

电工基础



电 工 基 础

湖南省水电学校
重庆水电学校 编
成都电力学校

*

湖南人民出版社出版
湖南省新华书店发行
湖南省新华印刷二厂印刷

*

1978年6月第1版第1次印刷
印数：1—40,000册 印张：18.62
统一书号：15109·129 定价1.50元

编 者 的 话

为了适应教育革命深入开展和电力工业飞速发展的需要,根据广大读者希望加强基本理论学习,提高业务水平,为加速实现四个现代化服务的要求,我们三个学校在认真总结自己教学体会的基础上,广泛地吸取了兄弟单位的好经验,编写了《电工基础》这本书。

本书的任务是在物理学所阐述的电磁规律的基础上,紧密联系电工工程实际,进一步研究电路和磁路的基本规律与分析计算方法,以及基本电量的测量方法。全书共十章,其基本内容是:直流电路的基本概念与分析计算;磁场、磁路及电磁感应;正弦电路的基本概念与分析计算;非正弦交流电路;电路的过渡过程;常用电工仪表及测量。

本书力图以辩证唯物主义的认识论为指导,按由浅入深,由特殊到一般,由感性认识上升到理性认识的原则来组织内容,以突出电路的基本原理为主,同时适当地结合了一些电力工业实例。并着重于物理概念的分析,辅以必要的数学论证,以期培养读者分析问题和解决问题的能力。为了便于自学,在章节内容安排方面,注意了与数学、物理及其他电力专业课程的联系;对重点内容尽量写深写透;对名词解释和定义力求确切;叙述方法力求通俗易懂。在编写形式上每章前面有学习要求,章后附有小结及一定数量的思考题和练习题。本书可供中等专业学校和技工学校电力专业教学参考,亦可供本专业的技术员及具有初中以上文化程度的电工自学。

参加本书编写的有:湖南省水利电力学校刘汉川、黄于忠;重

庆电力学校张步滋、于静蓉；成都水利发电学校栗玉若等同志。

在编写过程中，得到湖南金竹山电厂、衡阳供电所、鲤鱼江电厂、邵阳供电公司、湘潭电机厂和广西桂林电表厂等单位的热忱帮助与指教，在此表示衷心的感谢。

由于我们水平有限，特别是在如何加强基本理论的训练及如何把理论和实践更紧密的结合这一课题上，我们还仅仅是初步的探索，因此，书中难免有缺点和错误，恳切希望广大读者批评指正。

编者

一九七七年九月

目 录

第一章 直流电路的基本概念	(1)
1—1 电路及电路图	(1)
1—2 电流、电荷及电场	(2)
1—3 电压、电位	(10)
1—4 电动势	(12)
1—5 电阻与电导	(16)
1—6 欧姆定律	(21)
1—7 基尔霍夫定律	(27)
1—8 电功率与电能	(32)
1—9 电路的工作状态	(38)
小结	(43)
思考题	(45)
习题	(49)
第二章 直流电路的分析与计算	(55)
2—1 电阻的串联	(55)
2—2 电阻的并联	(60)
2—3 电阻的混联	(65)
2—4 支路电流法	(68)
2—5 回路电流法	(71)
2—6 结点电压法	(74)
2—7 迭加原理	(77)
2—8 有源两端网络定理(等效电源定理)	(80)

2—9 定电势源和定激流源.....	(86)
2—10 电阻星形联接和三角形联接的等值互换.....	(90)
2—11 非线性电路的概念.....	(95)
小结.....	(99)
思考题.....	(103)
习题.....	(106)
第三章 电磁和电磁感应	(114)
3—1 磁场的概念.....	(114)
3—2 磁感应强度和磁通.....	(115)
3—3 磁场强度和全电流定律.....	(119)
3—4 磁场对载流导体的作用力.....	(124)
3—5 铁磁性物质的磁化.....	(130)
3—6 磁路与磁路定律.....	(136)
3—7 无分支磁路的计算.....	(142)
3—8 直导体中的感应电动势.....	(146)
3—9 线圈中的感应电动势.....	(149)
3—10 自感与自感电动势.....	(156)
3—11 磁场能量.....	(162)
3—12 互感与互感电动势.....	(163)
小结.....	(170)
思考题.....	(175)
习题.....	(180)
第四章 单相正弦交流电路	(184)
4—1 交流电.....	(184)
4—2 正弦电动势的产生及其表示.....	(187)
4—3 周期和频率.....	(194)
4—4 相位差.....	(196)

4—5	交流电的有效值·····	(200)
4—6	正弦量的矢量表示法·····	(205)
4—7	纯电阻正弦交流电路·····	(211)
4—8	纯电感正弦交流电路·····	(215)
4—9	电容·····	(221)
4—10	纯电容正弦交流电路·····	(230)
4—11	交流电路中的实际元件·····	(235)
4—12	电阻和电感串联的正弦交流电路·····	(239)
4—13	电阻和电容串联的正弦交流电路·····	(246)
4—14	电阻、电感和电容串联的正弦交流电路·····	(250)
4—15	正弦交流电路的功率·····	(255)
4—16	串联谐振·····	(261)
4—17	电阻、电感串联再与电容并联的正弦交流电路·····	(267)
4—18	并联谐振·····	(274)
4—19	功率因数的提高·····	(279)
	小结·····	(284)
	思考题·····	(290)
	习题·····	(294)

第五章 三相正弦交流电路 ····· (302)

5—1	三相正弦电动势的产生·····	(302)
5—2	三相电源的星形联接·····	(306)
5—3	三相电源的三角形联接·····	(309)
5—4	星形负载的对称三相电路·····	(311)
5—5	三角形负载的对称三相电路·····	(316)
5—6	Y—Y不对称三相电路·····	(320)
5—7	Y—Y ₀ 和Y— Δ 不对称三相电路·····	(326)
5—8	三相电路的功率·····	(331)
5—9	三相旋转磁场的概念·····	(335)

小结.....	(339)
思考题.....	(341)
习题.....	(344)
第六章 应用复数来计算正弦交流电路	(347)
6—1 复数的基本知识.....	(347)
6—2 用复数表示正弦量.....	(355)
6—3 复阻抗、复数形式的欧姆定律及复导纳.....	(357)
6—4 复功率.....	(362)
6—5 复数形式的含源支路欧姆定律及基尔霍夫定律.....	(364)
6—6 阻抗串联.....	(367)
6—7 阻抗并联.....	(370)
6—8 具有互感的正弦交流电路.....	(373)
6—9 复杂正弦交流电路的计算.....	(379)
6—10 不对称三相电路的计算.....	(381)
6—11 三相制的对称分量.....	(390)
小结.....	(399)
思考题.....	(404)
习题.....	(406)
第七章 非正弦交流电路	(412)
7—1 非正弦电流的产生.....	(412)
7—2 非正弦周期电量的表示法.....	(414)
7—3 非正弦周期电量的有效值、平均值、波形因数和波顶 因素.....	(419)
7—4 非正弦交流线性电路的分析与计算.....	(423)
7—5 非正弦交流电路的功率.....	(427)
7—6 对称三相电路中的高次谐波.....	(431)
小结.....	(437)
[4]	

思考题.....	(438)
习题.....	(439)
第八章 交流铁芯线圈	(442)
8—1 交流铁心线圈的电磁现象.....	(442)
8—2 铁心损失.....	(448)
8—3 正弦电压下铁芯线圈的电动势、电流和磁通.....	(451)
8—4 交流铁芯线圈的等效电路.....	(459)
8—5 交流电磁铁.....	(462)
小结.....	(465)
思考题.....	(466)
习题.....	(467)
第九章 电路的过渡过程	(467)
9—1 过渡过程的一般概念.....	(469)
9—2 $R - C$ 电路接通直流电源的过渡过程.....	(473)
9—3 $R - C$ 电路短接的过渡过程.....	(481)
9—4 $R - C$ 电路接通正弦电源的过渡过程.....	(485)
9—5 $R - L$ 电路短接的过渡过程.....	(491)
9—6 $R - L$ 电路接通直流电源的过渡过程.....	(496)
9—7 $R - L$ 电路接通正弦电源的过渡过程.....	(499)
9—8 电容器对线圈放电的概念.....	(502)
小结.....	(502)
思考题.....	(508)
习题.....	(510)
第十章 常用电工仪表及测量	(513)
10—1 电工仪表的一般知识.....	(514)
10—2 磁电式仪表.....	(519)

10—3 万用表.....	(527)
10—4 电磁式仪表.....	(531)
10—5 电动式仪表.....	(539)
10—6 三相电路功率的测量.....	(550)
10—7 感应式仪表—交流有功电度表.....	(556)
10—8 兆欧表.....	(565)
10—9 直流电桥.....	(571)
小结.....	(576)
思考题.....	(581)
习题.....	(584)

第一章 直流电路的基本概念

我们知道,电是现代工农业生产和日常生活所不可缺少的东西。无论是电力设备还是电讯设备,它们的运行都得依靠电流的作用。为要产生电流,需要构成电路。因此我们要研究电路中的电压、电流、电功率的规律及其计算方法。直流电路是研究其它复杂电路的基础,我们将分两章来讲解。本章学习的重点是:讨论电路中的基本物理量的意义,如电流、电压、电位、电动势及电功率等;研究电路中的基本定律,如欧姆定律及基尔霍夫定律等;同时还介绍一些电工工程实际问题,如额定值、开路、短路等。下一章学习的重点是直流电路的分析和计算。

1——1 电路及电路图

一、电路的组成及其作用

在日常生活的照明用电中,我们把灯泡经由导线、开关和电源接通,以使灯泡中有电流流过,灯泡就亮起来。在工厂的动力用电中,我们把电动机经由导线、开关和电源接通,以使电动机中有电流流过,电动机就转起来了。这种为了获得电流而把电气设备加以适当的组合所构成的总体称为电路。简单地说,电路就是电流流过的路径。显然,一个完整的电路都是由电源、负载(用电设备)、联接导线以及控制电器等四个基本部分组成,如图1—1所示。

电源：就是产生电能的设备，它的作用是将其它形式的能量（如化学能、热能、机械能、原子能等）转变成电能，并向用电设备供给能量。常用的直流电源有电池、直流发电机等。电池是将化学能转变为电能，直流发电机是将机械能转变为电能。

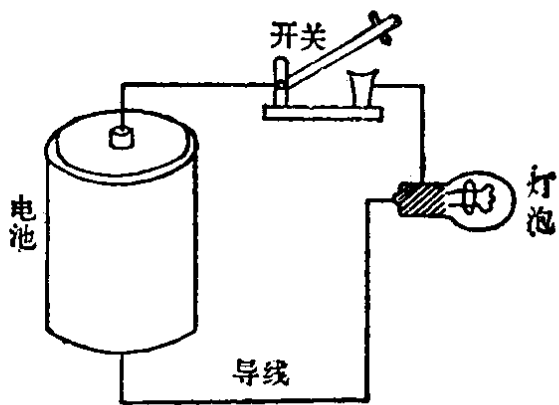


图 1—1

负载：就是各种用电设备。它的作用是将电能转变为其它形式的能量。例如电灯将电能转变为光能，电炉将电能转变为热能，电动机将电能转变为机械能等。它是从电源中吸取能量的。

联接导线：它把电源和负载联成一个闭合通路，起着传输和分配电能的作用。

控制电器：其作用是执行控制任务和保护电器设备。如开关是用来接通和断开电路；保险丝是用来保护电气设备。

二、电路图

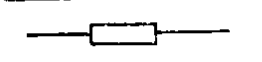
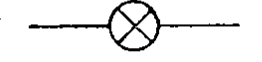
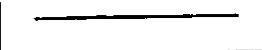
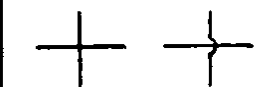
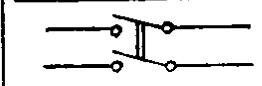
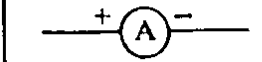
在工程上，为了讨论和计算的方便，我们往往用一些简单的符号来代表电路中的各种具体元件，表1—1中画出了一些常用电路元件的符号。应用这些简化符号就可以把图1—1所示的实际电路的各部分用相应的符号表示于图1—2中，这种图形就称为对应实际电路的电路图。

图1—2是最简单的无分支电路，它仅由一个电源和一个负载组成。比较复杂的电路是分支电路，图1—3是分支电路的一个例子，它由两个电源和一个负载组成。为了便于分析这种较复杂的电路，我们常采用下列术语以反映其结构上的特点。

(1) 支路。一段没有分支的电路称为支路。例如图 1—3 中 BE

表1—1

电 路 符 号

元 件 名 称	符 号	说 明
直流电源		其中“+”、“-”是表示电源的正、负极 箭头为正极，箭尾为负极
电阻	 	固定电阻 可变电阻
电灯		
导线	  	其中圆点表示导线的联结点 其中没有圆点表示导线不联结
开关	 	单刀开关 双刀开关
保险丝		
直流电流表		其中“+”、“-”是表示正、负端
直流电压表		

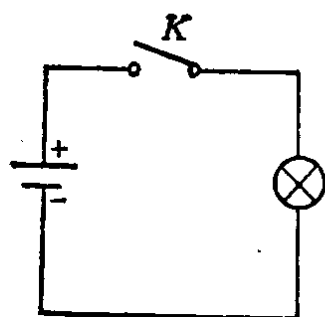


图 1—2

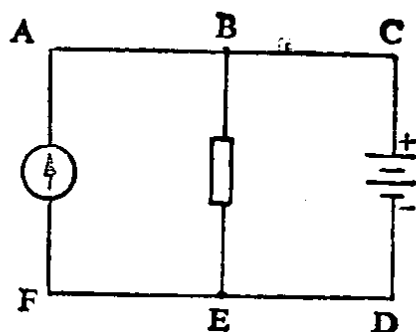


图 1—3

就是一条支路，同样BAFE及BCDE也是支路。

(2) 结点。凡是三条或三条以上支路相汇合的点称为结点。图1—3中的B和E都是结点，但A、C、D、F不是结点。

(3) 回路。自电路中某一点出发，经过一周又回到该点的任意闭合路径称为回路。例如图1—3中的ABEFA、BCDEB及ABCDEFA都是回路。

电路元件的组合也称为网络。通常把“电路”与“网络”等同起来，相互通用。

1——2 电流、电荷及电场

一、电流

我们知道，当电路接通后，电路便出现电流，电路中能量传输和转换正是靠电流来实现的。什么是电流呢？电流就是大量电荷的定向移动。如金属导体中的电流就是其中的自由电子的定向移动，它是客观存在的一种物理现象。

(1) 电流的大小：怎样来表示电流的大小（或强弱）呢？我们是用单位时间内通过导线某一横截面的电荷量多少来衡量电流的大小的，并把它叫做电流强度，简称“电流”，通常用符号I表示。如果在单位时间内通过导线横截面的电荷量越多，电流I就越大。

如果电流的大小和方向都不随时间而变化，则这种电流叫做恒稳直流电流，简称直流。对于这种直流来说，若以Q表示在时间t内通过导线横截面的总电量，则电流的大小为

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

若电量Q的单位是库仑，时间的单位是秒，则电流的单位为安(A)。也就是说，若每秒钟通过导线横截面的电量是1库仑，则电流

为1安,即

$$1 \text{ 安} = \frac{1 \text{ 库仑}}{1 \text{ 秒}}$$

有时电流也用仟安 (KA)、毫安 (mA) 或微安(μA)作单位。

$$1\text{KA} = 10^3 \text{ A}$$

$$1\text{A} = 1000\text{mA} = 10^3\text{mA}$$

$$1\text{A} = 1000000\mu\text{A} = 10^6\mu\text{A}$$

或 $1\text{mA} = 10^{-3} \text{ A}$ $1\mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A}$

(2) 电流的方向: 电流在金属导线中的方向是怎样规定的呢? 习惯上是以正电荷移动的方向作为电流的方向 (实际方向)。但事实上金属内部的正电荷是不移动的, 电流是负电荷 (自由电子) 在金属中流动形成的。那么规定电流的方向为负电荷运动的方向, 岂不更符合实际情况吗? 我们说这是因为人们在开始研究电流现象时, 由于历史条件的限制, 误认为金属中的电流是正电荷在移动, 而且负电荷向一个方向移动, 它在电和磁方面的效果与等量正电荷反方向移动完全一样, 所以这样规定既不影响对电磁现象的解释, 也没有什么不方便的地方, 如今已成了习惯。

由上述可知, 导体中的电流不仅具有大小, 而且还有方向性。显然, 当电流沿金属导体运动时, 只有两种可能的方向。一般我们说, 某导体中的电流为多少安, 则这个数字只能说明电流的大小, 不能反映电流的实际方向。在研究较复杂的电路问题时, 也往往不知道电流的实际方向。因此, 为了计算和分析问题方便, 我们有必要把电流这个量看成一个代数量, 任意选定其中一个方向为“正方向”。如图1—4中, 我们选定电流的正方向从A到B, 而这时电流的实际方向正好也是从A到B, 把该电流定为正值 (+I); 如果电流的实际方向是从B到A, 与所选定的正方向相反, 则把该电流定为负值 (-I)。这样, 选定了正方向后, 电流的大小和实际方向便可用

电流的正、负值反映出来，这就是代数知识在电工实际中的应用。

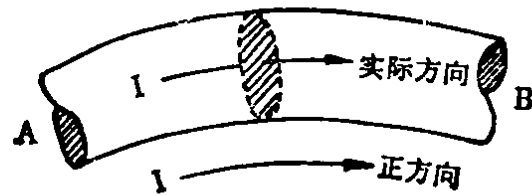


图 1—4

电流的正方向可以任意选定，而它的实际方向却是客观存在，不会因所选正方向的不同而改变。因此，若选定的正方向不相同，同一电流的大小仍相同，但符号则相反（由正变负或由负变正）。

为了不使电流的实际方向与正方向在电路图上相混淆起见，本书中电路图上所标的电流方向都是正方向。关于正方向问题是很重要的，大家在学习中，应不断加深体会。

二、电荷及电场

前面说过，电流就是大量电荷的定向移动。那末，电荷为什么会作定向移动呢？我们说，一定有某种力作用于电荷上，方能导致电荷的定向移动，这种力就是电场对电荷所施加的作用力，故电场的存在是产生电流的条件。那么什么是电场呢？它具有哪些基本特征，又如何表示呢？下面就来介绍有关电场（静电场）的知识，以帮助我们比较深刻地理解电路中的物理过程。

(1) 电荷：我们把两个不同材料的物体，例如绸子和玻璃棒，互相摩擦以后，发现它能够吸引纸屑、羽毛等轻微物体，我们就说它们带了电（或电荷）。带有电荷的物体叫做带电体。实践证明：物体所带的电荷有两种，而且只有两种，一种叫正电荷，另一种叫负电荷；电荷与电荷之间有相互作用力，同性电荷互相排斥，异性电荷互相吸引。

物体之所以能带电，就是因为物体内部具有带电的因素决定的。我们知道，自然界里构成物质的基本粒子是电子、质子和中子，三者构成原子。质子和中子结合成原子核，原子核的外围是以高速绕

核旋转的电子。质子带有正电荷、中子不带电，而电子带负电荷。但是，在平常情况下，物体所具有的正电荷和负电荷的数量是相等的，因此对外不显电性，而显中性。如果当物体由于某种原因使电子增多或减少时，就会具有电性。例如用绸子和玻璃棒互相摩擦后再分开时，玻璃棒因失去电子而带正电，绸子因得到电子而带负电。带正电的物体失去的电子数目，必定等于带负电的物体得到的电子数目。因此可以说，物体带电的过程就是物体之间的电子重新分配的过程。电荷是一种客观存在的物质，既不能创造，也不能消灭，只能从一个物体转移到另一个物体，这叫做电荷守恒。

物体带电多少，由它所带有的正电荷或负电荷的数量来表示，称为物体的带电量。前面说过，在实用中，电量的单位是库仑，1库仑的电量约为 6.25×10^{18} 个电子所带的电量。

(2) 电场及其基本特征：我们在物理学中已经知道，任何两个物体相互作用的机械力是依靠直接接触来传递的。而从摩擦生电的试验中看到，两种电荷并没有直接接触为什么也会有互相作用力呢？这是因为在电荷周围的空间，存在着一种特殊物质，称之为电场。另一个电荷处在这个电荷形成的电场中，就会受到电场力的作用。

电场与电荷是永远不可分割的，只要有电荷存在，它的周围就一定有电场。根据试验可知，电场具有以下两个基本特征：

① 电场对处在电场中的电荷有力的作用。例如在正电荷周围空间的正电场中，若存在着其他的正电荷，则这个正电荷就要受到电场的排斥；若是负电荷就会受到电场的吸引，如图1—5所示。

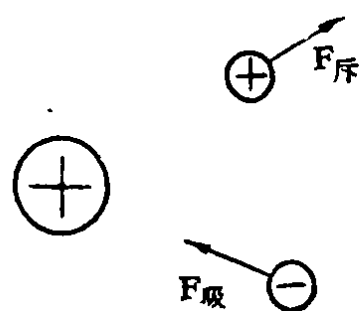


图1—5

② 若电荷顺着电场的方向移动，则电场力对电荷做功；反之，若电荷逆电场力方向而移动，则电荷需要由外力克服电场力而做功。