

501

794147

54254 高等 学校 试用教材

# 电工技术基础

成都科技大学电工技术教研室



成都科技大学出版社

## 内 容 简 介

本书作为电工技术基础试用教材，供高等院校本科非电专业使用。

该书内容分为两篇：第一篇电路分析基础从反映现代电路理论的基础知识出发，加强了电路的时域及频域分析，增加了用拉氏变换分析线性电路的方法，引入了网络函数及零、极点的概念，第二篇机电能量转换装置从机电能量转换的基本原理出发，着重讲述各类电机的基本原理及外部特性。

全书讲课时数约为60学时，实验10学时，若学时较少或在专科讲授时，可删去拉氏变换等内容。

高等学校试用教材

### 电 工 技 术 基 础

成都科技大学电工技术教研室编

责任编辑：宋远智

---

成都科技大学出版社出版、发行

成都科技大学印刷厂印刷

开本 787×1092 毫米 1/32 印张 14

1988年1月第1版 1988年1月第1次印刷

印数 4-10,000 字数 300,000

---

统一书号：15475·1 定价：2.80 元

## 前 言

供非电专业使用的传统电工学教材一般包括电路、电机和电子技术三部分。近二十年来，电工学所涉及的内容发展极为迅速，特别是在电路和电子技术两方面，其内容的广度和深度以及分析处理问题的方法，较之二十年前已有很大变化。我们试图把《电工学》课程分为《电工技术基础》和《电子技术基础》两门课程，编写本《电工技术基础》的目的就是进行“教材改革”的初步尝试。

本书力求按照现代电路理论和电机重新组织教材内容。在选材方面考虑非电专业的需求；并适当兼顾理论上的系统性和教学上的严谨性，在内容的深度和广度上均较传统的电工学教材有所增加。

本书第一章由杨德骏编写，第二章由蒲焕先编写，第三、四、五章由朱自耕编写，第六、七、八章由叶世超编写，第九、十章由兰清华编写。全书由朱自耕负责汇总和统稿，何开杰负责主审。

由于编者水平有限加之时间紧迫，缺点错误在所难免，恳请读者提出批评和指正。

编 者

一九八六年一月

# 目 录

## 第一篇 电路分析基础

第一章 电路的基本概念及定律	( 1 )
1—1 电路中的物理量及其参考方向	( 1 )
一、电流	( 2 )
二、电位、电压与电动势	( 3 )
三、功率	( 8 )
1—2 基尔霍夫定律	( 10 )
一、基尔霍夫电流定律 (简称KCL)	( 11 )
二、基尔霍夫电压定律 (简称KVL)	( 12 )
1—3 电阻及电阻电路的等效变换	( 14 )
一、电阻的伏安特性, 欧姆定律	( 14 )
二、电阻的串联	( 16 )
三、电阻的并联	( 17 )
四、电阻的 $T$ - $\Pi$ 变换	( 18 )
1—4 独立电源及等效电源定理	( 22 )
一、独立电压源	( 22 )
二、独立电流源	( 23 )
三、等效电源定理	( 26 )
四、两种电源模型的等效变换	( 30 )
1—5 受控源电路	( 33 )
一、受控源	( 34 )

二、受控源电路的简化	( 36 )
1—6 叠加原理	( 40 )
习题	( 41 )
<b>第二章 正弦稳态分析</b>	( 49 )
2—1 正弦量的三要素	( 49 )
一、最大值和有效值	( 50 )
二、角频率	( 51 )
三、初相位	( 52 )
2—2 正弦量的相量表示法	( 55 )
一、旋转相量	( 55 )
二、正弦量的相量表示	( 56 )
三、相量运算	( 60 )
2—3 电路基本定律的相量形式	( 63 )
一、基尔霍夫定律的相量形式	( 63 )
二、电路元件的相量关系	( 63 )
2—4 电路元件的基本联接方式	( 71 )
一、RLC串联电路——复数阻抗	( 71 )
二、RLC并联电路——复数导纳	( 76 )
三、 $Y$ 与 $Z$ 的等效变换	( 78 )
2—5 正弦稳态电路的计算	( 81 )
2—6 交流电路的功率	( 86 )
一、瞬时功率	( 87 )
二、有功功率	( 89 )
三、无功功率	( 90 )
四、视在功率	( 91 )

五、功率因数的提高	( 93 )
2-7 电路中的谐振	( 97 )
一、串联谐振	( 97 )
二、并联谐振	( 101 )
2-8 三相电路	( 106 )
一、三相电源	( 107 )
二、负载的星形联接	( 109 )
三、负载的三角形联接	( 115 )
四、三相功率的计算	( 117 )
习题二	( 119 )
<b>第三章 网络分析</b>	( 129 )
3-1 支路电流法	( 129 )
3-2 回路电流法	( 134 )
3-3 节点电位法	( 139 )
习题三	( 147 )
<b>第四章 电路的时域分析</b>	( 150 )
4-1 一阶电路的时域响应	( 152 )
一、零输入响应	( 153 )
二、零状态响应	( 159 )
三、完全响应	( 166 )
4-2 三要素法	( 171 )
一、稳态值 $r(\infty)$	( 171 )
二、初始值 $r(0)$	( 173 )
三、时间常数 $\tau$	( 178 )

4—3	一阶电路的脉冲响应·····	(181)
	一、阶跃响应和延时阶跃响应·····	(181)
	二、脉冲响应·····	(184)
	三、RC微分电路与积分电路·····	(187)
4—4	拉普拉斯变换·····	(191)
	一、拉氏变换的定义和基本定理·····	(191)
	二、常用函数的拉氏变换·····	(194)
	三、拉普拉斯反变换·····	(196)
4—5	运用拉氏变换分析线性电路(运算法)·····	(201)
	一、基尔霍夫定律的运算形式·····	(202)
	二、欧姆定律的运算形式·····	(202)
4—6	网络函数,零点和极点·····	(218)
	一、网络函数·····	(218)
	二、零点与极点·····	(219)
	习题四·····	(222)
	<b>第五章 电路的频域分析</b> ·····	(232)
5—1	周期信号的频域分析·····	(232)
	一、傅立叶级数·····	(232)
	二、波形特征与谐波成分的关系·····	(240)
5—2	非正弦周期性电路的计算·····	(242)
	一、有效值及平均功率·····	(242)
	二、稳态响应的计算·····	(245)
5—3	网络的频域响应·····	(247)
	习题五·····	(260)

## 第二篇 机电能量转换装置

第六章 机电能量转换的基本定律.....	(265)
6—1 基本换能装置和转换过程中的 能量关系.....	(265)
6—2 机电能量转换的基本定律.....	(268)
一、磁路及其基本物理量.....	(268)
二、载流导体的磁场——安培定律.....	(274)
三、电磁感应定律.....	(277)
四、载流导体在磁场中所受的力.....	(278)
五、电机可逆性原理.....	(279)
习题六.....	(282)
第七章 变压器.....	(284)
7—1 变压器的用途和基本构造.....	(284)
7—2 变压器的基本电磁关系.....	(287)
一、变压器的空载运行.....	(287)
二、变压器的负载运行.....	(290)
三、阻抗变换.....	(295)
7—3 变压器的运行特性.....	(297)
一、变压器的外特性和电压调整率.....	(297)
二、变压器的效率.....	(298)
7—4 变压器的同名端和三相变压器的联接.....	(300)
7—5 自耦变压器和多绕组变压器.....	(308)
一、自耦变压器.....	(308)
二、多绕组变压器.....	(310)



习题七 .....	(312)
-----------	-------

## 第八章 交流电机..... (315)

8—1 三相异步电动机的基本结构及 作用原理.....	(315)
一、三相异步电动机的主要用途及特点.....	(315)
二、三相异步电动机的基本结构.....	(316)
三、三相异步电动机的基本作用原理.....	(319)
8—2 三相异步电动机的运行.....	(329)
一、旋转磁场的主磁通.....	(329)
二、转子电流和转子电路的功率因数.....	(330)
8—3 异步电动机的电磁转矩和机械特性.....	(334)
一、电磁转矩表达式.....	(334)
二、异步电动机的最大转矩与过载能力.....	(337)
三、异步电动机的起动转矩.....	(338)
四、稳定运行区和不稳定运行区.....	(340)
8—4 异步电动机的工作特性.....	(341)
8—5 异步电动机的铭牌数据.....	(343)
8—6 异步电动机的起动.....	(345)
一、起动电流和起动转矩.....	(345)
二、异步电动机的起动方法.....	(349)
8—7 单相异步电动机.....	(358)
一、运行原理.....	(358)
二、起动方法.....	(361)
8—8 三相同步发电机的运行特性.....	(363)
一、同步发电机的结构.....	(363)

二、同步发电机的空载运行·····	(365)
三、对称负载时的电枢反应·····	(368)
四、电压平衡方程式和简化相量图·····	(372)
五、外特性和调整特性·····	(374)
8—9 同步发电机的功率调节·····	(376)
一、同步发电机的电磁功率和功角关系·····	(376)
二、有功功率的调节·····	(378)
三、无功功率的调节·····	(379)
四、同步发电机的U形曲线·····	(381)
习题八·····	(382)
<b>第九章 直流电机</b> ·····	(387)
9—1 直流电机的构造·····	(387)
9—2 直流电动机的工作原理及可逆性·····	(389)
9—3 直流电动机的运行特性·····	(392)
一、直流电动机的功率平衡方程式·····	(392)
二、直流电动机的转矩平衡方程式·····	(393)
三、直流电动机的电压平衡方程式·····	(393)
四、直流电动机的起动·····	(394)
五、直流并励电动机的工作特性·····	(395)
六、并励电动机的效率·····	(397)
七、直流电动机的机械特性·····	(397)
9—4 直流电动机的调速·····	(400)
一、改变电枢电路的电阻调速·····	(400)
二、改变电枢电压调速·····	(402)
三、改变励磁电流调速·····	(403)

习题九 ..... (404)

**第十章 控制电机**..... (406)

10-1 测速发电机..... (406)

一、交流异步测速发电机..... (406)

二、直流测速发电机..... (409)

10-2 伺服电动机..... (410)

一、交流伺服电动机..... (411)

二、直流伺服电动机..... (414)

10-3 步进电动机..... (416)

一、单三拍控制..... (417)

二、六拍控制..... (418)

三、双三拍控制..... (419)

10-4 滑差电动机..... (420)

10-5 旋转变压器..... (424)

一、正弦—余弦旋转变压器的空载运行..... (425)

二、正弦—余弦旋转变压器的负载运行..... (426)

习题答案 ..... (428)

# 第一篇 电路分析基础

## 第一章 电路的基本概念及定律

### 1-1 电路中的物理量及其参考方向

电路即电流流通的路径。一般地讲，任何实际电路都是由电源、中间环节（连接导线、开关、熔断器等）、负载这样三部分所组成。图 1—1 所示手电筒电路示意图即最简单

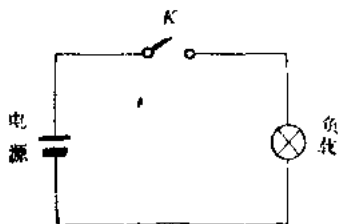


图 1—1 手电筒简化电路

电路的例子，干电池为电源，开关及连接体为中间环节，小电珠为负载。

现将三部分的作用分述如下：

**电源**——用来将非电形式的能量（机械能、化学能、光能等）转化成电能，以提供给负载。如干电池就是将化学能转换成电能的一种电源。从用途上讲，电源除向电路提供能源外，亦可向电路输入信号，此即所谓信号源。无论作为能源形式输入的电压或电流，或向电路输入的信号，都可统称为激励。而在激励作用下产生的电压、电流或输出信号，则

统称为电路的响应。

中间环节——用来传输和控制电流。图 1—1 中的开关  $K$  和连接体就是简单电路中间环节的例子。

负载——将电能转变成热能、光能、机械能等其他形式能量的电气元件。图 1—1 的小电珠在有电流通过时即将电能转换成热能和光能。从用途上讲，负载既可以是电力设备以推动机械做功，也可以是用这些能量形式表示一定信息的电气设备。

但是，电路分析中研究的通常是由各种理想元件组成的电路模型。通过对少数几种理想元件组成的电路模型的分析，可以认识任何实际电路的主要电气性能和设计新的电路。

不论电路中各元件的连接如何，电路的用途如何，能量的传输和转换都要通过电流、电压来实现。因而所谓电路分析，一般地说，就是在知道激励信号、元件参数及连线方式的情况下，计算电路中的电流、电压及功率。因此，在讲述分析方法之前，首先扼要回顾一下电流、电压、电动势及功率这几个物理量的概念。

## 一、电 流

电流又称电流强度，定义为单位时间内通过某一导体截

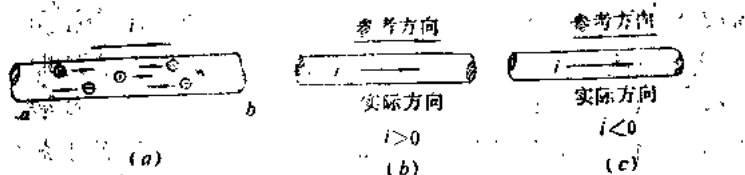


图 1—2 电流的实际方向与参考方向

面的电荷。人们把正电荷运动的方向或负电荷运动的反方向规定为电流的实际方向，如图 1—2 a 中箭头所示。

根据上述定义，如果在  $dt$  时间内，有  $dq$  的正电荷从  $a$  流到  $b$ ；则该电流的瞬时值为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-1)$$

其中：

$q$  代表电荷，单位为库仑 (C)；

$t$  代表时间，单位为秒 (s)；

$i$  代表电流，单位为安培 (A)。

当要计算微小电流时，需采用毫安 (mA) 和微安 ( $\mu A$ ) 作单位， $1 mA = 10^{-3} A$ ， $1 \mu A = 10^{-6} A$ 。

如果流过某一截面电流的大小和方向均不随时间变化，我们称这样的电流为恒定电流或直流，其定义表示式为

$$I = \frac{Q}{t}$$

电流是有一个绝对值和正反两个可能的方向的物理量。对这类物理量通常用代数量来表示。把这类物理量表示为代数量的先决条件是：假定一个正方向，又称参考方向，实际方向与参考方向一致时为正，如图 1—2 b；实际方向与参考方向相反时为负，如图 1—2 c。在复杂的直流电路中电流的实际方向往往难于事先判定，在交流电路中电流的实际方向总是随时间而不断交变的。因此，以后在电路图中一律按参考方向标出电流，而其实际方向则根据电流数值的符号结合图中的参考方向确定。

## 二、电位、电压与电动势

图 1—3 为电池给负载供电时，正电荷流动示意图。电

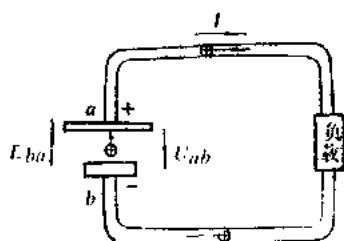


图 1—3 电荷回路示意图

池的正极  $a$  带大量正电荷，负极  $b$  带大量负电荷，因而在周围空间存在着电场，在电场中，电荷具有一定的电位能，在数值上等于电场力把电荷由该点移至电位能为零处所作的功。单位正电荷在某点具有的电位能称为该点的电位，即

$$U_a = \frac{dE_a}{dq} = \frac{dW_a}{dq}$$

式中  $U_a$  为  $a$  点的电位， $dE_a$  为电荷  $dq$  在  $a$  点具有的电位能， $dW_a$  为电场力把电荷  $dq$  由  $a$  点移到电位能为零处所作的功。同样， $b$  点的电位

$$U_b = \frac{dE_b}{dq} = \frac{dW_b}{dq}$$

电位能为零的点称为零电位点，它是我们为计算电场中各点电位而选的电位基准点或参考点。理论上常取无穷远处（即电场外）为参考点，电工上常取大地为参考点。

两点电位之差，称为这两点间的电位差或电压，即

$$U_{ab} = U_a - U_b = \frac{dW_a}{dq} - \frac{dW_b}{dq} = \frac{d(W_a - W_b)}{dq}$$

可见， $a$ 到 $b$ 的电压等于电场力把单位正电荷由 $a$ 移到 $b$ 所作的功。同样

$$U_{ba} = U_b - U_a = -U_{ab}$$

由于电压是指两点间的电位差而言，而电位则是指某一点对选定的参考点而言的。因此，电压与参考点的选取无关，而电位则随参考点的不同选择而异。

如图 1—3 电路中，当外电路闭合后，在电场力作用下，正电荷将源源不断地由正极  $a$  经外电路流向负极  $b$ 。经过负载时，把自己的电位能传递给负载，从而电位能减少，电位降低。因此，在负载中不断发生着电能转换为其他形式的能量的过程。在外电路中，正电荷由正极流向负极的同时，内电路中正电荷则由负极流向正极。也就是说在图 1—3 电路中电流总是闭合的。之所以如此，在于电源内部存在着某种电源力，它可以把负极上的正电荷从低电位的负极源源不断地“搬运”到高电位的正极上，即电源力能使正电荷逆着电场的方向移动到正极上，从而使电源两极分别保持一定量的电荷，即在端点  $a$ 、 $b$  上维持一定的电压。显然，这种电源力以及由于它的存在使电荷所得到的电能，是从其他形式的能量转换来的。如电池的电能是由化学能转换而来的。发电机的电能则是由机械能转换而来的。因此，在电源内不断地发生着由其他形式的能量转换为电能的过程。

为了衡量电源力对电荷做功的能力，引入电源的电动势这样一个物理量。在图 1—3 中，电动势  $E_s$  数值上等于电源力把单位正电荷从电源低电位的  $b$  端，经电源内部移到高电位  $a$  端所做的功，即单位正电荷在电源内部所获得的电能。用数学定义式表为



$$\varepsilon_{ba} = \frac{dW_{ba}}{dq} \quad (1-4)$$

电动势与电压虽然具有相同的表达式，但两者的“取向”不同，电压是指电位降，实际方向为由高电位到低电位；电动势是指电位升，实际方向为由低电位到高电位。电源开路时，两者大小相等，方向相反，即  $U_{ab} = E_{ba}$ 。

和电流一样，电位、电压和电动势都用代数量表示，也需先选定一个参考方向。电位的参考方向为由某点到参考点的方向，是随参考点的选定而确定的。在电路中只需用接地符号“⊥”或“⊥”标明参考点就行了。因此，某点的电位为正，表示其电位高于参考点，为负表示低于参考点。电压和电动势的参考方向则是任意选定的，实际方向与参考方向一致为正，相反则为负。和电流一样，电路图中对电压和电动势一律按参考方向标出。在电路图中，它们参考方向的表示方法通常有三种（如图 1-3）：

1. 用“+”、“-”号表示。电压参考方向由“+”到“-”，电动势的参考方向由“-”到“+”；
2. 用箭头表示；
3. 用双下标，如  $U_{ab}$  和  $E_{ba}$  分别表示电压参考方向由  $a$  到  $b$ ，电动势参考方向由  $b$  到  $a$ 。

电路元件上，电流和电压参考方向的选择完全是任意的。但是，习惯在负载上常使电流的参考方向与电压相同，称为关联参考方向，如图 1-4 a 所示。采用关联参考方向时，电流和电压的参考方向二者只需标出其一。常只标出电流的参考方向。而在电源上，常使电流的参考方向与电动势一致，即与电压相反，称为非关联参考方向，如图 1-4 b。