



全国高等师范专科学校教材

电 工 学

秦光戎 张孝菊 王九山 编

王九山 主编

高等教育出版社

全国高等师范专科学校教材

电 工 学

秦光戎 张孝莉 王九山 编

王九山 主编

高等教育出版社

(京)112 号

内 容 提 要

本书是根据 1989 年国家教育委员会颁布的师范专科学校《电工学及实验教学大纲》结合秦光戎、张孝菊、王九山多年《电工学》教学经验编写而成。

全书共八章、九个实验,八章包括:正弦交流电路、复杂交流电路、电工仪表、变压器、异步电动机、直流电机、同步电机、低压配电和安全用电;实验包括:照明电路的安装及功率因数的提高、三相负载的联接及其功率的测量、变压器实验、三相异步电动机的使用、三相异步电动机的继电—接触控制、直流电动机、同步发电机特性测试及并网运行、单相异步电动机法、低压电力开关箱的安装。

每章前有内容提要,章后有小结、思考题、习题,书后有参考答案。

本书可作为师范专科学校物理专业《电工学》教材,也可以作为师范院校、教育学院等物理专业《电工学》教材。

全国高等师范专科学校教材

电 工 学

秦光戎 张孝菊 王九山 编

王九山 主编

*

高等教育出版社出版

新华书店总店北京科技发行所发行

商务印书馆上海印刷厂印装

*

开本 850×1165 1/32 印张 15.875 字数 384 000

1992 年 4 月第 1 版 1998 年 5 月第 1 次印刷

印数 00,001—4,069

ISBN 7-04-003799-8/TM·202

定价 5.70 元

文字符号说明

一、基本符号

B	电纳, 磁感强度
b	宽度
C	电容
C_e	电机结构系数
C_M	电机转矩系数
D	直径
D	二极管, 绕组线端
$\dot{E}$	电动势相量
E	电动势有效值, 直流电动势
e	交流电动势
$\dot{F}$	磁动势相量
F	磁动势有效值, 力
f	频率
G	电导
G	发电机
g	电导
I	直流电流, 交流电流有效值
$\dot{i}$	电流相量
i	交流电流
j	电流密度
k	比例系数, 变压比, 变流比
L	自感系数
l	长度
M	互感系数, 电磁转矩
m	相数
N	匝数
N	磁极
n	每分钟转速

P 有功功率, 磁极对数
 p 瞬时功率
 Q 无功功率
 q 每极每相槽数
 R, r 电阻
 S 视在功率, 面积
 s 转差率
 T 周期
 t 时间
 $\dot{U}$ 电压相量
 U 直流电压, 交流电压有效值
 u 交流电压
 v 线速度
 X 电抗
 Y 导纳
 Z 阻抗
 α, β 偏转角
 η 效率
 θ 相位角
 τ 极矩
 φ 相位
 ϕ 交变磁通
 $\dot{\phi}$ 磁通相量
 Φ 磁通有效值
 ψ 磁链
 ω 角频率

二、下标字符

A, a 电枢
 av 平均
 c, cr 临界
 d 短路
 F, f 励磁
 G 发电机

L 负载
l 漏感, 线
M 电磁, 电动机, 最大值
max, m 最大值
N 额定值
O(o) 谐振, 输出
r 剩磁
S(s) 启动, 源
T, t 调节
0 空载, 初始
 φ 相

常用电工系统图形符号表

编号	名 称	图形符号	文字符号
1	照明灯		EL
2	励磁绕组		EXW
3	避雷器		F
4	同步发电机		GS
5	异步发电机		GA
6	蓄电池		GB
7	指示灯		HL

续表

编号	名 称	图形符号	文字符号
8	电 磁 继 电 器	线圈的一般符号	KA
		电流线圈	
		电压线圈	
		过电流继电器线圈	
		欠电压继电器线圈	
		常开触点	
		常闭触点	
9	交 流 接 触 器	线圈的一般符号	KM
		常开触点	
		常闭触点	
10	热继电器	发热元件	KH
		热继电器动断触点	

续表

编号	名 称	图形符号	文字符号	
11	三相异步电动机		M	
12	断路器		QF	
13	开 关	隔离开关		QS
		行程开关		QA
		单极开关	或	Q, S
		多极开关	或	
14	按 钮	起动按钮		SB
		停止按钮		
15	自耦变压器		SCOT	
16	电动机启动器		ST	
17	变压器		Tr	
18	插头和插座		X	

前 言

本书是根据国家教育委员会师范司 1989 年颁布的师范专科学校物理专业《电工学及实验教学大纲》编写的。根据教材和教学的系统性以及许多师范专科学校电工学课程实际教学情况,在“复杂交流电路”之前编写了“单相交流电路”,各校可按实际情况取舍。

考虑到师范专科学校教学上的特点,本书编写时,力求内容由浅入深、图文配合、顺通易懂;对基本概念和规律作了比较详尽的阐述,对教学中的重点和难点作了较细致的分析。按大纲精神,本书加强了实践性部分,变压器、电机、电测仪表和低压配电等,在深入浅出阐述原理的基础上,强调了它们的特性、选择和使用。

为了培养学生分析问题和解决问题的能力,书中除有典型例题外,每章末附有数量较多的思考题和习题。每章前有内容提要,章后有小结。

为了对某些问题作进一步讨论以及扩大知识面和加强动手能力,有些内容注“*”号或用小字排印,讲授时可略去而不影响整个教学过程。

本书是按大纲精神,结合秦光戎、张孝菊、王九山分别在北京师范大学物理系、贵州师范大学物理系和廊坊师范专科学校物理系长期从事电工学教学的经验编写而成。王九山任主编,石家庄师范专科学校物理系于振国主审。北京理工大学沈士锐教授审阅了变压器一章的初稿,贵州工学院毛正明副教授审阅了第一章初稿,都提出了宝贵意见。

全书共八章、九个实验。第一、三章,第二章网络部分和实验七、九由张孝菊执笔。第四章 1~5 节、第五章 1~9 节和第八章由秦光戎执笔。第六、七章和第二章的三相交流电路、第四章的 6、7

节、第五章的 10、11 节由王九山执笔。实验一、二、三、四、五、六、八由李蓉执笔。第一、二章习题和思考题由但永昌编写，张琳绘制了全书大部分插图，李兰秀绘制了部分插图。

由于作者水平有限，书中难免会出现错误和缺点，欢迎读者批评指正。

编者

1989.11.29.

绪 言

随着生产力的发展,电磁理论的研究及电工技术的应用都获得了不断的进步。19世纪中叶法拉第电磁感应定律及楞次定律奠定了机械能与电能相互转换的理论基础。1834年出现了第一台电动机。1867年发明了自激式发电机。1876年人们创造了变压器。相继出现了发电站以及三相供电系统,使电力工业飞速发展并且日益壮大。现在世界各国的电力工业都成了国民经济的重要组成部分。电不仅是工业、农业所需的强大动力,而且是各行各业不可缺少的资源。就是日常生活中人们也离不开电。

自19世纪后期开始应用交流电至今不过一百年左右,但交流电的应用已占全世界用电量的99%以上。交流电得以广泛应用的主要原因是它具有以下优越性:

1. 便于转换:用交流发电机可以很经济地把热能、水能、原子能等转换为电能;利用交流电动机可以把电能大量地变换为机械能,作为工农业生产中的动力,还可以把电能转换为热能、光能、化学能等,就是直流电现在绝大多数也是经过整流由交流电变换而得。

2. 便于输送:利用升压变压器可以把交流电从发电站经济地输送到远离能源基地的工业中心;利用降压变压器可以方便地把电能分配给各用户。

3. 便于控制:按用户需求可以调节发电机输出的功率;按生产特点可以控制电动机的运行状态。电能还易于实现远程控制及自动化。

“电工学及实验”这门课是师范专科学校物理专业的技术基础课,它包括了电路原理、电机电器及电工实验三部分。电路原理主要介绍正弦交流电路基本概念、基本定律及复杂电路的分析计算

方法；电机电器主要介绍发电机、电动机及变压器的结构、工作原理、运行特性及使用常识；实验部分主要是验证所学过的理论知识及使用电气设备与进行电器安装的技术训练。本课程不仅为后续课程打下理论基础，更重要的是提高中学物理教师的教学能力及指导学生科技活动的能力。希望大家努力学好这门功课，在实际工作中发挥更大作用。

目 录

绪言

第一章 正弦交流电路	1
§ 1-1 正弦交流电的基本概念	1
1.1 有效值	1
1.2 频率与角频率	3
1.3 初相位	4
1.4 相位差	5
§ 1-2 正弦量的相量表示	6
2.1 正弦量的相量表示法	6
2.2 同频率正弦量的叠加	7
2.3 相量图	8
2.4 相量计算法则	9
§ 1-3 基尔霍夫定律的相量形式	10
3.1 正方向	10
3.2 基尔霍夫定律的相量形式	11
§ 1-4 单一参数电路	12
4.1 纯电阻电路	12
4.2 纯电感电路	14
4.3 纯电容电路	17
§ 1-5 复阻抗、复导纳及简单交流电路计算	19
5.1 复阻抗	19
5.2 复导纳	20
5.3 简单交流电路的计算	23
§ 1-6 正弦交流电路的功率	26
6.1 瞬时功率	26
6.2 有功功率与无功功率	27
6.3 纯电阻电路的功率	28
6.4 纯电感电路的功率	29
6.5 纯电容电路的功率	30
§ 1-7 提高功率因数	34
§ 1-8 谐振电路	37

8.1 串联谐振	37
8.2 并联谐振	44
附录Ⅰ 复数计算	47
小结	49
思考题	50
习题	52
第二章 复杂交流电路	58
§ 2-1 电压源、电流源的等效变换	58
§ 2-2 节点电压法	62
§ 2-3 回路电流法	65
*§ 2-4 叠加原理	68
§ 2-5 等效电源定理	72
*§ 2-6 三端阻抗网络的等效变换	75
§ 2-7 三相交流电动势的产生及特点	79
7.1 概述	79
7.2 三相交流电动势的产生	80
7.3 三相交流电动势的特点	82
§ 2-8 三相电源的星形接法和三角形接法	83
8.1 星形接法	83
8.2 三角形接法	85
§ 2-9 三相负载的星形接法和三角形接法	87
9.1 三相负载的星形接法	87
9.2 三相负载的三角形接法	94
§ 2-10 三相交流电路的功率及其测量	96
10.1 三相交流电路的功率	96
10.2 三相电功率的测量	101
小结	103
习题	105
第三章 电工仪表	111
§ 3-1 概述	111
1.1 电工仪表的分类	111
1.2 仪表的表面符号	111
1.3 电工仪表的准确度	113
1.4 仪表的基本结构	114

§ 3-2 电磁系仪表	115
§ 3-3 电动系仪表	117
§ 3-4 感应系仪表	120
§ 3-5 流比计	125
5.1 流比计的结构及工作原理	125
5.2 兆欧表	126
小结	128
思考题	128
第四章 变压器	130
§ 4-1 变压器的功用、分类和基本结构	130
1.1 变压器的功用及分类	130
1.2 变压器的基本结构	132
§ 4-2 变压器的空载运行	135
2.1 空载变压器	135
2.2 电压平衡方程	139
2.3 主磁通与 I_0 铁损	142
2.4 空载相量图	143
2.5 激磁阻抗 空载等效电路	143
§ 4-3 变压器的负载运行	147
3.1 原、副边电压平衡方程 电压变换关系	147
3.2 磁通势平衡方程 电流变换关系	152
3.3 变压器有载运行相量图	153
3.4 变压器有载运行时的等效电路	156
3.5 变压器的阻抗变换关系	158
*3.6 理想变压器	159
§ 4-4 变压器的外特性 电压变动率 损耗和效率 变压器的 空载试验和短路试验	164
4.1 变压器的外特性 电压变动率	164
4.2 变压器的损耗与效率	165
4.3 变压器的空载试验	167
4.4 变压器的短路试验	168
§ 4-5 三相变压器 铭牌	170
5.1 变压器绕组的同极性端	170
5.2 三相变压器	171
5.3 三相变压器绕组的联接	173

5.4	三相变压器的铭牌	174
5.5	三相变压器技术数据举例	177
§ 4-6	其他变压器	177
6.1	自耦变压器	177
6.2	仪用互感器	184
6.3	电焊变压器	186
§ 4-7	小型变压器设计计算	191
小结		196
思考题		197
习题		199
第五章	异步电动机	203
§ 5-1	三相异步电动机的构造	203
§ 5-2	定子三相绕组的旋转磁场 异步电动机工作原理	206
2.1	定子三相绕组的旋转磁场	206
2.2	多极电动机 同步转速	209
2.3	旋转磁场的转向	212
2.4	异步电动机转子的转动原理	215
2.5	转差率	215
§ 5-3	异步电动机电路的简单分析	217
3.1	分析方法	217
3.2	定子电路方程	218
3.3	旋转磁场在转子绕组中产生的感应电动势	222
3.4	转子电路方程	223
§ 5-4	三相异步电动机的能量转换 功率和效率	225
4.1	三相异步电动机的能量转换	225
*4.2	异步电动机与变压器的比较	227
4.3	三相异步电动机的功率和效率	229
§ 5-5	三相异步电动机的转矩特性与机械特性	230
5.1	电磁转矩	230
5.2	转矩特性 启动转矩 额定转矩 过载能力	232
5.3	转矩曲线与其他因素的关系及应用	235
5.4	异步电动机的机械特性	237
§ 5-6	三相异步电动机的铭牌 启动和调速	238
6.1	三相异步电动机的铭牌	238
6.2	三相异步电动机的启动	241