

普通高等学校“十二五”规划教材

电路分析

张卫钢 张维峰 编著

西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

014034574

TM133-43
71

普通高等学校“十二五”规划教材

电路分析

张卫钢 张维峰 编著



TM133-43
71

西安电子科技大学出版社



北航

C1714960

内 容 简 介

本书简明扼要地介绍了电路分析的基础知识。全书共分八章,主要内容包括电路的基本概念与理论、直流电路等效化简分析法、直流电路基本定律分析法、正弦稳态电路基本理论、正弦稳态电路分析法、三相交流电路分析法、动态电路分析法、电路及元器件的测量。此外,书中附有部分思考题与习题参考答案和中英文术语对照表。

本书是专为普通高校和职业学校的计算机科学与技术、软件工程、电子信息工程、自动化控制、网络工程、物联网工程、机电一体化、汽车电子、汽车服务工程等非通信专业而编写的,参考学时约为40。在编写方法上不但考虑到教学要求,同时也顾及到自学。因此,本书也可作为有志青年的自学教材和有关工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电路分析/张卫钢,张维峰编著. —西安:西安电子科技大学出版社,2014.02
普通高等学校“十二五”规划教材
ISBN 978-7-5606-3274-2

I. ① 电… II. ① 张… ② 张… III. ① 电路
分析—高等学校—教材 IV. ① TM133

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 317165 号

策划编辑 云立实
责任编辑 云立实 董柏娴
出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)
电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071
网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com
经 销 新华书店
印刷单位 陕西天意印务有限责任公司
版 次 2014年2月第1版 2014年2月第1次印刷
开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 14.5
字 数 338千字
印 数 1~3000册
定 价 25.00元

ISBN 978-7-5606-3274-2/TM

XDUP 3566001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前 言

人类发展和社会演变的漫长历史进程,伴随着许许多多灿若星辰的科学发现和技术发明,比如阿拉伯数字、杠杆原理、万有引力定律、能量转换与守恒定律、人工取火、指南针、造纸术、蒸汽机、晶体管、集成电路、计算机等等。这些发现和发明不仅极大地推进了人类的进化和社会的发展,同时也对人类生活质量的提高起到了至关重要的作用。在这些林林总总的人类智慧结晶之中,与人类生活关系最密切的发现莫过于“电”。试想一下,如果没有了“电”,我们的生活将是怎样的情景?

“电”是当今科技腾飞的翅膀,是经济发展的动力,是人类生活的必需。作为一个现代人,如果不掌握一点电和电路的基本知识与用“电”的基本技能,那么其在生活和工作中将会遇到很多不便。而对于一个当代的大学生,如果对电没有一个比常人更全面更深入的了解和把握,将很难适应激烈的职场竞争和很多技术含量较高的工作,甚至在日常生活中也会遭遇尴尬和困境。因此,在普通理工科高校相关专业开设“电路基础”或“电路分析”等课程已成为众多高校的共识。

随着科学的发展和技术的进步,高校的新增专业越来越多,尤其是在信息技术的带动下,一批相关专业应运而生,如“计算机科学与技术”、“网络工程”、“软件工程”、“电子信息工程”、“物联网工程”、“汽车电子”、“汽车服务工程”、“机电一体化”、“自动化控制”等等。由于这些新专业与传统的“电”专业在培养目标和方式上有所差异,并且受教学大纲和学时所限,所以,需要有针对性地编写适合于这些新专业的教材。

鉴于此,为了适应新的培养目标和市场需求,在总结多年教学经验的基础上,我们编写了这本适合于当前大多数信息类和机械及控制类专业本科或职业学校教学的教材——《电路分析》。

所谓电路分析,是指对主要由电阻、电感、电容构成的满足齐次性和叠加性的电网络进行电压、电流、功率和元件参数等变量求解的过程。而各种求解方法的介绍和应用就构成了本书的主要内容。图0-1给出了本书主要内容结构。

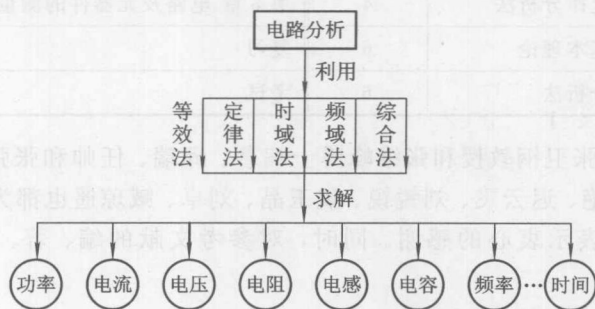


图0-1 本书主要内容结构图

从研究内容看,“电路分析”与“信号与系统”课程很相似。两门课程的核心内容都是“解方程”。“电路分析”主要是在直流电(信号)激励的前提下,利用代数方程组求解纯电阻

电路的支路电流和电压响应,以及在交流电(信号)作用下,利用相量(代数)方程组求解RLC电路的支路电流和电压响应。而“信号与系统”则是针对任意信号(周期和非周期信号,连续和离散信号)的激励,利用微分方程和差分方程求解任意线性电路某(些)支路的电流或电压响应。它们之间最大的差异就是激励信号的不同,从而导致求解方程的方法也不尽相同。“电路分析”可以认为是“信号与系统”课程的先导和基础;而“信号与系统”所讲的内容则是“电路分析”的深入和提高,是更高一级的分析技术。显然,两门课程有着密切的联系,了解它们的异同点,对学习和掌握这两门课程的内容大有裨益。

本书以“强调基础理论,注重基本方法,提高基本技能”为宗旨,以“应用为主,考研为辅”为指导思想,参考、融合了多本国内外知名教材的内容和写作风格,以及国内多所高校的考研要求,具有逻辑清晰明了、观点鲜明独特、语言通俗易懂、内容切合实际、例题丰富实用、页面美观新颖等特点,再辅以实用性极强的“小知识”,使得本教材更生动、更全面、更实用。

本书对传统内容进行了重新梳理和编排,形成了“以等效分析法和定律分析法为主线的结构体系”,使得知识脉络更清晰,逻辑关系更合理。通过文字加黑、划线,图解概念以及形象比喻等手段,提高了对基础知识的描述和诠释程度;通过精心挑选和编写,将不少国内外经典教材的例题、习题与名校的考研试题安排在教材中作为例题和习题,既加强了基本解题方法与技巧的训练,同时也拓展了解题思路和知识的应用面;另外,为了提高学生的实践动手能力,特别增加了一章“电路及元器件的测量”,以期通过一些实用知识的介绍,不但加强理论与实践的联系,同时也将一些实践技能融入日常的教学之中。

本书可与《信号与系统教程》(张卫钢,张维峰编著,清华大学出版社,2012.9)、《通信原理与技术简明教程》(张卫钢,张维峰编著,清华大学出版社,2013.8)、《通信原理与通信技术(第三版)》(张卫钢主编,西安电子科技大学出版社,2012.4)和《通信原理大学教程》(曹丽娜,张卫钢编著,电子工业出版社,2012.5)等教材配套使用。

本书的参考学时为40,具体安排见表0-1。

表0-1 学时安排表

章 节	学时	章 节	学时
第1章 电路的基本概念与理论	4	第6章 三相交流电路分析法	2
第2章 直流电路等效化简分析法	6	第7章 动态电路分析法	4
第3章 直流电路基本定律分析法	4	第8章 电路及元器件的测量	4
第4章 正弦稳态电路基本理论	6	复习	2
第5章 正弦稳态电路分析法	6	考试	2

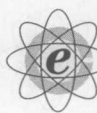
本书由长安大学张卫钢教授和张维峰博士编著。邱瑞、任帅和张弢编写了例题、习题和答案。杨龙、马红艳、迟云飞、刘锐锐、魏玉晶、刘卓、臧琼遥也都为本书的出版作出了贡献,在此,对他们表示衷心的感谢。同时,对参考文献的编、著、译者致以最崇高的敬意。

希望广大读者不吝赐教,批评指正。

作者邮箱:wgzhang@chd.edu.cn

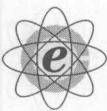
张卫钢 张维峰

2013年国庆于西安

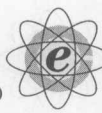


目 录

第1章 电路的基本概念与理论	(1)
1.1 电路	(1)
1.1.1 电路的概念	(1)
1.1.2 电路的分类	(2)
1.1.3 线性电路	(3)
1.2 电流、电位和电压	(4)
1.2.1 电流	(4)
1.2.2 电位与电压	(5)
1.2.3 电压与电流的关系	(6)
1.3 直流电和交流电	(7)
1.3.1 直流电	(7)
1.3.2 交流电	(7)
1.3.3 直流电路和交流电路	(9)
1.4 电阻、电感、电容及其模型	(9)
1.4.1 电阻器及其模型	(9)
1.4.2 电感器及其模型	(11)
1.4.3 电容器及其模型	(13)
1.5 电源及其模型	(16)
1.5.1 电源的概念与分类	(16)
1.5.2 直流电源与交流电源	(16)
1.5.3 理想电压源与实际电压源	(18)
1.5.4 理想电流源与实际电流源	(19)
1.5.5 受控电源与独立电源	(20)
1.6 电路模型	(22)
1.7 电路基本定律	(23)
1.7.1 基尔霍夫电流定律	(23)
1.7.2 基尔霍夫电压定律	(24)
1.8 电路分析的基本概念	(24)
1.9 小知识——接地	(25)



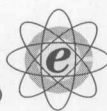
1.10 思考题与习题	(26)
第2章 直流电路等效化简分析法	(31)
2.1 等效化简分析法	(31)
2.2 电阻网络的等效分析	(32)
2.2.1 电阻的串联分析	(32)
2.2.2 电阻的并联分析	(34)
2.2.3 电阻的混联分析	(36)
2.2.4 三角形与星形分析	(39)
2.3 电阻的功率分析	(42)
2.3.1 功率与能量	(42)
2.3.2 功率平衡	(42)
2.3.3 负载获得最大功率的条件	(43)
2.4 普通电源电路的等效分析	(44)
2.4.1 电源的串联与并联	(44)
2.4.2 有伴电源的相互等效	(45)
2.4.3 理想电源与任意元件连接的等效	(46)
2.5 受控电源电路的等效分析	(47)
2.6 线性定理	(49)
2.7 替代定理	(53)
2.8 等效电源定理	(54)
2.8.1 戴维南定理	(55)
2.8.2 诺顿定理	(57)
2.9 对偶原理	(60)
2.10 小知识——稳压电源的挑选	(60)
2.11 思考题与习题	(61)
第3章 直流电路基本定律分析法	(67)
3.1 2b分析法	(67)
3.2 支路电流法	(68)
3.3 节点电压法	(69)
3.3.1 节点电压法介绍	(69)
3.3.2 特殊情况的处理	(73)
3.4 网孔电流法	(75)
3.4.1 网孔电流法介绍	(75)
3.4.2 特殊情况的处理	(78)
3.5 小知识——日光灯的工作原理	(81)
3.6 思考题与习题	(81)
第4章 正弦稳态电路基本理论	(86)
4.1 研究交流电路的意义	(86)
4.2 直流电路和交流电路分析的主要差异	(86)



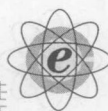
4.3 相量与复数的基本概念	(87)
4.3.1 相量及相量分析法	(87)
4.3.2 复数	(87)
4.3.3 复数的运算	(88)
4.4 正弦量的相量表示法	(90)
4.5 相量的运算性质	(92)
4.6 电路定律的相量形式	(93)
4.6.1 基尔霍夫定律的相量形式	(93)
4.6.2 电路元件的相量模型	(94)
4.6.3 复数阻抗	(97)
4.6.4 复数导纳	(100)
4.7 正弦稳态电路的功率	(104)
4.7.1 瞬时功率和有功功率	(105)
4.7.2 视在功率和无功功率	(106)
4.7.3 复功率	(112)
4.7.4 最大功率传输	(113)
4.8 电路的谐振	(114)
4.8.1 RLC 串联电路的谐振	(115)
4.8.2 RLC 并联电路的谐振	(119)
4.9 互感电路	(122)
4.9.1 互感的基本概念	(122)
4.9.2 互感元件的相量模型	(125)
4.9.3 互感的去耦等效	(125)
4.10 空心变压器	(128)
4.11 理想变压器	(130)
4.12 小知识——组合音箱	(132)
4.13 思考题与习题	(133)
第5章 正弦交流电路分析法	(138)
5.1 阻抗网络的等效分析	(138)
5.1.1 纯电感网络的等效	(139)
5.1.2 纯电容网络的等效	(140)
5.1.3 阻抗的串联分析	(141)
5.1.4 阻抗的并联分析	(141)
5.1.5 滤波和移相	(142)
5.2 普通电源电路的等效分析	(146)
5.2.1 电源的串联与并联	(146)
5.2.2 有伴电源的相互等效	(147)
5.2.3 理想电源与任意元件的连接等效	(148)
5.3 受控电源电路的等效分析	(149)



5.4	叠加定理和齐次定理	(150)
5.5	替代定理	(150)
5.6	戴维南定理和诺顿定理	(151)
5.7	基本定律分析法	(152)
5.8	综合练习	(154)
5.9	小知识——触电	(161)
5.10	思考题与习题	(162)
第6章	三相交流电路分析法	(167)
6.1	三相交流电的概念	(167)
6.2	三相电源的连接	(168)
6.2.1	星形连接	(168)
6.2.2	三角形连接	(169)
6.3	三相负载的连接	(170)
6.3.1	星形连接	(170)
6.3.2	三角形连接	(172)
* 6.4	不对称三相电路	(175)
6.5	小知识——跨步电压	(177)
6.6	思考题与习题	(178)
第7章	动态电路分析法	(180)
7.1	动态电路及相关概念	(180)
7.2	电路的状态与响应	(182)
7.3	一阶动态电路分析	(185)
7.3.1	一阶动态电路的零输入响应	(185)
7.3.2	一阶动态电路的零状态响应	(190)
7.3.3	一阶动态电路的全响应	(192)
7.4	小知识——高压输电	(195)
7.5	思考题与习题	(196)
第8章	电路及元器件的测量	(201)
8.1	万用表	(201)
8.2	模拟式万用表原理	(202)
8.2.1	动圈式表头	(202)
8.2.2	电流测量原理	(203)
8.2.3	电压测量原理	(204)
8.2.4	电阻测量原理	(205)
8.3	电流的测量方法	(206)
8.4	电压的测量方法	(206)
8.5	元器件的测量方法	(207)
8.5.1	电阻的测量	(207)
8.5.2	电感和电容的测量	(208)



8.5.3 二极管的测量	(209)
8.5.4 变压器的测量	(209)
8.6 小知识——市电电压为什么是 220 V	(210)
8.7 思考题与习题	(210)
中英文术语对照表	(212)
参考文献	(222)



第1章 电路的基本概念与理论

“电路”是一个在人们生活和工作中出现频率很高的技术词汇，也是一个无处不在的物理系统。我们经常出入的卧室、教室、办公室、商城、酒店、体育馆、地铁站、火车站、飞机场等场所都需要照明电路；我们经常使用的电视、空调、电话、冰箱、手机、计算机等电器设备都是由电路构成的。因此，可以毫不夸张地说，电路与人们的生活息息相关。

那么，什么是“电路”？与之相关的概念和理论有哪些？

1.1 电 路

1.1.1 电路的概念

从字面上理解，可以认为电路就是为电流提供的通道，这与我们熟悉的“道路”是供车辆行驶的通道，“管路”是为水流或气流提供的通道在概念上类似。

从专业技术的角度上讲，我们认为：

电路是指由电源和电子设备或电子元器件通过导线按照一定规则互连而成的，具有特定功能的电流通路，如图1-1所示。

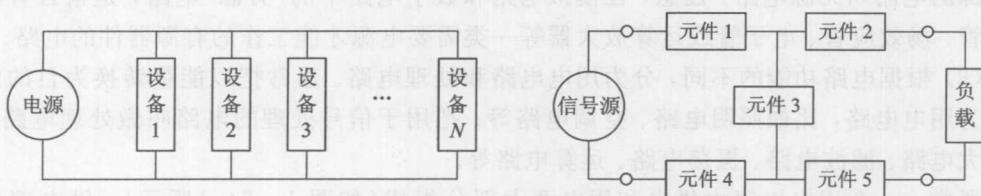


图1-1 电路示意图

电子元器件是组成电路的最小(基本)单元。有人说元件也称为器件；还有人说元件是指在生产加工时不改变分子成分的电子部件，如电阻器、电容器、电感器等，通常它们不需要电源就能工作，而器件是指在生产加工时改变了分子结构的电子部件，一般需要电源才能工作，例如晶体三极管、电子管、运算放大器和集成电路等。对此本书不严格区分。

从宏观的角度上看，电路是一种可以完成特定任务或功能的系统；而从几何的角度上看，电路又可以看成一个由线段和节点构成的网状图形或网络。因此，“电系统”、“电网络”是很常见的电路别称，希望读者能够认真体会其中的含义，以便为后续“信号与系统”



等课程的学习奠定基础。

通常,电路主要完成三个任务或实现三个功能:

(1) 能量转换。电路可以将电能转换为机械能、热能等能量形式,比如由电源和电热丝构成的电路(电炉)可以把电能转换为热能,电源与电动机构成的电路可以把电能转换为机械能,电源与灯泡构成的电路可以把电能转换为光能等。

(2) 信号处理。此时,电路可以看做一个“功能模块”或“变换系统”,能够把一种信号(相当于系统的输入)处理成另一种信号(相当于系统的输出)。比如“放大器(电路)”可以把小信号变为大信号,“滤波器(电路)”可以把方波信号变为正弦波信号等。

(3) 数据存储与计算。比如计算机中的存储器和 CPU 等由电路构成的元器件可实现对数据的存储和计算。

电路功能示意图如图 1-2 所示。

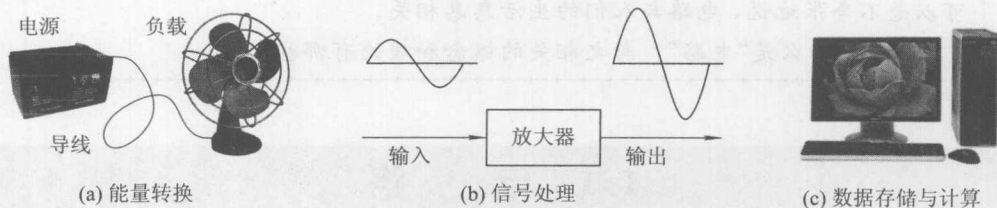


图 1-2 电路功能示意图

1.1.2 电路的分类

根据不同标准,电路有多种分类。

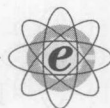
(1) 根据工作电流或电压的不同,分为直流电路和交流电路。以直流电压或电流工作的电路叫直流电路,以交流电压或电流工作的电路叫交流电路。

(2) 根据是否包含电源,分为含源电路和无源电路。包含电源的电路叫含源电路,没有电源的电路叫无源电路。注意,在模拟电路和数字电路中的“有源”电路,是指含有晶体管、场效应管、电子管或运算放大器等一类需要电源才能工作的有源器件的电路。

(3) 根据电路功能的不同,分为用电电路和处理电路。通常把以能量转换为目的的电路称为用电电路,比如照明电路、空调电路等;把用于信号处理的电路叫做处理电路,比如放大电路、滤波电路、振荡电路、运算电路等。

通常,一个用电电路由供电和用电两大部分组成(如图 1-3(a)所示)。供电部分由能够提供电能的设备或元器件担任,称为“电源”,比如我们熟悉的干电池和 220 V 市电;而用电部分通常由消耗电能(换能)的设备或元器件构成,称为“负载”或“外电路”,比如电饭煲、电炉、空调、洗衣机、照明设备和各种电阻元件等。处理电路一般包括供电电源、输入信号(信号源)、处理单元和负载四部分。在实际研究中,常常把处理单元部分等效为一个有特殊处理或变换功能的双口网络或系统,如图 1-3(b)所示。由于我们主要对处理电路的输入与输出感兴趣,默认电路处于正常工作状态,所以,一般不考虑供电电源。

(4) 根据电路中元器件的不同,分为电子管电路、晶体管电路、集成电路以及由基本电子元件电阻 R 、电感 L 和电容 C 为主要部件构成的 RLC 电路或含有各种元器件的混合



电路等。

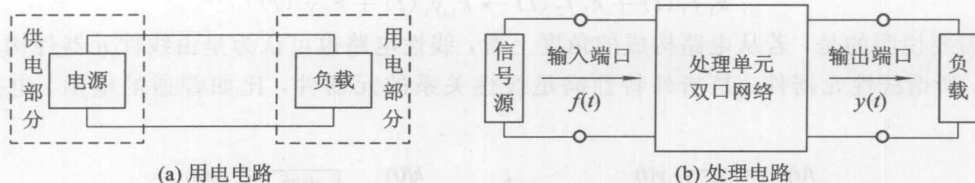


图 1-3 用电电路与处理电路示意图

(5) 根据电路工作(电流或电压)波长的不同,分为集中参数电路和分布参数电路。所谓集中参数电路,是指由集中参数元件构成的电路。几何尺寸远远小于工作波长的元件就是集中参数元件,其特点是只用一个参数即可表征该元件,比如普通电阻、电感和电容。几何尺寸与工作波长可比拟(差不多)的元件就叫做分布参数元件,这类元件必须用多个参数才能描述其特性,比如“传输线”就必须用分布电阻、分布电感和分布电容同时表征。我们平常接触的大多数电路是集中参数电路,因此,本书中若不加说明,以后遇到的电路均是集中参数电路。

(6) 根据元件特性的不同,分为线性电路和非线性电路。由线性元器件构成的电路就是线性电路,比如普通的 RLC 电路;而包含非线性元器件的电路就是非线性电路,比如由二极管构成的整流电路。

由于对非线性电路的分析研究比较困难,所以,人们往往先对线性电路进行研究,然后对非线性电路进行适当的近似并将线性电路的研究结果应用于非线性电路,从而完成对非线性电路的分析与研究。显然,线性电路分析是我们学习的基础和重点。

综上所述,尽管各种电路的构成不尽相同,功能千差万别,但有三个主要角色——电阻、电感和电容却是每个电路不可或缺的组成部件。对由它们构成的电路的研究,是分析其他电路的前提和基础,因此,“电路分析”课程的主要内容就是介绍由基本电路元件电阻、电感和电容构成的线性电路的分析方法。

1.1.1.3 线性电路

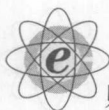
如果把施加在电路上的电源(信号)叫做输入或激励,用 $f(t)$ 表示,而把电路中某一处由该电源(信号)引起的电压或电流叫做输出或响应并用 $y(t)$ 表示的话,则通常情况下,所谓的线性电路就是激励与响应之间满足“齐次性”和“可加性”的电路。若需要讨论电路全响应的话,还需要电路满足“响应分解性”,即全响应可以分解为零输入响应和零状态响应之和(详见第7章)。

齐次性: 若激励 $f(t)$ 扩大或缩小 k 倍,则响应 $y(t)$ 也扩大或缩小 k 倍,如图 1-4(a)所示。

叠加性: 若激励 $f_1(t)$ 引起响应 $y_1(t)$, 而激励 $f_2(t)$ 引起响应 $y_2(t)$, 则 $f_1(t) + f_2(t)$ 引起的响应为 $y_1(t) + y_2(t)$ 。叠加性也称可加性,如图 1-4(b)所示。

“齐次性”和“叠加性”统称为“线性”,如图 1-4(c)所示。“线性”用数学形式可表达为若

$$f(t) \rightarrow y(t)$$



则有

$$k_1 f_1(t) + k_2 f_2(t) \rightarrow k_1 y_1(t) + k_2 y_2(t)$$

需要说明的是,若从电路构成的角度上看,线性电路也可认为是由线性元器件构成的电路。所谓线性元器件,是指外特性满足线性关系的元器件,比如普通的电阻、电感和电容。

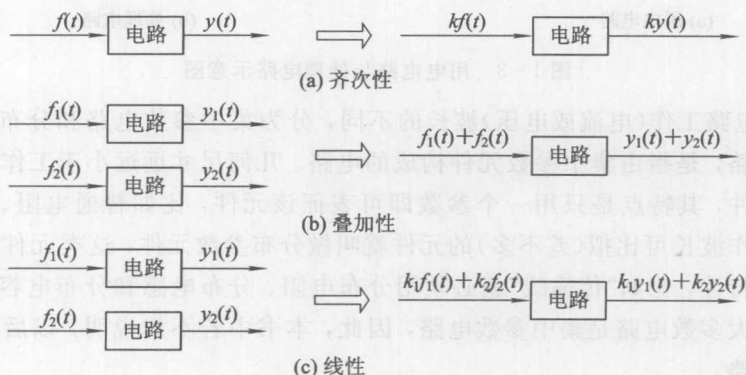


图 1-4 线性特性示意图

1.2 电流、电位和电压

1.2.1 电流

既然电路是电流的通路,那么,什么是电流呢?

电荷是构成物质原子的一个电特性,是电学中的一个基本物理量。实验告诉我们:在电场力的作用下,电荷的定向移动就形成了电流。在金、银、铜、铝等金属导体中,只有自由电子可以移动,而在酸、碱、盐等水溶液导体中,可以移动的是正负离子,因此,把电荷(自由电子、正负离子等)的定向移动叫做电流。生活中,管子里流动的水流、气流,马路上移动的车流或人流均与电流在概念上类似。

因为电子携带负电荷(一个电子携带的电荷量为 $e = -1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$),故电子的移动相当于负电荷的迁移。为了衡量电荷的迁移量,人们定义了“电流强度”这个物理量,简称“电流”。因此,术语“电流”既表示一种物理现象,也表示一个物理量。电流强度是指在电场力的作用下,单位时间内通过一导体任意一个横截面的电荷量,用公式表示为

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

式中, $i(t)$ 表示任意时刻的电流强度,单位是“安培(A)”、“毫安(mA)”和“微安(μA)”,它们的关系为 $1 \text{ A} = 10^3 \text{ mA} = 10^6 \mu\text{A}$ 。单位“安培”是为了纪念法国数学家和物理学家安培(Andra-Marie Ampere),安培于 1820 年定义了电流。 $q(t)$ 是任意时刻的电荷量,单位是“库伦(C)”(为纪念法国物理学家库伦)、“毫库(mC)”和“微库(μC)”,它们的关系为 $1 \text{ C} = 10^3 \text{ mC} = 10^6 \mu\text{C}$ 。 t 为时间,单位是“秒(s)”。若 $i(t)$ 为常数,则用大写字母“ I ”表示,并称之为“直流电流”。



若把电子比作汽车,电荷比作车中的乘客,则“电流强度”可以类比为一条道路某一断面单位时间内通过的乘客数。

在一段导体中,电流可以向两个方向运动,为便于研究,人们规定:正电荷移动的方向为电流的方向(这个概念最初由本杰明·富兰克林(Benjamin Franklin)提出)。可见,电流的方向与电子移动的方向相反。注意:实际中,只有电子可以移动,所谓正电荷的移动可以看成是相对于电子移动的反向移动。因此,“电流强度”虽然是一个标量,但有“方向”的正负之分。在对一个电路进行分析与研究之前,为方便计算,往往要先假设电路中的电流方向作为参考,这种假设的电流方向被称为电流的正方向。在电路分析与计算中,若按正方向计算得到的电流强度为正,则认定实际电流方向与正方向一致,反之,若电流强度为负,则认定实际电流方向与正方向相反。电流的方向如图1-5所示。

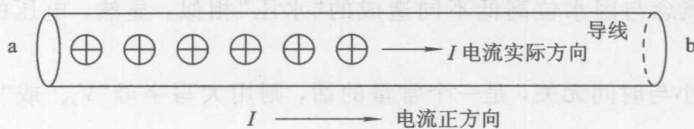


图1-5 电流的方向

需要提醒大家的是:

- (1) 自然界中,物质携带的电荷量都是 $e = -1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$ 的整数倍。
- (2) 电荷满足“电荷守恒定律”,即电荷既不能被创造,也不能被消灭,只能迁移或转换。因此,一个系统或电路中电荷量的代数和是不变的。

1.2.2 电位与电压

对于一个电路(设备),只有当电路中有电流时,电能才会做功,该电路才会发挥作用。而根据物理知识我们知道,电流的产生与电位、电压这两个物理量密切相关。

电位又称电势,是指单位电荷在静电场中的某一点所具有的电势能。电位在数值上等于电场力将单位正电荷从电场中某一点移到参考点所做的功。显然,电位值的大小与参考点有关,理论上参考点位于无穷远处,实际中,通常取地球表面作为参考点。

“电位”通常用符号“V”和“U”或者“v”和“u”表示。设电场移动电荷 q 库仑所做的功为 w 焦耳,则电位 u 可表示为

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

电位的单位是“伏特(V)”、“毫伏(mV)”和“微伏(μV)”,关系为 $1 \text{ V} = 10^3 \text{ mV} = 10^6 \mu\text{V}$ 。单位“伏特”是为了纪念意大利物理学家伏特(Alessandro Antonio Volta)。

根据电位概念可知,位于电场中较高电位处的正电荷,会在电场力的作用下向低电位处运动,从而形成电流。这与重力场中的位能(势能)概念相似,比如,水塔中的水在重力的作用下流向低处的用户,如图1-6所示。

电压,也称为电势差或电位差,是衡量单位电荷在静电场中由于电势不同所产生的能量差的物理量。其大小等于单位正电荷因受电场力作用从 a 点移动到 b 点所做的功,或者是 a 点与 b 点的电位差。电压的方向规定为从高电位指向低电位的方向(电压降),即有

$$u_{ab} = u_a - u_b = \frac{dw_a}{dq} - \frac{dw_b}{dq} \quad (1-3)$$



图 1-6 水流与电流的类比

“电压”通常用符号“ V_{ab} ”和“ U_{ab} ”或者“ v_{ab} ”和“ u_{ab} ”表示，单位与电位相同。电压值也可以有正负之分。当 a 点电位高于 b 点时， $u_{ab} = u_a - u_b > 0$ ，为正值，反之， $u_{ab} = u_a - u_b < 0$ ，为负值。电压的概念与因水位高低不同造成的“水压”相似。显然，电压的大小与参考点无关。

若电压的大小与时间无关，是一个常量的话，则用大写字母“ V_{ab} ”或“ U_{ab} ”表示，并称之为直流电压。

在实际电路分析中，为便于计算，可以事先假定某两点之间的电压方向，并称之为“参考方向”或“正方向”。若按参考方向计算出的结果为正值，说明该参考方向与实际方向一致，反之，则表明该参考方向与实际方向相反。这个概念与电流方向类似。

1.2.3 电压与电流的关系

电位反映的是电荷在电场中某一点具有的做功能力的大小，而电荷要想做功就必须要在电场中移动，而电荷的移动就需要移动的源点和目标点之间有电位差（即电压），而不断移动的电荷就形成了电流。显然，电流产生的一个前提条件是电场中或电路中的两点间要有电压。

在电路中，要想形成电流，除了两点间要有电压之外，两点间还必须要有由导线或导电元器件构成的通路。对于一个电源而言，必须为其提供一个从正极出发，然后能够回到负极的闭合路径（回路），才能在该回路中形成连续不断的电流，电源才能供出电能。换句话说，电路中，形成电流的另一个前提条件是要有供正电荷从电源正极流到负极的回路。

为了描述电流与电压的关系，人们规定电流的实际方向是从高电位点（用“+”号表示）流向低电位点（用“-”号表示）。因此，在电路中，对于一个用电器（负载）或元件而言，把电压、电流参考方向满足这个规定的称为“关联方向”（电流方向与电压降方向一致），反之，就是“非关联方向”（电流方向与电压降方向不一致），如图 1-7 所示。

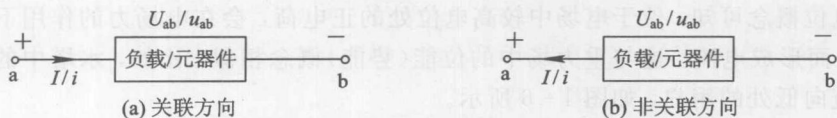
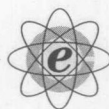


图 1-7 电压与电流的关联方向

注意：电流总是流经元器件的，而电压却是跨在元器件两端的（或电路两点之间的）。需要提醒读者注意的是（以后若不加说明）：

（1）大写字母“ U ”和“ I ”均表示直流电。



(2) 小写字母“ u ”和“ i ”($u(t)$ 和 $i(t)$ 的简写)均表示交流电。

(3) 通常,用小写字母“ u ”和“ i ”表示的公式为一般式,既适用于交流电路,也适合于直流电路。

1.3 直流电和交流电

1.3.1 直流电

人类社会最早投入使用的是直流电。19世纪末,爱迪生发明的直流电系统就在美国的纽约和新泽西投入照明运行。直流电的主要优点是电池组可以作为备用电源随时接入因直流发电机出现故障或电力供应不足的用电系统中。

因为电流或电压都可以有方向和大小的变化,所以,为便于研究,人们把方向和大小都不随时间变化的电流或电压称为“直流电”,用字符“DC(Direct Current)”表示。通常,直流电流用大写字母“ I ”表示,直流电压用大写字母“ V ”或“ U ”表示。

在实际研究与应用中,常常会遇到方向恒定但大小随时间变化的电流或电压。为了与直流电相区别,常称之为“脉动电”。注意,有时对两者不加区分,都称为“直流电”。直流电和脉动电的波形如图1-8所示。

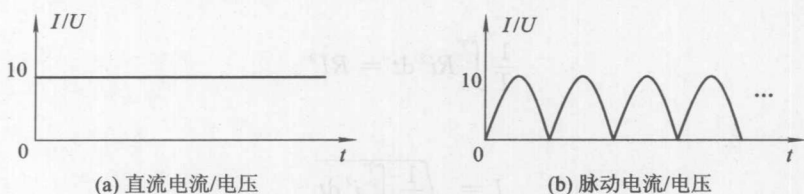


图1-8 直流电与脉动电示意图

图1-8(a)中的直流电流可写为

$$I = 10 \text{ A} \quad (1-4)$$

直流电压可写为

$$U = 10 \text{ V} \quad (1-5)$$

而图1-8(b)是幅值为10 A或10 V的脉动电流或电压。

1.3.2 交流电

1891年,法兰克福博览会使用了交流电照明系统。1892年,交流电系统得到了广泛认同。交流电最大的特点是具有较高的传输效率,即可以利用提高传输电压的方式来减小传输线路上的损耗。

通常把大小和方向随时间作周期性变化且一个周期内平均值为零的电流或电压叫做交流电。把大小和方向随时间按正弦规律变化的交流电称为正弦交流电。

由于我们生活和工作中遇到的交流电大都是正弦交流电,所以,把正弦交流电也简称为“交流电”,用字符“AC(Alternating Current)”表示。如图1-9是交流电和正弦交流电示意图。