



徐雪全 主编

复旦大学出版社

电工技术基础

(上册)



应用电子技术大专系列教材

电工技术基础

(上册)

徐雪全 主编

复旦大学出版社

内 容 简 介

本书系应用电子技术大专系列教材之一。本书和《电子技术基础》都是原非电类专业“电工学”的组成部分。本书包括电路的基本概念和定律、线性电路分析、正弦电流电路、电路的暂态过程、磁路和变压器、电机及控制等内容。

本书概念清楚,重点突出,理论联系实际,通俗易懂,便于自学。每章均有思考题、习题,书末附习题答案。本书可供高等工业专科学校,职业技术师范院校,职工大学,业余大学等成人大专院校非电类专业选用,也可供有关工程技术人员参考。

电 工 技 术 基 础(上册)

复旦大学出版社出版

新华书店上海发行所发行

复旦大学印刷厂印刷

字数 266 千字 开本 850×1168 1/32 印张 9.625

1988年5月第一版 1988年5月第一次印刷

印数 1—12,200

ISBN 7-309-00102-8/0·022

定价 3.00 元

总 序

《应用电子技术大专系列教材》经过两年余的准备，从现在开始将陆续问世。目前参加本编委会的已有十五省市近四十所成人高校、高等职业技术师范学院的电子工程系、自动化系及其他电子技术类系科。成人教育、职业技术教育是我国社会主义教育事业中与普通教育具有同等重要作用的两支生力军，在培养和开发人才资源的过程中，其地位和作用必将愈益显著。直到本编委会成立时，我国成人高校、职业技术师范学院都是以培养大学专科学生为主，应用的专业教材却是以本科生教材作为蓝本。这样不仅易于使培养层次模糊，而且教师讲授、学生学习都感到不便。因此本编委会的宗旨是：编辑出版一系列适合应用电子技术类专业、大学专科层次需要的教材、教学参考书和工具书。鉴于我国目前的情况，本套系列教材还同时照顾到自学者的需要。本编委会确定的工作方针是：审慎选题、协同编写、严格审稿、共同试用、努力推广。

我们热情欢迎同类型、同层次的兄弟院校参加本编委的工作，以期进一步扩大我们的队伍，不断提高编委会成员的素质。

我们同样热情地欢迎各兄弟院校相同系科的教师、学生和广大读者对我们的所有出版物提出各种宝贵的意见和建议，以保证书籍的各项质量标准。

在本编委会的筹建过程中，我们得到国家教委成人教育司、职业技术教育司、职工教育司的领导、各司教材处负责人以及各兄弟院校领导的指示和具体的指导。谨此深表谢忱。

复旦大学出版社在本编委会的筹建、选题、审稿、出版过程中，给予很多宝贵的支持，谨此一并致谢。

《应用电子技术大专系列教材》编委会

首届总主编 邵燮麟

谨识于上海 一九八七年十二月

前 言

1986年10月,国家教委高等工科院校电工教学指导委员会电工学小组在武汉会议上制订的《非电专业电工课程教学基本要求及其说明》中提出:为了适应当前科学技术发展的需要和满足不同专业的要求,有利于教学改革和进一步提高教学质量,过去为非电类专业开设的“电工学”课程现改设为以下课程:

(1) 电工技术基础(Ⅰ)(包括电路理论、电机与继电器接触器控制、电工测量和安全用电),55~70学时;

(2) 电工技术基础(Ⅱ)(包括模拟电子技术和数字电子技术),55~70学时;

(3) 电路和电子技术(包括电路理论、模拟电子技术和数字电子技术),100~110学时。

各非电专业可根据专业的需要,从以上课程中选设其中的一门或两门为必修课程。一般专业可同时选设“电工技术基础(Ⅰ)”和“电工技术基础(Ⅱ)”两门课程;对电子技术部分不要求必修的专业可选设其中的“电工技术基础(Ⅰ)”课程;对电机等部分不要求必修的专业可选设其中的“电路和电子技术”课程。

根据上述精神并考虑高等工业专科学校的教学要求和特点,本教材也分为“电工技术基础(上册)”和“电工技术基础(下册)”两册出版。根据需要,今后还将考虑出版“电路及电子技术”一书。

本课程是非电类专业的技术基础课,它不包括后续课和专业课课程范围内的具体电气设备和电子线路。但考虑专科学校的学生毕业后主要从事生产第一线的工作,而技术师范院校的学生今后要从事中专、技校、职业学校的教学工作,这些都要求学生有广泛的实践知识。因此本教材尽可能联系生产和生活实际,习题中的技术数据也尽可能与我国的各种电气设备相一致。

本书编写时注意到大专层次的教学要求,在深广度、叙述方法和思考题方面都与本科教材有一定的差别。本书编写时力求通俗易懂、突出重点、概念清楚,便于自学。每章均有习题、思考题、复习提要,书末附有部分习题答案,便于参考、及时发现自己的弱点。

本书所采用的量的名称和符号、单位的名称和符号基本上遵照我国法定计量单位(国际单位制)和有关国家标准,例如国家标准

GB3100~3102-80 量和单位,

GB2900.1~39-82 电工名词术语,

GB4728.1~13-85 电气图用图形符号,

GB5465.1~2-85 电气设备图形符号。

本书教学学时数可按以下参考学时(66学时)安排*:

第一章 8; 第二章 5;

第三章 14; 第四章 6;

第五章 6; 第六章 8;

第七章 5; 实验 14。

本书由上海第二教育学院徐雪全同志主编,上海电业职工大学寇仲元同志参加编写。吉林职业师范学院王士超同志也参加了初稿的编写工作。

全书由上海第二教育学院电子工程系系主任邵燮麟同志主审,电工教研室主任蒋孝良同志对本书的编写提供了不少宝贵意见。本书经1987年5月在上海召开的审稿会议严格审查通过,一致同意作为非电类工科大专院校(包括专科学校、技术师范、职工大专、业余大专)试用教材出版。上海第二教育学院、天津职业技术学院、吉林技术师范学院、常州职业技术学院、南昌职业技术学院、浙江工学院参加了审稿会议并提出了许多宝贵意见,编者向他们表示衷心的感谢。

由于水平所限,书中难免有谬误和不当之处,恳切希望读者和老师们批评指正。

编者 1987年6月

* 本书中有水号的小节全用小字排版为选学或参考内容,不包括在66学时之内。

目 录

总序

前言

第一章 电路的基本概念和定律 (1)

1.1 电路与电路模型 (1)

1.2 电路的基本物理量 (4)

1.3 欧姆定律 (8)

1.4 电路中的功率 (12)

1.5 电路的工作状态 (14)

1.6 基尔霍夫定律 (17)

1.7 电阻元件的串并联 (21)

1.8 实际电源的两种模型及电源等效变换 (26)

1.9 电位的计算 (31)

*1.10 直流电工量的测量 (34)

本章提要 (38)

习题 (40)

第二章 电路分析的一般方法 (45)

2.1 支路电流法 (45)

2.2 节点电压法 (48)

2.3 叠加定理 (51)

2.4 戴维南定理 (54)

*2.5 非线性电阻电路 (57)

本章提要 (61)

习题 (61)

第三章 正弦电流电路 (65)

3.1 正弦交流电的基本概念 (65)

3.2	正弦量的相量表示法	(74)
3.3	正弦电流电路中的电阻元件	(82)
3.4	正弦电流电路中的电感元件	(84)
3.5	正弦电流电路中的电容元件	(91)
3.6	电阻、电感、电容元件的串联	(98)
3.7	电感性电路与电容元件的并联	(110)
3.8	三相电源	(115)
3.9	三相负载的星形联接	(119)
3.10	三相负载的三角形联接	(126)
*3.11	非正弦周期电流电路	(129)
*3.12	交流电工量的测量	(132)
本章提要		(139)
习题		(141)
 第四章 电路的暂态过程		(146)
4.1	概述	(146)
4.2	换路定律和暂态过程初始值的确定	(148)
4.3	一阶电路的零输入响应	(151)
4.4	一阶电路的零状态响应	(158)
4.5	一阶电路的全响应及三要素法	(163)
4.6	微分电路和积分电路	(168)
本章提要		(171)
习题		(173)
 第五章 磁路与变压器		(177)
5.1	磁路中的物理量	(177)
5.2	铁磁性材料	(181)
5.3	恒定磁通的磁路计算	(184)
5.4	交流铁心线圈	(188)
5.5	变压器	(193)
本章提要		(203)
习题		(205)

第六章 异步电动机 (207)

6.1 三相异步电动机的结构 (207)

6.2 三相异步电动机的工作原理 (210)

6.3 三相异步电动机运行分析 (215)

6.4 电磁转矩和机械特性 (223)

6.5 三相异步电动机的起动 (228)

6.6 三相异步电动机的调速和制动 (233)

6.7 三相异步电动机的铭牌数据 (236)

6.8 单相异步电动机 (238)

*6.9 直流电动机 (243)

本章提要..... (251)

习题..... (252)

第七章 异步电动机控制线路 (255)

7.1 常用控制电器 (256)

7.2 鼠笼式电动机直接起动控制线路 (266)

7.3 鼠笼式电动机降压起动控制线路 (270)

7.4 鼠笼式电动机制动控制线路 (273)

7.5 自动往返与简单自动工作循环控制线路 (277)

本章提要..... (283)

习题..... (283)

附录 1 电测量指示仪表面盘符号 (286)

附录 2 几种材料的基本磁化曲线 (287)

附录 3 Y 系列三相异步电动机 (287)

附录 4 JO2 系列三相异步电动机 (290)

附录 5 JDO2 系列多速电动机 (292)

部分习题参考答案..... (295)

第一章 电路的基本概念和定律

电工技术基础是研究电能在技术领域中的应用的技术基础课。电能的传输和转换,主要是通过电路进行的,因此对电路的分析计算是本课程重要的理论基础。本章首先讨论电路中的几个基本物理量,提出电流、电压和电动势参考方向的重要概念,接着主要讨论了欧姆定律、基尔霍夫定律以及电压源、电流源的基本概念,并对电阻的串并联电路和有源支路的串并联电路进行了分析。

1.1 电路与电路模型

1.1.1 电路的组成

电路是由电气设备或器件按一定方式联接所构成的电流流通的路径。电路主要由电源、负载等部分组成。

电源是提供电能或产生电信号的器件,它把非电形式的能量转换成电能或者把一种形式的电能转换成另一种形式的电能(或电信号)。常见的电源有电池、发电机和各种信号源等。电路输入的电信号也称为激励

负载是取用电能或输出电信号的器件,它把电能转换成其他形式的能量。常见的负载有电动机、电灯、电热器、扬声器和继电器线圈等。电路输出的电信号也称为响应。

除以上两部分外,电路还包括导线、开关或其他电路器件,它们连接于电源和负载之间,用于电能或电信号的传输、控制和分配。

电路的结构形式是多种多样的,但其功能主要可概括为两方

面：一是实现能量的传输和转换。例如发电厂的发电机(电源)将机械能转换成电能,通过变压器和输电线传输到用户,再由电动机或电灯(负载)将电能转换成机械能或光能。这种电路一般要求有尽可能小的能量损耗和尽可能高的传输效率。二是进行信号的传递和处理。这方面常见的例子如扩音机,话筒(电源)将声音信息转换成电信号,通过放大电路“加工”而将电信号放大,再传递到扬声器(负载),将电信号还原成声音信息。电信号的这种“加工”称为信号处理。这种电路虽然也有能量的传输和转换问题,但其数量很小,一般关心的是如何正确地传递和处理电信号。

为了表示电路的结构,工程上把电气设备和器件都用一些简单图形来代表,联结起来画成的电路图称为原理电路图,或称为线路图。图 1.1.1 所示就是常见的手电筒和日光灯的原理电路图。这种图表示了各器件之间的联接关系,在分析器件的接法和原理时是很有用的,但由于器件的电磁现象性质不明确,一般不能用它来进行定量分析。

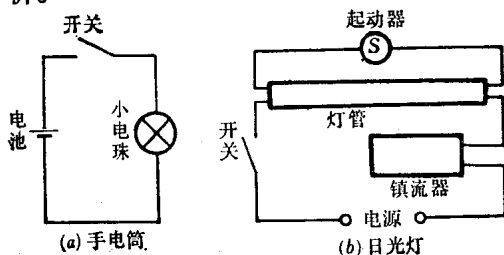


图 1.1.1 原理电路图

1.1.2 电路模型

电路中实际器件的电磁现象共有三种基本类型:

- (1) 具有消耗或提供电路中电能的性质,表现为器件是一种电阻或电源;
- (2) 具有储存和转换电场能量的性质,表现为器件是一种电容;
- (3) 具有储存和转换磁场能量的性质,表现为器件是一种电

感。

实际上,一般器件的电磁现象往往不是单一的,例如日光灯镇流器的线圈周围不但存在磁场,而且它要发热,还有一定的电场,即不但具有电感,而且有电阻,也存在一些电容。如果研究的器件,只突出其中起主要作用的电磁现象,忽略其次要部分,则得到的只具有单一电磁性质的器件,称为理想电路元件,简称为电路元件。例如电阻元件表示消耗电能的理想电路元件;电容元件表示储存和转换电场能量的理想电路元件;电感元件表示储存和转换磁场能量的理想电路元件;理想电源表示提供电能的理想电路元件。

采用理想电路元件之后,实际的电气设备或器件,在一定条件下就可以用一个或几个理想电路元件的组合来近似表示,构成了相应的器件模型。例如电阻元件可作为小电珠的模型;忽略电容的微小影响,电感元件和电阻元件的组合可作为日光灯镇流器的模型。

一旦电路的器件都用器件模型表示以后,则电路全由理想电路元件构成,这种电路称为电路模型。例如图 1.1.2 就是图 1.1.1 (a) 的电路模型,图中电池用理想电压源 U_s 和电阻元件 R_0 的串联组合表示,小电珠用电阻元件 R 表示,导线的电阻被认为是零。

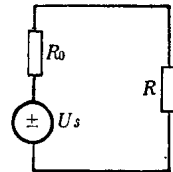


图 1.1.2

图 1.1.1(a) 的
电路模型

建立电路模型的意义是十分明显的。由于每一种理想电路元件的电磁性质都有确切的数学表示形式,所以建立了电路模型就能够用数学方法对电路进行定量分析。实际电气设备和器件的种类十分繁多,但理想电路元件只有有限的几种,因此建立电路模型可使电路的分析大大简化。本书后面在分析变压器、电动机时都用电路模型作为分析的手段。

应当指出,电路模型是实际电路在一定工作条件下的近似。例如一个线圈在低频时只考虑其电感与电阻就行了,高频时就要考

* 由于器件模型是电路模型的一部分,有些较复杂的器件,器件模型本身就是由若干理想电路元件组成的,因此有时把器件模型也称为电路模型。

电容的影响。因此同一电路当工作条件有较大改变时，一般来说电路模型也应作相应改变，否则分析误差将变大。

思 考 题

1.1.1 电阻器和理想电阻元件有何区别？原理电路图和电路模型有何区别？

1.1.2 “在相同的工作条件下，同一电路的电路模型形式并不是唯一的”这个命题对不对？为什么？

1.2 电路的基本物理量

1.2.1 电流

带电粒子有规则的运动形成电流。用来衡量电流强弱的物理量称为电流强度，它在量值上等于单位时间内通过导体截面的电荷。设在极短的时间 dt 内通过导体截面的电荷为 dQ ，则电流强度为

$$i = \frac{dQ}{dt}。 \quad (1.2.1)$$

如果电流强度不随时间变化，这种电流称为直流电流，简称直流，常用符号 d.c. 或 D.C. 表示。这时

$$I = \frac{Q}{t}, \quad (1.2.2)$$

式中 Q 为时间 t 内通过的总电荷。

为了方便起见，电流强度常常简称为电流。因此电流一词既代表一种物理现象，也代表一个物理量。

电流的实际方向规定为正电荷运动的方向（与电子运动的方向相反）。由于分析电路时，往往事先并不确知电流的实际方向，而且有的电流方向还在不断改变（如第三章中的正弦交流电流），因此有必要在分析电路时设定一个电流的参考方向。设定了参考方向后，电流就成为一个有正、有负的代数量。当电流的参考方向与实际方向一致时，电流为正值；当电流的实际方向与参考方向相

反时,电流为负值。这样就能从分析得到的电流正、负值,对照设定的参考方向,确定出电流的实际方向。

参考方向的选择是任意的。本书电流的参考方向除了用箭头表示外,还可以用双下标表示。例如某根导线中电流参考方向设定为从 A 流到 B , 则用双下标可表示成 I_{AB} 显然在导线中有 $I_{AB} = -I_{BA}$ 。

设定电流参考方向的问题,在用直流电流表测量导线电流时也常遇到。电流表接入导线前并不知道电流实际方向,这时可先假设一个方向,如图 1.2.1 实线箭头所示,电流表按这个假设方向接线,若指针正向偏转(即 I 为正值),说明实际电流方向与假设方向相同,见图 1.2.1(a);若指针反向偏转(即 I 为负值),说明实际电流方向与假设相反,见同图(b)。这个假设方向即电流的参考方向。

应特别注意,在未设定参考方向的情况下,谈论电流值的正、负号是没有意义的。今后除非特别说明,我们在电路中所标的方向都是参考方向。

在国际单位制(SI)*中,电流的主单位是安培(A),简称安。主单位前加上 SI 词头(见表 1.2.1)可得到相应的分数和倍数单位。电流的分数和倍数单位,常用的有

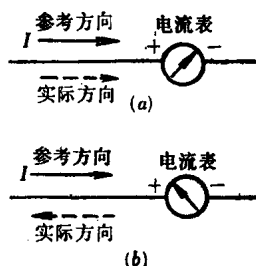


图 1.2.1 电流的参考方向 and 实际方向

表 1.2.1 常用的几种 SI 词头 (表中 h、c 一般用于长度、面积和体积)

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

* 1960年第十一届国际计量大会通过的一种单位制,其国际代号为 SI,我国简称为国际制。它以米(m)、千克(kg)、秒(s)、安培(A)、开尔文(K)、摩尔(mol)、坎德拉(cd)作为基本单位,其他单位均由这 7 个单位导出。

毫安(mA)、微安(μA)和千安(kA)。电荷的单位可由电流的单位导出,它的主单位是库仑(C),简称库,在量值上等于安·秒。

1.2.2 电压和电位

在图 1.2.2 中, A 和 B 为电源的两个电极, A 为正极,带正电荷; B 为负极,带负电荷,因此在电极 A 、 B 间存在电场。在电场力的作用下,正电荷就通过连接导体从电极 A 移动到 B ,这就使电场力对电荷作了功,并把电能转换为其他形式的能量。

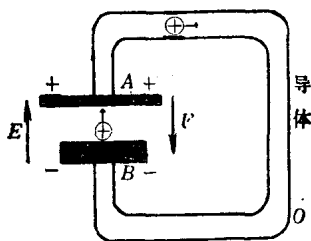


图 1.2.2 电荷移动示意图

衡量电场力作功能力的物理量称为电压。 A 、 B 两点间电压 U 在量值上等于单位正电荷从 A 点移动到 B 点时所失去的电能 W , 即

$$U = \frac{W}{Q} \quad (1.2.3)$$

A 、 B 两点间电压的实际方向是由 A 点指向 B 点。但正像电流一样, 电路中任意两点电压的实际方向往往事先也并不确知, 为此也需设定电压的参考方向, 并以电压值的正与负来确定电压的实际方向。

电压的参考方向也可用双下标表示, 例如电压 U_{AB} 表示其参考方向由 A 点指向 B 点, 即设定 A 点为正极, B 点为负极。如果 U_{AB} 为正值, 表明电压实际方向与参考方向一致, 即实际极性确为 A 点正极, B 点负极; U_{AB} 为负值则相反, 实际极性为 A 点负极, B 点正极。显然电路 A 、 B 两点间电压有 $U_{AB} = -U_{BA}$ 。电压的参考方向也可用“+”、“-”极性表示, 如图 1.2.3 所示。

电压的 SI 主单位是伏特(V), 简称伏, 它的常用分数和倍数单位有毫伏(mV)、微伏(μV)和千伏(kV)等。

如果任意取一点 O 作为参考点, 则某一点 A 到参考点 O 的电压称为 A 点的电位 V_A 即

$$V_A = U_{AO} \quad (1.2.4)$$

规定了电位概念后, 电路中任意两点 A 、 B 的电压可以用 A 、 B 两点电位差来表示, 例如在图 1.2.2 中, 按定义有

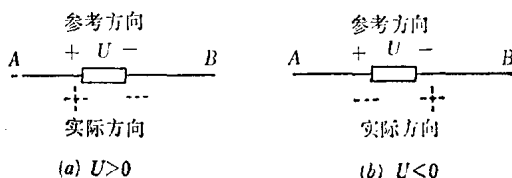


图 1.2.3 电压的参考方向用极性表示

$$\begin{aligned} V_A - V_B = U_{AO} - U_{BO} &= U_{AO} + U_{OB} = \frac{W_{AO} + W_{OB}}{Q} \\ &= \frac{W_{AB}}{Q} = U_{AB}, \end{aligned} \quad (1.2.5)$$

上式也表明了电路的总电压为各段电压之和。

电路中参考点的选择是任意的, 通常以设备外壳或接地点作为参考点。参考点在电路图中用“ $\perp$ ”符号表示。由定义可知, 参考点的电位为零。当某点电位大于零时为正电位, 反之为负电位。应该注意, 不明确参考点而谈论电路中某点的电位值是无意义的。

电位的 SI 主单位与电压相同, 也是伏(V)。

1.2.3 电动势

在图 1.2.2 中, 为了使导体中形成连续的电流, 就必须使电源中的正电荷不断地从负极 B 向正极 A 运动, 以维持 A 、 B 间的电压 U 恒定。这就要求有另一种力作用在电荷上, 它能克服电场力作用使正电荷逆着电场力方向运动, 并将其他形式的能量转换成电能。这种力称为电源力。在电池中, 电源力由化学作用产生; 在发电机中, 电源力由电磁感应产生。

衡量电源力作功能力的物理量称为电动势。电源电动势 E 在量值上等于单位正电荷在电源内部从负极移动到正极时所增加的

电能 W ，即

$$E = \frac{W}{Q}, \quad (1.2.6)$$

电动势的 SI 主单位与电压相同，也是伏(V)。

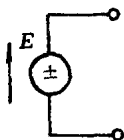


图 1.2.4 电动势
参考方向的表示

电动势的实际方向规定为电源中作用在正电荷上电源力的方向，即从电源负极指向正极，与电压的实际方向相反。电路中所标的电动势方向也是参考方向。电动势的参考方向可以用箭头表示在电源旁，并标以字母 E ，以免与表示电流的箭头相混；也可以用极性表示在电源的圆圈内，如图 1.2.4 所示。

思 考 题

1.2.1 流过某导体截面的电荷多，就说明该导体中电流大，对不对？为什么？

1.2.2 电路的参考点改变时，试问电路中各点的电位是否随之改变？任意两点间的电压是否也随之改变？

1.2.3 为什么要设定电流、电压和电动势的参考方向？在图 1.2.5 中，已知 $I = -1\text{A}$ ， $U_1 = -5\text{V}$ ， $U_2 = 4\text{V}$ ，试问电流的实际方向如何？ U_{AB} 等于多少伏？

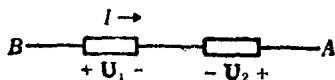


图 1.2.5

1.3 欧 姆 定 律

1.3.1 电阻元件和欧姆定律

欧姆定律是电路分析的基本定律之一，它确定了电阻元件中电流和端电压的约束关系。实验表明：电阻元件两端电压 U 与其中通过的电流 I 成正比，当电流与电压的参考方向一致（或称为关