

电工基础

上册

华东电业管理局《电工基础》编写组

电力工业出版社

73.1
235
1:1

电 工 基 础

上 册

华东电业管理局《电工基础》编写组

31428/06



内 容 提 要

本书共有十五章，分上、下两册出版。上册主要内容有线性直流电路，正弦交流电路和磁路等；下册主要内容有非正弦电路，铁芯线圈，线性电路过渡过程，分布参数电路，电磁场的基本概念与参数计算等。每册书末均附有习题和习题解答。本书可作为电力部门和其他部门的七·二一工人大学教学参考书，亦可作为电力系统业余教育参考书和技术人员、工人自学用书。

电 工 基 础

上 册

华东电业管理局《电工基础》编写组

*

电力工业出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 11 $\frac{1}{2}$ 印张 254千字

1980年1月第一版 1980年1月北京第一次印刷

印数 000001—101000册每册 1.00 元

书号 15036·4080

前 言

全书共有十五章，分上、下两册，比较系统地阐述了电路的基本概念、基本定律、基本计算方法，并介绍了电磁场的基本知识，是学习电的专业知识必要的理论基础。

本书是在数学（水利电力部七·二一大学教学参考书）及高中物理学的基础上编写的。有关物理中的电磁知识叙述较为扼要，仅作复习之用。

本书由华东电业管理局主编，山东省电力局参加编写。在编写过程中，得到有关厂、校的大力帮助和热情支持，在此表示衷心的感谢。

由于我们学识有限，经验不足，时间仓促，因此一定会有许多缺点和错误，诚恳希望读者提出批评和指正。

《电工基础》编写组

一九七九年六月

· 34966

目 录

前 言

第一章 直流电路	1
第一节 电路的基本知识	1
第二节 电阻	6
第三节 欧姆定律	8
第四节 电功率、电能及电流的热效应	11
第五节 有源支路的欧姆定律及全电路欧姆定律	15
第六节 基尔霍夫定律	19
第七节 简单直流电路的计算	25
第八节 电容的串并联电路	37
第二章 直流复杂电路	42
第一节 支路电流法	42
第二节 回路电流法	47
第三节 节点电位法	54
第四节 电压源与电流源的等值变换	59
第五节 迭加原理	64
第六节 有源二端网络定理	68
第七节 电阻的星形联接与三角形联接的等值变换	75
第三章 磁路	81
第一节 磁场的基本概念	81
第二节 铁磁物质的磁化	85
第三节 磁路的基本定律	91
第四节 无分支磁路和对称分支磁路的计算	98
第五节 不对称分支磁路的计算	105

18000

第六节	直流电磁铁的吸力	109
第四章	电磁感应	111
第一节	直导体中的感应电动势	111
第二节	线圈中的感应电动势	113
第三节	电磁感应定律	116
第四节	自感、自感电动势	117
第五节	互感、互感电动势	121
第六节	磁场的能量	126
第五章	正弦交流电路	130
第一节	变动的电压与电流	130
第二节	正弦量	132
第三节	同频率正弦量的相位差	135
第四节	正弦交流电的获得	138
第五节	周期电流、电压、电动势的有效值和平均值	139
第六节	电阻中的正弦电流	143
第七节	电感中的正弦电流	146
第八节	电容中的正弦电流	150
第九节	正弦量的矢量表示法	153
第十节	电阻、电感和电容的串联	160
第十一节	电阻、电感和电容的并联	169
第十二节	正弦电流电路中的功率	174
第十三节	功率因数的提高	178
第十四节	交流电路中的实际元件	182
第六章	用复数计算正弦交流电路	186
第一节	正弦量的复数表示法	186
第二节	单一参数电路中复电压与复电流的关系	192
第三节	基尔霍夫定律的复数形式	195
第四节	R 、 L 、 C 串联电路复电压与复电流的关系·复阻抗	195
第五节	R 、 L 、 C 并联电路复电压与复电流的关系·复导纳	199

第六节	复阻抗与复导纳的等值互换	201
第七节	复功率	204
第八节	简单正弦交流电路的计算	206
第九节	电路中的谐振	213
第七章	交流复杂电路	222
第一节	支路电流法	222
第二节	回路电流法	223
第三节	节点电位法	230
第四节	正弦电路中电压源和电流源的等值变换	234
第五节	迭加原理	236
第六节	有源二端网络定理	238
第七节	阻抗的星形联接和三角形联接的等值变换	241
第八节	四端网络	246
第九节	有互感的正弦交流电路	265
第八章	三相交流电路	274
第一节	对称三相交流电源及其联接方式	274
第二节	对称三相负载的联接	281
第三节	对称三相电路的计算	286
第四节	三相电路的功率	297
第五节	不对称三相电路的计算	300
第六节	对称分量	314
习 题		322
习题答案		356

第一章 直 流 电 路

直流电路是电路理论的基础。本章在物理学基础上，主要讨论直流电路的基本概念、基本定律及简单直流电路的分析计算。

第一节 电路的基本知识

一、电路、电路组成、电路图

电路就是电流流通的路径。它的作用是传递和分配电能，并使电能和其它形式的能量相互转换。最简单的电路如图1-1所示。当开关合上后，电路中就有电流流过，电池变化学能为电能而输出电能量，灯泡则发光发热而消耗电能量，这就实现了电能与热能、光能的转换。当开关断开后，电路便切断，电流不能流通，灯泡就不亮了。

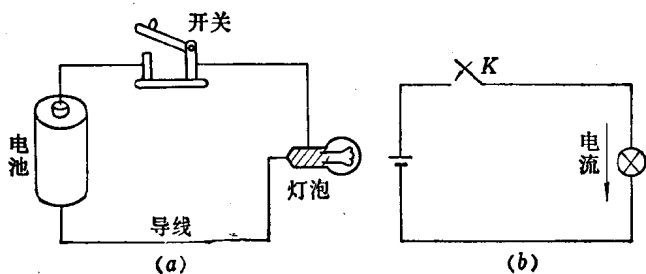


图 1-1 简单直流电路图
(a)实物电路图；(b)电路图

从上面的例子可以看出，电路主要由下面三个部分组成：

(1) 电源。它是电路中输出电能的一个装置，如发电机、蓄电池、光电池等。在工作时，它们分别将机械能、化学能、光能等其它形式的能量转换为电能。

(2) 负载。它是使用电能的装置，又称用电设备，如电灯、电炉、电动机等。它们分别将电源所产生的电能转换为光能、热能、机械能等。

(3) 联接导线。用来传输和分配电能。

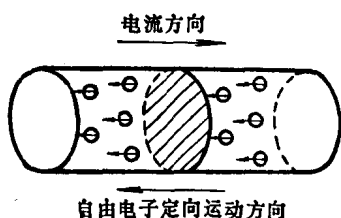
比较完善的线路，还装有附属设备，如开关、熔丝、仪表等，以作为控制、保护，测量之用。

图1-1(a)是实物电路图。为了便于分析和计算，可把电路中的实物元件用图形符号来表示，则如图1-1(b)所示，称为电路图。

二、电流

带电粒子的定向移动形成电流。习惯上把正电荷移动的方向规定为电流的方向。金属导体中的电流是带负电荷的自由电子的定向运动，其电流方向与电子运动方向相反，如图1-2所示。

电流的大小用单位时间内通过导线某截面的电量，即电流强度来衡量。电流强度简称电流，通常用符号 I 表示。设 q 表示在时间 t 内通过导线某一截面的电量，则得



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

图 1-2 导线电流方向

式中，时间 t 的单位用秒 (s)；电量 q 的单位用库仑 (C)，则电流强度 I 的单位为安培 (A)。

电流强度还可以用毫安 (mA)、微安 (μA) 和千安 (kA)

为单位,

$$1mA=10^{-3}A$$

$$1\mu A=10^{-6}A$$

$$1kA=10^3A$$

大小和方向都不随时间的变化而变化的电流叫做直流电流。大小和方向随时间的变化而变化的电流则称为交变电流。电流的大小可用电流表来测量, 电流表应与被测元件串联, 直流电流表的接线还应注意其极性。

三、电位

电场中某点的电位, 在数值上等于单位正电荷沿任意路径, 从该点移至无限远处的过程中电场力所作的功。设有正电荷 q , 在从电场中的 P 点移到无穷远处的过程中, 电场力所作的功为 A_P , 则 P 点的电位 φ_P 为

$$\varphi_P = \frac{A_P}{q} \quad (1-2)$$

式中, A_P 的单位为焦耳 (J); q 的单位为库仑 (C); φ_P 的单位为伏特 (V)。

四、电压

电场中任意两点之间的电压, 等于单位正电荷在这两点间移动时电场力所作的功。设正电荷 q 在电场中从 A 点移动到 B 点时电场力所作的功为 A_{AB} , 则 A 、 B 间的电压为

$$U_{AB} = \frac{A_{AB}}{q} \quad (1-3)$$

式中, 若 A_{AB} 的单位是焦耳, q 的单位是库仑, 则 U_{AB} 的单位为伏特。

电压还可以用毫伏 (mV)、微伏 (μV) 和千伏 (kV) 为单位,

$$1mV = 10^{-3}V$$

$$1\mu V = 10^{-6}V$$

$$1kV = 10^3V$$

电压是衡量电场力作功能力的物理量。电压数值愈大，电场力作功的能力也愈大。

电压的大小可用电压表进行测量。电压表必须并联在被测元件的两端，在直流电路中，电压表的接线还应注意其极性。

下面介绍电压和电位之间的关系。

设 A_A 和 A_B 分别为正电荷 q 在电场中从 A 点及 B 点移动至无穷远时电场力所作的功，则正电荷 q 从 A 移至 B 时电场力所作的功 A_{AB} ，可表示为 $A_{AB} = A_A - A_B$ ，故式(1-3)可表示为

$$U_{AB} = \frac{A_A - A_B}{q} = \frac{A_A}{q} - \frac{A_B}{q}$$

$$= \varphi_A - \varphi_B \quad (1-4)$$

上式说明电场中 A 、 B 两点之间的电压 U_{AB} ，等于该两点的电位差。故电压又称为电位差。

电压的方向规定为电位降落的方向，在电路图中用 A 指向 B 的箭头表示，如图1-3所示。书写时用双下标表示，如 U_{AB} 。显然

$$U_{AB} = -U_{BA}$$

五、电动势

电源的电动势 E ，等于电源力（或称局外力）将单位正电荷从电源的负极移到正极所作的功。设电源力将正电荷 q 从负极移到正极时所作的功为 A ，则

$$E = \frac{A}{q} \quad (1-5)$$

式中， A 的单位是焦耳， q 的单位是库仑， E 的单位为伏特。

电动势的方向规定为电源力推动正电荷运动的方向，即从负极指向正极的方向，也就是电位升高的方向。电动势的方向与电压的方向是相反的，见图1-3所示。

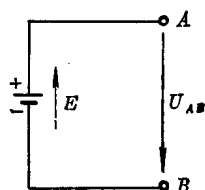


图 1-3 电动势与电压的方向

现用图1-4来简单说明电路接通时的物理过程。

在电源内部（内电路），电源力克服电场力把正电荷从低电位的负极推到高电位的正极，这个电位升的过程是电源力做功的过程，也是其它形式能量转换为电能的过程。

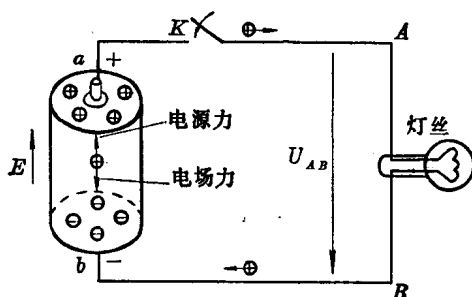


图 1-4 电路接通时的物理过程

在电源外部的负载电路中（外电路），正电荷在电场力推动下从高电位移到低电位，同时克服负载中的阻力做功。

在闭合电路中，由于电流的流动才能实现能量的传输和转换。

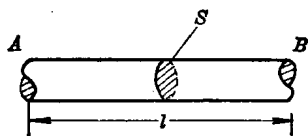
形成持续的电流必须有两个条件，一是要有电源，二是要有一条能够导电的闭合路径。

第二节 电 阻

当自由电子在金属导体里作定向移动时，要受到阻碍作用，我们把导体对电流的阻碍作用称为电阻，用字母 R 或 r 表示。金属导线、电灯泡、电炉及电烙铁等用电设备，都是具有电阻的元件。电阻是电路的基本参数之一。

一、导体电阻与导体材料和尺寸的关系

导体的电阻决定于它的尺寸和材料的性质。根据实验可知，



一段均匀导线，如图1-5所示，在一定温度下，它的电阻可由如下公式计算

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-6)$$

图 1-5 导线的电阻

式中， l 是导线的长度，单位为米； S 是导线的截面积，单位是平方毫米； R 的单位是欧姆 (Ω)；比例系数 ρ 称为导体的电阻系数或电阻率，单位为 $\frac{\text{欧} \cdot \text{毫米}^2}{\text{米}}$ 。

电阻系数 ρ 与导体材料的性质和温度有关，由式1-6可知，电阻率 ρ 在数值上等于长 1 米、截面为 1 平方毫米的导线在 20°C 时所具有的电阻数值。几种常用导体材料的电阻系数列在表1-1中。

电阻系数的倒数称为电导系数，用 γ 表示，即

$$\gamma = \frac{1}{\rho} \quad (1-7)$$

它是表示导体导电能力的物理量，其单位为 $\frac{1}{\text{欧} \cdot \text{米}}$ 。

表 1-1

材料的电阻系数和电阻温度系数

用 途	材 料 名 称	电 阻 系 数 ρ (欧-毫米 ² /米)	温 度 系 数 α (1/°C)
导 电 材 料	碳	10.0	-0.0005
	银	0.0165	0.0036
	铜	0.0175	0.004
	铝	0.0285	0.004
	低碳钢	0.13	0.006
电 阻 材 料	锰 铜	0.42	0.000005
	康 铜	0.44	0.000005
	镍 铬 铁	1.0	0.00013
	铂 铬 铁	1.2	0.00008
	铂	0.106	0.00389

二、导体电阻与温度的关系

导体的电阻随温度的不同而变化，在不同温度时，同一导体的电阻值不同。为了计算材料在不同温度时的电阻，可引入电阻温度系数这一物理量。我们把温度每升高 1 °C 时电阻的变动数值对原来电阻的比值，称为电阻的温度系数，用字母 α 表示，它的单位是 1/°C。表 1-1 给出了一些常用导电材料的温度系数。一般来说， α 也是与温度有关的数值，但在一定温度范围内， α 值变化不大。

如果在温度为 t_1 时，导体的电阻为 R_1 ，在温度为 t_2 时，导体的电阻为 R_2 ，则导体的温度系数为

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1(t_2 - t_1)} \quad (1-8)$$

从上式可得

$$R_2 = R_1 + \alpha R_1(t_2 - t_1) \quad (1-9)$$

有一些物质如半导体材料，当温度升高时，其电阻减少，因

此它们的电阻温度系数 α 为负值。

少数铜合金如康铜、锰铜的电阻，几乎不受温度的影响，它们的温度系数 α 接近于零。

有些金属或合金，当温度低到某一数值（一般接近于绝对零度 -273°C ）时，电阻会突然大幅度下降，以致实际上电阻为零。具有这种性质的导体称为超导体。超导材料和超导技术的发展，对于电力传输和电器制造技术将有极大的意义。

【例 1-1】 电厂中的同步发电机，在制造时就在电机内部放置一个铂丝元件，以便在发电机运行过程中能测量出电机内部的温度，监视电机的运行。在 20°C 时测得元件的电阻值为 49.5 欧姆，而在另一运行时刻测得元件的电阻值为 60.9 欧姆，问此时发电机内部温度是多少？

解 查表 1-1 得铂丝的电阻温度系数 $\alpha = 0.00389/^{\circ}\text{C}$ ，由式 (1-8) 可得

$$t_2 = \frac{R_2 - R_1}{\alpha R_1} + t_1 = \frac{60.9 - 49.5}{0.00389 \times 49.5} + 20 = 80(^{\circ}\text{C})$$

由此可知，发电机此时内部温度为 80°C 。

第三节 欧 姆 定 律

不包含电源的一段电路称无源支路，如图 1-6 所示。实验证明，在一段无源支路中，电流 I 与这段电路两端的电压 U 成正比，而与这段电路的电阻 R 成反比，这就是欧姆定律。用公式表示则为

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-10)$$

式中，电压的单位是伏特，电流的单位是安培，电阻的单位为

欧姆。

欧姆定律还可写成另一种形式

$$U = IR \quad (1-11)$$

上式表示，当电阻 R 中通以电流 I 时，电阻两端要产生电位降或电压降，其数值可用该式计算。

电阻 R 的倒数称为电导，用字母 g 表示

$$g = \frac{1}{R} \quad (1-12)$$

式中，电阻的单位是欧姆，电导的单位是姆欧，简称姆，用 $\frac{1}{\Omega}$ 或 σ 表示。

电导表示了导体导通电流的能力。同样一个电阻元件，可以用电阻 R 表示，也可以用电导 g 表示。引入电导后欧姆定律可写成

$$I = Ug \quad (1-13)$$

阻值不随电压、电流而改变的电阻叫线性电阻。由线性电阻组成的电路称为线性电路。阻值随电压、电流而改变的电阻叫非线性电阻。由非线性电阻组成的电路称为非线性电路。欧姆定律只适用于线性电路。线性电阻的伏安特性是一条直线，如图 1-7 (a) 所示。非线性电阻的伏安特性是一条曲线，如图 1-7 (b) 所示。

【例 1-2】 今有一只标字不清的电阻 R ，为测其电阻值而搭成如图 1-8 所示的电路，已知伏特表读数为 3 伏，毫安表读数为 30 毫安，求 R 等于多少？

解 为了测定电阻值，工程上常用伏安法，即在一个未知的电阻两端加上一个直流电压，使电阻中通过一个电流。用电压表和电流表测量出电压、电流来，根据欧姆定律即可计算出电阻

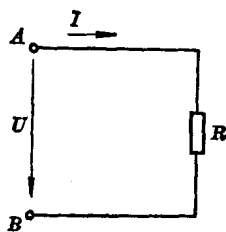


图 1-6 一段无源支路

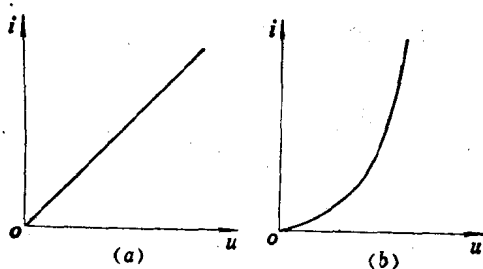


图 1-7 电阻的伏安特性曲线
(a)线性电阻; (b)非线性电阻

$$R = \frac{U}{I} = \frac{3}{0.03} = 100(\Omega)$$

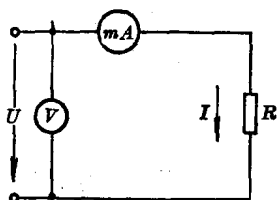


图 1-8

【例 1-3】长 200 米的照明线路，负载电流为 4 安，如果采用截面积为 10 平方毫米的铝线，试计算导线上的电压损失。如果改用同样截面的铜线，求导线上的电压损失。

解 查表 1-1 得铝的电阻率 $\rho = 0.0285 \text{ 欧} \cdot \text{毫米}^2 / \text{米}$ 。故铝导线总电阻为

$$R = \rho \frac{l}{S} = 0.0285 \times \frac{2 \times 200}{10} = 1.16(\Omega)$$

铝导线上的电压损失用 ΔU 表示

$$\Delta U = IR = 4 \times 1.16 = 4.64(\text{V})$$

查表 1-1 得铜的电阻率 $\rho = 0.0175 \text{ 欧} \cdot \text{毫米}^2 / \text{米}$ ，故铜导线总电阻为

$$R = 0.0175 \times \frac{2 \times 200}{10} = 0.70(\Omega)$$