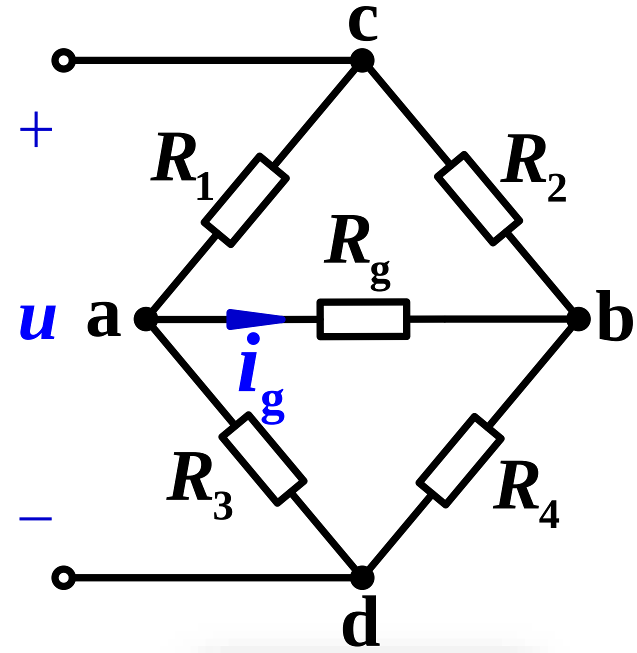
§ 2.2 常用等效二端网络

2. 电桥（惠斯通电桥）



惠斯通(Charles Wheatstone)英国物理学家，1802年2月6日生，第一次使用惠斯通电桥精确测量电阻，为各实验室所广泛应用。1843年在英国数学家克里斯蒂的建议下，他研制成功惠斯通电桥并推广其应用。

惠斯通
(Charles Wheatstone)
英国物理学家
（1802-1875）

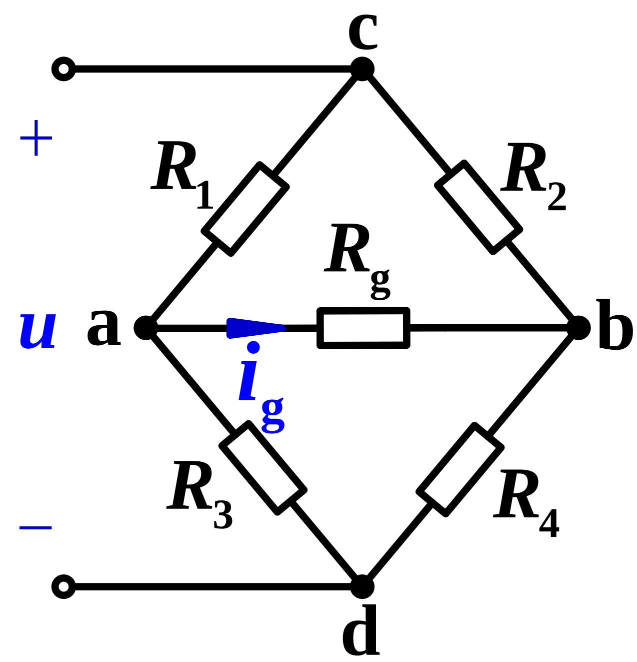
§ 2.2 常用等效二端网络

2. 电桥

当电流 $i_g = 0$ 时，称之为电桥平衡。

平衡条件？

方法1：由 $i_g = 0$

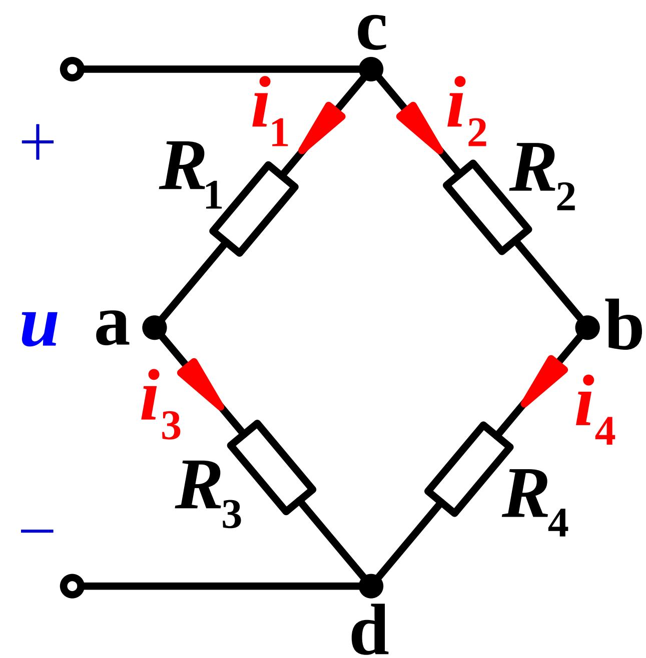


惠斯通电桥

§ 2.2 常用等效二端网络

2. 电桥

当电流 $i_g = 0$ 时，称之为电桥平衡。



惠斯通电桥

平衡条件？

方法1：由 $i_g = 0$ 则 $\boxed{i_1 = i_3}$ $\boxed{i_2 = i_4}$

由分压公式：

$$u_{ad} = \frac{R_3}{R_1 + R_3} u \quad u_{bd} = \frac{R_4}{R_2 + R_4} u$$

由 $u_{ad} = u_{bd}$ $\longrightarrow$ $\dfrac{R_3}{R_1 + R_3} = \dfrac{R_4}{R_2 + R_4}$

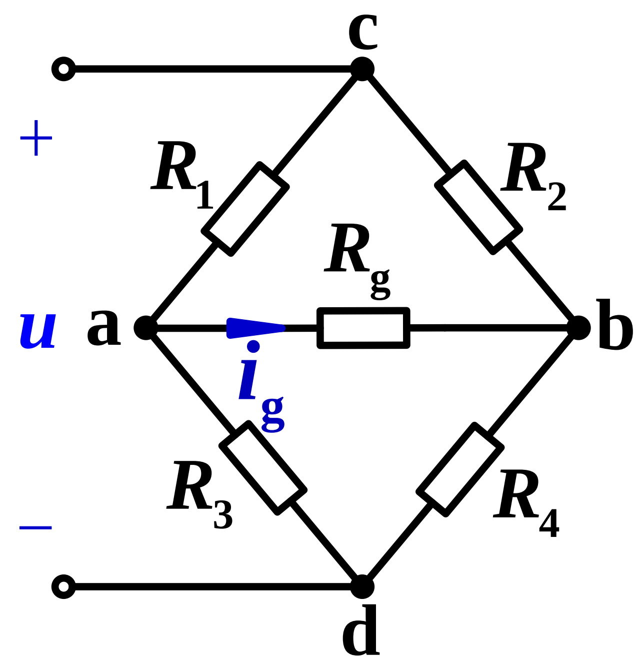
★ **平衡条件：** $\boxed{R_1 R_4 = R_2 R_3}$ 或 $\boxed{\dfrac{R_1}{R_3} = \dfrac{R_2}{R_4}}$

2. 电桥

当电流 $i_g = 0$ 时，称之为电桥平衡。

平衡条件？

方法2：由 $i_g = 0$ 则 $\boxed{u_{ad} = u_{bd}}$



惠斯通电桥

§ 2.2 常用等效二端网络

2. 电桥

当电流 $i_g = 0$ 时，称之为电桥平衡。

平衡条件？

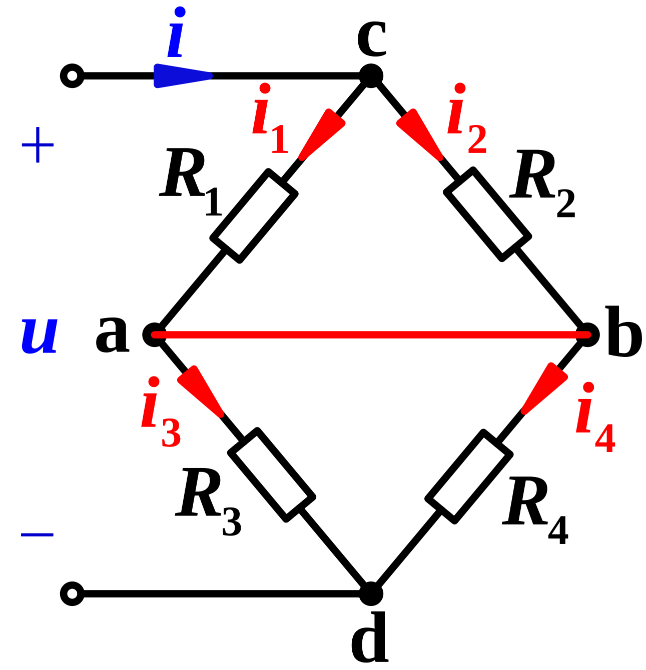
方法2： 由 $i_g = 0$ 则 $u_{ad} = u_{bd}$

由分流公式：

$$i_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} i \qquad i_3 = \frac{R_4}{R_3 + R_4} i$$

由 $i_1 = i_3$ $\longrightarrow$ $\frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{R_4}{R_3 + R_4}$

★平衡条件： $\boxed{R_1 R_4 = R_2 R_3}$ 或 $\boxed{\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4}}$



惠斯通电桥

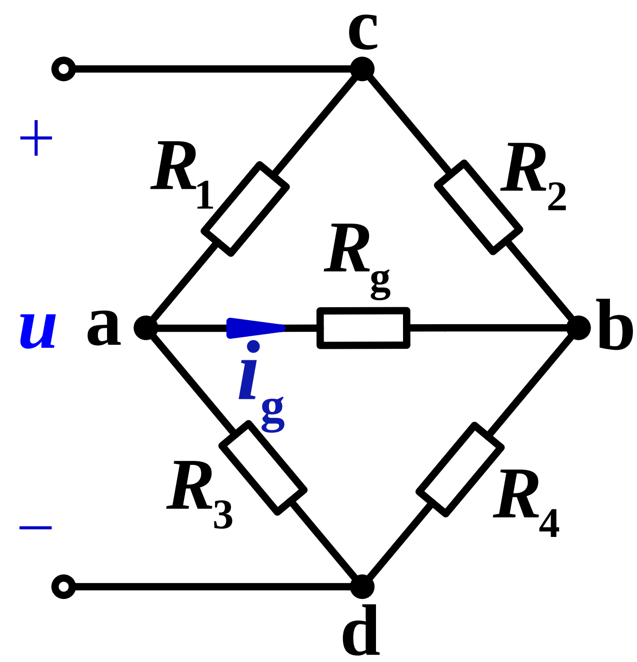
§ 2.2 常用等效二端网络

2. 电桥

当电流 $i_g = 0$ 时，称之为电桥平衡。

（1）平衡条件：

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4} \quad 或 \quad R_1 R_4 = R_2 R_3$$



惠斯通电桥

1. 电流为零的支路可以断开（开路处理）；
2. 等电位点可以短接（短路处理）。

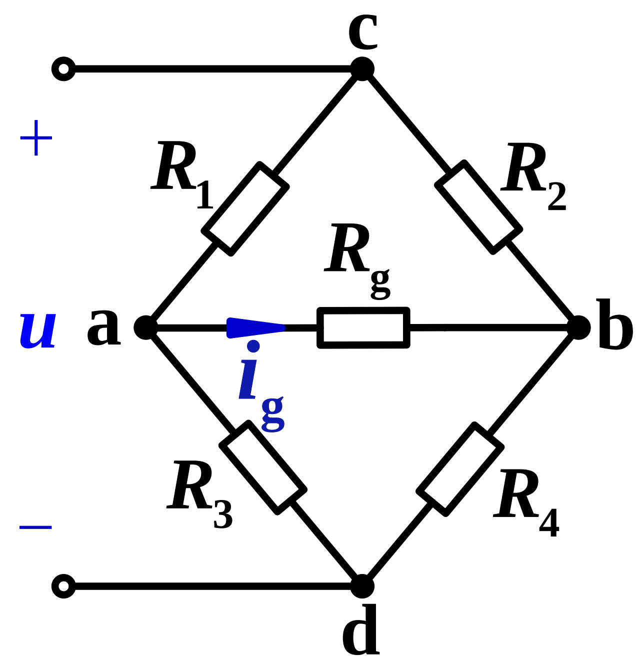
★ 等电位点间开路或短路

不影响电路的电压电流分布

§ 2.2 常用等效二端网络

2. 电桥

当电流 $i_g = 0$ 时，称之为电桥平衡。



惠斯通电桥

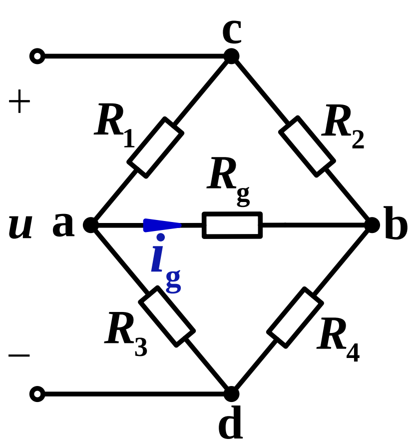
（1）平衡条件：

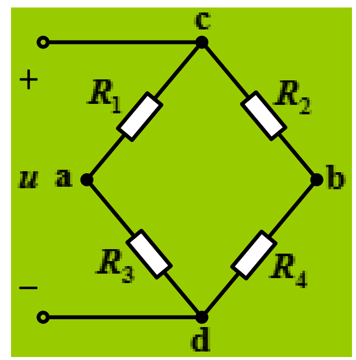
$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4}$$

或

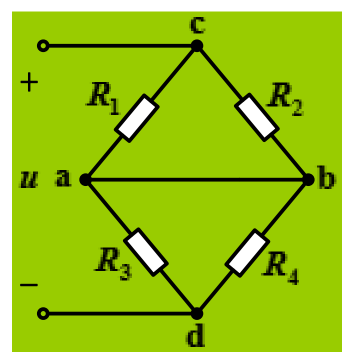
$$R_1 R_4 = R_2 R_3$$

（2）平衡电桥等效电路





$$R_{eq} = \frac{(R_1 + R_3)(R_2 + R_4)}{R_1 + R_3 + R_2 + R_4}$$

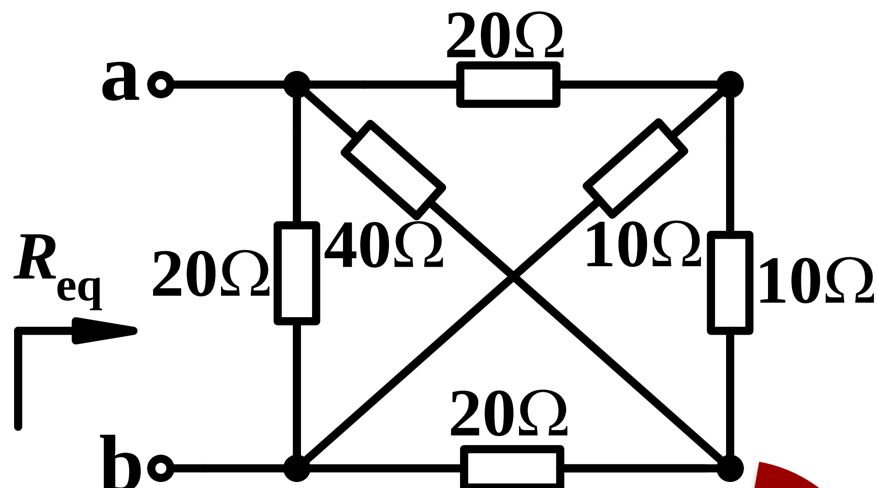


$$R_{eq} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4}$$

§ 2.2 常用等效二端网络

2. 电桥

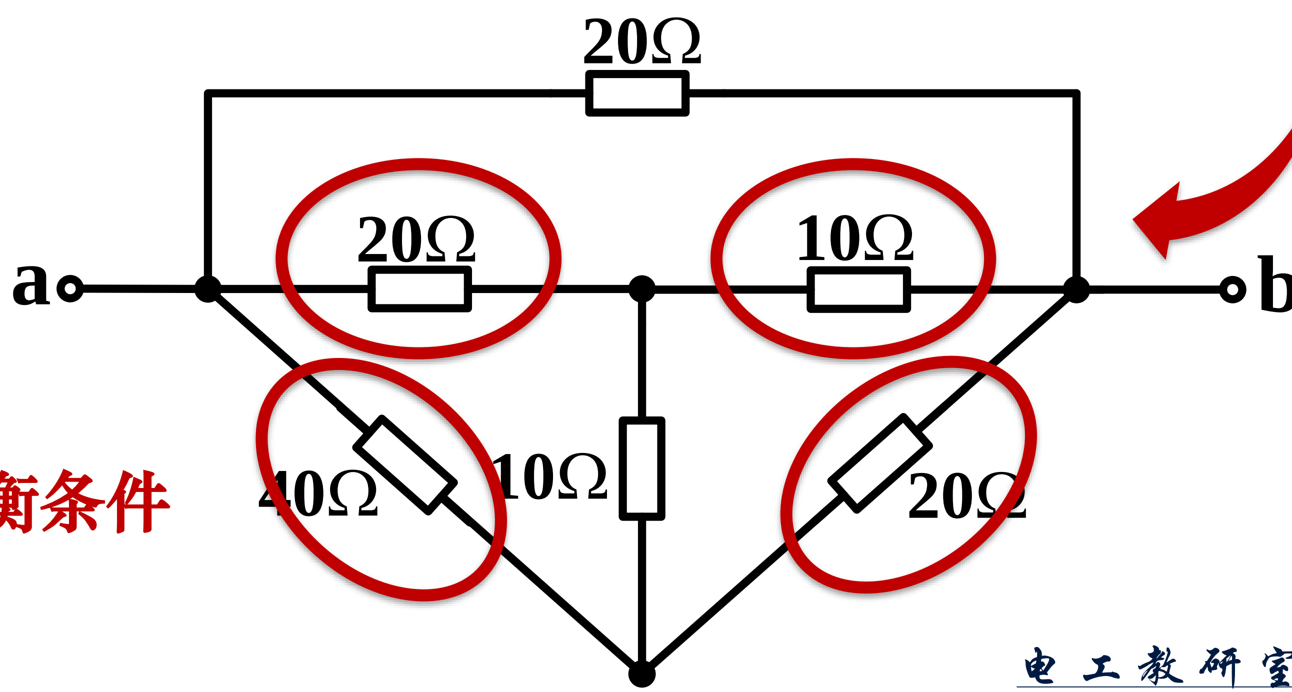
【例】求如图所示电路的等效电阻。



解：

$$R_{eq}=20//(20+10)//(40+20)$$

$$=10\Omega$$

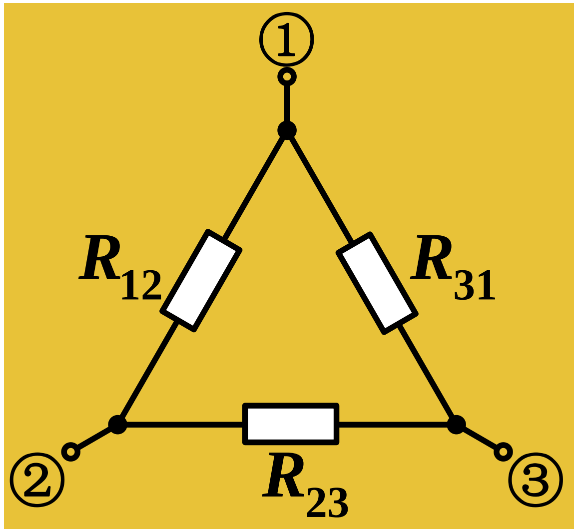


★ 满足电桥平衡条件

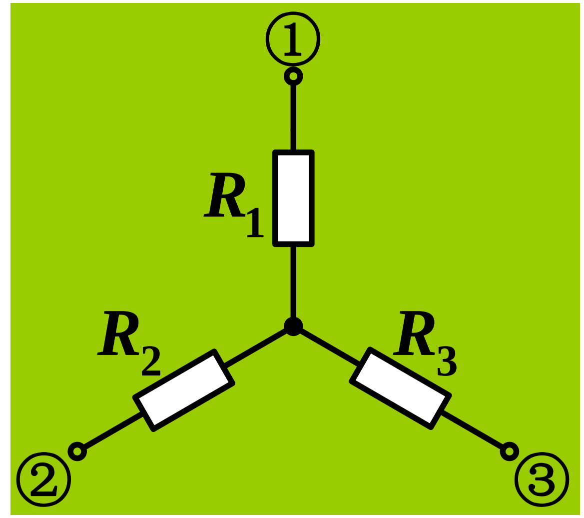
§ 2.2 常用等效二端网络

肯内利(Arthur Kennelly)，1899年提出 Y—△ 变换

3. 星角变换



三角形网络



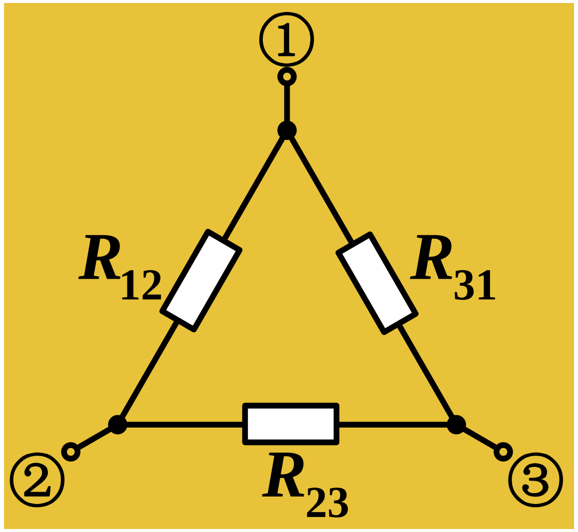
星形网络

等效条件

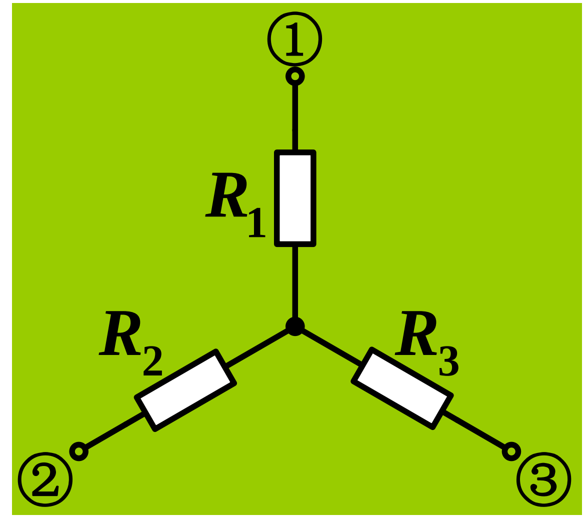
$$\begin{cases} R_1 + R_2 = \dfrac{R_{12}(R_{23}+R_{31})}{R_{12}+R_{23}+R_{31}} & \text{（③端开路）} \\ R_3 + R_1 = \dfrac{R_{31}(R_{12}+R_{23})}{R_{12}+R_{23}+R_{31}} & \text{（②端开路）} \\ R_2 + R_3 = \dfrac{R_{23}(R_{31}+R_{12})}{R_{12}+R_{23}+R_{31}} & \text{（①端开路）} \end{cases}$$

§ 2.2 常用等效二端网络

3. 星角变换



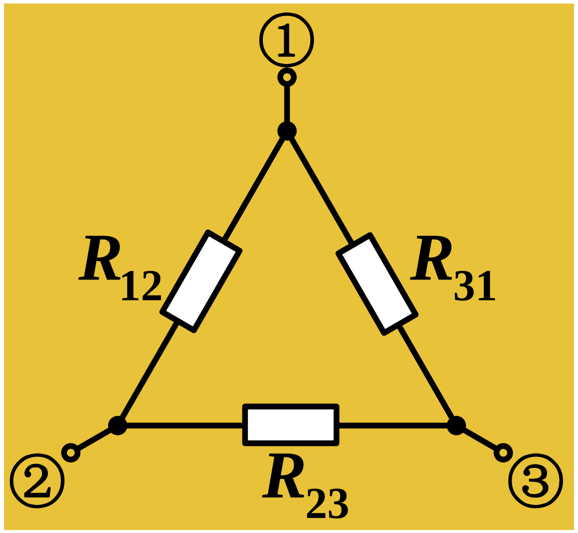
三角形网络



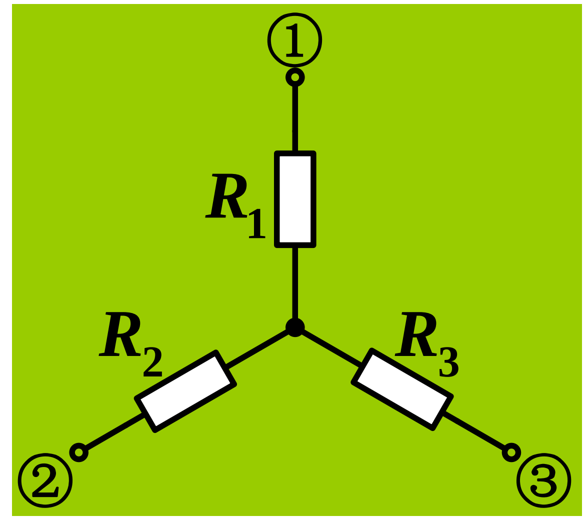
星形网络

$$Y \longrightarrow \Delta \quad \begin{cases} R_{12} = \dfrac{R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1}{R_3} \\ R_{23} = \dfrac{R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1}{R_1} \\ R_{31} = \dfrac{R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1}{R_2} \end{cases}$$

3. 星角变换



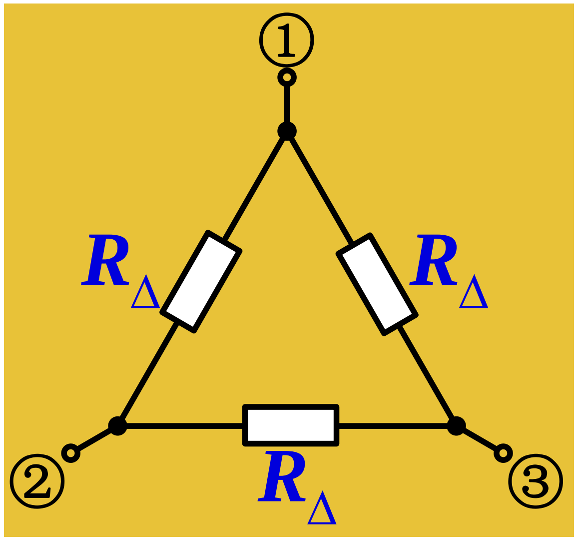
三角形网络



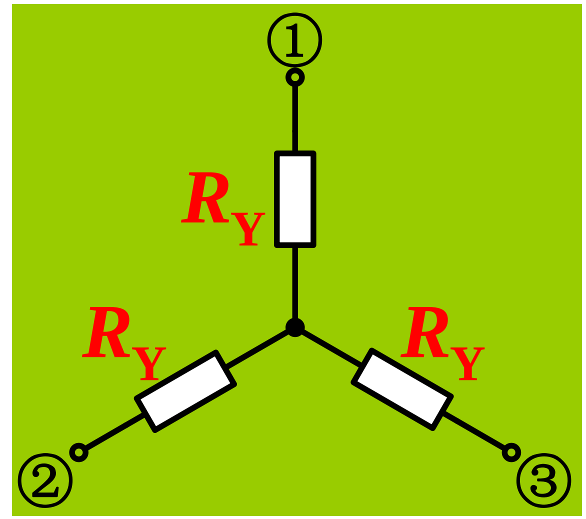
星形网络

$$\Delta \longrightarrow \mathrm{Y} \quad \begin{cases} R_1 = \dfrac{R_{12}R_{31}}{R_{12}+R_{23}+R_{31}} \\[2ex] R_2 = \dfrac{R_{23}R_{12}}{R_{12}+R_{23}+R_{31}} \\[2ex] R_3 = \dfrac{R_{31}R_{23}}{R_{12}+R_{23}+R_{31}} \end{cases}$$

3. 星角变换



三角形网络



星形网络

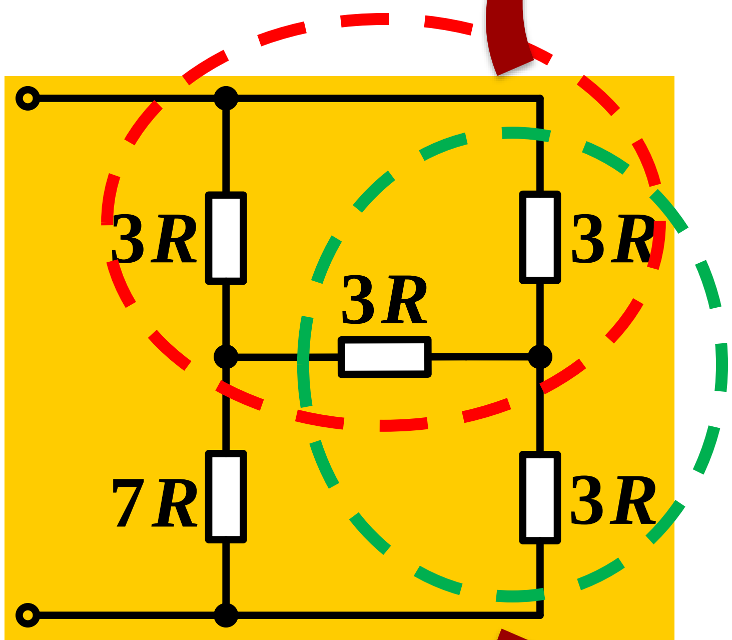
★对称情况下

$\Delta \longrightarrow Y$ $\quad R_Y = \frac{1}{3} R_\Delta$

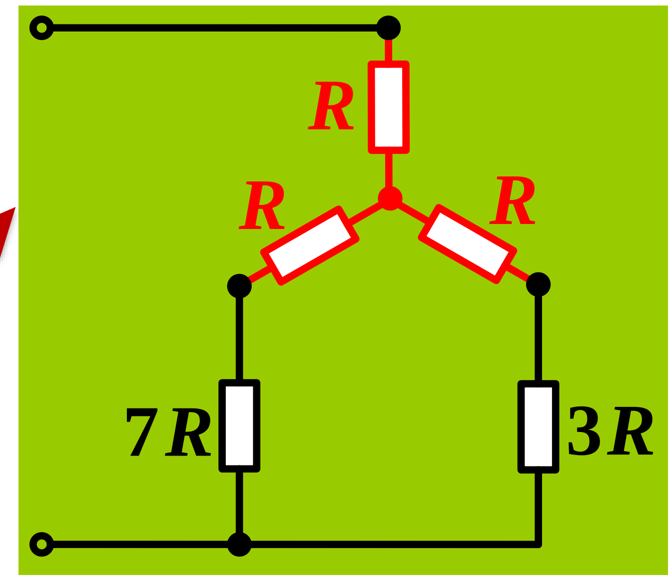
$Y \longrightarrow \Delta$ $\quad R_\Delta = 3 R_Y$

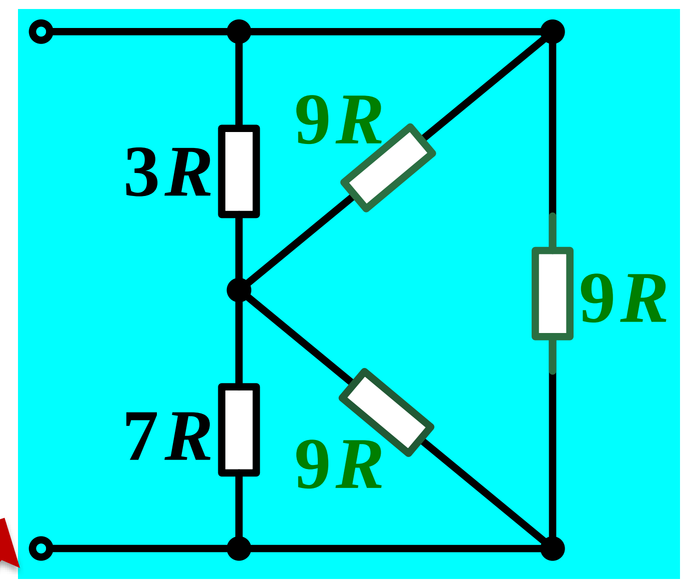
§ 2.2 常用等效二端网络

3. 星角变换



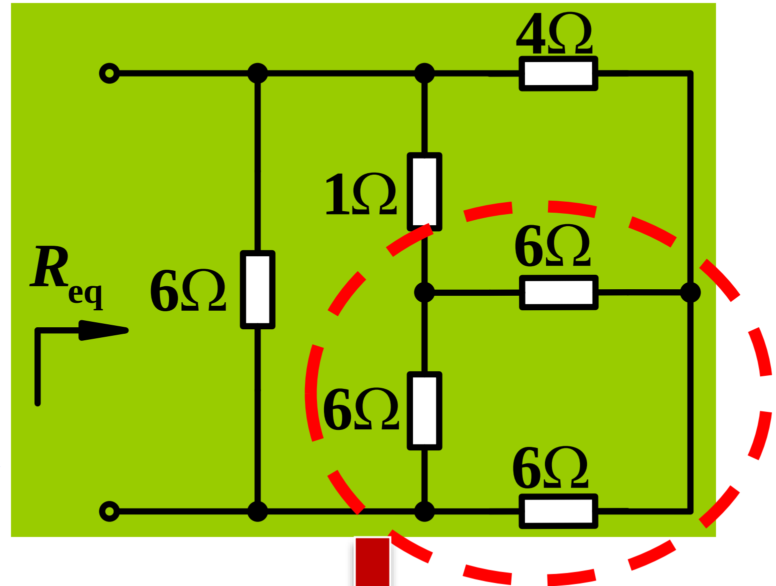
不平衡电桥





3. 星角变换

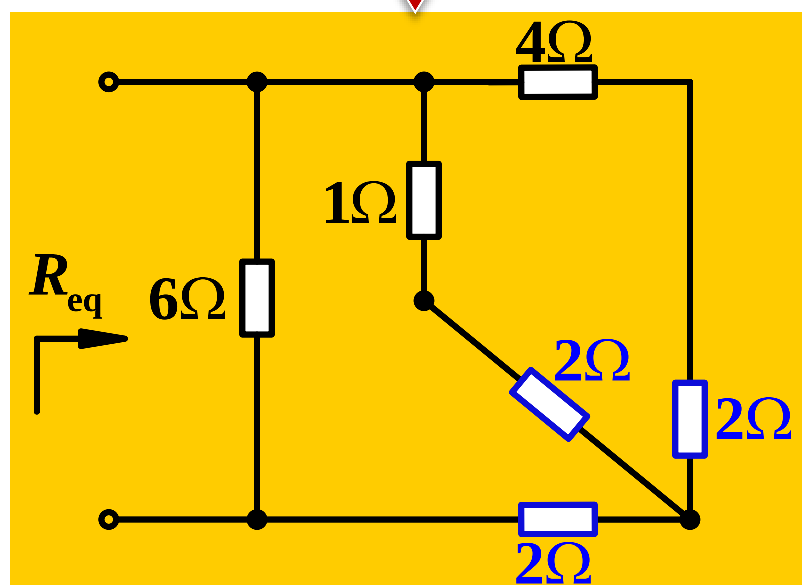
【例】求如图所示电路的等效电阻。



解：

将对称Δ形连接等效为对称的Y形连接

用串并联化简电路，求出等效电阻

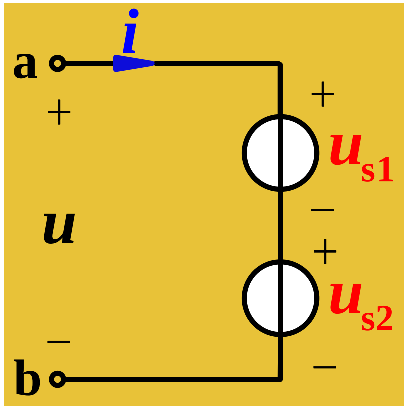


$$R_{eq} = 6//[(4+2)//(1+2)+2]$$

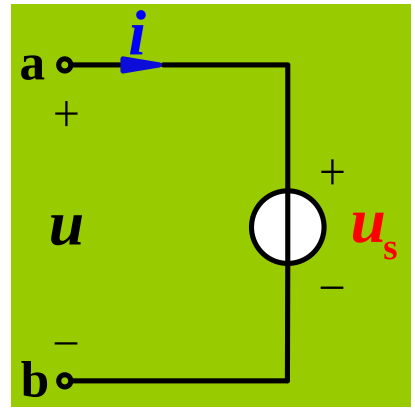
$$= 2.4\Omega$$

4. 电源的串并联等效

电压源串联

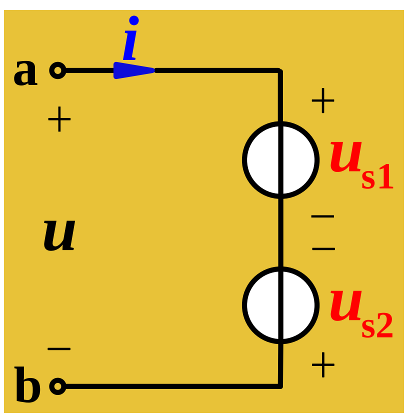


等效

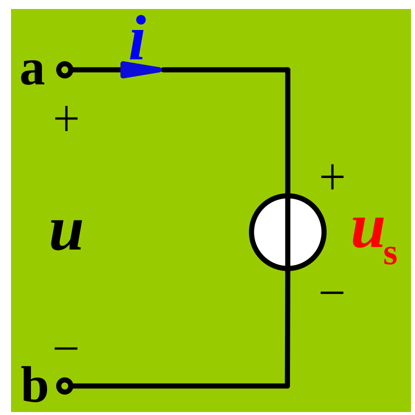


$$u_s = u_{s1} + u_{s2}$$

KVL的体现



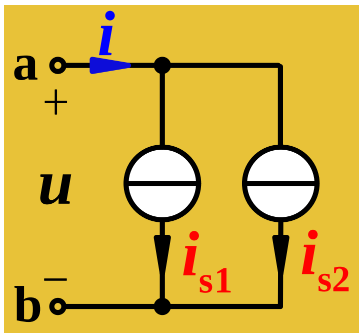
等效



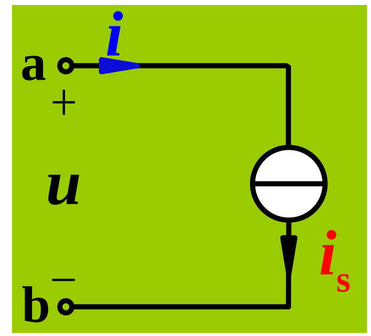
$$u_s = u_{s1} - u_{s2}$$

4. 电源的串并联等效

电流源并联

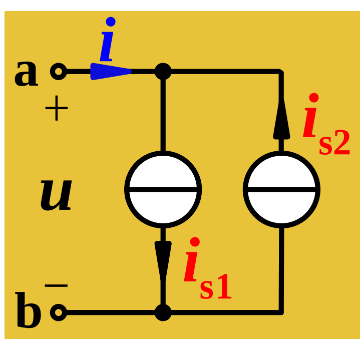


等效

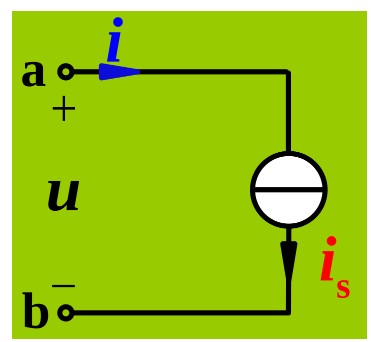


$$i_s = i_{s1} + i_{s2}$$

KCL的体现



等效



$$i_s = i_{s1} - i_{s2}$$

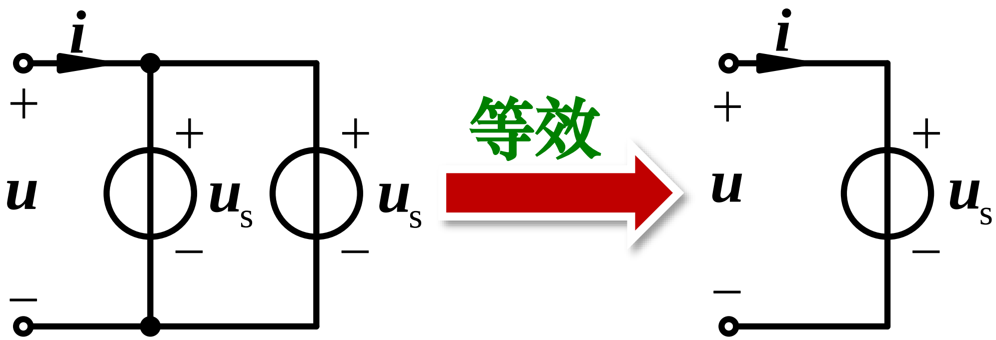
§ 2.2 常用等效二端网络

4. 电源的串并联等效

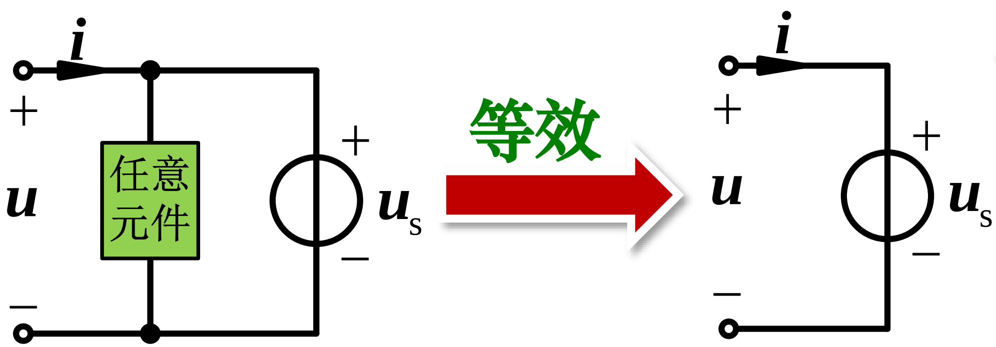
多余元件的处理

两个电压不相同的电压源能并联不？

（1）电压源并联的元件



电压相同的电压源才能并联，且每个电源的电流不确定。



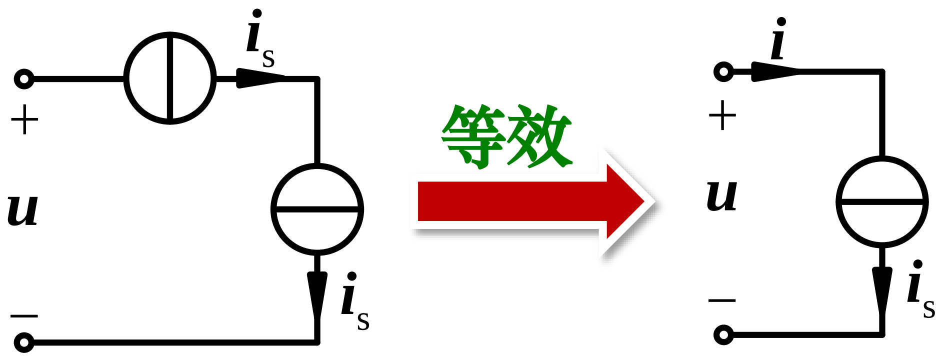
★ 与电压源并联的元件称为**多余元件**（虚元件），可以作为**开路处理**。

多余元件对电路就一点儿作用都没有？？（弹幕）

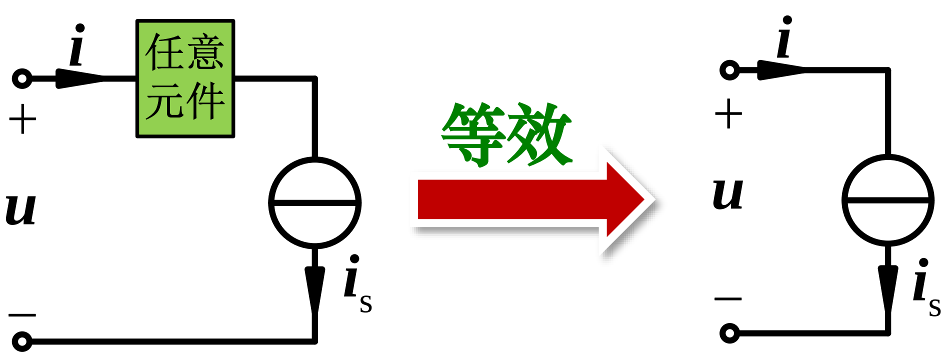
4. 电源的串并联等效

多余元件的处理

（2）电流源串联的元件



电流相同的电流源才能串联，且每个电源的电压不确定。



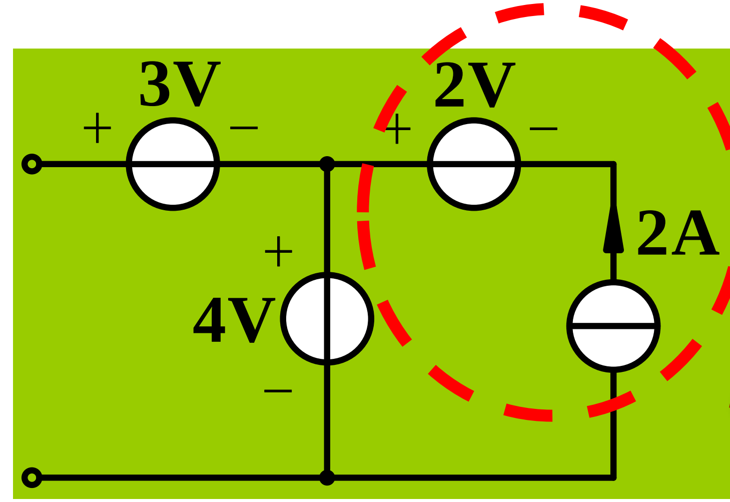
★ 与电流源串联的元件称为**多余元件**（虚元件），可以作为**短路处理**。

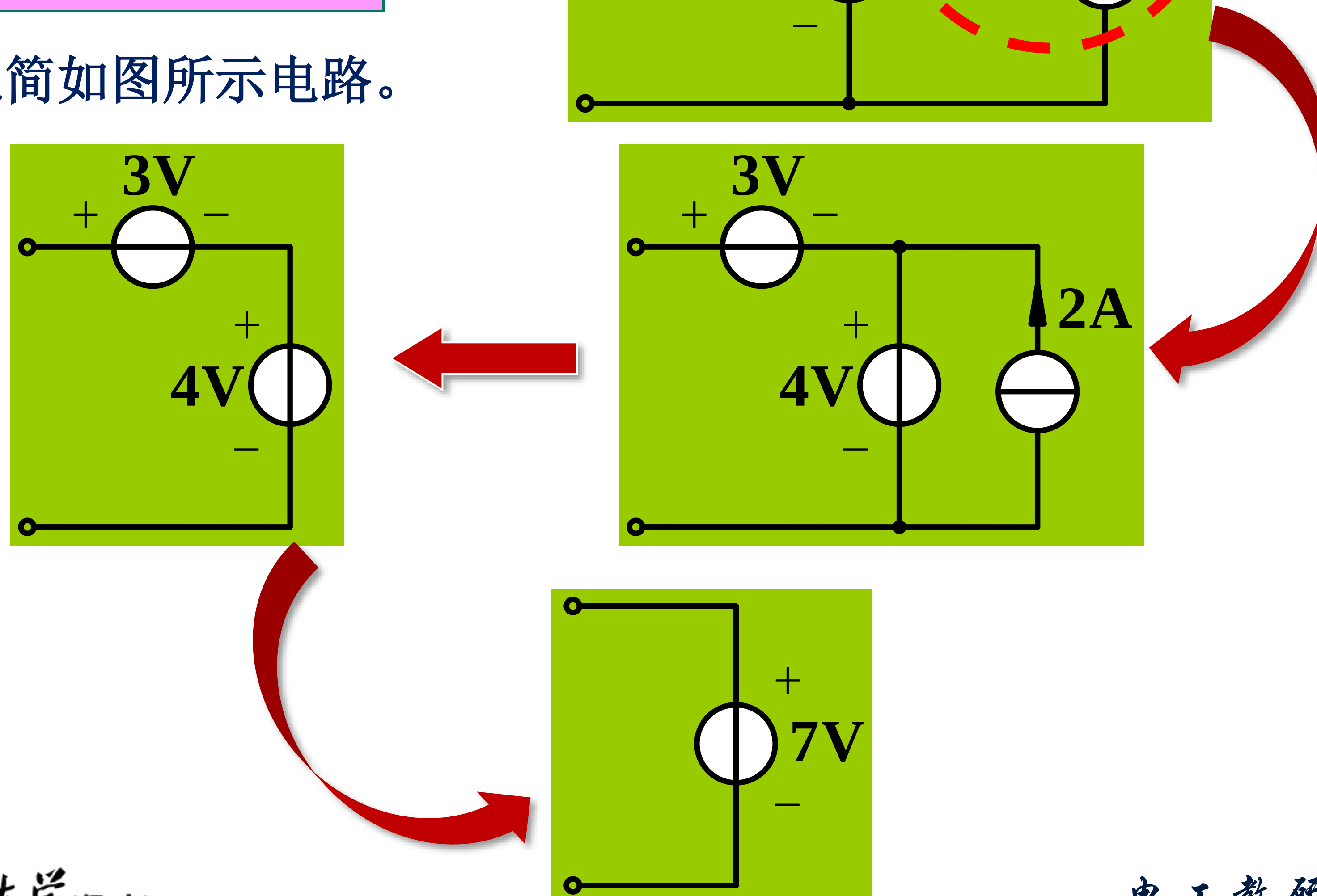
4. 电源的串并联等效

多余元件的处理

【例】化简如图所示电路。

解：

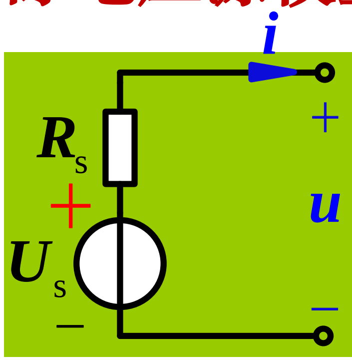




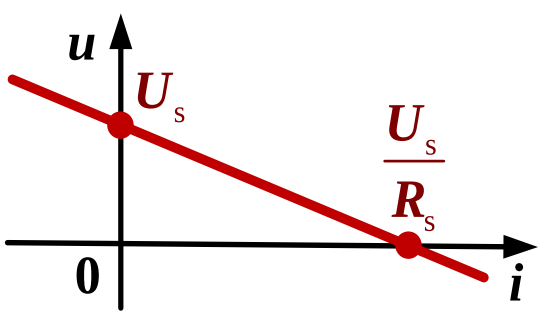
4. 电源的串并联等效

电源模型的等效变换

实际电压源模型

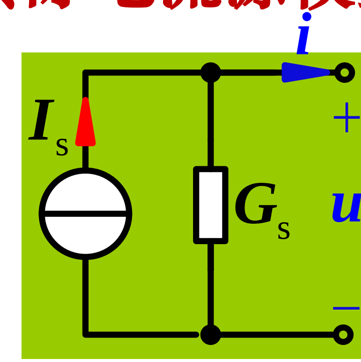


$$u = U_s - R_s i$$

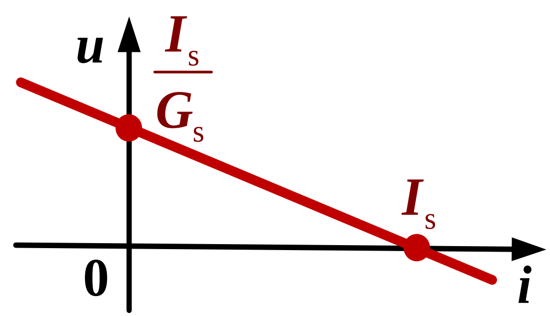


等效变换

实际电流源模型



$$i = I_s - uG_s$$

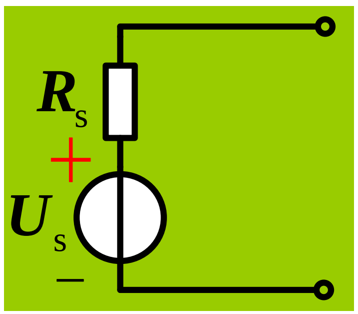


4. 电源的串并联等效

如此重要之内容，
一定记住鸭~~~~！

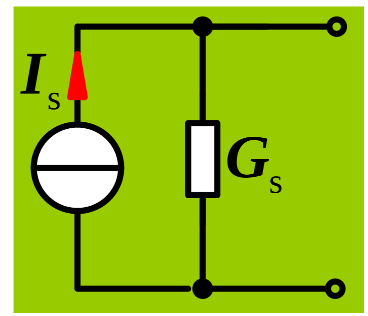
电源模型的等效变换

实际电压源模型



等效变换

实际电流源模型



★ 等效条件：

$$R_s = 1/G_s$$

$$U_s = R_s I_s$$

★ 电源方向：“+”对应“⬆”