



第二章 放大电路基础

2.1 放大电路概述

2.2 基本共射放大电路的工作原理

2.3 放大电路的分析方法

2.4 放大电路静态工作点的稳定

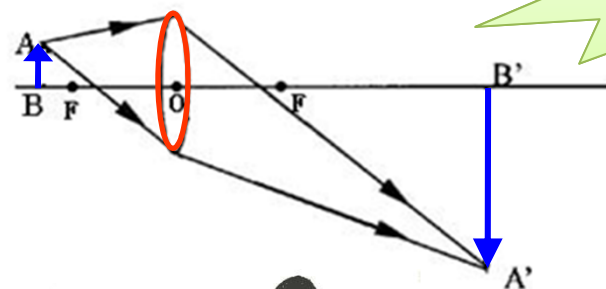
2.5-2.7 基本放大电路分析



2.1 放大电路概述

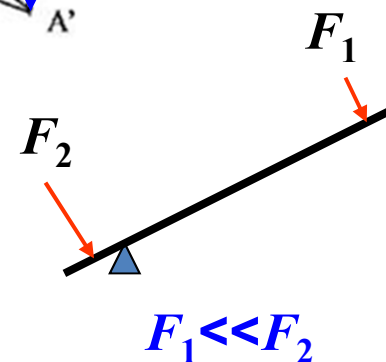
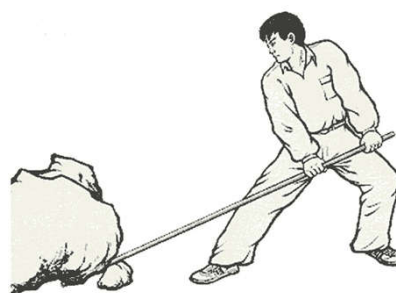
一、放大的概念 (Concept of Amplifying)

Magnifier: 光学中的放大

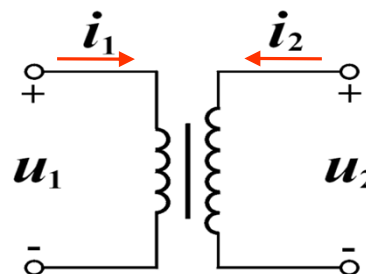


能量守恒

Lever: 力学中的放大



Transformer: 电学中的放大



一、放大的概念(Concept of Amplifying)

电子学中的放大现象：

扩音器，手机接听，收听宇航员从太空报告的声音

弱的声音
调制信号



较强声
音信号

需要电源提
供能源

放大的对象：变化量（幅值和频率）

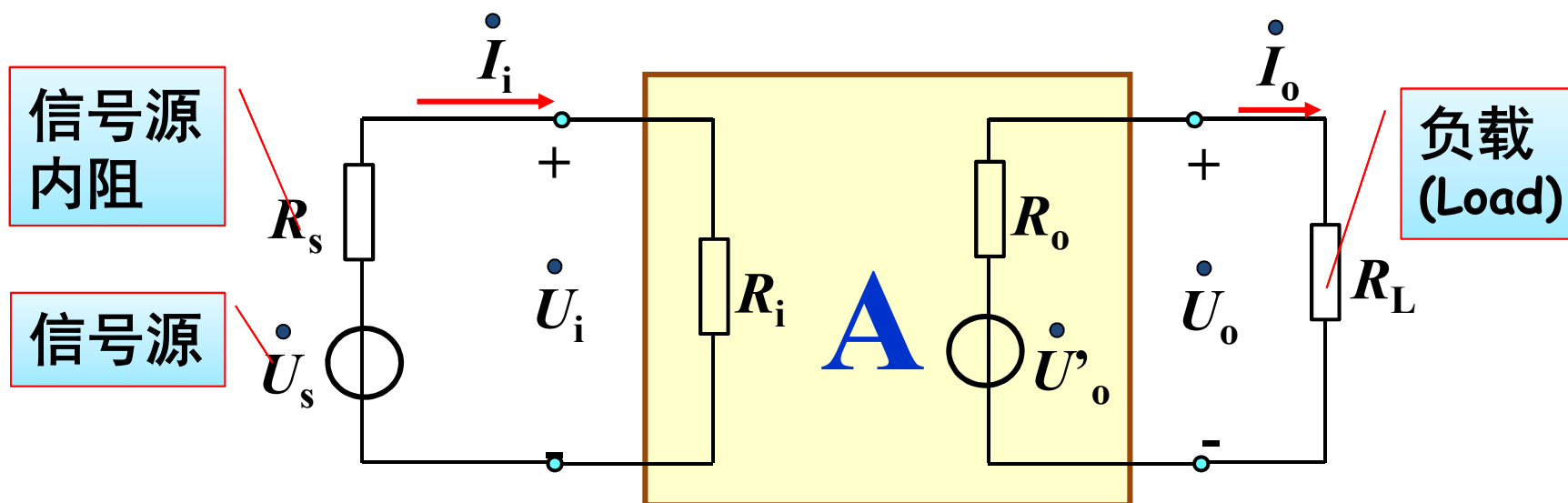
放大的特征：信号功率的放大

放大的本质：能量的转换和控制

放大的前提：不失真

有源元件：能够控制能量的元件，如晶体管、场效应管。
(Active Device)

二、放大电路的主要性能指标(Performance of Amplifier)



1、放大倍数(Gain): 衡量放大电路的放大能力

电压放大倍数 $\dot{A}_{uu} = \dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i}$

研究的重点

互阻放大倍数 $\dot{A}_{ui} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{I}_i}$

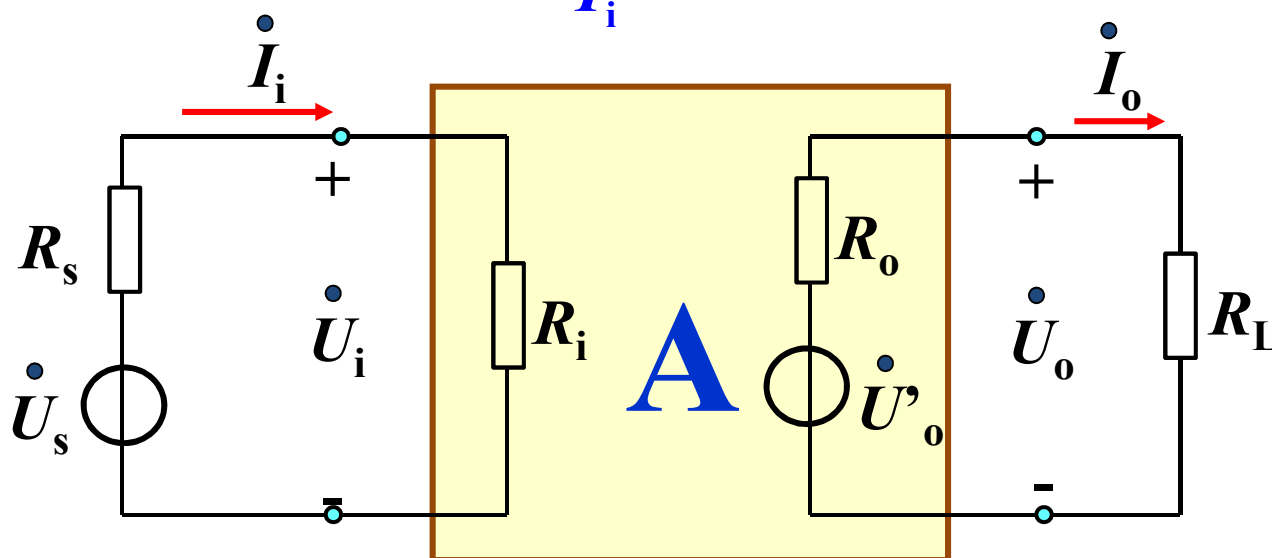
电流放大倍数 $\dot{A}_{ii} = \dot{A}_i = \frac{\dot{I}_o}{\dot{I}_i}$

互导放大倍数 $\dot{A}_{iu} = \frac{\dot{I}_o}{\dot{U}_i}$

二、放大电路的主要性能指标(Performance of Amplifier)

2、输入电阻 R_i (Input Resistance) : 从放大电路输入端看进去的等效电阻

$$R_i = \frac{U_i}{I_i} \quad U_i, I_i \text{ 均为交流有效值}$$



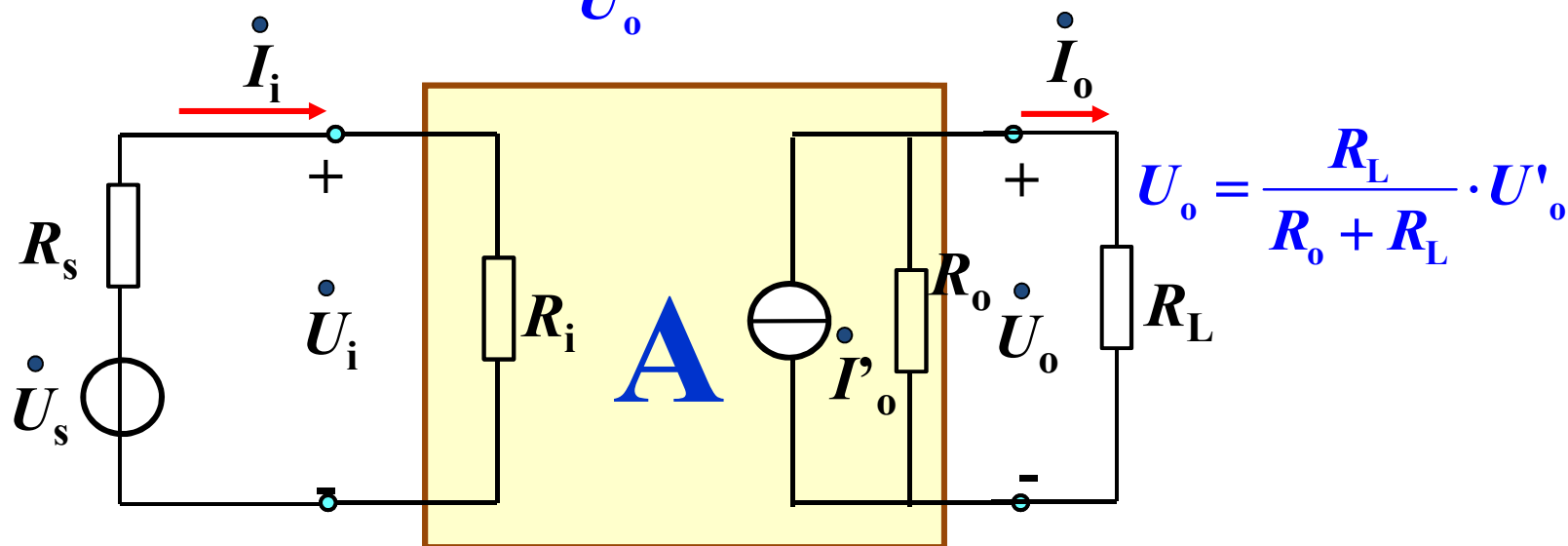
R_i : 衡量放大电路对输入信号影响的程度

问题: 对于电压源, R_i 大些好还是小些好?
对于电流源呢?

二、放大电路的主要性能指标(Performance of Amplifier)

3、输出电阻 R_o (Output Resistance)：从放大电路输出端看进去的等效内阻

$$R_o = \left(\frac{U'_o}{U_o} - 1 \right) \times R_L$$

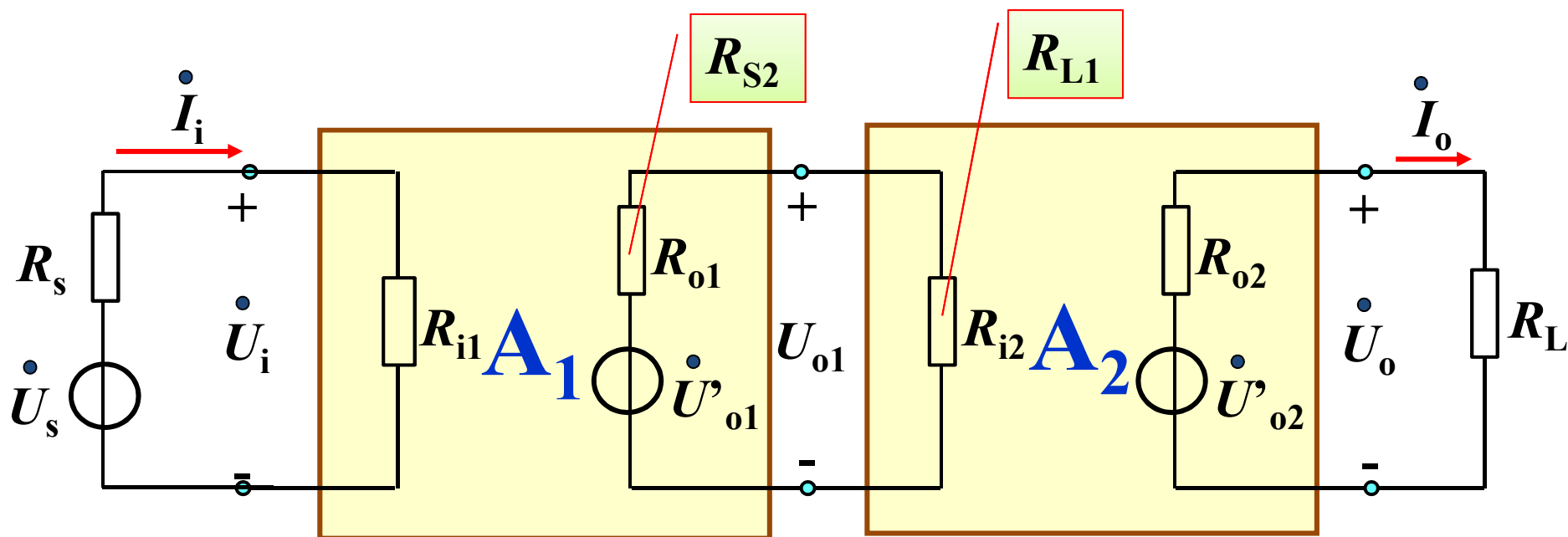


R_o ：衡量负载接入使输出变化的程度（带负载能力）

问题： R_o 大些好还是小些好？

二、放大电路的主要性能指标(Performance of Amplifier)

R_i 、 R_o 也描述了放大电路在相互连接时所产生的相互影响



R_i 、 R_o 会直接或间接影响整个放大电路的放大倍数

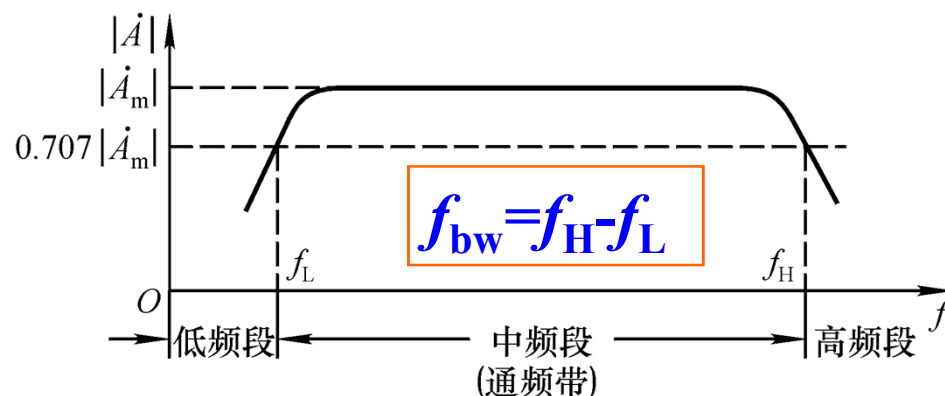
二、放大电路的主要性能指标(Performance of Amplifier)

4、最大不失真输出电压 U_{omax} (Maximum signal swing)

输出基本不失真情况下的最大 U_o ，一般用有效值表示

5、通频带 f_{BW} (Band width)

电压放大倍数随信号频率变化



6、最大输出功率 P_{om} 和效率 η

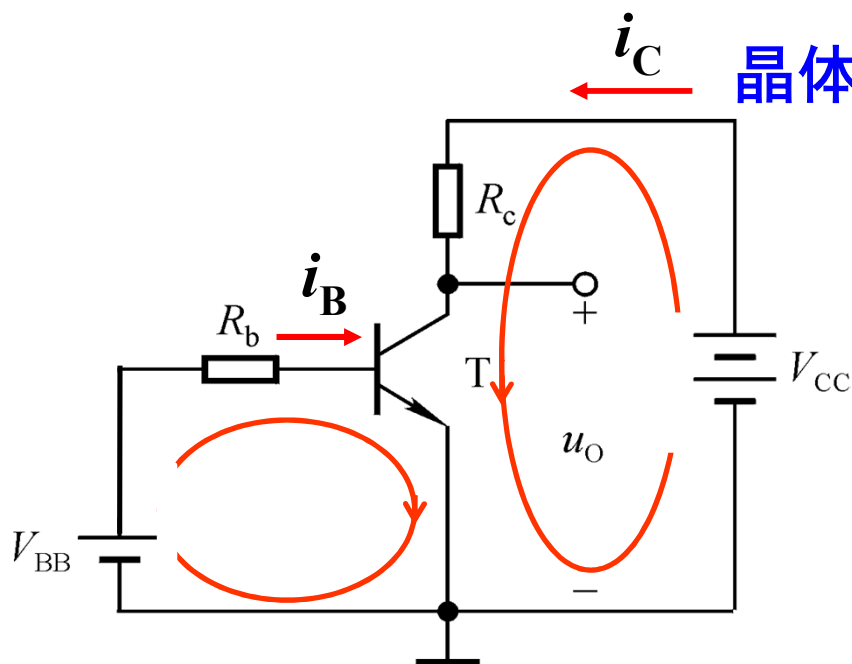
P_{om} : 输出基本不失真情况下负载上能获得的最大功率

η : 最大输出功率与电源消耗的功率之比 $\eta = P_{om}/P_V$



2.2 基本共射放大电路的工作原理

一、电路组成 (Components of Amplifier)



共射放大电路(Common-Emitter Amplifier): 发射极为输入回路和输出回路公共端

i_C 晶体管T: 起放大作用 $i_C \approx \beta i_B, (\beta > 1)$

➤ 输入回路

u_i : 信号源, 被放大的对象

V_{BB} : 保证发射结正偏

R_b : 基极偏置电阻, 作用?

➤ 输出回路

V_{CC} : 保证集电结反偏

R_c : 集电极负载电阻, 作用?

放大交流量, 但必须有直流量!

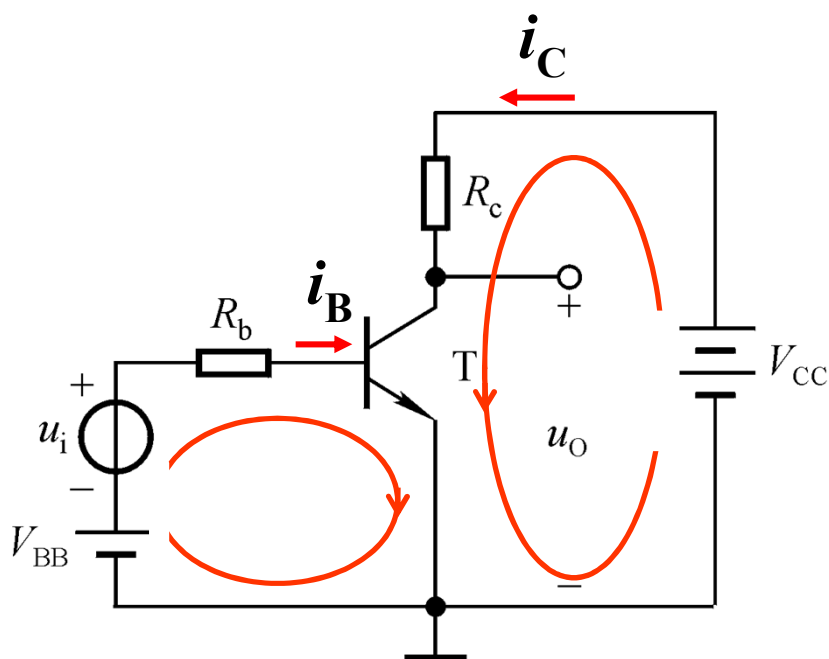
二、工作状态与静态工作点

静态、静态工作点、动态

- 静态：当 $u_i=0$ 时，电路中各处电压、电流都是不变的直流流量，称为直流工作状态或静止状态，简称静态。
- 静态工作点：静态时晶体管各电极的直流电流和直流电压常称为静态工作点，简称为 Q 点(Quiescent point, Q-point)。
 Q 点： I_{BQ} 、 I_{CQ} 、 I_{EQ} 、 U_{BEQ} 、 U_{CEQ}
- 动态：当 $u_i \neq 0$ 时，电路中各处的电压、电流便处于交变状态，此时电路处于动态工作状态，简称动态。

静态是动态的基础！

三、工作原理(How does amplifier work?)



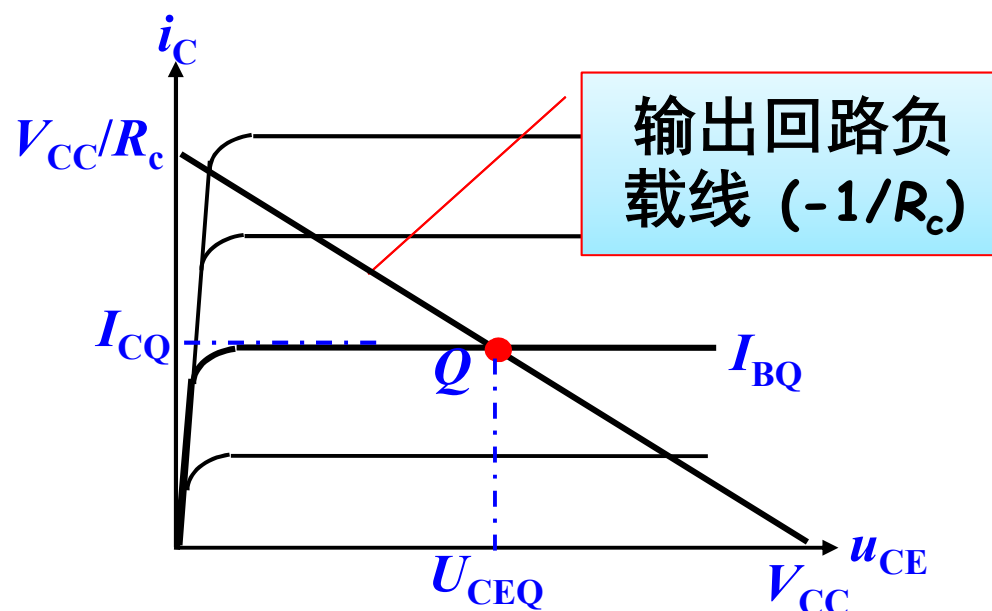
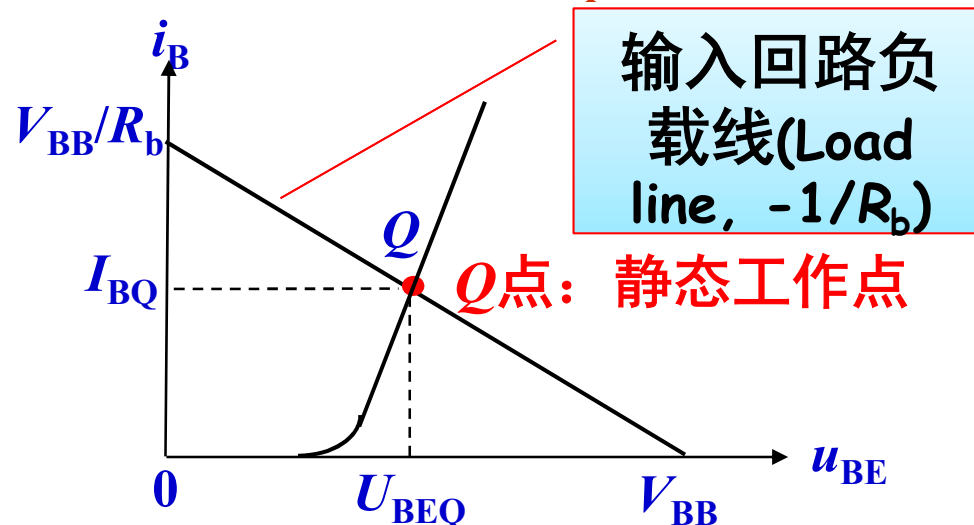
输入回路方程:

$$u_{BE} = (V_{BB} + u_i) - i_B \cdot R_b$$

输出回路方程:

$$u_O = V_{CC} - i_C \cdot R_c$$

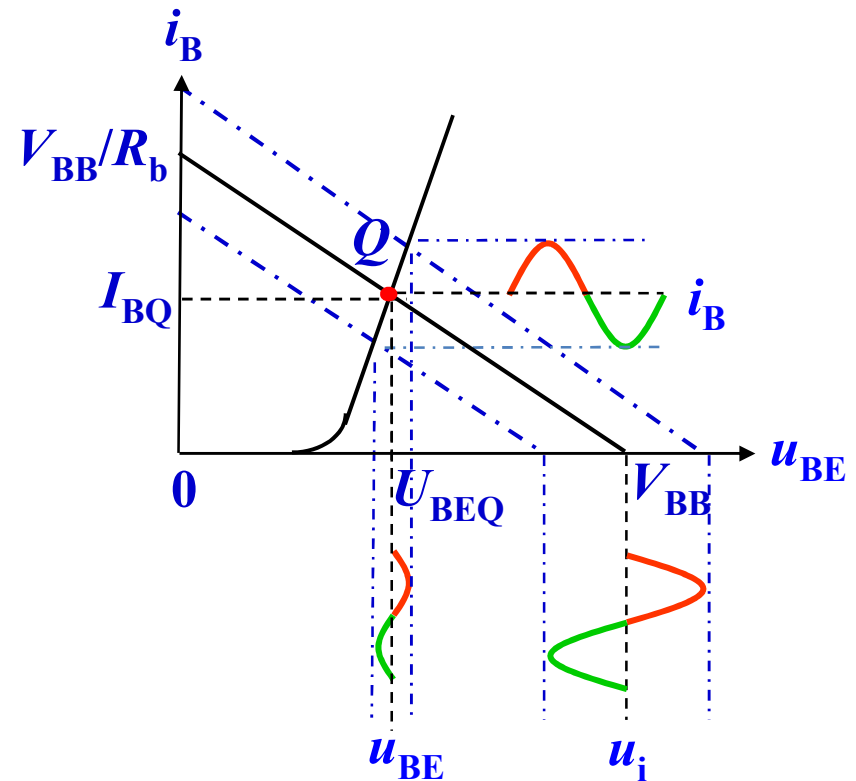
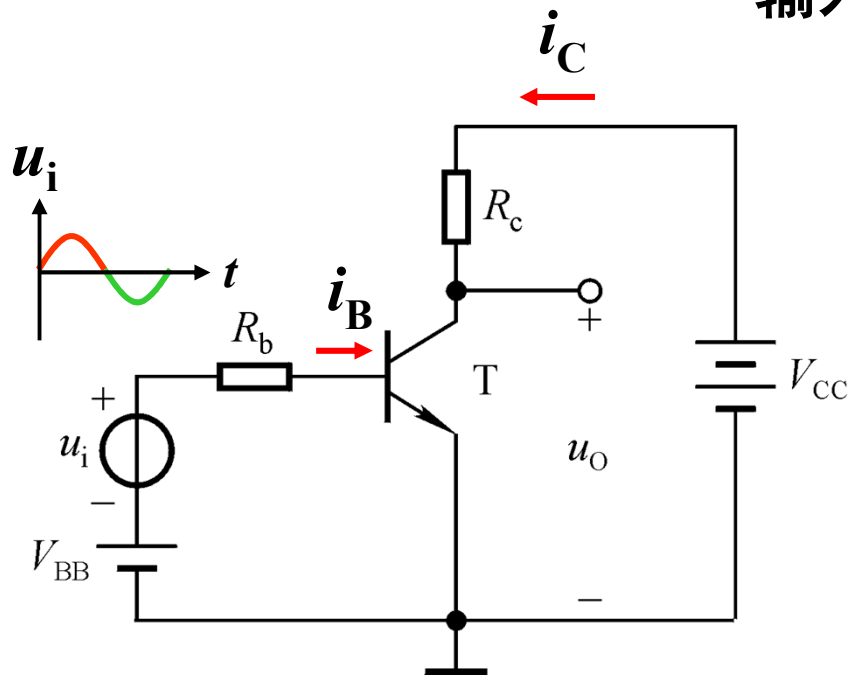
1. 静态分析: $u_i = 0$



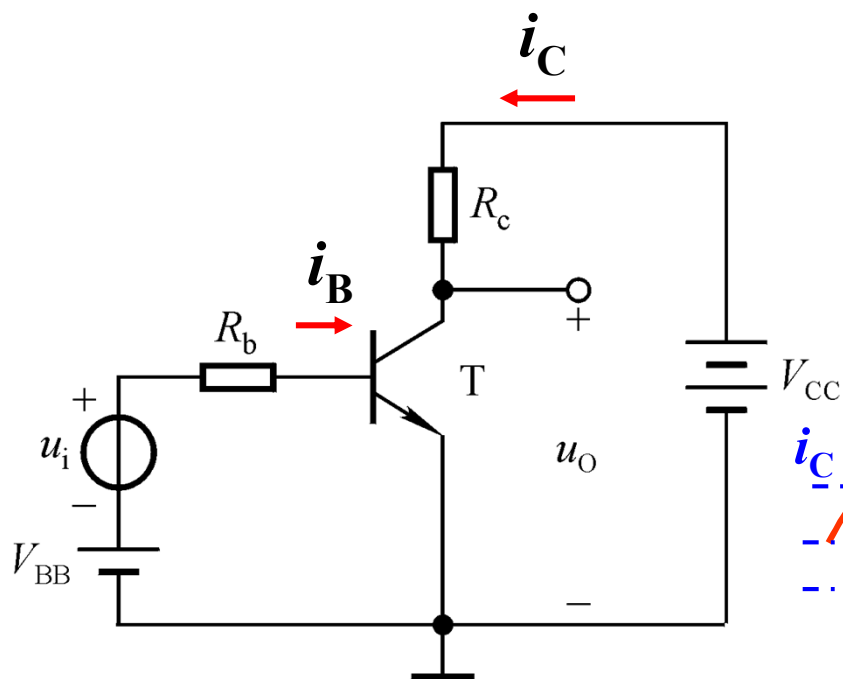
三、工作原理(How does amplifier work?)

2. 动态分析: $u_i \neq 0$

输入回路方程: $u_{BE} = (V_{BB} + u_i) - i_B \cdot R_b$

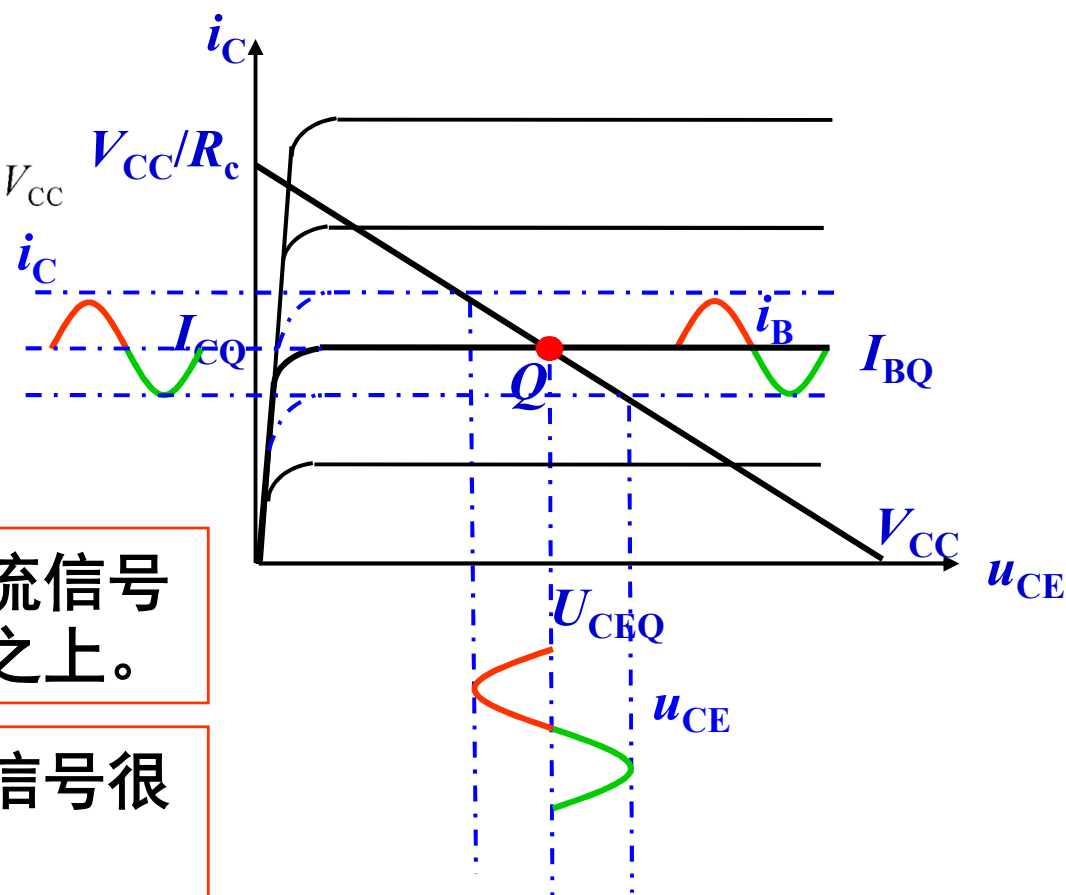


三、工作原理(How does amplifier work?)



2. 动态分析: $u_i \neq 0$

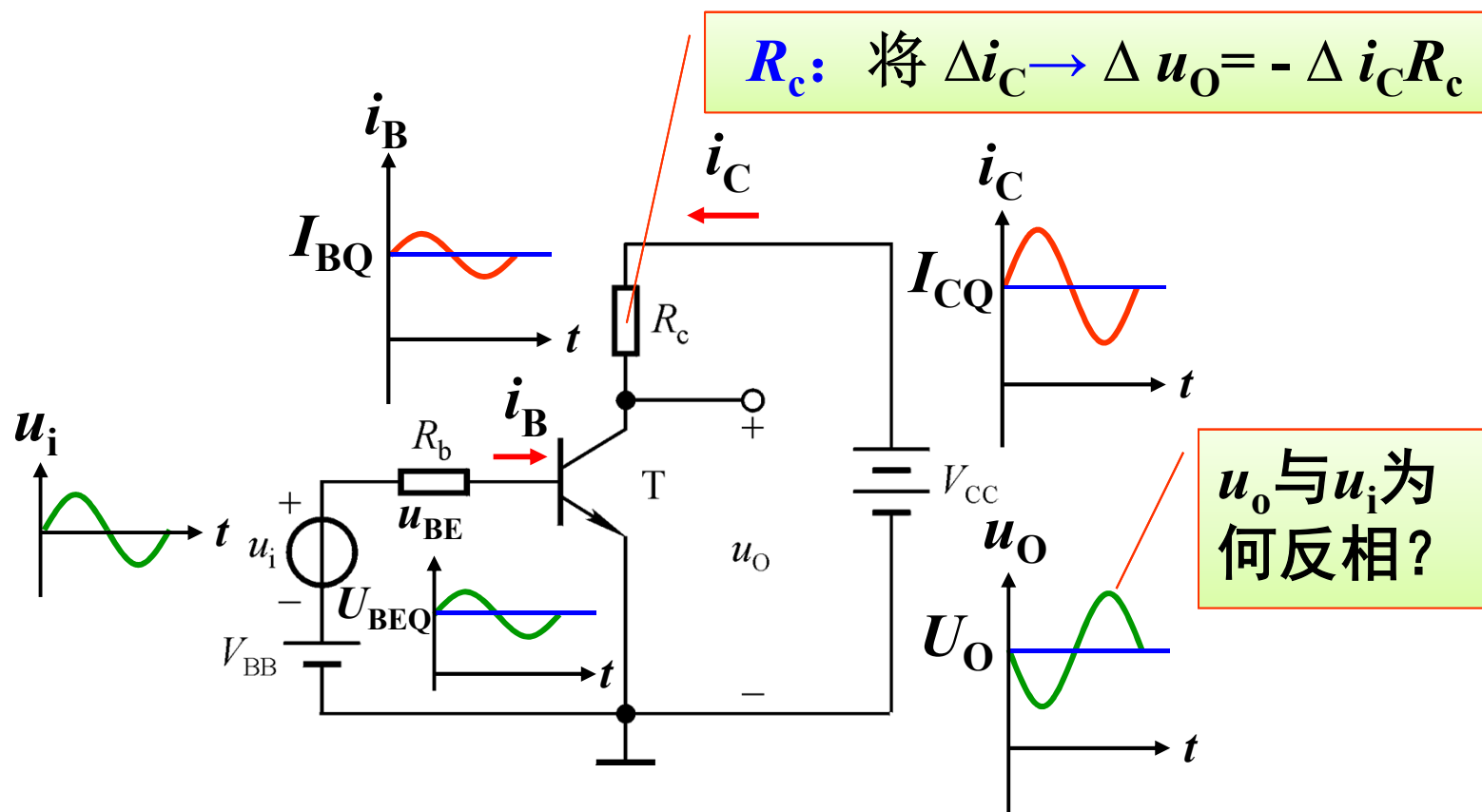
输出回路方程: $u_O = V_{CC} - i_C \cdot R_c$



放大电路特点: 交直流信号共存, 交流驮载在直流之上。

放大电路特点: 交流信号很小, 近似为线性变化。

三、工作原理(How does amplifier work?)



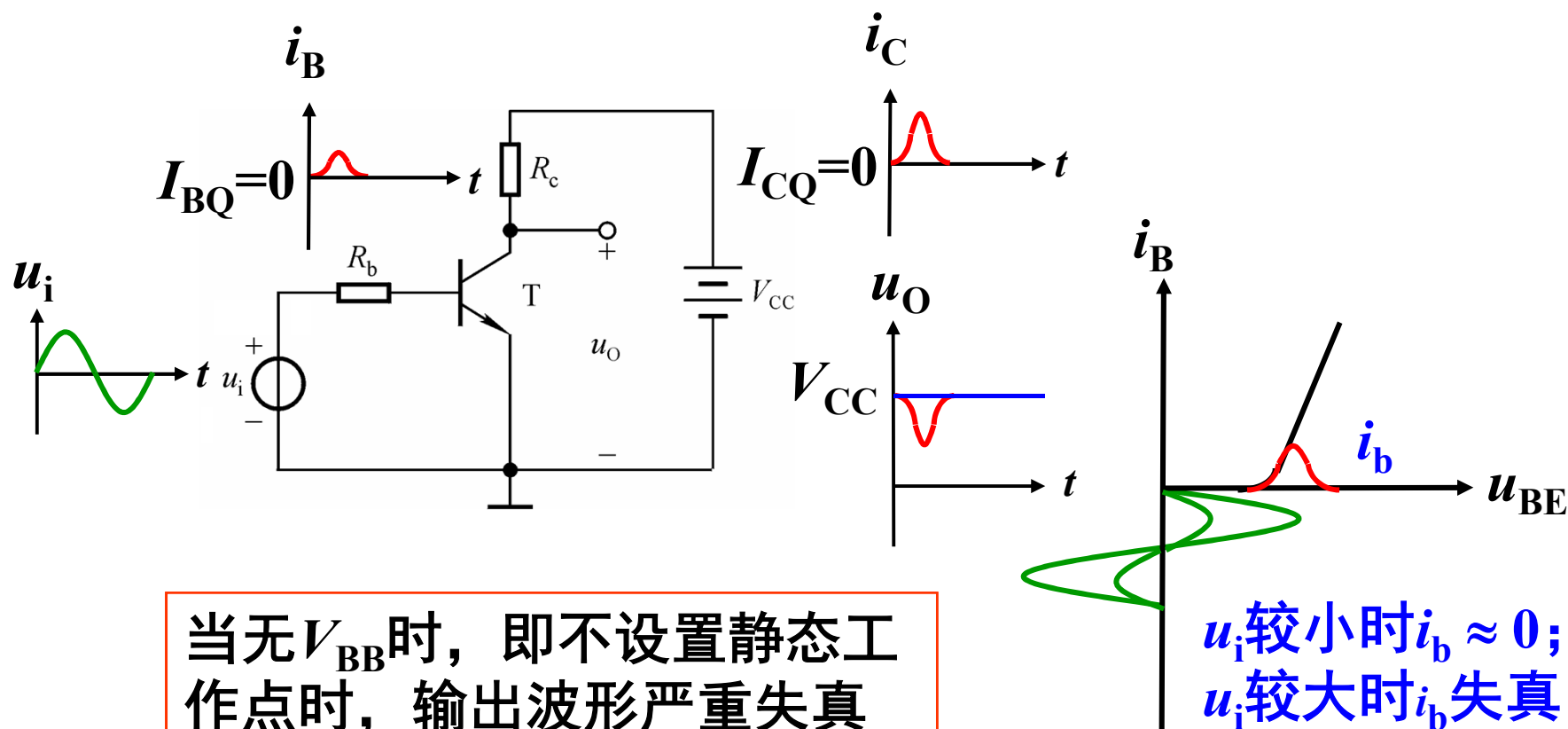
输出回路方程: $u_O = V_{CC} - i_C \cdot R_c$

思考: Q 点的设置会影响共射放大电路的正常工作吗?

四、静态工作点的设置及失真分析(Distortion Analysis)

1、为什么要设置静态工作点？

➤ 若输入回路没有 V_{BB} ，则静态时 $U_{BEQ}=0$

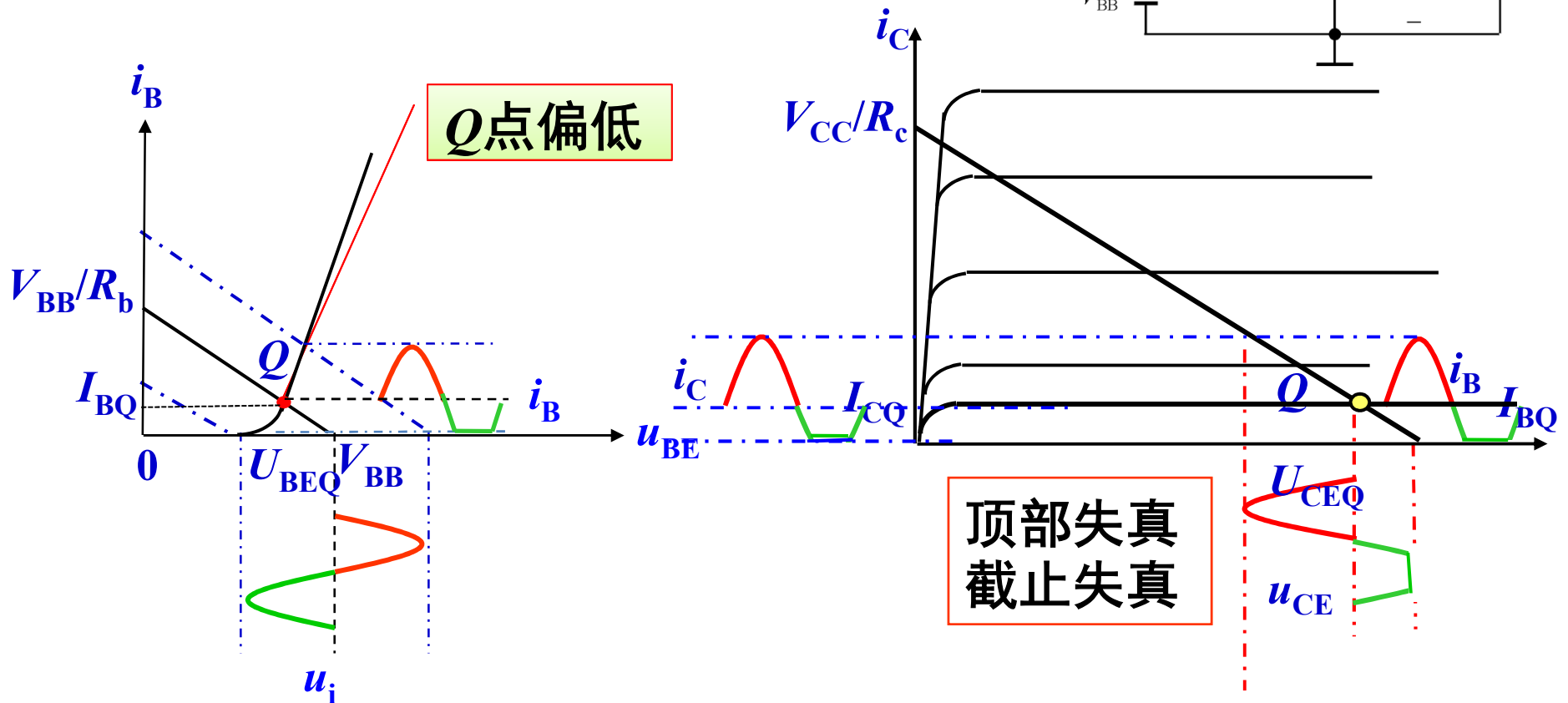
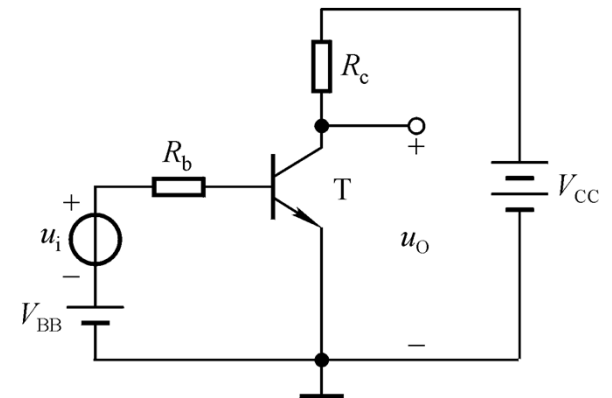


四、静态工作点的设置及失真分析(Distortion Analysis) i_C

2、为什么要设置合适的静态工作点？

➤ 若加上较小的 V_{BB}

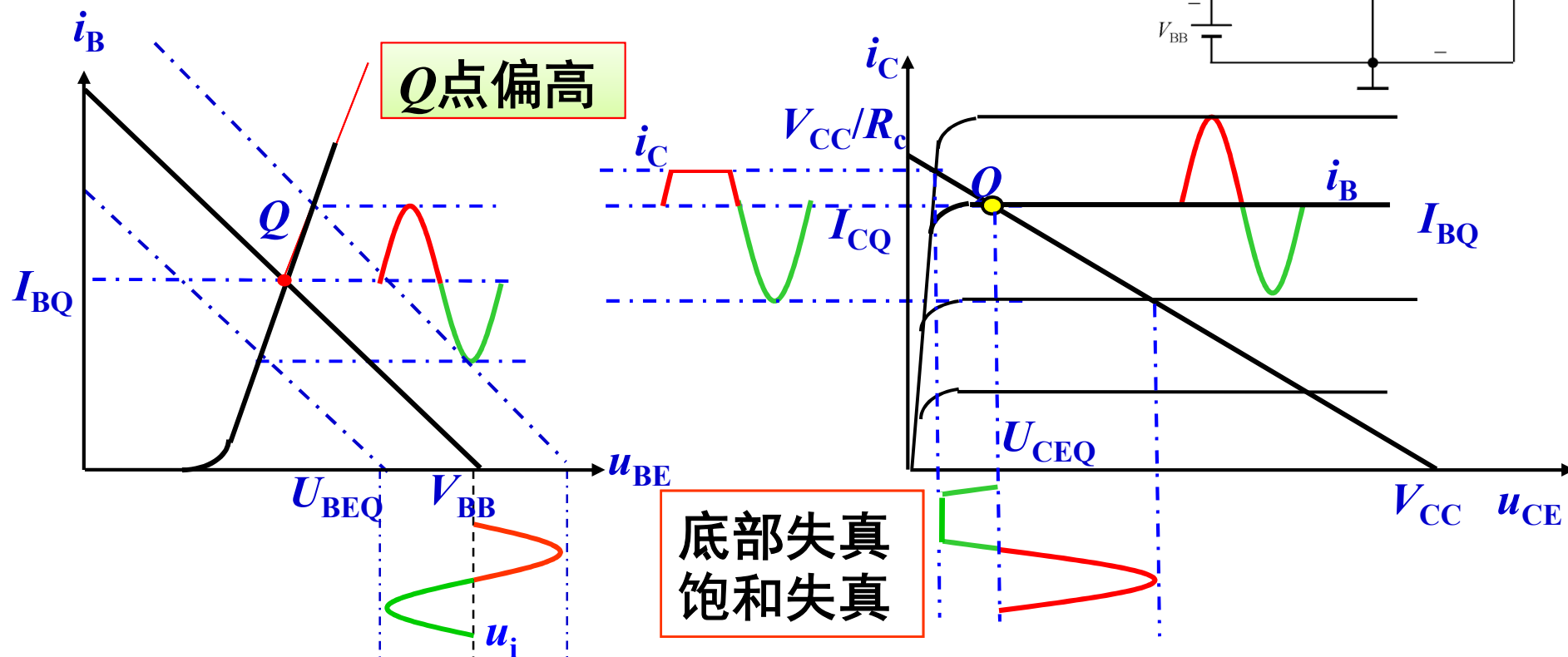
问题：如何消除失真？



四、静态工作点的设置及失真分析(Distortion Analysis) i_C

➤ 若加上较大的 V_{BB}

问题：如何消除失真？



结论：只有设置合适的 Q 点，使晶体管在信号整个周期内全部处于放大状态，波形才不会失真。

五、放大电路的组成原则(Design Rules of an Amplifier)

1. 组成原则

a. 晶体管工作在放大区且 Q 点合适
电阻及电源的选择合理

b. 保证交流信号的有效传输

输入回路：输入信号 \rightarrow 发射结 $\rightarrow \Delta i_B, \Delta i_C$

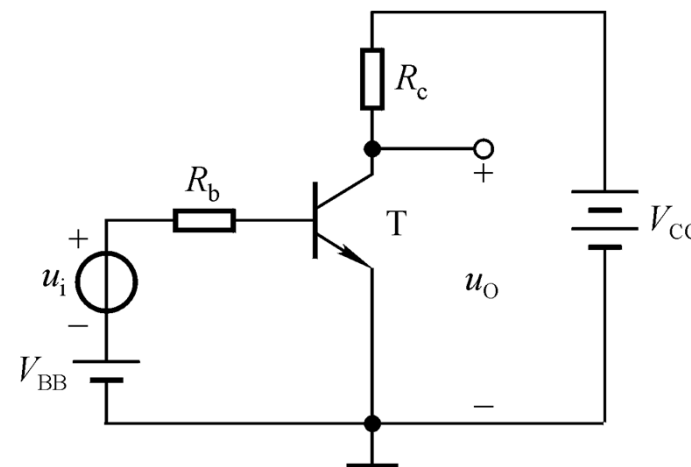
输出回路： Δi_C (Δi_E) \rightarrow 输出信号 \rightarrow 负载

c. 对实用放大电路的要求：

- 信号源与放大电路共地
- 直流电源种类尽可能少
- 静态功耗小

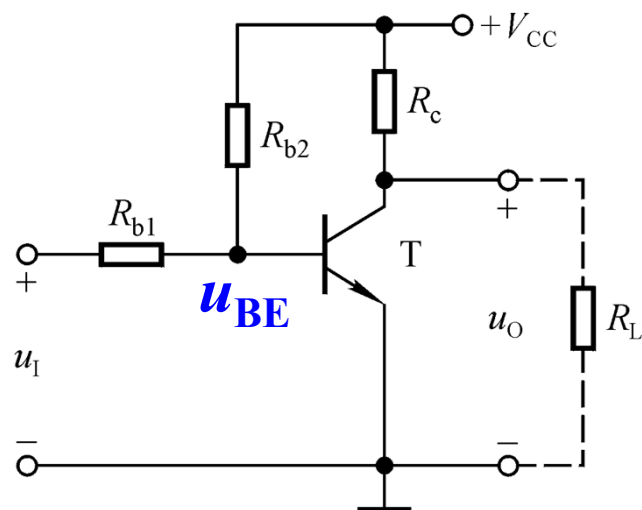
(电路直流功耗小，负载直流功耗尽可能为零)

思考：如何只用一个直流电源 V_{CC} 来设计共射放大电路？



2. 常见的两种共射放大电路

➤ 直接耦合共射放大电路



直接耦合(Direct Coupled): u_i 与放大电路或放大电路与负载直接相连

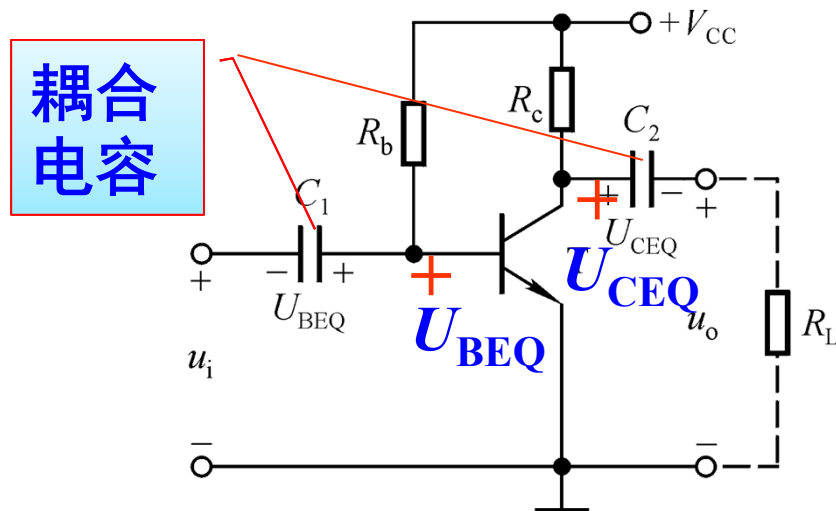
- 静态: $u_i = 0$, $U_{BEQ} = U_{R_{b1}}$
- 动态: $u_i \rightarrow R_{b1} \rightarrow \text{发射结} \rightarrow u_{be} \rightarrow i_b \rightarrow i_c \rightarrow R_c, R_L \rightarrow u_o$

问题:

- R_{b1} 、 R_{b2} 、 R_c 作用? 它们可以没有吗?
- 电路有何优点? 有何缺点?

2. 常见的两种共射放大电路

➤ 阻容耦合共射放大电路



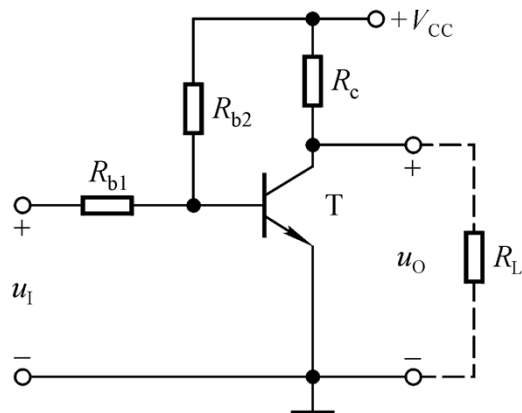
阻容耦合(Capacitively Coupled): u_i 与放大电路或放大电路与负载通过电容相连

- 静态: $U_{C1} = U_{BEQ}$
 $U_{C2} = U_{CEQ}$
- 动态: $u_i + U_{C1} \rightarrow$ 发射结
 $\rightarrow i_B, i_C \rightarrow u_O \rightarrow u_o \rightarrow R_L$

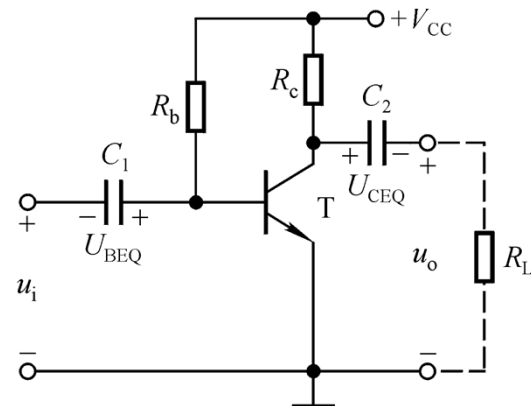
问题: C_1 、 C_2 大些好还是小些好?
电路有何优点? 有何缺点?

2. 常见的两种共射放大电路

➤ 直接耦合共射放大电路



➤ 阻容耦合共射放大电路

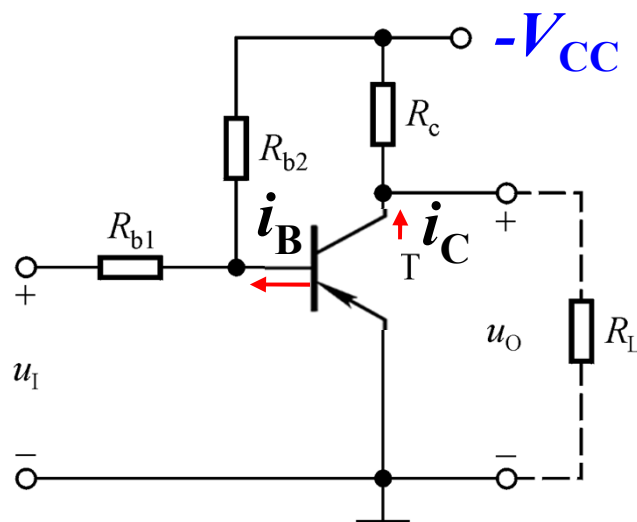


| | 直接耦合 | 阻容耦合 |
|-----|--|--|
| 共同点 | 信号源与放大电路共地 单电源供电 | |
| 不同点 | <ul style="list-style-type: none">• 电阻 R_{b1} 有交流损耗• 负载上有直流损耗• 低频特性好，易于集成 | <ul style="list-style-type: none">• 电容 C_1、C_2 交流损耗很小• 负载上没有直流损耗• 低频特性较差，不易于集成 |

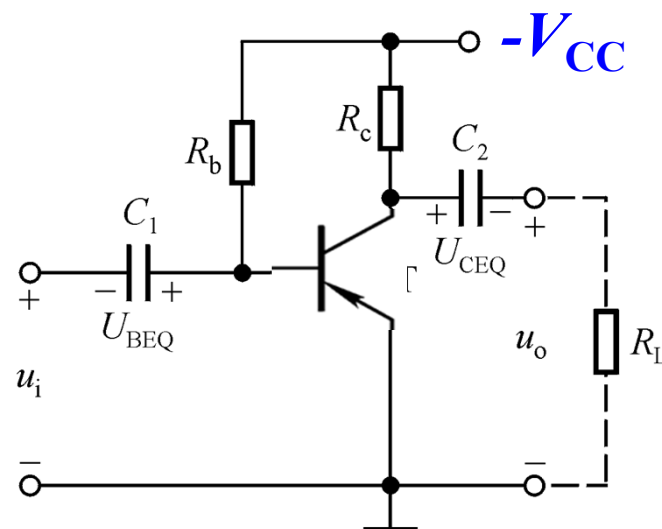
思考：还能设计出其它电路吗？

讨论1：如何用PNP型管组成共射放大电路

➤ 直接耦合



➤ 阻容耦合



问题：

- 输出信号 u_o 与输入信号 u_i 反相吗？
- 若输出信号出现顶部失真，则是饱和失真还是截止失真？
- 若出现饱和失真，如何消除？截止失真呢？
- 减小 R_{b1} 易出现何种失真？减小 R_{b2} 呢？增大 R_c 呢？