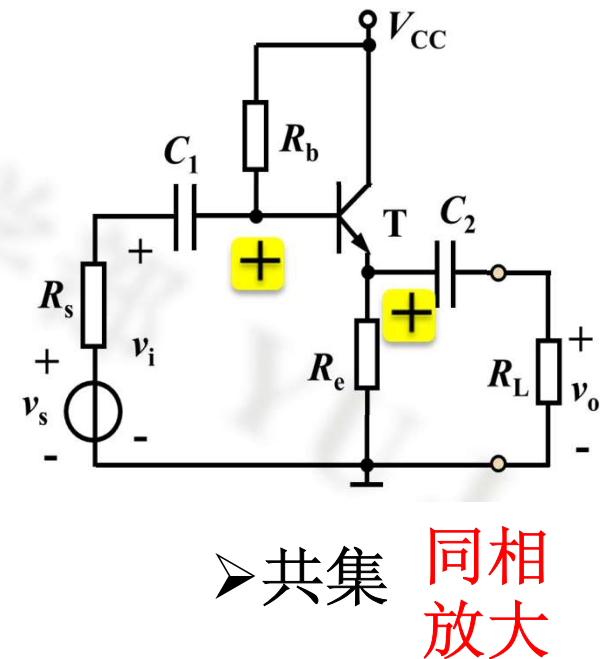
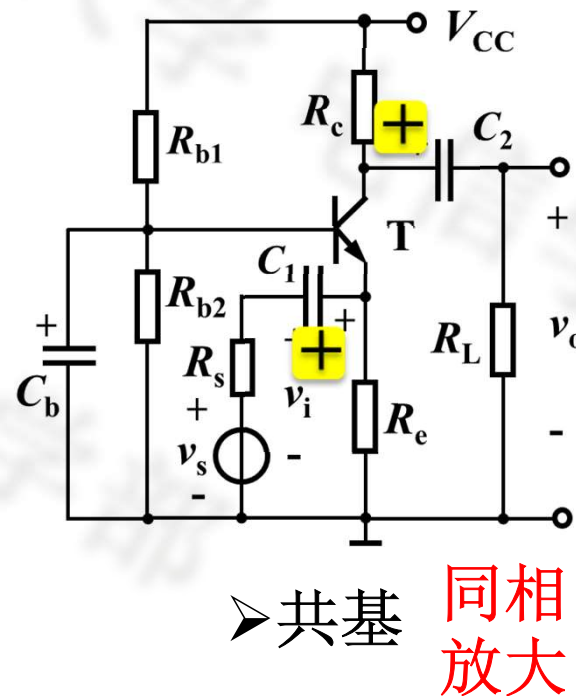
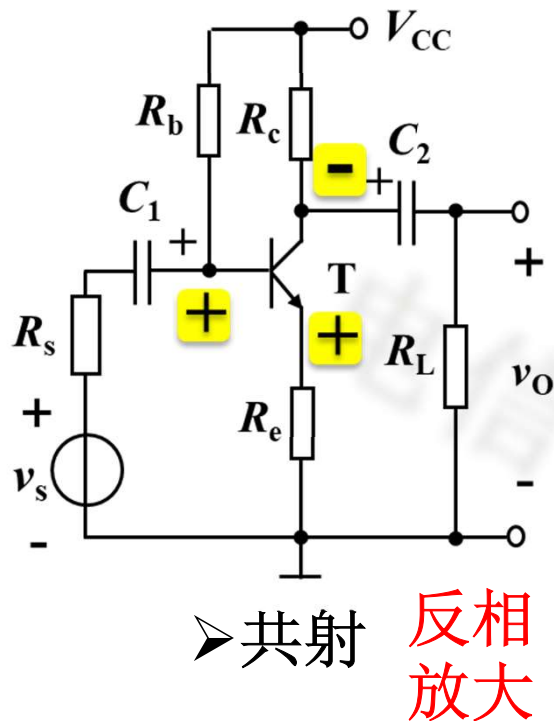


几个概念：瞬时极性、同相、反相

瞬时极性：信号值增大为“正极性”，信号值减小为“负极性”。

同相、反相：输出信号与输入信号极性相同即为“同相”放大，增益为正；反之为“反相”放大，增益为负。

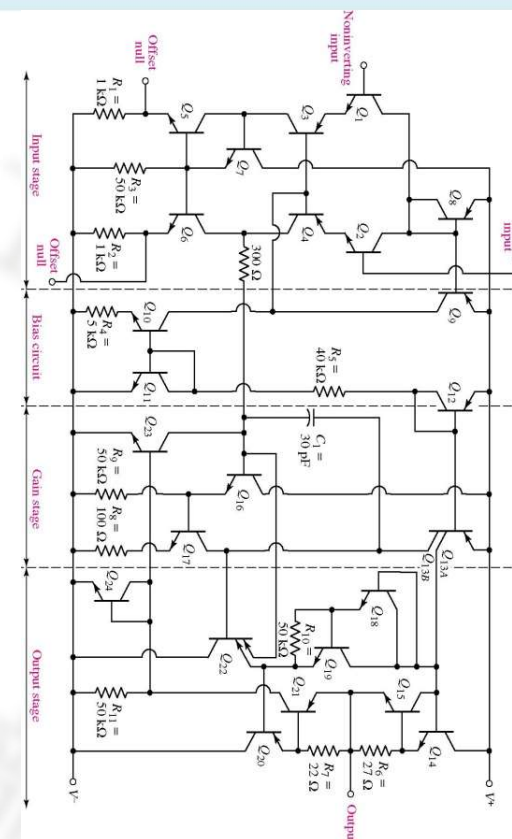
根据增益符号可知晶体管不同组态的各端口之间的相位关系：



6.2 集成运算放大器（书中6.4）

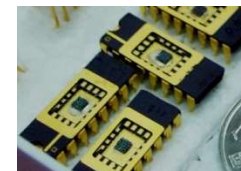
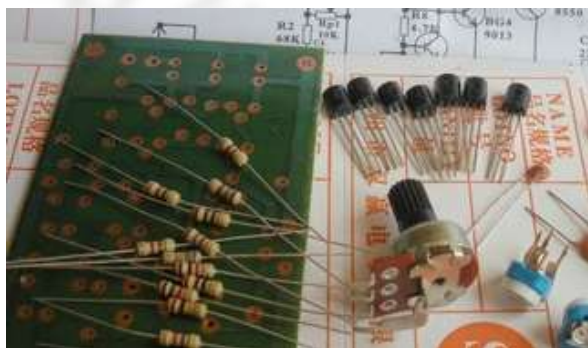
运算放大器：高增益多级直接耦合放大器

分级	输入级	增益级	输出级
功能	高共模抑制比	高增益 1000倍量级	R_o 低,提高带载能力
电路	差分放大	共射、 多级放大	电压跟随器 或互补功放



集成运算放大器：小、便宜、性能好。

运放需要的
分立器件



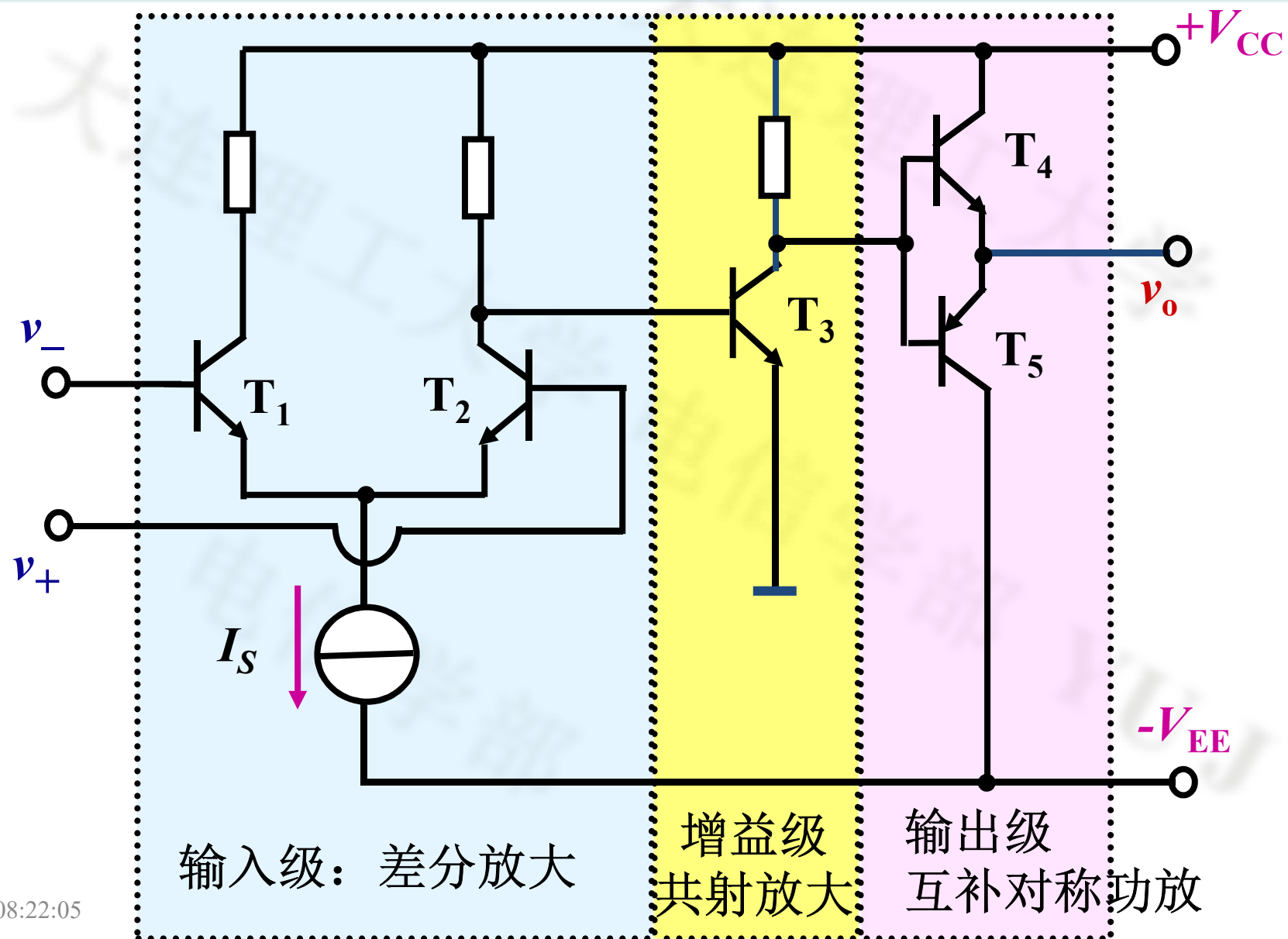
集成运放

6.2 集成运算放大器

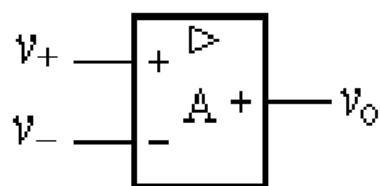
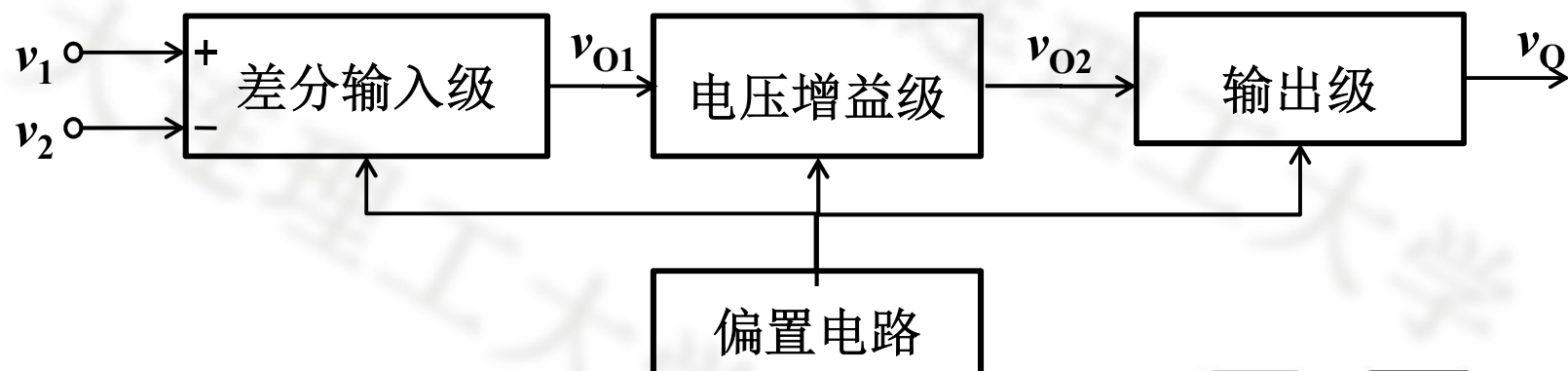
Operational Amplifier

- 1 构成和符号
- 2 主要参数
- 3 运放内部电路模块化分析
- 4 分类
- 5 运放的补偿与反馈

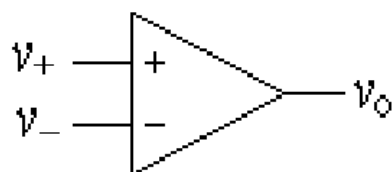
1 构成和符号



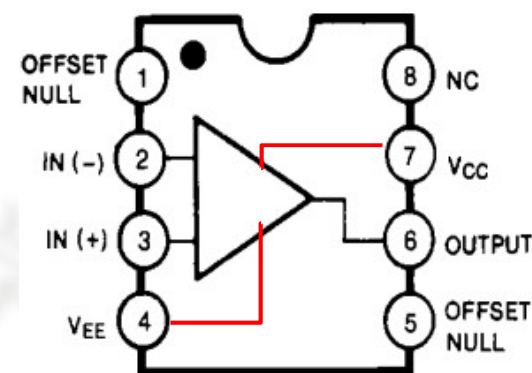
1 构成和符号



(a) 国标



(b) 惯用符号



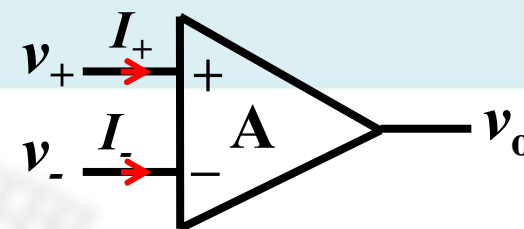
$v_+(v_P)$: 同相输入端 $v_-(v_N)$: 反相输入端 v_o : 输出端

另外：正、负电源端，补偿端和调零端，空脚等

(VCC, VEE, Offset, NC, etc.).

2 主要参数

一、部分静态参数



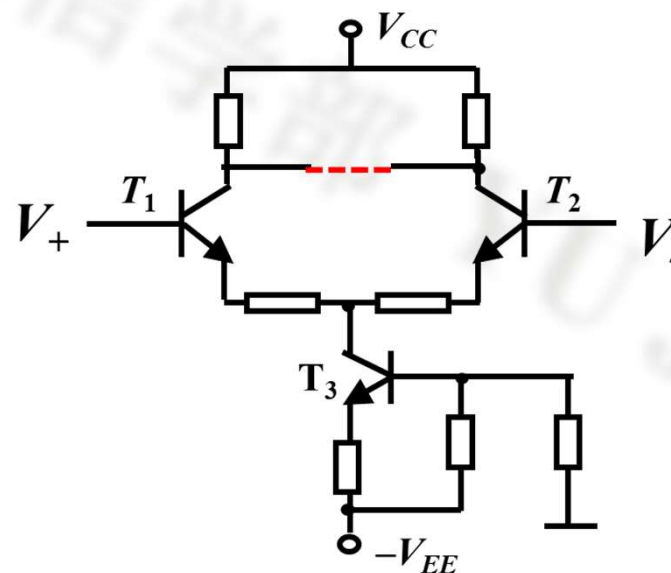
1). 输入失调电压 V_{IO} : $V_{IO} = \left(V_o |_{V_I=0} \right) / A_{VO}$ 对称性 μV mV

2). 输入失调电流 I_{IO} : $I_{IO} = |I_{B+} - I_{B-}|_{V_I=0}$ 对称性 pA μA (BJT)

3). 输入偏置电流 I_{IB} : $I_{IO} = (I_{B+} + I_{B-}) / 2$ nA μA (BJT)

4). 输入失调电压温漂 dV_{IO} / dT

5). 输入失调电流温漂 dI_{IO} / dT



二、动态技术指标

1). **开环差模电压放大倍数** A_{v0} 60-130dB

2). **差模输入电阻** r_{id} $10^6\Omega$ - $10^{13}\Omega$

3). **输出阻抗** r_o : 0.05Ω - 200Ω

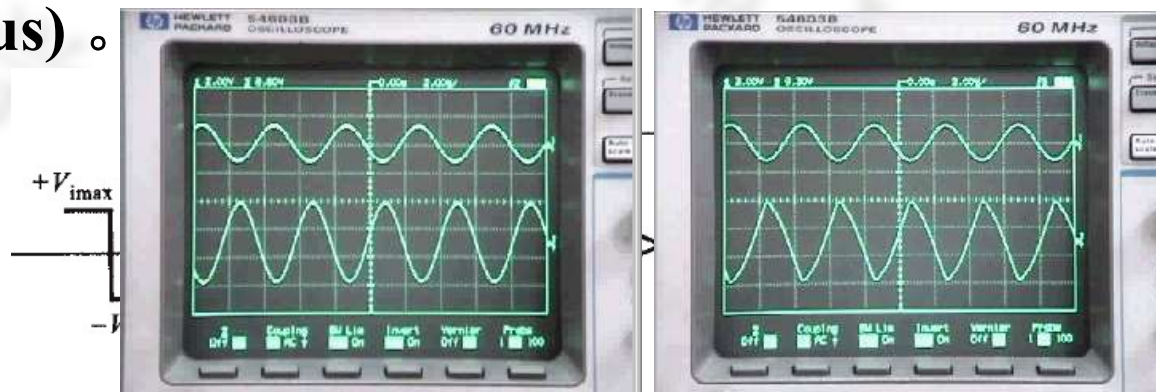
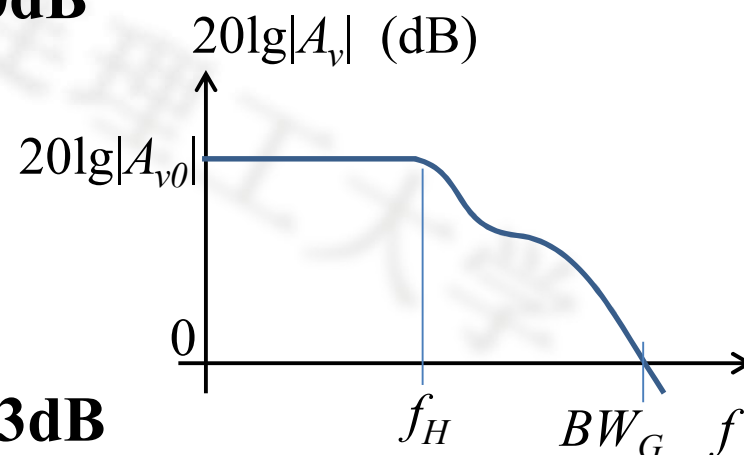
4). **共模抑制比** K_{CMR} 80-140dB

5). **-3dB带宽** f_H : A_{v0} 在高频段下降3dB
所定义的带宽 f_H

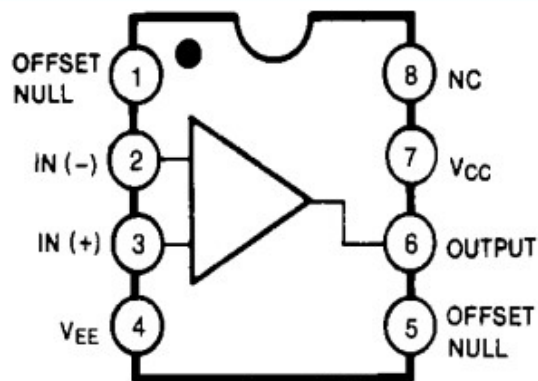
6). **单位增益带宽** f_T (BW_G)—— $A_{v0}=1$ (0dB) 时对应的频率

7). **转换速率** S_R (slew rate, **压摆率**)——对快速变化的输入信号的响应能力(V/us)。

$$S_R = \left| \frac{dV_o}{dt} \right|_{\max}$$



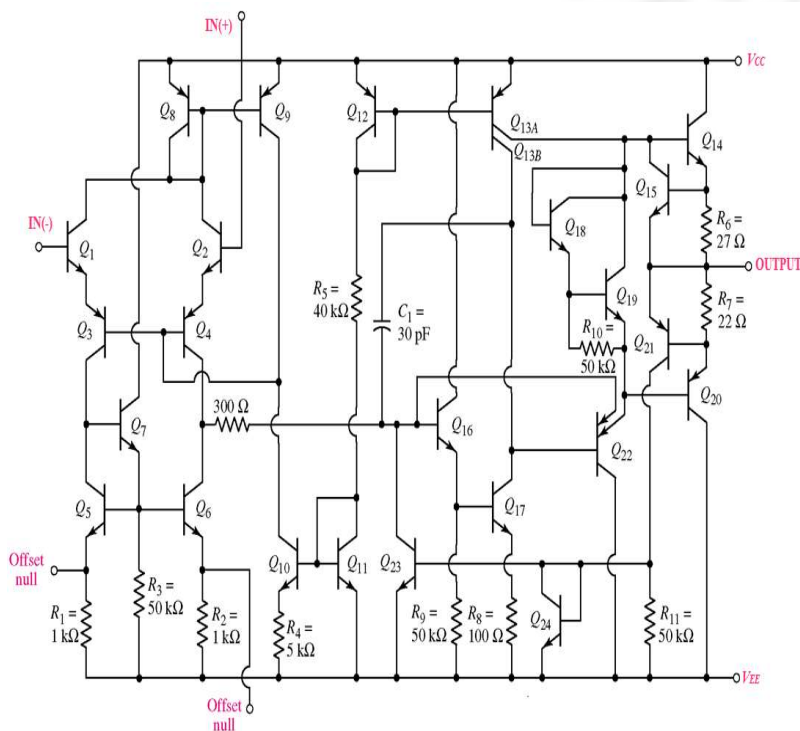
3 运放内部电路模块化分析 ★



741 op-amp (general-purpose op-amp) P282 图6.4.2

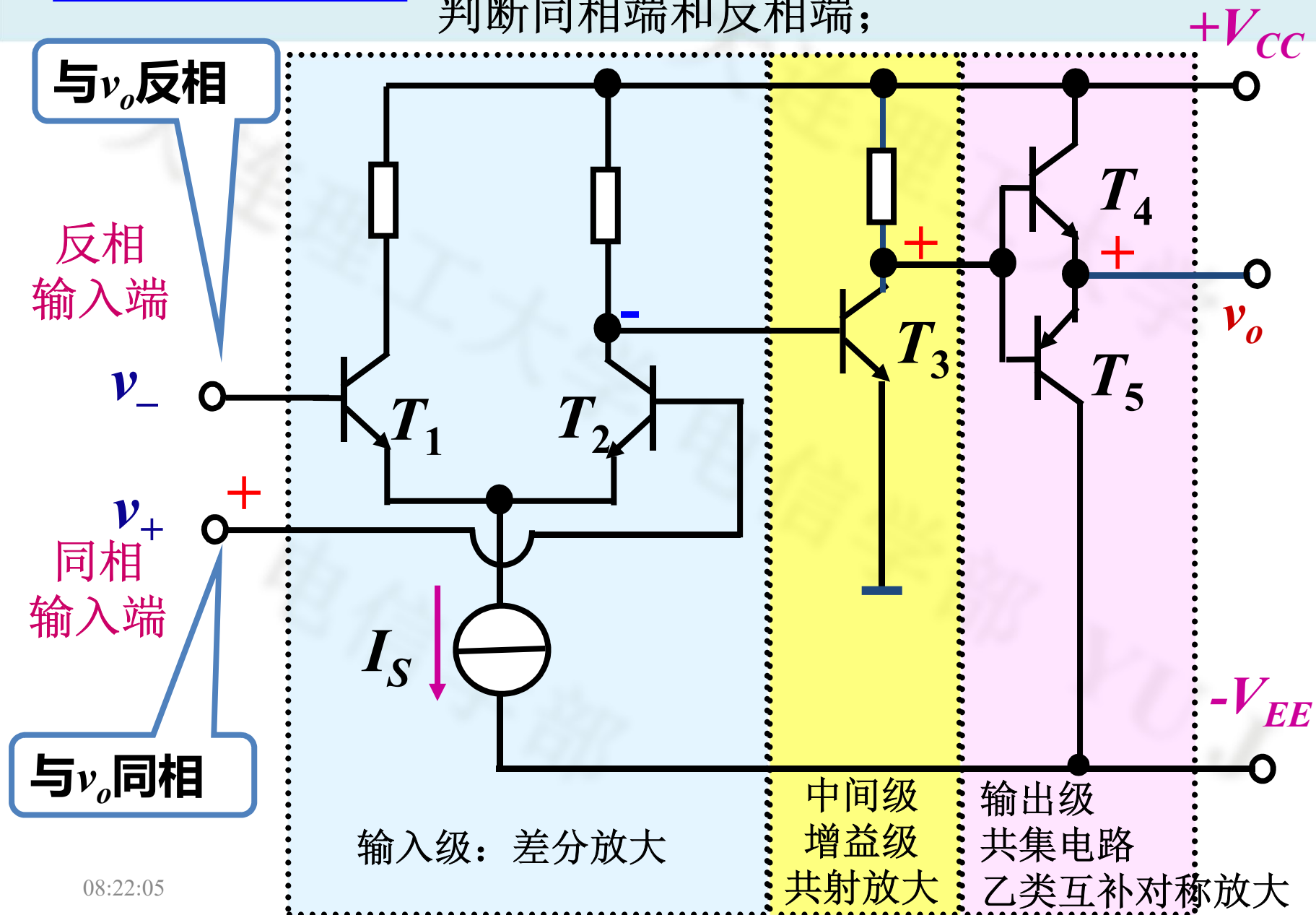
IC区别于分立元件电路的部分特点:

- 1). 高集成度，元件一致性好。
- 2). 内部电阻元件阻值通常 $< 20\text{ k}\Omega$,
高阻用BJT有源元件代替或外接。
- 3). 内部电容元件通常 $< 50\text{ pf}$,
大电容要外接。

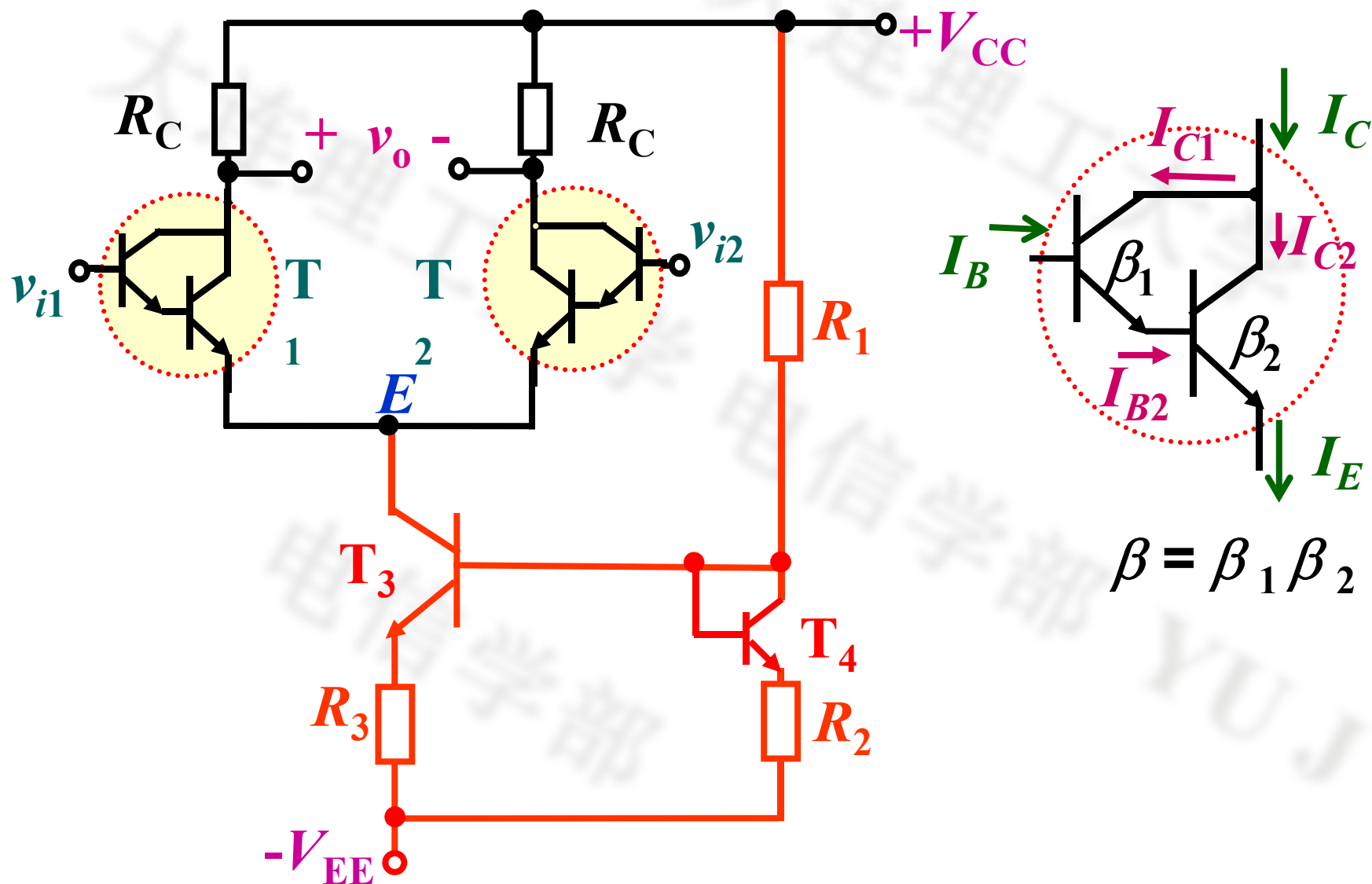


例. 分析电路:

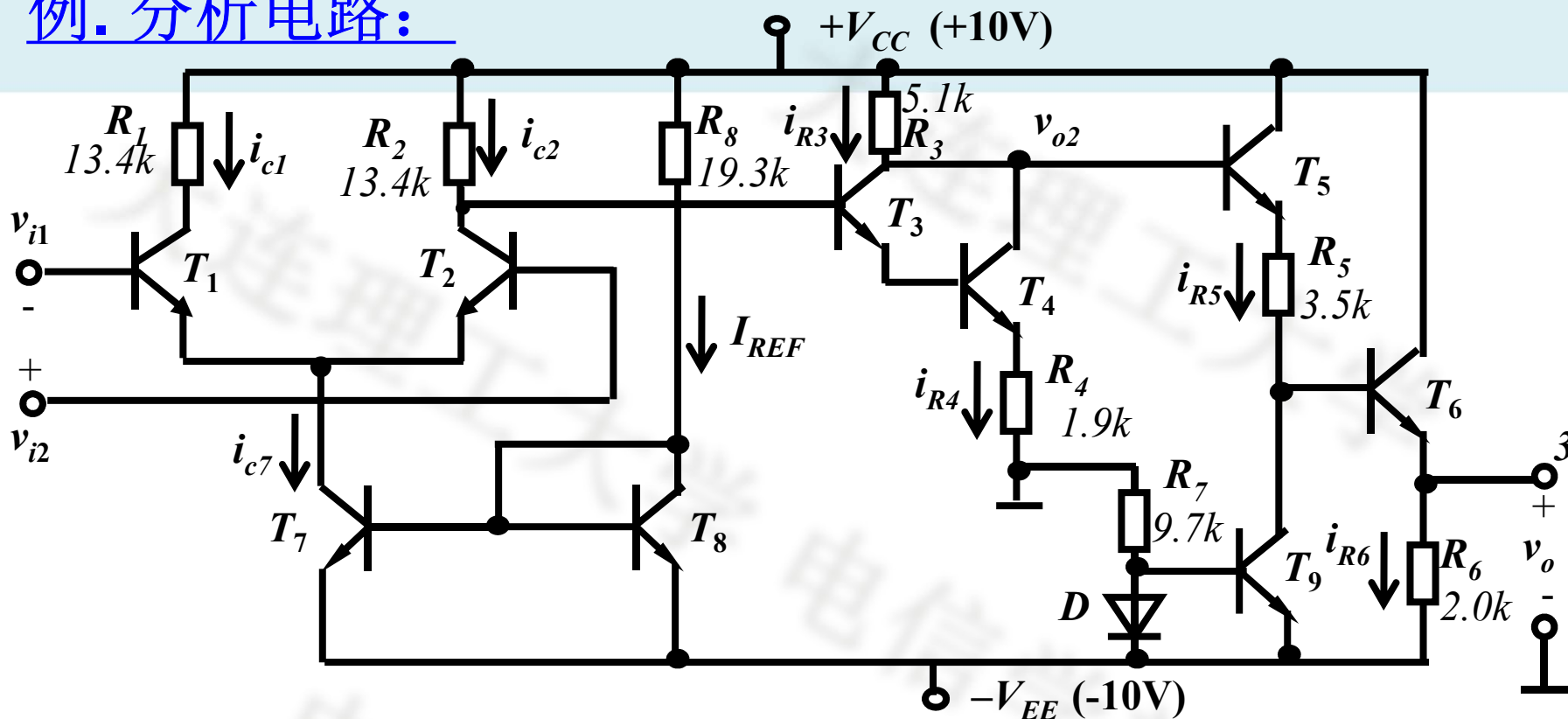
每级电路的功能;
判断同相端和反相端;



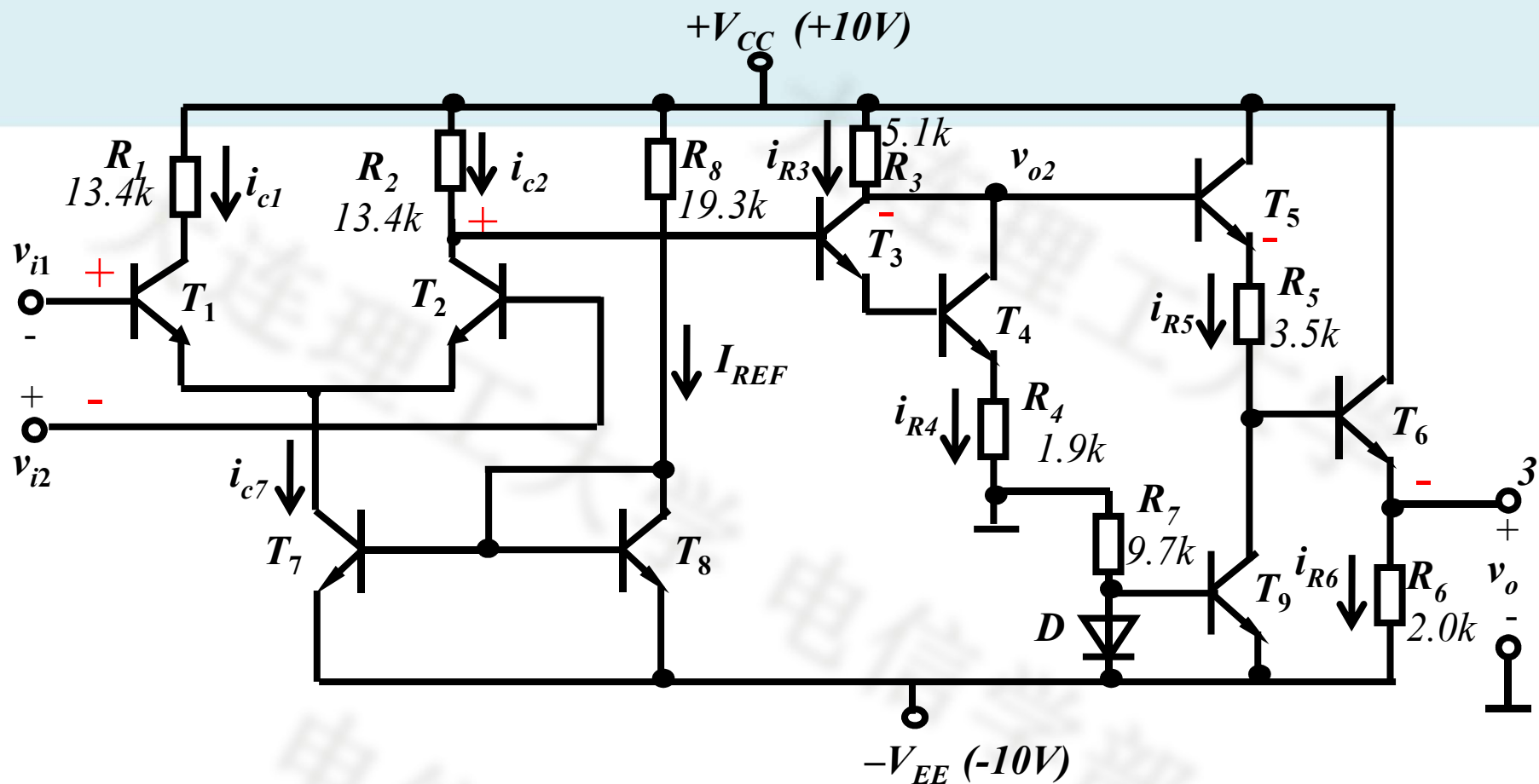
为减小 I_B ，提高输入电阻， T_1 、 T_2 采用复合三极管



例. 分析电路:



- T1,T2对管组成差分放大输入级，双端输入、单端输出；
- 复合管T3,T4组成共射极电路，增益级，提高电压增益；
- T5,T6组成两级电压跟随器，是输出级，提高带负载的能力；
- R8和T7与T8构成电流源，偏置电路，为差放提供偏置电流；
- R7和D与T9构成电流源，偏置电路，提高T5电压跟随能力。



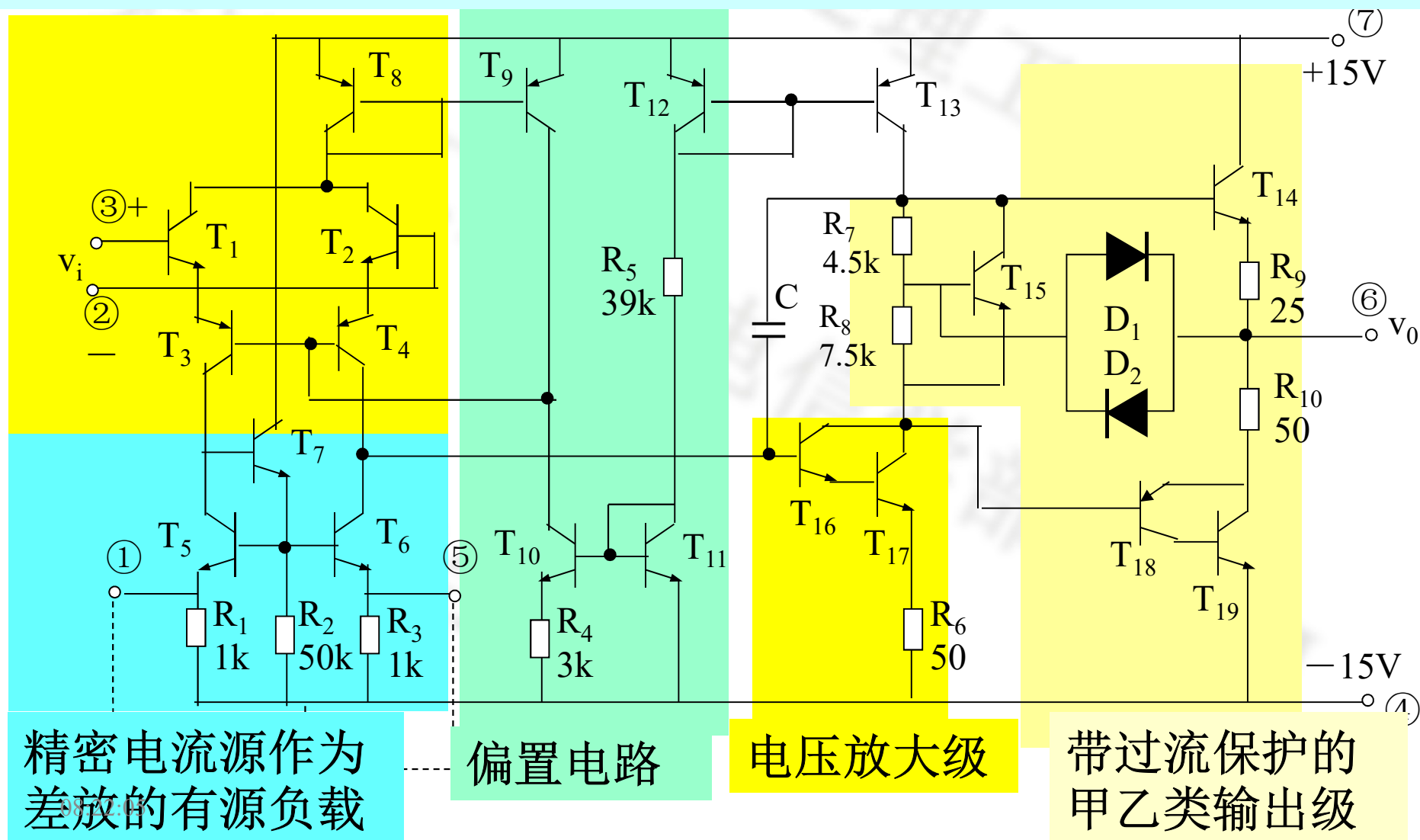
- 输入和输出的相位: 瞬时极性法分析法
- 以输出信号为参考, 与之同相的输入端为同相端。
- 分析可知: v_{i1} 为反相端; v_{i2} 为同相端。

T1~T4组成共集——共基差动放大器（T8电流源偏置）

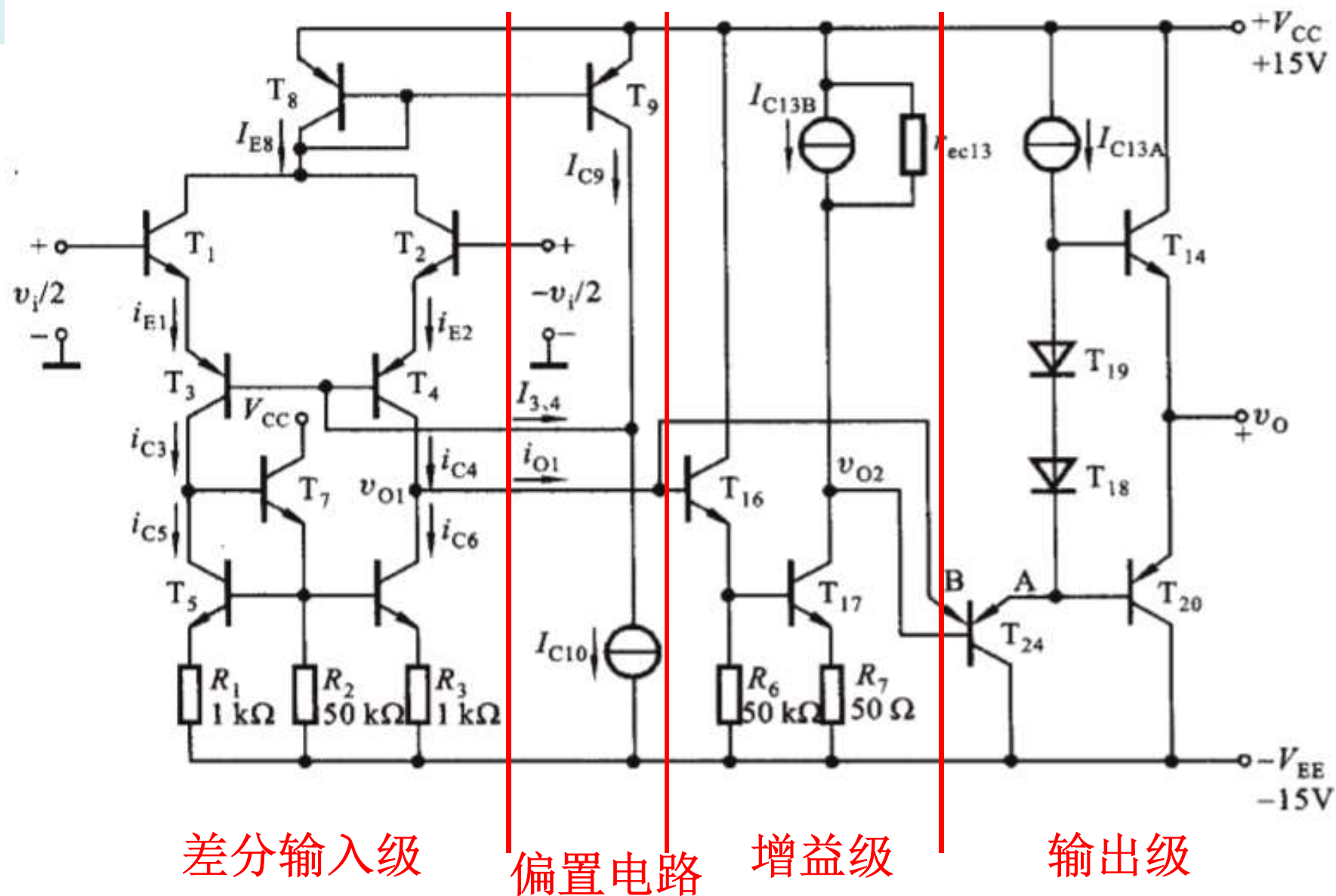
①共集放大的输入阻抗高电流增益大，共基放大的电压增益大。

②用 β 较大的NPN管补偿 β 较小的PNP管，因此输入阻抗高，电压增益也大。

③允许较高的差模输入电压($\pm 30V$)，因为横向的PNP管有很高的反向击穿电压。

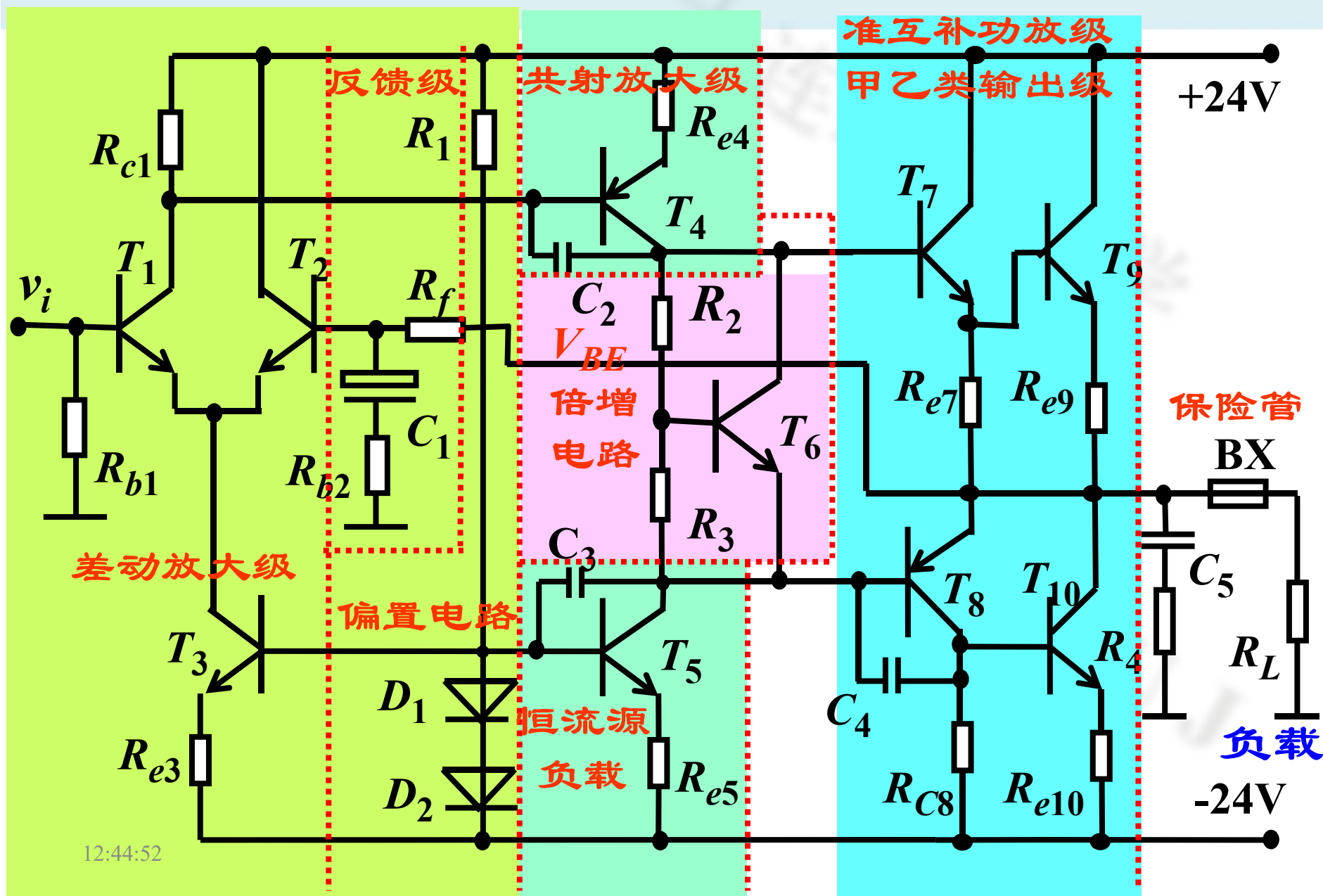


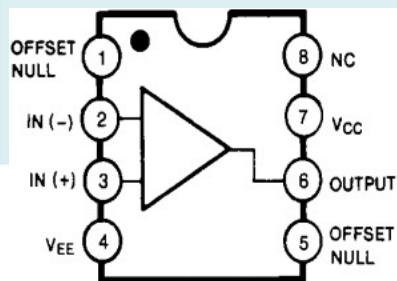
例. 分析电路结构:



例. 分析电路结构:

实用的OCL准互补功放电路

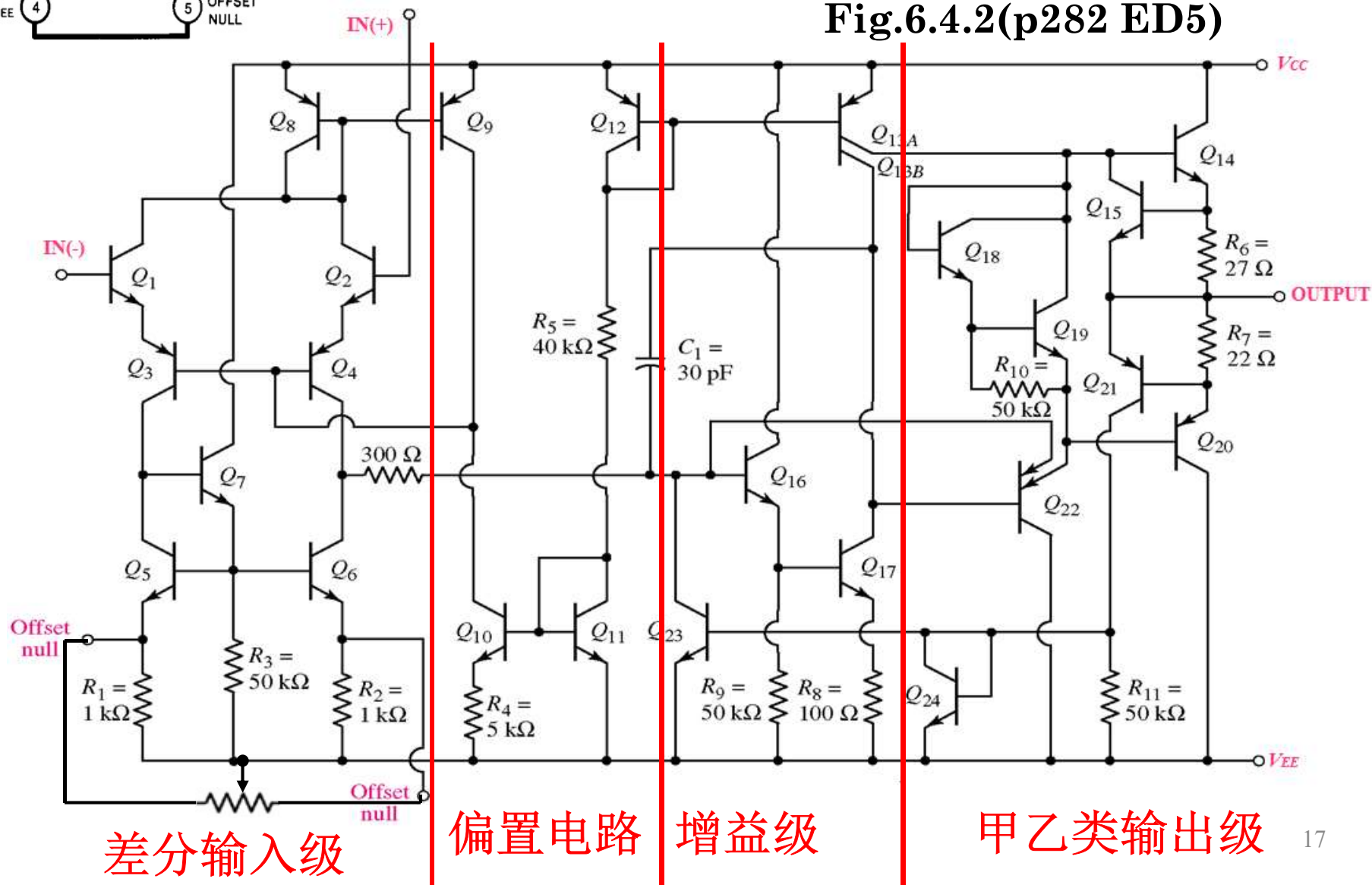


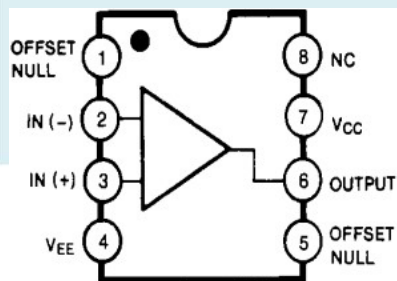


例. 分析电路:

741 op-amp (general-purpose op-amp)

Fig.6.4.2(p282 ED5)

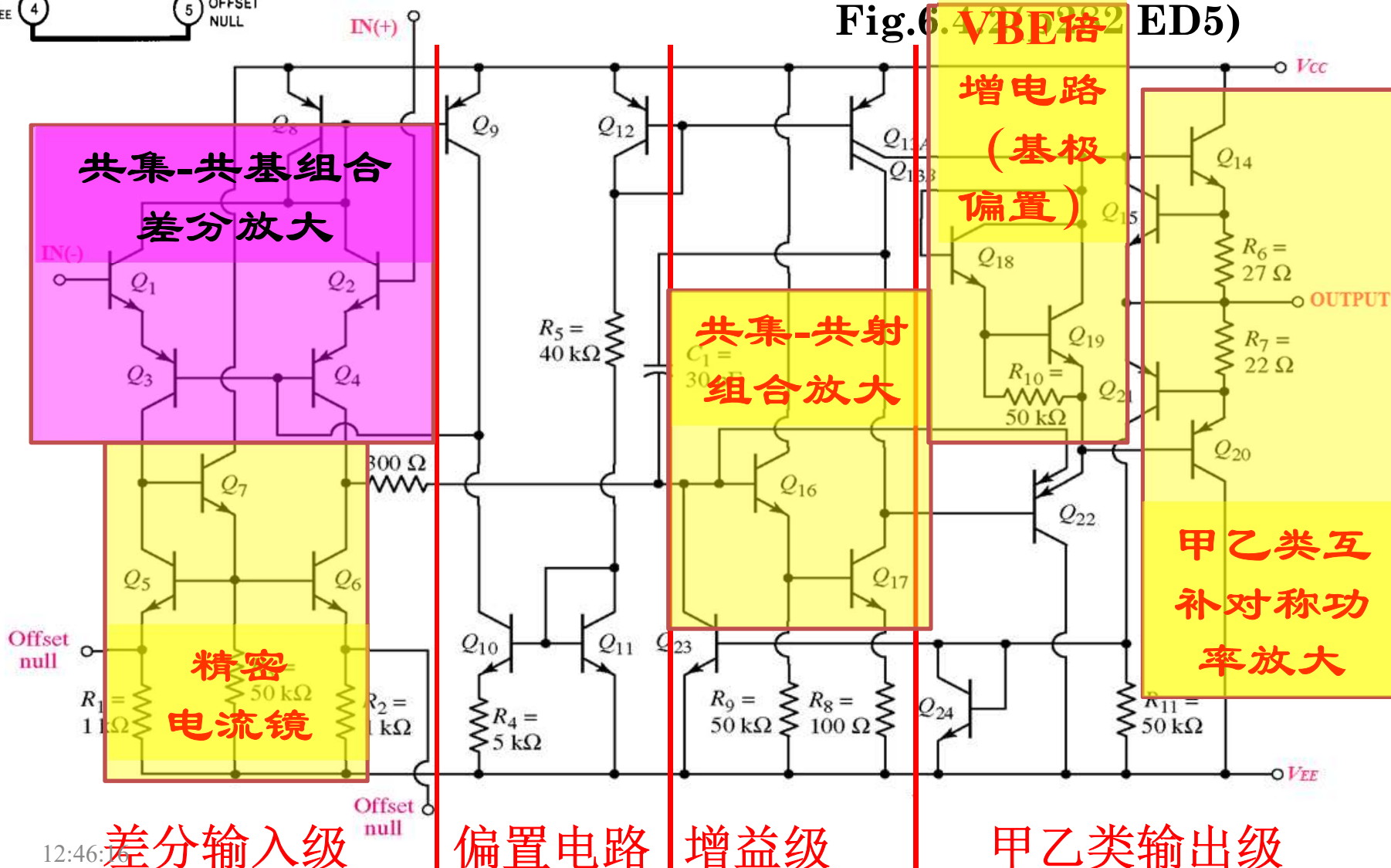




例. 分析电路结构:

741 op-amp (general-purpose op-amp)

Fig. 6.42 (ED5)



4 分 类

ref: page 291-292 Table 6.5.1

理想运放 1) $A_{vo} = \infty$ ($A_{vo} \geq 60\text{dB}$) 开环差模增益

2) $r_{id} = \infty$

3) 稳定

通用型

性能指标比较适中

专用型

某些技术指标
比较突出

一、通用型

二、高速型和宽带型

三、高精度(低漂移型)

四、高输入阻抗型

五、低功耗型

六、功率型

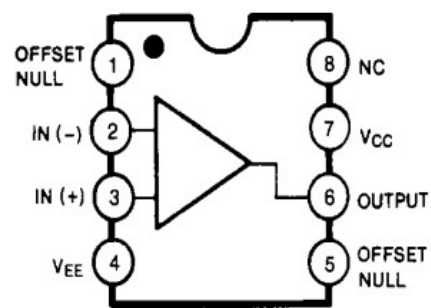
七、高压型

5 运放的补偿与反馈

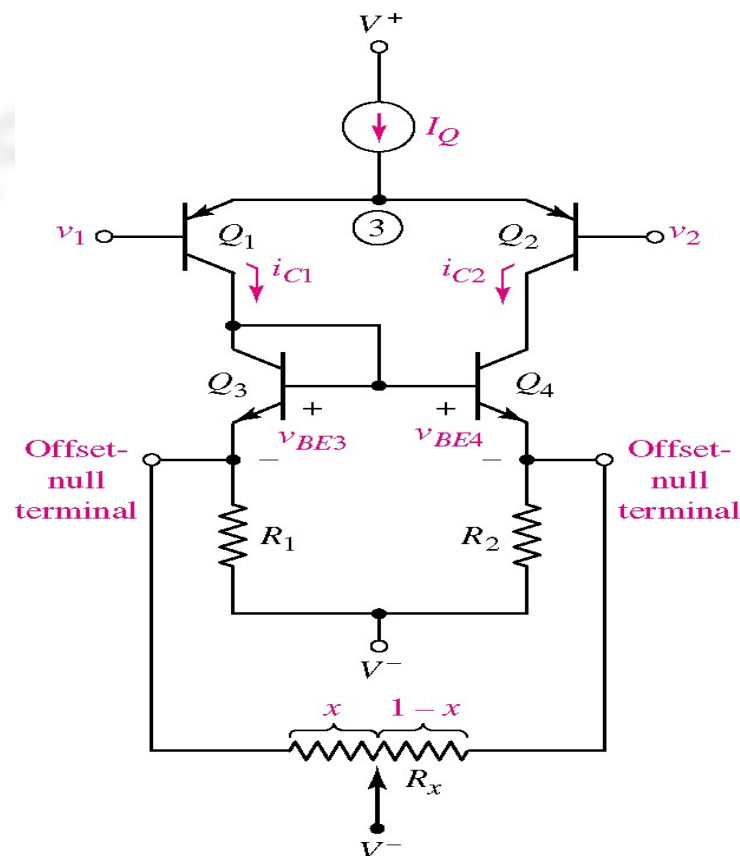
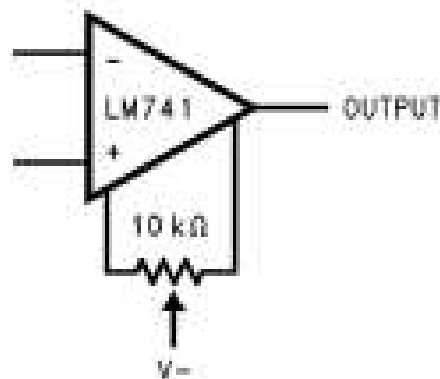
实际运放：不完全匹配（失调）、增益不稳定.....

失调的补偿（内部）：

Offset-Null Terminals 失调电压补偿端口，外接电阻调零。

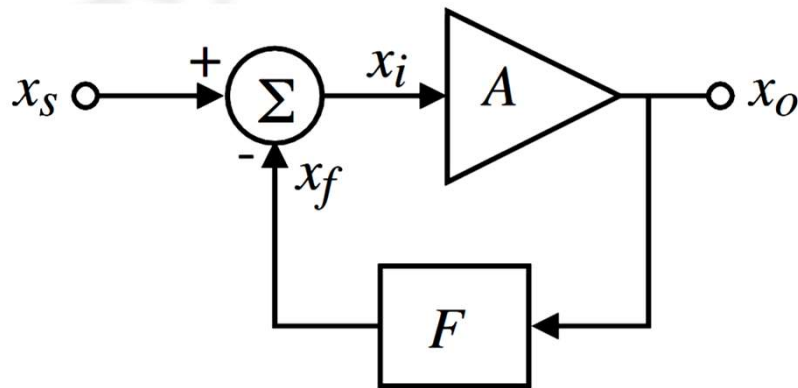


Offset Nulling Circuit



5 运放的补偿与反馈

实际运放：不完全匹配（失调）、增益不稳定.....



外部解决方案----负反馈！

A ：开环差模增益

$$x_o = Ax_i = A(x_s - Fx_o)$$

$$\frac{x_o}{x_s} = \frac{A}{1 + AF} = \frac{1}{1/A + F}$$

开环增益越大闭环增益越精确

当 A 非常大，满足 $1/A \ll F$ 时：

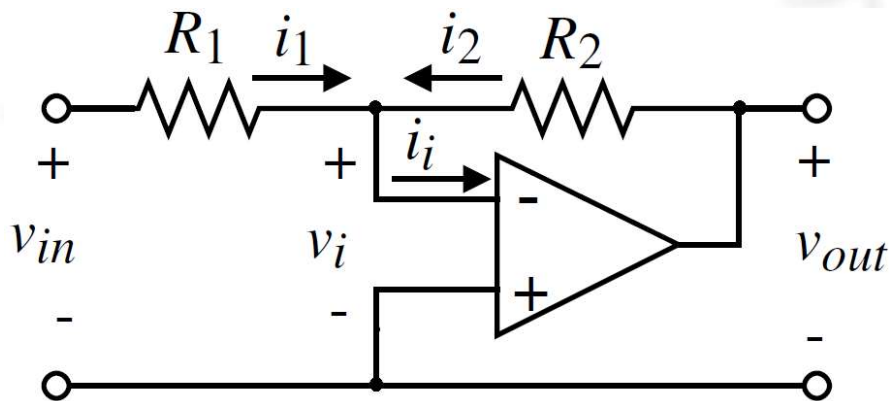
$$A_f = \frac{x_o}{x_s} = \frac{1}{F}$$

例如 $A=10000, F=0.1$, 则 $\frac{1}{1/A + F} = \frac{1}{0.1001} = 9.99 \approx 10$

$A=100, F=0.1$, 则 $\frac{1}{1/A + F} = \frac{1}{0.11} = 9.09 \approx 9$

设计高增益运放，引入负反馈后，闭环增益稳定可调！

负反馈带来的两个重要结论: ★



1) 理想运放, 输入阻抗无穷大 $\Rightarrow I_+ \approx I_- \approx 0 \quad i_1 \approx -i_2$

virtual open circuit (虚断)

② 实际运放使用时, 应满足: $R_i \gg R_1, R_2, R_s$

2) 增益无穷大 & 输出有限信号 $\Rightarrow v_i = \frac{v_{out}}{A} \approx 0 \quad V_+ \approx V_-$

virtual short circuit (虚短)

$$\frac{v_{in}}{R_1} = -\frac{v_{out}}{R_2} \quad v_{out} = \left(-\frac{R_2}{R_1} \right) v_{in} = A_f v_{in}$$

6. 模拟集成电路

小结

掌握：差动放大器结构形式、原理、参数计算。

掌握：电流源、镜像电流源

掌握：掌握理想运放的特点，能够分析电路结构。

预习：反馈

作业

P320: 6.4.3

