



清华大学2021春季学期

电路原理C

20220483-2

01 绪论

02 电压、电流和功率

目录

CONTENTS



关于这门课

1、主讲：刘瑛岩

电话：13911120518（微信），62776999

Email: insul-lyy@tsinghua.edu.cn

课程

- 《电工技术与电子技术》
- 《电路原理》
- 《电子技术》（2021秋季学期）
- 《电气电路结构设计》
- 《集成电路设计3讲系列》



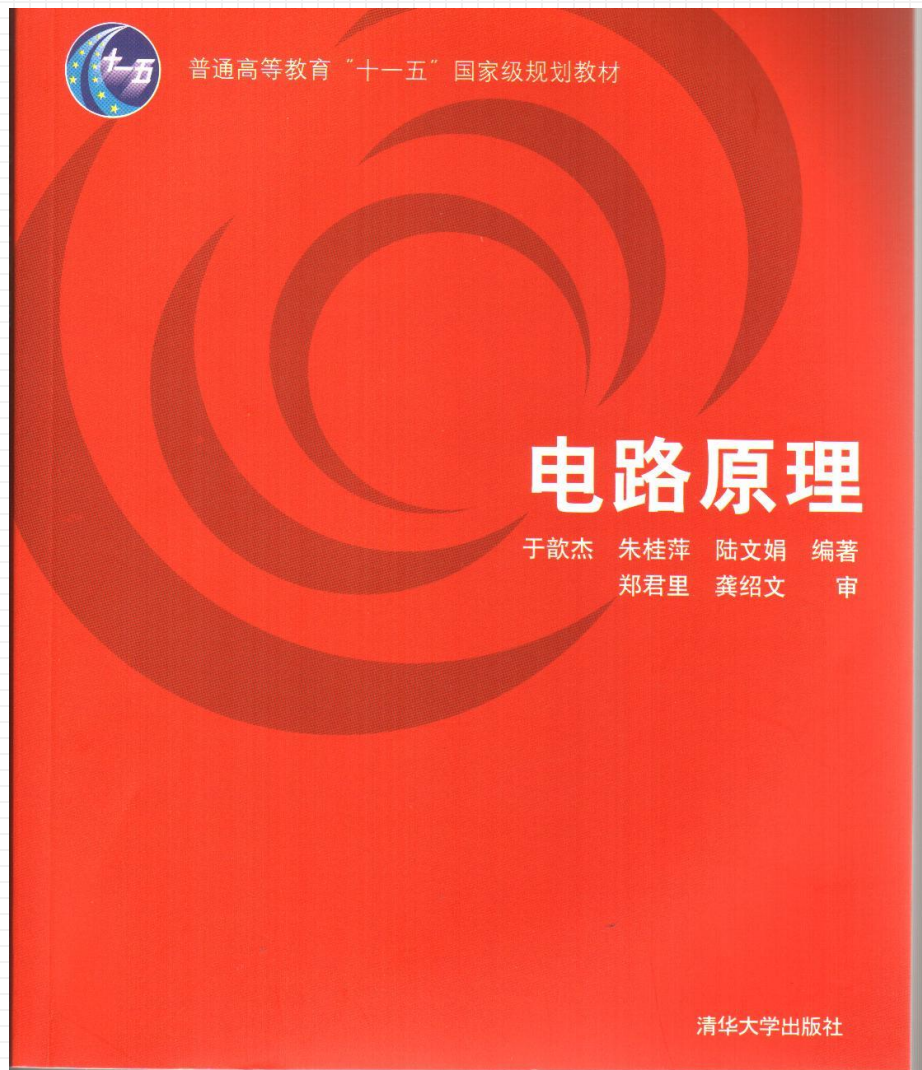
关于这门课

2、教材与参考书

- ① 于歆杰，朱桂萍，陆文娟，《电路原理》，清华大学出版社，2007
- ② 朱桂萍、刘秀成、徐福媛，《**电路原理学习指导与习题集（第2版）**》，清华大学出版社，2012

参考资料：

- 1. 朱桂萍、于歆杰、陆文娟、刘秀成，《电路原理导学导教及习题解答》，清华大学出版社，2009
- 2. 其他...



教材



习题集



关于这门课

3、本课组织形式

- (1) 17次大课
- (2) 3次习题课
- (3) 3次应用介绍

4、预习和复习

- 是否预习?
- 课后及时复习（最好当天复习），重点复习做错题对应的内容、点“不懂”和“收藏”的内容
- 每周集中时间做作业（周五-周日）



关于这门课

5、关于作业

- a) 笔头作业15次，上交14次（第15周作业不用上交）。
- b) 每周二课后用雨课堂的主观题形式布置笔头作业（包括周二周五授课内容）；下周二中午12点之前在雨课堂提交电子作业（做题、拍照、上传），不用抄题，写清题号即可，但必须画电路图；再下周二发布批改过程和正确答案。
- c) 仿真作业2次，在指定的时间布置、指定时间上交，均采用主观题的方式。
- d) 计算机仿真用Multisim软件来完成。Multisim下载、安装、注册、激活请参考info上“信息化用户服务平台”，或
<https://cloud.tsinghua.edu.cn/d/26bd50f6f6f040de8cb7>。
- e) 作业满分5分。未按规定时间上交的作业视为迟交（0分）。缺题的作业酌情扣分。
- f) 允许同学相互讨论作业，但必须自己完成。一旦确认抄袭作业，无论抄与被抄，本次作业成绩作0分处理。
- g) 对作业评分的质疑需要在收到作业后一周内进行，逾期认为接受作业评分。



关于这门课

6、成绩组成

- a) 笔头作业 (12%)。从上交的14次作业中选择成绩最高的12次，每次1分。
- b) 计算机仿真作业 (4%)。每次2分。
- c) 大班翻转课堂课内外表现 (19%)，由雨课堂系统根据参与程度和正确率自动统计（约190道简单题）。参与所有练习题的50%以上（无论对错），可获得12分；答对全部练习题的80%即可获得本部分满分；其余情况按比例折算（如因网络问题，无法答题，请与老师单独联系）。
- d) 期中考试 (20%)。期中考试在第7周周末进行，考试方式待定。期中考试作弊0分。
- e) 期末考试 (45%)。考试时间由学校统一排定，采用半开卷形式。期末考试作弊按照清华大学有关教务管理规定执行。
- f) 用雨课堂“弹幕”和“投稿”功能参与讨论最积极的10名同学，期末总成绩+2分。期末总成绩不超过100分。



关于这门课

7、答疑

- 上课前后
- 课程微信群、微信、网络学堂讨论区
- 高压馆309（空闲时间均可，提前预约）



高压馆位置示意图



什么是电路？

- **电路** (electric circuits) 就是由若干**电气元件** (electrical elements) 相互连接构成的**电流的通路**。
- 本课程中要接触的**电气元件**有
 - 电阻 R 、电容 C 、电感 L 、二极管 D 、MOSFET、理想运算放大器 (Op Amp)、互感 M 、理想变压器 T



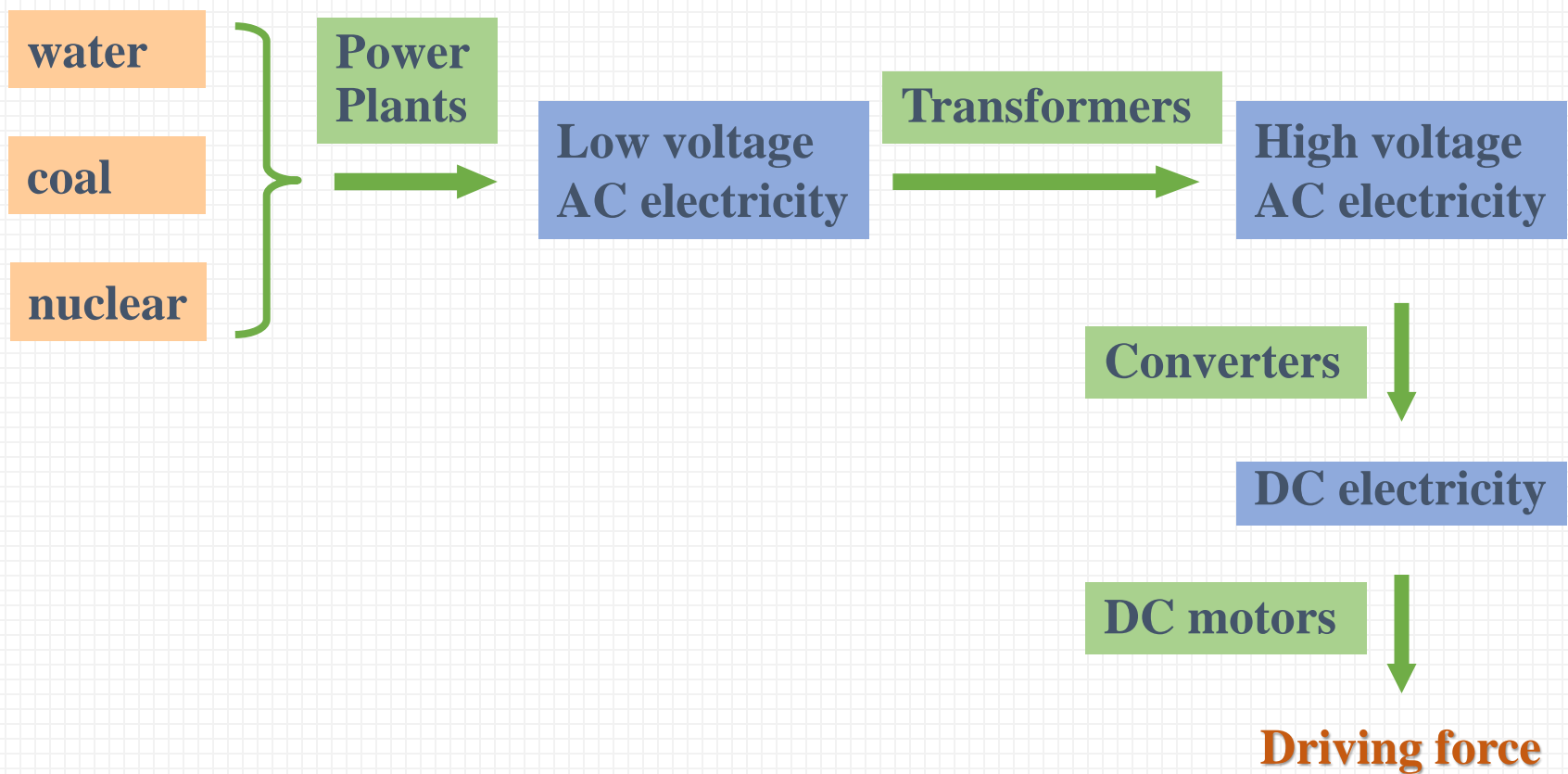
电路都有哪些作用？

- **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、放大.....
- **同时处理信号和能量**
 - 天线、CPU及其供电系统、智能电网.....



电气化铁道系统

处理电能

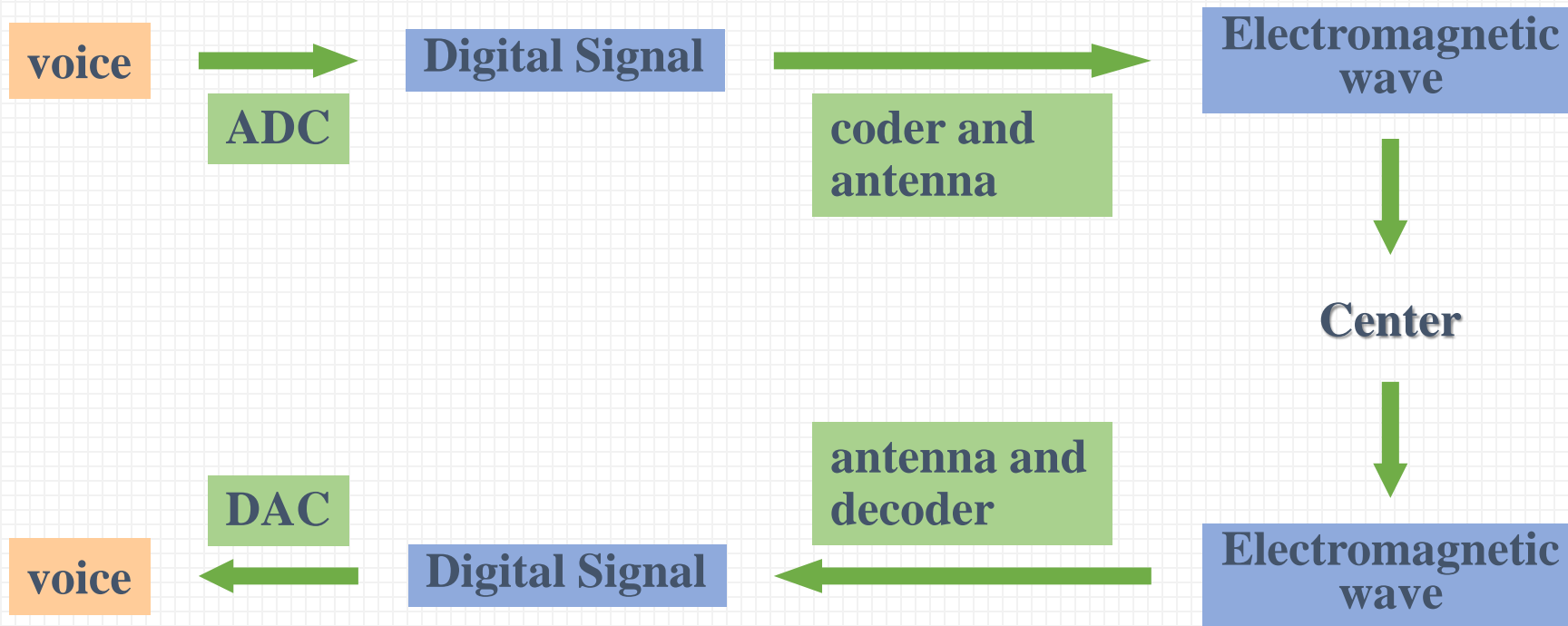


电能的生产、传输和分配



手机通讯系统

处理信号



电信号的获得、变换和放大



为什么要学习电路?

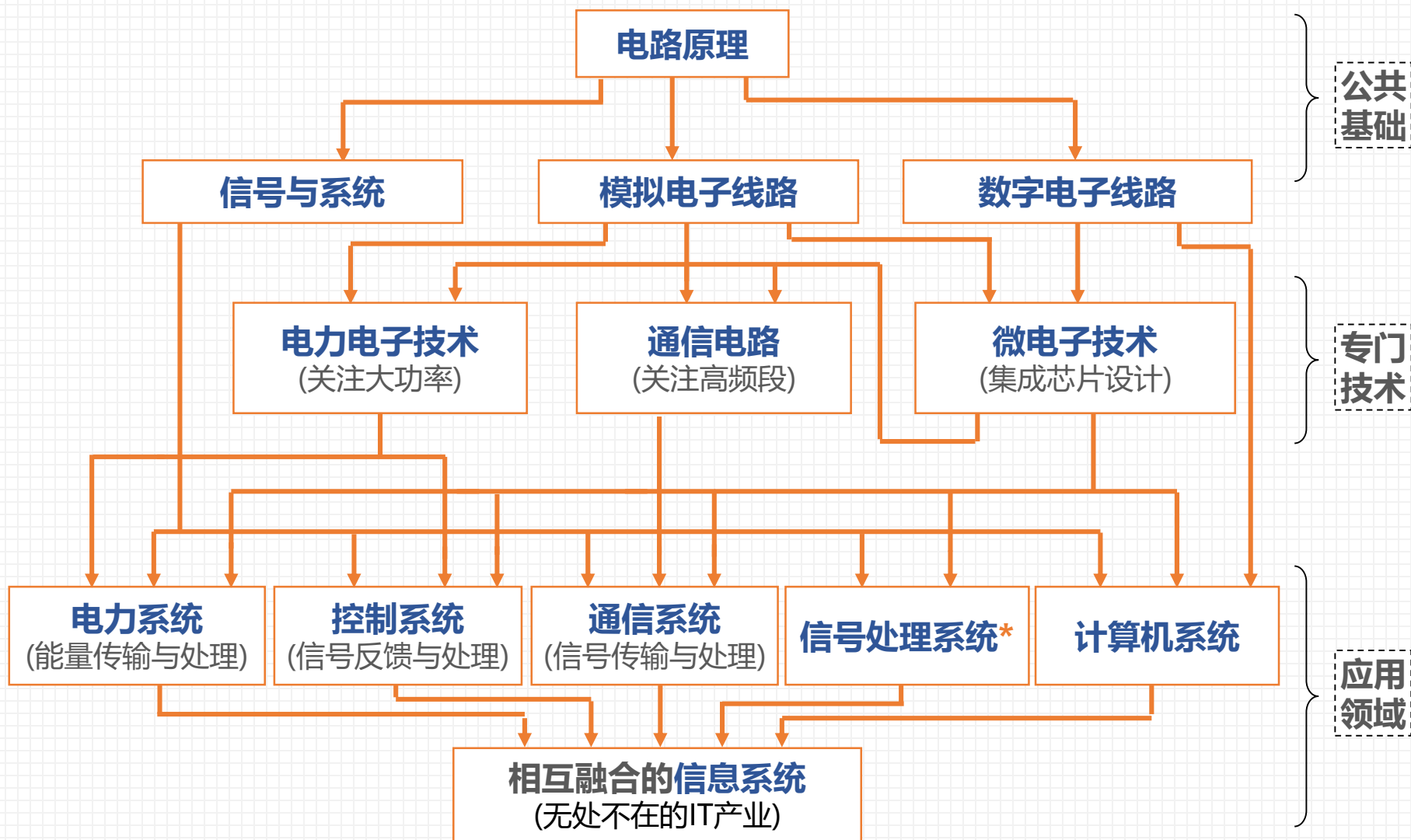
- 从学术的观点来看
 - 电路是Electrical Engineering的基础。
 - 电路是Computer Science的基础。
- 从实际情况来看
 - 电路原理是许多高级课程的先修课程。
 - 熟练掌握电路原理对现实生活有帮助。



什么是EECS?

国内习惯的归类与统称	各学科领域 (一级学科)	国外习惯的归类与统称
电气工程	电气(力)工程	电气工程 EE
信息科学与技术 (或电子信息科学与技术)	控制工程	
	通信工程	
	电子工程	
	生物医学工程	
	计算机科学与技术	计算机科学/工程 CS
	软件工程	

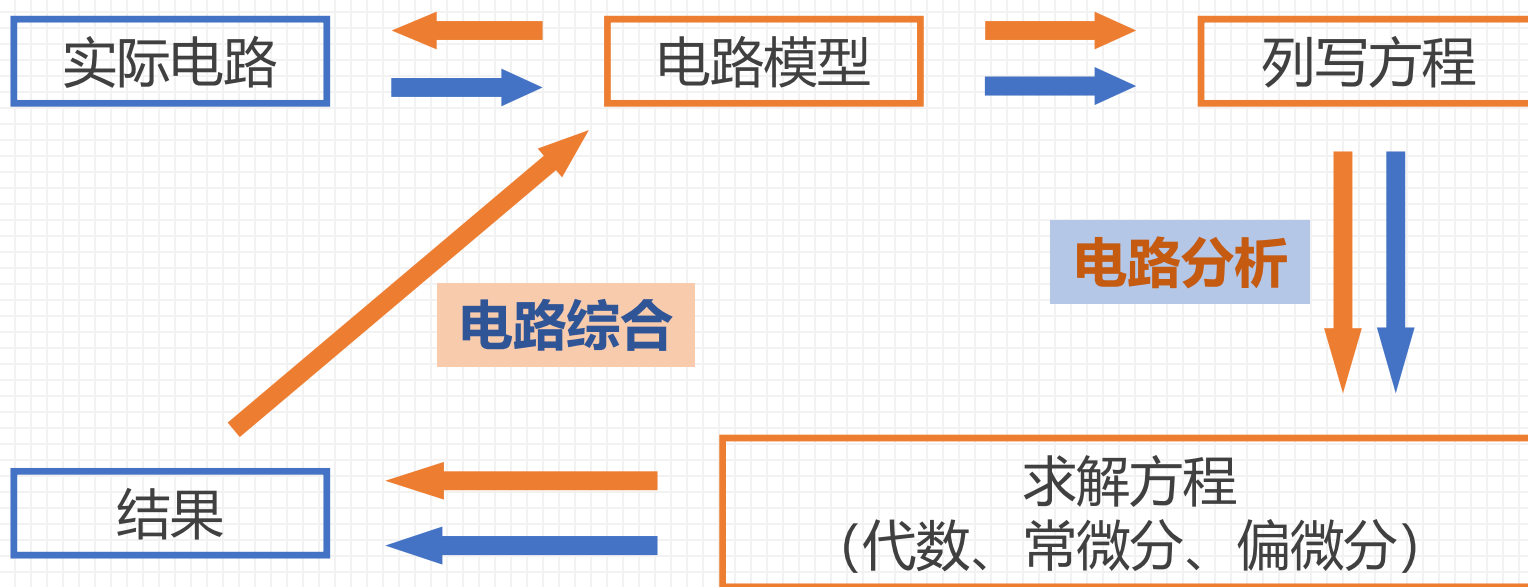
电路原理课程的后续课程



*: 指各类信号处理课程, 包括某些专业的专门课程 (如生物医学工程、核电子学等)



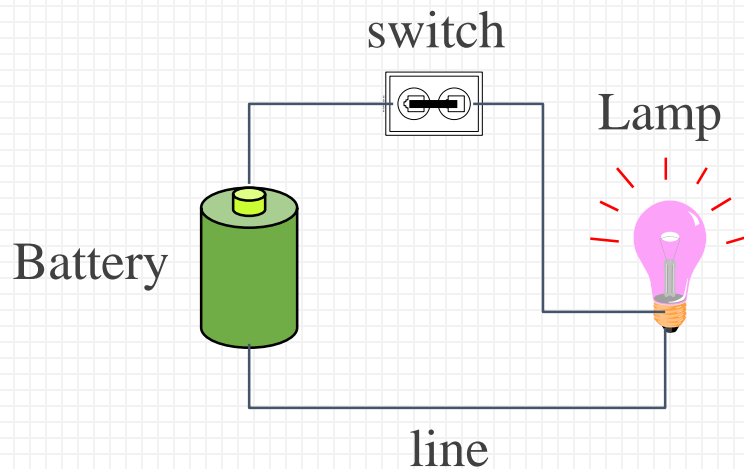
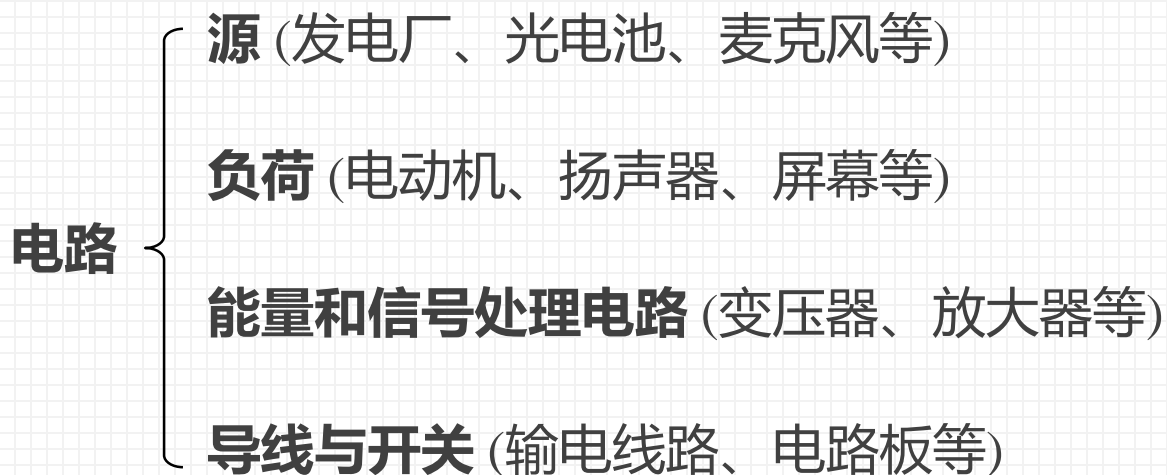
电路理论 (电路原理) { 电路分析(Analysis)
电路综合(Synthesis)



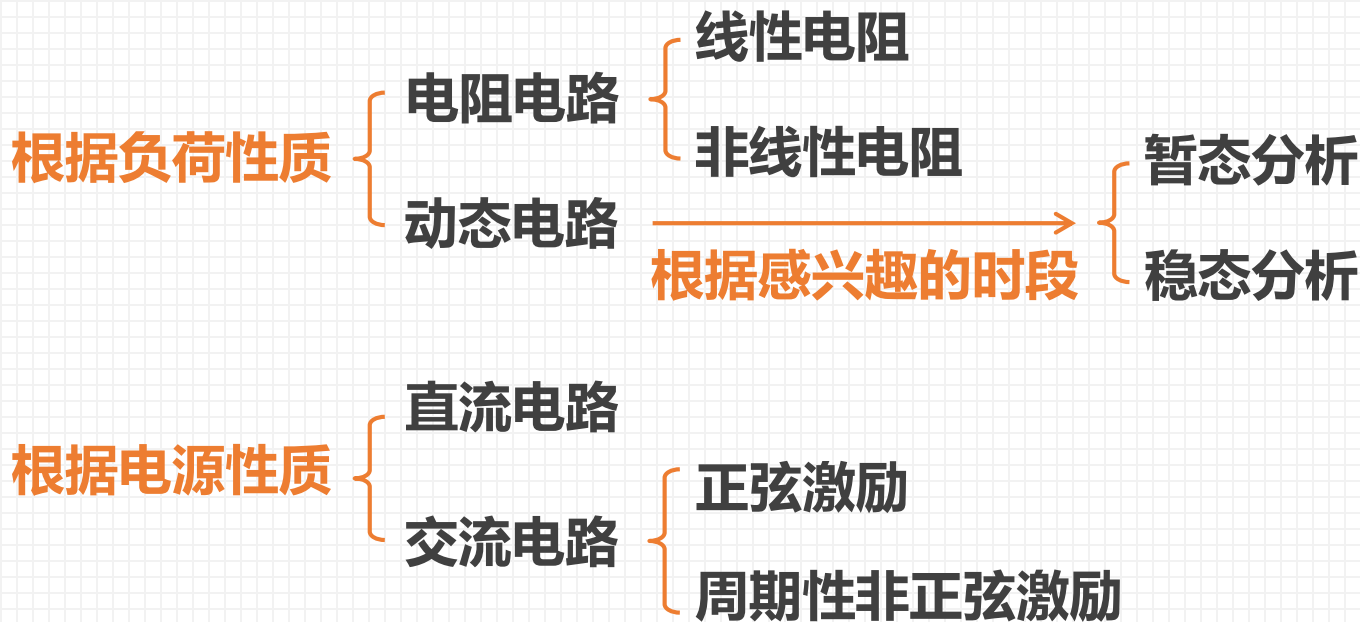
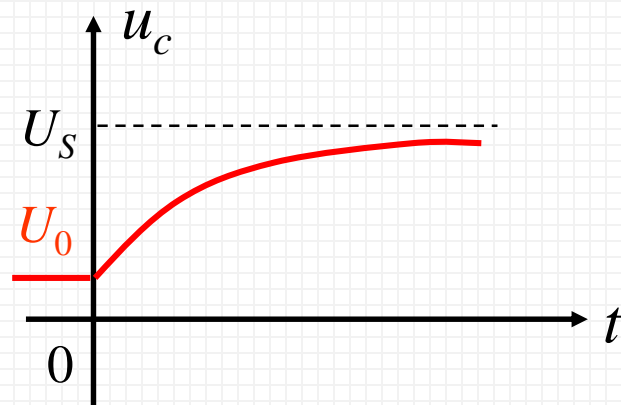
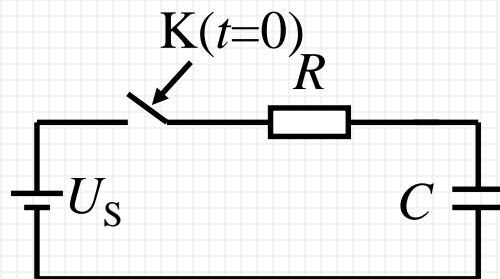
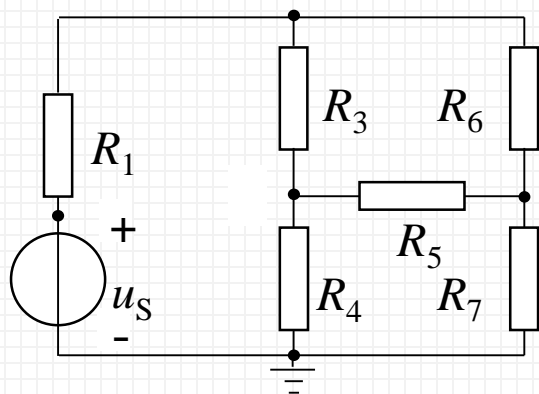
第2部分：电压、电流和功率

- 电路的**组成**
- 电路的**模型**
- 电路的**变量**
 - 电压和电流的**参考方向**  **重点**
- 电路的**功率**

1. 电路的组成




如何看待电路





2. 电路的模型

1) 理想电路元件

实际电路元件  抽象 (接线端上)简单的 $u - i$ 关系

基本理想电路元件(二端):

电阻(resistance): $u - i$ 代数关系

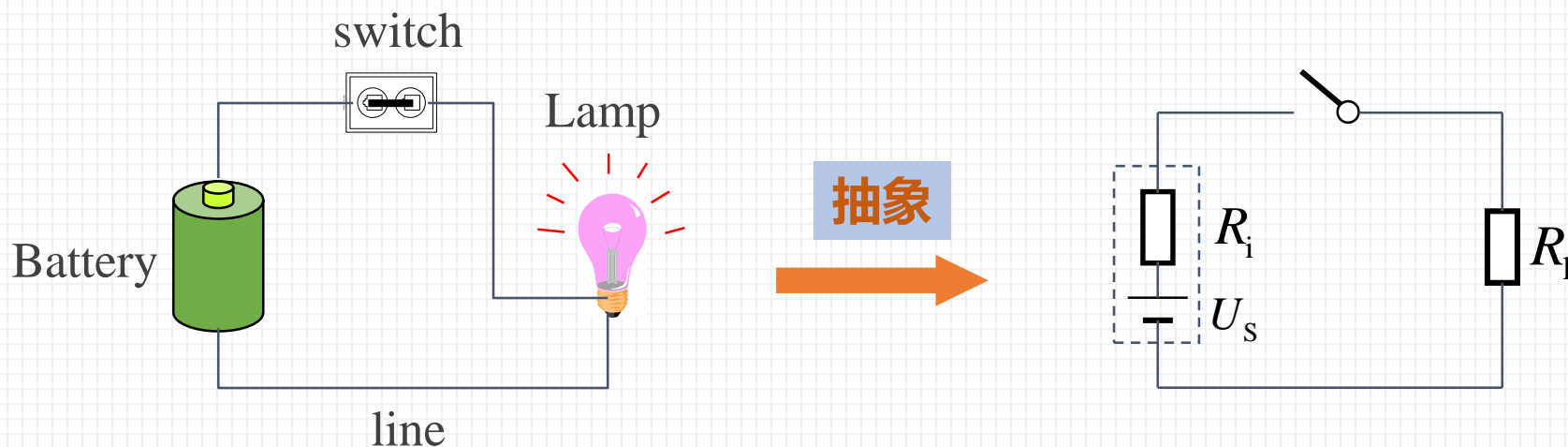
电感(inductance): u 是 i 的微分关系

电容(capacitance): i 是 u 的微分关系

电源(source): $u - i$ 相互独立

2) 电路建模

用由**理想电路元件**构成的电路来表示**实际电路**





3. 电路的变量

电压voltage, 电流current, 电荷charge, 磁通flux

1) 电流 *current*: 正电荷的时间变化率

$$i(t) \stackrel{\text{def}}{=} \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt}$$

单位时间内从A到B
流过某条线的**正电荷量**



Unit: A (**安**) (Ampere: 1775--1836, France)

电流一定是两点间的**一条线**上的

直流电流 Direct Current

理想直流电流 (*I*)

交流电流 Alternating Current

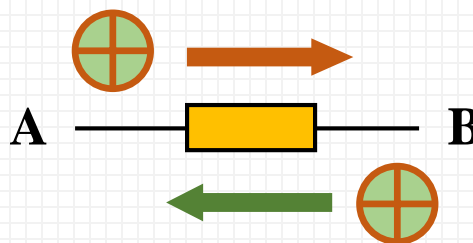
正弦交流电流

2) 电压 *voltage*: 电场力移动单位正电荷做的功

$$u_{AB} = \frac{dw_{AB}}{dq}$$

(某电路元件中) **电场力**

将**单位正电荷**从A移动到B所作的功



经常称为: **电压降**

Unit: V (伏) (Volt: 1745 -- 1827, Italian)

$$u_{BA} = \frac{dw_{BA}}{dq} = \frac{-dw_{AB}}{dq} = -u_{AB}$$

电压一定是**两点间**的



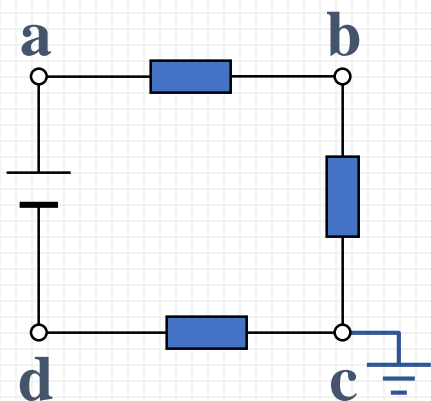
3) 电位 *potential*: 从某点到参考节点的电压



参考点 (reference point) 的电位是零。

Symbol: φ

Unit: V(伏)



设 c 为参考点,

$$\varphi_c = 0$$

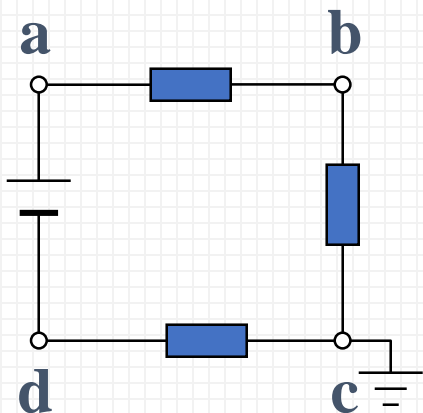
$$\varphi_a = u_{ac}, \quad \varphi_b = u_{bc}, \quad \varphi_d = u_{dc}$$

电位一定是某一点的

已知 (1) 任意两点之间有电压。

(2) 某点的电位是该点到参考点的电压。

两点的**电位**和两点之间的**电压**有什么**关系**？



$$\varphi_c = 0$$

$$u_{ac} = \varphi_a, \quad u_{dc} = \varphi_d$$

$$u_{ac} = u_{ad} + u_{dc}$$

KVL

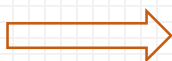


$$u_{ad} = u_{ac} - u_{dc} = \varphi_a - \varphi_d$$

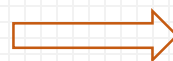


两点间的电压等于两点间的电位差(电位降)

电位降



电压



电压降

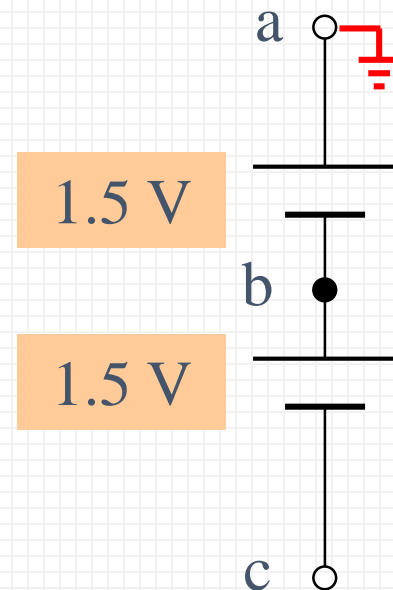


例: $U_{ab}=1.5\text{ V}$, $U_{bc}=1.5\text{ V}$, 求 φ_a , φ_b , φ_c , U_{ac}

(1) **a为参考点**, $\varphi_a=0$

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

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





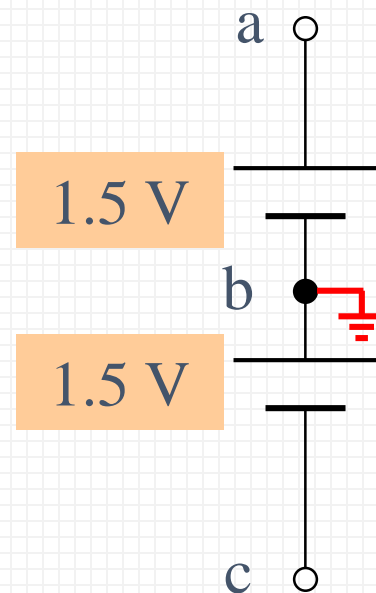
例: $U_{ab}=1.5\text{ V}$, $U_{bc}=1.5\text{ V}$, 求 φ_a , φ_b , φ_c , U_{ac}

(2) **b**为参考点, $\varphi_b=0$

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

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

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



两点间的电压不随参考点的选择而变化。



4) 电动势 *electromotive force*:

$$e_{BA} = \frac{dW_{BA}}{dq}$$

(电源中) **非电场力**

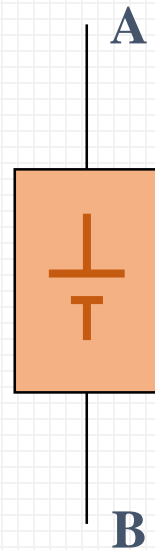
将单位正电荷从B移动到A所作的功

Unit: V (伏)

e_{BA} , 从B到A电位的升高, $e_{BA} = \varphi_A - \varphi_B$

u_{AB} , 从A到B电位的降低, $u_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$

$$\therefore e_{BA} = u_{AB}$$



电动势一定是**两点间的**

变量的大小写

- 不变的量大写

- U, I

- 可能变化的量小写

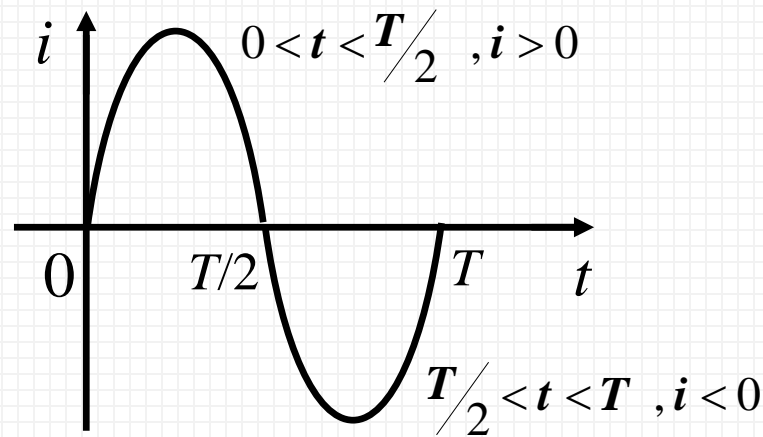
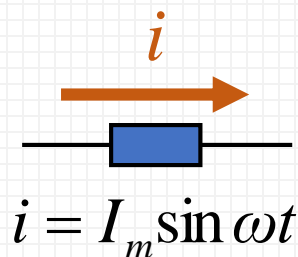
- u, i



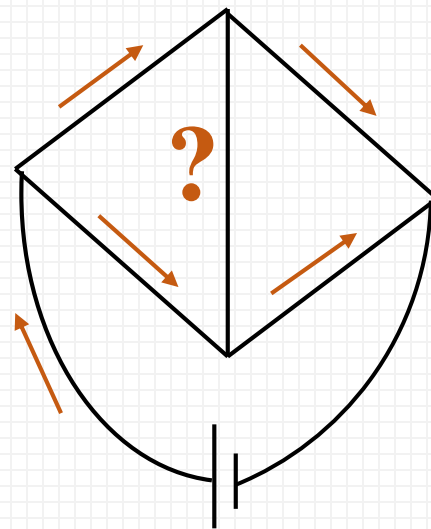
电压和电流的参考方向

(1) 为什么要引入参考方向?

(a) 电压或电流的方向**随时间变化**。



(b) 电压或电流的方向**不确定**。



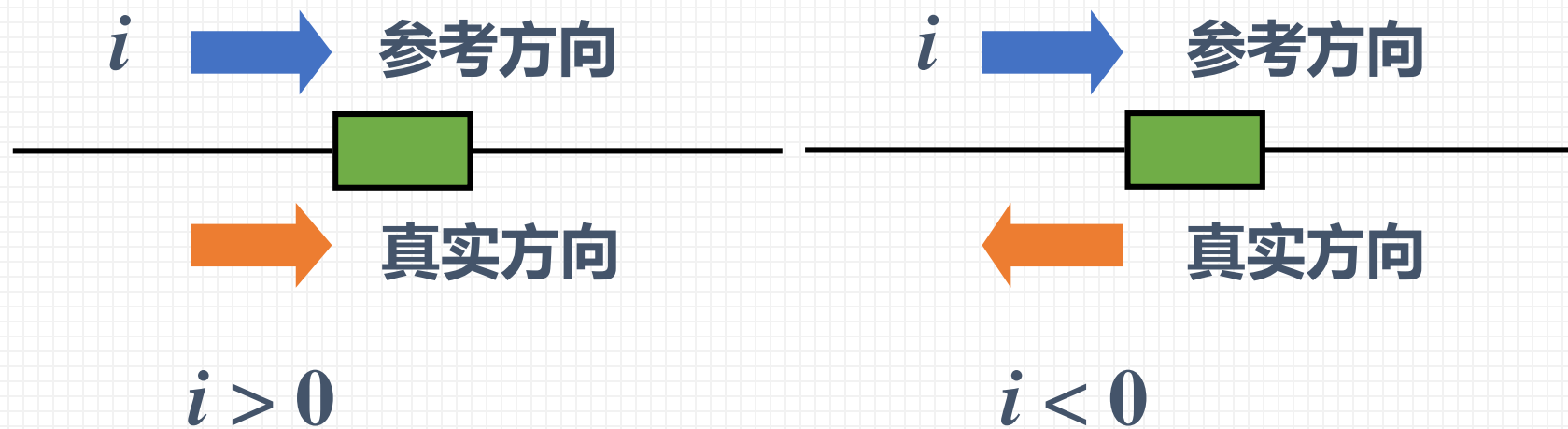
(2) 电流的参考方向

电流的真实方向：



参考方向 (Reference direction)：



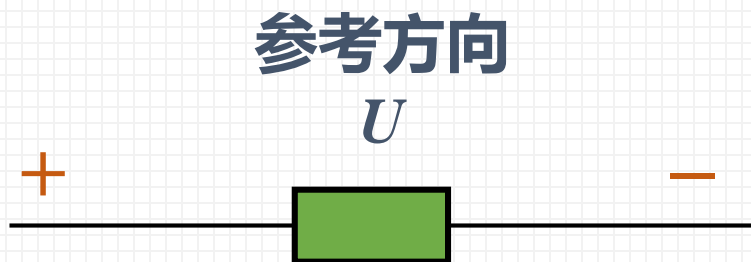
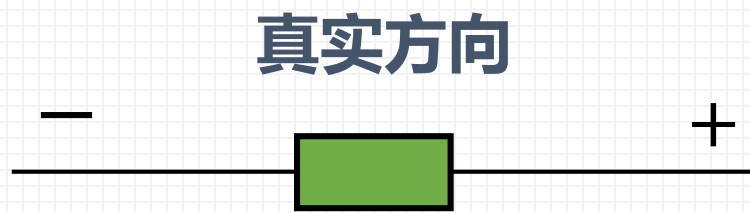
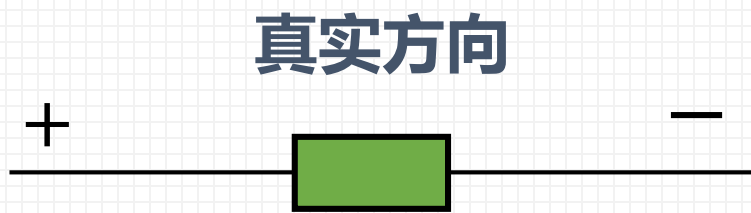


表示电流参考方向的两种方法:

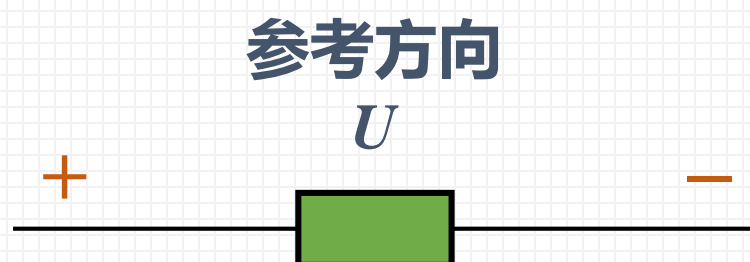
- 箭头
- 双下标 (i_{AB}): 参考方向从 A 指向 B



(3) 电压的参考方向



$$U > 0$$

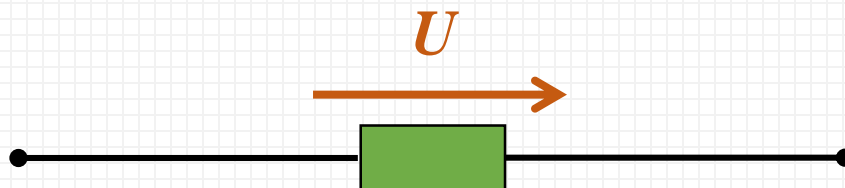


$$U < 0$$

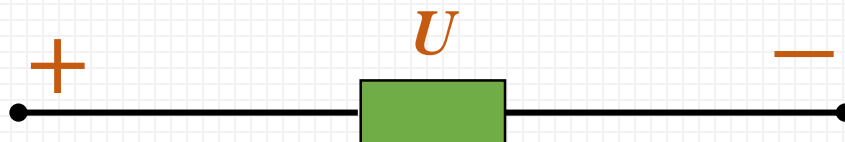


表示电压参考方向的3种方法

(1) 箭头:



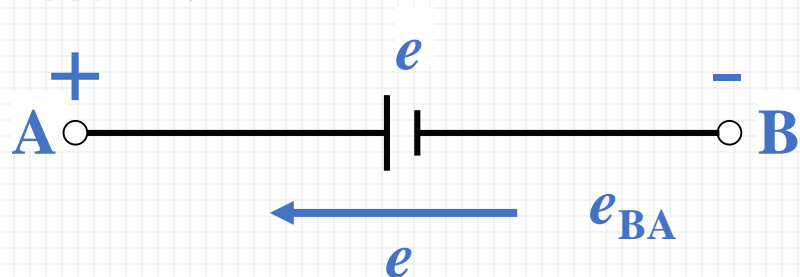
(2) 正负极性:



(3) 双下标:



表示电动势方向的3种方法

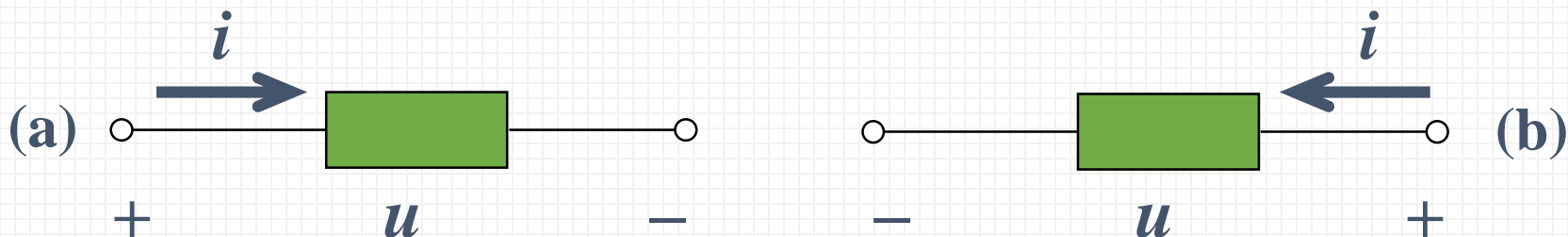


(4) 二端元件上电压参考方向和电流参考方向之间的关系

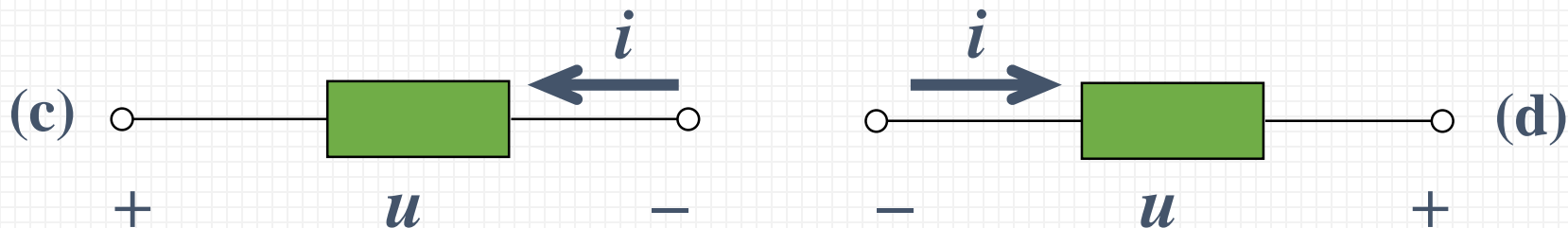
关联参考方向

associated reference directions

$$u = Ri$$



关联/非关联参考方向如何记忆?



非关联参考方向

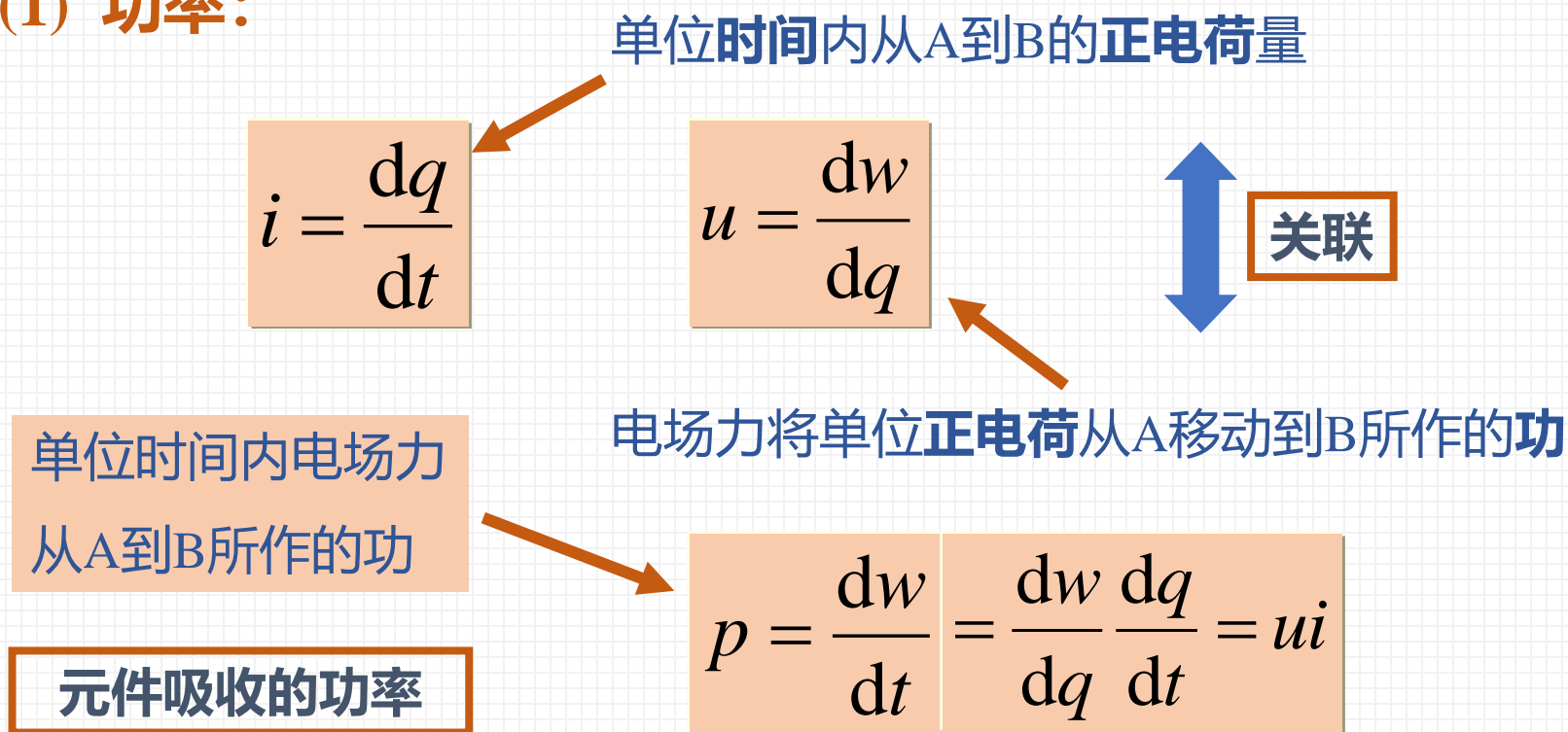
non-associated reference directions

$$u = -Ri$$



4. 电路的功率 (Power)

(1) 功率:

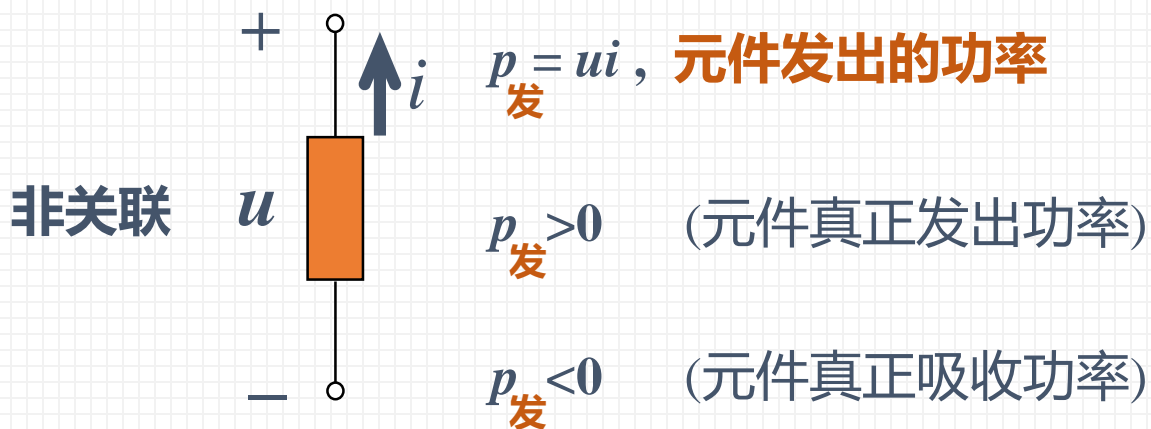
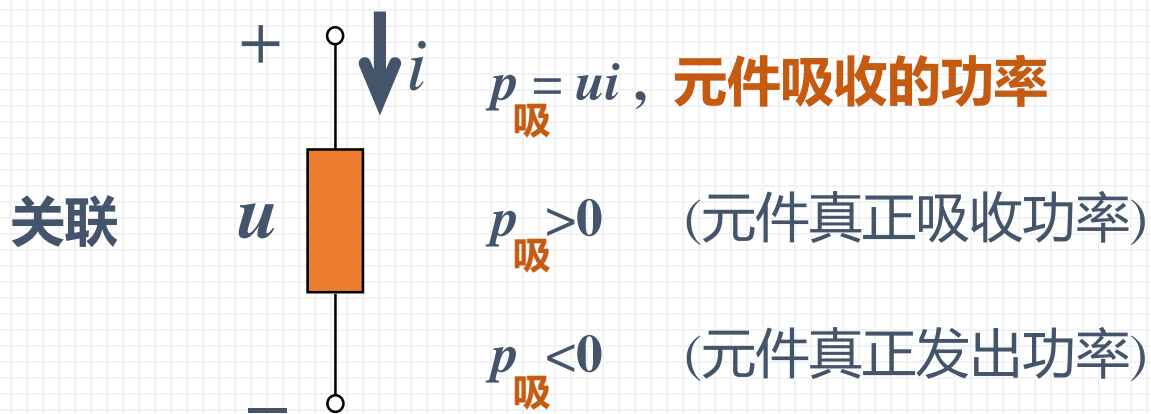


Power Unit: W (瓦) (Watt, 瓦特, British)

Energy Unit: J (焦) (Joule, 焦耳, British)



(2) 功率的计算



记忆方法1

永远 $p=ui$,

吸 \leftrightarrow 关联

发 \leftrightarrow 非关联

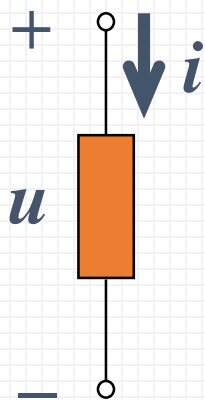


记忆方法2

永远用关联计算

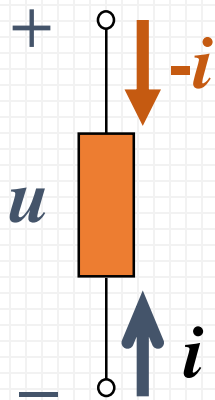
$$p_{\text{吸}} = ui$$

关联



$$p_{\text{吸}} = ui, \text{ 元件吸收的功率}$$

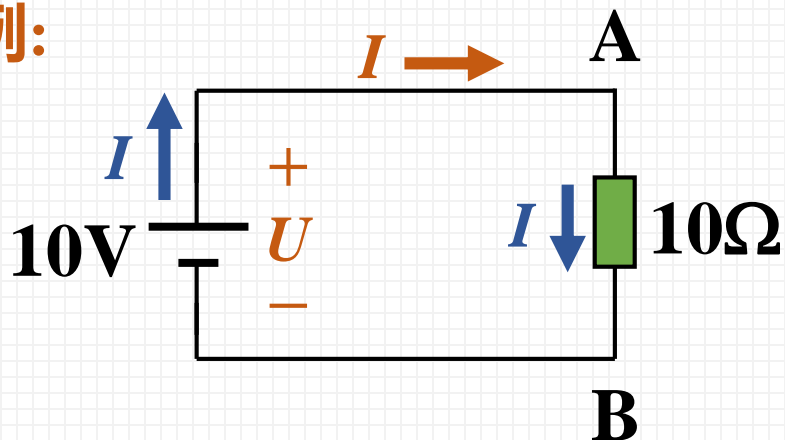
非关联



$$p_{\text{吸}} = u(-i) = -ui, \text{ 元件吸收的功率}$$

$$p_{\text{发}} = ui, \text{ 元件发出的功率}$$

例:



$$U = 10\text{V}, I = 1\text{A}$$

法1

解: $P_{R\text{吸}} = U \times I = 10 \times 1 = 10\text{W}$

电阻吸收功率: 10W

$$P_{U\text{发}} = U \times I = 10 \times 1 = 10\text{W}$$

电源发出功率: 10W

法2

$$P_{R\text{吸}} = U \times I = 10 \times 1 = 10\text{W}$$

电阻吸收功率: 10W

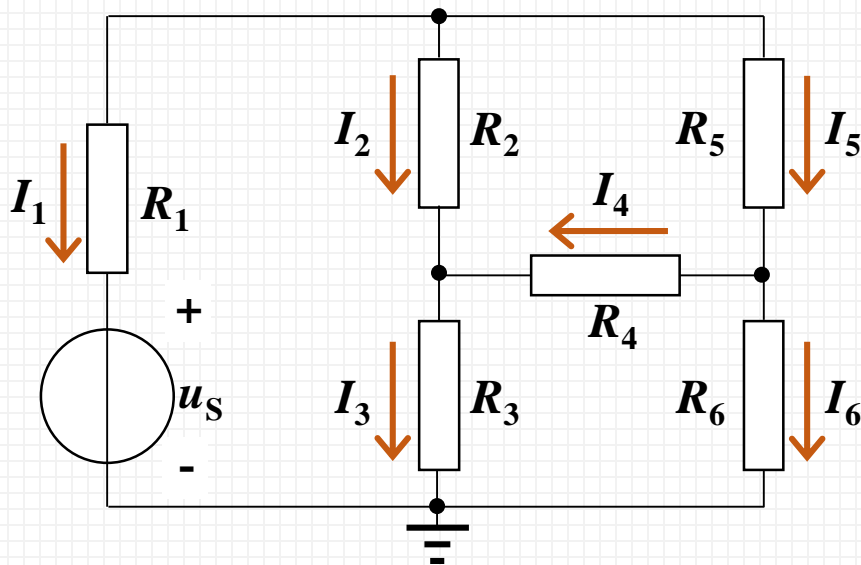
$$P_{U\text{吸}} = U \times (-I) = -10 \times 1 = -10\text{W}$$

电源发出功率: 10W



问题:

所有支路电压与电流采用**关联**参考方向。求电流 $I_1 \sim I_6$ 。



用仿真软件
怎么求解?
(S1)

KCL+KVL+元件约束

规范地列写方程(L2)

等效变换(L3)

节点法、回路法(L4)