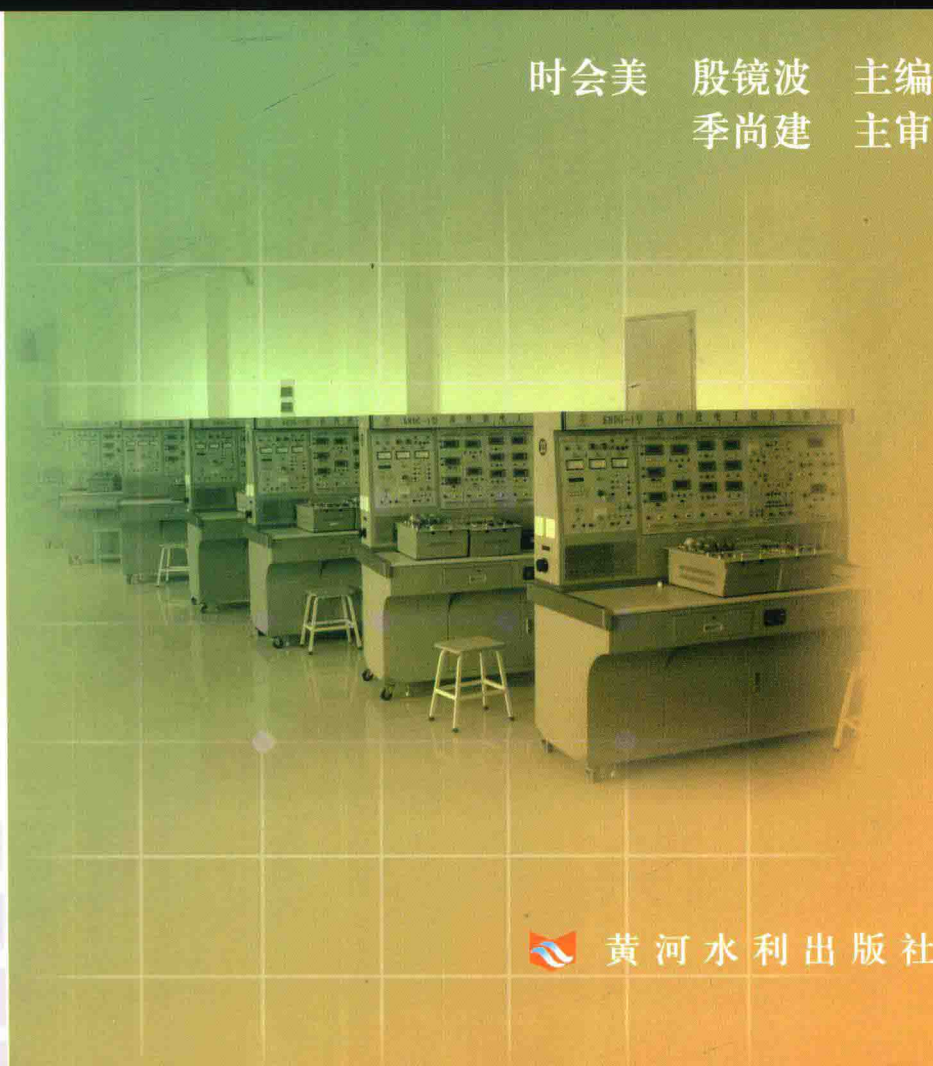


山东省高等教育名校建设工程课程改革教材

电工电子技术

时会美 殷镜波 主编
季尚建 主审



黄河水利出版社

山东省高等教育名校建设工程课程改革教材

电工电子技术

主 编 时会美 殷镜波
副主编 许 峰 宋凡峰
主 审 季尚建

黄河水利出版社

· 郑 州 ·

内 容 提 要

本书是山东省高等教育名校建设工程课程改革教材,是本着高职教育的特色,依据中央财政支持专业建设方案和山东省特色名校建设方案要求进行编写的。全书共分5个项目,主要内容包括电路分析与测试、变压器应用、异步电动机及其控制、模拟电子线路分析与测试及数字电路分析与测试等。

本书可作为高等职业院校、高等专科学校的机电一体化技术、数控技术、模具设计与制造、机械设计与制造等专业的教材,也可作为有关专业工程技术人员的学习参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术/时会美,殷镜波主编. —郑州:黄河水利出版社,2015. 8

· 山东省高等教育名校建设工程课程改革教材
ISBN 978 - 7 - 5509 - 1216 - 8

I. ①电… II. ①时… ②殷… III. ①电工技术 - 高等学校 - 教材②电子技术 - 高等学校 - 教材 IV. ①TM
②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 207462 号

组稿编辑:王路平 电话:0371 - 66022212 E-mail:hhslwlp@163. com

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhslcbs@126. com

承印单位:河南承创印务有限公司

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:16.25

字数:370 千字

版次:2015 年 8 月第 1 版

印数:1—1 500

印次:2015 年 8 月第 1 次印刷

定价:36.00 元



前言

本书是依据中央财政支持提升社会服务能力重点建设专业和山东省高等教育名校建设工程重点建设专业人才培养方案和课程建设目标要求,并按照国家及行业有关电工电子技术的新规范、新标准编写完成的。在吸收有关教材和技术文献资料精华的基础上,充实了新思想、新理论、新方法和新技术;以“工学结合”为主线,以培养学生的实践能力为目标,注重学生职业能力训练和综合素质培养,体现了高等职业教育的特点,突出了适用性、实践性、创新性的教材特色。

本书充分贯彻国家及行业最新的标准、规范,保证了知识的实效性;每个学习项目按教学任务组织编排教学内容,每个教学任务按照任务描述—任务目标—知识链接—任务实施的顺序将知识、技能融合重组,让学生在完成工作任务的过程中学习相关知识,培养综合能力;每个学习项目配有项目检测,检查反馈学生的学习情况,强化项目知识和技能,便于教—学—做一体化教学模式的实施。

本书由山东水利职业学院主持编写工作,编写人员及编写分工如下:时会美编写项目一,殷镜波编写项目二,许峰编写项目三,宋凡峰编写项目四任务一、任务二、任务三,山东五征集团有限公司徐万东编写项目四任务四,淄博三品电子科技有限公司刘涛编写项目五。本书由时会美、殷镜波担任主编,时会美负责全书统稿;由许峰、宋凡峰担任副主编;由山东同泰集团股份有限公司季尚建担任主审。

本书在编写过程中,参考了其他院校和专家的一些著作和教材,得到了山东五征集团有限公司、淄博三品电子科技有限公司、山东同泰集团股份有限公司及黄河水利出版社等单位的大力支持,在此一并表示感谢!

由于编者水平有限,编写时间仓促,书中难免存在不足之处,恳请读者批评指正,并提出宝贵意见。

编者

2015年5月



目 录

前 言

项目一 电路分析与测试	(1)
任务一 直流电路分析与测试	(1)
任务二 单相交流电路分析与测试	(25)
任务三 三相交流电路分析与测试	(52)
项目检测	(59)
项目二 变压器应用	(64)
任务一 磁路基本定律和铁磁性材料性能	(64)
任务二 变压器应用	(72)
项目检测	(80)
项目三 异步电动机及其控制	(81)
任务一 认识三相异步电动机结构与工作原理	(81)
任务二 三相异步电动机电磁转矩与机械特性	(86)
任务三 三相异步电动机的使用	(90)
任务四 单相异步电动机应用	(96)
任务五 三相异步电动机继电器接触器控制	(98)
项目检测	(110)
项目四 模拟电子线路分析与测试	(111)
任务一 常用半导体元件测试	(111)
任务二 基本放大电路分析与测试	(136)
任务三 集成运算放大电路分析与测试	(163)
任务四 直流稳压电源电路分析与测试	(183)
项目检测	(194)
项目五 数字电路分析与测试	(198)
任务一 门电路与组合逻辑电路分析与测试	(198)
任务二 触发器与时序逻辑电路分析与测试	(222)
项目检测	(247)
附 录	(250)
参考文献	(254)



项目一 电路分析与测试

电在日常生活、生产和科研工作中得到了广泛应用。在电视机、录像机、音响设备、计算机、通信系统和电力网络中可以看到各种各样的电路。这些电路的特性和作用各不相同。电路的一种作用是实现电能的传输和转换。例如,电力网络将电能从各发电厂输送到各工厂、农村和千家万户,供各种电气设备使用。电路的另外一种作用是实现电信号的传输、处理和存储。例如,电视接收天线将含有声音和图像的高频电视信号通过高频传输线送到电视机中,这些信号经过选择、变频、放大和检波等一系列处理,恢复出原来的声音和图像信息,在扬声器中发出声音并在屏幕上呈现图像。

根据电路中电源的种类不同,电路可以分为直流电路和交流电路。

研究电路的一种方法是用电气仪表对实际电路进行测量。另一种更重要的方法是将实际电路抽象为电路模型,用电路理论的方法分析计算出电路的特性。运用现代电路理论,借助于计算机,可以模拟各种实际电路的特性和设计出性能良好的电路系统。

本项目完成以下任务:

- (1) 直流电路分析与测试。
- (2) 单相交流电路分析与测试。
- (3) 三相交流电路分析与测试。

任务一 直流电路分析与测试

【任务描述】

直流电路是由直流电源供电的电路。本任务以图 1-1 所示直流电路为例,了解组成电路的基本元器件的特点、测量方法,分析每个元器件中电压、电流大小,判断电压、电流的方向和电路的工作状态,测量电路的基本电量,运用基尔霍夫定律、叠加原理和戴维南定理与诺顿定理分析计算电路参数。

【任务目标】

知识目标:

1. 掌握电路的基本概念和基本物理量。
2. 掌握基尔霍夫定律、叠加原理和戴维南定理,会运用这些原理和方法分析直流电路。
3. 掌握电压源、电流源及其等效变换。

能力目标:

1. 学会分析、计算直流电路。
2. 能正确使用万用表、电压表、电流表测量电路的基本电量。

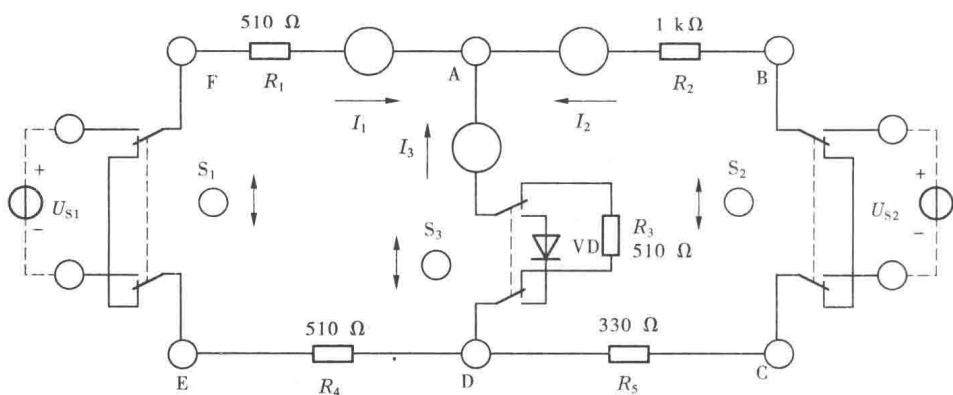


图 1-1 直流电路

【知识链接】

一、电路的基本物理量

(一) 电流

单位时间内流过导体截面面积的电荷量定义为电流强度,用以衡量电流的大小。电工技术中,常把电流强度简称为电流,用 i 表示。随时间而变化的电流定义为

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

式中, q 为随时间 t 变化的电荷量。

在电场力的作用下,电荷有规律地定向移动,形成了电流。规定正电荷的移动方向为电流的实际方向。

当 $\frac{dq}{dt} = \text{常数}$ 时,称这种电流为恒定电流,通常称作直流电流,简称直流。用大写字母 I 表示电流为恒定量,大小和方向不随时间变化。用小写字母 i 表示电流随时间变化。

在国际单位制(SI)中规定,1 s 内通过导体横截面的电荷量为 1 库仑(C)时,其电流为 1 安培(A)。

电流的方向可用箭头表示,也可用字母的顺序表示,如图 1-2 中用双下标表示 i_{ab} 。

(二) 电压与电动势

电场力把单位正电荷从电场中的 a 点移到 b 点所做的功称为 a 、 b 间的电压,用 u_{ab} (U_{ab}) 表示。

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

习惯上把电位降低的方向作为电压的实际方向,可用 +、- 号表示,也可用字母的双下标表示,有时也用箭头表示,如图 1-3 所示。

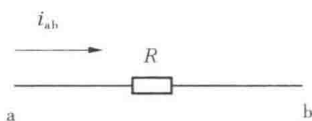


图 1-2 电流的方向

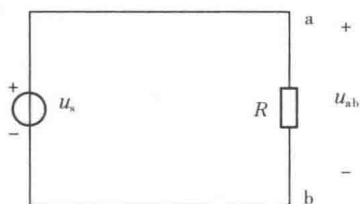


图 1-3 电压的方向

在国际单位制中规定,当电场力把 1 C 的正电荷(量)从一点移到另一点所做的功为 1 J,则这两点间的电压为 1 V。

非电场力(局外力)把单位正电荷在电源内部由低电位 b 端移到高电位 a 端所做的功,称为电动势,用字母 e (或 E) 表示

$$e(t) = \frac{dW}{dq} \quad (1-3)$$

电动势的实际方向在电源内部从低电位指向高电位,单位与电压相同,用伏特(V)表示。

在图 1-4 中,电压 u_{ab} 是电场力把单位正电荷由外电路从 a 点移到 b 点所做的功,由高电位指向低电位。电动势 e_s 是非电场力在电源内部克服电场阻力把单位正电荷从 b 点移到 a 点所做的功。在图 1-5 中所示的直流电源在没有与外电路连接的情况下,电动势 E 与两端电压 U 大小相等、方向相反。

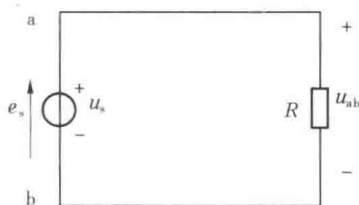


图 1-4 电压与电动势

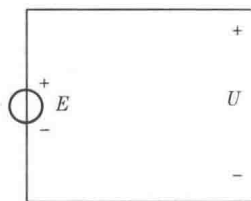


图 1-5 开路电压与电动势

(三) 电流、电压的参考方向

在分析和计算电路时,常用数学式表示电流、电压等物理量之间的关系,因此需要知道电流、电压等的方向。但分析之前无法知道它们的实际方向,就需要任意设定一个方向作为参考,这个任意设定的方向称为参考方向(正方向),并用符号在电路中标出。

1. 电流的参考方向

图 1-6(a) 中电流的参考方向与实际方向一致, $i > 0$, 图 1-6(b) 中电流的参考方向与实际方向相反, $i < 0$ 。

2. 电压的参考方向

图 1-7(a) 中电压的参考方向与实际方向一致取正, $u > 0$, 图 1-7(b) 中电压的参考方向与实际方向相反取负, $u < 0$ 。可见电流、电压都是代数量。

若电流的参考方向与电压的参考方向选取一致时,则为关联参考方向,如图 1-8 所

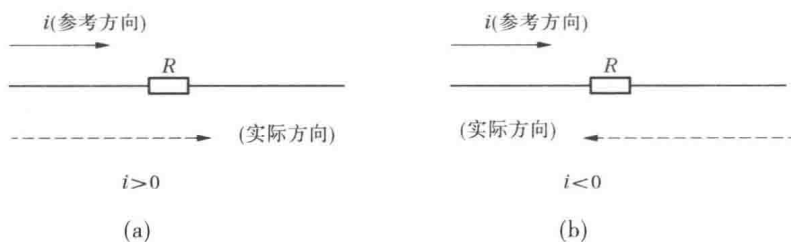


图 1-6 电流的参考方向与实际方向

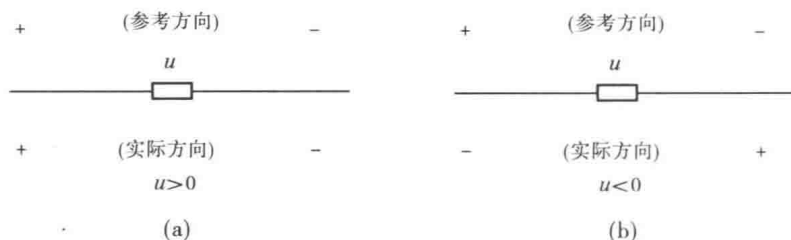


图 1-7 电压的参考方向与实际方向

示;若选取的不一致,则为非关联参考方向,如图 1-9 所示。

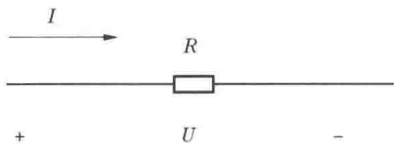


图 1-8 电压、电流为关联参考方向

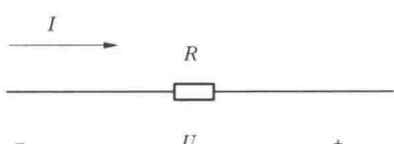


图 1-9 电压、电流为非关联参考方向

关于电流、电压参考方向的几点说明:

(1) 电流、电压的参考方向可以任意选定。但一经选定,在电路分析计算过程中不应改变。

(2) 计算电路时,一般要先标出参考方向再进行计算。在电路图中,所有标有方向的电流、电压均可认为是电流、电压的参考方向,而不是指实际方向。

(3) 一般来讲,同一段电路的电流和电压的参考方向可以各自选定,不必强求一致。但为了分析方便,常选定同一元件的电流的参考方向与电压的参考方向一致,即电流从正极性端流入该元件而从负极性端流出。

(四) 电位

为了分析电路方便,常指定电路中的任一点为参考点。我们定义:电场力把单位正电荷从电路中某点移到参考点所做的功,称为该点的电位,用大写字母 V 表示。电路中某点的电位,即该点与参考点(规定电位能为零的点)之间的电压,也可理解为单位正电荷在该点(相对于参考点)所具有的位能。电位的单位与电压的单位相同,用 V 表示。

由此,电路中两点之间的电压也可用两点间的电位差来表示,即

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1.4)$$

电场中两点间的电压是不变的,电位随参考点(零电位点)选择的不同而不同。

(五) 功率和电能

电能量对时间的变化率称为功率,即电场力在单位时间内所做的功。

$$p = \frac{dW}{dt} \quad (1-5)$$

在图 1-8 所示电路中电阻两端的电压是 U , 流过是电流是 I , 电压、电流为关联参考方向, 则电阻吸收的功率分别为

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

电阻在 t 时间内所消耗的电能

$$W = Pt \quad (1-7)$$

在国际单位制中, 电压的单位为 V, 电流的单位为 A, 时间的单位为 s, 功的单位为 J, 功率的单位为 W, $1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W}$ 。

我们平时所说的消耗 1 度电就是当一段电路(某一电器)功率为 1 kW 时在 1 h 内消耗的电能, 即 1 kWh。

电场力做功所消耗的电能是由电源提供的。在 t 时间内, 电场力将电荷 Q 从电源负极经电源内部移到电源正极, 它所做的功和功率分别为

$$W_{ba} = EQ = EIt \quad (1-8)$$

$$P_{ba} = EI \quad (1-9)$$

根据能量守恒定律, 在忽略电源内部能量损耗的条件下:

$$W_{ab} = W_{ba} \quad (1-10)$$

但是, 端电压 U 和电动势 E 的作用方向相反。

从以上分析还可以看出: 根据电流和电压的实际方向可以确定电路元件的功率性质。

图 1-8 中, 元件两端电压和流过的电流在关联参考方向下时:

$P = UI > 0$, 元件吸收功率;

$P = UI < 0$, 元件发出功率。

图 1-9 中, 元件两端电压和流过的电流在非关联参考方向下时:

$P = UI > 0$, 元件发出功率;

$P = UI < 0$, 元件吸收功率。

对任一个电路元件, 当流经元件的电流实际方向与元件两端电压的实际方向一致时, 元件吸收功率; 反之, 元件发出功率。

【例 1-1】 试判断图 1-10(a)、(b) 中元件是发出功率还是吸收功率。

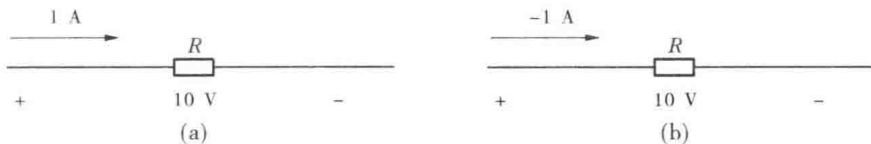


图 1-10 例 1-1 图

解:在图 1-10(a) 中电压、电流是关联参考方向,且 $P = UI = 10 \text{ W} > 0$, 元件吸收功率。

在图 1-10(b) 中电压、电流是关联参考方向,且 $P = UI = -10 \text{ W} < 0$, 元件发出功率。

二、电压源、电流源及其等效变换

(一) 电压源

电压源(如图 1-11 所示)具有以下特点:电压源两端的电压 $u_s(t)$ 为确定的时间函数,与流过的电流无关。当 $u_s(t)$ 为直流电源时,两端电压 $u_s(t)$ 不变, $u_s(t) = U$ 。直流电压源的伏安特性如图 1-12 所示。

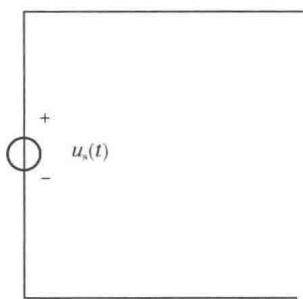


图 1-11 电压源

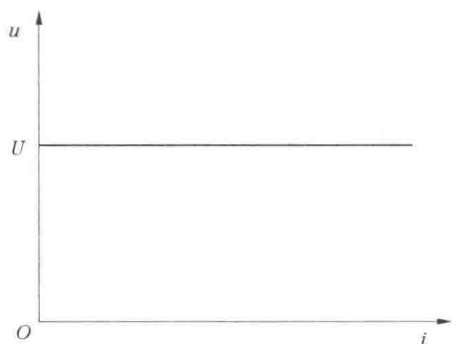


图 1-12 直流电压源的伏安特性

从图 1-13 中可以看出,电压源两端的电压不随外电路的改变而改变。

直流电源也可用图 1-14 中的符号表示。长线表示正极(高电位),短线表示负极(低电位)。

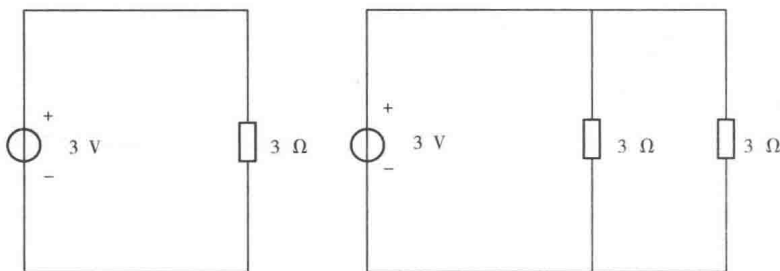


图 1-13 电压源两端电压与外电路的关系

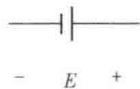


图 1-14 直流电源的表示符号

当电流流过电压源时从低电位流向高电位,则电压源向外提供电能。当电流流过电压源时从高电位流向低电位,则电压源吸收电能,如蓄电池充电的情况。

(二) 电流源

电流源(如图 1-15 所示)是指电流 $i_s(t)$ 为确定的时间函数,与电流源两端的电压无关。在直流电流源的情况下,发出的电流是恒定值, $i_s(t) = I$ 。直流电流源的伏安特性如图 1-16 所示。

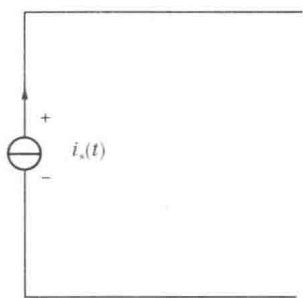


图 1-15 电流源

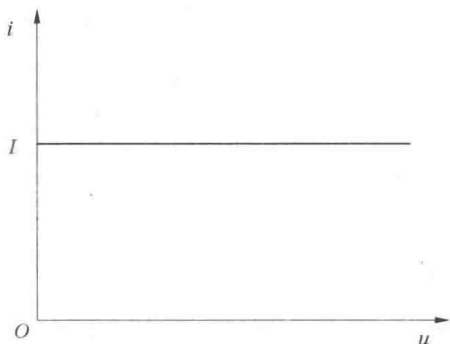


图 1-16 直流电流源的伏安特性

从图 1-17 中可以看出,电流源发出的电流不随外电路的改变而改变。

对电流源的电流和电压取非关联参考方向时,如图 1-18 所示,在这种情况下,如果 $P > 0$,则表示电流源发出功率,若 $P < 0$,则表示电流源吸收功率。

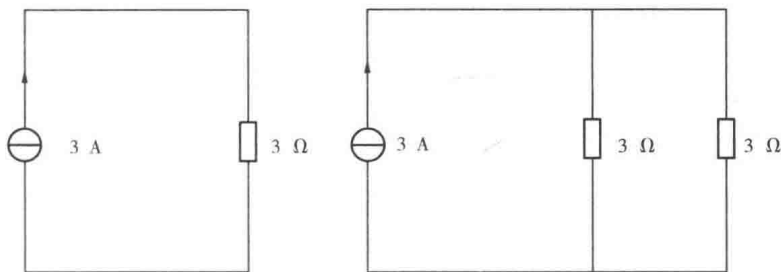


图 1-17 电流源发出的电流与外电路的关系

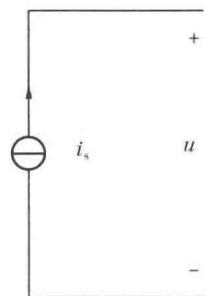


图 1-18 电流源的功率

(三) 电压源与电流源的等效变换

同一个实际电源的电路模型既可以用电压源来表示,也可以用电流源来表示,如图 1-19 所示。在保持输出电压 u 和输出电流 i 不变的条件下,相互之间可以进行等效变换。如已知 u_s 与 R_0 串联的电压源,则与其等效的电流源的电流为

$$i_s = \frac{u_s}{R_0} \quad (1-11)$$

而 R_0 与 i_s 并联;若已知 R_0 与 i_s 并联的电流源,则与之等效的电压源的电动势为

$$u_s = R_0 i_s \quad (1-12)$$

在进行电压源与电流源的等效变换时,应注意以下几点:

(1) 所谓等效,只是对外电路而言,即两个电源外电路的电压、电流相等,对电源内部则是不等效的。例如在图 1-19(a) 中,当外电路开路时, $i = 0$, 则电压源内阻上 R_0 不消耗功率,而图 1-19(b) 中电流源内部仍有电流,故 R_0 损耗功率。

(2) 理想电压源和理想电流源不能等效变换,因为理想电压源的输出电压是恒定不变的,电流却取决于外电路负载,是不恒定的;而理想电流源的输出电流是恒定的,电压 u

取决于外电路负载,是不恒定的,故两者不等效。

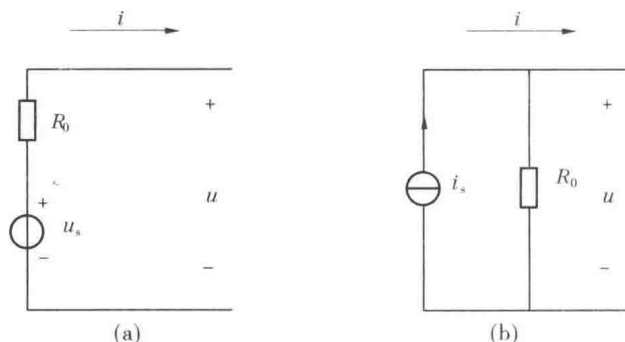


图 1-19 电压源电路和电流源电路的等效变换

(四) 受控源

1. 受控源

受控源是一种理想电路元件,主要用来构成电子器件的电路模型,分析电子电路。实际电路中有这样的情况:一个支路的电流(或电压)是受另一个支路的电流(或电压)控制的。例如晶体管,它有三个电极:基极 b、发射极 e 和集电极 c,见图 1-20(a)。集电极电流 i_c 受基极电流 i_b 控制,在一定范围内,集电极电流与基极电流成正比,即 $i_c = \beta i_b$ 。类似这样的情况是不能由电压源、电流源、电阻来模拟的,因此人们引出受控源这种理想电路元件,以便分析计算有这样情况的电路,如图 1-20(b) 所示。

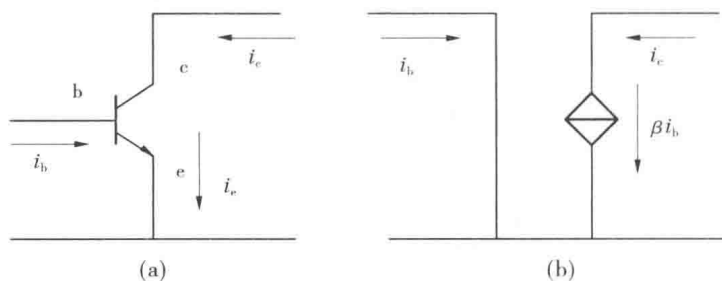


图 1-20 用受控源表示晶体管

受控源的定义如下:一个受控源由两个支路组成,一个支路是短路(或是开路);另一个支路如同电流源(或电压源),而其电流(或电压)受短路支路的电流(或开路支路的电压)控制。按照定义,有四种受控源,如图 1-21 所示。图 1-21(a)中控制支路是短路支路,控制量为电流 αi_1 ,这类受控源叫电流控制电流源。图 1-21(b)表示电压控制电流源,图 1-21(c)表示电流控制电压源,图 1-21(d)表示电压控制电压源。

与控制量成正比的受控量,即图 1-21 中 α, g, γ, μ 为常数的受控量叫线性受控量,以下只讨论线性受控源,并简称受控源。例如,上述晶体管便可用电流控制电流源构成其电路模型,如图 1-20(b) 所示。

电压源的电压不受其外部的影响,电流源的电流也不受其外部的影响,它们是独立存在的。受控源则不能独立存在,因为当控制量为零时,受控支路的电流或电压也为零。

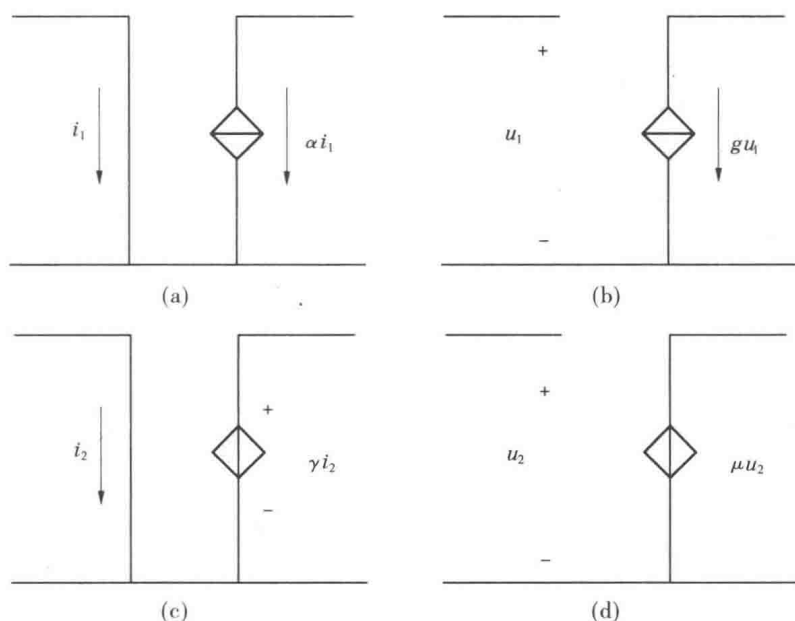


图 1-21 受控源的四种类型

如图 1-20(b) 所示的受控源, 如果它还没有接入电路, 或者虽然接入电路但 $i_b = 0$, 则 $\beta i_b = 0$, 因此受控源属于非独立源。在电路图中独立源用圆形符号表示, 受控源用菱形符号表示, 以示区别。

在电路图中, 受控源的控制支路都不画出, 只是注明受控量。

2. 含有受控源电路的分析计算

使用和分析受控源电路时, 应注意以下几个问题:

(1) 受控电压源、电阻串联组合和受控电流源、电阻并联组合仍可等效互换, 但变换中要保留控制量所在支路, 也就是保留控制量。

(2) 含受控源的二端电阻网络, 其等效电阻可能为负值, 这表明该网络向其外部发出能量。

(3) 用叠加定理求每个独立源单独作用下的响应时, 受控源要像电阻那样保留。同样, 用等效电源定理求网络除源后的等效电阻时, 受控源也要全部保留。

【例 1-2】 试求图 1-22 所示电路中电压源 U_s 的大小及受控源的功率。

解: 由 $2\ \Omega$ 电阻的电压为 10 V , 可得受控电压源的控制量

$$I = \frac{10}{2} = 5(\text{A})$$

受控源的电压 $0.5I = 0.5 \times 5 = 2.5(\text{V})$

$5\ \Omega$ 电阻的电压、电流分别为

$$10 - 2.5 = 7.5(\text{V}), \frac{7.5}{5} = 1.5(\text{A})$$

$6\ \Omega$ 电阻的电流为

$$5 + 1.5 = 6.5(\text{A})$$

所以

$$U_s = 6 \times 6.5 + 10 = 49(\text{V})$$

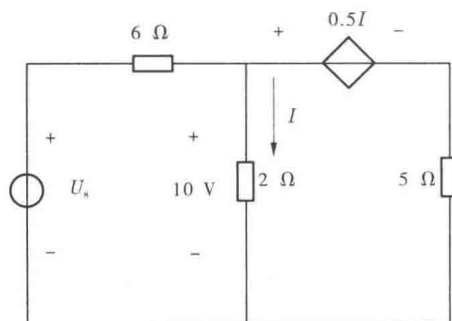


图 1-22 例 1-2 图

受控源的功率为

$$P = 2.5 \times 1.5 = 3.75 (\text{W})$$

三、电路的三种工作状态

电路有有载工作、空载、短路三种状态,现以图 1-23 所示简单直流电路为例来分析电路的各种工作状态。图中电动势 E 和内阻 R_0 串联组成电压源, U_1 是电源端电压,开关 S 和连接导线是中间环节, U_2 是负载端电压, R_L 是负载等效电阻。

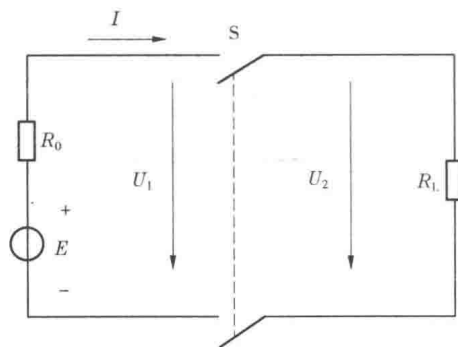


图 1-23 电路工作状态分析

(一) 有载工作状态

当开关 S 闭合时,电路中有电流流过,电源输出电功率,负载取用电功率,称为有载工作状态。这时电路中的电流为

$$I = \frac{E}{R_0 + R_L} \quad (1-13)$$

式(1-13)说明,当电源(E 、 R_0)一定时,电路工作电流 I 取决于负载电阻 R_L , R_L 减小, I 增大。电源的端电压为

$$U_1 = E - R_0 I \quad (1-14)$$

若忽略连接导线的电阻,则负载端电压 $U_2 = U_1$ 。当电源(E 、 R_0)一定时,若负载增加(R_L 增大、 I 减小),则电压 U_1 和 U_2 都将减小。

电源的输出功率为

$$P_1 = U_1 I \quad (1-15)$$

将式(1-14)代入式(1-15)得

$$P_1 = EI - R_0 I^2 \quad (1-16)$$

负载消耗的功率为

$$P_2 = U_2 I = R_L I^2 \quad (1-17)$$

由式(1-14)可得

$$E = R_0 I + R_L I \quad (1-18)$$

式(1-18)两边都乘以 I , 则有

$$EI = R_0 I^2 + R_L I^2 \quad (1-19)$$

式中, EI 是电源非电能量所产生的电功率, $R_0 I^2$ 是实际电源内电阻所消耗的功率。此式说明整个电路功率是平衡的, 即由电源发出的电功率等于电路各部分所消耗的功率。

电源内电阻 R_0 及负载电阻 R_L 上所损耗的电能量转换成热能散发出来, 使电源设备和各种用电设备的温度升高。电流越大, 温度越高。当电流过大时, 设备的绝缘材料会因过热而加速老化, 缩短使用寿命, 甚至损坏。另外, 当设备和器件上的电压过高时, 一方面会使电流增大而发热, 另外也可能使设备的绝缘被击穿而损坏。反之, 如电压过低, 则将使设备不能正常工作, 如电灯不亮, 日光灯不能起辉, 电动机转速下降或无法启动等。

为了保证电气设备和器件能安全、可靠和经济地工作, 制造厂规定了每种设备和器件在工作时所允许的最大电流、最高电压和最大功率, 这称为电气设备和器件的额定值, 常用下标符号 N 表示, 如额定电流 I_N 、额定电压 U_N 和额定功率 P_N 。这些额定值常标注在设备的铭牌上。

电气设备和器件应尽量工作在额定状态, 这种状态又称为满载; 其电流和功率低于额定值的工作状态叫轻载; 高于额定值的工作状态叫过载。一类电气设备如电灯、电炉等, 只要在额定电压的条件下使用, 其电流和功率就会符合额定值, 故只标明 U_N 和 P_N 。另一类电气设备如变压器、电动机, 在加上额定电压后, 其电流和功率取决于它所带负载的大小。例如, 电动机所带机械负载过大, 将会使电动机因电流过大而严重发热, 甚至烧毁。故在一般条件下, 电气设备不应过载运行。在电路中常安装自动开关、热继电器, 用来在过载时自动断开电源, 确保设备安全。

【例 1-3】 阻值为 $2 \text{ k}\Omega$ 、额定功率为 0.25 W 的电阻器, 在使用时其最大工作电流和电压是多少?

解: 由公式 $P = I^2 R$ 可求出其最大工作电流为

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{0.25}{2 \times 10^3}} = 0.0112 (\text{A}) = 11.2 (\text{mA})$$

其最大工作电压为

$$U = IR = 11.2 \times 2 = 22.4 (\text{V})$$

【例 1-4】 有一只 220 V 、 100 W 的电灯泡, 接到 220 V 电源上, 求它工作时的电流和电阻。

解: 工作时的电流为 $I = \frac{P}{U} = \frac{100}{220} = 0.455 (\text{A})$

电阻为 $R = \frac{U^2}{P} = \frac{220^2}{100} = 484 (\Omega)$

(二) 空载状态

在图 1-23 所示的电路中,当开关 S 断开时,电路电流为零。这称为空载,也称开路。开路时电源的端电压称为开路电压,用 U_{oc} 表示,等于电源电动势,而负载端电压为零。显然开路时电源不输出电能,电路的功率等于零。

如上所述,电路空载状态的特点是

$$\left. \begin{aligned} I &= 0 \\ U_1 &= U_{oc} = E \\ U_2 &= 0 \\ P_1 &= P_2 = 0 \end{aligned} \right\} \quad (1-20)$$

(三) 短路状态

在图 1-23 所示的电路中,当电源两端的导线由于某种事故而直接相连时,电源输出电流不经过负载,只经过连接导线直接流回电源。这种状态称为短路状态,简称短路。短路时的电流称为短路电流,用 I_{sc} 表示。因电源内阻 R_0 很小,故 I_{sc} 很大。短路时外电路的电阻为零,故电源和负载的端电压均为零。这时,电源所产生的电能全部被电源内阻消耗转变为热能,故电源输出的功率和负载取用的功率均为零。

如上所述,电路短路状态的特征是

$$\left. \begin{aligned} I &= I_{sc} = \frac{E}{R_0} \\ U_1 &= U_2 = 0 \\ P_1 &= P_2 = 0 \end{aligned} \right\} \quad (1-21)$$

此时,电源内阻 R_0 消耗的功率为 $P_E = I^2 R_0 = \frac{E^2}{R_0}$ 。

因为 I_{sc} 很大,短路时电源本身及 I_{sc} 所流过的导线温度剧增,将会损坏绝缘,烧毁设备,甚至引起火灾。因此,电路短路是一种严重的事故,应尽力避免。为防止短路所产生的严重后果,通常在电路中接入熔断器或自动开关,以能在短路时迅速切除故障电路,而确保电源和其他电气设备的安全运行。

四、直流电路的分析方法

(一) 支路电流法

1. 基尔霍夫定律

由若干电路元件按一定的连接方式构成电路后,电路中各部分的电压、电流必然受到两类约束,其中一类约束来自元件本身,即元件的伏安关系;另一类约束来自元件的相互连接方式,即基尔霍夫定律。基尔霍夫定律又分为电流定律和电压定律,是分析电路的重要基础。

电路中每一个含有电路元件的分支称为支路。同一支路上的各元件流过相同的电流,即为支路电流。电路中三条或三条以上支路的连接点称为节点。

图 1-24 所示电路中有三条支路,支路电流为 I_1 、 I_2 和 I_3 。此电路有两个节点,即节点 a 和 b。