电路原理

•主讲 黄如 副教授

华东理工大学

主要学习环节

♥课堂教学

紧跟老师讲课思路,积极思考,主动学习。 抓住基本概念、基本理论、基本原理和分析方法。

♥习题

注意解题方法和技巧,书写整洁。 独立完成作业,按时提交作业。

电路一词的两种含义:

- (1) 实际电路;
- (2) 电路模型。

电路:是由电气器件互连而成的电的通路。

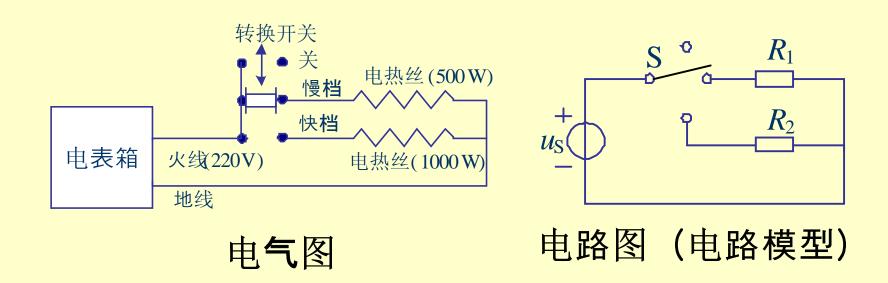
实际电路中常用的器件如:电阻器、电容器、电感器、晶体管、集成电路、发电机、电动机、变压器等。

为了研究实际电路的普遍规律,将组成实际电路的电气器件在一定条件下按其主要电磁性质加以理想化,从而得到一系列理想化元件,如电阻元件、电容元件和电感元件等。

理想元件:呈现单一电磁性质的电路元件。可以用严格的数学关系加以定义

电路模型是实际电路抽象而成, 它近似地反 映实际电路的电气特性。电路模型由一些理想电路 元件用理想导线连结而成。用不同特性的电路元件 按照不同的方式连结就构成不同特性的电路。 电路分析: 就是对由理想元件组成的电路模型的分 析。

例如:实际的电热水器的电气图如图所示。



电气图:用电气图形符号绘出实际电路的连接关系。



电工与电子技术的应用

应用举例 (1)

- -- 工业控制
- 电机控制
- 机床控制
- 生产过程自动化控制
- 楼宇电梯控制



应用举例 (2) -- 信号检测

- 压力、温度、水位、 流量等的测量与调节
- 电子仪器
- 医疗仪器

•

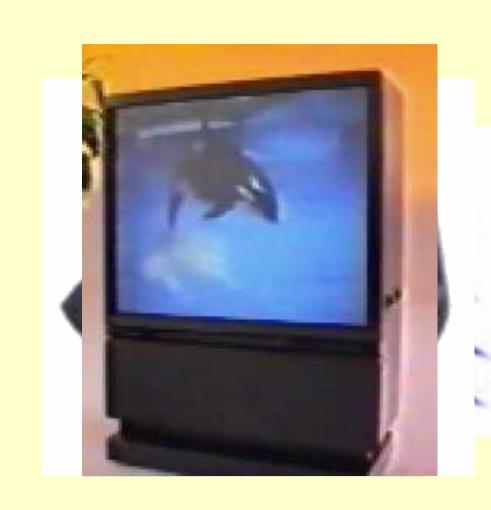




文验装置

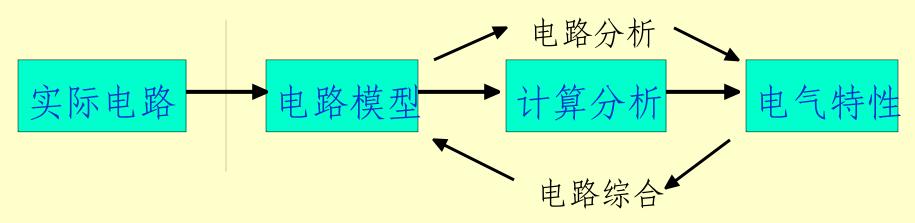
应用举例 (3)-- 家用电器

- 电灯、电话
- 广播、电视
- 冰箱、洗衣机
- 家庭影院
- •





电路分析与电路综合



电路分析: 给定电路结构及有关参数, 计算电路各部分的电压及电流, 研究电路的激励与响应之间的关系, 分析电路的特性等等。

电路综合:根据要求给定电路特性,设计电路的形式并计算电路元件的参数,从而确定电路的结构。

任务: 掌握电路的基本理论和电路分析的方

法。

2.由电阻器、电容器、线圈、变压器、晶体管、运算放大器、传输线、电池、发电机和信号发生器 等由与哭供了设久连接石成的由政 和为实际由

等电气器从了设备连接而成的电路,称为实际电 电容器 路。 二级管 晶体管 集成电路 实际电路元 电阻器 織圈 座 运算放大器

电池

教材及参考一

《电路》(第四版) 高等教育出版社 邱关源主编 付永庆主编 《电路基础》(上) (下) 高等教育出版社 《电路分析教程》 高等教育出版社 燕庆明主编 《电路理论基础》 (第3版) 高等教育出版社 陈希有主编 周守昌主编 《电路原理》(第2版) 高等教育出版社 江泽佳主编 电路原理 高等教育出版社 张永瑞主编 《电路分析》 高等教育出版社 《电路分析基础》《第3版》(上、下) 高等教育出版社 李瀚荪主编 《电路理论基础》 高等教育出版社. 周长源主编 裴留庆主编 《电路理论基础》 北京师范大学出版社.



第1章电路基本概念和电路定律

elements)

(circuit laws)

● 重点:

- 1. 电路模型
- 2. 电压、电流的参考方向
- 3. 基尔霍夫定律

1.1 电路和电路模型 (model)

1. 实际电路

→ 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。**此通路称**

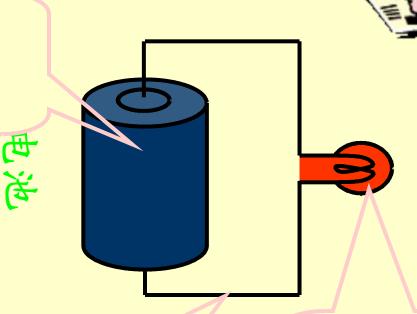
为电路或网络。 负 开 载Load 电源 Sourse 灯 泡Lam 干电池 **Battery**

电路理论中,"电路"与"网络"这两个术语可通用。"网络"的含义较为广泛,可引申至非电情况。

电路结构

电源: 提供

电能的装置



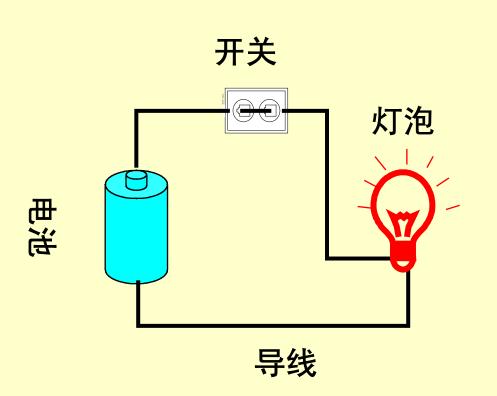
中间环节:传递、分

配和控制电能的作用

负载:取用

电能的装置

例: 手电筒电路



组成电路三要素:

1. 电源:

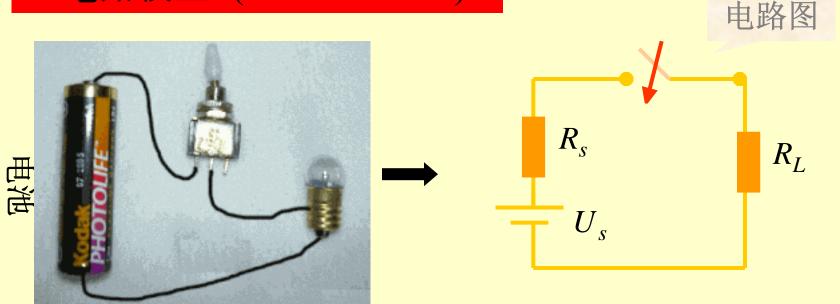
提供电能的设备。 电池、发电机、 稳压源、信号发生器

2. 中间环节:

联接导线、 控制和保护电器

3. 负载: 吸收电能的设备。

2. 电路模型 (circuit model)



- ●电路模型 → 反映实际电路部件的主要电磁性质的理想电路元件及其组合。

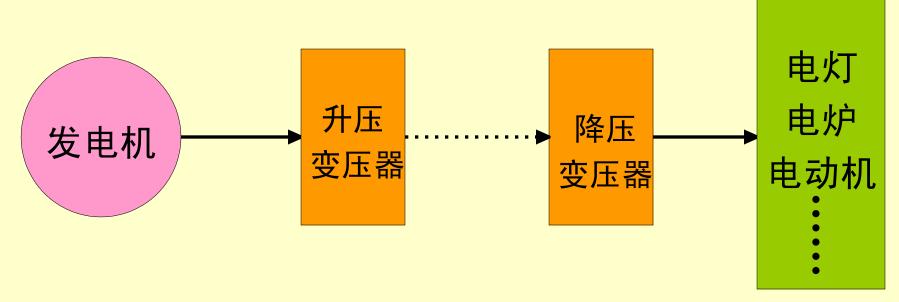
2. 电路的功能

① 实现电能的传输、分配和转换

—电能的应用(电力类)

注重: 节能、 安全(减少损耗)

体现在电力系统中。如输电线路:

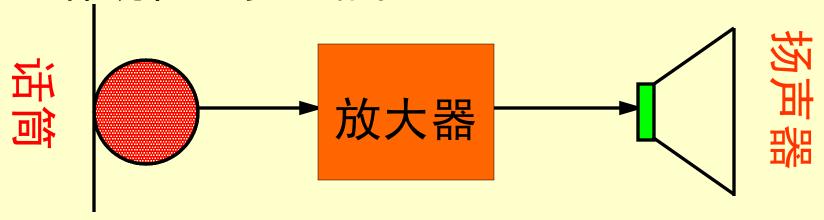


② 进行信号的传递、处理和转换

—信号处理(电子类)

注重:如何准确地传递和处理信号

体现在电子电路中。



语言、音乐 ——

u, i

语

言、音乐

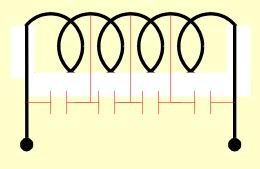
二.电路元件

• 1. 实际电路元件(电路部件 component):构成实际电路的电气器件or部件。是实物!有电阻器、电源、电感线

由灾哭 坐旦休答笙 云母电容器 电解电容器 微调电容器

注:实际电路元件通电时会显示几种电磁现象。

例如:一个电感线圈



实际情况

导线有电阻—热效应 线圈有电感—磁场效应 匝间有电容—电场效应

2. 理想电路元件(电路元件 element):

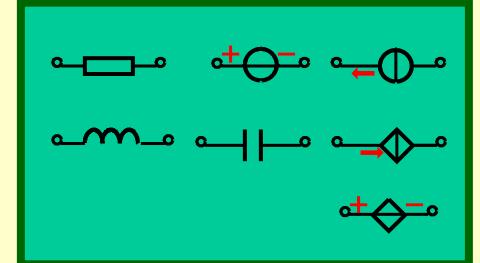
只显示单一电磁现象的电路元件。是模型! ——电 阻、电感、 电容、电压源、电流源、受控源

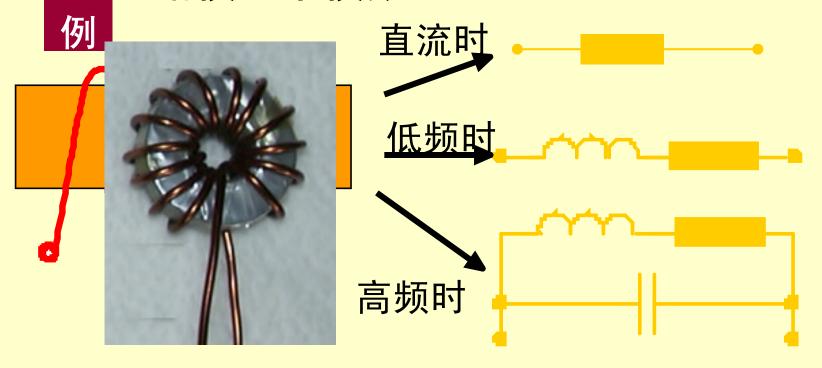
电阻元件:表示消耗电能的元件

电感元件:表示产生磁场,储存磁场能量的元件

电容元件:表示产生电场,储存电场能量的元件

电源元件:表示各种将其它形式的能量转变成电能的元件



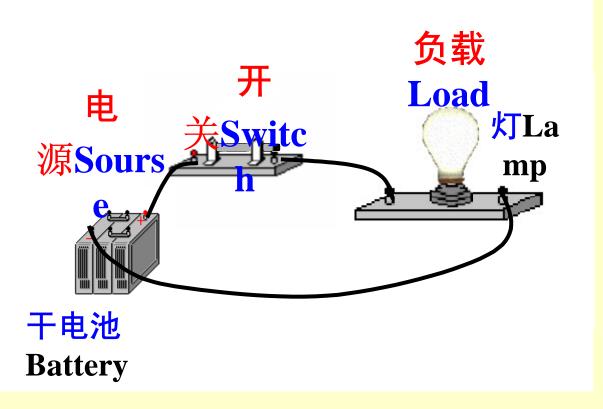


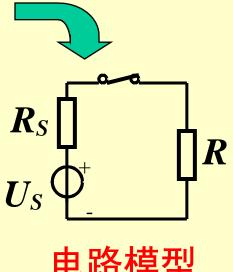
在一定条件下,忽略实际部件的的次要物理过程, 用一个完全能够表征其主要的电磁性能的模型来 抽象表征实际部件。

2. 电路模型 (circuit model)

电路模型 ——用一个或多个理想电路元件构成的模型模拟实际电路,使得模型中出现的电磁现象与实际电路反映出的现象十分近似。由理想电路

元件组成的由路成为由路模型。





电路模型 Circuit Models

电路理论中研究的是 理想电路元件构成的电路(模型)。

电路模型,不仅能够反映<u>实际电路及其</u>器件的基本物理规律,而且能够对其进行数学描述。这就是电路理论把电路模型作为分析研究对象的<u>实质</u>所在。

本课程分析的电路都是电路模型,模型中的元件都是理想电路元件.

3. 元件的分类

1. 集总参数 & 分布参数元件

元件参数与其几何尺寸无关者为<mark>集总(集中</mark>)参数元件,否则 为分布参数元件。

集中化(集总化)判据(条件): d <<

d---实际电路的最大尺寸; λ ----电磁信号(i, u)波长,即电磁波在一周期时间T内所走的距离。

集总化条件: << T

即电磁信号从实际电路的一端传播到另一端所需时间 远远小于电磁信号的周期T。说明电磁信号大小来不及变化时,电磁信号瞬间就传至电路各处或各个元件。

- ▶集总(中)参数元件视为不具备实际的尺寸。可视其为集总在空间的一点,
 从二端元件的一端流入的电流在任何时刻都等于从另一端流出的电流;
 而且两端的电压具有确定的量值。
- >d "远小于" λ的标准是十分之一。

由集总参数元件构成的电路称为集总参数电路。

- ▶此抽象有很大的实际意义。: 将实际电路作为"一点"而不考虑空间因素,我们能作出其内的电磁信号 (u,i等) 仅是时间的函数, —而与空间坐标无关的结论。: 在集总参数电路内,电流、电压都记为 i(t)、u(t)。
- ➤分布参数电路是不满足 d << λ 的电路, 分析时需考虑尺寸,其i(t,x)、u(t,x)是 时空函数。

客观世界是不存在没有尺寸的实际电路,但有一定尺寸又符合 $d << \lambda$ 的实际电路确实存在。

eg1. 若一高保真音响系统所允许的信号的最高频率为25kHz,最低频率为20Hz,则最高频率信号和最低频率信号的波长分别为

显见,一个可摆在房内的音响系统的尺寸满足

$$d << \lambda$$

eg2. 我国电力系统使用的频率为50Hz, 其对应的波长约为

$$\frac{c}{f}$$
 $\frac{3}{50}$ $\frac{10^8}{m}$ 6000 km

:远距离传输线不可作为集总电路处 理。

本课程中分析的是集中参数电路!

1.2 电流和电压的参考方向

(reference direction)

电路中的主要物理量有电压、电流、电荷、磁链、能量、电功率等。在线性电路分析中人们主要关心的物理量 是电流、电压和功率。

1. 电流的参考方向 (current reference direction)

●电流

带电粒子有规则的定向运动

●电流强度

单位时间内通过导体横截面的电荷量

$$i(\mathbf{t}) \lim_{\ddot{A}t = 0} \frac{\ddot{A}q}{\ddot{A}t} \frac{dq}{dt} \quad or \quad I \quad \frac{Q}{t}$$

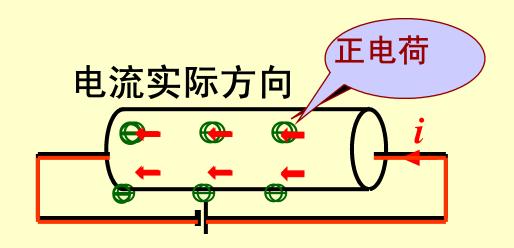


1kA=10³A
1mA=10⁻³A
1 A=10⁻⁶A



方向

规定正电荷的运动方向为电流的实际方向

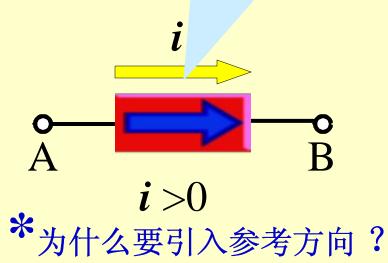


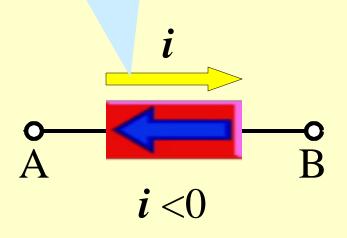
问题

复杂电路或电路中的电流随时间变化时,电流的实际方向往往很难事先判断。

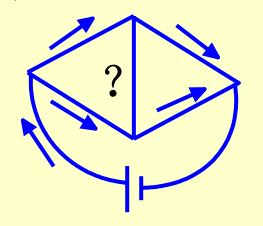
电流实际方向**与** 参考方向相同

电流实际方向与 参考方向相反





(a) 复杂电路的某些支路事先无法确定实际方向。



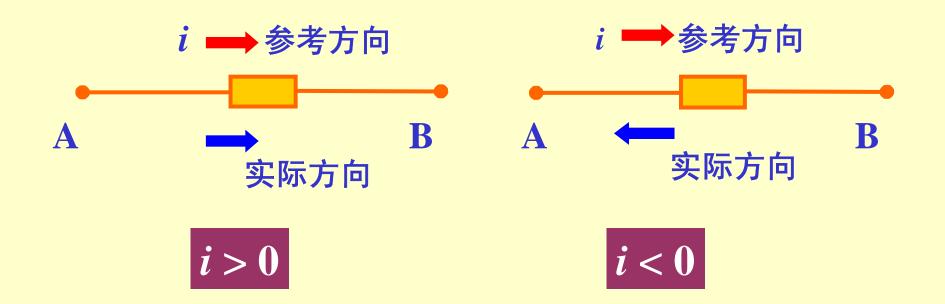
中间支路电流的实际方向无法确定, 为分析方便,只能先任意标一方向(参考方向),根据计算结果,才能确 定电流的实际方向。 ●参考方向

任意假定一个正电荷运动的方向即为电流的参考方向。

电流(代数量)

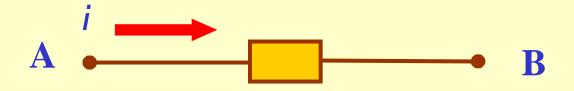
大小 方向(正负) i 参考方向 A B

电流的参考方向与实际方向的关系:

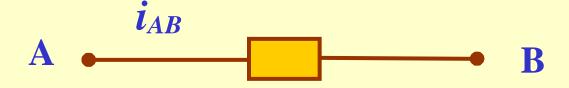


电流参考方向的两种表示:

用箭头表示:箭头的指向为电流的参考方向。



用双下标表示:如 i_{AB} ,电流的参考方向由A指向B。



2. 电压的参考力力、voltage reference direction)

电位

电压u

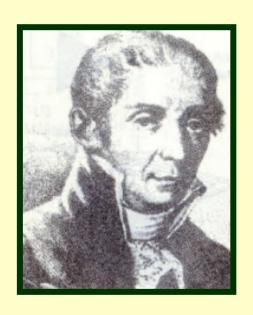
(=0)时电场力做功的大小 单位正电荷q 从电路中一点移至另一点时

(电压降、电位差)

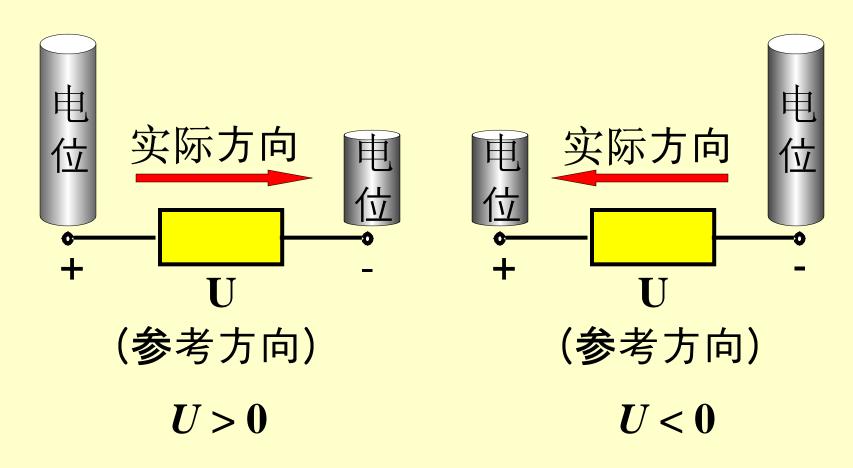
电场力做功(W)的大小.

$$u \stackrel{\text{def}}{=} \frac{dw}{dq} \quad or \quad U \qquad \frac{W}{Q}$$

- 实际电压方向 🗪 电位真正降低的方向
 - 单位: V (伏)、kV、mV、 V



电压参考方向

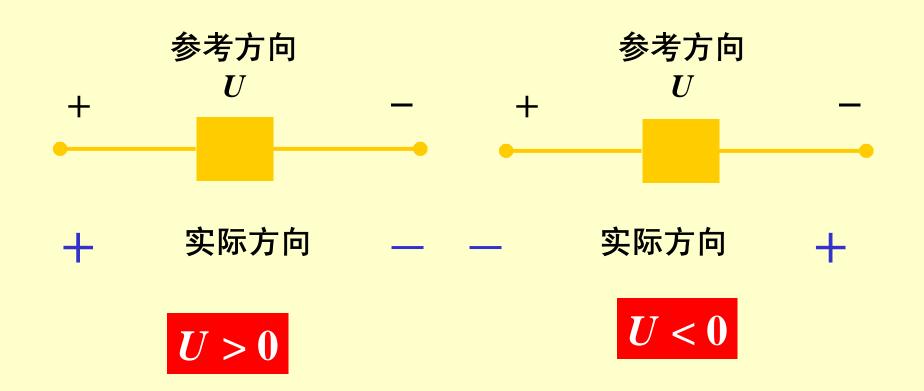


问题

复杂电路或交变电路中,两点间电压的实际方向往往不易判别,给实际电路问题的分析计算带来困难。

● 电压(降)的参考方向

假设的电压降低之方向



电压参考方向的两种表示方式:

(1) 用正负极性表示



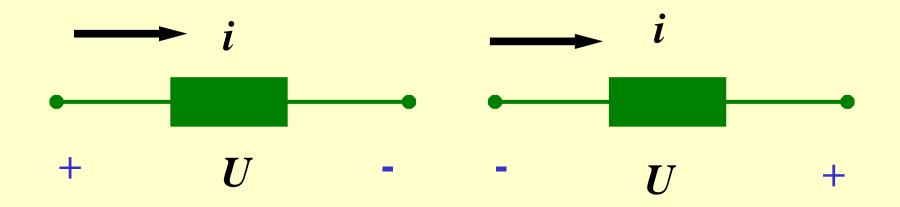
(2) 用双下标表示



$$U_{AB} = U_{A} - U_{B} = -U_{BA}$$

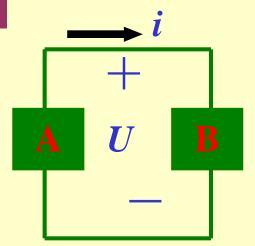
3. 关联参考方向

元件或支路的*u,i* 采用相同的参考方向称之为关联参考方向,即电流从电压的"+"极流入,从"-"极流出该元件。反之,称为非关联参考方向。



关联参考方向

非关联参考方向



电压电流参考方向如图中所标,问: 对A、B两部分电路电压电流参考方向关联

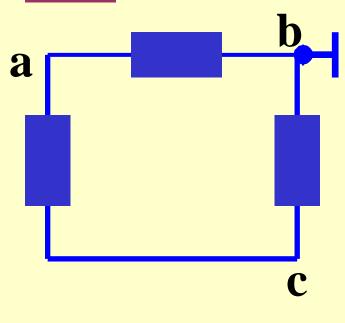
答: A 电压、电流参考方向非关联;

B 电压、电流参考方向关联。

注

- (1) 分析电路前必须选定电压和电流的参考方向, 分别独立地、任意指定的。但在计算过程中不得任意改变。
- (2) 关于关联或非关联参考方向,要讲清楚关于哪一支路、元件而言.
 - (3) 参考方向不同时,其表达式相差一负号。
- (4) 今后凡不特别说明,在电路中所标定的方向均 为参考方向。





已知: 4C正电荷由a点均匀移动至b点电场力做功8J,由b点移动到c点电场力做功为12J,

(1) 若以b点为参考点,求a、b、c点的电位和电压Uab、Ubc;

(2) 若以c点为参考点,再求以上各值 (1) 以b点为电位参考点

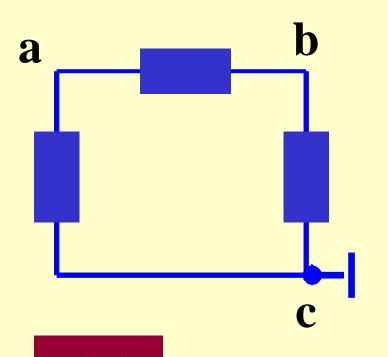
 U_{ab} a 202V

 U_{bc} $_{b}$ $_{c}$ 0 (3) 3V

解

(2) 以c点为电位参考点

_c 0



结论

电路中电位参考点可任意选择;参考点一经选定,电路中 各点的电位值就是唯一的;当选择不同的电位参考点时, 电路中各点电位值将改变,但任意两点间电压保持不变。

4. 电流和电压的分类

(1) 直流DC (Direct current):

i(t)的大小和方向都不随时间变化的称 为恒定直流I。

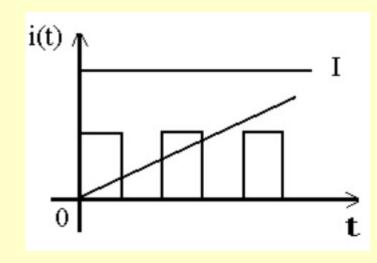
(2) 时变电流:

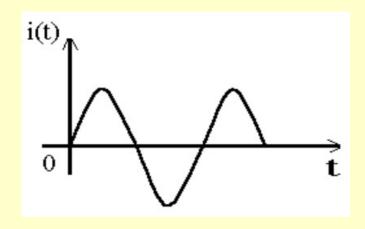
i(t)的大小和方向都是关于时间的函数。



(alternating current):

i(t)的大小和方向随时间作周期性变常用**您**流: 正弦交流





工业用电、家庭用电(空调、冰箱、洗衣机…)均为正弦交流电。

1.3 电路元件的功率(power)

1. 功率

◇定义:单位时间内所转换的电能。

对发电设备来说,功率是单位时间内所产生的电能,对用电设备来所,功率是单位时间内所吸收的电能。

关联参考方向情况:

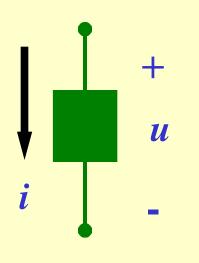
$$P \quad \frac{dw}{dt} \quad \frac{dw}{dq} \quad \frac{dq}{dt} \quad u \quad i \quad \left\{ \begin{array}{l} > 0, \text{N吸收功率 (实际)} \\ < 0, \text{N供出功率 (实际)} \end{array} \right.$$

单

 $[V][A] \quad \frac{[[]]}{[]$

2. 电路吸收或发出功率的判断

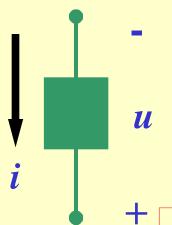
• u,i 取关联参考方向



 $P_{W}=ui$ 表示元件吸收的功率值

P>0 实际上吸收功率,消耗电能

P < 0 实际发出功率,产生电能



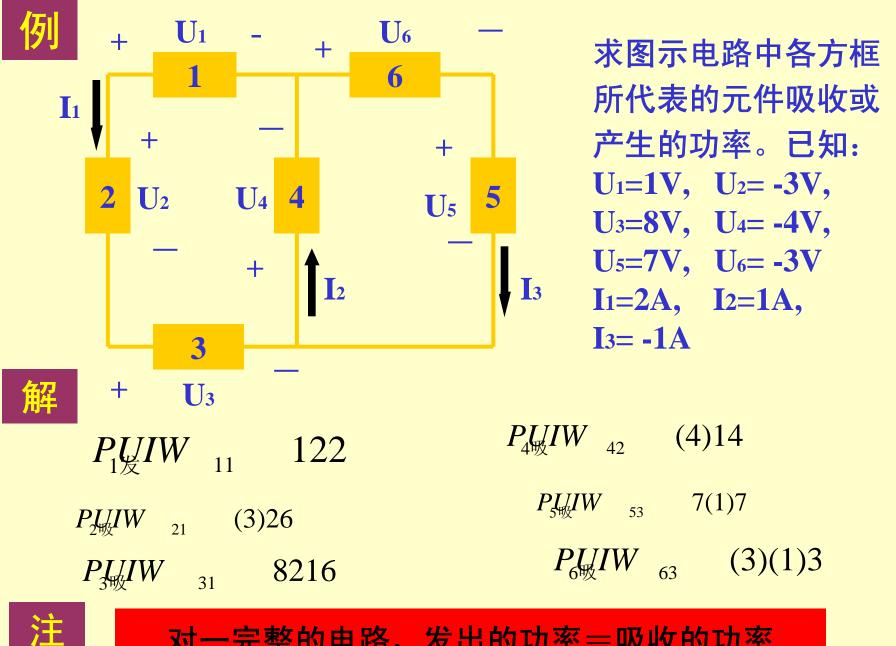
• u,i 取非关联参考方向

 $p_{\mathcal{B}} = ui$ 表示元件发出的功率值

P>0 实际发出功率

P < 0 实际吸收功率

吸收功率 $P_{\text{W}} = -$ 发出功率 P_{K}

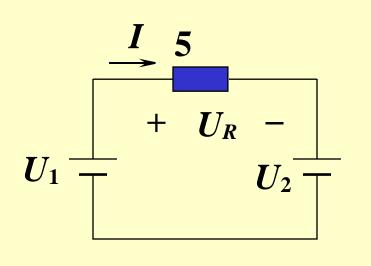


对一完整的电路,发出的功率一吸收的功率

功率计算不仅适用于元件,也适用于任意二端 网络。

电阻元件在电路中总是消耗(吸收)功率,而电源在电路中可能吸收,也可能发出功率。

例 $U_1=10$ V, $U_2=5$ V。 分别求电源、电阻的功率。



$$I=U_R/5=(U_1-U_2)/5=(10-5)/5=1$$
 A

$$P_R$$
_W= U_RI = 5 1 = 5 W

$$P_{U1}$$
 发 = $U_1I = 10 1 = 10 W$

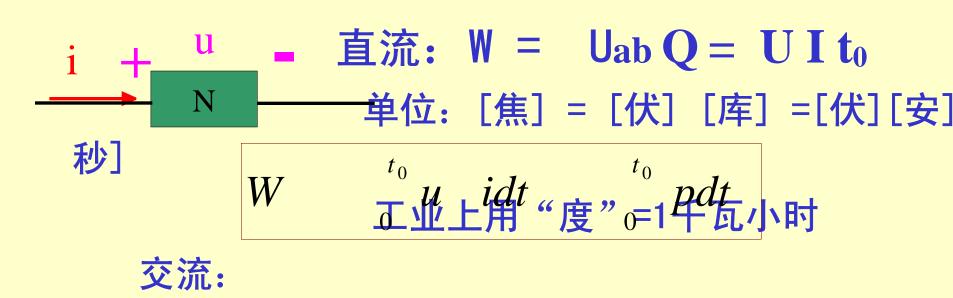
$$P_{U2}$$
 $= U_2I = 5$ $1 = 5$ W

$$P$$
发= 10 W, P 吸= 5+5=10 W

$$P_{\mathcal{B}}=P_{\mathcal{W}}$$
 (功率守恒)

3. 电能(W,w)

定义: [0, t₀]时间内,电场力将电量为Q的 正电荷从a→b 所作的功。



u, i关联时,w > 0,N吸收正电能(产生负电能),总体说, t_0 内N为能量的需求数据。

§1-3 基尔霍夫定律 (Kirchhoff's Laws)

1. 基尔霍夫电流定律 Kirchhoff's Current Law

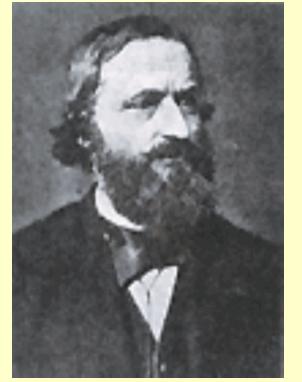
2. 基尔霍夫电压定律 Kirchhoff's Voltage Law



1. 元件约束

联接

(整体) -----KCL &



2. 拓扑约束 德国物理学家Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887),于1847年发表KCL & KVL。

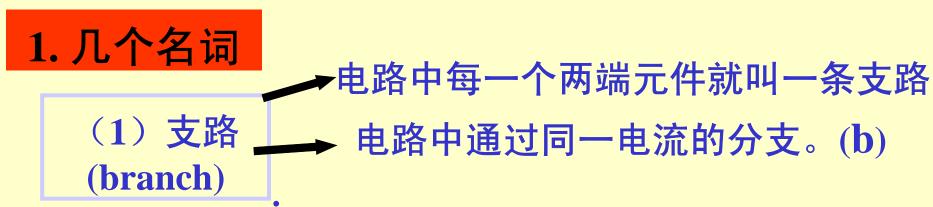
基尔霍夫定律&欧姆定律一起奠定了

由恐珊论的其础

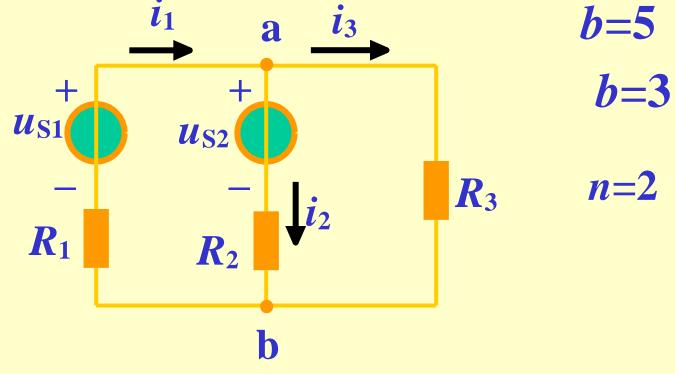
 KCL:
 i 0
 节点上各支路电流的

 线性约束

KVL: u 回路中各支路电压的 线性约束



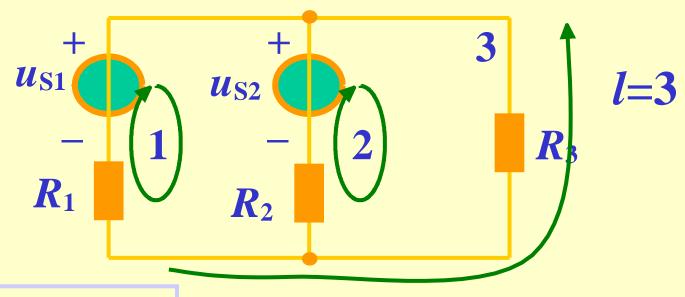
▶ 电路中通过同一电流的分支。(b)



(2) 节点 (node)

三条或三条以上支路的连接 点称为节点。(n)

- (3) 路径(path) 两节点间的一条通路。由支路构成。
- (4) 回路(loop) 由支路组成的闭合路径。(l)



对平面电路,其内部不含任何支路的回路称网孔。

网孔是回路,但回路不一定是网孔

例:

支路: ab、bc、ca… (共6条)

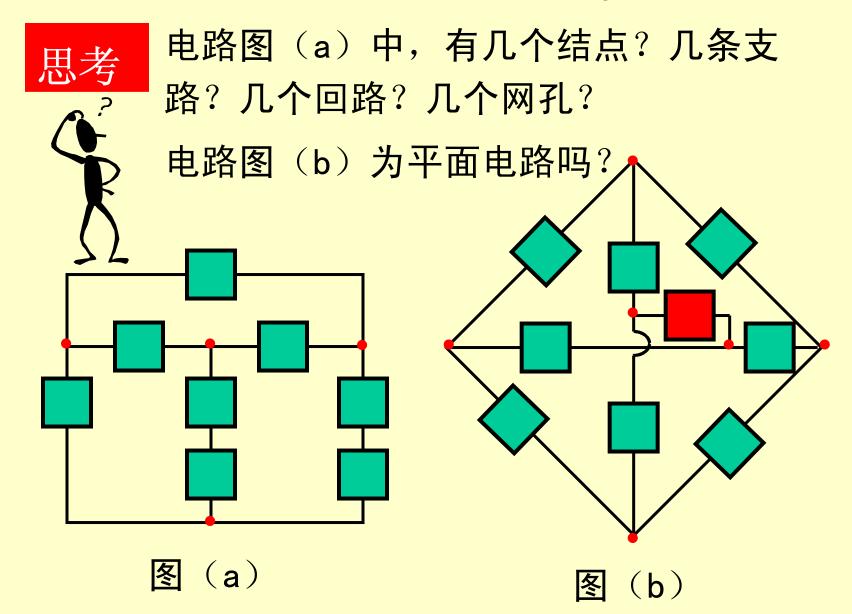
结点: a、b、c、d (共4个)

回路: abd、abcd

• • •

<u>(共7 个)</u>

网孔: abd、bcd ··· (#3 个)

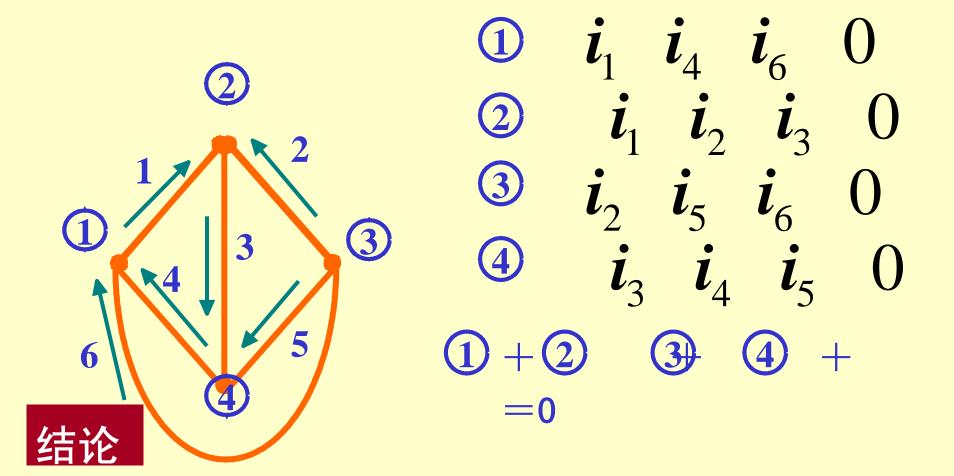


2. 基尔霍夫电流定律 (KCL)

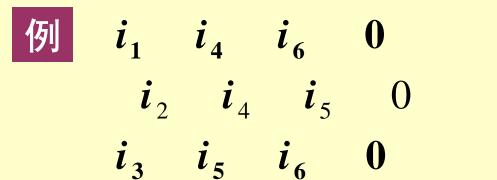
在集总参数电路中,任意时刻,对任意结点流出或流入该结点电流的代数和等于零。



KCL的独立方程数

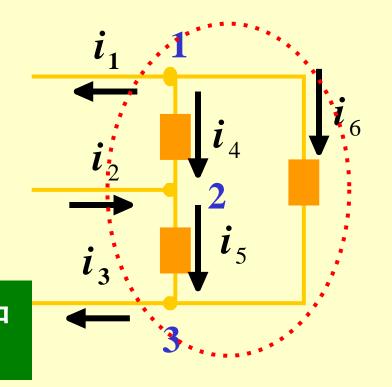


n个结点的电路,独立的KCL方程为n-1个。



三式相加得: i_1 i_2 i_3 0

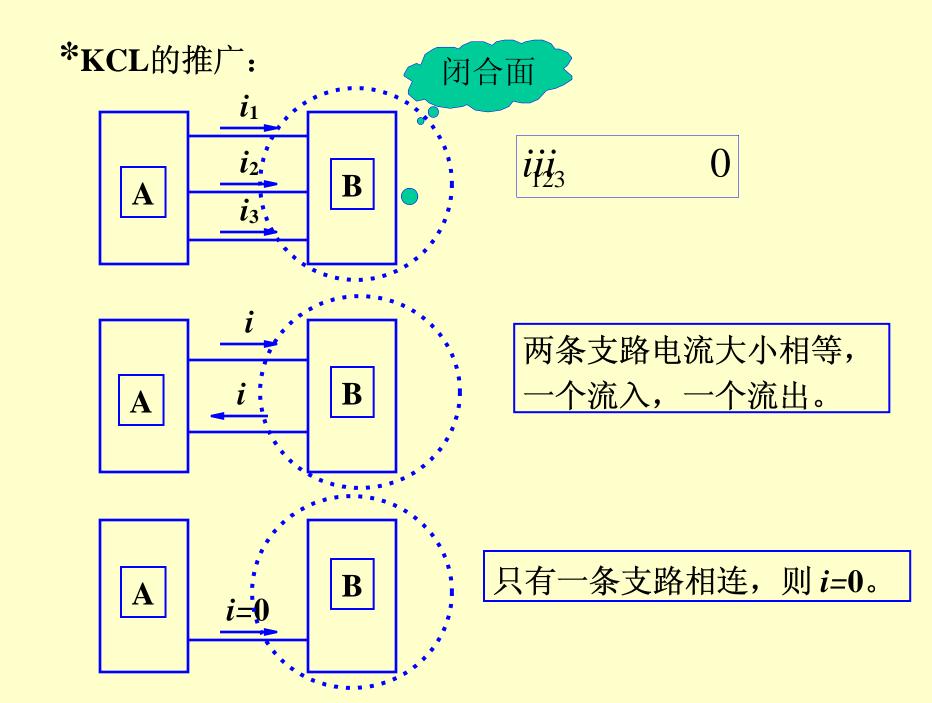
表明KCL可推广应用于电路中 包围多个结点的任一闭合面



明确 (1) KCL是电荷守恒和电流连续性原理在电路中 任意结点处的反映;

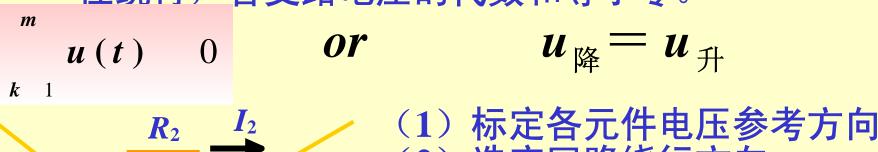
(2) KCL是对支路电流加的约束,与支路上接的是什么元件无关,与电路是线性还是非线性无关。 XCL 大田县均电流会长大口和写 上电

个3)KCL方程是按电流参考方向列写,与电流实际方向无关。



3. 基尔霍夫电压定律 (KVL)

在集总参数电路中,任一时刻,沿任一闭合路 径绕行,各支路电压的代数和等于零。



 R_3

 $-U_4+$

 R_4

(2) 选定回路绕行方向,

顺时针或逆时针.

$$-U_1-U_{S1}+U_2+U_3+U_4+U_{S4}=0$$

或:
$$U_2+U_3+U_4+U_{S4}=U_1+U_{S1}$$

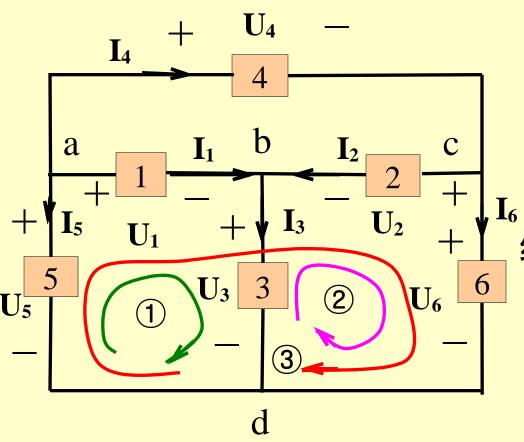
$$-R_1I_1+R_2I_2-R_3I_3+R_4I_4=U_{S1}-U_{S4}$$

实用公式:

KVL的独立方程数

节点数n=4, 支路数b=6 回路数 l=7, 网孔数m=3

所有7个回路的KVL方程均独立?



$$U_1 + U_3 - U_5 = 0$$
①
$$-U_2 + U_6 - U_3 = 0$$
②
$$U_1 - U_2 + U_6 - U_5 = 0$$
③

$$1 + 2 = 3$$

独立回路的选取条件:

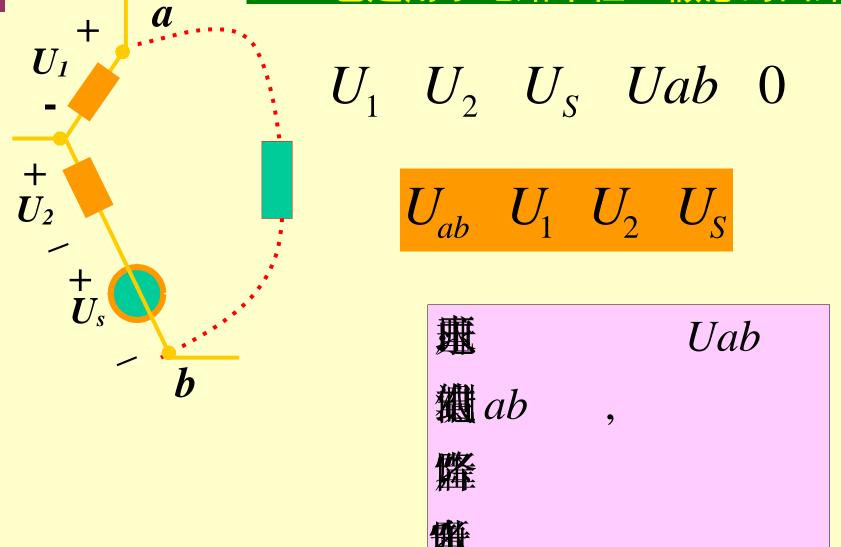
每个回路至少有一条支路不 被其他回路选中。

结论:

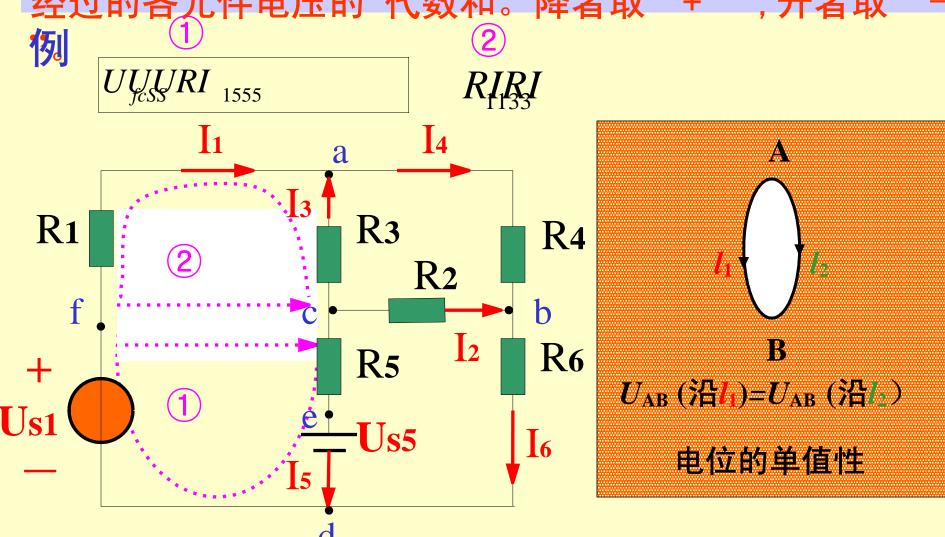
独立的KVL方程数 =独立回路数=网孔数 =基本回路数=b-n+1

上页下页

KVL也适用于电路中任一假想的回路



电路中任意两点间的电压等于两点间任一条路径经过的各元件电压的代数和。降者取"+",升者取"-



KVL物理意义:

节点电压(相对于某一参考点)是单值性的。总的电位升等于总的电位降。即单位正电荷从电路的某一点出发沿任一闭合回路绕行一周又回到原点后仍具有原来的电位能,也就是说绕行一周过程中:

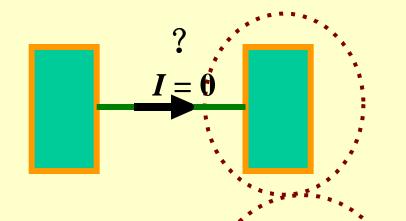
正电荷获得的电位能=失去的电位能。本质上是自然界的基本法则"能量守恒"在集总电路中的体现。

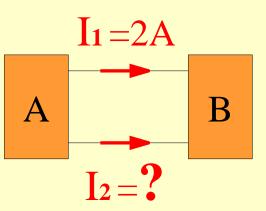
4. KCL、KVL小结:

- (1) KCL是对支路电流的线性约束,KVL是对回路电压的线性约束。
- (2) KCL、KVL与组成支路的元件性质及参数 无关。
- (3) KCL表明在每一节点上电荷是守恒的; KVL是能量守恒的具体体现(电压与路径无关)。
- (4) KCL、KVL只适用于集总参数的电路。

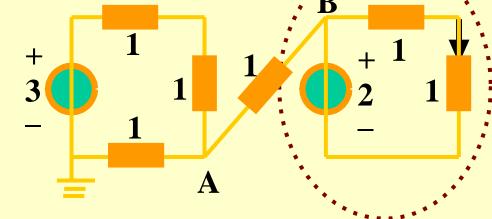


1.



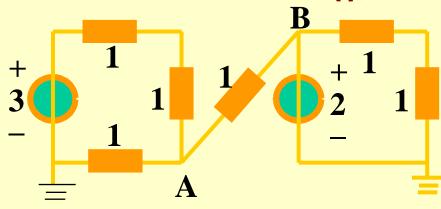


2.

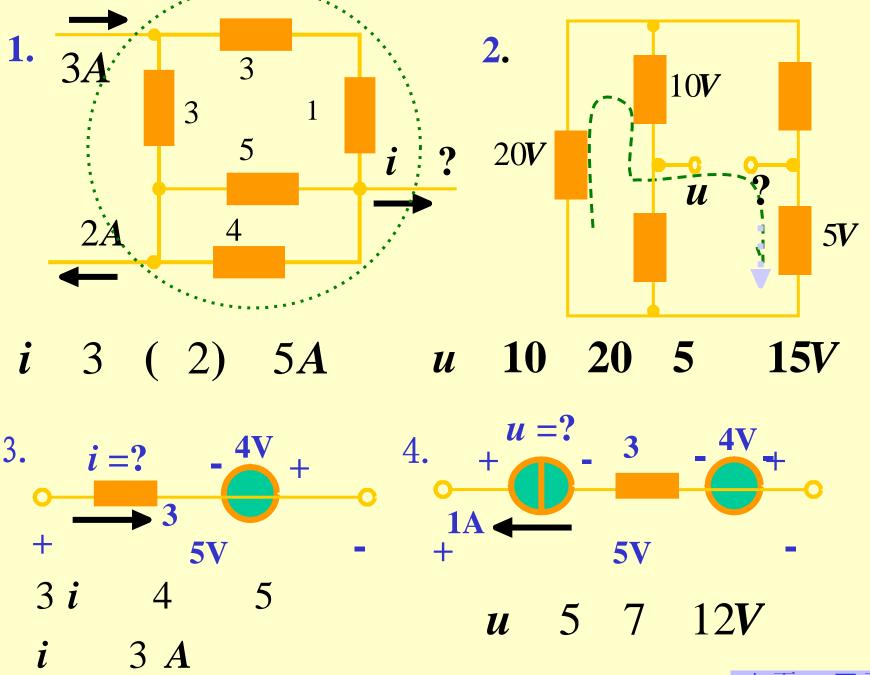


$$?$$
 $I_{AB} = 0$

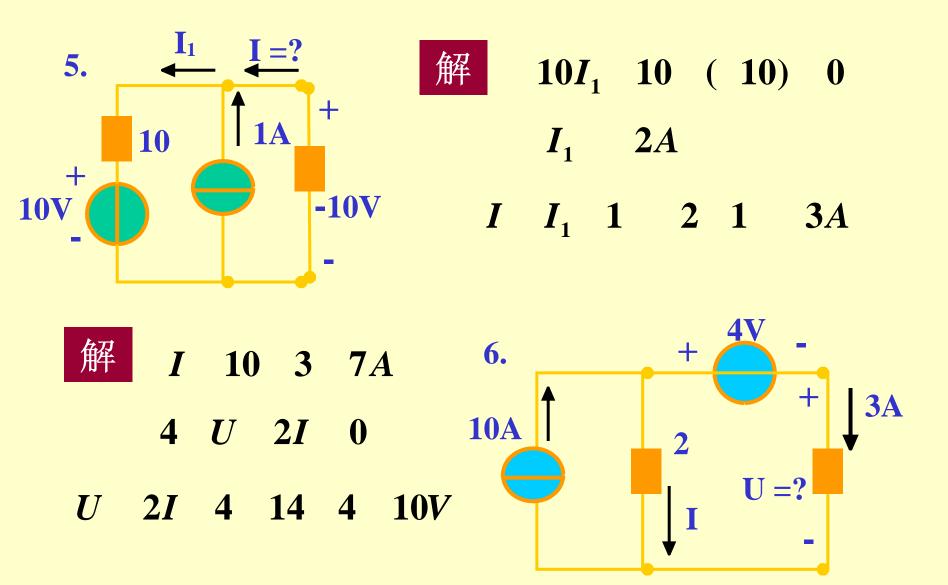
3.



$$?$$
 $I_{AB}=0$



上页 下页



第一章

结

电路理论主要研究电路中发生的电

- (1) 电路元件性质的约束。也称电路元件的 伏安关系(VCR),它仅与元件性质有 关,与元件在电路中的联接方式无关。
- (2) 电路联接方式的约束(亦称拓扑约束)。这种约束关系则与构成电路的元件性质无关。基尔霍夫电流定律(KCL)和基尔霍夫电压定律(KVL)是概括这种约束关系的基本定律。

(1877年)是獨特達科约表关系的基本文件。

掌握电路的基本定律是分析电路的基础。

第 章 提

●1.电路模型

2.电流、电压及其参考方向

电流 i $\frac{dq}{dt}$ 参考方向

电压 $u \frac{dw}{dq}$

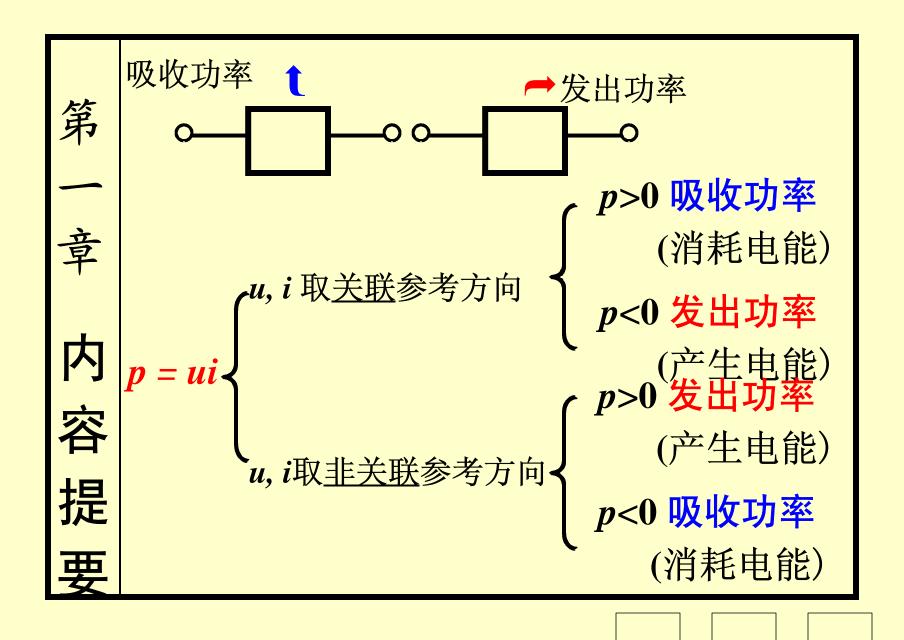
关联的参考方向

非关联的参考方向

٠

3.功率处算公式

dt



第 章

●10.基尔霍夫电流定律 (KCL)

对任一结点n,有 i_k 0

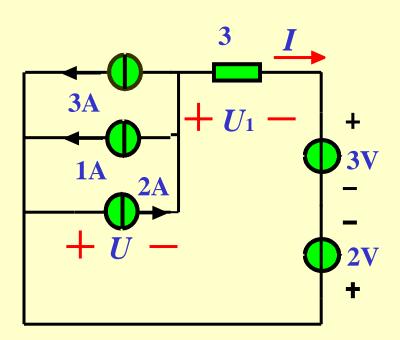
对任一封闭面

♥11.基尔霍夫电压定律(KVL)

对任一回路l, 有 u_k 0

第一章附加作业

1图示电路: 求U和I。

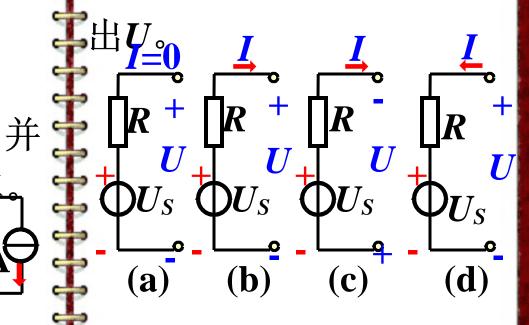


思考题





第一章 课后作 业: **」**应用基尔霍夫定律写



1.3, 1.6, 1.13, 1.16