

请同学们不要将课件上传至网上的各个公共平台，谢谢！
课件中存在的错误可以在b站私信反馈给我，不胜感激！



Part 2 晶体管

原作者：b站up主—这个ximo不太冷

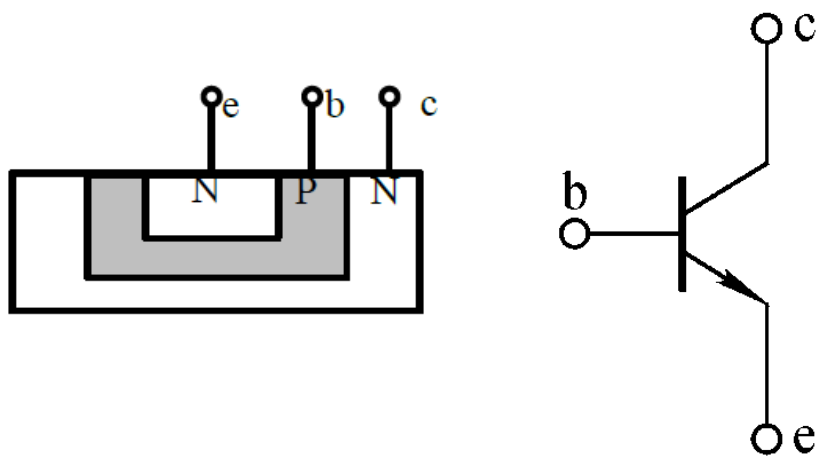
晶体管

○ 晶体管的结构原理

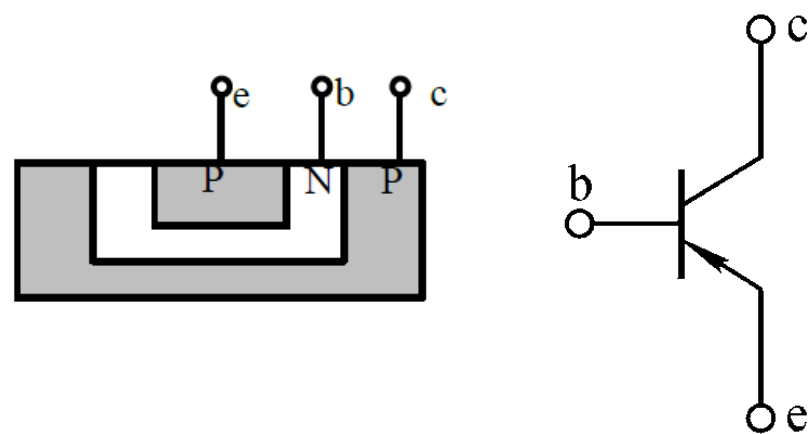
三个掺杂区——基区，发射区，集电区；

三个电极——基极（b），发射极（e），集电极（c）；

两个PN结——发射结，集电结；



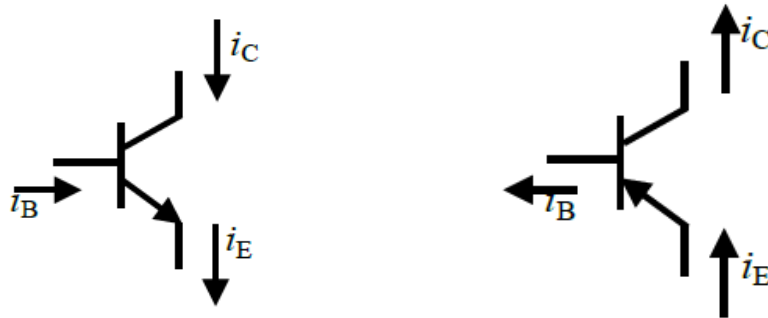
NPN型



PNP型：b站up主——这个ximo不太冷

晶体管

晶体管的基本电流关系（放大状态）



$$i_E = i_B + i_C$$

三个电流满足KCL关系（注意电流的方向）

$$i_C = \beta i_B$$

电流的控制与放大作用——基极电流控制集电极电流

$$i_B : i_C : i_E = 1 : \beta : 1 + \beta$$

三个电流的比例分配关系

β 称为（共射）电流放大系数

晶体管的基本电流关系

○ 关于电流放大系数 β

没有特殊表明是共基电流放大系数 α 的前提下，默认晶体管的放大系数指代的都是 β ；

放大系数定义式中的电流是“通指”——既可以代表直流电流，也可以代表交流电流；

$$I_C = \bar{\beta} I_B$$

$$i_C = \beta i_B$$

认为直流放大系数等于交流放大系数，统一以 β 表示；
(实际当集电极电流过大时交流放大系数会明显减小，
与直流放大系数的偏差加剧)

$$i_c = \beta i_b \quad (\Delta i_c = \beta \Delta i_b)$$

一般情况实际的晶体管均满足 $\beta \gg 1$ ；

晶体管

○ 晶体管的伏安特性

晶体管的工作特性通常用两个伏安特性来描述——输入伏安特性与输出伏安特性；

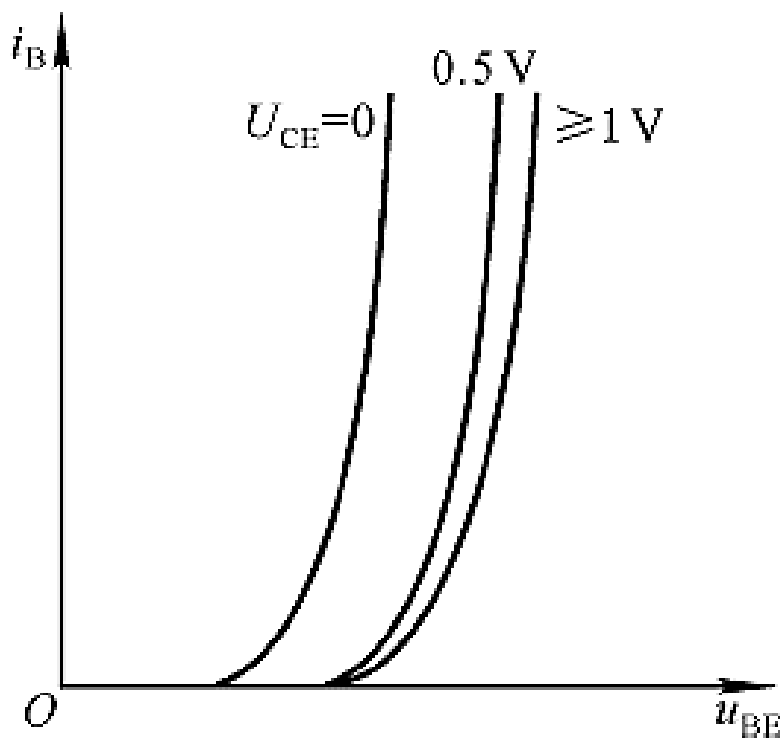
输入伏安特性——基极电流 i_B 和 发射结电压 u_{BE} 的关系；

输出伏安特性——集电极电流 i_C 和 管压降 u_{CE} 的关系；

思考：为什么晶体管需要用两个伏安特性来描述？

晶体管的伏安特性

○ 晶体管的输入伏安特性 ($i_B - u_{BE}$)



以NPN型晶体管为例

发射结电压 \uparrow , 基极电流 \uparrow

输入伏安特性曲线与管压降有关;

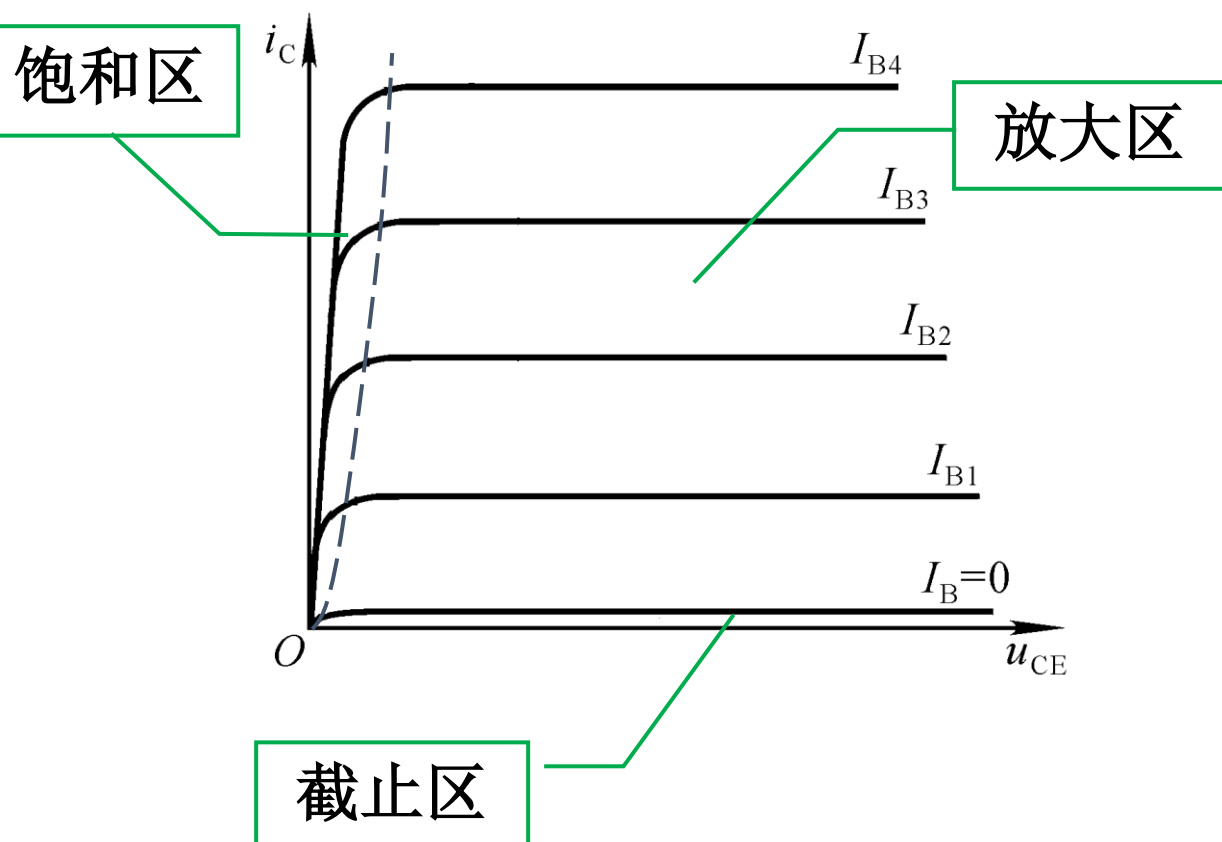
(一般的晶体管工作在放大状态满足管压降 $\geq 1\text{ V}$)

通常可以用一簇重合线代表)

晶体管的伏安特性

○ 晶体管的输出伏安特性 ($i_C - u_{CE}$)

三个工作区
(从定性的角度，字面意义上理解：)



以NPN型晶体管为例

①截止区：
基极电流为零，对外表现为几乎没有任何
电流流进流出；

②放大区：
集电极电流仅受基极电流控制，两者呈现
比例放大关系；

③饱和区：
集电极电流不再仅受基极电流控制，
同时取决于管压降；

请同学们不要将课件上传至网上的各个公共平台，谢谢！
课件中存在的错误可以在b站私信反馈给我，不胜感激！

注意：
这一页的结论只适用于填空题和选择题，
在解决计算分析题时这一页给出的结论并不严谨！

晶体管工作区的判断与划分

○ 晶体管不同工作区的电位特点

发射结反偏，集电结反偏 —— 截止区

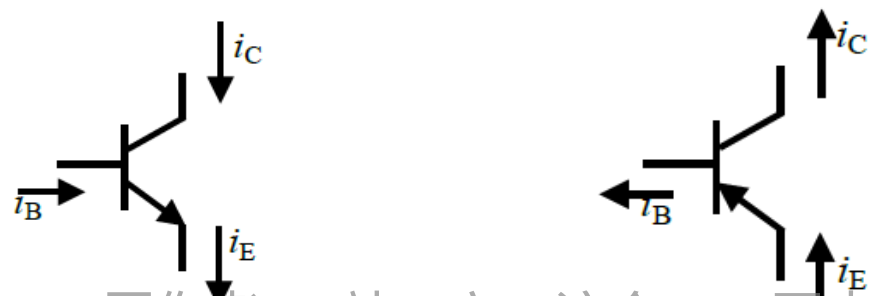
发射结正偏，集电结反偏 —— 放大区

发射结正偏，集电结正偏 —— 饱和区

放大区的电位特点：

NPN管 —— $u_C \geq u_B > u_E$, $u_{BE} = 0.7V / 0.2V$;

PNP管 —— $u_C \leq u_B < u_E$, $u_{EB} = 0.7V / 0.2V$;

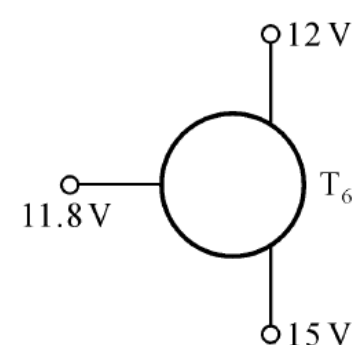
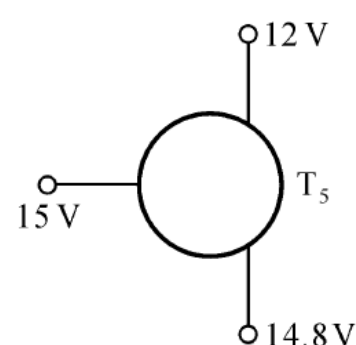
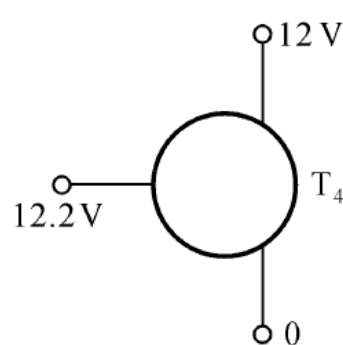
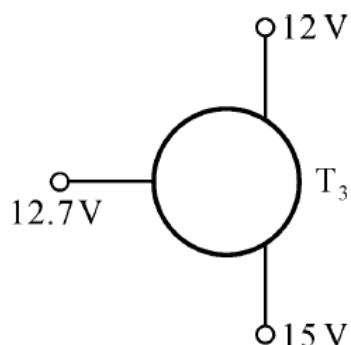
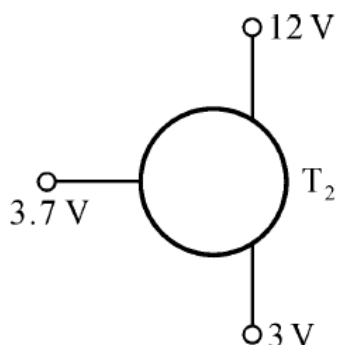
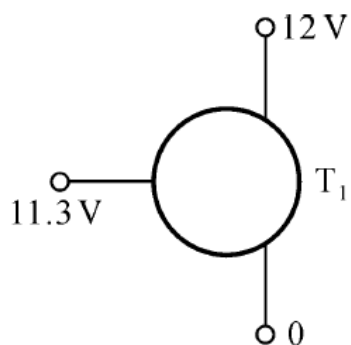


原作者：b站up主——这个ximo不太冷

晶体管工作区的判断与划分

例 1

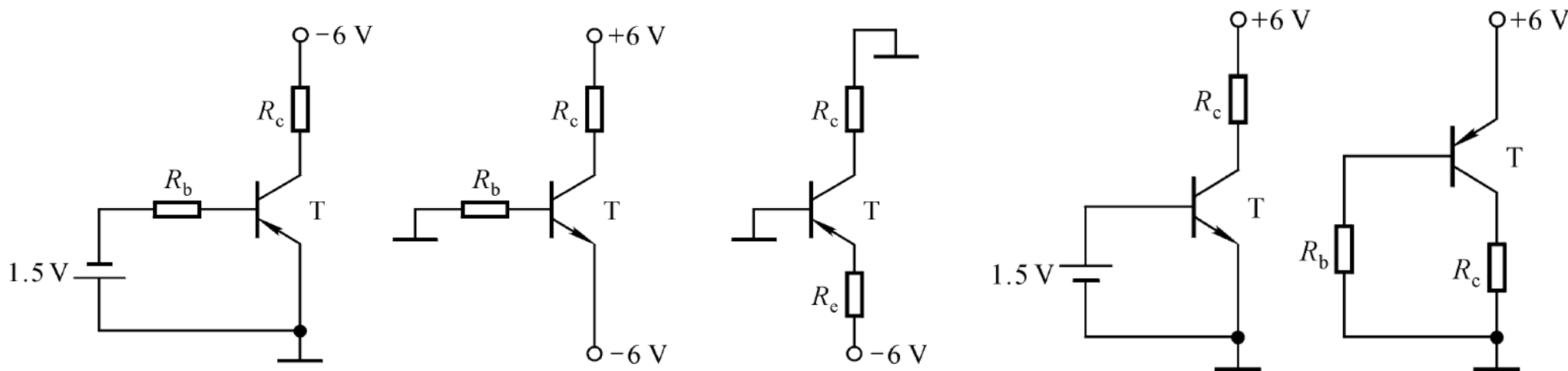
已知放大电路中六只晶体管的直流电位如图所示，在圆圈中画出晶体管，并说明是 Si 管还是 Ge 管。



晶体管工作区的判断与划分

例 2

分别判断如图所示各电路的晶体管是否有可能工作在放大状态，简述理由。



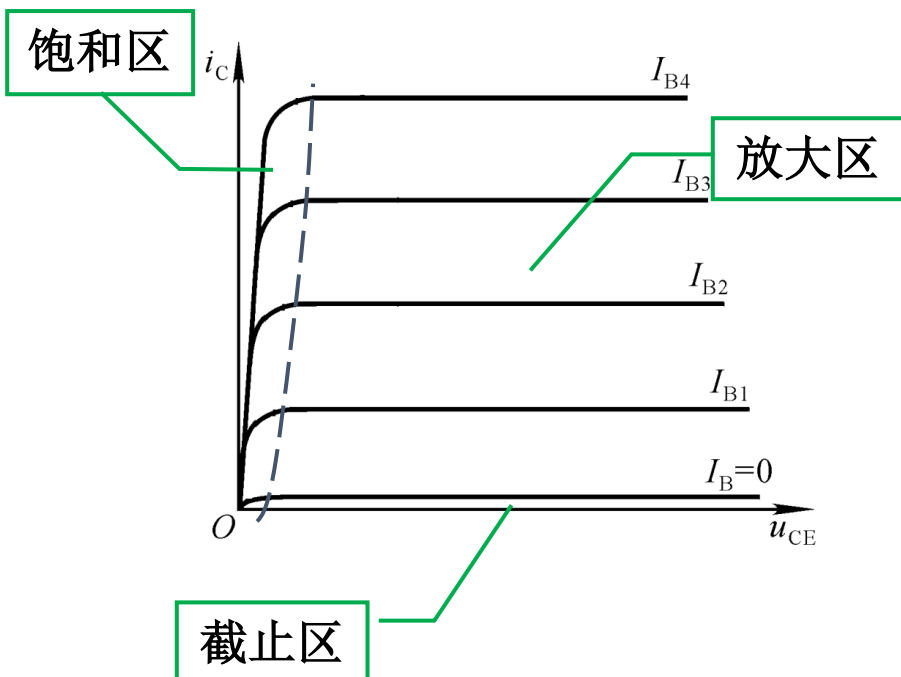
晶体管工作区的判断与划分

判断划分的原则

计算时的物理量关系



晶体管不同工作区的物理量特点



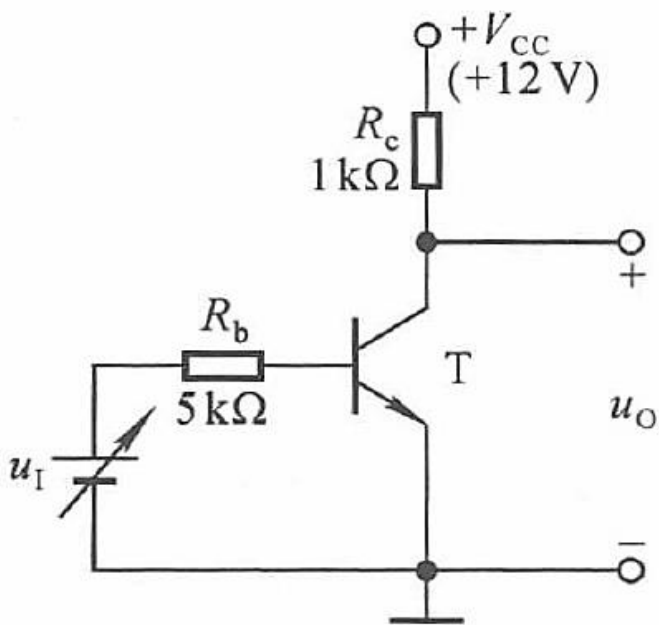
以NPN型晶体管为例

	条件	电压	电流
截止区	$u_{BE} < U_{on}$	—	—
放大区	$u_{BE} \geq U_{on}$ $u_{CE} > u_{BE}$ 即 $u_{BC} < 0$	$u_{BE} = U_{BEQ} $	$i_B : i_C : i_E = 1 : \beta : 1 + \beta$
临界饱和	—	$u_{CE} = U_{CES} $ 或 $u_{CE} = u_{BE} = U_{BEQ} $	$i_B = I_{BS}$ $i_B : i_C : i_E = 1 : \beta : 1 + \beta$
饱和区	$u_{BE} \geq U_{on}$ $u_{CE} < u_{BE}$ 即 $u_{BC} > 0$	$u_{BE} = U_{BEQ} $ $u_{CE} = U_{CES} $	$i_B > I_{BS}$ $i_C \approx i_E (i_C < \beta i_B)$
U_{on} 为开启电压， $ U_{BEQ} $ 即 U_D 为导通电压，一般认为两者相等（对于Si管为 0.7V） $ U_{CES} $ 为饱和管压降（一般为 0.3~0.5V，题目给定）； I_{BS} 指临界饱和电流；			

晶体管工作区的判断与划分

例 3

已知如图所示的电路，晶体管 $\beta = 50$ ，导通时 $|U_{BEQ}| = 0.7 \text{ V}$ ，晶体管的饱和管压降 $|U_{CES}| = 0.3 \text{ V}$ ，试分析 u_I 为 0 V ， 1 V ， 3 V 三种情况下，晶体管 T 的工作状态以及输出电压 u_O 的值。



晶体管工作区的判断与划分

○ 晶体管工作状态的判断 —— 根据电流判断

对于 NPN 管：

- Step1：首先判断晶体管能否导通，比较 u_{BE} 与发射结开启电压即导通电压 $|U_{BEQ}|$ ；
若 $u_{BE} < |U_{BEQ}|$ ，则晶体管工作在截止区；若 $u_{BE} \geq |U_{BEQ}|$ ，则晶体管工作在放大区或饱和区；
- Step2：求解临界饱和电流 I_{BS} ：令 $u_{CE} = |U_{CES}|$ （若题目已知条件没有给出 $|U_{CES}|$ ，那么令 $u_C = u_B$ 即 $u_{CE} = u_{BE} = |U_{BEQ}|$ ），求解此时集电极电流 I_{CS} ，则 $I_{BS} = I_{CS} / \beta$ ；
若 $i_B > I_{BS}$ 则工作在饱和区，若 $i_B \leq I_{BS}$ 则工作在放大区；

对于 PNP 管同理，注意一下符号即可；

晶体管工作区的判断与划分

○ 晶体管工作状态的判断 —— 根据电位判断

对于 NPN 管：

- Step1：首先判断晶体管能否导通，比较 u_{BE} 与发射结开启电压即导通电压 $|U_{BEQ}|$ ；
若 $u_{BE} < |U_{BEQ}|$ ，则晶体管工作在截止区；若 $u_{BE} \geq |U_{BEQ}|$ ，则晶体管工作在放大区或饱和区；
- Step2：假设晶体管工作在放大区，根据 $i_B : i_C : i_E = 1 : \beta : 1 + \beta$ ，求解出 u_{CE} ，若 $u_{CE} \geq |U_{CES}|$ ，说明假设正确，晶体管工作在放大区；若 $u_{CE} < |U_{CES}|$ ，说明假设不正确，晶体管工作在饱和区，并且此时必须通过令 $u_{CE} = |U_{CES}|$ 重新计算各极电流的大小，晶体管电流不再满足放大区的线性比例关系；（若题目已知条件没有给出 $|U_{CES}|$ ，那么比较 u_{CE} 和 u_{BE} 即 u_{CE} 和 $|U_{BEQ}|$ ）

对于 PNP 管同理，注意一下符号即可；

注意：
不需要去背这些参数，
能够理解其含义即可；

晶体管

○ 晶体管的主要参数

放大系数 β —— 晶体管的共射直流电流放大系数/交流电流放大系数（近似相等）；

特征频率 f_T —— 考虑晶体管PN结电容效应，高频放大倍数会下降（详见第四章），下降到1时对应的信号频率为特征频率；

最大集电极耗散功率 P_{CM} —— 晶体管输出端管压降与集电极电流乘积的最大值，若功率大于此值晶体管会被烧坏；（平均值）

最大集电极电流 I_{CM} —— 允许的最大集电极电流（瞬时值）； → 思考：
为什么这里的
最大集电极电流
取瞬时值而非平均值？

极间反向击穿电压 $U_{(BR)CEO}$ —— 基极开路时（即晶体管截止状态时）集电极与发射极间的反向电压最大值；