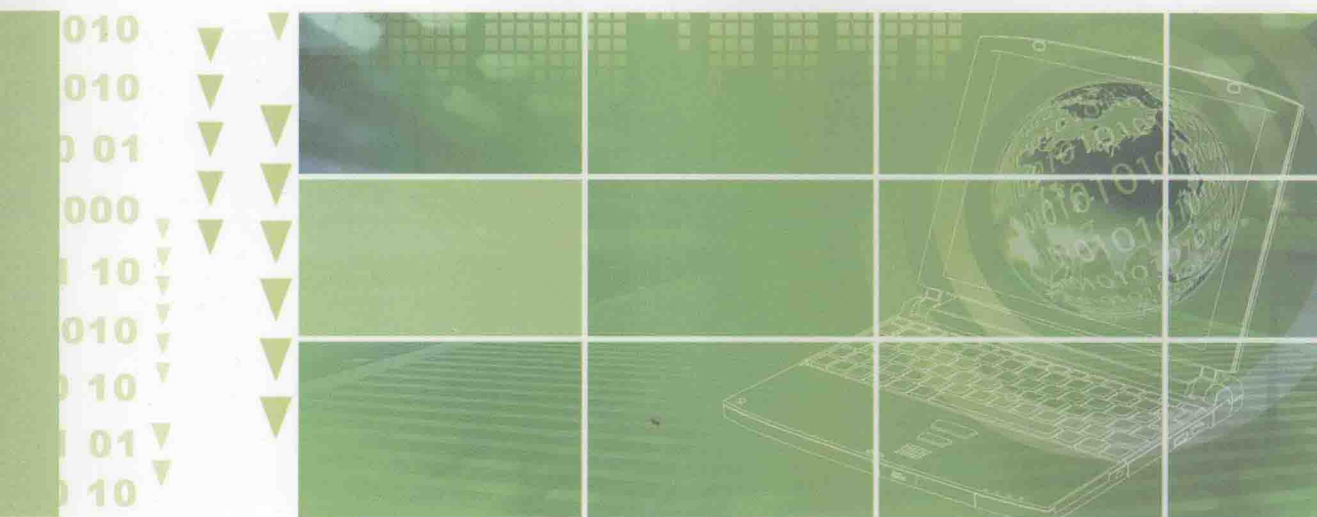




新世纪高职高专课程与实训系列教材



电工与电子技术基础 (上册)

程荣龙 杨春兰 主 编
齐祥明 孙建领 竺兴妹 曹光跃 副主编

内容特色:

- 注意基础知识的学习与讲解，配有丰富的案例与实训题
- 以培养技能型创新人才为目标，突出实用性和可操作性
- 以强化实际应用技能为主线，答疑解惑，解决工作实践中的常见问题

赠送
电子课件

清华大学出版社



新世纪高职高专课程与实训系列教材

电工与电子技术基础

(上册)

程荣龙 杨春兰 主 编
齐祥明 孙建领 竺兴妹 曹光跃 副主编

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书是为适应应用型人才培养的要求,依据教育部制定的“高职高专教育电工电子技术课程教学基本要求”而编写的。内容以基本、够用为度,面向实践与应用,注重技能培养。

全书分上、下两册。上册共 9 章,内容包括电路的基本概念及基本定律、直流电路分析、正弦交流电路分析、谐振电路、三相电路、动态电路分析、互感耦合电路、异步电动机及其控制、供配电及安全用电知识。下册共 7 章,内容包括半导体二极管及整流滤波电路、晶体管及基本放大电路、集成运算放大器、逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器与时序逻辑电路、D/A 和 A/D 转换器。书中每章开始均提出了教学目标,明确了工程应用导航,给出了引导问题以便于学习。书中还配有仿真练习,并在每章最后配有实训和习题,供读者思考和练习。

本书可作为应用型人才培养院校及高职高专院校机电、机制、数控、计算机应用等专业的电工电子技术教材,也可作为相近专业、工程技术人员参考用书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电工与电子技术基础(上、下册)/程荣龙,杨春兰主编;齐祥明,孙建领,竺兴妹,曹光跃副主编.

—北京:清华大学出版社,2011.9

(新世纪高职高专课程与实训系列教材)

ISBN 978-7-302-26099-8

I. ①电… II. ①程… ②杨… ③齐… ④孙… ⑤竺… ⑥曹… III. ①电工技术—高等职业教育—教材
②电子技术—高等职业教育—教材 IV. ①TM ②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 132590 号

责任编辑:章忆文 郑期彤

封面设计:山鹰工作室

版式设计:杨玉兰

责任校对:王 晖

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

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

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:三河市李旗庄少明印装厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:25.75 字 数:613 千字

版 次:2011 年 9 月第 1 版 印 次:2011 年 9 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:46.00 元(上、下册)

产品编号:035670-01

前 言

本书是根据教育部最新制定的“高职高专教育电工电子技术课程教学基本要求”及高职高专院校应用型人才培养的需要而编写的。

本书内容以基本、够用为度,面向实践与应用,注重技能培养,突出以能力为本的总体思路。书中注意简明阐述电路原理、电工技术的基本理论,突出其技术应用,同时适度地引入电工电子技术方面比较成熟的新知识、新方法和新技术,可使学生掌握基本知识、基本原理,并具有一定的工程实践意识。本书在每章后均有实训项目小结和习题,可帮助学生复习巩固所学知识,建立比较完整的知识结构。书中还引入了 EDA 仿真技术分析,可培养学生的分析和应用能力。

在内容安排上,全书分为上、下两册。本册为上册,内容包括电路的基本概念及基本定律、直流电路分析、正弦交流电路分析、谐振电路、三相电路、动态电路分析、互感耦合电路、异步电动机及其控制、供配电及安全用电知识。书中配有仿真练习,每章还配有实训和习题,供读者思考和练习。全书可供 72~128 学时的教学使用,本册可供 36~64 学时的教学使用。书中标有“*”的章节内容可由教师依据实际情况决定内容的取舍。

本册书的特色如下。

(1) 目标明确,层次分明,以高职高专应用型人才为培养目的,条理清晰、结构合理,简洁阐述原理和理论,不做理论推导,重在技术应用。

(2) 每章确定了教学目标,给出应用导航及引导问题,便于引导学习;在每章结尾有工作实训营,使得理论与实际相结合。

(3) 谐振电路部分往往有很多应用,在后续课程中,特别是在电子技术中有很多实际的应用案例,有必要加强该部分的教学,而现行的教材中往往仅用一节的内容简单阐述其谐振原理和特征,本书则加强了对易被忽视的频率特性和应用案例的介绍。

(4) 在电路及电工电子技术的分析过程中适度地引入了 EDA 仿真技术。

(5) 在附录部分主要介绍低压断路器、熔断器及导线的技术参数和电工速算口诀,更加贴合技术应用实际,也更加实用。

本书可作为应用型人才培养院校以及高职高专院校机电、机制、数控、计算机应用等专业的电工电子技术教材,也可作为相近专业、工程技术人员参考用书。

本册由程荣龙(蚌埠学院)、杨春兰(蚌埠学院)担任主编,齐祥明(安庆职业技术学院)、孙建领(南京化工职业技术学院)、竺兴妹(南京工程高等职业技术学院)、曹光跃(安徽电子信息职业技术学院)担任副主编。程荣龙编写了本册第 1、2、4、8、9 章和附录,齐祥明编写了第 3 章,杨春兰编写了第 5、6 章,孙建领编写了第 7 章。在本书的编写过程中,何光明、王珊珊、吴涛涛、陈海燕、姚昌顺、许勇、杨明、李海、赵明、张伍荣、钱阳勇、陈芳等同志给予了很大的帮助,在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中难免有疏漏和不妥之处,敬请专家、同仁和广大读者给予批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 电路的基本概念和基本定律	1	2.7.1 训练实例 1	36
1.1 电路和电路模型	1	2.7.2 训练实例 2	38
1.1.1 电路的组成及作用	1	2.7.3 工作实践常见问题解析	39
1.1.2 电路的模型	2	2.8 习题	40
1.2 电路中的基本物理量	3	第 3 章 正弦交流电路分析	42
1.2.1 电流及其参考方向	3	3.1 正弦交流电的基本概念	42
1.2.2 电压及其参考方向	4	3.1.1 频率、周期和角频率	43
1.2.3 电功率和电能	5	3.1.2 幅值与有效值	43
1.3 理想电路元件及其仿真分析	5	3.1.3 相位和初相位	44
1.3.1 电阻元件	5	3.2 正弦量的相量表示法	44
1.3.2 电感元件	6	3.2.1 复数及其运算	45
1.3.3 电容元件	8	3.2.2 正弦量的相量表示	46
1.4 电路中的电源	10	3.3 正弦交流电路中的电阻元件	47
1.4.1 电压源	10	3.3.1 伏安关系	47
1.4.2 电流源	11	3.3.2 功率消耗与能量转换	48
1.4.3 受控电源	12	3.4 正弦电路中的电感元件	49
1.5 基尔霍夫定律	13	3.4.1 伏安关系	49
1.5.1 电路中常用的名词	13	3.4.2 功率消耗与能量转换	50
1.5.2 基尔霍夫电流定律	14	3.5 正弦电路中的电容元件	51
1.5.3 基尔霍夫电压定律	15	3.5.1 伏安关系	51
1.6 电位的计算与仿真分析	16	3.5.2 功率消耗与能量转换	52
1.7 工作实训营	18	3.6 RLC 串联电路及仿真分析	53
1.7.1 训练实例 1	18	3.6.1 RLC 串联电路电压与电流 关系	53
1.7.2 训练实例 2	19	3.6.2 复阻抗与复导纳	54
1.7.3 工作实践常见问题解析	20	3.6.3 RLC 串联电路的功率	55
1.8 习题	21	3.6.4 实例及仿真分析	57
第 2 章 直流电路分析	24	3.7 功率因数的提高	58
2.1 电源等效变换法	24	3.8 工作实训营	59
2.2 支路电流法	26	3.8.1 训练实例 1	59
2.3 节点电位法	28	3.8.2 训练实例 2	61
2.4 叠加原理	30	3.8.3 工作实践常见问题解析	62
2.5 戴维南定理	31	3.9 习题	63
2.6 直流电路的仿真分析	33		
2.7 工作实训营	36		



第4章 谐振电路..... 65

- 4.1 串联电路的谐振..... 65
 - 4.1.1 谐振的概念..... 65
 - 4.1.2 串联谐振的条件..... 66
 - 4.1.3 串联谐振的基本特征..... 66
- 4.2 串联电路的谐振曲线及通频带..... 67
 - 4.2.1 串联谐振的幅频曲线..... 67
 - 4.2.2 串联谐振电路的通频带..... 68
 - 4.2.3 串联谐振的应用..... 69
- 4.3 并联电路的谐振..... 71
 - 4.3.1 并联谐振的条件..... 71
 - 4.3.2 并联谐振的基本特征..... 72
- 4.4 并联电路的谐振曲线及通频带..... 72
 - 4.4.1 并联谐振的幅频曲线..... 72
 - 4.4.2 并联谐振电路的通频带..... 73
 - 4.4.3 并联谐振的应用..... 74
- 4.5 工作实训营..... 75
 - 4.5.1 训练实例..... 75
 - 4.5.2 工作实践常见问题解析..... 76
- 4.6 习题..... 77

第5章 三相电路..... 79

- 5.1 三相电源..... 79
 - 5.1.1 三相对称正弦交流电压..... 79
 - 5.1.2 三相电源的星形(Y)连接..... 80
 - 5.1.3 三相电源的三角形(Δ)连接..... 81
- 5.2 三相负载..... 82
 - 5.2.1 负载的星形(Y)连接..... 82
 - 5.2.2 负载的三角形(Δ)连接..... 82
- 5.3 对称三相电路的分析..... 83
 - 5.3.1 对称星形电路的特点..... 84
 - 5.3.2 对称星形电路的一般解法..... 84
- 5.4 三相电路的功率..... 85
- 5.5 三相对称电路的仿真分析..... 86
- 5.6 工作实训营..... 87
 - 5.6.1 训练实例 1..... 87
 - 5.6.2 训练实例 2..... 89
 - 5.6.3 工作实践常见问题解析..... 91

5.7 习题..... 92

第6章 动态电路分析..... 93

- 6.1 换路定则..... 93
 - 6.1.1 过渡过程概述..... 93
 - 6.1.2 换路定则的公式表示..... 93
- 6.2 一阶线性电路暂态分析..... 94
 - 6.2.1 初始值 $f(0_+)$ 94
 - 6.2.2 稳态值 $f(\infty)$ 94
 - 6.2.3 时间常数 τ 95
 - 6.2.4 一阶线性电路的暂态分析..... 95
- 6.3 微分电路和积分电路..... 99
 - 6.3.1 微分电路的特点及仿真分析..... 99
 - 6.3.2 积分电路的特点及仿真分析..... 100
- 6.4 工作实训营..... 102
 - 6.4.1 训练实例 1..... 102
 - 6.4.2 训练实例 2..... 103
 - 6.4.3 工作实践常见问题解析..... 105
- 6.5 习题..... 105

第7章 互感耦合电路..... 107

- 7.1 互感与互感电压..... 107
 - 7.1.1 互感现象及互感系数..... 107
 - 7.1.2 耦合系数..... 108
 - 7.1.3 互感电压..... 109
 - 7.1.4 互感线圈的同名端..... 109
- 7.2 互感电路的计算..... 110
 - 7.2.1 互感线圈的串联..... 110
 - 7.2.2 互感线圈的并联..... 112
- 7.3 磁路的基本概念..... 113
 - 7.3.1 磁路的基本物理量..... 113
 - 7.3.2 磁性材料的磁性能..... 114
 - 7.3.3 磁路的欧姆定律..... 115
- 7.4 交流铁芯线圈..... 116
 - 7.4.1 电磁关系..... 116
 - 7.4.2 功率损耗..... 117
- 7.5 变压器的结构和工作原理..... 118

7.5.1 变压器的结构.....	118	8.5.2 单相异步电动机的启动.....	156
7.5.2 变压器的工作原理.....	119	8.6 常用控制电器.....	158
7.6 变压器的额定值和运行特性.....	122	8.6.1 手动控制电器.....	158
7.6.1 变压器的额定值.....	122	8.6.2 自动控制电器.....	159
7.6.2 变压器的外特性.....	123	8.7 三相异步电动机的基本控制电路.....	163
7.6.3 变压器的损耗和效率.....	123	8.7.1 简单启停控制.....	164
7.7 特殊变压器.....	124	8.7.2 正反转控制.....	165
7.7.1 自耦变压器.....	125	8.7.3 行程控制.....	166
7.7.2 电焊变压器.....	126	8.7.4 时间控制.....	168
7.7.3 电流互感器.....	126	8.8 工作实训营.....	169
7.8 工作实训营.....	127	8.8.1 训练实例 1.....	169
7.8.1 训练实例 1.....	127	8.8.2 训练实例 2.....	170
7.8.2 训练实例 2.....	129	8.8.3 工作实践常见问题解析.....	171
7.8.3 工作实践常见问题解析.....	131	8.9 习题.....	171
7.9 习题.....	131		
第 8 章 异步电动机及其控制.....	133	第 9 章 供配电及安全用电知识.....	174
8.1 三相异步电动机的结构和工作原理.....	133	9.1 电力系统概述.....	174
8.1.1 三相异步电动机的结构.....	133	9.1.1 发电厂.....	175
8.1.2 三相异步电动机的工作原理.....	135	9.1.2 电力网.....	175
8.2 三相异步电动机的特性.....	140	9.1.3 电力用户.....	176
8.2.1 三相异步电动机的转矩特性.....	140	9.2 对供电系统的基本要求和电能质量.....	176
8.2.2 三相异步电动机的机械特性.....	141	9.2.1 基本要求.....	176
8.2.3 三相异步电动机的运行特性.....	144	9.2.2 电能的质量指标.....	177
8.3 三相异步电动机的使用.....	145	9.3 工业与民用供电系统.....	178
8.3.1 三相异步电动机的铭牌数据.....	145	9.3.1 供电系统的组成.....	178
8.3.2 三相异步电动机的选择.....	146	9.3.2 变、配电所的主要电气设备.....	179
8.4 三相异步电动机的启动、调速与制动.....	148	9.3.3 低压配电线路.....	180
8.4.1 三相异步电动机的启动.....	148	9.4 安全用电常识.....	181
8.4.2 三相异步电动机的调速.....	152	9.4.1 电流对人体的作用.....	181
8.4.3 三相异步电动机的制动.....	153	9.4.2 触电方式及触电产生的原因.....	182
8.5 单相异步电动机.....	155	9.4.3 预防触电事故的措施.....	184
8.5.1 单相异步电动机的基本原理.....	155	9.4.4 触电急救.....	185
		附录.....	187
		习题参考答案.....	194
		参考文献.....	198

第1章 电路的基本概念和基本定律

【教学目标】

- 掌握电路的基本物理量及其参考方向。
- 掌握理想电路元件的特性及其仿真分析。
- 掌握电路的基本定律，学会电位和功率的计算方法。
- 能正确识别和检测电阻、电容等元器件。
- 掌握万用表的使用方法。

【工程应用导航】

本章主要介绍了电路和电路模型、电路的基本物理量及其参考方向、理想电路元件及其仿真分析、电路的基本定律、电位和功率的计算等内容。其目的是学会如何用理想电路元件表示工程应用中实际电路元件的主要特性，去除其物质因素，建立起电路的模型。例如，典型的电力系统电路可以抽象为如图 1.1(a)所示的电路模型，为工程实际的电路与电子电路的分析建立基础。

【引导问题】

- (1) 你知道电路是由哪些部分组成的吗？如何把一个实际的电路抽象为电路模型？
- (2) 电路的描述和分析中涉及哪些物理量？
- (3) 构成电路的理想电路元件有哪几种？各有什么特性？
- (4) 你知道分析电路的基本定律有哪些？电路中的电位应如何计算？
- (5) 在工程应用实际中的电路元器件应如何识别？

1.1 电路和电路模型

1.1.1 电路的组成及作用

电路是电流流经的路径，它是为了实现某种需要由某些电路元器件或电气设备通过连接导线按一定方式组合起来的。

1. 电路的组成

实际电路的繁简不一，电路结构形式多样，但电路必须具有电源(或信号源)、负载和中间环节三个基本组成部分。其中，电源是供应电能的设备，如发电厂、电池等；负载是取用电能的设备，如电灯、电动机等；中间环节是连接电源和负载的部分，起传输和分配电能的作用，如变压器、输电线等。

图 1.1(a)所示为最典型的电力系统电路。其中，发电机是电源，是提供电能的设备；

电灯、电动机和电炉是负载，可把电能转化为光能、机械能和热能，是取用电能的设备；变压器和输电线是中间环节，是连接电源和负载的部分，用来传输和控制电能。

图 1.1(b)所示是扩音机电路原理图，话筒是输出信号的设备，称为信号源，相当于电源；扬声器是负载，是用来接收和转换信号的设备；放大器为中间环节，是连接电源和负载的部分。

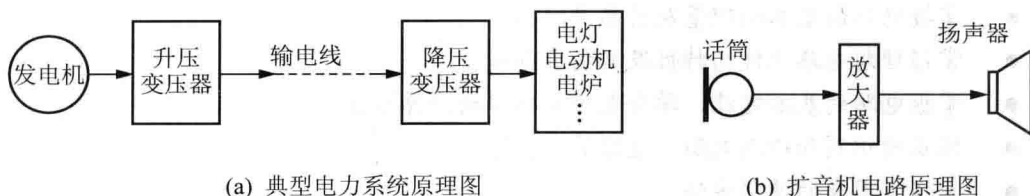


图 1.1 电路组成示意图

2. 电路的作用

电路的作用按照其所完成的任务可分为两种。一种是实现电能的传输和转换，如电力系统，先把发电机的电能经变压器和输电线传输给负载，负载再把电能转换为光能、机械能和热能等。另一种是实现信号的传递和处理，如扩音机电路先由话筒将声音转换为电信号传递给放大电路处理，然后再传递给扬声器将电信号还原为声音。

1.1.2 电路的模型

实际电路是由电磁性质较为复杂的实际电路元件或器件组成的。如图 1.2(a)所示为简单手电筒的实际电路。

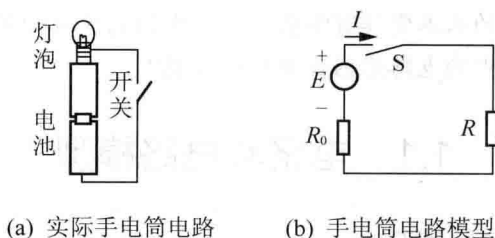


图 1.2 实际电路及电路模型

由于实际电路元件的特性往往比较复杂，因而为了方便分析和计算，通常采用模型化的方法来表征实际的电路元件，即按照实际电路元件的主要物理性质，用一些理想电路元件来替代。理想电路元件，就是反映某种特定的电磁性质的假想元件。实际电路元件的种类虽然繁多，但有些元件其电磁性质有共同的特点，如各种电阻器、电灯、电炉主要是消耗电能，均可以用理想电阻元件表示；电池和发电机主要是提供电能，可以用理想电源元件表示；电感线圈主要存储磁场能量，电容器的主要性质是储存电场能量，因而可以分别用理想电感元件和电容元件表示。理想电路元件的符号如图 1.3 所示。

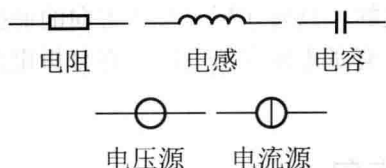


图 1.3 理想电路元件的符号

由理想电路元件组成的电路就是实际电路的电路模型,它是对实际电路电磁性质的科学抽象和概括。在图 1.2(a)所示的实际手电筒电路中,干电池是电源元件,可用一个理想电压源和一个内电阻的串联来替代,其参数为电动势 E 和电阻 R_0 ;灯泡消耗电能,可用一电阻元件替代,其参数为 R ;筒体和开关是连接电池和灯泡的中间环节,其电阻可忽略不计,所以用无电阻的导线和开关替代。因此,得到实际手电筒电路的电路模型如图 1.2(b)所示。

1.2 电路中的基本物理量

无论是电能的转换和传输,还是信号的传递与处理,都需要通过电流、电压和电动势来实现,因此在分析与计算电路之前,我们首先要讨论电路的几个基本物理量。

1.2.1 电流及其参考方向

电荷的定向移动形成电流。电流的大小用电流强度表示,单位时间内通过某一导体横截面的电荷量叫做电流强度,简称电流。如果在无限短的时间 dt 内,通过导体横截面的微小电荷量为 dq ,则电流为

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

上式表示,电流 i 是电荷 q 对时间的变化率; dq 为微小电荷量。在国际单位制中,电流的单位为安(A), $1\text{A} = 10^3\text{mA} = 10^6\mu\text{A}$ 。

通常规定正电荷定向移动的方向或负电荷定向移动的反方向为电流实际方向,即电流方向。在分析复杂电路时,电流实际方向往往难以判断,为了分析问题方便,我们通常引入参考方向的概念,即我们可以任意选择一个方向作为参考方向,当实际电流方向与参考方向一致时,如图 1.4(a)所示,其电流为正;反之,如图 1.4(b)所示,则电流为负。



图 1.4 电流的参考方向

电流参考方向是任意指定的, 只有在规定参考方向的前提下, 电路中的电流才有正负之分, 所以它是一个代数量。有了电流参考方向, 在分析电路时, 就可从计算结果的正负来确定电流实际方向。

1.2.2 电压及其参考方向

电压是指电路中单位正电荷处在两点时所携带的能量之差, 即

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

式中, dw 为 dq 电荷从一点 a 移动到另一点 b 所释放的能量。在国际单位制中, 能量单位是焦[耳](J), 电压单位是伏[特](V)。

电路中两点间电压的实际方向是由高电位点指向低电位点, 即电位降低的方向。在分析电路时, 与电流相类似, 也要先为电压选定参考方向。电压参考方向也是任意指定的, 可以用箭头、双下标或正(+)、负(-)极性表示, 如图 1.5 所示。

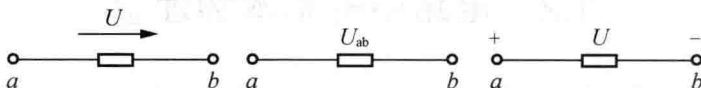


图 1.5 电压参考方向的表示方法

在电路分析中, 当电压参考方向与其实方向一致时, 如图 1.6(a)所示, 其电压为正值; 反之, 当电压参考方向与其实方向相反时, 如图 1.6(b)所示, 则电压为负值。在选定电压参考方向之后, 就可根据电压值计算结果的正负来判断电压实际方向。



(a) 电压参考方向与实际方向相同

(b) 电压参考方向与实际方向相反

图 1.6 电压的参考方向和实际方向

电流与电压都有大小和方向, 但它们都是标量, 不是矢量, 因为它们的方向并不是指在空间上有一定方向, 而是沿着电路或元件的走向。电流与电压参考方向的设定是分析电路的一个必要环节。对一个电路元件, 其电流与电压取相同参考方向时, 称为关联参考方向, 如图 1.7(a)所示; 反之, 称为非关联参考方向, 如图 1.7(b)所示。



(a) 关联参考方向

(b) 非关联参考方向

图 1.7 电压与电流关联参考方向

在电路分析和计算时,还会出现电动势和电位两个物理量。电动势是度量电源内非静电力做功能力的物理量,在数值上等于非静电力把单位正电荷自电源内部从负极移到正极所做的功,用 E 来表示,电动势的正方向与电压的正方向相反。

所谓电位是电路中某点相对于参考点的电压,因此电位是一个相对物理量,它的大小和极性与所选取的参考点有关。参考点选取是任意的,但通常规定参考点电位为零,故参考点又叫做零电位点。习惯上,我们通常取大地为零电位点,用 $\perp$ 表示。

1.2.3 电功率和电能

电路是传输和转换能量的装置。在电路工作时,总是伴随着电能与其他形式能量的转换,各种电气设备、元件上的电流、电压和功率都有一定的限制,超出容许值可能会损坏。所以分析电路时要计算电路中各元件的功率。

单位时间内电场力所做的功称为电功率,简称功率,用字母 p 表示,即

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

式中, u 和 i 分别表示任一时刻电压和电流瞬时值。电功率是表征电路中能量转换速率的物理量,对某一段电路或一个元件,当电压 u 与电流 i 取关联参考方向时,则 u 和 i 的乘积 p 就是此时刻该段电路或元件的功率,若 p 值为正,表示该元件吸收电能,为负载;若 p 值为负,表示该元件提供电能,为电源。

电能是电路在一段时间内转换的能量之和,用 W 表示,即

$$W = \int_{t_1}^{t_2} p(t) dt \quad (1-4)$$

在直流电路中,电压与电流均不随时间变化,有 $P=UI$,则在一段时间 t 内转换的电能为

$$W = Pt = UI t \quad (1-5)$$

式中,功率 P 的单位为瓦[特](W); t 的单位为秒(s); W 的单位为焦[耳](J)。电能的实际单位为千瓦时(kW·h)。

1.3 理想电路元件及其仿真分析

电路元件是构成电路的基本单元,按其在电路中所起的作用,可分为有源元件和无源元件。常用无源元件有电阻、电感、电容等元件,它们在电路中通常作为负载。本节我们主要介绍无源元件,即电阻、电感和电容元件。

1.3.1 电阻元件

电阻元件可分为线性电阻和非线性电阻两类,若电阻两端电压与通过电阻的电流成正比,即电阻元件的阻值 R 为常数,这样的电阻称为线性电阻;若电阻两端电压与通过的电流不成正比,即电阻元件的阻值 R 不为常数,这样的电阻称为非线性电阻。由线性电阻组成的电路即为线性电路;含有非线性电阻的电路即为非线性电路。

电阻元件 R 的电路符号如图 1.8(a)所示。当其电压 U 和电流 I 取关联参考方向时, 根据欧姆定律可得电阻元件的伏安特性关系为

$$U = RI \quad (1-6)$$

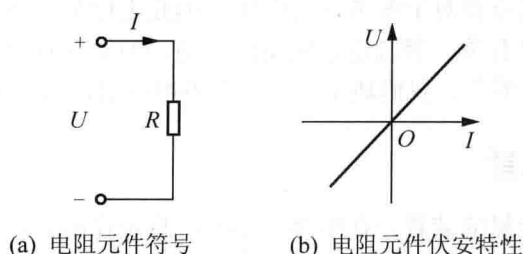


图 1.8 电阻元件及其伏安特性

其伏安特性为一条过原点、斜率为 R 的直线, 如图 1.8(b)所示。线性电阻元件伏安特性的直流仿真电路如图 1.9 所示。

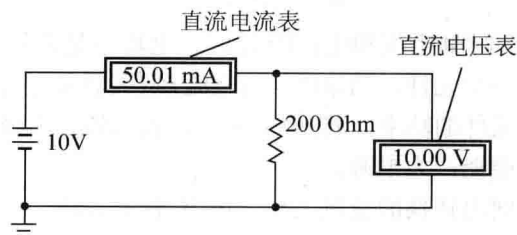


图 1.9 线性电阻元件伏安特性的直流仿真电路

电阻的倒数用 G 表示, 称为电导, 即

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-7)$$

用电导表示的伏安特性可写成

$$I = GU \quad (1-8)$$

当电压 U 和电流 I 取关联参考方向时, 电阻元件消耗的功率为

$$P = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R} = GU^2 \quad (1-9)$$

由于线性电阻是正值, 故其功率 $P > 0$, 表示吸收功率。所以电阻元件是一种无源耗能元件。电阻元件从 0 到 t 时间内吸收的电能为

$$W_R = \int_0^t p dt = \int_0^t UI dt = \int_0^t I^2 R dt \quad (1-10)$$

电阻单位是欧[姆](Ω), 当电阻两端电压为 1V, 通过电阻的电流为 1A 时, 其电阻值为 1Ω 。当电阻的阻值比较大时, 通常还以 $k\Omega$ ($1k\Omega = 10^3\Omega$)、 $M\Omega$ ($1M\Omega = 10^6\Omega$) 为单位。

1.3.2 电感元件

电感元件是反映电流周围存在磁场, 而且可以存储磁场能量的理想电路元件, 是从实际电感线圈抽象出来的理想化模型。用导线绕制一个电阻为零的线圈就是典型的电感元

件,如图 1.10(a)所示为空心电感线圈,图 1.10(b)所示为电感元件的图形符号。

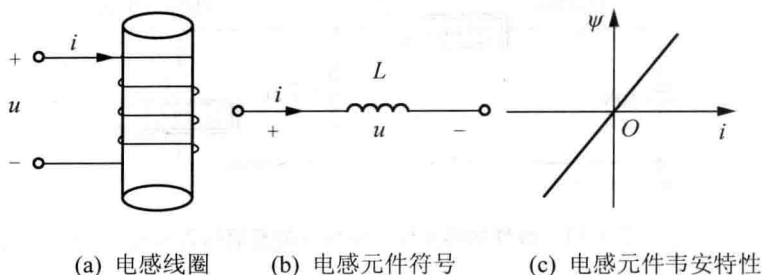


图 1.10 电感元件及其韦安特性

由物理学我们知道,磁场的强弱用磁感应强度 B 表示。无限长密绕载流电感线圈内的磁场为 $B = \mu_0 n i$, 则通过电感线圈某一截面的磁通量为 $\Phi = Bs = \mu_0 n s i$ 。若电感线圈的匝数为 N , 那么通过电感线圈的磁通链为

$$\Psi = N\Phi = N\mu_0 n s i = L i \quad (1-11)$$

式中, N 为线圈匝数, μ_0 为真空中的磁导率; n 为线圈绕制密度, s 为线圈横截面积; i 为流过线圈的电流。由式(1-11)可知,磁通链的大小和方向由产生它的电流的大小和方向决定。

线圈的电感量定义为线圈中通过单位电流所产生的磁通链,也称为自感系数,简称电感,是表示电感元件特性的参数,用 L 表示。即

$$L = \frac{\Psi}{i} \quad (1-12)$$

式中,电流 i 的单位为安[培](A),磁通链 Ψ 的单位为韦[伯](Wb),电感 L 的单位为亨[利](H),常用单位还有毫亨(mH)、微亨(μ H),其换算关系为 $1\text{H}=10^3\text{mH}=10^6\mu\text{H}$ 。

线圈的电感是由线圈自身结构所决定的,由式(1-11)可知,螺线管线圈的电感为 $L = N\mu_0 n s = \frac{N^2 \mu_0 s}{l}$ 。电感线圈的磁通量 Ψ 与通过电流 i 之间的关系称为韦安特性。空心线圈或周围介质为非磁性物质时,线圈电感为常数,这就是线性电感元件。如图 1.10(c)所示,线圈的韦安特性是过原点的直线,则该线圈为线性电感。

如图 1.10(b)所示的线性电感元件,当流过线圈的电流发生变化时,磁通链也相应发生变化。根据电磁感应定律,电感元件两端的感应电动势为 $e = -\frac{d\Psi}{dt} = -L \frac{di}{dt}$, 即感应电动势的大小与电流变化率成正比,负号表示自感电动势的参考方向与磁通链成右手法则,即电动势的参考方向与电流参考方向相同。

当电感元件两端电压 u 与电流 i 取关联参考方向时,其伏安特性的微分关系为

$$u = -e = L \frac{di}{dt} \quad (1-13)$$

由上式可见,电感两端的电压与通过电流的变化率成正比,即受微分关系约束。当电流不随时间发生变化时(直流电流),则电感元件两端电压为零,这时电感元件相当于短路。线性电感元件伏安特性的直流仿真电路如图 1.11 所示。

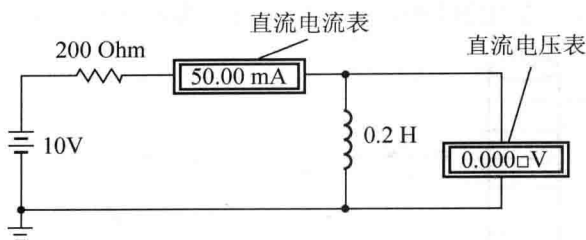


图 1.11 线性电感元件伏安特性的直流仿真电路

在电压与电流取关联参考方向时, 由 $u = L \frac{di}{dt}$ 可得, 伏安特性的积分关系为

$$i = \frac{1}{L} \int_{-\infty}^t u dt = \frac{1}{L} \int_{-\infty}^0 u dt + \frac{1}{L} \int_0^t u dt = i_0 + \frac{1}{L} \int_0^t u dt \quad (1-14)$$

式中, i_0 为电流的初始值, 即在 $t=0$ 时电感元件中通过的电流。若 $i_0=0$, 则

$$i = \frac{1}{L} \int_0^t u dt \quad (1-15)$$

如果将式(1-13)两边同时乘以电流 i 并积分, 可得磁场能量为

$$W = \int_0^t u i dt = \int_0^i L i di = \frac{1}{2} L i^2 \quad (1-16)$$

由上式可知, 当流过电感的电流增大时, 磁场能量增大, 在此过程中, 电感从电源取用电能转换为磁场能量; 当流过电感的电流减小时, 磁场能量减小, 电感释放能量, 磁场能量转换为电能。

1.3.3 电容元件

电容元件是反映电荷产生电场、存储电场能量这一物理现象的理想电路元件, 是从实际电容器抽象出来的理想化模型, 如图 1.12(a)所示为电容元件的图形符号。电容器在工程技术中应用广泛, 我们知道, 两块金属极板间填充绝缘介质可组成电容器, 根据介质不同, 可分为云母电容器、油浸电容器、纸质电容器、电解电容器等。当两极板接通电源后, 正、负电荷分别在两个极板上集聚, 在极板间建立电场, 将能量存储于电场中。



(a) 电容元件符号

(b) 电容元件库伏特性

图 1.12 电容元件及其库伏特性

由物理学我们知道, 电容器极板集聚的电荷量与外加电压成正比, 即 $q = Cu$, 其中比例常数 C 是表示电容元件特性的参数, 称为电容量, 简称电容。其定义为

$$C = \frac{q}{u} \quad (1-17)$$

式中, q 为每个极板上的电荷量; u 为极板间电压。当电荷量单位为库[仑](C), 电压单位为伏[特](V)时, 电容 C 的单位为法[拉](F)。由于法拉单位太大, 实际应用中常用微法(μF)或皮法(pF)作为电容的单位。其换算关系为 $1\text{F} = 10^6 \mu\text{F} = 10^{12} \text{pF}$ 。

电容的大小取决于电容器的结构及极板间介质的绝缘性能, 平行板电容器的电容为

$$C = \frac{\epsilon S}{d} \quad (1-18)$$

式中, ϵ 为绝缘介质的介电常数; S 为每个极板的面积; d 为两极板间的距离。

电容器极板上的电荷量 q 与极板间电压 u 之间的关系称为库伏特性。线性电容 C 为常数, 所以其库伏特性是过原点的直线, 如图 1.12(b)所示。若电容库伏特性不是直线, 则此电容是非线性电容。电容元件伏安特性的直流仿真电路如图 1.13 所示。

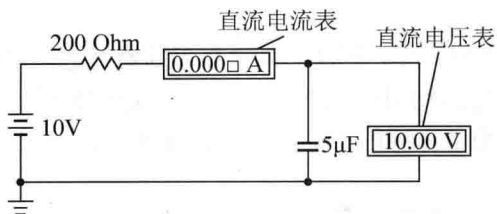


图 1.13 电容元件伏安特性的直流仿真电路

对于线性电容元件, 当电容两端电压升高时, 对电容器充电; 当电容两端电压降低时, 电容器放电。也就是说当电容器充放电时, 电容两端电压发生变化, 其电荷量也发生了变化, 这时电荷在电路中移动, 形成电流。当电压 u 与电流 i 取关联参考方向时, 如图 1.12(b)所示, 电容的伏安关系为

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt} \quad (1-19)$$

由上式可知, 电容电流与其两端电压的变化率成正比, 即只有当电容上电压随时间变化时, 电容上才有电流流过, 因此电容为动态元件。当电容两端电压不变时, 则电流为零, 故在直流稳态电路中, 电容相当于开路, 这就是电容器的隔直作用。

在电压与电流取关联参考方向时, 由 $i = C \frac{du}{dt}$ 可得, 伏安特性的积分关系为

$$u = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i dt = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^0 i dt + \frac{1}{C} \int_0^t i dt = u_0 + \frac{1}{C} \int_0^t i dt \quad (1-20)$$

式中, u_0 为电压的初始值, 即在 $t=0$ 时电容元件两端的电压。若 $u_0=0$, 则

$$u = \frac{1}{C} \int_0^t i dt \quad (1-21)$$

如果将式(1-19)两边同时乘以电容两端电压 u 并积分, 可得电场能量为

$$W = \int_0^t u i dt = \int_0^u C u du = \frac{1}{2} C u^2 \quad (1-22)$$

由上式可知, 当电容两端的电压增大时, 电场能量增大, 在此过程中, 电容从电源取用电能转换为电场能量; 当电容两端的电压减小时, 电场能量减小, 电容释放能量, 电场能量转换为电能。

1.4 电路中的电源

电源是将非电能转换为电能的元件或装置,其作用是给外电路提供电能或电信号。干电池、蓄电池、发电机和电子稳压源等都是常见的实际电源。

任何一个电源可以用两种不同的电路模型来表示。一种是用电压的形式来表示,称为电压源;另一种是用电流的形式来表示,称为电流源。

1.4.1 电压源

1. 理想电压源

在理想状态下,电源内阻为零,因此其端电压不随流过它的电流而变化。或者说,无论外电路的负载如何变化,电源均对外电路提供一个恒定的电压,我们把这种电源称为理想电压源,简称恒压源。理想电压源的符号如图 1.14(a)所示,其伏安特性如图 1.14(b)所示。

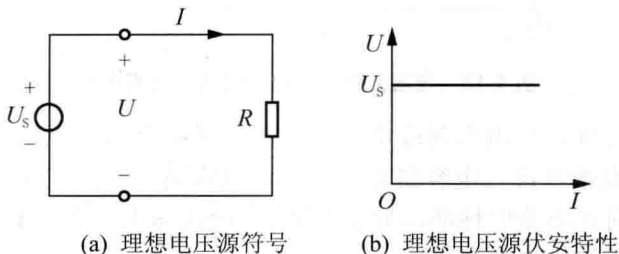


图 1.14 理想电压源符号及其伏安特性

理想电压源的特点是:输出电压 U 是由其本身确定的定值,与输出电流和外电路的情况无关;而输出电流 I 不是确定的值,其取决于与之相连的外电路负载大小。注意:理想电压源不能短路,因为其内阻为零,若短路,则输出电流为无穷大。

如图 1.14(b)所示,理想电压源的伏安特性是一条不通过原点且平行于电流轴的直线。理想电压源实际上是不存在的,但如果电源内阻远小于负载电阻,则端电压基本恒定,可以忽略其内阻的影响,认为是一个理想电压源。

2. 电压源模型

一个实际的电源可以用一个理想电压源与一个内阻相串联的理想电路元件组合来代替。这种电源的电路模型称为实际电源的电压源模型,如图 1.15 所示。图中 U 是电源端电压, R_L 是负载电阻, I 是负载电流。

由图 1.15 所示的电路可得

$$U = U_s - R_0 I \quad (1-23)$$

上式为电压源外特性方程,其中 U 为电压源的输出电压; U_s 为理想电压源的端电压; R_0 为电压源内阻; I 为电压源输出的电流。由式(1-23)可作出电压源的外特性曲线,如图 1.16 所示。