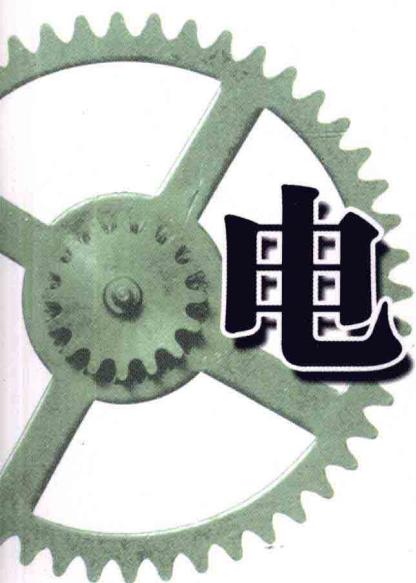




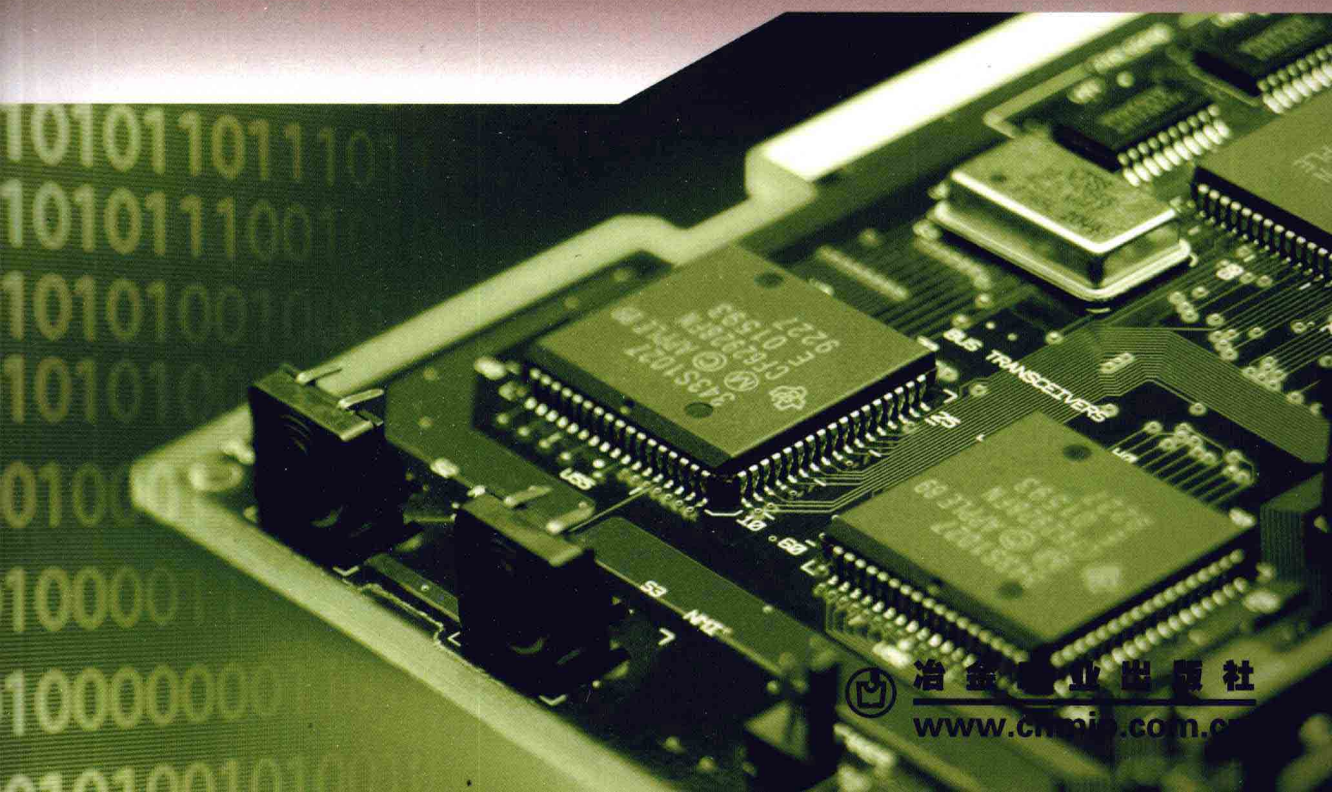
高职高专“十一五”规划教材

机械电子类



电路基础

李加升 主编



冶金工业出版社
www.cnmp.com.cn

高职高专“十一五”规划教材·机电类

电路基础

主 编	李加升	
副主编	卜燕萍	谢富珍
	黄昌志	王玉湘

北 京
冶金工业出版社
2008

内 容 简 介

本书为高职高专“十一五”规划教材，是编者在多年教学改革与实际的基础上，根据教育部最新制定的《高职高专教育电工技术基础课程教学基本要求》，在“必需、够用”的前提下编写而成的。

本书内容包括：电路的基本理论、直流电路的分析、正弦交流电路、三相正弦交流电路、互感和谐振电路、非正弦周期电流电路、动态电路分析和磁路与变压器等。

本书可作为高等职业院校、高等专科学校、成人高校、民办高校的电气、电子信息、自动化和机电一体化等专业的教材，也可供其他中职学校相关专业教师参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路基础/李加升主编. —北京：冶金工业出版社，2008.6

ISBN 978-7-5024-4658-1

I.电… II.李… III.电路理论—高等学校：技术学校—教材
IV.TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 092784 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号，邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 postmaster@cnmip.com.cn

责任编辑 刘 源

ISBN 978-7-5024-4658-1

北京天正元印务有限公司印刷；冶金工业出版社发行；各地新华书店经销

2008 年 6 月第 1 版，2008 年 6 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16；9.5 印张；210 千字；145 页；1-3000 册

23.00 元

冶金工业出版社发行部 电话：(010)64044283 传真：(010)64027893

冶金书店 地址：北京东四西大街 46 号(100711) 电话：(010)65289081

(本书如有印装质量问题，本社发行部负责退换)

前 言

本书是从 21 世纪高素质劳动者和高等专门人才培养的目标出发,依据教育部最新制定的《高职高专教育电工技术基础课程教学基本要求》编写而成的。可作为高等职业技术学院电气自动化、机电一体化和电子信息等相关专业的教学用书。也可供其他各类职业学校及相关专业人员教学与培训用书,亦可供教学人员、技术管理人员自学及参考。

高职高专教学改革要求:注重素质教育,注重应用型人才能力的培养,把立足点放在工程技术应用上,课程内容应删繁就简,突出主线,突出重点,做到既为后续课程服务,又能强化工程技术应用能力的培养。

本书在结构和内容安排等方面,吸收了编者多年来在教学改革及教材建设等方面取得的经验,力求全面体现高等职业教育的特点,满足当前教学的需要。

本教材主要特点有:

(1) 体现时代特征,注意删除老化的知识点,努力反映现代电气、电子技术的新技术、新成果,使教材尽可能跟上时代的步伐。

(2) 根据电路基础课程教学的特点,在内容选取上,重视基本概念、基本定律、基本分析方法的介绍,淡化复杂的理论分析。全书内容层次清晰、循序渐进,力求使学生对基本理论能系统、深入地理解,为今后的学习奠定基础,同时注重分析问题、解决问题能力的培养。

(3) 体现职教特色,重视实际应用。注重将理论讲授与实践训练相结合,全书共安排了 11 个实验实训课题,尽量给学生创造动手训练的平台,以缩短理论教学与实验教学之间的距离,加强内在联系,使衔接呼应更合理,强化知识性和实践性的统一。完成对学生工程素质和动手能力的培养。

电路基础是一门理论性、实践性较强的课程。本书在各章都对实践教学安排了具体内容。各校可以根据实验室仪器设备配置的实际情况配套编写实验实习指导书。

本书由李加升任主编,卜燕萍、谢富珍、黄昌志、王玉湘任副主编,焦会、许庆华、徐恒参加编写。

本书在编写的过程中得到了益阳职业技术学院和江西新余高等专科学校、长江职业学院、桂林工学院南宁分院及其他兄弟院校的大力支持,在此一并表示感谢。

由于编者水平所限,书中如有不足之处敬请使用本书的师生与读者批评指正,以便修订时改进。如读者在使用本书的过程中有其他意见或建议,恳请向编者(bjzhangxf@126.com)踊跃提出宝贵意见。

目 录

第 1 章 电路的基本理论	1	2.7 叠加定理	30
1.1 电路模型	1	2.7.1 叠加定理	30
1.1.1 实际电路	1	2.7.2 齐(次)性定理	31
1.1.2 电路模型	1	2.8 戴维南定理与诺顿定理	31
1.2 电路的主要物理量	2	2.8.1 二端网络及其等效电路	31
1.2.1 电流	2	2.8.2 戴维南定理	32
1.2.2 电压	3	2.8.3 诺顿定理	33
1.2.3 电位	3	2.9 最大功率传输定理	34
1.2.4 功率	4	习题	38
1.3 电路元件	4	第 3 章 正弦交流电路	42
1.3.1 电阻元件	5	3.1 正弦交流电的基本概念	42
1.3.2 电压源与电流源	6	3.1.1 认识正弦交流电	42
1.4 电路中各点电位的计算	7	3.1.2 正弦量的三要素	43
1.5 基尔霍夫定律	9	3.1.3 正弦量的相位差	45
1.5.1 基尔霍夫电流定律(KCL)	9	3.1.4 正弦量的有效值	45
1.5.2 基尔霍夫电压定律(KVL)	10	3.2 正弦交流电的相量表示	46
习题	15	3.2.1 复数及其运算	46
第 2 章 直流电路的分析	18	3.2.2 相量	47
2.1 电阻的串联、并联和混联	18	3.2.3 相量图	49
2.1.1 电阻的串联	18	3.3 正弦交流电路中的电阻、 电感和电容	50
2.1.2 电阻的并联	20	3.3.1 纯电阻电路	50
2.1.3 电阻的混联	22	3.3.2 纯电感电路	51
2.2 电阻的串联和并联电路的 等效变换	24	3.3.3 电容电路	52
2.2.1 电阻的串联	24	3.3.4 KCL 和 KVL 的相量形式	53
2.2.2 电阻的并联	25	3.4 电阻、电感、电容的串联及阻抗	55
2.2.3 电阻的混联	25	3.4.1 阻抗	55
2.3 研究电阻的星形联结和三角形 联结的等效变换	25	3.4.2 阻抗法分析 RLC 串联电路	55
2.4 支路电流法	26	3.5 电阻、电感、电容的并联及导纳	59
2.5 网孔电流法	27	3.5.1 导纳	59
2.5.1 网孔方程	27	3.5.2 导纳法分析 RLC 并联电路	59
2.5.2 网孔分析法的计算步骤	28	3.6 正弦交流电路中的功率	62
2.6 节点电位法	29	3.6.1 瞬时功率	62
2.6.1 节点方程	29	3.6.2 有功功率	62
2.6.2 节点分析法的计算步骤	29	3.6.3 无功功率	63
		3.6.4 视在功率	63
		3.6.5 复功率	64

3.7 功率因数的提高	65	5.4.2 并联谐振电路的基本特征	101
3.7.1 功率因数低对电路的 不良影响	65	5.4.3 并联谐振电路的频率特性	103
3.7.2 提高功率因数的方法	66	5.5 谐振电路的应用与防护	104
习题	70	5.5.1 谐振在电子技术中的应用	104
第 4 章 三相正弦交流电路	72	5.5.2 电力系统对谐振的防护	105
4.1 三相正弦交流电源的产生	72	习题	107
4.1.1 认识三相正弦交流电	72	第 6 章 非正弦周期电流电路	109
4.1.2 对称三相电源	72	6.1 非正弦周期信号	109
4.2 三相电源绕组的联结	73	6.2 非正弦周期信号的谐波分析	109
4.2.1 三相电源绕组的星形联结	74	6.3 非正弦周期信号的有效值、 平均值和平均功率	111
4.2.2 三相电源绕组的 三角形联结	75	6.3.1 有效值	111
4.3 三相负载的联结	76	6.3.2 平均值	112
4.3.1 三相负载的星形联结	76	6.3.3 平均功率	113
4.3.2 三相负载的三角形联结	79	6.4 非正弦周期电压作用下的 线性电路	114
4.4 三相电路的功率	82	习题	117
4.4.1 三相电路的功率	82	第 7 章 动态电路分析	119
4.4.2 三相电路功率测量	84	7.1 换路定律	119
习题	88	7.1.1 换路的概念及过渡过程	119
第 5 章 互感耦合电路	90	7.1.2 换路定律	120
5.1 互感	90	7.2 电路初始值与稳态值的计算	120
5.1.1 互感现象	90	7.2.1 初始值的计算	120
5.1.2 互感系数	90	7.2.2 稳态值的计算	122
5.1.3 耦合系数	91	7.3 动态电路的电路方程	123
5.1.4 互感电压	92	7.3.1 一阶动态电路方程	124
5.1.5 互感线圈的同名端	92	7.3.2 二阶动态电路方程	126
5.2 互感线圈的串联、并联	94	7.4 直流一阶电路的全响应及 三要素法	126
5.2.1 耦合电感的串联	94	7.5 一阶电路全响应的两种分解	130
5.2.2 互感线圈的并联	95	7.6 正弦激励下一阶电路的全响应	133
5.3 串联谐振电路	96	7.7 RC 微分电路与 RC 积分电路	136
5.3.1 串联电路谐振条件	96	7.7.1 RC 微分电路	136
5.3.2 串联谐振电路的基本特征	97	7.7.2 RC 积分电路	138
5.3.3 串联谐振电路的频率特性	98	7.8 RLC 串联电路的零输入响应	139
5.4 并联谐振电路	101	习题	143
5.4.1 并联电路谐振条件	101		

第 1 章 电路的基本理论

1.1 电 路 模 型

1.1.1 实际电路

由电器件相互连接所构成的电流通路称为电路。而由电工设备和电气器件按预期目的连接构成的电流的通路称为实际电路。从电路的组成来看,实际电路总可以分为 3 个部分:一是向电路提供电能或信号的电器元件,称为电源或信号源;二是用电设备,称为负载;三是中间环节,如导线、开关和控制器等。电路在电源或信号源作用下,才会产生电压、电流,因此,在某种场合又把电源或信号源称为激励,由激励所产生的电压或电流称为响应。

1.1.2 电路模型

当接触实际电路时,就会发现情况非常复杂。比如电路的线路,大的可达数百千米,甚至连接全世界,如电力网、通信网、因特网;而小的如集成电路,虽然只有指甲那么大,却是由成千上万个小电路集合而成一个电路或系统。又如从电路中所进行的电磁运动来看,一个最简单的线绕式电阻器,通电时电能转化为热能,这种转换与流过电流的大小有关,而且不可逆转。因此,电阻器是一个消耗电能的器件,但是通电的导线周围有磁场,于是一部分电能转换为磁能。再进一步分析,会发现该磁场随着流过的电流频率不同而不同。任何一个实际电路器件在电压、电流作用下,总是同时发生多种电磁效应,但电阻主要消耗电能,电感线圈主要建立磁场储存能量,电池和发电机等主要提供电能。为了便于对电路进行分析和计算,常把实际的元件加以理想化,在一定条件下具有某种确定的电或磁性质理想化电路元件来表示。例如,用电阻元件来反映件消耗电能的电磁性质;用电感元件来反映储存磁能的电磁性质;用电容元件来反映储存电场能量的电磁性质;用电源元件来反映电能量的电磁性质,这样就有了 4 个理想电路元件,如图 1-1 所示。

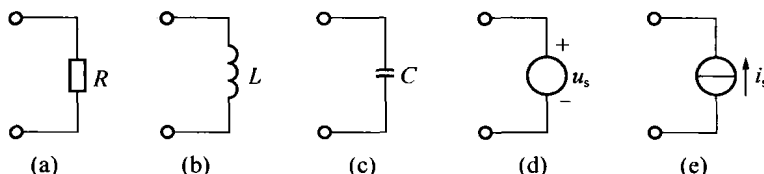


图 1-1 4 个理想电路元件

由理想电路元件及其组合来替代实际电路元件,构成了与实际电路相对应的抽象电路模型。

电路模型图称为电路图，各个理想元件之间的导线连接用连线来表示。有了电路图就可方便地进行电路研究了。手电筒的实际电路图和电路模型如图 1-2 所示。

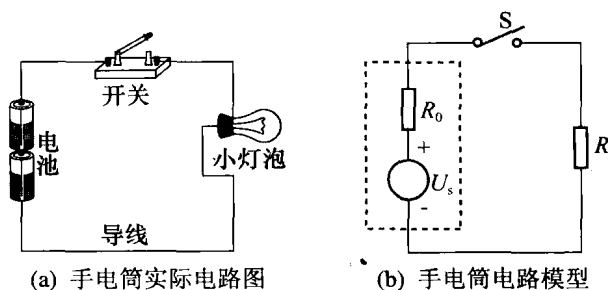


图 1-2 手电筒的实际电路图和电路模型

1.2 电路的主要物理量

电路分析中常用到电流、电压、电位和功率等物理量，本节对这些物理量的概念进行简要介绍。

1.2.1 电流

带电粒子的定向移动形成电流。如导体中自由电子、电解液和电离的气体中的自由离子、半导体的电子和空穴，都属于带电粒子或称载流子。

单位时间内通过导体横截面的电荷量定义为电流，用 i 表示，有

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

式中， dq 为 dt 时间内通过导体横截面的电荷量。

在直流电路中，单位时间内通过导体横截面的电荷量恒定不变的，有

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

国际单位制(SI)中，电荷量的单位为库仑(C)；时间单位为秒(s)；电流单位为安培(A)，有时也会用到千安(kA)、毫安(mA)和微安(μ A)等单位。

习惯上将正电荷移动的方向规定为电流实际方向。在分析电路时，对复杂电路中某一段电路电流的实际方向有时很难立即判定，有时电流的实际方向还在不断改变，因此在电路中很难标明电流实际方向。为了解决这个问题，我们引入参考方向这个概念。

电流的参考方向是任意选定的方向，当选定的电流参考方向与实际方向一致时，电流为正($i > 0$)；当选定的电流参考方向与实际方向不一致时，电流为负($i < 0$)。可见，在选定参考方向后，电流值才有正负之分，如图 1-3 所示。

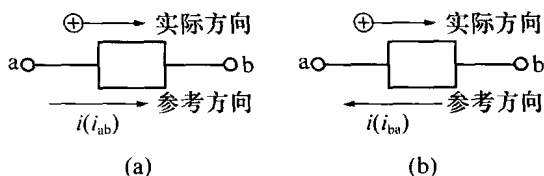


图 1-3 电流参考方向与实际方向关系

在电路中, 元件的参考方向可用箭头表示, 如图 1-3 所示, 在文字描述时也可用电流符号加双下标表示, 如 i_{ab} , 它表示电流由 a 流向 b, 并有 $i_{ab} = -i_{ba}$ 。

1.2.2 电压

在均匀电场中, 正电荷 Q 在电场力 F 的作用下, 由 a 点移到 b 点, 电场力所做的功为 W , 则 a 点到 b 点的电压为

$$U = \frac{W}{Q} \quad (1-3)$$

同理, 单位正电荷由电路的 a 点移动到 b 点所做的功, 称为 a、b 两点间的电压, 即

$$u = \frac{dw}{dq} \quad (1-4)$$

式中, dq 为由 a 点到 b 点的电荷量, dw 为电荷移动过程中所做的功, u 为两点间的电压。规定: 若正电荷从 a 点移到 b 点, 其电势能减少, 电场力做正功, 则电压实际方向从 a 到 b。

国际单位制(SI)中, 功的单位为焦耳(J); 电荷量的单位为库仑(C); 电压单位为伏特(V), 也可用千伏(kV)、毫伏(mV)、微伏(μV)表示。

电压参考方向和电流参考方向一样, 也是任意选定。在分析电路时, 选定某一方向作为电压方向, 当选定的电压参考方向与实际方向一致时, 则电压为正($u > 0$); 当选定的电压参考方向与实际方向不一致时, 则电压为负($u < 0$), 如图 1-4 所示。

电压的参考方向可以用“+”、“-”极性表示, 还可以用双下标表示, 如图 1-4 所示, 并有 $U_{ab} = -U_{ba}$ 。

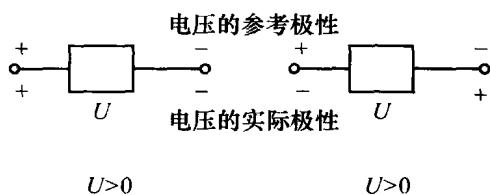


图 1-4 电压参考极性与实际极性

1.2.3 电位

在电路中任选一点为参考点, 则某一点 a 到参考点的电压就叫做 a 点的电位, 用 V_a 表示。根据定义, 有

$$V_a = U_{a0} \quad (1-5)$$

电位实质上就是电压，其单位也是伏特(V)。

如以电路中的 0 点为参考点，则有 $V_a = U_{a0}$ ， $V_b = U_{b0}$ 。

$$U_{ab} = U_{a0} + U_{b0} = U_{a0} + U_{b0} = V_a - V_b \quad (1-6)$$

式(1-6)表明，电路中 a 点到 b 点的电压等于 a 点电位与 b 点电位之差。当 a 点电位高于 b 点电位时， $U_{ab} > 0$ ，反之， $U_{ab} < 0$ 。一般规定电压的实际方向由高电位点指向低电位点。

参考点是可以任意选定的，一经选定，电路中的各点电位也就确定了。参考点选择不同，电路中各点电位将随参考点的变化而变化，但任意两点的电压是不变的。

1.2.4 功率

当元件的电压、电流选取相同的参考方向时，即关联参考方向时，有

$$p = ui \quad (1-7)$$

当元件的电压、电流选取不同的参考方向时，即非关联参考方向时，有

$$p = -ui \quad (1-8)$$

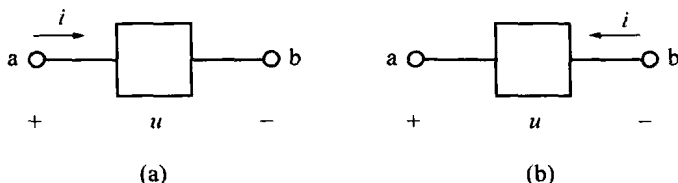


图 1-5 电压电流关联参考方向以及非关联参考方向

无论关联或非关联参考方向，当功率为正值，即 $p > 0$ 时，则元件吸收(消耗)功率；当功率为负值，即 $p < 0$ 时，则元件发出(产生)功率。

1.3 电路元件

电路元件是组成电路模型的最小单元，电路元件本身就是一个最简单的电路模型。在电路中电路元件的特性是由其电压、电流关系来表征的，通常称为伏安特性，记为 VCR(Voltage Current Relation)，它可以用数学关系式表示，也可描绘成电压、电流的关系曲线——伏安特性曲线。

电路元件分为两大类：无源元件和有源元件。

无源元件是指在接入任一电路进行工作的全部时间范围内总的输入能量不为负值的元件。

1.3.1 电阻元件

电阻元件是无源二端元件，是实际电阻器的理想化模型。

电阻元件按其伏安特性曲线是否为通过原点的直线，可分为线性电阻元件和非线性电阻元件，按其特性曲线是否随时间变化，又可分为时变电阻元件和非时变电阻元件。

1.3.1.1 线性非时变(定常)电阻元件

通常所说的电阻元件，习惯上指的是线性非时变电阻元件，又简称电阻。其图形符号如图 1-6 所示。

当电阻元件 $R \rightarrow \infty$ 或 $G=0$ 时，其伏安特性曲线与 u 轴重合，此时电阻元件相当于断开的导线，称为“开路”；当电阻元件 $R=0$ 或 $G \rightarrow \infty$ 时，其伏安特性曲线与 i 轴重合，此时电阻元件相当于一段理想导线，称为“短路”。

作为理想元件，电阻元件上的电压、电流可以不受限制地满足欧姆定律。但作为实际的电阻器件如灯泡和电炉等，对电压、电流或功率却有一定的限额。过大的电压或电流会使器件过热而损坏。因此，在电子设备的设计中，必须考虑器件的额定电流、额定电压和额定功率以及器件的散热问题。

1.3.1.2 非线性非时变电阻元件

通常所说的非线性电阻元件，习惯上指的是非线性非时变电阻元件，又简称非线性电阻，其图形符号如图 1-7 所示。其伏安特性曲线不再是一条通过原点的直线，通过它的电流与加在它两端的电压不成正比关系，或者说加在它两端的电压与通过它的电流 i 之比不为常数。

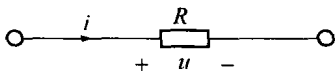


图 1-6 线性非时变电阻元件的符号

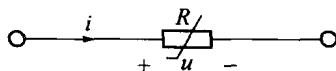


图 1-7 非线性非时变电阻元件的电路符号

1.3.1.3 时变电阻元件

上面介绍的电阻元件均为非时变电阻元件。时变电阻元件有两类：线性时变电阻元件和非线性时变电阻元件。如图 1-8 和图 1-9 所示分别为它们的电压、电流在关联参考方向下的伏安特性曲线。

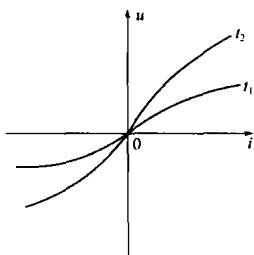


图 1-8 线性时变电阻元件伏安特性曲线

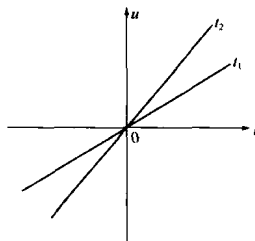


图 1-9 非线性时变电阻元件伏安特性曲线

1.3.2 电压源与电流源

我们将各种实际电源发出电能特性抽象为电压源元件和电流源元件。有些实际电源需要用电压源元件表示其特性，或者需要用电流源元件表示其特性。

1.3.2.1 理想电压源

有些实际电源在工作时提供的端电压基本是稳定的，如干电池、蓄电池、直流发电机、交流发电机和电子稳压器等，我们把这类电源抽象为理想电压源元件，简称为电压源元件。

理想电压源是一个二端理想元件，它输出的端电压总保持为给定的时间函数或某给定值，而与流过的电流无关。

提供恒定电压的电压源称为直流电压源(时不变电压源)。提供一定时间函数的电压源称为时变电压源，如正弦电压源和方波电压源等。电压源的符号如图 1-10(a)、(b)所示，其中图 1-10(a)表示一般电压源，图 1-10(b)表示直流电压源。

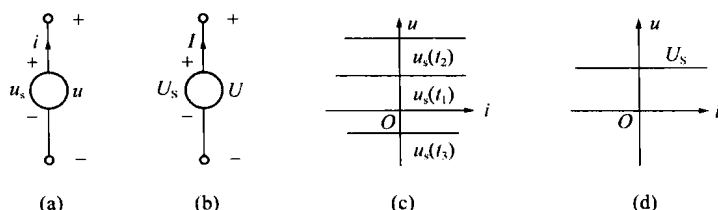


图 1-10 理想电压源的电路符号及伏安特性

按图中选定的电压源 u_s 、电压 u 和端电压的参考方向，电压源的特性可用下式表示

$$u = u_s(t) \quad (i \text{ 为任意值})$$

或
$$U = U_s(t) \quad (I \text{ 为任意值})$$

因此，电压源的伏安特性在 u 、 i 平面上是无数条(对时变电压源而言)或一条(对直流电压源而言)与 u 轴垂直的直线，分别如图 1-10(c)、(d)所示。当选定电压源电流的参考方向与其端电压的参考方向相反时，电压源输出的功率为 $p = ui = u_s i$ ，此输出功率如同电流一样，可在无限范围内变化，因而电压源是一个无限大功率电源，显然实际上是不存在的。实际电源的性能只是在一定范围内与电压源接近，实际电源总是存在内阻的。当实际电源的电压值变化不大时，一般用一个电压源与一个电阻元件的串联组合作为其电路模型，如图 1-11 所示。

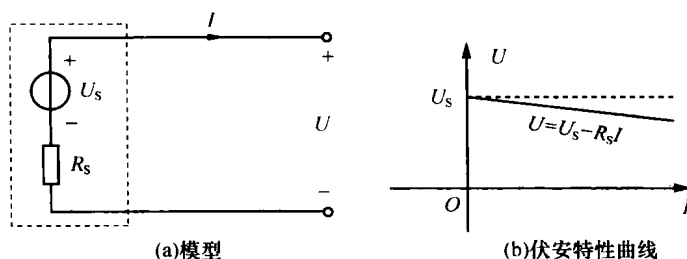


图 1-11 实际电压源

实际电压源的模型

$$U = U_s - U_{R_s} = U_s - R_s I$$

1.3.2.2 理想电流源

有些实际电源在工作时提供的电流基本是稳定的, 如光电池和电子稳流器等, 我们把这类电源抽象为理想电流源元件, 简称电流源元件。

电流源的特性可用下式表示

$$i = i_s(t) \quad (u \text{ 为任意值})$$

或

$$I = I_s(t) \quad (U \text{ 为任意值})$$

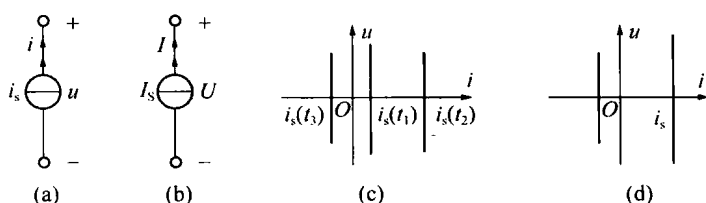


图 1-12 理想电流源的电路符号及伏安特性

电流源是实际电流源忽略其内阻后的理想化模型。具有如下特性:

- (1) 流经电流源的电流由元件本身决定, 与其两端的电压无关;
- (2) 电流源两端的电压由与电流源相连接的外电路决定;
- (3) 流经电流源电流保持定值 I_s 的电流源称为直流电流源; 流经电流源电流保持给定时间函数 $i_s(t)$ 的电流源称为时变电流源。

实际电流源模型

$$I = I_s - \frac{U}{R_s}$$

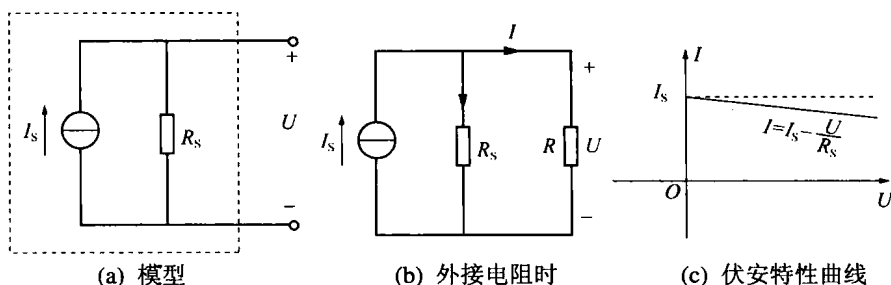


图 1-13 实际电流源

1.4 电路中各点电位的计算

在分析电子电路时, 通常要应用电位这个概念, 例如二极管, 只有当它的阳极电位高

于阴极电位时,管子才能导通,否则就截止。在讨论晶体三极管的工作状态时,也要分析各个极的电位高低。

前面已介绍过,电路中某一点的电位等于该点与参考点(电位为零)之间的电压,参考点选得不同,电路中各点的电位也随之改变,但是任意两点间的电压值是不变的。所以各点电位的高低是相对的,而两点间的电压值是绝对的。

为方便起见,在电子电路中有一种习惯的画法,即:参考点在电路图中标上“接地”符号。所谓“接地”并非真正与大地相接,而且这个“接地”有时画出,有时不画出。对于电源,不再画出代表电源的电路符号,只是标出电源非接地的一端的极性及其数值,而电源的另一极一定是接地的,但不画出。

【例 1.1】 具有两个电动势的闭合电路中各点电位的计算方法。如图 1-14 所示。

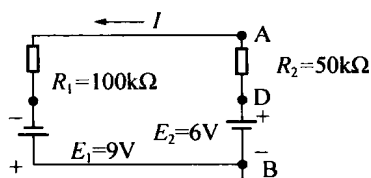


图 1-14 例 1.1 图

解 (1) 设定闭合回路电流的参考方向,并指出电路中各元件二端的极性。设闭合回路电流为 I (参考方向为逆时针方向)根据全电路欧姆定律,求得电路电流为

$$I = \frac{E_1 + E_2}{R_1 + R_2} = \frac{9 + 6}{100 \times 10^3 + 50 \times 10^3} = \frac{15}{150 \times 10^3} = 0.1 \text{mA}$$

I 为正值,说明实际方向与参考方向一致。

(2) 在电路中选择合适的参考点,为了确定电路中各点的电位,必须选定一个零电位点作为参考点。现以 B 点为零电位点,以接地符号“ $\perp$ ”标注,这里的接地只是表示该点电位为零,并非真正的接地。

(3) 在电路中取相应的电位点,从该点开始沿任意路径到参考点的电位如下:

C 点的电位低于 B 点的电位,根据电动势 E 的方向, C 点比 B 点下降了一个 E_1 , 故

$$V_C = -E_1 = -9\text{V}$$

D 点的电位高于 B 点的电位一个 E_2 , 故

$$V_D = +E_2 = 6\text{V}$$

R_1 上的电压方向应该是 A 指向 C, 那么 A 点的电位

$$V_A = U_{AC} + V_C = R_1 I + (-E_1) = 100 \times 0.1 - 9 = 10 - 9 = 1\text{V}$$

R_2 上的电压方向应该是 D 指向 A, A 点的电位用另一种方法计算, 即

$$V_A = U_{AD} + V_D = -R_2 I + E_2 = -0.1 \times 50 + 6 = -5 + 6 = 1\text{V}$$

由此可以看出,当参考点选定后,无论是由左边路径还是右边路径计算, A 点电位均

为1V,这就说明电位的计算与路径无关。但与参考点的选择有关,选取不同的参考点,该点的电位值也将发生变化。

1.5 基尔霍夫定律

电路分析的对象不是实际电路而是电路模型,又称其为集总参数电路,简称电路。电路因其构成元件性质不同有线性、非线性和时变、非时变之分。由独立电源、线性非时变元件和受控源构成的电路称为线性非时变电路。除非特别说明,本书涉及的电路均属线性非时变电路。

在阐述基尔霍夫定律之前,首先介绍几个名词或术语。

支路:电路中的每个分支称为支路。

节点:电路中三条或三条以上支路的连结点称为节点。

回路:电路中任一闭合路径称为回路。

网孔:内部不含支路的回路称为网孔。

1.5.1 基尔霍夫电流定律(KCL)

1.5.1.1 KCL 与 KCL 方程

基尔霍夫电流定律又称基尔霍夫第一定律。

基尔霍夫电流定律反映了电路中任一节点各支路电流间的相互约束关系。在集总参数电路中,任一时刻流经任一节点的所有支路电流的代数和等于零。

基尔霍夫电流定律的实质是电流连续性原理,是电荷守恒原理的体现。在集总参数电路中,节点是理想导体的连接点,不可能积聚电荷。在任一时刻流入节点的电荷必然等于流出节点的电荷。

基尔霍夫电流定律(KCL):在集总参数电路中,任何时刻,对任一节点,所有支路电流的代数和恒等于零。

$$\sum i = 0 \quad (1-9)$$

在该式中,规定流出节点的电流为正,流入节点的电流为负。

对任意封闭面S,流入(或流出)封闭面的电流代数和等于零。

基尔霍夫电流定律与元件的性质无关,基尔霍夫电流方程或节点电流方程的具体形式,仅取决于支路与节点的连接关系和支路电流的参考方向。

1.5.1.2 KCL 的推广

节点 1:	$I_1 - I_2 + I_3 = 0$
节点 2:	$I_1 + I_6 - I_4 = 0$
节点 3:	$-I_2 + I_4 - I_5 = 0$
	$I_3 + I_5 - I_6 = 0$

如图 1-15 所示, 将以上三式相加, 得 $I_1 - I_2 + I_3 = 0$

【例 1.2】在图 1-16 所示电路中, 已知 $R_1 = 2\Omega$, $R_2 = 5\Omega$, $U_S = 10V$, 求各支路电流。

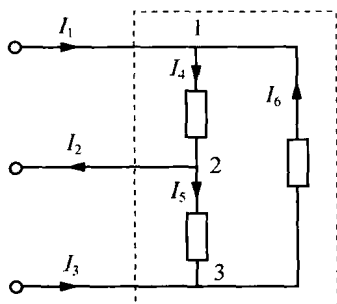


图 1-15 KCL 适用于一个封闭面

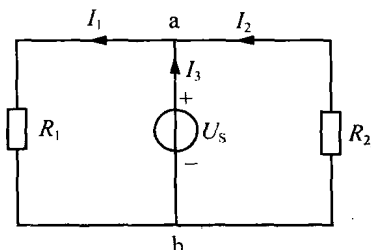


图 1-16 例 1.2 图

解 首先设定各支路电流的参考方向, 如图 1-16 所示,

由于 $U_{ab} = U_S = 10V$, 根据欧姆定律, 对节点 a 列方程, 有

$$I_1 = \frac{U_{ab}}{R_1} = \frac{10}{1} = 5A$$

$$I_2 = \frac{U_{ab}}{R_2} = \frac{10}{2} = -2A$$

$$-I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

$$I_3 = I_1 - I_2 = 5 - (-2) = 7A$$

1.5.2 基尔霍夫电压定律(KVL)

1.5.2.1 KVL 与 KVL 方程

基尔霍夫电压定律又称基尔霍夫第二定律。

基尔霍夫电压定律反映了电路中任一回路各支路电压间的相互约束关系。在集总参数电路中, 任时刻沿任一回路的所有支路电压的代数和等于零。

基尔霍夫电压定律的实质是能量守恒定律在集总参数电路中的体现。单位正电荷沿回路绕行一周, 所获得的能量必须等于所失去的能量。获得能量, 电位则升高; 失去能量, 电位则降低。所以在回路中, 电位升之和必然等于电位降之和, 即任意回路中各个支路电压的代数和为零。

基尔霍夫电压定律(KVL): 在集总参数电路中, 任何时刻, 沿任一回路各支路电压的代数和恒等于零。

$$\sum u = 0 \quad (1-10)$$

在该式中, 若按顺时针方向绕行, 支路电压的参考方向与回路绕行方向一致时(从“+”极性指向“-”极性), 电压取正号; 相反时(从“-”极性指向“+”极性), 该电压取负号。

1.5.2.2 KVL 的推广

KVL 不仅适用于实际回路, 同样加以推广, 可适用于电路中的假想回路。如在图 1-17 中, 可以假想有一个回路, 绕行方向不变。根据 KVL, 则有

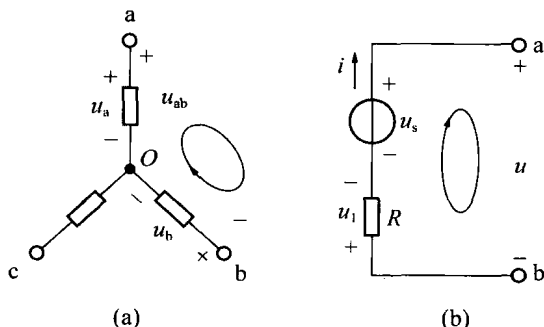


图 1-17 KVL 适用于假想回路

$$U_a + U_b + U_{ab} = 0$$

由此可得

$$U_{ab} = -U_a - U_b$$

即

$$U_{ba} = -U_{ab} = U_a + U_b$$

【例 1.3】电路如图 1-18 所示, 有关数据已标出, 求 U_s 、 I_2 、 I_3 、 R_4 及 U_s 的值。

解 设左边网孔绕行方向为顺时针方向, 依据 KVL, 有

$$-U_s + 4R_1 + 10 = 0$$

代入数值后, 有

$$U_s = 4 \times 2 + 10 = 18\text{V}$$

$$I_3 = \frac{6}{3} = 2\text{A}$$

对于节点 a, 依据 KCL, 有

$$I_2 = I_1 - I_3 = 4 - 2 = 2\text{A}$$

则

$$R_2 = \frac{10}{I_2} = \frac{10}{2} = 5\Omega$$

对右边网孔设定顺时针方向为绕行方向, 依据 KVL, 有

$$-10 + 6 + U_{R4} = 0$$

则有

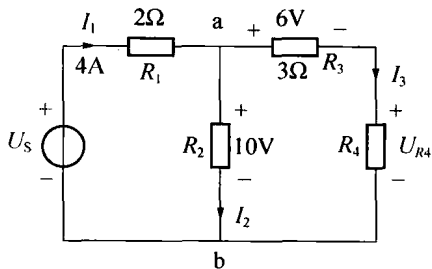


图 1-18 例 1.3 图