



高等职业教育电子信息类“十一五”规划教材

GAODENG ZHIYE JIAOYU DIANZI XINXI LEI SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI

- 主 编 彭林茹
- 副主编 宋俐荣 唐 静 蔡 黎
- 主 审 罗光伟



实用电工基础 教程

SHIYONG DIANGONG JICHU JIAOCHENG



电子科技大学出版社

高等职业教育电子信息类“十一五”规划教材

实用电工基础教程

主 编 彭林茹

副主编 宋俐荣 唐 静 蔡 黎

主 审 罗光伟

电子科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

实用电工基础教程 / 彭林茹主编. —成都:
电子科技大学出版社, 2007.1
高等职业教育电子信息类“十一五”规划教材
ISBN 978-7-81114-299-0

I. 实... II. 彭... III. 电工学—高等学校:
技术学校—教材 IV. TM1

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第011711号

内容简介

本书是为适应 21 世纪高职高专教育教学内容和课程体系改革的需要而编写的教材, 读者对象主要是高等职业教育层次的学生, 本书也可供高等教育自学考试的学生参考。依据高等职业教育的特点, 本书力求做到深入浅出, 通俗易懂, 逻辑线索清晰, 内容科学严谨, 物理概念明晰。本书强调实际电工的计算能力及解决实际问题的能力的培养。

本书讲述了电路的基本概念和基本定律、直流电路的分析方法、正弦交流电路的分析、三相正弦交流电路、一阶直流激励下的动态电路、互感电路的基本知识以及相关的实验指导。在内容取舍上, 强调基本理论以必需、够用为原则, 贯彻少而精, 启发式, 培养学生独立思考、富于联想、触类旁通的发散思维能力的原则; 在联系实际上, 要求是基本理论的自然延续、有机结合, 也以必需、够用为原则。本书注重培养学生尊重科学、尊重客观规律、勇于实践、大胆探索的精神, 以及将实际经验上升到理论高度的能力。

高等职业教育电子信息类“十一五”规划教材

实用电工基础教程

主 编 彭林茹

副主编 宋俐荣 唐 静 蔡 黎

主 审 罗光伟

出 版: 电子科技大学出版社(成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦 邮编: 610051)
策划编辑: 朱 丹
责任编辑: 江进优
主 页: www.uestcp.com.cn
电子邮件: uestcp@uestcp.com.cn
发 行: 新华书店经销
印 刷: 成都蜀通印务有限责任公司
成品尺寸: 185mm×260mm 印张 12.625 字数 304 千字
版 次: 2007 年 2 月第一版
印 次: 2007 年 2 月第一次印刷
书 号: ISBN 978-7-81114-299-0
定 价: 19.80 元

■ 版权所有 侵权必究 ■

- ◆ 邮购本书请与本社发行部联系。电话: (028) 83202323, 83256027
- ◆ 本书如有缺页、破损、装订错误, 请寄回印刷厂调换。
- ◆ 课件下载在我社主页“下载专区”

电子科技大学出版社

前 言

本教材是为适应 21 世纪高职高专教育教学内容和课程体系改革的需要而编写的。编者进行了大量的调研,参考了国内外相关的教材,力求继承传统性,增强应用性,反映先进性。

本书编写的特点为:在传统理论上,以理论必需、够用为原则,注重理论与实际的结合,加强实际应用的内容,侧重于培养学生解决生产实际问题的能力;以实际的认识规律建立模型,阐述理想元件的定义与实际器件的辩证关系;编写时降低了理论深度,精选了教材内容,增加了例题的数量和类型。每章后面有小结与习题,习题配有参考答案。

全书共分六章,并配有实验指导。第一章 电路的基本概念和基本定律;第二章 直流电路的分析方法;第三章 正弦交流电路的分析;第四章 三相正弦交流电路;第五章 一阶直流激励下的动态电路;第六章 互感电路及习题参考答案。

全书由四川工程职业技术学院彭林茹主编并统稿。

本书第一章、第五章由四川工程职业技术学院蔡黎编写,第二章第一、二、五、六、七、八节由四川邮电职业技术学院宋俐荣编写,第二章第三、四节、第三章由四川工程职业技术学院彭林茹编写,第四章、第六章由辽宁信息职业技术学院唐静编写。

本书的编写和统稿工作,得到了四川工程职业技术学院电气信息工程系领导的大力支持和同行的帮助,得到了各参加编写的老师的积极配合。在全体编写成员的共同努力下,按时完成了本书的编写任务,谨致以衷心的感谢!

限于编者水平,错误和不恰当之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者
2006 年 11 月

目 录

第一章 电路的基本概念与基本定律.....	1
1.1 电路和电路模型.....	1
1.1.1 电路.....	1
1.1.2 电路模型.....	1
1.2 电路的基本物理量.....	2
1.2.1 电流.....	2
1.2.2 电压.....	2
1.2.3 电位.....	3
1.2.4 电流与电压的参考方向.....	3
1.2.5 电功率.....	4
1.3 电阻、电感、电容元件和理想电源.....	5
1.3.1 电阻元件及其伏安特性.....	5
1.3.2 电容元件及其伏安特性.....	6
1.3.3 电感元件及其伏安特性.....	7
1.3.4 理想电源.....	8
1.4 基尔霍夫定律.....	9
1.4.1 基尔霍夫电流定律(简称 KCL).....	9
1.4.2 基尔霍夫电压定律(简称 KVL).....	10
本章小结.....	11
习题一.....	12
实验一 认知实验.....	14
实验二 基尔霍夫定律的验证.....	19
第二章 直流电路分析方法.....	22
2.1 电阻的串联、并联、混联及等效电阻.....	22
2.1.1 电阻的串联及分压.....	22
2.1.2 电阻的并联及分流.....	23
2.1.3 电阻的混联.....	25
2.2 星形网络与三角形网络的等效变换.....	26
2.3 电位的计算.....	29
2.3.1 电位的计算方法.....	29
2.3.2 电子线路的习惯画法.....	31
2.4 电压源与电流源及其等效变换.....	32
2.4.1 实际电源的两种模型及其等效变换.....	32
2.4.2 几种含源支路的等效变换.....	34

2.5	网孔电流法.....	36
2.5.1	网孔电流概念.....	36
2.5.2	网孔方程的编写.....	37
2.5.3	网孔方程的一般形式.....	37
2.6	节点电位法.....	40
2.7	叠加定理.....	45
2.8	戴维南定理与诺顿定理.....	48
2.8.1	戴维南定理.....	48
2.8.2	诺顿定理.....	51
	本章小结.....	51
	习题二.....	52
	实验三 电阻串并联的实验.....	58
	实验四 叠加定理的验证.....	61
	实验五 自拟实验方案验证戴维南定理.....	63
第三章	正弦交流电路的分析.....	67
3.1	正弦量的基本概念.....	67
3.1.1	正弦量的三要素.....	67
3.1.2	交流电的有效值.....	70
3.2	正弦量的相量表示法.....	71
3.2.1	复数及其运算.....	72
3.2.2	正弦量的相量表示法.....	73
3.2.3	相量形式的基尔霍夫定律.....	75
3.3	单一参数的正弦交流电路.....	75
3.3.1	电阻元件的正弦交流电路.....	75
3.3.2	电感元件的正弦交流电路.....	78
3.3.3	电容元件的正弦交流电路.....	81
3.4	RLC 串联电路及复阻抗.....	84
3.4.1	RLC 串联电路电压、电流间的关系.....	84
3.4.2	RLC 串联电路的阻抗.....	86
3.4.3	RLC 串联电路的功率.....	87
3.5	RLC 并联电路及复导纳.....	90
3.5.1	RLC 并联电路.....	90
3.5.2	实际线圈与电容器并联的电路.....	93
3.6	阻抗的串并联.....	96
3.7	功率因数的提高.....	98
3.8	谐振电路.....	101
3.8.1	串联谐振.....	101
3.8.2	并联谐振.....	103
	本章小结.....	105

习题三.....	107
实验六 电阻器、电容器、电感器的使用实验.....	111
实验七 交流电路参数测试实验.....	115
实验八 RLC 串联谐振电路实验.....	119
实验九 日光灯电路及功率因数的提高.....	122
第四章 三相正弦交流电路.....	126
4.1 三相电路.....	126
4.1.1 三相电源.....	126
4.1.2 三相负载.....	130
4.2 对称三相电路分析.....	134
4.3 不对称三相电路分析.....	138
4.4 三相电路的功率及其测量.....	140
4.4.1 三相电路的功率.....	140
4.4.2 功率的测量.....	142
本章小结.....	143
习题四.....	144
实验十 三相交流星形负载电路.....	146
实验十一 三相交流三角形负载电路.....	148
第五章 一阶直流激励下的动态电路.....	151
5.1 电路的动态过程及初始值的计算.....	151
5.1.1 电路产生过渡过程的原因.....	151
5.1.2 换路定律.....	152
5.1.3 初始值的计算.....	152
5.2 RC 电路的零输入响应、零状态响应及全响应.....	154
5.2.1 RC 串联电路的零输入响应.....	154
5.2.2 RC 串联电路的零状态响应.....	156
5.2.3 RC 串联电路的全响应.....	158
5.3 RL 电路的零输入响应、零状态响应及全响应.....	159
5.3.1 RL 串联电路的零输入响应.....	159
5.3.2 RL 串联电路的零状态响应.....	160
5.3.3 RL 串联电路的全响应.....	161
5.4 一阶电路的三要素法.....	162
本章小结.....	164
习题五.....	164
第六章 互感电路.....	166
6.1 互感.....	166
6.1.1 互感现象.....	166

6.1.2	互感系数.....	167
6.1.3	耦合系数.....	167
6.1.4	互感电压.....	168
6.2	同名端及其判定.....	169
6.2.1	同名端.....	169
6.2.2	同名端的测定.....	170
6.2.3	同名端的应用.....	170
6.3	具有互感电路的计算.....	172
6.3.1	互感线圈的串联.....	172
6.3.2	互感线圈的并联.....	173
6.3.3	T型连接.....	175
6.4	空心变压器.....	176
	本章小结.....	179
	习题六.....	180
	实验十二 变压器特性测试.....	181
	实验十三 互感电路观测.....	185
	参考文献.....	188
	习题参考答案.....	189

第一章 电路的基本概念与基本定律

【学习目标】

1. 了解电路的组成及电路、电路模型的概念。
2. 了解电阻、电感、电容元件的伏安特性。
3. 理解理想电源的特点及外部特性。
4. 掌握电流、电位、电压、功率的概念及电压、电流的参考方向。
5. 掌握支路、节点、回路、网孔的定义。
6. 掌握欧姆定律、基尔霍夫定律的内容及应用。

1.1 电路和电路模型

1.1.1 电路

电路是由若干电气元件按一定方式组合起来的整体，它提供了电流流过的路径。如图 1-1 所示，当合上开关时，因电流流过小电珠，小电珠就发光。干电池、小电珠、开关和连接导线就构成了一个最简单的实际电路。

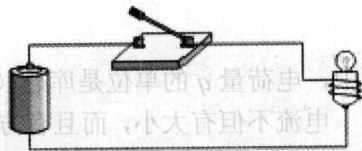


图 1-1 实际电路

一般电路都是由电源、负载、开关和连接导线四个基本部分组成的。电源是电路中电能的来源，它的本质是将其它形式的能转换为电能。常见的电源有干电池、蓄电池和发电机等。负载通常也称为用电器，它将电能转换成其它形式的能量。如电灯可将电能转换成光能，电炉和电烙铁可将电能转变成热能，扬声器可将电能转变成声能，而电动机则可以把电能转变成机械能等。开关是控制电路接通或断开的器件。连接导线担负传输或分配电能的任务。

电路一般有三种状态：

通路 指处处连通的电路。通路也称闭合电路，简称闭路。此时电路有工作电流。

开路 指电路中某处断开、不成通路的电路。开路也称断路，此时电路中无电流。

短路 指电路中负载（或部分负载）被短接。如负载或电源两端被导线连接在一起，就称为短路。短路也称为捷路，此时电源提供的电流将比通路时提供的电流大很多倍。一般不允许短路。

1.1.2 电路模型

为了便于对实际的复杂问题进行研究，在工程中常采用一种“理想化”的科学抽象方法，把电路实体中的各种电器设备和元器件用一些能够表征它们主要电磁特性的理想元件（模型）来代替，而对它的实际结构、材料、形状等非电磁特性不予考虑。例如电阻元件具有消耗电能的特性，我们便将具有这一特性的电灯、电炉等实际元件用抽象的理想电阻元件来近似替代。在今后的学习中，我们所接触到的电阻、电感、电容和电源元件，若没有特殊说明，

均为理想元件。

用理想元件构成的电路叫做实际电路的电路模型,也叫做实际电路的电路原理图,简称为电路图。例如,图 1-1 所示实际电路,其电路模型如图 1-2 所示。它由一个理想电压源供电,负载是一个理想电阻元件,中间是一个控制电路接通或断开的开关。

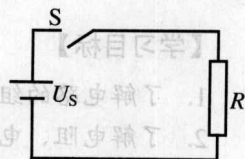


图 1-2 电路模型

1.2 电路的基本物理量

1.2.1 电流

电荷作有规则的定向运动形成电流。在金属导体中,电流是自由电子在电场力作用下作有规则运动形成的。在某些液体或气体中,电流则是正负离子在电场力作用下有规则运动形成的。

表征电流强弱的物理量叫电流强度,简称电流。这样一来,“电流”一词既可以指一种物理现象,又可以指一种物理量。

电流强度在数值上等于单位时间内通过导体横截面的电荷量。假设 dt 时间内通过导体横截面的电荷量为 dq , 则电流 i 为:

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

式中,电荷量 q 的单位是库仑 (C); 时间 t 的单位是秒 (s); 电流 i 的单位是安培 (A)。

电流不但有大小,而且有方向。习惯上规定正电荷移动的方向为电流的方向。在金属导体中,虽然电流实际上是自由电子定向移动形成的,但其效果和等量的正电荷反向流动完全相同,因此电流方向和电子流方向相反。

电流可能随时间变动,也可能不随时间变动。随时间而变的电流就叫做变动电流,用小写字母 i 表示。大小和方向都不随时间变化的电流则称为恒定电流,简称直流,用大写字母 I 表示。

对于直流电流,单位时间内通过导体横截面的电荷量是恒定不变的,则电流 I 为:

$$I = \frac{q}{t} \quad (1-2)$$

1.2.2 电压

电压又称电位差,是衡量电场做功本领大小的物理量。在电路中,把电场力将单位正电荷从 a 点移动到 b 点所做的功称为 a, b 两点间的电压。假设有正电荷 dq 在电场力的作用下,从 a 点移动到 b 点,电场力做的功为 dW , 则 a, b 两点间的电压为:

$$u_{ab} = \frac{dW_{ab}}{dq} \quad (1-3)$$

式中, W 的单位是焦耳 (J); q 的单位是库仑 (C); u_{ab} 的单位是伏特 (V)。

电压总是指两点之间而言,所以用双下标 ab 表示,前一个下标 a 代表起点(正电荷运动的起点),后一个下标 b 代表终点。电压的方向则由起点指向终点。

电压是一个代数量,当正电荷顺着电场方向由 a 点移向 b 点时,电场力做正功, $u_{ab} > 0$;

逆着电场方向由 a 点移向 b 点时，电场力做负功（外力做正功），则 $u_{ab} < 0$ 。

按电压随时间变动的情况，可以把电压分成“变动电压”和“恒定电压”。如果电压的大小和方向都不随时间变动，这样的电压就叫做恒定电压，用大写字母 U 来表示。

显然，对于恒定电压，在任何时刻电场力将电荷 q 从 a 点移向 b 点所做的功 W_{ab} 都是相同的，式 (1-3) 可以简化成：

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{q} \quad (1-4)$$

1.2.3 电位

电路中某点与参考点间的电压称为该点的电位。通常把参考点的电位规定为零电位。电位的符号通常用带脚标的字母 V 表示，如 V_a 表示 a 点的电位。电位与电压的单位相同。

参考点在电路图中常用符号“ \perp ”表示。参考点的选择是任意的，选取不同的点作为电位参考点，电路中各点的电位数也就不同了。但是，电位参考点一经选定后，电路中各点的电位便有一固定的数值。

现在来讨论电路中任意两点 a 和 b 的电位 (V_a 和 V_b) 与这两点间的电压 (U_{ab}) 之间的关系。因为

$$V_a = U_{a0} \quad V_b = U_{b0}$$

而

$$V_a - V_b = U_{a0} - U_{b0} = U_{a0} + U_{0b}$$

这个 $U_{a0} + U_{0b}$ 就是电场力将单位正电荷从 a 点经过电位参考点 0 点再移到 b 点所做的功，也就是 a 、 b 两点之间的电压 U_{ab} ，这样一来，我们可以写出

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-5)$$

即电路中两点之间的电压等于这两点之间的电位差。所以，电压又有“电位差”之称。由于在电场力作用下，正电荷总是由高电位点移向低电位点，因此在引入了电位概念之后，也可以说，电压的实际方向是由高电位点指向低电位点。

电位和电位差的异同点是：①电位是某点对参考点的电压，电位差是某两点间的电压。因此电位相同的各点间的电位差为零，电流也为零；②电位是相对值，随参考点的改变而改变，而电位差的绝对值不随参考点的改变而改变。

1.2.4 电流与电压的参考方向

前面提到电流的方向是指它的实际方向，它是正电荷运动的方向；电流在导线中的流动方向只有两种可能，如图 1-3 中，它或是从左向右，或是从右向左。在分析电路时，有时对某一段电路中的电流实际方向很难立刻判断出来，有时电流的方向还在不断地改变。由于这些原因，引入了电流参考方向的概念。电流的参考方向是一个任意选定的方向。如果电流的实际方向与参考方向一致时，就把电流定为正值；反之，当电流的实际方向与参考方向相反时，电流就取负值（见图 1-3 (a)、(b)）。所以电流的参考方向有时又称为电流的正方向。这样一来，电流就变为一个代数数量了，它有正有负。电流的参考方向不一定是电流实际流动的方向，这两个方向是有区别的；但是有了电流的参考方向，并且知道了电流的正

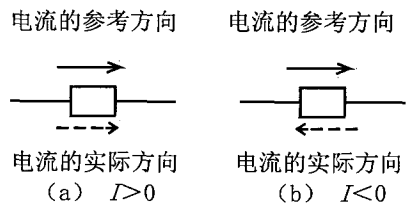


图 1-3 电流的参考方向

负，便完全确定了电流的实际方向。

对于电压的参考方向，也可以任意选定，它与电流参考方向的选定原是独立无关的。但是为了方便起见，在外电路常常使电压和电流两者的参考方向一致，称为关联参考方向，这样在电路图上有时只需标明一个参考方向（电流或电压）。选定电压的参考方向之后，如果计算结果电压为正，说明实际方向与参考方向一致；如果计算结果电压为负，则说明实际方向与参考方向相反。

参考方向在电路中一般用实线箭头表示，也可以用双下标表示，如 I_{ab} 、 U_{ab} 等，其参考方向由 a 指向 b 。除此之外，电压参考方向还可以用“参考极性”的标注方法来表示，即在电路或元件两端标以“+”、“-”符号，“+”号表示假设为高电位端，“-”号表示假设为低电位端，由高电位端指向低电位端的方向就是假设的电压的参考方向。

【例 1-1】图 1-4 所示二端元件上所标明的电流（电压）方向都是参考方向。已知它们都是耗能元件。试选取其电压（电流）参考方向，并说明其实际方向。

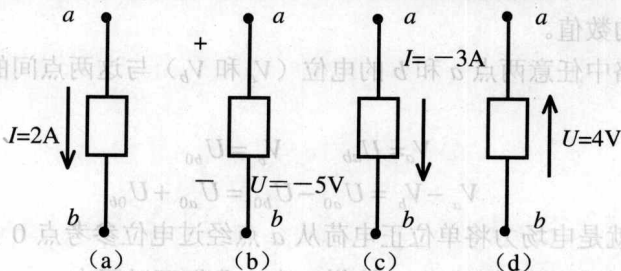


图 1-4 例 1-1 图

解：(a) 对于耗能元件，习惯上选择电压参考方向与电流参考方向一致，即 a 端为正， b 端为负，现 I 为正值，即实际方向与参考方向一致， V_a 高于 V_b 。

(b) 选取电流参考方向由 a 指向 b ，因 U 为负值，所以 V_a 低于 V_b 5V，电流实际由 b 点流入， a 点流出，或者说电流实际方向由 b 指向 a 。

(c) 选取电流参考方向由 a 指向 b ，因 I 为负值，所以电流和电压的实际方向都是由 b 指向 a 。

(d) 选取电压参考方向由 b 指向 a ，因 U 为正值，所以电流和电压的实际方向都与参考方向一致。

1.2.5 电功率

在直流电路中，根据电压的定义，电场力所做的功是 $W_{ab} = qU_{ab}$ ，单位时间内电场力所做的功称为功率，用字母 P 表示，单位为瓦特 (W)。

$$P = \frac{qU}{t} = UI \quad (1-6)$$

【注意】式 (1-6) 中 U 、 I 为关联参考方向；若 U 、 I 参考方向相反，则应改写为：

$$P = -UI \quad (1-7)$$

根据式 (1-6) 和式 (1-7) 计算功率时，若计算结果 $P > 0$ ，则说明该元件是耗能元件；若计算结果 $P < 0$ ，则是供能元件。

当已知设备的功率为 P 时，则 t 秒时间内消耗的电能为：

$$W = Pt \quad (1-8)$$

电能就等于电场力所做的功，单位是焦耳 (J)，在电工中，直接用瓦特·秒 ($W \cdot s$) 作单位。实用上则用千瓦·小时 ($kW \cdot h$) 作单位，俗称 1 度电。

1.3 电阻、电感、电容元件和理想电源

1.3.1 电阻元件及其伏安特性

1. 电阻与电阻元件

电流通过导体时会受到一种阻碍作用，这种阻碍作用最明显的特征是导体要消耗电能而发热。我们把物体对电流的阻碍作用称为电阻。物体的电阻与其本身的材料性质、几何尺寸以及所处的环境（如温度等）有关。电阻用字母 R 表示，其单位为欧姆 (Ω)。

电阻元件是一种理想的电路元件，具有消耗电能的性质，其电路符号如图 1-5 所示。实际电路中的电灯、电炉、电烙铁等以消耗电能为主要特征的电路器件在电路模型中都可以用电阻元件来表示。电阻元件通常简称为电阻，因此“电阻”一词既可以指一种元件，又可以指元件的一种性质。

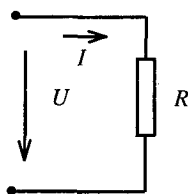


图 1-5

2. 电阻元件的伏安特性

元件两端的电压 U 与通过该元件的电流 I 之间的关系，称为元件的伏安特性。根据欧姆定律，电阻元件的伏安特性为

$$U = RI \quad (1-9)$$

式 (1-9) 是在电压和电流为关联参考方向下，即电压和电流的参考方向一致的条件下的欧姆定律的表达式。若电压和电流的参考方向相反，则式 (1-9) 应改写为：

$$U = -RI$$

电阻的倒数称为电导，是表征元件导电能力的电路参数，用 G 代表。

$$G = \frac{1}{R}$$

电导的单位是西门子，简称西，符号为 S。

因此，欧姆定律也可以写成：

$$I = GU$$

以元件上的电压和电流作为直角坐标系的横坐标和纵坐标，画出元件的 $U-I$ 函数关系曲线，称为元件的伏安特性曲线。线性电阻 (R 为常数) 的伏安特性曲线是一条通过原点的直线，如图 1-6 所示。对于线性电阻，当电压随时间变化时，电流也是时间函数，它们之间仍是线性关系，即：

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

(8-1)

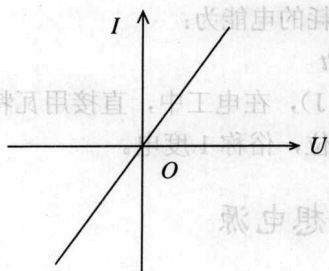


图 1-6 电阻元件的伏安关系

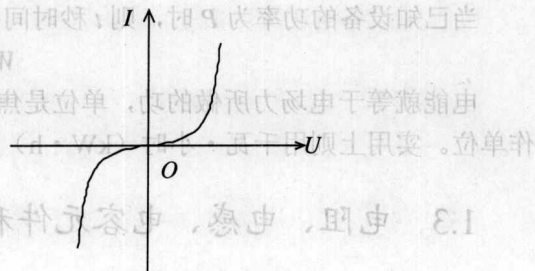


图 1-7 二极管的伏安关系

但是，有一些元件的伏安特性不是线性关系，如图 1-7 给出的二极管的伏安特性曲线，就是非线性的，其电压和电流的比值是变化的。我们把这种元件称为非线性电阻，非线性电阻元件的伏安特性不服从欧姆定律。

1.3.2 电容元件及其伏安特性

1. 电容元件

在电路中经常用到一种叫做电容器的电路元件，其种类很多，但就其构成原理来说基本上是相同的。两个金属板中间用介质（空气、纸、云母等）隔开，便组成电容器。

如果将电容器的两个极板与一直流电源接通，则两个极板将分别聚集起等量的异种电荷，称电容器被充电。将充了电的电容器从电源上拆下，电荷仍将保持在极板上，可见电容器是一种能够储存电荷的实际电路元件。

电容元件（简称电容）是一种理想的电路元件，如果忽略实际电容器工作时的介质损耗和漏电流，就可以用电容元件来表示实际的电容器。在电路中，电容元件的符号如图 1-8 所示。

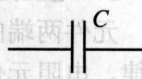


图 1-8

对于一个电容元件来说，其极板间的电压 u 越大，极板上携带的电荷量 q 也越多，我们把 q 与 u 的比值称为电容元件的电容量（简称电容），用符号 C 表示，即：

$$C = \frac{q}{u} \quad (1-11)$$

式中，电容量的国际单位为法拉（F）。由于实际电容器的电容量往往比 1 法拉小得多，因此实际中常采用更小的单位：微法（ μF ）和皮法（ pF ），它们之间的换算关系为：

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

当电容量为一常量，与电压无关时，这种电容就叫做线性电容。我们只研究线性电容。

由式 (1-11) 可知，对于线性电容，电压越高，存放的电荷越多。但是，电容元件能够承受的电压是有极限的，超过这个极限，介质就被击穿变为导体，这一极限电压称为电容器的击穿电压，通常规定电容器有一低于击穿电压的额定工作电压。

电容元件两极板间的电压 u 与储存在电容元件中的电场能量 W_C 之间有一定的对应关系（推导略），即：

$$W_C = \frac{1}{2} C u^2 \quad (1-12)$$

电容元件与电容量习惯上都简称为电容，它具有双重含义。前者指元件的名称，后者指的是由式 (1-11) 所定义的电路参数。

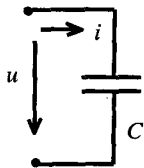


图 1-9

2. 电容元件的伏安特性

当电容两端电压 u 随时间变化时 (如图 1-9 所示), 极板上的电荷 q 也相应地发生变化, 在电源与电容的连接导线上, 将有电荷不停地来回作有规则运动, 形成电流。

当选择电压与电流为关联参考方向时, 可得:

$$i = \frac{dq}{dt}$$

对于线性电容, C 是常数, 故:

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

式 (1-13) 就是电容元件的伏安特性。由此可见, 在某一时刻通过电容元件的电流与该时刻元件两端电压的变化率成正比, 而与该时刻电压值的大小无关。电压的变化率大, 电流就大; 电压的变化率小, 电流就小; 电压的变化率为零 (即电压无变化, 相当于直流情况), 电路中就无电流, 这时元件相当于开路, 所以电容元件具有“隔直通交”作用。这与电阻元件不同, 电阻元件只要其两端有电压就一定有电流通过, 而不论该电压是否在变化。

1.3.3 电感元件及其伏安特性

1. 电感元件

在电路中经常用到用导线绕成的电感线圈。当电流通过线圈时, 线圈周围就建立了磁场, 或者说线圈储存了磁场能量。绕制线圈的导线是有一定电阻的, 作为一种理想的情况, 假定电感线圈的电阻小到可以忽略不计而只考虑其具有储存磁场能量的特性, 我们便可抽象出一种理想的电路元件——电感元件。电感元件的符号如图 1-10 所示。



图 1-10

当线圈中间和周围没有铁磁物质时, 线圈的磁链 Φ 与产生磁场的电流 i 成正比, 比例常数称为此线圈的自感系数, 简称自感或电感, 用符号 L 表示:

$$L = \frac{\Phi}{i} \quad (1-14)$$

电感的国际单位为亨利 (H), 实用中还有更小的单位: 毫亨 (mH) 和微亨 (μH)。它们的换算关系为:

$$1\text{H} = 10^3 \text{mH} = 10^6 \mu\text{H}$$

式 (1-14) 定义的电感是一个常量, 与电流的大小无关。 Φ - i 曲线是一条斜率与 L 成正比的直线, 这样的电感叫做线性电感。线性电感只与线圈的形状、匝数和几何尺寸有关。这里只讨论线性电感元件。

对一个电感元件来说, 通过它的电流 i 与其储存的磁场能量 W_L 之间有一定的对应关系 (推导略), 即:

$$W_L = \frac{1}{2} Li^2 \quad (1-15)$$

电感元件也可以简称为电感，这样一来，“电感”一词也具有双重含义，既可以指一种元件，又可以指一种元件的参数。



图 1-11

2. 电感元件的伏安特性

当电感元件的电流 i 随时间变化时（如图 1-11 所示），电感元件的磁链 Φ 也会发生变化。根据电磁感应定律，电感元件内会产生感应电动势，电感元件两端会有电压 u 。

当选择电压与电流为关联参考方向时，可得（推导略）：

$$u = L \frac{di}{dt} \quad (1-16)$$

式 (1-16) 就是电感元件的伏安特性。由此可见，某一时刻电感元件两端的电压与该时刻通过元件的电流的变化率成正比，而与该时刻电流值的大小无关。电流的变化率大，电压就大；电流的变化率小，电压就小；若电流的变化率为零（即电流无变化，相当于直流情况），则元件两端无电压，相当于短路，所以电感元件具有“通直”的作用。

1.3.4 理想电源

1. 理想电压源

直流理想电压源是一个具有两个端钮的理想电路元件，其输出电压与通过它的电流无关，是一个恒定值。根据这个定义，直流理想电压源具有下列两个特点：一是它的电压固定不变，二是通过的电流可以是任意的，且取决于与它连接的外电路状态。这个定义可以推广到更一般的情况，就是说凡两端电压可以按照某一给定规律变化而与其电流无关的电源，就称之为理想电压源。理想电压源也简称为电压源。

直流理想电压源的符号如图 1-12 所示，图中 U_S 表示电压源的电压数值，符号“+”、“-”表示 U_S 的极性。

直流理想电压源的伏安特性是一条平行于 I 轴的直线，如图 1-13 所示。

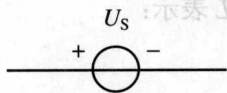


图 1-12

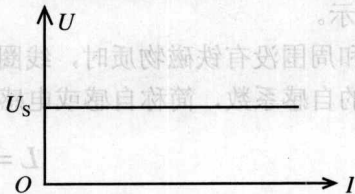


图 1-13

2. 理想电流源

除了理想电压源，在电路理论中还引入了理想电流源的概念。理想电流源是一个具有两个端钮的理想电路元件，它输出的电流与它两端的电压无关，对直流理想电流源来说，它输出的电流是一个恒定值。所以理想电流源的端电压是任意的，它将由外部连接的电路来决定。理想电流源也简称为电流源。

直流理想电流源的符号如图 1-14 所示，图中 I_S 表示电流源的电流数值，箭头表示 I_S 的方向。

直流理想电流源的伏安特性是一条平行于 U 轴的直线，如图 1-15 所示。

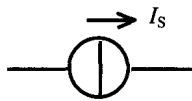


图 1-14

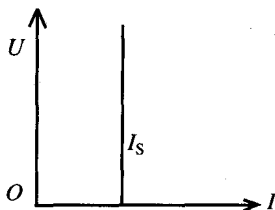


图 1-15

1.4 基尔霍夫定律

基尔霍夫定律是电路的基本定律，包括第一、第二两条定律。第一定律是有关电路中电流之间的关系，称为电流定律；第二定律则是有关电压之间的关系，称为电压定律。

在讨论基尔霍夫两条定律之前，先介绍电路中的几个名词。

(1) 节点：三个或三个以上元件的连接点称为节点。例如图 1-16 电路中，共有 a 点和 b 点两个节点。

(2) 支路：连接于两个节点之间的一段电路称为支路。例如图 1-16 所示电路中，共有 acb 、 adb 和 aeb 三条支路。

(3) 回路：电路中的任一闭合路径称为回路。例如图 1-16 所示电路中，共有 $adbca$ 、 $aebda$ 和 $aebca$ 三个回路。

(4) 网孔：回路内部没有包围别的支路的回路称为网孔。例如图 1-16 所示电路中，共有 $adbca$ 和 $aebda$ 两个网孔。

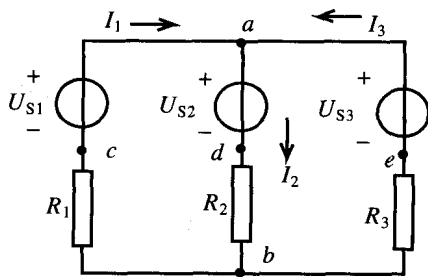


图 1-16

1.4.1 基尔霍夫电流定律（简称 KCL）

对于某一二端元件，单位时间内从一个端钮流出的电荷必然等于流入另一端钮的电荷，否则就会发生电荷的“堆积”，显然是不可能的。这一原理叫做“电流的连续性原理”。

将电流连续性原理推广到电路中任一节点，就是基尔霍夫电流定律：任一瞬间流入某一节点电流之和必定等于流出该节点电流之和。即：

$$\sum I_{\text{流入}} = \sum I_{\text{流出}} \quad (1-17)$$

对于变动的电流，则有：

$$\sum i_{\text{流入}} = \sum i_{\text{流出}}$$

这里所说的“流入”与“流出”，均以电流的参考方向为准，而不论其实际方向如何。流入节点的电流是指电流的参考方向指向该节点，流出节点的电流是指电流的参考方向离开该节点。

根据 KCL 可以列出电路中任一节点的节点电流方程，例如图 1-16 所示电路中节点 a 的电流方程为：

$$I_1 + I_2 = I_3$$

【例 1-2】图 1-17 是某电路四条支路汇集的一个节点 a ，指定的电流参考方向如图所示。