



普通高校“十三五”规划教材

ELECTRICAL ENGINEERING AND ELECTRONICS

电工电子学

主编 李钊年



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS

电工电子学

(非电类专业用)

主编	李钊年				
参编	刘春艳	张海峰	司	杨	
	马山刚	沈	茜	唐	岩
主审	段玉生				

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书包括电工技术和电子技术两部分。其内容是在介绍电路的基本概念、基本结构和基本分析方法的基础上,增加了安全用电方面的知识。本书以讲清概念、定性分析为主,简化了较繁琐的数学推导,侧重了实际应用。对于集成组件,主要以组件的外特性和使用方法为主,淡化了组件内部结构的介绍。

本书主要作为普通高等学校非电类工科专业教材,也可作为高职高专及函授教材,还可作为工程技术人员的辅助参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子学 / 李钊年主编. -- 北京 : 北京航空航天大学出版社, 2017. 8

ISBN 978 - 7 - 5124 - 2491 - 3

I. ①电… II. ①李… III. ①电工②电子学 IV. ①TM②TN01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 185584 号

版权所有,侵权必究。

电工电子学

主 编 李钊年

责任编辑 尤 力

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱: bhpess@263.net 邮购电话:(010)82316936

北京兴华昌盛印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×1092 1/16 印张:28.75 字数:660 千字

2017 年 8 月第 1 版 2017 年 8 月第 1 次印刷 印数:2 500 册

ISBN 978 - 7 - 5124 - 2491 - 3 定价:63.00 元

前 言

本教材是根据培养应用型人才的需要,针对非电类工科专业的不同需求,在总结教学经验,吸收以往教材长出的基础上编写的。本书编写的指导思想是:精选传统内容,保证必需的常用基础知识,删去一些不常用的和已过时或即将过时的内容,增加安全用电的基本知识。

本书内容分为两大部分。第一部分(第1章—第9章)为电工技术基础内容,包括直流电路、正弦交流电路、三相交流电路、线性电路的暂态分析、变压器、三相异步电动机、继电器—接触器控制系统和安全用电等,这部分属于电路理论、常用电气设备及自动控制的传统内容;第二部分(第10章—第18章)为电子技术基础内容,包括半导体器件基础知识、常用放大电路、集成运算放大器及应用、直流稳压电源、数字电路基础知识、组合逻辑电路、时序逻辑电路及脉冲信号的产生与整形等。从学科内容大的方面划分,第二部分的内容可分为模拟电子技术(第10章—第14章)和数字电子技术(第15章—第18章)两部分,前者主要讨论线性电路,后者则着重于脉冲数字电路的分析。

为了加深对课堂知识的理解,列举了若干电路实例,并配有一定数量的例题和习题。

在内容的安排上,本着非电类工科专业的特点,基本理论以需要为准、以够用为度的原则,电工技术部分增加了安全用电方面的知识,而删去了直流电机、伺服电机和可编程序控制器等不常用或太专业的内容;电子技术部分加强了数字电路的内容,压缩了模拟电子技术的内容,使二者的比例较为接近。

根据非电类工科专业对电工及电子技术知识的不同需求,本教材理论课参考学时约为56—62学时,实验16—32学时。

本书第1章—第4章由李钊年编写,第5章由唐岩编写,第6章、第7章由马山刚编写,第8章、第9章由张海峰编写,第10章—第14章由刘春艳编写,第15章、第16章由司杨编写,第17章、第18章由沈茜编写。由李钊年任主编,负责全书的组织、修改和统稿工作。

本书由清华大学段玉生主审,提出了宝贵的修改意见,谨致以衷心的感谢。编写本教材时,参考了众多的文献资料,得到很多启发,在此向参考文献的作者表示感谢。

另外,在本书的立项和编写过程中,得到了青海大学教材建设基金的支持,保证了本书出版的各项工作的顺利进行,在此表示衷心的感谢。

由于时间仓促,编写水平有限,书中缺点、错误在所难免,敬请读者提出宝贵意见,以便修改。

编者

2017年6月

目 录

第 1 章	电路的基本知识	1
1.1	电路的基本概念	1
1.2	电路的作用和组成	1
1.3	电路模型	2
1.4	电路的基本物理量	2
1.5	电路的状态	4
1.6	电路元件	7
第 2 章	电路的分析方法	10
2.1	电源及其等效定理	10
2.1.1	电压源	10
2.1.2	电流源	11
2.1.3	电源的等效定理	11
2.2	基尔霍夫定律	13
2.3	支路电流法	14
2.4	叠加原理	15
2.5	戴维南定理	17
第 3 章	正弦交流电路	21
3.1	正弦交流电的基本概念	21
3.1.1	交流电的周期、频率和角频率	21
3.1.2	交流电的瞬时值、最大值和有效值	22
3.1.3	交流电的相位、初相位和相位差	23
3.2	正弦交流电的相量表示法	24
3.3	单一参数的正弦交流电路	27
3.3.1	纯电阻交流电路	27

3.3.2	纯电感交流电路	29
3.3.3	纯电容交流电路	31
3.4	RLC 串联交流电路	33
3.4.1	RLC 串联交流电路中电压与电流的关系	33
3.4.2	RLC 串联交流电路中的功率	36
3.5	阻抗的串联和并联	37
3.5.1	阻抗的串联	37
3.5.2	阻抗的并联	39
3.6	交流电路中的谐振	40
3.6.1	串联谐振	40
3.6.2	并联谐振	44
3.7	交流电路中功率因数的提高	45
3.7.1	提高功率因数的意义	45
3.7.2	提高功率因数的方法	46
第 4 章	三相交流电路	51
4.1	三相对称电源	51
4.2	三相对称电路的计算	53
4.2.1	负载星形连接的三相对称电路	53
4.2.2	负载三角形连接的三相对称电路	55
4.3	三相不对称电路的计算	56
4.3.1	负载星形连接的三相不对称电路	56
4.3.2	负载三角形连接的三相不对称电路	58
4.4	三相交流电路中的功率	59
4.4.1	三相有功功率为	60
4.4.2	三相功率的测量	61
第 5 章	线性电路的暂态分析	63
5.1	基本概念	63
5.1.1	暂态分析的基本概念	63
5.1.2	换路定律	65
5.1.3	电路初始值与新稳态值的计算	65
5.2	一阶电路的零输入响应	68
5.2.1	RC 电路的零输入响应	68
5.2.2	RL 电路的零输入响应	69
5.3	一阶电路的零状态响应	71
5.3.1	RC 电路的零状态响应	71
5.3.2	RL 电路的零状态响应	72

5.4	一阶电路的全响应与三要素法	73
5.4.1	一阶电路的全响应	73
5.4.2	一阶线性电路的三要素法	74
5.5	一阶电路的脉冲响应	77
5.5.1	微分电路	77
5.5.2	积分电路	79
5.6	一阶电路过渡过程的应用实例	79
5.6.1	避雷器	79
5.6.2	晶闸管过电压吸收保护电路	80
5.6.3	电子式时间继电器	80
第6章	变压器与电机	83
6.1	研究电机的意义	83
6.2	变 压 器	84
6.2.1	变压器的基本结构	84
6.2.2	变压器的工作原理	84
6.2.3	变压器的使用	88
6.2.4	三相变压器	92
6.2.5	自耦调压器与仪用互感器	96
6.2.6	变压器异常运行诊断及处理	98
第7章	三相异步电动机	102
7.1	三相异步电动机的基本结构	102
7.1.1	定子	102
7.1.2	转子	104
7.1.3	气隙	105
7.2	三相异步电动机的工作原理	105
7.2.1	旋转磁场的产生	105
7.2.2	三相异步电动机的转动原理	107
7.3	三相异步电动机的电磁转矩和机械特性	109
7.3.1	三相异步电动机的电磁转矩	109
7.3.2	三相异步电动机的机械特性	110
7.3.3	三相异步电动机的转矩计算	112
7.4	三相异步电动机的使用	113
7.4.1	额定值	113
7.4.2	三相异步电动机的起动	115
7.4.3	三相异步电动机的调速	117
7.4.4	三相异步电动机的制动	120

7.5	三相异步电动机的运行及维护要点	123
7.5.1	三相异步电动机的运行工作要点	123
7.5.2	三相异步电动机的维护要点	123
第8章	继电器-接触器控制系统	126
8.1	常用低压电器	126
8.1.1	低压电器的基础知识	126
8.1.2	低压开关	136
8.1.3	熔断器	139
8.1.4	主令电器	143
8.1.5	断路器	150
8.1.6	接触器	153
8.1.7	继电器	158
8.1.8	新型器件	167
8.2	继电器-接触器控制系统的电路设计方法	171
8.2.1	电气控制设计概述	171
8.2.2	电气控制设计的一般原则与注意事项	172
8.2.3	电气控制系统故障危害及保护的一些基本知识	175
8.2.4	电气原理图的设计	181
8.2.5	继电器-接触器控制系统的电路安装	189
8.2.6	控制线路的调试	194
8.3	三相异步电动机典型控制电路	198
8.3.1	起保停控制	199
8.3.2	点动控制	200
8.3.3	正反转控制	201
8.3.4	多点控制	203
8.3.5	顺序控制	203
8.3.6	行程控制	204
8.3.7	时间控制	205
8.4	实例系统	206
8.4.1	加热炉自动上料控制线路	206
8.4.2	C620-1型普通车床控制线路	208
第9章	安全用电	212
9.1	触电的知识	212
9.1.1	触电的种类和方式	213
9.1.2	影响触电伤害程度的因素	214
9.1.3	安全电压	217

9.2	触电原因及保护措施	218
9.2.1	触电的常见原因	218
9.2.2	电气设备的接地和保护接零	219
9.2.3	漏电保护装置	223
9.3	触电急救处理	224
9.3.1	触电的处理方法	224
9.3.2	触电的急救处理	225
9.3.3	心肺复苏法	225
第10章	常用半导体器件及其基本电路	230
10.1	半导体的基础知识及特性	230
10.1.1	半导体及其相关概念	230
10.1.2	PN结的形成及其特性(单向导电性)	232
10.2	半导体二极管及其基本电路	234
10.2.1	半导体二极管(diode)	234
10.2.2	半导体二极管基本电路及其分析方法	236
10.2.3	特殊二极管	238
10.3	半导体三极管	240
10.3.1	半导体三极管(V)结构、符号及类型	240
10.3.2	三极管的电流放大作用(电流分配)	241
10.3.3	三极管的特性曲线(内部载流子运动的外部表现)	243
10.3.4	三极管的主要参数	246
10.3.5	温度对三极管参数的影响	246
10.4	场效应管	247
10.4.1	结型场效应管	247
10.4.2	绝缘栅场效应管	249
10.4.3	场效应管的主要参数	249
10.4.4	场效应管应注意的事项	250
第11章	常用放大电路	253
11.1	基本共射极放大电路	253
11.1.1	基本放大电路的组成及元件作用	253
11.1.2	放大电路的直流通路和交流通路	254
11.2	共射极放大电路的静态分析	255
11.2.1	计算法(近似估算法)	255
11.2.2	图解法	256
11.3	共射极基本放大电路的动态分析	257
11.3.1	图解法分析放大电路的动态情况	258

11.3.2	放大电路的微变等效电路分析法（小信号模型分析法）	261
11.4	静态工作点的稳定	266
11.4.1	静态工作点稳定的放大电路	267
11.4.2	放大电路的静态分析	267
11.4.3	放大电路的动态分析	268
11.5	共集电极与共基极放大电路的分析	269
11.5.1	共集电极放大电路	269
11.5.2	共基极放大电路	271
11.6	场效应晶体管放大电路	273
11.7	多级放大电路	274
11.7.1	阻容耦合放大电路	275
11.7.2	直接耦合放大电路	276
第12章	集成运算放大器	280
12.1	集成电路相关知识	280
12.1.1	集成电路的特点与分类	280
12.1.2	差动放大电路	281
12.1.3	功率放大电路	283
12.2	集成运算放大器概述	283
12.2.1	集成运算放大器的典型结构	283
12.2.2	集成运算放大器的电路符号	284
12.2.3	集成运算放大器的主要功能	284
12.2.4	集成运算放大器的主要性能指标（主要参数）	284
12.2.5	集成运放的种类	286
12.2.6	集成运算放大器使用中的几个具体问题	286
第13章	集成运算放大器的应用	290
13.1	集成运算放大器的分析	290
13.1.1	理想集成运算放大器	290
13.1.2	集成运放中的负反馈	290
13.1.3	集成运放的工作区与分析依据	294
13.2	集成运算放大器的线性应用	294
13.2.1	比例运算电路	294
13.2.2	加法运算电路	297
13.2.3	减法运算电路	298
13.2.4	积分运算电路	300
13.2.5	微分运算电路	301
13.2.6	信号处理电路	302

13.3	集成运算放大器的非线性应用	304
13.3.1	集成运算放大器的非线性应用的条件	304
13.3.2	电压比较器	304
13.3.3	波形的产生与变换	306
第14章	直流稳压电源	314
14.1	单相整流电路	314
14.1.1	单相半波整流电路	314
14.1.2	单相桥式整流电路	315
14.2	滤波电路	318
14.2.1	电容滤波电路	318
14.2.2	电感滤波电路	320
14.2.3	其他形式滤波电路	321
14.3	直流稳压电路	321
14.3.1	并联型稳压电路	321
14.3.2	串联型直流稳压电路	322
14.3.3	集成稳压电源	323
第15章	数字逻辑基础	327
15.1	概述	327
15.1.1	数字信号和模拟信号	327
15.1.2	数字电路	328
15.1.3	数字电路的特点	328
15.2	数制与编码	328
15.2.1	数制	328
15.2.2	编码	332
15.3	逻辑代数及其运算	335
15.3.1	逻辑变量	335
15.3.2	3种基本逻辑运算	335
15.3.3	几种复合逻辑运算	337
15.3.4	逻辑函数	339
15.3.5	逻辑代数基本运算规则及定理	341
15.4	逻辑函数的化简	343
15.4.1	公式法化简	343
15.4.2	卡诺图法化简	344
15.5	正、负逻辑问题	347
第16章	组合逻辑电路	349
16.1	概述	349

16.2	TTL 门电路	351
16.2.1	门电路的概念	351
16.2.2	逻辑门电路	352
16.2.3	常用集成逻辑门电路	355
16.3	加法器和数值比较器	362
16.3.1	加法器	362
16.3.2	数值比较器	368
16.4	编码器和译码器	372
16.4.1	编码器	372
16.4.2	译码器	376
16.5	数据选择器和数据分配器	384
16.5.1	数据选择器	384
16.5.2	数据分配器	388
16.6	组合逻辑电路的分析与设计	389
16.6.1	组合逻辑电路的分析	389
16.6.2	组合逻辑电路的设计	393
16.6.3	组合逻辑电路的冒险现象	403
第 17 章	触发器和时序逻辑电路	405
17.1	锁存器	405
17.1.1	基本 SR 锁存器	405
17.1.2	逻辑门控 SR 锁存器	405
17.1.3	D 锁存器	405
17.2	时序逻辑电路	406
17.2.1	时序逻辑电路的结构及特点	406
17.2.2	时序逻辑电路的分类	406
17.2.3	时序逻辑电路的功能描述方法	406
17.3	触发器	407
17.3.1	基本 RS 触发器	407
17.3.2	时钟控制的 RS 触发器	409
17.3.3	D 触发器	411
17.3.4	JK 触发器	413
17.3.5	T 触发器	414
17.3.6	主从型触发器	415
17.3.7	集成触发器	418
17.3.8	触发器的转换	419
17.3.9	触发器的选择与应用	419
17.4	时序逻辑电路的一般分析方法	420

17.4.1	名词解释	420
17.4.2	同步时序逻辑电路的一般分析方法	421
17.4.3	异步时序逻辑电路的一般分析方法	424
17.5	常见的时序逻辑电路	426
17.5.1	寄存器	426
17.5.2	移位寄存器	427
17.6	计数器	430
17.6.1	计数器的特点和分类	430
17.6.2	加法计数器	430
17.6.3	计数器的自启动问题	435
17.6.4	同步时序逻辑电路的设计	436
参考文献		446

第 1 章

电路的基本知识

1.1 电路的基本概念

铁路是火车的通路，公路是汽车的通路，电路则是电流的通路。但电路与铁路或公路不同，火车或汽车可以从起点出发到达终点，然后又可从终点沿同一条路线到达起点，而电流只能沿闭合的路线流通，一旦闭合的路线有断点或直接断开，这条线路中就不会有电流。

1.2 电路的作用和组成

电路也称为网络，它有多种多样的结构，不同的电路具有不同的功能和作用。根据电路的应用，我们可将其作用归纳为两大类。

1. 实现电能的汇集、转换、传输和分配

图 1.2.1 是电路在电力系统中的一个典型应用。G 为发电机， T_1 为升压变压器， T_2 为降压变压器，L 为输电线， $T_3 \sim T_n$ 为配电变压器。

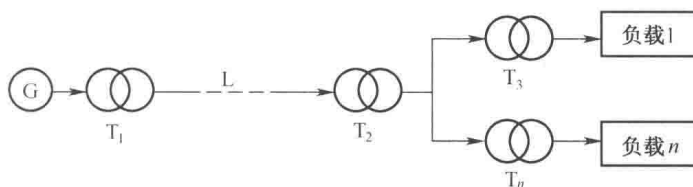


图 1.2.1 电路在电力系统中的应用

以火电厂为例，汽轮机将锅炉产生的热能转换为机械能，发电机 G 再将汽轮机传送过来的机械能转换为电能，由于 G 的功率和出口电压一定（且出口电压较低），造成输电线 L 中的电流较大，在远距离输电时将产生较大的电能损失，减少负载的用电量。因此，我们将 G 的出口电压通过升压变压器 T_1 升起来的主要目的就是降低输电线 L 中的电流，减少电能传输中不必要的能量损失；电能传输到用户端（即负载端）后，再用降压变压器 T_2 将 T_1 传送过来的高电压转换为标准的低电压，然后根据负载所需电压和功率的大

小，由配电变压器 $T_3 \sim T_n$ 将电能分配给各负载。

由上面的分析可知，变压器 T_1 、 T_2 起电能转换的作用，输电线 L 起电能传输的作用；配电变压器 $T_1 \sim T_n$ 起分配电能的作用。

在图 1.2.1 中，发电机 G 是产生电能的源头，称为电源。如果一个电路中没有了电源，那么能量的转换、传输和分配都无从谈起，整个电路就将失去意义，因此电源是电路的重要组成部分。另外，负载是用电设备，若发出来的电没有用户，发电将失去意义，因此负载是电路的另一个重要组成部分。至于中间的变压器和输电线，可根据需要增减，我们将这一部分称为中间环节。

2. 信号的传递和处理

在电子技术、计算机技术和非电量测量中，会遇到一种以传递和处理信号为主要目的的电路。图 1.2.2 所示是一个简单的测温电路，热电偶将温差转换为电信号（称为温差电动势），通过导线传递给毫伏表，毫伏表将转换成的电信号测量出来。这里，热电偶将温差转换为电信号，称为信号源；毫伏表将电信号转换为指针的偏转角，起着负载的作用。在这一类电路中，虽然也有能量的传输和转换问题，但其数量很小，一般所关心的是如何准确而快速地传递和处理信号。

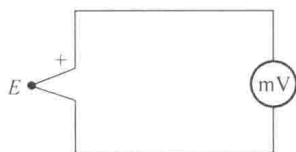


图 1.2.2 测温电路

由以上分析可见，一个完整的电路，应该由电源（或信号源）、负载和中间环节三个基本部分组成，缺一不可。

1.3 电路模型

由于电路中的电气设备和元器件品种繁多，在电路分析中不可能因物而异。因此，我们通常把实际的电路元件进行理想化处理（或称为模型化处理），即在一定的条件下，突出其主要的电磁性质，而忽略次要因素，把它近似地看作理想元件，用一个或几个理想元件的组合来代替实际的电路元件。用理想电路元件及其组合来代替实际的电路元件，就构成了与实际电路相对应的电路模型。理想电路元件（如电阻元件、电感元件、电容元件和电源元件等）分别由相应的参数来表征，用规定的图形符号来表示。后文分析的都是指电路模型，简称电路。

1.4 电路的基本物理量

要分析电路，首先要弄清楚电路的几个基本物理量。电流、电压和电动势这几个物理量都已在物理课中介绍过，本节主要讨论它们的方向问题。

1. 电流

电荷的定向运动形成了电流，数值等于单位时间内通过导体某一横截面的电荷量，

其表达式为

$$i = dq/dt$$

上式表明,在一般情况下电流是随时间而变的,称为交变电流,简称交流,用小写字母 i 表示;如果电流不随时间而变,即 $dq/dt = \text{常数}$,则这种电流称为恒定电流,简称直流,用大写字母 I 表示,即 $I = Q/t$ 。在国际单位制中,电流的单位为 A (安培,简称安)。

由于电荷的定向运动形成了电流,因此,电流的方向是客观存在的。我们规定:正电荷运动的方向或者负电荷运动的相反方向为电流的实际方向。但是,在分析较复杂的直流电路时,往往难以事先判断某段电流的实际方向;对于交流来讲,其电流的实际方向还在不断变化,在电路图上也无法用一个规定的箭头来表示它的实际方向。为了解决这一问题,需引入电流的参考方向这一概念。

参考方向可以任意选定,在电路图中用箭头表示。电流的参考方向不一定就是电流的实际方向。当电流的参考方向与实际方向相同时,电流为正值 ($I > 0$);当电流的参考方向与实际方向相反时,电流为负值 ($I < 0$)。这样,在选定的电流参考方向下,根据电流值的正负,就可以确定电流的实际方向了,如图 1.4.1 所示。



图 1.4.1 电流实际方向与参考方向的关系
(a) $I > 0$; (b) $I < 0$ 。

在分析电路时,首先要假定电流的参考方向,并以此为准去分析计算,最后通过计算结果的正负号来确定电流的实际方向。

2. 电压和电位

带电粒子在电场中运动必然要做功。图 1.4.2 所示是两个极板, a 极板带正电荷, b 极板带负电荷,此时 a、b 极板间形成一电场,其方向为 a 指向 b。如将 a、b 极板用导线连接起来,则在电场力的作用下,正电荷由 a 极板经导线向 b 极板运动,负电荷由 b 极板向 a 极板运动,这时电场力对电荷做了功,这种电场力做功的能力用电压来度量。

我们把单位正电荷在电场力的作用下,由 a 点运动到 b 点电场力所做的功称为 a、b 两点之间的电压 U_{ab} 。在电工技术中,我们把电路中两点之间的电压也称为两点之间的电位差,即

$$U_{ab} = U_a - U_b$$

式中: U_a 为电路中 a 点的电位; U_b 为电路中 b 点的电位。

在国际计量体制中,电压的单位为 V (伏特,简称伏)。

电路中电压的方向是客观存在的。我们规定:由高电位端指向低电位端的方向(即电位降落的方向)为电压的实际方向。同样,在分析较复杂的直流电路或交流电路时,

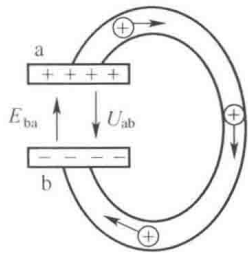


图 1.4.2 电压与电动势