

中国通信学会普及与教育工作委员会推荐教材

21世纪高职高专电子信息类规划教材

21 Shiji Gaozhi Gaozhuan Dianzi Xinxilei Guihua Jiaocai

电路与电子技术

赵月恩 主编

卜新华 田芳 蔡志军 编

- 以电路与电子技术基本知识、基本理论为主线
- 注重体现高职高专特色，淡化理论，重视实践
- 内容兼顾知识系统性与完整性，习题形式多样



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

中国通信学会普及与教育工作委员会推荐教材

21世纪高职高专电子信息类规划教材

21 Shiji Gaozhi Gaozhuan Dianzi Xinxilei Guihua Jiaoc

电路与 电子技术

赵月恩 主编

卜新华 田芳 蔡志军 编



人民邮电出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

电路与电子技术 / 赵月恩主编. —北京: 人民邮电出版社, 2009. 4
21世纪高职高专电子信息类规划教材
ISBN 978-7-115-19326-1

I. 电… II. 赵… III. ①电路理论—高等学校: 技术学校—教材②电子技术—高等学校: 技术学校—教材 IV. TM13
TN01

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第006826号

内 容 提 要

本书是高职高专院校电子信息专业电路与电子技术课程的规划教材, 全书共分 14 章, 包括电路基础和模拟电子技术两部分内容。电路基础部分主要介绍电路的基本概念、电路的分析方法及电路定理、正弦稳态电路分析、安全用电常识和一阶动态电路分析等内容。模拟电子技术部分主要介绍常用电子器件、基本放大电路、集成运算放大电路、信号产生电路和直流稳压电源等内容。每章附有不同题型的习题, 书后附有参考答案。

本书以基本概念、基本理论、基本分析方法、单元电路分析、集成电路应用为主, 通俗易懂, 重点突出。本书可作为高职高专院校通信技术、电子、信息等电类专业相关课程的教材使用, 也可供相关人员自学参考。

21 世纪高职高专电子信息类规划教材

电路与电子技术

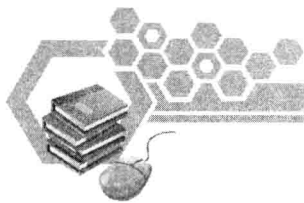
-
- ◆ 主 编 赵月恩
编 卜新华 田 芳 蔡志军
责任编辑 蒋 亮
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京昌平百善印刷厂印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 15.75
字数: 400 千字
印数: 1—3 000 册
- 2009 年 4 月第 1 版
2009 年 4 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-19326-1/TN

定价: 28.00 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154



本书是编者在多年从事电路与电子技术教学改革的基础上编写的高职高专电子信息专业教材。作者在编写本教材时,吸取了各高职院校教学改革、教材建设等方面取得的经验,充分考虑了高职高专学生的特点、知识结构、教学规律和培养目标等要求。

本书在内容的选取上以“打好基础、精选内容、够用为度”为指导思想,在结构安排和内容选取上有以下几个特点。

(1) 根据现代科学技术发展的需要,在内容取舍上以电路与电子技术的基本知识、基本理论为主线,并注意使之与各种实用技术、新技术有机地结合起来,以更好地激发学生的学习兴趣和创新意识。

(2) 注重体现高职高专特色,淡化理论,重视实践。为此,在保持知识的科学性和系统性的前提下,删繁就简;重点讲清公式和结论的物理意义和应用,使推导过程简化,降低理论分析的难度;注重知识的实用性和内容的趣味性,以达到提高教学效果的目的。

(3) 在知识的结构上以“基本概念—基本原理—基本分析方法—典型电路的应用”为思路。注重引导学生掌握“电路与电子技术”课程的学习方法,培养学生自主学习的能力,为以后更好地适应现代社会作好准备。

(4) 在内容安排上,本书兼顾知识的系统性与完整性,各章又保持其相对独立性,为开放教学和弹性教学留有选择和拓展的空间,还可根据不同专业要求在学时进行相应取舍。书中带“*”号为较难的知识点,老师在教学过程中可适当选取。

(5) 本书在习题上,采取了填空、选择、思考、简答或计算等多种形式,克服了题型单一、枯燥乏味的缺点,提高学生的学习兴趣,还可拓展学生的思路,使所学知识得到更好的运用和巩固。

本书可作为高职高专院校通信技术、电子、信息等电类专业相关课程的教材使用,也可供相关人员学习参考。

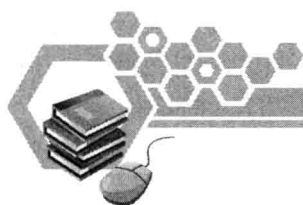
本书由赵月恩担任主编,并编写了第1章、第2章、第5章和第7章;卜新华编写了第9章、第10章、第11章、第12章、第14章和第6章的6.5节;田芳编写了第8章和第13章;蔡志军编写了第3章、第4章和第6章(6.5节除外)。

在本书的编写过程中,得到了石家庄邮电职业技术学院电信工程系孙青华主任、杨延广副主任的大力支持,张桂芬老师在教材的设计思路及准备工作等方面给予了大力帮助,在此表示诚挚的感谢。

由于编者写作经验有限,书中难免出现错误和不妥之处,真诚希望各位老师和读者给予批评指正。

编者

2009年1月



目 录

第 1 章 电路的基本概念和基本定律	1	2.4 支路电流法	30
1.1 电路和电路模型	1	2.5 网孔电流法	31
1.1.1 电路与组成	1	2.6 节点电位法	33
1.1.2 电路模型	2	小结	36
1.2 电路的基本物理量	2	习题 2	37
1.2.1 电流	3	第 3 章 电路的基本定理	40
1.2.2 电压和电位	3	3.1 线性电路和叠加定理	40
1.2.3 电功率和电能	5	3.1.1 线性电路	40
1.3 电路的基本元件	6	3.1.2 叠加定理	41
1.3.1 电阻元件	6	3.2 戴维南定理和*诺顿定理	43
1.3.2 电容元件	8	3.2.1 戴维南定理	43
1.3.3 电感元件	9	*3.2.2 诺顿定理	47
1.4 电压源和电流源	11	3.2.3 最大功率传输定理	48
1.4.1 电压源	11	小结	50
1.4.2 电流源	12	习题 3	51
1.5 受控源	13	第 4 章 正弦稳态交流电路	53
1.6 基尔霍夫定律	14	4.1 周期电压和电流	53
1.6.1 基尔霍夫电流定律	14	4.1.1 周期电压和电流的特征	53
1.6.2 基尔霍夫电压定律	15	4.1.2 周期和频率	53
小结	17	4.2 正弦交流电的特征量	54
习题 1	17	4.2.1 振幅	54
第 2 章 直流电阻电路的一般分析方法	21	4.2.2 频率	55
2.1 电阻的串联、并联和混联电路	21	4.2.3 初相	55
2.1.1 电路的等效概念	21	4.3 正弦交流电的相量表示法	56
2.1.2 电阻的串联	22	*4.3.1 复数的相关知识	57
2.1.3 电阻的并联	23	4.3.2 相量表示法	58
2.1.4 电阻混联电路	24	4.3.3 同频率正弦量的运算	59
*2.2 电阻的星形与三角形连接及等效 变换	26	4.4 基尔霍夫定律的相量形式	60
2.3 电源的连接与等效变换	27	*4.5 3 种电路基本元件伏安关系的相量 形式	62
2.3.1 电源的连接	27	4.5.1 电阻元件	62
2.3.2 两种实际电源的等效变换	29	4.5.2 电感元件	63



4.5.3 电容元件	64	6.5.1 安全用电基础知识	104
4.6 正弦交流电路的分析计算—— 阻抗和导纳	66	6.5.2 电对人体的伤害与防范措施	105
4.6.1 RLC 串联电路分析——阻抗	66	6.5.3 电对人体伤害程度的影响 因素	106
4.6.2 RLC 并联电路分析——导纳	69	6.5.4 人体触电的方式	109
4.6.3 一般正弦交流电路的分析 计算	72	6.5.5 触电急救	109
4.7 正弦交流电路的功率和功率因数	76	6.5.6 接地与接零	111
4.7.1 有功功率	76	小结	112
4.7.2 无功功率和视在功率	77	习题 6	113
4.7.3 功率因数	78	第 7 章 一阶动态电路分析	114
小结	79	7.1 换路定律和初始值	114
习题 4	80	7.1.1 动态元件和换路定律	114
第 5 章 谐振电路	84	7.1.2 电路初始值及计算	115
5.1 串联谐振电路	84	7.2 一阶电路的零输入响应	117
5.1.1 谐振现象	84	7.2.1 RC 电路的零输入响应	117
5.1.2 RLC 串联电路谐振的条件	84	7.2.2 RL 电路的零输入响应	119
5.1.3 串联谐振电路的基本特征	85	7.3 一阶电路的零状态响应	121
5.2 并联谐振电路	87	7.3.1 RC 电路的零状态响应	121
5.2.1 RLC 并联电路的谐振条件	87	7.3.2 RL 电路的零状态响应	121
5.2.2 并联谐振电路的基本特征	88	7.4 一阶电路的全响应与三要素法	122
*5.3 谐振电路的频率特性	89	7.4.1 一阶电路全响应的规律	123
5.3.1 串联谐振电路的频率特性	89	7.4.2 一阶电路的三要素法	124
5.3.2 并联谐振电路的频率特性	92	7.5 脉冲作用下的 RC 电路	126
小结	93	小结	128
习题 5	94	习题 7	129
第 6 章 三相正弦交流电路	96	第 8 章 常用半导体器件	133
6.1 三相电源	96	8.1 半导体基础知识	133
6.1.1 三相电源的特点	96	8.1.1 本征半导体	134
6.1.2 三相电源的连接	97	8.1.2 杂质半导体	134
6.2 三相负载的连接	98	8.1.3 PN 结	135
6.3 三相电路的连接与计算	98	8.2 晶体二极管	136
6.3.1 三相电源与负载的星形连接 (Y-Y 形)	98	8.2.1 晶体二极管的结构	136
6.3.2 三相电源与对称三相负载的 三角形连接 (Δ - Δ 形)	99	8.2.2 晶体二极管的伏安特性	136
6.3.3 对称三相电路的计算	100	8.2.3 晶体二极管的主要参数	137
6.4 三相电路的功率	102	8.3 晶体三极管	138
6.5 安全用电	104	8.3.1 晶体三极管的结构	138
		8.3.2 晶体三极管的放大原理	138
		8.3.3 晶体三极管的特性曲线	140
		8.3.4 晶体三极管的主要参数	141



8.4 场效应管	142	11.1.2 反馈的分类	194
8.4.1 结型场效应管	142	11.2 负反馈放大电路的基本组态	196
8.4.2 绝缘栅型场效应管	143	11.3 负反馈对放大电路性能的影响	198
小结	145	小结	200
习题 8	146	习题 11	200
第 9 章 基本放大电路	148	第 12 章 低频功率放大电路	203
9.1 放大电路组成	148	12.1 功率放大器的特点与分类	203
9.2 单管共射放大电路的分析	149	12.2 互补对称式功率放大器	205
9.2.1 单管共射放大电路的静态 分析	150	12.3 集成功率放大电路简介	208
9.2.2 单管共射放大电路的动态 分析	152	小结	210
9.2.3 共射放大电路的特点与应用	158	习题 12	210
9.2.4 典型静态工作点稳定电路	158	第 13 章 信号产生电路	213
9.3 射极输出器	160	13.1 正弦波振荡的条件	213
9.4 共基极放大电路	161	13.1.1 振荡的条件	213
9.5 场效应晶体管放大电路	162	13.1.2 起振条件	214
9.5.1 直流偏置电路	162	13.1.3 基本组成	214
9.5.2 场效应管的动态分析	163	13.2 RC 正弦波振荡电路	215
9.6 多级放大电路	165	13.2.1 RC 串并联式振荡电路的基本 组成	215
9.6.1 多级放大电路的组成	165	13.2.2 RC 串并网络的选频原理	215
9.6.2 多级放大电路的耦合方式	165	13.2.3 振荡频率与起振条件	216
9.6.3 多级放大电路的分析	166	13.2.4 振荡频率的调节	216
小结	167	13.3 LC 正弦波振荡电路	217
习题 9	168	13.3.1 LC 并联回路的选频特性	217
第 10 章 集成运算放大器	172	13.3.2 变压器反馈式 LC 振荡器	218
10.1 集成电路概述	172	13.3.3 电感三点式 LC 振荡器	218
10.2 集成运放的组成	173	13.3.4 电容三点式振荡电路	219
10.2.1 电流源电路	174	13.4 石英晶体振荡器	220
10.2.2 差分放大电路	176	13.4.1 石英晶体的谐振特性及等效 电路	220
10.3 集成运放的主要参数	180	13.4.2 石英晶体振荡电路	221
10.4 集成运算放大器的应用	182	小结	222
10.4.1 理想运算放大器的特点	182	习题 13	223
10.4.2 基本运算电路	183	第 14 章 直流稳压电源	225
小结	188	14.1 直流稳压电源的组成	225
习题 10	189	14.2 整流电路	226
第 11 章 负反馈放大电路	193	14.2.1 单相半波整流电路	226
11.1 反馈的基本概念及分类	193	14.2.2 单相全波整流	227
11.1.1 反馈的基本概念	193	14.2.3 单相桥式整流电路	229



14.3 滤波电路.....	230	14.4.2 串联型稳压电路	232
14.3.1 半波整流电容滤波电路.....	230	小结.....	233
14.3.2 桥式整流电容滤波电路.....	230	习题 14.....	234
14.4 直流稳压电路.....	231	习题参考答案.....	237
14.4.1 稳压管稳压电路.....	232	参考文献.....	243

第1章

电路的基本概念和基本定律

【本章内容简介】 主要介绍描述电路的基本物理量——电压、电流和功率，电路的基本元件——电阻、电容、电感及其伏安关系，电源元件和基尔霍夫定律。

【本章重点难点】 重点掌握电路的基本物理量，电路的3个基本元件及伏安关系，电压源和电流源，基尔霍夫定律。

难点是电流、电压的实际方向与参考方向的关系，功率的计算和受控源。

1.1 电路和电路模型

电路的结构多种多样，实现的功能也各不相同，但它们都受共同的基本规律支配，正是在这些共同的规律基础上，人们进行分析、研究，总结形成了“电路理论”这门学科。本课程的第一部分以分析电路中的电磁现象，研究电路的基本规律及电路的分析方法为主要内容，它是电路理论的入门课程，可为后续课程准备必要的电路知识。

1.1.1 电路与组成

电路是由各种电器元件按照一定方式连接而成，是电流的流通通路。

从电路的组成看，实际电路可以分成3部分：电源、负载和中间环节，其中电源的作用是为整个电路提供能量；负载则将电能转化成其他形式的能量；中间环节包括导线、开关及控制电路等，作为电源和负载的连接。例如照明电路中的电池为电源，灯为负载，导线和开关作为中间环节起连接作用。

现实中电路种类多样，譬如有传输、分配电能的电力电路；转换、传输信息的通信电路；控制各种家用电器和生产设备的控制电路等等。但从电路的功能来看可分为两大类：一种是实现能量的转换和传输，如电力系统的发电、传输等；另一种是实现信号的传递和处理，如通信电路、电视机电路等。



在电子技术领域中常把电源或信号源称为激励(或激励源),而激励源在电路中产生的电压和电流统称为响应。

1.1.2 电路模型

实际电路由各种作用不同的电路元器件组成,而电路元器件种类繁多,且电磁特性较为复杂。譬如,制作一个电阻器是为了利用它的电阻性质,通电时它将电能转换成热能;制作一个电源是利用它的两极间能保持有一定电压的性质,用来提供电能。但是实际电路元件的电磁特性往往不是唯一的。例如绕线式电阻除了具有消耗电能的性质外(电阻性),通电时还会产生微弱的磁场,具有电感的特性;电容器的作用是储存电能,但在充放电过程中还会发热,即还兼有电阻的特性等等。

为了便于对实际电路进行分析和计算,常把实际的电路元件加以理想化,在一定条件下忽略其次要的电磁性质,用能代表其主要电磁特性的理想模型来表示,称为实际电路元件的模型。反映具有单一电磁性质的实际元件的模型称为理想元件(或器件模型)。例如,灯的主要电磁特性是电阻性,同时还有电感特性,但电感微弱,可以忽略不计,于是可以用理想电阻元件来代表灯的电磁特性。

电路中常见的理想化元件有理想电阻元件、理想电感元件、理想电容元件、理想电源元件等。各种理想元件的电路符号如图 1-1 所示。

将实际电路中各个元器件用其模型符号表示,由理想模型元件所组成的电路图称为实际电路的电路模型图,简称电路图。

将实际元件理想化,分析实际电路的电路模型是研究电路的常用方法。

各种实际器件都可以用理想模型来近似地表征它的性能。有时根据需要也可将实际元件用一种或几种理想元件组合来表征。对于前面提到的照明电路,可以用一理想电阻元件来表征灯的特性,用 R 表示;电池除了对外提供电能的同时,内部也消耗一部分电能,所以用一个电压源 U_s 和一电阻 R_0 串联来表征。这样实际照明电路就可用图 1-2 的电路模型来表征。

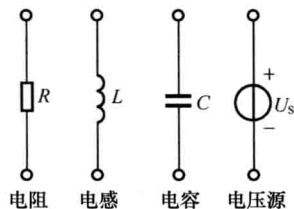


图 1-1 常见理想电路元件的符号

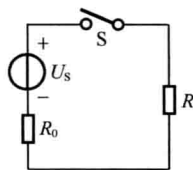


图 1-2 手电筒的电路模型

电路分析的对象不是实际电路,而是“电路模型”。建立的电路模型应能较准确地反映电路的真实情况,即电路模型计算的结果与实际电路测量结果的误差应在允许的范围之内。今后本书中未加特别说明时,所说的电路均指电路模型,所说的元件均指理想电路元件。

1.2 电路的基本物理量

为了定量地描述电路的性能及作用,常引入一些物理量作为电路变量来描述,电路分析的任



务就是求解这些变量。描述电路的变量最常用到的是电流、电压和功率。

1.2.1 电流

在电场力作用下,带电粒子的定向移动形成电流。如金属导体中的电子、电解液和电离子的气体中的自由离子、半导体中的电子和空穴,都属带电粒子或称为载流子。物体所带电荷的多少叫电量,用符号 q 或 Q 表示。在国际单位制中,电量的单位是库仑(国际代号 C)。一个电子或一个质子所带电量数值均为 1.6×10^{-19} 库仑。

单位时间内通过导体横截面的电量定义为电流强度,简称电流。用以衡量电流的大小,用符号 i 表示,即

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

习惯上规定正电荷运动的方向为电流的方向。

如果电流的大小和方向不随时间变化,则这种电流叫做稳恒电流,简称直流(简写作 dc 或 DC),一般用符号 I 表示。

如果电流的大小和方向都随时间变化,则称为交变电流,简称交流(简写作 ac 或 AC),一般用符号 i 表示。

在国际单位制(SI制)中,电流的单位是安培(国际符号为 A),常用单位还有毫安(mA)和微安(μA)。

$$1A = 10^3 mA = 10^6 \mu A$$

在求解电路时,往往事先难以确定电流的真实方向,而在交流电路中,就不可能用一个固定的箭头来表示真实方向。为了求解方便,在分析电路中,常常任意选定某一方向作为电流的正方向,称为电流的参考方向。用箭头表示,如图 1-3 所示。还可用双下标表示, I_{ab} 表示电流的参考方向由 a 到 b;如果参考方向选定为由 b 到 a,则写为 I_{ba} ,并且 $I_{ab} = -I_{ba}$ 。

注意:在求解时,所选电流的参考方向并不一定与电流的实际方向一致。当电流的实际方向与参考方向一致时,则电流为正值;当电流的实际方向与参考方向相反时,则电流为负值,如图 1-4 所示。在没有给定参考方向的情况下,讨论电流的正负是没有意义的。

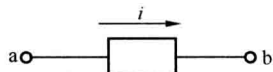


图 1-3 电流参考方向的表示

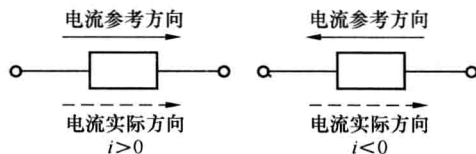


图 1-4 电流参考方向与实际方向关系

1.2.2 电压和电位

电荷在电路中流动,必然有能量的交换发生,即电荷在电路的某些部分获得能量而在另外一些部分失去能量。为便于研究这个问题,在分析电路时引入“电压”这一物理量。

电路中某两点 a、b 间的电压在数值上等于电场力将单位正电荷由 a 点移动到 b 点时所做的功。



用 dq 表示由 a 移到 b 的电荷量, dW 表示电场力对电荷做的功, 用 U_{ab} 或 u_{ab} 表示 ab 间电压, 则

$$u_{ab} = \frac{dW_{ab}}{dq} \quad (1-2)$$

电压的国际单位是“伏特”, 简称“伏”(V)。工程上常用的电压单位还有千伏(kV)、毫伏(mV)和微伏(μV)。

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

电压也有正负之分。如果正电荷由 a 移动到 b 电场力做正功, 这时 a 点为高电位, 即“+”极, b 点为低电位, 即“-”极, $U_{ab}>0$; 反之, 如果正电荷由 a 移动到 b 电场力做负功, 这时 a 点为低电位, b 点为高电位, $U_{ab}<0$ 。

在分析电路时同样需要为电压规定参考极性。与电流的参考方向一样, 电压的参考极性也是任意给定的, 一般是在元件的两端用“+”“-”符号来表示, 如图 1-5 所示。还可以用双下标表示, 如图 1-6 所示, 并有 $U_{ab}=-U_{ba}$ 。

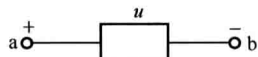


图 1-5 电压参考极性的表示

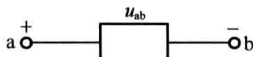


图 1-6 电压参考极性的双下标表示

在选定电压的参考极性后, 当电压的参考极性与实际极性一致时, 则电压为正值; 当电压的参考极性与实际极性相反时, 则电压为负值, 如图 1-7 所示。

大小和极性不变的电压称为直流电压(稳恒电压)。

【例 1-1】在图 1-5 中, 若 $U=1.5\text{V}$, 则表明 a 点实际电位比 b 点高 1.5V ; 若 $U=-1.5\text{V}$, 则表明 a 点实际电位比 b 点低 1.5V 。

参考方向是电路计算中的一个重要概念, 对此着重指出如下几点。

- (1) 电流、电压的实际方向是客观存在的, 而参考方向是人为选定的。
- (2) 当电流、电压的参考方向与实际方向一致时, 电流、电压值取正号, 反之取负号。
- (3) 在分析计算时, 都要先选定其参考方向, 否则计算得出的电流、电压正负值是没有意义的。
- (4) 电路中某一支路或元件的电压与电流的参考方向的选定, 常选一致的参考方向, 称为关联参考方向, 如图 1-8 (a) 所示; 也可选不一致的参考方向, 称为非关联参考方向, 如图 1-8 (b) 所示。

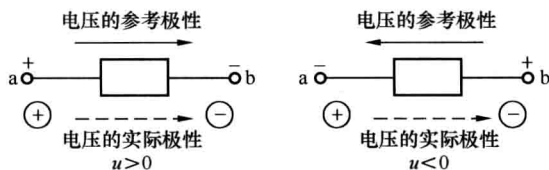


图 1-7 电压参考极性与实际极性关系

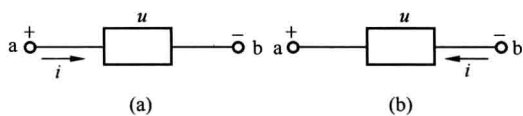


图 1-8 关联与非关联参考方向

分析电路时, 还常用到电位(或电势)的概念。若在电路中任选一点作为参考点, 则电路中某点的电位就是该点到参考点的电压, 规定参考点的电位为零。电位常用符号 V 表示, 如图 1-9 所示, 例如把 a 点的电位记作 V_a , 显然存在

$$\begin{aligned} V_a &= U_{a0} = V_a - V_0 & V_b &= U_{b0} = V_b - V_0 \\ U_{ab} &= V_{a0} + V_{0b} = V_{a0} - V_{b0} = V_a - V_b \end{aligned}$$



即在选定参考点后, 电路中任意两点间的电压等于这两点的电位之差。所选参考点不同, 电路中各点电位将不同, 但电路中任意两点间的电压将不变, 与参考点的选择无关。

在电子电路中, 常常把电源、信号输入和输出的公共端接在一起并与机壳相接, 作为参考点, 因此, 机壳往往被称为“地”或叫“参考地”, 虽然它并不真与大地相连接。在测试中, 常把电压表的“-”端与机壳相连, 而以“+”端依次接触电路中各点, 电压表的读数即为各点的电位(注意: 电压表正偏时电位标“+”, 反之, 标“-”)。由此, 电子电路中有一种简化的画法, 即电源不用图形符号表示而改为只标出其极性与电压值, 如图 1-10 所示。

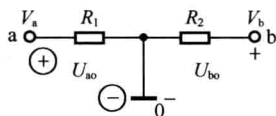


图 1-9 电位与电压

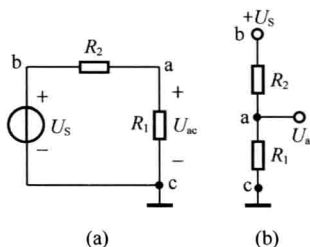


图 1-10 电子电路简化法

1.2.3 电功率和电能

在电路中常用一个方框和两个引出端表示任意一个二端元件, 如图 1-11 (a) 所示。当正电荷在电场力的作用下, 从元件 A 的“+”极端(高电位)经元件 A 移到“-”极端(低电位), 这时电场力(克服导体阻力)对电荷做了正功, 该元件吸收了电能, 相反, 若正电荷是从元件 A 的低电位移到高电位, 这时外力克服电场力做功, 该元件发出了电能, 如图 1-11 (b) 所示。

把单位时间内元件吸收或发出的电能称为电功率, 简称功率, 用 p 表示, 即

$$p(t) = \frac{dW(t)}{dt} \quad (1-3)$$

功率的国际单位是瓦特 (W), 常用单位还有千瓦 (kW)、毫瓦 (mW)。

由式 (1-3) 可得

$$p(t) = \frac{dW(t)}{dt} = \frac{dW(t)}{dq} \times \frac{dq}{dt} = u i \quad (1-4)$$

在直流电路中, 功率表达式为

$$P = UI \quad (1-5)$$

在电压和电流为关联参考方向时, 如图 1-11 (a) 所示, 式 (1-4) 和式 (1-5) 计算的功率 p 表示的是元件 A 吸收的功率。

在电压和电流为非关联参考方向时, 如图 1-11 (b) 所示, 上两式表示的是元件发出的功率。为了计算和叙述方便, 我们通常计算元件吸收的功率, 这样, 在非关联参考方向下, 元件吸收功率表达式表示为

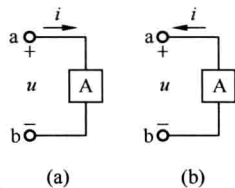


图 1-11 元件吸收和发出能量

$$P = -UI \quad (1-6)$$

式(1-5)和式(1-6)两公式计算的结果意义相同,即当 $P > 0$,表示该元件实际吸收电能;当 $P < 0$ 时,表示该元件实际发出电能。

根据能量守恒原理,在闭合电路中,一部分元件发出的功率一定等于其他部分元件吸收的功率,或者说,整个电路的功率代数和为零。

在关联参考方向下,电路元件在 $t_0 \sim t$ 时间内消耗(吸收)的电能为

$$W = \int_{t_0}^t p dt = \int_{t_0}^t u i dt \quad (1-7)$$

直流时为

$$W = P \cdot (t - t_0)$$

电能的单位为焦耳,符号为J。实际生活中还常用千瓦时($\text{kW} \cdot \text{h}$)作为电能的单位,1千瓦时即1度电。

$$1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 10^3 \text{ W} \times 3600 \text{ s} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

【例1-2】如图1-11所示,若已知图1-11(a)中 $u=5\text{V}$, $i=-2\text{A}$;图1-11(b)中 $u=10\text{V}$, $i=2\text{A}$;试计算各元件吸收或发出的功率。

解:(1)在图1-11(a)中,电压、电流为关联参考方向,则根据公式(1-4)元件A吸收的功率为

$$p = ui = 5 \times (-2) = -10 \text{ W}$$

元件A吸收-10W的功率,即发出10W的功率。

(2)在图1-11(b)中,电压、电流为非关联参考方向,则根据公式(1-6)元件A吸收的功率为

$$p = -ui = -10 \times 2 = -20 \text{ W}$$

元件吸收-20W的功率,即发出了20W的功率。

1.3 电路的基本元件

电阻器、电容器和电感线圈是电工和电子电路中应用极为广泛的3个基本元件。本节主要介绍它们的电磁特性及其电压、电流的约束关系。

1.3.1 电阻元件

1. 电阻

实际电阻器是用具有不同导电能力的材料制成的。当电流流经电阻器时,定向移动的带电粒子由于受到阻碍作用而失去电能量,同时使导体发热,把电能转换成为热能。电阻器在电路中要消耗电能,因此也叫耗能元件。

电阻器在电路中对电流的阻碍作用的大小用电阻量来表示,简称电阻,符号用 R 表示。

电阻的国际单位为欧姆(Ω),常用单位还有千欧($\text{k}\Omega$)、兆欧($\text{M}\Omega$)。

$$1 \text{ M}\Omega = 10^3 \text{ k}\Omega \quad 1 \text{ k}\Omega = 10^3 \Omega$$

电阻的大小与材料的性质和几何尺寸有关,对于粗细均匀的金属导体,其电阻为



$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-8)$$

式中, ρ 为材料的电阻率, L 为材料的长度, S 为材料的横截面积。

电阻的倒数称为电导, 它是表示材料导电能力的一个参数, 用符号 G 表示。

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-9)$$

电导的国际单位是西门子 (S), 简称西。

2. 电阻元件

电阻元件是从实际电阻器抽象出来的理想模型。

在讨论各种理想元件的性能时, 重要的是确定各元件的端电压与端电流的关系, 这种关系称为元件的伏安关系 (VAR), 也叫元件的约束条件。元件的伏安关系是电路分析的基础理论之一。

在关联参考方向下, 若元件的伏安关系满足欧姆定律, 即

$$u(t) = Ri(t) \quad (1-10)$$

那么, 这个元件是电阻元件, R 为这种元件的电阻。当 R 为常数时, 这种电阻元件叫线性电阻元件。电阻元件的电路符号如图 1-12 (a) 所示。

若把电阻元件的端口电压作为纵坐标, 电流作为横坐标, 绘出 $u-i$ 平面上的曲线, 这条曲线称为电阻元件的伏安特性曲线。线性电阻的伏安曲线如图 1-13 (a) 所示, 是一条过原点的直线。

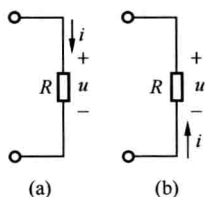


图 1-12 电阻元件电流电压关系

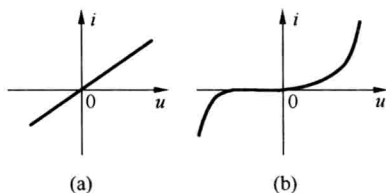


图 1-13 电阻元件的伏安特性曲线

需特别注意: 若电压、电流的参考方向为非关联方向, 如图 1-12 (b) 所示, 则线性电阻元件的伏安关系应为

$$u(t) = -Ri(t) \quad (1-11)$$

在工程上, 还有许多电阻元件, 它们的伏安关系是一条曲线, 这样的电阻元件称为非线性电阻元件。如图 1-13 (b) 所示曲线是二极管的伏安特性曲线, 所以二极管是一个非线性电阻元件。

严格地说, 实际电路器件的电阻都是非线性的, 如灯泡的灯丝电阻, 当电压不同时其电阻也有变化, 但当在一定范围内工作时, 可近似地把它看成线性电阻。

今后若未加特殊说明, 本书中所有电阻元件均指线性电阻元件。

【例 1-3】试求如图 1-14 所示电路中的未知量, 其中 $R=5\Omega$ 。

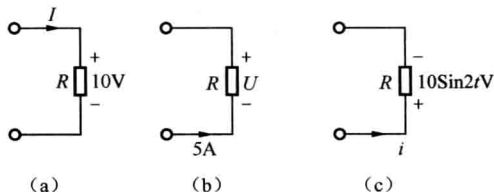


图 1-14 例 1-3 图



解: (1) 在图 1-14 (a) 中, 电压、电流为关联参考方向, 所以

$$I = \frac{U}{R} = \frac{10}{5} = 2\text{A}$$

(2) 在图 1-14 (b) 中, 电压、电流为非关联参考方向, 所以

$$U = -RI = -5 \times 5 = -10\text{V}$$

(3) 在图 1-14 (c) 中, 电压、电流为关联参考方向, 所以

$$i = \frac{u}{R} = \frac{10\sin 2t}{5} = 2\sin 2t(\text{A})$$

1.3.2 电容元件

1. 电容元件

电容元件是一种储存电能的元件, 它是各种电容器的理想化模型, 其电路符号如图 1-15 所示。

在外电源的作用下, 电容器的两极板将分别聚集上等量的异号电荷。外电源撤走后, 这些电荷依靠电场力的作用相互吸引而能长久地储存下去。因此, 电容器是一种能储存电荷的器件。电容器储存电荷的同时, 在两极板间建立了电场, 储存了电场能量。理想的电容器是指只具有存储电能, 而没有任何其他作用的器件。

若电容器所带电荷量 q 与端电压 u 成线性关系, 即满足

$$q = Cu \quad (1-12)$$

C 为常数, 称为线性电容元件。

电容所带电量与端电压的比值叫做电容元件的电容值, 简称电容, 用 C 表示。

电容 C 是衡量电容元件储存电荷本领大小的参数, 其大小完全由电容器本身决定, 与所带电量的多少无关。其中平行板电容器的电容表达式为

$$C = \varepsilon \frac{S}{d}$$

电容的国际单位为法拉 (F), 简称法。常用单位还有微法 (μF) 和皮法 (pF)。

$$1\text{F} = 10^6 \mu\text{F} = 10^{12} \text{pF}$$

2. 电容元件的伏安关系

在如图 1-15 所示的关联参考方向下, 由 $q = Cu$ 和 $i = \frac{dq}{dt}$, 得电容元件的端电压与电流关系为

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt} \quad (1-13)$$

式 (1-13) 叫做电容元件的伏安关系 (或伏安特性)。

当 $u > 0$, 且 $du/dt > 0$ 时, 电容器极板上的电荷逐渐增多, 这就是电容器的充电过程, 此时, $i > 0$, 电流的实际方向与图中的参考方向相同; 当 $u > 0$, 但 $du/dt < 0$ 时, 电容器极板上电荷逐渐减少, 表示电容器在放电, 此时, $i < 0$, 电流的实际方向与图 1-15 中的参考方向相反。

若选电容元件的电压、电流参考方向为非关联时, 则其伏安关系为

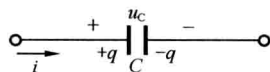


图 1-15 电容的符号



$$i = -C \frac{du}{dt} \quad (1-14)$$

由电容的伏安关系可知,任一瞬间,电容电流的大小与该瞬间的电压变化率成正比,而与这一瞬间的电压大小无关。即使电容两端电压很高,但不变化,通过电容器的电流仍为零。相反,当电容的电压瞬间为零时,其电流不一定为零。由于在电压变动的条件下才有电流,所以电容元件又称动态元件。含动态元件的电路称为动态电路。

在直流电路中,电容电压保持不变,流经电容的电流为零,因此相当于电路开路。

3. 电容元件的储能

在关联参考方向下,电容元件吸收的电功率为

$$p = ui = Cu \frac{du}{dt}$$

电容元件从 $u(t_0)=0$ 增大到 $u(t)$ 时,总共吸收的能量,即这时电容储存的电场能量为

$$W_c = \int_{t_0}^t p dt = \int_{t_0}^t u i dt = \int_0^u C u du = \frac{1}{2} C u^2(t) \quad (1-15)$$

1.3.3 电感元件

1. 电感元件

电感元件是实际电感线圈的理想化模型。

假设电感元件是由无电阻的导线绕制而成的线圈。当线圈中通有电流时,在线圈中就建立了磁场,这时线圈存储了磁场能,因此,电感线圈是一种能够储存磁场能的电器元件。理想的电感元件是只产生磁通(储存磁场能量)的作用而无任何其他作用的元件。

电流通过线圈时产生的磁通用 Φ 表示,磁通与 N 匝线圈相交链的总磁通 $N\Phi$ 叫磁链,用 Ψ 表示,则 $\Psi = N\Phi$, 如图 1-16 所示。

磁通 Φ 和磁链 Ψ 是由线圈本身的电流产生的,分别叫做自感磁通和自感磁链。规定 Φ 和 Ψ 的参考方向与产生它的电流参考方向之间满足右螺旋定则,如图 1-17 所示。在这种参考方向下,任何线性电感元件的自感磁链 Ψ 与电流 i 是成正比的,即

$$\Psi = Li \quad (1-16)$$

式中 L 称为该电感元件的自感或电感,线性电感元件的电感为一常数。

即

$$L = \frac{\Psi}{i} \quad (1-17)$$

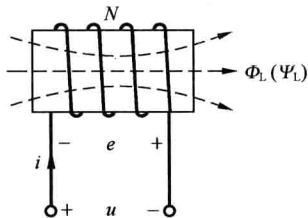


图 1-16 电感线圈

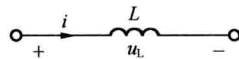


图 1-17 电感元件符号