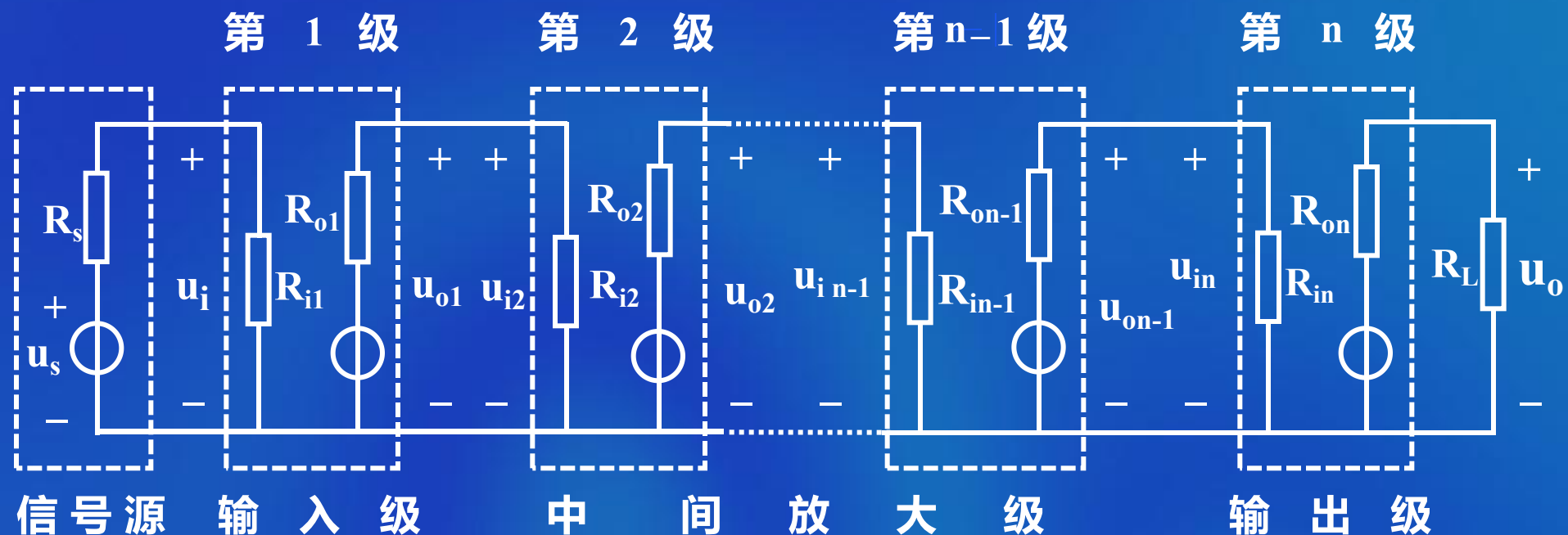


## 2.7 多级放大电路

### 2.7.1 多级放大电路的组成





各级的特点：

输入级——输入电阻高，噪声和漂移小。

中间级——具有足够大的信号放大的能力。

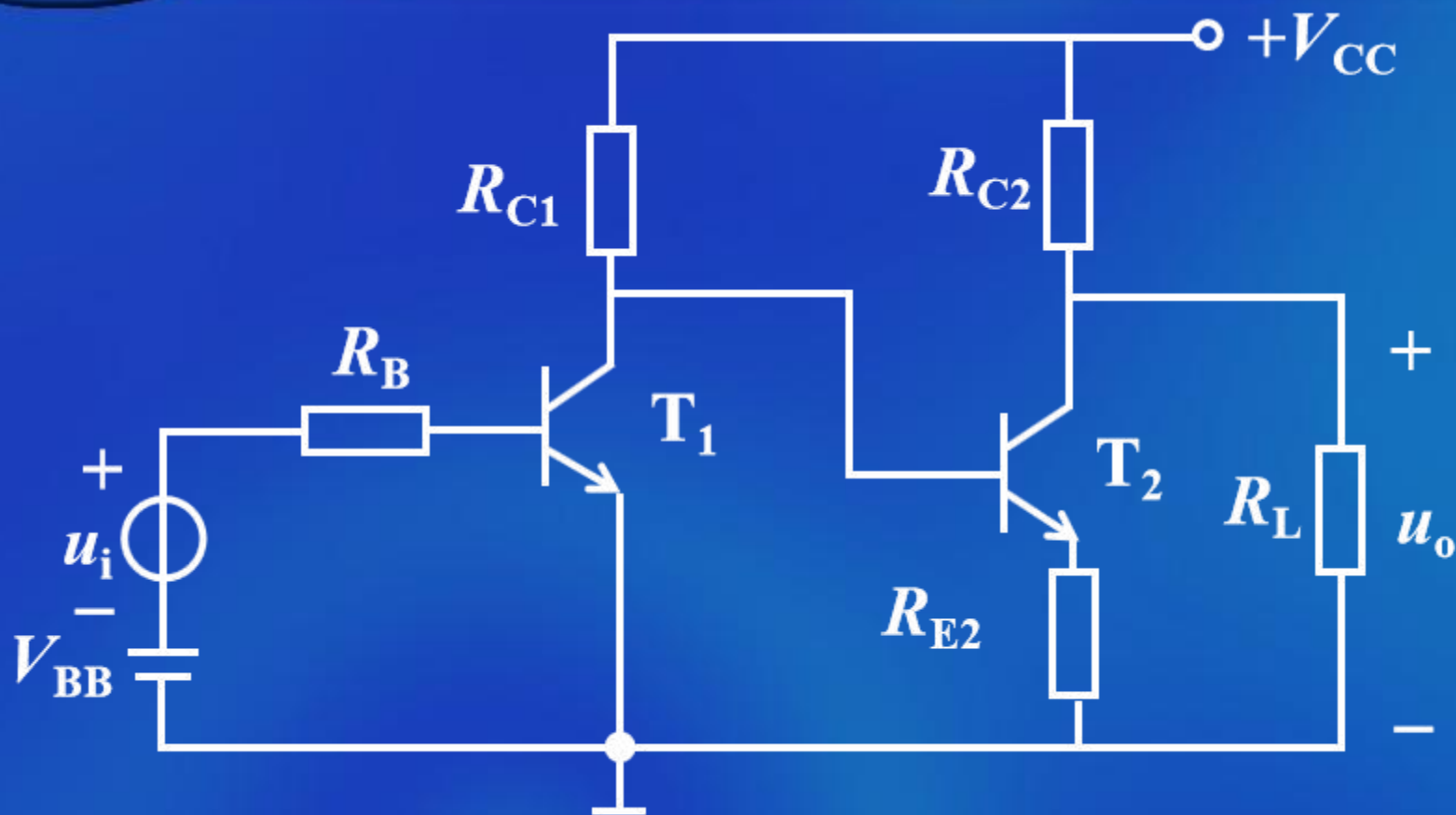
输出级——动态范围大，输出功率大，带载能力强。

## 多级放大电路的耦合

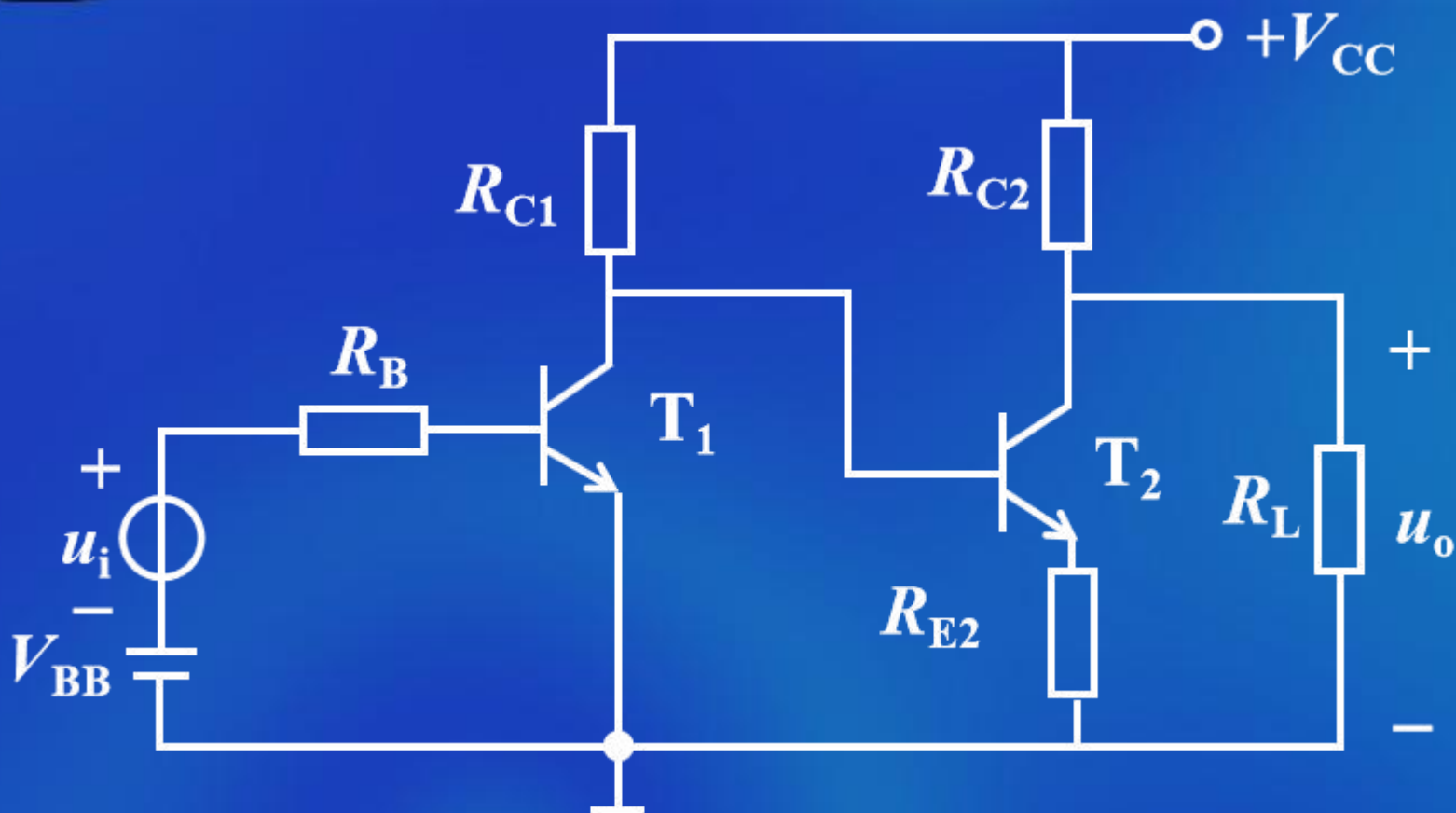
放大电路与信号源、负载以及电路内部各级之间的连接。



### 1. 直接耦合

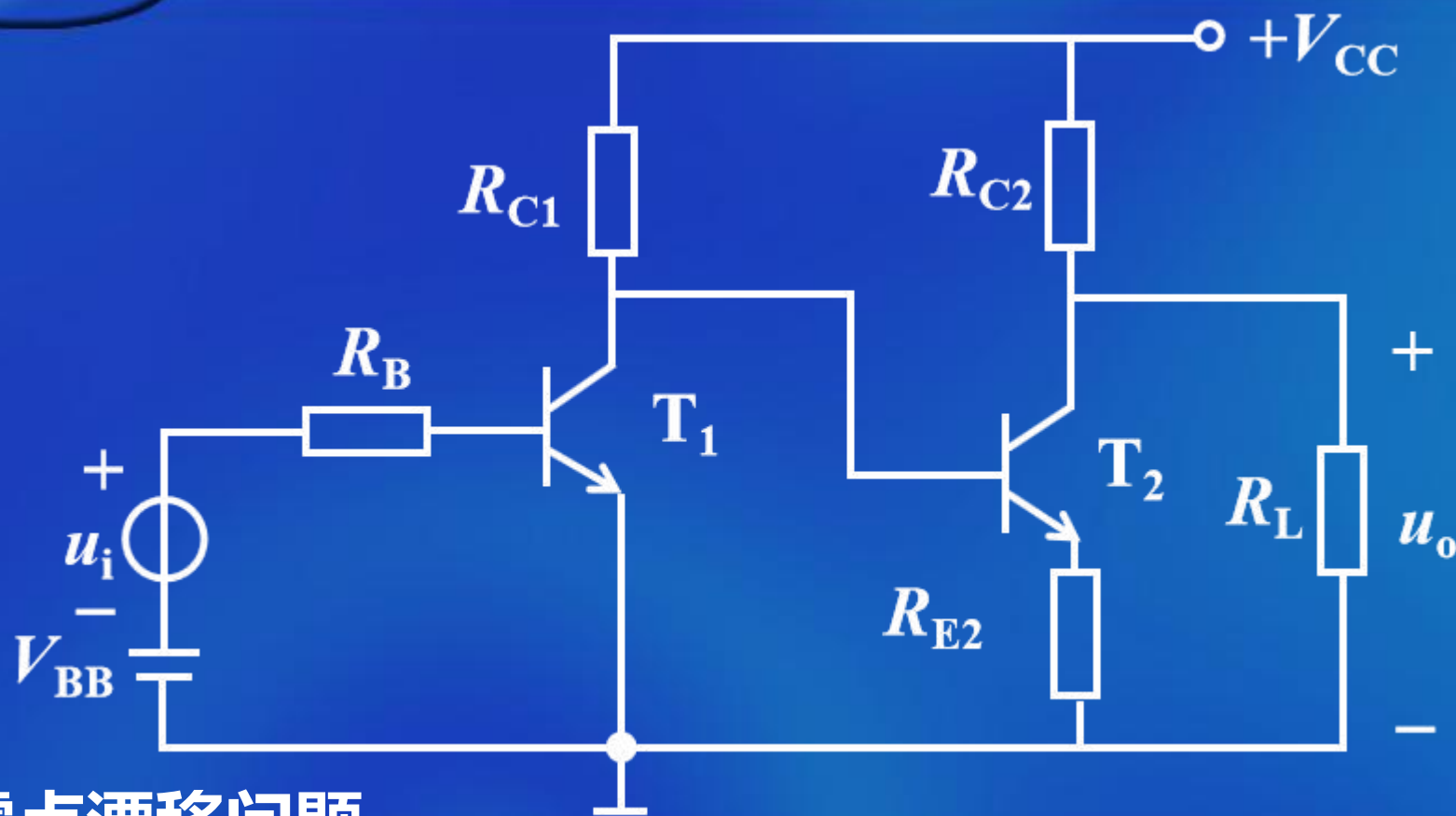


**特点：能对交、直流信号进行放大**  
**又称为直流放大电路**



直接耦合放大电路存在两个特殊的问题：

(1) 各级静态工作点不独立，不便于设计和调试。



## (2) 零点漂移问题

当输入  $u_i=0$  时，输出电压  $u_o$  并不恒定，而是出现缓慢地、无规则地漂动。这种现象称为零点漂移，简称零漂。

零漂实质上就是放大电路静态工作点的变化。

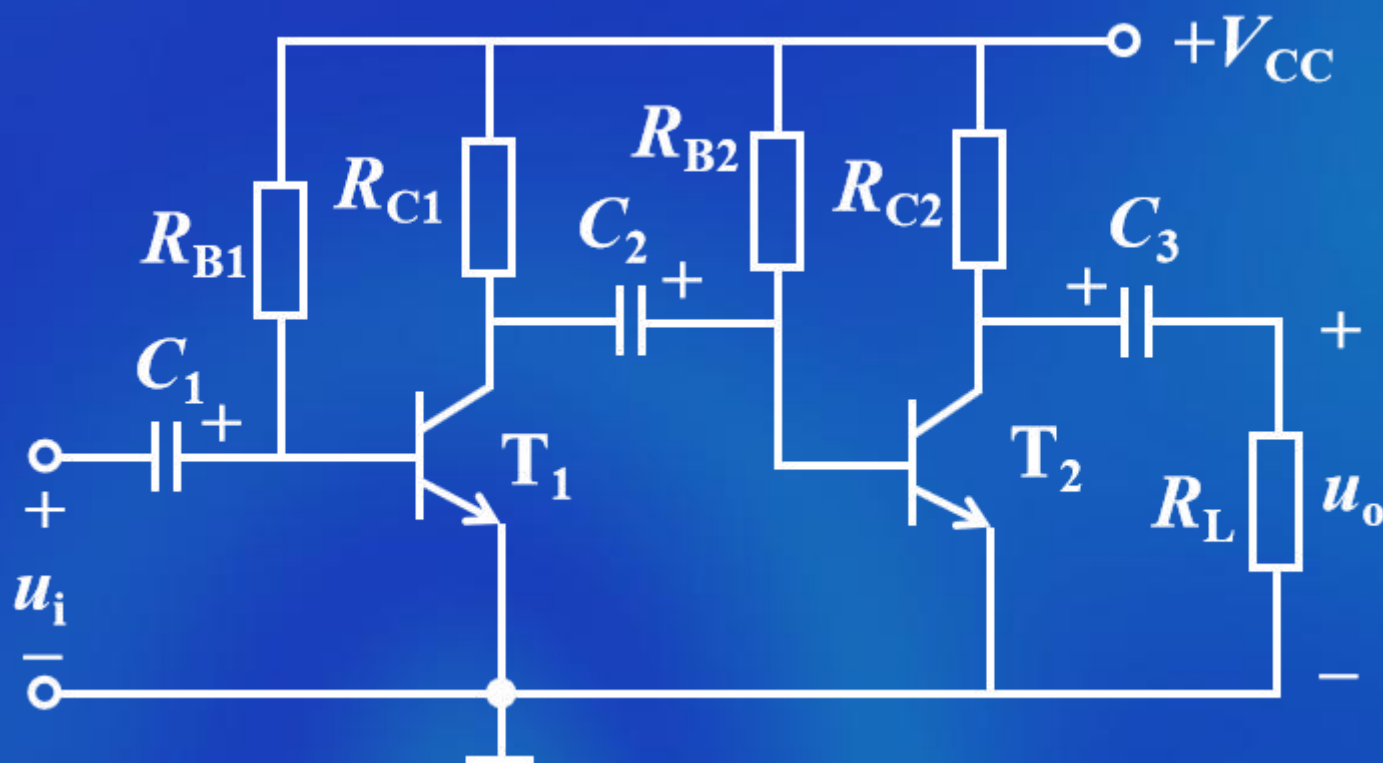
## 引起零漂的原因

- (a) 元器件参数，特别是晶体管的参数会随温度的变化而变化。
- (b) 元器件会出现老化，参数发生了变化。

零漂 { 由温度引起的零漂称为**温漂**；  
由元器件老化引起的零漂称为**时漂**。

引起直接耦合放大电路零漂的主要因素是**温漂**。

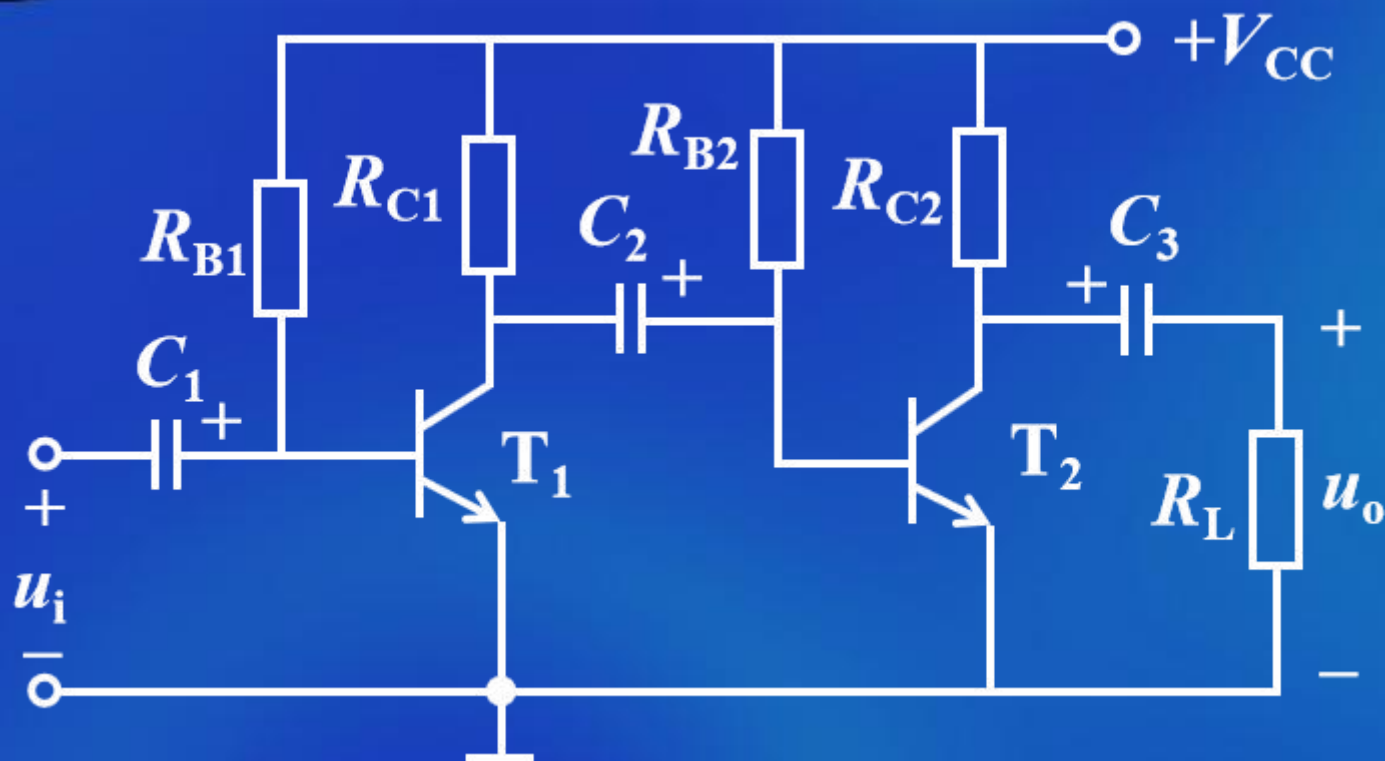
## 2. 阻容耦合多级放大电路



特点:

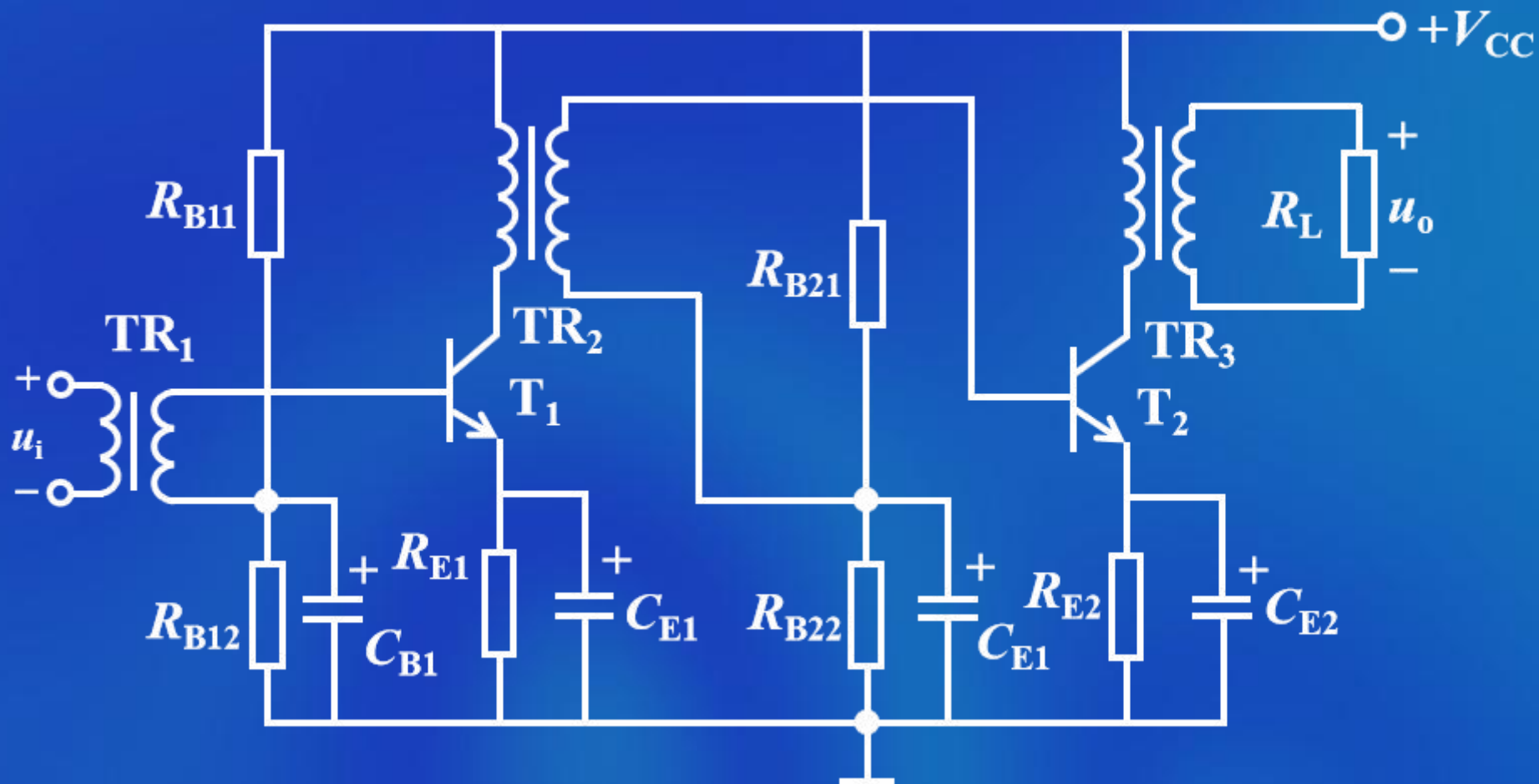
a. 各级电路的静态工作点相互独立, 便于设计和调试。





- b. 可以抑制零点漂移。
- c. 无法放大低频信号和直流信号。
- d. 在集成电路中，无法制造大电容。

### 3. 变压器耦合



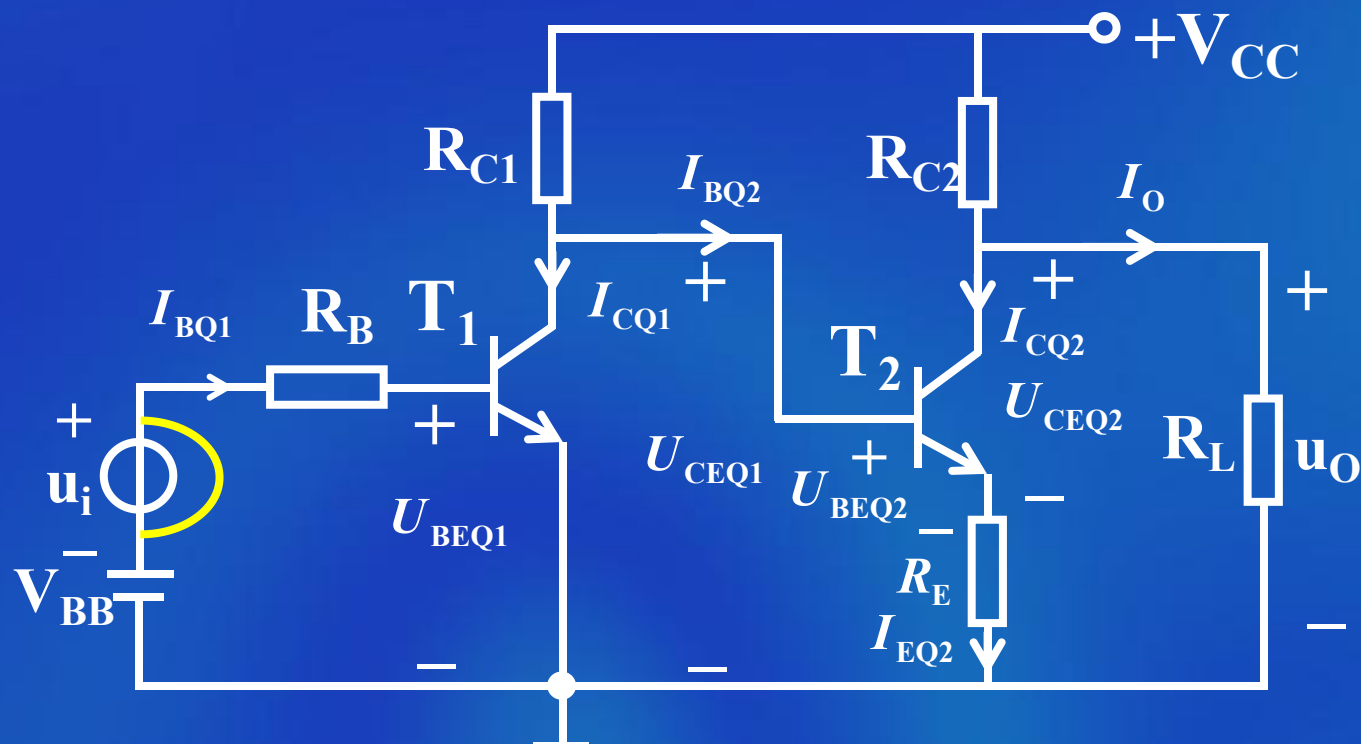
## 变压器耦合特点：

- a. 对直流信号没有放大能力，只能放大交流信号。
- b. 对直流信号起到隔离作用，可以消除零点漂移。
- c. 各级电路的静态工作点相互独立，便于设计和调试。
- d. 体积大、重量重、费用高、不宜集成化。
- e. 具有阻抗变换作用，可以实现阻抗匹配。

## 多级放大电路的静态分析：

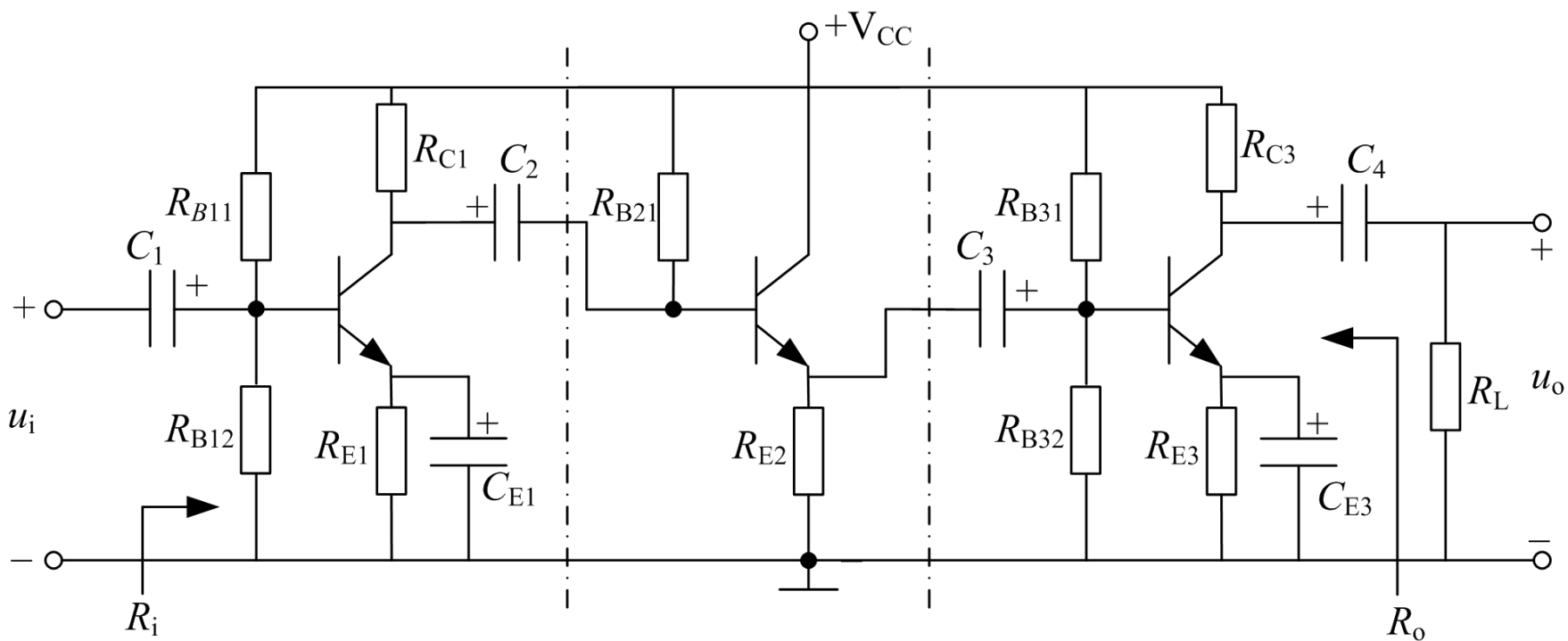
复杂！太复杂！

## 直接耦合电路的静态分析

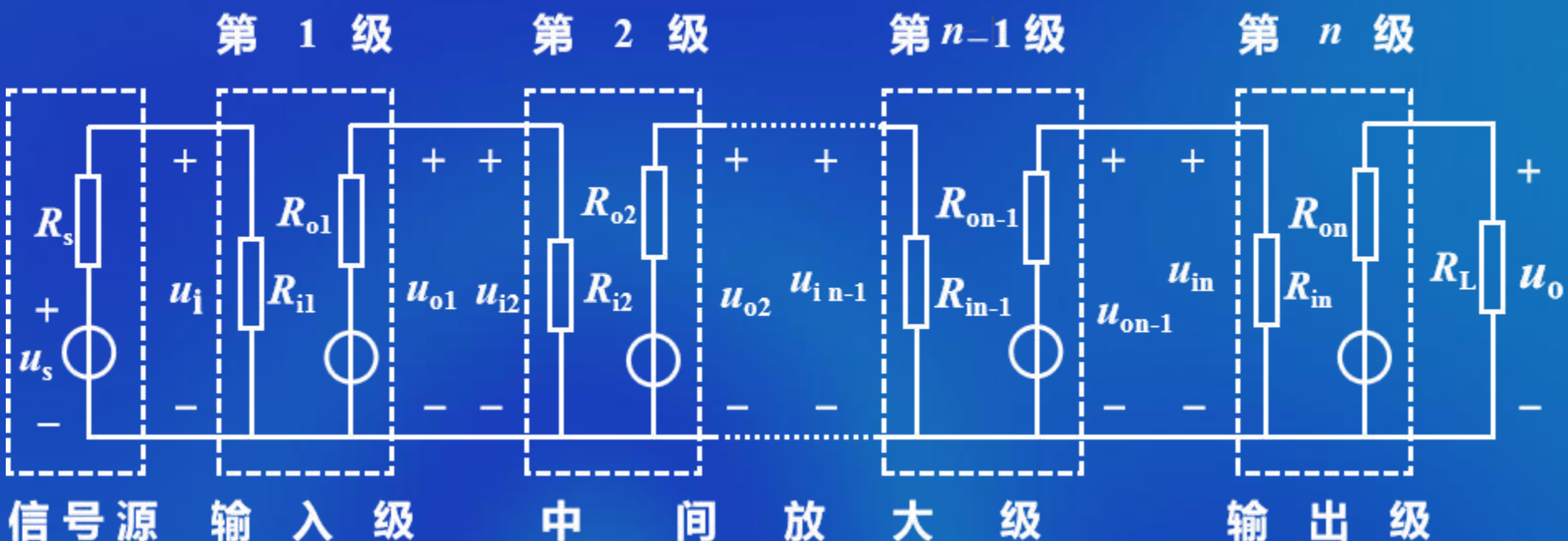


两级电路参数复杂且相关， $Q$ 点不独立，需要多个方程联立求解

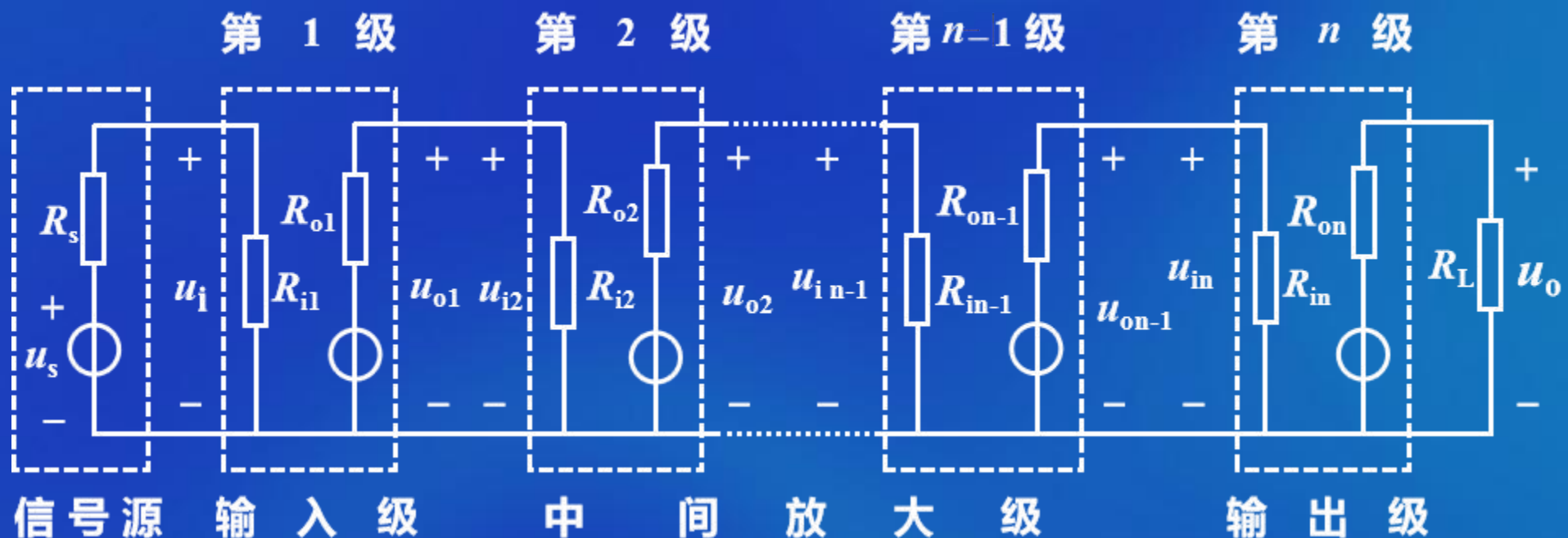
**阻容耦合、变压器耦合的各级静态工作点独立，分析方法与前述的单级放大电路的方法相同。**



## 2.7.2 多级放大电路的动态特性估算

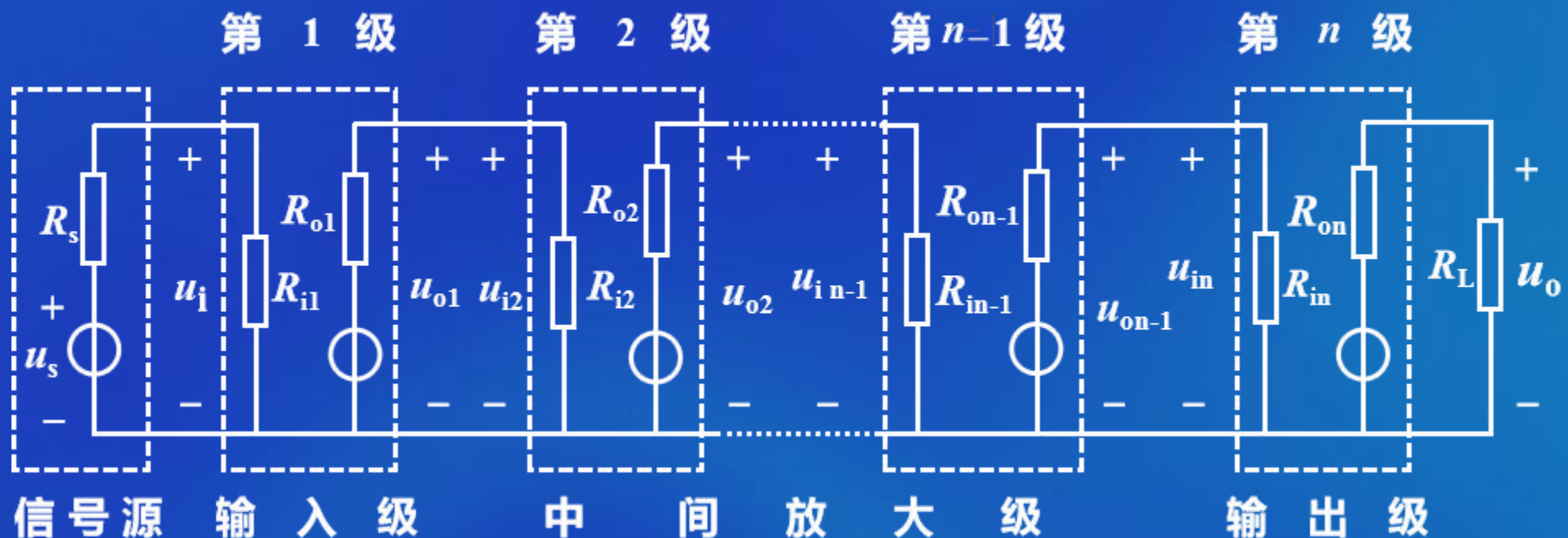


### (1) 多级放大电路的电压放大倍数



$$\begin{aligned}
 A_u &= \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} \\
 &= \frac{\dot{U}_{o1}}{\dot{U}_i} \frac{\dot{U}_{o2}}{\dot{U}_{o1}} \frac{\dot{U}_{o3}}{\dot{U}_{o2}} \cdots \frac{\dot{U}_{on}}{\dot{U}_{on-1}}
 \end{aligned}$$





因为  $u_{i2}=u_{o1}$  ,  $u_{i3}=u_{o2}$  ,  $\dots$  ,  $u_{in}=u_{on-1}$

故

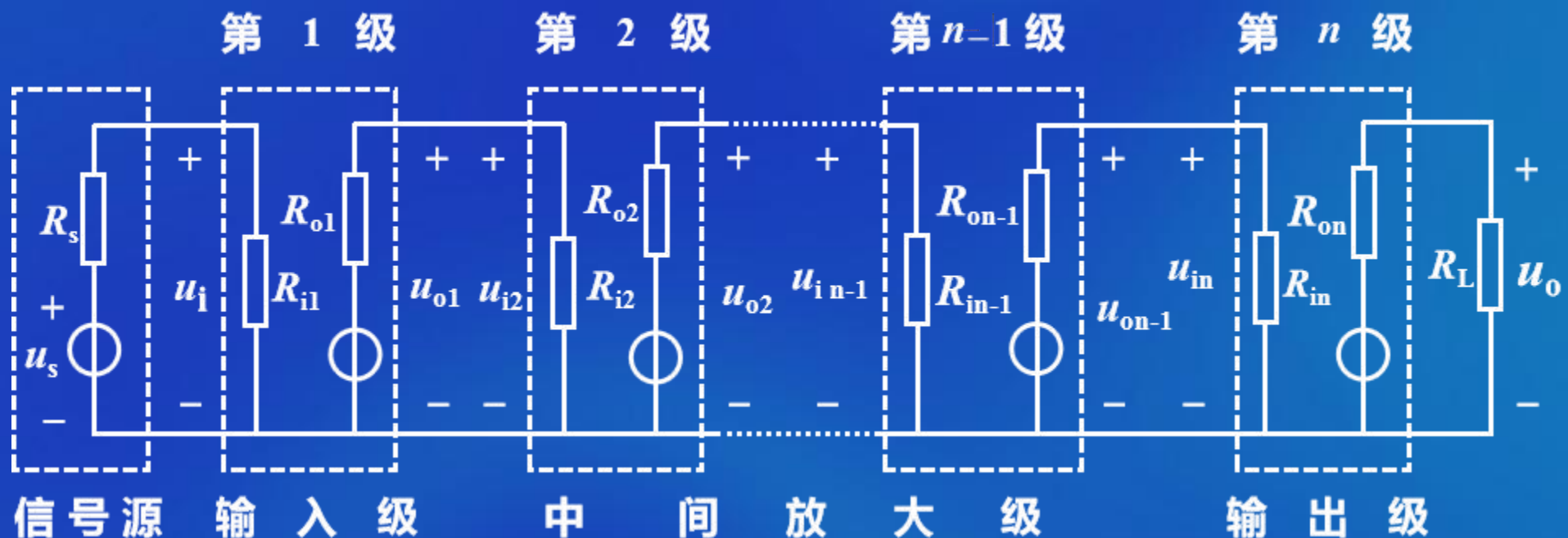
$$\begin{aligned} \dot{A}_u &= \frac{\dot{U}_{o1}}{\dot{U}_{i1}} \frac{\dot{U}_{o2}}{\dot{U}_{i2}} \frac{\dot{U}_{o3}}{\dot{U}_{i3}} \dots \frac{\dot{U}_{on}}{\dot{U}_{in}} \\ &= \dot{A}_{u1} \dot{A}_{u2} \dot{A}_{u3} \dots \dot{A}_{un} \end{aligned}$$



$$\dot{A}_u = \dot{A}_{u1} \dot{A}_{u2} \dot{A}_{u3} \cdots \dot{A}_{un}$$

## 放大倍数的另一种表示方法

$$\dot{A}_u(\text{dB}) = 20\lg|\dot{A}_{u1}| + 20\lg|\dot{A}_{u2}| + 20\lg|\dot{A}_{u3}| + \cdots + 20\lg|\dot{A}_{un}|$$



(2) 输入电阻

$$R_i = R_{i1}$$

(3) 输出电阻

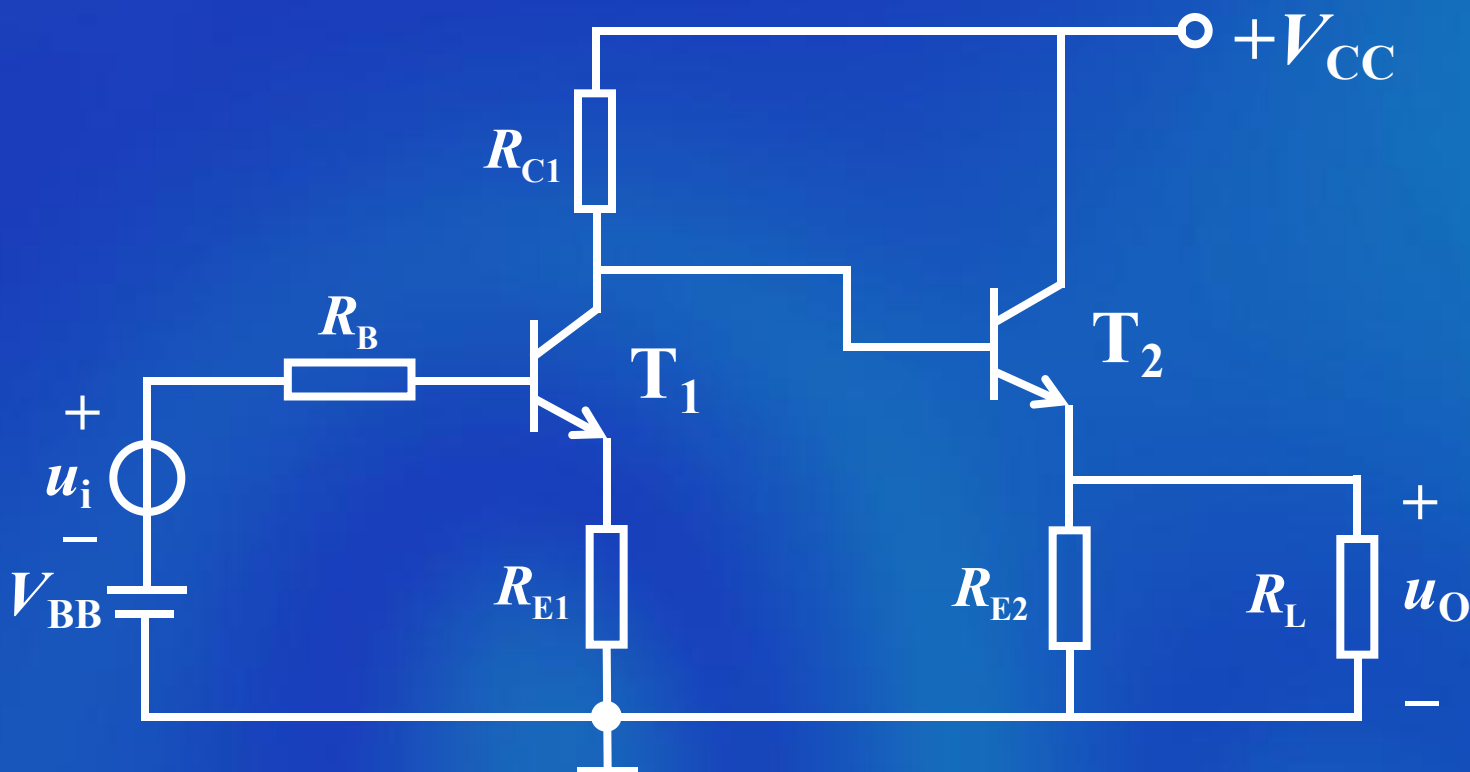
$$R_o = R_{on}$$

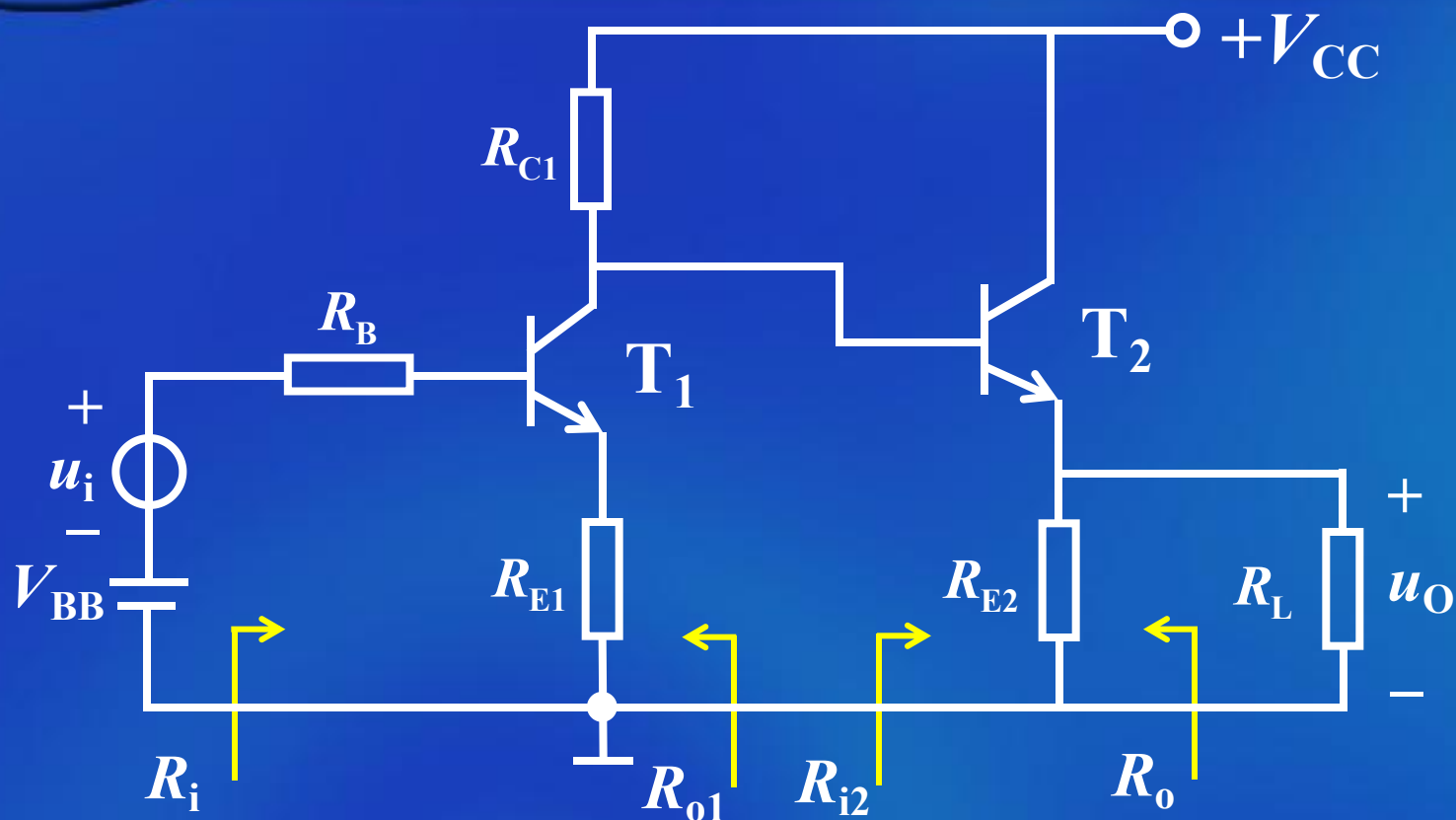


## 多级放大电路动态分析时应注意的两个问题：

- 后一级放大电路的输入电阻可视为前一级放大电路的负载电阻。
- 前一级放大电路的输出电阻可视为后一级放大电路的信号源内阻。

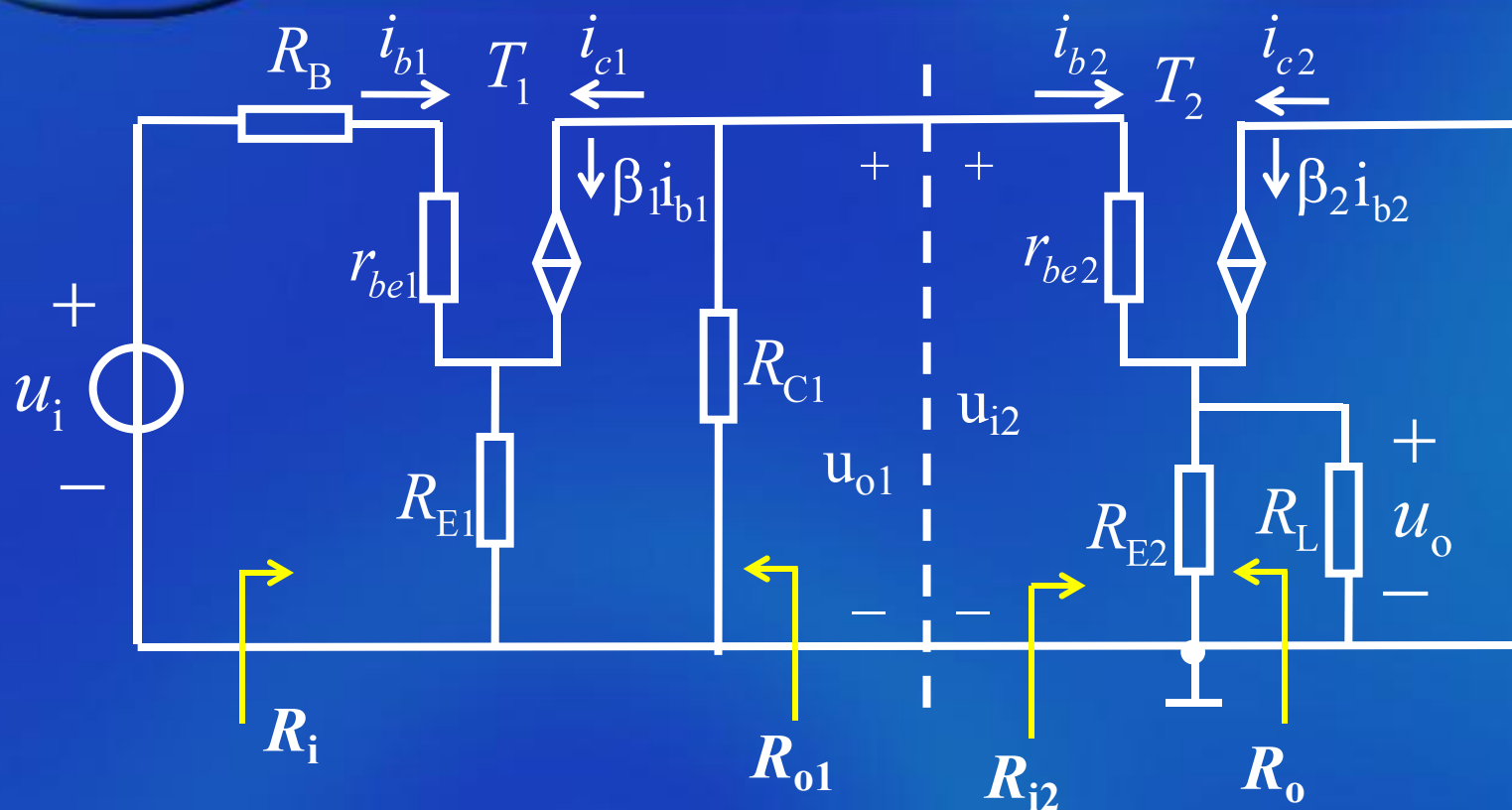
例 试写出图示放大电路的电压放大倍数 $A_u$ 、输入电阻 $R_i$ 和输出电阻 $R_o$ 的表达式。





[解] 由图可知，放大电路是由两级放大电路组成。

第一级共射极放大电路，第二级共集电极放大电路

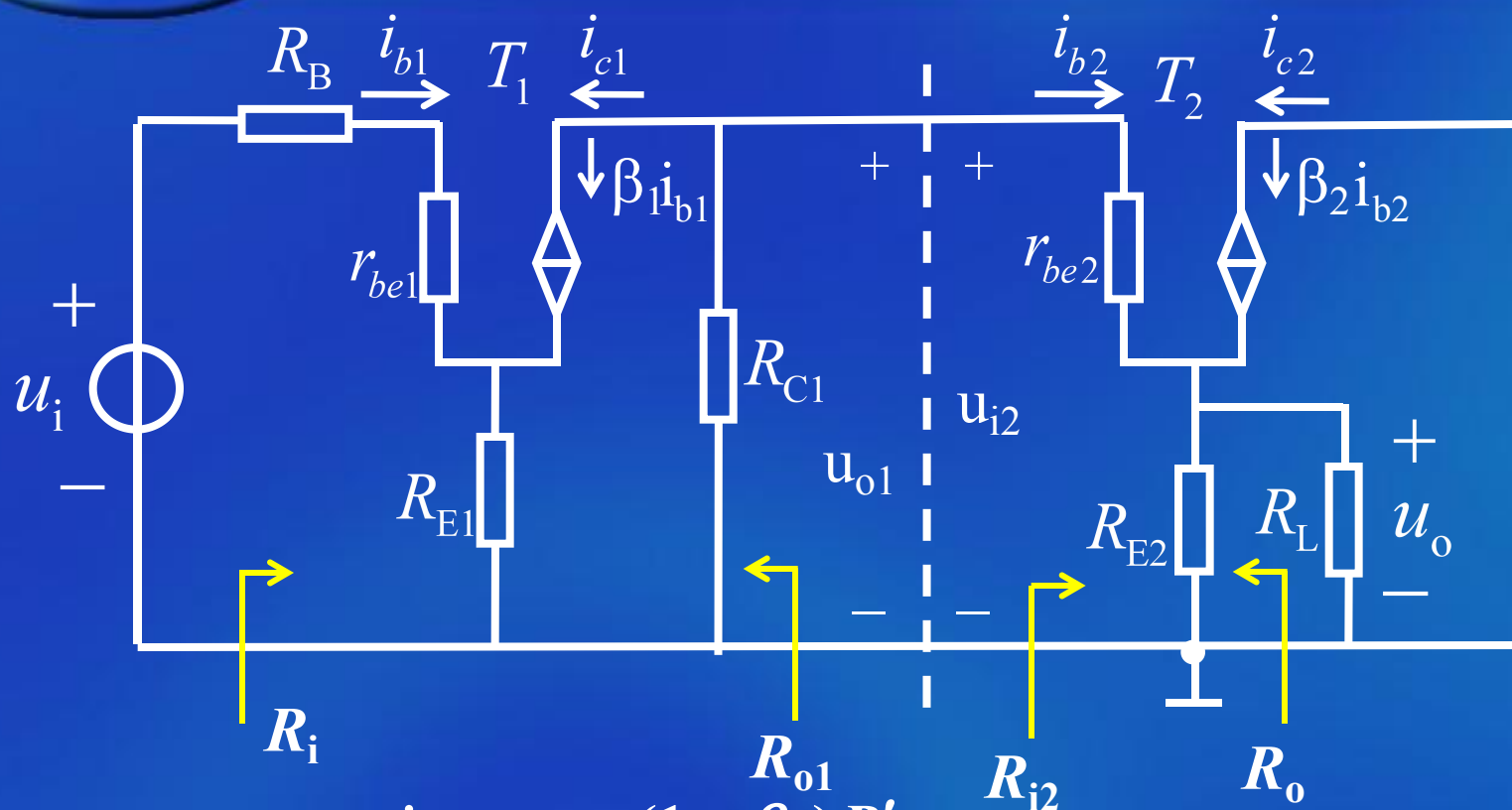


## 电压放大倍数

$$\dot{A}_u = \dot{A}_{u1} \dot{A}_{u2} \quad \text{其中} \quad \dot{A}_{u1} = \frac{\dot{U}_{o1}}{\dot{U}_i} = \frac{-\beta_1 R'_{L1}}{R_B + r_{be1} + (1 + \beta_1) R_{E1}}$$

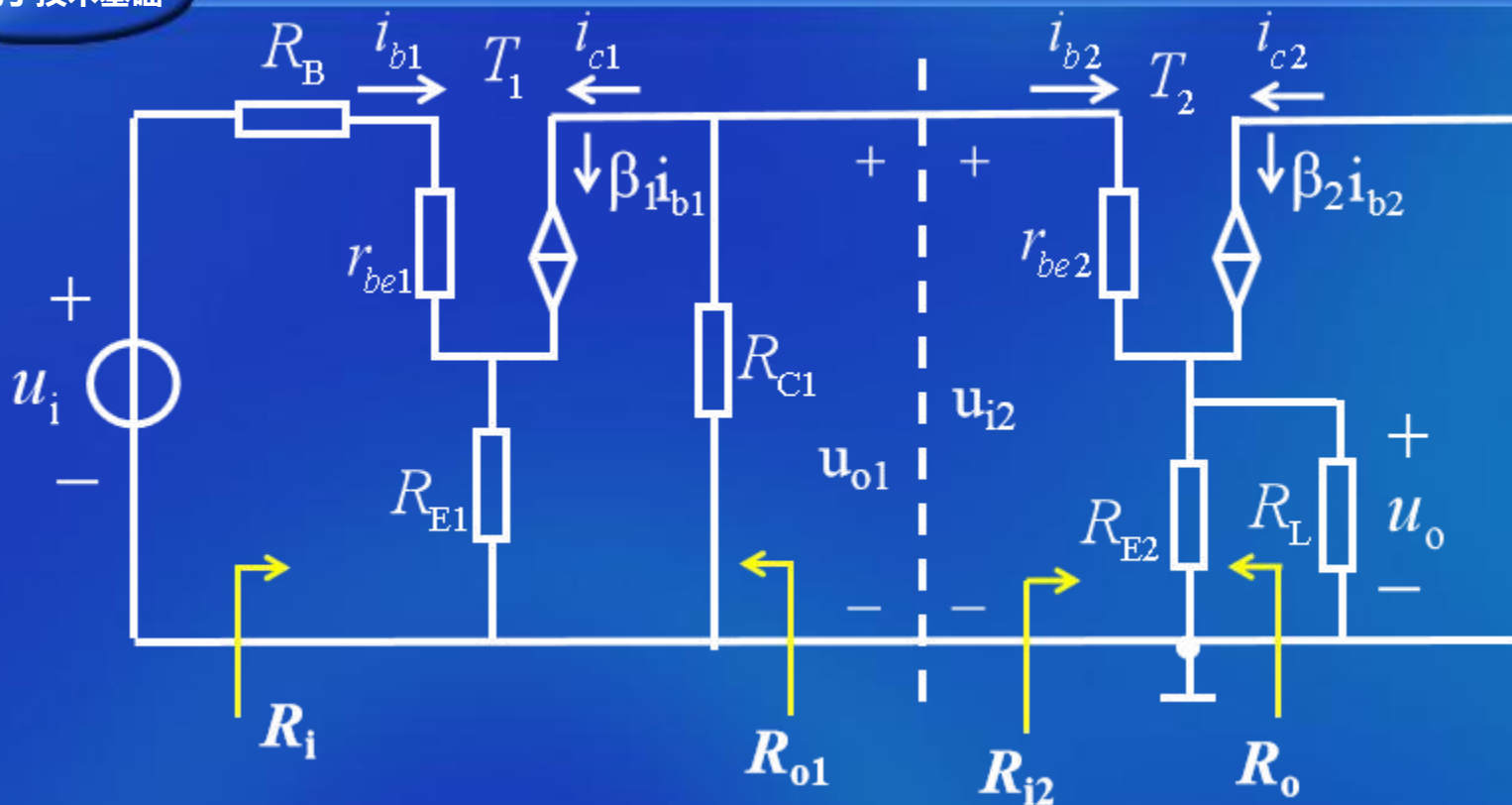
$$R'_{L1} = R_{C1} // R_{i2}$$

$$R_{i2} = r_{be2} + (1 + \beta_2)(R_{E2} // R_L)$$



故  $\dot{A}_{u2} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_{i2}} = \frac{(1 + \beta_2)R'_{L2}}{r_{be2} + (1 + \beta_2)R'_{L2}} \approx 1 \quad R'_{L2} = R_{E2} // R_L$

$$\dot{A}_u = \dot{A}_{u1} \dot{A}_{u2} = \frac{-\beta_1 R'_{L1}}{R_B + r_{be1} + (1 + \beta_1)R_{E1}} \frac{(1 + \beta_2)R'_{L2}}{r_{be2} + (1 + \beta_2)R'_{L2}}$$



输入电阻  $R_i$        $R_i = R_B + r_{be1} + (1 + \beta_1)R_{E1}$

输出电阻  $R_o$

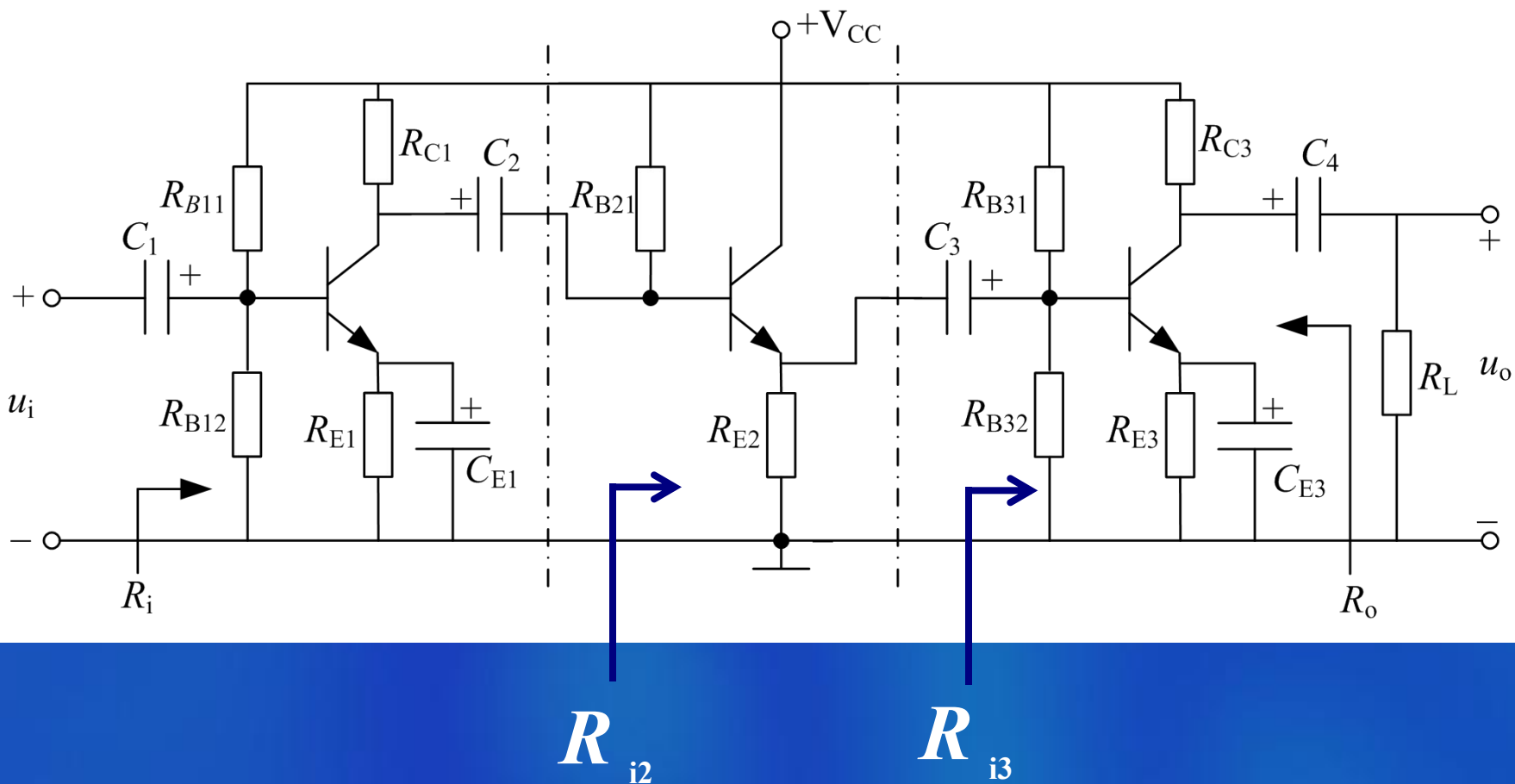
$$R_o = R_{E2} // \frac{r_{be2} + R_{o1}}{1 + \beta_2}$$

式中

$$R_{o1} = R_{C1}$$



# 练习：写出电路动态参数的表达式



# 本章小结

