



# 《电路》课程概要

# 一、电路元件

- R、L、C
  - $u_s$ 、 $i_s$
  - 二极管
  - 受控源
  - 理想变压器
  - 回转器、负阻抗变压器
  - 耦合电感
  - 运算放大器
- <-二端元件
  - <-多端元件

# 一、电路元件

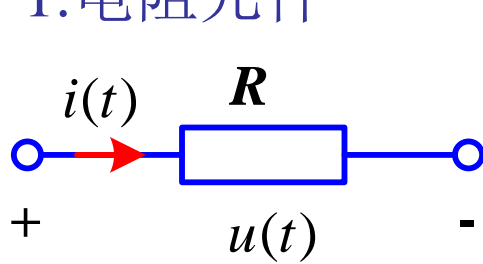
## ■ 对元件要了解

- ① 元件电路符号、元件参数、端口电流电压关系、功能关系
- ② **注意：** 端口VAR与参考方向有关
- ③ 一个电路可能有不同模型，需根据精度要求、环境的不同，选择合适的模型。

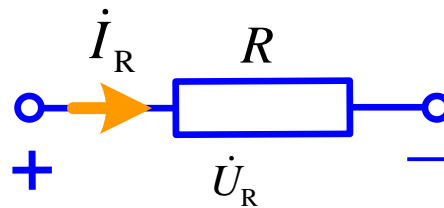
**\*比较理想变压器、回转器、NIC的异同**

# 同一元件不同形式方程

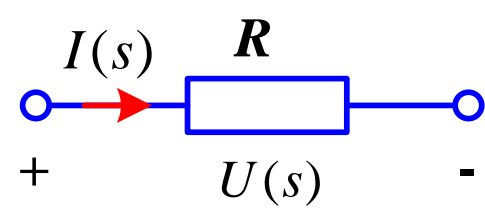
## 1. 电阻元件



$$u_R = R \cdot i_R$$

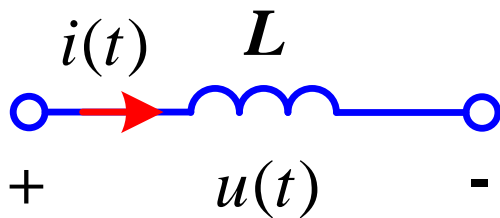


$$\dot{U}_R = R \dot{I}_R$$

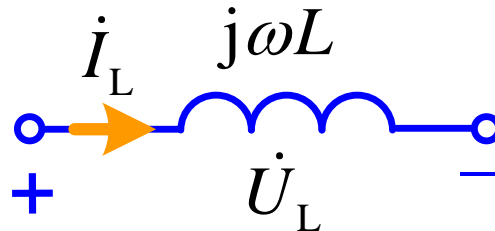


$$U_R(s) = R \cdot I_R(s)$$

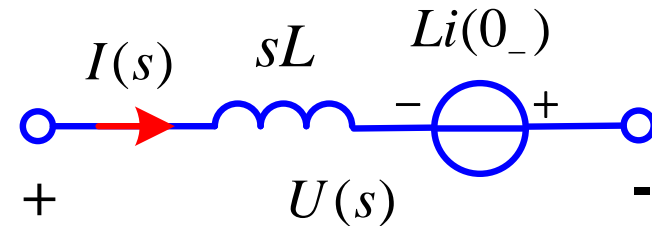
## 2. 电感元件



$$u_L = L \frac{di_L}{dt}$$



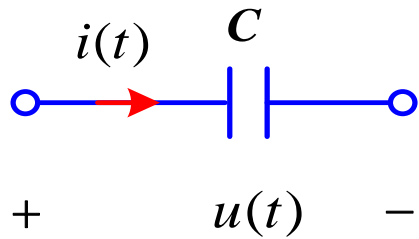
$$\dot{U}_L = j\omega L \dot{I}_L$$



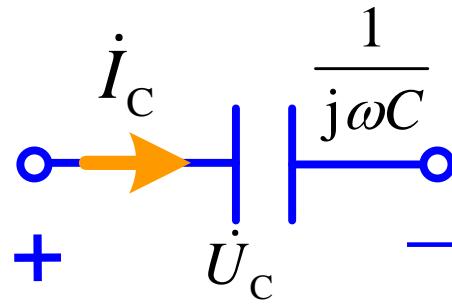
$$U_L(s) = sL I_L(s) - L i_L(0_-)$$

# 同一元件不同形式方程

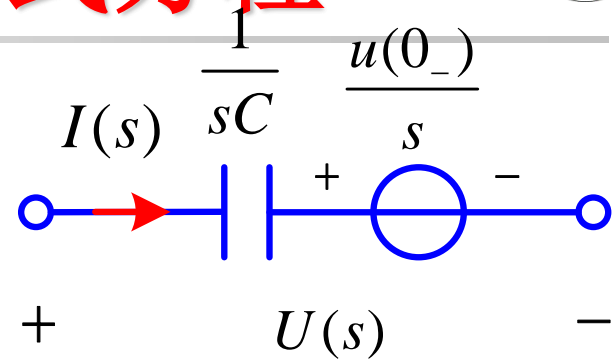
## 3. 电容元件



$$i_c = C \cdot \frac{du_c}{dt}$$



$$\dot{I}_c = j\omega C \dot{U}_c$$



$$U_c(s) = \frac{1}{sC} \cdot I_c(s) + \frac{u_c(0_-)}{s}$$

## 4. 受控源

V C V S

$$u_2(t) = \mu u_1(t)$$

$$\dot{U}_2 = \mu \dot{U}_1$$

$$U_2(s) = \mu U_1(s)$$

V C C S

$$i_2(t) = g u_1(t)$$

$$\dot{I}_2 = g \dot{U}_1$$

$$I_2(s) = g U_1(s)$$

C C C S

$$i_2(t) = \beta i_1(t)$$

$$\dot{I}_2 = \beta \dot{I}_1$$

$$I_2(s) = \beta \cdot I_1(s)$$

C C V S

$$u_2(t) = \gamma i_1(t)$$

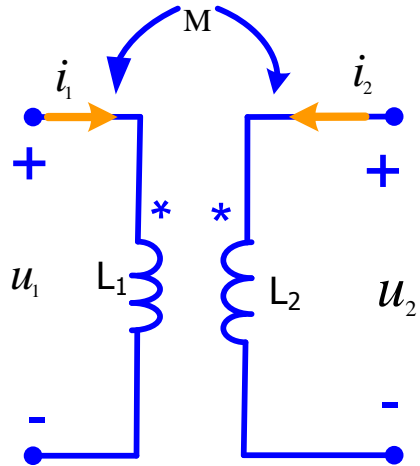
$$\dot{U}_2 = \gamma \dot{U}_1$$

$$U_2(s) = \gamma \cdot U_1(s)$$

电路 自动化科学与电气工程学院

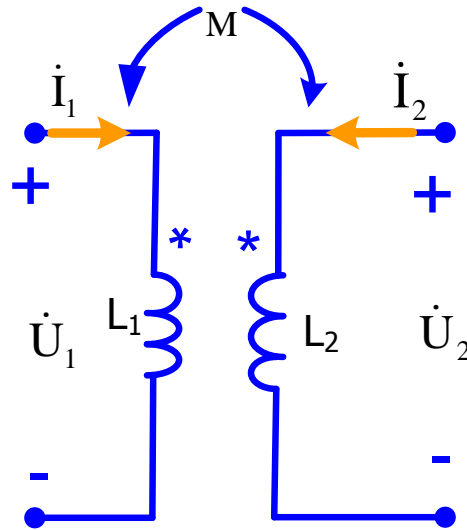
# 同一元件不同形式方程

## 5、耦合电感



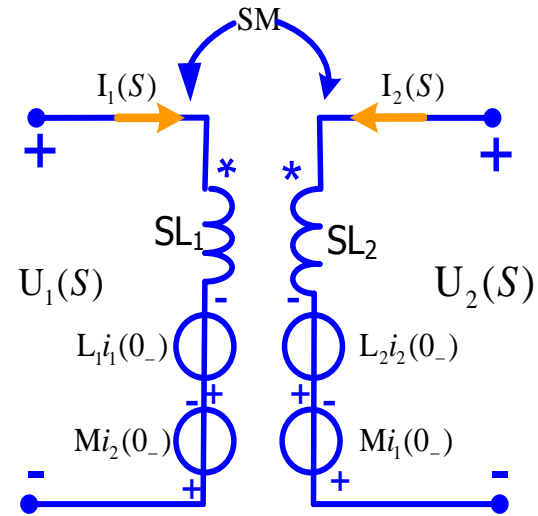
$$u_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt}$$

$$u_2 = L_2 \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_1}{dt}$$



$$\dot{U}_1 = j\omega L_1 \dot{I}_1 + j\omega M \dot{I}_2$$

$$\dot{U}_2 = j\omega L_2 \dot{I}_2 + j\omega M \dot{I}_1$$

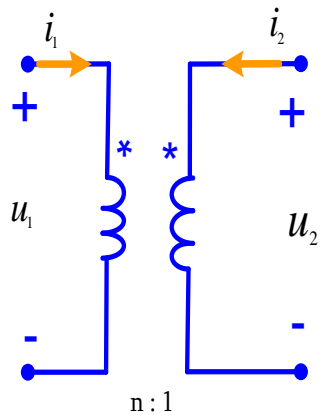


$$U_1(S) = SL_1 I_1(S) - L_1 i_1(0_-) + SM I_2(S) - M i_2(0_-)$$

$$U_2(S) = SL_2 I_2(S) - L_2 i_2(0_-) + SM I_1(S) - M i_1(0_-)$$

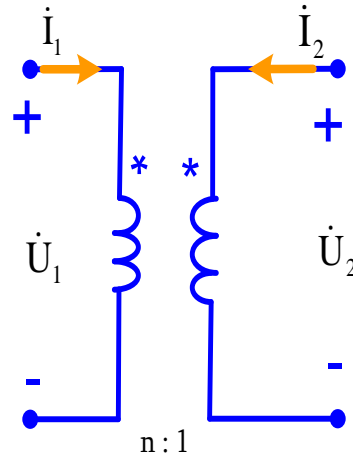
# 同一元件不同形式方程

## 6、理想变压器



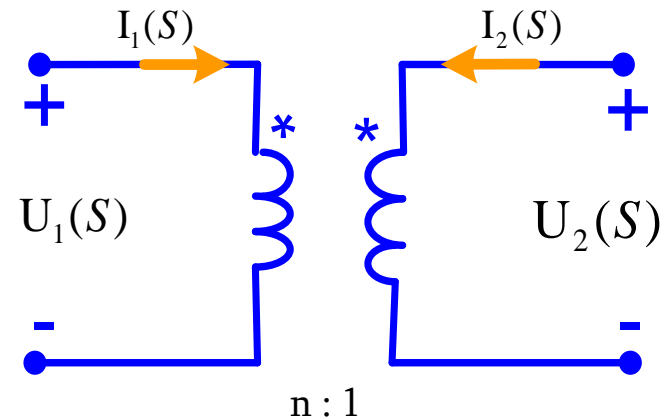
$$\frac{u_1}{u_2} = n$$

$$\frac{i_1}{i_2} = -\frac{1}{n}$$



$$\frac{\dot{U}_1}{\dot{U}_2} = n$$

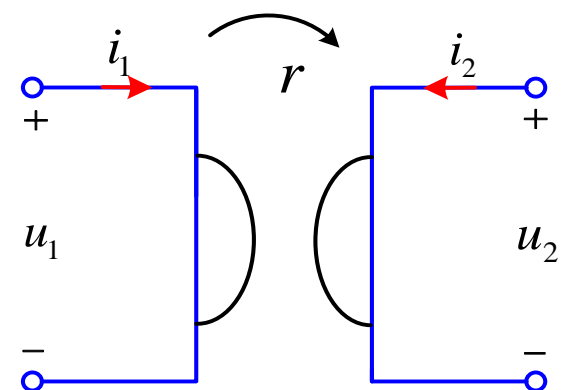
$$\frac{\dot{I}_1}{\dot{I}_2} = -\frac{1}{n}$$



$$\frac{U_1(s)}{U_2(s)} = n$$

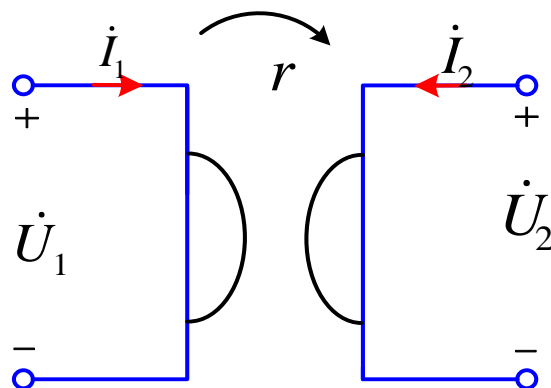
$$\frac{I_1(s)}{I_2(s)} = -\frac{1}{n}$$

## 7、回转器



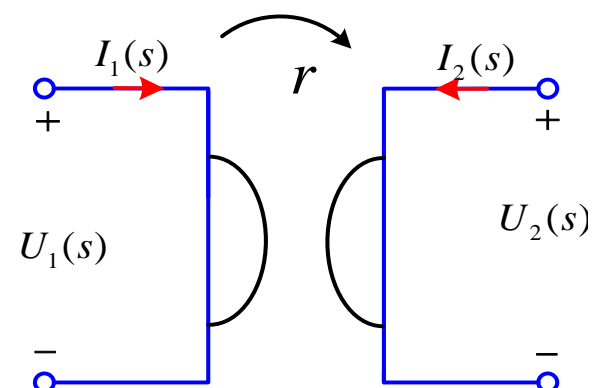
$$u_1 = -ri_2$$

$$u_2 = ri_1$$



$$\dot{U}_1 = -r\dot{I}_2$$

$$\dot{U}_2 = r\dot{I}_1$$

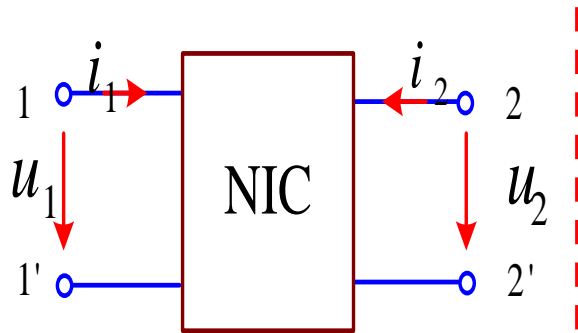


$$U_1(s) = -rI_2(s)$$

$$U_2(s) = rI_1(s)$$

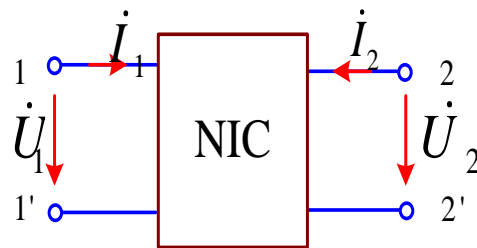


## 8、负阻抗变换器



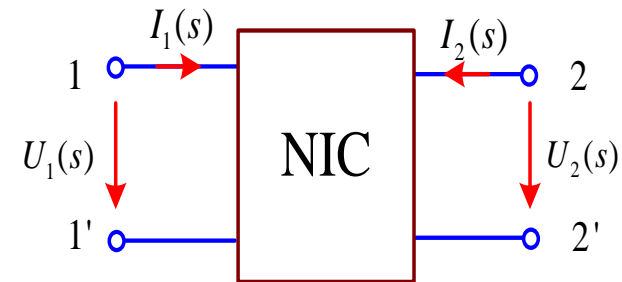
$$u_1 = u_2$$

$$i_1 = ki_2$$



$$\dot{U}_1 = \dot{U}_2$$

$$\dot{I}_1 = k\dot{I}_2$$



$$U_1(s) = U_2(s)$$

$$I_1(s) = kI_2(s)$$

## 二、电路的定律、定理

### ■ KCL（电荷守恒）、KVL（能量守恒）

$$\begin{array}{llll} KVL & \sum u_i = 0 & \sum \dot{U}_i = 0 & \sum U_i(S) = 0 \\ KCL & \sum i_j = 0 & \sum \dot{I}_j = 0 & \sum I_j(S) = 0 \end{array}$$

- 特勒根定理
- 叠加定理、齐次定理
- 戴维南定理、诺顿定理
- 互易定理
- 替代定理

\*注意定理的应用条件；前两项只与电路结构有关

# 三、电路的一般性分析方法



- 节点法
  - 回路法（网孔法）
  - 支路法（**2b**法、支路电流法）
  - 割集法（树支电压）
- \*思路：选一组合适的变量，对这组变量列独立方程、求解，再根据这组变量，求其他变量。
- \*适用：直流、交流、暂态分析

# 四、等效变换

- 阻抗：串联、并联、 $\Delta - Y$
- 电源：
  - $u_s$  串联、 $u_s$  与另一支路并联
  - $i_s$  并联、 $i_s$  与另一支路串联
  - 实际电源：  $u_s$  与  $R_0$  串联  $\Leftrightarrow$   $i_s$  与  $R_0$  并联
- 一端口网络：无独立源（ $Z_{in}$ ）；含源（电压源  $\dot{U}_{0C}$  与阻抗  $Z_{eq}$  串联组合）
- 二端口网络：
  - 无受控源（三个阻抗元件构成的T型或 $\pi$ 型电路）
  - 含受控源（三个阻抗元件加一个受控源）

# 四、等效变换

- 耦合电感
  - 受控源等效电路
  - 去耦电路
- 运算放大器→受控源电路
- 理想变压器→受控源电路

## \*等效概念

- ①端口上电流电压关系相等，即对外等效；
- ②对内不等效

# 五、暂态分析

- 概念： $0_i$ ,  $0_S$ , 强制分量，自由分量，暂态分量，稳态分量；过渡过程，换路定理；一阶电路，二阶电路，时间常数
- 暂态响应分析方法
  - 经典法：线性、非线性电路
  - 三要素法：一阶电路
  - 卷积积分公式（叠加积分法）：零状态响应；线性电路
  - 运算法：线性电路
  - 状态变量法：线性、非线性电路

# 五、暂态分析

- 二阶电路的通解表达式
- 二阶电路，不同方法的对比
  - 经典法：由特征方程特征根决定响应特征：震荡非震荡；衰减快慢。
  - 运算法：由 $H(S)$ 的极点决定冲激响应变化规律。
  - 状态变量法：由系统矩阵的特征值决定响应特征
- 注：包括稳态分析， $t \rightarrow \infty$ 时的响应即为稳态响应，故暂态分析更具有有一般性。

# 六、正弦电路稳态分析



## 工具:相量法

- 相量法与运算法思路非常相似，形式也相似（代数方程，域变化）
- **稳态响应与功率分析**
- 特例：
  - 三相电路（完全可用一般的相量法分析思路），由于对称性，有简单处理方法→化一相计算电路
  - 谐振：参数与频率满足一定条件；串联谐振与并联谐振的共同之处是端电压与端电流同相位。
- 推广：非正弦周期电流电路（谐波分析法）



# 六、正弦电路稳态分析



- 频率特性曲线：电压、电流、阻抗曲线
  - 幅频特性曲线
  - 相频特性曲线

- 通用曲线

- 归一化处理

$$\eta = \frac{\omega}{\omega_0}$$

- 输出相量与输入相量之比

$$H(j\omega) = \frac{\dot{R}_k(j\omega)}{\dot{E}_{Sj}(j\omega)}$$

- 网络函数  $H(s) \rightarrow H(j\omega)$

$$|H(j\omega)| = H_0 \frac{\prod_{i=1}^m |(j\omega - z_i)|}{\prod_{j=1}^n |(j\omega - p_j)|}$$

- 品质因素Q、通频带BW与截止频率

# 七、“黑匣子”法



- 一端口、二端口分析方法
- 给出端口**VAR**
- 等效电路
- 二端口的级联、串联、并联