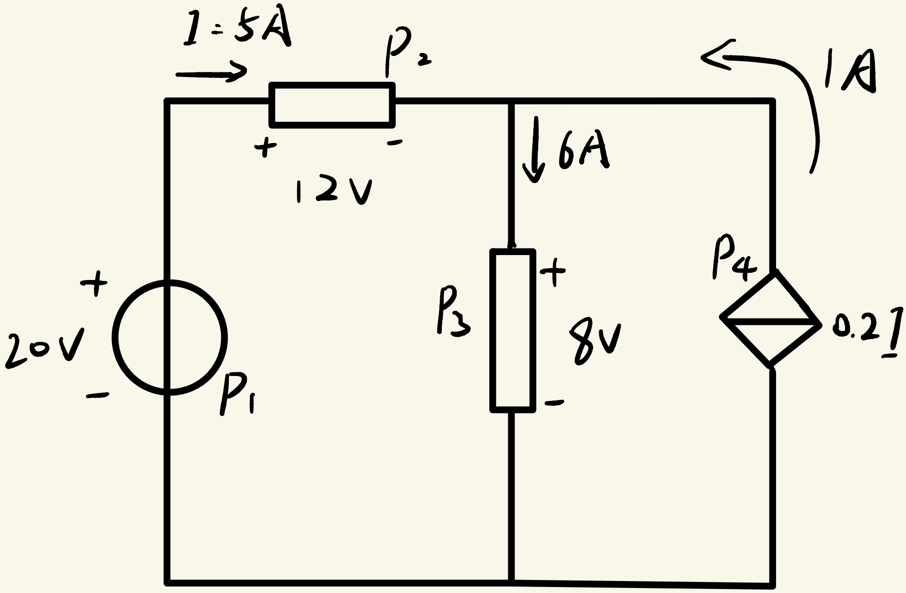
功率与参考方向

- 关联 ⟶ 吸收功率
  - +
  - −
- 非关联 ⟶ 发出功率
  - +
  - −



$P_1 = 100W$ 发出

$P_2 = 60W$ 吸收

$P_3 = 48W$ 吸收

$P_4 = 8W$ 发出

非关联,表达式前加"−"

$P = -u \cdot i$

表示发出功率

$$C = \frac{Q}{U}$$

$$Q = C \cdot U$$

$$i = C \cdot \frac{du}{dt}$$

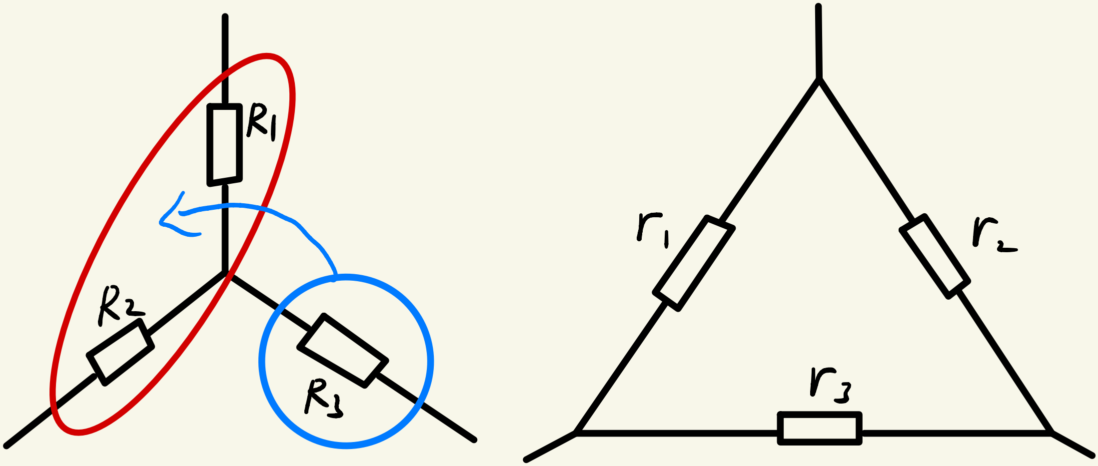
电路元件 ⟷ 拓扑网络

↓ ↓

基于电路元件特性 基于网络连接约束

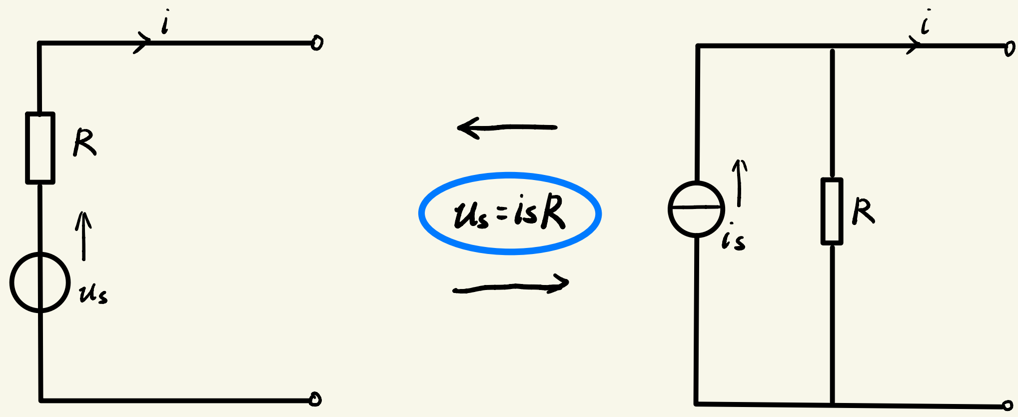
VCR KCL, KVL.

Δ-Y变换



$$r_1 = R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_3}$$

基于"外虚内实"的电路等效 → 端口.



$U_{外} = \underline{u_s - iR} = \underline{(i_s - i)R}$ 即 $u_s = i_s R$.

电压源并联 = 电压源（分析对外电压）

电流源串联 = 电流源（分析对外电流）

叠加定理

☆ 在应用叠加定理时，受控源不能被置零，

还要动态调整负

§1. 电路的基本概念与电路定律

电路理论分析研究的是电路模型而不是实际电路

集中参数电路：认为能量变化或转移集中在电路元件上。

电流：$i(t)=\dfrac{dq}{dt}$

电压：$u(t)=\dfrac{dW}{dq}$

关联参考方向：

电流与电压的参考方向 $\begin{cases}\text{关联(相同)}\\ \text{非关联(相反)}\end{cases}$

功率：$P(t)=\dfrac{dW}{dt}=u(t)\cdot i(t)$

功率与参考方向

$\begin{cases}\text{关联} \longrightarrow \text{吸收功率} \begin{cases} + \\ - \end{cases} \\ \text{非关联} \longrightarrow \text{发出功率} \begin{cases} + \\ - \end{cases}\end{cases}$

显然，在整个电路中，有

$$\sum P_{吸收}=\sum P_{发出}$$

电阻元件:

服从欧姆定律: $u(t) = R \cdot i(t)$ (关联参考方向) → 伏安特性(性能方程)

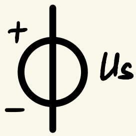
电导: $G = \frac{1}{R} = \frac{1}{sp}$ (特殊情况)

电阻是一种无记忆的元件，也是双向元件.

开路: $R = \infty$, 短路: $R = 0$.

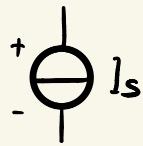
电压源:

$U(t) = U_s(t)$



电流源:

$I(t) = I_s(t)$



受控源:

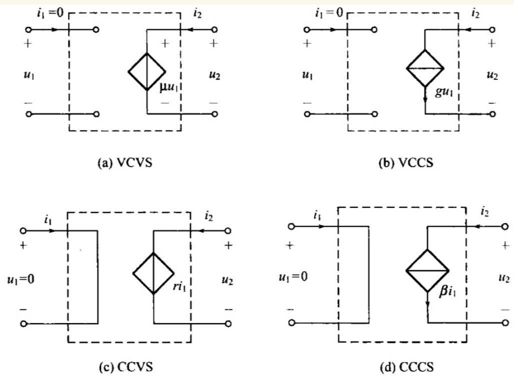


图 1-20　四种受控源的图形符号

(1) 电压控制电压源，简称 VCVS，如图 1-20(a)所示。其输入控制量是电压 u_1，输出电压是 u_2，并且

$$u_2 = \mu u_1 \tag{1-18}$$

式(1-18)中的控制系数 μ 是无量纲常数，称为转移电压比或电压放大系数。

(2) 电压控制电流源，简称 VCCS，如图 1-20(b)所示。其输入控制量是 u_1，输出电流是 i_2，并且

$$i_2 = g u_1 \tag{1-19}$$

式(1-19)中的控制系数 g 是电导量纲常数，称为转移电导。

(3) 电流控制电压源，简称 CCVS，如图 1-20(c)所示。其输入控制量是 i_1，输出电压是 u_2，并且

$$u_2 = r i_1 \tag{1-20}$$

式(1-20)中的控制系数 r 是电阻量纲常数，称为转移电阻。

(4) 电流控制电流源，简称 CCCS，如图 1-20(d)所示。其输入控制量是 i_1，输出电流是 i_2，并且

$$i_2 = \beta i_1 \tag{1-21}$$

式(1-21)中的控制系数 β 是无量纲常数，称为转移电流比或电流放大系数。

基尔霍夫定律：

电流定律(KCL)：$\sum i = 0$ （对于节点，注意参考方向）

电压定律(KVL)：$\sum u = 0$ （对于回路，注意参考方向）

应用形式：$\sum u_{升} = \sum u_{降}$.

§2. 电阻电路的等效变换.

直流电阻电路：独立源都是直流源

单口网络的伏安关系与外界无关

不是对内部结构的化简，而是对外"影响"的等效

电路的等效变换：外电路的电压、电流和功率保持不变 ⇒ 等效化简

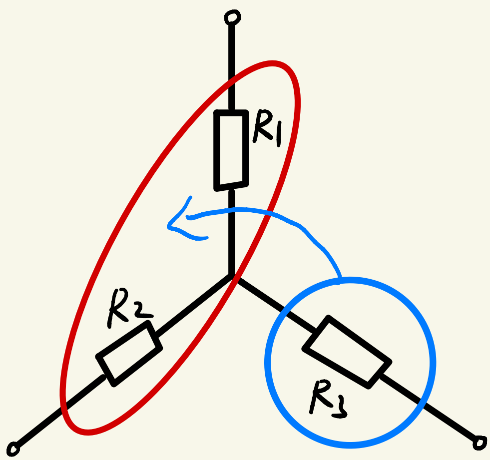
电阻等效

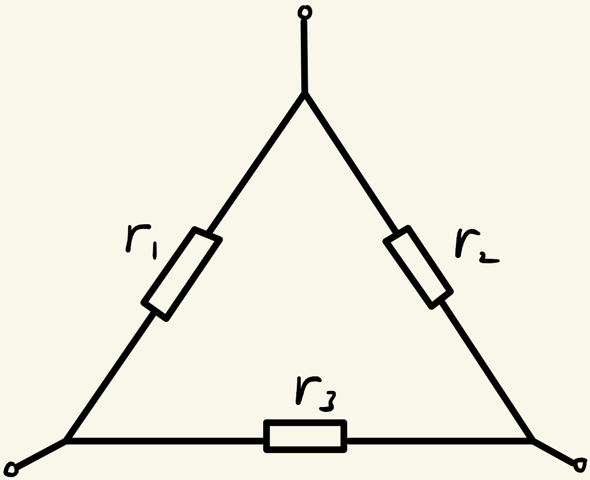
串联： $R_{eq} = \sum R_i$ → 分压

平衡电桥

并联： $R_{eq} = \frac{1}{G_{eq}} = \frac{1}{\sum G_i} = \frac{1}{\sum \frac{1}{R_i}}$ → 分流

Y－Δ变换 ☆





Y→Δ： $r_1 = R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_3}$

Δ→Y： $R_1 = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2 + r_3}$

对称电路

"传递对称" ⟶ 回路 → 等电位点

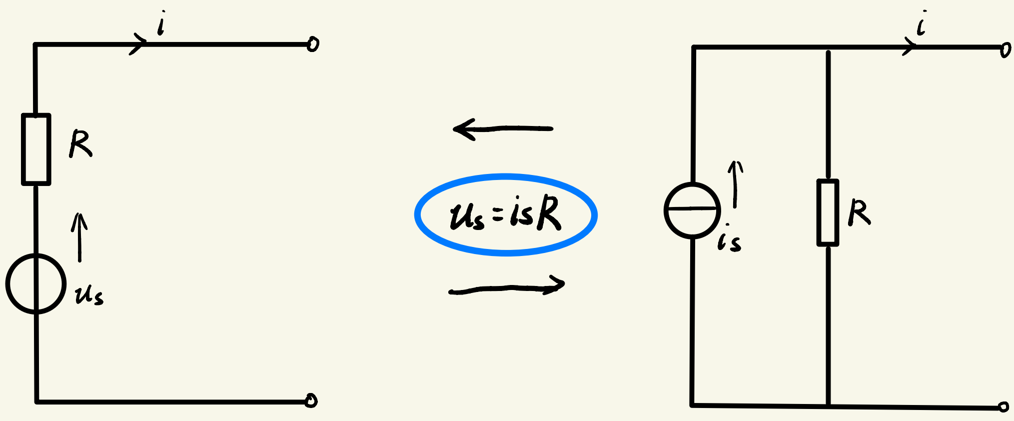
"平衡对称" ⟶ 端口 → 等电位点

输入电路

⟶ 无源单口网络 ⟶ 黑箱电路

$$R_{in} \overset{def}{=\!=} \frac{u}{i}$$ (外特性方程)

含源支路等效 ☆



$$U_{外} = \underline{u_s - iR} = \underline{(i_s - i)R}$$ 即 $u_s = i_s R$.

"外虚内实"元件 △

电压源并联 = 电压源（分析对外电压）

电流源串联 = 电流源（分析对外电流）

§3. 电阻电路的一般分析方法.

树与连通图 → 回路的引入

对于任意具有n个节点, b条支路的连通图G.

任一树支数 $t=n-1$,

连支数: $l=b-t=b-n+1$.

流程图:

① 确定一个树

② 确定连支及回路

③ 列方程 (KVL

支路法

2b法:

$$\begin{cases} KCL: n-1\text{个节点电流方程} \\ KVL: b-n+1\text{个回路电压方程} \\ VCR: b\text{个支路特性方程} \end{cases}$$

2b个变量 → 2b个方程.

b法:

以i_k或u_k为变量

$$\begin{cases} KCL: n-1\text{个} \\ KVL: b-n+1\text{个} \end{cases} \xrightarrow[\text{统一变量 } i/u]{VCR} b\text{个变量} \to b\text{个方程}.$$

网孔分析法

以顺时针为绕行方向, 本质是KVL

$$\sum i_k (R_{自} - R_{互}) = \sum u_{sk}.$$

以网孔方法i_k为变量.

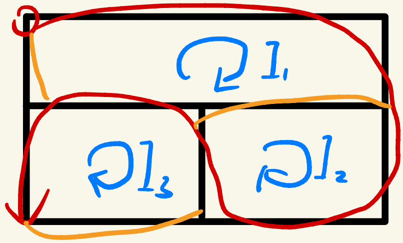
回路分析法 → 广义网孔

通过有向连通图确定所有回路.

$$\sum i_k (R_{自} - R_{互}) = \sum u_{sk}.$$

本质: KVL

原则: 同正反逆.



节点分析法

以所有节点的电压为变量, 本质是KCL

$$\sum u_K (G_{自} - G_{互}) = \sum i_{sk}.$$

原则: 流入为正, 流出为负.

☆ 方法与支路类型小结:

	Top 1	Top 2	Top 3	Top 4	Hard Case 1	Hard Case 2
节点电压法	无伴电流源	R		无伴	无伴电压源支路: 独 ↔ 参	独 ↔ 独 ☆
网孔法(回路电流法)	无伴电压源	R		无伴	无伴电流源支路: 专属某个mesh	关联两个mesh

方法小结：

回路电流法/网孔法：

电流 i_k → 核心

列方程目的是为了求 i_k，方程形式不固定

例： $i_k(R_{自}-R_{互})=\sum u_{sk}$

$i_k = i_s + i_p$

二者等效

同理：

节点分析法：

电压 u_k → 核心

方程 → 求 u_k，形式不唯一

例： $u_k(G_{自}-G_{互})=\sum i_{sk}$

$u_k = u_s + u_p$

⇒ 等效