分类	314
§ 12.4 仪表的准确度	315
§ 12.5 模拟直读式仪表	316
§ 12.6 电流、电压和功率的测量	322
§ 12.7 电阻测量和万用表	325
§ 12.8 比较式仪表	328
§ 12.9 非电量的电测法	330
§ 12.10 智能化仪表	333
§ 12.11 仪表的选择	334
本章小结	335
习题	336
附录 国外部分公司 PLC 产品性能简介	338
部分习题答案	347
参考书目	355

第 1 章 电路的基本概念和基本定律

.....

本章从电路模型入手,介绍组成电路的各种电路元件及其伏安特性,阐述了电路理论中的基本定律——基尔霍夫定律。对描述电路的基本物理量——电流、电压和电位等进行了复习并讨论了电压、电流的参考方向问题。

最后对电路的各种工作状态作了简单分析,并对电气设备的额定值作了简要说明。

§ 1.1 电路与电路模型

一、电路的组成

通俗地讲,电路即电流的通路。它是为了一定的目的,将一些电气设备或器件按照一定的方式连接组成的。组成电路的电气设备或器件称为电路元件。

电路中产生电能的元件称为电源,在电源内部局外力将非电能(机械能、化学能、原子能等)转换为电能。电路中吸收电能并将电能转变为既定的非电能或电信号(电压、电流)的元件称为负载。连接电源和负载的导线,称为中间环节,其作用是传输电能和电信号。中间环节中还常接有开关等一些装置和设备,以实现电路的控制、测量和保护。

二、电路的功能和分类

根据电路连接的目的和功能,电路可分为力能电路和信号电路两大类。

以传输和分配电能,并将电能转换为非电能为目的的电路称为力能电路。例如电力系统,发电机产生的电能通过输电线输送到各用户,供给动力、电热、电

解、电镀和照明用电。力能电路中电压高,电流和功率大,俗称“强电”系统。一台大型发电机的功率可达几十万千瓦,电力网传输电压高达数百千伏,一台大型电动机的功率可达几千千瓦。因此,对强电系统要求电路中的各部分功率损耗要小,电能传输和转换的效率要高。

以传递和处理信号为目的的电路称为信号电路。一般的信号电路相对于力能电路来说功率和电流都小,电压低,例如电话机的功率只有几毫瓦,一台大型扩音机的功率只有几千瓦。因此,信号电路俗称“弱电”系统。收音机电路就是典型的信号电路。对弱电系统则要求传递信号不失真和输出的信号强。

有些信号电路与力能电路在结构上并无区别,例如指挥交通的信号灯电路与照明电路结构相同,但目的和功能迥异。

三、电路模型

实际电路元件都是一个物理实体,它们在工作过程中所表现出的电磁性能和能量转换过程往往比较复杂,这将给电路分析带来许多困难。比如一个电感线圈,在电源频率不高的情况下,不仅具有很强的磁场,而且放出热能;在频率较高时,还存在较强电场。因此为了便于电路分析,常将实际电路元件用具有某一性能的理想电路元件或它们的组合表示,并称为电路元件的模型。

理想电路元件(以下简称电路元件)分为两大类:有源元件和无源元件。基本有源元件有电压源和电流源,它们反映了电路的能源形式和对电路的作用[见图 1.1.1,图(a)为电压源,图(b)为电流源];基本无源元件有电阻元件 R [见图 1.1.1(c)]、电感元件 L [见图 1.1.1(d)]和电容元件 C [见图 1.1.1(e)],分别反映将电能转变成其他某一种形式能量的性能。

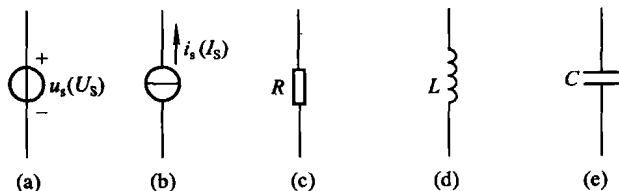


图 1.1.1

由电路元件模型组成的电路称为电路模型。图 1.1.2 为一最简单的电路模型。 U_s 为给负载供电的电压源, R 为电阻元件,其功能是将电能转换为热能,它可能是一只白炽灯,也可能是一只电熨斗或其他任何一个耗电设备。

根据电磁学和电路的基本定律、定理,对电路模型可通过数学方法或解析法进行分析,并总结出各种电路的功能。另外,其分析方法和原理对处理有关力学、热学和流体力学方面的问题也具有借鉴作用。

本教材电路分析中所涉及的电路都是电路模型。

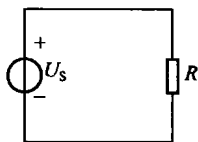


图 1.1.2

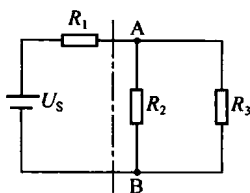


图 1.1.3

四、网络 and 系统

电路中各元件之间根据要求有着特定的连接关系,如串联、并联等。电路中三个或三个以上元件的公共连接点称为“结点”^①;在两个结点之间,由一个元件或几个元件串联构成的一段无分支电路,称为支路。显然,同一条支路中各元件流过同一个电流。

在图 1.1.3 所示电路中,有 A、B 两个结点,三条支路。电源 U_s 与 R_1 串联构成一条支路, R_2 、 R_3 各为一条支路,三条支路连接在 A、B 两结点间。其中 U_s 与 R_1 串联支路含有有源元件,称为有源支路,而 R_2 、 R_3 支路不含有源元件,则为无源支路。

由一条或多条支路组成的闭合路径称为回路。只有一个闭合回路的电路是最简单的电路,称为单回路电路,单回路电路中各元件都是串联的,如图 1.1.2 电路。除组成回路本身的支路外,内部不包含其他支路的回路称为网孔。图 1.1.3 电路中有三个回路, U_s 、 R_1 支路与 R_2 支路组成的回路, R_2 、 R_3 支路组成的回路和 U_s 、 R_1 与 R_3 组成的回路;其中前两个为网孔。后面回路中因中间包含 R_2 支路不能称为网孔。可见,凡是网孔均属回路,而回路不一定是网孔。

现代工程中,按支路和结点连接的结构称为网络。在电工领域内电路与网络无明确区别,但习惯上常将比较复杂的电路称为网络。若网络内各元件都是无源元件,称为无源网络,含有源元件的网络则为有源(含源)网络。如图 1.1.3 中,虚线左边部分为有源网络;右边部分为无源网络。

一个网络还可以和其他网络(或元件)连接构成更大的网络,网络的连接端称为端钮。根据网络端钮的个数,网络可分为二端网络、三端网络、四端网络等,图 1.1.4(a),(b)分别为二端网络、四端网络框图。

如果网络中由一个端钮流出的电流为另一端钮流入的电流,那么这两个端钮构成一个端口。因此,图 1.1.4(a)所示的二端网络又称为一端口网络;图(b)所示的四端网络又称为二端口网络或双口网络。

^① 现代电路对“结点”有新定义,认为两个元件的连接点即为“结点”。

系统是由一些元件或部件为了完成某一特定功能按照一定方式或规律组合起来的整体。例如,图 1.1.5 所示的单极交流放大器是由晶体管、电阻、电容等元件组成的,可完成放大电压信号的任务,可以称为一个系统;而它又是组成收音机电路的一个小小的基本电路,收音机电路则为一个更大的系统。可见,一个电系统,可以是一个较简单的电路,也可能是由若干个简单电路连接成的复杂电路。

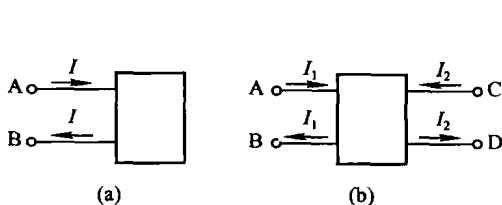


图 1.1.4

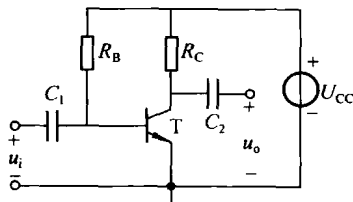


图 1.1.5

[练习与思考]

1. 电路由哪几部分组成? 各在电路中起什么作用?
2. 何为结点、支路、回路、网孔? 图 1.1.6 所示电路中有几个结点、几条支路、几个回路和几个网孔?

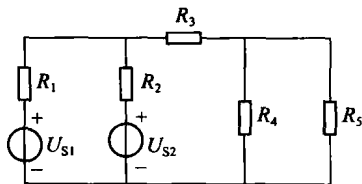


图 1.1.6

§ 1.2 电压、电流及其参考方向

电压、电流等是描述电路中能量转换关系或信号传递和处理的基本物理量。在分析电路前要弄清它们的概念及其参考方向问题。

一、电流

电荷的定向运动形成电流。习惯上把正电荷运动的方向规定为电流的方向。

物理中把单位时间内通过导体横截面的电荷量定义为电流。因此,“电流”不仅指电路中的一种特定物理现象,而且是描述电路的一个基本物理量。