

电气工人适用

电工学

上册

修订版

哈尔滨工业大学电工学教研室

水利电力

内 容 提 要

本书是为电工行业的职工学习用电的基本理论而编写的，全书共分三册（另编写了一本《电工学复习题与习题》）。上册是电路基础部分，共分二十章，主要讨论直流和交流电路的基本概念和基本分析方法，为进一步学习电的专业知识准备必要的理论基础。上册内容有：电和磁的基本概念，直流电路的分析计算方法，单相和三相正弦交流电路，交流电的相量和复数表示法，电路中的过渡过程以及电工测量仪表等。

本书可以作为电工培训或自学教材，也可以作为非电专业工程技术人员参考书，或院校有关专业的教学参考书。

本书上册原由徐吉生、郭文安、吴项编写。吴项、丁继盛参加这次修订，丁继盛增写第十五、十七章，吴项主编。

356/64

电气工人适用

电 工 学

上 册

修订版

哈尔滨工业大学电工学教研室

*

水利电力出版社出版

（北京德胜门外六铺炕）

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经营

水利电力印刷厂印刷

*

850×1168毫米 32开本 13.5印张 354千字

1975年9月北京第一版

1983年9月第二版 1983年9月北京第一次印刷

印数 000001—180200册 定价 1.30元

书号 15143·5182

修订版前言

本书自1975~1978年陆续出版以来,受到读者的关心和爱护。根据几年来本书的使用情况和广大读者的意见,我们对全书进行了修订。

“电工学”是一门研究用电技术的基本理论和基本方法的科学。本书主要讨论各种电路(如直流电路、交流电路、带有铁芯的电路、电子电路等)的基本理论和分析方法,介绍常用机电器件(如电机、变压器等)和电子器件(如晶体管、晶闸管等)的工作原理和基本电路,为进一步学习专业知识和从事工程技术工作提供必要的电工基础知识。为此,我们按如下一些原则进行了修订。

首先,本书是一本基础理论书,这次修订加强了电路基本理论和分析方法的叙述。例如在复杂直流电路的计算中,增加了电压源和电流源等效互换;等效电源定理中补充了诺顿定理;增写了交流电的复数表示法和电路中的过渡过程两章。同时,删除了某些不属于基础理论范畴而过于专业化的内容。

其次,为了反映我国当前电工、电子技术发展的实际情况和实际工作中的某些需要,改写了部份内容。例如适当精简了对电机、变压器基本原理的叙述;在电子技术基础中扩充了脉冲数字电路的内容等。

最后,为了压缩篇幅,对于某些冗繁的叙述作了必要的删减。全书体系基本不变,只是将原在中册的电工仪表部分移到上册,仍分三册出版。对书中所用符号和下标作了某些修改,基本上采用国际上较为通用的符号,不再使用汉语拼音。此外根据读者的要求,将原书各章后的小结和习题集中起来,补充一些习题的详解,另编写了一本《电工学复习题与习题》。

版。

本书可以作为电工行业的职工学习用电技术基本理论的自学或培训教材，为他们继续深入学习专业技术提供一定的理论基础，也可以作为非电专业工程技术人员的参考书或院校有关专业的教学参考书。至于工程实际中经常遇到的关于电路或器件的设计、制造工艺、材料等方面的问题，不属本书讨论范围。

本书编写过程中，各地电力工业部门和电机制造部门的工人和技术人员，某些兄弟院校和我校兄弟教研室的一些教师，为我们审查初稿，提供了许多宝贵的资料和意见。本书出版后，又收到全国各地读者的大量来信，提出宝贵意见，给我们以支持和鼓励。我们谨在此表示衷心的感谢。限于经验与水平，虽经修订，一定还会有许多缺点和错误，诚恳地希望读者继续给予批评和指正。

本书原由徐吉生、郭文安、吴项编写，教研室部分同志审阅了原稿。参加这次修订工作的有丁继盛、刘祥文、郑敏、吴项等，吴项担任主编。

哈尔滨工业大学电工学教研室

一九八三年一月

符 号 说 明

符 号	意 义
A	功
B	磁感应强度 (磁通密度)
C	电容
E	(直流) 电源电动势 交流电源电动势的有效值 电场强度
e	交变电源电动势的瞬时值
e_L	自感电动势
f	频率
f_0	谐振频率
$f(F)$	力
I	(直流) 电流 交流电流的有效值
I_l	(三相电路) 线电流
I_p	(三相电路) 相电流
I_0	(三相电路) 中线电流
I_p	交流电流的平均值
i	交变电流的瞬时值
L	自感系数 (自感、电感)
N	线圈 (绕组) 匝数
P	功率 交流电路中的有功 (平均) 功率
p	交流电路中的瞬时功率
$Q(q)$	电量 (电荷量)
Q	交流电路中的无功功率 热量
Q_L	电感性无功功率

Q_c	电容性无功功率
$R(r)$	电阻
r_0	内阻
S	视在功率
T	周期
t	时间
	温度
V	(直流)电压
	交流电压的有效值
V_l	(三相电路)线电压
V_p	(三相电路)相电压
v	交变电压的瞬时值
W	电能、能量
W_c	电场能量
W_L	磁场能量
X	电抗
X_L	电感电抗(感抗)
X_c	电容电抗(容抗)
Z	(复)阻抗
z	阻抗、复阻抗的模
α	电阻温度系数
Δ	变化量(增量)
ϵ_r	相对介电常数
ϵ_0	空气的介电常数
η	效率
φ	电位
	初相位、相位差、阻抗角
$\cos\varphi$	功率因数
Φ	磁通
ϕ	磁通的瞬时值
Ψ	磁链
ψ	磁链的瞬时值
ω	角频率、角速度

ω_0

谐振角频率

下 标

符号	意 义	举 例
S	短路	I_s 短路电流
n	额定值	V_n 额定电压
L	负载	R_L 负载电阻
m	最大值	V_m 正弦交流电压的最大值
o	输出	V_o 输出电压
i	输入	V_i 输入电压
Y	星形接法	P_Y 星形连接时三相电路的有功功率
Δ	三角形接法	P_Δ 三角形连接时三相电路的有功功率

本书中凡用小号字排版的部分内容，供读者选读。

目 录

修订版前言

第一章 电荷和电场	1
1-1 电荷	1
1-2 物质的电结构	3
1-3 导体、半导体和绝缘体	5
1-4 电场和电场强度	6
1-5 电场的屏蔽	10
1-6 尖端放电	11
第二章 电流、电压和电动势	14
2-1 电流	14
2-2 电场力做功和电压	15
2-3 电位和电位差	18
2-4 电位差和电流	21
2-5 电源和电动势	22
第三章 电阻和欧姆定律	24
3-1 电路	24
3-2 电路图	25
3-3 电阻和电阻率	27
3-4 电阻的温度系数	29
3-5 欧姆定律	31
3-6 线性电阻与非线性电阻	34
第四章 电功率和能量	38
4-1 功率和电功率	38
4-2 电源的功率和负载的功率	40
4-3 能量的转换和守恒	42
4-4 电能	44
4-5 效率	45

4-6	电流的热效应	46
4-7	电气设备的额定值	48
第五章	直流电路	49
5-1	基尔霍夫第一定律	49
5-2	基尔霍夫第二定律	51
5-3	电阻的串联	55
5-4	串联电阻间的电压分配	57
5-5	电阻的并联	60
5-6	并联电阻中的电流分配	61
5-7	电阻的复联(混联)	64
5-8	电路中电位的计算	67
5-9	电源的电动势和端电压	69
5-10	直流电路中的功率计算	73
第六章	复杂直流电路的计算	76
6-1	支路电流法	77
6-2	电压源与电流源的等效变换	81
6-3	叠加原理(重叠原理)	87
6-4	等效电源定理	91
6-5	电桥电路	99
6-6	不平衡电桥	102
6-7	星形网络与三角形网络间的等效互换	105
第七章	电流的磁场	109
7-1	磁铁和磁极	109
7-2	磁场和磁力线	111
7-3	通电导线周围的磁场	113
7-4	载流线圈所产生的磁场	116
7-5	磁场对载流导线的作用力	118
7-6	磁感应强度和磁通	120
7-7	平行载流导线间的相互作用力	123
第八章	电磁感应	126
8-1	导线切割磁力线产生的感应电动势的方向	126
8-2	导线切割磁力线产生的感应电动势的大小	128
8-3	楞次定律	129

8-4	电磁感应定律	132
8-5	电磁感应定律中的负号	133
8-6	自感电动势	135
8-7	互感电动势和线圈的极性	138
第九章	电感与电容	141
9-1	电感线圈和电感	141
9-2	线圈的磁场能	144
9-3	电容器和电容	147
9-4	电容器的充电和放电	151
9-5	电容器中的电流	153
9-6	电容器中的电场能	154
9-7	电容器的串联	157
9-8	电容器的并联	160
9-9	衡量电容器质量的标准	161
9-10	电容器的种类	163
第十章	正弦交流电路的基本概念	169
10-1	波形图	170
10-2	正弦函数	171
10-3	正弦交流电动势的产生	175
10-4	周期、频率和角频率	179
10-5	正弦量的相位、初相位和相位差	182
10-6	正弦电流的有效值	186
10-7	正弦电流的平均值	190
第十一章	电阻、电感、电容元件在交流电路中的作用	194
11-1	电阻元件中正弦电压和电流的关系	194
11-2	电阻元件中的瞬时功率和平均功率	196
11-3	电感元件中通过正弦电流时所产生的自感电动势	199
11-4	电感元件中正弦电压和电流间的相位关系	203
11-5	电感元件中正弦电压和电流间的数量关系——感抗	203
11-6	电感电路中的功率——无功功率	206
11-7	交流电路中的集肤效应	210
11-8	电容元件中正弦电压和电流间的相位关系	211
11-9	电容元件中正弦电压和电流间的数量关系——容抗	214

11-10	电容电路中的无功功率	216
第十二章	交流电的相量表示法	220
12-1	什么是向量	221
12-2	向量的加法	222
12-3	向量的减法	224
12-4	平行四边形法则	226
12-5	为什么向量可以表示正弦量	227
第十三章	电阻、电感和电容串联的交流电路	234
13-1	电阻和电感串联的交流电路中各元件上电压间的关系	234
13-2	阻抗	237
13-3	用实验方法求电感线圈的参数	242
13-4	交流电路中的功率	245
13-5	负荷的功率因数 $\cos \varphi$	248
13-6	电阻和电容串联的交流电路	251
13-7	电阻、电感和电容串联的交流电路	256
13-8	串联谐振	259
第十四章	并联补偿电路	264
14-1	电阻、电感串联再与电容并联的交流电路	264
14-2	用并联补偿的方法提高线路的功率因数	267
14-3	并联谐振	271
第十五章	交流电的复数表示法	275
15-1	什么是复数	275
15-2	复数的四则运算	281
15-3	正弦量的复数表示法	283
15-4	电路元件上的复电压和复电流	285
15-5	复阻抗	288
15-6	复阻抗的串联和并联	292
15-7	正弦交流电路的复数运算	296
第十六章	三相交流电路	300
16-1	三相交流电动势的产生	300
16-2	电源的星形连接	303
16-3	电源的三角形连接	307
16-4	负荷的星形连接	308

16-5	负荷的三角形连接	312
16-6	三相功率的计算	316
16-7	不对称的三相电路	319
第十七章	电路中的过渡过程	327
17-1	过渡过程的产生及换路定律	327
17-2	RC串联电路与直流电压的接通	330
17-3	待定系数法和三要素法	336
17-4	RC串联电路的短接	344
17-5	RL串联电路与直流电压的接通	348
17-6	RL串联电路的扳断	352
17-7	RL串联电路与正弦电压的接通	356
第十八章	电流、电压和电阻的测量	360
18-1	磁电系测量机构的工作原理	361
18-2	直流电流和直流电压的测量	365
18-3	电表内阻对测量结果的影响	367
18-4	电磁系测量机构的工作原理	368
18-6	交流电流和交流电压的测量	370
18-6	怎样认识和使用电表	372
18-7	万用电表的工作原理	376
18-8	万用电表测量电阻的原理	381
18-9	万用电表的使用方法	384
18-10	兆欧表	386
第十九章	功率和电能的测量	390
19-1	电动系测量机构的工作原理	390
19-2	功率的测量	393
19-3	瓦特表的使用方法	395
19-4	三相功率的测量	397
19-5	感应系瓦时表的工作原理	401
19-6	交流电能的测量	404
第二十章	电桥测量的基本知识	407
20-1	直流单臂电桥	407
20-2	测量小电阻的直流双臂电桥	409
20-3	检流计	413
20-4	怎样正确使用直流电桥	414
20-5	交流电桥的平衡条件	415

第一章 电 荷 和 电 场

在现代工业、农业以及国民经济的其它各个部门中，电能的应用愈来愈广泛，电力工业是发展国民经济的先行官。我们电业工人日日夜夜都在为建设社会主义祖国而辛勤地劳动着，每天都要和“电”打交道。通过电动机的转动、电炉的发热和电灯的发光等现象以及各种电工仪表的指示，我们早已感觉到“电”的存在。但是，电的实质是什么呢？

在这一章里，我们首先简要地介绍一下什么是电荷？什么是电场？一方面使我们对电的现象有一个基本的了解，为今后学习电路的基本理论打下基础；另一方面也要说明“电”是物质运动的一种形式。

1-1 电 荷

当你在大街上走路时，如果用心观察，就会发现运送汽油的汽车尾部，总有一根链条拖在地上。这是做什么用的呢？原来在汽车开动时，油箱里的汽油不停地晃动，汽油和油箱壁发生冲撞和摩擦。由于摩擦生电，就使油箱内产生许多电荷而带电。但是汽车的轮胎是用不导电的橡胶做成的，于是这些电荷就在油箱壁内积聚起来，积聚多了就有可能产生火花，引起汽油爆炸。有了那样一根链条拖在地上，可以随时把油箱内积聚的电荷传给大地，就能够防止爆炸事故，如图1-1所示。

摩擦生电是很早以前就被人们在劳动中发现了的客观现象，并且，人们很早就进行了摩擦生电的科学实验。这个实验在当时是这样进行的：

先用丝绸摩擦玻璃棒，丝绸和玻璃棒就都能吸引纸屑等轻微

物体。再用毛皮摩擦硬橡皮棒，毛皮和硬橡皮棒也都能吸引很轻的物体（你如果把钢笔杆放在头发上摩擦一会儿，它也能吸引小纸片）。我们把这种现象叫做“带了电”，或者说“带了电荷”。

然后把第一根用丝绸摩擦过的玻璃棒用长丝线悬挂起来，再把第二根摩擦过的玻璃棒移近第一根棒摩擦过的一端，那么这两根棒就要互相排斥，见图1-2。同样，两根摩擦过的硬橡皮棒也是互相排斥的。但是，如果把用毛皮摩擦过的硬橡皮棒与第一根玻璃棒摩擦过的一端靠近，那么硬橡皮棒就要吸引玻璃棒。

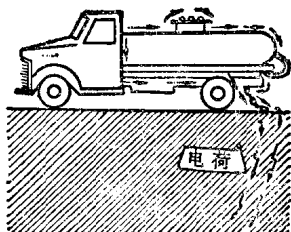


图 1-1 油槽车尾部的拖地链条把电荷传送入地

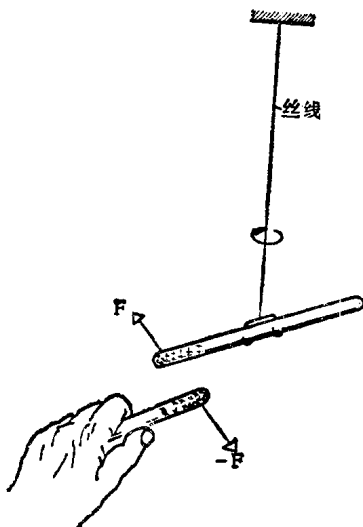


图 1-2 两根摩擦生电的玻璃棒相互排斥

上述这种现象说明，在摩擦棒的过程中，棒上产生了电荷；同时，两棒上的电荷之间存在着力的作用。显然，玻璃棒上的电荷和硬橡皮棒上的电荷在性质上是不同的。我们把玻璃棒上的电荷叫做正电荷，硬橡皮棒上的电荷叫做负电荷。因此，从摩擦生电实验所得的结论是：

1. 摩擦可以使物体带电，即产生电荷；
2. 电荷有正、负两种；
3. 电荷与电荷之间有相互作用力。同性电荷相互排斥。异性电荷相互吸引。

1-2 物质的电结构

不同物体摩擦后带有电荷，这些电荷是从哪里来的呢？要回答这个问题，必须从物质的电结构谈起。

世界上的一切物质，都是由许许多多的分子组成的。分子是一种能够单独存在、并且保持了物质原有性质的最小微粒。例如一个水分子大约只有 $0.000\cdots3$ 克重，就是小数点后边还有 22 个“0”。或者说，一立方厘米的水（大约重 1 克）中，大约有三百多万亿亿个水分子。

然而各种分子又是由一些更小的微粒组成的，这些更小的微粒就是原子。你看，50 万到 100 万个原子，一个紧挨着一个排起来，才有一根头发丝的直径那么长。一般地讲，原子的性质和原来物质的性质已经没有相同之处了。例如分裂水分子可以得到两种不同的原子，一种是氧原子，一种是氢原子，它们都不再和水的性质相同了●，如图 1-3 所示。

原子还可以继续分裂为一个原子核和一些电子。原子核带有正电，电子带有负电。电子围绕着原子核不停地运动，并且受到

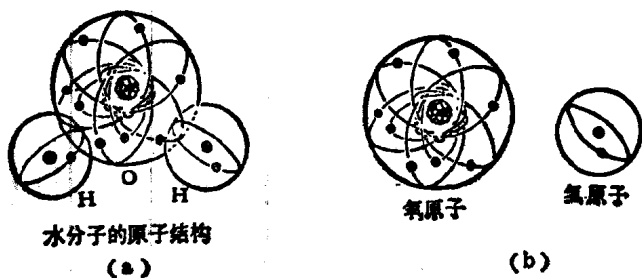


图 1-3 水分子的原子结构和组成水分子的氢、氧原子

(a)水分子；(b)氢原子和氧原子

- 世界上有一百多种不同种类的原子（就是通常所说的“元素”），有些物质是由一种原子构成的，例如金、银、铜、铁等金属材料；更多的物质是由两种或多种原子构成的，如水、橡皮、纸张、木材、油漆、玻璃、云母等等。

示。一库仑约等于 6.24×10^{18} 个电子所带的电量。

1-3 导体、半导体和绝缘体

我们知道，导线都是用铜或铝做成的，因为铜或铝能导电，所以叫做导体。在铜线或铝线的外面有时还包着一层橡皮或塑料皮，这样人摸上去就不会触电。橡皮、塑料等材料不导电，叫做绝缘体。

为什么有的物质很容易导电，有的物质非常不容易导电呢？原因也在于物质内部的结构。各种原子虽然都是由原子核和核外电子组成的，但是原子核的组成以及核外电子的数目和排列方式却各不相同，因而使得各种原子的性质有很大的差别。例如氢原子只有一个核外电子，铜原子有29个，铀原子却有92个。因此，氢、铜、铀的性质差别很大。图1-5是铝原子的结构示意图。铝原子共有13个电子，分三层围绕着原子核旋转。最外层的电子离原子核最远，受核的束缚力最小，比较容易在外力的作用下挣脱出来成为自由电子。如果这些自由电子按同一方向运动，就形成了电流。

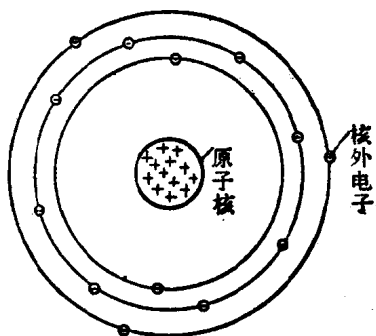


图 1-5 具有13个核外电子的铝原子的结构示意图

所以铜和铝是良导体。导线和电机、变压器等电气设备的线圈，都是用导电性能很好的铜或铝制造的。

在绝缘体中，原子核对电子的束缚力很强，在一般条件下，不能产生大量的自由电子，因此不容易导电。如橡皮、玻璃、云母、陶瓷、电木和干燥的空气都是绝缘体。导线、线圈、电缆的绝缘层和电木开关、电工工具的绝缘手柄等都是用这类材料制造的。