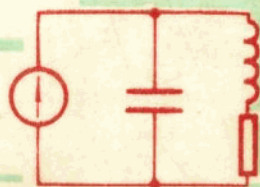


高等院校教学用书

电工技术基础

武汉水利电力学院

陈邕怀 主编



湖北科学技术出版社

前 言

迅速在各个技术领域中推广使用微型计算机已是当务之急。将微机应用于过程控制、用于企业技术改造、用于企业管理是高等工科院校非电专业学生的任务之一。原电工学课程内容已经适应不了这种要求,因此,我们根据1982年11月在南宁召开的全国高等工业学校电工学教学大纲讨论会关于电工学分课设置的意见,根据1984年在唐山召开的全国电工学教材研究工作会议纪要精神,将原电工学课程分成两门课:一门是《电工技术基础》和《模拟电子电路》,共90学时;另一门是《数字电路及微计算机基础》,60学时。本书是这套改革教材之一。

1982年我们开始动手编写这套教材。我们的基本想法是:精选传统内容,提高教材起点,引进电脑技术。在电路部分增强了对时域响应和频域响应的分析,把电机当电路元件处理,着重讲解其基本原理和外部特性;模拟电子电路重点放在集成运算放大器上;数字电路以计算机硬件为落脚点。

改革不是一件容易的事。尽管我们根据新技术革命的趋势,分析了国内外同类教材的现状和特点,结合我们自己多年的教学经验,经多次试点和反复修改,写成了这套教材。但由于我们认识水平有限,学识不够,改得不一定对,错误和不足之处在所难免,希望大家多加批评指正。

本书第一、二、五、六章由陈邕怀编写,第三章由伍爱

莲、第四章由杨善英、第七、八、九章由夏映鸿编写，第一、二、五、六章的习题由李海负责计算。冯秉超担任全书插图的绘制工作。特邀贾明心同志为本书编辑。陈邕怀担任主编。

参加本书审稿工作的有：华中工学院、洛阳工学院、郑州工学院、葛洲坝水电工程学院、武汉建材学院、武钢职工大学、武汉机床厂职工大学、解放军高射炮兵学校等院校。本书由肖有邦副教授、李良锋副教授、杨宪章副教授及杨志毅讲师审阅，肖有邦副教授担任主审，大家提了许多宝贵意见，对提高本书的质量有很大的帮助。此外，湖北科学技术出版社编辑部、中国东湖智力开发联合公司翻译出版部给予了大力的支持，特此表示深切的谢意。

编 者

一九八五年元月

目 录

第一章 电路分析导论.....	1
§ 1—1 电路及其作用.....	1
§ 1—2 电流、电压和电动势的正方向.....	7
§ 1—3 独立电源.....	17
§ 1—4 受控电源.....	26
§ 1—5 电路中电位的计算.....	32
第二章 网络分析基础.....	38
§ 2—1 网络分析概述.....	38
§ 2—2 基尔霍夫定律.....	39
§ 2—3 支路电流法.....	46
§ 2—4 网孔电流法.....	48
§ 2—5 节点电位法.....	57
§ 2—6 叠加原理.....	62
§ 2—7 等效电源定理.....	67
§ 2—8 非线性网络.....	78
第三章 正弦交流电路.....	83
§ 3—1 正弦交流电的基本概念.....	83
§ 3—2 正弦量的表示法.....	94

§ 3—3	电路的参数	104
§ 3—4	纯电阻电路	110
§ 3—5	纯电感电路	113
§ 3—6	纯电容电路	118
§ 3—7	相量形式的电路定律	124
§ 3—8	串联交流电路	127
§ 3—9	并联交流电路	141
§ 3—10	交流电路的功率	150
§ 3—11	简单非正弦交流电路	162
第四章	三相交流电路	173
§ 4—1	三相交流电路的基本概念	173
§ 4—2	三相电源的联接	177
§ 4—3	三相对称电路	182
§ 4—4	三相不对称电路	196
§ 4—5	三相电路的功率	203
§ 4—6	安全用电	209
第五章	电路的频率响应	217
§ 5—1	电路的激励和响应	217
§ 5—2	RC电路的频率响应	218
§ 5—3	RC串—并联选频响应	227
§ 5—4	LC并联电路的频率响应	231
§ 5—5	RLC串联电路的频率响应	234
第六章	电路的时域响应	243

§ 6—1	时域响应概念	243
§ 6—2	RC电路的时域响应	244
§ 6—3	矩形波作用于RC电路的分析	259
§ 6—4	一阶电路完全响应的一般形式	267
§ 6—5	RL电路的时域响应	270
§ 6—6	RC和RL电路接通正弦电源	279
第七章	磁路和变压器	286
§ 7—1	磁路	286
§ 7—2	变压器的工作原理	290
§ 7—3	特殊变压器	302
第八章	异步电动机及其继电接触控制	309
§ 8—1	异步电动机的构造	309
§ 8—2	三相异步电动机的工作原理	311
§ 8—3	异步电动机的运行情况分析	317
§ 8—4	三相异步电动机的起动方法	328
§ 8—5	单相异步电动机	332
§ 8—6	异步电动机的继电接触控制	335
第九章	控制电机	351
§ 9—1	伺服电动机	351
§ 9—2	步进电动机	359
§ 9—3	测速发电机	363
§ 9—4	自整角机	367
习题选答		374

第一章 电路分析导论

内 容 提 要

本章从工程角度介绍了电压、电流、电动势的参考方向,讨论独立电源和受控电源,介绍电路的作用和电位的计算,说明了电子电路的习惯画法与电工电路习惯画法的联系与区别。

§ 1—1 电路及其作用

一、电 路

1. 基本组成

在生产实践、科学试验和日常生活中,我们经常遇到各种各样的电路。照明电路、动力电路、通讯电路、收音机电路等等,都是电路的例子。电路就是电流流通之路,它主要由电源、负载和传输控制器件组成。简单的直流电路如图 1—1 所示,简单收音机电路如图 1—2 所示。

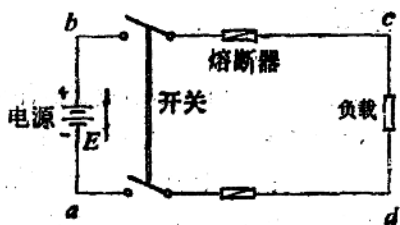


图 1—1 简单直流电路

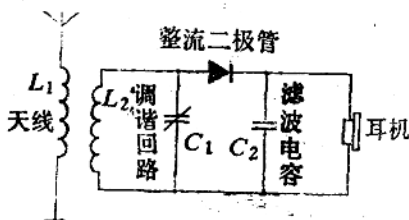


图 1—2 简单收音机电路

2. 各部分的作用

(1) 电源 电源是将其它形式的能量转换为电能的设备。发电机、蓄电池和光电池等一类设备是将机械能、化学能和光能转换为电能的设备；而声电变换的话筒、热电变换的热电偶、光电变换的摄像管等一类设备，表面上是送出一系列的电信号，实质上是将声能、热能和光能转变为电能。

(2) 负载 负载就是用电设备，是将电能转变为其它形式能量的各种用电设备的总称。电动机、电炉和电灯等是将电能转变为机械能、热能和光能的用电设备；喇叭是把电能转变为声能、显象管是把电能变成光能的用电设备。

(3) 传输控制器件 包括导线、开关、熔断器等。导线起传输电能的作用，开关起控制、分配电能的作用，熔断器起保障安全用电的作用。

3. 电路图

电源、负载以及传输控制器件都是构成电路的基本元件，但它们的具体形式是各种各样的。为了便于研究电路的共同规律，我们一律不去追究这些元件的结构和形状，约定用一些电路的符号来代表它们，例如电源用符号 ⊕ 、负载用 $\text{—} \square \text{—}$ 、开关用 $\text{—} \diagup \text{—}$ 等。于是，实物的电路元件的连接图就可以用电路元件的符号的连接图来代替，这样的图称为电路图。电路元件符号由国家统一规定。图1—1、1—2就是电路图的例子。通常把电路分成内电路和外电路两部分，把由负载和传输控制器件组成的电流通路称为外电路，将电源内部的电流通路称为内电路。

二、电路的作用

根据能量的转换和输送的大小不同，电路的作用大体上有

以下两个方面。

1. 电能的变换和输送 利用电路可以实现发电、输电、配电和用电。电路的规模不同，电能的变换和输送的大小也不同。纵横数百公里的输电线路，汇合着各发电厂发出的电能，同时，送给成千上万的用户；手边的一支手电筒虽是简单电路，但同样也是实现着电能的输送和转换。

2. 信号的传递和处理 在电子技术中，人们经常要把语言、音乐、图象、温度、压力、流量、速度、数据等信息变换成为相应的电流或电压信号（简称电信号）。我们把非电量的信息与电信号之间的变换以及电信号的放大、整形、存贮叫做信号处理，把信号的输送叫传递。信号的传递和处理是可以用电路来实现的。下面是几种常见的实例。

(1) 信号的放大。将一些电子元件适当地组合起来便构成具有放大功能的电路，这种电路能将输入的信号变成形状相似但放大了的输出信号，如图 1—3。

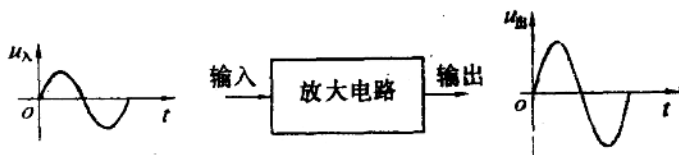


图 1—3 放大电路

(2) 信息处理。信号一般分为模拟和数字两种。像温度、流量等非电量经变换后可变成相应的连续变化的电信号，这种信号称为模拟信号。像数据信号经变换后便表示为一系列电脉冲信号，这种信号称为数字脉冲信号。图 1—4 所示是叠加有

高频的模拟信号，经滤波电路处理后就可以得到真正有用的模拟信号。图 1—5 (a) 所示是电子计算机电路输入的信号，(c) 是进行运算后输出的信号。

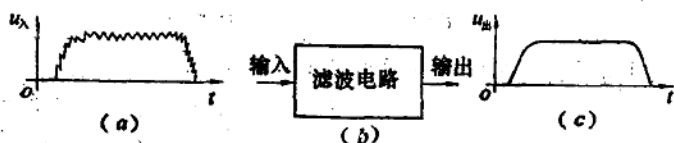


图 1—4 模拟信息处理

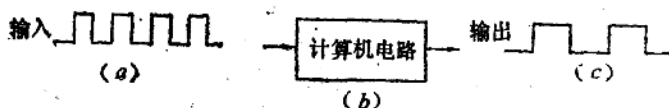


图 1—5 数字信息处理

(3) 信息存贮。非电量信息经电路处理后变成电信号，电信号可以借助一定的电路存贮起来，所以电路可以存贮信息。图 1—6 是数字计算机的存贮电路。一台计算机有成千上万个这样的存贮单元。

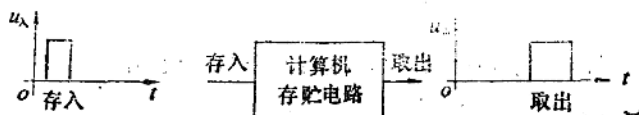


图 1—6 信号的存贮

三、电路的分类

电路的类型繁多，没有统一的分类标准，以电路元件的特性和电路的工作状态为依据，大体上可以分成以下几种。

1. 集中参数电路与分布参数电路 能用一个或几个参数来表示的电路元件称为集中参数元件，常见的有电阻器、电容器、电感器等。集中参数元件的主要特点是线性尺寸与电路最高工作频率所对应的波长相比可以忽略不计，电路参数 R 、 L 、 C 是集中的，相反，长的输电线路、电视天线引线等，属于分布参数电路。比较下面的数字，就可以明白限制电路尺寸的意义。①对音频电路，其最高工作频率为25千赫，对应的波长 $\lambda = c/f = 3 \times 10^8 / 25 \times 10^3$ 米 = 12千米，这个尺寸远大于实际音频电路的尺寸，这种电路可用集中参数表示；②工作在500兆赫的计算机电路，对应的波长 $\lambda = c/f = 3 \times 10^8 / 5 \times 10^8$ 米 = 0.6米，用集中参数表示这种电路就欠准确了；③对于 $\lambda = 10$ 厘米至1毫米的微波电路，要用马克斯威尔电磁场方程才能解决问题。

2. 线性电路与非线性电路 凡参数 R 、 L 、 C 不随电路中电流或电压数值的改变而改变的电路元件，称为线性元件；由线性元件组成的电路，称为线性电路，反之称为非线性电路。在电子技术中常遇到的非线性电路，经常用线性化的办法来处理。

3. 分立元件电路和集成电路 由电阻器、电容器、电感器、晶体二极管、三极管以及电机等元件连接而成的电路，称为分立元件电路。1960年以前的电路都是由这些分立的元件所组成。把晶体管、电阻和连接导线都集中做在一块微型硅片上

具有特定功能的电路称为集成电路。1960年世界上第一块集成电路是把四个元件集中做在一块几平方毫米的硅片上，现在已经能把30万个以上的元件制作在一块硅片上了。集成电路有体积小、多功能、速度快、低功耗、精度高、省材料等优点。它的出现，打破了几十年来一直由分立元件组成电子电路的传统观念，把电子技术推进到了一个崭新的阶段，对社会生活的各个领域产生了深刻的影响。例如仅用六块集成电路就能组成一部彩色电视，过去几个大房间才能装得下的电子计算机，用集成电路做其体积只有粉笔盒那么大。图1—7是几种集成电路的外形。

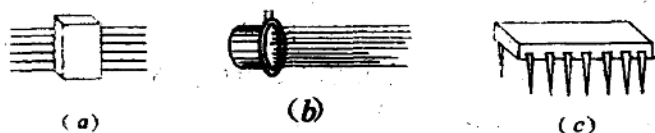


图1—7 集成电路的外形

思考与练习

1—1—1 电路由哪些部分组成？各起什么作用？

1—1—2 什么叫电路图？

1—1—3 画出手电筒的电路图。

1—1—4 根据 $\lambda = c/f$ ，试算出 $f = 16$ 赫， $f = 50$ 赫， $f = 20000$ 赫时 λ 各为多少？

§ 1—2 电流、电压和电动势的正方向

电路中能量的转换、输送以及信号的传递和处理，都是用电流、电压和电动势来描述的。为了在电路分析中正确使用这些物理量，尤其是关于它们正方向的使用，我们先简要地讨论一下电路中这几个基本物理量。

一、电 流

电荷的定向运动形成电流。电流的强弱用电流强度来表示。电流强度数值上等于单位时间穿过导体任意截面的电荷量的代数和。设在 Δt 时间内，从导体某截面的一方通过到达另一方电荷量的代数和为 Δq （图1—8），

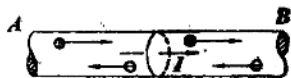


图 1—8

则电流强度表示为

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

电流强度简称为电流，当 $dq/dt = \text{常数}$ 时，电流不随时间而变化，这种电流称为恒定电流，简称直流。恒定电流用大写字母 I 表示：

$$I = \frac{q}{t} \quad (1-2)$$

式中 q 为 t 时间内通过导体截面 S 的电荷量的代数和。

习惯上规定正电荷运动的方向为电流的实际方向。实践表

明，电流沿导线流动，只有两种可能，即从图 1—9 中导体的 A 端流向 B 端，或者由 B 端流向 A 端，为了计算上的方便，常常选定其中的一个方向作为参考方向（假定正方向），并用空心箭头或双下标 I_{AB} 表示。电流是代数量，不是空间矢量。用箭头表示的含意是：当电流的实际方向与假定正方向（简称正方向）相同时，则电流取正值，如图 1—9(a) 所示，当电流的实际方向与正方向相反时，则电流取负值，如图 1—9(b) 所示。

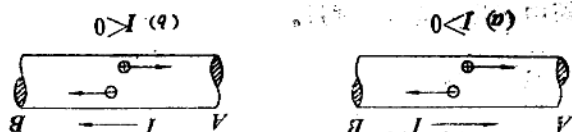


图 1—9 电流的正方向与实际方向

在实用单位制中，电荷量的单位是库仑，时间为秒，电流为安培，简写为安或 A。较大的单位为千安 (kA)，较小的单位为毫安 (mA)、微安 (μA)。

一个电子的电荷量为 $e = 1.6 \times 10^{-19}$ 库仑。一库仑的电荷量相当于 6.25×10^{18} 个电子所带的电荷量的总和。1 安培电流就是每秒钟在导体截面中通过 1 库仑的电荷量，即通过 6.25×10^{18} 个电子/秒。

例 1—1 手电筒两节电池的电压为 3 伏，小灯泡的电阻为 8.5 欧姆。求通过小灯泡的电流 I 和每秒中通过灯丝截面的电子数。

解 根据欧姆定律得

$$I = \frac{U}{R} = \frac{3}{8.5} \approx 0.35 \text{ 安}$$

根据

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

得

$$q = It = 0.35 \times 1 = 0.35 \text{ 库仑}$$

根据

$$q = ne$$

得

$$n = \frac{q}{e} = \frac{0.35}{1.6 \times 10^{-19}} \approx 0.22 \times 10^{19} \\ = 220 \times 10^{16} \text{ 个电子}$$

思考与练习

1—2—1 某导体用铜制成，截面积为 25 毫米^2 。已知铜每立方厘米有 8.5×10^{22} 个自由电子，每个电子的电量为 1.6×10^{-19} 库仑。在外电场的作用下，导体中电子移动的平均速度为 0.15 厘米/秒 ，求通过导体的电流。

1—2—2 飞机上的照明电源电压为 24 伏 ，灯泡的电阻为 3 欧姆 ，求通过一只灯泡的电流。

1—2—3 有一只玻璃管的截面积为 10^{-2} m^2 ，内装电离的气体，其密度为 10^{13} 正离子/ m^3 与 10^{13} 自由电子/ m^3 。在外加电压作用下，正离子以 $5 \times 10^3 \text{ 米/秒}$ 的平均速度作轴向运动，在同一点上，电子以大于正离子 2000 倍的速度向相反方向运动。求通过玻璃管截面的电流。

1—2—4 设直流电源开关到照明灯泡的单程距离为 3 米 ，求人用手把开关合上后多少时间就看到电灯发亮？如果导体中电子移动的平均速度为 0.05 厘米/秒 ，求电子从电源开关移动到灯丝需要多少时间？为什么早在电子通过灯丝前电灯就发亮了？

二、电动势、电压、电位

1. 电动势

电动势就是电源力（如化学力、洛伦兹力等，有时称局外力）将单位正电荷从电源的负极（b）移到正极（a）所做的功，如图1—10所示。其作用过程是这样的：当电源力将正电荷从b极板分离出来并推向a极板时，a极板带正电，b极板带负电，于是在正负极之间形成电场。向正极板运动的正电荷同时受到电场力 $\bar{F}_d$ 和电源力 $\bar{F}_y$ 的作用。开始时， $\bar{F}_y > \bar{F}_d$ ，电源力占优势，不断地将正电荷推向正极板，两极板的电荷增加的同时，电场也增强，当 $\bar{F}_y = \bar{F}_d$ 时，两极板的电荷不再增加，达到相对平衡，如图1—10(a)所示。电场力 $\bar{F}_d$ 的方向从正极指向负极，电源力的方向从负极指向正极。电源力把正电荷推向正极的过程中克服电场力的反作用而做功，使电荷获得了能量，从而在电源内部实现了其它形式的能转变为电能的过程。

上述能量转换过程的表达式为：

$$E_{ba} = \frac{A_y}{q} = \frac{\int_b^a \bar{F}_d dl}{q} \quad (1-3)$$

式中 E_{ba} 为电源的电动势， A_y 为电源力移动电荷 q 所做的功， q 为从负极移到正极的电荷量。

当电路接通时，如图1—10(b)，在电场力的作用下，正电荷从正极（在金属导体中实质上是自由电子从负极移向正极）沿外电路流动到负极。由于正负电荷中和，极板的电荷量减少，形成 $\bar{F}_y > \bar{F}_d$ ，平衡状态被破坏，电源力又占优势，继续把中和了的正负电荷分开并将它们推向正极。如此不断重复，就维

持了电流的连续流动，从而不断地实现能量的相互转换。

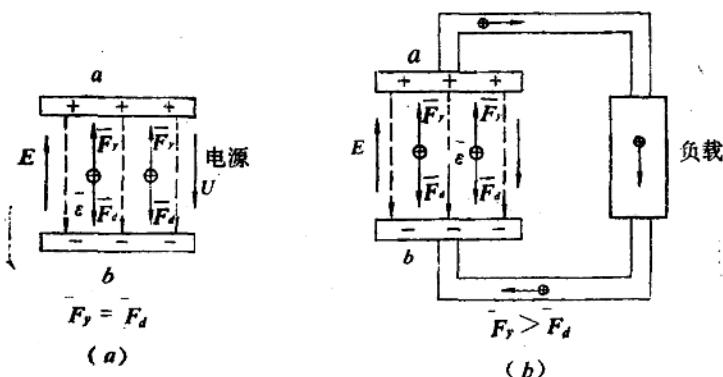


图 1—10 电动势

2. 电 压

在外电路，电场力把单位正电荷从电路中的某一点a移到另一点b所做的功，称为a、b两点之间的电压 U_{ab} 。表达式为

$$U_{ab} = \frac{A_d}{q} = \frac{\int_a^b \bar{F}_d d\bar{l}}{q} = \int_a^b \bar{\epsilon} d\bar{l} \quad (1-4)$$

式中 A_d 为电场力将电荷 q 从a移到b所做的功， $\bar{F}_d$ 为作用在电荷上的力， $\bar{\epsilon}$ 为电场强度。

电动势和电压都是标量。为了便于分析电路中的问题，习惯上规定电动势从低电位指向高电位，用实心箭头表示，箭头的指向为电位升的方向。电压的方向从高电位指向低电位，也用实心箭头表示，箭头的指向为电位降的方向。要特别注意，