

中等专业学校教材
中等职业技术教育教材

电路基础

(第2版)

崔金辉 主编
王 锦 主审

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书在 2000 年版同名教材的基础上重新编写,教学时数为 150 学时。全书共分 10 章:电路的基本概念和基本定律,直流电阻电路的分析,电容和电感,正弦交流电路的分析与计算,非正弦周期性电路,互感和理想变压器,谐振电路,线性动态电路的分析,双端口网络与滤波器,传输线。

重新编写后的本书更加注重基本概念、基本原理和基本分析方法的阐述,注重联系工程实际,突出理论知识的实用性和适度性,难度明显减小,删除了不必要的推导与计算。本书例题丰富,各章有小结与习题,便于教学与自学。

本书可作为中专、中职学校电子类各专业的教材,也可供有关工程技术人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电路基础/崔金辉主编.—2 版.—北京:电子工业出版社,2004.8

中等专业学校教材 中等职业技术教育教材

ISBN 7-5053-9940-3

I. 电… II. 崔… III. 电路理论—专业学校—教材 IV. TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 077118 号

责任编辑:刘文杰

印 刷:

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:14.75 字数:378 千字

印 次:2004 年 8 月第 1 次印刷

印 数:册 定价:元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010)68279077。质量投诉请发邮件至 zllts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

再版前言



《电路基础》是中职学校电子类各专业的一门重要技术基础课。本教材包括了电路的基本概念、基本原理和基本分析方法,根据中职教学的实际需要,增加了无线电技术基础的基本知识,精选了各部分内容,注意联系工程实际,使学生掌握相关基本知识及分析电路、计算电路参数的基本方法,为学习专业课程打下良好基础。

本教材系按照全国电子技术编委会编审规划的要求重新编写。第1版教材自2000年出版以来,得到了广大读者的关爱,提出了一些好的建议。我们根据读者的意见,不断改革教学内容与教学方法,不断完善教材内容,简化计算推导过程,保证理论知识的阐述更加准确、明了,力求使教材能够更好地适应职业教育的需要。

本书由本溪电子工业学校崔金辉(第6,7,9,10章)、张平(第3,4,5,8章)、崔玉梅(第1,2章)编写,并由崔金辉任主编。天津电子信息职业技术学院王锦任主审。

由于编者水平有限,书中难免还存在一些缺点和错误,殷切希望广大读者批评指正。

编者

2003年12月





第 1 章 电路的基本概念和基本定律	(1)
1.1 电路和电路模型	(1)
1.1.1 电路的一般概念	(1)
1.1.2 电路模型	(1)
1.1.3 单位制	(2)
1.2 电流与电压的参考方向	(3)
1.2.1 电流的参考方向	(3)
1.2.2 电压的参考方向	(4)
1.3 电阻元件和欧姆定律	(4)
1.3.1 电阻与电阻元件	(4)
1.3.2 电导	(5)
1.3.3 欧姆定律	(5)
1.4 独立电源与受控源	(8)
1.4.1 电压源及其表示法	(8)
1.4.2 电流源及其表示法	(9)
1.4.3 电源模型的等效互换	(10)
* 1.4.4 受控源	(11)
1.5 电功率与电能	(12)
1.5.1 电功率	(12)
1.5.2 电阻元件的功率	(13)
1.5.3 电能	(13)
1.6 基尔霍夫定律	(14)
1.6.1 电路的结构	(14)
1.6.2 基尔霍夫电流定律	(15)
1.6.3 基尔霍夫电压定律	(16)
1.7 电路中各点电位的分析	(19)
1.7.1 电路中电位的概念	(19)
1.7.2 电路中各点电位的分析与计算	(19)
1.7.3 等电位点(同电位)	(20)
* 1.7.4 电路的简化画法	(21)
本章小结	(22)
习题 1	(23)
第 2 章 直流电阻电路的分析	(28)
2.1 电阻的串联、并联和混联	(28)
2.1.1 电阻的串联及分压	(28)
2.1.2 电阻的并联及分流	(29)
2.1.3 电阻的混联	(31)

2.2	电阻的星形连接与三角形连接的等效互换	(32)
2.2.1	电阻的星形连接与电阻的三角形连接	(32)
2.2.2	星形连接与三角形连接等效互换公式	(33)
2.3	戴维南定理和诺顿定理	(36)
2.3.1	戴维南定理	(36)
2.3.2	应用戴维南定理解题的方法与步骤	(36)
2.3.3	戴维南等效电路参数的测定	(37)
2.3.4	诺顿定理	(38)
2.4	节点电压法	(38)
2.4.1	节点电压法	(38)
2.4.2	弥尔曼定理	(40)
2.5	叠加定理	(42)
2.5.1	叠加定理	(42)
2.5.2	叠加定理的重要性	(44)
2.6	负载获得最大功率的条件	(45)
	本章小结	(47)
	习题2	(49)
第3章	电容和电感	(55)
3.1	电容元件	(55)
3.1.1	电容和电容元件	(55)
3.1.2	电容元件上电压与电流的关系	(56)
3.1.3	电容器中的电场能量	(57)
3.2	电容器的并联、串联和混联	(58)
3.2.1	电容器的并联	(58)
3.2.2	电容器的串联	(59)
3.2.3	电容器的混联	(61)
3.3	电磁感应定律	(62)
3.3.1	法拉第定律	(62)
3.3.2	楞次定律	(62)
3.3.3	电磁感应定律	(63)
3.4	电感元件	(64)
3.4.1	自感现象和电感	(64)
3.4.2	电感元件上电压与电流关系	(65)
3.4.3	电感线圈的磁场能量	(67)
	本章小结	(67)
	习题3	(69)
第4章	正弦交流电路的分析与计算	(71)
4.1	正弦交流电的基本概念	(71)
4.1.1	正弦电压和电流的参考方向	(71)
4.1.2	正弦量的三要素	(73)
4.1.3	同频正弦量的相位差	(75)
4.2	正弦量的有效值和平均值	(77)
4.2.1	周期性交流电的有效值	(77)
4.2.2	正弦量的平均值	(78)

4.3	复数概念	(79)
4.3.1	复数的4种表示形式	(79)
4.3.2	复数的四则运算	(80)
4.3.3	旋转因子	(82)
4.4	正弦量的相量表示法	(82)
4.4.1	正弦量的表示法	(82)
4.4.2	两个同频正弦量之和	(84)
4.5	正弦交流电路中的电阻元件	(84)
4.5.1	电阻元件上电压与电流的关系	(84)
4.5.2	电阻元件上电压与电流的相量关系	(85)
4.5.3	电阻元件的功率	(85)
4.6	正弦交流电路中的电感元件	(86)
4.6.1	电感元件上电压与电流的关系	(86)
4.6.2	电感元件上电压与电流的相量关系	(88)
4.6.3	电感元件的功率	(89)
4.6.4	电感元件中储存的磁场能量	(89)
4.7	正弦交流电路中的电容元件	(90)
4.7.1	电容元件上电压与电流的关系	(90)
4.7.2	电容元件上电压与电流的相量关系	(92)
4.7.3	电容元件的功率	(92)
4.7.4	电容元件中储存的电场能量	(93)
4.8	RLC串联电路的分析	(94)
4.8.1	相量形式的基尔霍夫定律	(94)
4.8.2	用相量法分析RLC串联电路	(95)
4.9	阻抗的串联与并联	(99)
4.9.1	复阻抗串联电路	(99)
4.9.2	复阻抗并联电路	(100)
4.9.3	导纳法分析并联电路	(101)
4.10	用相量法分析复杂交流电路	(103)
4.10.1	节点电压法	(104)
4.10.2	戴维南定理	(104)
4.11	功率因数的提高	(106)
4.11.1	提高功率因数的意义	(106)
4.11.2	提高功率因数的方法	(106)
4.12	正弦交流电路的阻抗匹配	(107)
4.12.1	负载的电阻和电抗均可调	(108)
4.12.2	负载的阻抗模可调而阻抗角不变	(108)
4.13	三相交流电源	(109)
4.13.1	对称三相电源	(109)
4.13.2	对称三相电源的连接	(110)
4.14	三相电路的分析	(112)
4.14.1	负载星形连接与三角形连接的特点	(112)
4.14.2	不对称三相负载的分析	(115)
4.14.3	三相电路的功率	(117)

本章小结	(118)
习题 4	(120)
第 5 章 非正弦周期性电路	(123)
5.1 非正弦周期量	(123)
5.1.1 非正弦周期波的分解	(123)
5.1.2 常见非正弦周期函数的傅里叶级数	(124)
5.1.3 非正弦周期波的有效值	(125)
5.2 非正弦周期性信号的频谱	(126)
5.2.1 频谱的概念	(126)
5.2.2 频谱的特点	(127)
5.3 线性非正弦周期性电流电路和计算	(128)
5.4 非正弦周期性电流电路的功率	(130)
本章小结	(131)
习题 5	(132)
第 6 章 互感和理想变压器	(133)
6.1 互感现象与同名端	(133)
6.1.1 互感现象	(133)
6.1.2 互感电压	(133)
6.1.3 同名端	(134)
6.2 互感线圈的串联	(136)
6.3 互感消去法	(138)
6.3.1 互感线圈的并联	(138)
6.3.2 互感消去法	(139)
6.4 空心变压器	(141)
6.4.1 空心变压器的组成	(141)
6.4.2 空心变压器的等效电路	(141)
6.5 理想变压器	(142)
6.5.1 理想变压器的概念	(142)
6.5.2 理想变压器的变压比	(142)
6.5.3 理想变压器的电流比	(143)
6.5.4 理想变压器的阻抗变换	(143)
本章小结	(144)
习题 6	(145)
第 7 章 谐振电路	(149)
7.1 概述	(149)
7.1.1 谐振电路的作用	(149)
7.1.2 谐振电路的组成	(149)
7.2 串联谐振电路	(150)
7.2.1 串联谐振电路的谐振现象	(150)
7.2.2 串联谐振电路的频率特性	(153)
7.2.3 串联谐振电路的选频特性指标	(156)
7.3 并联谐振电路	(159)
7.3.1 并联谐振电路的谐振现象	(159)
7.3.2 并联谐振电路的频率特性及选频指标	(161)

7.4	复杂并联谐振电路	(164)
7.4.1	复杂并联谐振的形式	(164)
7.4.2	双电感并联谐振电路	(164)
7.4.3	双电容并联谐振电路	(166)
7.5	耦合谐振电路	(170)
7.5.1	耦合谐振电路的种类	(170)
7.5.2	耦合谐振电路的等效	(170)
7.5.3	互感耦合双调谐电路的次级电流频率特性	(172)
7.5.4	互感耦合电路的通频带	(173)
	本章小结	(173)
	习题 7	(176)
第 8 章	线性动态电路的分析	(178)
8.1	换路定律	(178)
8.1.1	过渡过程的概念	(178)
8.1.2	换路定律	(179)
8.1.3	线性动态电路初始值的计算	(180)
8.2	RC 串联电路的零输入响应	(181)
8.2.1	零输入时的电压和电流	(181)
8.2.2	时间常数	(182)
8.2.3	能量关系	(182)
8.3	直流激励下 RC 串联电路的零状态响应	(183)
8.3.1	零状态时的电压和电流	(183)
8.3.2	电容中储存的电场能量	(184)
8.3.3	RC 串联电路过渡过程的应用	(185)
8.4	RL 串联电路的动态分析	(188)
8.4.1	RL 串联电路的零输入响应	(188)
8.4.2	直流激励下 RL 串联电路的零状态响应	(189)
8.4.3	电感中储存的磁场能量	(190)
8.5	一阶电路的全响应及三要素法	(190)
8.5.1	一阶电路的全响应	(191)
8.5.2	一阶电路的三要素法	(192)
	本章小结	(195)
	习题 8	(195)
第 9 章	双端口网络与滤波器	(198)
9.1	双端口网络的概述	(198)
9.1.1	双端口网络的概念	(198)
9.1.2	互易定理	(199)
9.2	双端口网络的基本方程和参数	(200)
9.2.1	阻抗方程与 Z 参数	(200)
9.2.2	导纳方程与 Y 参数	(201)
9.3	网络的传输函数与传输常数	(203)
9.3.1	网络的传输函数	(203)
9.3.2	传输常数	(204)
9.4	滤波器	(205)

9.4.1	滤波器的基本概念	(205)
9.4.2	滤波器的种类	(206)
9.4.3	滤波器的特性阻抗和传通条件	(207)
9.5	其他类型的滤波器	(209)
9.5.1	晶体滤波器	(209)
9.5.2	陶瓷滤波器	(210)
9.5.3	声表面波滤波器(SAWF)	(211)
	本章小结	(212)
	习题 9	(214)
第 10 章	传输线	(216)
10.1	传输线的概念	(216)
10.2	均匀传输线上波的传送	(217)
10.3	终端开路、短路的无损耗线	(218)
10.3.1	终端短路的无损耗线	(219)
10.3.2	终端开路的无损耗线	(220)
10.3.3	反射系数、驻波系数和行波系数	(221)
10.4	传输线的应用	(221)
10.4.1	四分之一波长开路线作半波振子天线	(221)
10.4.2	传输线用做谐振电路	(222)
10.4.3	传输线用做阻抗变换器	(222)
	本章小结	(223)
	习题 10	(224)

第 1 章 电路的基本概念和基本定律



《电路基础》是电子类专业的一门重要的技术基础课。电路理论包括分析与综合两个方面。电路分析的任务是由已知的电路结构和元件参数,通过分析和计算求得电路的特性;而电路综合则是根据所要求的电路性能来设计电路的结构,并确定元件的参数。《电路基础》主要是阐明电路的基本规律和线性电路分析的基本方法,是电子类各专业的入门课程。

本章主要阐述电路的一些基本概念——电压、电流的参考方向、电位、理想独立源、电功率与电能的概念及电路的基本定律——基尔霍夫定律。

1.1 电路和电路模型

1.1.1 电路的一般概念

人们在日常生活中所见到的,从简单的手电筒,室内的照明设备到较复杂的电视机及电子计算机等,它们都是由各种各样的实际电路组成的。

那么,什么是电路呢?简要地说,由电源、负载、连接导线、控制电器所组成的回路称为电路,如图 1.1 所示。确切地说,由电气设备和元器件按一定方式连接起来,为电流流通提供路径的总体称做电路。复杂的电路也叫网络。

电源是供给电路电能的设备,它完成将其他形式的能量转变为电能的任务,如发电机、蓄电池、干电池等。

负载是各种用电设备和元器件的总称,其作用是将电能转变为其他形式的能,如电动机可将电能转变为机械能,日光灯将电能转变为光能等。收音机是电源的负载,喇叭又是收音机的负载。

连接导线是用来传输和分配电能的,同时将电源与负载连成一个闭合回路,常用的导线有铜线和铝线等。

控制电器是用来控制电路的通、断,并保护电源与负载不受损失,如开关、保险丝、继电器等。控制电器在电路中起辅助作用,所以又称为辅助电器。

电路有 3 种状态:通路(闭路),开关接通,构成闭合回路,电路中有电流;开路(断路),开关断开或电路中某处断线,电路中无电流;短路,电源或元器件不应该接触或连接的地方而连接起来了,电路中出现了超过额定值的大电流,实际工作中,电路应严禁短路现象的发生。电路有外电路与内电路之分,外电路是从电源的一端经过和它连接的全部负载及导线再回到电源的另一端,电流所经过的电路叫外电路;电源内部叫内电路。对于一个网络来说,网络以外的电路叫外电路,网络内部的电路叫内电路,如图 1.2 所示。

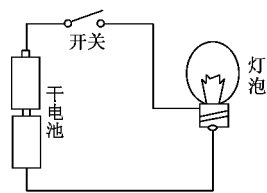


图 1.1 手电筒电路

1.1.2 电路模型

1. 理想元件

为了对电路进行分析和计算,常把实际元件加以近似化、理想化,在一定条件下忽略其次

要因素,考虑其主要特性的元件称为理想元件。如电阻器不考虑它的分布电感、分布电容,只考虑电阻消耗电能的特征。把所有电阻器、电炉、电烙铁等实际元件都用理想电阻元件来表示,简称电阻元件;又如电感线圈,不考虑分布电容和电阻,只考虑电感储存磁能与释放磁能的特性,把它称做电感元件;而电容器不考虑漏电阻和分布电感,只考虑其储存与释放电场能量的特性,把它称做电容元件。

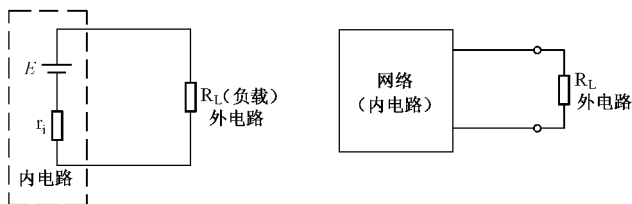


图 1.2 外电路与内电路

2. 电路模型

由理想元件构成的电路称为实际电路的“电路模型”。

用特定的符号代表元件连接的图形叫电路图,如图 1.3(a)表示电池或蓄电池,用图 1.3(b)表示灯泡,用图 1.3(c)表示开关,就可以画出手电筒的电路模型图,如图 1.3(d)所示。

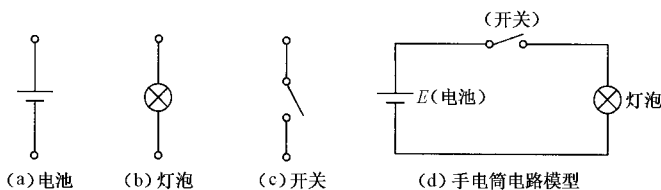


图 1.3 手电筒电路模型

电路基础中常用的元件符号如表 1-1 所示。

表 1-1 电路图常用元件符号

名称	符号	名称	符号	名称	符号	名称	符号
干电池或蓄电池		固定电阻		固定电容		电感线圈	
一般电压源		电位器		可调电容		带铁心线圈	
一般电流源		一般可调电阻		半可调电容		互感线圈	
电流表		开关		接地		不连接的导线	
电压表		保险丝		相连接导线			

1.1.3 单位制

国际单位制是我国法定计量单位的基础。在国际单位制中有 7 个基本单位:长度:米



(m); 质量: 千克(kg); 时间: 秒(s); 电流: 安培(A); 温度: 开尔文(K); 物质质量: 摩尔(mol); 光强: 坎德拉(cd)。

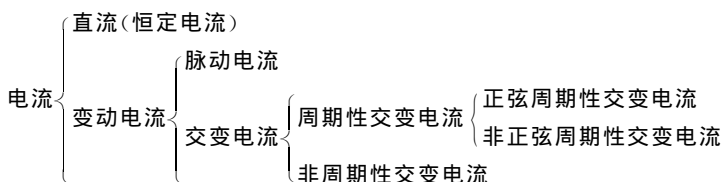
电路基础的基本物理量分为两大类: 基本变量和基本复合量。基本变量有 4 个: 电流、电压、电荷、磁通。其中最常用的是电流和电压。电路的基本复合量有两个: 电功率和电能。

1.2 电流与电压的参考方向

1.2.1 电流的参考方向

在物理课中已讲过, 电荷的定向移动形成了电流。电流的实际方向规定为正电荷运动的方向。

电流的种类很多, 可按以下划分:



直流为大小和方向不随时间变化的电流, 记作 DC, 用“ I ”表示。

变动电流为随时间变化的电流, 记作 AC, 用“ i ”表示。

脉动电流属变动电流, 其方向不变而大小随时间变化的电流。

交变电流为大小和方向都随时间变化的电流。

周期性交变电流为大小和方向都随时间作周期性变化的电流, 简称交流。

正弦周期性交变电流为随时间按正弦函数规律变化的电流。

非周期性交变电流为大小和方向随时间变化而没有周期规律的电流。

各种电流的波形如图 1.4 所示。

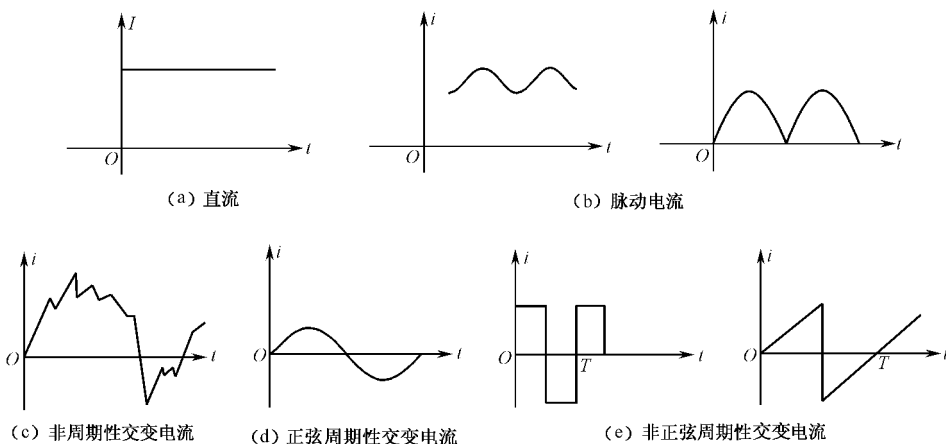


图 1.4 几种电流波形图

电流的基本单位是安培, 用“ A ”表示。它表示 1 秒(s)内通过导体横截面的电荷为 1 库仑(C)。单位换算关系是:

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

对图 1.2 的简单电路来说,电流的实际方向沿外电路是从高电位到低电位,沿内电路是从低电位到高点。但在一个复杂电路中要预先正确判断一段电路或一个支路的电流方向,往往并非易事。所以在实际分析计算电路之前总是先任意假定一个电流的方向,这一方向称为电流的参考方向。经过分析计算,所得电流强度的数值为正值,则电流实际方向与参考方向一致;如果电流强度的数值为负值,则电流实际方向与参考方向相反。电流强度是一个代数量,而不是矢量。习惯上把电流强度简称为电流。

如果电路中没有假定电流的参考方向,那么电流强度的正负值是没有意义的。今后,在电路图中仅标明电流的参考方向,而不标实际方向,以免混淆。

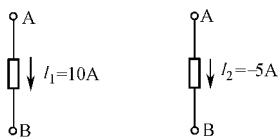


图 1.5 电流参考方向

本书中电流参考方向用实线箭头表示,如图 1.5 所示,已知 $I_1 = 10\text{A}$, $I_2 = -5\text{A}$ 。说明: $I_1 > 0$, 表示 I_1 的实际方向与参考方向一致,电流 I_1 由 A 流向 B,大小为 10A。 $I_2 < 0$, 表示 I_2 的实际方向与参考方向相反,电流 I_2 由 B 流向 A,大小为 5A。电流的参考方向有时也用双下标表示,如 $I_{AB} = 10\text{A}$, 表示参考方向由 A 指向 B,而

$I_{AB} > 0$, 说明实际方向与参考方向一致。

1.2.2 电压的参考方向

电路中两点间电压的大小等于电场力在这两点间移动单位正电荷所做的功,也就是这两点间的电位之差。

电压的基本单位是伏特,简称伏,用符号 V 表示。电压单位之间的换算关系是:

$$1\text{kV} = 1\,000\text{V}, \quad 1\text{V} = 1\,000\text{mV}, \quad 1\text{mV} = 1\,000\mu\text{V}$$

在分析、计算电路的时候,往往并不知道电路中某元件或某两点之间的电压方向。为了便于分析,在元件的两点之间任意假设一方向为电压的参考方向。在电路图中用实线箭头表示电压参考方向,也可用双下标表示,也可用“+”、“-”符号表示。“+”表示高电位端叫正极,“-”表示低电位端叫负极。

电压的参考方向如图 1.6 所示。图(a)中, $U_{ab} = 10\text{V} > 0$, 说明电压实际方向与参考方向一致,由 a 到 b,大小为 10V。图(b)中, $U_{ab} = -5\text{V} < 0$, 说明电压实际方向与参考方向相反,由 b 到 a,大小为 5V。

今后在电路图中只标参考方向,不标实际方向。

电流参考方向的选定与电压参考方向的选定是独立无关的。但为了方便起见,对一段电路或一个元件,如果选定电流的参考方向与电压的参考方向一致,即电流从电压“+”极流入,从“-”极流出,则把电流和电压的这种参考方向称为关联参考方向,简称关联方向。

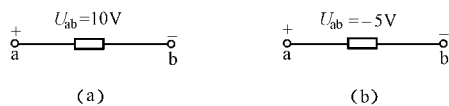


图 1.6 电压的参考方向

1.3 电阻元件和欧姆定律

电阻元件是电路的基本元件之一,研究电阻元件的规律是研究电路理论的基础。

1.3.1 电阻与电阻元件

导体内部,在电场力的作用下,电荷作定向运动时,所受到的阻碍作用称电阻作用。用电



阻材料制成的实际元件有很多种,如电炉、电烙铁、电灯泡、电阻器等。当有电流通过电阻元件时,就要消耗电能,将电能转换成热能、光能等能量,所以电阻元件是一种对电流呈现阻碍作用的耗能元件。物体对电流的阻碍作用,称为该物体的电阻,用符号 R (或 r)表示。电阻的基本单位是欧姆(Ω)。单位之间换算关系是:

$$1\text{k}\Omega=1\,000\Omega, \quad 1\text{M}\Omega=1\,000\text{k}\Omega$$

当温度一定时,长直金属导体的电阻与金属材料的性质有关,与导体的长度成正比,与导体的截面积成反比,即

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

式中, l 为导体的长度,单位为米(m); S 为导体的截面积,单位为平方毫米(mm^2); ρ 为材料的电阻率,单位为欧姆·平方毫米/米($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)。

1.3.2 电导

电阻的倒数称为电导,它是表征材料导电能力的一个参数,用 G 表示。

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-2)$$

电导的单位是西门子,用符号“ S ”表示。

1.3.3 欧姆定律

1827年,德国物理学家欧姆通过大量的实验,总结出了在电阻元件电路中电流、电压和电阻三者之间关系的规律,称为欧姆定律。

1. 一段无源电路的欧姆定律

一段只有电阻而不含电源的电路称无源电路,如图 1.7 所示。

通过电阻的电流与加在电阻两端的电压成反比,与电阻的阻值成正比。在关联方向下,表达式为

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-3)$$

或者

$$U = IR \quad (1-4)$$

在非关联方向下表达式为

$$I = -\frac{U}{R} \quad (1-5)$$

或者

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

用电导来表征电阻元件时,在关联方向下表达式为

$$I = \frac{1}{R}U = GU \quad (1-7)$$

在非关联方向下,表达式为

$$I = \frac{1}{R}(-U) = -GU \quad (1-8)$$

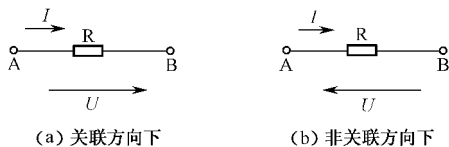


图 1.7 一段无源电路

式(1-3)还可写成

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

式(1-9)说明:某一确定的无源电路,电压与电流成正比,其比例系数是该电路中电阻的阻值。

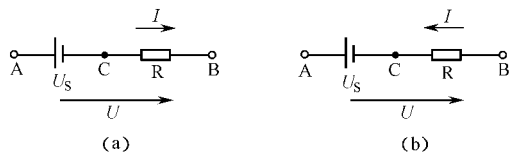


图 1.8 一段含源电路

2. 一段含源电路的欧姆定律

一段不仅有电阻同时还有电源的电路叫做含源电路,如图 1.8 所示。

参考方向如图 1.8(a)所示,沿 A 至 B 的电压降为

$$U = U_{AC} + U_{CB} = U_s + IR$$

即

$$I = \frac{U - U_s}{R} \quad (1-10)$$

在图 1.8(b)电路中,电流参考方向反过来了,沿 A 至 B 的电压降为

$$U = U_{AC} + U_{CB} = U_s - IR$$

即

$$I = \frac{U_s - U}{R} \quad (1-11)$$

总结上述两种情况可知, I 的参考方向改变后, U_s 和 U 在式中的符号正好相反,由此可得一段含源电路的欧姆定律一般表达式为

$$I = \frac{\pm U_s \mp U}{R} \quad (1-12)$$

式(1-12) U 前面的正、负号的取法是: U 的参考方向和电流 I 的参考方向一致时取正,相反时取负。电源电压 U_s 前面的正、负号的取法是: U_s 电压源方向与 I 的参考方向一致时取负,相反时取正。

3. 全电路欧姆定律

一个包含有电源和负载电阻的无分支闭合回路,称为全电路,如图 1.9 所示。图中 U_s 是电源电压, r_i 是电源内阻, R 是外电路的负载电阻, U 是 A 与 B 两点之间的电压。

整个电路可看做由两部分组成,A 与 B 两点左边由 U_s 与 r_i 组成一段含源电路,有 $U = U_s - Ir_i$;A 与 B 两点右边由 R 组成一段无源电路,有 $U = IR$,整理后得

$$I = \frac{U_s}{R + r_i} \quad (1-13)$$

式(1-13)是全电路欧姆定律的数学表达式,即在整个闭合电路中,电流与电源电压成正比,与电路中的内电阻和外电阻之和成反比。在整个闭合回路中,外电路电流从正到负,产生电位降;电源内部,电流从负到正,产生电位升。

【例 1-1】如图 1.9 所示,若 $U_s = 24\text{V}$, $r_i = 4\Omega$,负载电阻 $R = 20\Omega$ 。求(1)电路中的电流;(2)电源的端电压;(3)负载上的电压降;(4)电源内阻上的电压降 U_i 。

解:

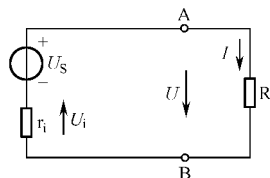


图 1.9 全电路



$$(1) I = \frac{U_s}{R + r_i} = \frac{24}{20 + 4} = 1 \text{ A}$$

$$(2) U = U_s - I r_i = 24 - 1 \times 4 = 20 \text{ V}$$

$$(3) U = R I = 1 \times 20 = 20 \text{ V}$$

$$(4) U_i = I r_i = 1 \times 4 = 4 \text{ V}$$

【例 1-2】 某电源开路时端电压为 3V, 闭路时端电压为 2.88V, 已知外电路电阻为 9.6Ω, 试求电源内阻和电路中电流。

解:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{2.88}{9.6} = 0.3 \text{ A}$$

$$U_i = U_s - U = 3 - 2.88 = 0.12 \text{ V}$$

$$r_i = \frac{U_i}{I} = \frac{0.12}{0.3} = 0.4 \Omega$$

4. 线性电阻、非线性电阻及伏安特性

按照物体电阻数值同通过该物体的电流(或加于该物体两端电压)有无关系, 电阻可分为非线性电阻和线性电阻。在任何时刻, 两端电压与其电流关系都服从欧姆定律的电阻元件叫做线性电阻元件, 即线性电阻。若不服从欧姆定律的电阻元件则叫做非线性电阻元件即非线性电阻。

表示一个元件电压与电流之间关系的图形称为元件的伏安特性曲线。显然, 线性电阻的伏安特性是一条经过坐标原点的直线, 如图 1.10 所示。

严格地说, 线性电阻是不存在的。例如, 金属导体通过不同的电流时, 导体的温度就不同, 而导体的电阻又是随温度而变化的, 因此, 导体通过不同电流时, 导体电阻也要随之变化, 不能保持常数。但是, 在一定的电流(或电压)范围内, 这种变化常常是很小的, 因此, 通常将电阻看做是线性的, 欧姆定律对这类电阻是适用的。电子管、半导体等器件的电阻一般是非线性的, 如图 1.11 所示的特性曲线是半导体二极管的伏安特性曲线。欧姆定律对非线性电阻不适用。

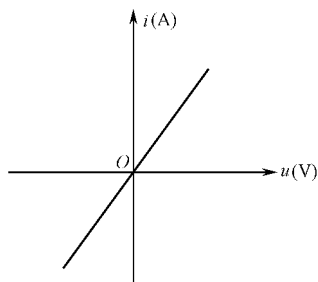


图 1.10 线性电阻的伏安特性

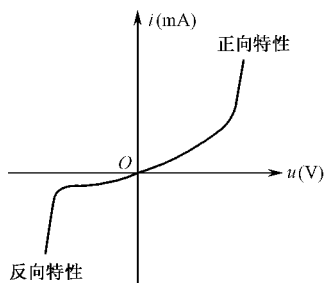


图 1.11 非线性电阻的伏安特性

比较图 1.10 和图 1.11 可知, 它们不仅有着直线与非直线的不同, 而且对坐标原点来说还有着对称与不对称的区别。对原点对称, 说明元件对不同方向的电流或不同极性的电压, 其特性是一样的, 这种性质是所有线性电阻所具备的, 称为双向性。因此, 在使用线性电阻时, 其两个端钮是没有任何区别的。对原点不对称, 说明元件对不同方向的电流或不同极性的电压, 其特性是不同的, 这种非双向性是大多数非线性电阻所具备的。因此, 在使用像二极管这样的器件时, 必须认清它的正极和负极。

1.4 独立电源与受控源

在电路中,负载对电源而言,无非是从电源取得一定的电流,或是取得一定的电压;电源对于负载而言,可以看成是电压的供给者,也可看成是电流的供给者。因此,实际电源可以用两种模型来表示,即电压源模型和电流源模型。

1.4.1 电压源及其表示法

电池是大家很熟悉的一种电源。如果电池本身没有内阻,即没有能量损耗,电池的端电压是定值的电源叫做理想电压源。

理想电压源又叫恒压源,它具有两个基本性质:

(1)理想电压源的端电压 U_S 是定值,或是具有一定幅度的时间函数 $u(t)$,与输出电流无关。

(2)理想电压源的输出电流及输出功率不受限制,也就是说,输出电流随它所连接外电路的不同而改变。理想电压源符号及理想直流电压源的伏安特性如图 1.12 所示,其中(a)图是电池符号,长线段表示正极性端,即高电位,短线段表示负极性端,即低电位。(b)图是一般符号,“+”、“-”是 U_S 的参考极性,即 U_S 的参考方向是由“+”指向“-”。(c)图是理想直流电压源的伏安特性,它是一条与横轴平行的直线,表明其端电压与电流的大小及方向无关。当电流为零或正、负无限大时,其两端电压仍为 U_S 。

1. 理想电压源端电压与电动势的关系

每个电源都具有一定的电动势,其大小等于电源内部局外力(电池的局外力是化学作用力,发电机的局外力是电磁力)将单位正电荷从电源负极移到正极所做的功。电动势用“ e ”表示。电动势的实际方向规定为由电源负极指向正极;而电源电压的实际方向是从电源的正极指向负极,二者刚好相反,如图 1.12(b)所示。如果电源电压 U_S 的参考方向选得与电源电动势 e 的参考方向相反,那么有 $U_S = e$;选取电源电压 U_S 的参考方向与电源电动势 e 的参考方向相同时,则应有 $U_S = -e$ 。

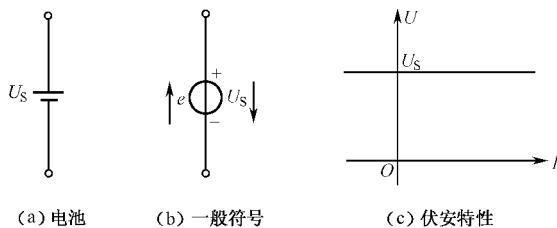


图 1.12 恒压源符号及直流伏安特性

2. 实际电压源

理想电压源实际上是不存在的。如干电池就有内阻,电池工作时内阻总要损耗一定能量,能量损耗与电池输出电流大小有关,电流越大,损耗也越大,端电压也越低,因而也就不再具有端电压为定值的特点。这种具有内阻,其端电压随输出电流的大小而变化的电源称为实际电压源,简称电压源。实际电压源可用一个理想电压源 U_S 和一个内阻 R_i 相串联的模型来表示,如图 1.13 所示,图(a)为实际电压源模型,该模型端电压 U_{ab} 为