



电路分析基础

—院四教 张帆
15703565092



前言

前言

一、为什么学？

二、学什么？

三、怎么学？

一、为什么学？

• 几个问题

1、电路？我初中就学过了

电路分析基础和原来学过的电路有什么区别？

2、电路这门课有多重要？

3、电路和其它课程有什么关系？

1、区别

- 研究对象更复杂

- ✓ R, L, C, M, \dots

- ✓ 多个源，多种源

- 分析方法更多样

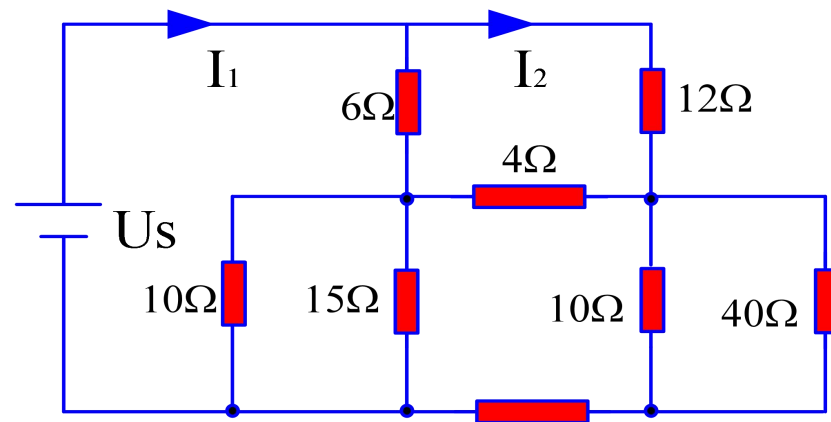
- ✓ 节点、回路、叠加、戴维南、三要素、相量

- 引入很多重要概念

- ✓ 端口、对偶、零状态, \dots

- 重要观点的有效载体

- ✓ 工程, 抽象, 等效, \dots



2、重要性

- 从学术观点来看

- 是电子科学技术和计算机科学的重要基础

- 从实际情况来看

- 是一种重要工具广泛运用于电工技术和无线电技术中

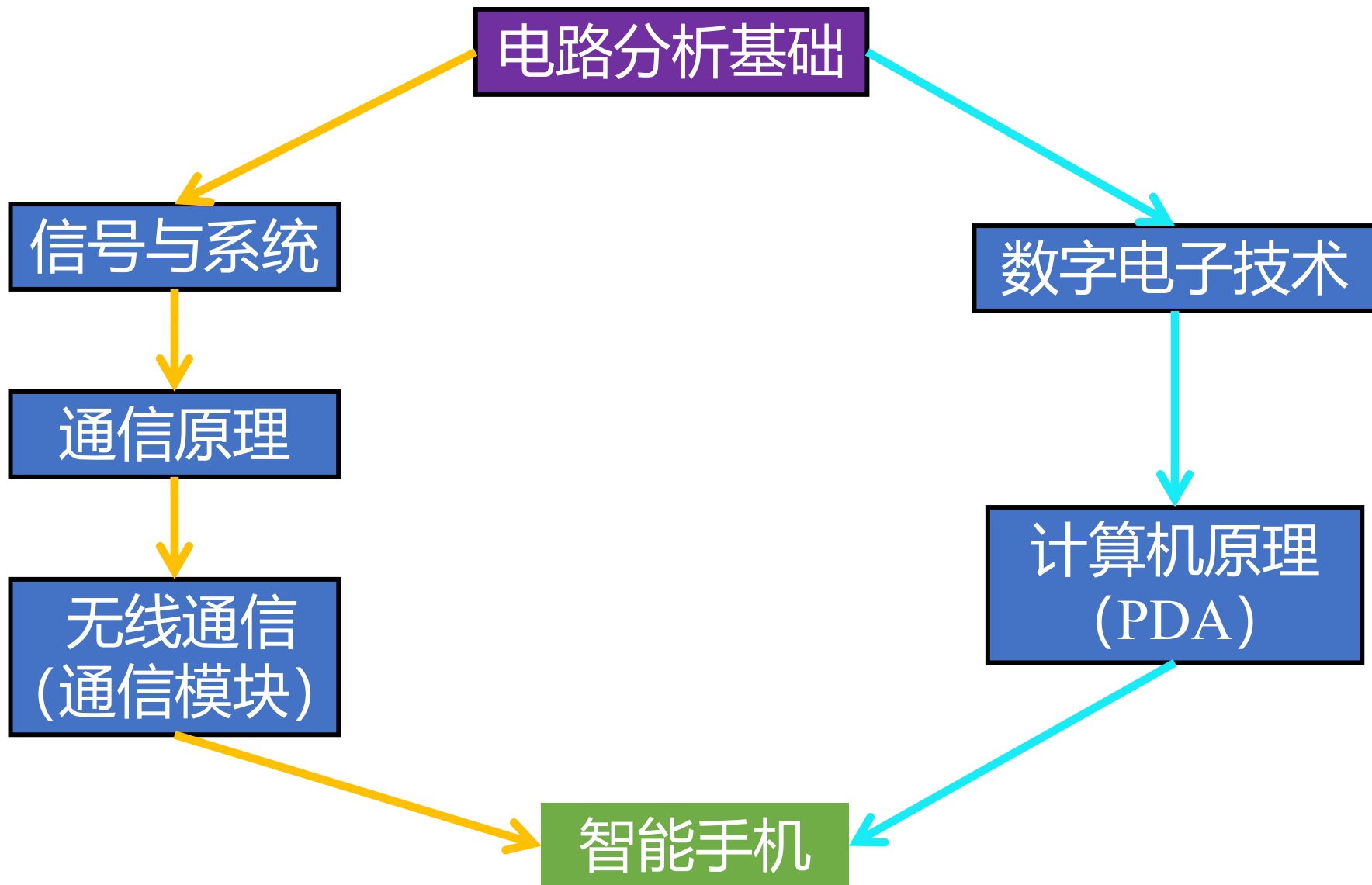
- 是许多高级课程的先修课程

3、与其他课程的关系



电路分析基础与智能手机

3、与其他课程的关系

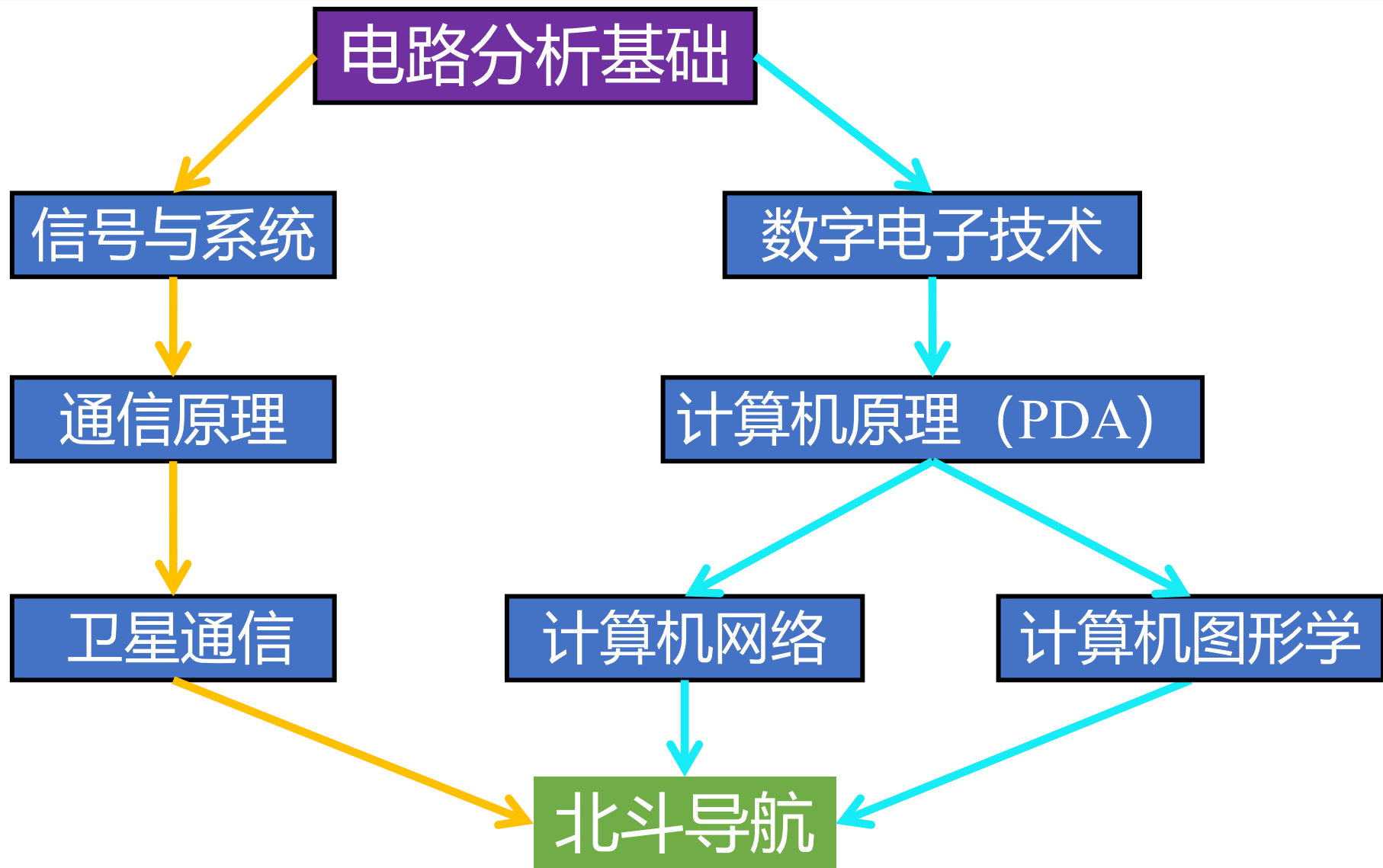


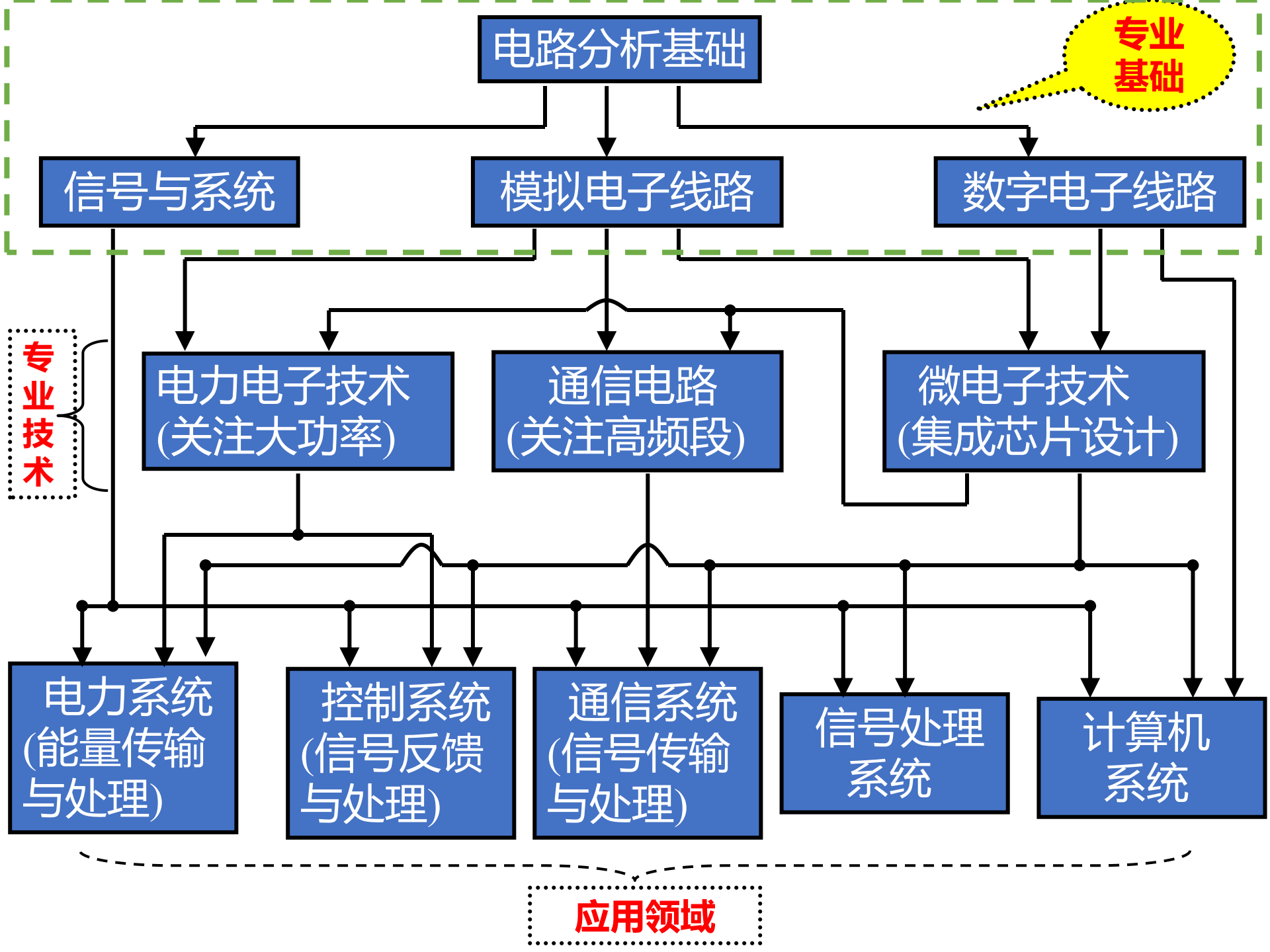
3、与其他课程的关系



电路分析基础与北斗导航

3、与其他课程的关系





前言

一、为什么学？

二、学什么？

三、怎么学？

二、学什么？

1、这门课是要解决什么问题？

2、这些问题有什么特点？

针对这些特点，提炼本课程的核心内容。

3、本课程的教学任务和内容有哪些？

1、电路理论的两个分支

- **电路（网络）分析**：它的核心是在给定电路结构及元件参数的条件下，找出电路输入（激励）与输出（响应）的关系。即，**已知输入求输出**。
- **电路（网络）综合**：在已知输入和输出的条件下，设计电路的结构和参数。即，**给定技术指标，选择适当的电路去实现它**。

本课程研究的主要对象

电路分析

电路综合

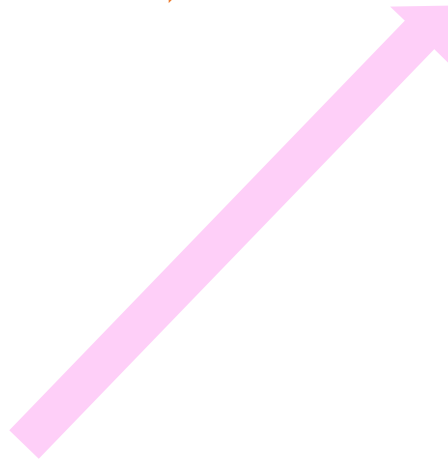
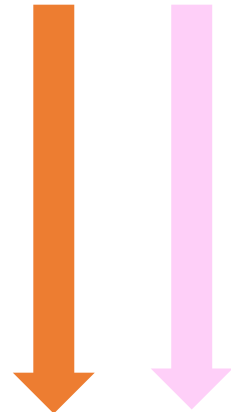
实际电路

电路模型

列写方程

结果

求解方程
(代数、常微分、偏微分)



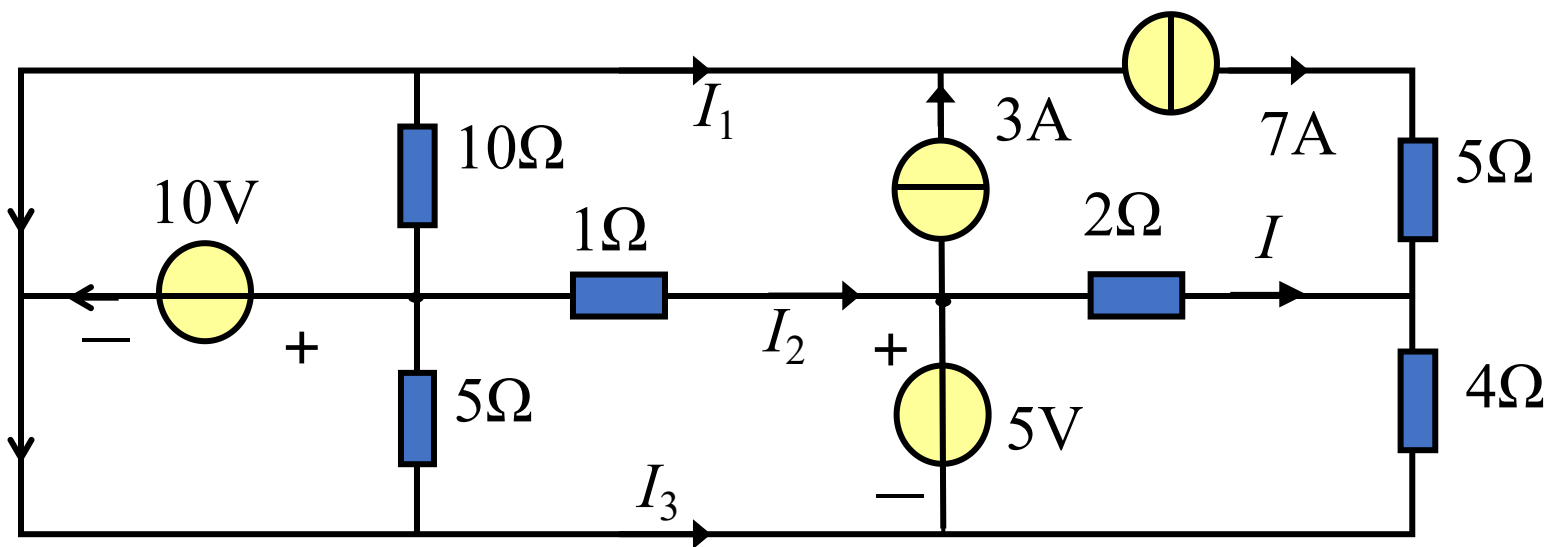
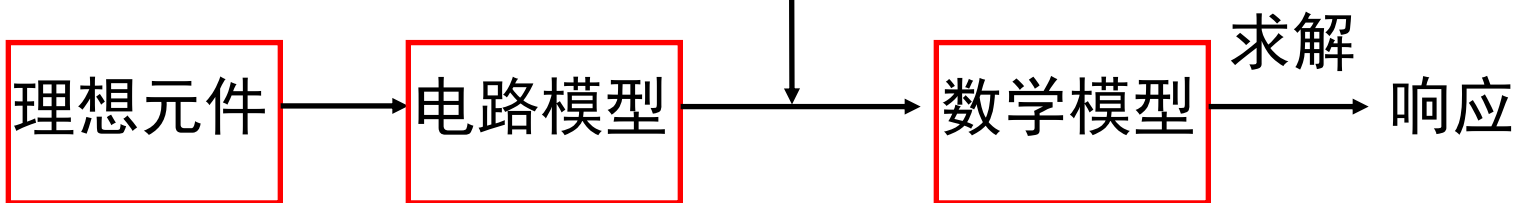
2、本课程的两个特点

- 是电路理论的基础：基本概念、基本方法、基本定律、基本分析技能是我们掌握的重点。
- 是很抽象的：是由抽象的理想器件组成，基本上没有涉及到实际电路和实际器件。（为了计算方便，元件的参数不是标称值）

所以学习的主要目的是让我们掌握分析问题的方法，而不是为了让我们掌握实际器件的运用。

3、这门课要掌握什么？

用基尔霍夫定律、伏安关系



3、本课程的任务和内容

- **任务：**掌握线性电路的基本概念、基本理论、基本分析方法。
- **内容：**学会三种电路的分析
 - ✓ 电阻电路（三种分析方法）；
 - ✓ 动态电路（暂态+稳态）；
 - ✓ 正弦稳态电路（正弦交流电源激励下电路的稳态响应）

3、本课程的任务和内容

工欲善其事必先利其器

● 基本的网络分析方法

- ✓ 节点法、网孔法。这些分析方法使数学模型最简单，方程数目减少到最少，使求解过程简单，特别适用于复杂电路的分析。

● 叠加方法、分解方法

- ✓ 叠加定理、戴维南定理、置换定理、诺顿定理、最大功率传输定理，反映了网络特性、简化网络分析。

前言

一、为什么学？

二、学什么？

三、怎么学？

三、怎么学？

- 1、本课程的教学怎么安排？
- 2、有哪些资源可以帮助大家学习？
- 3、教员对大家的要求

1、教学安排

- 教材：在教学内容上对教材做了适当删减和补充（注意做笔记）；
- 学时安排： 46+14；
- 考核：平时作业/基础测试/笔记10%；实验20%；；
期末考核70%；
- 辅导答疑、作业；
- 实验（利用课上时间）；
- 预修课程：高等数学、可能还有复变函数 ---
（特别是微分方程的求解，复数的运算）

2、开卷有益

● 参考书目

- 李瀚荪 《电路分析基础》 高等教育出版社
- 于歆杰 《电路原理》 清华大学出版社
- 江缉光 《电路原理》 清华大学出版社
- 俎云霄 《电路分析基础》 电子工业出版社

● 网络资源：

- 中国大学MOOC：北京邮电大学 俎云霄等
- MIT open courseware <http://ocw.mit.edu/>
- 国家精品课程资源网 <http://www.jingpinke.com/>
- 军网网络课程 电路分析基础

3、要求

- 要足够重视，不要掉以轻心。
- 课上认真听讲，认真做笔记，掌握重点、思路、方法。
- 作业独立完成，要抄题，画图。
- 适当做些课外练习。
- 多与教员沟通联系。

与高中的电路思维做个告别，转换到工程的思维



第一单元 电路模型和基本定律

第一单元

重点：

- 电路的几种变量：电压 u 、电流 i 、功率 p
- 拓扑约束——基尔霍夫定律
- 元件约束——几种理想元件（电阻、独立源、受控源）的模型及伏安关系
- 简单电路的分析

第一章 集总参数电路中电压、电流的约束关系

§ 1-1 电路及集总电路模型

§ 1-2 电路变量——电流、电压及功率

§ 1-3 基尔霍夫定律

§ 1-4 电阻元件

§ 1-5 电压源

§ 1-6 电流源

§ 1-7 受控源

§1-1 电路及集总电路模型

一、电路的概念

二、电路的组成

三、电路模型

四、集总假设

一、电路的概念

定义：由电工设备和元器件按一定的方式联接起来且为电流流通提供路径的总体。

主要作用：

- 电力工程** • 处理能量：电能的产生、传输、分配……
- 处理信号：电信号的获得、变换、存储、滤波、处理、显示……
- 同时处理信号和能量：天线、CPU及其供电系统、智能电网

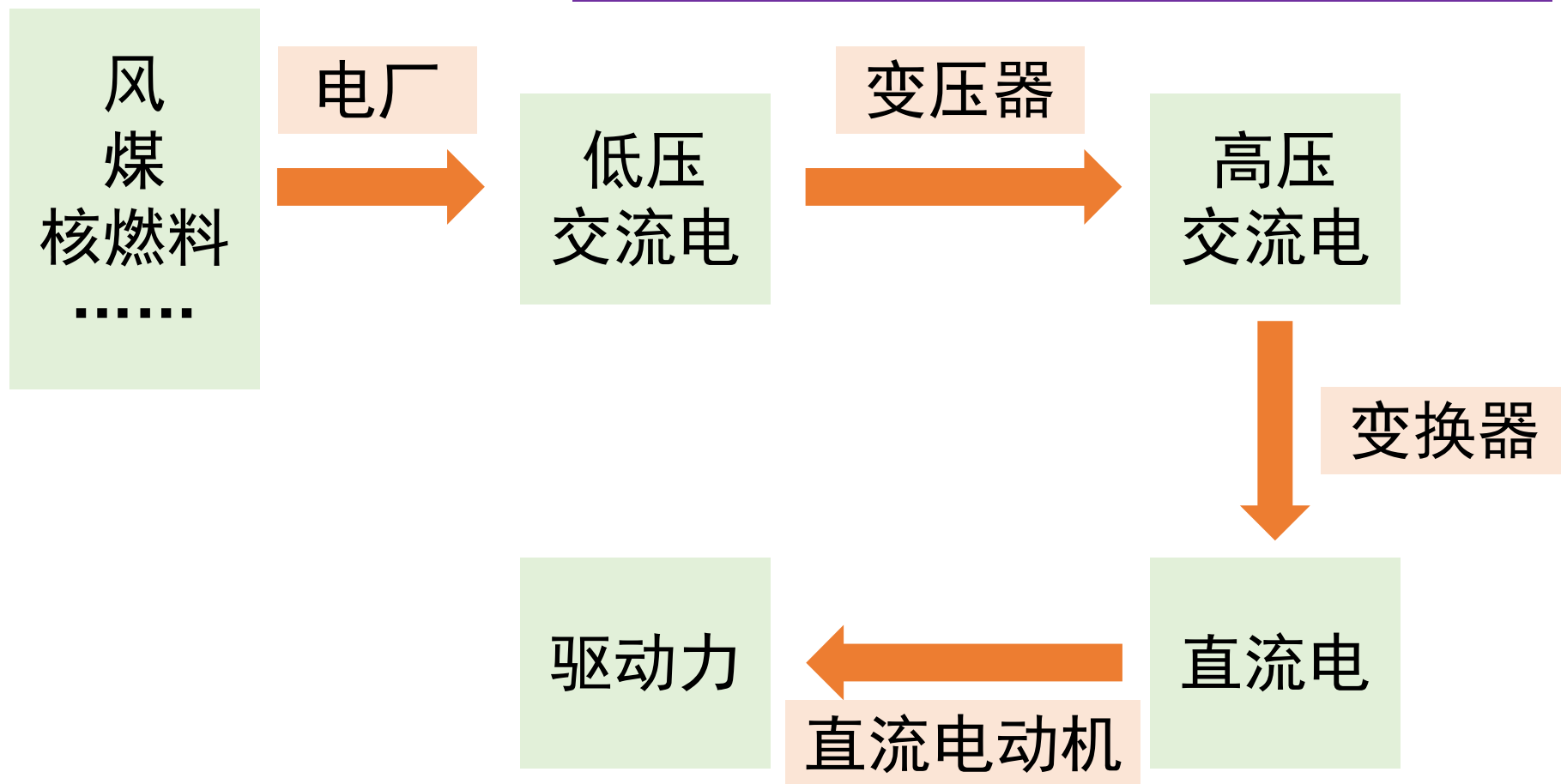
一、电路的概念



一、电路的概念

电气化铁道系统

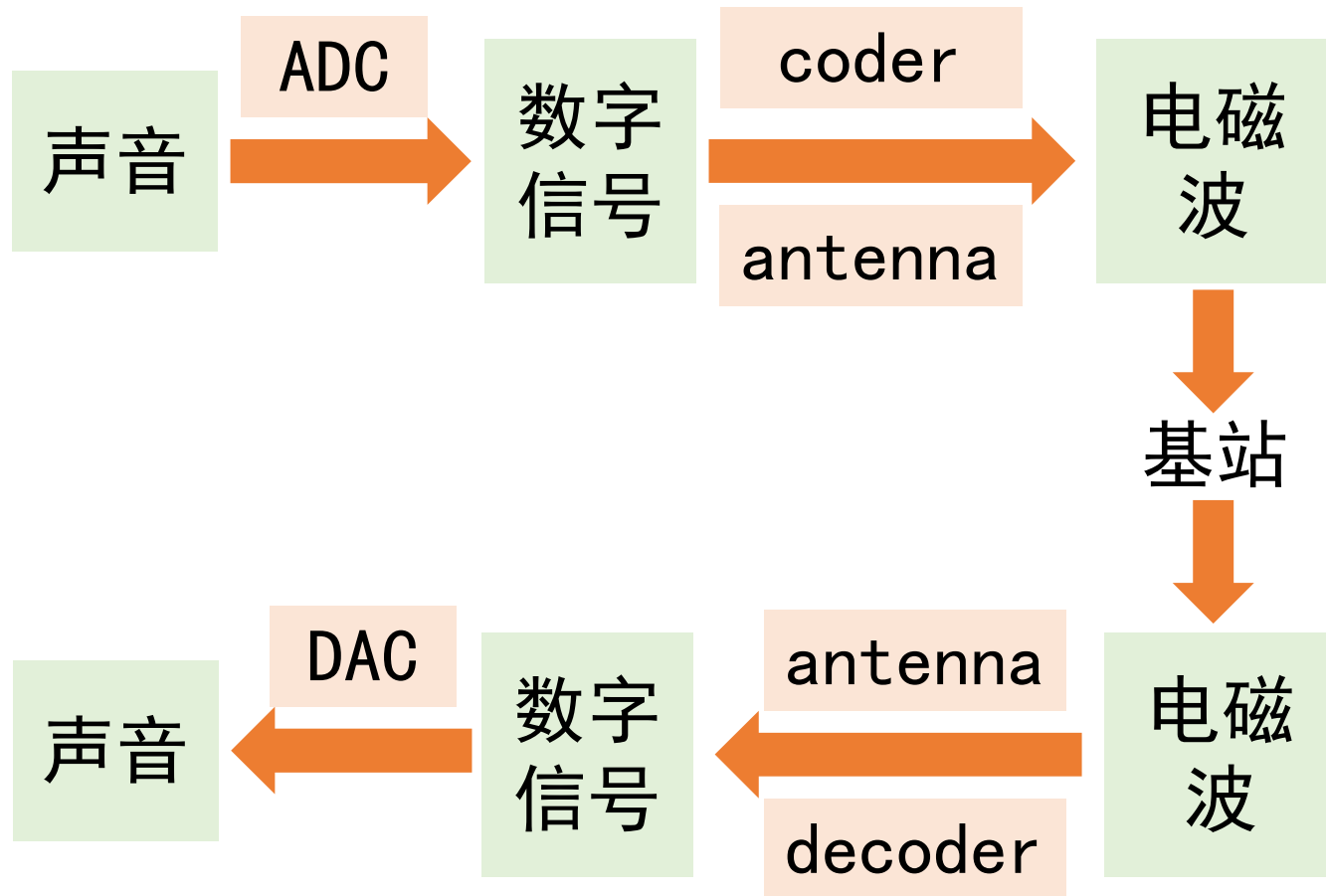
电能的产生、传输和分配



一、电路的概念

手机通讯系统

信号的获得、变换



一、电路的概念



§1-1 电路及集总电路模型

一、电路的概念

二、电路的组成

三、电路模型

四、集总假设

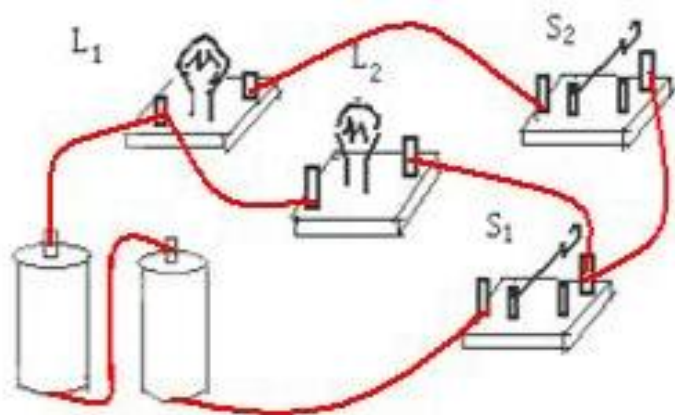
二、电路的组成

源（发电厂、光电池、麦克风等）

负荷（电动机、扬声器、屏幕等）

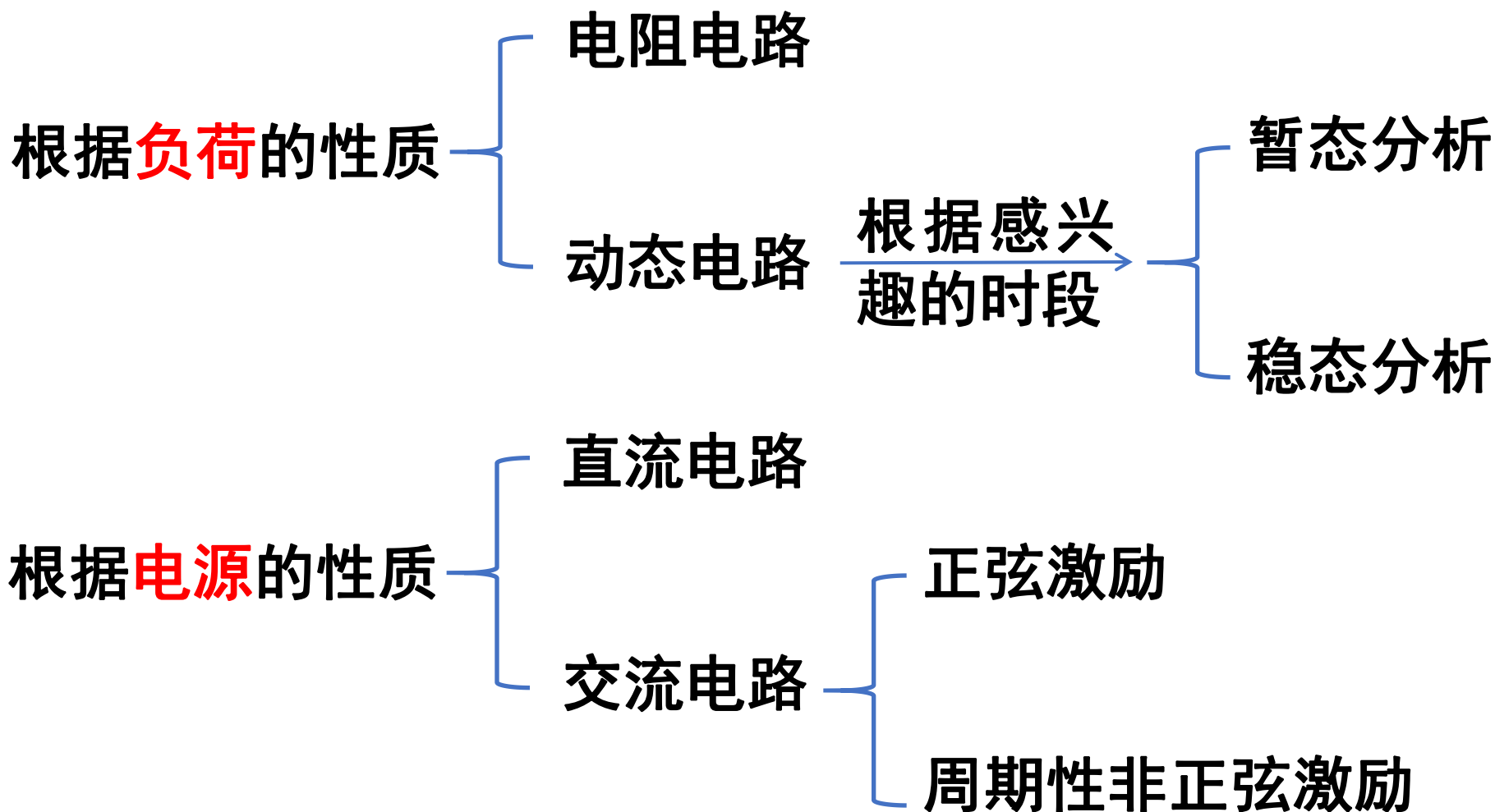
能量和信号处理电路（变压器、放大器等）

导线与开关（输电线路、电路板等）



二、电路的组成

● 如何看待电路？



§1-1 电路及集总电路模型

一、电路的概念

二、电路的组成

三、电路模型

四、集总假设

三、电路模型

理想元件：是实际器件在一定条件下抽象化和理想化后得到的模型。



三、电路模型

基本理想电路元件（二端）：

电阻： u - i 代数关系，表示消耗电能的元件。

电感： u 是 i 的微分关系，表示各种电感线圈产生磁场、储存能量的作用。

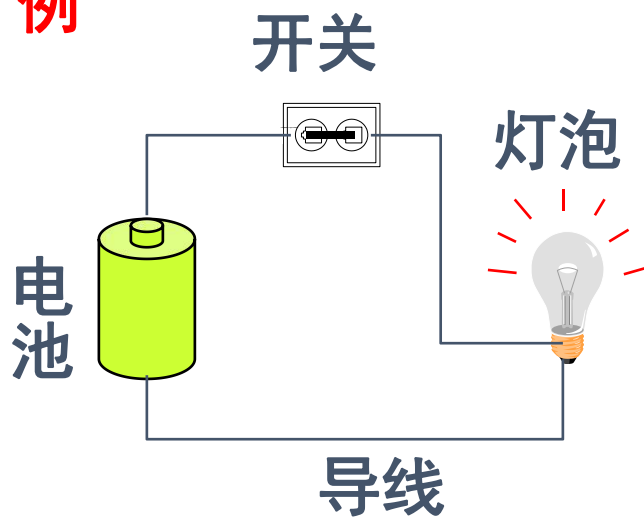
电容： i 是 u 的微分关系，表示各种电容器产生电场、储存能量的作用。

电源： u - i 相互独立，表示各种将其它形式的能量转变成电能的元件。

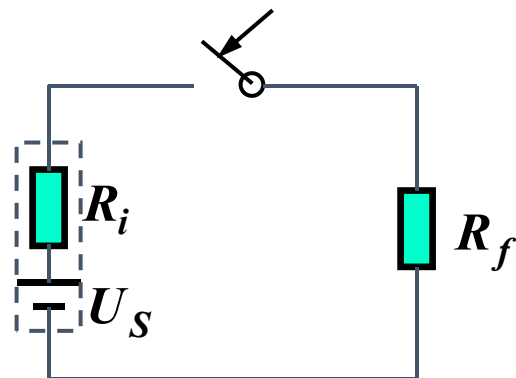
三、电路模型

电路模型：用抽象的理想元件及其组合近似地代替实际器件，从而构成与实际电路相对应的电路模型。

例



实际电路



电路模型

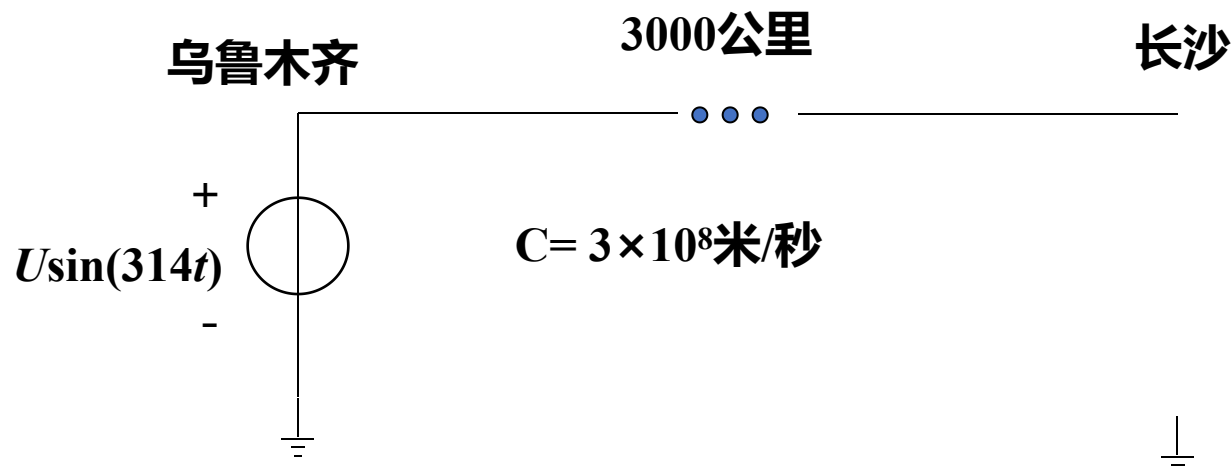
三、电路模型

问：是否在任何情况下，都可以用上图所示的模型建模电路？



在电路模型中， u 和 i 除了是时间的函数，还可能是哪些自变量的函数？

例 乌鲁木齐发电站发出的正弦电磁波需要多少时间才能传输到长沙？



$$3 \times 10^6 / (3 \times 10^8) = 10 \text{ ms}$$

50Hz的正弦波周期为20ms。经过10ms以后，乌鲁木齐发出的电磁波刚刚到达长沙，而此时乌鲁木齐发电机的电压与长沙的电压正好**反相**！

关键在哪里？

$$50 \text{ Hz 电磁波的波长 } \lambda = 3 \times 10^8 \times 0.02 = 6000 \text{ km}$$

§1-1 电路及集总电路模型

一、电路的概念

二、电路的组成

三、电路模型

四、集总假设

四、集总假设

集总参数元件：若实际电路的**电器装置的几何尺寸与工作波长相比非常小**以致可以忽略不计，这样的器件称为集总参数器件或元件（也称为集总参数模型）。

- ✓ 理想化的集总参数器件没有体积大小，即特性集中在空间一个点上，从一端流入的瞬时电流等于从另一端流出的瞬时电流。

集总参数电路：由集总参数元件构成的电路称为集总参数电路。

四、集总假设

集总假设：集总参数电路中，各种电现象（如电场、磁场）可以分别在不同的元件中考虑：

- ✓ 电场只与电容元件有关；
- ✓ 磁场只与电感元件有关；
- ✓ 电阻只耗能；
- ✓ 电场与磁场之间无相互作用；
- ✓ 电流与电压只是时间的函数，而不是空间的函数；

这种现象称为集总假设。

本课程讨论的电路都是集总假设条件下的集总参数电路。

§1-2 电路变量：电流、电压及功率

一、电流

二、电压

三、电流、电压的参考方向/关联参考方向

四、功率

一、电流

定义： 单位时间内通过导体横截面的电量。

$$i(t) = \frac{dq}{dt} \quad \text{或} \quad I = \frac{Q}{t}$$

单位： A（安培）、mA、 μ A

电流方向： 正电荷定向移动的方向

§1-2 电路变量：电流、电压及功率

一、电流

二、电压

三、电流、电压的参考方向/关联参考方向

四、功率

二、电压

定义： 单位正电荷从一点移动到另一点获得或失去的能量。

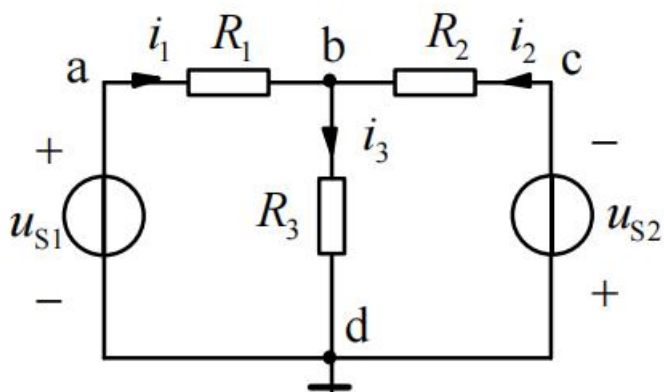

$$u(t) = \frac{dW}{dq}$$

单位： V（伏特）、mV、kV

电压极性： 电压的极性是指高电位为“+”、低电位为“-”。

二、电压

在电路分析或电路测量中，常常以电路中的某一节点为参考点，计算或测量其他各节点到参考点的电压，称为节点电压，或称为节点电位。而电路中任意两节点间的电压等于该两节点电位之差。



$$u_a = u_{ad} = u_{S1}$$

$$u_b = u_{bd} = R_3 i_3$$

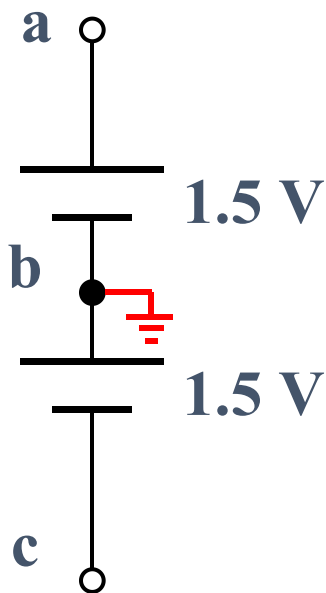
$$u_c = u_{cd} = -u_{S2}$$

$$u_{ab} = u_a - u_b$$

$$u_{bc} = u_b - u_c$$

二、电压

例 已知 $U_{ab}=1.5\text{ V}$, $U_{bc}=1.5\text{ V}$



(1) **以a点为参考点**, $\varphi_a=0$

$$U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b \rightarrow \varphi_b = \varphi_a - U_{ab} = -1.5\text{ V}$$

$$U_{bc} = \varphi_b - \varphi_c \rightarrow \varphi_c = \varphi_b - U_{bc} = -1.5 - 1.5 = -3\text{ V}$$

$$U_{ac} = \varphi_a - \varphi_c = 0 - (-3) = 3\text{ V}$$

(2) **以b点为参考点**, $\varphi_b=0$

$$U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b \rightarrow \varphi_a = \varphi_b + U_{ab} = 1.5\text{ V}$$

$$U_{bc} = \varphi_b - \varphi_c \rightarrow \varphi_c = \varphi_b - U_{bc} = -1.5\text{ V}$$

$$U_{ac} = \varphi_a - \varphi_c = 1.5 - (-1.5) = 3\text{ V}$$

结论：电路中电位**参考点可任意选择**；当选择不同的电位参考点时，电路中各点**电位将改变**，但任意**两点间电压保持不变**。

§1-2 电路变量：电流、电压及功率

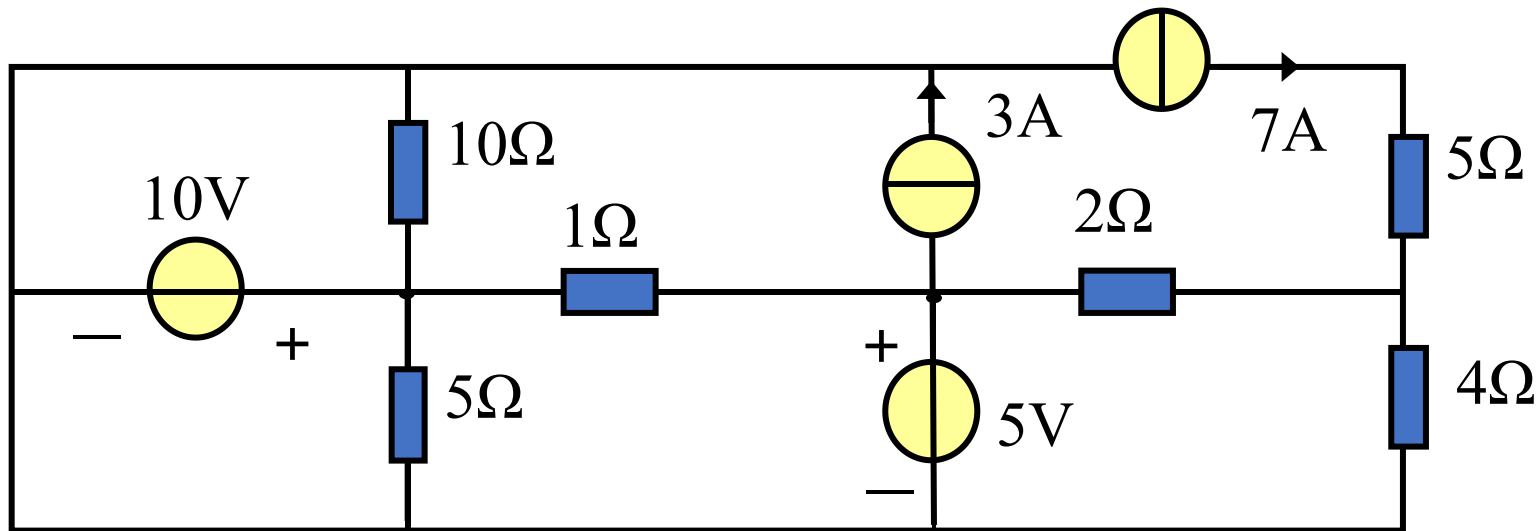
一、电流

二、电压

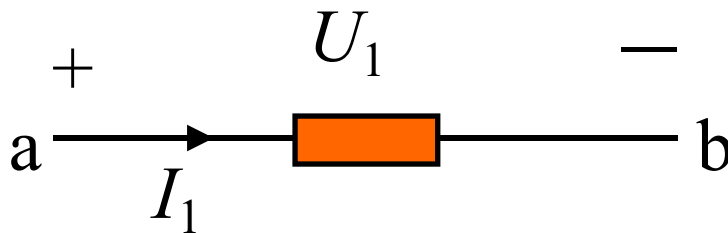
三、电流、电压的参考方向/关联参考方向

四、功率

三、电流、电压的参考方向

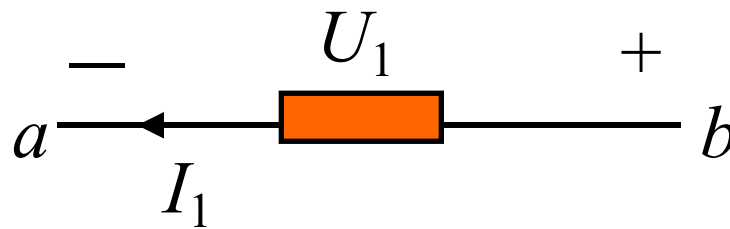
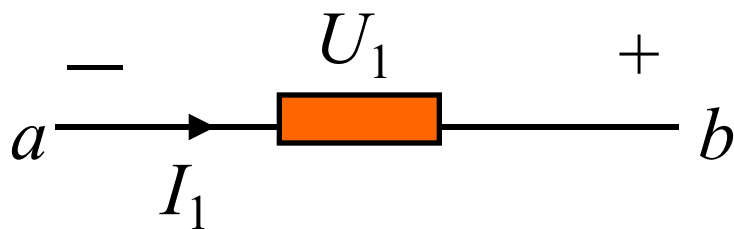
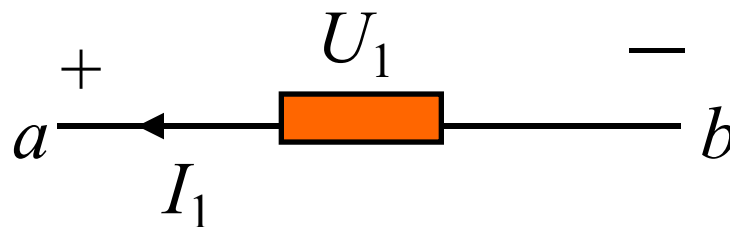
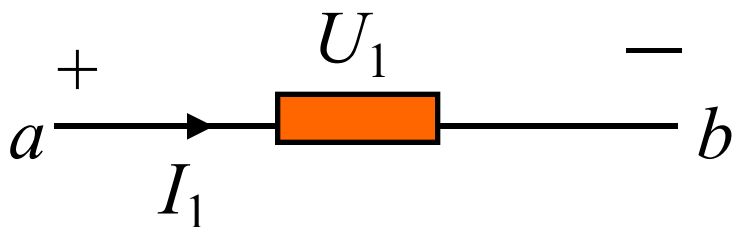


参考方向：是任意假定的方向，在电路中，电流参考方向用箭头标明，电压参考极性和“+”、“-”标出。



三、电流、电压的参考方向

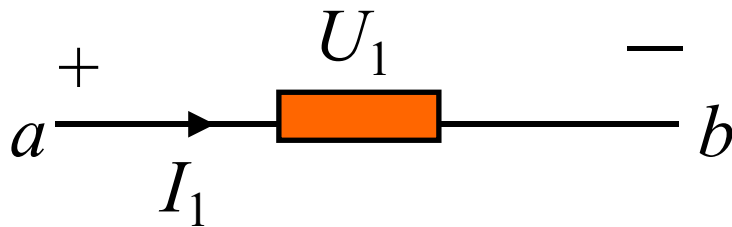
二端元件上的电压参考方向和电流参考方向之间的关系



三、关联参考方向

电压、电流的关联参考方向

电压与电流的参考方向一致，即：电流从高电位点流向低电位点，则称 u 、 i 为关联参考方向。



采用关联参考方向时，则可以省略一套参考方向。

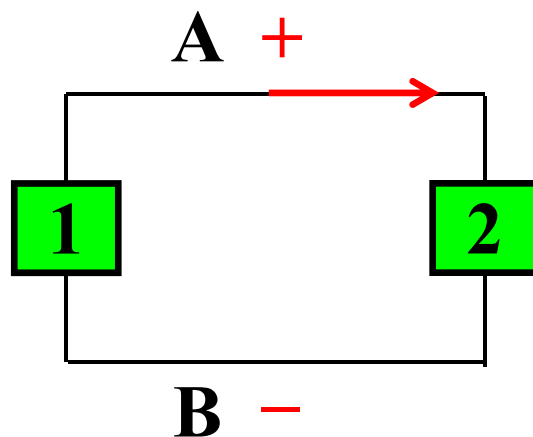
如标了电压方向则电流方向可以不标，或标了电流方向则电压方向可以不标。

关联参考方向中“关联”的对象是（ ）

- ☐ A 电流、电压的参考方向
- ☐ B 电流、电压的实际方向

提交

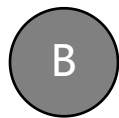
图中的参考方向是关联参考方向还是非关联参考方向？



A

关联

要区分对象！



B

非关联

提交

§1-2 电路变量：电流、电压及功率

一、电流

二、电压

三、电流、电压的参考方向/关联参考方向

四、功率

三、功率

当 u 、 i 为**关联参考方向**时 $p = u \cdot i$

当 u 、 i 为**非关联参考方向**时 $p = -u \cdot i$

单位：W

无论关联还是非关联，都有：

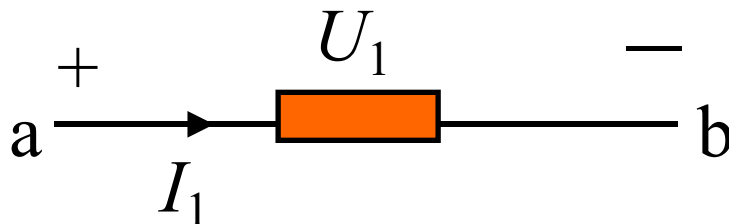
$p > 0$ 时，表明电路**吸收**或**消耗**能量

$p < 0$ 时，表明电路**产生**或**提供**能量

$$w = \int_{t_1}^{t_2} p(t) dt$$

三、功率

例1:



已知: 1 $U_1=5\text{V}$, $I_1=3\text{A}$,

2 $U_1=-5\text{V}$, $I_1=3\text{A}$

3 $U_1=e^{-10t}\text{ V}$, $I_1=\sin 500t\text{ A}$

求各种情况下的功率 P 。

注意求功率时的两套符号，一是是否为关联参考方向而引起的符号，二是电压电流本身的符号。

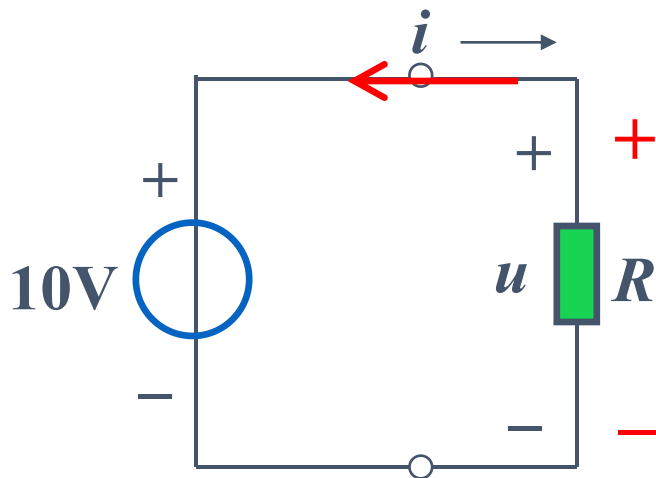
参考方向的选择会影响功率 P 的计算结果吗？

- ☐ A 会
- ☐ B 不会

提交

三、功率

例2：求电阻 $R=5\Omega$ 的功率，并说明是吸收功率还是产生功率。



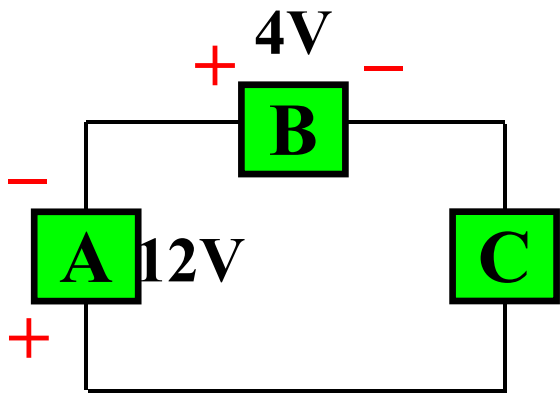
参考方向的选择**不会**影响功率的计算结果！

三、功率

功率守恒

电路中，各元件的吸收（产生）功率**代数**和为0，即功率守恒。

例3：元件A发出的功率为36W，求元件B、C吸收的功率。



判断题：形成闭合回路的元件功率守恒。

☐ A 对

☐ B 错

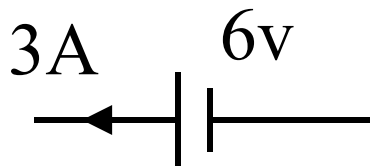
提交

小结

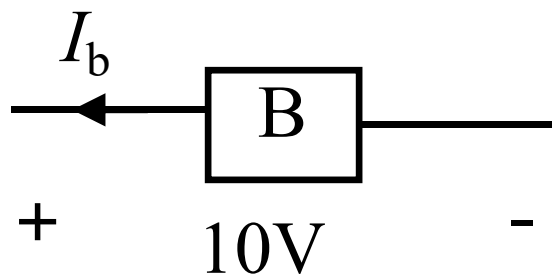
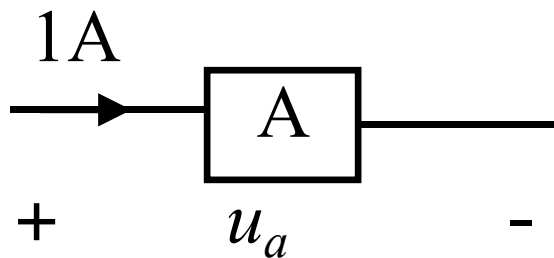
- 1、一大假设——集总假设
- 2、电路变量：电流、电压、功率 ▲
- 3、电流、电压的参考方向/关联参考方向 ▲ ★

课后练习

练习1: 求P。



练习2:



已知: A吸收10W的功率, 求 u_a

B产生10W的功率, 求 I_b

若B产生-10W的功率, 求 I_b

回顾

1、一大假设——集总假设

➤ 成立条件：

工作波长远大于元件尺寸

➤ 假设内容：

- ✓ 元件**没有体积**大小，特性集中在一个点上；
- ✓ 从一端流入的瞬时电流等于从另一端流出的瞬时电流，**元件不积累电荷**；
- ✓ 电阻只耗能；
- ✓ 电场只与电容元件有关；
- ✓ 磁场只与电感元件有关；
- ✓ 电场与磁场之间无相互作用。

回顾

2、电路变量

◆ 电流

◆ 电压

◆ 实际方向、参考方向、关联参考方向 ★ ▲

◆ 功率（吸收功率的计算、功率平衡） ★ ▲

当 u 、 i 为关联参考方向时 $p = ui$

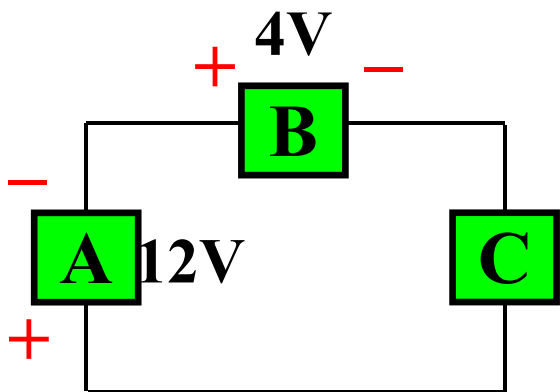
当 u 、 i 为非关联参考方向时 $p = -ui$

$p > 0$ 时，吸收功率（消耗电能）

$p < 0$ 时，发出功率（产生电能）

回顾

例：元件A发出的功率为36W，求元件B、C吸收的功率。



$$I = -3A$$

$$P_B = -12W$$

$$P_C = -P_A - P_B = 48W$$

引言

➤ 两类约束

(1) 元件约束：元件特性对电流和电压的约束
——元件的伏安关系。

- 电阻
- 理想电压源
- 理想电流源
- 受控源

(2) 拓扑约束：元件之间的连接关系对电流、电压的约束
——基尔霍夫定律。

- KCL：节点对电流的约束
- KVL：回路对电压的约束

第一章 集总参数电路中电压、电流的约束关系

§ 1-1 电路及集总电路模型

§ 1-2 电路变量——电流、电压及功率

§ 1-3 基尔霍夫定律

§ 1-4 电阻元件

§ 1-5 电压源

§ 1-6 电流源

§ 1-7 受控源

§1-3 基尔霍夫定律

一、几个术语：支路、节点、回路、网孔

二、基尔霍夫电流定律

三、基尔霍夫电压定律

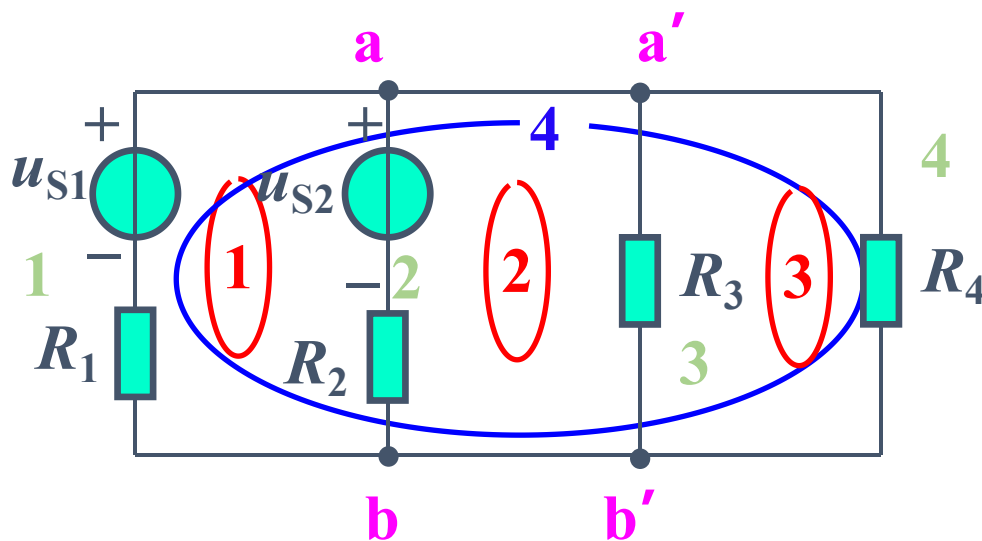
一、几个术语

支路 (*branch*)

节点 (*node*)

回路 (*loop*)

网孔 (*mesh*)



$$b=4$$

$$n=2$$

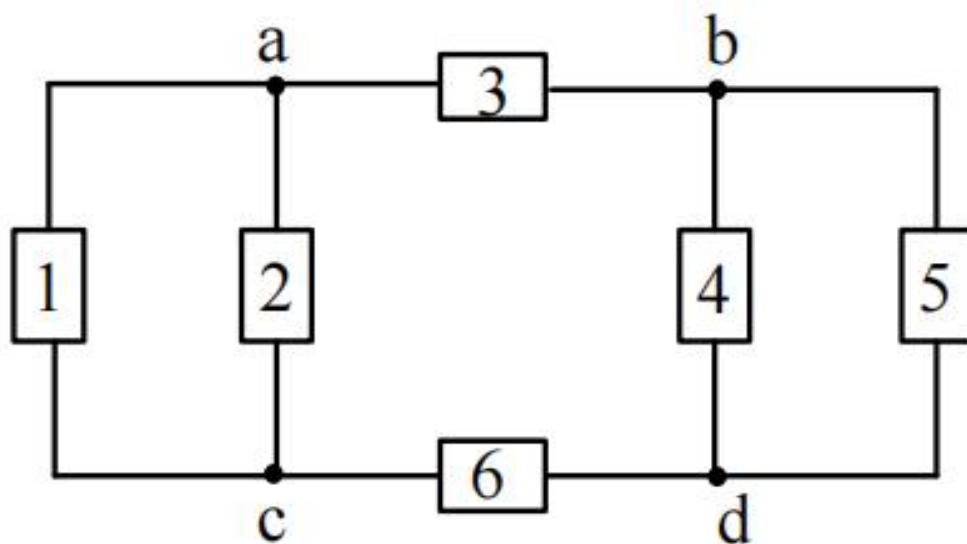
$$l=6$$

$$m=3$$

网孔是回路，但回路不一定是网孔。

一、几个术语

找出下图 支路 节点 回路 网孔



$$b=6$$

$$n=4$$

$$l=6$$

$$m=3$$

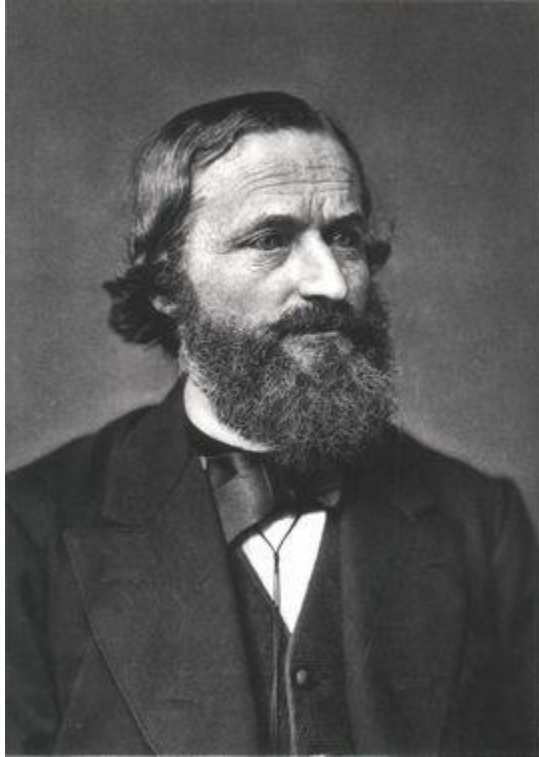
§1-3 基尔霍夫定律

一、几个术语：支路、节点、回路、网孔

二、基尔霍夫电流定律

三、基尔霍夫电压定律

二、基尔霍夫电流定律 (KCL)



古斯塔夫·罗伯特·基尔霍夫

(Gustav Robert Kirchhoff, 1824~1887)，德国物理学家，出生于肯尼希斯堡。他提出了稳恒电路网络中电流、电压、电阻关系的两条电路定律，即著名的基尔霍夫电流定律 (KCL) 和基尔霍夫电压定律 (KVL)，解决了电器设计中电路方面的难题。

二、基尔霍夫电流定律 (KCL)

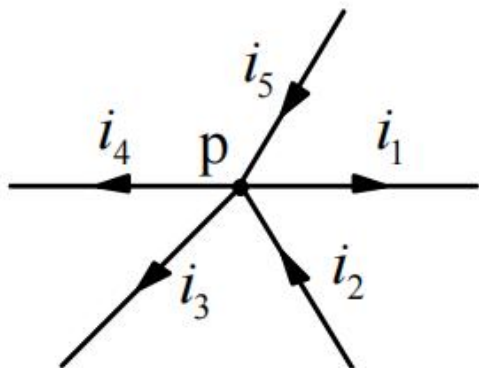


岷江+金沙江=长江

二、基尔霍夫电流定律 (KCL)

定律：在**集总参数电路**中，任一时刻，对任一节点，流出（或流入）该节点的电流代数和等于0，即

$$\sum i = 0$$

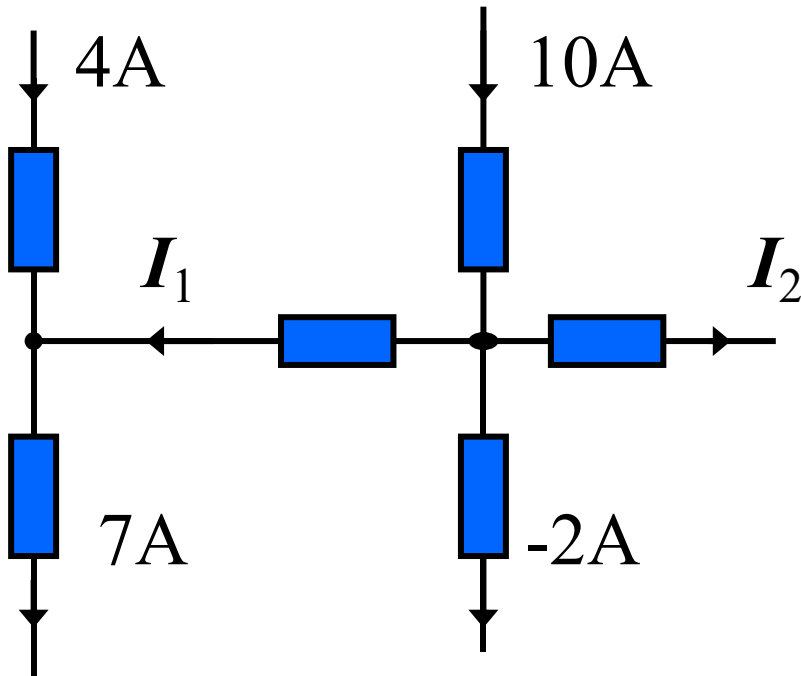


$$i_1 - i_2 + i_3 + i_4 - i_5 = 0$$

$$i_1 + i_3 + i_4 = i_2 + i_5$$

二、基尔霍夫电流定律 (KCL)

例：求 I_1 、 I_2



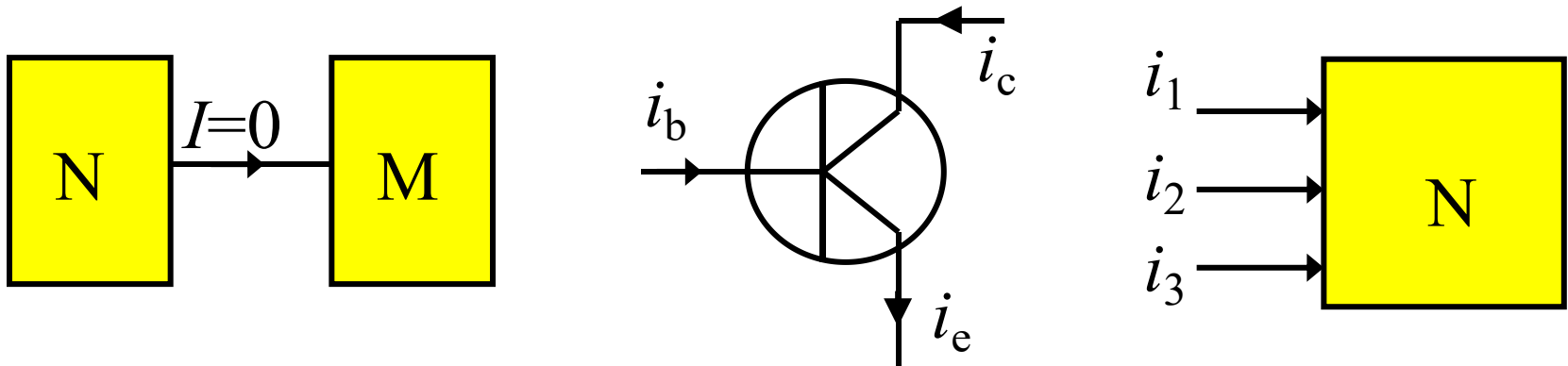
$$I_1 = 7 - 4 = 3\text{A}$$

$$I_2 = 10 - I_1 + 2 = 9\text{A}$$

二、基尔霍夫电流定律 (KCL)

推广应用：

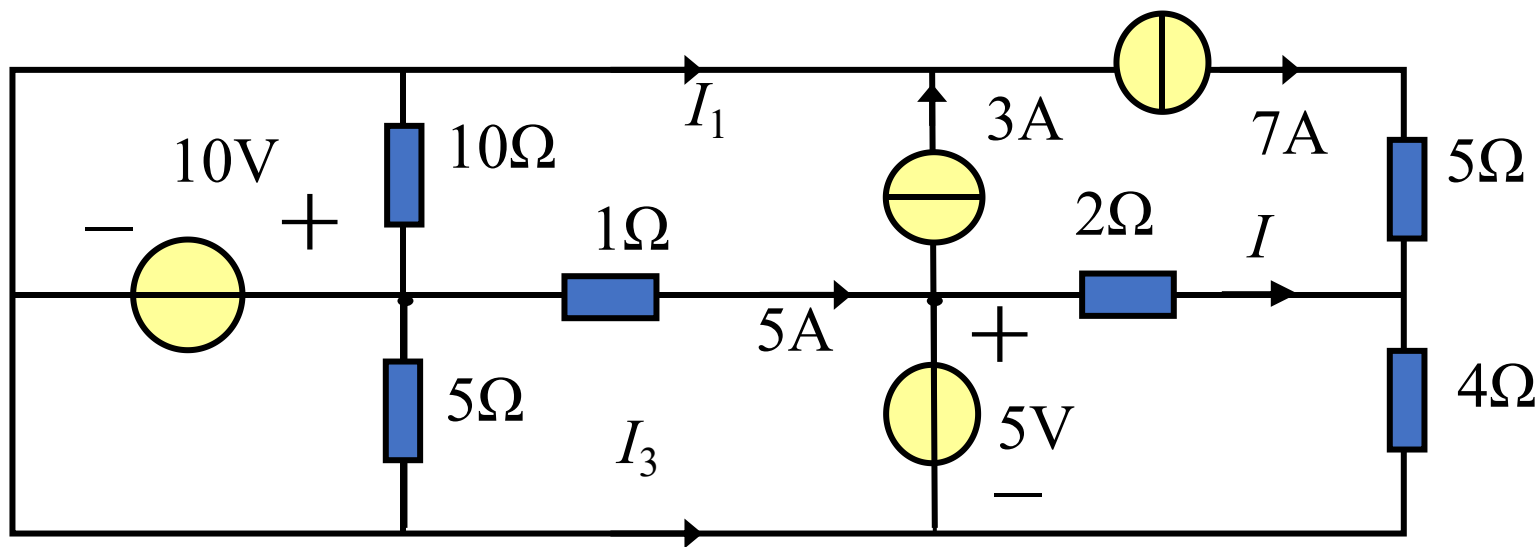
对任何封闭面，任一时刻流入（或流出）该封闭面的电流代数和为0。



二、基尔霍夫电流定律 (KCL)

例：求电流 I_1 和 I_3

广义KCL的运用

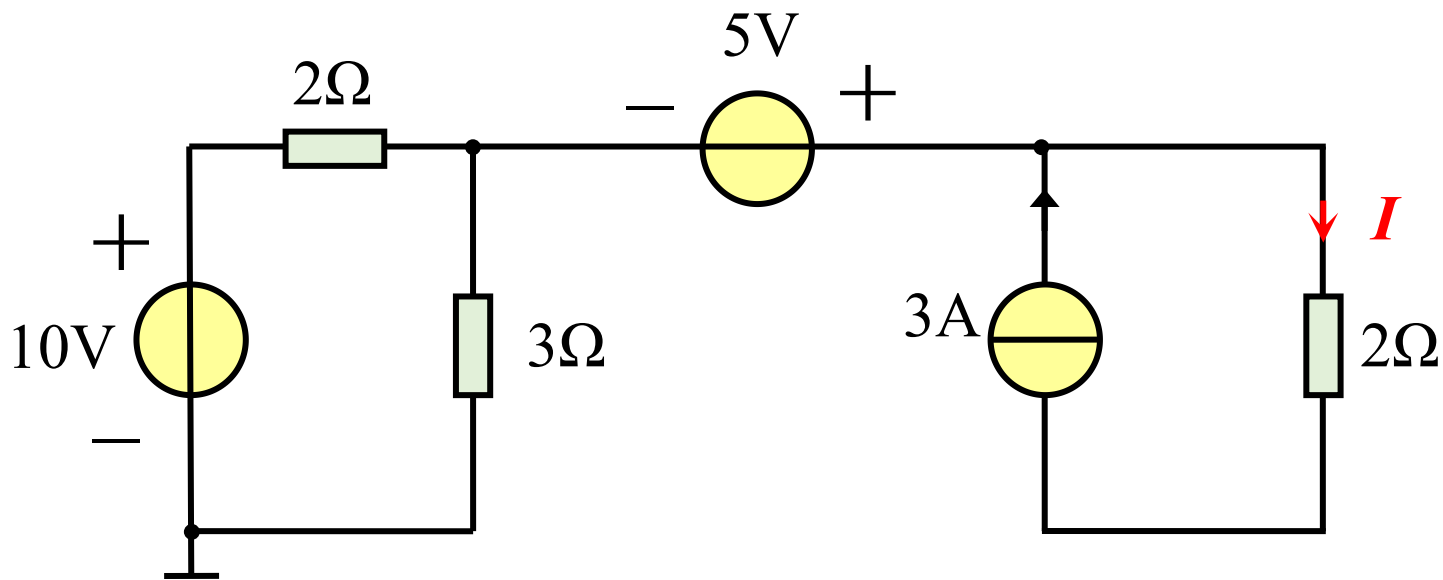


$$I_1 = 7 - 3 = 4A$$

$$I_3 = -I_1 - 5 = -9A$$

二、基尔霍夫电流定律 (KCL)

例：求电流 I 。



$$I=3A$$

§1-3 基尔霍夫定律

一、几个术语：支路、节点、回路、网孔

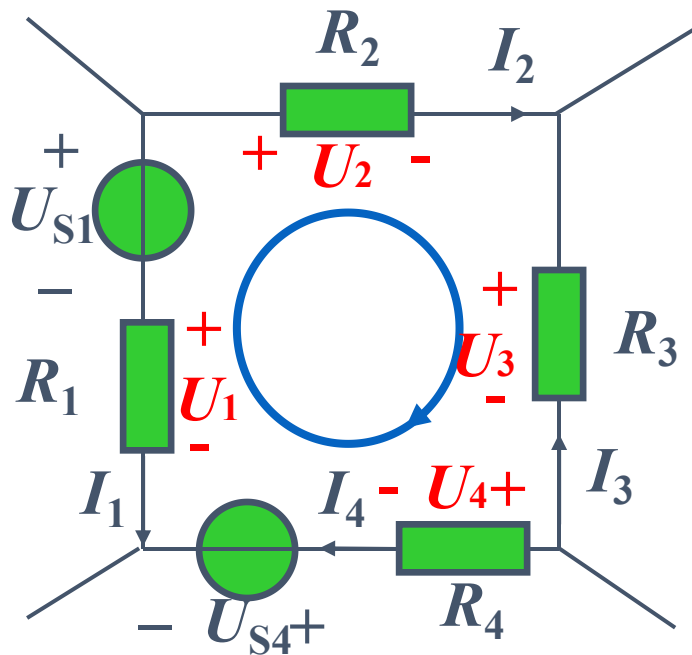
二、基尔霍夫电流定律

三、基尔霍夫电压定律

三、基尔霍夫电压定律 (KVL)

定律：在**集总参数电路**中，任一时刻，对任意回路，绕回路一周的各支路电压降的代数和为0，即

$$\sum u = 0$$



取顺时针方向绕行： $\sum U = 0$

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

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

$$\text{即 } \sum U_R = \sum U_S$$

电阻压降 电源压升

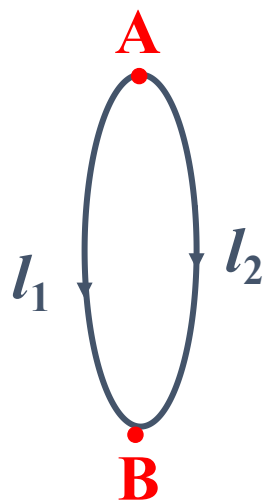
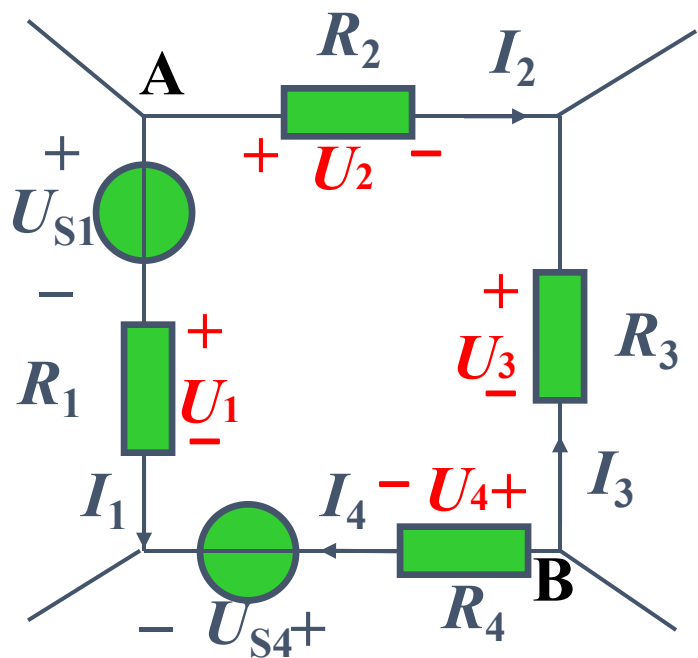
$$-R_1 I_1 - U_{S1} + R_2 I_2 - R_3 I_3 + R_4 I_4 + U_{S4} = 0$$

$$-R_1 I_1 + R_2 I_2 - R_3 I_3 + R_4 I_4 = U_{S1} - U_{S4}$$

三、基尔霍夫电压定律 (KVL)

推广应用:

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。元件电压方向与路径绕行方向一致时取正号，相反取负号。



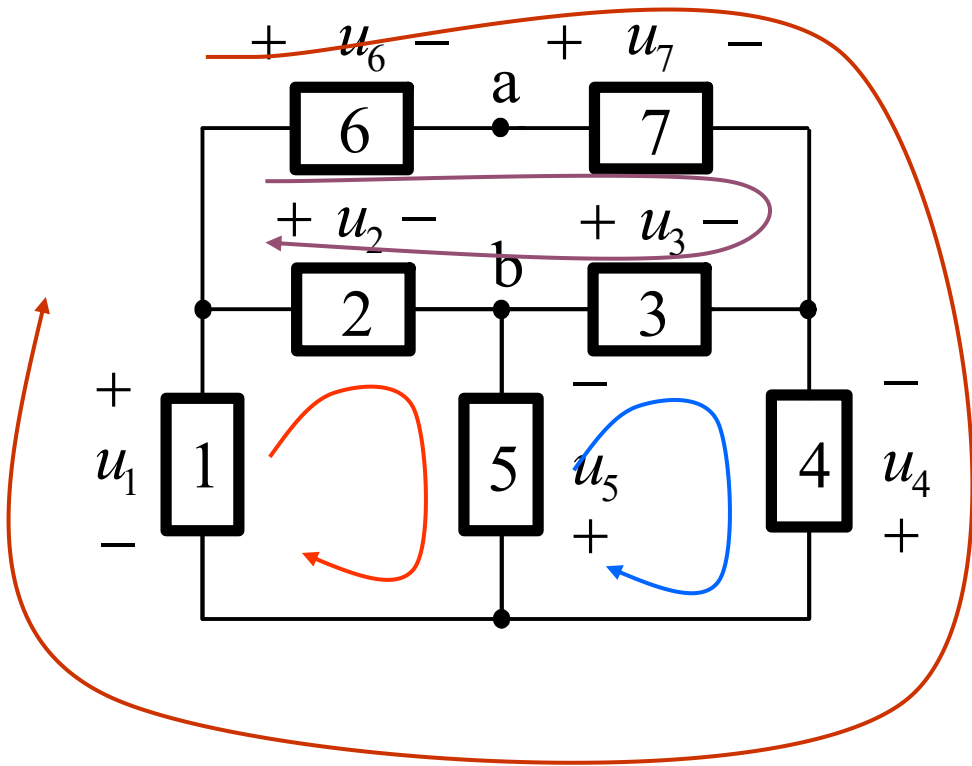
$$\begin{cases} U_{AB} = U_2 + U_3 \\ U_{AB} = U_{S1} + U_1 - U_{S4} - U_4 \end{cases}$$

$$U_{AB} (\text{沿} l_1) = U_{AB} (\text{沿} l_2)$$

电位的单值性

三、基尔霍夫电压定律 (KVL)

例：已知 $u_1=10\text{V}$ ， $u_2=3\text{V}$ ， $u_4=-2\text{V}$ ， $u_7=2\text{V}$ ，求 u_3 、 u_5 、 u_6 。



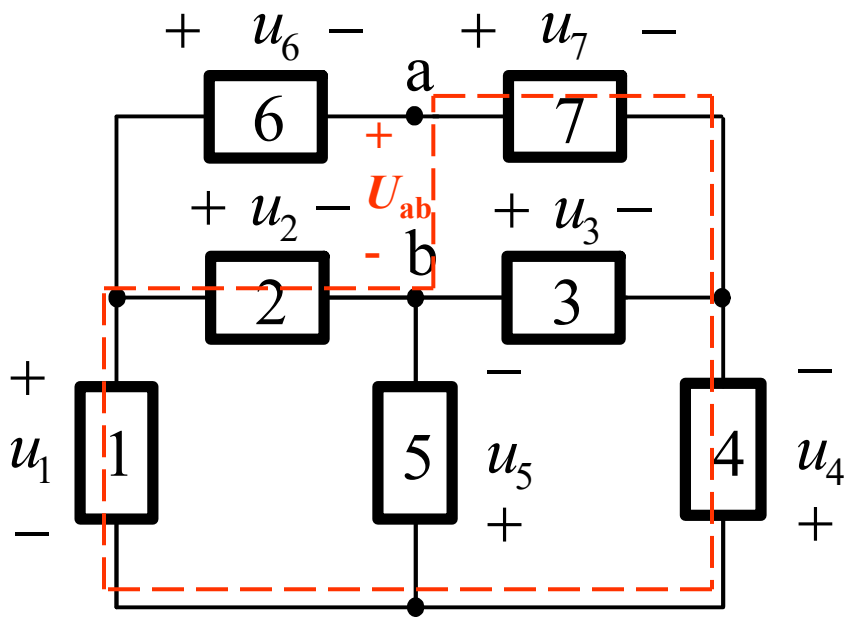
$$u_5 = u_2 - u_1 = -7\text{V}$$

$$u_3 = u_4 - u_5 = 5\text{V}$$

$$u_6 = u_1 + u_4 - u_7 = 6\text{V}$$

三、基尔霍夫电压定律 (KVL)

例： 已知 $u_1=10\text{V}$ ， $u_2=3\text{V}$ ， $u_4=-2\text{V}$ ， $u_7=2\text{V}$ ，求 u_{ab} 。



$$u_{ab} = u_7 - u_4 - u_1 + u_2 = -3\text{V}$$

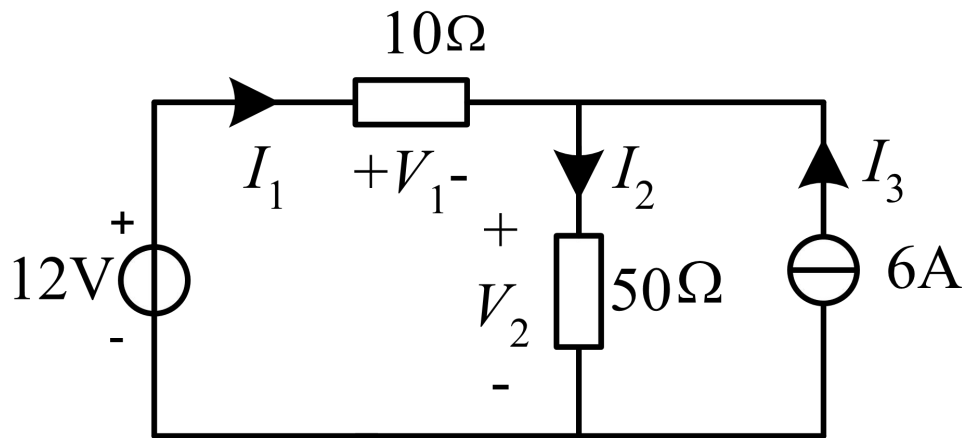
推广应用：任一不闭合的回路

KCL, KVL小结:

- (1) KCL、KVL只适用于集总参数的电路。
- (2) KCL表明在每一节点上电荷是守恒的；KVL是电位单值性的具体体现（电压与路径无关）。
- (3) KCL、KVL与组成支路的元件性质及参数无关。
- (4) KCL是对节点对电流的约束，KVL是回路对电压的约束。
- (5) KCL、KVL不仅可以用于线性、时不变电路，也可以用于非线性、时变电路。

课堂练习

练习： 电路如图所示，求 I_1 和 I_2 。



$$I_1 = -4.8\text{A}$$

$$I_2 = 1.2\text{A}$$

§1-4 电阻元件

一、欧姆定律

二、短路与开路

三、电阻消耗的功率

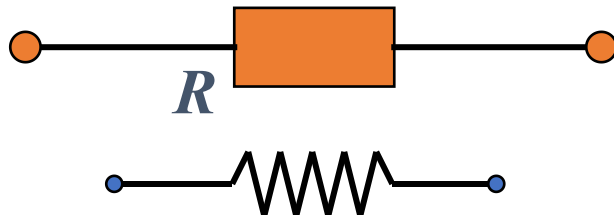
四、电阻的分类

五、实际电阻器

一、欧姆定律

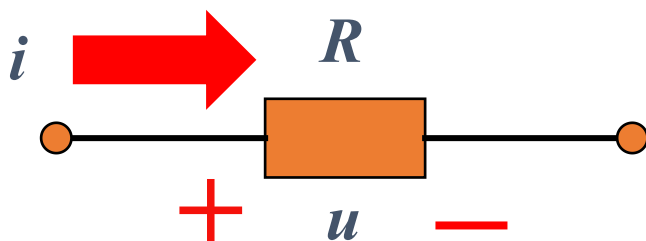
电阻元件：是从实际电阻器抽象出来的模型，只反映电阻器对电流呈现阻力的性能，由欧姆定律定义。

$$R = u(t) / i(t)$$



一、欧姆定律——内容

(1) 电压电流采用关联参考方向



$$u = R i$$

R 电阻 (*resistance*)

单位: Ω (欧)

令 $G = 1/R$ G 电导 (*conductance*)

单位: S (西) (Siemens, 西门子)

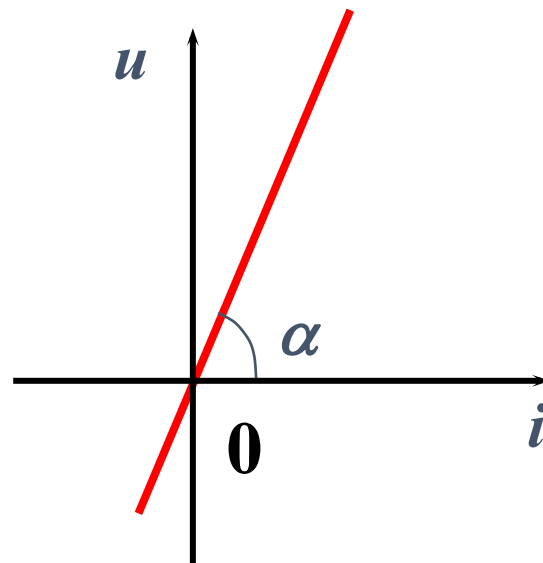
欧姆定律(关联参考方向下): $i = G u$

一、欧姆定律——内容

关联参考方向下线性电阻器的
 u - i 关系：

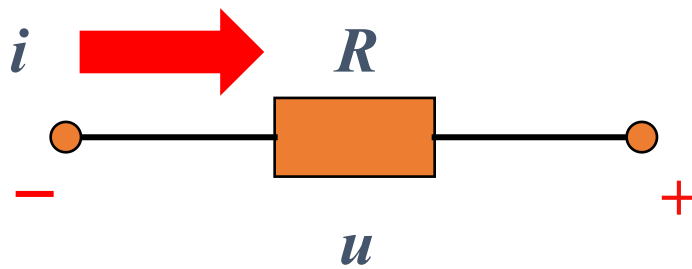
$$u = R i$$

$$R = \tan \alpha$$



一、欧姆定律——内容

(2) 电压电流非关联参考方向



欧姆定律:

$$u = -Ri \quad \text{或} \quad i = -Gu$$



公式的列写必须根据参考方向！！

§1-4 电阻元件

一、欧姆定律

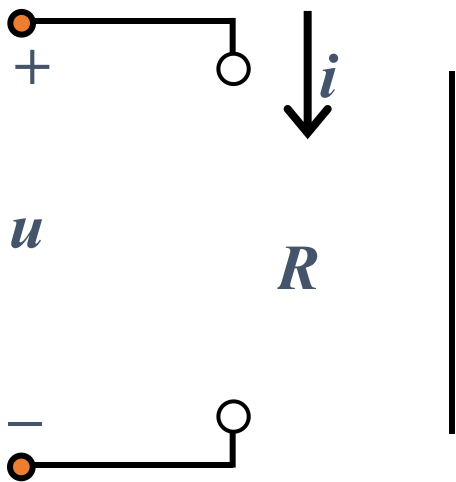
二、短路与开路

三、电阻消耗的功率

四、电阻的分类

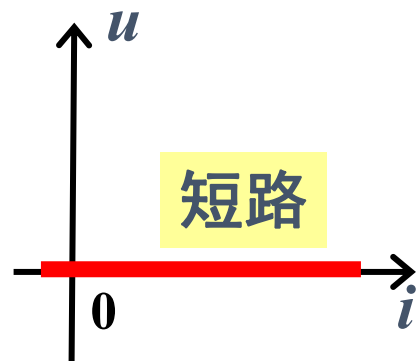
五、实际电阻器

二、短路与开路



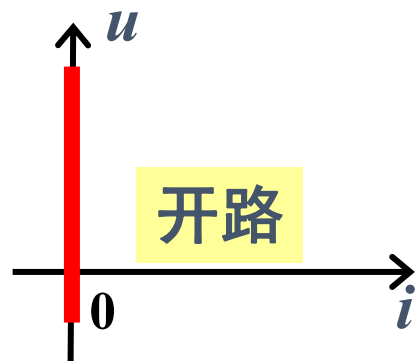
当 $R = 0$ ($G = \infty$), 视其为**短路**。

$u = 0$, i 由外电路决定。



当 $R = \infty$ ($G = 0$), 视其为**开路**。

$i = 0$, u 由外电路决定。



§1-4 电阻元件

一、欧姆定律

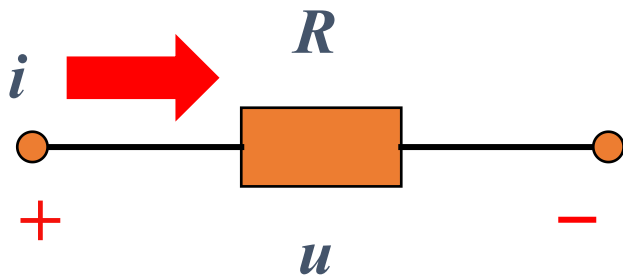
二、短路与开路

三、电阻消耗的功率

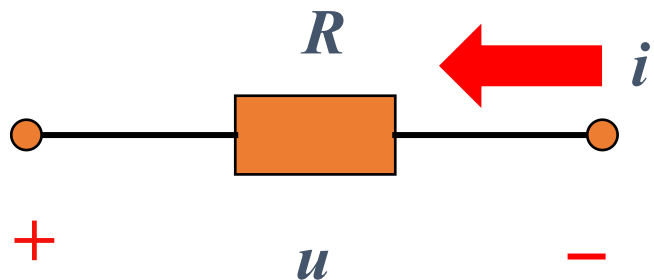
四、电阻的分类

五、实际电阻器

三、电阻消耗功率



$$p = ui = i^2 R = u^2 / R$$



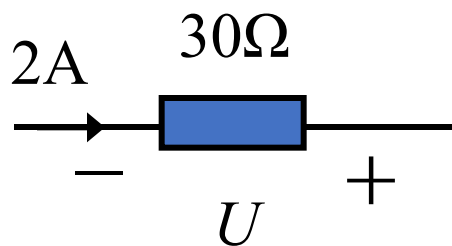
$$\begin{aligned} p &= -ui = -(-Ri)i = i^2 R \\ &= -u(-u/R) = u^2 / R \end{aligned}$$

无论参考方向如何选取，电阻始终消耗电功率。

三、电阻消耗的功率

例：求电压 U 和功率 P

注意参考方向！

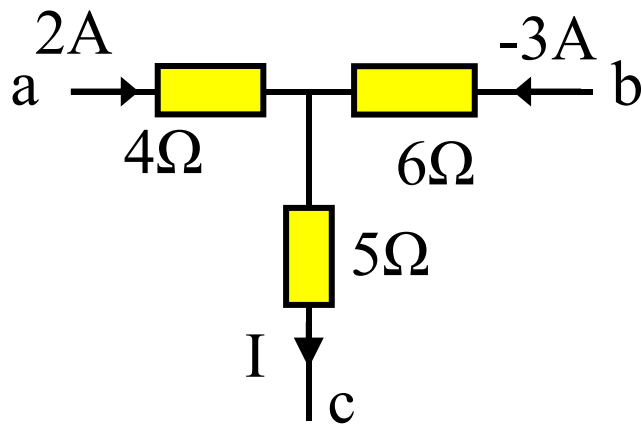


$$U = -60V$$

$$P = 120W$$

三、电阻消耗功率

例：求 U_{ab} 、 U_{cb} 、 U_{ac} ，并求各电阻的功率。



$$U_{ab} = 26V$$

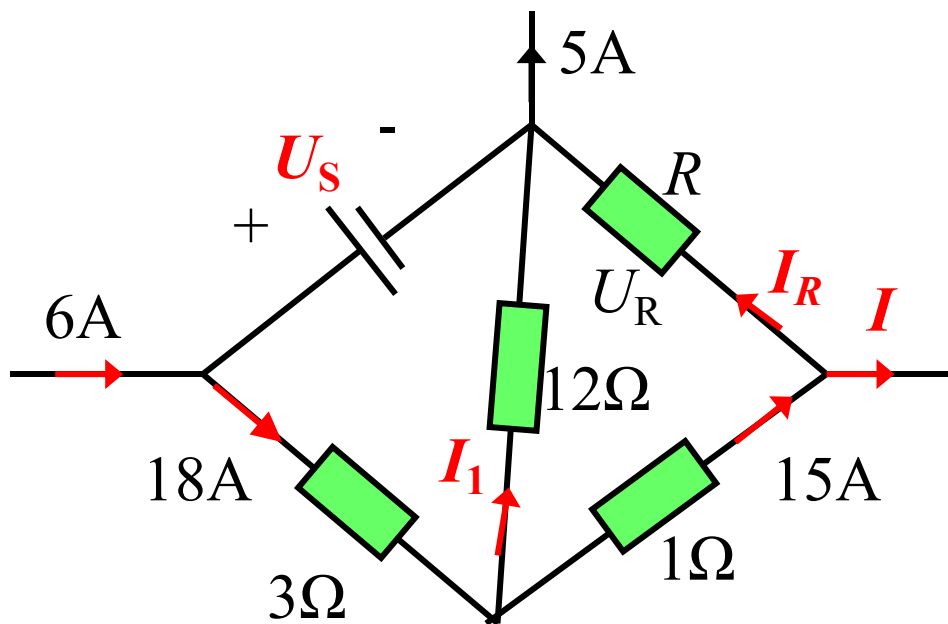
$$I = -1A$$

$$U_{cb} = 23V$$

$$U_{ac} = 3V$$

三、电阻消耗功率

例：下图是某电路的一部分。求电压源电压和电流 I ，及电阻 R



$$I = 1\text{A}$$

$$I_1 = 3\text{A}$$

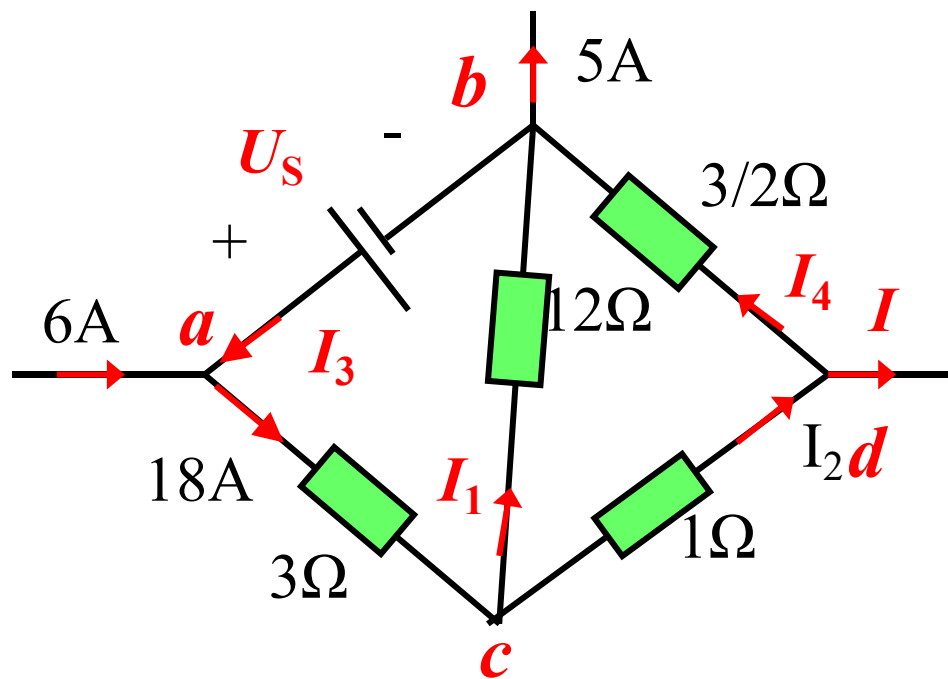
$$U_S = 90\text{V}$$

$$I_R = 14\text{A}$$

$$R = 1.5\Omega$$

三、电阻消耗功率

上题中，若将已知条件改变一下， R 已知，电流 I_2 未知，求电压源电压和电流 I 。



§1-4 电阻元件

一、欧姆定律

二、短路与开路

三、电阻消耗的功率

四、电阻的分类

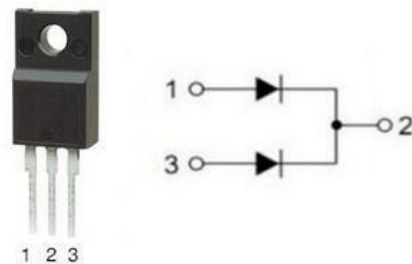
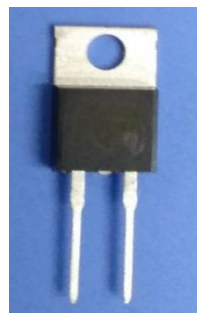
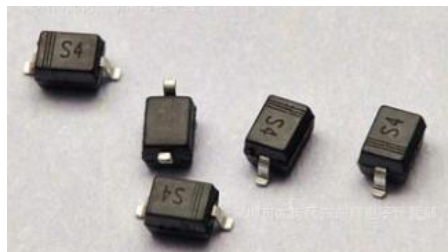
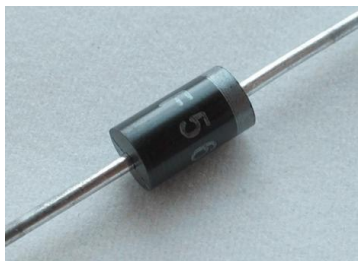
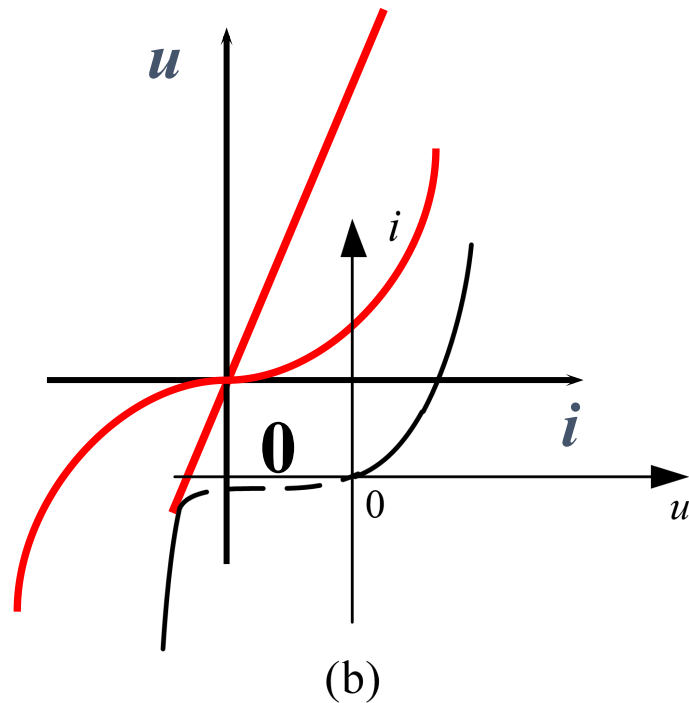
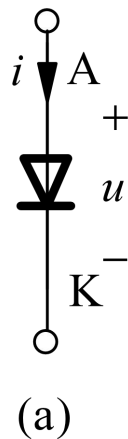
五、实际电阻器

四、电阻的分类

线性电阻、非线性电阻

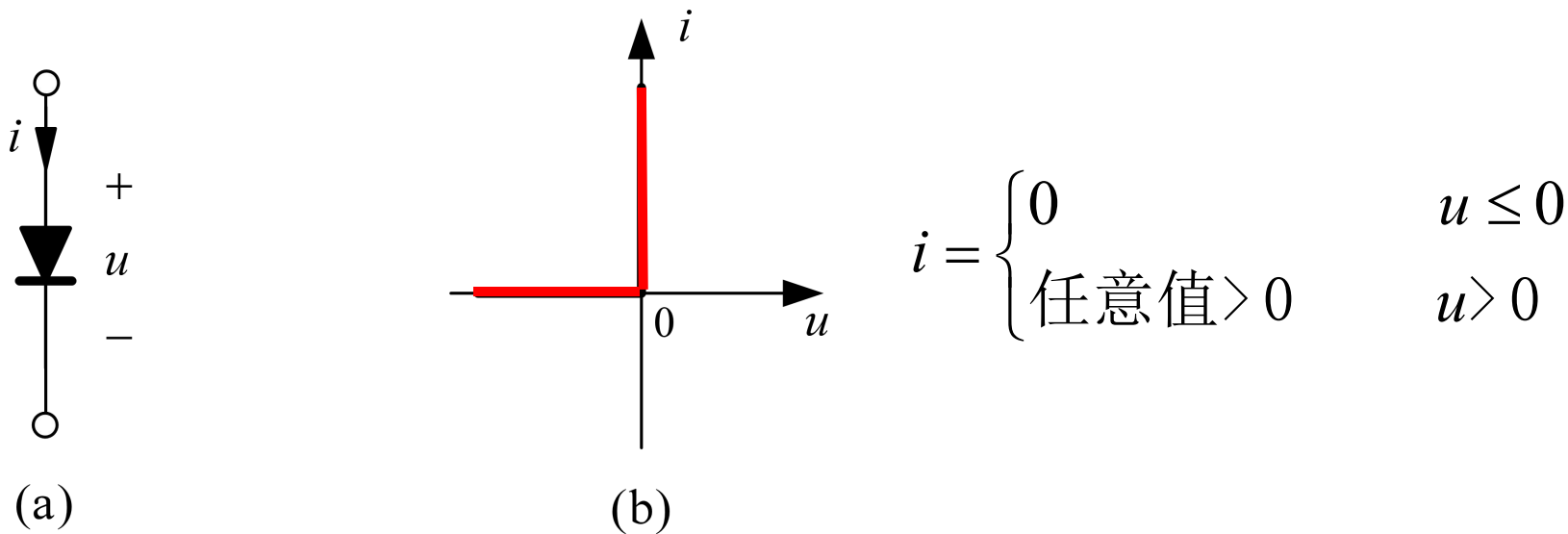
◆ 非线性电阻——二极管

二极管是单向性电阻元件：即电流与电压的方向有关，或其电压与电流的方向有关。



四、电阻的分类

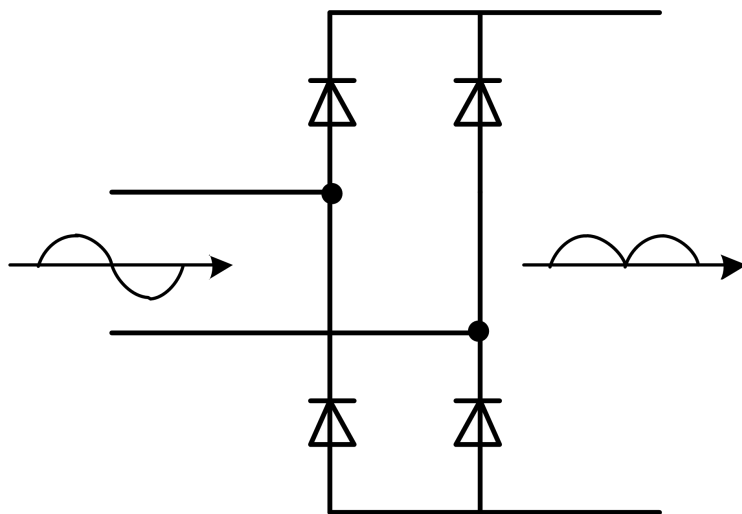
理想二极管： 即把二极管作理想化处理，使其伏安关系如图所示，即



由此，二极管的特性为一个电压控制型的理想开关。
正向偏置时导通，反向偏置时截止。——**单向导电性**

四、电阻的分类

二极管单向导电性的应用——整流



四、电阻的分类

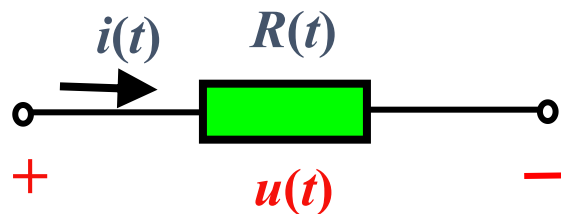
时变电阻、时不变电阻

线性非时变电阻

$$u(t) = R \cdot i(t)$$

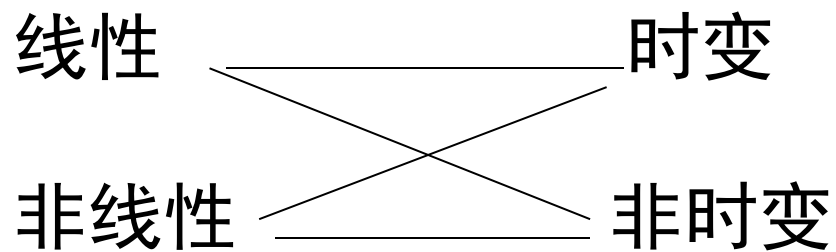
线性时变电阻

电阻 $R(t)$ 是时间 t 的函数



$$u(t) = R(t) \cdot i(t)$$

四、电阻的分类



本课程主要研究**线性非时变**电阻元件。

§1-4 电阻元件

一、欧姆定律

二、短路与开路

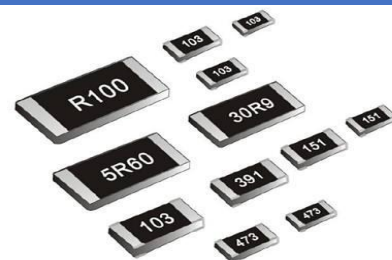
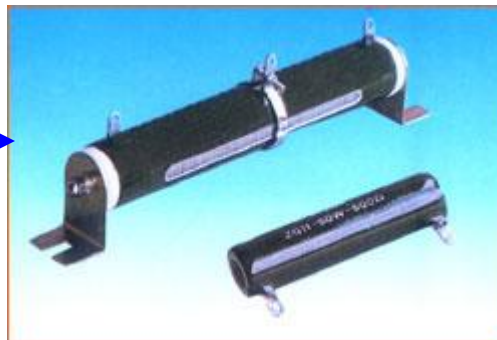
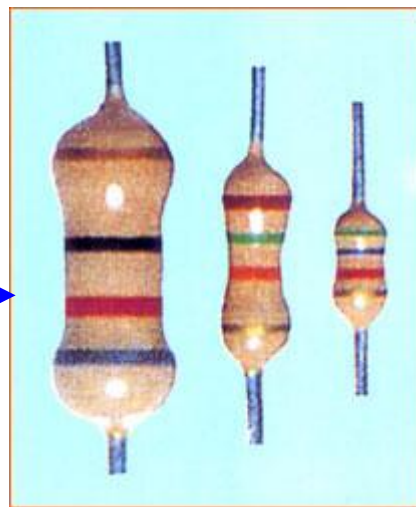
三、电阻消耗的功率

四、电阻的分类

五、实际电阻器

五、实际电阻器

贴片电阻	体积小 重量轻 可靠性高
碳膜电阻	阻值范围宽 价格低廉
金属膜电阻	稳定性高 精度高
线绕电阻	功率大



五、实际电阻器

思考：

电阻器的尺寸主要取决于什么？

额定功率

思考：

购买电阻时，是不是只需要看阻值？除了阻值还有什么指标？

阻值 + 功率

五、实际电阻器

讨论

是不是可以买到任意阻值的电阻？

电阻的标称值

1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.7	3.0
3.3	3.6	3.9	4.3	4.7	5.1	5.6	6.2	6.8	7.5	8.2	9.1

§1-5 电压源

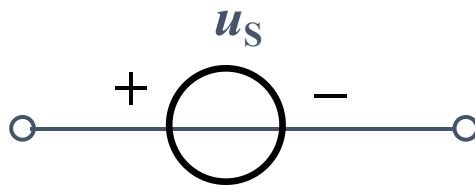
一、元件特点

二、伏安关系VCR

三、理想电压源的开路与短路

四、实际电压源模型

一、元件特点



(a) 电源两端电压由电源本身决定，与外电路无关；

(b) 通过它的电流由外电路决定。

§1-5 电压源

一、元件特点

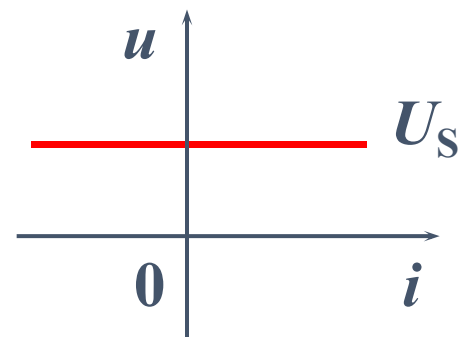
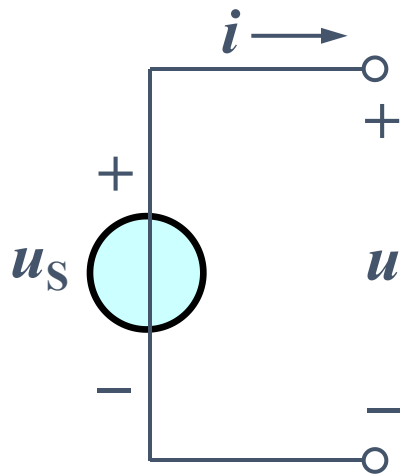
二、伏安关系VCR

三、理想电压源的开路与短路

四、实际电压源模型

二、伏安关系VCR

$$u = u_s(t)$$



二、伏安关系VCR

(a) 若 $u_S = U_S$ ，即直流电源，则其伏安特性为平行于电流轴的直线，反映电压与电源中的电流无关。

(b) 若 u_S 为变化的电源，则某一时刻的伏安关系特性为平行于电流轴的直线。

(c) 电压为零的电压源，伏安曲线与 i 轴重合，相当于短路状态。

§1-5 电压源

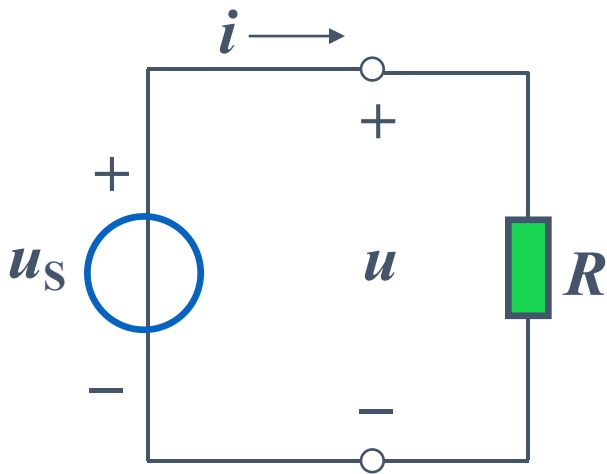
一、元件特点

二、伏安关系VCR

三、理想电压源的开路与短路

四、实际电压源模型

三、理想电压源的开路与短路



(a) 开路: $R \rightarrow \infty$, $i=0$, $u=u_S$ 。

(b) 理想电压源不允许短路
(此时电路模型不再存在)。

§1-5 电压源

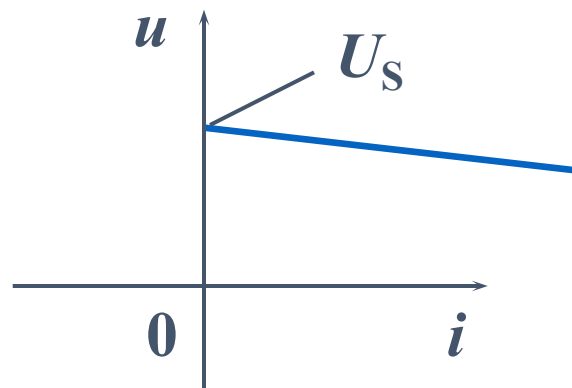
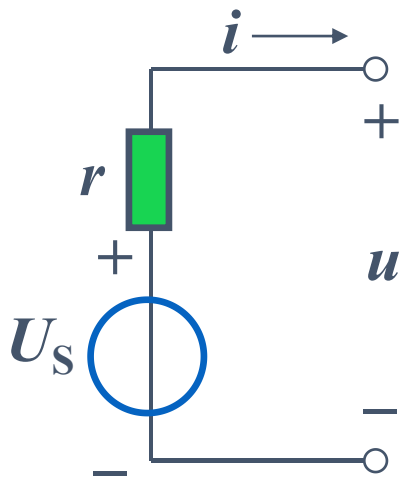
一、元件特点

二、伏安关系VCR

三、理想电压源的开路与短路

四、实际电压源模型

四、实际电压源模型



$$u = U_S - r i$$

电阻表示实际
电源的损耗

§1-6 电流源

一、元件特点

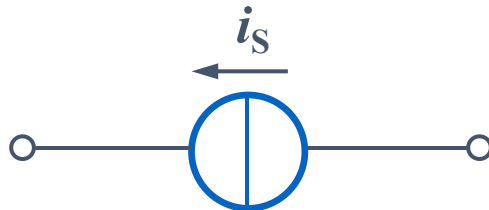
二、伏安关系VCR

三、理想电流源的开路与短路

四、实际电流源模型

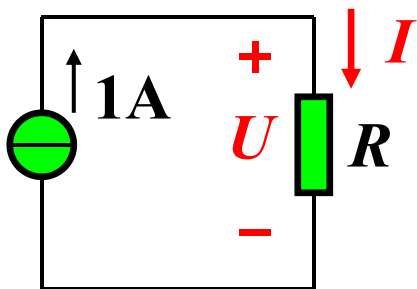
五、实际电流源的产生

一、元件特点



- (a) 电源电流由电源本身决定，与外电路无关；
- (b) 电源两端电压由外电路决定。

例



$$R = 1\Omega, I = 1A, U = 1V$$

$$R = 10\Omega, I = 1A, U = 10V$$

§1-6 电流源

一、元件特点

二、伏安关系VCR

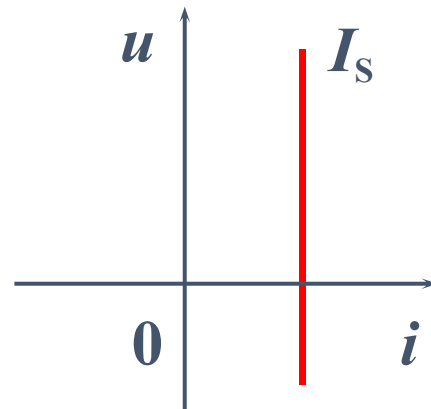
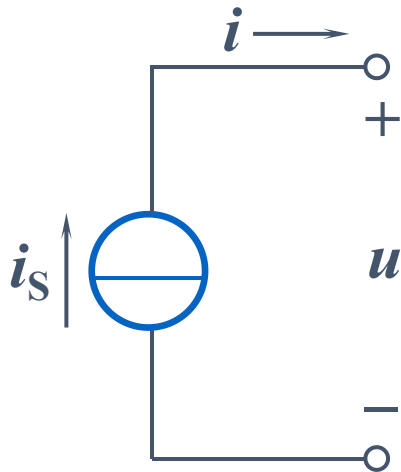
三、理想电流源的开路与短路

四、实际电流源模型

五、实际电流源的产生

二、伏安关系VCR

$$i = i_s(t)$$



二、伏安关系VCR

(a) 若 $i_S = I_S$ ，即直流电源，则其伏安特性为平行于电压轴的直线，反映电流与端电压无关。

(b) 若 i_S 为变化的电源，则某一时刻的伏安关系也是平行于电压轴的直线。

(c) 电流为零的电流源，伏安特性曲线与 u 轴重合，相当于开路状态。

§1-6 电流源

一、元件特点

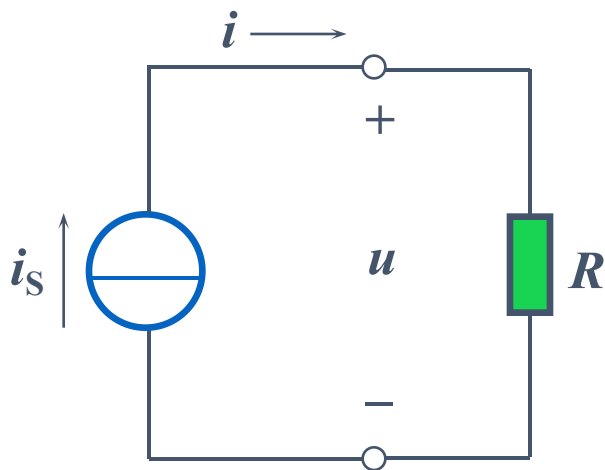
二、伏安关系VCR

三、理想电流源的开路与短路

四、实际电流源模型

五、实际电流源的产生

三、理想电流源的开路与短路



(1) 短路: $R=0$, $i=i_s$, $u=0$,
电流源被短路。

(2) 理想电流源不允许开路
(此时电路模型不再存在)。

§1-6 电流源

一、元件特点

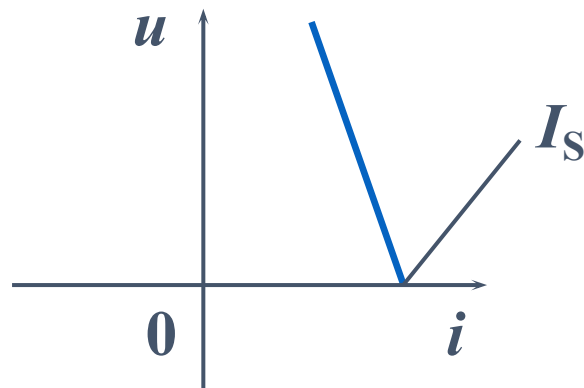
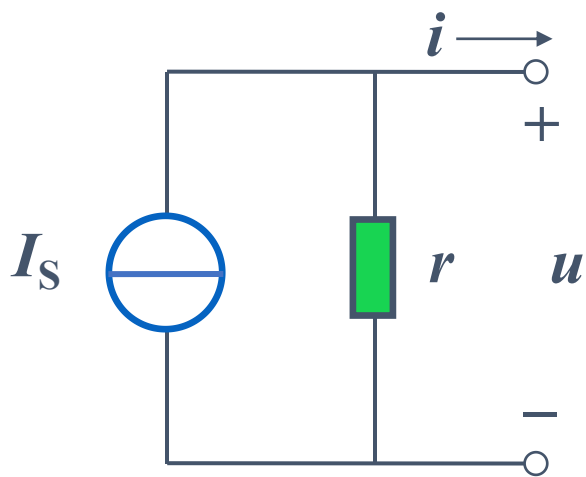
二、伏安关系VCR

三、理想电流源的开路与短路

四、实际电流源模型

五、实际电流源的产生

四、实际电流源模型



请回答：

为什么实际电压源模型为串联模型而实际电流源模型为并联模型？

$$i = I_S - u / r$$

电阻表示实际
电源的损耗

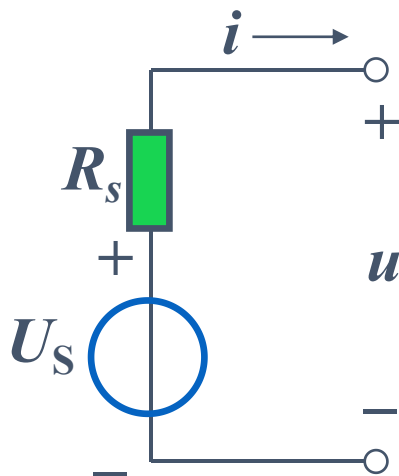
四、实际电流源模型

思考：

实际电压源和实际电流源的内阻取什么样的值时，实际电源的伏安特性更接近理想电源？

四、实际电流源模型

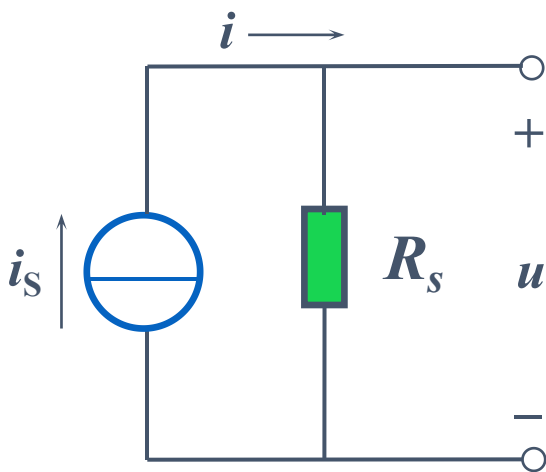
实际电压源：



$R_S \rightarrow 0$ 时

实际电压源接近理想电压源

实际电流源：



$R_S \rightarrow \infty$ 时

实际电流源接近理想电流源

§1-6 电流源

一、元件特点

二、伏安关系VCR

三、理想电流源的开路与短路

四、实际电流源模型

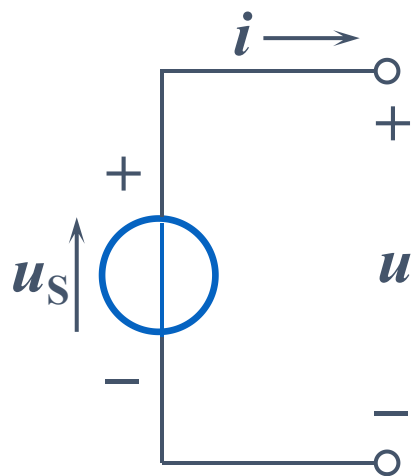
五、实际电流源的产生

五、实际电流源的产生

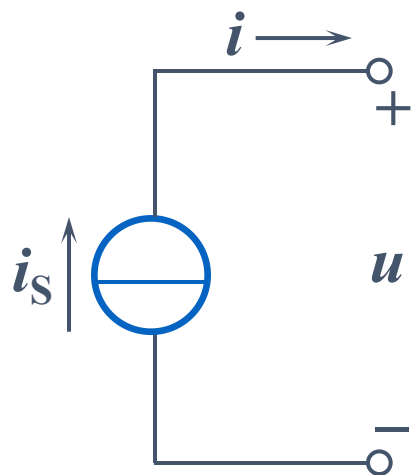
可由稳流电子设备产生，有些电子器件输出具备电流源特性，如晶体管的集电极电流与负载无关；

光电池在一定光线照射下光电池被激发产生一定值的电流等。

理想独立源的功率



$$p = -u_S i$$



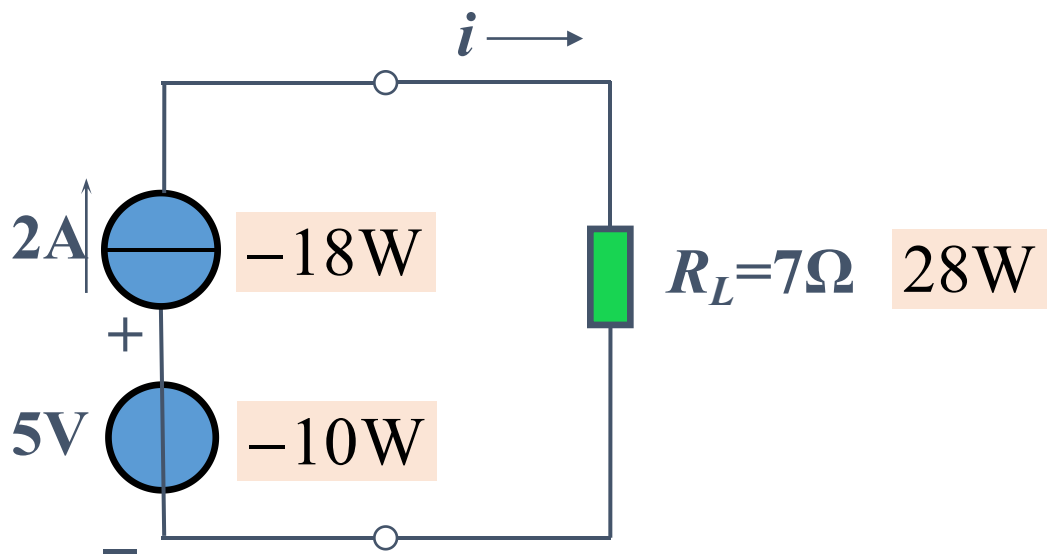
$$p = -u i_S$$

请回答：

独立源一定是产生功率吗？

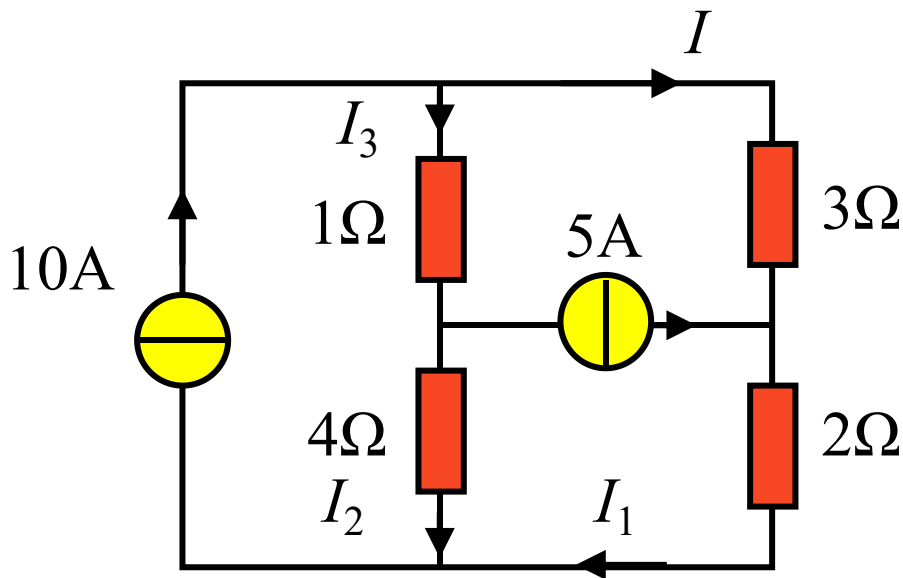
独立源练习题

例：求图示电路中电流源、电压源及电阻的功率。



独立源练习题

例：求电流 I 。（也可用叠加定理）

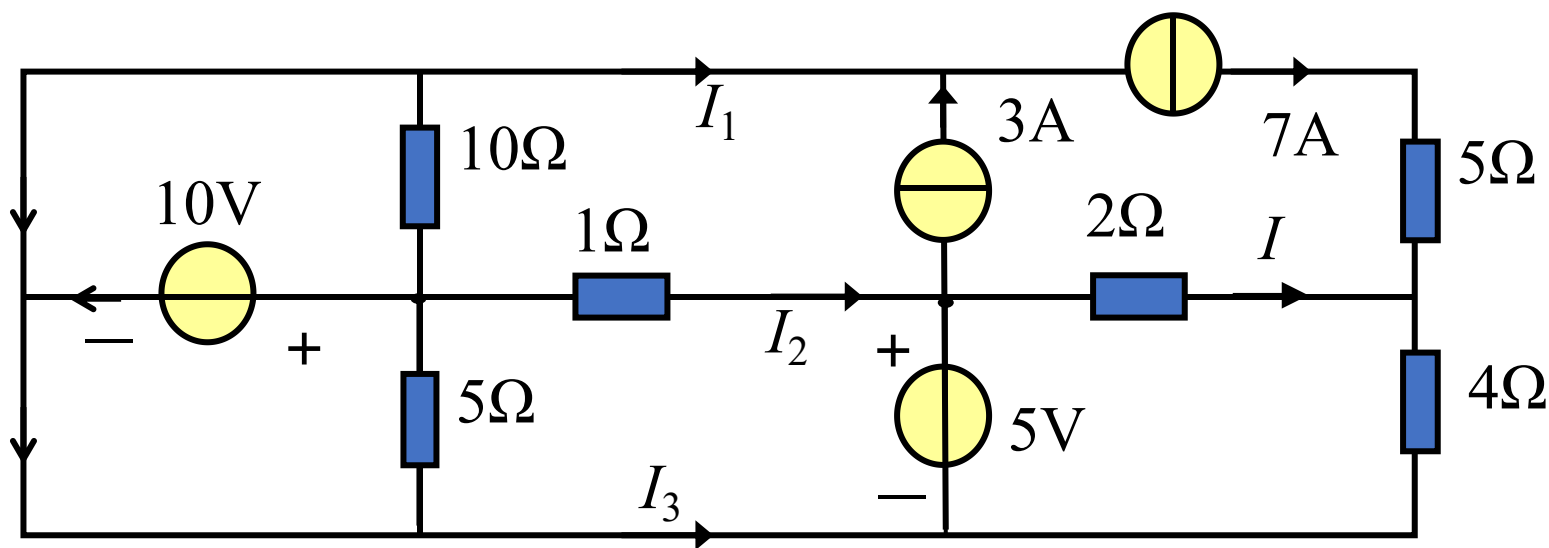


$$3I + 2(I + 5) = (10 - I) + 4(5 - I)$$

$$I = 2A$$

独立源练习题

例：求 I_1 、 I_2 、 I_3 及5V和10V电压源的功率。



$$I_1 = 4A$$

小结

● 分析电路的基本依据——两类约束

➤ 拓扑约束

□ KCL: 节点对电流的约束

□ KVL: 回路对电压的约束

➤ 元件约束

□ 电阻: 欧姆定律

□ 理想电压源: $u=U_S$, i 由外电路决定

□ 理想电流源: $i=I_S$, u 由外电路决定

回顾

● 分析电路的基本依据——两类约束

➤ 拓扑约束

□ KCL: 节点对电流的约束

□ KVL: 回路对电压的约束

➤ 元件约束

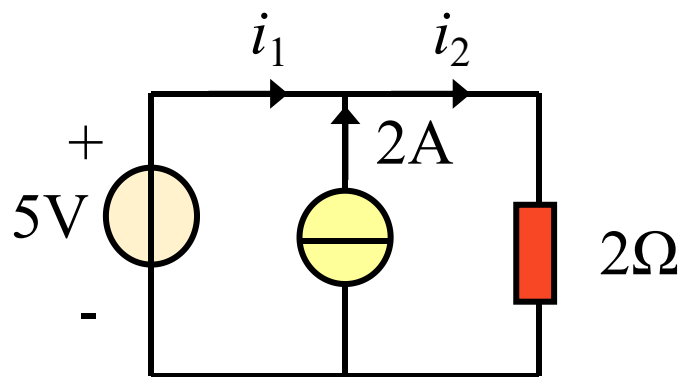
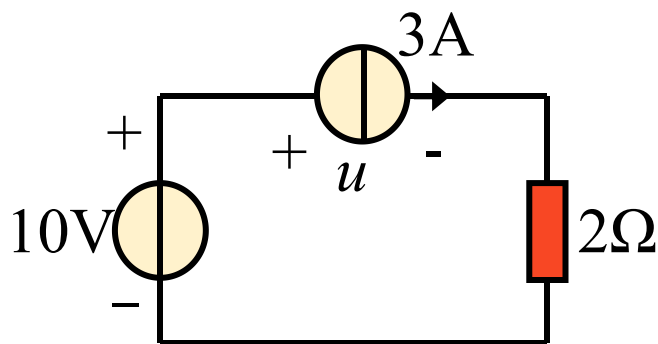
□ 电阻: 欧姆定律

□ 理想电压源: $u=U_S$, i 由外电路决定

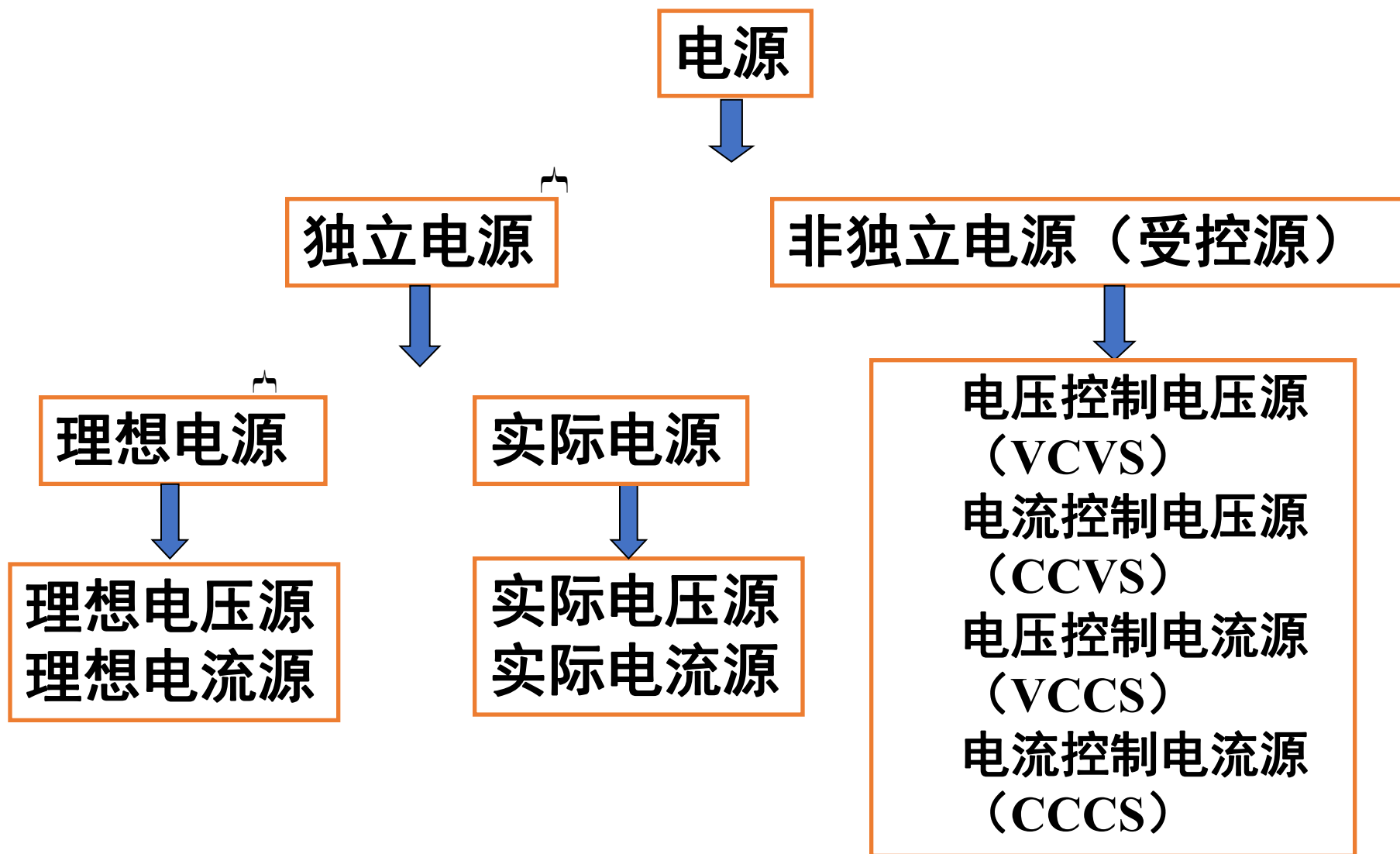
□ 理想电流源: $i=I_S$, u 由外电路决定

独立源练习题

练习：求图示电路中电流源、电压源及电阻的功率。



引入



第一章 集总参数电路中电压、电流的约束关系

§ 1-1 电路及集总电路模型

§ 1-2 电路变量——电流、电压及功率

§ 1-3 基尔霍夫定律

§ 1-4 电阻元件

§ 1-5 电压源

§ 1-6 电流源

§ 1-7 受控源

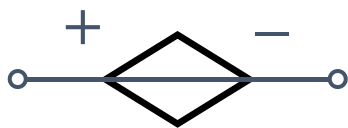
§1-7 受控源

一、元件特点

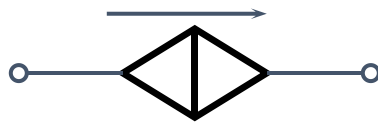
二、分类

一、元件特点

定义：电压源电压或电流源电流不是给定的时间函数，而是受电路中某个支路（或元件）的电压（或电流）的控制。



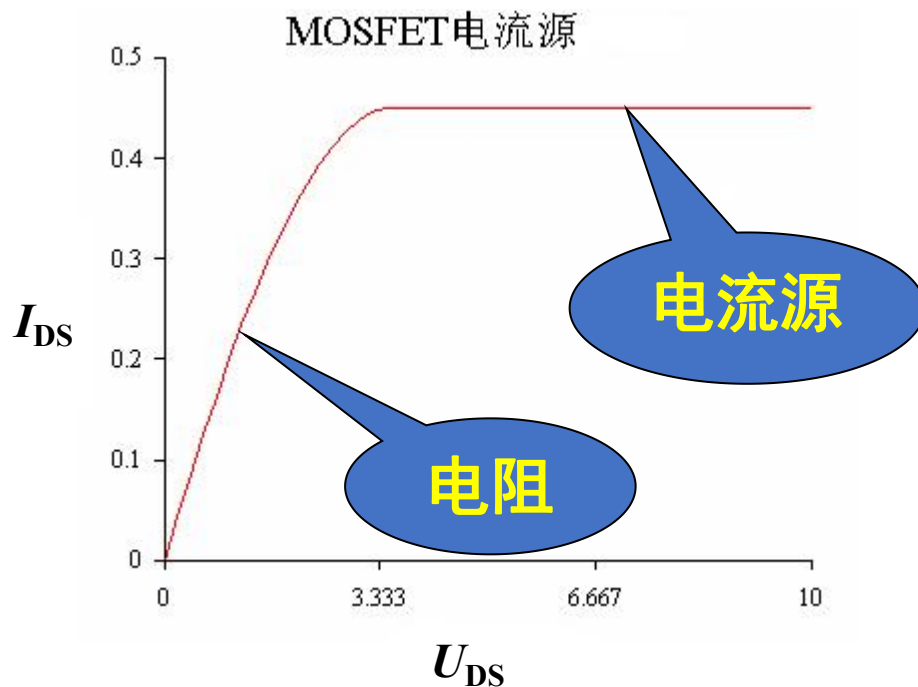
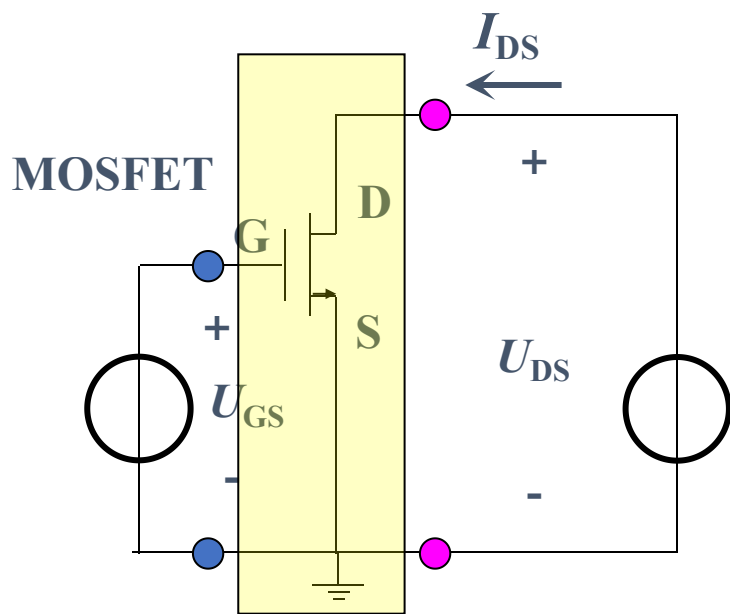
受控电压源



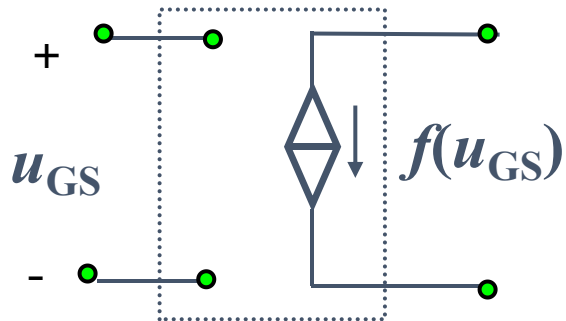
受控电流源

一、元件特点

一个受控电流源的例子（MOSFET）



一、元件特点



控制部分 受控部分

一个受控源可以用四端模型来表示。

受控源是一个四端元件

控制支路

受控源

{ 支路电压
支路电流

{ 受控电压源
受控电流源

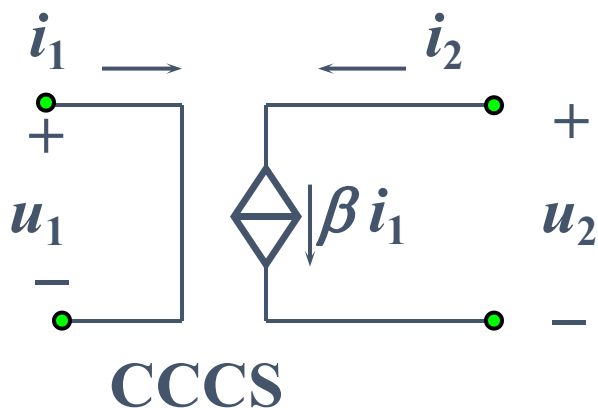
§1-7 受控源

一、元件特点

二、分类

二、分类

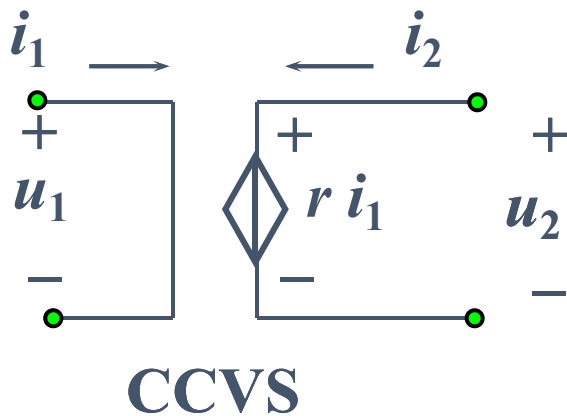
(1) 电流控制的电流源 (Current Controlled Current Source)



$$\begin{cases} u_1 = 0 \\ i_2 = \beta i_1 \end{cases}$$

β : 电流放大倍数

(2) 电流控制的电压源 (Current Controlled Voltage Source)

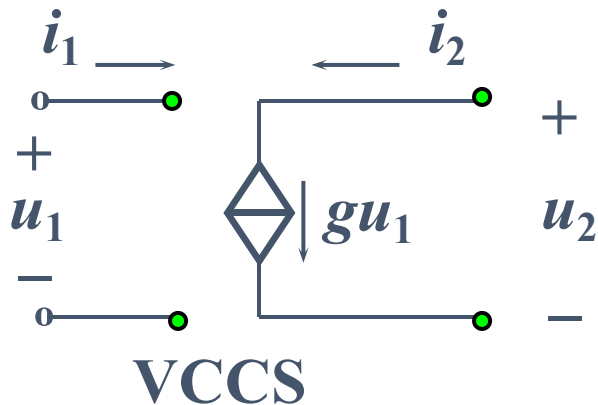


$$\begin{cases} u_1 = 0 \\ u_2 = r i_1 \end{cases}$$

r : 转移电阻

二、分类

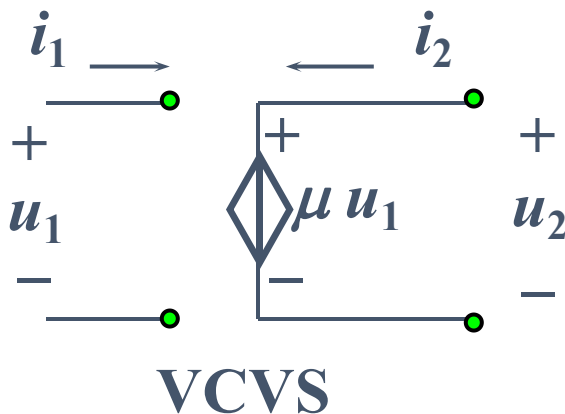
(3) 电压控制的电流源 (Voltage Controlled Current Source)



$$\begin{cases} i_1 = 0 \\ i_2 = g u_1 \end{cases}$$

g : 转移电导

(4) 电压控制的电压源 (Voltage Controlled Voltage Source)

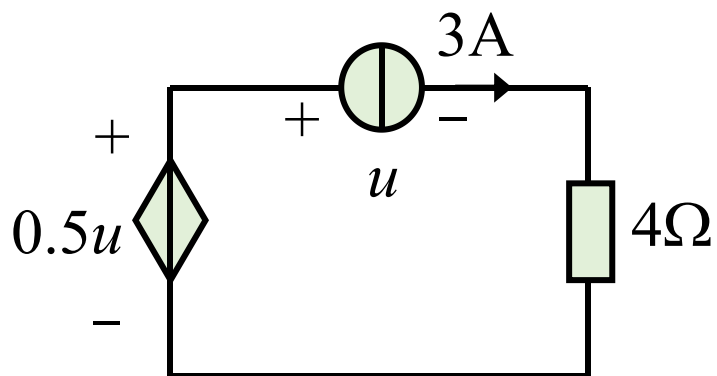


$$\begin{cases} i_1 = 0 \\ u_2 = \mu u_1 \end{cases}$$

μ : 电压放大倍数

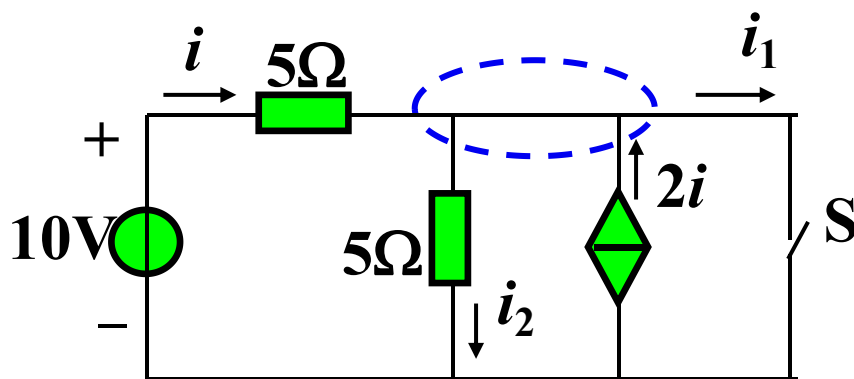
§1-7 受控源

例：求各元件功率



§1-7 受控源

例： 求下图电路开关S打开和闭合时的 i_1 和 i_2 。



受控源的进一步讨论

受控源与独立源的比较：

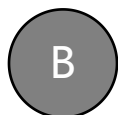
(a) 独立源电压（或电流）由电源本身决定，与电路中其他电压、电流无关，而受控源电压（或电流）直接由控制量决定。

(b) 独立源作为电路中“激励 (*excitation*)”，在电路中产生电压、电流，而受控源只是反映电压、电流之间的控制关系，在电路中不能作为“激励”。

受控源是二端元件吗？



是

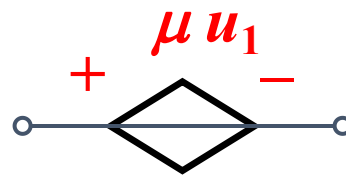
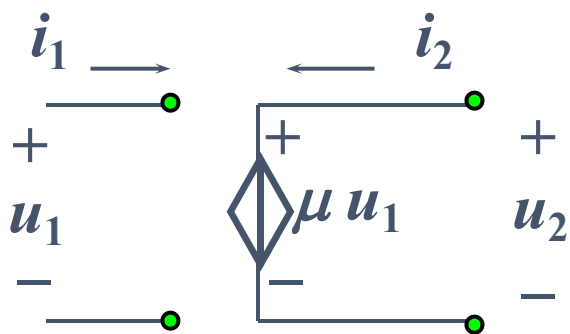


不是

提交

受控源的进一步讨论

受控源是二端元件吗？



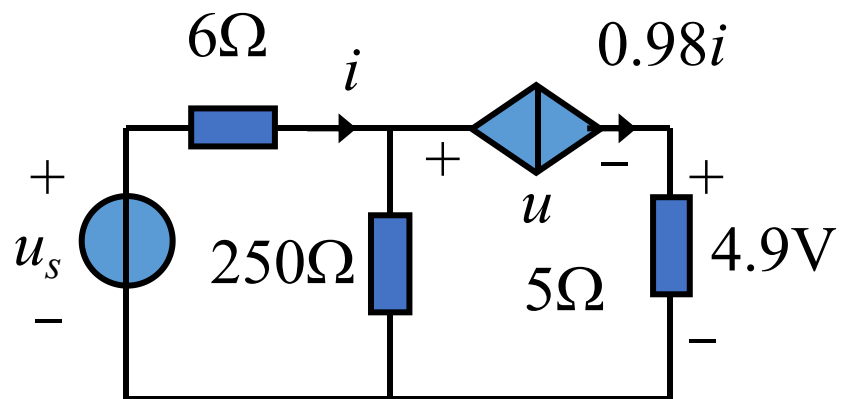
受控源的进一步讨论

注意：

1. 当 μ 、 g_m 、 γ 、 β 为常数时，称为**线性受控源**（研究对象）。
2. 注意受控电压源和电流源的符号。
3. 当控制量为0时被控制量也为0。
4. 受控源的VCR为代数方程，因此，受控源也称为**双口有源电阻元件**。

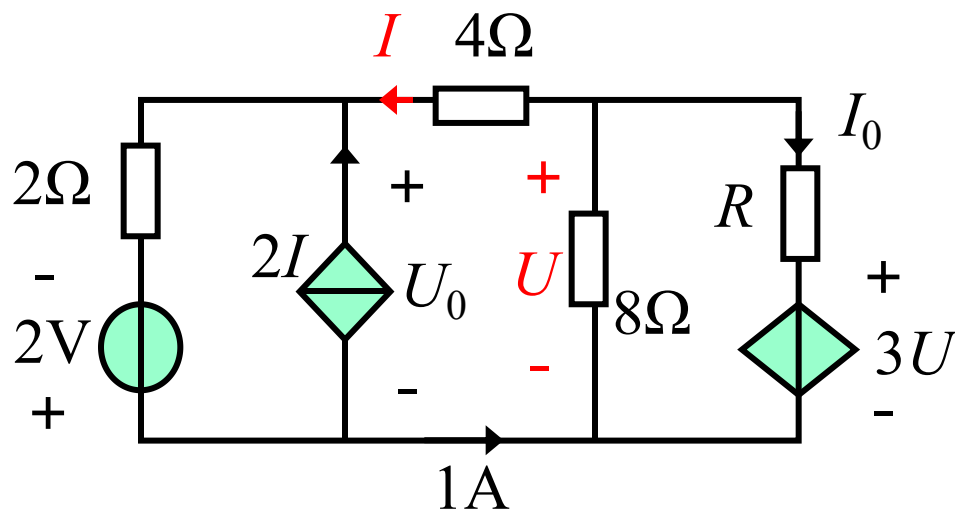
§1-7 受控源

例：求 u_s 及受控源功率



§1-7 受控源

练习：求 U_0 、 I_0 及电阻 R



本章小结

● 大前提：

集总假设

成立条件：工作波长远大于元件尺寸

假设内容：

- 元件没有体积大小，特性集中在一个点上；
- 从一端流入的瞬时电流等于从另一端流出的瞬时电流，元件不积累电荷；
- 电阻只耗能；
- 电场只与电容元件有关；
- 磁场只与电感元件有关；
- 电场与磁场之间无相互作用。

本章小结

● 研究对象：

电路变量——电流、电压、功率

◆ 电流、电压

➤ 实际方向、参考方向、关联参考方向

◆ 功率

➤ 定义式：

- 当 u 、 i 为关联参考方向时 $p = ui$
- 当 u 、 i 为非关联参考方向时 $p = -ui$

$p > 0$ 时, 吸收功率

$p < 0$ 时, 发出功率

本章小结

● 基本依据——两类约束

◆ 拓扑约束

- **KCL**: 节点对电流的约束
- **KVL**: 回路对电压的约束

◆ 元件约束

- 电阻: 欧姆定律
- 理想独立电压源、电流源
- 受控源

本章小结

- ◆ 一大假设——大前提
- ◆ 两类约束——基本依据
- ◆ 三种分析方法