

DIAN GONG YUAN LI

电工原理



人民铁道出版社

73.1
115.1
C.2

电工原理

上海铁道学院《电工原理》编写组

3102257

人民铁道出版社

1978年·北京

内 容 提 要

本书主要包括：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；非正弦周期讯号和过渡过程等。

为便于读者自学，本书文字力求通俗、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知识。

本书可供具有初中文化程度的电工、技术人员阅读，亦可供中等专业学校教学中参考。

电 工 原 理

上海铁道学院《电工原理》编写组

人民铁道出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092 $1/32$ 印张：11.5 字数：258千

1974年6月第1版 1978年1月第4次印刷

统一书号：15043·4016 定价：0.80元

毛主席语录

路线是个纲，纲举目张。

无产阶级认识世界的目的，只是为了改造世界，此外再无别的目的。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

前 言

为了适应我国电信技术的迅速发展和满足广大工人学习电工知识的需要，我们在教育革命实践的基础上，通过调查研究，并在工人老师傅的帮助下，对原编《电工原理》一书进行了分析和批判，重新编写了这本书。

在编写过程中，我们力求理论联系实际，深入浅出，通俗易懂，加强了物理概念的叙述，避免了高深的数学推导，以使具有初中文化程度的读者，通过自学能够掌握电工的基本理论知识。

本书在编写过程中，得到很多有关单位的支持和帮助，我们在此表示衷心的感谢。但由于我们的马列主义、毛泽东思想水平不高，业务知识有限，书中错误和不足之处一定很多，恳切地希望读者给予批评指正。

上海铁道学院《电工原理》编写组

一九七四年一月

33031

目 录

| | |
|------------------------------|----|
| 第一章 电路的基本概念 | 1 |
| 第一节 电路的组成 | 1 |
| 第二节 电流 | 2 |
| 第三节 电阻 | 6 |
| 第四节 电压及欧姆定律 | 13 |
| 第五节 电功率 | 19 |
| 小 结 | 23 |
| 第二章 简单直流电路的计算 | 24 |
| 第一节 电阻串联电路 | 24 |
| 第二节 电阻并联电路 | 30 |
| 第三节 万用电表的基本原理 | 35 |
| 第四节 电路中各点电位的计算 | 45 |
| 第五节 电桥电路 | 50 |
| 第六节 负载获得最大功率的条件 | 53 |
| 小 结 | 54 |
| 第三章 复杂直流电路的分析方法 | 56 |
| 第一节 节点电流定律及回路电压定律 | 58 |
| 第二节 复杂电路的一般解法 | 66 |
| 第三节 T形与 π 形网络的等效变换 | 69 |
| 第四节 电流源与电压源的等效变换 | 75 |
| 第五节 迭加定理 | 81 |
| 第六节 戴维南定理 | 85 |

| | |
|------------------------------|-----|
| 小 结 | 88 |
| 第四章 电容器 | 90 |
| 第一节 电容器和电容 | 90 |
| 第二节 国产电容器 | 93 |
| 第三节 电容器的充电和放电 | 99 |
| 第四节 电容器的串并联 | 103 |
| 第五节 电容器中的电场能量 | 109 |
| 小 结 | 111 |
| 第五章 磁场和磁路 | 113 |
| 第一节 磁现象的基本知识 | 113 |
| 第二节 磁场 | 115 |
| 第三节 电流产生的磁场 | 117 |
| 第四节 磁通势、磁阻及磁性材料 | 123 |
| 第五节 电磁铁的吸引力计算 | 137 |
| 第六节 电磁力 | 144 |
| 小 结 | 151 |
| 第六章 电磁感应 | 153 |
| 第一节 电磁感应的条件 | 153 |
| 第二节 电磁感应定律 | 157 |
| 第三节 自感应 | 162 |
| 第四节 互感应 | 170 |
| 第五节 互感的应用实例 | 176 |
| 第六节 磁场能量 | 180 |
| 小 结 | 180 |
| 第七章 正弦交流电路的基本概念 | 182 |
| 第一节 什么是交流电 | 182 |
| 第二节 交流电的周期、频率和角频率 | 186 |
| 第三节 初相角及相位差 | 188 |
| 第四节 交流电的有效值 | 191 |
| 第五节 正弦交流电路中的电阻 | 193 |

| | | |
|-------------|-------------------|------------|
| 第六节 | 正弦交流电路中的电容 | 194 |
| 第七节 | 正弦交流电路中的电感 | 198 |
| 小 结 | | 200 |
| 第八章 | 正弦交流电路的符号法 | 203 |
| 第一节 | 复数 | 204 |
| 第二节 | 用复数表示正弦交流电 | 213 |
| 第三节 | 符号法的计算法则 | 218 |
| 第四节 | 电阻和电容的串联电路 | 221 |
| 第五节 | 电阻和电感的串联电路 | 225 |
| 第六节 | 交流电路的功率 | 229 |
| 第七节 | 交流电路的实际元件 | 233 |
| 小 结 | | 237 |
| 第九章 | 谐振 | 240 |
| 第一节 | 串联谐振电路 | 240 |
| 第二节 | 关于谐振电路选择性的讨论 | 244 |
| 第三节 | 并联谐振 | 248 |
| 第四节 | 并联谐振的应用 | 254 |
| 第五节 | 压电谐振体 | 257 |
| 小 结 | | 259 |
| 第十章 | 互感耦合电路及变压器 | 261 |
| 第一节 | 自感与互感电压 | 261 |
| 第二节 | 互感线圈的串联和并联 | 263 |
| 第三节 | 变压器的反射阻抗分析法 | 269 |
| 第四节 | 理想变压器 | 271 |
| 第五节 | 全耦合变压器 | 275 |
| 第六节 | 一般变压器 | 284 |
| 小 结 | | 287 |
| 第十一章 | 三相电路 | 290 |
| 第一节 | 三相四线制交流电源 | 290 |
| 第二节 | 三相负载 | 295 |

| | | |
|-------------|----------------------|------------|
| 第三节 | 两线一地制的三相输电线路 | 301 |
| 第四节 | 三相异步电动机的基本原理 | 302 |
| 第五节 | 保护接地和保护接零线 | 305 |
| 小 结 | | 309 |
| 第十二章 | 非正弦周期讯号 | 310 |
| 第一节 | 谐波 | 312 |
| 第二节 | 波形与谐波成分的某些关系 | 314 |
| 第三节 | 周期讯号作用下的线性电路 | 320 |
| 第四节 | 有效值及功率 | 327 |
| 小 结 | | 329 |
| 第十三章 | 过渡过程 | 331 |
| 第一节 | 电容、电感在换路时的情形 | 332 |
| 第二节 | RC 电路中的过渡过程 | 337 |
| 第三节 | RL 电路中的过渡过程 | 347 |
| 第四节 | LC 振荡电路 | 350 |
| 小 结 | | 354 |

第一章 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 电路的组成

电路是由电源、负载和联接导线所组成。

用导线将一个小电珠的两端与一节干电池的正、负两极分别联接起来，如图1-1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，

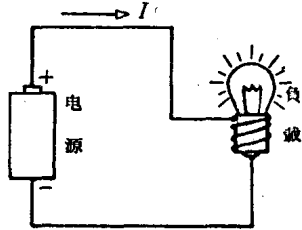


图 1-1

叫做电路的负载。电能通过联接导线，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

分别将电源所传送给它们的电能转变成光、热或机械能，为我们所利用。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讯号等。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。

第二节 电 流

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他原因，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）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。

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。

二、什么叫电流

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

* 以后我们都用指数来表示很大的量和很小的量，以避免在数字前面或后面写很多的“0”，例如可以把6,000,000写成 6×10^6 ，把0.000,002,8写成 2.8×10^{-6} 。电子的电荷量 1.6×10^{-19} 库就是0.000,000,000,000,000,000,16库。

* 离子就是带电荷的原子或原子团。

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

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

式（1-1）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，电流这一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 1-2 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。

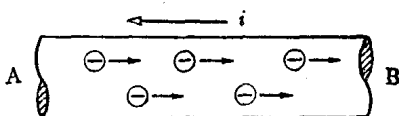


图 1-2

三、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—3 (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—3 (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。

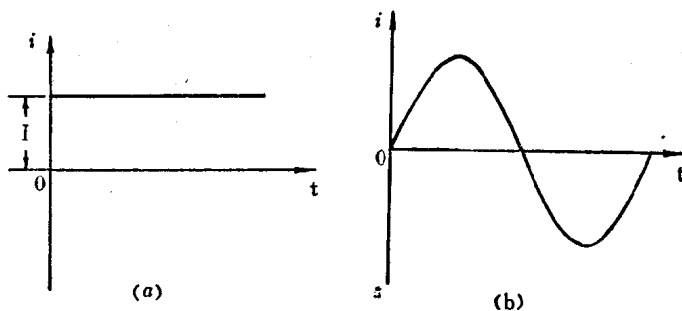


图 1—3

四、电流的单位

电流的大小以安培为单位计量，简称安，用字母 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

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

$$\begin{aligned} 1 \text{ 微安}(\mu A) &= \frac{1}{1000} \text{ 毫安}(mA) = 10^{-3} \text{ 毫安}(mA) \\ &= \frac{1}{1000000} \text{ 安}(A) = 10^{-6} \text{ 安}(A) \end{aligned}$$

第三节 电 阻

一、导体、绝缘体与半导体

我们知道，象铜、铝或铁这样的一些物质是很容易导电的，我们把它叫做**导体**；而象玻璃、云母、陶瓷之类的物质就很不容易导电，被称为**绝缘体**。这是什么道理呢？因为在导体中存在着不少与原子核的联系很松弛的电子，它们很容易摆脱原子核的束缚而在原子之间自由运动，因此被称为“自由电子”。各种金属内部都在不同程度上存在着大量的自由电子，它们在外电场的作用下，能很快地使电荷量从一处移到另一处，所以金属是导体。相反地，在绝缘体内部自由电子却很少，所以几乎不能导电，因而可以用来做隔电的材料。但要指出，绝缘体并不是绝对不导电的，只是它的导

电能力与导体相比相差得非常悬殊而已。

特别使人关心的是象硅与锗这些物质，它们的导电能力介于导体与绝缘体之间，称为**半导体**。半导体有很多特殊的性能，尤其是当在纯硅、纯锗中间掺入适量的其他杂质之后，其导电能力将会成百万倍地增加。例如当掺有象硼、铝、镓或砷等这样的杂质之后就形成了P型半导体，而当掺了锑、磷或砷等杂质之后即成为N型半导体。利用P型及N型半导体制成的各种晶体管，是电子设备的基本元件之一。

二、导线的电阻、电阻率

导体内的带电质点在运动的过程中不断地相互碰撞，并且还和导体的分子相碰撞，因此，导体对于它所通过的电流呈现有一定的阻力，这种阻力称为**电阻**。拿一根普通的导线来说，由于其长度、截面积以及导线本身的材料不同，就具有不同的电阻。电阻小说明电流容易通过，反之，电阻大电流就不易通过。绝缘体之所以能做隔电的材料，就是因为它有很大的电阻，使电流很难在其中通过。

电阻的单位是欧姆，简称为欧，用符号 Ω 表示。计量比较大的电阻可用千欧 ($K\Omega$)或兆欧 ($M\Omega$)表示。它们之间的关系是

$$1 \text{ 千欧 } (K\Omega) = 10^3 \text{ 欧 } (\Omega)$$

$$1 \text{ 兆欧 } (M\Omega) = 10^6 \text{ 欧 } (\Omega)$$

导体电阻的大小，主要由两个因素来确定。一是导体材料的导电性能的好坏；二是与导体的尺寸大小有关。实验证明，同一材料的导体，其电阻与导体的长度成正比，与导体的横截面积成反比。用公式表示为

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-2)$$

式中 R 代表导体电阻, l 代表导体的长度, S 代表导体的横截面积。 ρ 是由导体材料的导电性能所确定的常数, 叫做**电阻率** (又称**电阻系数**)。表 1—1 列出了一些常用导电材料的电阻率, 其所用单位为欧· $\frac{\text{毫米}^2}{\text{米}}$ ($\frac{\Omega \cdot m m^2}{m}$), 它表示用该材料制成长 1 米, 横截面 1 毫米² 的导线所具有的电阻。将此代入式 (1—2), 同时 l 的单位为米, S 的单位为毫米² 时, 求出的电阻的单位就是欧。

表 1—1

| 材 料 名 称 | 20℃时的电阻率 (欧·毫米 ² /米) | 电阻温度系数 (1/℃) |
|----------------------|------------------------------------|-----------------|
| 银 | 0.016 | 0.00361 |
| 铜 | 0.0172 | 0.0041 |
| 金 | 0.022 | 0.00365 |
| 铝 | 0.029 | 0.00423 |
| 钼 | 0.0477 | 0.00479 |
| 钨 | 0.049 | 0.0044 |
| 锌 | 0.059 | 0.0039 |
| 镍 | 0.073 | 0.00621 |
| 铁 | 0.0978 | 0.00625 |
| 铂 | 0.105 | 0.00398 |
| 锡 | 0.114 | 0.00438 |
| 铅 | 0.206 | 0.0041 |
| 汞 | 0.958 | 0.0009 |
| 康铜 (54%铜, 46%镍) | 0.50 | 0.00004 |
| 锰铜 (86%铜, 12%锰, 2%镍) | 0.43 | 0.00002 |

由表中可以看出, 除了贵金属银以外, 铜、铝的电阻率比较小, 所以是较好的导电材料。因此, 广泛地用它们来制造导线, 象通信信号用的各种电缆芯线等就是利用这类电阻率较小的材料制成的。相反, 绕制电阻器用的电阻丝就要采用锰铜丝或康铜丝等合金丝。因为它们除了具有很好的温度