

电子电路与系统基础(1)---线性电路---2020秋平

第1讲：电路定律

这是**B**班“线性电路”课堂，已获得**A**班“动态电路”课堂学分的学生，不得选修本课堂，否则学分不予承认

李国林

平行班不提供当学期配套实验课，没有选修过电电实验课的同学，请在下学期选修正班配套电电实验课

清华大学电子工程系

联系方式

- 李国林
 - EMAIL: guolinli@tsinghua.edu.cn
 - 校内
 - TEL(O): 62781842
 - 罗姆楼4105房间

- 答疑
 - 推荐EMAIL答疑
 - 推荐助教视频答疑，提前数天把问题发给助教，助教整理后集体答疑
 - 可以向老师请求瞩目视频答疑

- 助教联系方式
 - 黄子莹 19800330117 huang-zy19@mails.tsinghua.edu.cn
 - 东主楼小二楼北

小班平行班说明

- 本课堂为“线性电路+非线性电路”模式B授课方式
 - 与张沕琳老师课堂教学内容类同
- 与“电阻电路+动态电路”模式A授课方式的区别

授课方式	模式A	模式B
正常班	大一下春：电阻电路 大二上秋：动态电路	大一下春：线性电路 大二上秋：非线性电路
平行班	秋季：电阻电路 春季：动态电路	秋季：线性电路 春季：非线性电路
内容量	全覆盖讲解，力求完备 力求知识体系的完备性 全面解剖，一网打尽 以后用到时再翻书	用什么讲什么，不求完备 力求从最简单的角度切入 直插心脏，一招制敌 用到再学：终身学习能力
习题课	每周三晚上	无
外学时比	超4:1	目标：~2:1
答疑	助教集体答疑，EMAIL答疑，可预约视频答疑 周四下午2:00-4:30，罗姆楼4105固定时间答疑	

B班课程内容安排

第一学期：线性	序号	第二学期：非线性
电路定律*	1	器件基础*
电阻电源*	2	二极管*
电容电感^	3	MOSFET*
信号分析*	4	BJT*
分压分流^	5	反相电路*
正弦稳态^	6	数字门*^
时频特性^	7	放大器*
期中复习	8	期中复习
RLC二阶^	9	负反馈*
二阶时频^	10	差分放大*
受控源*	11	频率特性^
网络参量*^	12	正反馈*^
典型网络*^	13	振荡器^
作业选讲	14	作业选讲
期末复习	15	期末复习

*电阻
^动态

理想
元件

真实
器件

考评

期中成绩低于期末成绩

期中成绩高于期末成绩

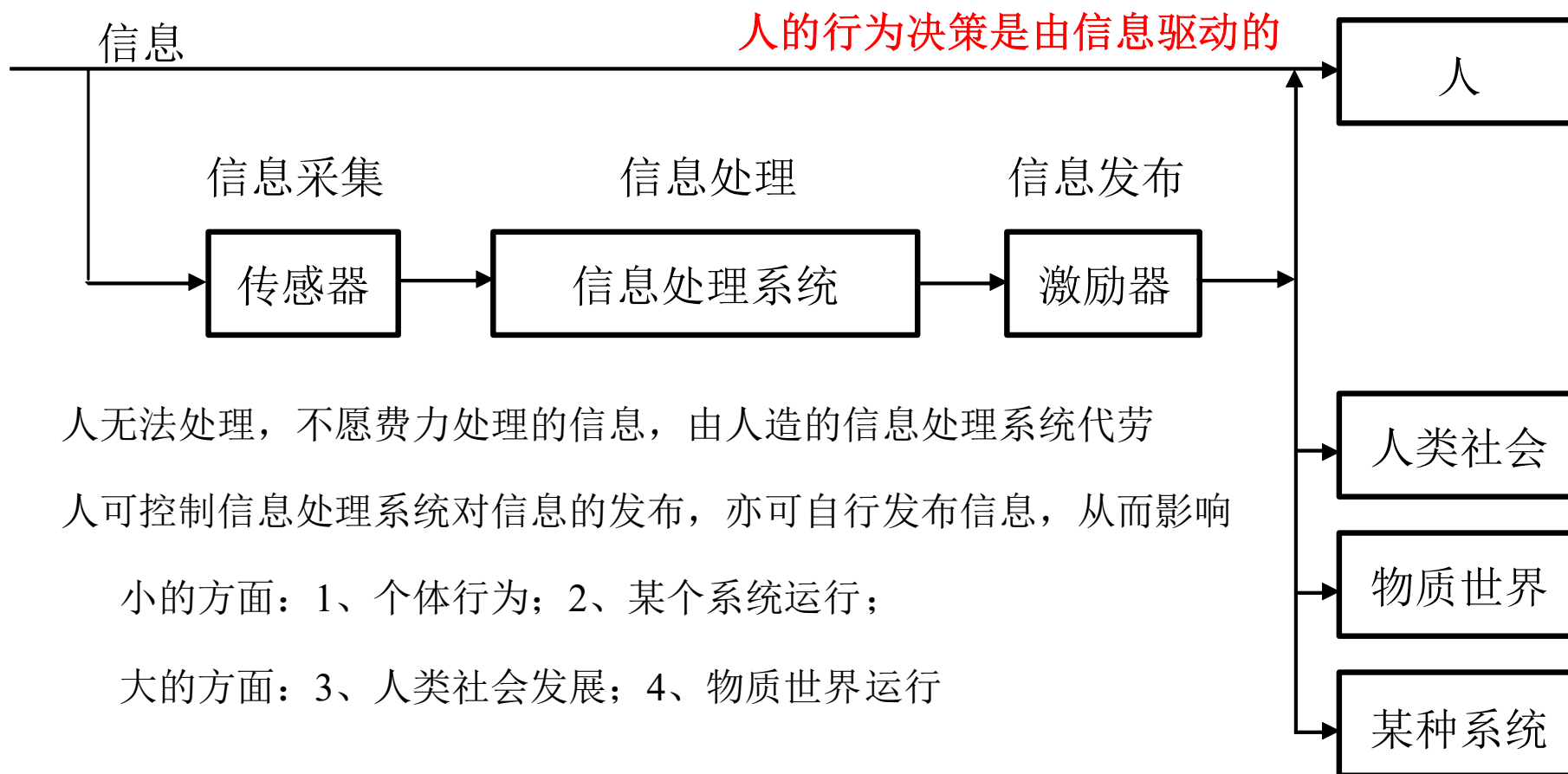
本学期大概率没有期中考试

- | | 期中成绩高于期末成绩 | 期中成绩低于期末成绩 | 本学期大概率没有期中考试 |
|---------|------------|------------|--------------|
| ■ 期末考试 | 45分 | 70分 | 80 |
| ■ 期中考试 | 35分 | 10分 | |
| ■ 作业 | 10分 | 10分 | 10 |
| ■ CAD作业 | 10分 | 10分 | 10 |
- 课堂回答问题 额外最多5分，也许没有
 - 教材纠错 不定额外分
 - 格式、表述、定义、论证、结构、...
 - 任何你认为有问题的地方，我确认后均计入评分
 - 关于作业
 - 当周布置的作业，在1周内提交
 - 助教批改，同学有问题直接向助教汇总，助教集体视频答疑
 - 助教解决不了的，可拉我入讨论群一并讨论
 - 作业不要抄袭：独立思考，多方讨论（自己理解的应努力让同组同学理解），随时答疑（Email）

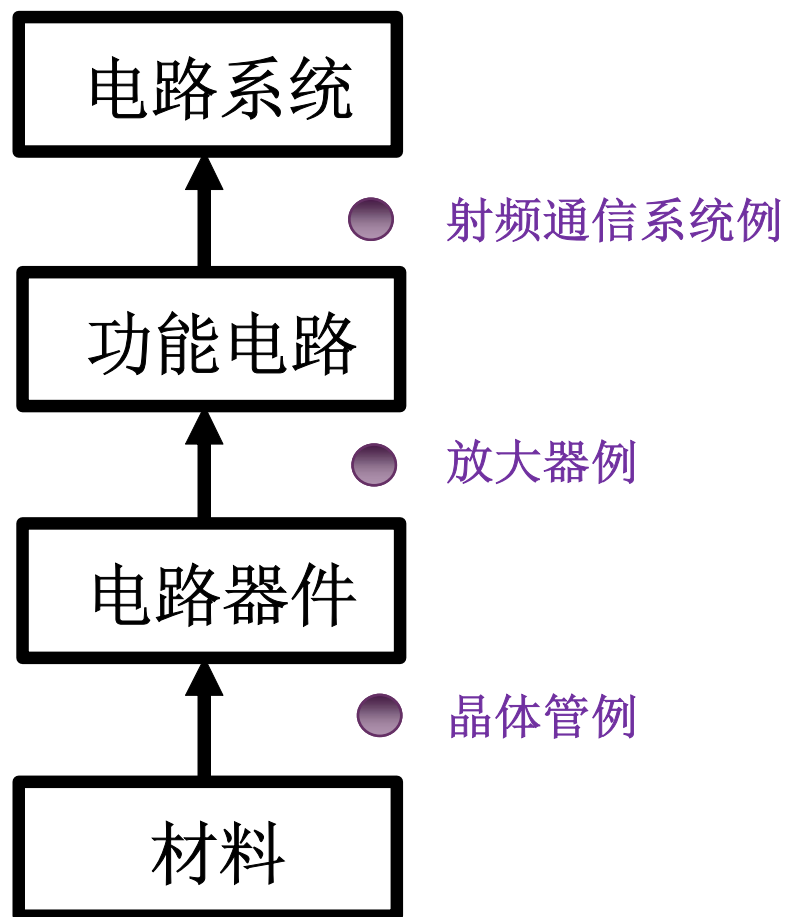
绪论 内容

- 电路系统构成
 - 电路系统由功能单元电路的连接构成
 - 功能单元电路由电路器件的连接构成
- 描述电路功能的基本电量：电压和电流
 - 电流
 - 基尔霍夫电流定律
 - 电动势
 - 电压
 - 基尔霍夫电压定律
 - 功率
 - 欧姆定律
- 数的基本设定
 - 电量单位
 - 科学计数，工程计数，词头
 - dB数

一、信息系统构成

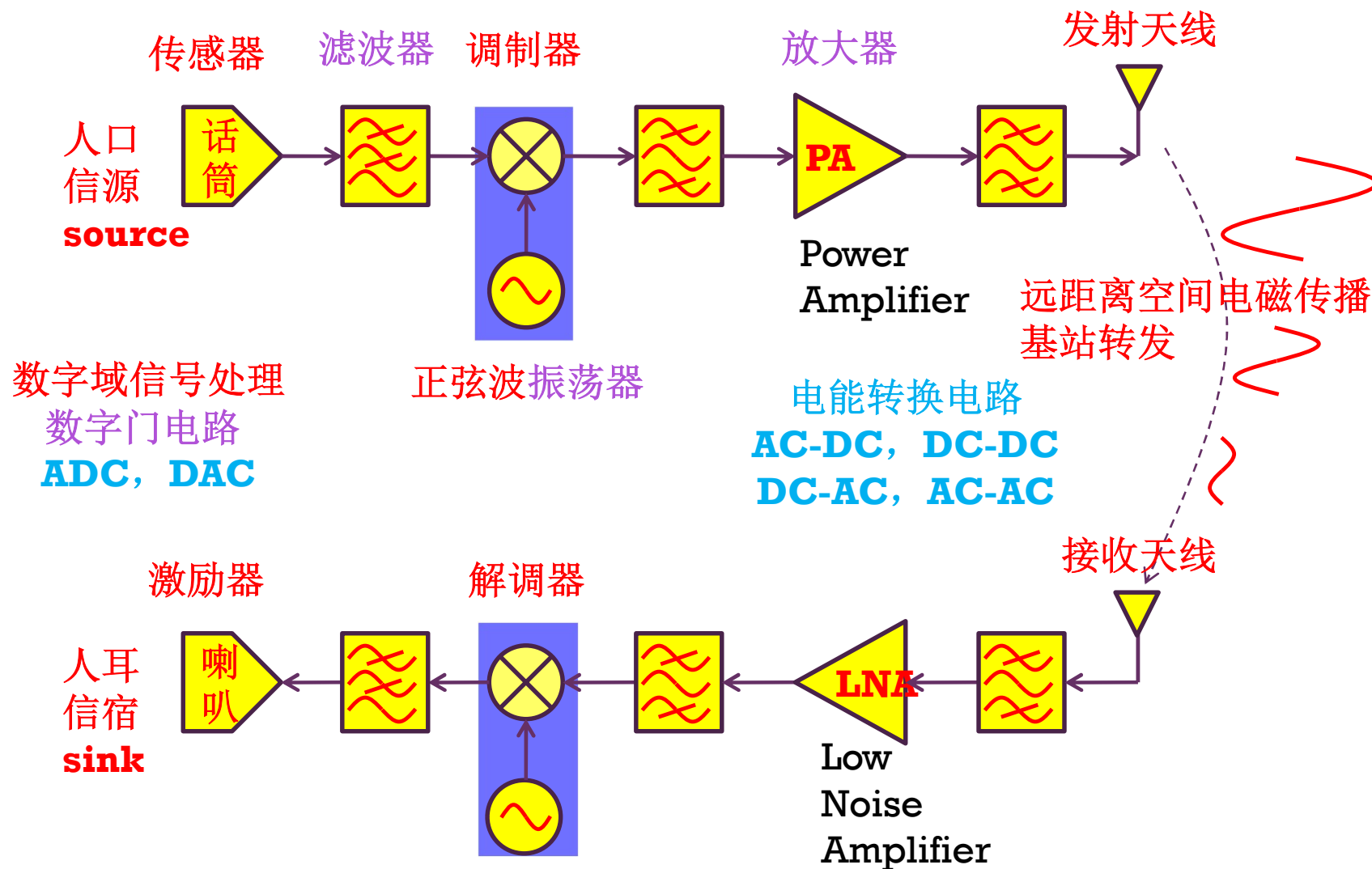


大系统都是分层构造的



射频通信系统例

电路系统由功能电路的连接形成



功能单元电路

- 放大器
- 振荡器
- 滤波器

信息处理单元

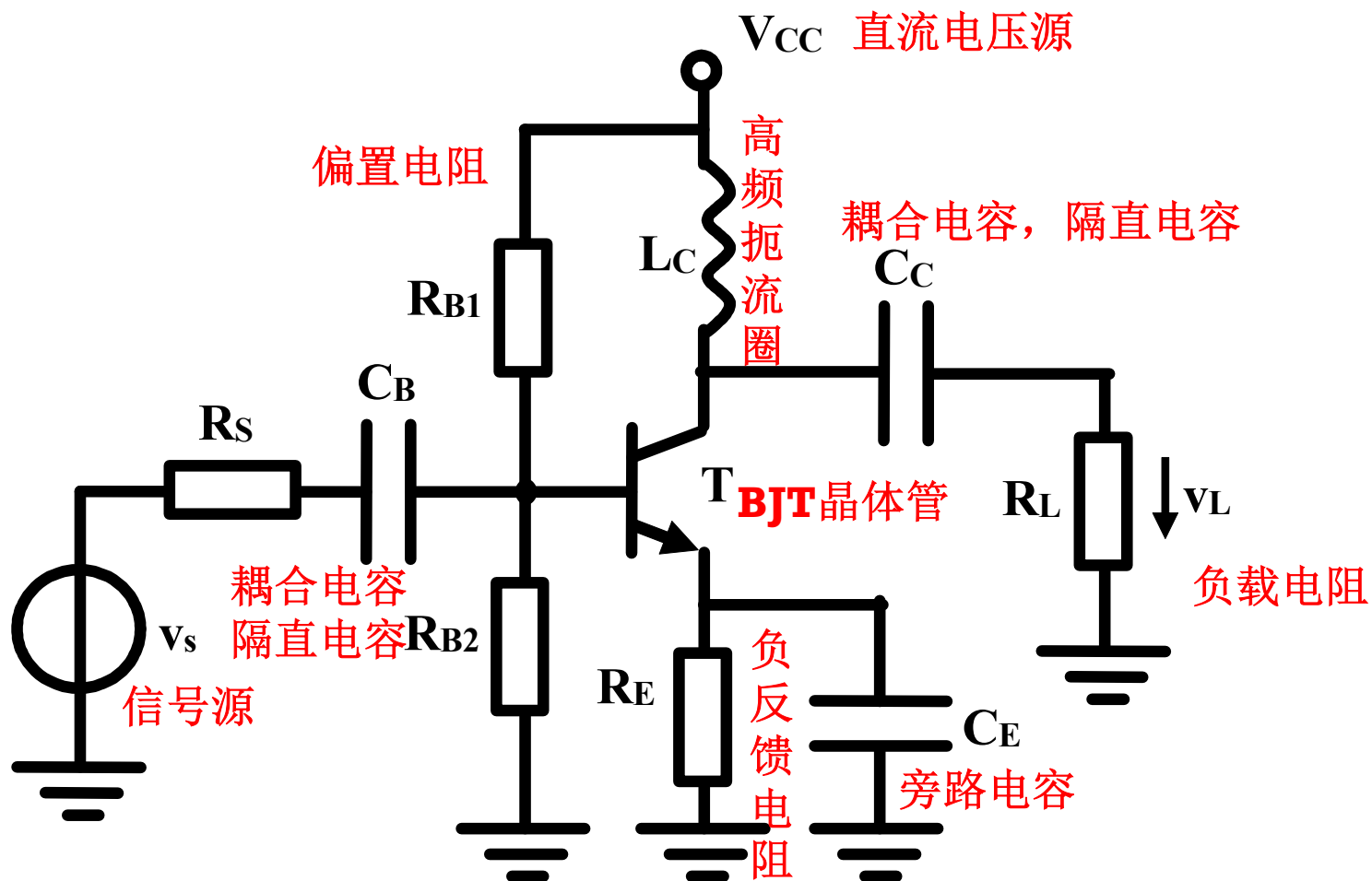
- 模数转换器和数模转换器
 - 本课程只有基本概念和最简单模型电路
- 存储器
 - B班只有基本概念和基本模型
- 数字信号处理器
 - 本课程仅讨论基本数字门电路

电能转换单元

- 整流器
 - AC-DC
- 稳压器
 - DC-DC
- 逆变器
 - DC-AC
- 变压器
 - AC-AC

放大器例

功能单元电路由电路器件的连接形成



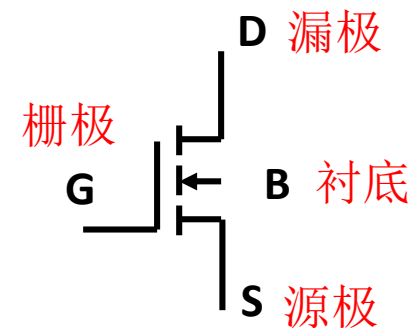
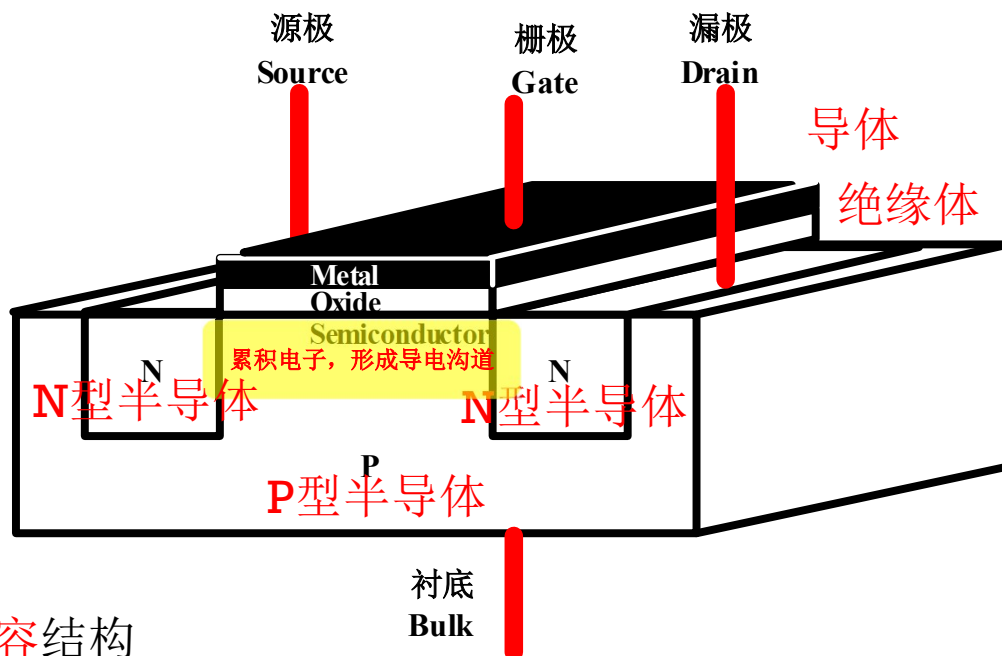
基本电路器件

- 电源
 - 提供电能
 - 提供电激励（电信号）
- 电阻器
 - 晶体管：Transistor, Transfer Resistor, 受控非线性电阻，具有将直流电能转换为交流电能的能力
 - 可实现**放大/振荡**，以及**数字门**电阻
 - 线性电阻
 - 偏置电阻，反馈电阻、信源内阻，负载电阻
- 电容器
 - 隔直通交，**滤波**
- 电感器
 - **滤波**：通直阻交

MOSFET例

电路器件是导体、绝缘体、半导体的某种结构

Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor

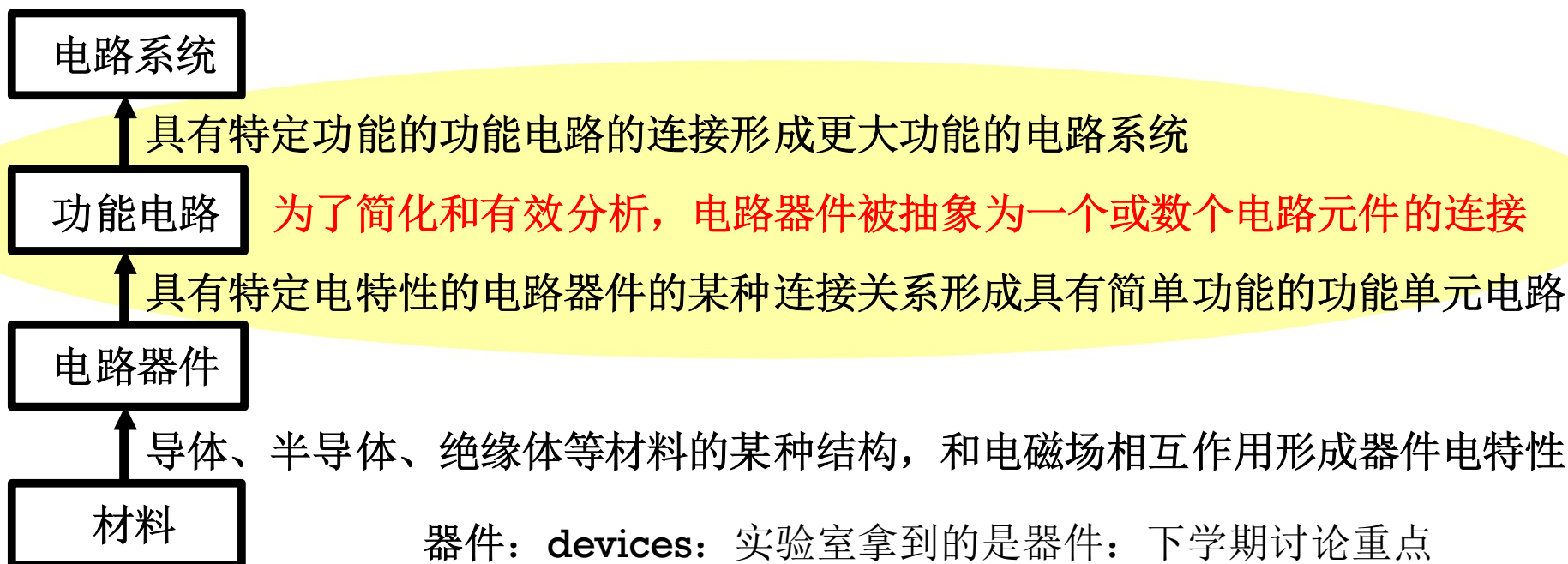


MOS: 电容结构

沟道: 受MOS电容控制的电阻

为什么具有将直流电能转换为交流电能的能力?

课程重点内容



器件： **devices**： 实验室拿到的是器件： 下学期讨论重点

基本电路元件elements： 理论分析用的是元件： 本学期讨论重点

电源： 电压源， 电流源

受控源（可由晶体管和直流电源共同等效）

电阻

电容

电感

二、基本电量的定义

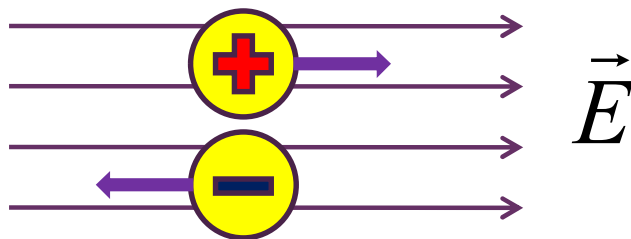
- 本课程重点是解决如何分析单元电路的功能：为何电路器件如此连接就可以形成如此功能的单元电路？
 - 电路功能的描述是通过单元电路和电路器件的端口电压电流关系给出的
 - 必须知道电压、电流的定义

- 基本电量
 - 电流
 - 电动势
 - 电压
 - 功率

顺带说明电路基本定律（基尔霍夫定律+欧姆定律）

2.1 电流Current

- 电子或离子运动形成电流，如果希望形成确定方向上的电流，则需要施加电动势
 - 所谓电动势EMF, electromotive force, 就是能让带电粒子运动的‘势力’
 - **能够提供让带电粒子运动起来的电场力**。或者说，电动势应能提供一个电场，电场力作用下带电粒子沿电场方向定向移动，形成定向电流

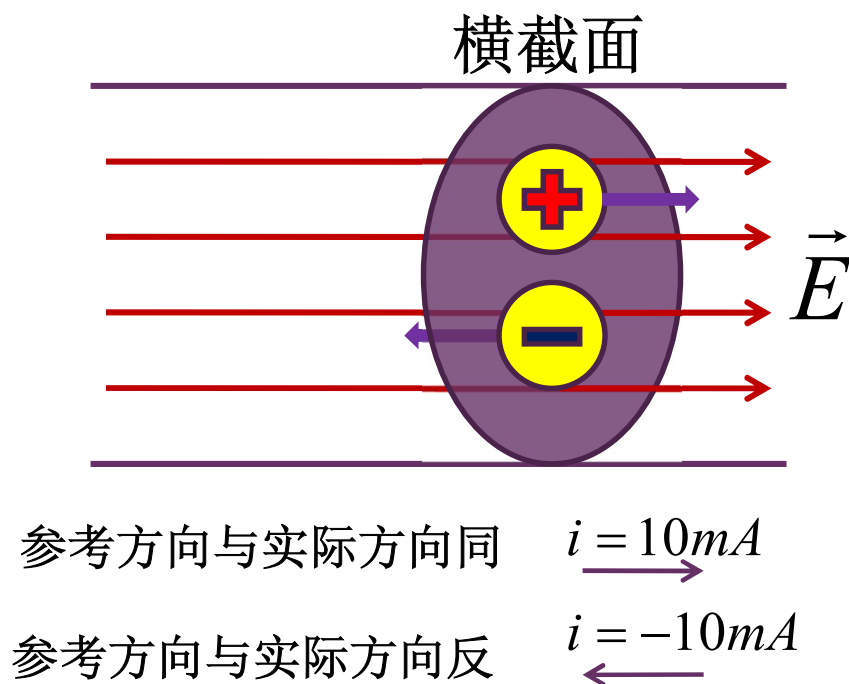


电流大小与方向

$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

$$1A = 1C/s$$

- 通过某个截面的电流*I*等于单位时间 Δt 内流过这个截面的电荷量 Δq 的大小



- 电流真实方向为正电荷移动方向
- 可人为定义电流方向，这个方向称为参考方向
- 如果参考方向和实际电流方向相同，电流值则为正值
- 如果参考方向和实际电流方向相反，电流值则为负值

直流与交流

- 如果电流方向始终朝一个方向，且电流值恒定，则称之为直流电流 DC Current
 - DC: Direct Current
- 如果电流大小和方向随时间有变化，且电流平均值为零，则称之为交流电流 AC Current
 - AC: Alternating Current
- 真实电流信号可分解为直流分量与交流分量之和

$$i(t) = I_{DC} + i_{ac}(t)$$

$$I_{DC} = \overline{i(t)} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{+\frac{T}{2}} i(t) dt$$

周期信号 T 取周期
非周期信号 T 取无穷大

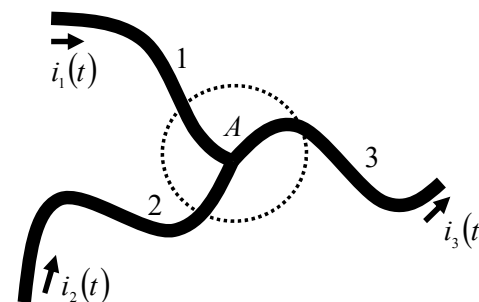
$$i_{ac}(t) = i(t) - \overline{i(t)}$$

$$\overline{i_{ac}(t)} = \overline{i(t) - \overline{i(t)}} = \overline{i(t)} - \overline{\overline{i(t)}} = 0$$

电荷守恒

$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad i(t) = \frac{dq(t)}{dt}$$

例1: 如图所示，三根导线在A点连接，从两根导线流入的电流分别为 $i_1(t)$ 和 $i_2(t)$ ，那么从第三根导线流出的电流 $i_3(t)$ 为多少？



解: 在极小的时间间隔 dt 内，从两根导线流入A点的总电荷为

$$dq_1(t) + dq_2(t) = i_1(t)dt + i_2(t)dt$$

假设A点不存在电荷累积效应（电容效应），由电荷守恒定律可知，流入A点多少电荷，必从A点流出多少电荷，故而从第三根导线流出的电荷为

$$dq_3(t) = dq_1(t) + dq_2(t) = i_1(t)dt + i_2(t)dt = i_3(t)dt$$

即

$$i_3(t) = i_1(t) + i_2(t)$$

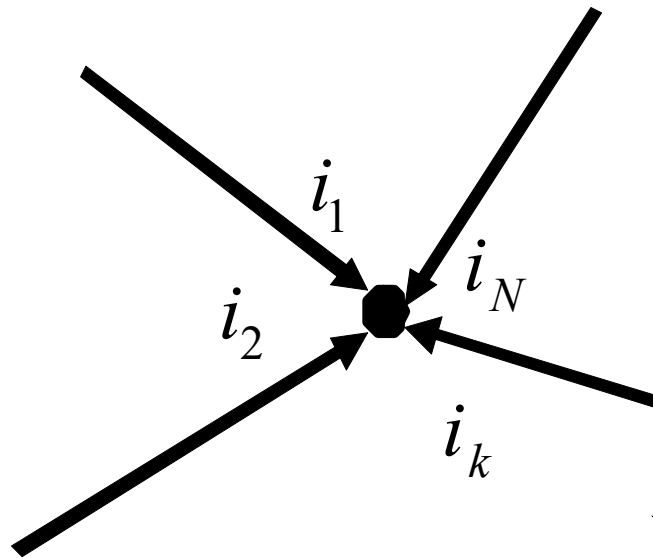
流入结点的总电流等于流出结点的总电流

如果有电荷积累效应，必存在电容支路（不是传导电流，而是位移电流），此结论仍然成立：基尔霍夫电流定律

基尔霍夫电流定律

- Kirchhoff's Current Law: KCL
 - 和某结点相连的所有支路上的电流之和为零

支路可以是电阻、电容、电感、电源、...支路



$$\sum_{k=1}^N i_k = 0$$

意味着电荷守恒

箭头方向为参考方向，如果实际电流方向和参考方向同，则电流值为正，如果实际电流方向和参考方向反，则电流值为负

2.2 电动势

$$1V = 1J/C$$

- 移动单位电荷需要的能量大小，定义为电动势
 - 电动势代表的是让单位电荷运动起来的电能量大小
 - 这个能量可由化学反应产生，如电池
 - 也可由发电机将机械能转换而来
 - 或者以其他方式将某种形式的能量转换获得

$$\mathcal{E} = \frac{\Delta E}{\Delta q}$$

- 电动势单位为伏特
 - 1伏特的电动势意味着产生电动势的电源移动1库仑电荷所提供的1焦耳能量

电源electric source

- 可产生电动势的电路器件被称为电源
- 凡是可将某种形式的能量转换为电能的设备或器件，均可建模为电源元件
 - 如果我们仅仅利用的是电源提供的电能量，则称之为power supply，中文翻译仍然是电源
 - 如果我们还利用其中电的变化所表征的信息，这种电源被称为signal generator，signal source，中文译文为信号源
- 可产生直流电流的电源称为直流电源，可产生交流电流的电源称为交流电源
 - 信号源都是交流电源；为电路供能的多为直流电源
- 电源的电动势就是电源的开路电压

2.3 电压Voltage

■ 电压

- 电荷量为 q 的电荷在电场中受到电场力的作用而从A点移到B点时，电场对电荷做功为 W_{AB}

- A点到B点的电压为电场对单位电荷移动所作的功的大小

$$V_{AB} = \frac{W_{AB}}{q}$$

- 电压单位：伏特：V

- 电场提供1焦耳的电能将1库仑的电荷从A点移到B点，A点到B点的电压则为1伏特

- 电压方向为电场移动正电荷运动的方向，也就是电场方向
- 可人为设定电压方向，称为电压的参考方向
- 如果参考方向和电压实际方向相同，电压记正值
- 如果参考方向和电压实际方向相反，电压记负值



$10\mu V$

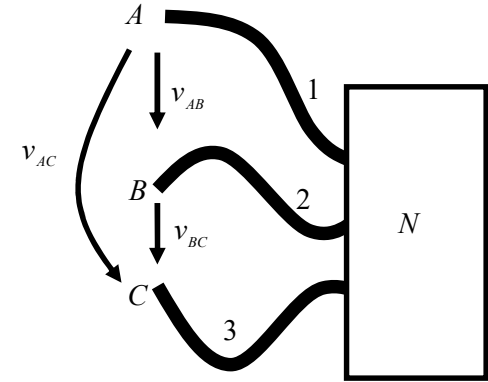
参考方向与
实际方向同

$-10\mu V$

参考方向与
实际方向反

能量守恒

- 例2: 如图E2.1.3所示, 三根导线连入电路N。三根导线在外部的端点分别记为A点、B点和C点。我们测量获得端点A到端点B的电压为 $v_{AB}=1V$, 同时测得端点B到端点C的电压为 $v_{BC}=2V$, 请问此时端点A到端点C的电压 v_{AC} 为多少伏?



解: 我们虚拟假设有一个电荷 q , 在电压 v_{AC} (对应电场) 的作用下, 自A点移动到C点, 显然提供电场的电路N对该电荷做功为 $W_{AC}=q \cdot v_{AC}$ 。假设同样的电荷 q , 首先从A点移动到B点, 电路为此做功 $W_{AB}=q \cdot v_{AB}$, 再从B点移动到C点, 电路又做功 $W_{BC}=q \cdot v_{BC}$ 。这两个过程, 同样的电荷 q 都是从A点移动到C点, 电路为此做功必然一致,

$$q \cdot v_{AC} = q \cdot v_{AB} + q \cdot v_{BC}$$

$$q \cdot v_{AC} - q \cdot v_{BC} - q \cdot v_{AB} \neq 0$$

否则能量将不守恒。于是有

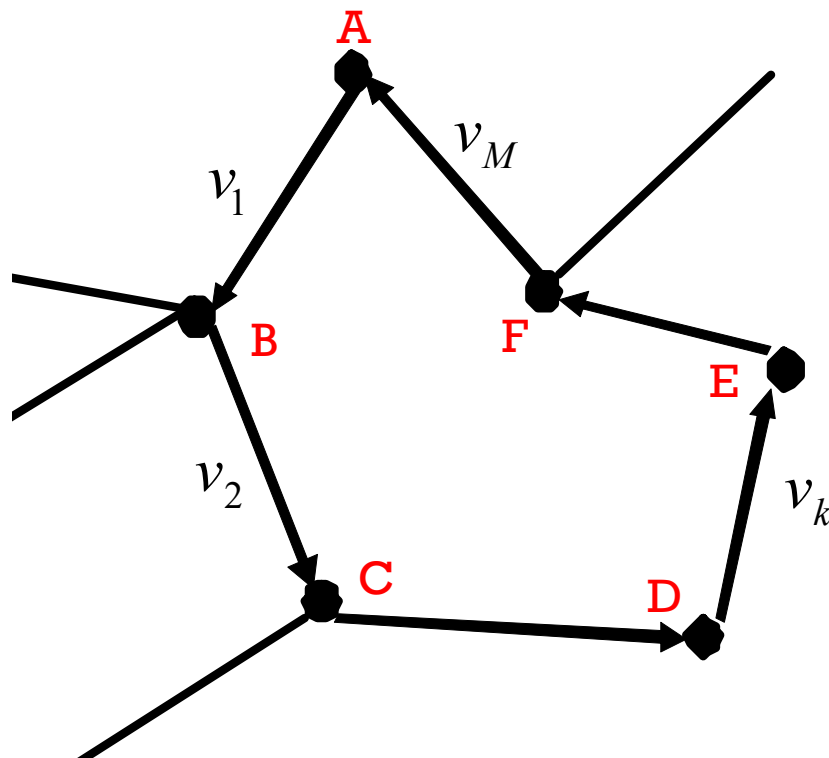
$$v_{AC} = v_{AB} + v_{BC}$$

$$q \cdot v_{AC} + q \cdot v_{CB} + q \cdot v_{BA} \neq 0$$

两点之间电压和路径无关
基尔霍夫电压定律

基尔霍夫电压定律

- Kirchhoff's Voltage Law: KVL
 - 一个闭合回路中的电压总和为零



$$\sum_{k=1}^M v_k = 0 \quad \text{意味着能量守恒}$$

箭头方向为参考方向，如果实际电压方向和参考方向同，则电压值为正，如果实际电压方向和参考方向反，则电压值为负

电位与电压

- A点到B点的电压为两点之间电位之差

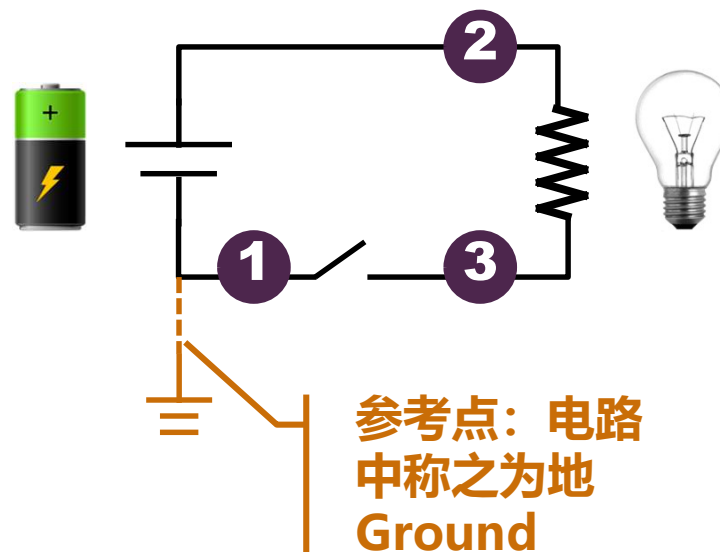
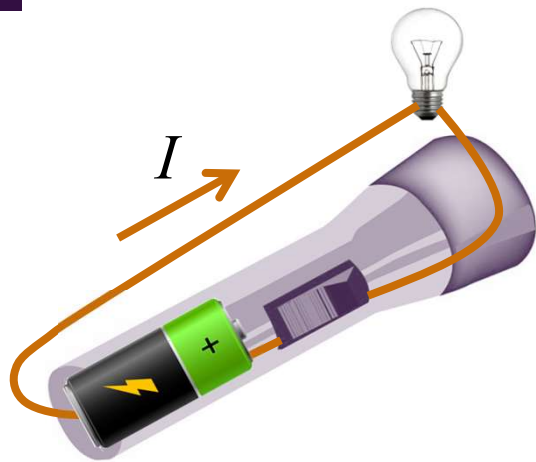
$$v_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$$

- 某个点的电位potential为该点到参考点reference point之间的电压
 - 参考点是人为设定的空间的某个点，该点的电位被人为设定为零，参考点也被称为地 Ground
 - 电路中，大地、大片金属、设备外壳等经常被设定为参考地，并被连在一起

$$\varphi_A = v_{AG} = v_A - v_G = v_A$$

说某点电压时，一定存在一个默认地，该点电压为该点对地的电压

手电筒例

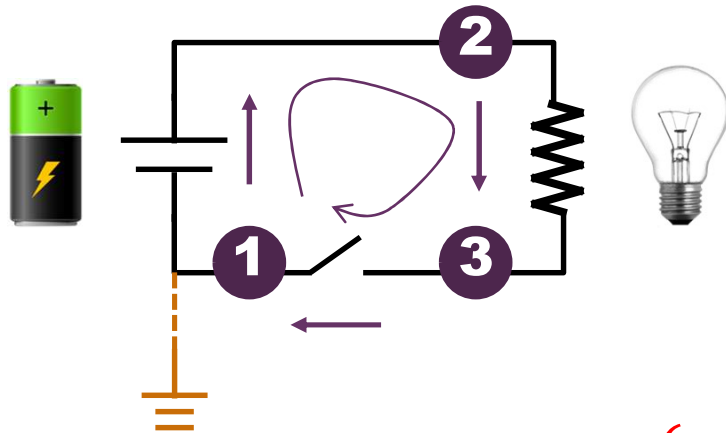


$$\begin{cases} v_1 = \varphi_1 - \varphi_{GND} = 0 \\ v_2 = \varphi_2 - \varphi_{GND} = \varphi_2 \\ v_3 = \varphi_3 - \varphi_{GND} = \varphi_3 \end{cases}$$

哪个点是地，
是由人规定的，

地是人为规定的
基准参考点

KVL的不同说法

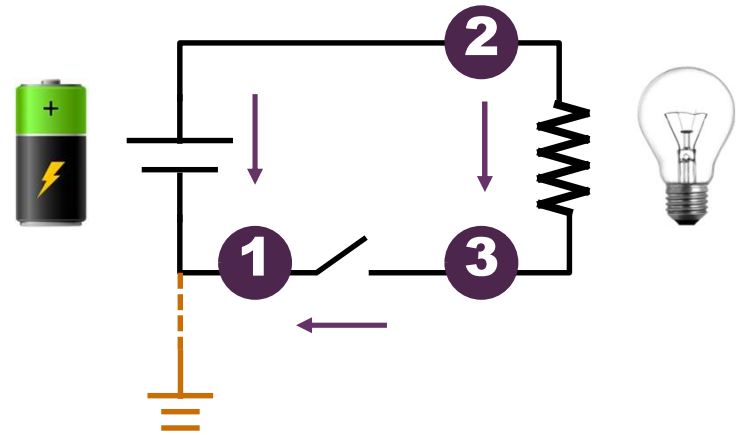


环路一周总电压为0

$$V_{12} + V_{23} + V_{31} = 0$$

$$= (\varphi_1 - \varphi_2) + (\varphi_2 - \varphi_3) + (\varphi_3 - \varphi_1)$$

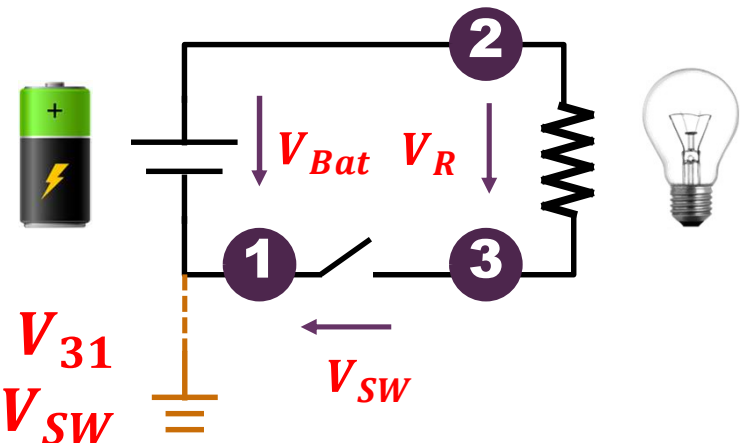
电路中规定一个零电压地，各个结点电压均为对地电压，**KVL**方程则自动满足，电路分析无需再列写**KVL**方程



两点间电压和路径无关

$$V_{21} = V_{23} + V_{31}$$

$$(\varphi_2 - \varphi_1) = (\varphi_2 - \varphi_3) + (\varphi_3 - \varphi_1)$$



$$V_{21} = V_{23} + V_{31}$$

$$V_{Bat} = V_R + V_{SW}$$

总电压等于分电压之和

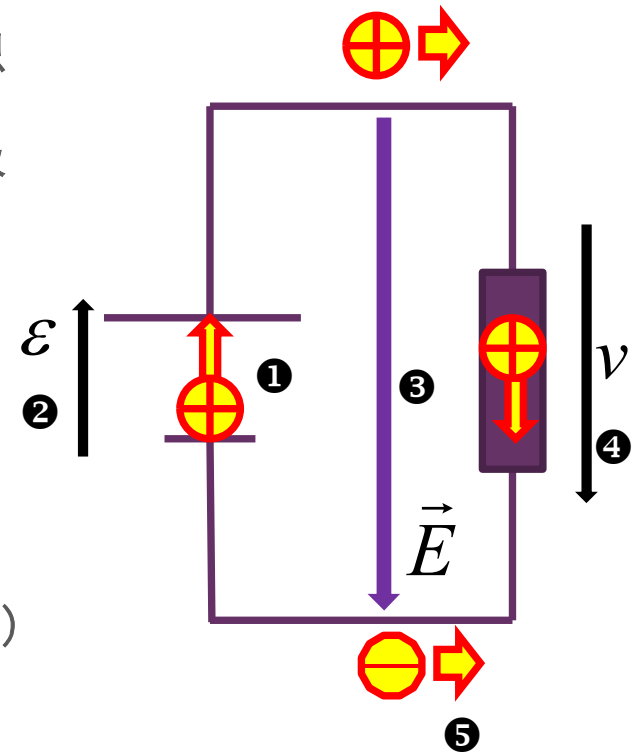
电动势与电压

■ 电动势

- 化学反应、机械运动等能量形式做功，移动正电荷从电源负端到正端①，正负电荷在正负极的积累可理解为在电动势作用下正电荷从电源负极移动到正极② 负极留下负电荷，正负电荷在正负极的积累使得电源对外形成从正端到负端的外部电场③，该外部电场可对电池外部电荷做功，对外提供电能
- 化学能、机械能等能量形式被转换为电能形式

■ 电压

- 电动势移动电荷后，在电池外部形成电场（电压）④，它可对电荷做功，从而电荷移动起来⑤
- 电能形式被转换为电荷运动能量形式，在电阻中，这个能量被进一步转换为热能



某种能量形式 → (电动势) → 电场 (电能) → (电压) → 其他能量形式

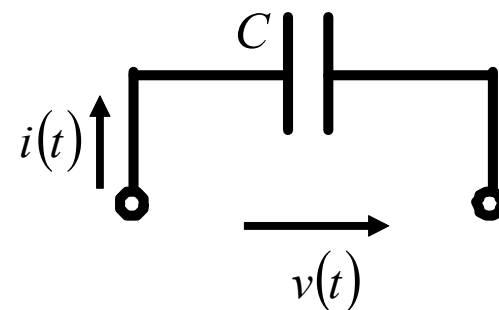
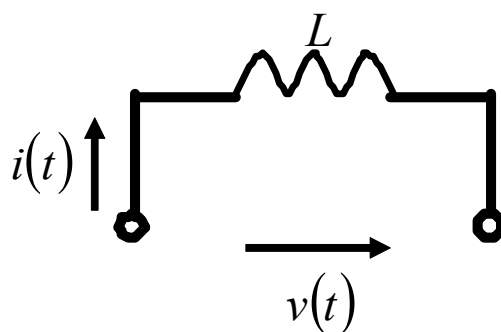
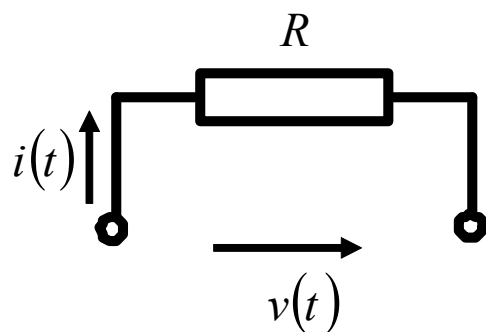
2.4 功率 Power

- 电路器件在电路中可能消耗或者吸收能量，这些能量可视为电场力对该器件所作的功
 - 电路器件消耗或吸收的功率为单位时间内电场对该器件所作的功
 - 电场做功是通过电荷移动实现的：电场对电荷做功以电压形式体现，电荷因而移动以电流形式体现，故而

$$p = \frac{\Delta W}{\Delta t} = \frac{\Delta W}{\Delta q} \cdot \frac{\Delta q}{\Delta t} = v \cdot i$$

- 即，器件吸收的功率等于该器件两端电压和流过该器件电流的乘积
- 功率单位：瓦特：W：1W=1J/s=1V·A

例：三个基本元件的功率分析



元件约束条件

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

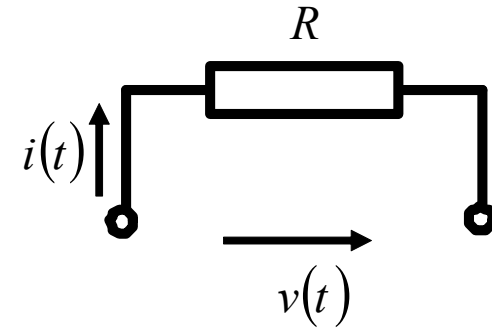
欧姆定律

$$v(t) = L \cdot \frac{di(t)}{dt}$$

广义欧姆定律

$$i(t) = C \cdot \frac{dv(t)}{dt}$$

电阻元件



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

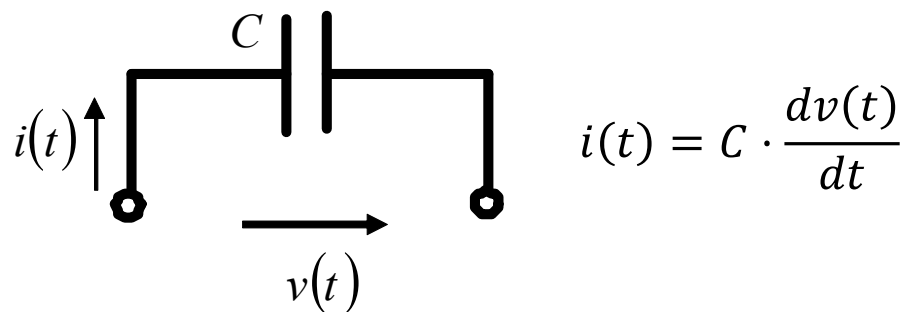
$$p(t) = v(t)i(t) = R \cdot i^2(t) \geq 0$$

恒 ≥ 0 ，纯消耗电能

$$\Delta E_R(\Delta t) = \int_{t_0}^t p_R(t) dt = R \cdot \int_{t_0}^t i^2(t) dt \geq 0$$

只要这段时间内有不为零的电流，电阻一定是消耗电能的，进而转化为热能、光能等形式耗散出去，因而电阻为耗能元件

电容元件



$$p_C(t) = v(t) \cdot i(t) = C \cdot v(t) \cdot \frac{dv(t)}{dt}$$

功率正负不定：吸收还是释放？

$$\begin{aligned} \Delta E_C(\Delta t_1) &= \int_{t_0}^{t_1} p_C(t) dt = C \cdot \int_{t_0}^{t_1} v(t) \cdot \frac{dv(t)}{dt} dt = C \cdot \int_{v(t_0)}^{v(t_1)} v(t) \cdot dv(t) \\ &= \frac{1}{2} C v^2(t) \Big|_{t_0}^{t_1} = \frac{1}{2} C v^2(t_1) - \frac{1}{2} C v^2(t_0) \end{aligned}$$

如果电容初始电压 $v(t_0)=0$ ，则电容共吸收能量 $\Delta E_C(\Delta t_1) = \frac{1}{2} C v^2(t_1)$

$$\Delta E_C(\Delta t_2) = \int_{t_1}^{t_2} p_C(t) dt = \dots = \frac{1}{2} C v^2(t_2) - \frac{1}{2} C v^2(t_1)$$

假设电容电压 $v(t_2)=0$ ，则电容再吸收能量 $\Delta E_C(\Delta t_1) = -\frac{1}{2} C v^2(t_1)$

吸收能量为负，说明电容其实是在释放能量，而且释放的电能恰好是前一时段吸收的电能，即电容可以将其吸收的电能全部释放出去，故而电容是无损元件，是储能元件，并可进而定义电容储能为

$$E_C(t) = \frac{1}{2} C v^2(t)$$

三、数的基本设定

- 常用电量的符号和单位 高中知识的回顾
- 科学计数法
- 工程计数法
- SI词头
- dB数表述

3.1 常用电量的符号和单位

电量中文	电量英文	符号	SI单位	单位符号	源于
电压	voltage	V, U	伏【特】	V	Volt
电流	current	I	安【培】	A	Ampere
电阻	resistance	R	欧【姆】	Ω	Ohm
电导	conductance	G	西【门子】	S	Siemens
能量	Energy Work	E W	焦【耳】	J	Joule
功率	Power	P	瓦【特】	W	Watt
电荷	charge	Q	库【仑】	C	Coulomb
电容	capacitance	C	法【拉】	F	Farad
电感	inductance	L	亨【利】	H	Henry

其他常用量单位

物理量 中文名称	物理量 英文名称	符号	SI单位	单位符号	单位 英文名称
时间	time	t	秒	s	second
频率	frequency	f	赫兹	Hz	Hertz
角频率	angular frequency	ω	弧度每秒	rad/s	radians per second
长度	length distance	l, d	米	m	meter
速度	velocity	v	米每秒	m/s	meters per second
...					

SI: international system of units: 国际单位制

3.2 科学计数法Scientific Notation

- 采用10的乘方幂来表示数的量级
 - 以10为底的指数

$$10^0 = 1$$

$$10^1 = 10$$

$$10^2 = 100$$

$$10^3 = 1\ 000$$

$$10^4 = 10\ 000$$

$$10^5 = 100\ 000$$

$$10^6 = 1\ 000\ 000$$

$$10^{-1} = 0.1$$

$$10^{-2} = 0.01$$

$$10^{-3} = 0.001$$

$$10^{-4} = 0.000\ 1$$

$$10^{-5} = 0.000\ 01$$

$$10^{-6} = 0.000\ 001$$

科学计数法表述

$$a \times 10^n$$

significand: 有效数
mantissa: 尾数

exponent number: 幂次阶数

普通十进制数

200

5 000

85 000 000

0.2

0.000 006 3

0.000 000 93

科学计数法表示

2×10^2

2.0×10^2

5×10^3

5.00×10^3

8.5×10^7

2×10^{-1}

6.3×10^{-6}

9.3×10^{-7}

3.3 工程记数法Engineering Notation

- 工程计数法类似于科学计数法，有效数在1到1000之间，10的幂次数是3的倍数
 - 很方便地转换为SI词头表述

普通十进制数

200

5 000

85 000 000

0.2

0.000 006 3

0.000 000 93

科学计数法表示

2×10^2

5×10^3

8.5×10^7

2×10^{-1}

6.3×10^{-6}

9.3×10^{-7}

工程计数法表示

200

5×10^3

85×10^6

200×10^{-3}

6.3×10^{-6}

930×10^{-9}

3.4 SI词头 SI prefixes

- 和工程计数法密切相关的一种前缀表示称为SI词头表示法，是日常生活和电子工程中被实际采用的方便的表述方法

10的 幂方	词头 符号	词头 名称	中文 称呼
10^{-15}	f	femto	飞
10^{-12}	p	pico	皮
10^{-9}	n	nano	纳
10^{-6}	μ	micro	微 (缪)
10^{-3}	m	milli	毫
10^{-2}	c	centi	厘
1			
10^2	h	hecto	百
10^3	k	kilo	千 (剋)
10^6	M	mega	兆
10^9	G	giga	吉
10^{12}	T	tera	太

SI词头用法

- SI词头位于单位之前

例	通常表示或科学计数表示	工程计数法表示	SI词头法表示	读法
电流	$I = 0.025A$	$I = 25 \times 10^{-3}A$	$I = 25mA$	I 等于 25 毫安 25 毫安的电流
电压	$U = 7.6 \times 10^{-7}V$	$U = 760 \times 10^{-9}V$	$U = 760nV$ $U = 0.76\mu V$	U 等于 760 纳伏 0.76 微伏的电压
频率	$f = 2.45 \times 10^9 Hz$	$f = 2.45 \times 10^9 Hz$	$f = 2.45GHz$	频率为 2.45 吉赫兹
时间	$t = 0.001s$	$t = 1 \times 10^{-3}s$	$t = 1ms$	1 毫秒的时间
功率	$P = 3 \times 10^{-4}W$	$P = 300 \times 10^{-6}W$	$P = 300\mu W$ $P = 0.3mW$	300 微瓦的功率 0.3 毫瓦的功率
	计算时经常采用		电路中通常的表示方法	

3.5 dB数表述

- 在比较数的相对大小时，dB数表述可以解决数值在多个数量级上变化难以分明的问题
 - dB数采用对数方法压缩数值的相对变化范围
- 以功率表述为例
 - 设线性表示的功率值为 a ，对数表示的功率值为 b
 - a 如果为1W，则等量dB数表述为30dBm

$$b = 10 \log_{10} \frac{a}{1 \text{单位功率}} \quad (dB \text{功率单位})$$

$$a = 10^{\frac{b}{10}} \times 1 \text{单位功率}$$

dBm, dBW, dB μ V, dB

$$\text{功率: } P \Rightarrow 10 \log_{10} \frac{P}{1mW}: \text{dBm}$$

$$\log_{10} 2 = 0.3$$

$$\text{功率: } P \Rightarrow 10 \log_{10} \frac{P}{1W}: \text{dBW}$$

$$10 \log_{10} 2 = 3dB$$

3dB代表2倍的功率比值关系

$$\text{电压: } U \Rightarrow 20 \log_{10} \frac{U}{1\mu V}: \text{dB}\mu V$$

$$\text{功率相对值: } \frac{P_o}{P_i} \Rightarrow 10 \log_{10} \frac{P_o}{P_i}: \text{dB}$$

- dB数表示中，求对数的值一定是相对比值（无量纲数）

$$\text{电压相对值: } \frac{V_o}{V_i} \Rightarrow 20 \log_{10} \frac{V_o}{V_i}: \text{dB}$$

例3

- 某放大器输入信号电压幅度为1mV，输出信号电压幅度为100mV，同时有0.2mV的噪声，求该放大器的电压增益和输出信噪比。

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{100mV}{1mV} = 100 = 40dB (= 20\log_{10} 100)$$

$$SNR_o = \frac{P_s}{P_n} = \left(\frac{100mV}{0.2mV} \right)^2 = 250000 = 54dB = (10\log_{10} 250000)$$

答：该放大器的电压增益为**40dB**，输出信噪比为**54dB**

3.6 有效位数

- 例题、作业中的数值计算，一般取三位/四位有效位数就足够了

$$\frac{440}{637}$$

$$\frac{\sqrt{2}}{2}$$



一般不这样表示
不能一目了然

0.690737833...

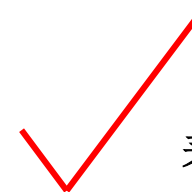
0.707106781...



一般不这样表示
眼晕

0.691

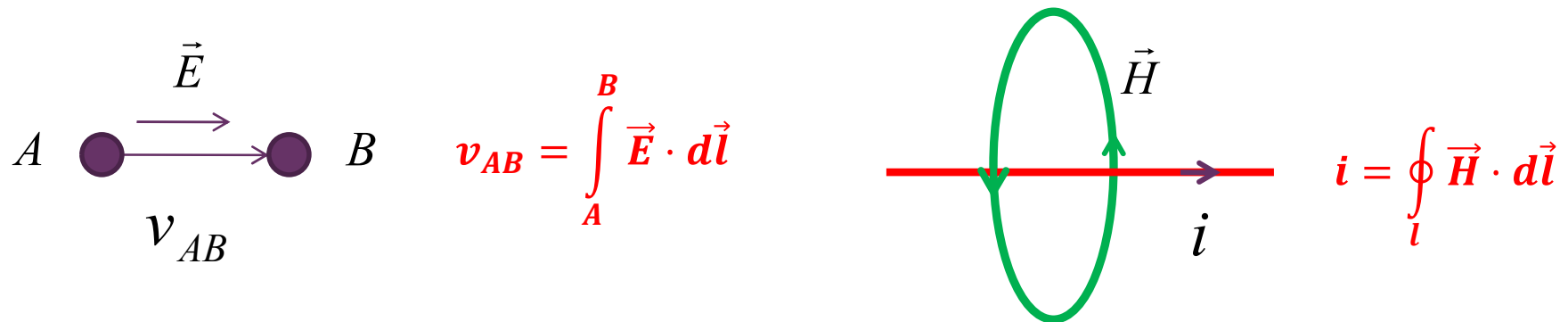
0.707



表示很清楚
估算精度足够

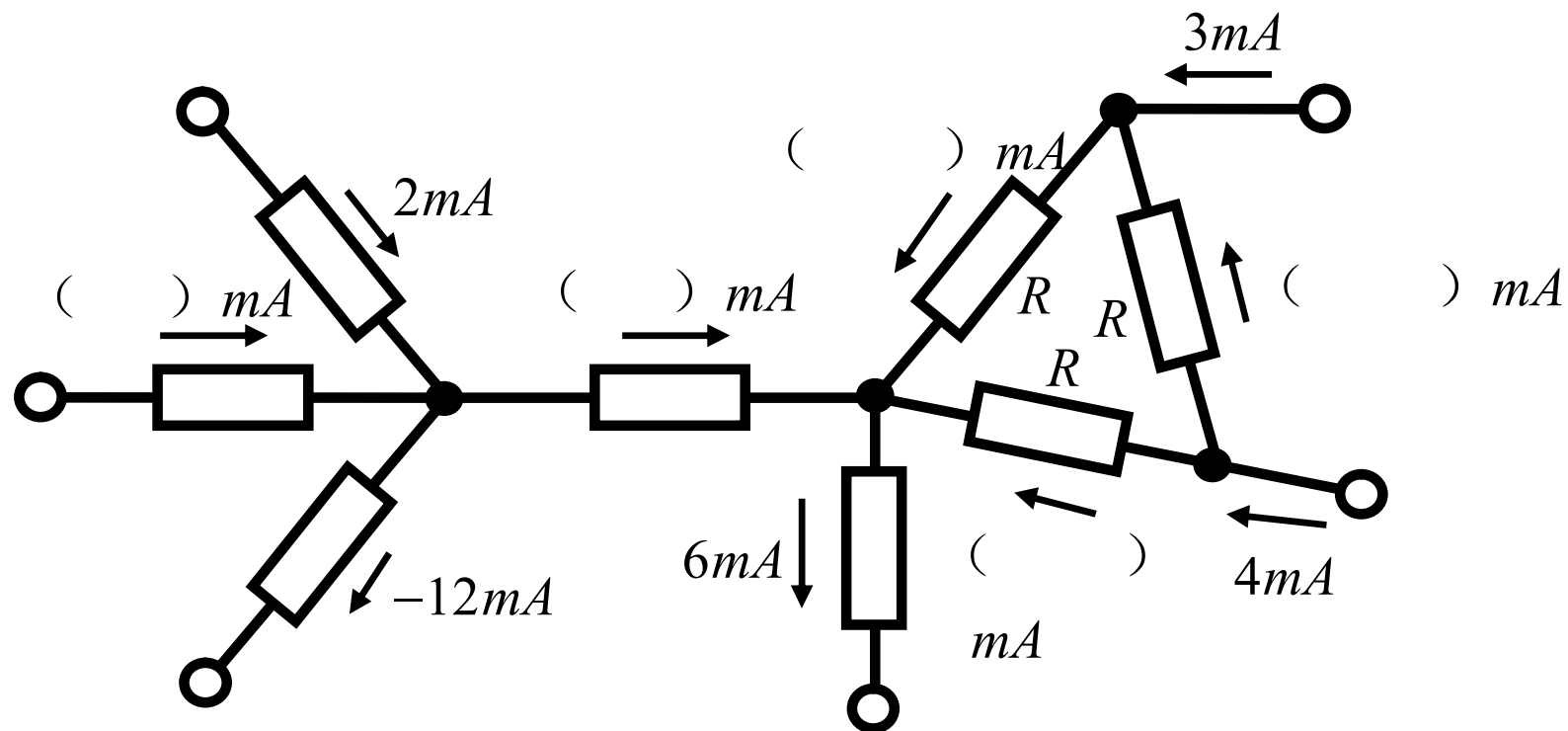
小结

- 电路系统由单元电路的连接构造，单元电路由电路器件的连接构造，电路器件可等效为电路元件或电路元件的连接，电路基本元件有四个：电源、电阻、电容和电感
 - 电路系统、单元电路、电路器件、电路元件的功能由其端口电压电流关系描述
 - 描述端口电压电流关系的方程又称元件约束方程：广义**欧姆定律**
 - 描述系统、电路、器件、元件连接关系的是KVL和KCL方程：**基尔霍夫定律**
- 电压是电场的空间离散化抽象，电流是磁场的空间离散化抽象，因而电路问题是电磁场问题的一种特殊形态



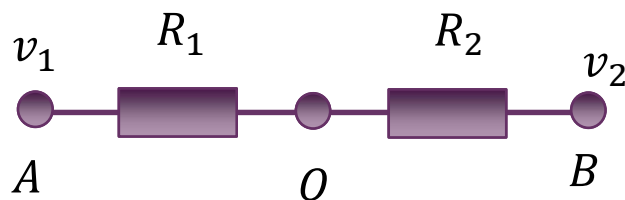
作业1：基尔霍夫定律和欧姆定律

- 基尔霍夫定律和欧姆定律是电路基本定律，在任何电路中，这两个定律都是始终成立的。请利用基尔霍夫定律和欧姆定律，分析图中空出电流数值大小

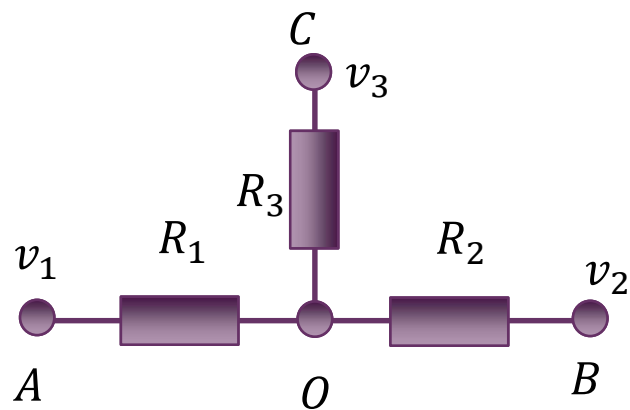


作业2：基尔霍夫定律和欧姆定律

- 电路分析就是利用电路基本定律（基尔霍夫定律和欧姆定律）列写电路方程、求解电路方程、对方程的解进行解析的过程，请分析如下两个电路的功能。



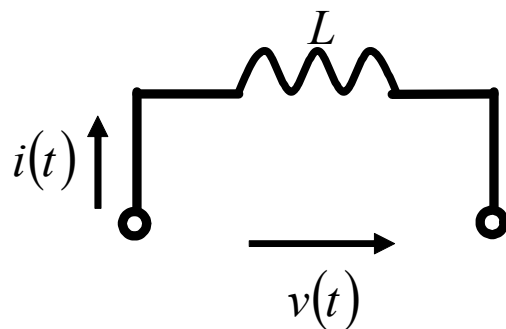
已知结点**A**的电压为 v_1 ，结点**B**的电压为 v_2 ，求结点**O**的电压，由电压表达式说明该电路可能具有什么功能？



更进一步，假设结点**A**的电压为 v_1 ，结点**B**的电压为 v_2 ，结点**C**的电压为 v_3 ，由结点**O**的电压表达式说明该电路可能具有什么功能？

作业3：电感储能分析

- 根据电感的元件约束方程，仿照课件对电容的分析，分析说明电感元件是储能元件，并给出其储能表达式



$$v(t) = L \cdot \frac{di(t)}{dt}$$

作业4： 补全表格

通常表示或科学计数表示	SI词头表示法	中文读法
$I = 0.025A$	$I = 25mA$	25毫安的电流
$U = 7.6 \times 10^{-7}V$	$t = 1ms$	0.3毫瓦的功率
$f = 9.8 \times 10^8Hz$		0.01微法的电容
	$L = 5.3mH$	
$R = 1 \times 10^5\Omega$		1皮焦耳的能量

作业5 dB数与比例数

物理量	数值或比例数	dB数
电压U	100mV	dBV
功率P	W	20dBm= dBW
电压增益 $A_v=V_o/V_i$	100	40dB
电流增益 $A_i=I_o/I_i$	20	dB
功率增益 $A_p=P_o/P_i$	100	dB
信噪比 $SNR=P_s/P_n$		20dB
电压比值		3dB
电压比值		-3dB
功率比值		-3dB

CAD只是工具

- 根据助教发布的材料，同学们应开始熟悉仿真工具
- CAD只是工具，对电路原理的理解是第一位的，仿真可以帮助理解，但不能依赖仿真，只有真正理解了电路原理，才能自己设计电路/修改电路
 - 为何仿真结果是这样的？
 - 为何仿真结果不符合原理解释？问题在哪里？

本节课内容在教材中的章节对应

- 电子电路与系统基础，李国林，清华大学出版社，2017.
 - 教材纠错以2019年第四次印刷为基础
- P1-20: 第一章 绪论
- P22-30: 2.1节 基本电量
- P938: 附录A1 电量符号与单位
- P939-940: 附录A2 数的表示