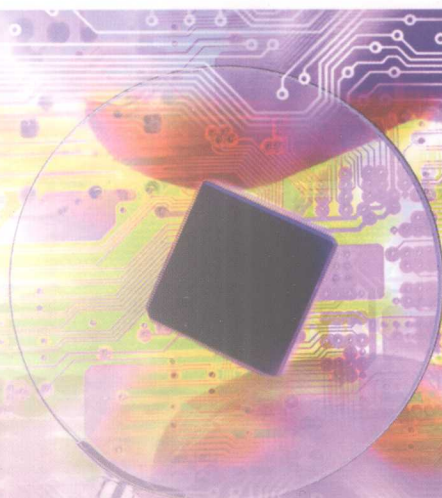


安徽省教育厅推荐教材
安徽省高校电子信息类教材

DIANLU JICHU

电路基础

牛金生 孙晓雷 王晓明 程荣龙 编著



安徽大学出版社

安徽省教育厅推荐教材

电 路 基 础

牛金生 孙晓雷 王晓明 程荣龙 编著

安徽大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电路基础/牛金生等编著. —合肥:安徽大学出版社,
2005.1
安徽省高校电子信息类教材
ISBN 7-81052-968-4
I. 电... II. 牛... III. 电路基础—高等学校:技术
学校—教材 IV. TM13
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 0003793 号

电 路 基 础

牛金生 孙晓雷 王小明 程荣龙 编著

出版发行 安徽大学出版社
(合肥市肥西路3号 邮编 230039)
联系电话 编辑部 0551-5108348
发行部 0551-5107784
电子信箱 ahdxcbps@mail.hf.ah.cn
责任编辑 钟 蕾
封面设计 孟献辉

印 刷 合肥现代印务有限公司
开 本 787×1092 1/16
印 张 10.25
字 数 249 千
版 次 2005 年 1 月第 1 版
印 次 2005 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 7-81052-968-4/T·112

定价 13.80 元

如有影响阅读的印装质量问题,请与出版社发行部联系调换

前言

为适应我省高等职业教育改革和发展的需要,我们根据多年教学的经验和体会,编写了这本《电路基础》教材。该教材的主要内容为直流电路、正弦稳态电路、三相交流电路、非正弦周期电路、互感电路、电路的暂态分析及实验实训等,教学时数约为 90 学时。

为了尽可能体现高等职业教育的特色,在教材编写中我们本着够用为度的原则,打破了传统教材中过于注重系统性的倾向,摒弃了一些繁琐的推导,精简了内容,突出了实用技能,使内容体系更适合于高等职业教育教学的需要。教材内容的设置注重扩展学生的思维空间,有利于学生的自主学习,并力求培养和提高学生的综合素质及创新能力,促进学生的全面发展。为适应社会经济发展和职业教育改革的需求,教材以培养职业岗位群的综合能力为目标,精选了一些实训内容附在相应章节之后,以促进理论教学和实践教学更紧密地衔接起来;在精选教材内容的同时,注意介绍一些新知识、新技术、新工艺和新方法,力争使教材具有一定的超前性、先进性和科学性。

安徽电子信息职业技术学院牛金生担任主编,对全书进行统稿并编写第 1、2 章,芜湖职业技术学院孙晓雷编写了第 3 章,滁州职业技术学院王晓明编写了第 4、5 章,蚌埠学院程荣龙编写了第 6、7 章。

限于我们的经验和水平,教材中的错误、疏漏和不妥之处在所难免,恳请使用本教材的师生及同行们不吝指正,我们将诚恳接受并深表谢意。

编 者

2004 年 12 月

目录

第 1 章 电路的基本概念和基本定律	(1)
1.1 电路模型和电路的基本物理量	(1)
1.1.1 电路模型	(1)
1.1.2 电路的基本物理量	(2)
1.2 电压源和电流源及其等效变换	(6)
1.2.1 理想电压源	(6)
1.2.2 理想电流源	(7)
1.2.3 电压源、电流源的串联和并联	(8)
1.2.4 电源模型的等效变换	(8)
1.3 电路中电位的分析与计算	(11)
1.3.1 电路中各点电位的计算	(11)
1.3.2 等电位点	(12)
1.4 基尔霍夫定律	(13)
1.4.1 电路中常用的有关术语	(13)
1.4.2 基尔霍夫定律	(13)
实训 1 直流电路的电位测量	(16)
第 1 章小结	(17)
习题 1	(18)
第 2 章 直流电阻电路的分析与计算	(22)
2.1 电阻的串联、并联和混联	(22)
2.1.1 电阻的串联	(22)
2.1.2 电阻的并联	(23)
2.1.3 电阻的混联	(24)
2.2 电阻的 Y 形联接与 Δ 形联接的等效互换	(25)
2.3 支路电流法	(27)
2.4 回路电流法	(29)
2.5 节点电压法	(30)
2.6 叠加定理	(33)
2.7 戴维南定理	(34)
2.7.1 二端网络	(35)

2.7.2 戴维南定理	(35)
* 受控源与含受控源电路的分析简介	(37)
实训 2 电路基本定理的验证	(39)
第 2 章小结	(41)
习题 2	(42)
第 3 章 正弦交流电路的分析	(46)
3.1 正弦交流电路的基本概念	(46)
3.1.1 正弦交流电动势的产生	(46)
3.1.2 正弦量的三要素及相位差	(47)
3.1.3 正弦量的有效值	(49)
3.2 正弦量的相量表示法	(51)
3.2.1 正弦量的相量表示	(51)
3.2.2 正弦量的相量图	(51)
3.3 纯电阻元件的交流电路	(54)
3.3.1 电阻元件上电压与电流的关系	(54)
3.3.2 电阻元件上电压与电流的相量关系	(54)
3.3.3 电阻元件的功率	(55)
3.4 纯电容元件的交流电路	(56)
3.4.1 电容元件上电压与电流的关系	(56)
3.4.2 电容元件上电压与电流的相量关系	(57)
3.4.3 电容元件的储能	(58)
3.5 纯电感元件的交流电路	(59)
3.5.1 电感元件上电压与电流的关系	(59)
3.5.2 电感元件上电压与电流的相量关系	(61)
3.5.3 电感元件的储能	(61)
3.6 基尔霍夫定律的相量形式	(63)
3.6.1 基尔霍夫电流定律的相量形式	(63)
3.6.2 基尔霍夫电压定律的相量形式	(63)
3.7 正弦交流电路的一般分析方法	(64)
3.7.1 阻抗的串联与并联	(64)
3.7.2 RLC 串联电路	(68)
3.7.3 RLC 并联电路	(70)
3.8 正弦交流电路中的功率	(71)
3.8.1 电路的功率	(71)
3.8.2 功率因数	(73)
3.8.3 提高功率因数的意义和方法	(73)
3.9 LC 谐振电路	(76)
3.9.1 串联谐振	(76)

3.9.2 并联谐振	(77)
3.9.3 谐振电路的应用	(78)
实训 3 日光灯的安装实验	(81)
实训 4 LC 电路频率特性测试	(83)
第 3 章小结	(86)
习题 3	(87)
第 4 章 三相正弦交流电路	(90)
4.1 三相交流电源	(90)
4.1.1 三相交流电动势的产生	(90)
4.1.2 三相交流电源的星形连接	(91)
4.1.3 三相交流电源的三角形连接	(92)
4.2 三相交流电路的负载连接	(93)
4.2.1 负载的星形连接	(93)
4.2.2 负载的三角形连接	(95)
4.3 三相交流电路的功率	(97)
4.3.1 对称三相电路的功率	(97)
* 4.3.2 不对称三相电路的功率	(98)
4.4 安全用电常识	(99)
4.4.1 触电事故	(99)
4.4.2 保护接地和保护接零	(101)
4.4.3 静电防护和电气防火防爆	(103)
第 4 章小结	(103)
习题 4	(104)
第 5 章 非正弦周期性电流电路	(106)
5.1 非正弦周期波的谐波分析	(106)
5.1.1 非正弦周期性信号的合成	(106)
5.1.2 非正弦周期性信号的分解	(107)
5.1.3 非正弦周期性信号的频谱	(110)
5.2 非正弦周期波的最大值、有效值、平均值和平均功率	(111)
5.2.1 最大值	(111)
5.2.2 有效值	(111)
5.2.3 平均值	(112)
5.2.4 平均功率	(113)
5.3 线性非正弦周期性电路的计算	(113)
第 5 章小结	(117)
习题 5	(117)

第 6 章 一阶线性动态电路分析	(119)
6.1 换路定则	(119)
6.1.1 稳态与暂态	(119)
6.1.2 换路定则及初始值的确定	(120)
6.2 一阶线性动态电路的分析方法	(121)
6.2.1 RC 串联电路的动态分析	(121)
6.2.2 RL 串联电路的动态分析	(123)
6.2.3 一阶动态电路的全响应	(124)
6.2.4 一阶线性动态电路分析的三要素法	(125)
实训 5 简易电子门铃的制作与电路调动	(127)
第 6 章小结	(129)
习题 6	(130)
第 7 章 互感电路	(133)
7.1 互感	(133)
7.1.1 互感现象与互感系数	(133)
7.1.2 耦合系数	(134)
7.1.3 互感电动势	(135)
7.2 互感电路的联接	(136)
7.2.1 互感线圈的串联	(136)
7.2.2 互感线圈的并联	(137)
7.3 变压器	(138)
7.3.1 变压器的基本构造	(138)
7.3.2 变压器的工作原理	(139)
7.3.3 变压器的额定值及铭牌	(144)
7.4 其他用途的变压器	(146)
7.4.1 自耦变压器	(146)
7.4.2 调压器	(147)
7.4.3 仪用互感器	(147)
7.4.4 电焊变压器	(149)
7.4.5 整流变压器	(150)
实训 6 变压器参数的测试	(150)
第 7 章小结	(152)
习题 7	(153)

第1章 电路的基本概念和基本定律

在现代生活和生产实践中,人们广泛应用着电器或电子设备,在这些设备中都具有将电器或电子器件通过各种方式连接而成的电路。电路是电子技术中的主要研究对象,电路理论是电子技术的主要研究内容之一,内容丰富多彩。本章将介绍电路模型,电路中的电流、电压、电功率三个主要物理量,重点介绍直流线性电路的分析方法和基本原理。这些方法和原理不仅适用于直流电路,而且也适用于交流电路。因此,学好本章的知识,对以后的学习将起着重要的作用。

1.1 电路模型和电路的基本物理量

在电路理论中,需要分析研究的物理量很多。电路的基本描述量分为两类:基本物理量和基本复合量。基本物理量有四个:电流、电压、电荷和磁通,其中电流、电压是电路中最常用的基本物理量。电路的基本复合量则为两个:电功率和电能。教材中将重点研究电流、电压及电功率这三个物理量。

1.1.1 电路模型

我们已经知道,电路是各种电气器件按一定方式连接起来的总体,它提供了电流流通的路径。任何实际电路通常是由多种电气设备及元器件组成,无论是最简单的手电筒电路还是较复杂的电视机电路等。电路中各种元器件所描述的电磁现象和能量转换的特征一般都比较复杂,而按实际电气设备及器件来做出电路图往往也比较困难和繁琐。为了便于对电路进行分析和计算,常把实际的元器件加以等效化、近似化、理想化,在一定的条件下忽略其次要因素,用足以描述其主要特性的“模型”来表示,即用理想元件来表示。例如,我们用“电阻元件”这样一个理想电路元件来反映消耗电能的特征,因为当电流通过电阻元件时,在它内部进行着把电能转换成热能等不可逆过程。这样,在电源频率不是很高的电路中,所有的电阻器(如电炉、电灯、电烙铁等实际元器件)都可以用“电阻元件”这个模型来近似的表示。类似的,如干电池、发电机等电源则可以用一个“理想电压源”来近似地表示。由这种与实际电气元件相对应,并用统一规定的符号表示的理想元件构成的电路,称为实际电路模型,或简称为“电路模型”。

图1-1(a)所示的是一个最简单的实际电路——手电筒电路,它由电源(干电池)、小电珠(负载)和开关及连接导线(中间环节)组成。图1-1(b)是它的电路模型,其中干电池用电压源 U_S 和内阻 R_0 来表示,负载小电珠用电阻元件 R 表示,开关用大写字母 S 表示,而连接导线消耗电能很少,一般可以忽略不计,即认为它们的电阻为零。本书在未加特别说明

时,我们所说的电路都是指这种抽象的电路模型,所说的元件均指理想元件。

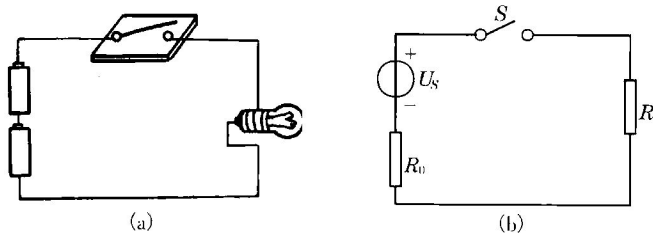


图 1-1

当理想元件具有两个端钮与外部连接时,这类元件叫二端元件。如电阻元件、电压源、电流源等。如果没有具体说明是何种二端元件,一般用方框符号表示。如图 1-2(a)表示二端元件 A,而电阻、理想电压源、理想电流源等分别用图 1-2 中(b)、(c)、(d)所画的符号表示。

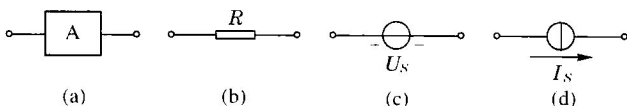


图 1-2

应当指出,实际部件的运用一般都和电能的消耗现象及电磁能的存储现象有关,它们交织在一起发生在整个部件中。这里所谓的“理想化”指的是:假定这些现象可以分别研究,并且这些电磁过程都分别集中在各元件内部进行,这样的元件(电阻、电容、电感)称为集中参数元件,简称集中元件。由集中元件构成的电路称为集中参数电路。用集中参数电路模型近似地描述实际电路是有条件的,它要求电路的尺寸远小于电路工作时电磁波的波长。集中假设是本书电路分析中最主要的假设,以后所述的电路基本定律均是在这一假设的前提下才能使用的。

1.1.2 电路的基本物理量

1. 电流

我们知道,电荷的定向移动形成电流。电流的实际方向习惯上指正电荷运动的方向,电流的大小常用电流强度来衡量。我们把单位时间内通过导体横截面的电量定义为电流强度,简称为电流,用符号 i 表示。

设在极短的时间 dt 内,通过导体横截面的电荷量为 dq ,则电流为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.1)$$

在国际单位制(SI)中,时间 t 的单位为秒(S),电量 q 的单位为库仑(C),电流 i 的单位为安培(A)。

一般情况下,电流 i 是时间 t 的函数。如果 $\frac{dq}{dt}$ 为常量,即任意时刻通过导体横截面的电量,其大小和方向都不随时间发生变化,则这种电流称为恒定电流,简称直流。常简写为 dc

或 DC, 其强度用符号 I 表示, 即

$$I = \frac{q}{t} \quad (1.2)$$

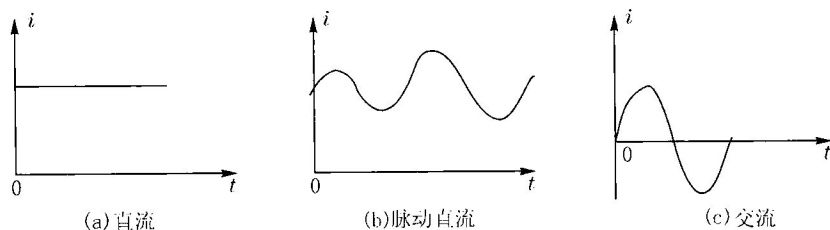


图 1-3

如果通过导体截面的电量随时间变化, 而电荷移动的方向不发生变化, 这种电流称为脉动电流。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, 常简写作 ac 或 AC。图 1-3 中给出了几种不同的电流形式。

2. 电压

电路分析中用到的另一个物理量是电压。直流电压用符号 U 表示, 交流电压用符号 u 表示。那么什么是电压呢? 在如图 1-4 所示电路中, 当开关 S 闭合时, 电阻 R 中有电流流过, 若电阻元件 R 代表的是白炽灯, 则 S 闭合时灯泡就会发光。这是因为电源正极所带正电荷在电场力的作用下从电源的正极经导线、电阻元件 R 移动到电源负极, 形成电流。可见电场力推动电荷做功, 把电能转变成了其他形式的能量, 从而使灯泡发光。为了衡量电场力对电荷做功能力的大小, 人们引入了电压这一物理量。其定义为: 电路中 a 、 b 两点间电压 U_{ab} 的大小等于电场力由 a 点移动单位正电荷到 b 点所做的功。用公式表示为

$$U_{ab} = \frac{A}{q} \quad (1.3)$$

图 1-4

式中 q 为由 a 点移动到 b 点的电量, A 为电场力所做的功。

当正电荷顺着电场力的方向由 a 点移动到 b 点, 电场力作正功, 此时 $U > 0$, 所以 a 点到 b 点的电压也称电压降。电压总是指两点之间而言, 所以经常用双下标表示, 如图 1-4 中 U_{ab} , 前一个下标 a 代表起点, 后一个下标 b 代表终点。电压的方向则由起点指向终点。

电压有时也用电位差来表示。我们知道单位正电荷在电场中某一点具有的电位能定义为该点的电位。如果在电路中选定一个电位参考点 O , 则空间某点 a 的电位在数值上等于将单位正电荷从 a 点移到 O 点电场力所做的功。电位用符号 V 表示, 如 a 、 b 两点电位分别表示为 V_a 和 V_b , 那么 a 、 b 间的电压也可表示为: $U_{ab} = V_a - V_b$ 。

应该指出, 电位的参考点是可以任意选取的, 但一经选定, 各点电位的计算即以该点为基准。如果参考点变了, 那么电路中各点电位也随之发生变化, 所以电路中各点电位与参考点有关。显然, 电路中任意两点间的电压与参考点的选择无关。

在国际单位制中, 电压与电位的单位都是伏[特](volt), 用符号 V 表示。有时也需要用到千伏(KV), 毫伏(mV)或微伏(μV)作单位。它们之间的关系是

$$1(\text{KV}) = 10^3(\text{V}); 1\text{V} = 10^3(\text{mV}) = 10^6(\mu\text{V})$$

3. 电流和电压的参考方向

我们知道电流在导线中或一个电路元件中流动的实际方向只有两种可能,见图 1-5。



图 1-5

当有正电荷的净流量从 A 端流入并从 B 端流出时,习惯上就认为电流是从 A 端流向 B 端;反之,则认为电流是从 B 端流向 A 端。在电路分析中,有时对某一段电路中电流实际方向事先很难判断出来,甚至电流的实际方向(如交流电路)还在不断地改变,因此难以在电路中标明电流的实际方向。为了解决这样的问题,人们引入了电流“参考方向”的概念。

在一段电路中事先选定一个电流方向,这个选定的电流方向就叫做电流的参考方向。参考方向可以任意选定。若电流的参考方向与它的实际方向一致,则电流为正值($i > 0$);反之,若电流的参考方向与它的实际方向相反,则电流为负值($i < 0$),如图 1-6 所示。于是在指定的电流参考方向下,电流值的正和负就可以反映出电流的实际方向。这样在分析电路时,可以任意假设电流的参考方向,不必考虑它的实际方向,给电路计算带来了很大的方便。

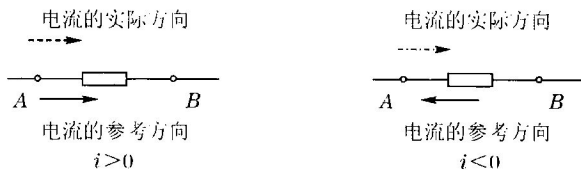


图 1-6

电流的参考方向一般用箭头表示,有时也用双下标表示,如 i_{ab} ,其参考方向是由 a 指向 b。

同理,对于一段电路或元件两端也可以任意选定一个方向为电压的参考方向,当电压的实际方向与参考方向一致时,电压为正值($u > 0$);当电压的实际方向与参考方向相反时,电压为负值($u < 0$),见图 1-7。

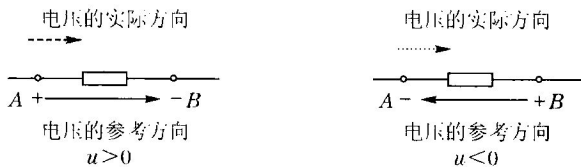


图 1-7

电压的参考方向也是任意指定的。在电路中,电压的参考方向可以用一个箭头表示,也可以用正(+)、负(-)极性来表示,由正极指向负极的方向就是电压的参考方向;还可以用双下标表示,如表示 a 和 b 之间的电压的参考方向是由 a 指向 b 的。

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,如果选定电流的方向与电压的参考方向一致,即选定电流从标以电压“+”极性的一端流入,从标以“-”极性的一端流出,则把电

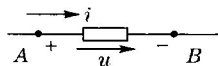


图 1-8

流和电压的这种参考方向称为关联参考方向,见图 1-8。否则,称为非关联参考方向。

【例 1-1】在图 1-9 中,五个元件代表了电源或负载电阻,图中标出了电流和电压的参考方向。已知: $U_1 = 100\text{V}$, $U_2 = -70\text{V}$, $U_3 = 60\text{V}$, $U_4 = -40\text{V}$, $U_5 = 10\text{V}$, $I_1 = -4\text{A}$, $I_2 = -2\text{A}$, $I_3 = 6\text{A}$ 。试指出各电流的实际方向和电压的实际极性。

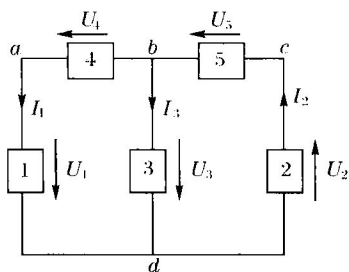


图 1-9

解 图中已标出了电流、电压的参考方向,已知 U_1 、 U_3 、 U_5 和 I_3 的值为正,这表示实际方向与设定的参考方向一致。 U_2 、 U_4 、 I_1 、 I_2 为负值,表示实际方向与参考方向相反。

4. 功率

电功率是表示电场力做功快慢的一个复合物理量,常简称为功率,用 p 表示。电能对时间的变化率就是功率,数值上等于单位时间所做的功。功率的表达式为

$$p = \frac{d\omega}{dt} \quad (1.4)$$

式中 $d\omega$ 为 dt 时间内电路元件吸取(或消耗)的电能。

在电路分析中,我们更注重的是功率与电流、电压之间的关系。现以图 1-10 为例,来讨论一段电路中功率与电压、电流的关系。图中方框代表任意一段电路,可以是电阻元件,也可以是电源,其中电流与电压的参考方向选为关联参考方向。由电压定义得

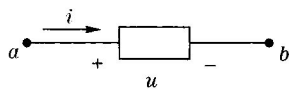


图 1-10

$$d\omega = u dq$$

$$p = \frac{d\omega}{dt} = u \frac{dq}{dt}$$

由电流定义知

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

所以

$$p = ui \quad (1.5)$$

在电压和电流的关联参考方向下,功率 p 表示元件吸收的功率。当 $p > 0$ 时,表示元件实际上是吸收或消耗电能;当 $p < 0$ 时,表示元件实际上是释放或提供电能。

另外,若元件上电压与电流的参考方向不一致如图 1-11 所示,则功率表达式为 $p = -ui$,该元件是吸收还是提供电能同样根据 $p > 0$ 还是 $p < 0$ 来判断。

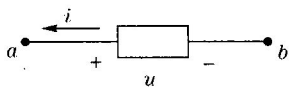


图 1-11

在国际单位制中,功率的单位是瓦[特],用符号 W 表示。 $1\text{KW}(\text{千瓦}) = 10^3\text{W}(\text{瓦})$

【例 1-2】 计算图 1-12 中各元件的功率,指出该元件是作电源还是作负载。

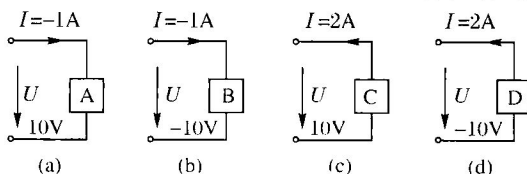


图 1-12

解 (a)图中电压、电流为关联参考方向,所以

$$P = UI = 10 \times (-1) = -10\text{W} < 0$$

A 产生电能,为电源。

(b)图中电压、电流为关联参考方向,所以

$$P = UI = (-10) \times (-1) = 10\text{W} > 0$$

B 吸收电能,为负载。

(c)图中电压、电流为非关联参考方向,所以

$$P = -UI = -10 \times 2 = -20\text{W} < 0$$

C 产生电能,为电源。

(d)图中电压、电流为非关联参考方向,所以

$$P = -UI = -(-10) \times 2 = 20\text{W} > 0$$

D 吸收电能,为负载。

1.2 电压源和电流源及其等效变换

实际电源在工作时,如不计电源本身的能量损耗,就可以用理想电源为其模型。实际使用的电源按其外特性的不同,可以用两种不同的电路模型来表示,即:电压源和电流源两种,它们都是理想元件。

1.2.1 理想电压源

我们常见的电压源有干电池、蓄电池、发电机等,他们具有一定的电动势,其大小等于电源内部非静电力移动单位正电荷从电源的负极移到正极所做的功。通常用符号“ E ”表示电动势。

电压源是一个理想元件,因为它能为外电路提供一定的能量,所以又叫有源元件。理想电压源的端电压与通过它的电流无关,其电压总保持为某一常数或为某一给定的时间函数。如直流理想电压源,其端电压就是一个常数,而交流理想电压源的端电压则为时间的函数。例如我们常用的市电,就是一按正弦规律变化的交流电压源,其函数可表示为 $u_s = U_m \sin \omega t$ 。所以理想电压源具有以下两个特点:一是它的端电压固定不变或者其电压是时间 t 的函数 $u_s(t)$,与外接电路无关。二是通过理想电压源的电流取决于它所连接的外电路,即电流随外电路的变化而变化。推广到一般情况,凡是端电压可以按照某种规律变化

而与其电流无关的电源,就称为理想电压源,简称为电压源。直流理想电压源电路模型如图 1-13(a)、(b)所示,图中 U_S 表示电压源端电压,有时也可用 E 表示。其大小满足 $U_S = E$ 的关系。图 1-13(c)表示理想电压源的伏安特性。

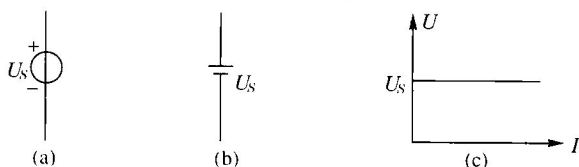


图 1-13

图中“+”、“-”号是电压源的参考极性,其端电压 U_S 的参考方向是由“+”端指向“-”端,而电动势的参考方向是由“-”端指向“+”端,两者正好相反。

一般电压源,其图形符号与直流电压源一样,只是其端电压用小写 u_S 表示,见图 1-14(a);(b)图表示电压源未接外电路,即开路状态, $i=0$; (c)图表示电压源接通外电路,且外电路电流为 i_1 。但(b)、(c)两种情况下电压源的输出电压是一样的,由于外接电路不同,所以电流不同。

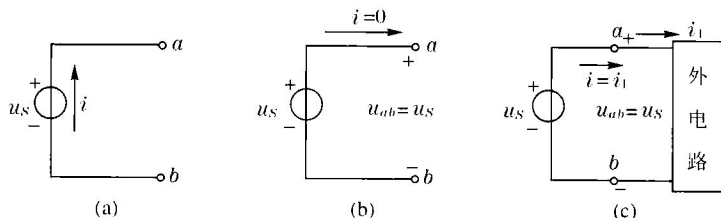


图 1-14

1.2.2 理想电流源

电源除了用电压源模型表示外,还可以用电流源模型来表示。理想电流源也是一个二端理想元件,简称为电流源,它具有以下两个特点:一是通过电流源的电流是定值或者是时间 t 的函数 $i(t)$,而与外电路无关;二是电流源的端电压取决于外电路,即端电压随外电路的变化而变化。由此我们给出直流理想电流源的符号如图 1-15(a)所示。图 1-15(a)中 I_S 表示电流源的电流大小,箭头所指方向为 I_S 的参考方向。

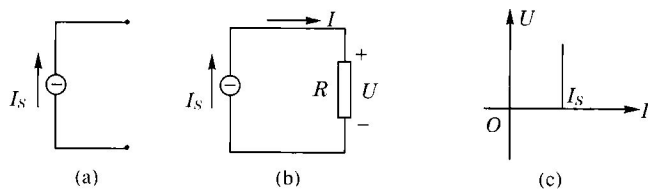


图 1-15

图 1-15(b)中表示直流理想电流源与外电路相接,其中 $I = I_S$, $U = I_S R$ 。图 1-15(c)表示理想电流源的伏安特性曲线,可见理想的电流源可以向外电路提供一个恒定的电流。

实际的电源大多可近似看做为电压源,但是在电路中也常有一些器件,其特性接近电流源。例如我们常见的晶体三极管,在线性放大状态,当 i_b 一定时,其集电极输出电流就是一个恒定值($i_c = \beta i_b$),与其端电压无关。还有光电池,在一定照度的光线照射下将产生一定

值的电流,其电流大小与光照度成正比而与负载无关。这样一些器件工作时的特性比较接近电流源,所以分析电流源的特点也是很重要的。

1.2.3 电压源、电流源的串联和并联

在电路中经常会遇到电源的串联或并联,怎么处理呢?当几个电压源串联时,可以用一个电压源来等效替代,如图 1-16(a)所示。其等效电压源的电压

$$U_S = U_{S1} + U_{S2} + \cdots + U_{Sn} = \sum_{k=1}^n U_{Sk} \quad (1.6)$$

当 n 个电流源并联时,则可以用一个电流源来等效替代,如图 1-16(b)所示,这个等效电流源的电流

$$I_S = I_{S1} + I_{S2} + \cdots + I_{Sn} = \sum_{k=1}^n I_{Sk} \quad (1.7)$$

图 1-16(a)中若某个电压源方向改变,按式(1.6)计算时其符号也要由正变负,对电流源并联时也有类似的结论。

注意:

只有电压相等的电压源才能并联,只有电流相等的电流源才能够串联。

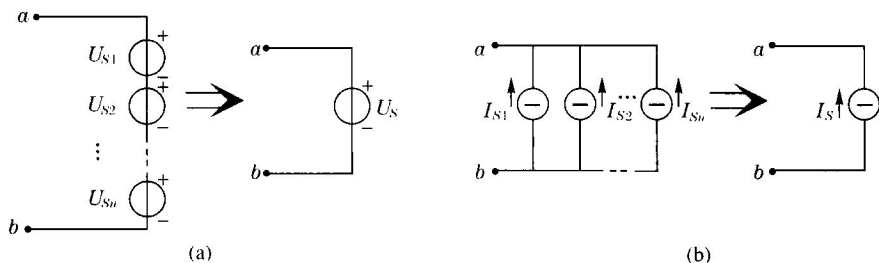


图 1-16

1.2.4 电源模型的等效变换

1. 实际电压源

实际的电压源,其端电压都随着电流变化而变化。例如当电池接上负载后,我们通过伏特表来测量电池两端的电压,发现其电压会降低,这是由于电池内部有电阻的缘故,所以电池不是一个理想的电压源。我们可以用图 1-17 所示的方法来表示实际的电压源,即用一个电阻与电压源串联组合来表示,这个电阻叫电源的内阻,其电压与电流的关系可以用 $U = U_S - Ir$ 来表示。

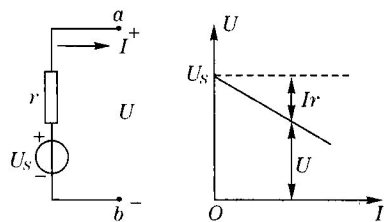


图 1-17

理想的电压源可以看做是实际电压源忽略了其内阻(其内阻 $r=0$)后的电路模型。实

实际电路中理想电压源是不存在的,实际电压源端电压都是随着通过其电流的变化而变化的。

在电路中,通常电压源中电流的实际方向既可以从电压的高电位处流向低电位处,也可以从低电位处流向高电位处。如果电流从电压源的低电位处流向高电位处,这时非静电力克服电场力移动正电荷做功,电压源提供功率,起电源作用。反之,电流从电压源的高电位处流向低电位处,电压源吸收功率,起负载作用。如给蓄电池充电时,蓄电池就成为一个负载。

2. 实际电流源

理想电流源是一种理想元件,一般实际电源的输出电流是随着端电压的变化而变化的。例如实际的光电池即使没有与外电路接通,还是有电流在内部流动。可见,实际电流源可以用一个理想电流源 I_s 和内阻 r 相并联的模型来表示,如图 1-18 所示。

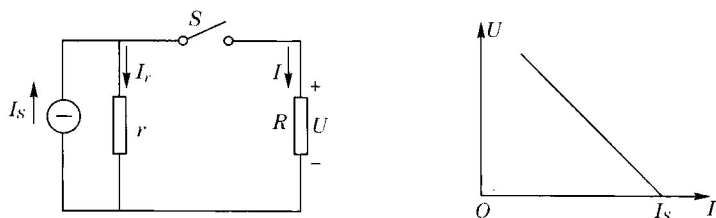


图 1-18

当 S 断开时,实际电流源空载,通过 r 的电流 $I_r = I_s$,电流源端电压等于 $I_s r$,此时外电路电流 $I = 0$;当 S 闭合,外电路短路时($R = 0$),则 $I = I_s$, $U = 0$, $I_r = 0$;当 S 闭合,有负载时,即 $R \neq 0$

则

$$U = IR = I_r \cdot r$$

且

$$I = I_s - I_r$$

或

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

3. 电源模型的等效变换

我们已经知道,实际电源有的适合用理想电压源与内阻串联的模型表示(如干电池);有的适合用理想电流源与内阻并联的模型表示(如光电池)。

对于外电路而言,我们没有必要先确定它是电压源还是电流源,只要它们对外电路等效,用哪种电源模型都可以。所以,对外电路来说,一个实际的电源,既可以用电压源模型来表示,又可以用电流源模型来表示,电源之间对外电路的等效变换,可以使我们在分析实际电路时更为方便。

那么,什么是对外电路等效(又叫外部等效)呢?所谓外部等效,就是要求当与外电路相连的端钮 a、b 之间具有相同的电压时,电路中的电流必须大小相等,参考方向相同。如图 1-19 所示。