

第二版

电工技术与电子技术

上册

王鸿明 编著

宗孔德 审

清华大学出版社

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

ND12101

电工技术与电子技术

(上册)第二版

王鸿明 编著
宗孔德 审

清华大学出版社

(京)新登字 158 号

内 容 简 介

本书是根据高等工科大学电工学课程教学指导小组 1993 年审定的《电工技术》、《电子技术》课程教学基本要求编写的。分为上、下两册,上册是《电工技术》,内容有电路分析、交流铁心线圈与变压器、电动机、继电器—接触器控制和可编程序控制器(PLC)等内容;下册是《电子技术》,内容有模拟电子、数字电子、电力电子、仪表及测量、电工电子仪器等内容。

本书凝聚了作者在清华大学多年从事电工学教学的丰富经验。本书寓教于学,文字叙述详细,概念阐述清楚,便于自学。本书在内容上强、弱电并重,除满足教学基本要求外还适当地增加了一些拓宽知识的内容,适用的专业面广,能满足现代电工学教学的需要。

本书可作为高等工科院校非电类专业本科生、专科生学习电工技术、电子技术的教材或参考书,也可作为非电类工程技术人员了解有关电工知识的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术与电子技术 上册/王鸿明编著. —2 版. —北京:清华大学出版社,1999

ISBN 7-302-03420-6

I. 电… I. 王… III. ①电工技术②电子技术 N. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 07792 号

出版者: 清华大学出版社(北京清华大学学研楼,邮编 100084)

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

印刷者: 北京丰华印刷厂

发行者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 850×1168 1/32 **印张:** 18.25 **字数:** 474 千字

版 次: 1999 年 7 月第 2 版 2000 年 1 月第 2 次印刷

书 号: ISBN 7-302-03420-6/TM·30

印 数: 52001~60000

定 价: 20.00 元

第二版前言

《电工技术与电子技术》上册(第一版)于1990年出版,至今已有八年,在这八年里,我们国家的科学技术工作有了新进展,取得了新成绩,相应地,对基础课教学提出了新的要求。为了能够适应当前电工学教学的新需求,在清华大学出版社的支持下,作者对第一版进行了修订。

第二版的《电工技术与电子技术》的内容满足工科电工学课程教学指导委员会1993年所制定的教学基本要求,新版与第一版相比,内容的变动与调整如下:

(1) 将三相交流电路独立辟为一章(第4章),并将安全用电常识的内容也移至这一章。

(2) 将原来分散于变压器内容中的有关铁磁材料的物理特性、交直流磁路分析等内容集中成为交流铁心线圈电路,与变压器合并为第6章。

(3) 为了适应现代电工学教学的需要和满足教学基本规定的规定,第二版增加了可编程序控制器(PLC)的内容,即本书第9章。在这一章内打*号的内容供多学时选用。

(4) 由于可编程控制器是数字电子装置,为了使读者在还未学习数字电子知识的情况下能较容易地理解和掌握第9章的知识,故将继电器—接触器控制(第8章)重新进行了改写,增加了逻辑函数的知识,以便使读者在学习完继电器—接触器控制之后,能较顺利地过渡到学习可编程序控制器(PLC)。

(5) 为了适应目前电工学课程讲课学时减少的趋势,作者对《电工技术与电子技术》上册(第一版)的各章均重新进行了修订,叙述更加简明扼要,内容安排更加合理。

(6) 对第一版各章的习题进行了修改和补充,增加了习题数量,以便于读者选择。

本书对第一版的内容做了大量的修改与变动,目的是使本教材能更适合当前电工学教学的需要,但由于作者知识与能力所限,修改后的第二版一定还会存在不足之处,希望读者批评指正。

本书第二版的修订工作仍得到宗孔德教授的支持,他仔细阅读了全部书稿、提出了修改意见,这些意见对提高本书的质量起着有益作用,作者对宗孔德教授表示衷心地感谢。

作 者

1998年5月

前 言

本教材是根据高等工科学学校电工学课程指导小组审定的电工技术、电子技术课程教学基本要求编写的。教材分为上、下册。上册是电工技术,内容包括直流电路、正弦电流电路、三相电路、非正弦周期电流电路、过渡过程、变压器、电动机、继电器—接触器控制以及安全用电等。下册是电子技术,内容包括半导体二极管及应用,三极管、三极管基本放大电路、反馈放大电路、功率放大电路、稳压电源,集成运算放大电路,数字集成电子电路,晶闸管应用电路,电工、电子测量等。

本教材在编写过程中除了注意满足基本要求外,还根据编者多年从事电工学教学工作的实践并吸取有关专业老师的意见,对现有教材作了研究后,适当地增加了一些内容。编者认为,这些内容在实用上或理论上将有助于更好地理解课程的基本要求并为进一步学习电工、电子技术打下基础。与现有教材相比,本书增加的内容有:受控源,转移函数,波特图,含有两个电容元件的一阶 $R-C$ 电路过渡过程的分析等。这些内容的引入将对有关的电子电路的学习带来便利。此外,为适应“机、电一体化”发展方向的需要,本书适当增强了电动机的使用及大功率电子技术方面的内容。

在电子技术部分,以主要的篇幅介绍线性及数字集成电子电路的原理及使用,并配合适当的应用举例。所有这些将使本书所适用的专业面更广,并能为有志于进一步学习电工、电子技术的人士打下良好的基础。

本书在编写过程中得到宗孔德教授的指点和帮助,他详细地审阅了全部书稿,提出了许多宝贵意见和建议。这些意见和建议对于提高这本教材的质量起了很好的作用,编者在这里向宗孔德老师表示衷心的感谢。

本书在编写过程中还得到清华大学电机工程系应用电子学及电工学教研组领导及许多同志的关心和支持,在此谨向他们致以衷心的感谢。

限于本人的水平,本书中不妥和错误之处在所难免,望读者及同行老师们给予批评指正。

作 者

1989 年 5 月

目 录

第 1 章 电路的基本概念、定律和分析方法	1
1.1 电路的基本概念与定律	1
1.1.1 电路元件的电压电流关系与模型	1
1.1.2 电路的基本规律	10
1.2 电路的分析方法	18
1.2.1 简单电路的分析、计算	18
1.2.2 复杂电路的分析、计算	20
1.2.3 电路图和电源模型的等效变换	28
1.2.4 叠加原理、等效电源定理	33
1.2.5 负载获得最大功率的条件	46
1.3 含受控源电路的分析	48
1.3.1 受控源模型	49
1.3.2 含受控源电路的分析	50
习题	56
第 2 章 正弦电流电路	66
2.1 正弦量的特征量及正弦量的表示方法	67
2.1.1 正弦量的三要素——幅值、频率与初相位	67
2.1.2 相位差	69
2.1.3 有效值	71
2.1.4 正弦量的表示法	73

2.2	正弦电流电路的分析与计算	83
2.2.1	单一参数的正弦电流电路	83
2.2.2	电阻、电感、电容串联电路、阻抗	96
2.2.3	并联电路、导纳	109
2.2.4	复杂正弦电流电路的分析	117
2.2.5	功率因数提高	121
2.3	电路中的谐振	124
2.3.1	串联谐振	125
2.3.2	并联谐振	134
2.4	转移函数	139
2.4.1	转移函数的幅频特性与相频特性	140
2.4.2	低通、高通、带通、带阻电路	144
2.4.3	波特图	153
	习题	156
第3章	非正弦周期电流电路	164
3.1	非正弦电路的分析方法	166
3.1.1	非正弦周期信号的分解	167
3.1.2	非正弦周期信号的频谱	169
3.1.3	非正弦周期电流电路的计算	171
3.2	非正弦周期量的有效值、平均值和功率	183
3.2.1	非正弦周期量的有效值	183
3.2.2	非正弦周期量的平均值	184
3.2.3	波形系数	186
3.2.4	非正弦周期电流电路的功率	188
3.3	谐振滤波器的概念	190
	习题	193

第 4 章 三相交流电路及安全用电常识	199
4.1 三相电源的联接	201
4.1.1 三相电源的星形联接(丫接)	201
4.1.2 三相电源的三角形(Δ)联接	204
4.2 三相电路分析	205
4.2.1 三相负载的联接	205
4.2.2 星(丫)接的三相对称负载电路分析	205
4.2.3 三角(Δ)接的三相对称负载电路分析	210
4.2.4 不对称负载的三相电路	213
4.3 三相电路的功率	219
4.3.1 对称三相电路的功率	219
4.3.2 不对称三相负载的功率	222
4.4 电器保安常识	224
4.4.1 触电方式,电流对人体的作用和安全 电压	224
4.4.2 接地与接零	227
4.4.3 静电防护	230
4.4.4 电器设备保安措施	231
习题	232
 第 5 章 电路的暂态分析	 236
5.1 换路定理	237
5.1.1 电路中产生暂态过程的原因	237
5.1.2 换路定律	239
5.2 一阶 $R-C$ 电路的过渡过程	243
5.2.1 恒定直流激励下的一阶 $R-C$ 电路	244
5.2.2 时间常数 τ	254
5.2.3 正弦激励 $R-C$ 电路的过渡过程	258

5.3	一阶 $R-L$ 电路的过渡过程	261
5.3.1	$R-L$ 串联电路与恒定电压接通	261
5.3.2	$R-L$ 电路的“放电”	263
5.4	三要素法	266
5.5	脉冲激励下 $R-C$ 电路过渡过程分析	270
5.5.1	单个脉冲作用下 $R-C$ 电路过渡过程 的分析	270
5.5.2	序列脉冲作用下 $R-C$ 电路的过渡过程 ...	277
5.6	含有两个电容元件的一阶 $R-C$ 电路	279
5.6.1	含两个电容的一阶电路判别	279
5.6.2	有两个电容的一阶电路分析	281
5.7	二阶电路的过渡过程	289
	习题	293
第6章	交流铁心线圈和变压器	303
6.1	铁磁物质特性	303
6.1.1	基本物理量	303
6.1.2	磁性材料的主要特性	305
6.1.3	磁路的基本定理	310
6.2	交流励磁下铁心线圈工作分析	313
6.2.1	电压关系式	313
6.2.2	交流励磁下,电压、电流的分析	314
6.3	变压器的作用原理	320
6.3.1	变压器的基本结构	321
6.3.2	变压器工作分析	322
6.4	变压器的外特性与效率	329
6.4.1	变压器的外特性	329
6.4.2	变压器的效率	331

6.5	三相变压器与绕组联接	333
6.5.1	三相变压器的结构	334
6.5.2	绕组的标志方式	335
6.5.3	三相变压器绕组的联接方法和组别	337
6.6	其它用途的变压器	339
6.6.1	自耦调压器	339
6.6.2	仪用互感器	340
6.7	变压器的额定值及型号	342
6.7.1	变压器的额定值	342
6.7.2	变压器的型号	344
	习题	345
第7章	电动机	349
7.1	三相交流异步电动机	349
7.1.1	三相交流异步电动机的结构和转动原理 ...	350
7.1.2	三相异步电动机的转矩和机械特性	358
7.1.3	电动机自动适应负载能力与稳定运行	366
7.1.4	三相异步电动机的型号、额定值和技术数据	373
7.1.5	三相异步电动机的使用 —— 起动、反转、调速和制动	375
7.1.6	同步电动机简介与电动机节能运行	381
7.2	直流电机	382
7.2.1	直流电机的结构及分类	383
7.2.2	直流电机的工作原理	385
7.2.3	直流电动机的机械特性	389
7.2.4	直流电动机调速	391
7.2.5	直流电动机的使用	

——联接、起动、反转和制动	396
7.2.6 直流电机的型号和额定值	398
7.3 单相异步电动机与伺服电动机	400
7.3.1 单相异步电动机的工作原理	400
7.3.2 伺服电动机	407
7.3.3 驱动微电机和伺服电动机的型号	408
7.4 步进电动机	409
7.4.1 步进电动机的结构和工作原理	409
7.4.2 步进电机的性能指标	414
7.4.3 步进电机的技术数据	416
7.5 电动机的外壳结构形式、绝缘等级和工作定额	417
7.5.1 电动机的外壳结构形式	417
7.5.2 绝缘等级	420
7.5.3 异步电动机的定额	421
习题	422

第8章 继电器—接触器控制..... 427

8.1 低压电器	427
8.1.1 刀开关与熔断器	428
8.1.2 自动空气断路器	430
8.1.3 主令电器	432
8.1.4 接触器	436
8.1.5 控制继电器	443
8.2 生产机械电气设备的基本控制电路	443
8.2.1 三相异步电动机直接起动控制电路	444
8.2.2 继电器控制电路的逻辑函数式	446
8.2.3 热继电器及电动机过载保护	450
8.2.4 电动机正反转控制	453

8.2.5	行程控制	456
8.2.6	时间控制	458
8.2.7	其它一些控制环节	465
8.3	继电器控制线路原理图的阅读	468
8.3.1	阅读继电器控制线路原理图的注意事项 ..	468
8.3.2	继电器控制线路举例	469
	习题	474

第9章 可编程序控制器..... 478

9.1	可编程序控制器的结构与工作方式	479
9.1.1	主机	479
9.1.2	输入输出电路	480
9.1.3	编程器	482
9.1.4	可编程序控制器的工作方式	482
9.2	编程语言	483
9.2.1	梯形图语言	484
9.2.2	指令语句表(助记符)语言	487
9.3	软继电器	488
9.3.1	输入输出(I/O)寄存器区	489
9.3.2	内部辅助寄存器区	490
9.3.3	定时器和计数器区	490
9.4	可编程序控制器的规格与性能	491
9.5	FP1 可编程序控制器	492
9.5.1	FP1 的主要性能及寄存器的配置	492
9.5.2	FP1 的指令	494
*9.5.3	FP1 的编程器及指令输入方式	524
*9.6	OMRON(立石)C—20 可编程序控制器	540
9.6.1	C—20 可编程序控制器的“继电器”	540

9.6.2 编程器	543
9.6.3 C—20 的指令	545
习题.....	552
参考文献.....	556
部分习题答案.....	557
附录 I	567
附录 II	568
附录 III	569

第 1 章

电路的基本概念、定律和分析方法

本章着重介绍电路问题的基本知识、定律和计算方法,为学习电工技术和电子技术建立基础。

1.1 电路的基本概念与定律

1.1.1 电路元件的电压电流关系与模型

电路由电工、电子元器件组成,根据工作要求的不同,人们构成了各种不同用途的电路。例如,用于向工厂、农村、居民区提供电能的输、配电电路;将声音放大的扩音机电路;用于对数据进行运算和处理的计算机电路。

电路种类很多,构成电路的目的一般来说有两个,一是进行能量的传输、分配与转换;二是进行信息的传递、处理与运算。要求实现的目的不同,对电路提出的技术要求也不同,前者侧重于传输效率的提高,后者侧重于信息在传递过程中的保真、运算速度与消除干扰。

电路分析的内容不是研究如何提高电能传输效率或者信息传递的速度,其任务是研究电路中能量转换过程中的一般规律,为研究具体的电路建立分析、计算的方法。因此,在电路分析时,对组成电路的具体元器件的结构、工作原理并不给予重视,仅对这些元器

件在电路中所表现出的电特性及相互连接后能量的转化、分配等规律进行研究。

由于电路是由电特性相当复杂的元器件组成的,为了用数学方法进行分析,获得具有普遍意义的规律,进行分析时,通常将电路实体中的各种各样的元器件用基本上能反映它们特性的理想元件(称为模型)来代替。从能量转化的角度来分析,电路中所应用的元件,工作时表现出的电特性不外乎两种情况:一类元件工作时向电路提供电能,这类元件称为电源;另一类元件工作时将电能转化为其它形式的能量,如转化为光能、热能、磁场能、电场能、机械能等,这类元件称为负载。构成电路的最基本的元件是电源和负载。

1. 负载

电路中使用的电器设备种类繁多,如电灯、电炉、电动机等各种类型的用电设备,所有这些用电设备统称为负载,它们在电路中的作用是将电能转化为工作所需要的那种能量。对由这些元件组成的电路进行分析与计算时,是采用能反映负载电特性的理想电路元件(模型)来代替实际的元器件,通过理想电路元件构成的电路模型进行分析与计算。

电路中的负载,工作时表现出的电特性都与电磁现象有关,主要有下述三种类型。

第一类负载,称耗能负载,工作时将电源提供的电能转换成其它形式的能量,而且这种转换是不可逆的。例如电灯、电炉等负载就属于这种情况。

第二类负载,是存储磁场能量的负载,工作时将电源提供的电能转换为磁场能,这种转换通常是可逆的。例如电感线圈等负载就属于这种情况。

第三类负载,是存储电场能量的负载,工作时将电源提供的电能转换为电场储能,这种转换也是可逆的。例如电容器等负载就属于这种情况。