

基础电路与电子学

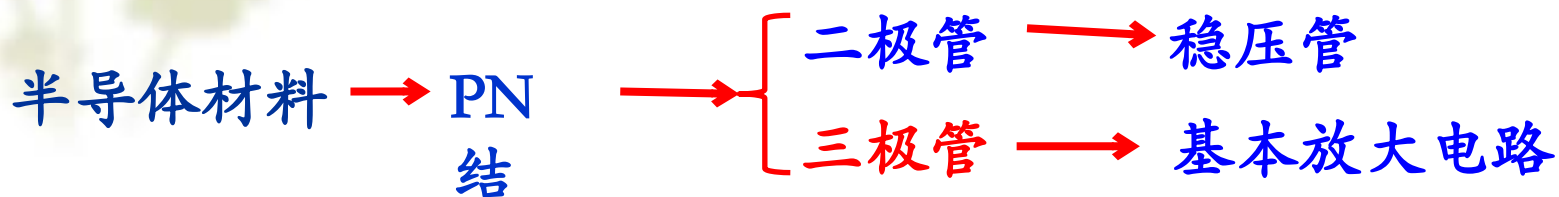
主讲：陈开志

办公室：学院 2 号楼 304

Email: ckz@fzu.edu.cn

QQ 群： 812010686

半导体二极管和三极管



主要内容有：

- ◆ 三极管的结构
- ◆ 三极管的放大原理
- ◆ 三极管的特性曲线
- ◆ 三极管的参数
- ◆ 温度对三极管的影响

核心功能

应用：放大声音信号，
放大接收到的无线信号
等等

如何改善温度的影响：
差分放大器

(1) 输入特性曲线

特点：（和二极管类似）

1、同样存在一个“死区电压”

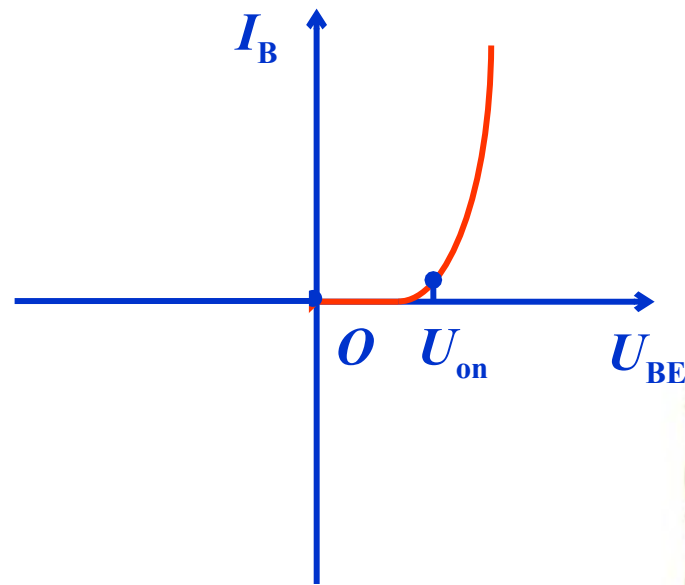
当 $U_{BE} < U_{on}$ 时，发射结未导通

当 $U_{BE} > U_{on}$ 时，发射结导通

硅三极管的死区电压是 0.5 V ，导通后， $U_{BE} = 0.7\text{ V}$

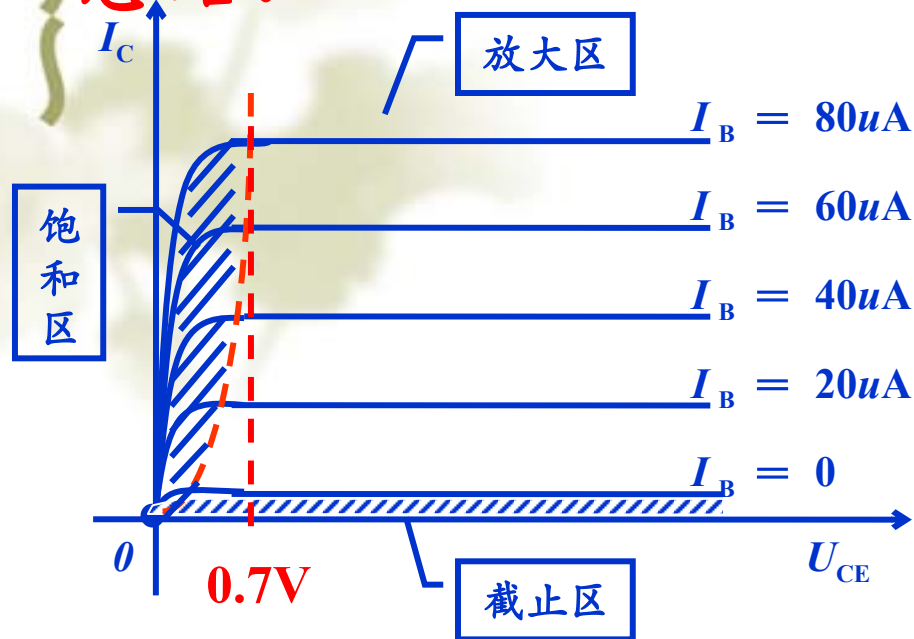
锗三极管的死区电压是 0.1 V ，导通后， $U_{BE} = 0.2\text{ V}$

2、当发射结反偏时，发射结处于截止状态。 $I_B \approx 0\text{ A}$ ，负半段的曲线省略不画



补充说明：输入特性曲线会略微受 U_{CE} 的影响。

总结:



两种方法：电流法和电位法

方法一：通过基极电流 i_B 判断
例题请看视频材料，↓ 后续再介绍
可帮助了解放大电路非线性失真

方法二：通过3个管脚电位判断

- ① 判断T是NPN管还是PNP管？
- ② 判断发射结和集电结的状态；

1、截止区的特点：

- ① 发射结反偏
 - ② 无电流放大 ($I_C \neq \beta I_B$)
- 穿透电流 $\leftarrow = I_{CEO}$

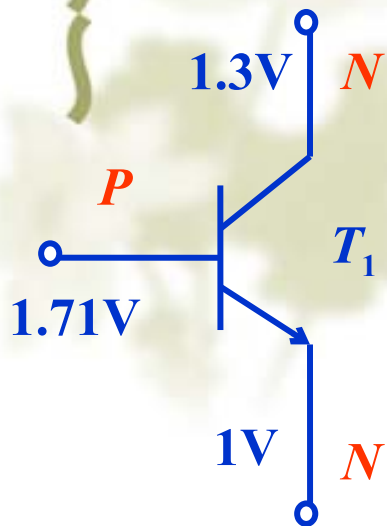
2、放大区的特点：

- ① 有电流放大作用 ($I_C = \beta I_B$)
- ② 发射结正偏，集电结反偏

3、饱和区的特点：

- ① 无电流放大 ($I_C \neq \beta I_B$)
- ② 发射结正偏，集电结正偏

4-13 判断管子是用何种材料做成，处于何种工作状态？



步骤：

1，判断 B、E、C 极

2，标出 PNP 还是 NPN

3，判断发射结正偏还是反偏

反偏即放大器截止状态

4，判断极电结正偏还是反偏

反偏即放大器放大状态

正偏即放大器饱和状态

$$\because V_B > V_E$$

\therefore 发射结正偏

$$\because U_{BE} = 0.71V$$

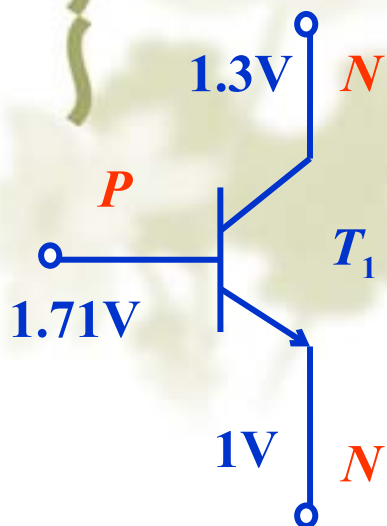
$\therefore T_1$ 为硅管

$$\because V_B > V_C$$

\therefore 集电结也正偏

$\therefore T_1$ 工作在饱和状态

4-13 判断管子是用何种材料做成，处于何种工作状态？



$$\because V_B > V_E$$

\therefore 发射结正偏

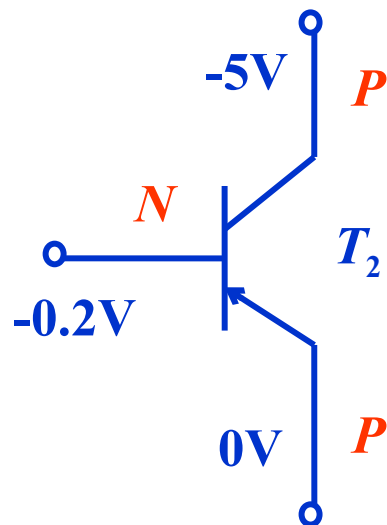
$$\because U_{BE} = 0.71V$$

$\therefore T_1$ 为硅管

$$\because V_B > V_C$$

\therefore 集电结也正偏

$\therefore T_1$ 工作在饱和状态



$$\because V_E > V_B$$

\therefore 发射结正偏

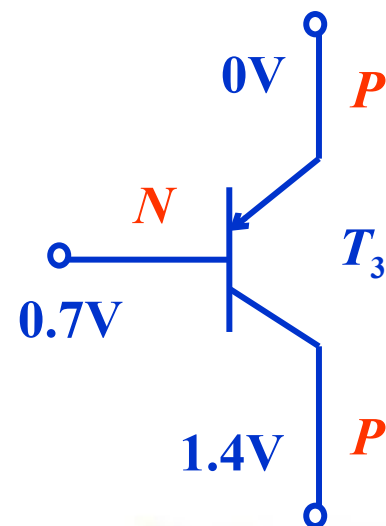
$$\because U_{EB} = 0.2V$$

$\therefore T_2$ 为锗管

$$\because V_B > V_C$$

\therefore 集电结反偏

$\therefore T_2$ 工作在放大状态

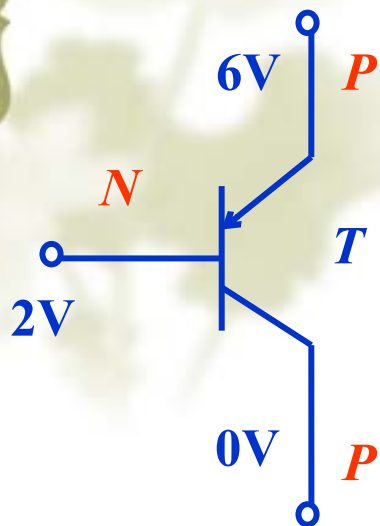


$$\because V_B > V_E$$

\therefore 发射结反偏

$\therefore T_3$ 工作在截止状态

4-13 判断管子是用何种材料做成，处于何种工作状态？



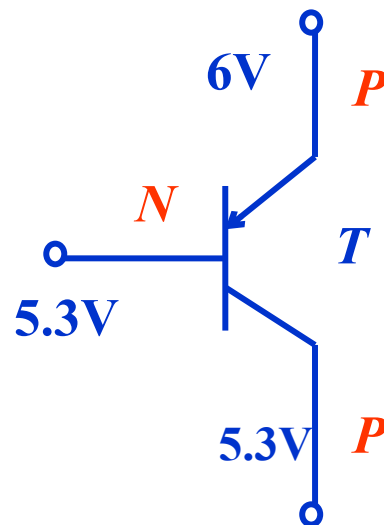
$$\because V_E > V_B$$

\therefore 发射结正偏

$$\because U_{EB} = 4V$$

\neq 正常管压降

$\therefore T$ 已经损坏



$$\because V_E > V_B$$

\therefore 发射结正偏

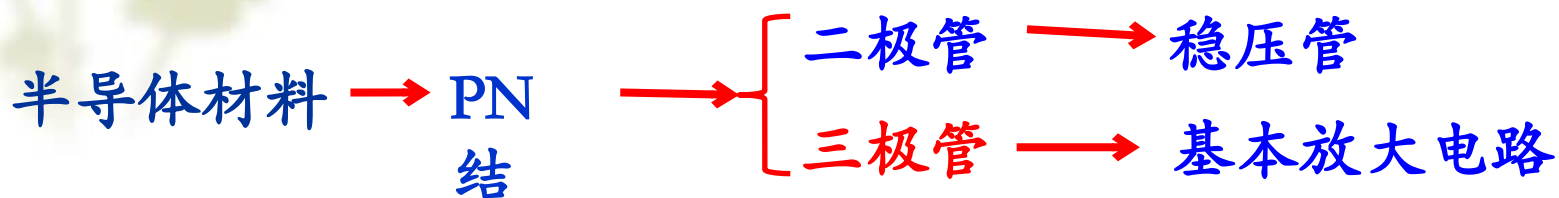
$$\because U_{EB} = 0.7V$$

$\therefore T$ 为硅管

$$\because V_B = V_C$$

$\therefore T$ 工作在临界饱和状态

半导体二极管和三极管

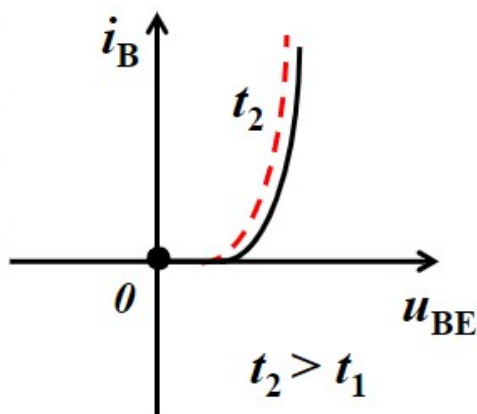


主要内容有：

- ◆ 三极管的结构
- ◆ 三极管的放大原理
- ◆ 三极管的特性曲线
- ◆ 三极管的参数
- ◆ 温度对三极管的影响

(5) 温度对晶体管参数的影响

输入特性曲线

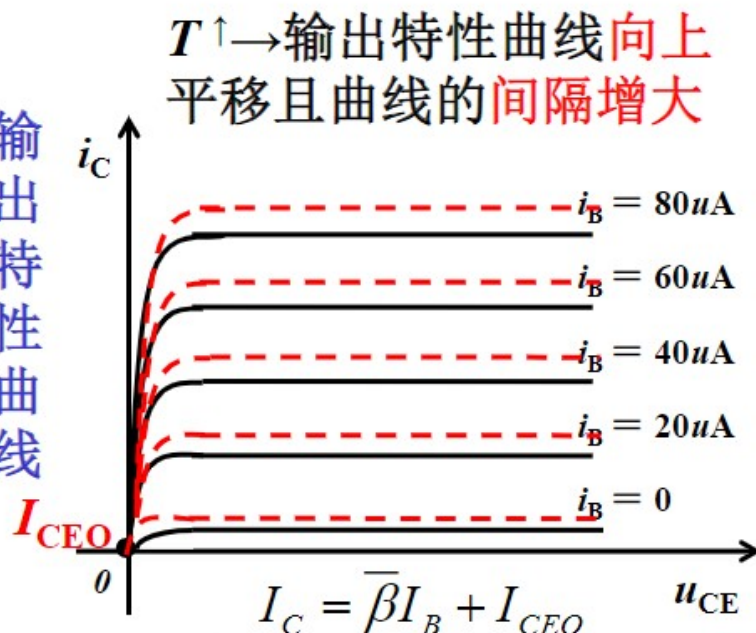


$T \uparrow \rightarrow$ 输入特性 **向左** 移动
温度 **升高**，多子运动 **加快**，
更快通过PN结，使得死区
电压和管压降都有所 **减小**。

温度 $\uparrow \rightarrow U_{BE} \downarrow$ **P149**

注意：温度对特性曲线的影响会带来放大电路的不稳定

输出特性曲线



① 温度 $\uparrow \rightarrow I_{CEO} \uparrow = (1 + \bar{\beta}) I_{CBO} \uparrow$
集电区 **少子** \uparrow 的漂移运动形成

② 温度 $\uparrow \rightarrow \bar{\beta} \uparrow \rightarrow$ **间隔增大**
载流子运动 **加快**
自由电子来不及在基区
复合，快速进入集电区

$$\bar{\beta} = \frac{I_{Cn}}{I_{Bn}}$$

(5) 温度对晶体管参数的影响

- ① 温度 \nearrow \longrightarrow β \nearrow
- ② 温度 \nearrow \longrightarrow I_{CBO} \nearrow
- 随着温度升高，整个输出特性曲线向上平移，且曲线间的间隔增大。
- ③ 温度 \nearrow \longrightarrow U_{BE} \searrow \longrightarrow 三极管的输入特性曲线会向左移动

(6) 三极管的主要参数

1、直流电流放大倍数 ($\bar{\beta}$) 和交流电流放大倍数 (β)

$$\bar{\beta} \approx \frac{I_C}{I_B} \quad \beta \approx \frac{i_c}{i_b} \quad \because \bar{\beta} \approx \beta$$

\therefore 统一用 β 来表示电流放大系数

在放大电路直流估算时, $I_C = \beta I_B$ $I_E = (1 + \beta) I_B$

在放大电路交流估算中, $i_c = \beta i_b$ $i_e = (1 + \beta) i_b$

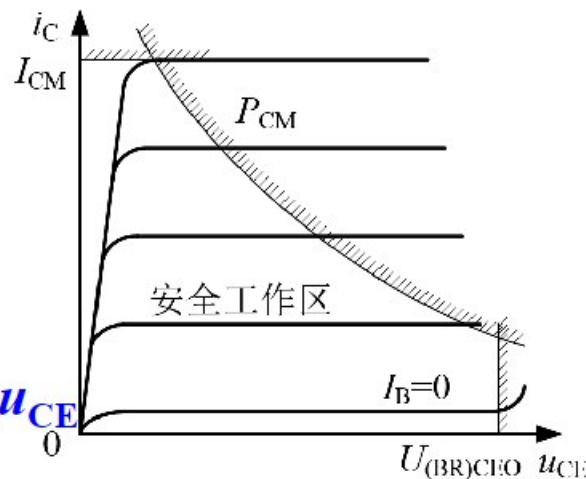
2、极限参数 \longrightarrow 包括了可以使三极管安全工作的三个指标

T正常工作: 发射结正偏, 集电结反偏

① 集电极最大允许电流 $I_{CM} > i_C$

② 集电结反向击穿电压 $U_{(BR)CEO} > u_{CE}$

③ 集电结最大允许损耗功率 $P_{CM} > P_C = i_C u_{CE}$





作业： 4-11 至 4-13,4-15

第5章 放大电路基础

5.1 放大电路的组成及工作原理 (重点) → 定性

5.2 图解分析法

5.3 计算分析法 (重点)

} 定量

5.4 放大电路的三种接法

5.5 阻容耦合放大电路

5.6 场效应管放大电路

5.7 多级放大电路

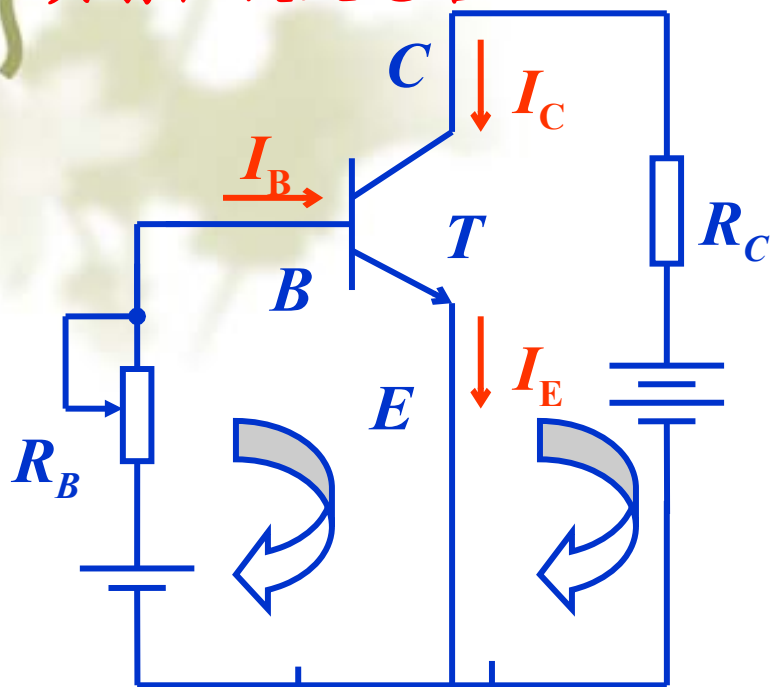
5.8 放大器的通频带

共射极放大电路

功能：实现电流的放大

$$I_C \approx \beta \bar{I}_B$$

思考：如果将一个很小的交流信号（ μA 级电流或 μV 级电压信号）要放大 100 倍（1000 倍）怎么设计？



输入回路

输出回路

共射接法 {
公共端：发射极 E
输入端：基极 B
输出端：集电极 C

DTMF双音多频信号

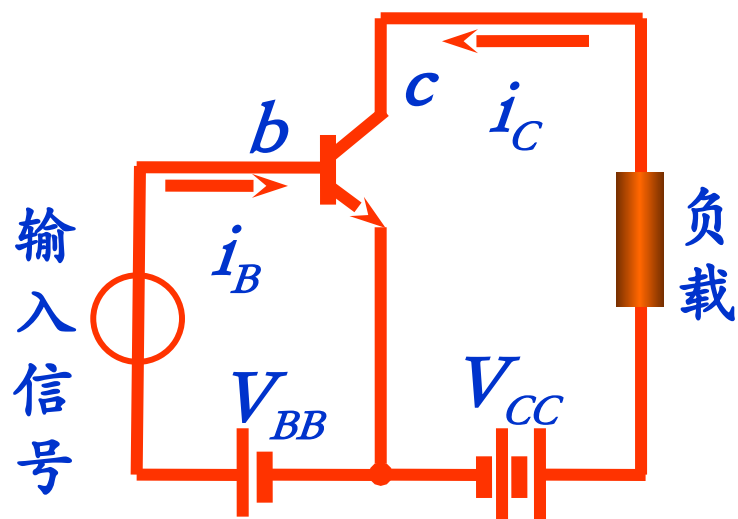


(3) 晶体管的放大作用

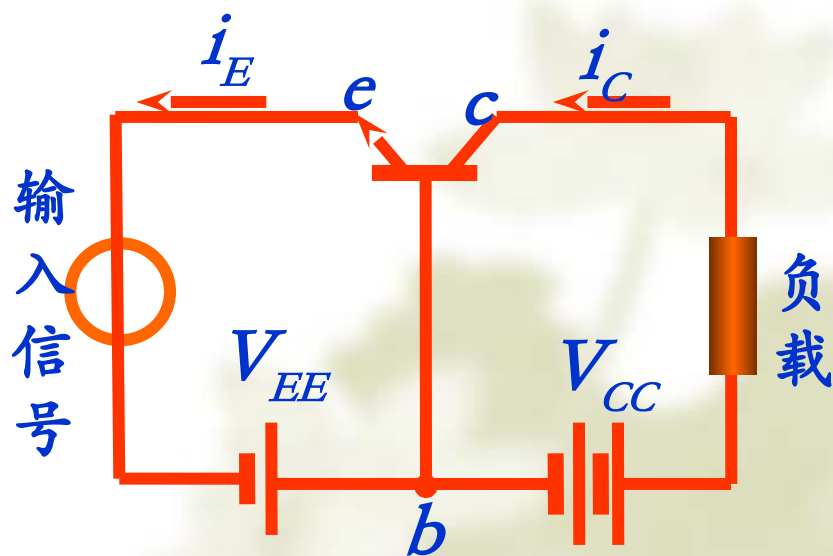
晶体管放大作用的本质：

i_B 对 i_C 或 i_E 对 i_C 的控制作用。

为什么能实现放大呢？



晶体管共射电路



晶体管共基电路

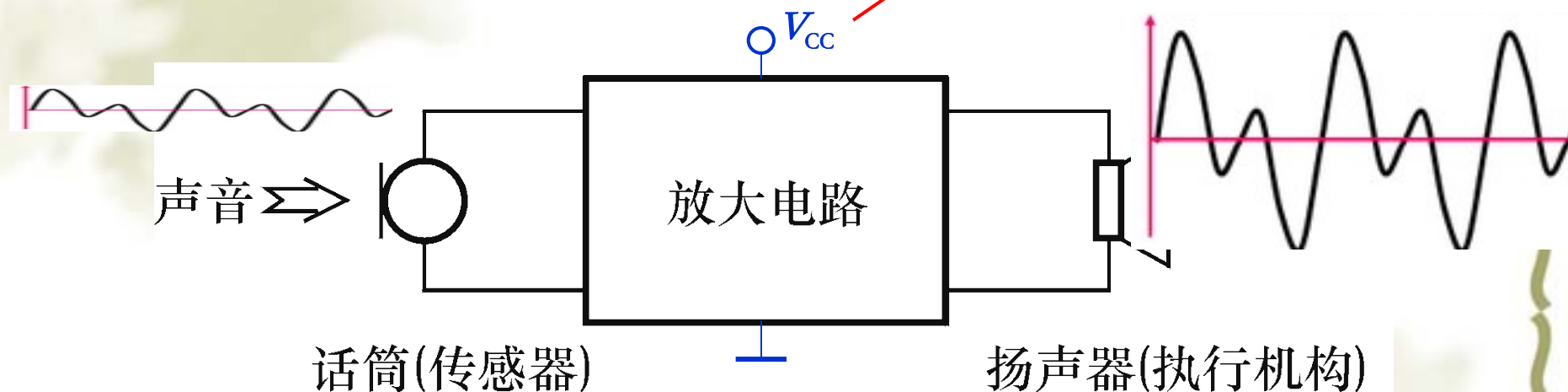
5.1 放大电路的组成及工作原理

- 放大电路的功能及性能指标
- 共发射极放大电路的组成
- 放大电路的工作原理

1. 放大电路的功能及性能指标

(1) 放大电路功能简介

至少一路直流
电源供电



- ◆ 放大的对象：变化量
- ◆ 放大的本质：能量的控制
- ◆ 放大的特征：功率放大
- ◆ 放大的基本要求：不失真——放大的前提

判断电路能否放大的基本出发点

2. 共发射极放大电路的组成

将T集电极电流的变化转变为电压变化，以实现电压放大

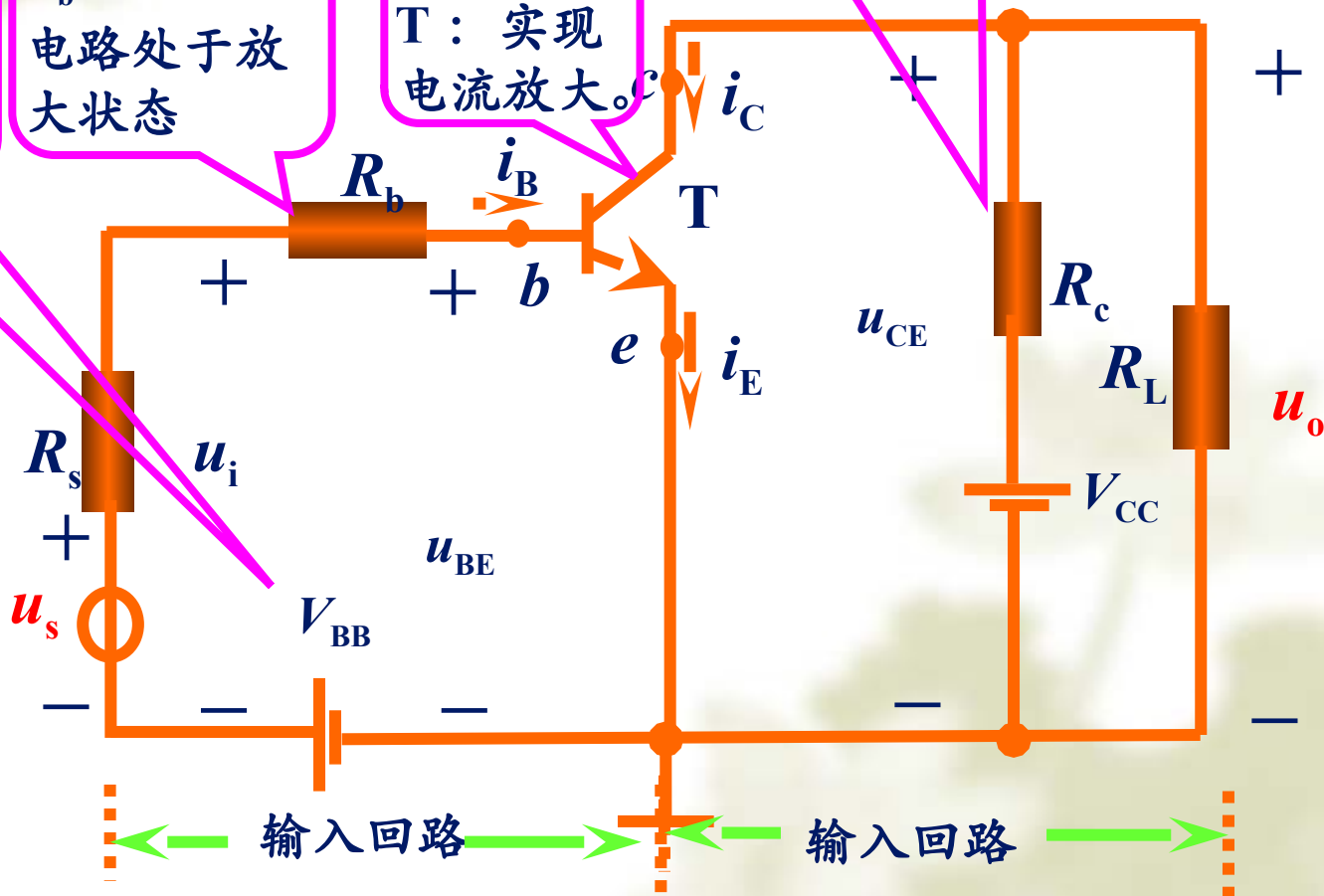
V_{BB} 、 V_{CC} ：
确保三极管
工作在放大
状态

R_b ：使放大
电路处于放
大状态

三极管
T：实现
电流放大。

放大电路组
成的原则：

- 发射结正偏，
集电结反偏；
保证T处于
放大区。
- 输入信号得到
足够的放大和
顺利地传送。



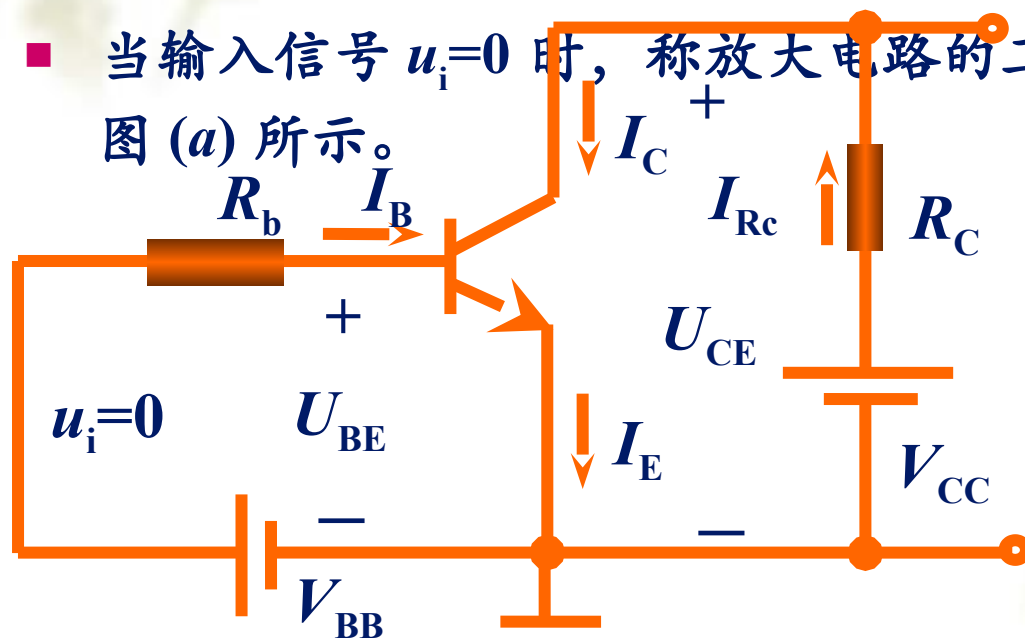
共发射极基本放大电路

3. 放大电路的工作原理

(1) 无输入信号 ($u_i=0$) 时放大电路的工作情况

- 假设：负载 R_L 开路，信号源为理想电压源，即 $R_s=0$, $u_i=u_s$ 。

- 当输入信号 $u_i=0$ 时，称放大电路的工作状态为静态的静态如图 (a) 所示。



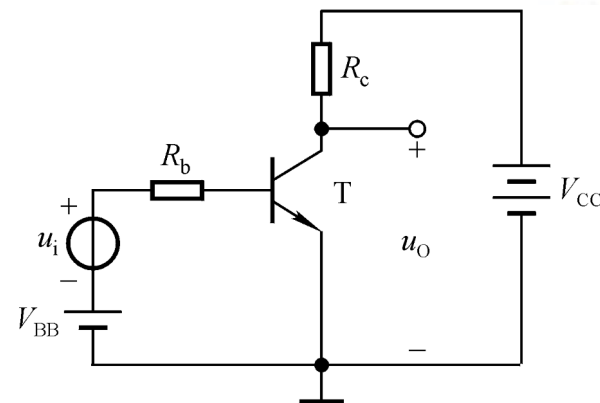
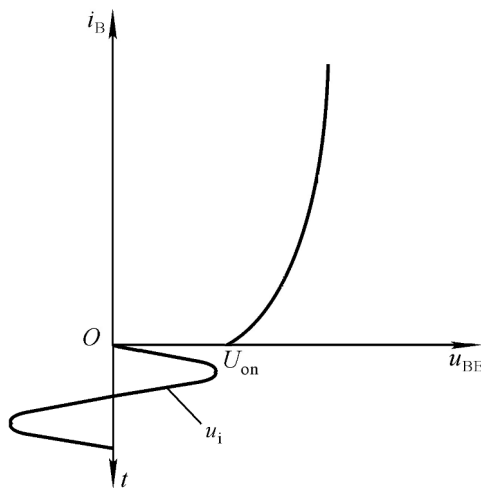
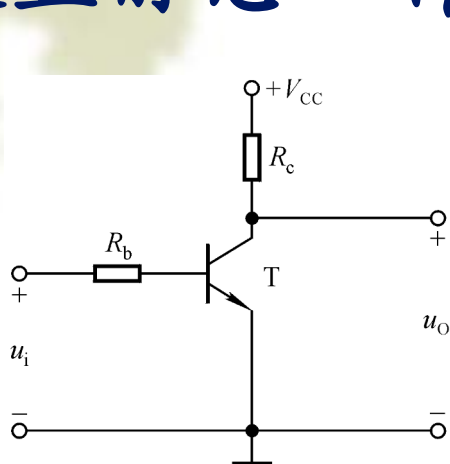
(a) $u_i=0$

放大电路的静态也就是它的直流状态。这个电路叫直流通路，或称直流偏置电路。用于设置静态工作点。

为什么放大的对象是动态信号，却要晶体管在信号为零时有合适的直流电流和电压？

(1) 无输入信号 ($u_i=0$) 时放大电路的工作情况

设置静态工作点的必要性

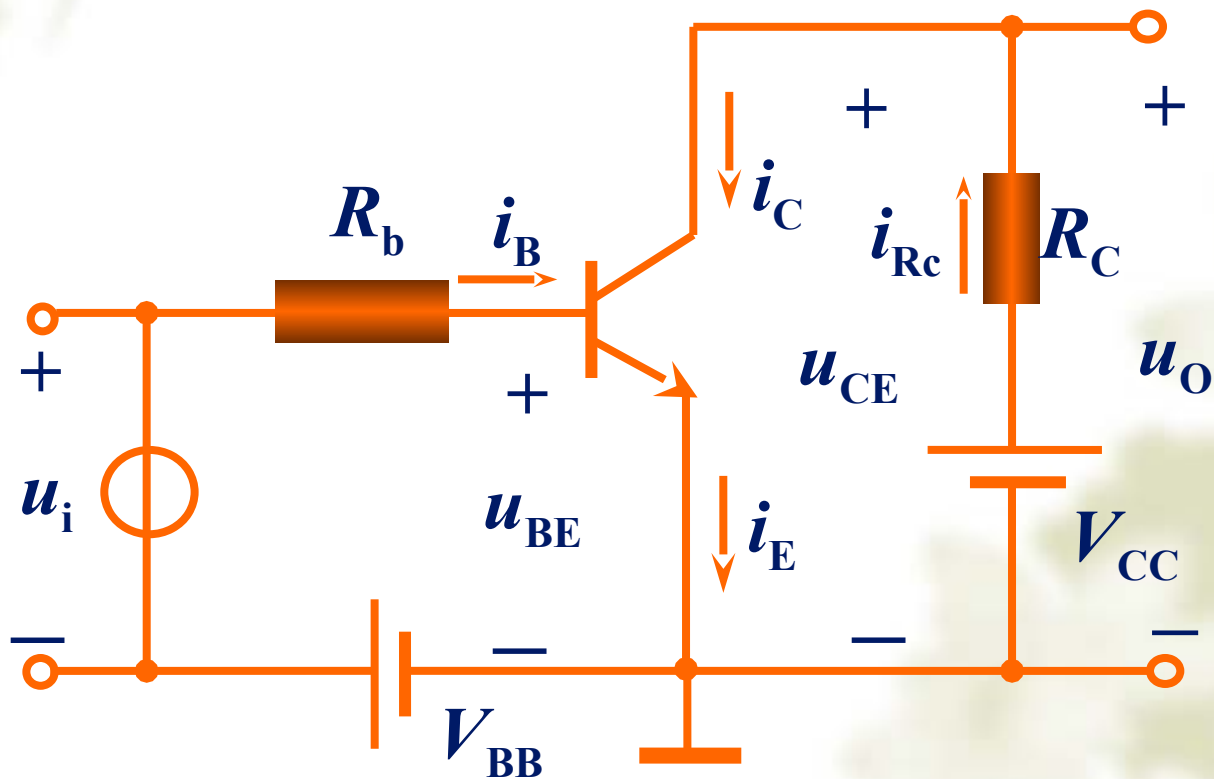


要放大的信号通常很小 (**0-100mV**)，三极管工作在截止区，无法放大信号，输出电压必然失真！

3. 放大电路的工作原理

(2) 有输入信号 ($u_i \neq 0$) 时放大电路的工作情况

- 在静态的基础上，给放大电路加上交流输入信号 u_i ，如图(b)所示。这时放大电路的工作状态称为动态。



(b) $u_i \neq 0$

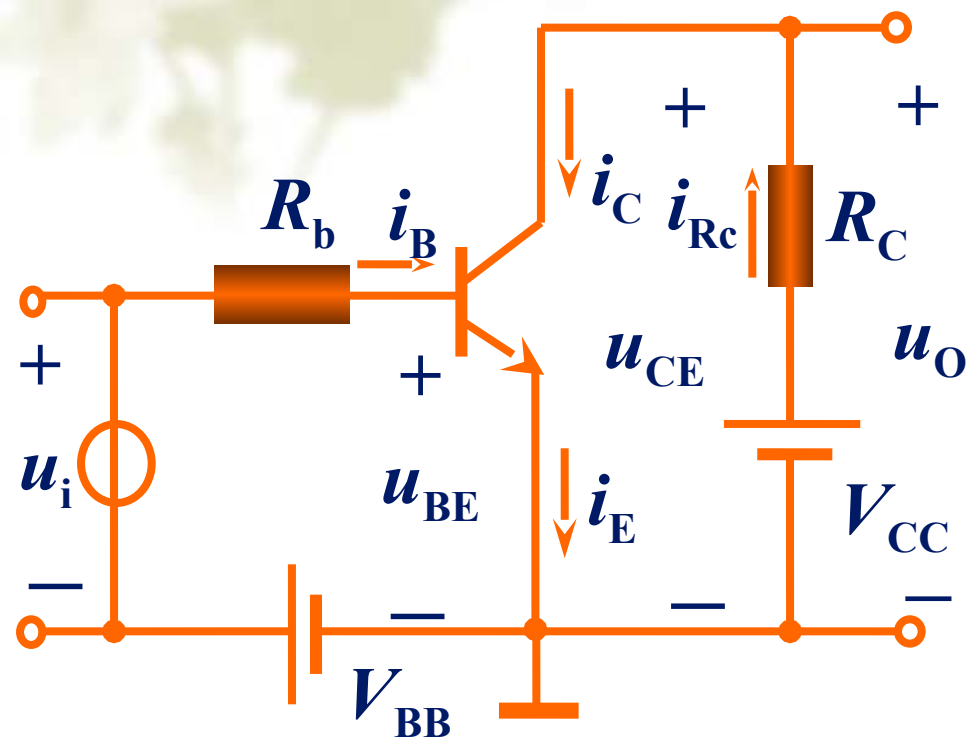
3. 放大电路的工作原理

用不同的符号来表示不同性质的电量

- 总瞬时值：符号小写，下标大写，如 i_B 。
- 直流分量：符号、下标均大写，如 I_B 。
- 交流分量瞬时值：符号、下标均小写，如 i_b 。
- 交流有效值： I_b 。
- 交流幅值： I_{bm} 。
- 交流分量的复数形式： \dot{I}_b

3. 放大电路的工作原理

(2) 有输入信号 ($u_i \neq 0$) 时放大电路的工作情况



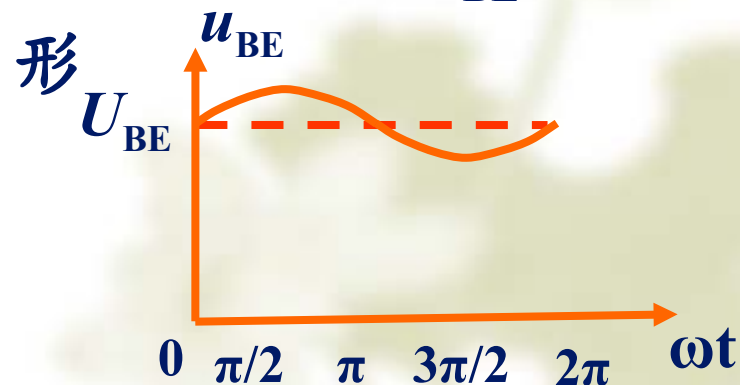
(b) $u_i \neq 0$

■ 设输入信号 u_i 为正弦信号
 $u_i = U_{im} \sin \omega t (mV)$

■ 晶体管基-射极电压瞬时值为:

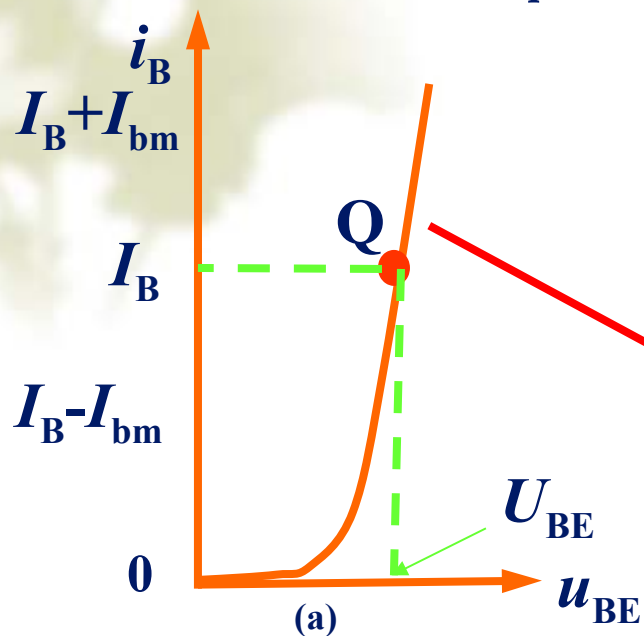
$$u_{BE} = U_{BE} + U_{bem} \sin \omega t$$

据上式画出 u_{BE} 的波形



3. 放大电路的工作原理

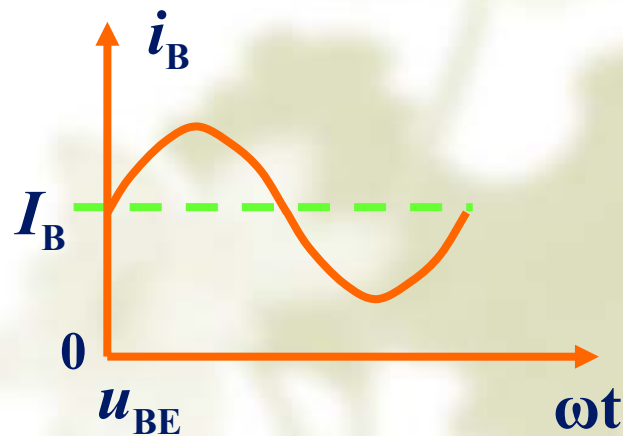
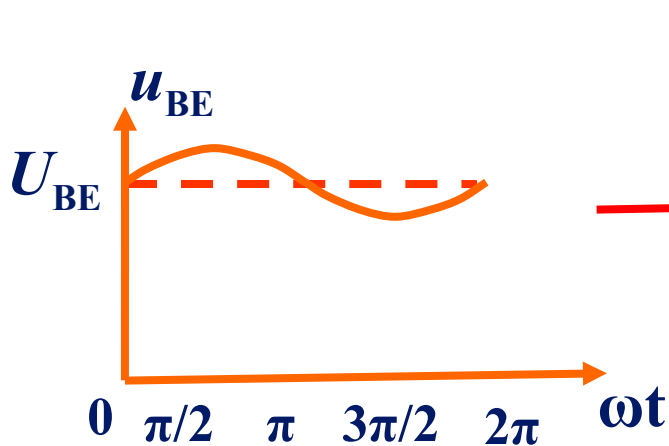
(2) 有输入信号 ($u_i \neq 0$) 时放大电路的工作情况



$$u_{BE} = U_{BE} + U_{bem} \sin \omega t$$

$$i_B = I_B + I_{bm} \sin \omega t$$

近似线性，所以增量部分也是线性比例关系

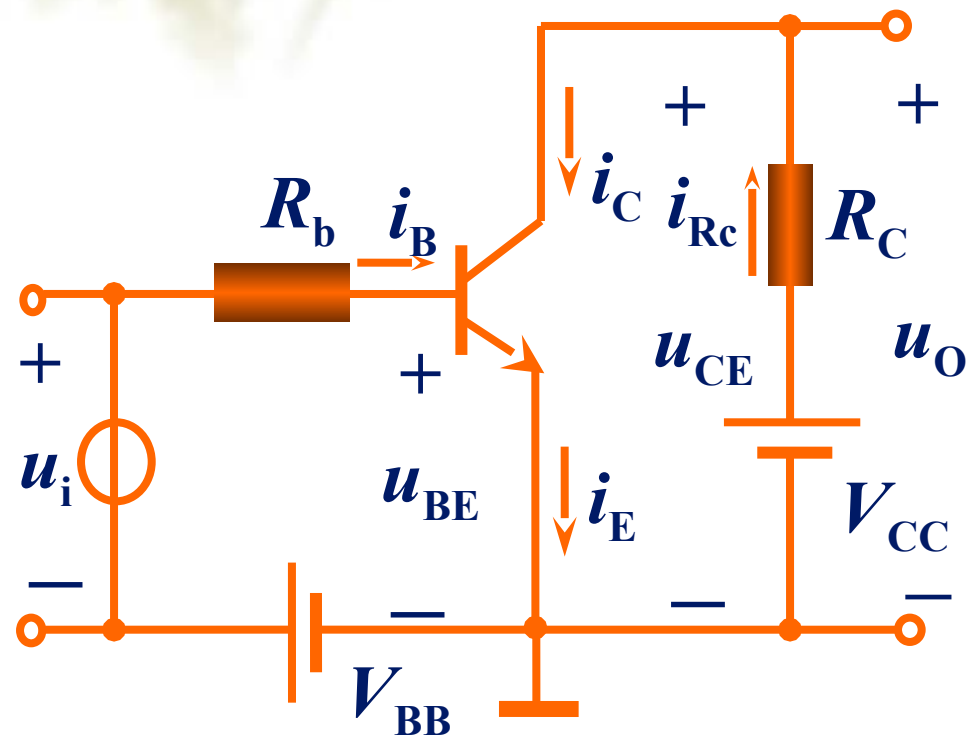


3. 放大电路的工作原理

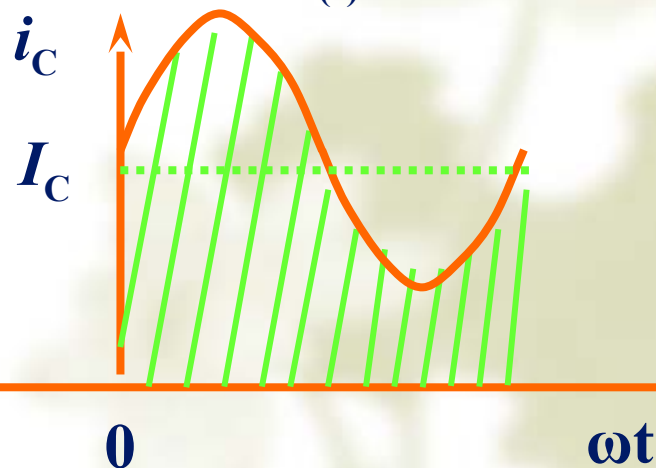
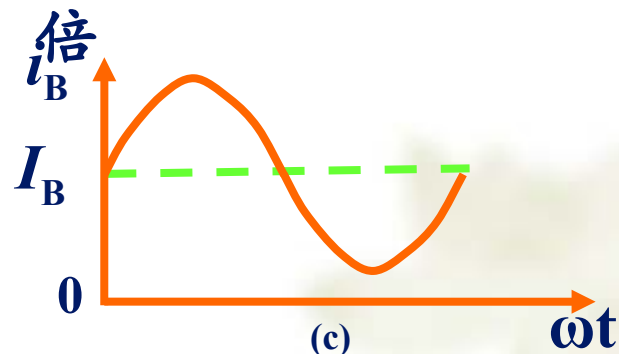
(2) 有输入信号 ($u_i \neq 0$) 时放大电路的工作情况

由 $i_B \rightarrow$ 求 i_C 。假设晶体管工作在放大区，则集电极电流 i_C 为：
$$i_C = \beta i_B = \beta I_B + \beta I_{bm} \sin \omega t = I_C + I_{cm} \sin \omega t$$

如 $\beta=60$ ，则电流放大 60 倍



(b) $u_i \neq 0$



3. 放大电路的工作原理

(2) 有输入信号 ($u_i \neq 0$) 时放大电路的工作情况

由 $i_B \rightarrow$ 求 i_C 。假设晶体管工作在放大区，则集电极电流 i_C 为：

$$i_C = I_C + I_{cm} \sin \omega t$$

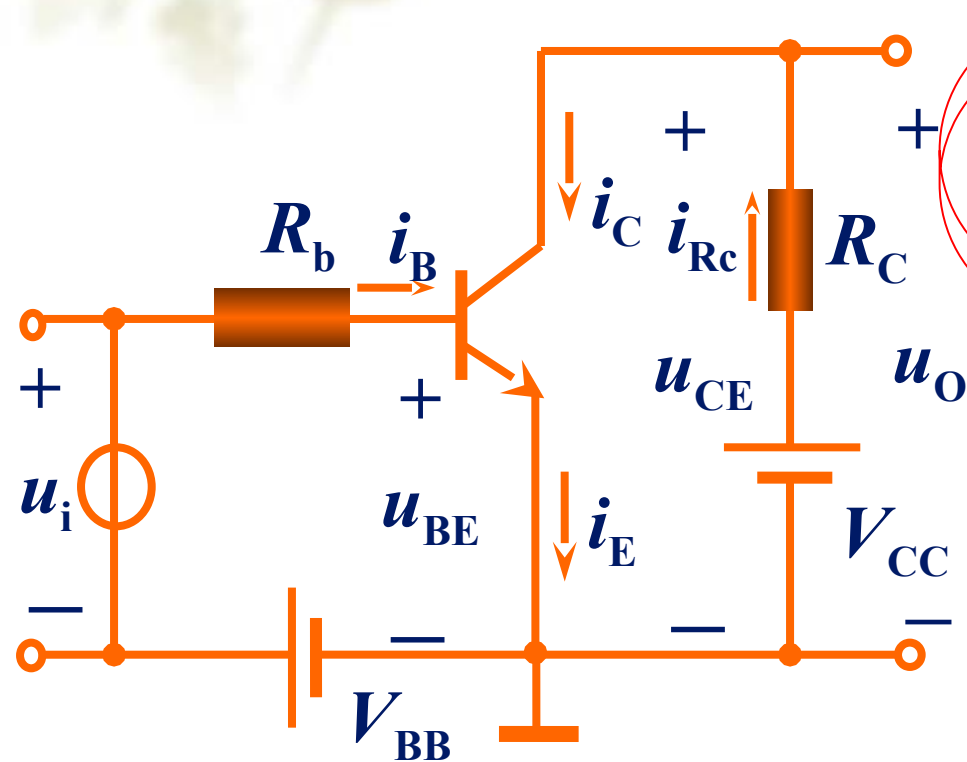
$$u_{CE} = V_{CC} - i_{R_c} \cdot R_c$$

在负载电阻 R_L 开路的情况下
下 $i_{R_c} = i_C$

$$u_{CE} = V_{CC} - I_C R_c - I_{cm} R_c \sin \omega t$$

$$u_{CE} = \underbrace{U_{CE}}_{\text{直流电压}} - \underbrace{U_{cem} \sin \omega t}_{\text{放大后的交流信号}}$$

直流电压 放大后的
交流信号



(b) $u_i \neq 0$

3. 放大电路的工作原理

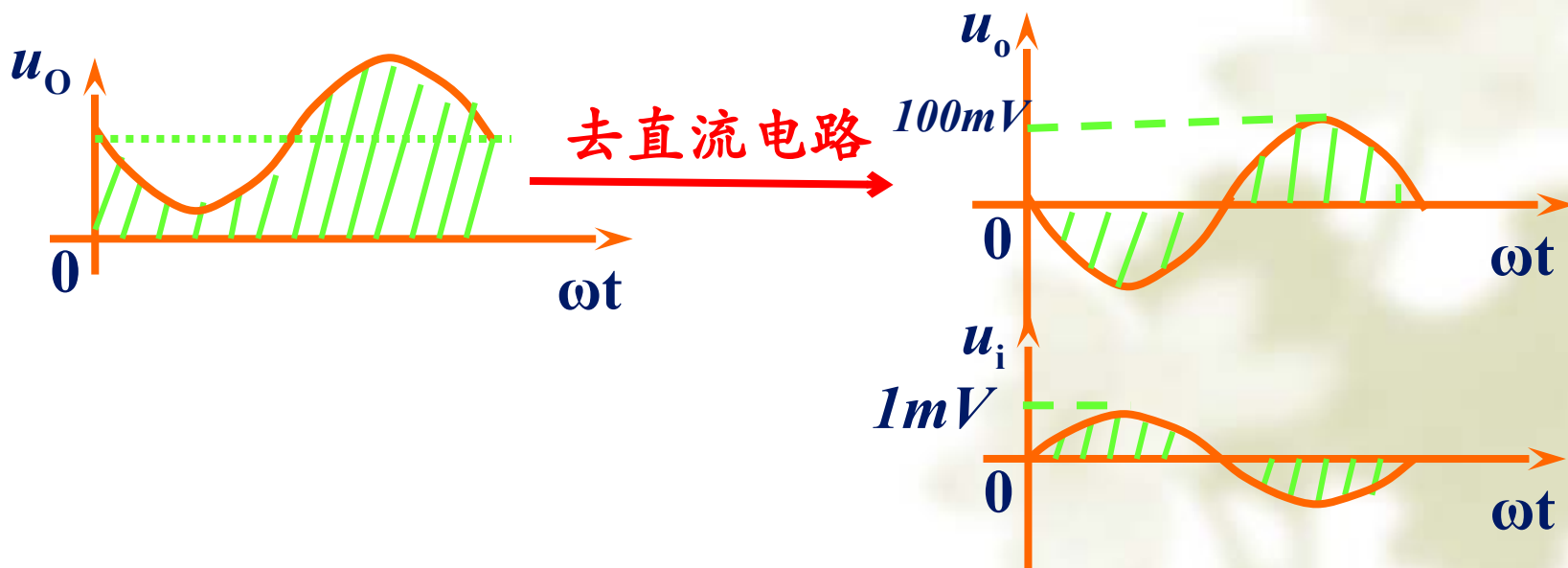
(2) 有输入信号 ($u_i \neq 0$) 时放大电路的工作情况

$$u_{CE} = U_{CE} - U_{cem} \sin \omega t$$

从图 (b) 电路中可知，输出端瞬时电压 $u_O = u_{CE}$

$$u_O = U_{CE} + U_{cem} \sin(\omega t - 180^\circ)$$

获得的 u_O 即 u_i 放大后的交流电压信号，相位相差 180°



5.1 放大电路的组成及工作原理

总结：

- 1 $u_i=0$ 时 \rightarrow 静态。直流电源和 R_b 、 R_c 共同确定 I_B 、 U_{BE} 、 I_C 、 U_{CE} ，确保晶体管工作在放大区。
- 2 $u_i \neq 0$ 时 \rightarrow 动态。电路中的 i_B 、 i_C 、 u_{BE} 和 u_{CE} 都随 u_i 的变化而变化。信号： $u_i \rightarrow u_o$ 实现电压放大。
3. 动态时，交直流共处一体。是在直流分量的基础上叠加一个小的交流分量。且直流量通常情况下远大于交流分量的幅值。
4. 共射电路中，交流分量 u_i 与 u_o 反相位。

第5章 放大电路基础

- 5.1 放大电路的组成及工作原理 → 定性
 - 5.2 图解分析法
 - 5.3 计算分析法
 - 5.4 放大电路的三种接法
 - 5.5 阻容耦合放大电路
 - 5.6 场效应管放大电路
 - 5.7 多级放大电路
 - 5.8 放大器的通频带
-
- 定量
- 适合理论分析
- 适合实际计算