

21世纪高职高专信息类专业系列教材

电路技术基础



主 编 张中洲
副主编 邱 敏
 韩应江
主 审 曹建林

重庆大学出版社

中国书画函授大学肇庆分校建校二十周年纪念册



中国书画函授大学肇庆分校建校二十周年纪念册
肇庆分校建校二十周年纪念册
肇庆分校建校二十周年纪念册
肇庆分校建校二十周年纪念册



肇庆分校建校二十周年纪念册

21 世纪高职高专信息类专业系列教材

电路技术基础

主 编 张中洲
副主编 邱 敏 韩应江
主 审 曹建林

重庆大学出版社

· 内 容 提 要 ·

本书包括电路的基本概念与定律,电路的基本分析方法与计算,动态电路分析,正弦电路的稳态分析与计算,互感与变压器,双口网络等六章内容。

本书力求体现高职教育的特点,书中基本概念叙述清楚,易于读者接受理解;基本分析方法讲解透彻、步骤明确,读者容易掌握;例题、练习题、习题配置齐全,难易度适中,方便学生自学和教师施教。

本书可作为高职应用电子技术、通信工程、电子技术、电子工程、计算机应用、自动控制等专业学生的教材,也可用作大专、中专相应专业的教材,对一般电子信息类工程技术人员也有重要的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

电路技术基础/张中洲主编. —重庆:重庆大学出版社,2000.8

21 世纪高职高专信息类专业系列教材

ISBN 7-5624-2164-1

I. 电 ... II. 张 ... III. 电路-高等学校:技术学校-教材 IV. TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 38635 号

· 21 世纪高职高专信息类专业系列教材 ·

电路技术基础

主 编 张中洲

副主编 邱 敏 韩应江

主 审 曹建林

责任编辑 肖顺杰 何 明

*

重庆大学出版社出版发行

新 华 书 店 经 销

重庆电力印刷厂印刷

*

开本:787×960 1/16 印张:19 字数:406 千

2000 年 8 月第 1 版 2001 年 2 月第 2 次印刷

印数 5 001 ~ 10 000

ISBN 7-5624-2164-1/TM·62 定价:26.00 元

· 系列教材编委会 ·

主任单位：

重庆电子职业技术学院

副主任单位：

武汉职业技术学院

邢台职业技术学院

陕西工业职业技术学院

贵州大学职业技术学院

编委(以姓氏笔画为序)：

才大颖

刘真祥

李传义

张 洪

李永平

涂湘循

程迪祥

王晓敏

刘业厚

吕何新

张中洲

杨滨生

唐德洲

樊流梧

王兆其

刘建华

张学礼

张国勋

林训超

徐民鹰

黎省三

王柏林

朱新才

张明清

张西怀

赵月望

曹建林

武汉职业技术学院
 重庆电子职业技术学院
 陕西工业职业技术学院
 邢台职业技术学院
 贵州大学职业技术学院
 河南职业技术学院
 三门峡职业技术学院
 湖南工业职业技术学院
 昆明大学
 广西机电职业技术学院
 成都电子机械高等专科学校
 昆明冶金高等专科学校
 珠海职业培训学院
 广东交通职业技术学院
 浙江省树人大学
 江西工业职业技术学院
 成都航空职业技术学院
 辽宁仪器仪表工业学校
 北京信息职业技术学院
 徐州交通职业技术学院
 重庆大学职业技术学院
 重庆邮电学院
 重庆工业高等专科学校
 重庆石油高等专科学校
 重庆职工大学
 西南农业大学
 长沙航空职业技术学院
 番禺职业技术学院

总序

当今世界,科学技术的发展日新月异。在这空前的技术发展进程中,电子信息技术以其独特的渗透力和亲和力,正在迅速地改变着我们周围的一切。利用现代电子信息技术来改变我们的生活与学习,改造传统的各行各业,已成为当今社会人们的共识。

教育在我国社会主义建设发展进程中所具有的战略地位和基础作用已被越来越多的人所认识。职业技术教育、特别是高等职业技术教育在近二十年来得到了长足的发展,“高等教育法”、“职业教育法”的颁布与实施,使我国高等职业教育步入了法制轨道,国家与社会的进步与发展,需要高等职业教育,技术的进步与发展,也需要高等职业教育,高等职业教育成为世界教育发展的共同趋势。

在我国国内,高等职业教育毕竟是一种新型的教育类型,发展历史还不太长,在教育观念、教育体制、教育结构、人才培养模式、教育内容、教学方法、教材、教法诸方面,有不少问题需要研究与探索。重庆大学出版社从促进高等职业教育发展战略的角度,于1999年邀请国内三十余所长期开办电子信息类专业的学校,开展对电子信息类高职、高专教材的开发研讨。与会学校有独立设置的职业技术学院、高等专科学校、职业大学、普通高校中的职业技术学院、多年试办高职班的重点中专学校。大家一致认为,我国高等职业教育的教材建设非常薄弱,基本上没有自己的教材,从而导致针对性、适应性差。从电子信息类专业角度看,缺乏成体系的系统教材,从而导致不同层次教材的交叉重复现象严重;再者,现行教材中缺乏对新技术、新工艺、新产品相关内容的介绍。因此,开发适应新世纪高等职业技术教育的教材就成为当务之急,它的总的原则应是:根据培养应用型、技能型人才的目标,从职业岗位对专业知识的需要来确定教材的知识深度及范围,坚持“必须、够用”的原则;同时注意知识的应用价值在教材中的科学体现,力求构筑具有高职特色的理论知识体系;基本概念、基本原理以讲明为

度,同时将一些内容相近的部分进行合并。另外,针对高职教育培养技能型、现场型人才的目标,把训练职业能力的实践技能体系方面的内容,与理论知识体系有机地结合起来,力求在这方面有所突破。根据教育部在高职、高专教材建设方面采用先解决有无问题,再解决提高与系统性问题的原则,我们在一开始就力求站在一个较高起点上,先从电子信息类教材开发做起,然后再进一步开发其他专业大类的应用型高职教材。

经过近一年的努力,电子信息类高职、高专系列教材就要与大家见面了。本系列教材的编写原则、编写体例均是根据教育部高职、高专培养目标并由参与系列教材编写的全国三十余所相关院校经过数次研讨、反复论证确定的。尽管我们对它报有较高的期望,但这毕竟是一个新生事物,是一种尝试,成功与否,还需要经过教学实践来检验。无论如何,既然已经起步,这条路我们会一直走下去。为了我们共同的高职教育事业,欢迎大家在使用过程中,指出它的不足,以利于我们今后的工作。

编委会
2000年7月

前 言

本书是 21 世纪高职高专信息类专业系列教材之一,根据教育部高职高专培养目标和对本课程的基本要求,结合全国高等职业技术教育信息类专业系列教材研讨会精神编写而成,由系列教材编委会审定。

本书授课时数为 90 学时。包含了有关电路分析的一些最基本的内容,全书分为六章,依次为:电路的基本概念与定律、电路的基本分析方法与计算、动态电路分析、正弦电路的稳态分析与计算、互感与变压器、双口网络。

在教材的编写中,力求做到按高职的培养目标(面向生产、管理、服务第一线的应用型高级技术人才)来安排教材内容,对内容的取舍严格按高职“必须”、“够用”为度的原则进行,使教材内容做到叙述清楚、准确、简洁,编入较多的典型例题和一些联系实际的例题,注意正文、例题、练习题和习题间的密切配合,并在每章结尾处列出本章小结,以便于学生能较好地掌握基本内容,培养分析问题和解决问题的能力。

本书第一章由潘峰(徐州建筑职业技术学院)编写;第二章由韩应江(河南三门峡职业技术学院)编写;第三章由邱敏(辽宁仪器仪表工业学校)编写;第四章一至七节由张中洲(珠海市职业培训学院)编写;第四章第八、九节由周立华(湖南工业职业技术学院)编写;第五章由李仕旭(重庆电子职业技术学院)编写;第六章由商敏红(无锡无线电工业学校)编写。武汉职业技术学院姚建勇副教授、珠海市工业学校的谭跃高级讲师审阅了部分书稿,均对本书的编写提出过建设性的意见。全书由曹建林(无锡无线电工业学校)副教授主审。

高职教育刚刚兴起,教材建设处于探索阶段,本书中对有关内容的处理难免欠妥,殷切希望广大读者批评指正。

本书可供高职高专、成教相关专业及电子工程技术人员使用。

编 者
2000 年 6 月



1	第一章 电路的基本概念与定律
1	第一节 电路模型
5	第二节 电路变量
13	第三节 理想电源
17	第四节 基尔霍夫定律
22	第五节 电路的等效
39	第六节 受控电源
43	小 结
47	习题一
54	第二章 电路的基本分析方法与计算
54	第一节 支路电流法
58	第二节 网孔分析法
66	第三节 节点电压法
76	第四节 叠加定理
81	第五节 戴维南定理
90	第六节 最大功率传输条件
93	第七节 置换定理*
94	小 结
97	习题二
103	第三章 动态电路分析
103	第一节 动态元件与动态电路
109	第二节 换路定律与初始值的计算
115	第三节 一阶动态电路的零输入响应
122	第四节 一阶动态电路的零状态响应
131	第五节 一阶动态电路的全响应与三要素分析法
137	第六节 一阶电路的阶跃响应与冲激响应
144	第七节 二阶动态电路分析
150	小 结
152	习题三

157	第四章 正弦电路的稳态分析和计算
157	第一节 正弦电压和电流
161	第二节 正弦信号的相量表示
166	第三节 元件和电路方程的相量表示
173	第四节 阻抗与导纳
184	第五节 电路基本元件的功率和能量
190	第六节 正弦稳态电路中的功率
199	第七节 正弦稳态电路的相量分析法
201	第八节 电路的谐振
210	第九节 三相电路
221	小 结
225	习题四
233	第五章 互感与变压器
233	第一节 耦合互感元件
239	第二节 耦合电路的去耦等效
247	第三节 空心变压器
254	第四节 理想变压器
260	小 结
263	习题五
266	第六章 双口网络
266	第一节 双口网络概述
268	第二节 网络参数与方程
278	第三节 网络的连接
283	第四节 网络函数
289	小 结
290	习题六
294	参考文献

第一章

电路的基本概念与定律

本章要点

- 电源
- 基尔霍夫定律
- 电路的等效

电路技术研究的主要内容是电路的一般规律和分析计算方法以及研究各种信号作用于电路时的电磁现象。学习“电路技术基础”课程的目的主要也是掌握电路的基本定律应用于电路进行分析与计算。本章从建立电路模型入手,在介绍电路变量的基础上,重点讨论电源,基尔霍夫定律,电路的等效等内容。最后介绍受控源。

本章以直流电阻网络为研究的主要对象,因它所涉及的基本理论和方法具有普遍意义。

第一节 电路模型

“模型”是现代各个自然学科,社会学科分析研究中普遍使用的重要概念,电路分析也采用模型化方法。电路分析的直接对象并不是那些实用的电磁器件所构成的具体电路,而是从大量实用电路中抽象出来的电路模型。模型是由一些表征单一电磁性质的理想元件通过各种不同连接方式组合而成,并受一定条件约束,这是研究电路问题的常用方法,根据已建立的电路模型研究其中电压电流和电功率之间的规律(有时还涉及电荷和磁通),为分析、综合和应用实际电路打下理论基础,这就是本课程的主要任务。

一、电路的组成与功能

在现代化的生活和工农业生产,国防、科技当中,越来越多的用到电,要用电,就离不开电路,把最常见的一些电气设备,如电灯、电视机、电动机等用导线接到电源上以后即构成了电路,就有电流流过这些电气设备,将电能转变成光能、热能、机械能等。随着科学技术的发展,电路的形式也多种多样,便不管电路的具体形式和复杂程度如何变化,它们都是由一些最基本部件组成的。

图 1-1 是一个最简单的电路——手电筒电路,它由三部分组成:

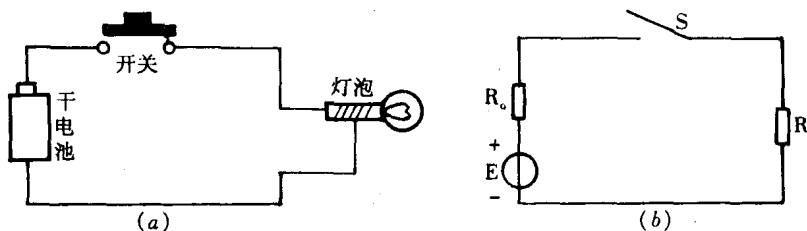


图 1-1 电路的组成

① 电源 它是给电路提供能源的设备,其作用是把化学能、光能、机械能等非电能转换为电能。如图 1-1 中,干电池将化学能转变为电能。电源还有蓄电池,太阳能电池、发电机等。

② 负载 负载是电路中的用电器,它将电源提供的电能转换为其他形式的能量。如图 1-1 中,灯泡将电能转变为光和热能。

③ 中间环节 其作用是将电源和负载连接起来形成闭合电路,并对整个电路实行控制、保护及测量。主要包括:连接导线、控制电器(如开关、插头、插座等)、保护电器(如熔断器)、测量仪表(如电流表、电压表等)。

所有的电路从本质上来说,都是由以上三部分组成的,因此,电源、负载,中间环节总称为组成电路的“三要素”。所谓电路就是由电源、负载及中间环节等元器件组成的总体,是电流流通的闭合路径。

电路的基本作用是实现电能与非电能之间的转换。根据其侧重点不同,可将其功能概括为两个方面:其一,进行能量的传送、分配与转换。例如,电力系统中的输电线路,发电厂的发电机组将其他形式的能量(如机械能、原子能、热能等)转换为电能,通过变压器,输电线路送到用电单位,并通过负载把电能转换成其他形式的能量(如机械能、光能、热能等)为生产、生活所利用;其二,是实现信息的传递与处理,即通过电路将输入的电信号进行传送、转换或加工处理,使之成为满足一定要求的输出信号,通过天线将载有音像、文字、语言的电磁波接收进电路后即输入信号,通过电路

处理后送到显像管、扬声器,还原成音像、语言,被我们看见、听到。

讲电路时还会遇见一个名词称为“网络”。电路与网络这两个词有一定区别,有时又可通用。通常网络的涵义具有更普遍的适用性,特别是在讨论普遍规律及复杂电路的问题时,常常把电路称作网络,而讨论较为简单或某一具体电路时,则较多地使用电路这个名词,故可以认为网络是电路的泛称。

二、电路模型

一般而言,电路中除了产生电能的过程以外,还普遍存在着三种基本能量转换过程,即:电能的消耗、电场和磁场能量的储存过程。在实际的电路中,电器元件表现出的电磁特性是比较复杂的,往往同时存在几种能量形式。以白炽灯为例,当电流通过灯丝时,要产生热效应,表现电阻性,同时,电流还产生磁场,有磁效应,即有电感性,此外,电流还产生电场,有电容性。由此看来,实际元器件在电路中所发生的物理现象十分复杂,若把它们所有电磁性全部考虑进去,将会使电路的分析变得十分繁琐,甚至难以进行,那应该如何进行分析呢?抓住主要矛盾,用模型化方法。由于实际元器件所表现出的多种电磁特性在强弱程度上不同,如白炽灯、电阻器、电热器等电气设备,它们的主要电磁性是消耗电能的,即电阻性。其磁场能和电场能都很小,在低频范围内可忽略不计。故为了突出主要矛盾,忽略次要矛盾,我们把组成电路的实际元器件加以理想化,近似化,用一个足以反映主要性质的模型——理想化元件来表示每一种电路中的实际元器件。模型只具有一种电磁性质。我们用理想电阻来反映消耗电能的特征,理想电阻的模型符号如图1-2(a)所示;用理想电感来反映储存磁能的特征,理想电感的模型符号,如图1-2(b)所示;用理想电容来反映储存电能的特征,其模型符号如图1-2(c)所示。用模型化表示出的理想电路元件可以用数学公式来精确定义,便于进行分析计算,有了这种表示方法,任何一个实际的电路元件就都可以用这些理想元件模型或其组合来表示,构成实际部件的电路模型。

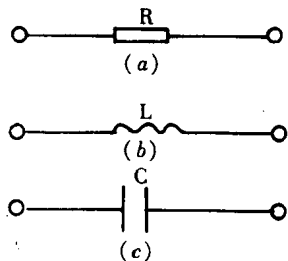


图1-2 理想化电路元件模型

关于电路模型,这里还要强调几点:①一种理想电路元件只具有一种确定的电磁性质:理想电阻元件只消耗电能,(即不储存电能也不储存磁能),理想电容元件只储存电能(即不消耗电能,也不储存磁能),理想电感元件只储存磁能(即不消耗电能,也不储存电能)。理想电路元件在实际中并不存在,但又源于实际电路中,反映实际电路的性质,我们进行电路分析与研究时起着

重要作用。②某些实际电路元件的模型可以是几种理想电路元件的组合。如:干电池

这样的直流电源,它既有一定的电动势 E ,又有一定的内阻 R_0 故可以用理想电源元件 E 和电阻 R_0 串联的电路模型来表示,这样图 1-1(a) 所示手电筒电路就可以用图 1-1(b) 所示的电路模型来表示。③ 不同的实际电路部件,只要具有相同的主要电磁性质,在一定条件下就可用同一个模型表示,如:灯泡、电炉、电热器、电阻器等这些不同的实际电路部件在低频电路中都可用电阻 R 表示。④ 同一个实际电路部件在不同的工作条件下,其模型可以有不同的形式,如绕在一个骨架上的金属导线,即为一实际电感器,如图 1-3(a) 所示,它可以有四种电路模型,如图 1-3(b)、(c)、(d)、(e) 所示。1-3(b) 图是应用在直流电路中,它的电能和磁能储存都很小,只考虑线圈导线所消耗的能量,所以用电阻 R 表示,一般 R 值也较小,忽略 R 值后,则此时线圈相当于一根导线,如图 1-3(b) 所示;若线圈应用在低频电路里,它所表现出的电磁性主要是储存磁能,它所消耗的电能和储存的电能都很小,与储存的磁能相比可以忽略,故用理想电感 L 来表示,如图 1-3(c) 所示;如果该线圈应用在较高频率的电路中,绕制该线圈导线所消耗的电能则应考虑,而储存的电能仍可忽略,此时电路的模型用体现电能消耗的电阻 R 与体现储存磁能的电感 L 相串联表示,如图 1-3(d) 所示;如果这个实际电感器应用在更高频率的电路中,它所储存的电能也需要考虑,那么此时的电路模型可用图 1-3(e) 所示表示。

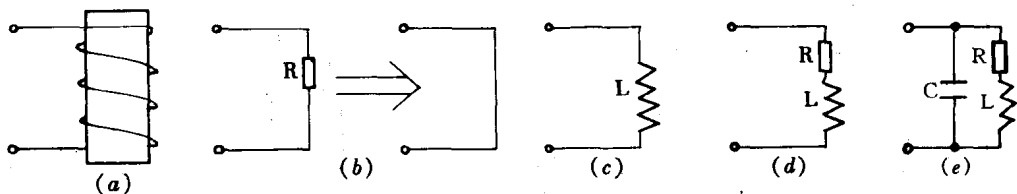


图 1-3 实际电感元件在不同应用条件下的模型

常见的理想电路元件(电阻、电容、电感)被称为集中参数元件,简称集中元件。其特性是由它们端点上的电压和电流之间的关系(有时必须涉及电荷或磁通)来确切地表达,这种关系通常可用参数来描述。

全部由理想的集中参数元件组成,不考虑元件以外任何杂散参数影响的电路称为集中参数电路。详细地说,在集中参数电路中,凡是电阻作用都集中在电路元件里,除此之外不再考虑电阻,凡是电磁感应现象,都集中地用电感元件来表达,此外不考虑其他因素影响,电荷只能在电容元件上积储,电路中的其他部分都不能有任何电荷的积储。集中参数电路是一个重要的抽象概念。以上提到的电路模型均为集中参数电路,本书只讨论集中参数电路,对其他参数电路如:分布参数电路、时变参数电路不拟讨论。

思考题

1-1-1 电路的基本组成及功能是什么?

1-1-2 什么是理想元件及电路模型?为什么分析计算电路时要采用电路模型?

第二节 电 路 变 量

一、电流

电荷(电子或离子)在电场力或其他外力(电磁力,化学力等)作用下,做有规则的定向运动便形成电流。要使电路中有电流产生,通常需要有两个条件:一是有电源供电,二是电路必须是一个闭合电路,如图 1-4 所示。

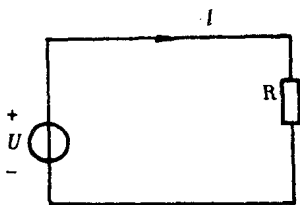


图 1-4 形成电流的电路

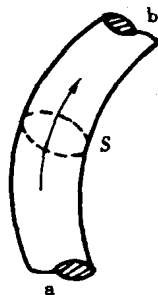


图 1-5 电流强度的定义

电流在自然界客观存在,它有大小和方向。电流的大小用电流强度这一概念表示,单位时间内通过横截面的电荷量定义为电流强度。即

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

上式表示在极短时间 dt 内通过导体横截面 S 的微小电荷为 dq 时,电流大小为 i 。故 i 是随时间而变化的,是时间的函数。如图 1-5 所示。

如果电流的大小及方向不随时间而变化,即 $\frac{dq}{dt} = \text{常数}$,则这种电流就是直流电流,常用大写的英文字母 I 表示,此时式(1-1)可改写为: $I = \frac{q}{t}$ 。式中 q 是时间 t 内通过导体横截面 S 的电荷量。

电流强度的单位是 A(安培),电荷量 q 的单位是 C(库仑),时间单位为 s(秒),所

以 $1\text{A} = 1\text{C/S}$ 。电力系统中常用 kA (千安) 为电流强度单位,而无线电系统中常用 mA (毫安)、 μA (微安) 作为电流强度单位,它们之间的换算关系为:

$$1\text{kA} = 10^3\text{A}$$

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

在实际应用中为了简便,将电流强度简称电流,所以电流一词既代表了物理量,又表示了一种物理现象。

电流的方向规定为:正电荷运动的方向。实际上电路中形成电流的是带负电的自由电子,因此,自由电子运动的方向代表电流的反方向。如图 1-4 所示,在电源内部电流由负极流向正极,而在电源外部则由正极流向负极,形成闭合回路。在分析较为复杂的直流电路时,往往应事先判断某条电路中电流的实际方向,如图 1-6 中,电阻 R 上的电流方向有三种可能:① 从 A 到 B;② 从 B 到 A;③ 电流值为零。再如,在交流电路中,由于电流大小、方向随时间不断变化,在电路图上无法用一个箭标来表示它的实际方向,而我们在分析和求解电路时需要事先知道电路中电流的流向,解决这个矛盾的方法就是引进参考方向。什么是参考方向?在分析计算某个电路时,对于任意一条支路来说,电流的流向只有两种可能,在这两种可能的方向中任意选定一个作为标准对电路进行分析计算。被选出的方向就称为该支路电流的参考方向。根据计算的结果来判断该支路电流的实际方向,如果计算的电流值为正值,说明选出的参考方向与电流的实际方向一致;如果算出的电流值为负值,则说明参考方向与电流实际方向相反。如图 1-7 所示。

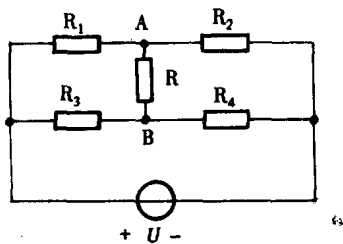


图 1-6 桥式电路

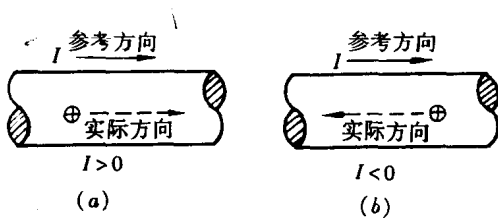


图 1-7 电流的方向

可见,利用参考方向分析计算电路时,不会影响计算结果的准确性,只会带来符号问题,所以,电流值的正负只在设定了参考方向之后才有意义。今后在电路图中标注的电流方向一般都是参考方向,如有例外,则应作特殊说明。

例 1-1 已知某段电路如图 1-8(a)、(b) 所示,试确定通过电阻 R 上的电流实际流向。

解 图 1-8(a)、(b) 中 I 的方向均为参考方向。

因为 (a) 图中 $I = -0.5\text{A} < 0$,说明 I 的参考方向与实际方向相反,故图 1-8(a) 中电流实际方向为: $B \rightarrow A$ 。