

罗玉雄 主编
DIANGONG JICHU

电工基础

DIANGONG JICHU DIANGONG JICHU

电工基础

主 编: 罗玉雄

副主编: 贺令辉

主 审: 刘汉川

编 者: 罗玉雄 贺令辉

龚 敏 杨志伟

湖南科学技术出版社

电工基础

编者：罗玉雄 贺令辉 龚敏 杨志伟
责任编辑：胡捷晖

出版发行：湖南科学技术出版社

社址：长沙市展览馆路11号

印刷：湖南省新华印刷一厂

（印装质量问题请直接与本厂联系）

厂址：长沙市芙蓉北路564号

邮编：410008

经销：湖南省新华书店

出版日期：1997年8月第1版第3次

开本：850mm×1168mm 1/32

印张：15.5

字数：378000

印数：8601—12600

征订期号：科技兴农 970066—5

书号：ISBN 7—5357—2092—7/TM·25

定价：18.50元

（版权所有·翻印必究）

内 容 提 要

本书参照中等专业学校电气类教学大纲编写。全书共分八章，即：直流电路的基本概念；直流电路的分析与计算；单相正弦交流电路；应用复数计算正弦交流电路；三相正弦交流电路；非正弦交流电路；恒定磁通的磁路和交流铁芯线圈；线性电路的过渡过程。每章前有学习提要，章末有小结、习题与思考题，书末附有参考答案。

本书叙述详细，通俗易懂，便于自学。既可用作中专教材，经过适当取舍亦可用作技工学校教材，还可作为各种电类培训班教材，并可供有关工程技术人员参考。

前 言

改革开放以来，我国的电力事业得到了更为迅速的发展。火电厂、水电站、核电站，装机容量日益扩大；生产用电、生活用电，用电范围愈加广泛；电力负荷不断由厂矿向商业区、生活区倾斜，电力线路不断从城镇向广大农村伸展。随着“九五”计划和“2010年远景目标纲要”的实施，我国的电气化还将有更大的发展。现今，从事电气工作的人员迫切需要有一本理论性、系统性较强，特别是便于自学的电工基础读本，为此，我们组织长期从事电工基础教学工作的同志编写了本书。

本书在参照中专电气类教学大纲和培养目标的基础上，注意到当今电路理论的发展，力求理论与实际相互联系。为了便于自学，让学习者在获得知识的同时，提高分析和解决问题的能力，本书选用了较多与生产实际有关的例题和习题，每章前有学习提要，章末有小结、习题与思考题，书末附有参考答案。

本书由罗玉雄主编，贺令辉副主编，刘汉川同志担任主审。参加编写的有罗玉雄（第一、二章）、贺令辉（第三、四、六、八章）、龚敏（第七章）、杨志伟（第五章）。

由于编者水平和经验有限，加上成书时间较为仓促，书中一定还存在不少缺点，恳请读者批评指正。

编 者

1996年3月

目 录

第一章 直流电路的基本概念	(1)
§ 1—1 电路和电路图.....	(1)
§ 1—2 电路的基本物理量.....	(5)
§ 1—3 电阻和电导	(14)
§ 1—4 欧姆定律	(17)
§ 1—5 克希荷夫定律	(19)
§ 1—6 电功率与电能	(27)
§ 1—7 电路的有载工作状态、开路与短路.....	(32)
小结	(38)
习题与思考题	(41)
第二章 直流电路的分析与计算	(48)
§ 2—1 电阻的串并联	(48)
§ 2—2 电阻的Y联接与 Δ 联接的等效互换	(61)
§ 2—3 电源的串联、并联及其等效变换	(68)
§ 2—4 支路电流法	(79)
§ 2—5 回路电流法	(81)
§ 2—6 节点电压法	(85)
§ 2—7 迭加原理	(89)
§ 2—8 戴维南定理及诺顿定理	(93)
§ 2—9 最大功率的输出条件	(98)
§ 2—10 非线性电阻电路	(101)

小结	(106)
习题与思考题	(110)
第三章 单相正弦交流电路	(128)
§ 3—1 交流电	(129)
§ 3—2 单相正弦交流电动势的产生及其表示	(132)
§ 3—3 正弦交流电量的三要素	(138)
§ 3—4 正弦交流电量的有效值和平均值	(143)
§ 3—5 正弦交流电路中的电阻元件	(149)
§ 3—6 自感	(153)
§ 3—7 正弦交流电路中的电感元件	(159)
§ 3—8 电容元件	(163)
§ 3—9 正弦交流电路中的电容元件	(172)
§ 3—10 R 、 L 、 C 串联电路特性分析	(176)
§ 3—11 正弦交流电路中的功率	(182)
§ 3—12 实际元件的电路模型	(187)
小结	(192)
习题与思考题	(193)
第四章 应用复数计算正弦交流电路	(198)
§ 4—1 复数的基本知识	(198)
§ 4—2 正弦量的矢量表示法	(202)
§ 4—3 正弦交流量的复数表示法	(211)
§ 4—4 R 、 L 、 C 元件的外特性方程及克希荷夫定律的复数形式	(215)
§ 4—5 复阻抗、复导纳及复数形式的欧姆定律	(219)
§ 4—6 复功率	(226)
§ 4—7 复阻抗的串、并联	(228)
§ 4—8 复杂正弦交流电路的计算	(235)
§ 4—9 串联谐振	(240)

§ 4—10 并联谐振	(243)
§ 4—11 功率因数的提高	(248)
§ 4—12 互感	(253)
§ 4—13 具有互感的正弦交流电路分析	(260)
§ 4—14 空芯变压器	(270)
小结	(275)
习题与思考题	(280)
第五章 三相正弦交流电路	(287)
§ 5—1 三相正弦电动势	(288)
§ 5—2 三相电源、三相负载的星形联接	(293)
§ 5—3 三相电源、三相负载的三角形联接	(298)
§ 5—4 对称三相电路的计算	(303)
§ 5—5 不对称三相电路及中性点位移	(308)
§ 5—6 三相正弦电路的功率	(316)
§ 5—7 三相正弦电路的功率测量	(320)
小结	(326)
习题与思考题	(329)
第六章 非正弦交流电路	(331)
§ 6—1 概述	(331)
§ 6—2 周期性非正弦交流量的分解	(334)
§ 6—3 几种对称波形的谐波特点	(337)
§ 6—4 有效值、平均值及特性系数	(342)
§ 6—5 非正弦交流电路中的功率	(345)
§ 6—6 非正弦交流电路的分析计算	(349)
§ 6—7 对称三相非正弦交流电路中的高次谐波	(354)
小结	(361)
习题与思考题	(362)
第七章 恒定磁通的磁路和交流铁芯线圈	(366)

§ 7—1	磁场和磁场的基本物理量	(366)
§ 7—2	全电流定律	(373)
§ 7—3	铁磁物质的磁化	(375)
§ 7—4	磁路及磁路的基本定律	(381)
§ 7—5	无分支恒定磁通磁路的计算	(387)
§ 7—6	对称分支恒定磁通磁路的计算	(389)
§ 7—7	交流铁芯线圈的电磁现象	(391)
§ 7—8	铁芯损失	(394)
§ 7—9	正弦电压作用下铁芯线圈的电流和磁通	(397)
§ 7—10	交流铁芯线圈的等效电路	(403)
§ 7—11	交流电磁铁	(406)
	小结	(409)
	习题与思考题	(412)
第八章	线性电路的过渡过程	(415)
§ 8—1	过渡过程的基本概念	(415)
§ 8—2	换路定律及初始值的确定	(419)
§ 8—3	R 、 C 电路接直流电源的过渡过程	(425)
§ 8—4	R 、 C 短接时电路的过渡过程	(432)
§ 8—5	R 、 C 电路接通正弦电源的过渡过程	(437)
§ 8—6	R 、 L 电路接通直流电源的过渡过程	(444)
§ 8—7	R 、 L 短接时电路的过渡过程	(450)
§ 8—8	R 、 L 电路接通正弦电源的过渡过程	(455)
§ 8—9	只有一个储能元件的复杂电路的过渡过程	(460)
§ 8—10	电容器对线圈放电的概念	(468)
	小结	(472)
	习题与思考题	(474)
参考答案		(479)

第一章 直流电路的基本概念

本章主要介绍电路的基本知识，讨论电路中电压、电流、电动势、电功率等基本物理量的物理意义，研究电路中的基本定律，如欧姆定律、克希荷夫定律等，介绍一些电工工程实际问题，如额定值、电路的工作状态等。

这些内容是分析和计算电路的基础，其中有些内容虽然属于物理课的范围，但为了加强理论的系统性，仍在此处作进一步阐述，重点是向实际应用方面拓宽。这些方法虽然是在直流电路中提出，但同样适应于交流电路，故是分析和计算电路的基本理论。通过学习，使读者加深理解和得到进一步的巩固，并能将所学知识充分地应用和扩展，根据需要向实际应用方面拓宽。

§ 1—1 电路和电路图

一、电路的组成

电路就是电流通过的路径。它是为了获得电流而将某些电气设备或元件加以适当组合所构成的总体。其作用是实现电能的传输和转换。电路的结构形式和所能完成的任务是多种多样的，最典型的例子是电力系统，其电路示意图如图 1—1 所示。又如在日常生活照明用电中，我们把灯泡由导线、开关和电源接通，使灯

泡中有电流流过，灯泡就亮起来，如图 1—2 所示，它是一个简单的手电筒电路，它包括电池、小电珠、联接导线和开关等。

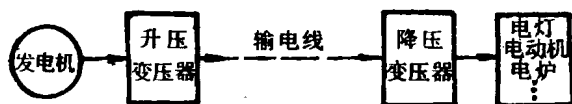


图 1—1 电力系统示意图

显然，一个完整的电路是由电源、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。

1. 电源：是供给电能的设备。它把其它形式的能量转换成电能。如将化学能、热能、光能、机械能、原子能等能量转换成电能。例如：发电机将机械能转变成电能，干电池、蓄电池将化学能转变成电能。

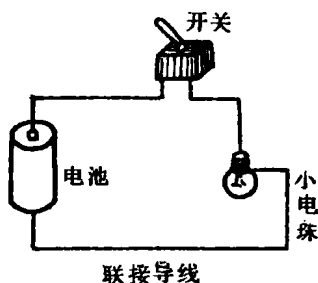


图 1—2

2. 负载：就是各种用电设备，它的作用是将电能转变成其它形式的能量。例如电灯将电能转变成光能，电炉将电能转变成热能，电动机将电能转变成机械能。它们都是从电源中吸取能量的。

3. 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。

4. 测量控制电器：如开关、仪表、控制保护设备等，其作用是对电路进行控制、测量和保护电气设备。如开关是用来接通和断开电路，保险丝、熔断器是用来保护电器，电压表、电流表等表计是用来对电路的参数进行测量的。

二、电路图

任何实际电路都是由实际电气设备组成的，如图 1—2 就是用电设备的实物图形表示的电路图，它的优点就是直观，但作图

很麻烦，且它们的电磁性能一般也比较复杂，而不便于用数学方法进行分析 and 计算。因此，在分析和研究电路的工作状态时，一般不采用实际电路图，而是采用一种由电路元件图形符号组成的原理电路图，简称原理图。图 1—2 的原理电路图如图 1—3 (a) 所示。它是用统一规定的元件图形符号来代替电路中的实际电气设备和器件。这种电路图通常只反映各电气元件之间的联结关系，而不表示出实际电路的形状、尺寸和相互位置。

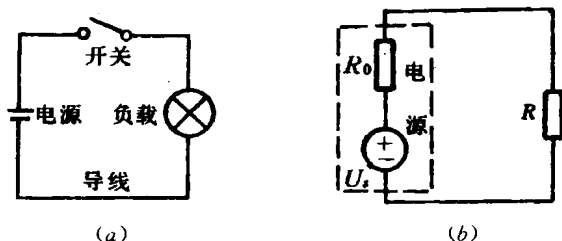


图 1—3

对于电路中的各种实际元件，国家都规定了用标准的图形符号及文字符号来表示。常用的电路元件和仪表的符号如表 1·1。

然而在分析和研究电路的工作状态时，为了便于用数学方法进行分析 and 计算，总是又把构成电路的实际设备抽象成一些理想化的模型，这些理想化的模型叫做理想电路元件，它是根据实际设备在一定条件下突出其主要电磁性能，忽略其次要因素，把它近似地看作理想电路元件，并将理想电路元件来模拟各种实际电气设备的电磁性能并构成电路。这种用来分析和计算的电路图称为电路模型，如图 1—3 (b) 就是图 1—3 (a) 的电路模型。

理想电路元件是具有某种确定的电或磁性质的假想元件，它们及它们的组合可以反映出实际电路元件的电磁性质和电路的电磁现象。实际电路元件虽然种类繁多，但它们在电磁性质上都有相同的地方，归纳起来为下列几种：

1. 主要消耗电能的元件，称为电阻元件。
2. 主要用于储存磁场能量的元件，称为电感元件。
3. 主要用于储存电场能量的元件，称为电容元件。
4. 向电路提供电能或电信号的元件，称为电源元件。

本书只主要介绍和讨论上述几种理想电路元件。今后所分析的都是指由这些理想电路元件组成的电路模型，简称电路。

表 1·1

电工系统图形符号

(根据国家标准 GB312—64)

名 称	符 号	名 称	符 号	名 称	符 号
导线	—	直流发 电机		电阻器	
联结的 导线		电池		可变电阻 器	
接地		开关		电容器	
安培表		熔断器		电感器	
伏特表		照明灯		变压器或 互感器	
瓦特表		隧道二 极管		铁芯变压 器	
晶体管	KK	稳压二 极管		铁氧体芯 变压器	
传声器		二极管		绕 组	
扬声器		电动机			

三、单位制

本书中物理量采用国际单位制 (SI) 单位。在国际单位制中有

7 个基本单位：长度以米 (m) 为单位；质量以千克 (kg) 为单位；时间以秒 (s) 为单位；电流以安培 (A) 为单位；温度以开尔文 (K) 为单位；物质的量以摩尔 (mol) 为单位；发光强度以坎德拉 (cd) 为单位。其它物理量的单位可由这些基本单位导出，例如电荷量的单位为库仑 (C)， $1 \text{ [库仑]} = 1 \text{ [安培]} \cdot 1 \text{ [秒]}$ ，即 $1 \text{ C} = 1 \text{ A} \cdot 1 \text{ s}$ ；为了使单位含意清楚，并简化单位的名称及符号，有些物理量的导出单位也可用专门名称的 SI 导出单位表示，如功率的单位为瓦特 (W)， $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$ ；电压的单位为伏特 (V)， $1 \text{ V} = 1 \text{ W/A}$ 。

将主单位冠以 SI 词头 (见表 1·2)，即可得到主单位的十进倍数单位和分数单位。如电流常用的分数单位和十进倍数单位有微安 (μA)， $1 \mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A}$ ；毫安 (mA)， $1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}$ ；千安 (kA)， $1 \text{ kA} = 10^3 \text{ A}$ 等。

表 1·2 国际单位制 (SI) 中常用词头

因数	10^9	10^6	10^3	10^2	10^1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}
名称	吉	兆	千	百	十	分	厘	毫	微	纳	皮
符号	G	M	k	h	da	d	c	m	μ	n	p

(表中 h、da、d、c 一般用于长度、面积和体积)

§ 1—2 电路的基本物理量

一、电流

带电粒子 (电子、离子等) 的有秩序运动形成电流，电流是一种客观存在的物理现象。

1. 电流的大小：其大小等于穿过导线某一横截面积的电荷量

与所需时间之比，并称之为电流强度，简称“电流”，通常用符号 I 表示。如果电流的大小和方向都不随时间而变化，则这种电流称为直流电。对直流电来说，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：

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

如果电流的大小和方向随时间的变化而变化，则称其为交流电，其电流强度 i 为：

$$i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (\text{或 } i = \frac{dQ}{dt})$$

若电量 Q 的单位为库仑 (C)，时间的单位为秒 (s)，则电流的单位为安培 (A)。也就是说，若每秒钟通过导线横截面的电量是 1 库仑，则电流即为 1 安，即：

$$1 \text{ 安} = \frac{1 \text{ 库仑}}{1 \text{ 秒}} \quad (1\text{A} = \frac{1\text{C}}{1\text{s}})$$

有时电流也用千安 (kA)、毫安 (mA)、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：电流在金属导体中的方向习惯上是以正电荷移动的方向作为电流的方向（实际方向）。然而事实上，金属内部的正电荷的移动相对负电荷（自由电子）而言是相当缓慢的，故电流的流动实际上是负电荷（自由电子）运动形成的。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？但是，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，而且负电荷在外力的作用下向一个方向移动，它的电和磁方面的效果与等量正电荷反方向移动是

完全一样的，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。那么既已形成了习惯，故人们仍旧遵循这个规定。

由上述可知，导体中电流不仅有大小，而且有方向性。显然，当电流沿金属导体运动时，其方向只有两种可能。在简单电路中，运用上面电流为正电荷运动形成的这一习惯规定，我们很容易判断图 1—3 所示电路的电源内部电流是从负极流向正极，在电源外部电路中，电流是从正极流向负极。但在复杂电路中，往往不知道电流的实际方向，况且有时电流的实际方向还会不断地改变。因此，为了计算和分析问题的方便，我们引入电流的“参考方向”这一概念，即在一段电路中任意选定其中一个方向为电流的参考方向作为“正方向”。如图 1—4 中，我们选定电流的正方向是从 A 到 B，而这时电流的实际方向正好也是从 A 到 B，则把该电流规定为正值 ($+I$)，即 $I > 0$ ；如果电流的实际方向是从 B 到 A，与所选定的正方向相反，则把该电流规定为负值 ($-I$)，即 $I < 0$ 。



图 1—4 电流的正方向和实际方向

这样选定了正方向后，电流大小和实际方向便可用电流的正、负值反映出来。如果由计算得到的电流为正值，则表示实际电流方向为图中所标的电流的正方向；如电流为负值，即表示实际方向与所标的正方向相反。

电流的正方向是可以任意选定的，而电流的实际方向是客观存在的，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，但符号相反（由正变负或由

负变正)。在今后有关的计算中,首先应选定正方向,正方向一经选定就不要随便改变。

为了不使电流的实际方向与正方向在电路中相混淆,本书电路图所标的电流方向都是正方向。有关电流正方向与实际方向的概念在以后的电路分析中会经常遇到,应不断加深理解和体会。

测量电路中电流的仪表叫电流表(安培表),电流表必须串联接在被测电路中。为了使电流按正确的方向流入电表,直流电表中线圈的两个引线端分别标以正(+)和负(-)符号。测量电流时一般应按电流的实际方向,使电流从电流表的正端流入而从负端流出。但当预先不知道电流的实际方向时,可先按参考方向接入电流表,使被测电流从电流表的正端流入,负端流出,如图1—5。

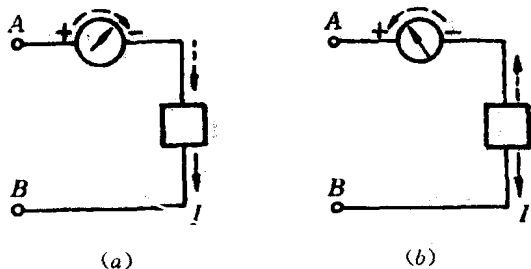


图 1—5

此时,若指针正向偏转,表示电流为正值(图 a);若指针反向偏转,则表示电流为负值(图 b),应将电流表的两端对换以测出电流的量值。测量时注意:电流表应流过被测电流,不要错误地把电流表跨接在被测元件两端,以免损坏电流表。

二、电压

当导体中存在电场时,电荷将受到电场力的作用而移动,即电场力会对电荷做功。为了定量地反映这种电场力做功的情况,我们引用电压这一概念:若电荷 Q 在电场力作用下从 A 点沿某路径