

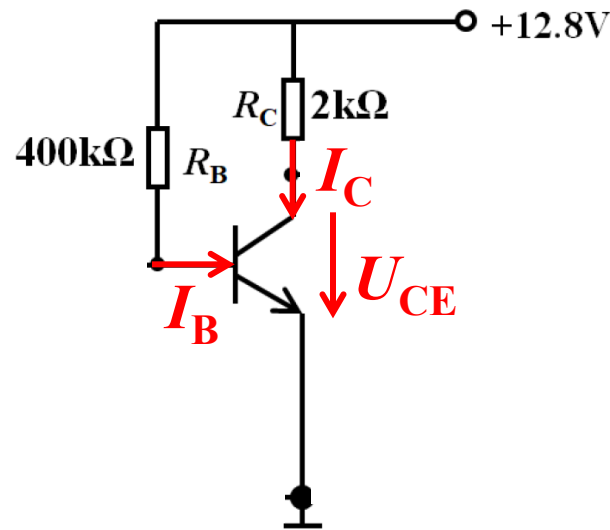
第1题：电路如右图所示，本次实验采用虚拟三极管，其参数

为： $U_{BE}=U_{CES}=0.8V$ ， $\beta=100$ ， $r'_{bb}=40\Omega$

- 1) 该电路采用的是什么接法？
- 2) 请求解静态工作点 Q 的相关参数；
- 3) 请画出微变等效电路并按下式计算 $r_{be}=?k\Omega$

$$r_{be} = r'_{bb} + (1 + \beta) \frac{26(mV)}{I_E(mA)} = 40 + \frac{26(mV)}{I_B(mA)}$$

- 4) 请求解 A_u ， r_i 和 r_o ；
- 5) 若希望该电路具有最大动态范围，应调整 $R_B=?$ \longrightarrow 调 R_B 意味着改变静态工作点



第(2)题的静态参数不能用于第(5)题的求解 $\longrightarrow I_B$ 、 I_C 、 U_{CE} 未知

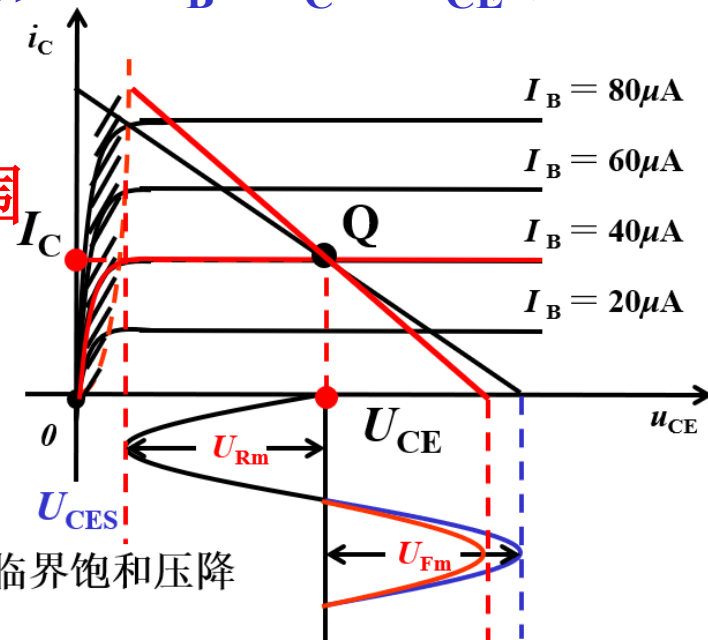
$$U_{omax} = \min\{U_{Rm}, U_{Fm}\}$$

若 $U_{Rm} = U_{Fm}$ 则电路具有最大输出动态范围

$$U_{Rm} = U_{CE} - U_{CES} = V_{CC} - I_C R_C - U_{CES} = 12 - 2I_C$$

有载 $\rightarrow U_{Fm} = I_C (R_C // R_L)$ 求出最佳 $I_C = 4mA$

$$R_B = 300k\Omega \leftarrow \frac{V_{CC} - U_{BE}}{R_B} = I_B = \frac{I_C}{\beta} = 0.04mA$$



P245 8-1 (a) ① 找反馈元件→先找连接在两级之间的元件

② 做四项判断；先判断输出再判断输入。正or负？ 直流or交流？

反馈：采集输出信号的一部分返送到输入回路去影响输入信号

∴ 反馈元件 R_f 和 u_o 接在同一极 ∴ 采集输出电压，属于电压反馈

∴ 反馈元件 R_{e1} 和 u_i 接在不同极 ∴ 造成信号分压，属于串联反馈

与 R_f 串联的电容使得返送的只有交流信号→反馈电阻： R_f 和 R_{e1}

利用瞬时极性法标出各点电位极性

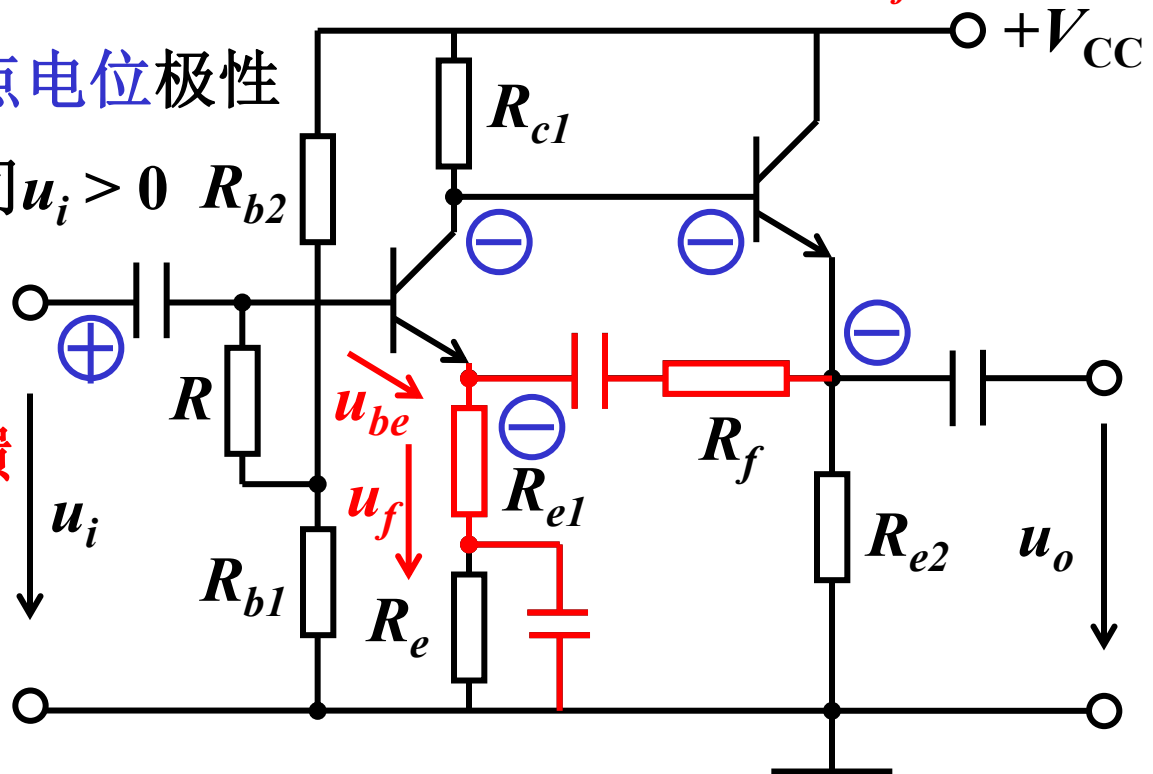
$u_{be} = u_i - u_f$ 假设某瞬间 $u_i > 0$

$u_i \ll u_o \rightarrow u_f$ 的极性看 u_o

$u_f < 0 \rightarrow u_{be}$ 增大→正反馈

∴ 只有交流信号能通过

∴ 电压串联交流正反馈



P245 8-1 (b) ① 找反馈元件 → 先找连接在两级之间的元件

② 做四项判断；先判断输出再判断输入。正or负？ 直流or交流？

∴ 反馈元件 R_f 和 u_o 接在同一极 ∴ 采集输出电压，属于电压反馈

∴ 反馈元件 R_f 和 u_i 接在同一极 ∴ 造成信号分流，属于并联反馈

$$i_b = i - i_{Rb} - i_f$$

假设某瞬间 $u_s > 0$

利用瞬时极性法标出各点电位的极性

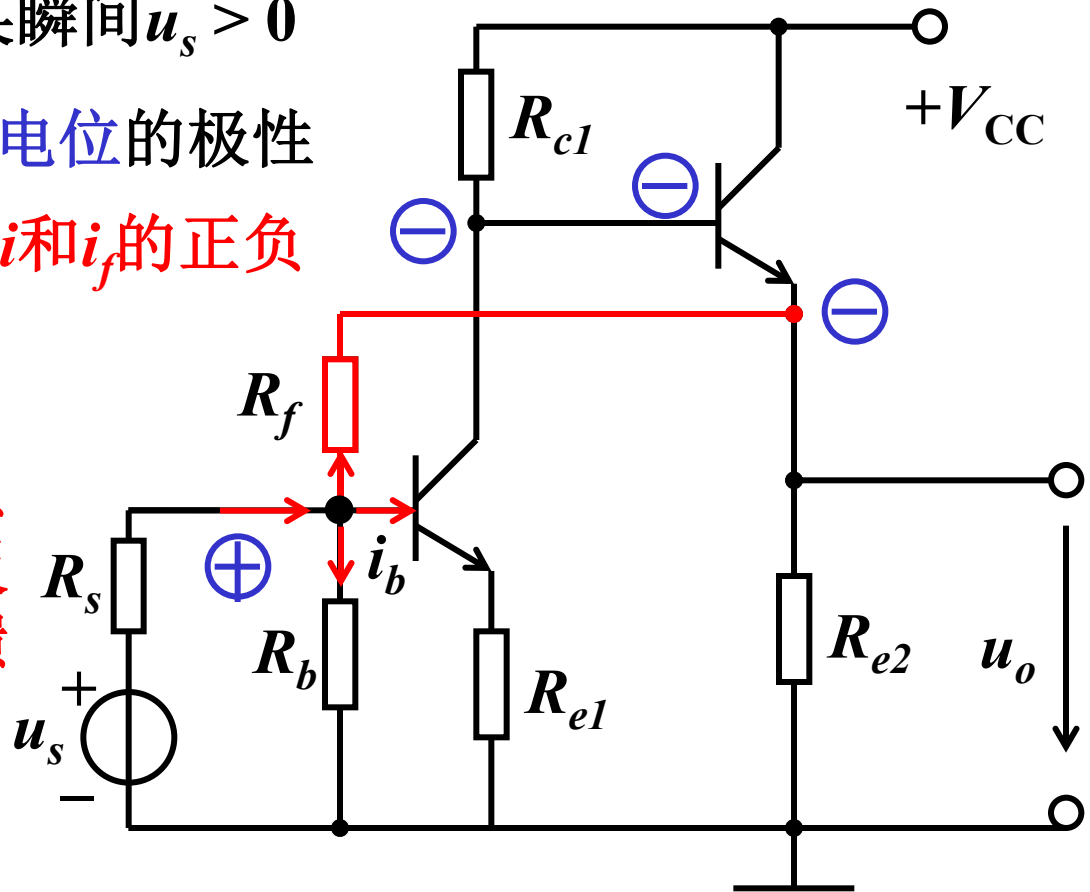
根据电位和电流关系判断 i 和 i_f 的正负

$$u_s > 0 \rightarrow i = \frac{u_s}{R_s + r_i} > 0$$

$$i_f = \frac{u_i - u_o}{R_f} > 0 \rightarrow i_b \rightarrow \text{负反馈}$$

∴ 对直流和交流均起作用

∴ 电压并联交直流负反馈



四、负反馈对电路的改善——→掌握定性结论，无须定量分析

五、根据题目要求，按需引入合适负反馈——→电路设计题

↓
先固定反馈电阻 R_f 的一端

例如：题目要求减小输出电阻——→应引入电压负反馈 怎么画？

① 为了稳定静态工作点，应引入直流负反馈；

拓展 f_{BW}

为了改善动态性能，应引入交流负反馈。→ $|A_u| \downarrow \rightarrow$ 稳定 A_u

② 为了增大输入电阻 r_i ，应在输入端引入串联负反馈；

为了减小输入电阻 r_i ，应在输入端引入并联负反馈；

③ 为了减小输出电阻 r_o ，应在输出端引入电压负反馈；

为了得到稳定的输出电压，应在输出端引入电压负反馈；

④ 为了增大输出电阻 r_o ，应在输出端引入电流负反馈；

为了得到稳定的输出电流，应在输出端引入电流负反馈；

四、负反馈对电路的改善——→掌握定性结论，无须定量分析

五、根据题目要求，按需引入合适负反馈——→电路设计题

先固定反馈电阻 R_f 的一端

另一端怎么画才能实现负反馈？

例如：题目要求减小输出电阻——→应引入电压负反馈 怎么画？

根据 R_f 和 u_o 的关系
① u_o 和 R_f 接在同一极——→采集电压——→电压反馈

② u_o 和 R_f 接在不同极——→采集电流——→电流反馈

根据 R_f 和 u_i 的关系
① u_i 和 R_f 接在同一极——→信号分流——→并联反馈

② u_i 和 R_f 接在不同极——→信号分压——→串联反馈

结论：当反馈一端固定后，另一端的两个选择中，只有一个可以实现负反馈，另一个必然实现的是正反馈。

另一端的画法：可以先假设某种连接，再用瞬时极性法判断是否是负反馈。若是，说明假设正确；若不是，说明假设错误。

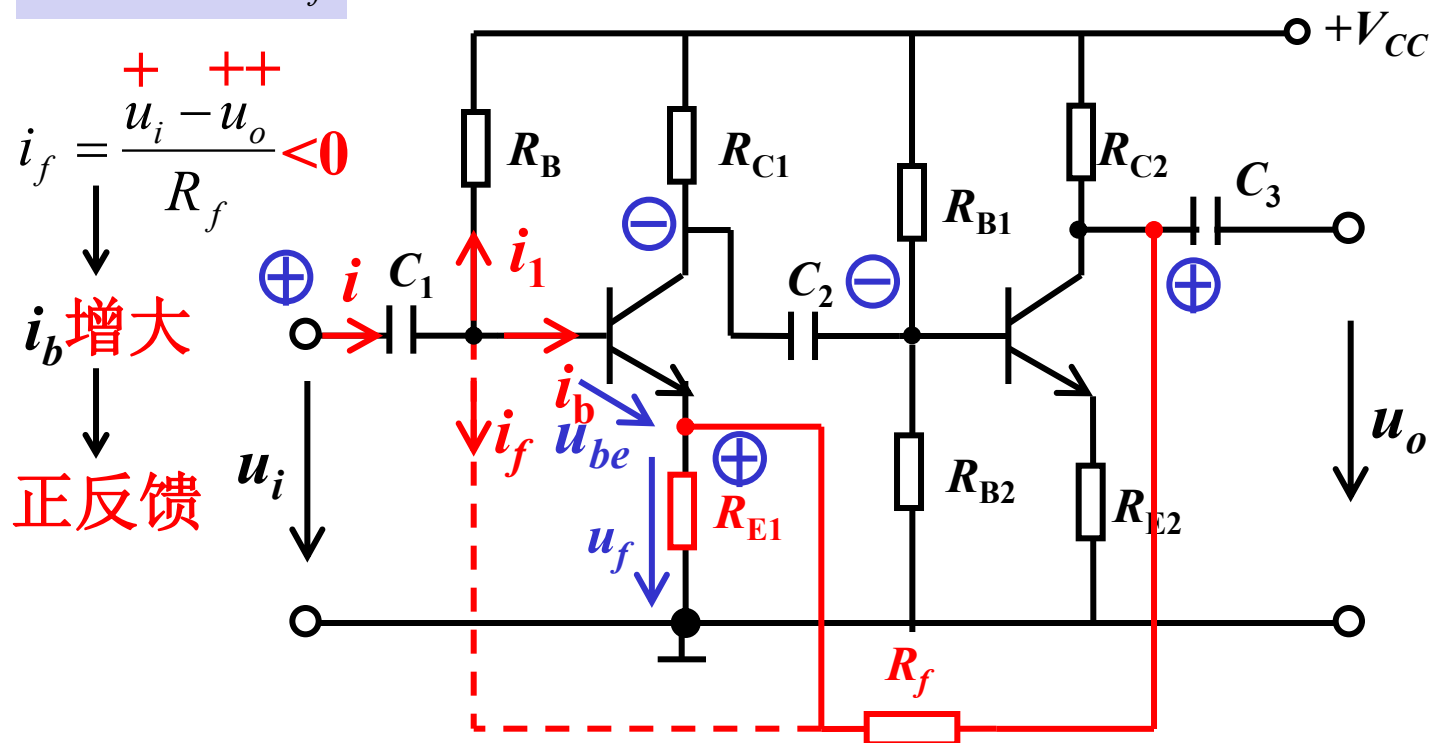
例题：要求该电路达到**稳定输出电压**的目的，画出反馈支路

假设 u_i 和 R_f 接在同一极

电压串联负反馈

$$i_b = i - i_1 - i_f$$

应在**输出端**引入**电压负反馈** → u_o 和 R_f 接在同一极



问题：若希望**稳定输出电流**呢？

电流配什么才是负反馈？

∴引入**电流并联负反馈**

∴假设错误，反馈元件应接在**发射极上**

反馈有影响输入吗？

R_{E1} 才会造成 → $u_{be} = u_i - u_f$

$u_f > 0 \rightarrow u_{be}$ 减小 → 负反馈

8-7 请根据以下要求判断应引入何种负反馈，并画出反馈路径

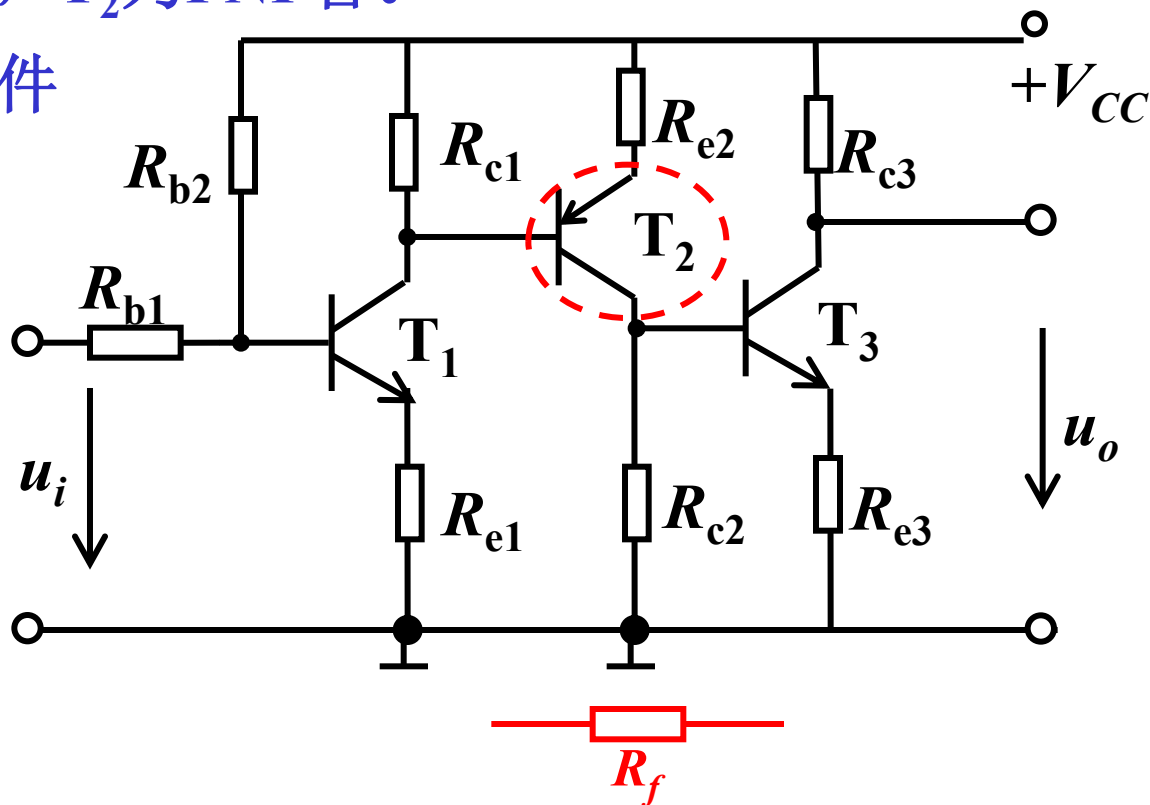
- (1) 希望电路元件参数的改变对输出端静态电压的影响比较小；
- (2) 希望加信号后， I_{c3} 的数值基本不受 R_{c3} 改变的影响；
- (3) 希望接上负载 R_L 前后电压放大倍数基本不变；
- (4) 希望输入端向信号源（电压源）索取的电流比较小。

注意： T_1 和 T_3 为NPN管， T_2 为PNP管。

NPN和PNP虽然放大条件相反，但结论相同。

B入C出
↓
共射接法
↓
电压反相放大

B入E出
↓
共集接法
↓
电压同相跟随



(1) 希望电路元件参数的改变对输出端静态电压的影响比较小；

即：希望该电路能稳定直流输出电压 \rightarrow 电压直流负反馈

\therefore 可以首先确定 R_f 和 u_o 的连接 $\rightarrow u_o$ 和 R_f 接在同一个电极

另一端怎么接能实现负反馈？ 先假设再用瞬时极性法验证

假设与 u_i 接在不同极

注意：T2的C在下面

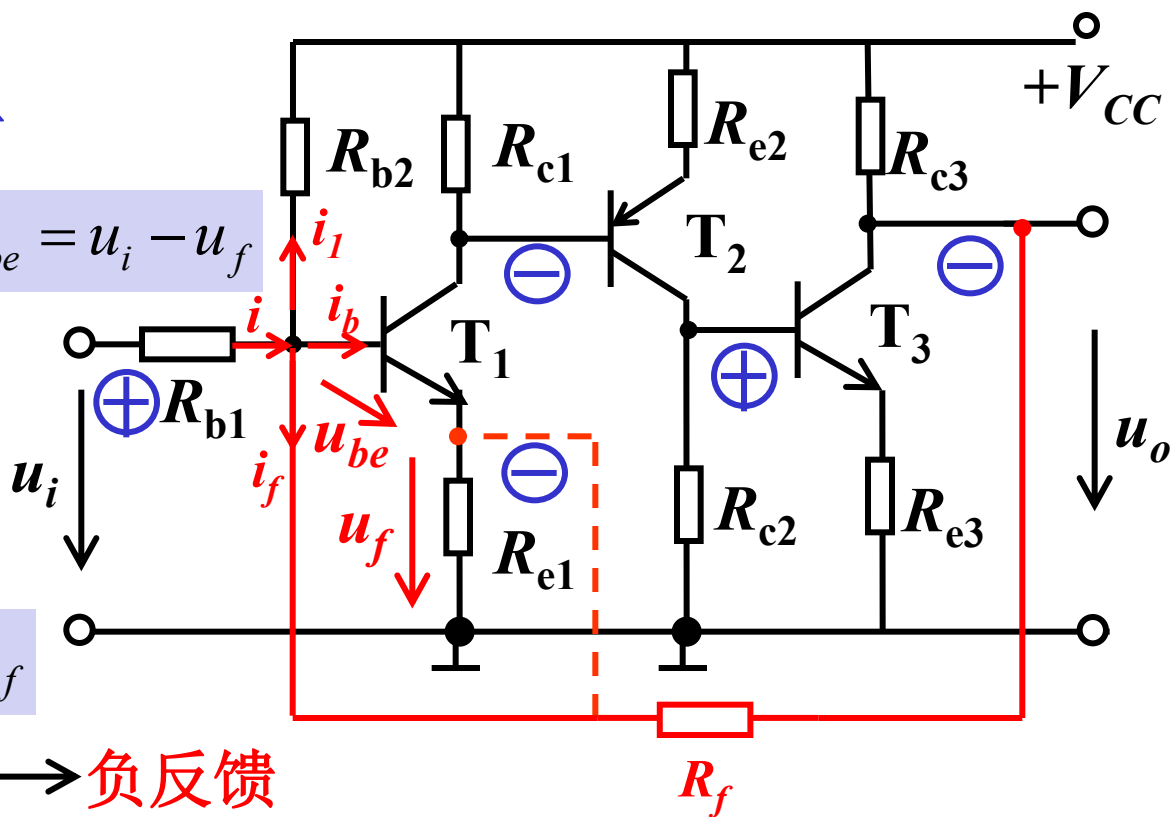
$\because u_f < 0 \rightarrow u_{be}$ 增大 $u_{be} = u_i - u_f$

\therefore 正反馈，假设错误

$\therefore R_f$ 与 u_i 接在同一极

即电压并联负反馈

$$i_b = i - i_1 - i_f$$
$$i_f = \frac{u_i' - u_o}{R_f} > 0 \rightarrow i_b \rightarrow \text{负反馈}$$



如何让该反馈只对直流起作用不做要求。

(2) 希望加信号后, I_{c3} 的数值基本不受 R_{c3} 改变的影响;

即: 希望该电路能稳定直流输出电流 \rightarrow 电流直流负反馈

\therefore 第一题已判断出该图采用电压并联接法才能实现负反馈

\therefore 第二题应采用电流串联接法才能实现负反馈

用瞬时极性法验证

$\therefore u_f > 0 \rightarrow u_{be}$ 减小 $u_{be} = u_i - u_f$

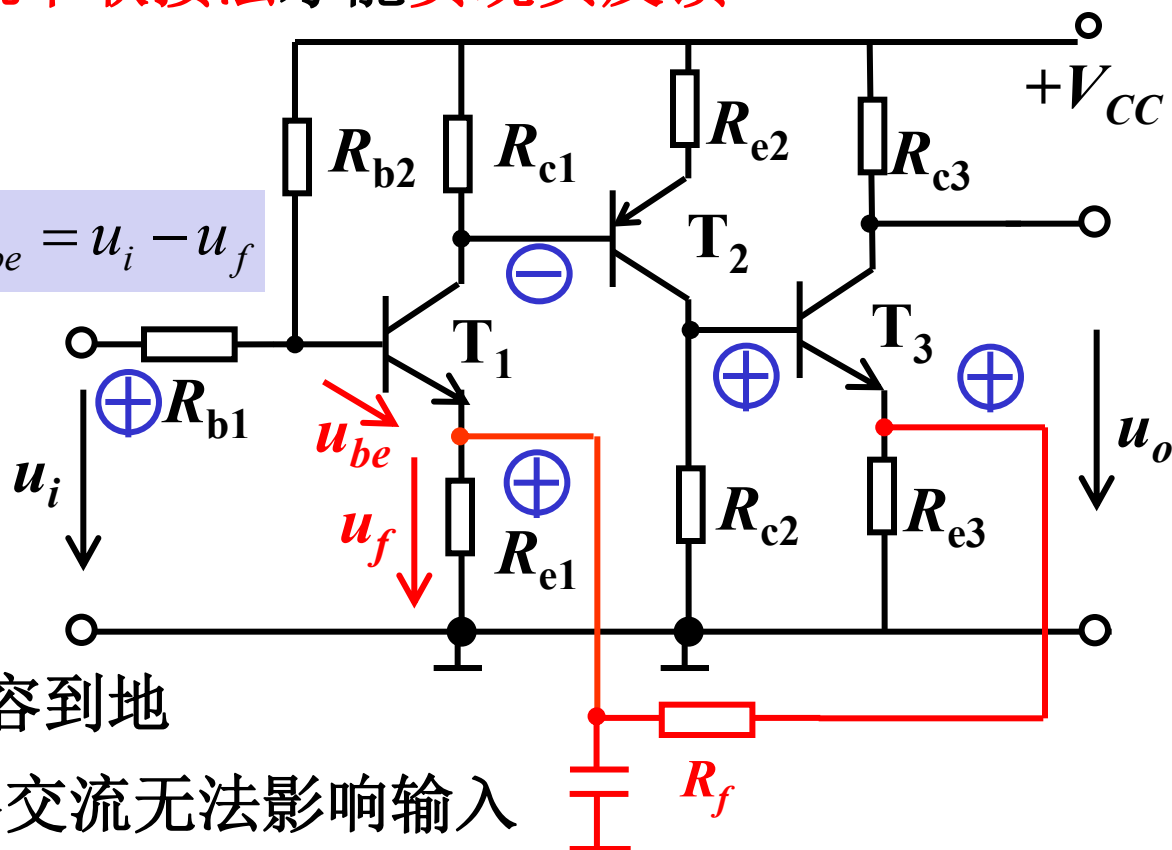
\therefore 负反馈

若希望该反馈只对直流起作用:

做法: 可在 R_f 后接电容到地

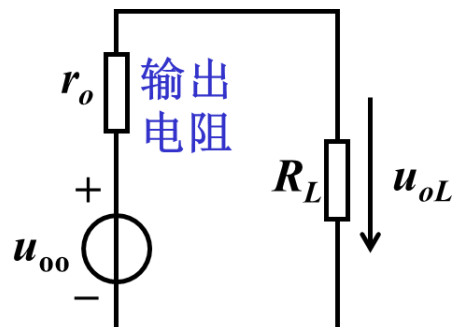
在 R_{e1} 并接旁路电容 \rightarrow 交流无法影响输入

如何让该反馈只对直流起作用不做要求。



(3) 希望接上负载 R_L 前后电压放大倍数基本不变;

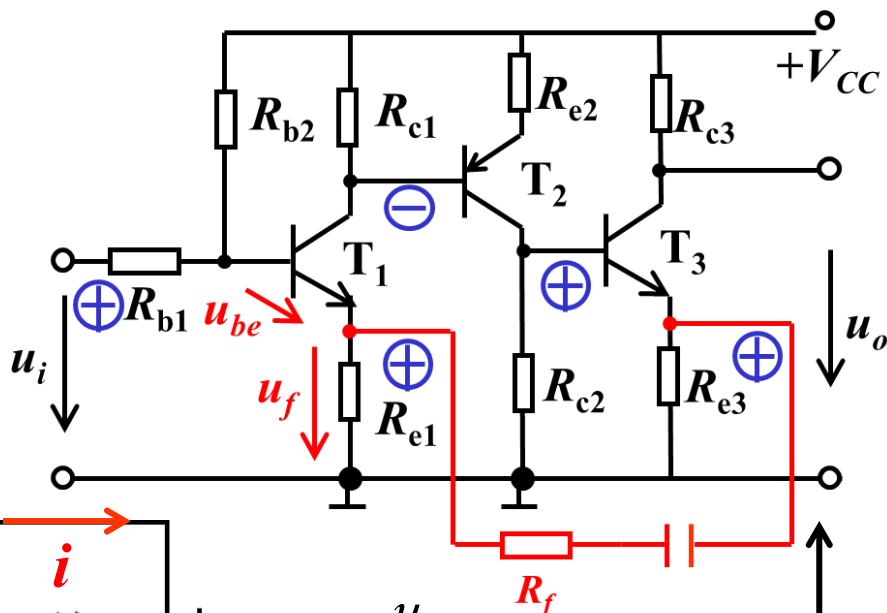
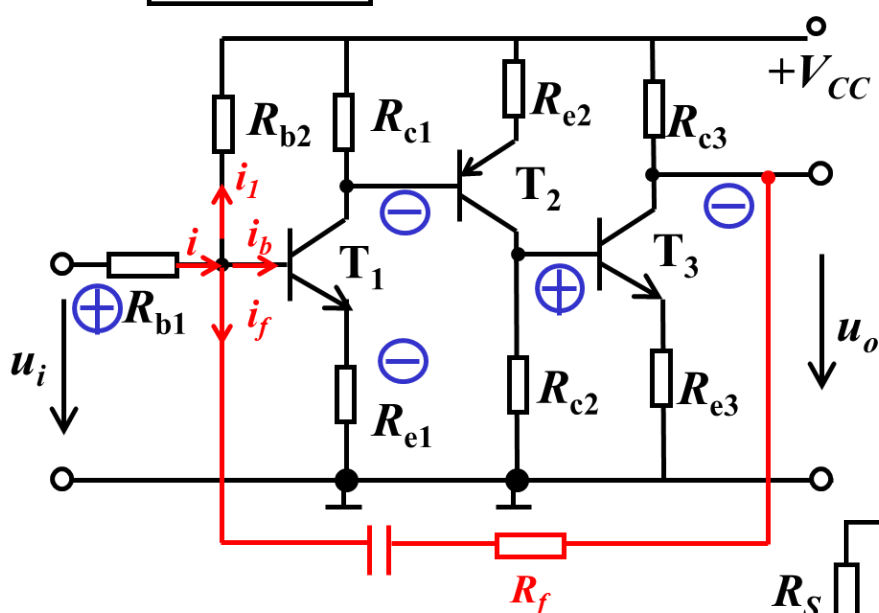
空载时 $A_u = \frac{u_{oo}}{u_i}$ 有载时 $A_u = \frac{u_{oL}}{u_i} \therefore u_{oo}$ 与 u_{oL} 越接近越好



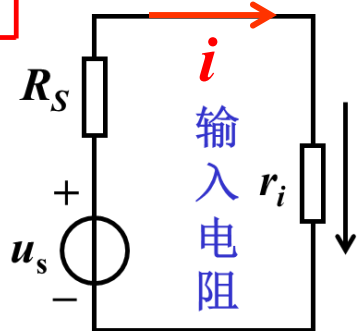
即输出电阻 r_o 越小越好 \rightarrow 引入电压交流负反馈

参考第一题, 输入端应采用并联反馈。

若希望只对交流起作用, 可在支路上串接电容。



(4) 希望输入端向信号源 (电压源) 索取的电流比较小



$$i = \frac{u_s}{R_s + r_i}$$

希望 r_i 越大越好

电流串联交流负反馈

第一章 半导体器件

第二章 基本放大电路

下篇

模拟电路基础

第三章 负反馈放大电路

要求
掌握:

了解
概念

类型
判别

估算
 A_{uf}

性能
改善

按需
引入

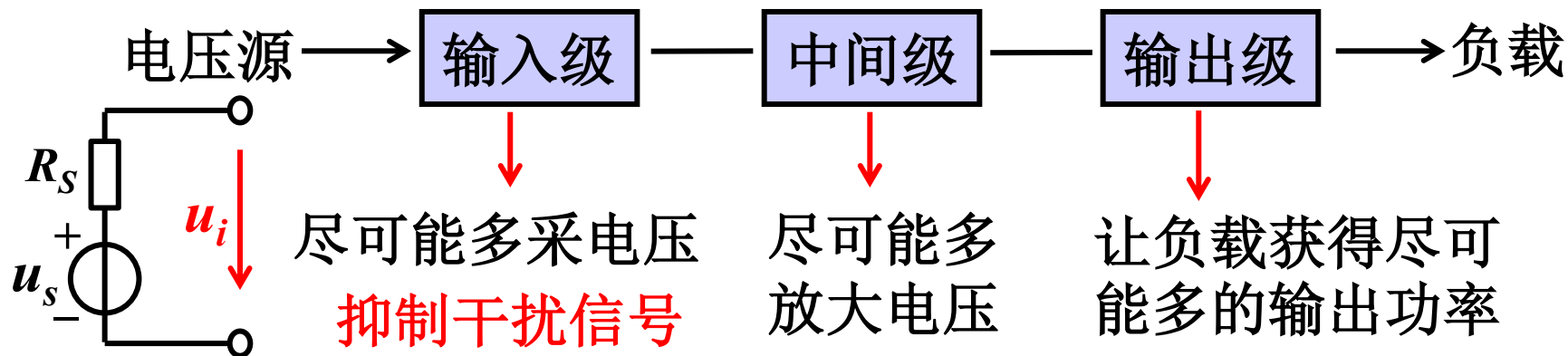
第四章 功率放大电路

第四章 功率放大电路

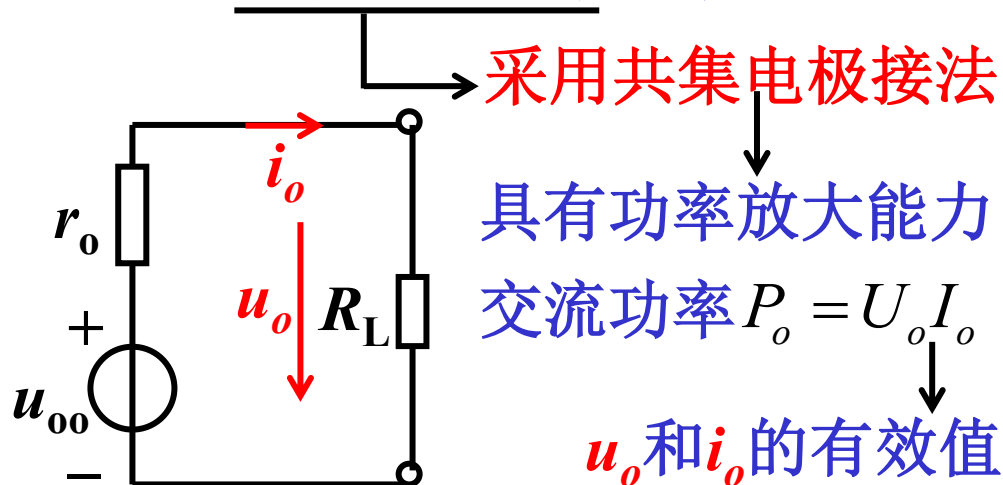
无需放大电压

一、功率放大电路的用途：**作为多级放大电路的输出级**

多级放大电路的组成：



问题：功率放大电路应采用何种接法？共射接法 or 共集接法？



u_i 反相放大
 r_i 小 r_o 大

u_i 同相跟随
 r_i 大 r_o 小

有电流放大能力

B入E出 → $i_e = (1 + \beta)i_b$

二、功率放大电路的特殊问题

∴ 功放是多级电路的**最后一级** ∴ **输入电压**是放大后的**大电压**

问题1：功放的**分析方法**和基本放大电路不同→不能使用微变法

问题2：功放的**性能指标**与基本放大电路不同

∴ 功率放大电路的**目的**：为了让负载获得尽可能多的输出功率

$$\text{转换效率}\eta = \frac{\text{交流输出功率}}{\text{直流电源功率}} = \frac{P_o}{P_V} \longrightarrow \text{越大越好}$$

直流电源的作用：① 提供静态工作点 ② 为交流提供能量来源

∴ 为提高 P_o ，静态损耗越小越好 → 降低Q → 出现截止失真

问题3：需考虑**散热和保护**问题 → 如何选择合适的三极管？

研究内容：如何在不超过三极管极限参数的前提下，获得尽可能大的输出功率、尽可能高的效率和尽可能小的失真

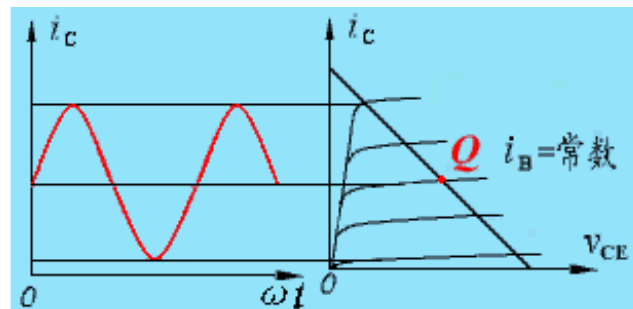
三、功率放大电路的工作状态

基本放大电路要求在合适的静态工作点上叠加合适的交流信号。

1、甲类工作状态 → 整个周期 T 都工作

① 输出波形无失真 ② 存在较大 I_C

③ 静态管耗大，转换效率 η 非常低

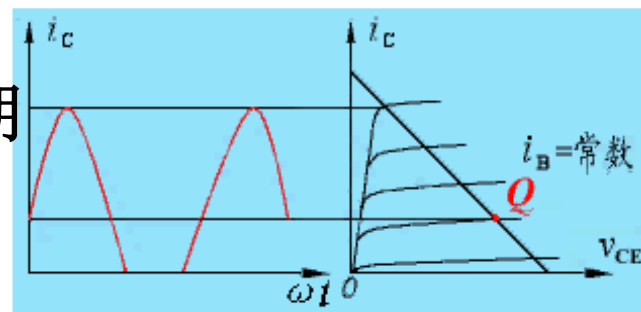


注意：为了提高 η ，必须降低静态 I_C

2、甲乙类工作状态 → T 工作大半个周期

① I_C 较小 ② 转换效率 η 在增大

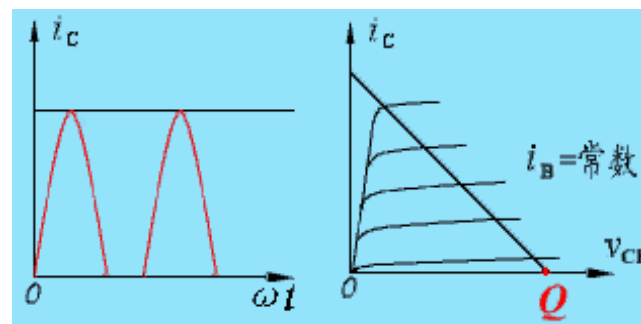
③ 输出波形出现截止失真



3、乙类工作状态 → T 仅工作半个周期

① $I_C=0$ ② 转换效率 η 最大

③ 输出波形严重失真



思考：如何解决效率和失真的矛盾？ → 利用NPN与PNP的互补

四、互补对称功率放大电路

由一对**特性及参数完全相同**的**NPN**和

PNP采用**共集电极接法**，上下拼接而成

1、双电源互补对称功放（OCL功放）

思考：两个电路工作在何种状态？

(1) 静态分析 $\rightarrow V_B = V_E = 0$

两个管子的发射结都没有正偏

$I_B = 0, I_C = 0 \rightarrow$ 两个电路工作在乙类状态

只有加入交流信号后，直流电源才供能

(2) 动态分析 共集电极接法 $\rightarrow u_o \approx u_i$

① 正半周期 $\rightarrow V_B > V_E \rightarrow$ **NPN工作PNP截止** $\rightarrow +V_{CC}$ 提供能量给 u_o

② 负半周期 $\rightarrow V_B < V_E \rightarrow$ **NPN截止PNP工作** $\rightarrow -V_{CC}$ 提供能量给 u_o

工作原理：利用**NPN和PNP的交替工作**来实现输出波形的不失真

$+V_{CC}$ 保证NPN的 V_C 最高
 $-V_{CC}$ 保证PNP的 V_C 最低

输入在B
输出在E

