



第1章 电路的基本概念和基本定律

1.1 电路和电路模型

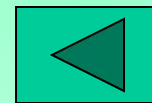
1.2 电流电压及其参考方向

1.3 电功率和电能

1.4 电阻元件和欧姆定律

1.5 电压源和电流源

1.6 基尔霍夫定律





1.1 电路和电路模型





目的与要求

- 1 了解电路和电路模型的概念
- 2 理解电源、负载的定义





重点 与 难点

重点： 电源、负载

难点： 电路模型





1.1.1 电路(一)

1. 电路是电流的流通路径,它是由一些电气设备 和元器件按一定方式连接而成的。复杂的电路呈网状,又称网络。 电路和网络这两个术语是通用的。
2. 电路的一种作用是实现电能的传输和转换。另一种作用是实现信号的处理。

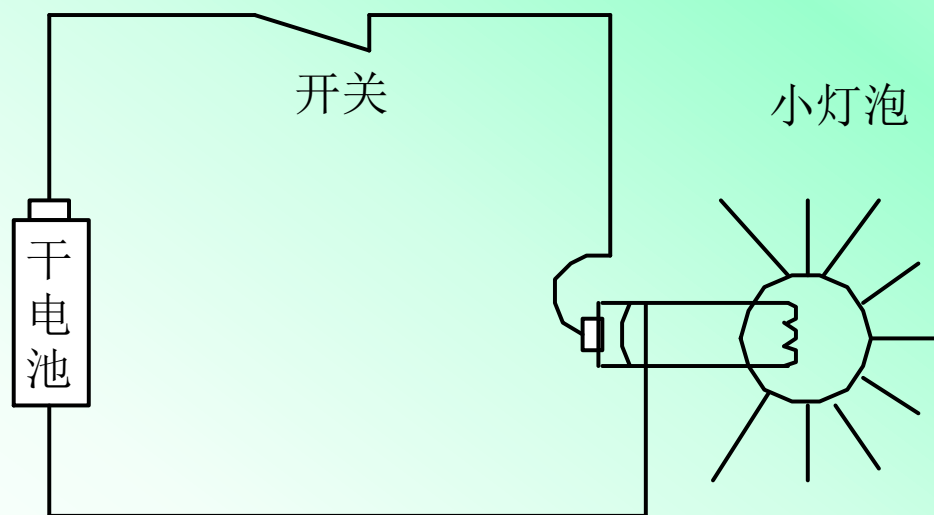




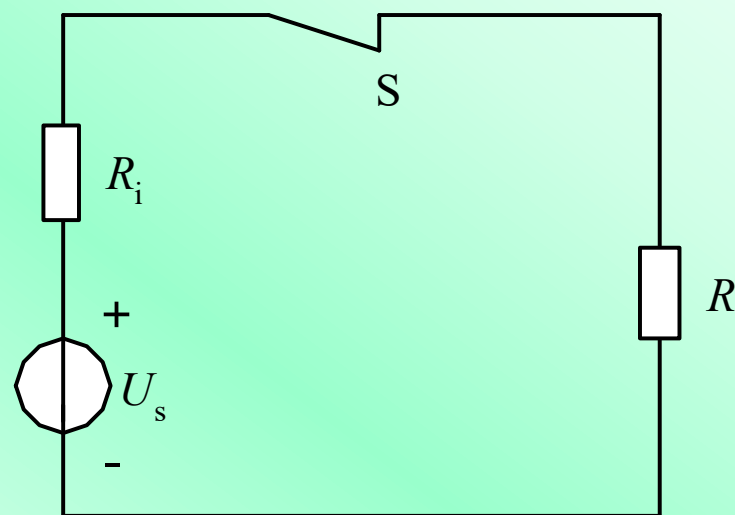
1.1.1 电路（二）

3. 电源：电路中提供电能或信号的器件

负载：电路中吸收电能或输出信号的器件

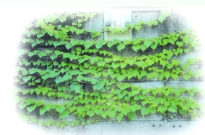


(a)



(b)

图1.1 电路的组成



1.1.2 理想电路元件



1.在一定条件下对实际器件加以理想化,只考虑其中起主要作用的某些电磁现象。

2.理想电路元件是一种理想化的模型,简称为电路元件。电阻元件是一种只表示消耗电能的元件;电感元件是表示其周围空间存在着磁场而可以储存磁场能量的元件;电容元件是表示其周围空间存在着电场而可以储存电场能量的元件等。

3.对具有两个引出端的元件,称为二端元件;对具有两个以上引出端的元件,称为多端元件。





1.1.3 电路模型

实际电路可以用一个或若干个理想电路元件经理想导体连接起来模拟, 这便构成了电路模型。





教学方法

鼓励学生自己找出日常生活中的电源负载，帮助学生理解电源、负载的定义。





思考题

1. 什么叫电路模型？建立电路模型时应注意什么问题？
2. 电工基础课研究的主要对象是什么？





1.2 电流、电压及其参考方向





目的与要求

1. 理解电流、电压的参考方向
2. 会判断电流、电压的实际方向





重点与难点

重点 电流、 电压的参考方向

难点 1.参考方向与实际方向间的关系
 2.两点间电位与电压的关系





1.2.1 电流及其参考方向（一）

1. 电流：带电粒子（电子、离子等）的定向运动, 称为电流。用符号*i*表示, 即

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

2. 电流的实际方向：正电荷运动方向。





1.2.1 电流及其参考方向（二）

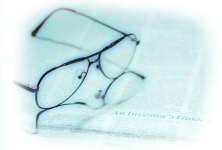
3.直流：当电流的量值和方向都不随时间变化时，称为直流电流，简称直流。直流电流常用英文大写字母 I 表示。

$$I = \frac{q}{t}$$

交流：量值和方向随着时间按周期性变化的电流，称为交流电流，简称交流。常用英文小写字母 i 表示。



1.2.1 电流及其参考方向（三）



4.单位：安〔培〕，符号为A。

常用的单位有千安（kA），毫安（mA），微安（ μA ）等。

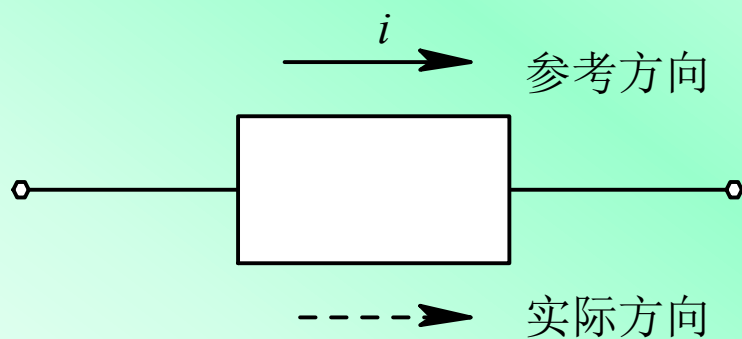
$$1A = 10^3 mA = 10^6 \mu A$$



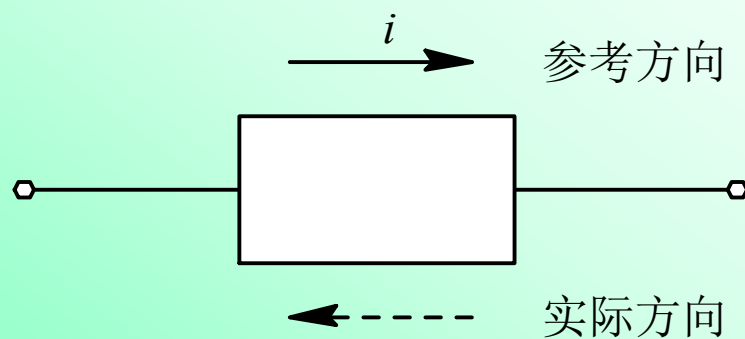
1.2.1 电流及其参考方向（四）



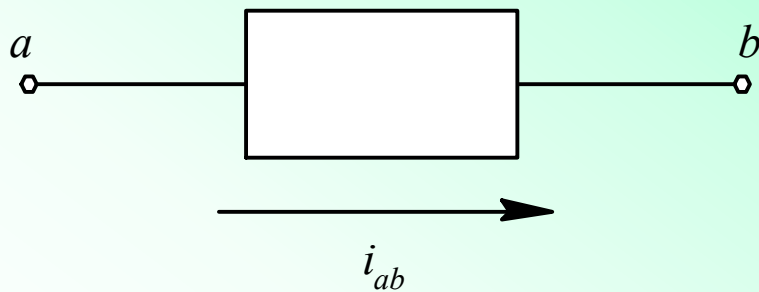
5. 在分析与计算电路时, 常可任意规定某一方向作为电流的参考方向或正方向。



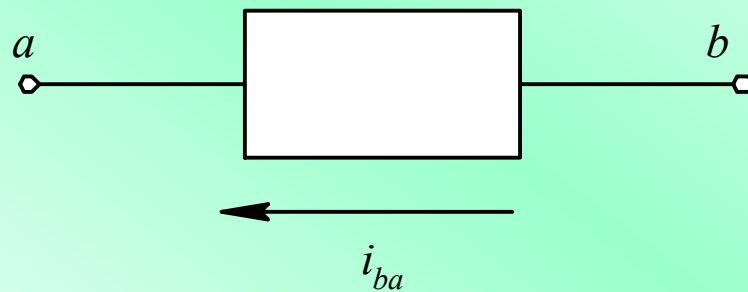
(a)



(b)

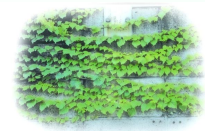


(c)



(d)

图1.2 电流的参考方向





1.2.2 电压及其参考方向（一）

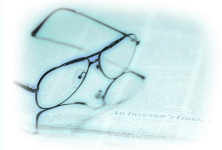
1. 电路中A、B两点间的电压是单位正电荷在电场力的作用下由A点移动到B点所减少的电能, 即

$$u_{AB} = \lim_{\Delta q \rightarrow 0} \frac{\Delta W_{AB}}{\Delta q} = \frac{dW_{AB}}{dq}$$

式中, Δq 为由A点移动到B点的电荷量, ΔW_{AB} 为移动过程中电荷所减少的电能。



1.2.2 电压及其参考方向（二）



2. 电压的实际方向：是使正电荷电能减少的方向。

电压的SI单位：是伏〔特〕，符号为V。

常用的单位：千伏（kV）、毫伏（mV）、微伏（ μV ）等。





1.2.2 电压及其参考方向（三）

3. 量值和方向都不随时间变化的直流电压, 用大写字母 U 表示。交流电压, 用小写字母 u 表示。



(a)



(b)

图1.3 电压的参考方向





1.2.2 电压及其参考方向（四）

4. 若电压的参考方向与实际方向一致，电压为正。
若电压的参考方向与实际方向相反，电压为负。
5. 分析电路时，首先应该规定电流电压的参考方向。





1.2.2 电压及其参考方向（五）

6. 元件的电压参考方向与电流参考方向是一致的，称为**关联参考方向**。

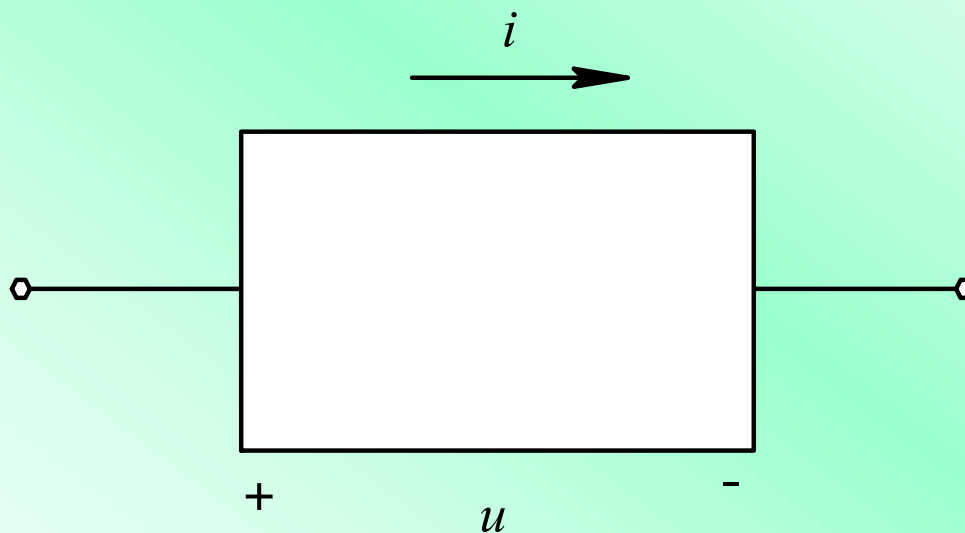


图1.4 电流和电压的关联参考方向





1.2.3 电位（一）

1. 在电路中任选一点,叫做参考点,则某点的电位就是由该点到参考点的电压。

$$V_a = U_{a0}$$



1.2.3 电位（二）



2.如果已知a、b两点的电位各为 ， ，则此两点间的 电压

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

即两点间的电压等于这两点的电位的差

3.参考点不同，各点的电位不同，但两点间的电压与参考点的选择无关。





教学方法

通过自学的方法引入参考方向的定义





思考题

1. 为什么要在电路图上规定电流的参考方向？
请说明参考方向与实际方向的关系？
2. 电压参考方向都有哪些表示方法？





1.3 电功率和电能





目的与要求

1. 会计算电功率和电能
2. 会判断电源、负载





重点与难点

重点 电功率和电能的计算

难点 关联参考方向和非关联参考方向下电功率





1.功率

定义：传递转换电能的速率叫电功率，简称功率，用p或P表示。

$$i = \frac{dq}{dt}, u = \frac{dw}{dq}$$

$$p = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \cdot \frac{dq}{dt}$$

$$p = u \cdot i$$





2.功率的正负

如果电流、电压选用关联参考方向,则所得的 p 应看成支路接受的功率,计算所得功率为负值时,表示支路实际发出功率。

如果电流、电压选择非关联参考方向, p 应看成支路发出的功率,即计算所得功率为正值时,表示支路实际发出功率;计算所得功率为负值时,表示支路接受功率。





3.直流功率

在直流情况下 $P = UI$

功率的单位为瓦〔特〕,简称瓦,符号为W,常用的有千瓦(kW)、兆瓦(MW)和毫瓦(mW)等。





4.电能的计算（一）

从 t_0 到 t 时间内, 电路吸收（消耗）的电能为

$$W = \int_{t_0}^t p dt$$

直流时, 有 $W = P(t - t_0)$





4.电能的计算（二）

$$1kW \cdot h = 10^3 \times 3600 = 3.6 \times 10^6 J$$

所有元件接受的功率的总和为零。这个结论叫做“电路的功率平衡”。





例1.1 (一)

图1.5所示为直流电路, $U_1=4\text{V}$, $U_2=-8\text{V}$, $U_3=6\text{V}$, $I=4\text{A}$, 求各元件接受或发出的功率 P_1 、 P_2 和 P_3 , 并求整个电路的功率 P 。

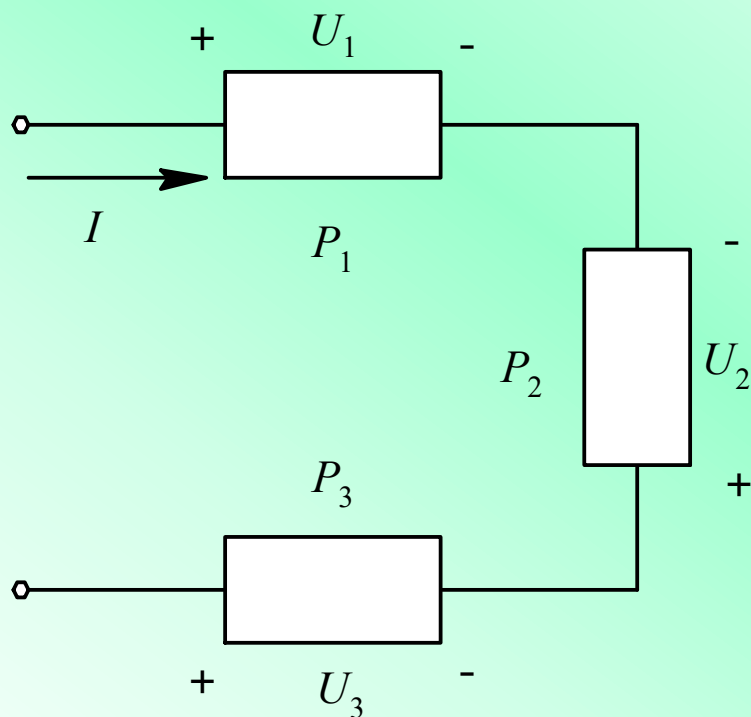


图 1.5 例1.1图





例1.1 (二)

解： P_1 的电压参考方向与电流参考方向相关联，
故 $P_1 = U_1 I = 4 \times 4 = 16\text{W}$ (接受16W)

P_2 和 P_3 的电压参考方向与电流参考方向非关联，故

$$P_2 = U_2 I = (-8) \times 4 = -32\text{W} \text{ (接受32W)}$$

$$P_3 = U_3 I = 6 \times 4 = 24\text{W} \text{ (发出24W)}$$

整个电路的功率 P ，设接受功率为正，发出功率为负，故 $P = 16 + 32 - 24 = 24\text{W}$





IV、教学方法

讲授法





V、思考题

- 1.当元件电流，电压选择关联参考方向时，什么情况下元件接受功率？什么情况下元件发出功率？
- 2.有两个电源，一个发出的电能为 $1000\text{kW}\cdot\text{h}$ ，另一个发出的电能为 $500\text{kW}\cdot\text{h}$ 。是否可认为前一个电源的功率大，后一个电源的功率小？





1.4 电阻元件和欧姆定律





目的与要求

- 1.掌握电阻元件上的欧姆定律
- 2.理解电路短路、开路时的特点





重点与难点

重点 欧姆定律、电导

难点 1.短路、开路
 2.应用欧姆定律时正负号的确定





1.电阻元件（一）

电阻元件是一个二端元件, 它的电流和电压的方向总是一致的, 它的电流和电压的大小成代数关系。

电流和电压的大小成正比的电阻元件叫线性电阻元件。元件的电流与电压的关系曲线叫做元件的伏安特性曲线。

线性电阻元件的伏安特性为通过坐标原点的直线, 这个关系称为欧姆定律。



1.电阻元件（二）

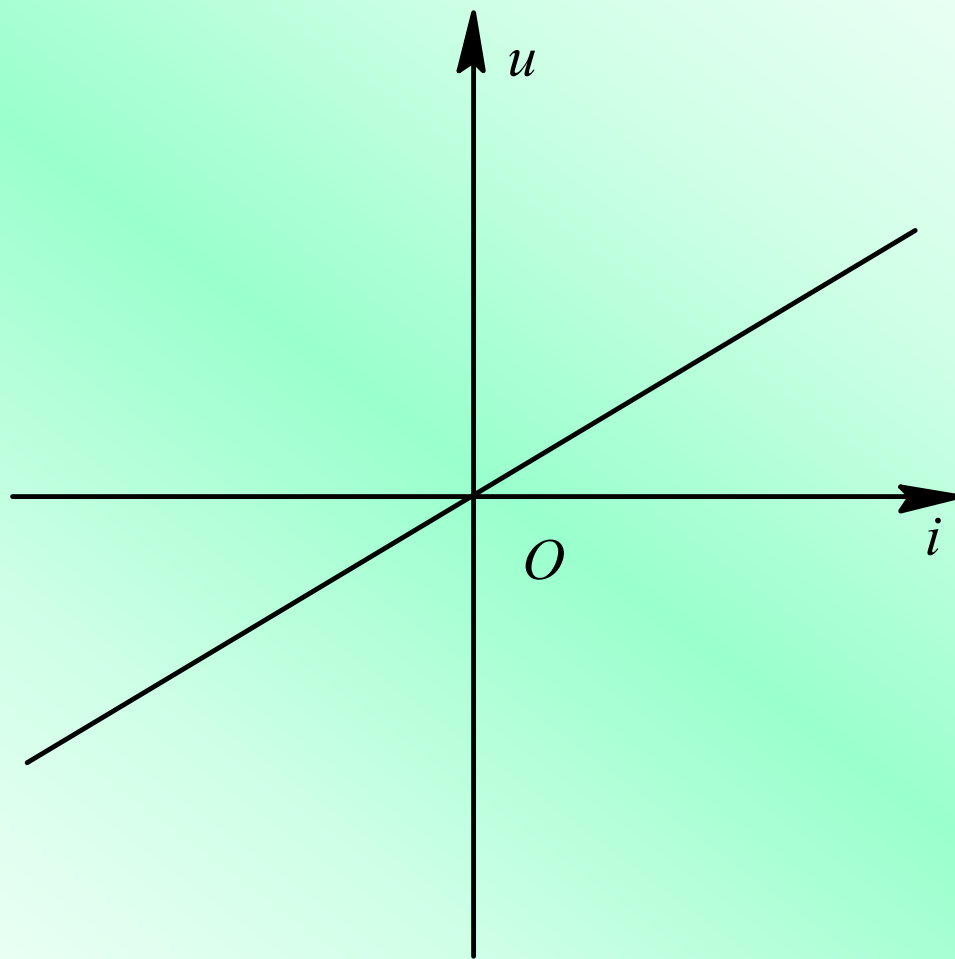


图 1.6 线性电阻的伏安特性曲线





2.欧姆定律

在电流和电压的关联参考方向下, 线性电阻元件的伏安特性如图1.6所示, 欧姆定律的表达式为

$$u = iR \quad (1.7)$$

式中, R 是元件的电阻, 它是一个反映电路中电能消耗的电路参数, 是一个正实常数。

式中电压用V表示, 电流用A表示时, 电阻的单位是欧 [姆], 符号为 Ω 。电阻的十进倍数单位有千欧 ($k\Omega$)、兆欧 ($M\Omega$) 等。





3 .非线性电阻元件

电流和电压的大小不成正比的电阻元件叫非线性电阻元件。

本书只讨论线性电阻电路。





4.电导

令 $G=1/R$, 则式 (1.7) 变为 $i = uG$ (1.8)

式中, G 称为电阻元件的电导, 单位是西 [门子], 符号为 S 。

如果线性电阻元件的电流和电压的参考方向不关联, 则欧姆定律的表达式为

$$u = -iR$$

或

$$i = -Gu$$





5.功率

在电流和电压关联参考方向下,任何瞬时线性电阻元件接受的电功率为

$$p = ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R} = Gu^2$$

线性电阻元件是耗能元件。





6.焦耳定律

如果电阻元件把接受的电能转换成热能, 则从 t_0 到 t 时间内。电阻元件的热 [量] Q , 也就是这段时间内接受的电能 W 为

$$Q = W = \int_{t_0}^t p dt = \int_{t_0}^t Ri^2 dt = \int_{t_0}^t \frac{u^2}{R} dt$$

若电流不随时间变化,

$$Q = W = P(t - t_0) = PT = RI^2T = \frac{U^2}{R} \cdot T$$

以上两式称为焦耳定律。





7.两种特殊情况

线性电阻元件有两种特殊情况值得注意：一种情况是电阻值 R 为无限大, 电压为任何有限值时, 其电流总是零, 这时把它称为“**开路**”；另一种情况是电阻为零, 电流为任何有限值时, 其电压总是零, 这时把它称为“**短路**”。





例1.2

有220V, 100 W灯泡一个, 其灯丝电阻是多少? 每天用5h, 一个月 (按30天计算) 消耗的电能为多少度?

解 灯泡灯丝电阻为
$$R = \frac{U^2}{P} = \frac{220^2}{100} = 484\Omega$$

一个月消耗的电能为

$$W = PT = 100 \times 10^{-3} \times 5 \times 30 = 15kW \cdot h = 15度$$



教学方法



“欧姆定律”在物理课中曾经接触过，这里可采用先自学的形式，提出问题：电工基础课中的“欧姆定律”与物理中的“欧姆定律”有何不同？





思考题

1. 线性电阻元件的伏安关系是怎样的?
2. 线性电阻元件接受功率的计算公式有哪些?





1.5 电压源和电流源





目的与要求

理解理想电压源、理想电流源的特点





重点与难点

重点 理想电压源、理想电流源的特点

难点 独立源、受控源



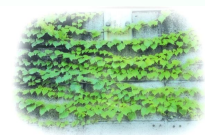


一、电压源（一）

1. 电压源是一个理想二端元件。它具有两个特点：

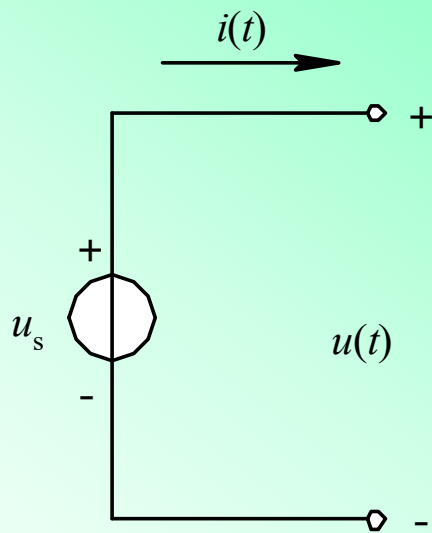
- (1) 电压源对外提供的电压 $u(t)$ 是某种确定的时间函数，不会因所接的外电路不同而改变，即 $u(t)=u_s(t)$ 。
- (2) 通过电压源的电流 $i(t)$ 随外接电路不同而不同。

常见的电压源有直流电压源和正弦交流电压源。

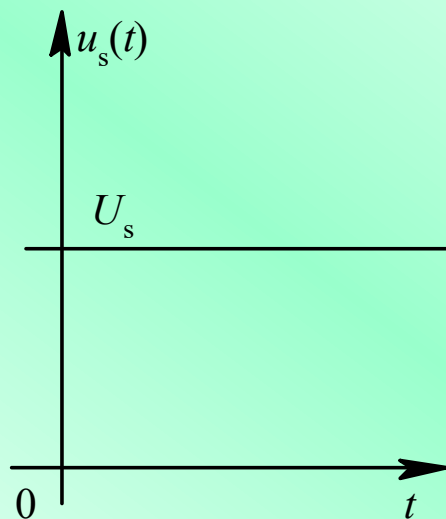




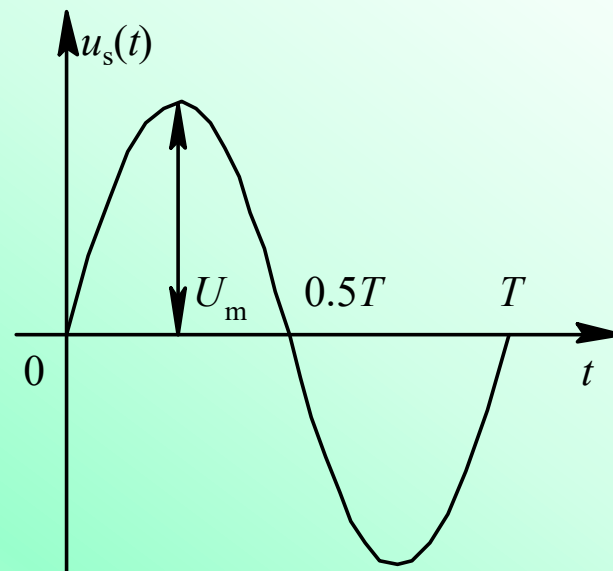
一、电压源（二）



(a)



(b)



(c)

图 1.7 电压源电压波形



一、电压源（三）



图 1.8 是直流电压源的伏安特性。

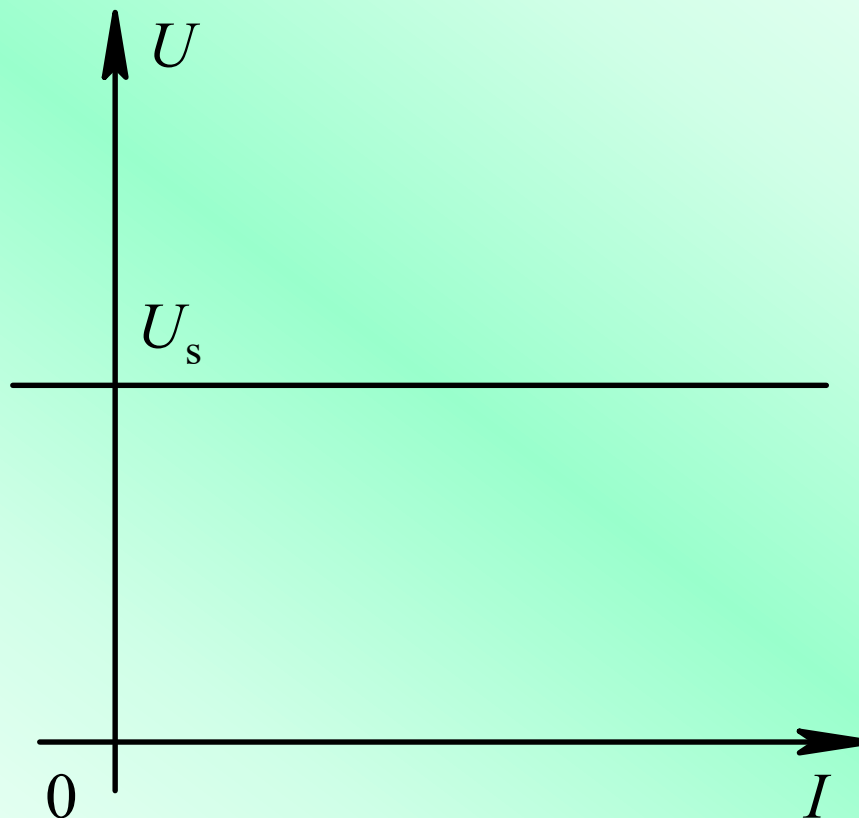


图1.8 直流电压源的伏安特性





一、电压源（四）

2.电压为零的电压源相当于短路。

3.由图1.7(a)知,电压源发出的功率为 $p = u_s i$

$p > 0$ 时,电压源实际上是发出功率;

$p < 0$ 时,电压源实际上是接受功率。



二、电流源（一）



1. 电流源也是一个理想二端元件, 它有以下两个特点:

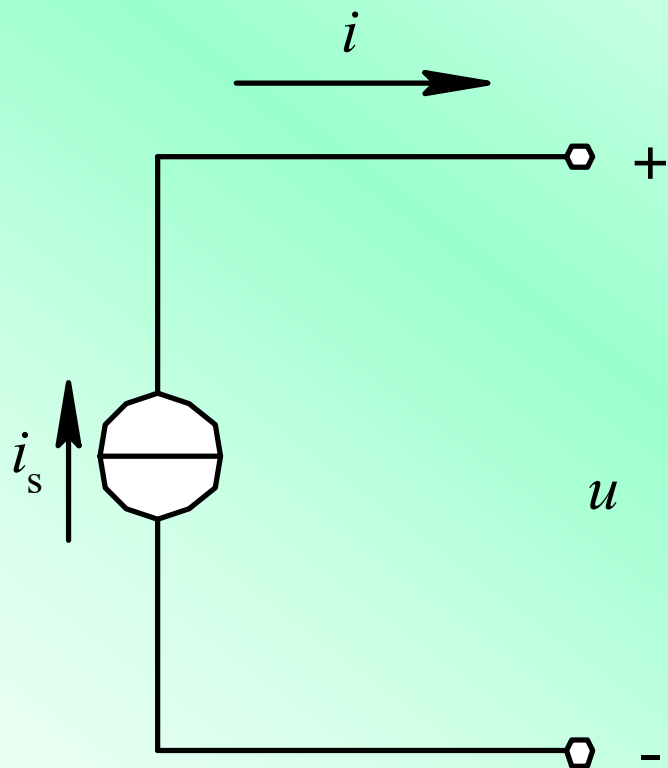
(1) 电流源向外电路提供的电流 $i(t)$ 是某种确定的时间函数, 不会因外电路不同而改变, 即 $i(t) = i_s$, i_s 是电流源的电流。

(2) 电流源的端电压 $u(t)$ 随外接的电路不同而不同。

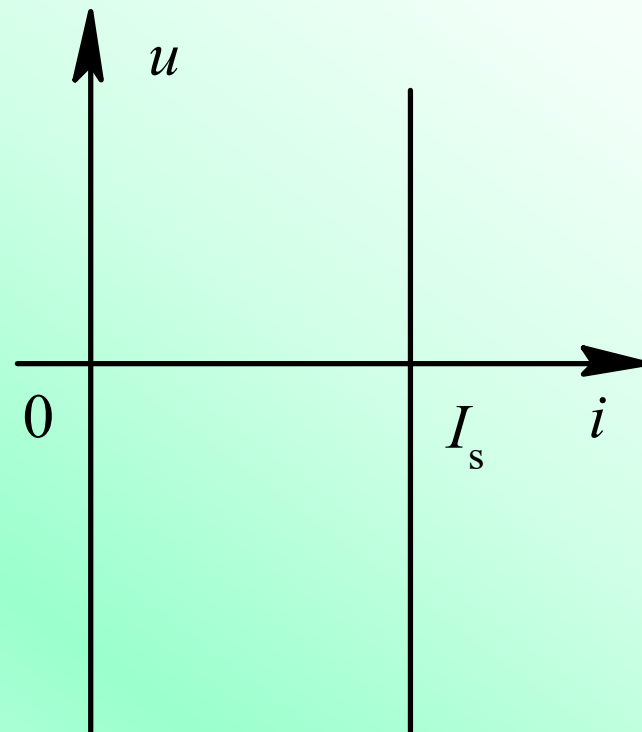
2. 如果电流源的电流 $i_s = I_s$ (I_s 是常数), 则为直流电流源。



二、电流源（二）



(a)



(b)

图1.9 电流源及直流电流源的伏安特性



二、电流源（三）

3. 电流为零的电流源相当与开路。

4. 电流源发出的功率为 $p = ui$

$p > 0$, 电流源实际是发出功率; $p < 0$, 电流源实际是接受功率。

5. 电压源和电流源, 称为**独立源**。在电子电路的模型中还常常遇到另一种电源, 它们的源电压和源电流不是独立的, 是受电路中另一处的电压或电流控制, 称为**受控源或非独立源**



例1.3 (一)



计算图 1.10 所示电路中电流源的端电压 U_1 , 5Ω 电阻两端的电压 U_2 和电流源、电阻、电压源的功率 P_1, P_2, P_3 。

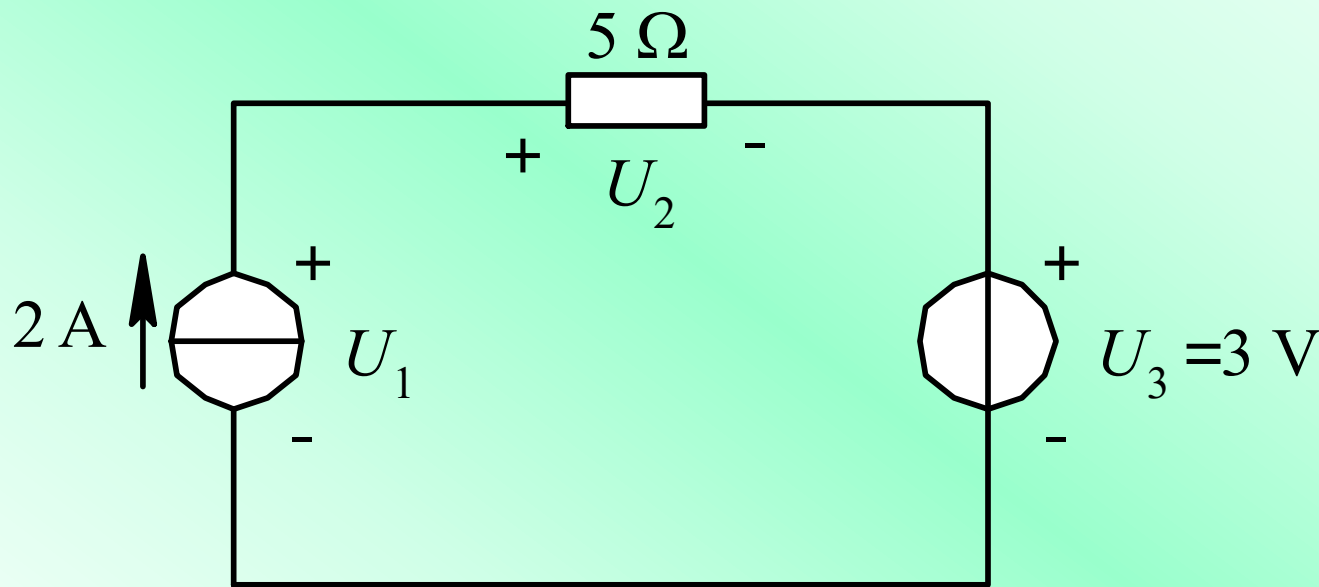


图 1.10 例1.3图





例1.3 (二)

解: $U_2 = 5 \times 2 = 10V$

$$U_1 = U_2 + U_3 = 10 + 3 = 13V$$

电流源的电流、电压选择为非关联参考方向, 所以

$$P_1 = U_1 I_s = 13 \times 2 = 26W \quad (\text{发出})$$

电阻的电流、电压选择为关联参考方向, 所以

$$P_2 = 10 \times 2 = 20W \quad (\text{接受})$$

电压源的电流、电压选择为关联参考方向, 所以

$$P_3 = 2 \times 3 = 6W \quad (\text{接受})$$





教学方法

以实际电池为例来阐述电压源的特点





思考题

1. 直流电压源的电流是怎样变化的？
2. 直流电流源的端电压怎样确定？举例说明。





1.6 基尔霍夫定律





目的与要求

- 1.理解支路、节点、回路、网孔的定义
- 2.掌握基尔霍夫电流定律、基尔霍夫电压定律





重点与难点

重点 基尔霍夫电流定律、基尔霍夫电压定律

难点 用基尔霍夫定律分析电路





基尔霍夫定律是集中参数电路的基本定律, 它包括电流定律和电压定律



一、相关名词



- (1) **支路**: 电路中流过同一电流的一个分支称为一条支路。
- (2) **节点**: 三条或三条以上支路的联接点称为节点。
- (3) **回路**: 由若干支路组成的闭合路径,其中每个节点只经过一次,这条闭合路径称为回路。
- (4) **网孔**: 网孔是回路的一种。将电路画在平面上,在回路内部不另含有支路的回路称为网孔。



二、 基尔霍夫电流定律 (KCL)

(一)



1. 在集中参数电路中, 任何时刻, 流出 (或流入) 一个节点的所有支路电流的代数和恒等于零, 这就是基尔霍夫电流定律, 简称为KCL。



二、基尔霍夫电流定律 (KCL) (二)



对图 1.11 中的节点 a , 应用KCL则有

$$-i_1 + i_3 + i_4 = 0 \quad (1.14)$$

写出一般式子, 为 $\sum i = 0$

把式 (1.14) 改写成下式, 即 $i_1 = i_3 + i_4$



二、基尔霍夫电流定律 (KCL)

(三)

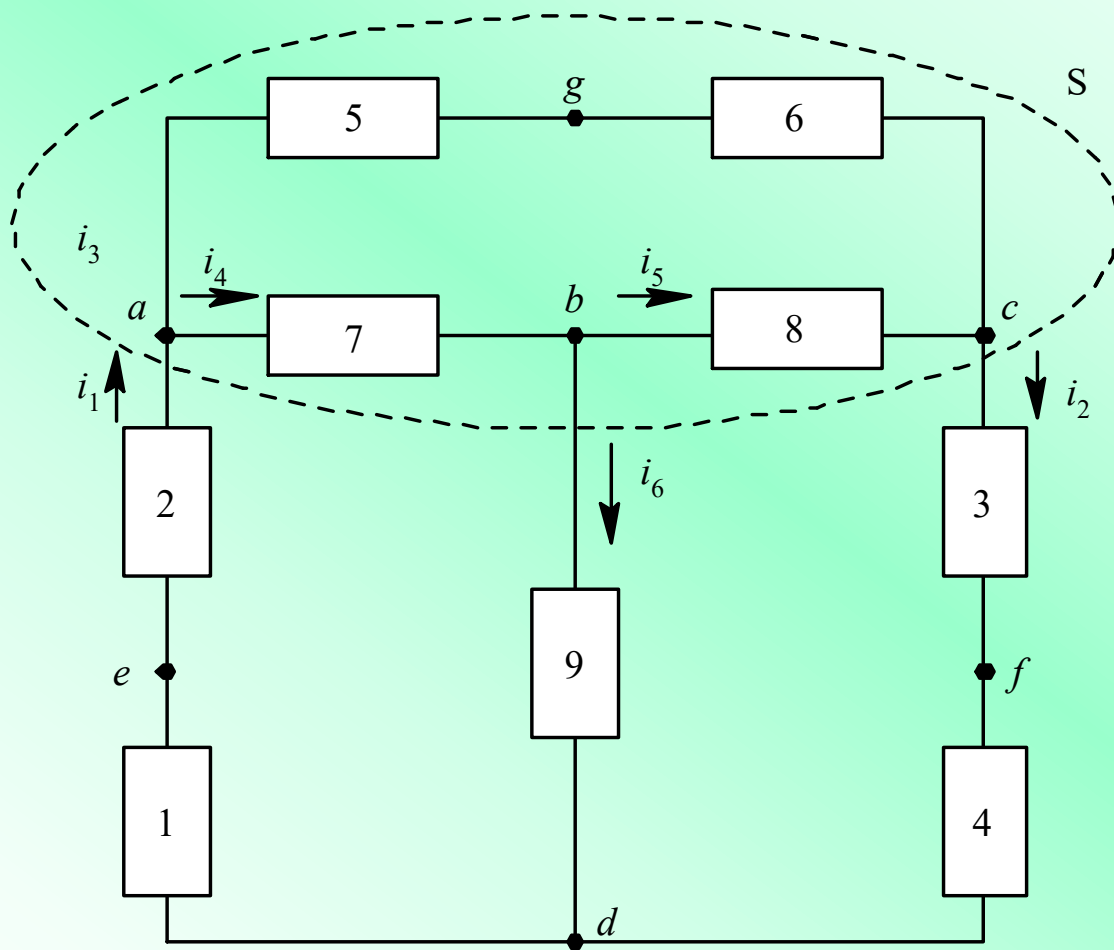
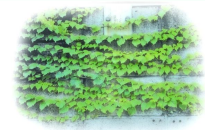


图1.11 电路实例





二、 基尔霍夫电流定律 (KCL) (四)

2. 在集中参数电路中, 任何时刻, 流入一个节点电流之和等于流出该节点电流之和。
3. KCL原是适用于节点的, 也可以把它推广运用于电路的任一假设的封闭面。例如图1.11所示封闭面S所包围的电路。

$$i_6 + i_2 = i_1$$



三、 基尔霍夫电压定律 (KVL)

(一)



1.定义:

在集中参数电路中,任何时刻,沿着任一个回路绕行一周,所有支路电压的代数和恒等于零,这就是**基尔霍夫电压定律**,简写为KVL。

用数学表达式表示为

$$\sum u = 0 \quad (1.16)$$



三、 基尔霍夫电压定律 (KVL) (二)



2. 在写出式 (1.16) 时, 先要任意规定回路绕行的方向, 凡支路电压的参考方向与回路绕行方向一致者, 此电压前面取 “+”号, 支路电压的参考方向与回路绕行方向相反者, 则电压前面取 “-”号。

在图1.11中, 对回路 $abcga$ 应用KVL, 有

$$u_{ab} + u_{bc} + u_{cg} + u_{ga} = 0$$





三、 基尔霍夫电压定律 (KVL) (三)

3. 如果一个闭合节点序列不构成回路, 例如图1.11中的节点序列 $acga$, 在节点 ac 之间没有支路, 但节点 ac 之间有开路电压 u_{ac} , KVL同样适用于这样的闭合节点序列, 即有

$$u_{ac} + u_{cg} + u_{ga} = 0 \quad (1.17)$$





三、 基尔霍夫电压定律 (KVL) (四)

4. 将式 (1.17) 改写为

$$u_{ac} = -u_{cg} - u_{ga} = u_{ag} + u_{gc}$$

电路中任意两点间的电压是与计算路径无关的, 是单值的。所以, 基尔霍夫电压定律实质是两点间电压与计算路径无关这一性质的具体表现。

不论元件是线性的还是非线性的, 电流、电压是直流的还是交流的, 只要是集中参数电路, KCL和KVL总是成立的。

例 1.4 (一)



试计算图 1.12 所示电路中各元件的功率。

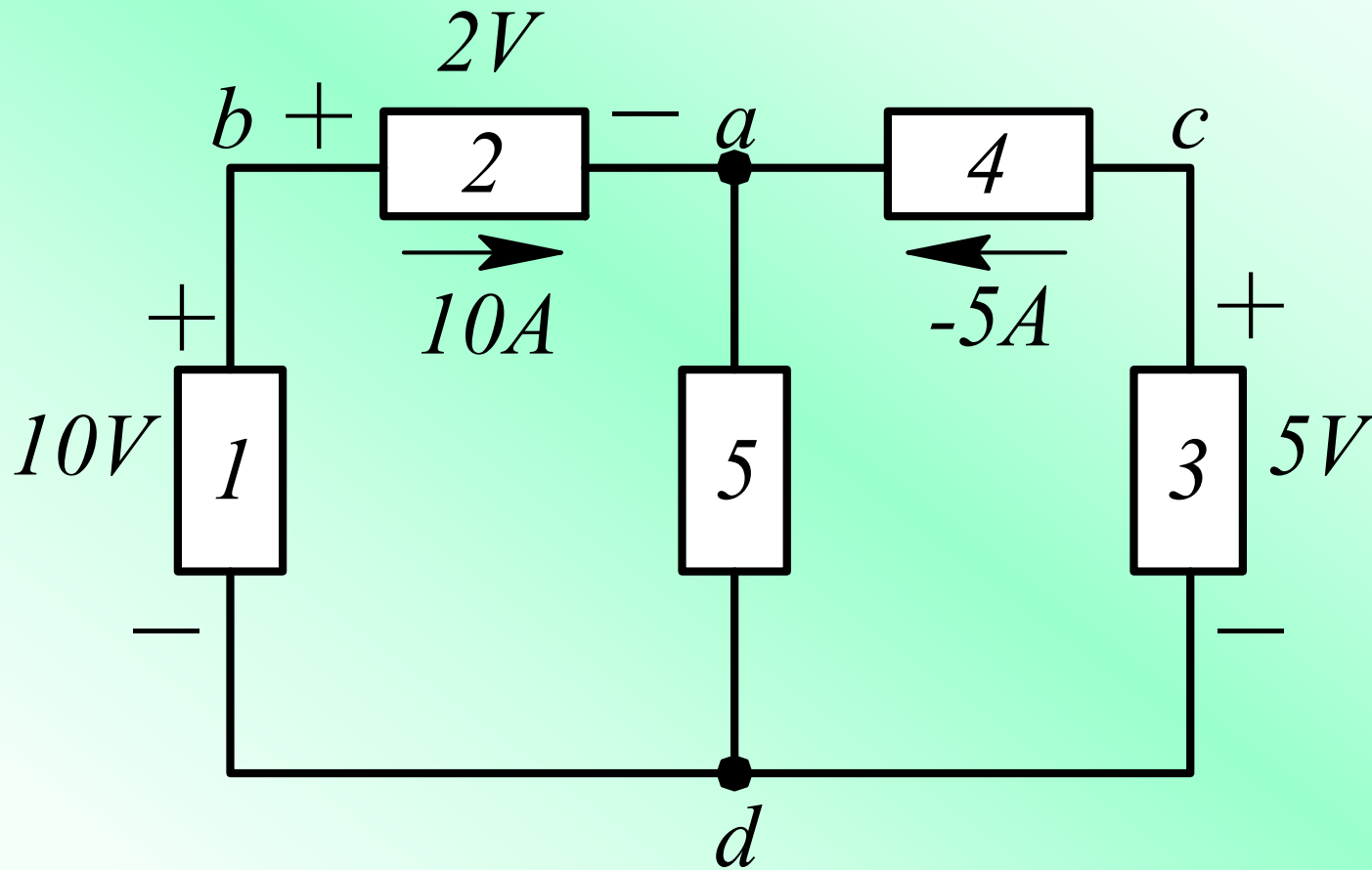


图 1 . 1 2

例 1 . 4 图





例 1.4 (二)

解 为计算功率, 先计算电流、电压。

元件 1 与元件 2 串联, $i_{db}=i_{ba}=10\text{A}$, 元件 1 发出功率

$$P_1 = 10 \times 10 = 100\text{W}$$

元件 2 接受功率 $P_2 = 10 \times 2 = 100\text{W}$





例 1.4 (三)

元件 3 与元件 4 串联, $i_{dc} = i_{ca} = -5A$, 元件 3 发出功率:

$$P_3 = 5 \times (-5) = -25W, \text{ 即接受 } 25W。$$

取回路 $cabdc$, 应用KVL, 有

$$u_{ca} - 2 + 10 - 5 = 0$$

得

$$u_{ca} = -3V$$





例 1.4 (四)

元件 4 接受功率

$$P_4 = (-3) \times (-5) = 15\text{W}$$

取节点a, 应用KCL, 有

$$i_{\text{ad}} - 10 - (-5) = 0$$

得

$$i_{\text{ad}} = 5\text{A}$$

取回路adba, 应用KVL, 有

$$u_{\text{ad}} - 10 + 2 = 0$$

得

$$u_{\text{ad}} = 8\text{ V}$$

元件 5 接受功率

$$P_5 = 8 \times 5 = 40\text{ W}$$

根据功率平衡: $100 = 20 + 25 + 15 + 40$

证明计算无误





教学方法

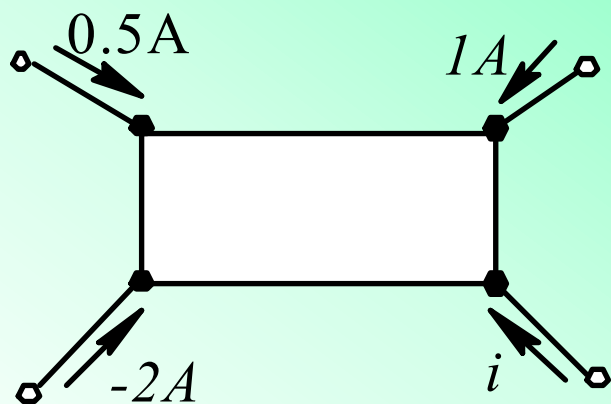
以水流喻电流，形象阐述基尔霍夫电流定律



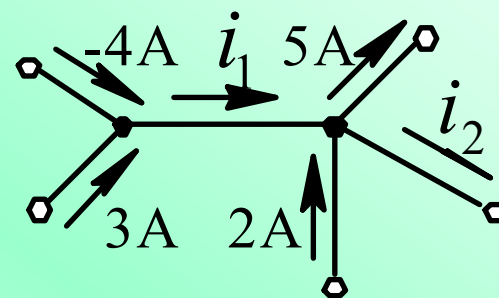


思考题（一）

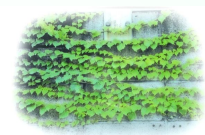
1. 在下图电路中，每条线段表示一个二端元件，试求各电路中的未知电流 i 。



(a)



(b)





思考题（二）

2.应用KVL列出下图各网孔的回路电压方程。

