

6月24日14:30-16:45，提前10分钟到考场，地点请查看教务处系统

请携带证件、**计算器**、文具入场！**严禁携带任何电子设备和纸张！**

一、填空题（每空1分，共20分）→ 涵盖各章知识（随堂测试）

二、直流电路计算题（共22分）→ 电路的五种分析方法

受控电源
电路分析

叠加原理（10分）

戴维南定理（12分）

题目灵活，嵌套其他方法
建议按步骤做题
建议最后做这两题

三、两级放大电路分析题（20分）→ 静态+动态 直接或阻容

四、功率放大电路计算题（15分）→ 三个问题计算+原理问答

五、集成运算电路分析题（10分）→ 多个集成运放的组合

芯片基本知识、运算功能判断和计算、平衡电阻计算、反馈判断

六、电路设计题（13分）→ 1、二极管/稳压管应用→ 实验二或三的内容
2、按需引入负反馈、深度负反馈估算、性能改善

课程网站上有所有
作业讲解视频

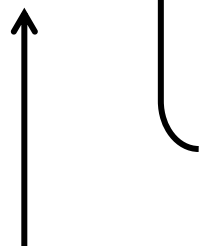
例题作业重点复习



第一章 基础电路

※ 电路
分析方法

第8-10次课
重点复习



§ 1 电路的组成和功能

§ 2 电路中的物理量

§ 3 基尔霍夫定律

看清电路结构



§ 4 电阻的联接方式 → 标电位点法

§ 5 独立电源 → 电源等效变换定理

§ 6 支路电流法 → 万能分析法

§ 7 节点电位法 → 两节点电压公式

§ 8 叠加原理

§ 9 等效电源定理 → 戴维南定理

§ 10 受控电源

§ 11 正弦交流电路 → 填空题

§ 2 电路中的物理量



一、电流 (I) ※ 参考方向的概念

二、电压 (U_{ab}) 所有电路都必须根据方向写公式

三、电位 (V_a)
$$U_{ab} = V_a - V_b$$

四、欧姆定律

- 当 U 和 I 的参考方向相同时, $U = IR$
- 当 U 和 I 的参考方向相反时, $U = -IR$

五、电能 (W)

六、功率 (P) ※ 应用: 利用功率计算来判断一个元件的性质

当 U 和 I 参考方向相同 $P = UI$

当 U 和 I 参考方向相反 $P = -UI$

$P > 0 \rightarrow$ 负载 单位 W (瓦特)

$P < 0 \rightarrow$ 电源

§ 3 基尔霍夫定律



一、基尔霍夫电流定律 (KCL)

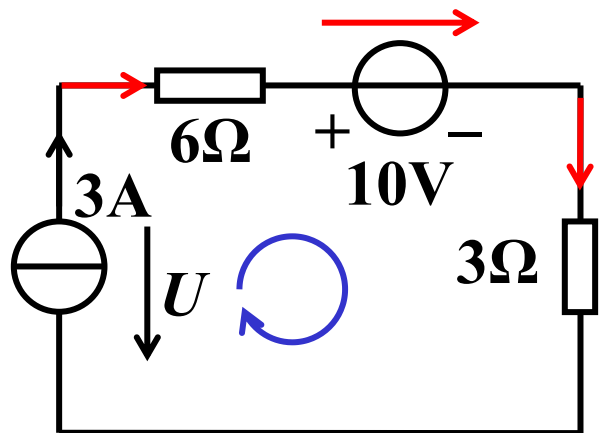
$$\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}}$$

注意：KCL可推广应用到电路中任意假设的封闭面（广义节点）

二、基尔霍夫电压定律 (KVL)

$$\sum U = 0$$

注意1：回路内的每一个元件都要判断（恒流源两端存在电压）



U 、 IR 参考方向与绕行方向相同时取“+”

U 、 IR 参考方向与绕行方向相反时取“-”

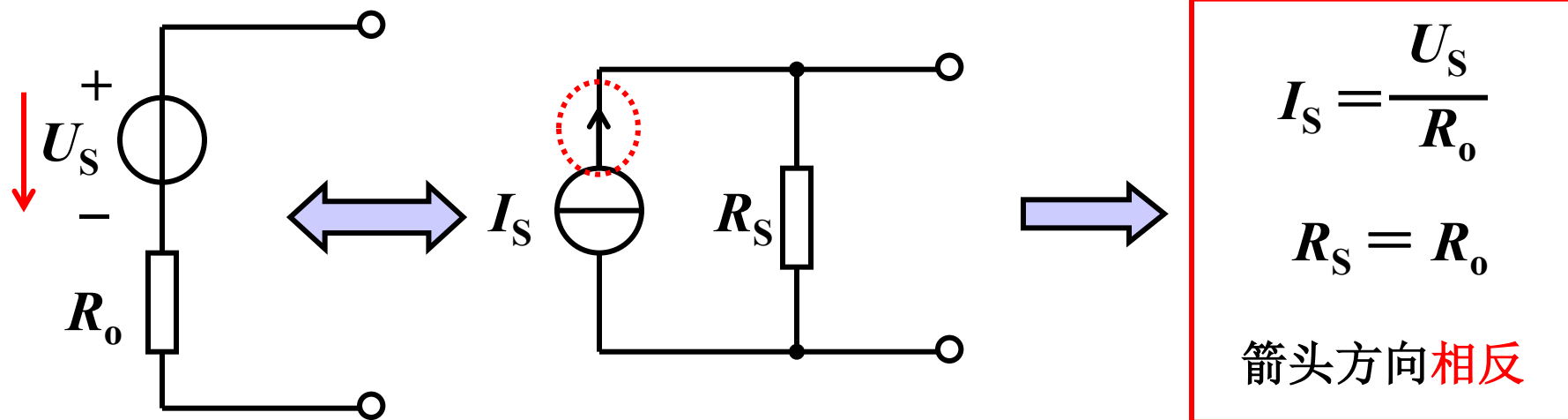
$$KVL: 6 \times 3 + 10 + 3 \times 3 - U = 0 \rightarrow U = 37V$$

$$P_{10V} = 3 \times 10 \rightarrow \text{消耗电能} \quad P_{3A} = -3U < 0 \rightarrow \text{提供电能}$$

注意2：电路在开路时，断开的两点间存在电压（开路电压 U_0 ）

在交流电路中，只能对瞬时值或相量书写KCL和KVL公式。

分析方法一：电源等效变换定理

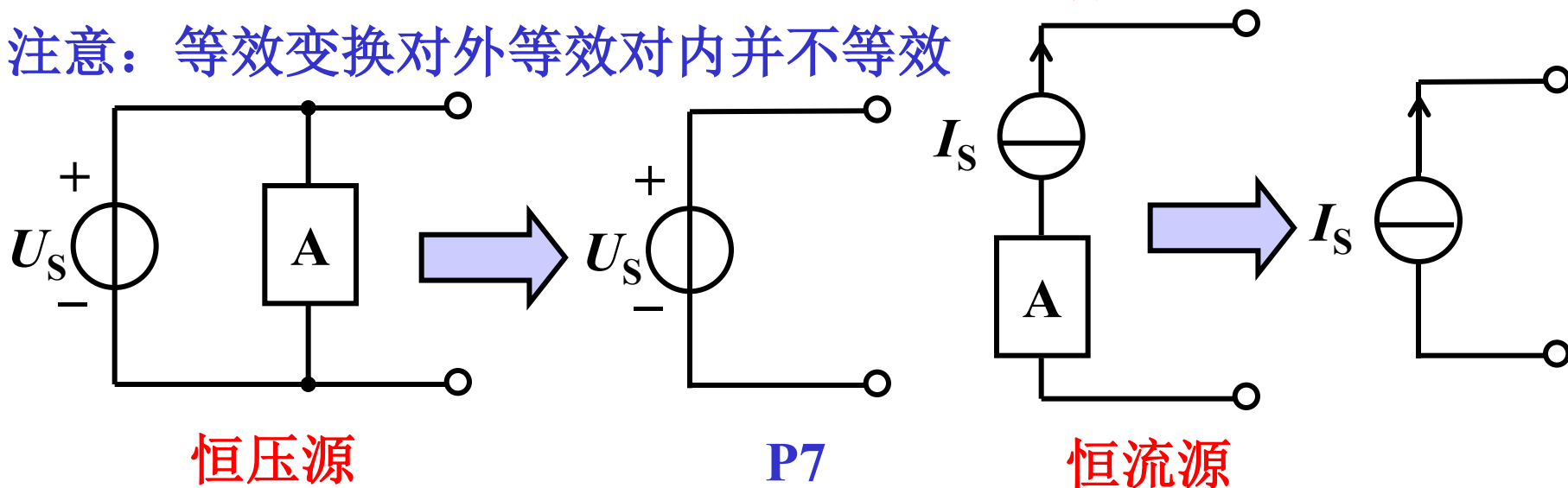


站在待求元件角度根据电路结构选择简化原则

P9、P28 第12-

注意：每一次等效变换均不允许动到待求元件。13题、课堂例题

注意：等效变换对外等效对内并不等效

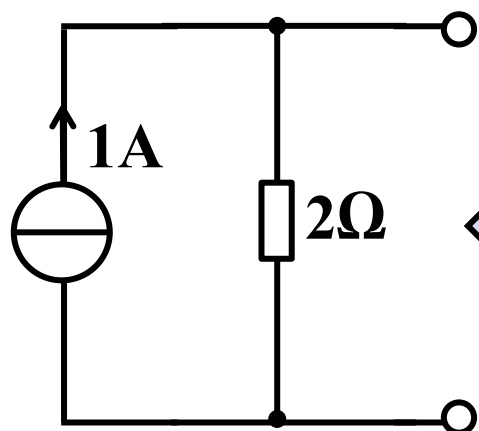
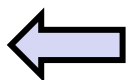
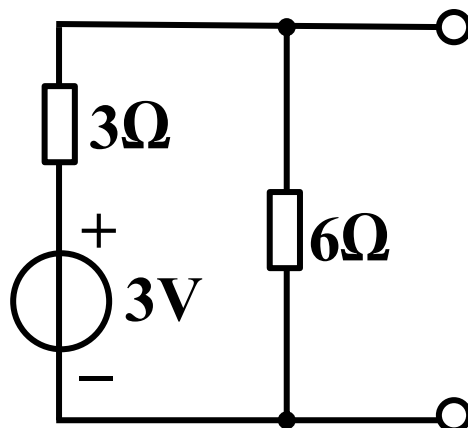
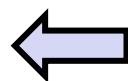
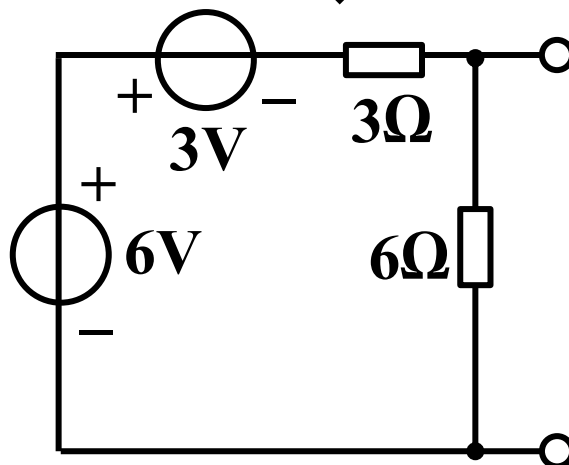
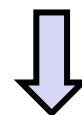
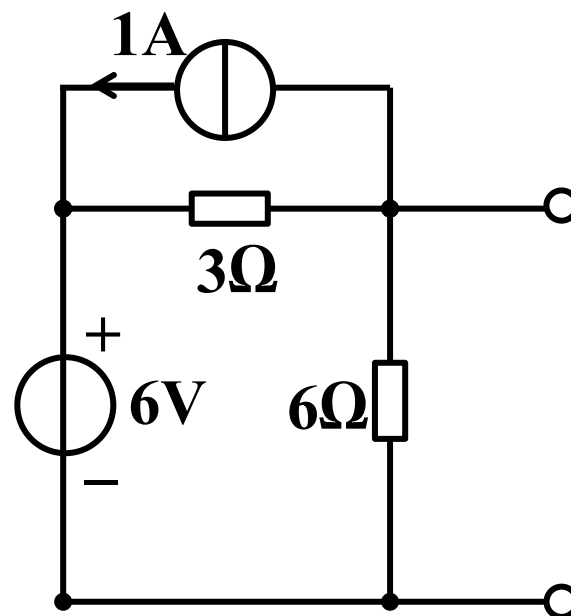
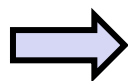
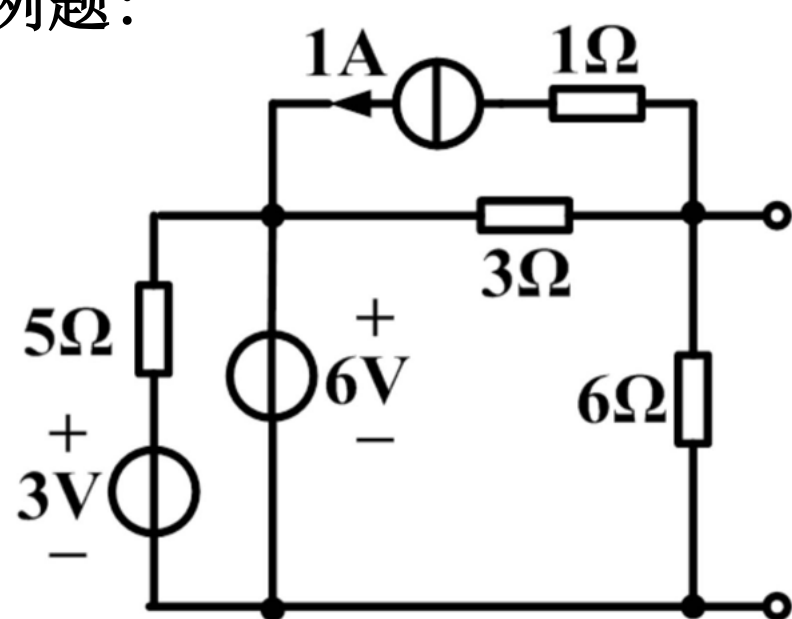


恒压源

P7

恒流源

例题：



分析方法二：支路电流法 → 特别适合于无从入手的电路

原理：以电路中的所有支路电流为未知量，利用基尔霍夫定律，列出方程组，联立方程组进行求解。

分析方法三：节点电位法 → 特别适合于广义两节点电路

一个节点作为参考点，另一个节点的电位用两节点电压公式：

当 U_s 的参考方向和 V_a 相同取+，相反取- $V_a = \frac{\sum \frac{U_s}{R} + \sum I_s}{\sum \frac{1}{R}}$

流入节点a取+
流出节点a取-

例题：P28第14、15题、
课堂例题

注意：① 分子部分关于代数和的定义；

② 与恒流源串联的所有元件都不影响 V_a 的求解。

因此展开公式时，与恒流源串联的元件均不能出现在表达式中

建议：求 V_a 时，展开公式前可先擦去与恒流源串联的所有元件

已知: U_{S1} 、 U_{S2} 、 I_{S3} 、 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 求: $U=?$

1、选节点 b 做为参考点, $V_b=0$

2、使用两节点电压公式求 V_a

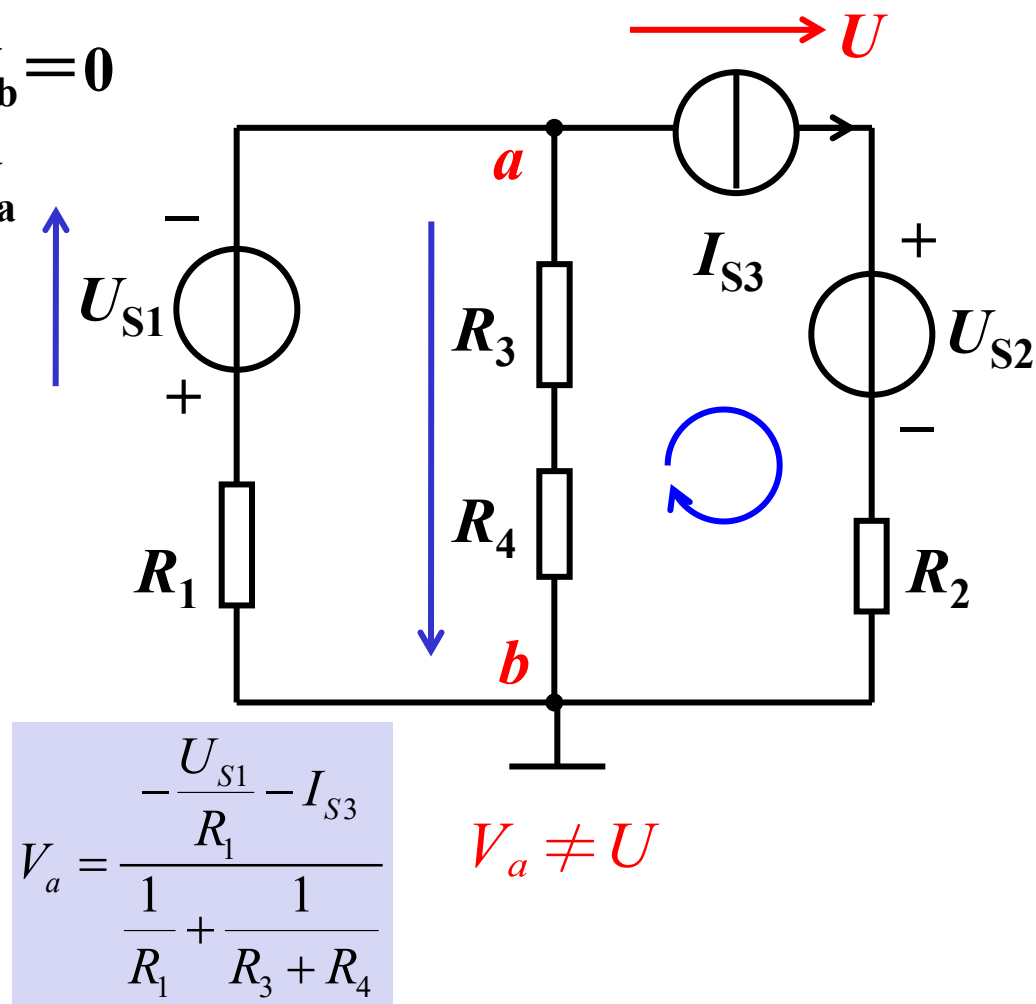
$$V_a = \frac{\sum \frac{U_s}{R} + \sum I_s}{\sum \frac{1}{R}}$$

$$V_a = \frac{-\frac{U_{S1}}{R_1} + \cancel{\frac{U_{S2}}{R_2}} + I_{S3}}{\frac{1}{R_1} + \cancel{\frac{1}{R_2}} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}}$$

流出
取负

合并

展开前可先擦去与恒流源
串联的所有元件



$$U + U_{S2} + I_{S3}R_2 - V_a = 0 \rightarrow U = ?$$

等效变化仅对外电路等效, 对内电路并不等效 必须回到原图求 U

第7次课小测：① 求 $V_a = ?$

② 恒流源1A、3A和恒压源18V的功率，并判断其性质。

先擦去与恒流源串联的元件

$$V_a = \frac{\sum \frac{U_s}{R} + \sum I_s}{\sum \frac{1}{R}} = \frac{-\frac{18}{3} + 1 - 3}{\frac{1}{6} + \frac{1}{3}} = -16V$$

必须回到原图求功率

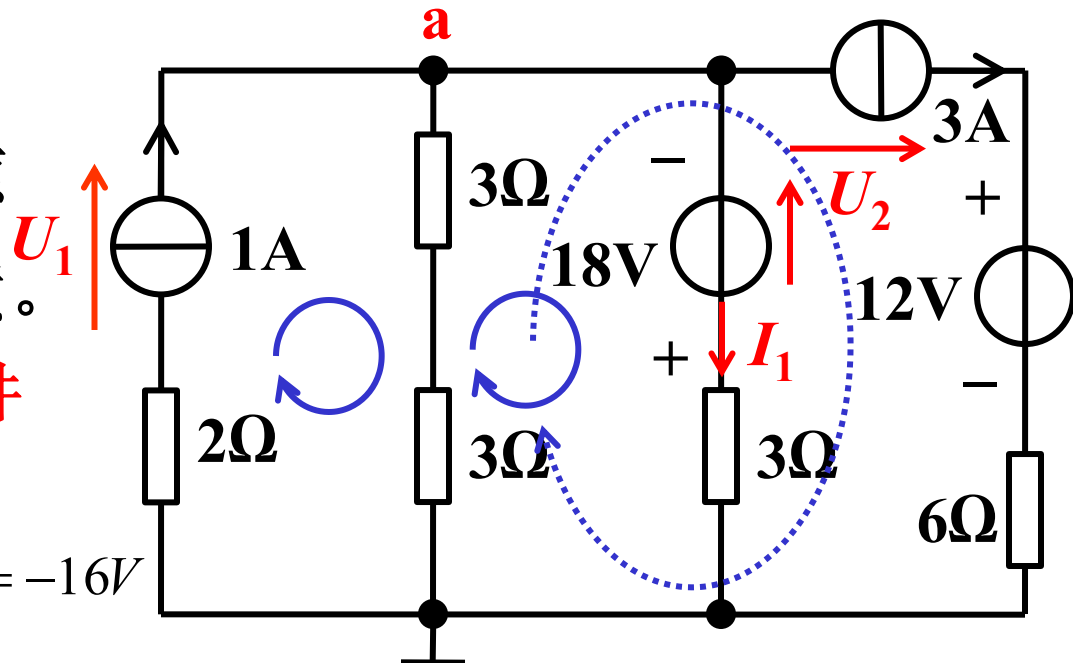
等效变换对内电路不成立

$$V_a + 1 \times 2 + U_1 = 0 \rightarrow U_1 = 14V$$

$$U_2 + 12 + 3 \times 6 - V_a = 0 \rightarrow U_2 = -46V$$

$$-18 + 3I_1 - V_a = 0 \rightarrow I_1 = \frac{2}{3}A$$

可利用能量守恒定理检查



U 和 I 参考方向相同, $P = UI$

U 和 I 参考方向相反, $P = -UI$

$P > 0 \rightarrow$ 负载 $P < 0 \rightarrow$ 电源

$$P_{1A} = U_1 \times 1 = 14W > 0 \quad \text{负载性质}$$

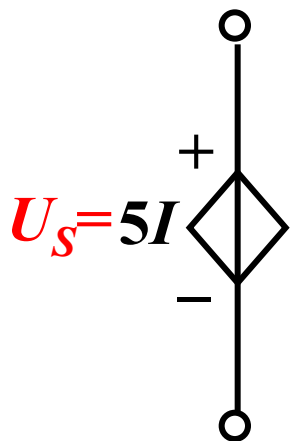
$$P_{3A} = U_2 \times 3 = -138W < 0 \quad \text{电源性质}$$

$$P_{18V} = -18 \times I_1 = -12W < 0 \quad \text{电源性质}$$

P_{12V} 和各电阻的功率 (I^2R 或 U^2/R)

分析方法四：叠加原理 → 拆分 → 逐一攻破 → 叠加

解题步骤： 1、画出各个独立电源单独作用时的分图



注意1：受控源不能除源，应保留在分图中；

① 独立电源除源：恒压源短路；恒流源开路；

② 建议分量的参考方向保持和总量一致

2、根据分图求分量； P25 例1-17; P30 1-24; 实验一

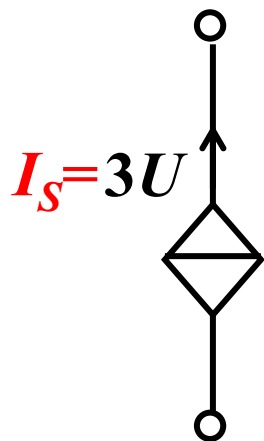
注意2：看清受控源的种类

注意3：分图可能需要利用电路的其他分析方法

方法一：电源等效变换定理

方法二：支路电流法 → 遇到无从入手的分图时

方法三：节点电位法



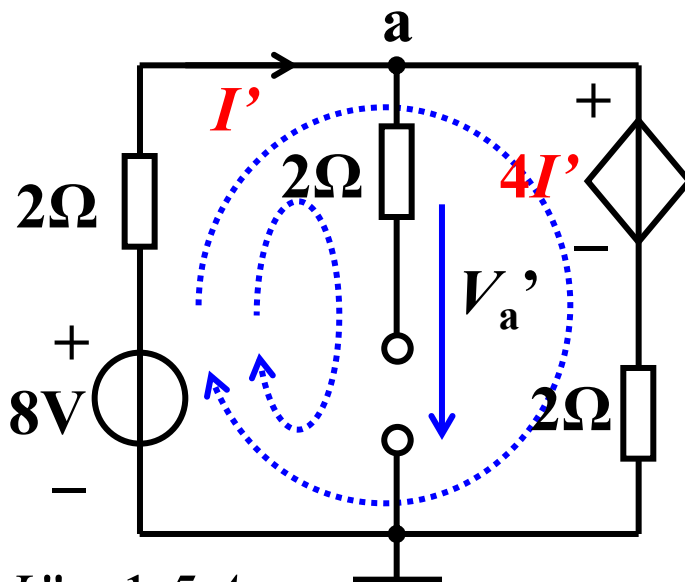
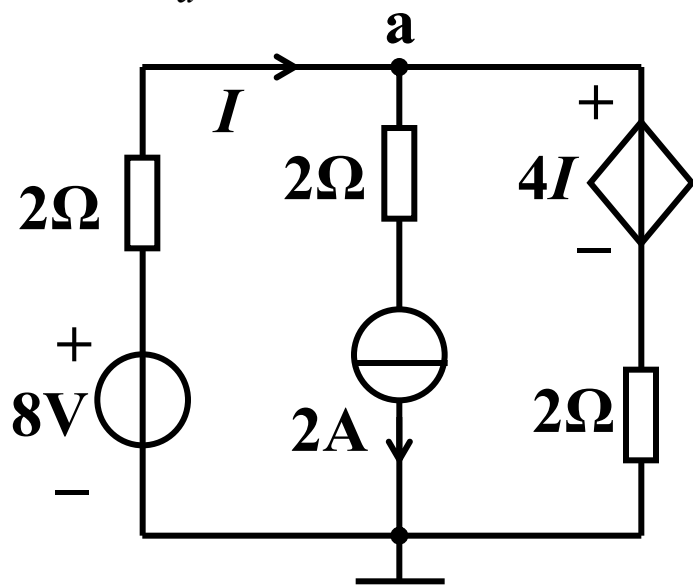
3、根据分量和总量的参考方向，求出总量

例题：用叠加原理求 $I=?$ $V_a=?$ 在总图中用两节点电压公式快速检查！

$$4I' + 2I' - 8 + 2I' = 0 \rightarrow I' = 1A$$

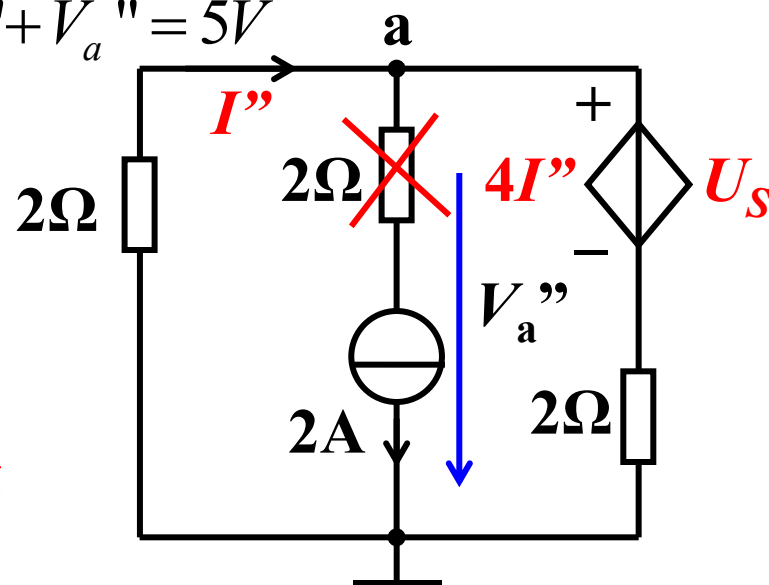
$$V_a' - 8 + 2I' = 0 \rightarrow V_a' = 6V$$

或者 $V_a' = 4I' + 2I' = 6V$



$$I = I' + I'' = 1.5A$$

$$V_a = V_a' + V_a'' = 5V$$



$$V_a'' = \frac{\sum \frac{U_s}{R} + \sum I_s}{\sum \frac{1}{R}} = \frac{\frac{4I''}{2} - 2}{\frac{1}{2} + \frac{1}{2}}$$

$$V_a'' = -2I''$$

欧姆定律

$$\rightarrow I'' = 0.5A; \quad V_a'' = -1V;$$

分析方法五：戴维南定理 → 化繁为简

按步骤求解

不要轻易放弃

每一步相对独立

1、取出待求支路，得到一个有源二端网络；

2、求该有源二端网络的开路电压 U_o ；

建议：开路电压参考方向与待求支路参考方向设为相同；

简单情况下使用 **KVL** 直接求解 P30 1-21

复杂情况下配合其他分析方法 P29 1-19

电源等效变换定理

支路电流法

节点电位法

叠加原理

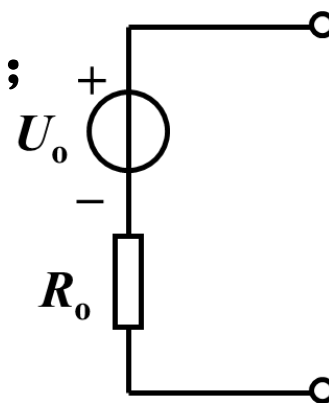
3、求有源二端网络除源后的等效内阻 R_o 。

只有独立源时：恒压源短路、恒流源开路；→ 用 **标电位点法** 求解

若含受控源时：开路短路法或外加电源法；

4、画出等效电压源模型

5、将待求支路放入等效电路求解；

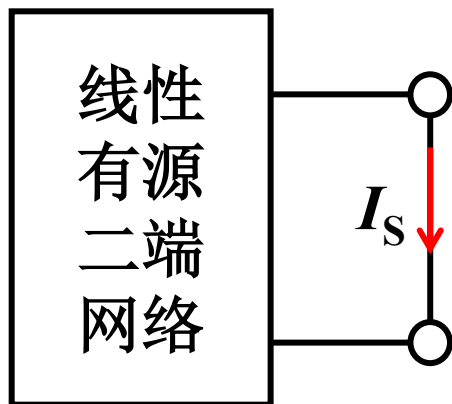
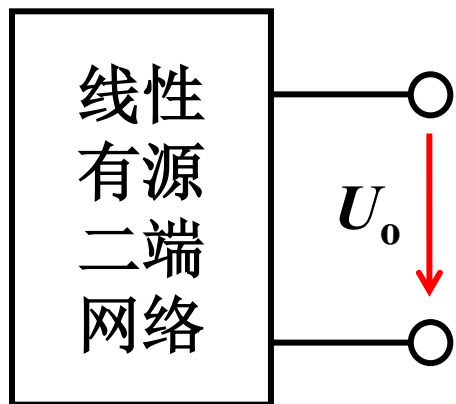


电压源和
开路电压
参考方向
设为相同

戴维南定理的注意事项:

需要利用特殊方法求 R_0

若有源二端网络内含有受控源, 则受控源不能除源, 必须保留。



方法一: 开路短路法

① 求开路电压 U_o

② 求短路电流 I_s

③ $R_o = \pm U_o / I_s$

无需除源

P26 1-18; P30 1-26; 实验一; 随堂测试 建议: I_s 和 U_o 参方设置相同

适合于独立电源较多或者短路电流难求的情况

加压求流法

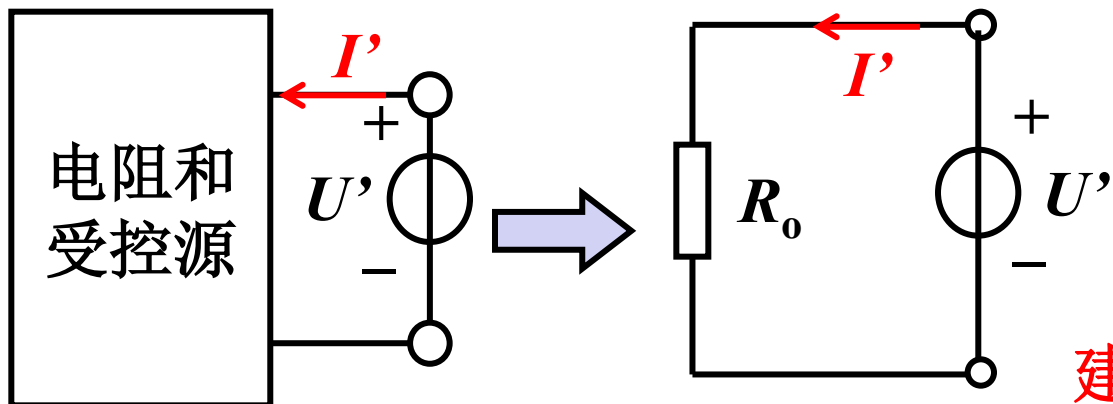
方法二: 外加电源法

① 先消除独立电源

保留电阻和受控源

② 外加电压 U' 求 $I'=?$

③ $R_o = \pm U' / I'$



建议: I' 从 U' 的正极流出

- (1) 求解开路电压 U_o ;
- (2) 利用开路短路法求等效内阻 R_o ;
- (3) 利用外加电源法求等效内阻 R_o ;
- (4) 画出等效电压源模型;
- (5) $R_L = ?$ 获得最大功率; $P_{L\max} = ?$

(1) 利用两节点电压公式得到 V_a :

$$V_a = \frac{\sum \frac{U_s}{R} + \sum I_s}{\sum \frac{1}{R}} = \frac{\frac{8}{2} - \frac{10}{2} - 0.5U_1}{\frac{1}{2} + \frac{1}{2}}$$

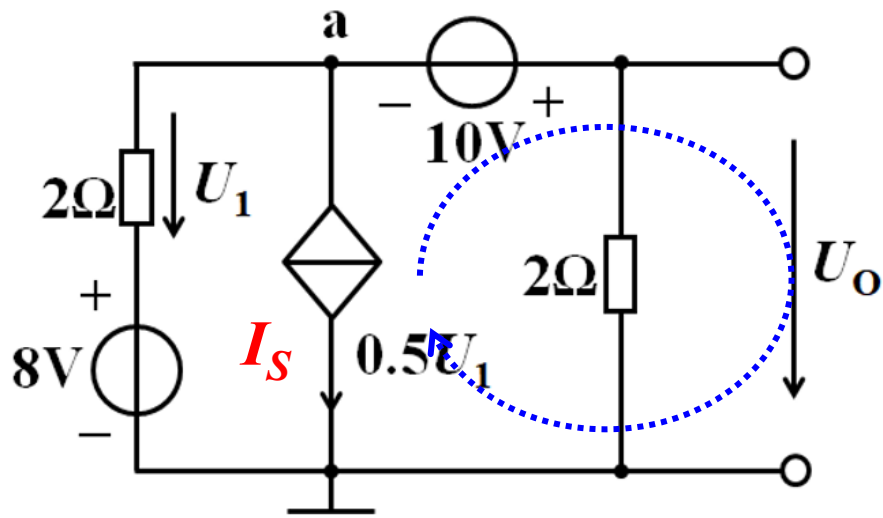
(2) 利用开路短路法求 R_o :

$$KVL: -10 - 8 - U_1' = 0 \rightarrow U_1' = -18V$$

$$\text{欧姆定律: } I_1 = \frac{U_1'}{2} = -9A$$

$$KCL: I_1 + 0.5U_1' + I_o = 0 \rightarrow I_o = 18A$$

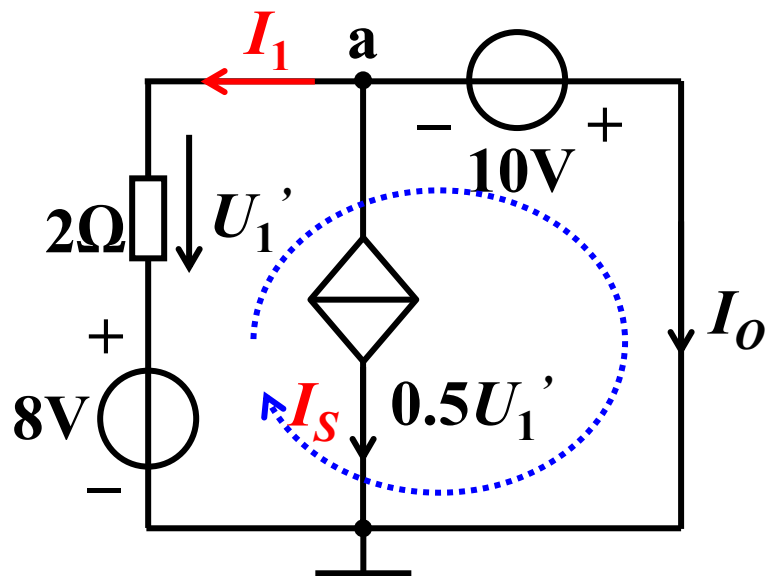
$$R_o = \frac{U_o}{I_o} = \frac{2}{3} \Omega$$



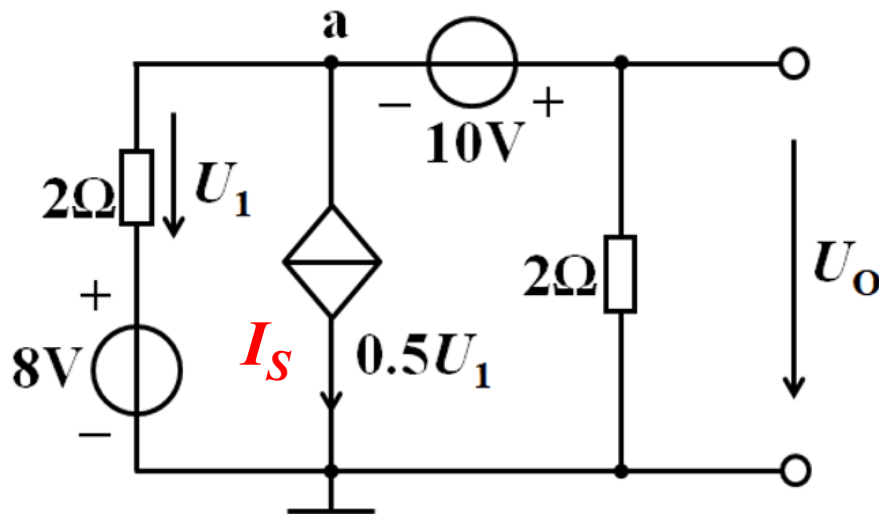
$$KVL: -10 + U_o - V_a = 0 \rightarrow U_o = 12V$$

联系方程组可得:

$$V_a = U_1 + 8 \quad U_1 = -6V \quad V_a = 2V$$



- (1) 求解开路电压 U_o ;
- (2) 利用开路短路法求等效内阻 R_o ;
- (3) 利用外加电源法求等效内阻 R_o ;
- (4) 画出等效电压源模型;
- (5) $R_L = ?$ 获得最大功率; $P_{Lmax} = ?$



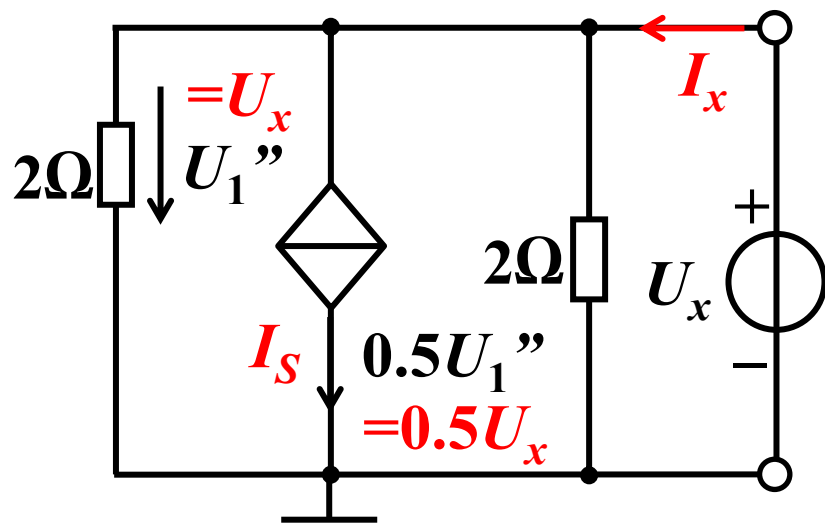
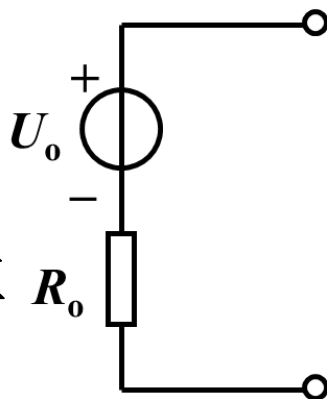
(3) 利用外加电源法求 R_o :

$$KCL: I_x = \frac{U_x}{2} + 0.5U_x + \frac{U_x}{2} = \frac{3}{2}U_x$$

$$R_o = \frac{U_x}{I_x} = \frac{2}{3}\Omega$$

(4) 画出等效电压源模型

建议只写符号不写数值



(5) 最大功率传输定理

当 $R_L = R_o$ 时获得最大功率; $P_{Lmax} = \frac{U_o^2}{4R_o} = 54W(\text{瓦特})$



§ 11 正弦交流电路

一、正弦交流电量的三要素和相位差

计算相位差的条件和方法

典型考题1: 求解通用表达式, 并选择对应的波形图;

典型考题2: 已知波形图, 写出对应的通用表达式;

辅助视频例题

二、正弦交流电量的有效值

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

三、相量表示法

\dot{U}_m \dot{U} \longleftrightarrow 与 u 含义相同 要求掌握两者之间的转换方法

$u = U_m \sin(\omega t + \varphi_u)$ \longleftrightarrow 极坐标形式 $\dot{U} = U \angle \varphi_u$ $\dot{U}_m = U_m \angle \varphi_u$ \longleftrightarrow 代数形式

四、正弦交流电路的分析 : 电阻 R 、 电容 C 、 电感 L

电容、电感的特性

容抗、感抗的计算

简单了解有功功率、无功功率的计算

耗能负载

储能负载

复杂交流、三相交流和电路的过渡过程不要求

二极管/稳压管应用 → 实验二和三（限幅、钳位、直流稳压电源）

第一章 常见半导体器件

三极管的应用 → 两个共射+一个共集 → 实验四和实验五

多级电路的分析 ← 第二章 基本放大电路

单级
总结表

阻容耦合 直接耦合

实验六 ← 第三章 负反馈放大电路

了解概念

类型判别

估算 A_{uf}

性能改善

按需引入

实验七 ← 第四章 功率放大电路

掌握功放电路的用途、类型、工作状态、工作原理和计算公式

实验八和实验九 ← 第五章 集成运放的应用

芯片特点、运算功能判断和计算、平衡电阻计算、反馈判断等

基本放大电路

第20次课

要求掌握 { 考点一：如何分析放大电路？
考点二：非线性失真的原因和解决方案
考点三：最大不失真电压幅值的求解 } 单级作业
例题/小测

静态分析：→ 只有直流电源作用的电路

复习第24-25次课和
作业、注意符号书写

步骤1：画出直流通路

① 若是阻容耦合，则将所有的电容断开 → 分开求Q

② 若是直接耦合，则将交流电源除源变成导线 → 联立方程组

步骤2：求解静态工作点Q → 求 I_B 、 I_C 、 U_{CE} 每一级都要求

动态分析：→ 只有交流信号作用的电路 → 微变等效电路法

步骤1：画出微变等效电路 ① 遇到 V_{CC} 接地；② 电容变导线；

步骤2：计算动态指标 $A_u = A_{u1} \times A_{u2}$ 第一级的 r_i 最后一级 r_o

① 电压放大倍数 A_u 和 A_{us} ② 输入电阻 r_i ③ 输出电阻 r_o

例题1:

思考: R_1 和 R_5 的作用?

R_1 保证 T_1 的发射结正偏

R_5 保证 T_1 的集电结反偏

$$V_{C1} = U_{BE2} + I_{E2}R_5 > 0.7V$$

静态分析:

步骤1: 画出直流通路: 将交流电源除源, 变成一根导线

步骤2: 确定各级的Q点 \rightarrow 已知 U_{BE} 去估算 I_B 、 I_C 、 U_{CE}

$$KCL: \quad I_{B1} = I_{R2} - I_{R1} \quad I_{B1} = \frac{V_{CC} - 0.7}{R_2} - \frac{0.7}{R_1} \quad I_{C1} = \beta_1 I_{B1} \quad I_{C1} \neq I_{R3}$$

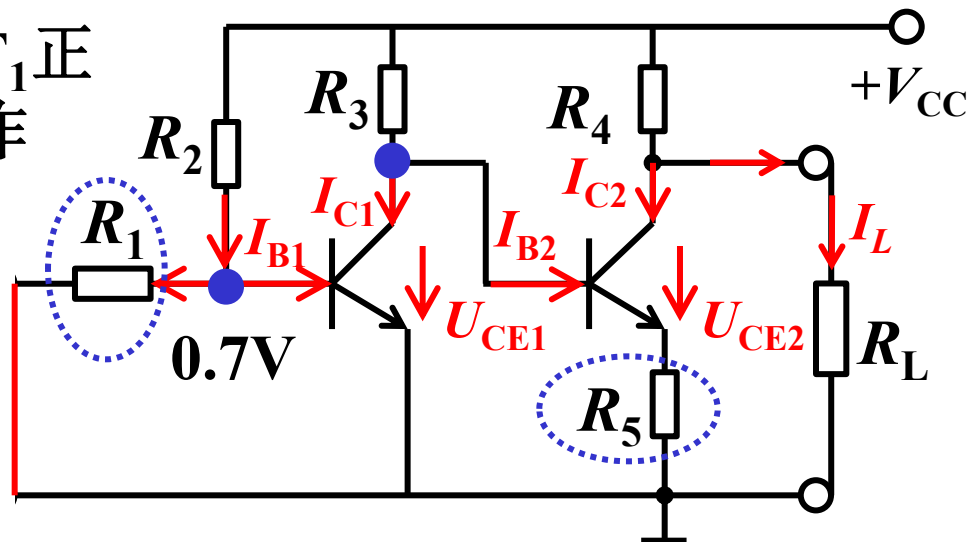
$$U_{CE1} = V_{CC} - (I_{C1} + I_{B2})R_3 \quad \left. \begin{array}{l} U_{CE1} = 0.7 + (1 + \beta_2)I_{B2}R_5 \end{array} \right\} \text{直接耦合的静态工作点Q会相互影响}$$

$$U_{CE1} = 0.7 + (1 + \beta_2)I_{B2}R_5 \quad \left. \begin{array}{l} \text{联立方程组, 即可求出 } U_{CE1} \text{ 和 } I_{B2} \end{array} \right\}$$

$$I_{C2} = \beta_2 I_{B2} \quad I_{E2} = (1 + \beta_2)I_{B2} \quad \left. \begin{array}{l} U_{CE2} = V_{CC} - (I_{C2} + I_L)R_4 - I_{E2}R_5 \\ U_{CE2} + I_{E2}R_5 = I_L R_L \end{array} \right\} \text{有载}$$

联立方程组, 即可求 U_{CE2} 和 I_L

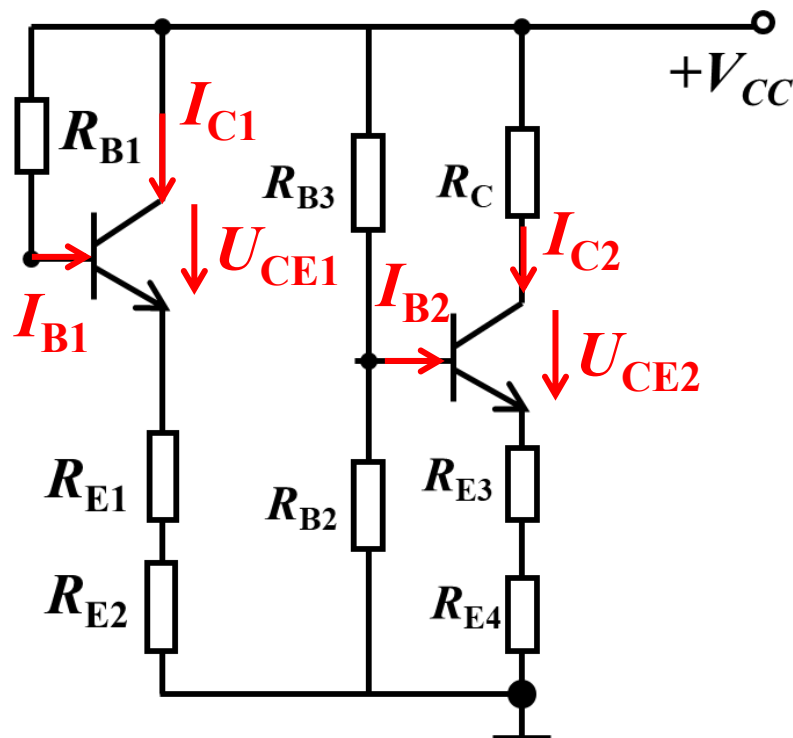
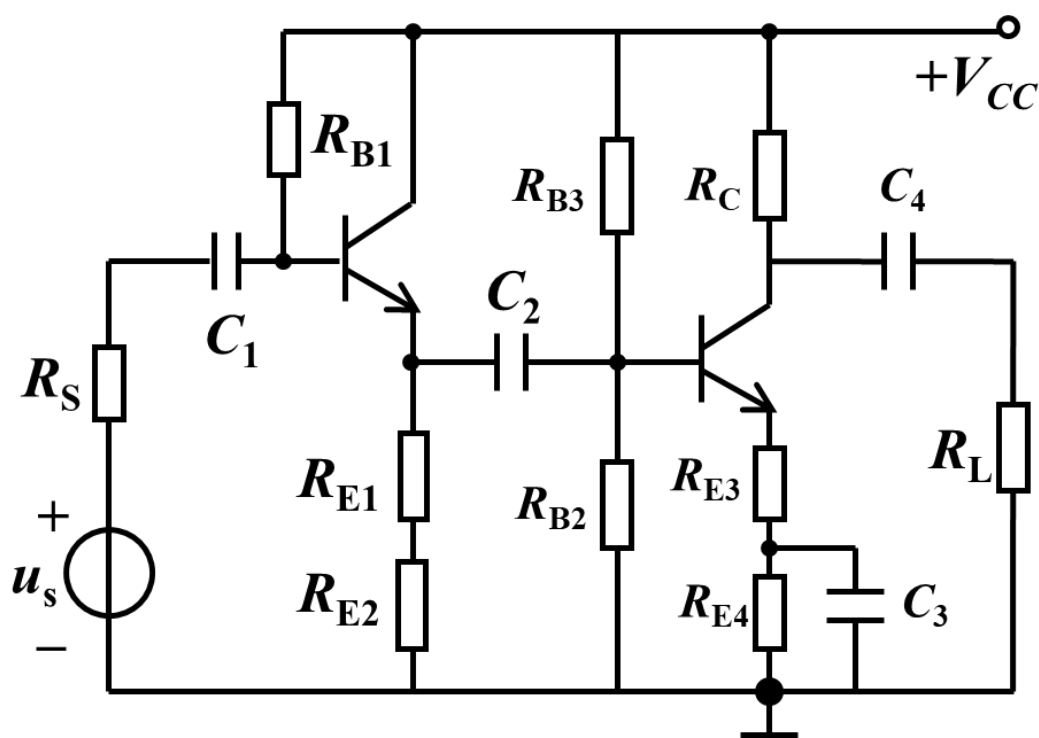
写出表达式即可 (无需求解或将公式代入公式)



例题：已知 $U_{BE1}=U_{BE2}=0.7V$ ， $\beta_1=\beta_2=\beta$ ， $r_{bb}'=300\Omega$

- 1、请写出求解两级静态工作点的表达式；
- 2、请画出微变等效电路，写出 r_{be1} 和 r_{be2} 的表达式；
- 3、请写出 r_{i1} ， r_{i2} ， r_{o1} ， r_{o2} 的表达式；
- 4、请写出 A_{u1} ， A_{u2} ， A_u ， A_{us} 的表达式。

1、① 画出直流通路 阻容耦合→断开所有C ② 求解静态工作点



静态工作点 Q_1 :

$$V_{CC} = I_{B1}R_{B1} + U_{BE1} + I_{E1}(R_{E1} + R_{E2})$$

$$I_{B1} = \frac{V_{CC} - 0.7}{R_{B1} + (1 + \beta_1)(R_{E1} + R_{E2})} \quad I_{C1} = \beta_1 I_{B1}$$

$$I_{E1} = (1 + \beta_1)I_{B1} \quad U_{CE1} = V_{CC} - I_{E1}(R_{E1} + R_{E2})$$

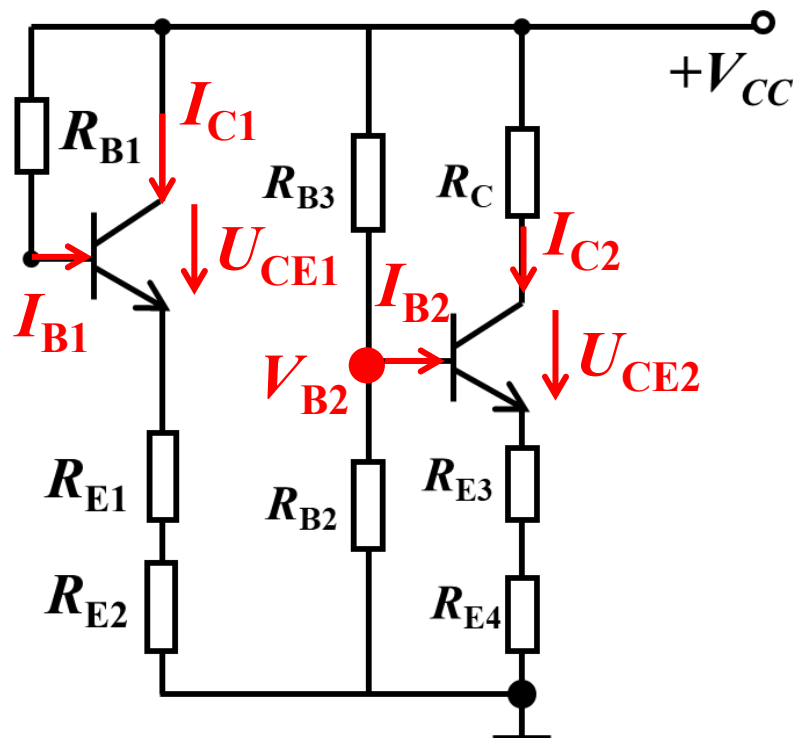
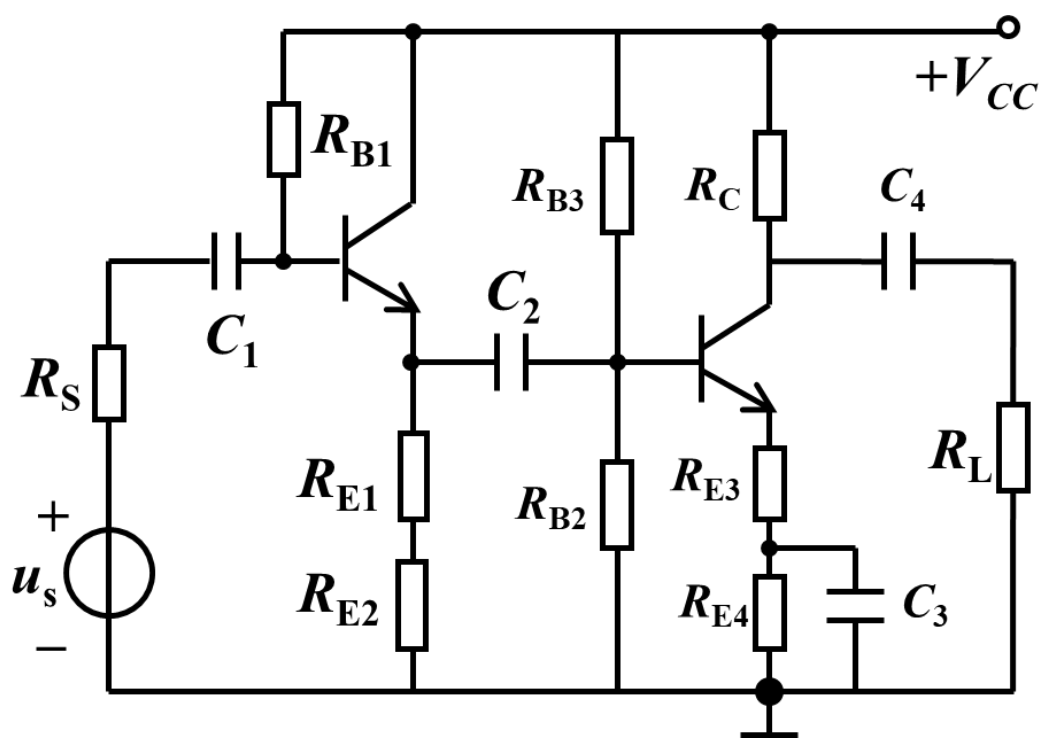
静态工作点 Q_2 :

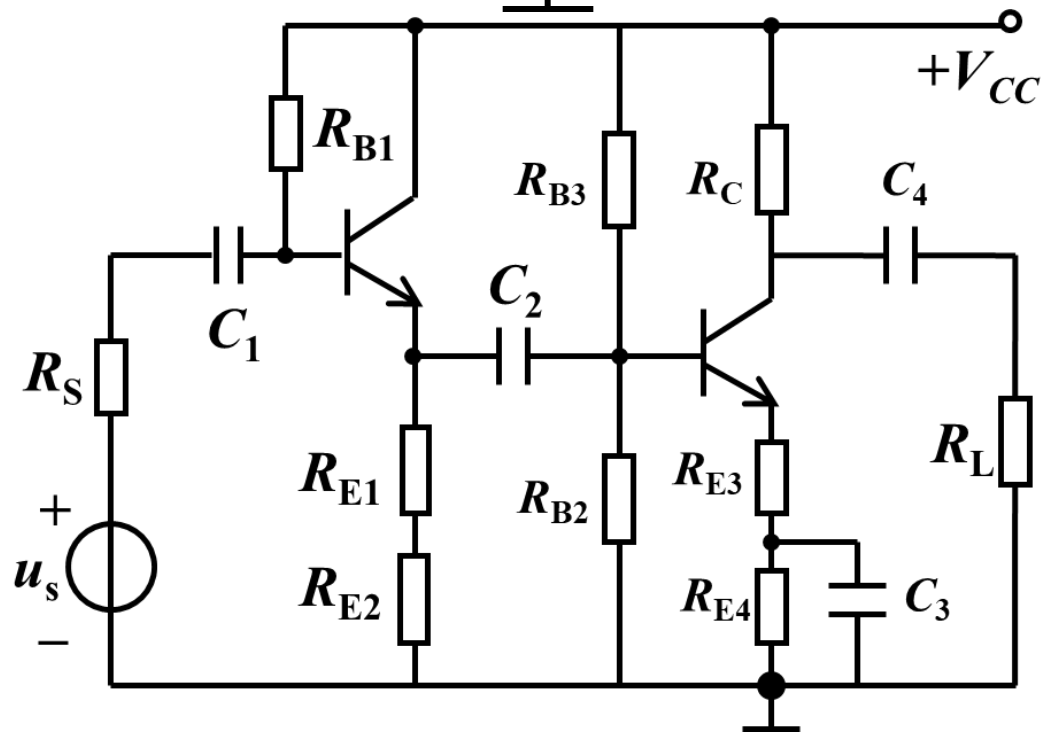
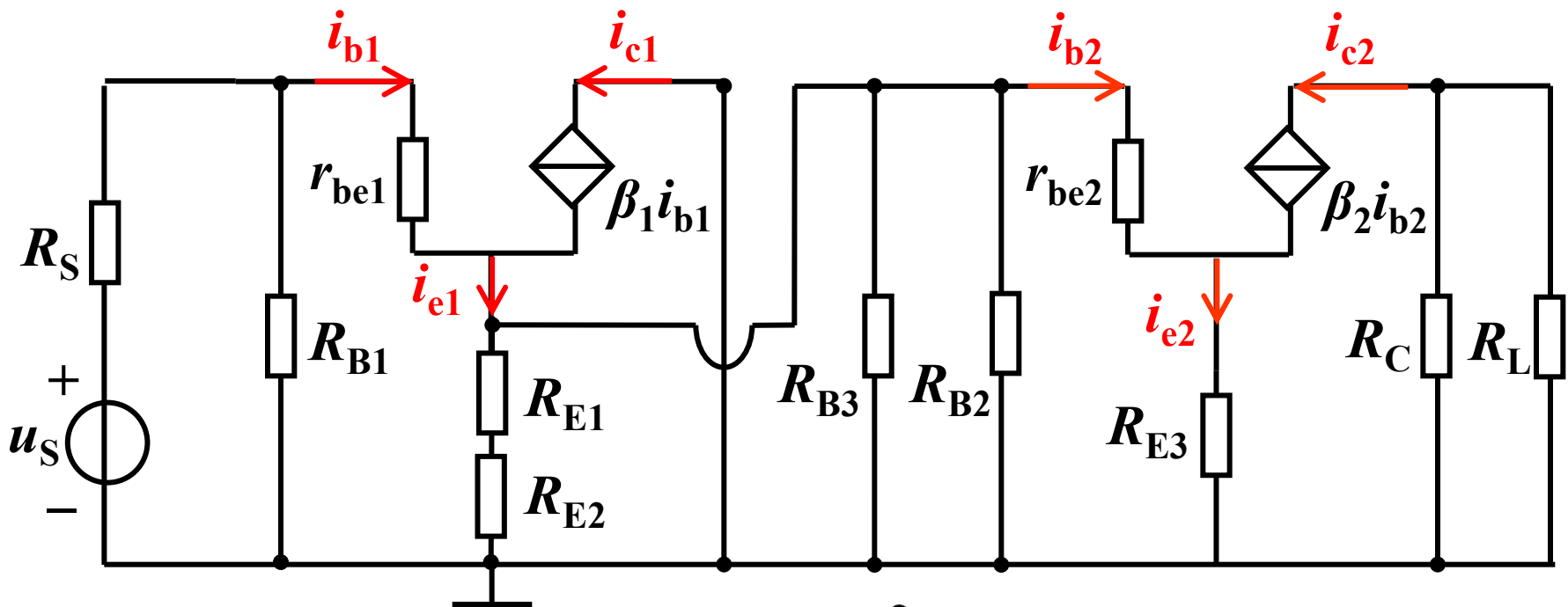
$$V_{B2} = \frac{R_{B2}}{R_{B2} + R_{B3}} \times V_{CC} \quad I_{E2} = \frac{V_{B2} - 0.7}{R_{E3} + R_{E4}}$$

$$I_{B2} = \frac{I_{E2}}{1 + \beta_2} \quad I_{C2} = \beta_2 I_{B2}$$

$$U_{CE2} = V_{CC} - I_{C2}R_C - I_{E2}(R_{E3} + R_{E4})$$

1、① 画出直流通路 阻容耦合→断开所有C ② 求解静态工作点





动态分析:

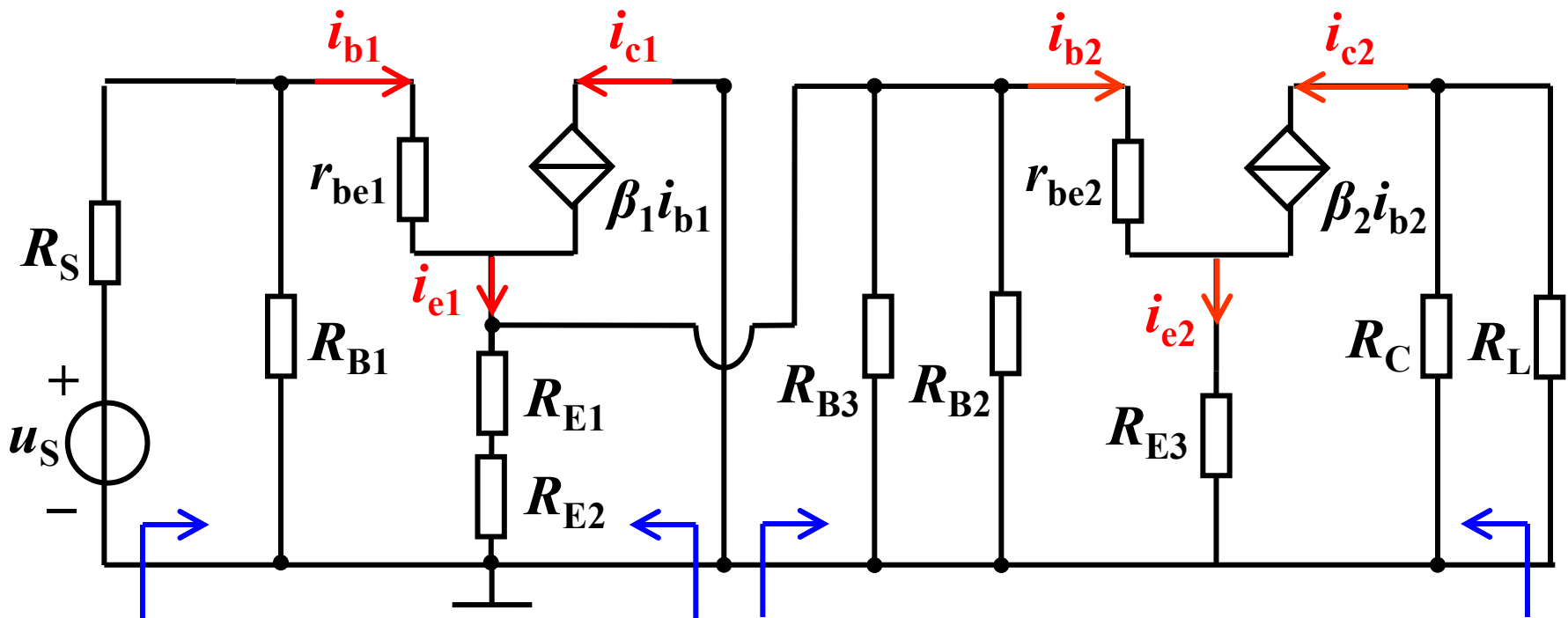
① 画出微变等效电路

遇到电容变成导线

遇到 $+V_{CC}$ 直接接地

$$r_{be1} = r_{bb}' + (1 + \beta_1) \frac{26(mV)}{I_{E1}(mA)}$$

$$r_{be2} = r_{bb}' + (1 + \beta_2) \frac{26(mV)}{I_{E2}(mA)}$$



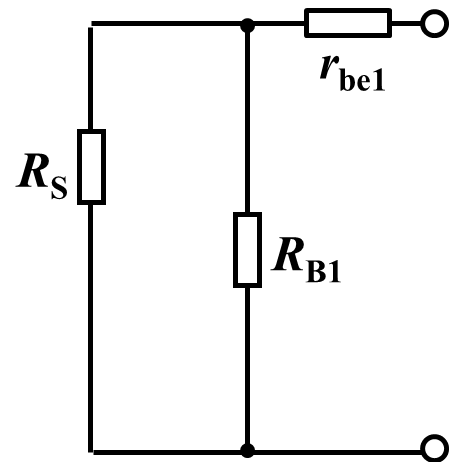
3、请写出 r_{i1} , r_{i2} , r_{o1} , r_{o2} 的表达式;

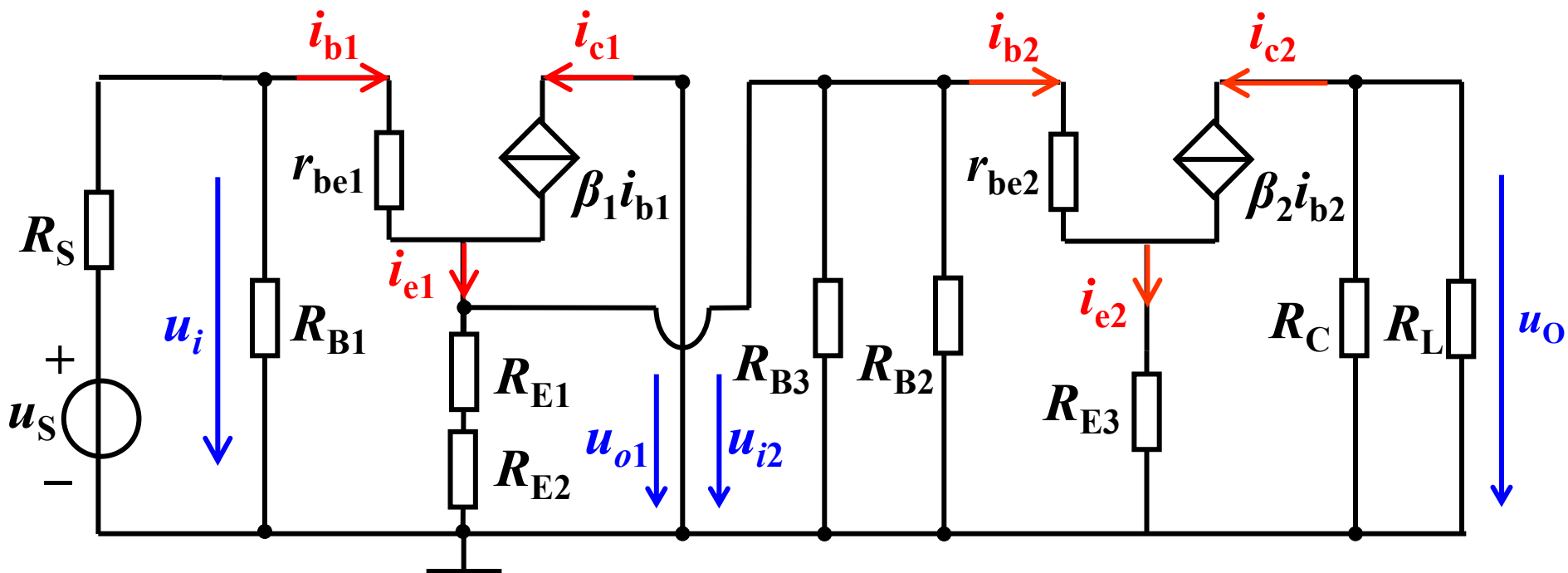
技巧：读输入或输出电阻时，若遇到受控恒流源即可停止。

$$r_{i1} = R_{B1} // \{r_{be1} + (1 + \beta_1)[(R_{E1} + R_{E2}) // r_{i2}]\}$$

$$r_{i2} = R_{B3} // R_{B2} // [r_{be2} + (1 + \beta_2)R_{E3}] \quad r_{o2} = R_C$$

$$r_{o1} = (R_{E1} + R_{E2}) // \frac{r_{be1} + (R_{B1} // R_S)}{1 + \beta_1}$$





4、请写出 A_{u1} , A_{u2} , A_u , A_{us} 的表达式。

$$A_{u1} = \frac{u_{o1}}{u_i} = \frac{i_{e1}[(R_{E1} + R_{E2}) // r_{i2}]}{i_{b1}r_{be1} + i_{e1}[(R_{E1} + R_{E2}) // r_{i2}]} = \frac{(1 + \beta_1)\cancel{i_{b1}}[(R_{E1} + R_{E2}) // r_{i2}]}{\cancel{i_{b1}}r_{be1} + (1 + \beta_1)\cancel{i_{b1}}[(R_{E1} + R_{E2}) // r_{i2}]}$$

$$A_{u2} = \frac{u_o}{u_{i2}} = \frac{-\cancel{i_{c2}}(R_C // R_L)}{i_{b2}r_{be2} + i_{e2}R_{E3}} = \frac{-\cancel{\beta_2}\cancel{i_{b2}}(R_C // R_L)}{\cancel{i_{b2}}r_{be2} + (1 + \beta_2)\cancel{i_{b2}}R_{E3}} \rightarrow \begin{matrix} \text{反相} \\ \text{放大} \end{matrix} \quad \begin{matrix} \text{同相} \\ \text{跟随} \end{matrix}$$

$$A_u = A_{u1} \times A_{u2} \quad A_{us} = \frac{u_o}{u_s} = \frac{u_o}{u_i} \times \frac{u_i}{u_s} = A_u \times \frac{r_i}{r_i + R_S}$$



预 祝 考 试 顺 利