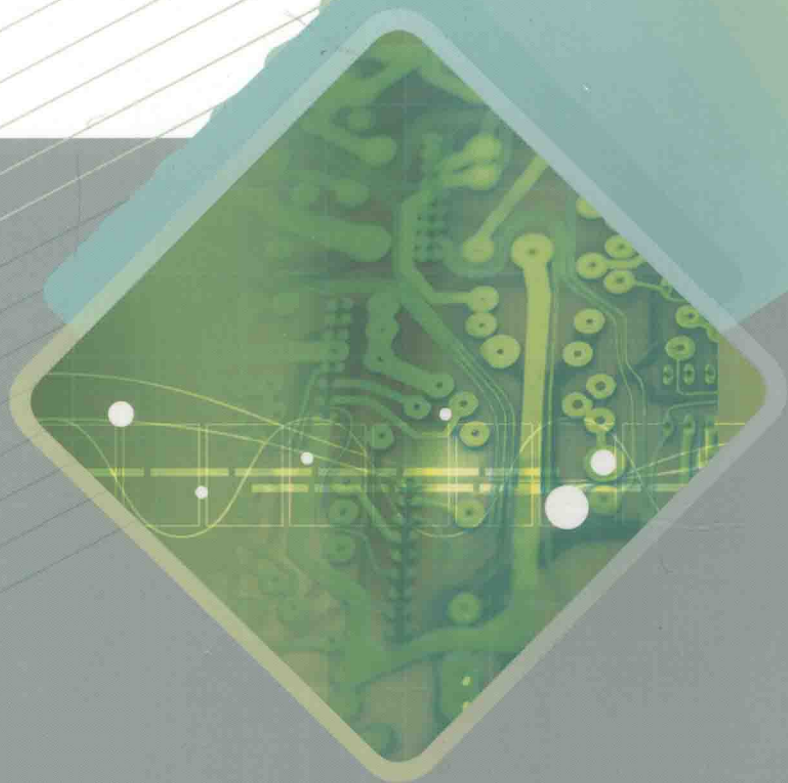


全国高职高专教育规划教材

简明易学系列

电路基础 及应用

■ 燕庆明 石晨曦 编著



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

全国高职高专教育规划教材
简明易学系列

电路基础及应用

Dianlu Jichu ji Yingyong

燕庆明 石晨曦 编著



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书是全国高职高专教育规划教材简明易学系列之一。内容分为以下9章:电路的基本概念、简单直流电路、电路的一般分析方法、电路定理、正弦交流稳态电路、三相电路、互感与变压器电路、电路的频率特性和动态电路的暂态过程。本书在确保重要知识点的基础上,以突出概念为重点,以学以致用为目的,以直观、形象为方法,删繁就简,通俗易懂。全书思路新、内容新、形式新,图文并茂,便于教学。书中列举了40多个应用实例。运用了“本章导引”、“知识点睛”、“观察思考”、“应用实例”、“重点采撷”等栏目,使之结构新颖,以便激发学生的兴趣。

本书可作为高职院校的电子信息技术、通信技术、应用电子技术、电气技术、自动控制技术、物联网技术、电力技术、微电子技术、光电子技术、楼宇智能化技术等专业的电路课程的教材,也可供广大科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路基础及应用/燕庆明,石晨曦编著. —北京:

高等教育出版社, 2012.1

ISBN 978-7-04-033999-4

I. ①电… II. ①燕…②石… III. ①电路理论-高

等职业教育-教材 IV. ①TM13

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第242264号

策划编辑 王莉莉

责任编辑 王莉莉

封面设计 赵 阳

版式设计 范晓红

插图绘制 尹 莉

责任校对 窦丽娜

责任印制 朱学忠

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市西城区德外大街4号

邮政编码 100120

印 刷 涿州市星河印刷有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 12.5

字 数 290千字

购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

<http://www.hep.com.cn>

网上订购 <http://www.landaco.com>

<http://www.landaco.com.cn>

版 次 2012年1月第1版

印 次 2012年1月第1次印刷

定 价 21.50元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物料号 33999-00

前 言

本书是全国高职高专教育规划教材简明易学系列之一。在当前形势下,随着高等职业教育的深入发展,为了培养高端技能型人才,课程体系、教学内容和教学方法都应进行认真改革。面对当前学生的实际和工作需要,过去那种重理论、轻应用、内容偏多、脱离实际的教材已经不适用了,而应代之以基本、形象、实用、易学的新教材。本书就是为适应这一背景而编写的。本书的特色主要有以下几点:

一、注重基本,适合教学。以电路的基础知识为重点,删繁就简,循序渐进,内容以够用为度,保证所必需的知识点。尽量减少不必要的数学推演过程,精选例题及参数,以减少繁琐的计算。略去了一些次要内容,如双口电路和复频域分析等。

二、注重概念,直观易学。本书从感性到理性系统地介绍了电路的基本概念、基本规律和基本分析方法。尽量不用定义格式和抽象的论述。许多概念和方法都是结合丰富的例题介绍的。在体系上,采用先稳态后暂态的方法。因为对初学者而言,先讲直流、稳态比较容易接受;而暂态过程要用微分方程描述和求解,历来学生认为比较困难,所以本书把动态电路的暂态过程放在最后一章介绍,这是从教学法角度考虑的。

三、注重应用,联系实际。为了便于学生理解和学以致用,本书每章开始均以应用引入。当基本知识讲完后,再结合介绍应用实例和实际知识。只有联系实际学习,学生才会觉得不空、有趣、踏实、有用。全书给出了 40 多个应用例子,都是学生在今后工作中经常遇到的。

四、注重引导,激发兴趣。全书每章都设计了几个清新栏目,如本章导引、知识点睛、观察思考、应用实例、重点采撷等。书中有哲理启发,有形象点拨,或图中示意,或有趣应用。这些形式的运用,可以不断地调动学生的兴奋点,提高学习效果。

任何事物都是辩证的,简单中有复杂,直观中有真理,基础的东西不在多,不在深,只要懂得了就行。知学生之所需,教学生之所用,这就是以学生为本。

本书由燕庆明和石晨曦编著。石晨曦编写第 2、3、4、6 章,燕庆明编写第 1、5、7、8、9 章并负责全书统稿。在编写之初,我们征求了江苏信息职业技术学院、无锡职业技术学院、无锡商业职业技术学院等院校老师的意见,他们根据教学第一线的经验提出了非常宝贵的建议,特致衷心感谢。本书承江南大学于凤芹教授主审,提出了宝贵意见,深致谢意。

本书所写 9 章基本内容,是按高职院校的电子信息技术、通信技术、应用电子技术、电气技术、自动控制技术、物联网技术、电力技术等专业的一般要求安排的。而全国高职院校如此之多且培养目标各不相同,所以各校在使用时可灵活取舍。打“*”号的内容不作重点要求,可根据需要选学。至于计算机辅助分析,如 EWB、MATLAB 等,可结合电路实验进行。为了便于教学,形象生动,我们另编制了电子教案(PPT),由高等教育出版社免费提供给任课教师使用。

潜心尝试,志在改革;更新教材,意在利学;若有错漏,诚望指教。

编者

2011 年 8 月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任；构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话 (010) 58581897/58582371/58581879

反盗版举报传真 (010) 82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120

目 录

第 1 章 电路的基本概念	1
1.1 电子电气科学技术的回顾	2
1.2 应用示例	4
1.3 电路模型	5
1.4 电路的基本变量	8
1.5 基尔霍夫定律	11
1.6 电阻元件与欧姆定律	14
1.7 电压源与电流源	18
练习题	22
第 2 章 简单直流电路	25
2.1 应用示例	26
2.2 电阻的串联与并联	26
2.3 电源等效互换法	32
2.4 Δ -Y 电路等效变换	34
2.5 受控源的概念	37
* 2.6 运算放大器及其应用	40
练习题	42
第 3 章 电路的一般分析方法	45
3.1 应用示例	46
3.2 支路电流法	46
3.3 网孔电流法	48
3.4 节点电压法	49
练习题	53
第 4 章 电路定理	55
4.1 应用示例	56
4.2 叠加定理	56
4.3 等效电源定理	58
4.4 最大功率传输定理	64
练习题	67
第 5 章 正弦交流稳态电路	69
5.1 应用示例	70
5.2 正弦信号与相量	70

5.3 基本定律的相量形式	76
5.4 电感元件及相量模型	77
5.5 电容元件及相量模型	81
5.6 阻抗与导纳	86
5.7 正弦稳态电路的功率	93
练习题	103
第6章 三相电路	107
6.1 应用示例	108
6.2 三相电源的产生与连接	108
6.3 三相负载 Y 形联结	111
6.4 三相负载 Δ 形联结	113
6.5 三相电路的功率及测量	115
练习题	119
第7章 互感与变压器电路	120
7.1 应用示例	121
7.2 耦合电感及其等效	121
7.3 理想变压器	128
练习题	132
第8章 电路的频率特性	134
8.1 应用示例	135
8.2 频率特性的概念	135
8.3 典型网络的频率特性	143
8.4 串联谐振电路	147
8.5 并联谐振电路	153
练习题	159
第9章 动态电路的暂态过程	161
9.1 应用示例	162
9.2 动态元件与换路定律	163
9.3 一阶 RC 电路	166
9.4 一阶 RL 电路	172
9.5 一阶电路的三要素法	176
练习题	181
附录 部分国际制单位、词头及电工仪表	185
部分练习题参考答案	186
参考文献	190

第1章 电路的基本概念

本章导引

“我们的时代充满了创造性发明,这大大方便了人们的生活。我们利用电可把人类从繁重的体力劳动中解放出来。我们能横渡大洋,人们学会了飞行,甚至通过电波,我们能轻松地把消息传到世界的每一个角落。”——爱因斯坦(1939年纽约世博会“时间舱”中寄言)

“合抱之木,生于毫末;九层之台,起于累土;千里之行,始于足下。”——老子

知识点睛

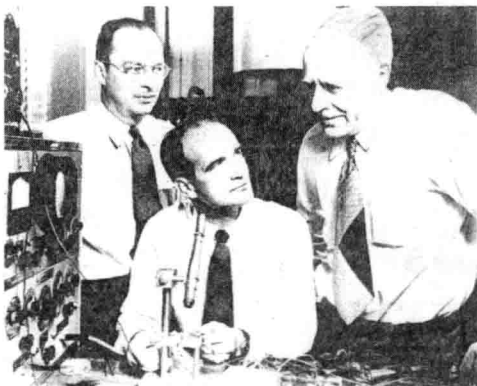
学习本章,要掌握的基本知识点是:

- 电路与电路模型的概念
- 电流、电压及参考方向
- 功率与能量
- 基尔霍夫定律和欧姆定律
- 电阻元件与实际特性
- 电压源与电流源的特性

1.1 电子电气科学技术的回顾

从20世纪40年代开始,电气、电子技术的发展不断加快,出现了许多重要成果,其中影响较大的是半导体、集成电路、计算机、通信技术和航天应用等。

半导体和集成电路。1947年12月,美国贝尔实验室的科学家布拉丁(W. Brattain)、巴丁(J. Bardeen)和肖克利(W. Shockley)首先发明了一种点接触晶体管。这是一种全新的半导体器件,它体积小、电性能稳定、功耗低。这项发明自从1948年公布于世后,很快就生产出市售商品,用于通信、电视、计算机等领域,促进了电气、电子工程技术的飞速发展。图1-1显示的是三位发明家和今天应用的各种半导体器件。它们不仅形状各异,而且有小功率、中功率、大功率各种规格。



晶体管的发明者

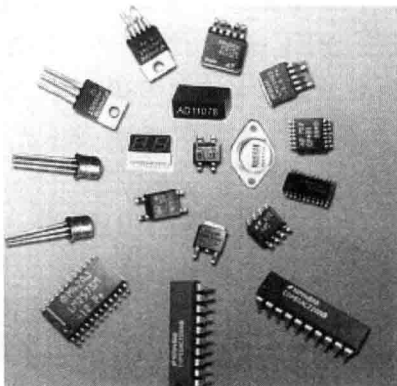


图1-1 晶体管的发明及半导体器件

从20世纪50年代末开始,科学又把人类带入微电子时代。1958年,基尔比(J. Kilby, 1923—2005)等人利用单晶硅半导体材料发明了集成电路。1961年,福查德公司生产出了第一个集成电路。当时,在大约 $1/4$ in(英寸, $1\text{in}=2.54\text{cm}$)的小硅片上可以集成6800个晶体管和数千个其他元件(如电阻、二极管等)。从20世纪70年代起,集成电路技术飞速发展,各种大规模集成电路(LSI)和超大规模集成电路(VLSI)层出不穷,并用于音响、冰箱、空调、汽车、彩电、手机、计算机、信号处理器、测量、航天等各个领域。在工业系统、通信系统、控制系统、计算机系统、测量系统中引起了革命性发展。图1-2为集成电路的各种样品和内部布线结构。

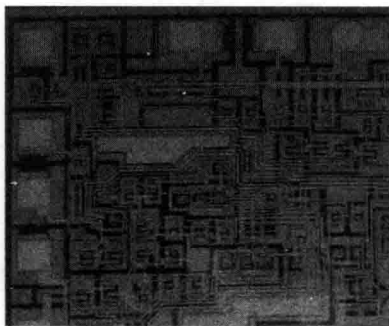
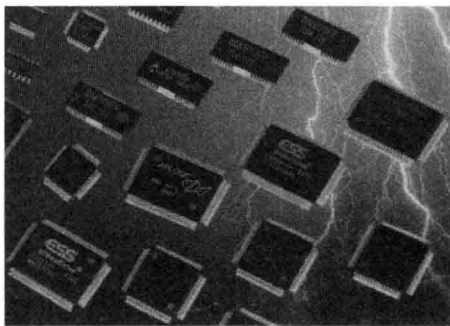


图1-2 集成电路的各种样品和内部布线结构

计算机和互联网。1946年,世界又一个奇迹出现了。第一台电子计算机在美国宾夕法尼亚大学莫尔电子工程学院研制成功。这台称为 ENIAC(Electronic Numerical Integrator And Calculator)的计算机是以美国数学家诺依曼(J. V. Neumann)为主设计的。这台计算机占地约 165 m^2 ,使用了 18 000 只真空电子管,重 30 t(吨),每秒可运算 5 000 次,这在当时是史无前例的。今天的计算机已发展到第五代,速度可达几千万亿次,然而第一台计算机仍是划时代的。20 世纪 50 年代使用的计算机都是以电子管为主的。1965 年,哈佛大学研制出了第一代晶体管式大型计算机。1980 年,集成电路计算机问世,很快个人电脑(PC)运用到各个领域。1995 年,在计算机非常普及的背景下,出现了互联网,引发了信息高速传递的奇迹。进入 21 世纪后,超级计算机发展很快,2010 年,我国研制的“天河一号”超级计算机速度可达每秒 4 700 万亿次,居当年世界第一位。图 1-3 显示的是世界第一台计算机和今天计算机的样品。

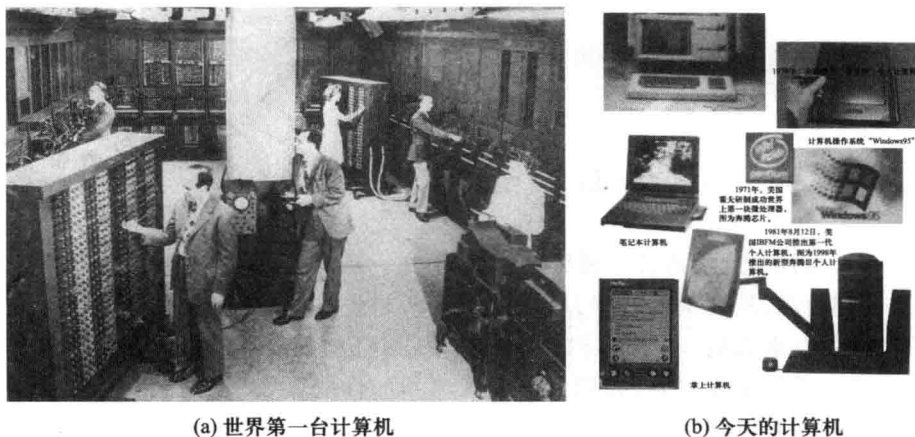
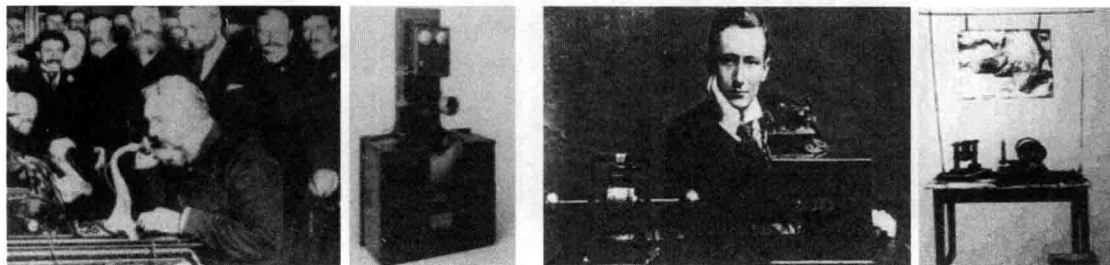


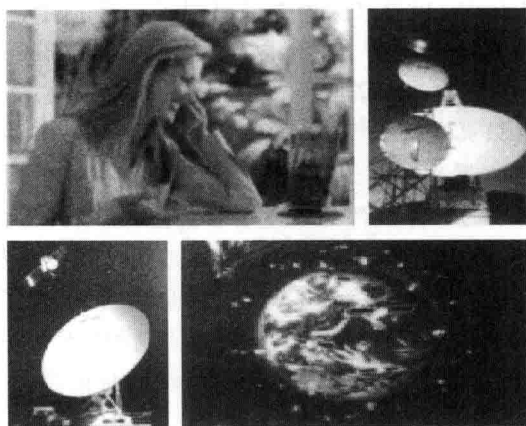
图 1-3 世界第一台计算机和今天计算机的样品

通信技术和航天。1876 年,30 岁的美国科学家贝尔(A. G. Bell, 1847—1922)发明了电话。1894 年,意大利 20 岁的马可尼(G. Marconi, 1874—1937)发明了无线电。从此,通信的电子技术时代开始了。从家庭使用的固定电话,到模拟式移动电话;从数字式移动电话到微波通信、激光通信;从卫星通信到 3G 智能手机和互联网通信等,通信技术的发展日新月异。在航空航天领域,电子技术在通信、导航、控制和信号处理等方面成为至关重要的技术。图 1-4 显示的是贝尔的早期电话、马可尼的无线电装置和现代通信技术的画面。



(a) 贝尔及早期电话

(b) 马可尼及早期通信



(c) 现代通信技术

图 1-4 通信技术的发展

1.2 应用示例

当今,在人类社会生活的各个领域,电无处不在。在电子、电气技术的应用中,从简单到复杂,从手动到自动,从模拟到数字,电子技术越来越先进,应用也越来越广泛。如图 1-5 所示,在电力系统、洗衣机、电冰箱、汽车、电脑、手机等应用中,涉及电的技术已经相当现代化。面对各式各样的实际电路,我们如何了解电路的性能?如果出现了故障,如何把它修好?如何设计一个新电路?为了解决这些问题,作为工程技术人员,必须认真学习电路的基本知识,掌握分析电路的基本方法。

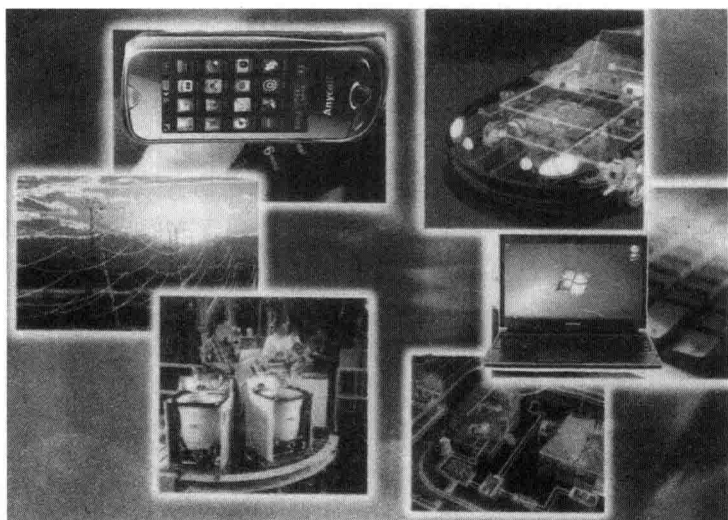


图 1-5 电的广泛应用

电路的功能大体上可分为两大类。一类是**实现电能的传输和分配**，另一类是**用来转换处理各种信号**。

目前,人们已可以方便地设计各种不同的电路,以完成各种预期的功能。如整流,即把两个方向的交流变为单一方向的电压或电流;放大,即把微弱信号放大为强信号;滤波,即把不需要的频率成分或干扰抑制掉;变换,即把一种信号变换为所需要的另一种信号波形;取样,即把连续信号变成离散信号;记忆,即把原信号存储下来,需要时再取出。图 1-6 就是以上功能的示意图。

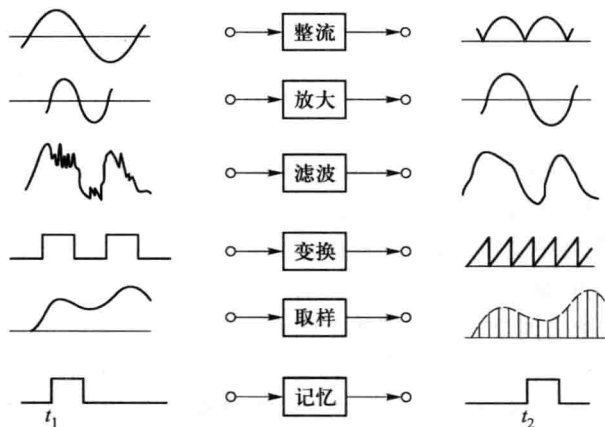


图 1-6 电路功能的示意图

1790 年,富兰克林在他 84 岁临终时曾经感慨地说:“科学的发展如此之快,以至于使我后悔出生得太早了。现在不可能想象,一千年后人类对物质的驾驭能力会推进到什么程度。人们为了运输的方便,也许能克服地球的引力而举起庞然大物;农民能减轻其劳动又使产量倍增;疾病可用有效的方法预防和治疗,人的寿命可以延长。”值得庆幸的是,在他身后才过了二百多年,他的预言都已实现了。

1.3 电路模型

1.3.1 实际电路与电路模型

实际电路是由若干电气元器件按应用的需要组合起来构成电流通路的整体。电路的三个组成部分是**电源、负载和转换环节**。

电源:是将其他形式的能量转换成电能的装置,例如,发电机是将机械能转换为电能,电池是将化学能转换为电能。此外,水力资源、原子能、太阳能、地热、潮汐、风能都可成为电能的来源。

负载:是用电设备的总称,例如电视机、计算机、日光灯、电动机、扬声器等。

转换环节:是电路中除电源和负载之外的电气部分,它起着传输、控制、分配电能的作用。例如输电线、开关、放大器、变压器、分配器等。图 1-7 即是一例。

工程中运行的实际电路通常由多种电气元件和器件按一定方式连接而成。任何实际电

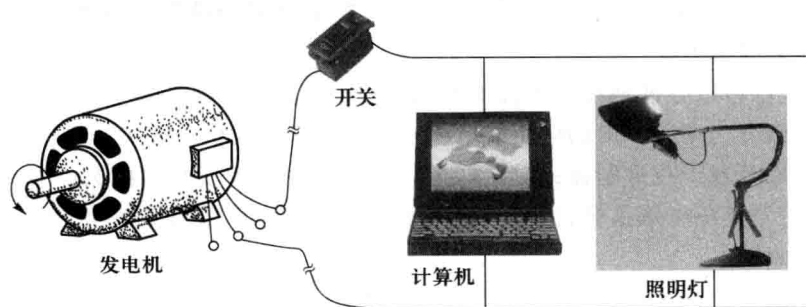


图 1-7 实际电路

路在运行过程中的表现都相当复杂。原因是,人们所应用的实际器件,如电阻器、电容器、电感线圈、晶体管、变压器、运算放大器和电源设备等,在实际电流、电压和环境条件下的性能复杂多变。比如,电阻器中电流变化时,周围就伴随着电磁场的变化;电容器中不但储存电场能量,还经常要消耗能量,器件内部经常伴有热效应、化学效应和机械效应等。要在数学上精确描述这些现象相当困难。为了用数学的方法从理论上判断电路的主要性能,必须将组成实际电路的电子器件在一定条件下按其性质加以理想化,从而得到一系列理想化元件,如电阻元件、电容元件和电感元件等。这些理想元件称为实际器件的模型(model),它们都用严格的数学关系给予定义,这样就便于用电路方程确切地分析其电性能。通常所说的电路分析,就是对由理想元件组成的电路模型进行分析。虽然分析结果仅是实际电路的近似值,但它是判断实际系统电性能和指导电路设计的重要依据。

图 1-8(a)是手电筒及其模型图,图(b)是马克尼的无线电发送装置原理图及其电路模型。

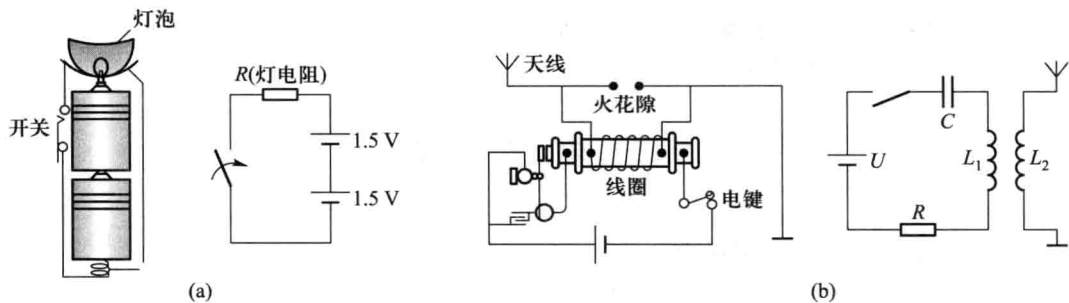


图 1-8 电路模型的示意图

需要指出的是,模型的概念不仅在电路理论中应用,在其他科学领域也都利用模型来分析具体事物。可以说,一切科学理论都建立在模型基础之上,没有模型就没有科学分析。经典力学中质点和刚体的概念,就是研究机械运动的理想模型。广义地说,所谓模型,就是任何实体(形式、过程、概念、自然、社会等)的理想化表示。它是对实体的主要性能和变化规律的一种定量抽象。模型一旦正确地建立起来,它就能更普遍、更深刻地描述实体的主要特征。在不同条件下,逐步地改善模型,就能逐步精确地表达实体。

1.3.2 电路分析

作为电路分析的基础,本书主要讨论对集总参数电路、线性电路和时不变电路的分析方法。

集总参数电路:如果实际电路的几何尺寸远小于其工作信号的波长时,可以认为电流传送到电路的各处是同时到达的,即没有时间延迟,这时整个电路可以看成电磁空间的一个点。这种条件下的电路称为集总参数电路(lumped circuit),否则就称为分布参数电路(distributed circuit)。

以常见的低频放大电路来说,假定它所传输的信号的最高频率为 $f=30\text{ kHz}$,传播速度为光速 $c=3\times 10^8\text{ m/s}$,则信号的最小波长 λ 为

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3\times 10^8}{30\times 10^3}\text{ m} = 10\text{ km}$$

可见其波长远大于通常的低频放大电路的尺寸,所以在该条件下的电路是集总参数电路。

再以计算机电路中的一个集成单片来说,其中可能有成千上万个电子器件。如果集成片的尺寸为 $0.5\text{ cm}\times 0.5\text{ cm}$,工作频率为 100 MHz ,则相应的波长 $\lambda=3\text{ m}$,这时电路的尺寸也远小于信号的波长,因而该集成片也可以被视为集总参数电路。

在微波($\lambda<1\text{ m}$)电路中,如电视天线、雷达天线和通信卫星天线等,它们的工作波长一般与电路的尺寸可以比拟,这些电路上的电压或电流不但是时间的函数,而且还是位置的函数。这类电路就是分布参数电路。

如通信卫星天线,其直径通常在几十米以上。若工作频率为 $f=30\text{ GHz}$,则相应的波长 $\lambda=10\text{ cm}$ 。显然,这类天线或不太长的传输线都属于分布参数电路。

线性电路:若描述电路特征的所有方程都是线性代数方程或线性微积分方程,则这类电路就是线性电路。或者说,由线性元件(电阻、电感、电容等)组成的电路称为线性电路。

时不变电路:若组成电路的元器件参数不随时间变化,这类电路则称为时不变电路或非时变电路。本书只研究线性时不变电路。

为了进行理论分析,实际电气系统必须首先模型化。电路分析的任务是对给定的电路模型和输入信号研究电路某处的输出信号。**输入信号也称为激励(excitation),输出信号也称为响应(response)**。本书将以线性电路为对象,在时间域和频率域中研究信号通过电路的基本概念和基本规律,讨论电路自身的重要特性,讲述分析电路的基本方法。因此,电路分析是研究电路构成、电路性能和应用技术的重要基础。

与电路分析紧密相关的另一分支是电路的综合与设计。分析以综合为目的,综合以分析为基础。

“电路基础”课程是以集总参数线性时不变的电路为主要对象而建立的基本理论、基本概念和基本分析方法。所应用的输入信号主要是直流、正弦交流、阶跃信号,进而研究电路在这些输入信号作用下电路响应(电流或电压)的变化规律。

在进行电路分析时,读者首先要明确电路的性质和条件,弄清电路中哪些是已知的,哪些是待求的;其次在多个解决方法中选择一个合适的方法,以便更简捷、更有效;最后是发挥创造性,对于问题的分析结果,要善于思考,理解其本质,并试图找出更有一般意义的结论,

以便移植应用于其他类似的领域。

1.4 电路的基本变量

1.4.1 电流与电压

在电路理论中,电流 i 和电压 u 是最常使用的两个物理变量,以此为基础,又经常用功率 p 和能量 W 来反映电路的功能传递情况。这里分别加以介绍。

1. 电流

大家知道,带电粒子的规则移动形成电流。电流的大小或强弱取决于导体中电荷量的变化。通常,把单位时间内通过导体横截面的电荷量定义为电流 i ,即

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

式中,若电荷量的单位为库[仑](C),时间的单位为秒(s),则电流的单位为安[培](A)。习惯上把正电荷运动的方向规定为电流的方向。

如果电流大小和方向不随时间变化则称为直流,若电流的数值和方向随时间变化,则称为时变电流。

在复杂电路中,某一支路的电流真实方向有时难以确定。为了方便,引入电流参考方向的概念。即在分析电路之前,先任意假设各支路电流的方向,这个方向称为参考方向。依据这些假设,若求解的电流为正值,说明实际方向与参考方向一致;电流为负值,说明实际方向与所标的参考方向相反。如图 1-9 所示,若 $i_1 = 1 \text{ A}$,说明标示的参考方向就是 i_1 的实际方向;若 $i_2 = -2 \text{ A}$,说明 i_2 的实际方向与所标的参考方向相反。若电路中不标出参考方向,则电流的正、负毫无意义。

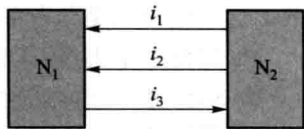


图 1-9 电流的参考方向

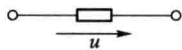
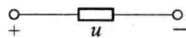
2. 电压

电路中两点间的电压又称为该两点的电位差。从能量的观点来说,将单位正电荷从 a 点移动到 b 点其能量的得失量定义为这两点间的电压 u ,即

$$u = \frac{dW}{dq} \quad (1-2)$$

式中,若能量的单位为焦[耳](J),电荷量的单位为库[仑](C),则电压的单位为伏[特](V)。

在电路分析中,有时要正确地判断出任意两点的电位高低也是很困难的。为了方便,也像电流一样,引入电压参考方向的概念。即在电路中任意假设两点间电压的正、负极性,如图 1-10 所示,若求解结果 u 为正,说明该电压的实际方向(或实际极性)与图中标示的相同。因此,有了电压参考方向及电压的正、负值,就可以确定任意时刻两点间电压的真实极性了。图 1-10 为表示电压参考方向的两种方法。



(a) 用正、负极性表示高、低电位 (b) 用箭头表示电压降低方向

图 1-10 电压 u 的参考方向

如上所述,电流和电压的参考方向可以任意假定,而且二者是互相独立的。若选取电流的方向从电压的正端经过元件本身流向负端,则称电压与电流方向一致,或称关联参考方向。在图 1-11 中,电路的电压 u 与电流 i 方向一致,为关联参考方向;在图 1-12 中,电压 u 与电流 i 方向不一致,称为非关联参考方向。

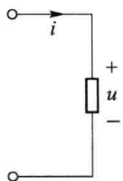


图 1-11 关联参考方向

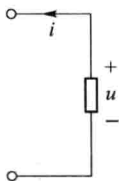


图 1-12 非关联参考方向

实际中若要测量电流和电压,要像图 1-13 那样,即测电流时应把电流表串在支路中,测电压时应把电压表跨接在元件两端。

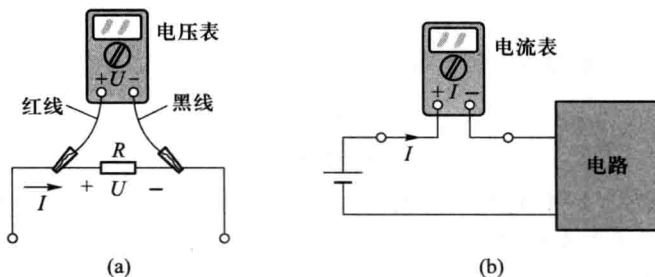


图 1-13 电压与电流的测量

电流一般用安[培](A)表示,有时也会用到千安(kA)、毫安(mA)或微安(μA)表示,它们的换算关系为

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

电压的单位是伏[特](V),有时还常用千伏(kV)、毫伏(mV)或微伏(μV)表示,它们的换算关系为

$$1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V}, 1 \text{ mV} = 10^{-3} \text{ V}, 1 \mu\text{V} = 10^{-6} \text{ V}$$

今后,凡一般意义上的电压和电流(变化的或恒定的),均分别简记为 u 和 i ;对于直流电压和电流,常分别用大写字母 U 、 I 表示。若特别强调电压和电流为时间 t 的函数,则可用 $u(t)$ 和 $i(t)$ 表示。

1.4.2 功率与能量

功率(power)是量度电路中能量转换速率的一个物理量。电路在单位时间内所消耗的能量定义为瞬时功率,即

$$p = \frac{dW}{dt}$$

在图 1-14(a)中,电路 N 的 u 和 i 方向一致,由于

$$i = \frac{dq}{dt}, u = \frac{dW}{dq}$$

故消耗的瞬时功率为

$$p = \frac{dW}{dt} = \frac{dW}{dq} \cdot \frac{dq}{dt} = ui \quad (1-3)$$

对于直流电路,可表示为

$$P = UI$$

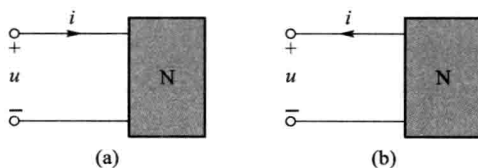


图 1-14 计算功率的示意图

对于图 1-14(b)所示电路,由于对 N 而言, u 和 i 是非关联参考方向,则 N 消耗的功率为

$$p = -ui \quad (1-4)$$

利用式(1-3)或式(1-4)计算功率时,若 $p > 0$,表明电路 N 此时消耗功率;若 $p < 0$,表明 N 此时产生功率。功率的单位是瓦[特](W)。

若电路 N 的电压 u 和电流 i 已知时,在关联参考方向下,N 在任何时刻 t 所吸收的能量为电压和电流乘积的积分

$$\int_{-\infty}^t u(x)i(x)dx \quad (1-5)$$

电能的单位是焦[耳](J)。在生活和工程中还常用千瓦时($\text{kW} \cdot \text{h}$)作电能的单位, $1 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 俗称为 1 度(电)。

$$1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 1\,000 \text{ W} \times 3\,600 \text{ s} = 3.6 \text{ MJ}$$

【例 1-1】 如果电视显像管中电子束每秒射出 10^{15} 个电子,为要加速该电子束达到 6.4 W 的功率,问激励电压应为多少?

解:已知一个电子的负电荷量为 $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$,则电流

$$i = \frac{dq}{dt} = (1.6 \times 10^{-19}) \times 10^{15} \text{ A} = 1.6 \times 10^{-4} \text{ A}$$

所以,激励电压

$$u = \frac{p}{i} = \frac{6.4}{1.6 \times 10^{-4}} \text{ V} = 40\,000 \text{ V}$$

【例 1-2】 设有 2 A 的恒定电流通过一个灯泡 10 s(秒),若灯泡所消耗的热能为 2.2 kJ(焦耳),试求灯泡两端的电压 U 。

解:在 10 s 内的总电荷量为

$$\Delta q = I \Delta t = 2 \times 10 \text{ C} = 20 \text{ C}$$

则电压