



国家电工电子教学基地系列教材

电工技术

Electric Technique

◎ 林红 主编

◎ 杨凡 杨桦 张宇 罗云高 编写



清华大学出版社
<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>



北方交通大学出版社
<http://press.njtu.edu.cn>



国家电工电子教学基地系列教材

电 工 技 术

林红 主编

杨凡 杨桦 张宇 罗云高 编写

清华大学出版社
北方交通大学出版社

·北京·

内 容 简 介

电工技术的主要内容有:电路的基本概念及基本定律、电路的分析方法、电路的暂态分析、单相正弦交流电路、三相电路、非正弦周期电压和电流的分析、磁路与变压器、三相异步电动机、直流电动机、其他电机、继电—接触器控制系统、可编程控制器及应用和电工测量共 13 章。每章后有小结、习题(或思考题),并附有部分习题答案。

本书可作为高等学校非电类专业和成人高等教育各专业电工技术课程的教材。教学学时为 40~60。本书也可供工程技术人员自学和参考。

版权所有,翻印必究。

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术/林红主编;杨凡,杨桦,张宇,罗云高编写. —北京:北方交通大学出版社,2003.8
(国家电工电子教学基地系列教材)

ISBN 7-81082-142-3

I. 电… II. 林… III. 电工技术—高等学校—教材 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 034994 号

责任编辑:闫 聪

印 刷 者:北京东光印刷厂

出版发行:北方交通大学出版社 邮编:100044 电话:010-51686045,62237564

清 华 大 学 出 版 社 邮编:100084

经 销:各地新华书店

开 本:787×960 1/16 印张:19.5 字数:430 千字

版 次:2003 年 8 月第 1 版 2003 年 8 月第 1 次印刷

印 数:5000 册 定价:26.00 元

国家电工电子教学基地系列教材 编审委员会成员名单

主 任 谈振辉

副主任 张思东 赵尔沅 孙雨耕

委 员 (以姓氏笔画为序)

王化深 卢先河 刘京南 朱定华 沈嗣昌

严国萍 杜普选 李金平 李哲英 张有根

张传生 陈后金 邹家驷 郑光信 屈 波

侯建军 贾怀义 徐国治 徐佩霞 廖桂生

薛 质 戴瑜兴

总 序

当今信息科学技术日新月异,以通信技术为代表的电子信息类专业知识更新尤为迅猛。培养具有国际竞争能力的高水平的信息技术人才,促进我国信息产业发展和国家信息化水平的提高,都对电子信息类专业创新人才的培养、课程体系的改革、课程内容的更新提出了富有时代特色的要求。近年来,国家电工电子教学基地对电子信息类专业的技术基础课程群进行了改革与实践,探索了各课程的认知规律,确定了科学的教育思想,理顺了课程体系,更新了课程内容,融合了现代教学方法,取得了良好的效果。为总结和推广这些改革成果,在借鉴国内外同类有影响教材的基础上,决定出版一套以电子信息类专业的技术基础课程为基础的“国家电工电子教学基地系列教材”。

本系列教材具有以下特色:

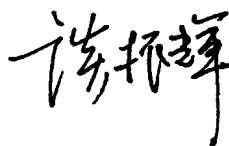
- 在教育思想上,符合学生的认知规律,使教材不仅是教学内容的载体,也是思维方法和认知过程的载体。
- 在体系上,建立了较完整的课程体系,突出了各课程内在联系及课群内各课程的相互关系,体现微观与宏观、局部与整体的辩证统一。
- 在内容上,体现现代与经典、数字与模拟、软件与硬件的辩证关系,反映当今信息科学与技术的新概念和新理论,内容阐述深入浅出,详略得当。增加工程性习题、设计性习题和综合性习题,培养学生分析问题和解决问题的素质与能力。
- 在辅助工具上,注重计算机软件工具的运用,使学生从单纯的习题计算转移到基本概念、基本原理和基本方法的理解和应用,提高了学习效率和效果。

本系列教材包括:

《基础电路分析》、《现代电路分析》、《模拟集成电路基础》、《信号与系统》、《电子测量技术》、《微机原理与接口技术》、《电路基础实验》、《电子电路实验及仿真》、《数字实验一体化教程》、《数字信号处理综合设计实验》、《电路基本理论》、《现代电子线路》(含上、下册)、《电工技术》。

本系列教材的编写和出版得到了教育部高等教育司的指导、北方交通大学教务处及电子与信息工程学院的支持,在教育思想、课程体系、教学内容、教学方法等方面获得了国内同行们的帮助,在此表示衷心的感谢。

北方交通大学
“国家电工电子教学基地系列教材”
编审委员会主任

A handwritten signature in black ink, reading '陈振军' (Chen Zhenjun), written in a cursive style.

2003 年 8 月

前 言

这本书是按全国电工学课程指导委员会修订的“高等学校电工学课程教学基本要求”而编写的。电工学课程分为电工技术和电子技术两门课程。

随着现代科学技术的迅猛发展,特别是由于微电子技术、电子计算机技术的快速发展,电工技术日益渗透至各个学科领域并占有日趋重要的地位。本课程已成为许多专业开设的一门技术基础课程。由于课程面向全国各类高校,学校各有特点,专业各有不同,为适应不同需要,我们组织了几个学校多年从事本课程教学的教师,在总结多年教学实践的基础上,编写了本教材。

本课程的主要任务是为学生学习专业课程和从事技术工作奠定电工技术的理论基础,并使他们受到这方面基本技能的必要训练。为此,对传统的内容作了精选和更新,对基本理论、基本概念、基本定律及基本方法作了尽可能详细的阐述,并对每章内容作了全面地总结。通过实例、例题和习题说明理论的实际应用,以加深学生对理论的掌握和理解。此外,增加了一些新的内容,使学生了解目前应用较为广泛或带有方向性的最新技术。

注意到不同层次学生的需要,本书的实际内容超过教学学时数。电路的基本物理量、欧姆定律、电路的参数、磁场的基本物理量及铁磁物质的磁性能等已在普通物理课程中讲过的内容,仍列入本书中,以便教师在讲授时根据专业需要、学时多少和学生实际水平来取舍。本书可作为高等学校机械、管理、投资、经济、化工、建筑、应用数学等本科或自动化、电子、计算机应用等专科电工技术课程的教材。

本书在编写过程中得到有关专家和教师的指导和帮助,在此表示衷心地感谢。

参加本书编写工作的人员有:林红(第1、2、3、4、11章),杨凡(第8、10章),杨桦(第12、13章),张宇(第5、6、7章),罗云高(第9章),由林红定稿并担任主编。全书由华中科技大学林士杰教授主审。

由于编者水平所限,书中难免疏漏,恳请各位读者批评指正。

编 者

2003年6月

主要符号表

符号	意 义	单 位	符号	意 义	单 位
B	磁感应强度	T	I_{st}	起动电流	A
	电纳	S	i	交流电流瞬时值	A, mA, μ A
B_0	真空磁感应强度	T	k	匝比	无量纲
B_m	磁感应强度最大值	T	L	电感	H, mH, μ H
B_r	剩磁	T	m	步进电机的相数	无量纲
C	电容	F, μ F, pF	N_1	变压器原边匝数	无量纲
E	直流电动势	mV, V, kV	N_2	变压器副边匝数	无量纲
	交流电动势有效值	mV, V, kV	n	转子转速	r/min
$\dot{E}$	正弦交流电动势有效值相量	mV, V, kV	n_N	额定转速	r/min
e	交流电动势瞬时值	mV, V, kV	n_1	同步转速	r/min
F	磁动势	A	P	平均功率(有功功率)	W, kW
	电磁力	N	P_1	(电机)输入功率	W, kW
f	频率	Hz	P_2	(电机)输出功率	W, kW
f_0	谐振频率	Hz	p	瞬时功率	W, kW
G	电导	S		电机的磁极对数	无量纲
H	磁场强度	A/m	P_N	额定功率	W, kW
H_C	矫顽力	A/m	Q	电荷量	C
I	直流电流	A, mA, μ A		无功功率	var
	交流电流有效值	A, mA, μ A		品质因数	无量纲
$\dot{I}$	正弦交流电流有效值相量	A, mA, μ A	q	电荷量瞬时值	C
I_1	定子电流	A	R	电阻	Ω , k Ω , M Ω
	变压器原边电流	A	R_0	(仪表)表头内阻	Ω , k Ω , M Ω
I_2	转子电流	A	R_2	转子电阻	Ω , k Ω , M Ω
	变压器副边电流	A	R_s	电枢绕组电阻	Ω , k Ω , M Ω
I_a	电枢电流	A	R_f	励磁绕组电阻	Ω , k Ω , M Ω
I_f	励磁电流	A, mA	R_L	负载电阻	Ω , k Ω , M Ω
I_m	交流电流最大值	A, mA, μ A	R_s	电源内阻	Ω , k Ω , M Ω
I_N	额定电流	A, mA, μ A	R_{st}	起动电阻	Ω , k Ω , M Ω

续表

符号	意 义	单 位	符号	意 义	单 位
r	动态电阻	$\Omega, k\Omega, M\Omega$	u	交流电压瞬时值	mV, V, kV
R_m	磁阻	$1/H$	V	电路某点电位值	mV, V, kV
S	视在功率	VA	v	速度	m/s
	复功率	VA	W	能	$J, kW \cdot h$
	磁路截面积	mm^2	X	电抗	$\Omega, k\Omega$
s	转差率	无量纲	X_C	容抗	$\Omega, k\Omega$
T	周期	s	X_L	感抗	$\Omega, k\Omega$
	电磁转矩	$N \cdot m$	η	效率	无量纲
T_0	空载转矩	$N \cdot m$	λ	过载系数	无量纲
T_L	负载转矩	$N \cdot m$	μ	磁导率	H/m
T_{st}	启动转矩	$N \cdot m$		电压放大系数	无量纲
U	直流电压	mV, V, kV	μ_0	空气磁导率	H/m
	交流电压有效值	mV, V, kV	ρ	电阻率	$(\Omega \cdot mm^2)_m$
$\dot{U}$	正弦交流电压有效值相量	mV, V, kV	Φ	磁通	Wb
U_1	定子电压	mV, V, kV	Φ_m	磁通最大值	Wb
	变压器原边电压	mV, V, kV	Φ_σ	漏磁通	Wb
U_2	变压器副边电压	mV, V, kV	φ	相位差	$(^\circ), rad$
U_L	线电压有效值	mV, V, kV	ψ	初相位	$(^\circ), rad$
U_m	交流电压最大值	mV, V, kV	ω	角频率	rad/s
U_N	额定电压	mV, V, kV	ω_0	谐振频率	rad/s
U_p	相电压有效值	mV, V, kV			

目 录

主要符号表	(1)
第 1 章 电路的基本概念及基本定律	(1)
1.1 电路组成与电路模型	(1)
1.2 电路的基本物理量及参考方向	(2)
1.2.1 电流	(2)
1.2.2 电动势	(2)
1.2.3 电压	(3)
1.2.4 电位	(4)
1.2.5 电功率	(6)
1.3 电路的工作状态	(7)
1.3.1 有载状态	(7)
1.3.2 开路	(8)
1.3.3 短路	(8)
1.4 电路的理想元件	(9)
1.4.1 电阻元件	(9)
1.4.2 电感元件	(9)
1.4.3 电容元件	(11)
1.4.4 理想电压源	(12)
1.4.5 理想电流源	(13)
1.4.6 受控源	(15)
1.5 基尔霍夫定律	(16)
1.5.1 基尔霍夫电流定律	(16)
1.5.2 基尔霍夫电压定律	(17)
小结	(18)
习题	(20)

第2章 电路的分析方法	(24)
2.1 电路的等效概念	(24)
2.1.1 电阻的串联	(24)
2.1.2 电阻的并联	(25)
2.2 电压源与电流源的等效变换	(26)
2.3 支路电流法	(28)
2.4 节点电压法	(30)
2.4.1 具有一个节点电压的电路	(30)
2.4.2 具有两个节点电压的电路	(31)
2.5 叠加原理	(33)
2.6 戴维南定理与诺顿定理	(35)
2.6.1 戴维南定理	(35)
2.6.2 诺顿定理	(37)
2.7 非线性电阻元件的电路分析	(38)
小结	(39)
习题	(40)
第3章 线性电路的暂态响应	(44)
3.1 换路定则与电路初始条件的确定	(44)
3.2 一阶电路的暂态响应	(47)
3.2.1 零输入响应	(47)
3.2.2 零状态响应	(51)
3.2.3 全响应	(52)
3.3 一阶线性电路暂态分析的三要素法	(54)
3.4 RC 电路对矩形脉冲波形的响应	(58)
3.4.1 微分电路	(58)
3.4.2 积分电路	(59)
3.5 RLC 电路的零输入响应	(60)
小结	(63)
习题	(64)
第4章 正弦交流电路	(70)
4.1 正弦交流电路的基本概念	(70)
4.1.1 正弦交流电的三要素	(70)
4.1.2 正弦交流电的参考方向	(74)

4.2 正弦交流电的相量表示方法	(74)
4.2.1 相量图法	(75)
4.2.2 相量式法	(76)
4.3 电阻元件的正弦交流电路	(79)
4.3.1 电流与电压的关系	(79)
4.3.2 电压、电流与功率的关系	(80)
4.4 电感元件的正弦交流电路	(81)
4.4.1 电流与电压的关系	(81)
4.4.2 电压、电流与功率的关系	(82)
4.5 电容元件的正弦交流电路	(83)
4.5.1 电流与电压的关系	(83)
4.5.2 电压、电流与功率的关系	(84)
4.6 RLC 元件串联电路	(86)
4.6.1 电压与电流的关系	(86)
4.6.2 电压三角形与阻抗三角形	(87)
4.6.3 电路的性质	(87)
4.7 复阻抗的串联与并联	(91)
4.7.1 复阻抗的串联	(91)
4.7.2 复阻抗的并联	(92)
4.8 复杂交流电路的分析与计算	(96)
4.9 正弦交流电路的功率与功率因数的提高	(98)
4.9.1 功率的计算与功率三角形	(98)
4.9.2 功率因数的提高	(103)
4.10 电路中的谐振	(105)
4.10.1 串联谐振	(106)
4.10.2 并联谐振	(108)
小结	(110)
习题	(112)
 第 5 章 三相电路	 (118)
5.1 三相电源	(118)
5.1.1 三相对称电动势	(118)
5.1.2 三相电源的星形连接	(119)
5.2 三相负载的星形连接电路	(121)
5.2.1 三相四线制电路	(122)

5.2.2 三相三线制电路	(124)
5.3 三相负载的三角形连接电路	(125)
5.3.1 负载不对称三角形连接电路	(125)
5.3.2 负载对称三角形连接电路	(127)
5.4 三相电路的功率	(127)
5.5 安全用电	(131)
5.5.1 电流对人体的危害	(131)
5.5.2 触电方式	(132)
5.5.3 保护措施	(132)
小结	(133)
习题	(134)
 第6章 非正弦周期电压和电流的分析	(136)
6.1 非正弦周期量的分解	(136)
6.2 非正弦周期量的有效值	(139)
小结	(140)
习题	(140)
 第7章 磁路与变压器	(142)
7.1 磁路的基本物理量	(142)
7.1.1 磁路的基本概念	(142)
7.1.2 磁感应强度	(142)
7.1.3 磁通	(143)
7.1.4 磁场强度	(143)
7.1.5 磁导率	(144)
7.2 磁性材料的基本特性	(144)
7.2.1 高导磁性	(144)
7.2.2 磁饱和性	(145)
7.2.3 磁滞性	(146)
7.3 磁路的基本定律	(147)
7.3.1 磁路的欧姆定律	(147)
7.3.2 磁路的基尔霍夫磁通定律	(148)
7.4 交流铁心线圈电路	(150)
7.4.1 电磁关系	(150)
7.4.2 电压电流关系	(151)

7.4.3 功率损耗	(152)
7.4.4 等效电路	(152)
7.5 变压器	(154)
7.5.1 变压器的基本结构	(154)
7.5.2 变压器的工作原理	(155)
7.5.3 变压器的外特性	(159)
7.5.4 变压器的损耗与效率	(160)
7.5.5 变压器的绕组极性	(161)
7.5.6 特殊变压器	(162)
7.6 电磁铁	(164)
7.6.1 直流电磁铁	(164)
7.6.2 交流电磁铁	(165)
小结	(166)
习题	(167)
第 8 章 三相异步电动机	(169)
8.1 三相异步电动机的基本结构	(169)
8.1.1 三相异步电动机的结构	(169)
8.1.2 异步电动机的铭牌	(171)
8.2 三相异步电动机的工作原理	(173)
8.2.1 旋转磁场	(173)
8.2.2 电动机的转动原理	(175)
8.2.3 转差率	(176)
8.3 三相异步电动机的电路分析	(176)
8.3.1 定子与转子绕组的感应电动势	(176)
8.3.2 异步电动机定子与转子电路	(177)
8.4 三相异步电动机的电磁转矩与机械特性	(178)
8.4.1 电磁转矩	(178)
8.4.2 机械特性曲线	(181)
8.5 三相异步电动机的起动	(183)
8.5.1 直接起动	(183)
8.5.2 降压起动	(184)
8.5.3 绕线式异步电动机的起动	(186)
8.6 三相异步电动机的调速	(187)
8.6.1 变频调速	(187)

8.6.2 变极调速	(188)
8.6.3 变转差率调速	(188)
8.7 三相异步电动机的制动	(189)
8.7.1 反接制动	(189)
8.7.2 能耗制动	(190)
8.8 三相异步电动机选择的一般原则	(190)
8.8.1 类型的选择	(190)
8.8.2 电压与转速的选择	(191)
8.8.3 容量的选择	(191)
小结	(191)
习题	(192)
第9章 直流电动机	(194)
9.1 直流电动机的结构	(194)
9.1.1 直流电动机的定子部分	(194)
9.1.2 直流电动机的电枢部分	(195)
9.1.3 直流电动机铭牌数据	(195)
9.2 直流电动机的工作原理	(196)
9.3 并励电动机的机械特性	(198)
9.4 并励电动机的起动与反转	(200)
9.4.1 并励电动机的起动	(200)
9.4.2 直流电动机的反向	(201)
9.5 并励电动机的调速	(201)
9.5.1 电枢串联电阻调速	(201)
9.5.2 变压调速	(201)
9.5.3 改变励磁磁通调速	(202)
小结	(202)
习题	(203)
第10章 其他电机	(204)
10.1 单相异步电动机	(204)
10.1.1 单相异步电动机的基本结构	(204)
10.1.2 单相异步电动机的基本原理	(204)
10.2 伺服电动机	(207)
10.2.1 交流伺服电动机	(207)

10.2.2 直流伺服电动机	(208)
10.3 步进电动机	(209)
10.3.1 结构特点	(209)
10.3.2 工作原理	(209)
10.4 测速发电机	(211)
10.4.1 交流测速发电机	(211)
10.4.2 直流测速发电机	(212)
10.5 自整角机	(212)
小结	(213)
习题	(214)
 第 11 章 继电 - 接触器控制线路	(215)
11.1 常用控制电器与保护电器	(215)
11.1.1 开关电器	(215)
11.1.2 交流接触器	(217)
11.1.3 继电器	(218)
11.1.4 保护电器	(219)
11.2 基本继电 - 接触器控制线路	(222)
11.2.1 单向直接起动控制	(222)
11.2.2 正反转控制	(224)
11.2.3 连锁控制	(226)
11.2.4 时间控制	(227)
11.2.5 行程控制	(228)
小结	(229)
习题	(229)
 第 12 章 可编程控制器及应用	(232)
12.1 可编程控制器的结构和工作原理	(232)
12.1.1 可编程控制器的结构和各部分的作用	(232)
12.1.2 可编程控制器的工作原理	(234)
12.1.3 可编程控制器的主要技术性能	(236)
12.1.4 可编程控制器的主要功能和特点	(237)
12.2 可编程控制器的程序编制	(238)
12.2.1 可编程控制器的编程语言	(238)
12.2.2 可编程控制器的编程原则	(241)

12.2.3 可编程控制器的常用指令	(244)
12.3 可编程控制器的程序设计举例	(255)
小结	(260)
习题	(261)
第 13 章 电工测量	(267)
13.1 电工测量仪表的分类	(267)
13.2 电工测量仪表的形式	(271)
13.2.1 磁电式仪表	(271)
13.2.2 电磁式仪表	(272)
13.2.3 电动式仪表	(274)
13.3 电流的测量	(275)
13.4 电压的测量	(276)
13.5 万用表	(277)
13.5.1 直流电流的测量	(278)
13.5.2 直流电压的测量	(278)
13.5.3 交流电压的测量	(279)
13.5.4 电阻的测量	(279)
13.6 功率的测量	(280)
13.6.1 单相交流和直流功率的测量	(280)
13.6.2 三相功率的测量	(281)
13.7 兆欧表	(283)
13.8 用电桥测量电阻、电感与电容	(284)
13.8.1 直流电桥	(284)
13.8.2 交流电桥	(284)
小结	(286)
习题	(286)
部分习题参考答案	(287)
参考文献	(292)