

回顾

共集：输入电阻最大(电压信号源衰减最小)，输出电阻最小(带负载能力强)，无电压增益，有较大的电流增益；

共射：输入电阻不够大，输出电阻不够小，有较大的电压和电流增益；

共基：输入电阻很小，无电流增益，有较大的电压增益。

在共射、共基、共集三种基本放大电路组态中，希望带负载能力强，应选用__B__，希望频率特性好（若优先考虑高频特性指标要好），应选用__c__。

(A. 共射组态，B. 共集组态，C. 共基组态)

多级放大电路

在许多应用场合，要求放大器有较高的放大倍数及合适的输入、输出电阻，如用单级放大器很难达到要求。因此，需要将多个不同组态的基本放大器级联起来，充分利用它们的特点，合理组合构成多级放大器。

掌握多级放大电路的耦合方式，为下面集成电路的学习打好基础。

1. 级间耦合方式

组成多级放大电路的每一个基本电路称为**一级**，级与级之间的连接称为**级间耦合**。

级间耦合的要求：

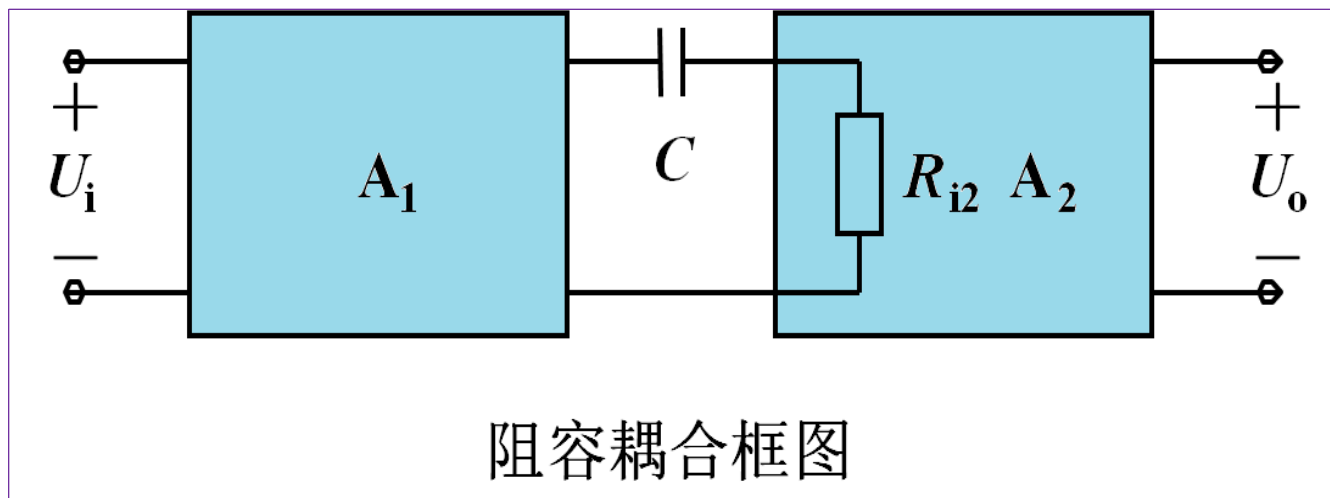
- 确保各级放大器有合适的直流工作点；
- 前级输出信号尽可能不衰减地加到后级的输入端。

常用的耦合方式：

阻容耦合、变压器耦合和直接耦合。

一、阻容耦合

通过电容器将后级电路与前级相连接。

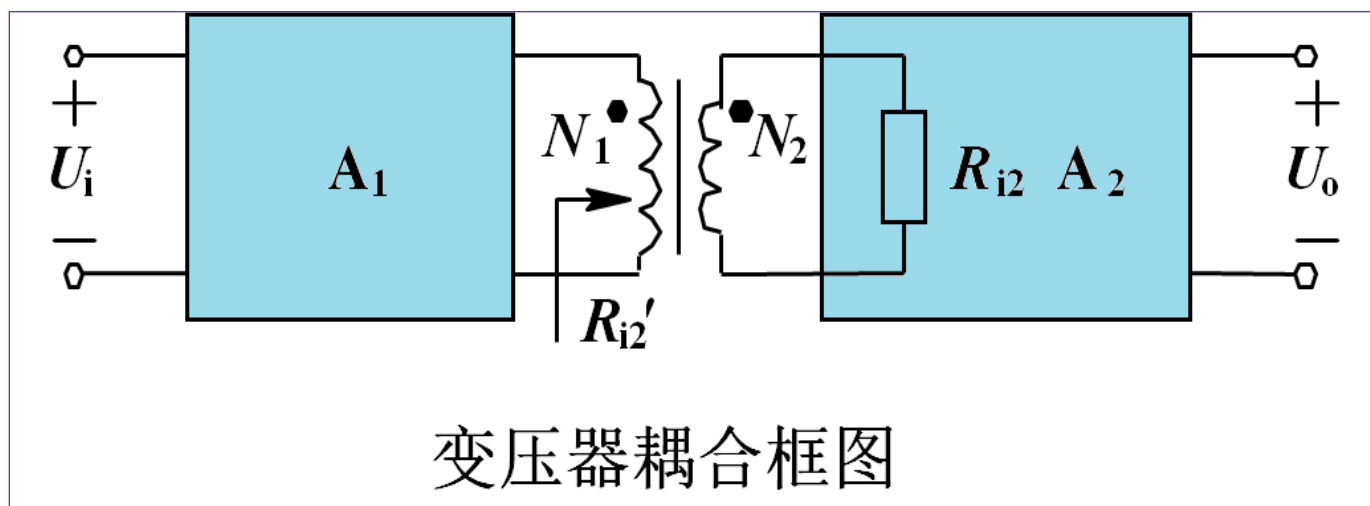


优点：静态工作点相互独立，在分立元件电路中广泛使用。

缺点：无法放大直流及变化缓慢的信号，另外在集成电路中无法制造大容量电容，所以不便于集成化。

二、变压器耦合

通过变压器将后级电路与前级相连接。

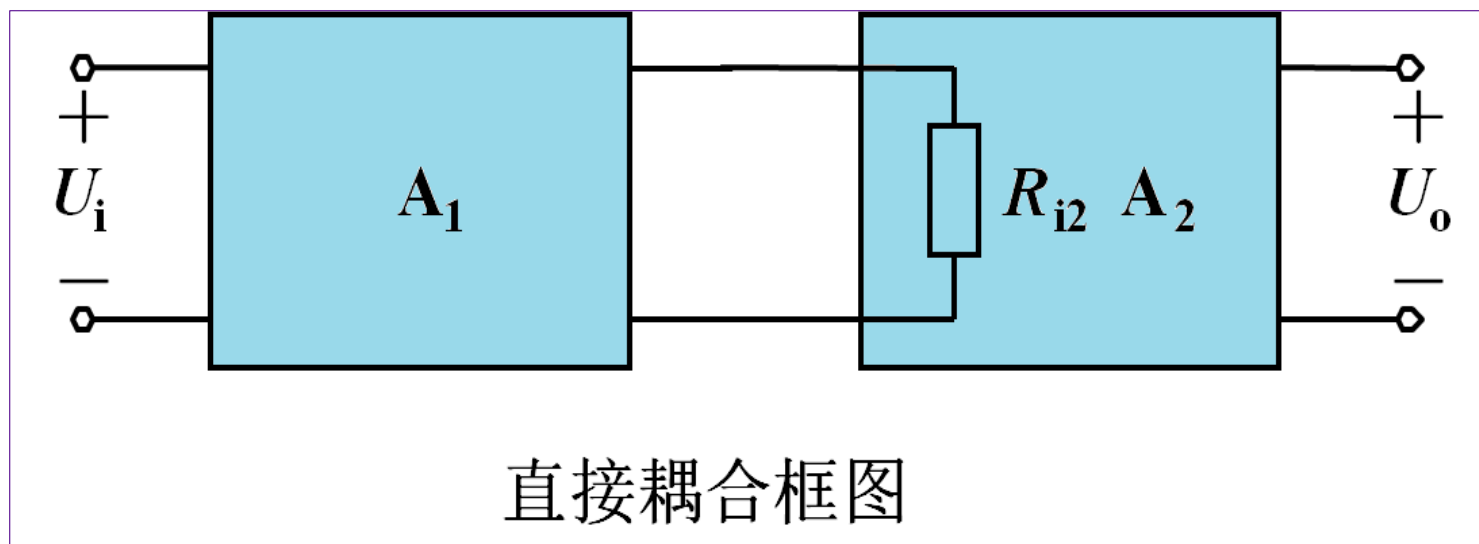


优点：各级的直流工作点相互独立；可实现阻抗变换。

缺点：无法放大直流及变化缓慢的信号；变压器体积大，不易集成。

三、直接耦合

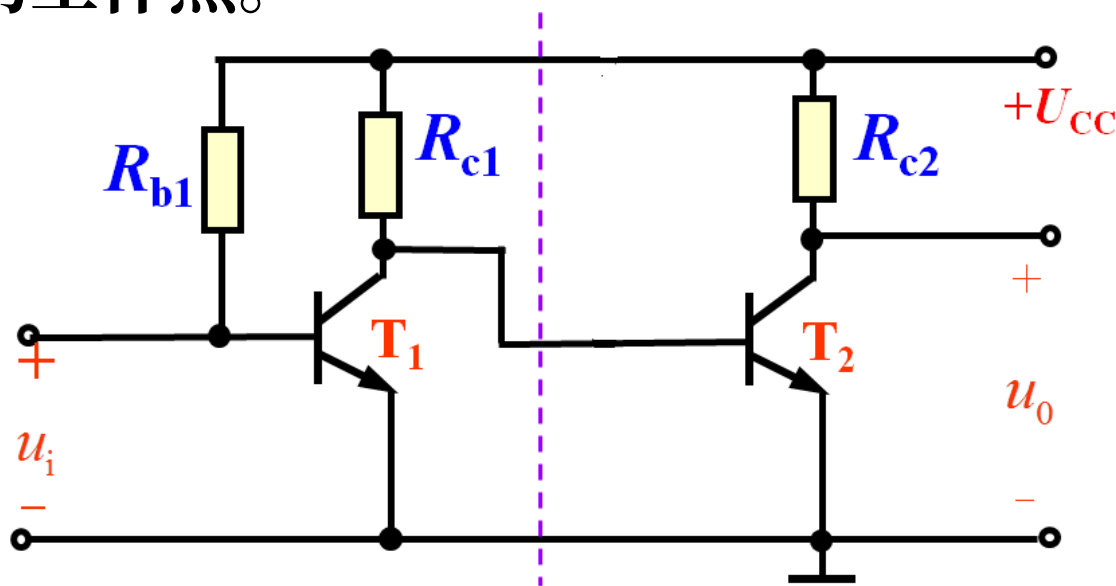
把前级的输出端直接或通过恒压器件接到下级输入端。



优点：结构简单、便于集成；具有良好的频率特性，对高频、低频和直流信号均能放大。

缺点：a. 各级直流工作点相互影响，不能独立。

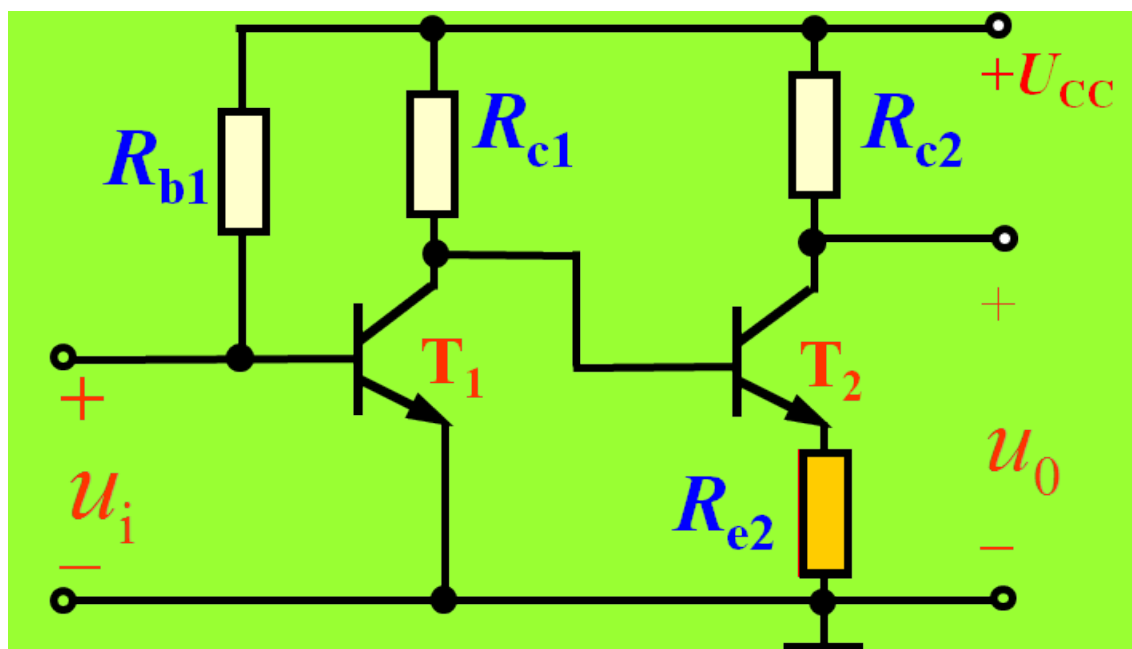
因此，必须考虑各级间直流电位的配置问题，以使每一级都有合适的工作点。



T_1 管的 U_{CE1} 受到 U_{BE2} 的限制，仅有0.7V左右(硅管)。因此，第一级输出电压的幅值将很小。为了保证第一级有合适的静态工作点，必须提高 T_2 管的发射极电位。

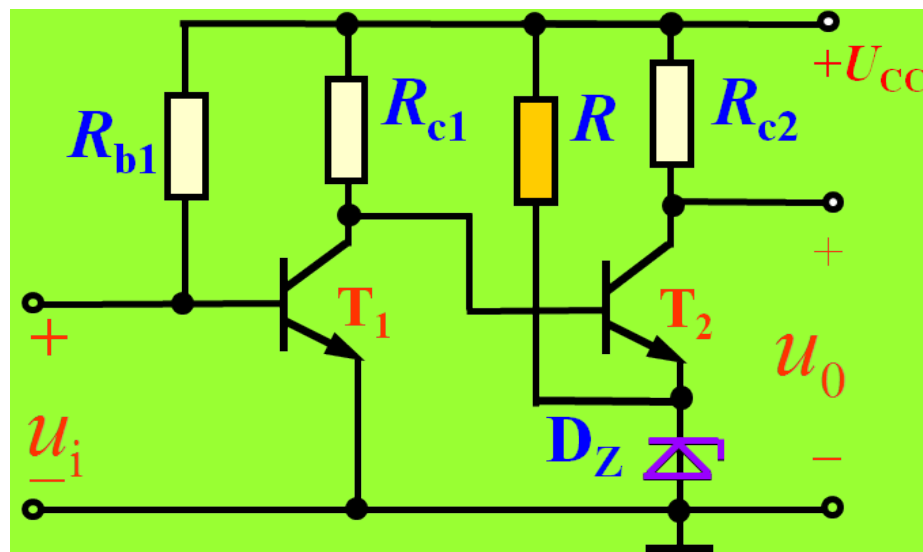
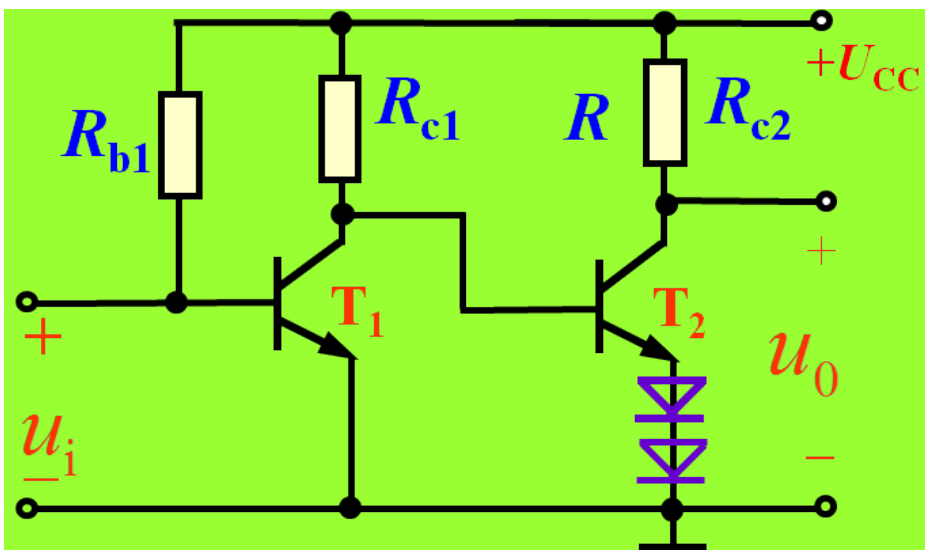
改进电路 (1):

在后级电路中的发射极接入电阻 R_{e2} ，保证第一级集电极有较高的静态电位，但第二级放大倍数严重下降。



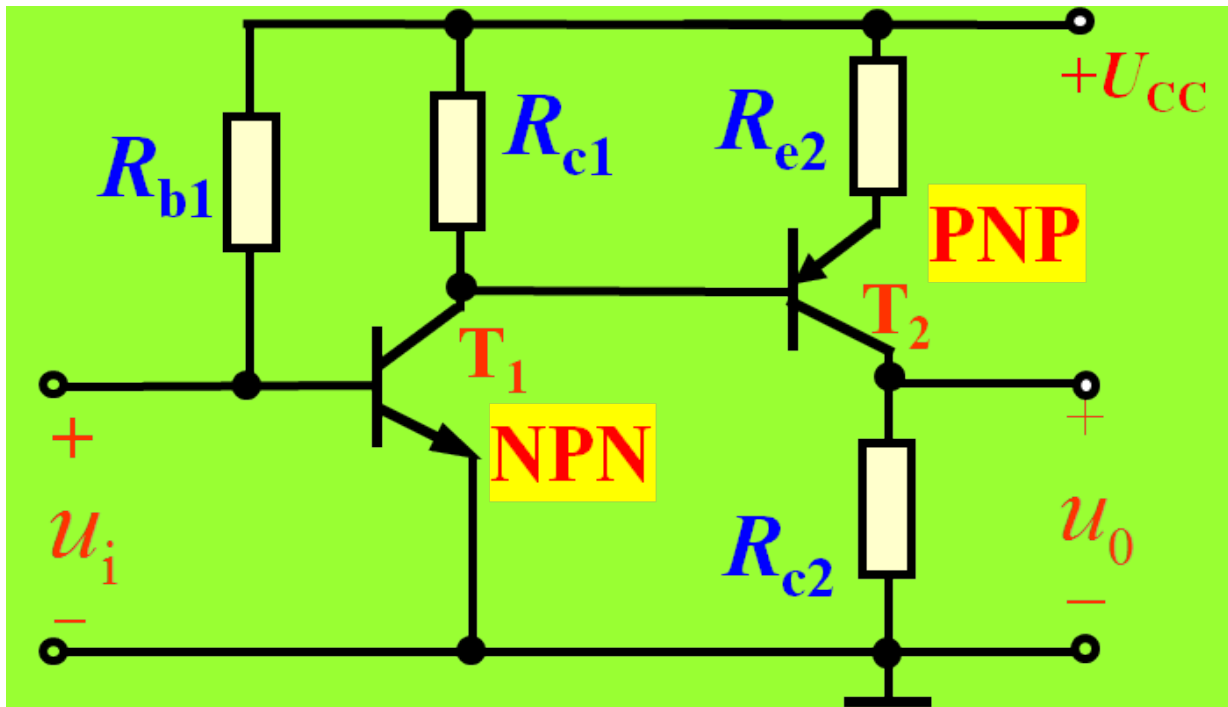
改进电路 (2):

在后级电路中的发射极接入**二极管和稳压管**，因为它们**的动态电阻很小**，可以使第二级的**放大倍数损失小**。但前级集电极电压变化范围减小。



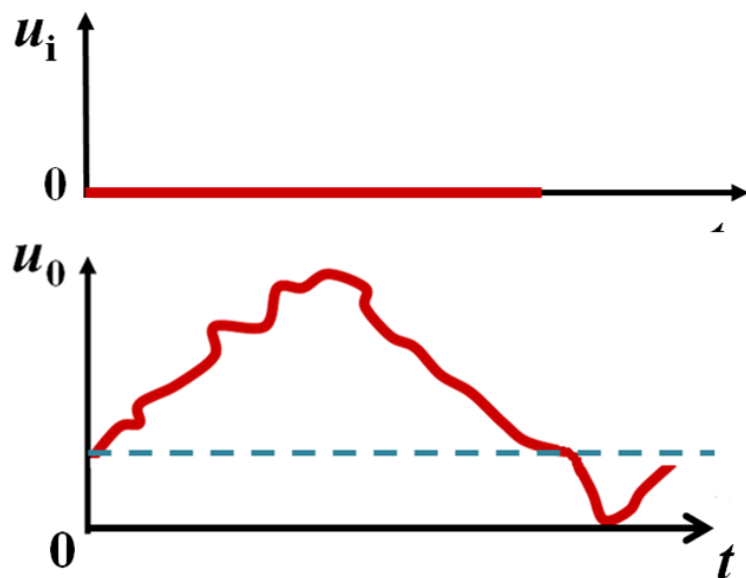
改进电路 (3):

NPN管和PNP管混合使用，不会造成集电极电位逐级升高。此电路被广泛采用。



缺点：b. 直接耦合放大电路有零点漂移现象

零点漂移：是指当放大电路**输入信号为零时**，由于受元器件参数变值、环境温度变化，电源电压不稳等因素的影响，使静态工作点发生变化，并被逐级放大和传输，导致电路**输出端电压偏离原固定值而上下漂动的现象。**



零点漂移现象

显然，放大电路级数愈多、放大倍数愈大，输出端的漂移现象愈严重。严重时，有可能使输入的微弱信号湮没在漂移之中，无法分辨，从而达不到预期的传输效果，因此，**提高放大倍数、降低零点漂移是直接耦合放大电路的主要矛盾。**

产生零点漂移的原因很多，如电源电压不稳、元器件参数变值、环境温度变化等。其中**最主要的因素是温度的变化。**

抑制零点漂移最有效的措施是采用差动放大电路(后面介绍)。

注意：为什么只对直接耦合多级放大电路提出这一问题呢？原来温度的变化和零点漂移都是随时间缓慢变化的，如果放大电路各级之间采用阻容耦合或是变压器耦合，这种缓慢变化的信号不会逐级传递和放大，问题不会很严重。但是，对直接耦合多级放大电路来说，输入级的零点漂移会逐级放大，在输出端造成严重的影响。特别时当温度变化较大，放大电路级数多时，造成的影响尤为严重。

三种耦合方式放大电路的应用场合：



阻容耦合：用于交流信号的放大。

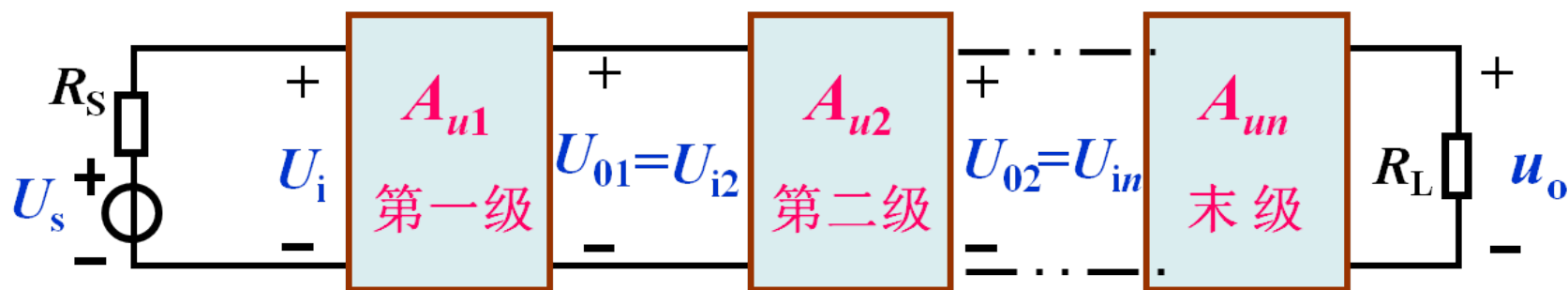
变压器耦合：用于功率放大及调谐放大。

直接耦合：一般用于放大直流信号或缓慢变化的信号。

集成电路中的放大电路都采用直接耦合方式。为了抑制零漂，它的输入级采用特殊形式的差动放大电路。

2. 多级放大电路的性能指标计算

基本方法：化多级电路为单级, 然后再逐级求解。



(1). 电压放大倍数

一个n级放大器的总电压放大倍数 A_u 可表示为

$$A_u = \frac{U_o}{U_i} = \frac{U_{o1}}{U_i} \cdot \frac{U_{o2}}{U_{o1}} \cdots \frac{U_o}{U_{o(n-1)}} = A_{u1} \cdot A_{u2} \cdots A_{un}$$

可见， A_u 为各级电压放大倍数的乘积。



注意：多级放大电路中，后一级电路的输入电阻相当于前一级电路的负载电阻；前一级输出电阻相当于后一级电路的信号源内阻。

(2). 输入电阻

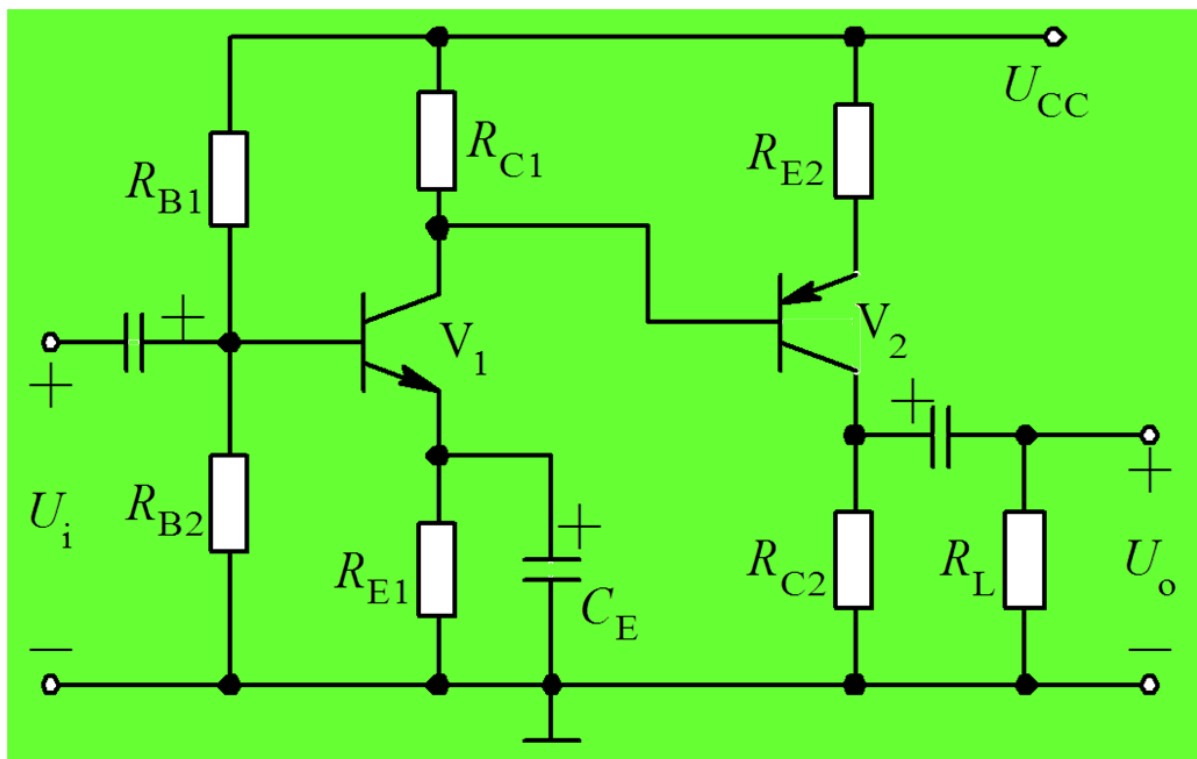
级联放大器的输入电阻就是第一级的输入电阻 R_{i1} ，但应将后级的输入电阻 R_{i2} 作为其负载，即 $R_i = R_{i1} \Big|_{R_{L1}=R_{i2}}$

(3). 输出电阻

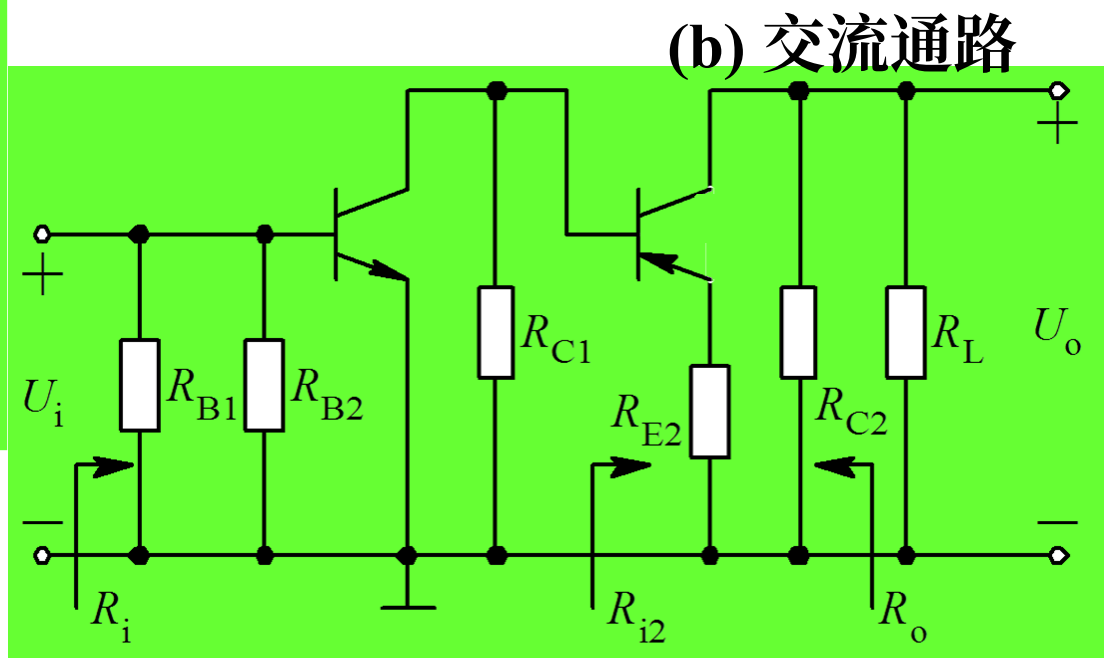
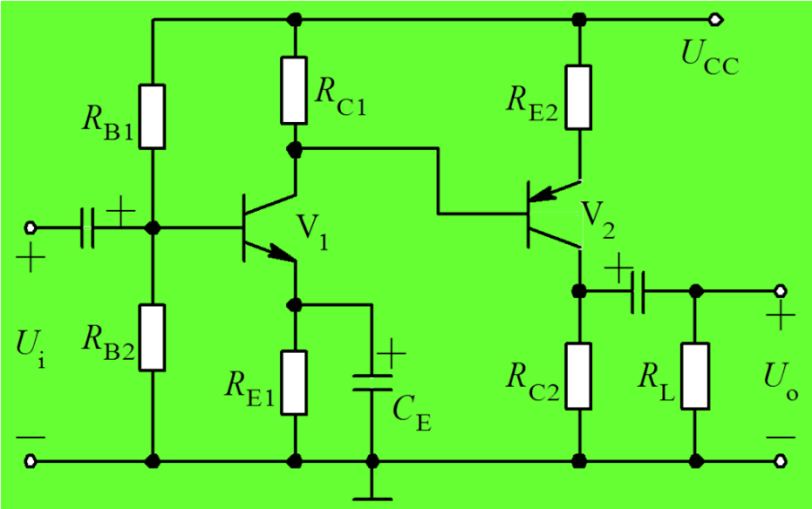
级联放大器的输出电阻就是最末级的输出电阻 R_{on} ，但应将前级的输出电阻 $R_{o(n-1)}$ 作为其信号源内阻，即

$$R_o = R_{on} \Big|_{R_{sn}=R_{o(n-1)}}$$

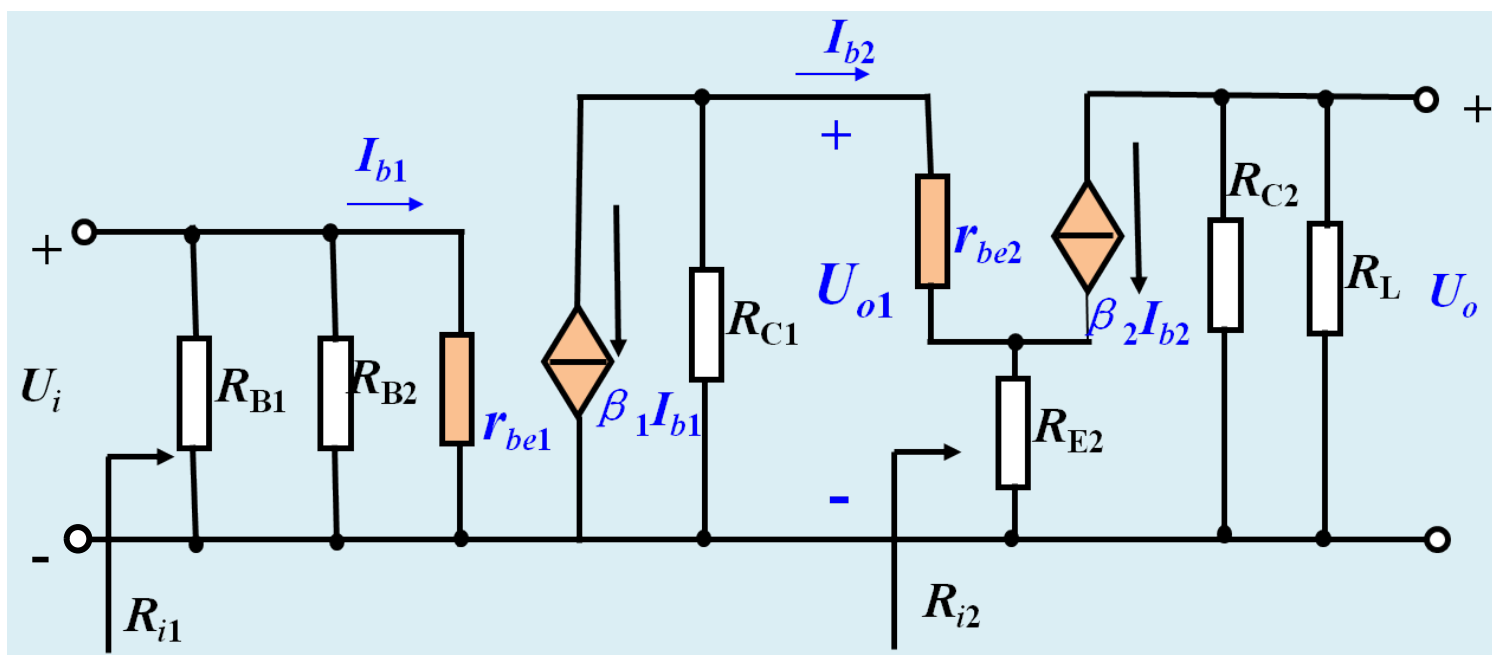
例：图(a)给出了一个分别由NPN和PNP管构成的两极直接耦合的共射极放大器，其交流通路如图(b)所示，试计算该电路的交流指标。

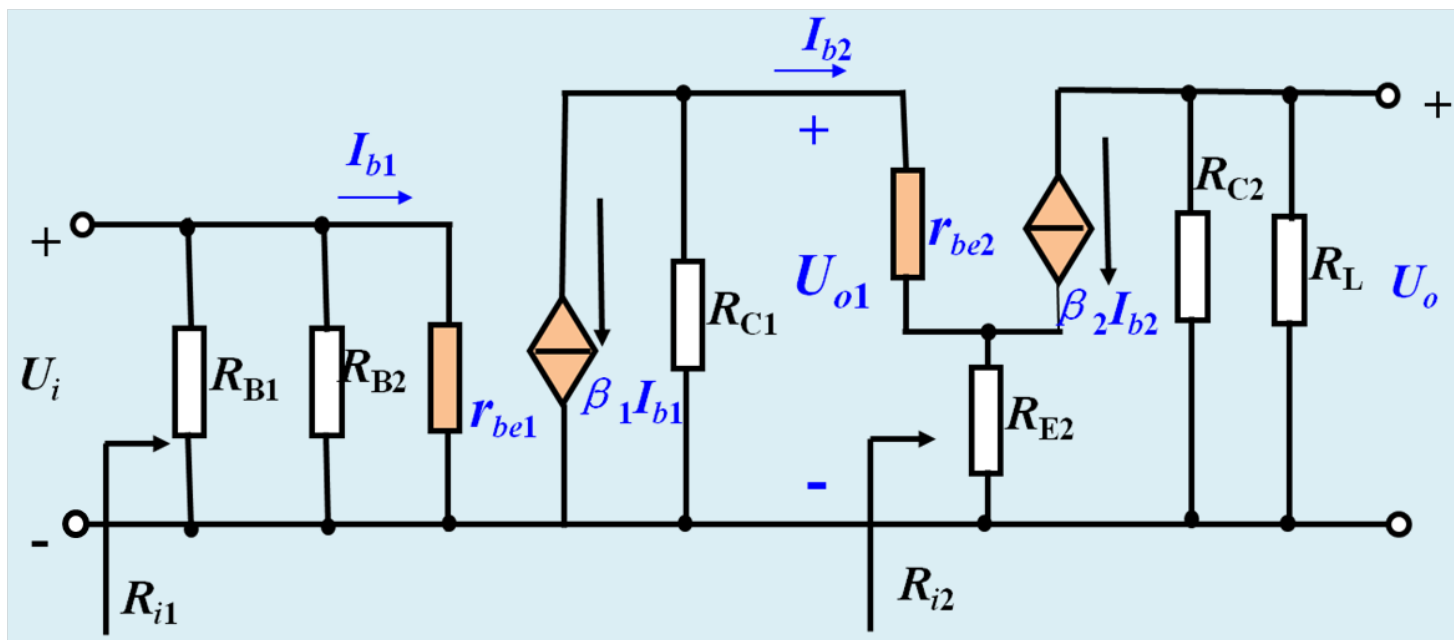


(a) 电路



交流等效电路

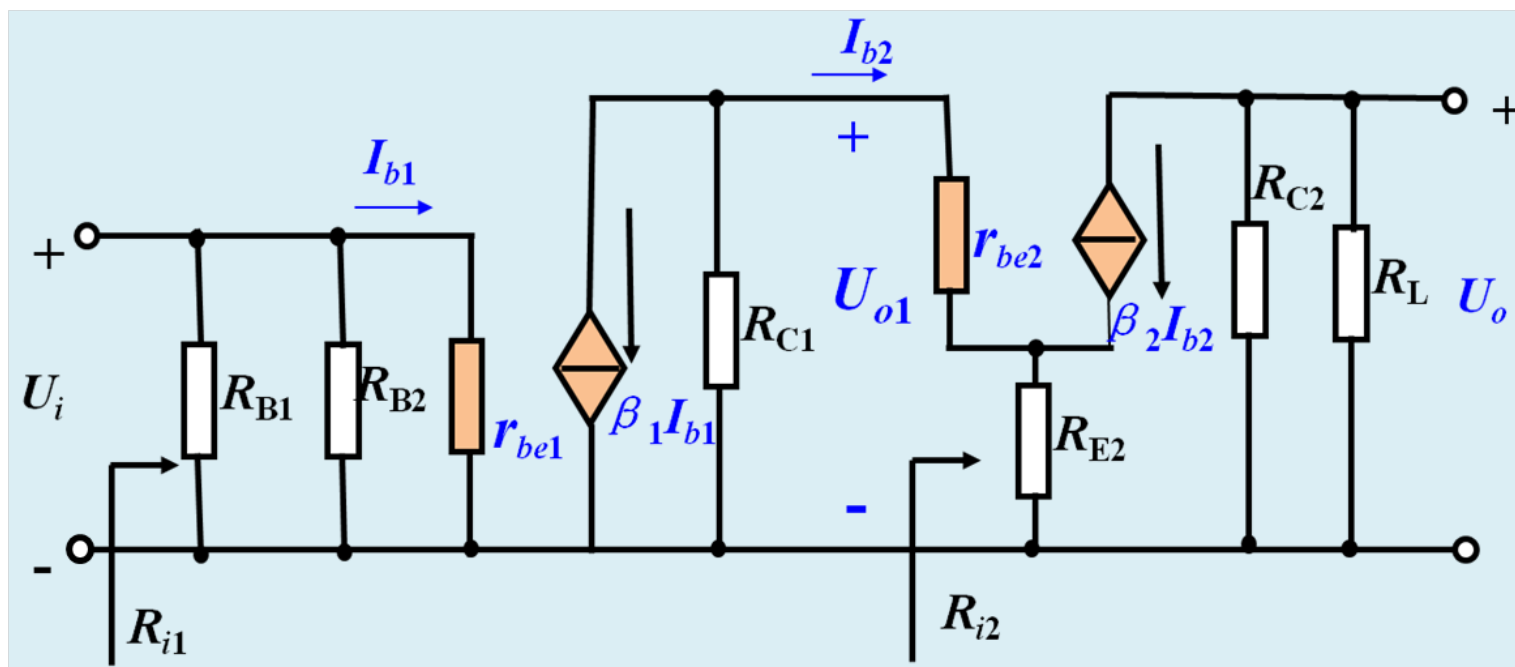




解： (1) 电压放大倍数 A_u

$$A_u = \frac{U_o}{U_i} = A_{u1} \cdot A_{u2} \quad A_{u1} = \frac{U_{o1}}{U_i} = - \frac{\beta_1 (R_{C1} \parallel R_{i2})}{r_{be1}}$$

$$R_{i2} = r_{be2} + (1 + \beta_2) R_{E2} \quad A_{u2} = \frac{U_o}{U_{i2}} = - \frac{\beta_2 (R_{C2} \parallel R_L)}{r_{be2} + (1 + \beta_2) R_{E2}}$$



(2) 输入电阻 R_i :
$$R_i = R_{i1} \Big|_{R_{L1} = R_{i2}} = R_{B1} \parallel R_{B2} \parallel r_{be1}$$

(3) 输出电阻 R_o :
$$R_o = R_{o2} \Big|_{R_{s2} = R_{C1}} = R_{C2}$$

3. 常见的组合放大器

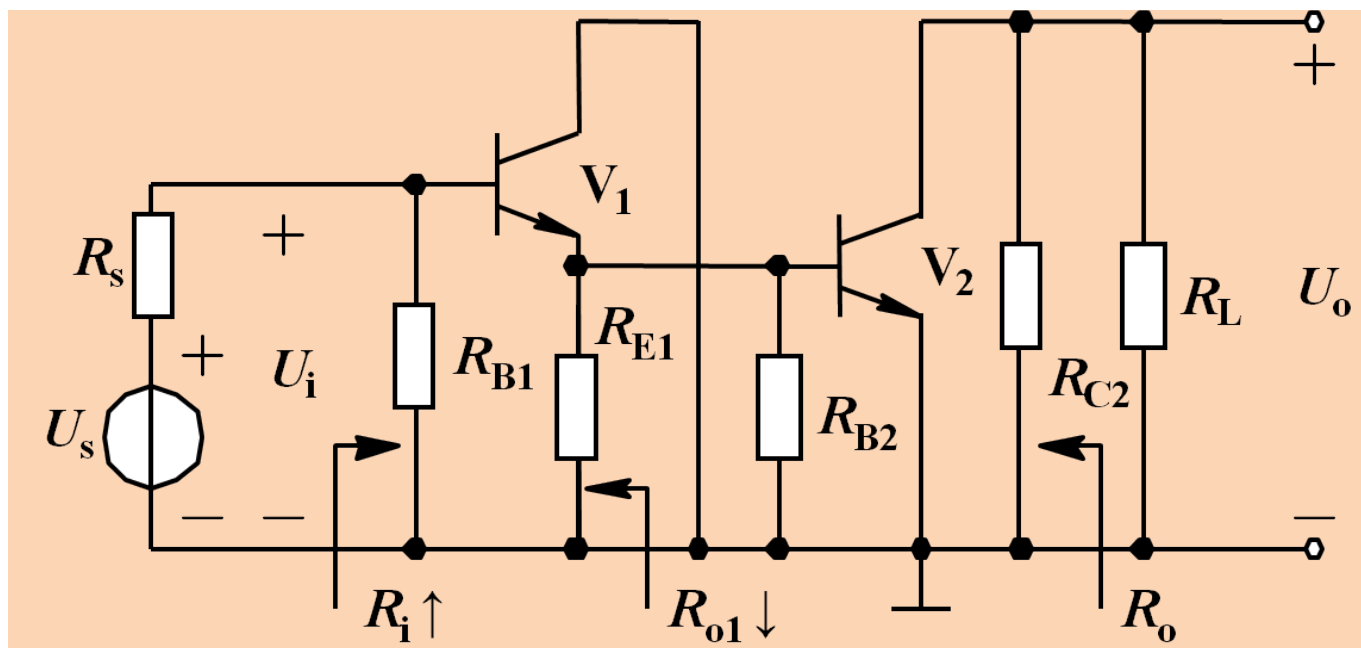
实际应用的放大器，除了要有较高的放大倍数之外，往往还对输入、输出电阻及其它性能提出要求。根据三种基本放大电路的特性，将它们适当组合，取长补短，可以获得各具特点的组合放大器。

共集：输入电阻最大(电压信号源衰减最小)，输出电阻最小(带负载能力强)，无电压增益，有较大的电流增益；

共射：输入电阻不够大，输出电阻不够小，有较大的电压和电流增益

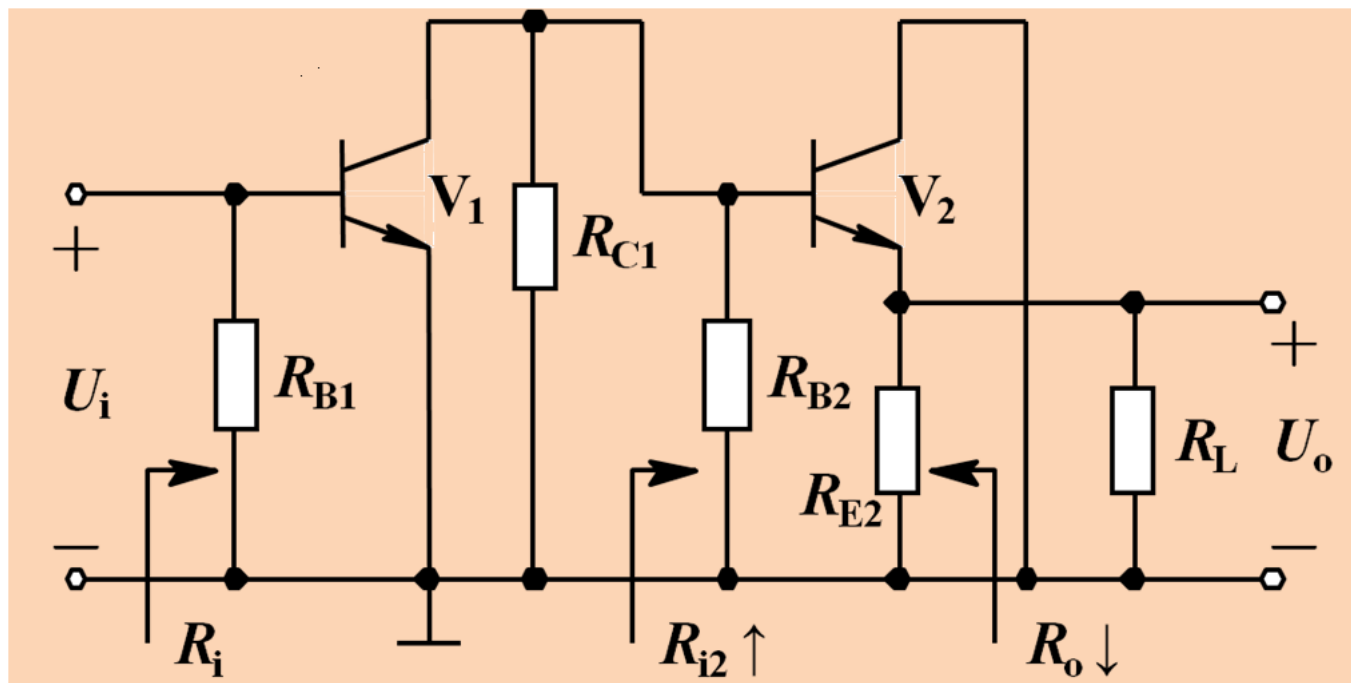
共基：输入电阻很小，无电流增益，有较大的电压增益。

一、共集-共射(CC-CE) 组合放大器



因为这种组合放大器具有**很高的输入电阻**(第一级: 共集电路), 所以源电压可以几乎全部输送到后级共射电路的输入端。**组合放大器的源电压增益近似为后级共射放大器的电压增益。**

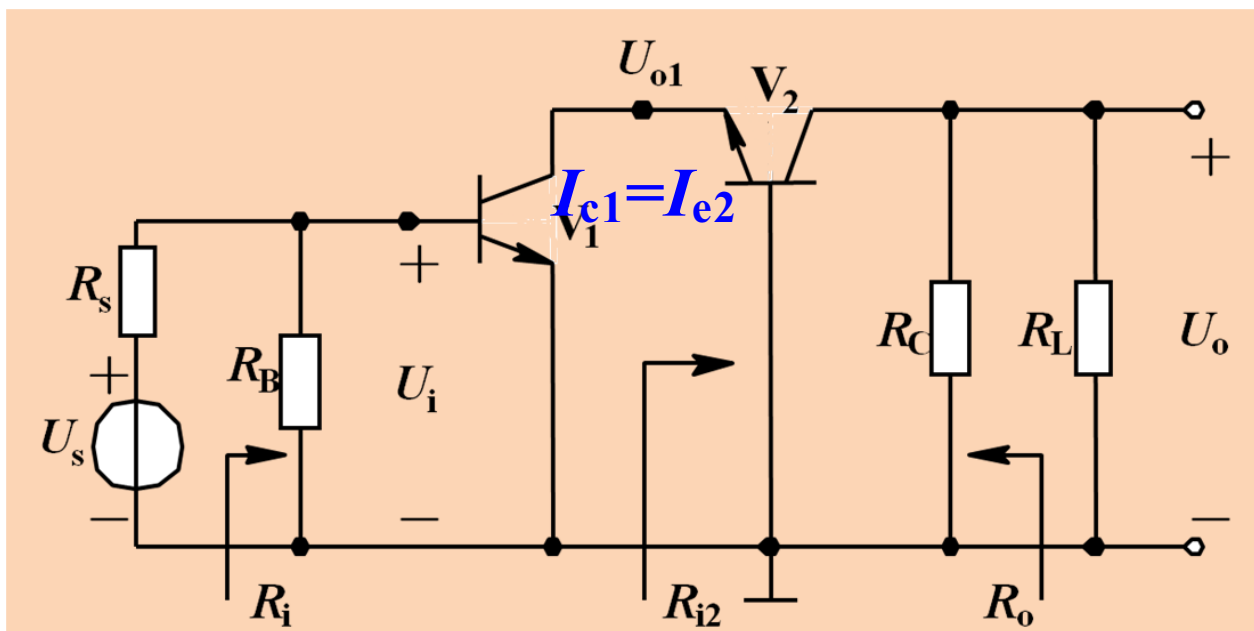
二、共射—共集(CE—CC) 组合放大器

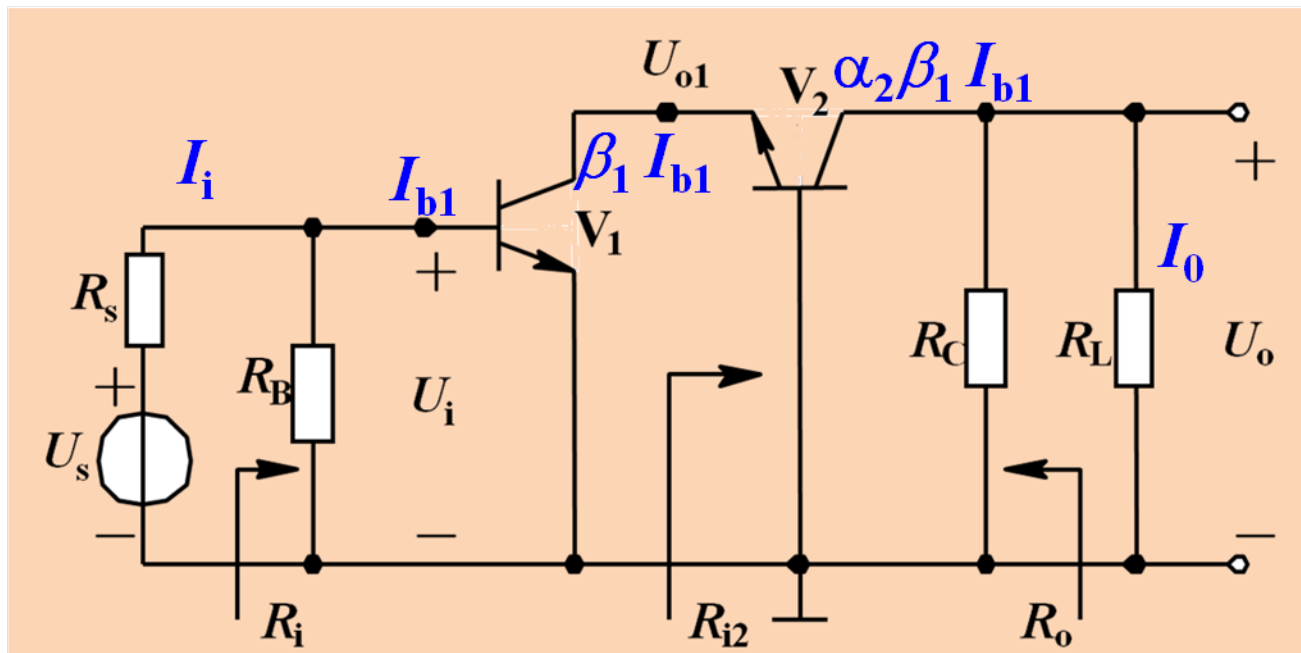


因为这种组合放大器具有**很小的输出电阻**(最后一级：共集电路)，所以驱动负载的能力较强。**组合放大器的电压增益近似为共射放大器在负载开路时的电压增益。**

三、共射-共基(CE—CB) 组合放大器

由于共基放大器的输入电阻很小，所以共射放大器**只有电流增益而没有电压增益**。而共基电路只是将共射电路的输出电流续接到输出负载上。因此，这种组合放大器的增益相当于负载为 $R'_L(=R_C \parallel R_L)$ 的一级共射放大器的增益。





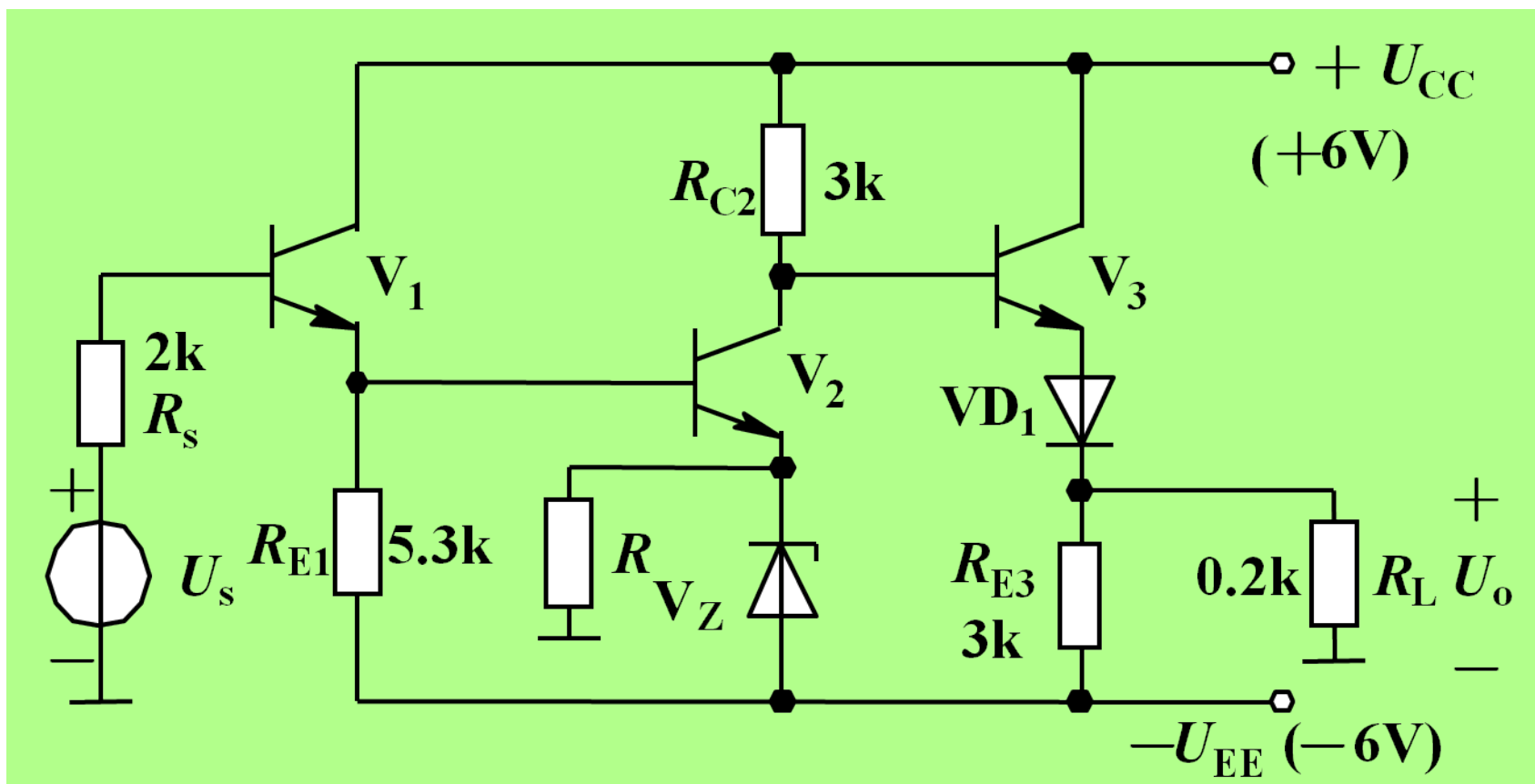
$$I_{c1} = I_{e2}$$

$$A_u = \frac{U_o}{U_i} = -\frac{\beta_1 I_{b1} a_2 R'_L}{r_{be1} I_{b1}} = -\frac{\beta_1 a_2 R'_L}{r_{be1}} \approx -\frac{\beta R'_{L1}}{r_{be1}}$$

$$A_i = \frac{I_o}{I_i} \approx \frac{I_{c2}}{I_{b1}} = \frac{I_{c1}}{I_{b1}} \cdot \frac{I_{c2}}{I_{e2}} = \beta_1 a_2 \approx \beta_1$$

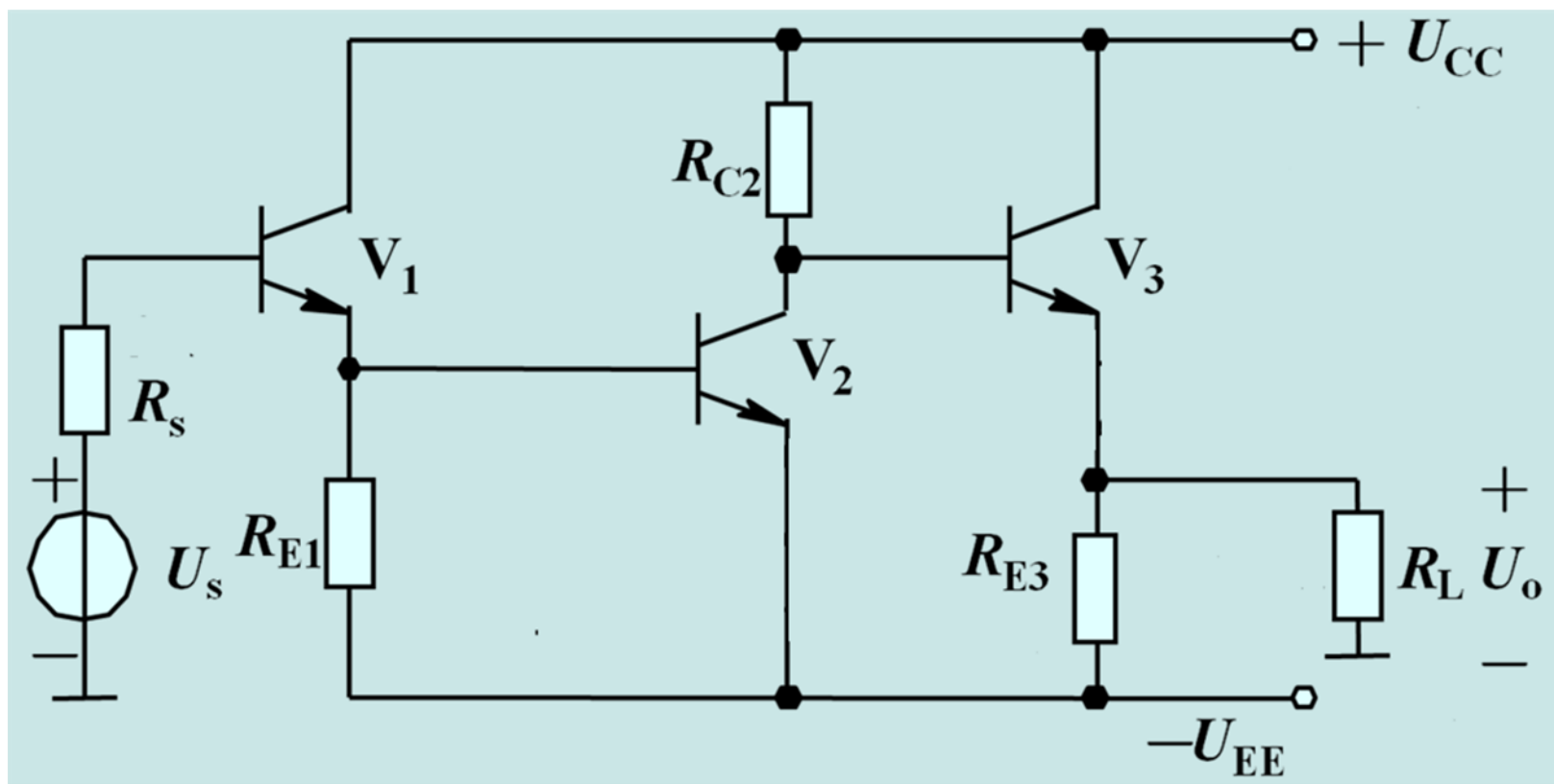


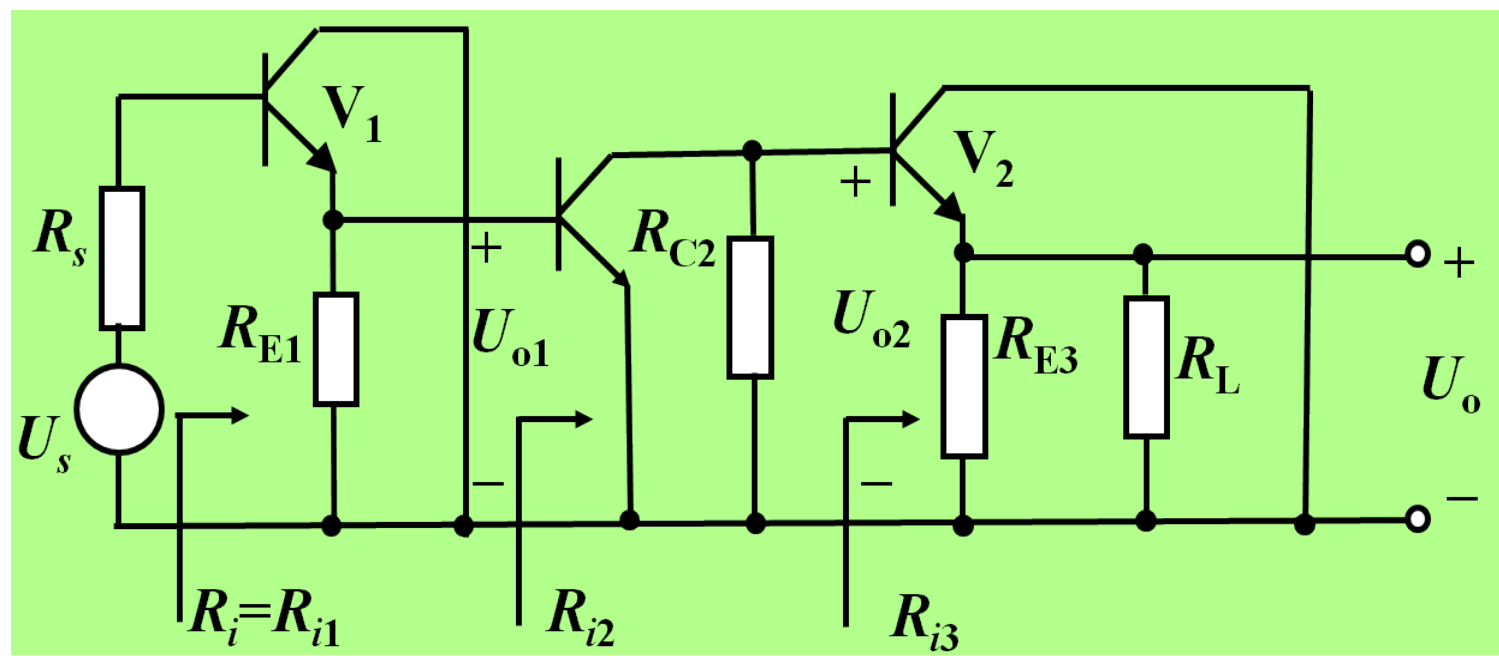
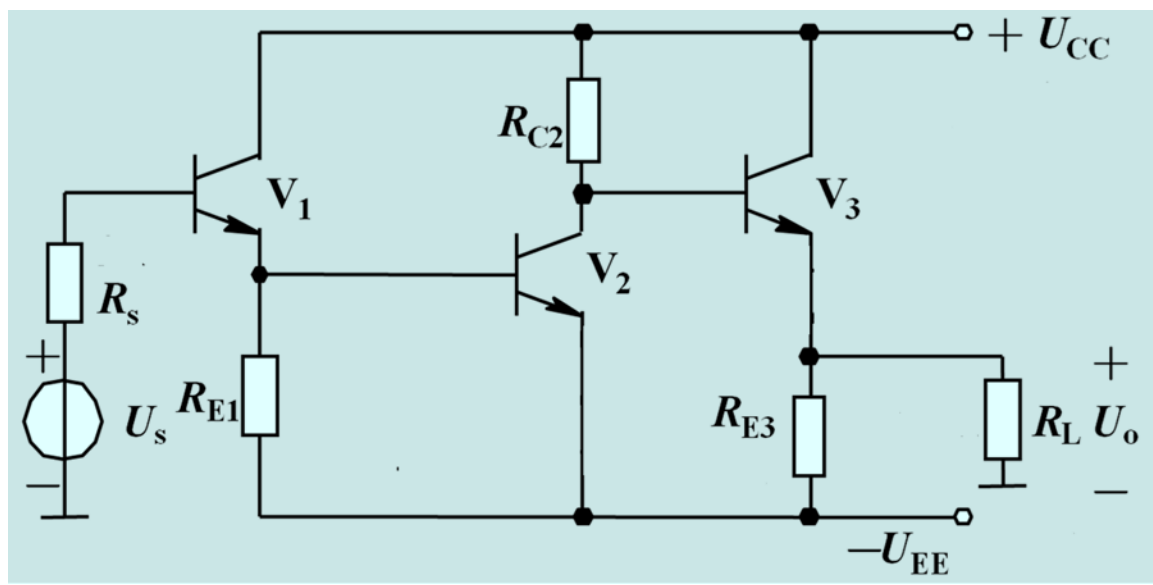
例：放大电路如图所示。已知晶体管 $\beta=100$,
 $r_{be1}=3k\Omega$, $r_{be2}=2k\Omega$, $r_{be3}=1.5k\Omega$, 试求放大器的
输入电阻、输出电阻及源电压放大倍数。



解：该电路为共集、共射和共集三级直接耦合放大器。

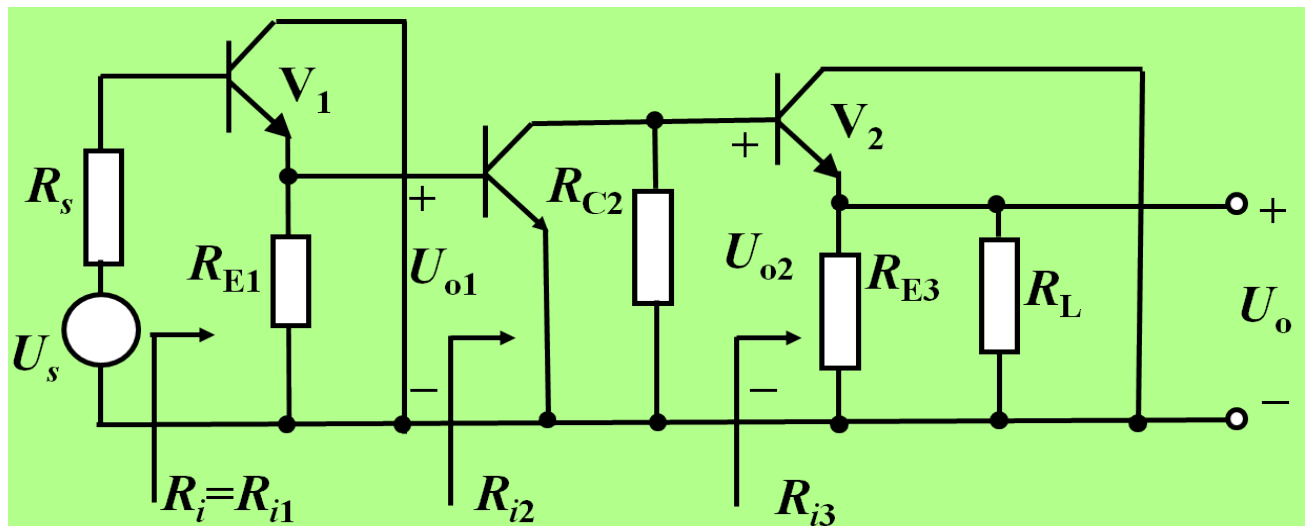
稳压管和二极管的动态电阻很小，可以视为短路，故有下图。



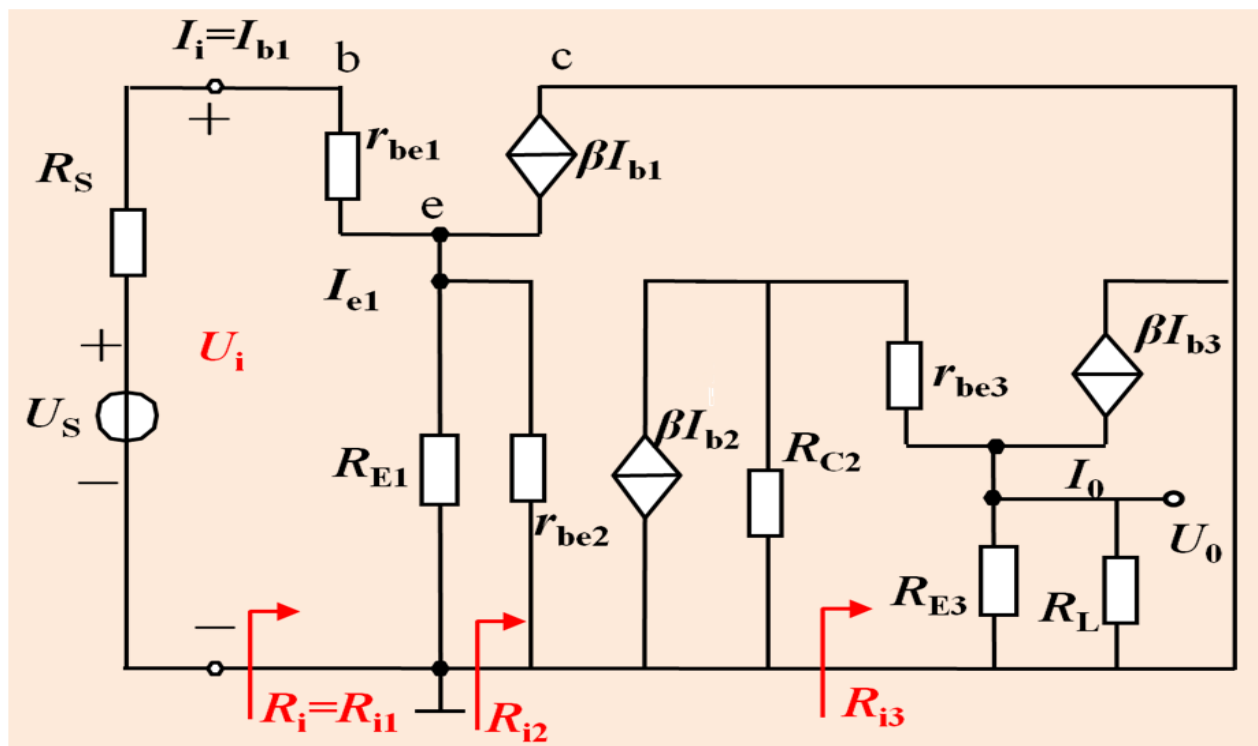


交流通路

交流通路



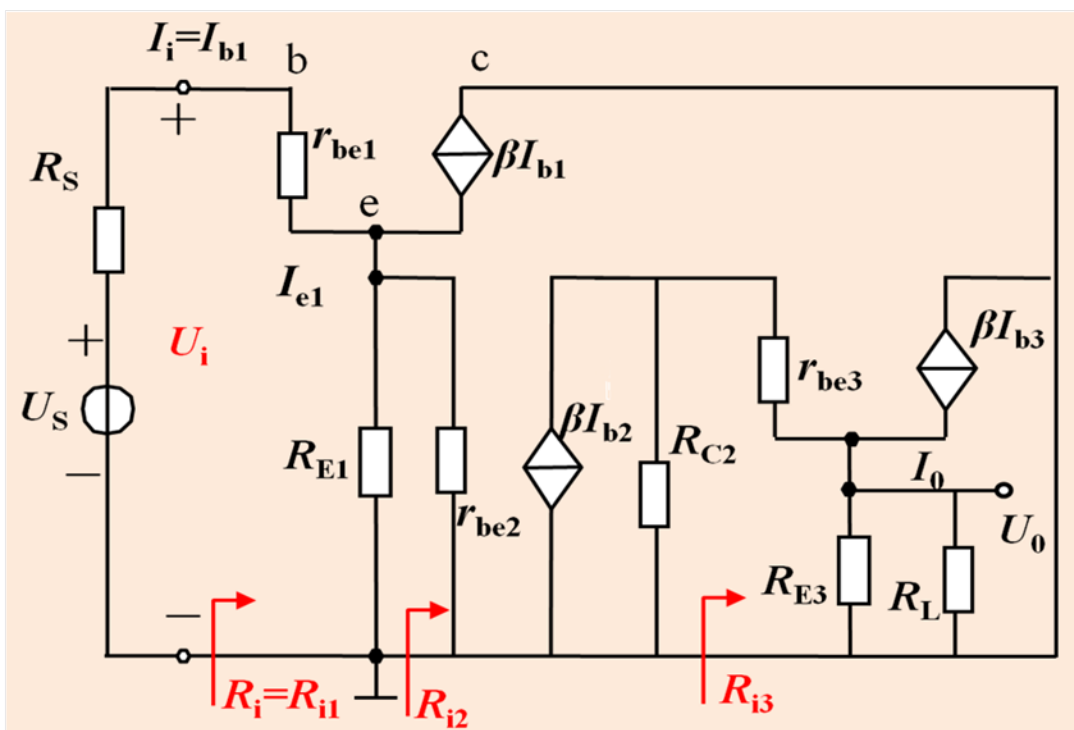
交流等效电路



(1) 输入电阻 R_i : 就是第一级的输入电阻 R_{i1} , 但应将后级的输入电阻 R_{i2} 作为其负载

$$R_{i2} = r_{be2} = 2k\Omega$$

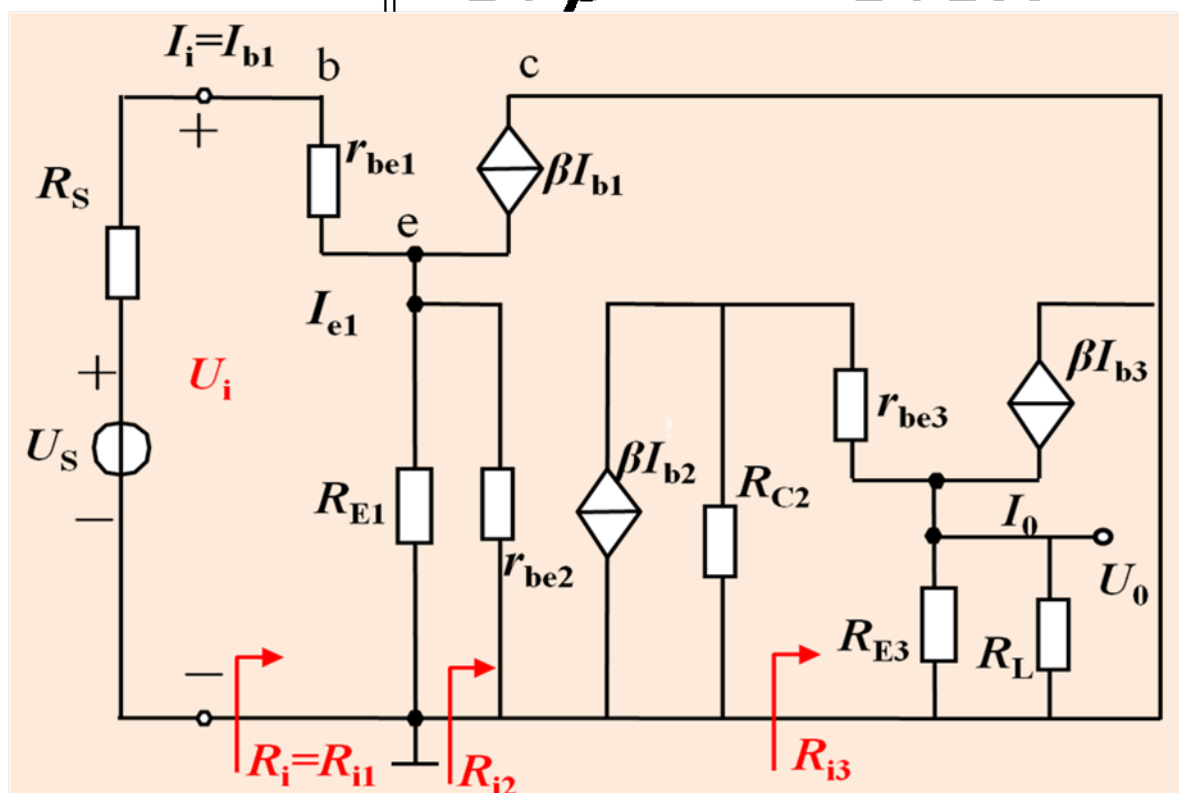
$$R_i = R_{i1} \Big|_{R_{L1}=R_{i2}} = r_{be1} + (1 + \beta)(R_{E1} \parallel R_{i2}) \approx 150k\Omega$$



(2) 输出电阻 R_o : 就是最末级的输出电阻 R_{on} , 但应将前级的输出电阻 $R_{o(n-1)}$ 作为其信号源内阻

$$R_{o2} = R_{C2} = 3k\Omega$$

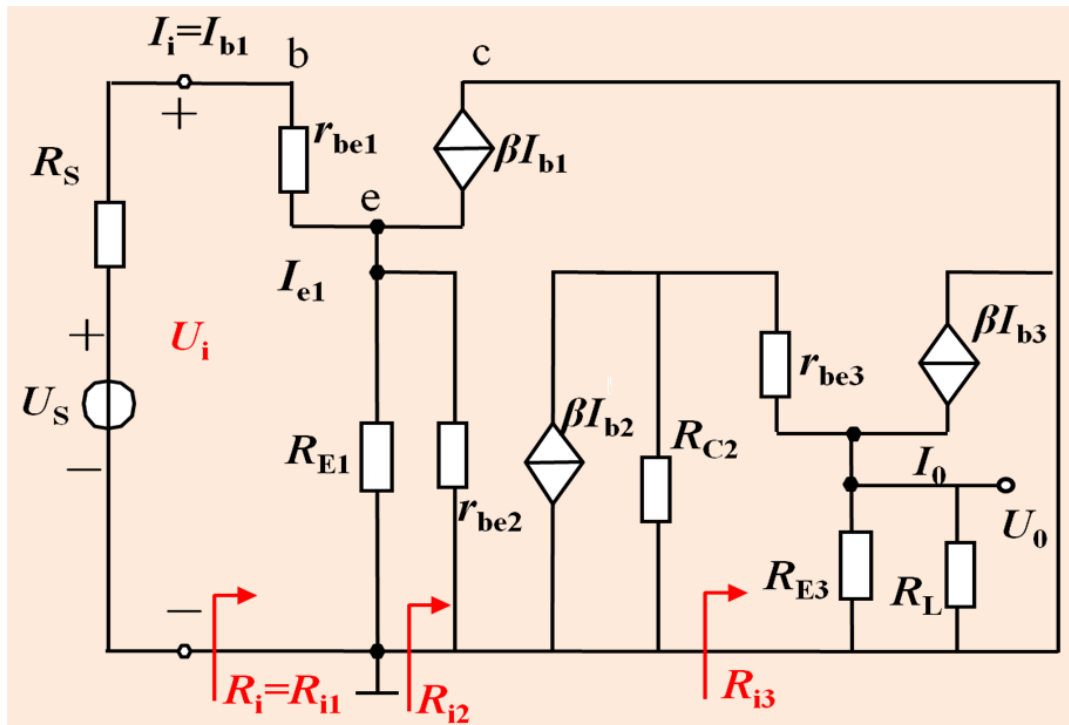
$$R_o = R_{o3} \Big|_{R_{s3}=R_{o2}} = R_{E3} \parallel \frac{R_{C2} + r_{be3}}{1 + \beta} = 3 \parallel \frac{3 + 1.5}{1 + 100} \approx 45\Omega$$



(3)源电压放大倍数 A_{us} :

$$A_{u1} = \frac{U_{o1}}{U_i} = \frac{(1 + \beta)(R_{E1} \parallel R_{i2})}{r_{be1} + (1 + \beta)(R_{E1} \parallel R_{i2})} = \frac{101(5.3 \parallel 2)}{3 + 101(5.3 \parallel 2)} \approx 0.98$$

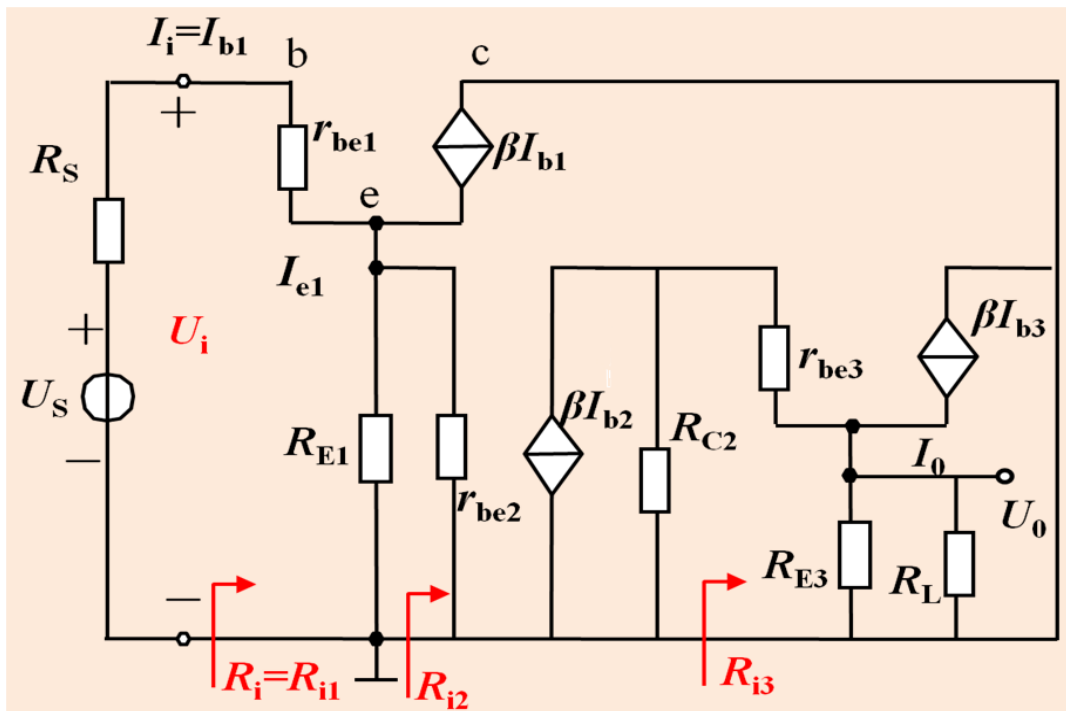
$$R_{i2} = r_{be2} = 2k\Omega$$



$$R_{i3} = r_{be3} + (1 + \beta)(R_{E3} \parallel R_L) = 1.5 + 101(3 \parallel 0.2) \approx 20 K\Omega$$

$$A_{u2} = \frac{U_{o2}}{U_{i2}} = - \frac{\beta(R_{C2} \parallel R_{i3})}{r_{be2}} = - \frac{100(3 \parallel 0.2)}{2} \approx -130$$

$$A_{u3} = \frac{U_o}{U_{i3}} = \frac{(1 + \beta)(R_{E3} \parallel R_L)}{r_{be3} + (1 + \beta)(R_{E3} \parallel R_L)} = \frac{101(3 \parallel 0.2)}{1.5 + 101(3 \parallel 0.2)} \approx 0.95$$



$$\begin{aligned}
 A_{us} &= \frac{U_o}{U_s} = \frac{R_i}{R_s + R_i} A_{u1} A_{u2} A_{u3} \\
 &= \frac{150}{2 + 150} \times 0.98 \times (-130) \times 0.95 \approx -120
 \end{aligned}$$

作 业:

3.34