

高等学校试用教材

电工学基本教程

湖南大学 武汉水利电力学院 编

DIANGONGXUE

JIBEN

JIAOCHENG

高等教育出版社

高等学校试用教材

电工学基本教程

湖南大学、武汉水利电力学院 编

*

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

北京印刷一厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 15.125 字数 365,000

1983年4月第1版 1983年10月第1次印刷

印数 00,001-24500

书号 15010·0493 定价 1.75 元

前 言

本书是根据1980年6月在成都召开的高等学校工科电工教材编审委员会扩大会议审订、教育部批准的高等工业学校90学时类型《电工学教学大纲(草案)》(四年制非电专业试用)编写的,经过电工教材编审委员会电工学编审小组评选,作为90学时类型电工学课程的基本教材。

本书第一、二、三、七章由湖南大学肖鸿猷编写,第四、五章由杨贻馨编写,第六章由武汉水利电力学院徐约珥编写,第八、九、十、十一章由肖咏华编写,由杨贻馨负责全书的符号及体例统一工作。

全书初稿经主审单位天津大学姚海彬、宋耀平、张伟芸、张润生、马玉林、韩淑德、林圣灿等同志审阅,并在电工学编审小组主持召开的天津评选会议上进行了认真的讨论,提出了修改意见,经编者修改后,又进行了复审。姚海彬同志还对同步电机及电子技术部分作了修改。

在编写过程中得到了湖南大学、武汉水利电力学院电工学教研室的大力支持和帮助,常顿山同志提供了一些资料和习题,陈宗穆、魏之馨同志对一至五章,刘会金同志对八至十一章的习题进行了复核,卢国荣同志参加了制图工作。南京工学院杜极声同志,长沙铁道学院吕天祥、虞汉玉同志对初稿进行了试用,并提出了不少宝贵意见,在此谨致以诚挚的谢意。

由于我们水平有限,书中难免存在不少缺点和错误,殷切希望读者提出批评和意见。

编 者

1982年8月

目 录

绪论	1
第一章 直流电路(电路的计算和分析方法)	3
1-1 电路的组成	3
一、电源	4
二、负载	7
三、中间环节	7
1-2 电路中电位的计算	9
1-3 电路的状态	15
一、负载状态	15
二、空载(开路)状态	17
三、短路状态	17
1-4 克希荷夫定律	20
一、克希荷夫电流定律(节点电流定律)	21
二、克希荷夫电压定律(回路电压定律)	23
1-5 支路电流法	27
1-6 叠加原理	31
1-7 等效电压源定理(戴维南定理)	35
1-8 电容器的充电与放电	40
一、电容的物理性质	40
二、电容器的充电过程	41
三、时间常数 τ 的物理意义	43
四、放电过程	44
1-9 RL 电路与直流电压的接通	47
一、电感的物理性质	47
二、 RL 串联与直流电压的接通	49
三、短路放电	50
四、突然断开	50
本章小结	51

习题	54
第二章 正弦交流电路	59
2-1 交流电的基本概念	59
一、周期电压和电流	59
二、正弦电压和电流	60
三、正弦量的特征	61
四、正弦量的有效值	68
2-2 正弦量的矢量和复数表示法	71
一、正弦量的旋转矢量表示法	72
二、正弦量的复数表示法	76
2-3 单一参数的交流电路	82
一、纯电阻电路	82
二、纯电感电路	85
三、纯电容电路	90
2-4 R, L, C 串联交流电路	96
一、电流与电压的关系	97
二、电路的功率	99
三、串联谐振	102
2-5 负载并联的交流电路	109
一、电路的计算	109
二、并联谐振	112
三、复数运算举例	116
2-6 功率因数的提高	122
本章小结	127
习题	129
第三章 三相交流电路	134
3-1 三相电源	134
一、三相交流电的应用	134
二、三相电动势的产生及其表示法	135
三、三相电源的星形接法	137
四、三相电源的三角形接法	140
3-2 三相负载	141
一、负载的星形接法	142

二、负载的三角形接法	150
3-3 三相电路的功率及其测量	153
一、三相电路的功率	153
二、三相有功功率的测量	156
本章小结	164
习题	165
第四章 变压器	167
4-1 变压器的基本结构	167
一、铁心	167
二、绕组(线圈)	169
4-2 变压器的工作原理	170
一、变压器的工作原理	170
二、变压器的负载运行	174
4-3 变压器的特性	177
一、变压器的外特性和电压调整率	177
二、变压器的损耗和效率	178
4-4 单相变压器的极性	179
4-5 三相变压器	180
4-6 变压器的铭牌和额定值	183
一、型号	183
二、额定电压	183
三、额定电流	185
四、额定容量	185
五、阻抗电压	185
六、温升	185
4-7 几种特殊用途的变压器	185
一、自耦变压器	185
二、仪用互感器	187
本章小结	192
习题	192
第五章 异步电动机及其控制	194
5-1 概述	194
5-2 异步电动机的结构	195

一、定子	195
二、转子	196
5-3 异步电动机的工作原理	198
一、旋转磁场	198
二、异步电动机的工作原理	202
5-4 异步电动机的电磁转矩	204
一、旋转磁场的磁通 Φ 与电源电压 V_1 的关系	205
二、转子电流的有功分量 $I_2\cos\varphi_2$ 与转速(用 s 表示)及 转子电路参数的关系	206
三、转矩-转差率特性曲线 $M=f(s)$	209
四、最大转矩 M_{max} 、额定转矩 M_n 及起动转矩 M_{st}	210
5-5 异步电动机的机械特性	212
一、稳定区与不稳定区	213
二、硬特性及软特性	214
5-6 异步电动机的起动	216
一、全压起动(直接起动)	217
二、降压起动	217
三、绕线式电动机转子电路串电阻起动	219
5-7 异步电动机的选择	220
一、异步电动机的铭牌	220
二、异步电动机的选择	225
5-8 异步电动机的继电接触控制	227
一、常用低压控制电器	228
二、控制电路中的常用环节	230
三、电动机的继电保护	241
本章小结	245
习题	246
第六章 同步电机	248
6-1 同步电机的基本构造	248
一、定子	248
二、转子	249
6-2 同步发电机的工作原理	251
一、三相电动势的产生	251

二、空载特性	254
三、电枢反应	254
四、电压方程与简化相量图	258
五、外特性和调节特性	262
6-3 同步发电机单机运行时的功率调节	264
一、有功负载对频率的影响及有功功率的调节	264
二、无功负载对电压的影响及无功功率的调节	265
6-4 同步发电机与电网并联运行时的功率调节	267
一、有功功率的调节	268
二、无功功率的调节	269
6-5 同步发电机的铭牌数据	272
6-6 励磁方式	273
6-7 同步电动机	276
一、作用原理	276
二、电磁转矩,机械特性	276
三、同步电动机的起动	279
四、功率因数调节	279
本章小结	281
习题	281
第七章 安全用电	283
7-1 概述	283
7-2 电气设备的接地与接零	285
一、保护接地	285
二、保护接零	286
三、重复接地	289
四、工作接地	290
7-3 建筑防雷	290
一、雷电的形成及活动规律	290
二、建筑物的防雷等级	292
三、防雷措施	293
第八章 晶体二极管和整流电路	297
8-1 PN 结	297
一、P 型半导体和N型半导体	297

二、PN结的形成	299
三、PN结的单向导电原理	300
8-2 晶体二极管的伏安特性和主要参数	302
一、伏安特性	303
二、主要参数	304
8-3 单相桥式整流滤波电路	305
一、整流电路的工作原理	306
二、滤波电路的作用	309
8-4 硅稳压管与稳压电路	313
一、稳压管的特性和主要参数	313
二、稳压管稳压电路的工作原理	316
【应用举例】 交直流稳压两用机电源	319
本章小结	320
习题	320
第九章 晶体三极管和交流放大电路	325
9-1 放大电路的功用	325
9-2 晶体三极管	327
一、晶体管的结构	327
二、晶体管的电流放大作用	328
三、晶体管的特性曲线	331
四、晶体管的主要参数	336
9-3 放大电路的基本分析方法	341
一、共射极基本放大电路的组成	341
二、图解法	343
三、近似计算法	351
9-4 交流放大电路工作点的稳定问题	357
一、温度变化对工作点的影响	357
二、工作点稳定的典型电路	358
9-5 阻容耦合多级放大器	363
9-6 放大电路中的负反馈	367
一、反馈的基本概念	367
二、负反馈对放大器性能的改变	373
三、负反馈放大器的特例——射极输出器	374

四、反馈判别	378
9-7 互补对称式功率放大器	381
一、射极输出器的输出功率	382
二、互补对称电路的工作原理	385
三、OTL 电路的输出功率和效率	386
【应用举例】 5 瓦晶体管扩音机的主放大电路	390
本章小结	391
习题	394
第十章 晶体管直流放大电路	403
10-1 直流放大电路的特殊问题	403
10-2 多级直流放大电路的耦合方式	405
一、垫高后级射极电位的直耦电路	406
二、NPN-PNP 型管直耦电路	407
10-3 差动式直流放大电路	408
一、最简单的差动放大电路	408
二、射极耦合差动放大器	410
10-4 差动放大电路的输入和输出方式	419
一、单端输入时的情况	419
二、任意信号输入时的情况	421
【应用举例】 12V/1A 串联型晶体管稳压电源	423
本章小结	426
习题	427
第十一章 晶体管正弦波振荡电路	431
11-1 振荡原理	431
一、振荡电路的作用及组成	431
二、自激振荡的条件	432
三、振荡的建立	434
11-2 LC 振荡器	434
一、变压器反馈式 LC 振荡器	434
二、三点式振荡器	435
11-3 RC 振荡器	438
一、电路组成	438
二、RC 串并网络的选频作用	439

三、RC 振荡器的实际电路	440
【应用举例】 晶体管接近开关	442
本章小结	443
习题	444
习题答案	447
附录	
附录 1 常用电工图形符号和文字符号摘录	452
附录 2 CJ10 系列交流接触器的技术数据	454
附录 3 JR15 系列热继电器的技术数据	455
附录 4 国产半导体器件型号命名法	456
附录 5 常用二极管参数表	457
附录 6 常用硅稳压管参数表	459
附录 7 与本书有关的晶体三极管参数表	460

绪 论

电工学是研究电磁理论及其在工程技术方面应用的一门科学。由于电能具有便于转换、便于输送和便于控制等突出的优点，因此在工农业生产、国防建设和人民的日常生活中得到了广泛的应用。各个技术领域和每个科技人员都与电有着密切的联系，尤其在二十世纪八十年代，由于电子技术和电子计算机的蓬勃发展，许多工程技术问题，如物理量的量测、数据的运算与处理、能量的转换和控制等等，都广泛地采用了电子技术，它标志着科学技术进入了一个新的时代。同时生产的需要又将推动测量技术、计算技术及自动控制技术的迅速前进。随着我国四个现代化建设的进行，各个技术部门都朝着电气化、自动化的方向迈进。因此，所有非电专业的工程技术人员和科研人员都必须掌握一定的电工与电子技术方面的知识，以便逐步掌握这些先进技术，使本专业能适应科学技术的发展。

目前在房屋建筑、水利水电工程、桥梁、隧道等施工中，经常使用的起重机、皮带运输机、搅拌机以及电力排灌中使用的抽水机都是用电动机来驱动的，作为工程技术人员必须能正确选择和使用这些设备；在建筑设计中还应全面地考虑配电系统的布局、照明的配置、建筑防雷、节约电能、安全用电以及电梯、空调、闭路电视等先进设备；此外，在进行工程结构的设计和研究中，为了验证设计理论、选定设计方案、鉴定工程质量和分析在使用中产生的问题，往往需要对工程结构进行静态和动态实验。因此电测技术的应用日益增多。如动态应变仪是测量结构及材料在动载荷状况下变形的应力分析仪器，它除了测量动态应变外，如果配用相应的传

感器,也可以测量压力、拉力、扭矩、位移、速度、加速度等物理量及其变化过程。由此可见,电工及电子技术在今后的土建、水利等工程中将占有一定的地位。

电工学是一门实践性较强的技术基础课程,要求通过本课程的学习,获得电工学必要的基本理论,基本知识和基本技能,为学习后续课程与专业知识以及将来从事技术工作及科学研究工作打下基础。

本书是电工学的基本教程,它是根据教学大纲的要求编写的。全书包括电路、电机和控制、电子技术三部分。电路部分是学习本课程及后续课程的理论基础,通过学习要求学生能够正确理解和运用有关的基本定律、定理,掌握电路的基本运算方法。电机和控制部分要求学生掌握磁路的基本知识,了解变压器、电机的原理和运行特性,并能正确地选择和使用这些设备。对继电接触控制的基本电路必须熟悉,并具备一定的安全用电知识。电子技术部分应着重掌握整流、放大、振荡等基本环节的工作原理和外部特性,建立放大倍数、输入电阻、输出电阻、反馈等基本物理概念,了解直流放大器的特点以及差动放大电路的原理。

实验是培养学生基本技能的主要环节,在教学过程中占有重要的地位,应保证实验学时和创造较好的实验条件,使学生有充分实践的机会。同时通过演示、实物教学等环节,以加深学生对物理概念的理解。

习题是培养学生分析和解决问题能力的重要手段,也是学生检查自己学习情况的一面镜子,本书中安排了适当的例题和较多的思考练习题及习题,以便于在教与学的过程中根据具体情况选用。

第一章 直流电路

(电路的计算和分析方法)

随着科学技术的发展，电工技术已广泛应用于生产领域的各个部门。尽管目前使用的电气设备种类日趋繁多，但绝大多数的设备仍是由各式各样的基本电路组成的。因此，掌握电路的分析和计算方法是十分重要的，它是我们进一步学习电机、电器和电子技术的共同基础。

本章通过直流电路介绍电气工程上常用的分析和计算方法，同时对电感和电容这两个基本电路参数也作必要的讨论。

值得指出的是，本章虽然讲的是直流电路，但这些基本规律和分析方法只要稍加扩展，对于交流电路也是适用的。

1-1 电路的组成

与其它能量形式比较，电能具有容易转换、便于输送和分配，以及有利于实现自动化等许多方面的优点。因此，人们总是尽可能地将其它形式的能量（如热能、水位能、原子能等）转换成电能再加以利用。而要完成上述任务，则必须通过各种形式的电路才能实现。

就其输送、转换和控制能量的规模大小和使用目的的不同，电路的作用大致可以分为下述两个方面：

(1) 电能的输送和变换

解决这方面的问题就是人们通常说的电力工程，它包括发电、输电、配电、电力拖动、电热、电气照明，以及交直流电之间的整流

和逆变等等。对于这些电路，由于输送和变换能量的规模一般较大，因此要求在输送和变换过程中尽可能地减少损耗以提高效率。

(2) 信号的传递和处理

在现代化的生产和科学技术领域中，还会遇到另一类以传递和处理信号为主要目的电路，例如语言、文字、音乐、图象的广播和接收，生产过程中的自动调节，各种输入数据的数值处理，信号的存贮等等。在信号的传递和处理过程中，虽然也有能量的输送和转换问题，但其数量很小，一般所关心的是如何准确地传递和处理信号，即保证信号的不失真。

从上面的简单叙述中我们可以想到，完成不同功能的电路其复杂程度是不同的。但不论电路结构的复杂程度如何，就其在电路中的作用来说，都可归纳为如下三个组成部分，即：电源、负载以及联接电源和负载的中间环节。图 1-1 所示为最常见的手电筒电路，其中干电池即为电源，灯泡为负载，中间环节包括开关和联接导线。

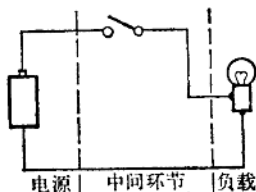


图 1-1 手电筒电路

对于电源来说，由负载和中间环节组成的电路称为外电路，电源内部的电流通路则称为内电路。

一、电 源

电源是一种将非电能转换成电能的装置。常用的电源有干电池、蓄电池和发电机等，它们分别将化学能和机械能转换成电能。此外，还有将某种形式的电能转换成另一种形式电能的装置，通常也称为电源，例如常见的直流稳压电源就是将交流电转换成直流电并在一定范围内保持输出电压稳定的一种装置。

在分析和计算电路时，通常总是将实际电路(例如图 1-1)画

成图 1-2 所示的电路图。在这个电路图中,电动势 E 和内阻 R_0 为电源部分,电路工作时,它将对外输出电压 V ,所以也叫做电压源。

从物理学中我们知道:电动势的方向在电源内部为从低电位(负极)指向高电位,即电位升的方向;电源端电压的方向为从高电位指向低电位,即电位降的方向,如图 1-2 所示。当开关 K 闭合时,根据全电路欧姆定律可得电流

$$I = \frac{E}{R_0 + R} \quad (1-1)$$

其方向在外电路中从高电位通过负载流向低电位,在电源内部则是从低电位流向高电位。

由式(1-1)得

$$IR + IR_0 = E$$

上式中 IR 为负载 R 两端的电压,在不考虑联接导线电阻的情况下等于电源的端电压 V ,故

$$V = E - IR_0 \quad (1-2)$$

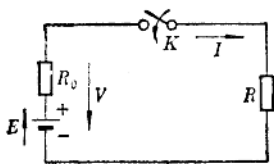


图 1-2 图 1-1 的电路图

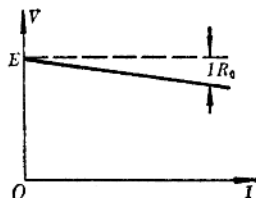


图 1-3 电压源的外特性

即电源的端电压在带负载的情况下,等于电源电动势减去其内阻压降。显然,如果负载变化(R 值改变),电源的端电压将随之变化。通常将电源的端电压 V 与电流 I 的关系 $V = f(I)$ 叫做电源的外特性或伏安特性。内阻 R_0 一定时的电源外特性如图 1-3 所示。

当电源不带负载时($I = 0$),输出电压 V 在数值上等于电源电

电动势 E ；随着负载的增加 (I 加大)，输出电压将随之下降。

由式(1-2)可以看出，当输出电流变化时，电源内阻 R_0 愈小，则输出电压的变化也愈小。在理想情况下，若电源的内阻 $R_0=0$ ，则不管负载如何变化，电压源将输出恒定电压，其值为

$$V = E \quad (1-3)$$

这样的电压源称为理想电压源或恒压源。恒压源有两个基本性质：

(1) 它的端电压为恒定值 V 或给定的时间函数 $v(t)$ ，与流过它的电流无关；

(2) 它的输出电流不是电压源本身就能确定的，而必须由与它相联接的外电路一起才能确定。

虽然，恒压源实际上并不存在，但在分析电路时恒压源却是很有用的理想模型。因为所有实际电源都可表示为恒压源 E (或 V) 与内阻 R_0 相串联的组合。而当内阻 R_0 较外电路电阻小得多时，即可将这样的电压源近似地看作为恒压源，以利于简化计算。

电压源的极性常用正方向标出。所谓正方向，是人们在计算和分析电路时任意选定的方向，它不一定要与实际方向一致。当电压源的实际极性已知时，常用实际极性作为正方向；当实际极性未知时，则可以任意假定一个正方向。这样，当电动势或电压的实际方向与所标正方向一致时，其值为正；当实际方向与正方向相反时，其值为负。因此，在正方向已规定的情况下，电动势或电压的值可为正，也可为负。

下面讨论电源的功率。若将式(1-2) 等号两边同乘以电流 I ，则得

$$VI = EI - I^2 R_0 \quad (1-4)$$

这就是读者在物理学中熟知的功率表达式，即负载取用的功率 (VI) 等于电源产生的电功率 (EI) 减去电源内部的功率消耗 ($I^2 R_0$)。对于电源来说，由图 1-2 可见，电动势 E 的方向和电流 I 的方向是