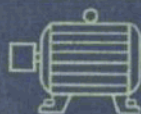


DIAN GONG YUAN LI

电工原理

(增订本)



中国铁道出版社

内 容 简 介

本书对1974年人民铁道出版社出版的《电工原理》进行了修订和增补，除包括1977年北京电视台举办的电视教育讲座所述内容，即电路的基本概念、直流电路、电容、电磁和电磁感应、交流电路、谐振、互感耦合电路、三相电路、非正弦周期信号和过渡过程等内容外，增加了电场的基本概念、信号的频谱分析、电路的频率特性及非线性电路等新内容。

为便于读者自学，本书力求文字通俗、简明，避免较深的数学分析，着重物理概念的叙述，并联系了电信技术方面的实例，以帮助读者巩固所学的知识。

本书可供具有初中文化程度的工人、技术人员和广大电工爱好者自学，亦可供中等专业学校师生参考。

2536/61

第2版前言

本书自1974年问世以来，特别是1977年作为北京电视台举办的电视教育讲座教材以来，为了满足广大读者学习的需求，曾8次重印出版。在此期间，我们收到了不少读者的意见和建议，希望本书在原有的基础上提高一步，以适应现代电技术的不断发展。为此，我们对原书进行了修订和增补。

本书第2版与第1版比较有以下特点：（1）保留了原书绝大部分的内容和通俗简明的特点。（2）对一些基本概念作了更为确切的阐述，例如对电流、电压及电功率等作出了比较明确的定义，并在第一章中增加了电场的基本概念。（3）为了解决复杂网络的计算问题，在第三章中增加了回路电流法及节点电位法等计算复杂网络的常用方法。（4）增加了关于频谱分析、电路的频率响应、过渡过程的算子法及非线性电路等新内容，以便读者对电技术领域的基础知识有更广泛的了解。（5）在使用了国际单位的同时，为了方便读者，也保留了部分暂时并用单位。

新增加的章节中有一部分可供读者根据需要选读。如跳过它们不读，对本书的连贯性和对后续内容的理解并不产生影响。这些章节的标题上都加了“*”号，以资区别。

为配合本书学习，中国铁道出版社将相应修订《电工原理习题集》和《电工原理习题解答》，合编为《电工原理习题集及解答》，供读者参考。

本书第1版原由徐玉恒、胡象源、李学文、黄大卫和袁柏生合编；第2版第一、二、三、十二、十三章由胡象源增

订，第四、五、十、十一、十五章由李学文增订，第六、七、八、九、十四章由徐玉恒增订。

书中如有不当之处，请读者指正。

编 者

目 录

第一章 电场和电路的基本概念	1
第一节 电场	1
第二节 电路的组成	6
第三节 电流	7
第四节 电阻	10
第五节 电压及欧姆定律	17
第六节 电功率	23
小 结	27
第二章 简单直流电路的计算	29
第一节 电阻串联电路	29
第二节 电阻并联电路	35
第三节 万用电表的基本原理	42
第四节 电路中各点电位的计算	52
第五节 电桥电路	56
第六节 负载获得最大功率的条件	60
小 结	61
第三章 复杂直流电路的分析方法	63
第一节 节点电流定律及回路电压定律	65
第二节 复杂电路的直接解法——支路电流法	75
第三节 回路电流法	78
第四节 节点电位法	86
第五节 T 形与 π 形网络的等效变换	91
第六节 电流源与电压源的等效变换	97
第七节 叠加定理	105
第八节 戴维南定理	109
小 结	112
第四章 电容器	114
第一节 电容器和电容	114

第二节	国产电容器	117
第三节	电容器的充电和放电	122
第四节	电容器的串并联	126
第五节	电容器中的电场能量	132
小 结	.....	135
第五章	磁场和磁路	137
第一节	磁现象的基本知识	137
第二节	磁场	139
第三节	电流产生的磁场	141
第四节	磁通势、磁阻及磁性材料	148
第五节	电磁铁吸引力的计算	161
第六节	电磁力	168
小 结	.....	177
第六章	电磁感应	179
第一节	电磁感应的条件	179
第二节	电磁感应定律	182
第三节	自感应	187
第四节	互感应	195
第五节	互感的应用实例	202
第六节	磁场能量	205
小 结	.....	206
第七章	正弦交流电路的基本概念	208
第一节	什么是交流电	208
第二节	交流电的周期、频率和角频率	211
第三节	初相角及相位差	213
第四节	交流电的有效值	217
第五节	正弦交流电路中的电阻	218
第六节	正弦交流电路中的电容	220
第七节	正弦交流电路中的电感	223
小 结	.....	226
第八章	正弦电路的符号算法	228
第一节	复数	229
第二节	用复数表示正弦交流电	237
第三节	符号法的计算法则	241

第四节	电阻和电容的串联电路	244
第五节	电阻和电感的串联电路	248
第六节	交流电路的功率	251
第七节	交流电路的实际元件	255
小 结	.....	259
第九章 谐 振	.....	263
第一节	串联谐振电路	263
第二节	谐振电路的选择性与通频带	267
第三节	并联谐振	271
第四节	谐振电路应用举例	277
第五节	压电谐振体	279
小 结	.....	281
第十章 互感耦合电路及变压器	.....	283
第一节	自感与互感电压	283
第二节	互感线圈的串联和并联	285
第三节	变压器的反射阻抗分析法	290
第四节	理想变压器	293
第五节	全耦合变压器	297
第六节	一般变压器	306
小 结	.....	309
第十一章 三相电路	.....	312
第一节	三相四线制交流电源	312
第二节	三相负载	318
第三节	两线一地制的三相输电线路	326
第四节	三相异步电动机的基本原理	327
第五节	保护接地和保护接零线	331
小 结	.....	334
第十二章 非正弦周期信号及频谱分析	.....	336
第一节	周期信号的傅里叶级数	337
第二节	波形与谐波成分的某些关系	340
第三节	周期信号作用下的线性电路	346
第四节	有效值及功率	353
第五节	傅里叶级数的指数形式	355
第六节	周期信号的频谱	358

第七节	脉冲宽度与频带宽度的关系	361
第八节	调制	364
第九节	非周期信号的频谱	373
小 结	.....	375
第十三章	线性电路的频率特性	377
第一节	线性电路的基本元件	377
第二节	线性电路的常用单元	382
第三节	线性电路的频率响应	390
小 结	.....	399
第十四章	电路中的过渡过程	401
第一节	电容、电感在换路时的情形	402
第二节	RC 电路中的过渡过程	408
第三节	RL 电路中的过渡过程	419
第四节	要素法	423
第五节	算子法初步	425
小 结	.....	435
第十五章	非线性元件与非线性电路	438
第一节	电路中的非线性元件	439
第二节	非线性电阻电路的图解法	449
第三节	铁磁谐振电路	454
第四节	磁放大器的基本原理	461
小 结	.....	465

第一章 电场和电路的基本概念

随着电的日益广泛的应用，现代电工设备不但种类繁多，而且日新月异不断发展。但是目前绝大多数的设备仍是由各式各样的电路所组成的。不论电路的结构如何复杂，它们和最简单的电路之间还是具有许多最基本的共性，并且遵循着相同的运动规律。因此，本章将首先介绍电场及电路的组成，然后分别讲述电流、电阻、电压和电功率的物理意义以及其中的基本规律，以使读者对电路建立起一个较完整的基本概念。

第一节 电 场

一、物质的电结构

1. 构成物质的分子与原子

世界上尽管有千万种物质，例如铜、铁、玻璃、塑料、空气和水等，它们的性质都各有不同，但这些物质都是由该物质的分子构成的。分子是最细小但不失原物质化学性质的颗粒。

分子是由更小的物质微粒——原子所组成。有些物质的分子比较简单，只有一种原子组成，例如常见的铜或铁等金属就是这样。水的分子是由两个氢原子和一个氧原子化合而成的。塑料和其它有机化合物的分子结构都比较复杂。

原子是由原子核以及核外的电子所构成的。不同的原子，其原子核外面的电子数目也不相同。例如氢原子在它的

核外只有一个电子，而铜的原子则具有29个电子。

原子核一般由质子和中子所组成。质子的数目总是等于核外的电子数。中子不带电，质子和电子都是带电的粒子。质子带正电荷，电子带负电荷。在同一原子中质子与电子所带的正、负电荷必定相等，因此就整个原子来说，正、负电荷的作用恰好完全抵消，所以物体平时对外界不显示出带电的现象。

2. 物体的带电、电荷量

如果由于两种不同的物质相互摩擦或其它原因，使一块物体上的电子转移到了另一块物体上，这样就使失去电子的这块物体带了正电荷，而使获得了电子的那块物体带了相同数量的负电荷。物体失去或获得的电子越多，那么这块物体所带的正电荷量或负电荷量也就越多。

电荷量是以“库仑”（简称“库”，用符号C表示）为单位计量的。据实验测定，一个电子所具有的负电荷量约等于 1.6×10^{-19} 库，也就是在1库的负电荷中约包含有625亿亿个电子。

二、电场力及电场强度

带电的物体在其周围存在着电场，电场也是物质存在的一种形式。实践证明，带异号电荷的两物体之间有互相吸引的力；反之，带同号电荷的两物体之间有互相排斥的力。这种相互的吸力或斥力就是电场的作用力。

如果带电体的尺寸在所讨论的问题中远小于其它所要考虑的尺寸时，为了便于讨论，可将此带电体的体积忽略不计，认为它所带的电荷集中在空间中的一个“点”上，这种理想的带电体称为点电荷。

两点电荷Q与q之间，互相受到电场力F的作用，如图

1—1 所示。根据物理学中的库仑定律，这个力的大小为

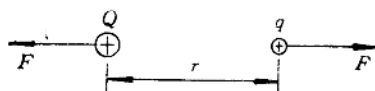


图 1—1

$$F = \frac{Qq}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r r^2} \text{ 牛顿 (N)} \quad (1-1)$$

式中 Q 及 q 为点电荷的电荷量，以“库”计； ϵ_0 为真空电容率（介电系数），它是一个常数，可表示为

$$\epsilon_0 \approx 8.854 \times 10^{-12} \text{ 法/米 (F/m)}$$

r 为两点电荷之间的距离，以“米 (m)”计； ϵ_r 为相对电容率，它表示介质本身固有的电特性，将在第四章详述，几种常用介质的相对电容率如表 1—1 所示。

表 1—1

介 质 名 称	相对电容率 (ϵ_r)	介 质 名 称	相对电容率 (ϵ_r)
石 英	4.2	聚苯乙烯	2.2
空 气	1	三氧化二铝	8.5
硬橡胶	3.5	无线电瓷	6~6.5
酒 精	35	超高频瓷	7.0~8.5
纯 水	80	五氧化二钽	11.6
云 母	7.0		

【例1—1】 两点电荷的电荷量分别为50微库与-25微库，在真空中相距50厘米，试求该两电荷之间的作用力。

【解】 用式 (1—1) 可写出

$$F = \frac{Qq}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{50 \times 10^{-6} \times (-25 \times 10^{-6})}{4\pi \times 8.854 \times 10^{-12} \times 0.5^2} \approx -44.94 \text{ 牛顿}$$

负号表示这两个电荷是互相吸引的。

单位正电荷 (1 库) 在电场中某点所受的力称为该点的

电场强度。例如在图 1—2 中,点电荷 Q 周围为一个电场,距离该点电荷 r 处某点 a 的电场强度 E ,就是 1 库正电荷在该点所受的力。根据库仑定律,可得出点电荷周围某点的电场强度为

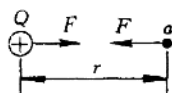
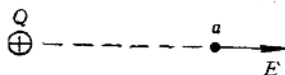


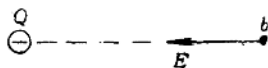
图 1—2

$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r r^2} \text{ 牛顿/库} \quad (1-2)$$

电场强度既然是单位正电荷在电场中某点所受的力,则它与力这个物理量一样是一个向量,即除了大小外还要考虑方向。点电荷电场中某点电场强度的方向,位于该点与点电荷的连线上。根据定义,如电场由正电荷产生,则电场强度的方向背向该电荷;反之,如电场由负电荷产生,则电场强度的方向指向该电荷;分别如图 1—3 (a) 及 (b) 所示。



(a)



(b)

图 1—3

【例1—2】按图1—4所标尺寸,求真空中正电荷 $Q = 100$ 微库周围的电场内 a 、 b 两点的电场强度。

【解】 a 点的电场强度为

$$\begin{aligned} E_a &= \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \\ &= \frac{100 \times 10^{-6}}{4\pi \times 8.854 \times 10^{-12} \times 0.04^2} \\ &\approx 56.2 \times 10^6 \text{ 牛顿/库} \end{aligned}$$

b 点的电场强度为

$$E_b = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

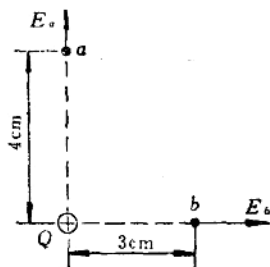


图 1—4

$$= \frac{100 \times 10^{-6}}{4\pi \times 8.854 \times 10^{-12} \times 0.03^2} \approx 999 \times 10^3 \text{ 牛顿/库}$$

两电场强度的方向分别在该两点与点电荷的连线上，并背向点电荷，如图 1—4 所示。

三、电力线

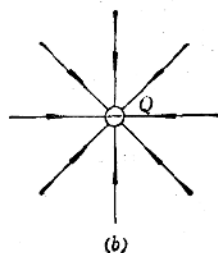
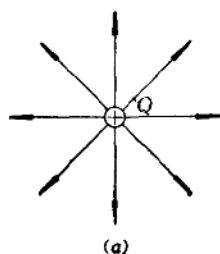
电场强度只代表了电场中某一点的特性。事实上，在一般情况下，电场中每一点的电场强度的大小及方向均不同。通常，我们用电力线来表示电场总的特性，它是按照以下的规定所画出的：

(1) 电力线从正电荷出发，终止于负电荷。

(2) 电力线上每一点的切线方向代表该点的电场强度方向。

(3) 穿过垂直于电力线方向单位面积的电力线数目与该处电场强度的大小成正比。

图 1—5 (a)、(b)、(c) 及 (d) 分别表示单个正电荷、单个负电荷、两个等量异号电荷及两个等量同号电荷的电力线。



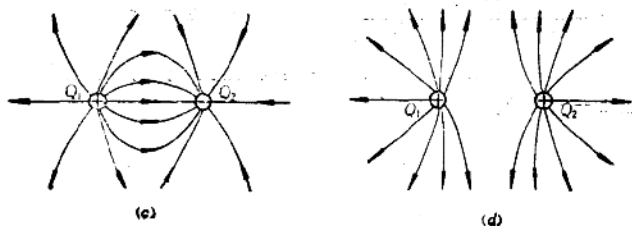


图 1-5

第二节 电路的组成

电路是由电源、负载和连接导线所组成的。由于电源的作用，在组成电路各部分的导体内部维持了一个电场。

用导线将一个小电珠的两端与一节干电池的正、负两极分别连接起来，如图 1-6 所示，这时小电珠就亮了。从图中可以看到，干电池、小电珠以及联接这两者的导线，就构成了一个最简单的电路。其中干电池是电

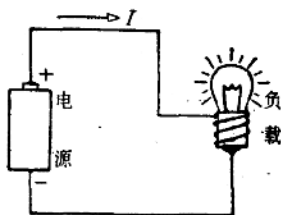


图 1-6

能的供出者，所以被称为电路的**电源**，而小电珠则是消耗电能的，叫做电路的**负载**。电能通过连接导线，从电源送往负载。

电灯、电炉、继电器及电动机等都是电路的负载，它们分别将电源传送给它们的电能转变成光、热或机械能，为人们所利用。在电力及一般用电系统中，电路就起着这种传输与转换电能的作用。

在电信系统中，可利用一定的电路来传输电话、电报的

消息或其它控制信号等。这里，电路主要是起着传输信息的作用。当然，在所传输的信息中，也需要包含有一定的能量。

至于电路中能量传送的物理过程以及有关各量之间的关系，将在本章以下各节中依次介绍。

第三节 电 流

一、电流的基本概念

电荷有规则的运动，称为电流。

导体内的电流是由于导体内部的自由电子在电场的作用下规则地运动而形成的。此外，在有些液体或气体中由于存在带正、负电荷的离子，它们在电场作用下分别朝着一定的方向运动，因此也能形成电流。象电镀设备就是利用液体中的电流进行工作的，而日光灯则是利用管内气体中的电流使之发光的。不论是固态导体或是液体、气体中的电流，均是带电质点（电子或正、负离子）的有规则的运动。

电流的大小取决于在一定的时间内通过导体截面的电荷量的多少。拿导线中的电流来说，在同一时间以内，通过导线截面的电荷量越多，就表示导线中的电流越大。

为了较准确地说明某一时刻电流的大小，我们在该时刻前后取一段极短的时间 Δt ，看在这段时间内，通过导体横截面的电荷量是多少，这个电荷量以 Δq 表示。这样，代表这一时刻的电流的大小（以字母 i 表示）就是

$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad (1-3)$$

式（1-3）就是电流的定义式。它指出：电流的大小等于单位时间内通过导体横截面的电荷量。

为简单起见，我们把电流的大小就简称为电流。这样，电流这个名词不但表示一种物理现象，而且也代表一个物理量。

习惯上人们都把正电荷流动的方向作为电流的方向。在导线中，电流实际上是带负电的电子的流动所形成的，但其效果与等量正电荷反方向流动完全相同，因此其电流方向是与电子流的方向相反。如图 1—

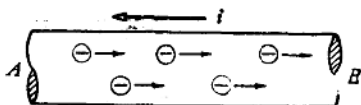


图 1—7

7 表示有电流的一段导线，其中自由电子从 A 端流向 B 端，而电流 i 的方向则是从 B 到 A 。

二、直流电流与交流电流

如果电流的大小和方向都不随着时间变化，即在任何不同时刻，单位时间内通过导体横截面的电荷量均相同，其方向也始终不改变，则这种电流称为直流电流。本书第二及第三章所讨论的均是直流电流电路。为与变化的电流区别起见，对直流电流用大写字母 I 表示。

电流和时间的关系可用图形表示出来。我们规定沿水平方向的横坐标表示时间 t ，沿垂直方向的纵坐标表示电流 i 。由于直流电流是不随时间变化的，所以它的图形是一条与横轴平行的直线，如图 1—8 (a) 所示。在任何不同的时刻 t ，电流 i 的数值均等于恒定的 I 。

电流的大小和方向如果随时间按一定的规律反复交替地变化，一会儿从小变到大，一会儿又从大变到小；一会儿电流是正的，一会儿却变成负的（电流正负的变化即代表其方向的变化），则这种电流称为交流电流。图 1—8 (b) 所

画的图形就是最常见的叫做**正弦**交变电流的变化规律。我们平时用的由电力电网供出的交流电，就是这样的电流。本书从第七章起将详细讨论有关它的问题。

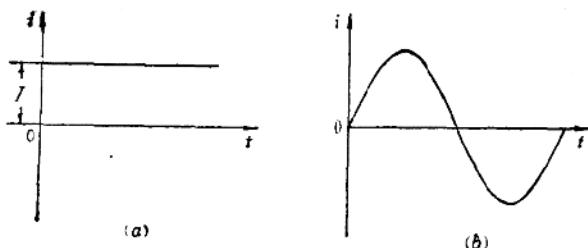


图 1-8

三、电流的单位

电流的大小以安培为单位计量，简称安，用符号 A 表示。1 安的电流即等于在 1 秒钟内有 1 库的电荷量通过导线的截面。在供电系统中往往要遇到几安、几十安甚至更大的电流。但在电信设备中，还经常要遇到千分之几安、甚至更小的电流。这时可用较小的单位毫安 (mA) 或微安 (μA) 来计量电流。它们之间的关系是

$$1 \text{ 毫安 (mA)} = \frac{1}{1000} \text{ 安 (A)} = 10^{-3} \text{ 安 (A)}$$

$$1 \text{ 微安 (}\mu\text{A)} = \frac{1}{1000} \text{ 毫安 (mA)} = 10^{-3} \text{ 毫安 (mA)}$$

$$= \frac{1}{1000000} \text{ 安 (A)} = 10^{-6} \text{ 安 (A)}$$