

电子电路基础C

文凤

书山有路勤为径
学海无崖苦作舟

第三章 半导体受控器件分析

3.1 非线性半导体元器件的分析概述

(回顾第一章分析)

3.2 非线性受控器件的求解分析与应用

(具体方法)

3.3 直流工作点分析

(大范围锁定工作点)

3.4 应用目标、非线性元器件的区域特性和分析方法的选取

3.1 非线性半导体元器件的分析概述

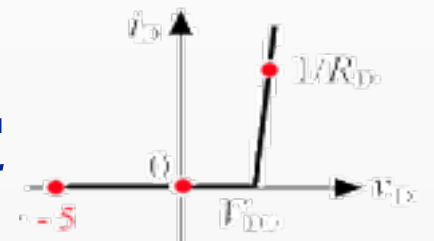
因PN结的复杂性，导致非线性器件（二极管、三极管、场效应管）导电具有区域特性，而区域特性是运用分析的关键。

非线性
半导体
器件应
用电路
的分析

多特性
区域
应用时

1.分析前应确立工作点平台的位置

若电路中有直流电源，则该位置由电源确定

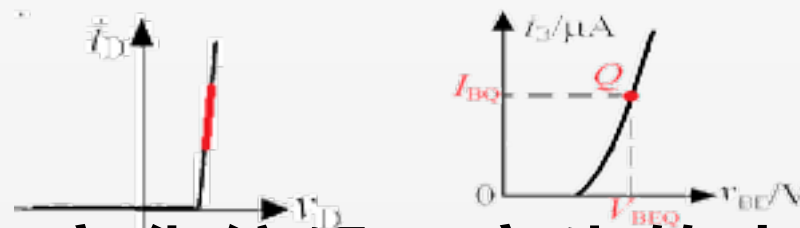


2.输入变化信号→产生的电量变化

可通过在工作点平台附件的特性曲线的直折线来近似描述

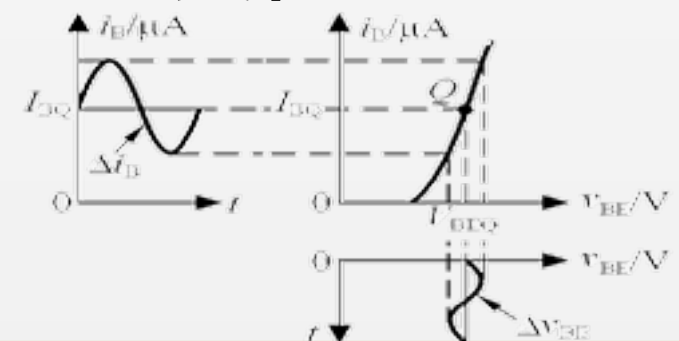
单特性
区域
应用时

1.必须通过外加直流电源来设立工作点平台



2.输入变化信号→产生的电量变化

可通过在工作点平台附件的特性曲线的直线来描述



二极管的应用及分析方法归类

1. 明确非线性元器件工作区域(工作状态)

2. 明确非线性元器件是否需要工作点平台

指直流电源
产生的电压
电流基准

电 路 名 称↵	工作特性区域↵	激励加入特点↵		二极管上电量平台与变化分析方法↵	说 明↵
1.4.2 小节的或逻辑↓ 电路↵	截止区和导通 区（注重二极管 单向导电特性的 应用）↵	无 直 流 电 源↵	使 v_D 有正、 负电压变化， 且变化范围 较大↵	(1) 处于零点，其工作点平台为↵ $V_{DQ} = I_{DQ} = 0$ ↵ (2) 变化范围较大，电量变化只能采用大范围的 非线性分析方法。若不需要做精确分析，则可采用 直折线的近似分析方法↵	适 用 于 信 号 在 较 大 电 压 电 流 范 围 内 的 非 线 性 分 析↵
1.5.2 小节和 1.5.3 小 节的半波整流和全波 整流电路↵					
1.4.2 小节的电位平 移电路↵	导通区↵	有 直 流 电 源↵	使 v_D 只在 大于零的正 向导通区内 变化↵	(1) 处于导通区，其典型工作点平台为 V_{DQ} $=0.7V$, $I_{DQ} = f_1(V_{DQ})$ ↵ (2) 在近似分析条件下，可采用直切线代替该区 域的实际特性曲线，进行变化电量的“交流准线性分 析”↵	适 用 于 信 号 在 单 一 特 性 范 围 内 的 准 线 性 分 析↵
1.3.3 小节的稳压二 极管电路 [图 1-3-11 (c)] ↵	反向击穿区↵		使 v_D 只在 小于零的反 向击穿区内 变化↵	(1) 处于反向击穿区，其典型工作点平台为 $I_{DQ} \approx -(I_{min} + I_{max}) / 2$, $V_{DQ} = V_Z$ ↵ (2) 在近似分析条件下，可采用直切线代替该区 域的实际特性曲线，进行变化电量的“交流准线性分 析”↵	
注：(1) 虽然采用公认的仿真软件进行仿真设计分析时，不必受制于非线性元器件的电量变化范围，但这并不意味着实际 应用电路不存在应用区间和工作点平台的设定问题；↵ (2) “交流准线性分析”是在工作点平台基础上，针对变化电量提出的，它特别适用于理解电路的工作原理，也是在一定条 件下寻求较优近似分析手段的基础，如电路的小信号模型与分析方法就是典型的案例。↵					

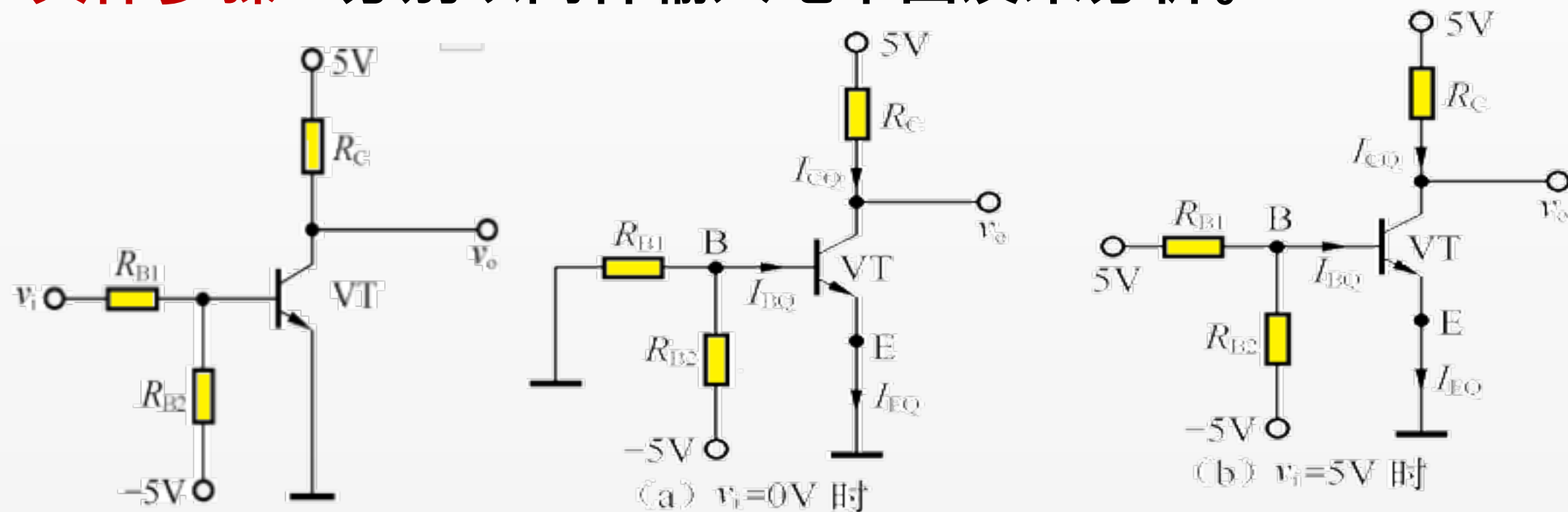
3.2 非线性受控电流器件的求解分析

3.2.1 晶体管非门基础电路

如三极管、场效应管

要点：输出高低电位，属于非线性大范围应用。

具体步骤：分别以两种输入电平出发来分析。



对(a):因 $v_i=0 \rightarrow V_B < 0 \rightarrow$ 发射结反偏，集电结反偏。

---管子截止，输出高电位。

对(b):因 $v_i=5V \rightarrow V_B > V_{BE(on)}$ 发射结正偏(放大、饱和或击穿)

---电阻参数合理情况下，管子可以处于饱和，输出低电位。

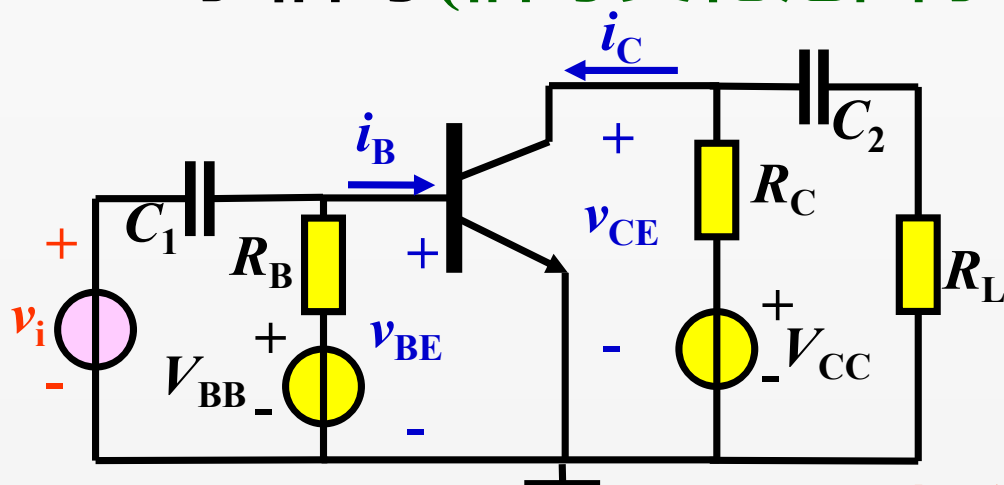
非线性受控器件的微变等效电路分析方法

3.2.2-3.2.3 受控器件的微变等效电路分析方法及其条件

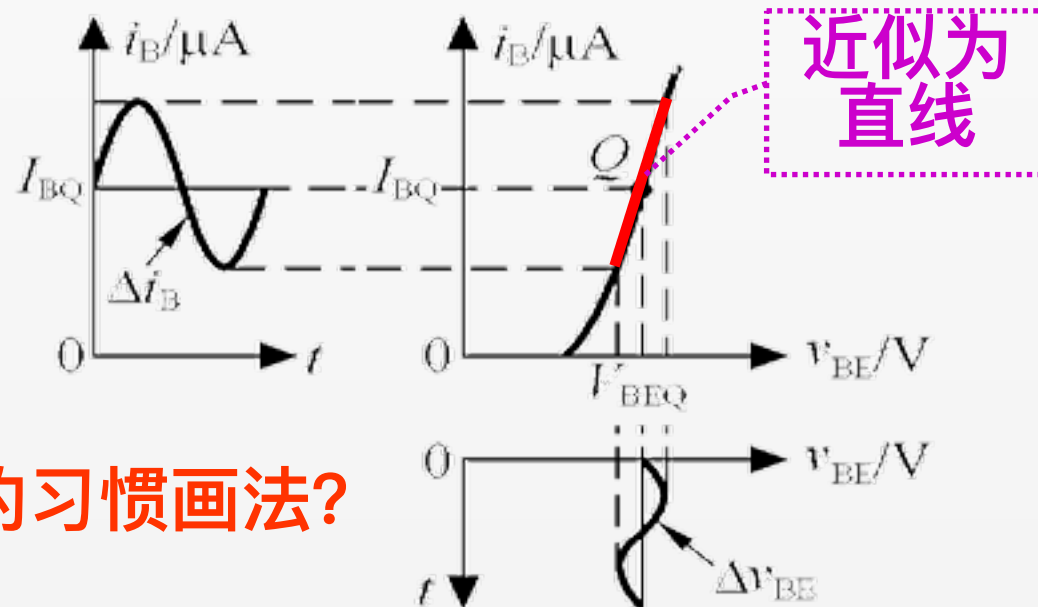
一、微变等效电路分析法的条件

需要工作点平台

- 1.放大模式(三极管工作于放大区, 场效应管工作于饱和区)
- 2.小信号(信号变化范围小)



电路的习惯画法?

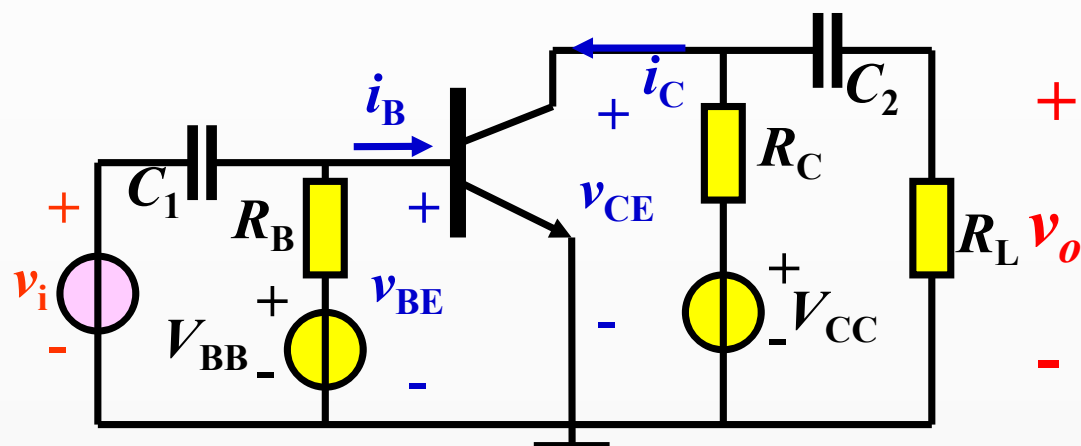


二、基本分析思路

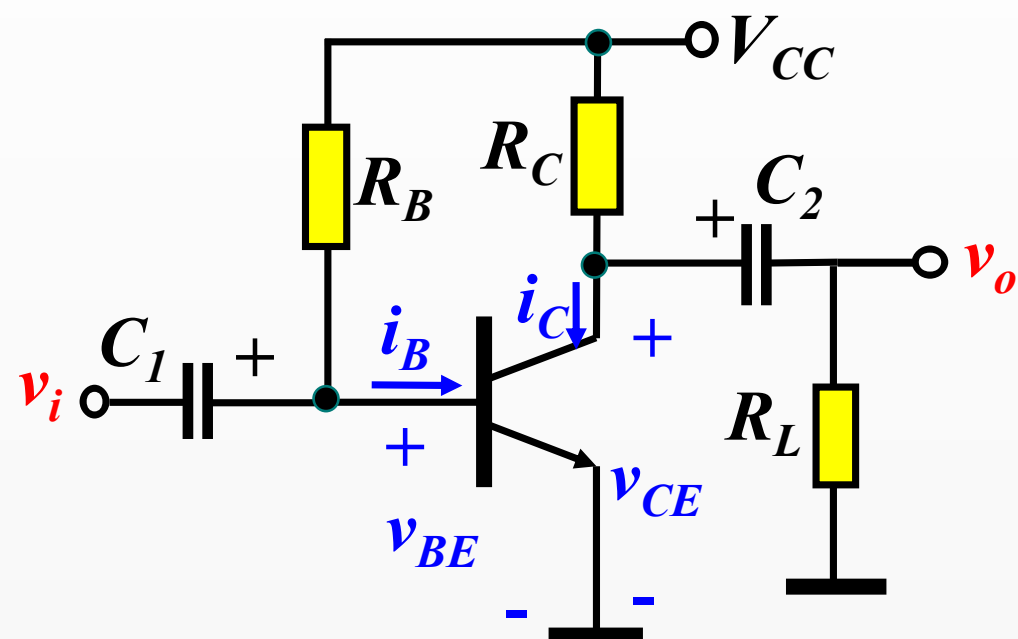
非线性受控器件 (三极管、场效应管) $\xrightarrow[\text{2.小信号}]{\text{1.放大模式}}$ 线性器件 \rightarrow 线性电路 $\xrightarrow[\text{叠加定理}]{\text{直流电源、信号分开分析。}}$

微变等效电路分析法的分析步骤

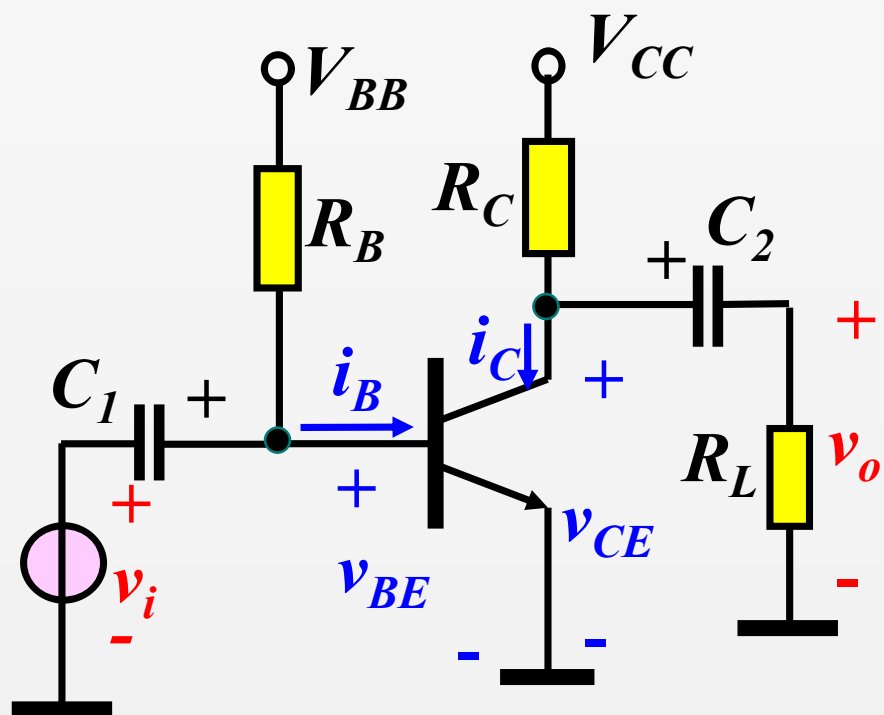
► 电路的习惯画法(使电路看起来更简洁明了)



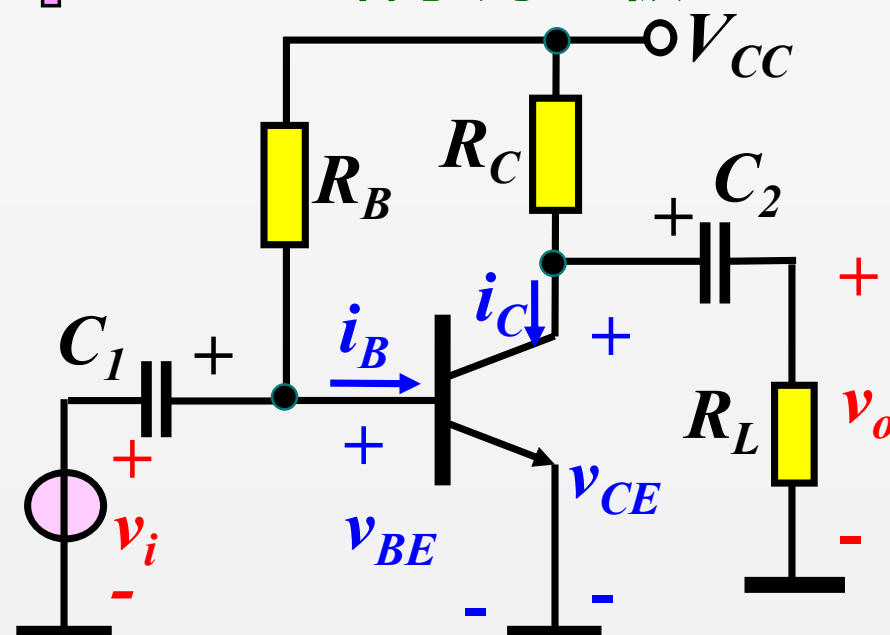
省去与地相连的直流电压源的符号，而直接标注出节点对地的电压。



某些接地端子的端口电压(如 v_i 和 v_o)，将端口电压标注在非接地端子上。且默认这个端子为正极



若 $V_{BB} = V_{CC}$
双电源变单电源



返回

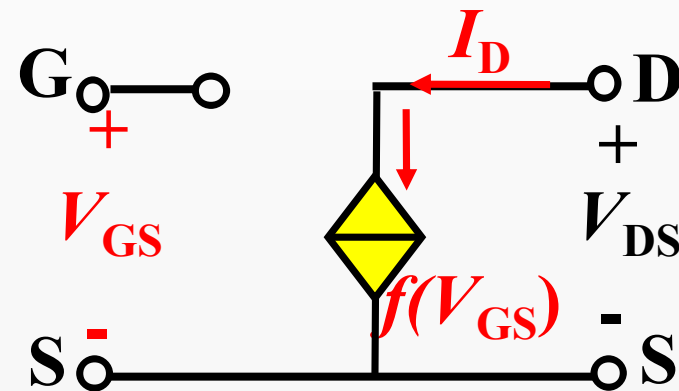
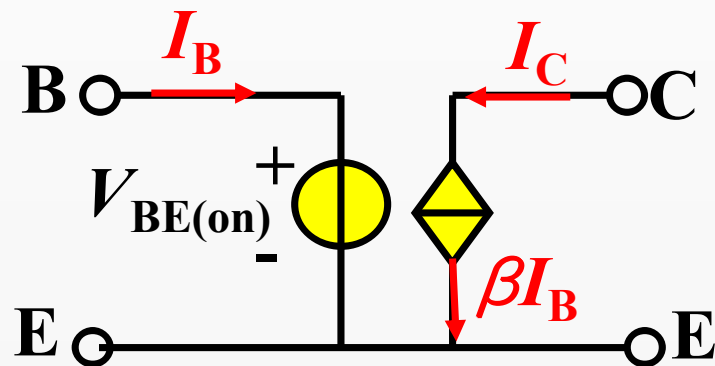
三、具体分析步骤 (直流电源、信号分开分析)

1、直流分析: 分析工作点(在直流通路中进行)

分析方法有:

图解法和工程估算法

通路中的管子用直流模型等效

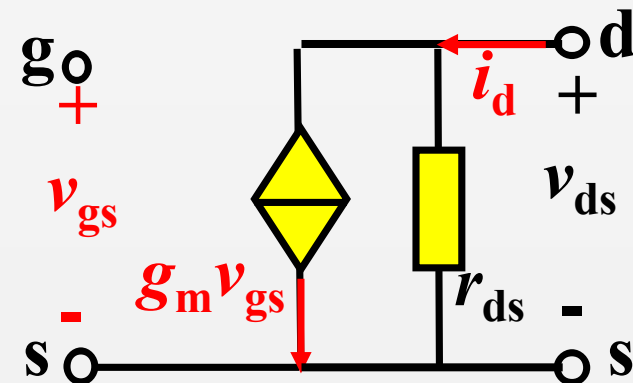
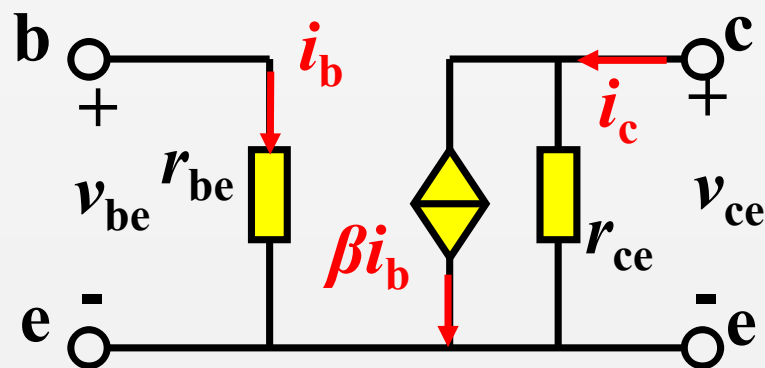


2、交流分析: 分析电路性能(在交流通路中进行)

分析方法有:

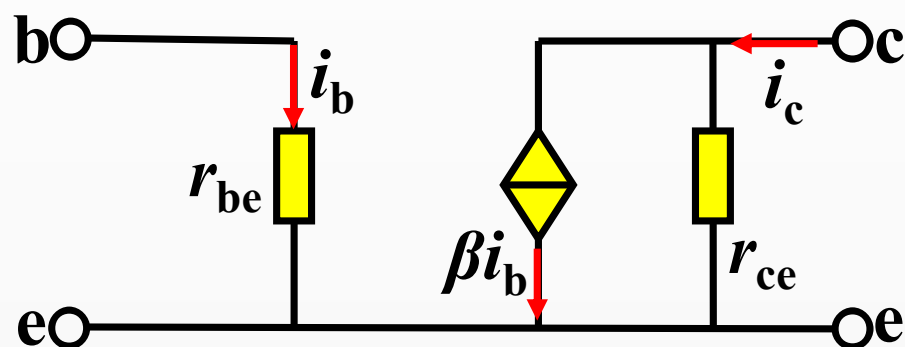
图解法和微变等效电路法

通路中的管子(三极管、场效应管) 用微变等效电路等效。

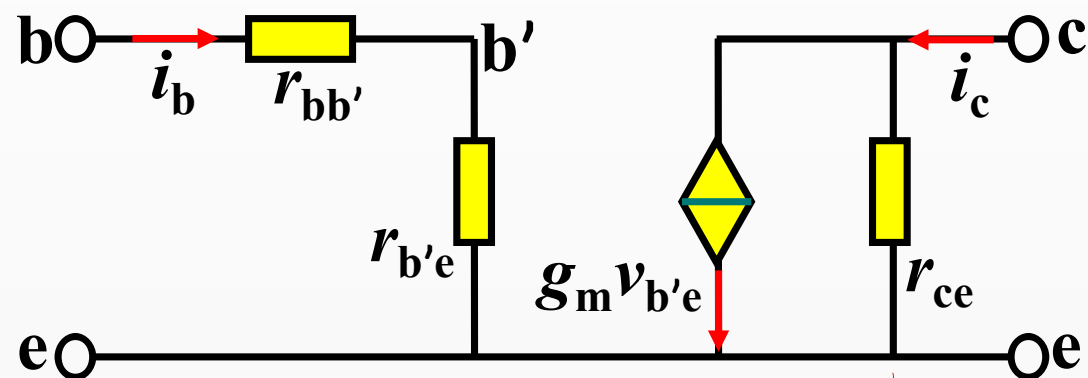


三极管的微变等效电路

最常用的小信号模型是混合 π 型小信号电路模型简化而成的。



或



$$r_{be} = r_{bb'} + r_{b'e} = r_{bb'} + (1 + \beta) \frac{V_T}{I_{EQ}}$$

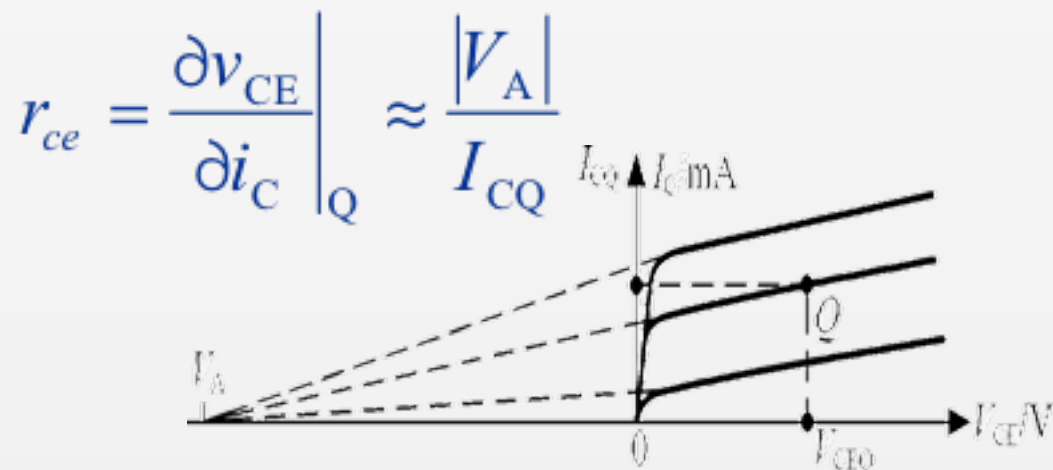
$$V_T = \frac{kT}{q} \approx 26mV \text{ (常温情况下)}$$

$g_m i_{b'e} = \beta i_b$

❓ $r_{bb'}$ 基区体电阻，其值较小，低频管 $r_{bb'}$ 为 $200 \sim 300 \Omega$ ，高频管约几十 Ω

❓ $r_{b'e}$ 三极管输入电阻，约千欧数量级。 $r_{b'e} = \left. \frac{\partial v_{B'E}}{\partial i_B} \right|_Q = \frac{\partial i_E}{\partial i_B} \cdot \left. \frac{\partial v_{B'E}}{\partial i_E} \right|_Q = (1 + \beta) r_e = (1 + \beta) \frac{V_T}{I_{EQ}}$

❓ r_{ce} 三极管输出电阻，数值较大。常忽略（开路处理）



放大倍数 β 与跨导 g_m 的关系：

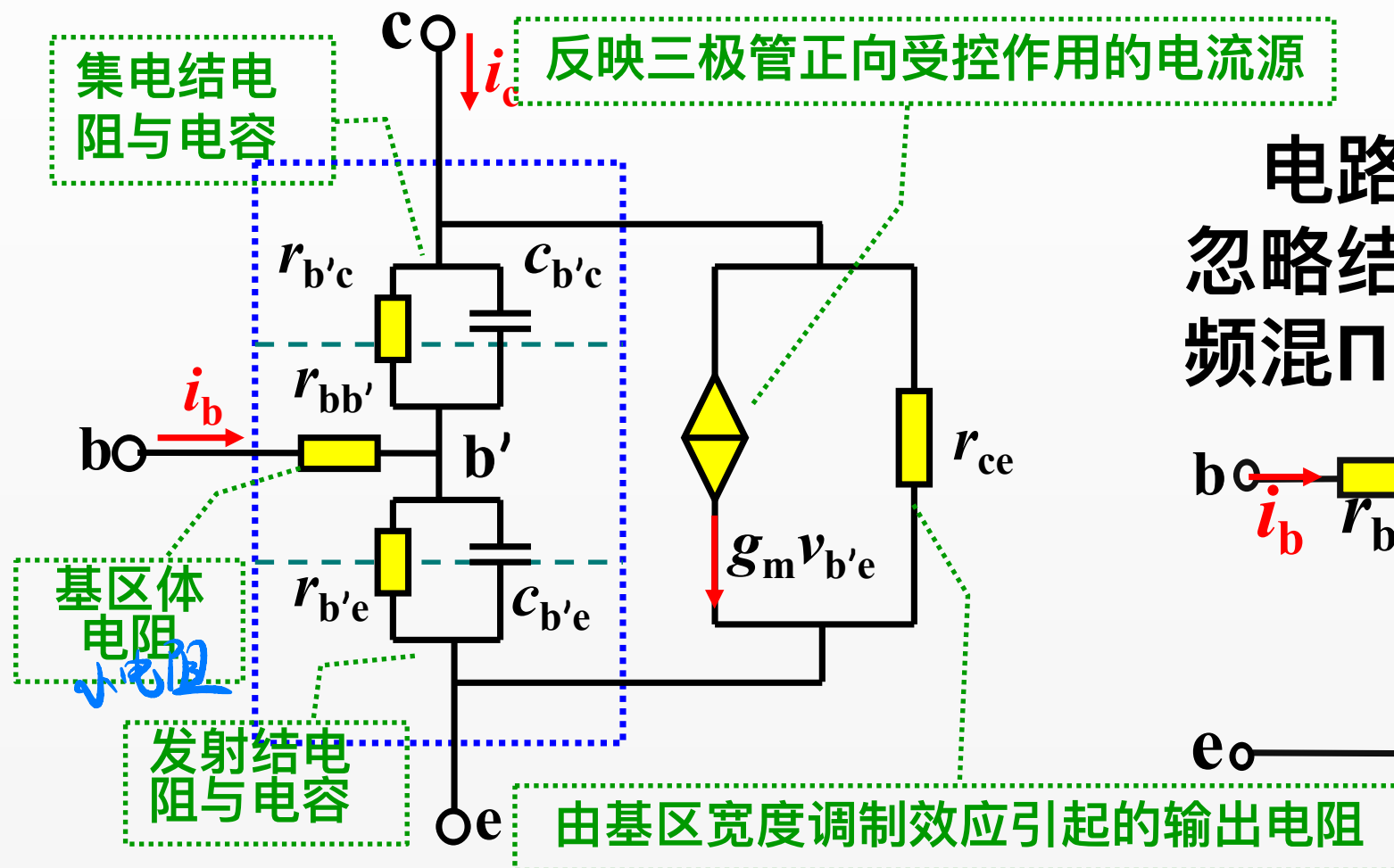
$$g_m = \left. \frac{\partial i_C}{\partial v_{B'E}} \right|_Q = \frac{\partial i_C}{\partial i_E} \cdot \frac{\partial i_E}{\partial v_{B'E}} = \frac{\alpha}{r_e} \approx 38.5 I_{CQ}$$

$$\beta = g_m r_{b'e}$$

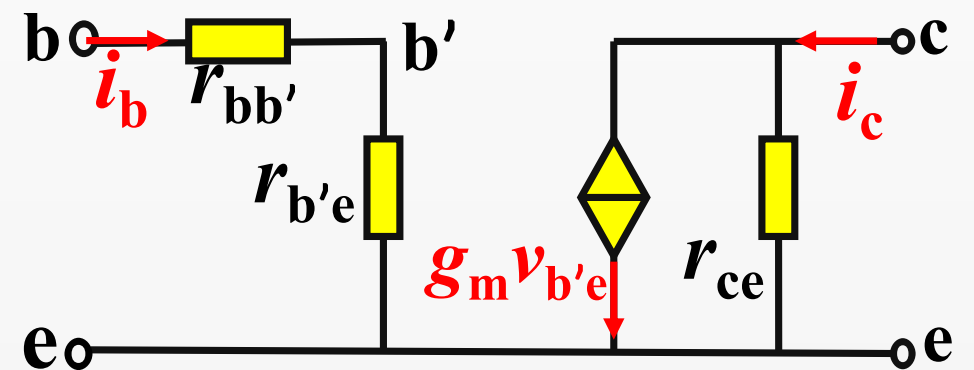
► 关于微变等效电路注意事项：

- 1、三极管必须工作在放大区，而且小信号情况下才可用。
- 2、模型中的 r_{be} 、 r_{ce} 都是交流或微变参数，所以只适合交流信号或变化量分析，不能用来分析静态工作点。
- 3、 r_{be} 、 r_{ce} 都与静态工作点的位置有关，特别是 r_{be} 对静态工作点更敏感，而 r_{ce} 有时则使用一个固定值。
- 4、受控源 βi_b 的电流方向与控制电流 i_b （电阻 r_{be} 上的电流）方向是关联的，也就是说，改变其中任何一个电流的标注方向，另一个也必须改变（同时流入或同时流出发射极）。
- 5、因此小信号模型反映的是电压电流变化量的关系，所以它与NPN型和PNP型无关，而且这个模型也可用在共基、共集放大电路中。

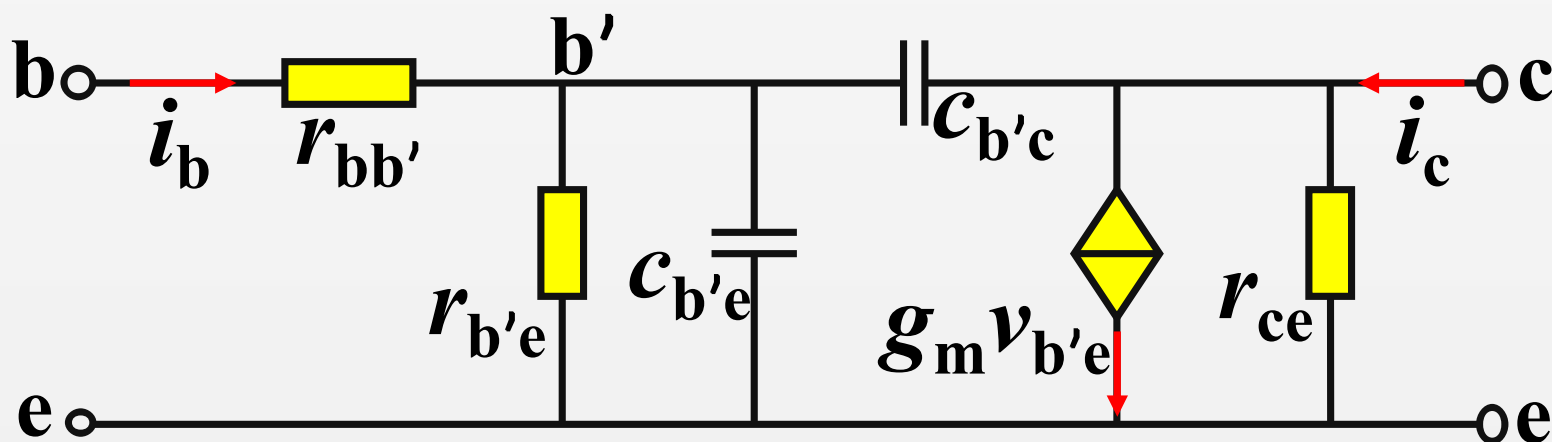
混合π型电路模型的引出



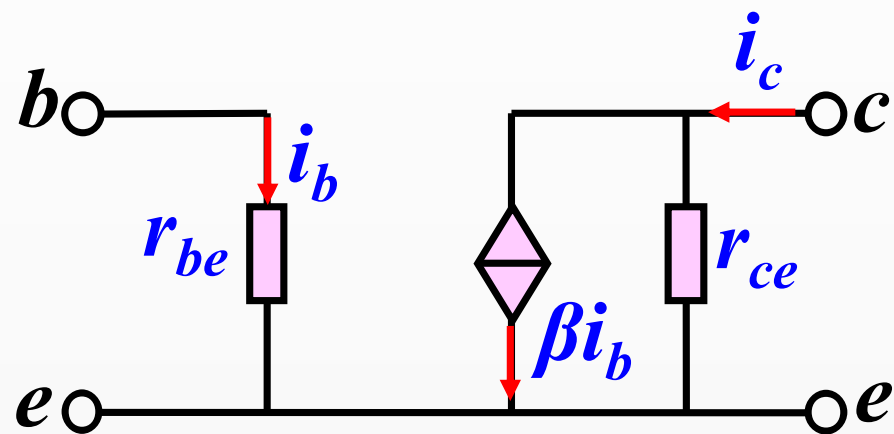
电路低中频工作时，可忽略结电容影响，因此低频混π电路模型简化为：



若忽略 $r_{b'e}$ 影响，整理即可得出混π电路模型。



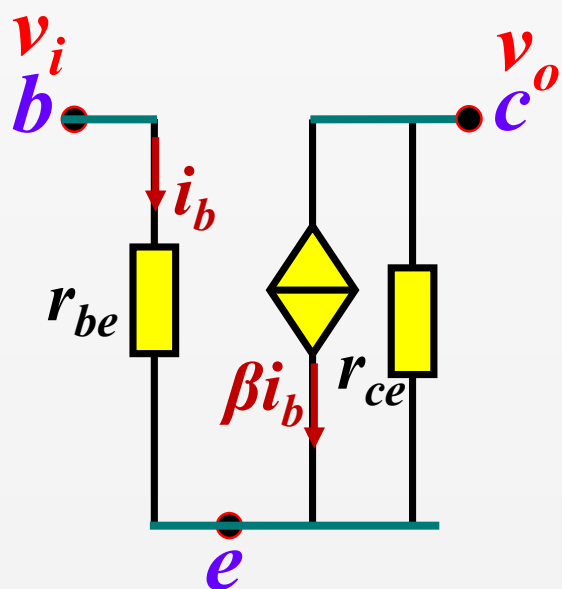
三组态放大电路的微变等效电路



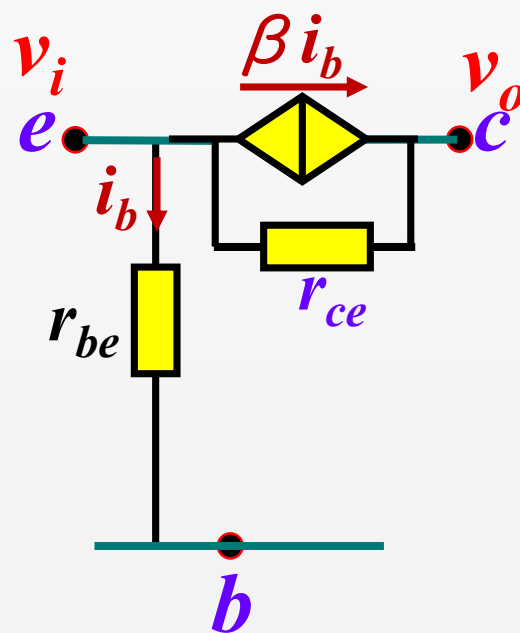
b、e间:有一个电阻 r_{be} (其上电流为 i_b)

c、e间:有一个很大电阻 r_{ce} (通常视为开路)和一个受控源 βi_b 相并联

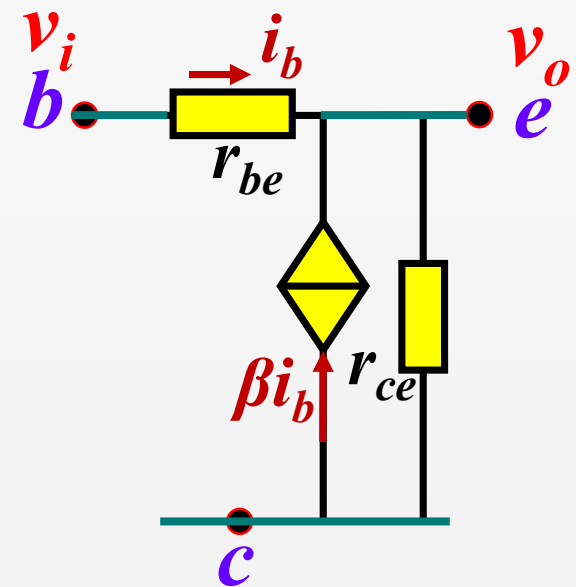
注意: βi_b 与 i_b 方向一致!



共发射极组态



共基极组态

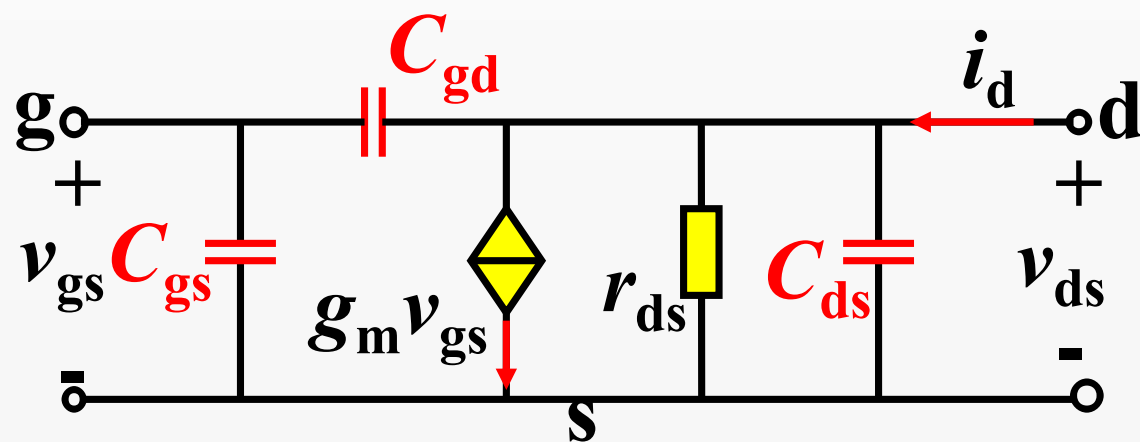


共集电极组态

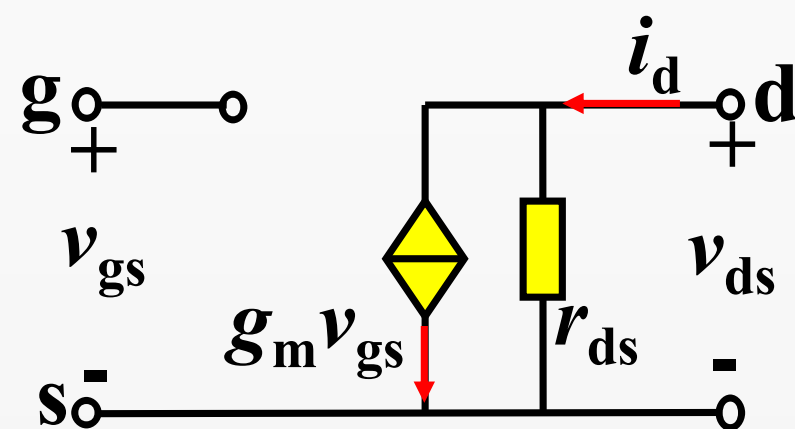
场效应管微变等效电路

条件:管子处于饱和区, 且在小信号作用下。

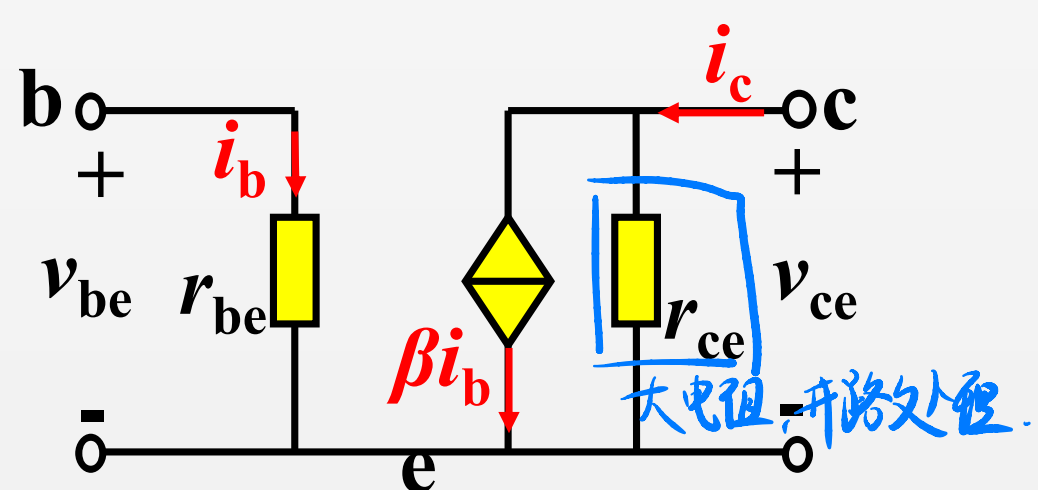
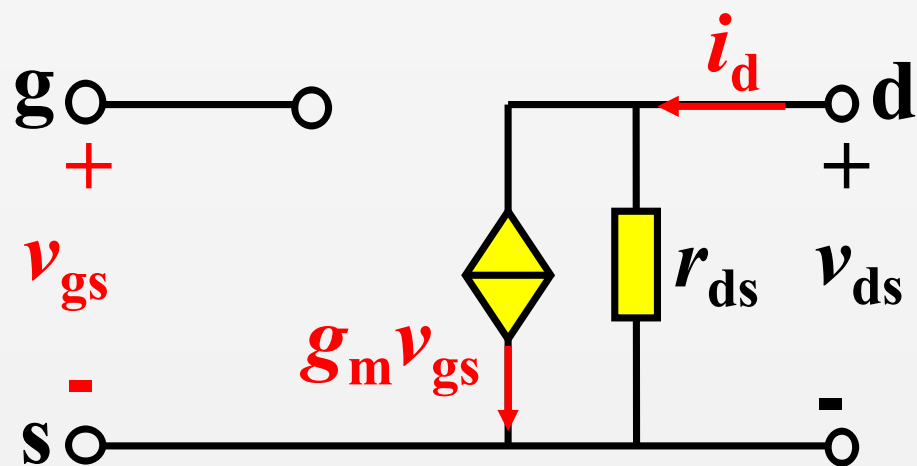
高频等效电路模型:
(考虑极间电容等小电容)



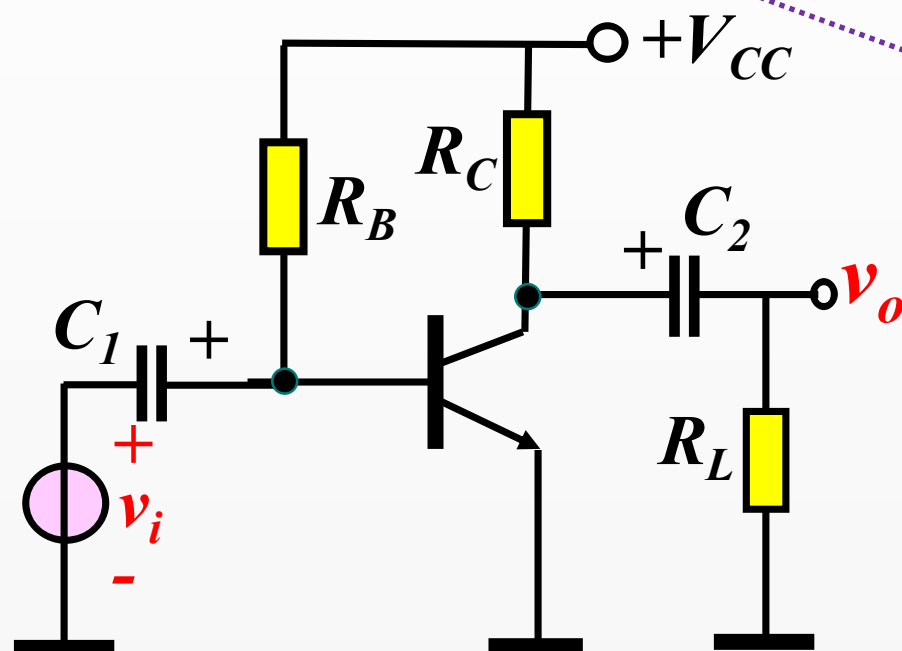
低中频等效电路理想模型:
(忽略极间电容等小电容)



□ FET管低中频小信号电路模型(与三极管对照):只用于交流分析



3.3 直流(静态)工作点分析:在直流通路中进行



输入信号 v_i 为0时的状态

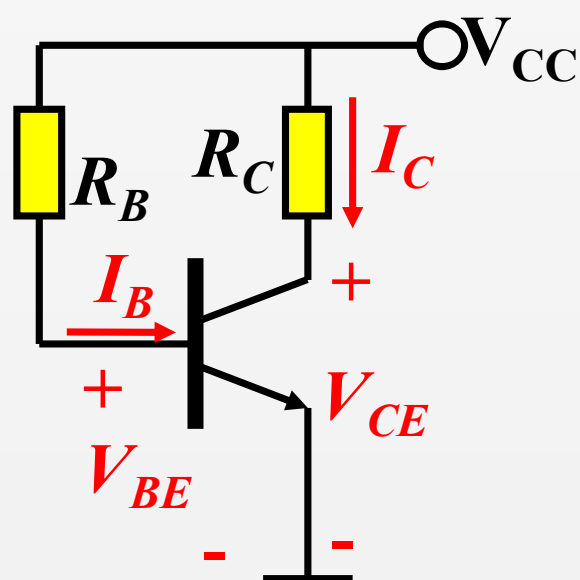
指直流电源产生的基准电压
(V_{BE} 、 V_{CE})、电流
(I_B 、 I_C)

只直流电源作用:
令交流信号 ≈ 0
电容开路
电感短路

分析方法:

估算法和图解法两种

直流通路



□ 估算法: 三极管用其直流简化模型代替进行分析

□ 图解法: 利用管子的输入、输出特性曲线与管外电路所确定的负载线, 通过作图的方法进行求解。

□ 工程近似法--估算法(以NPN为例)

分析步骤:

□ 确定三极管工作模式。

只要 $V_{BE} \leq V_{BE(on)}$ (发射结反偏) \Rightarrow 截止模式

若 $V_{BE} \geq V_{BE(on)}$ \Rightarrow 发射结正偏 $\left\{ \begin{array}{l} \text{集电结正偏: 饱和} \\ \text{集电结反偏: 放大} \end{array} \right.$

假定工作于放大模式, 估算 V_{CE} :

(工程上, 近似认为 $V_{BEQ} \approx V_{BE(on)}$)

若 $V_{CE} > V_{CES}$ \Rightarrow 放大模式

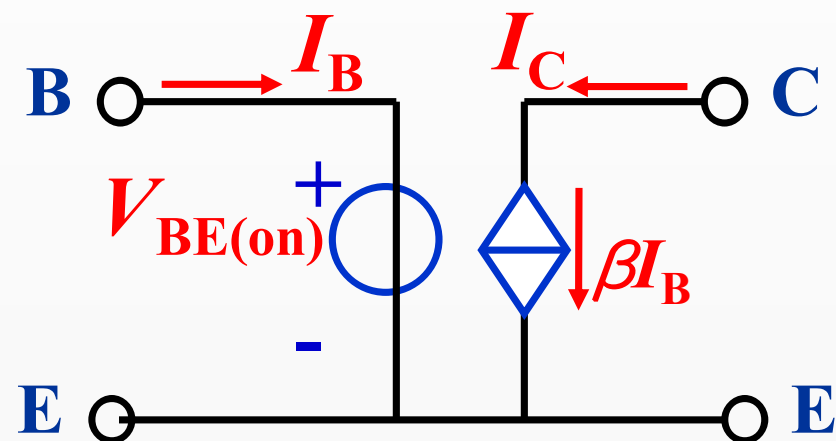
若 $V_{CE} < V_{CES}$ \Rightarrow 饱和模式

□ 用相应简化电路模型替代三极管。

□ 分析计算各电量。

三极管的直流简化电路模型

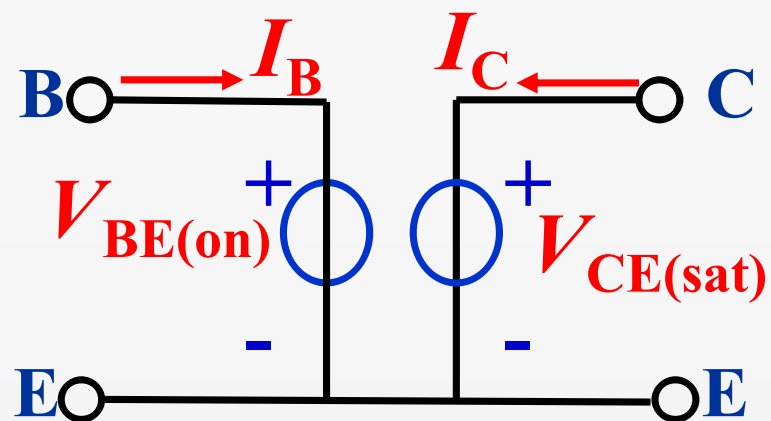
放大状态的直流简化电路模型



$V_{BE(on)}$ 为发射结导通电压，
工程上一般取：

$\left\{ \begin{array}{l} \text{硅管 } V_{BE(on)} = 0.7V \\ \text{锗管 } V_{BE(on)} = 0.2V \end{array} \right.$

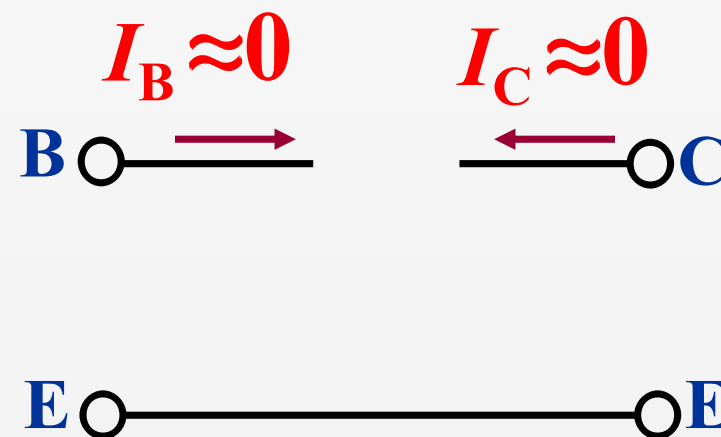
饱和状态下的简化电路模型：



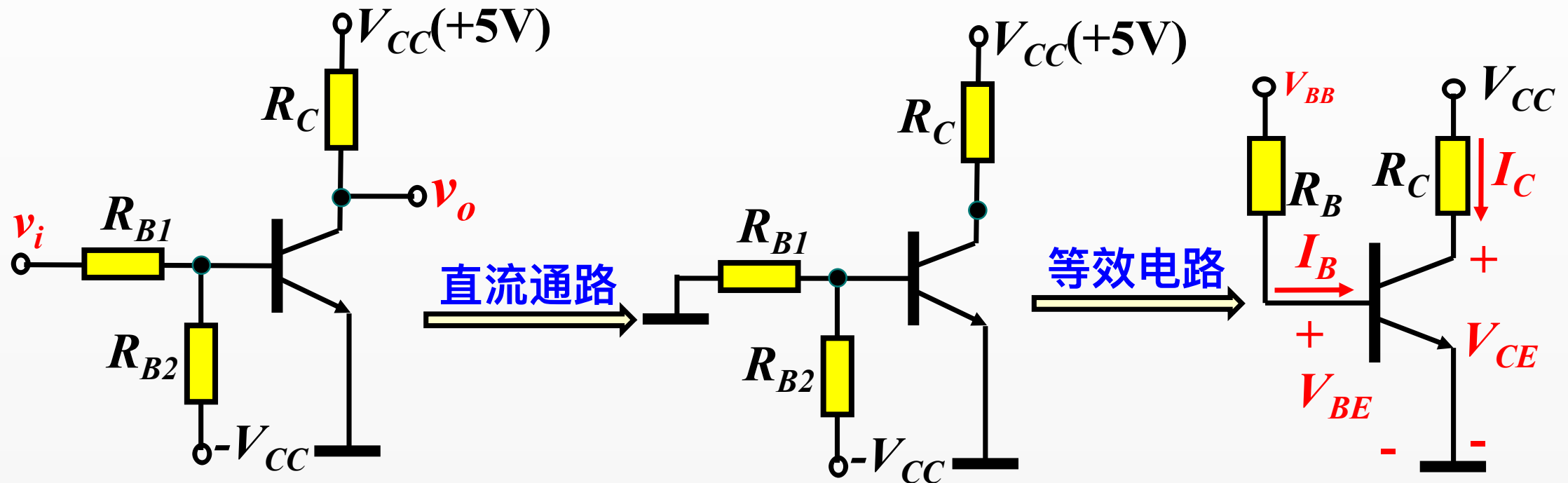
通常，饱和压降 $V_{CE(sat)}$ ：

$\left\{ \begin{array}{l} \text{硅管 } V_{CE(sat)} \approx 0.3V \\ \text{锗管 } V_{CE(sat)} \approx 0.1V \end{array} \right.$

截止状态下的简化电路模型：



► 双电源供电方案(工程近似分析)



$$R_B = R_{B1} // R_{B2}$$

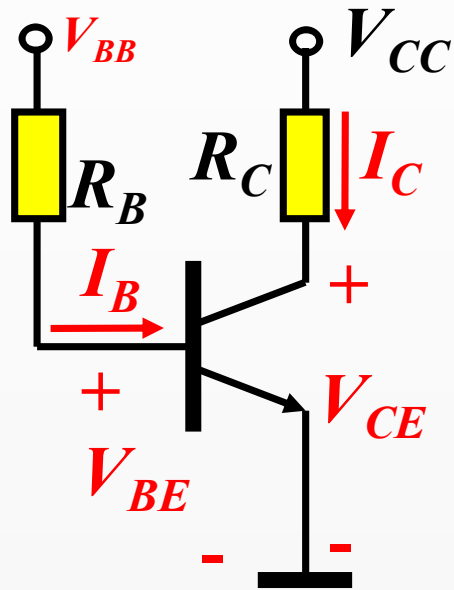
$$V_{BB} = \frac{R_{B1} \times (-V_{CC})}{R_{B1} + R_{B2}} < 0 < V_{BE(on)} \implies \text{发射结反偏}$$

由电路知 $V_C > V_B \implies \text{集电结反偏}$

工作于截止状态

$$\text{所以有: } I_B = 0, V_{BE} = V_{BB}, I_C \approx 0, V_{CE} \approx V_{CC}$$

► 双电源供电方案(图解法分析) $V_{BB} = \frac{R_{B1} \times (-V_{CC})}{R_{B1} + R_{B2}} < 0$



- 输入回路直流负载线方程

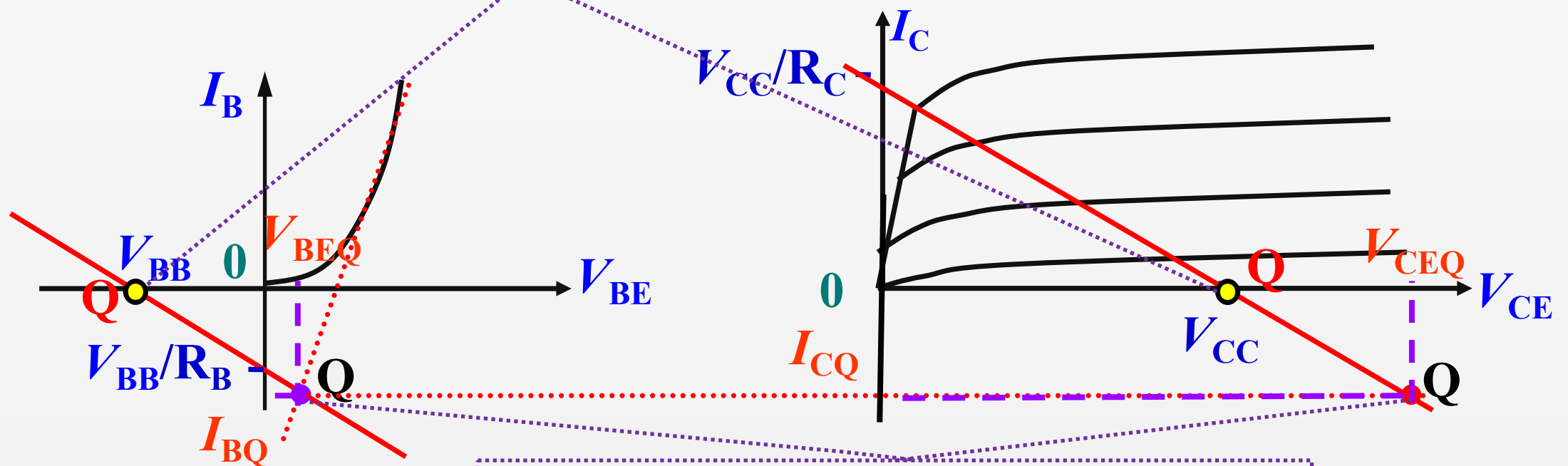
$$V_{BE} = V_{BB} - I_B R_B$$

- 输出回路直流负载线方程

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C$$

依据真实晶体管获得的结果(与实际相符)

$$\Rightarrow \begin{cases} I_B = 0, & V_{BE} = V_{BB} \\ I_C \approx 0, & V_{CE} \approx V_{CC} \end{cases}$$



假定工作于放大区时的结果(与实际不符)

图解法(了解)

即利用三极管的输入、输出特性曲线与管外电路所确定的负载线，通过作图的方法进行求解。

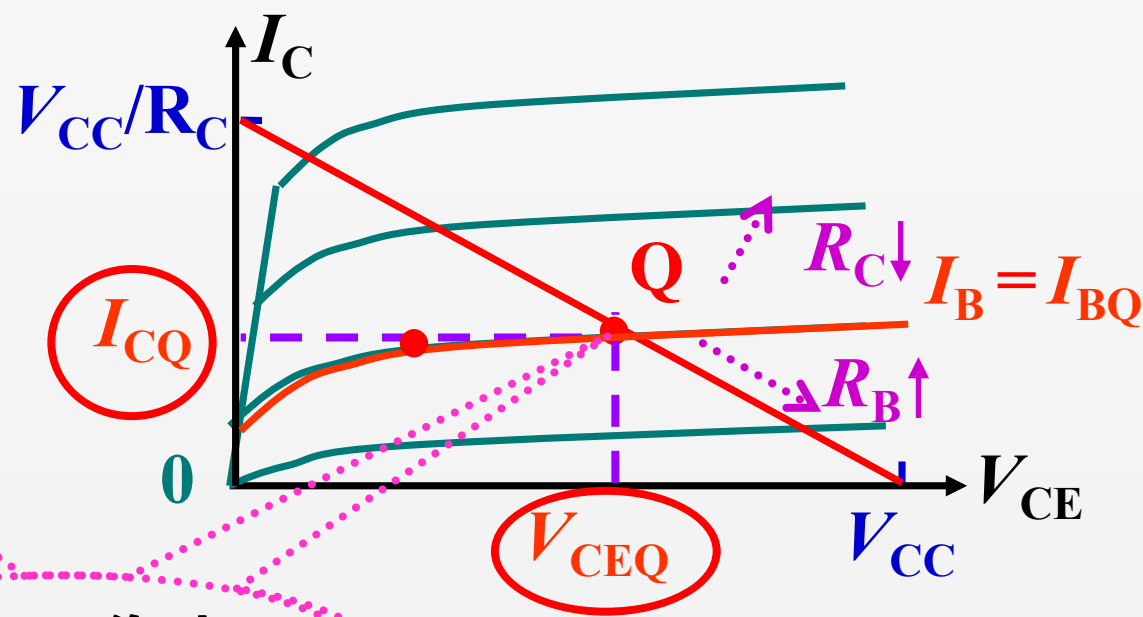
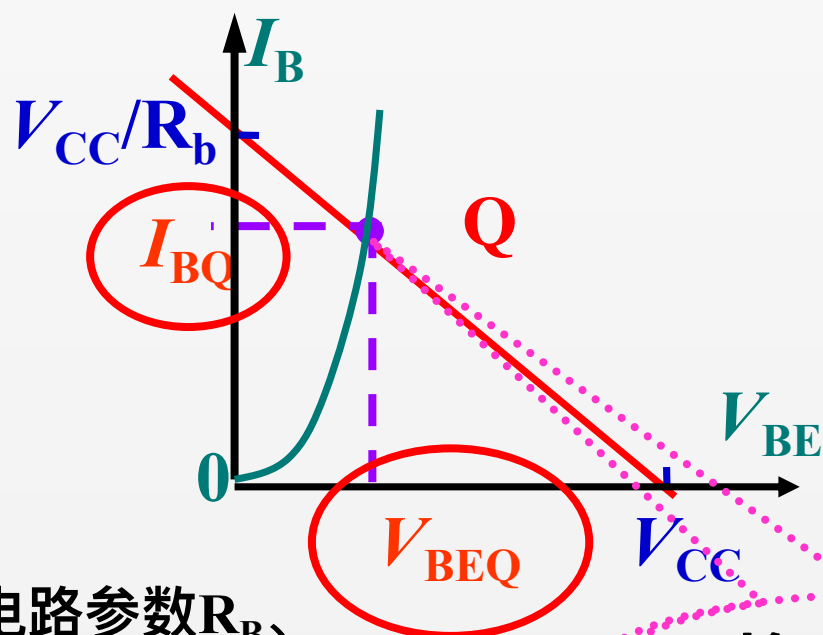
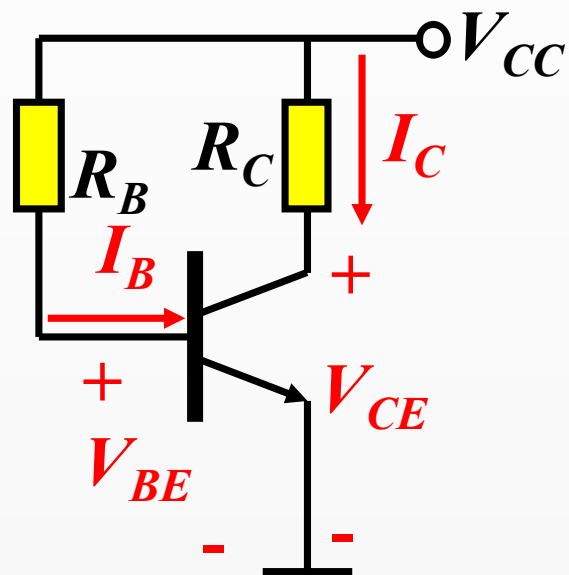
分析步骤：

1. 由电路输入特性确定 I_{BQ} 与 V_{BEQ}

2. 由电路输出特性确定 I_{CQ} 与 V_{CEQ}

• 输入回路直流负载线方程: $V_{BE} = V_{BB} - I_B R_B$

• 输出回路直流负载线方程: $V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C$

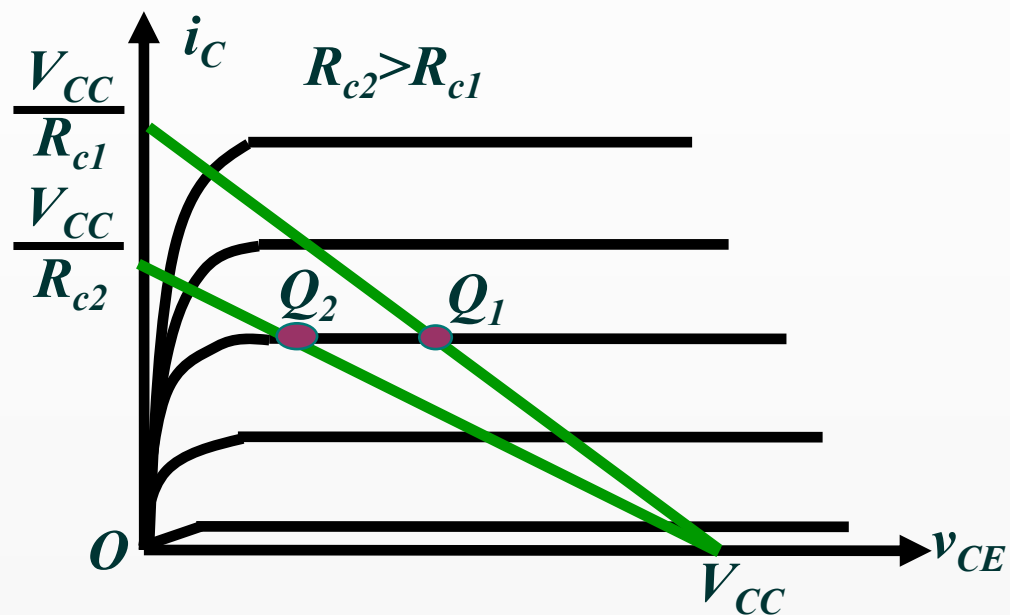


思考：电路参数 R_B 、 V_{CC} 、 R_C 改变时工作点如何变？

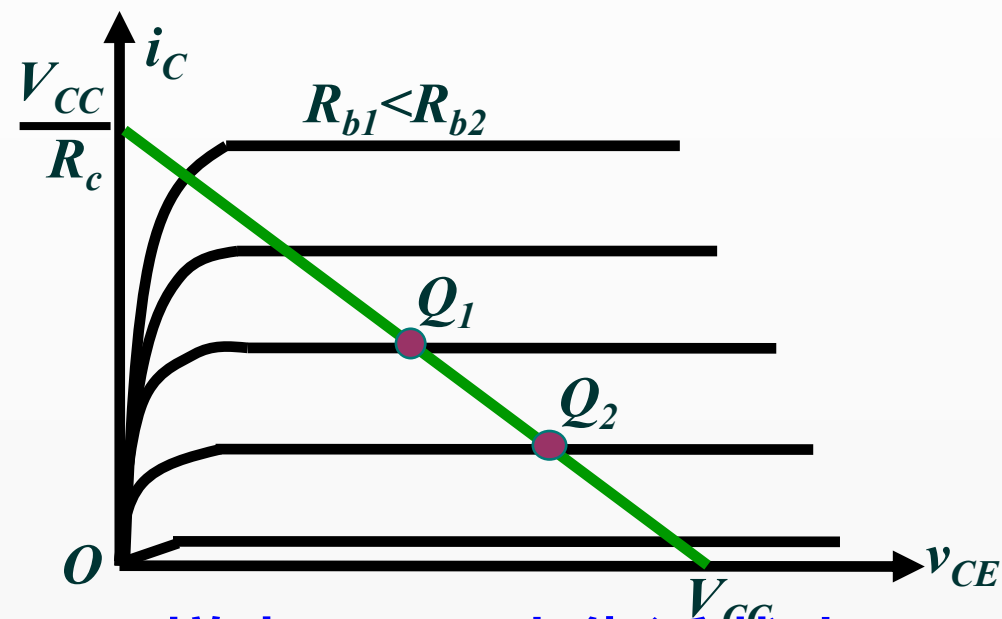
静态工作点

电路参数改变对工作点的影响

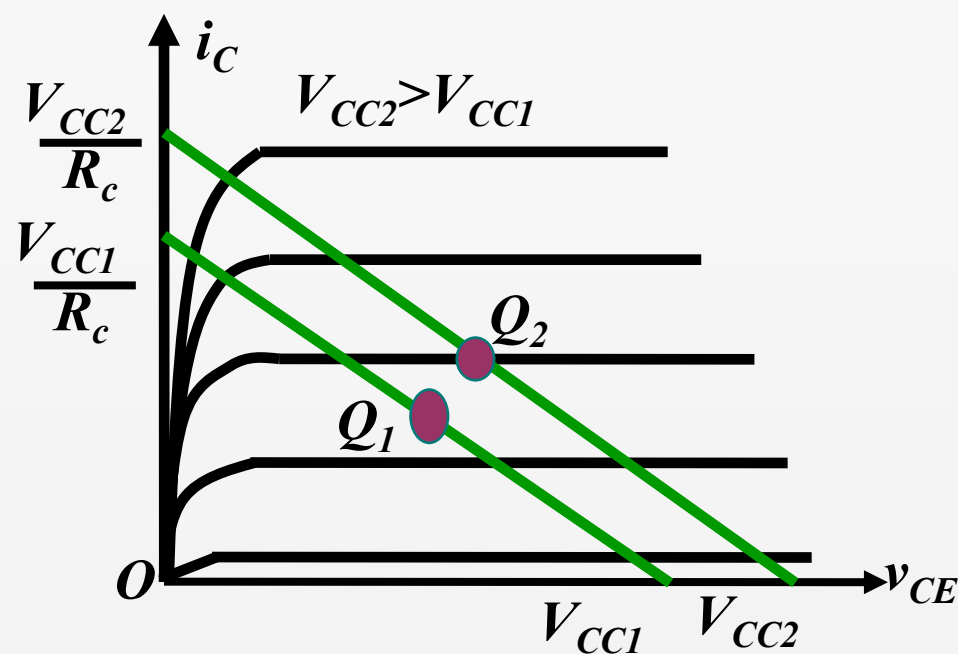
响



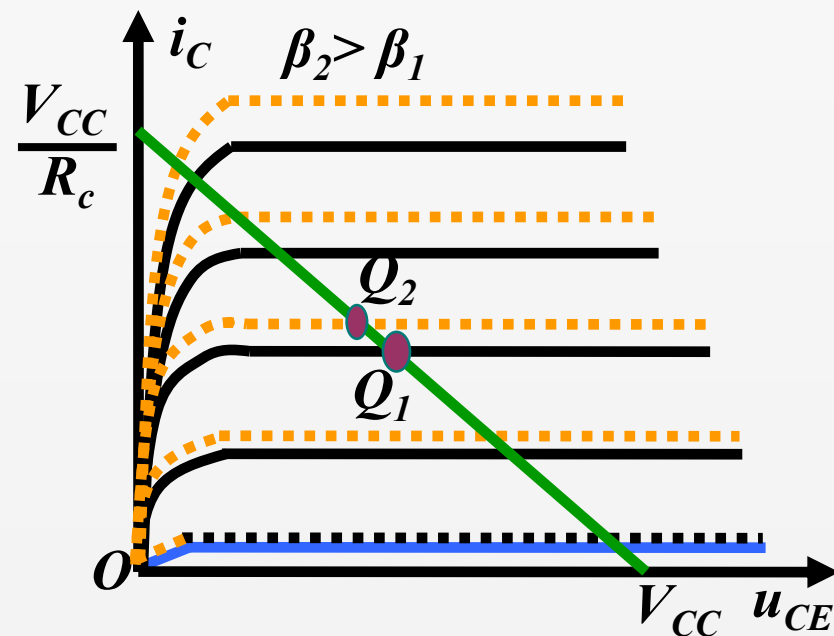
增大 R_c ， Q 点靠近饱和区。



增大 R_b ， Q 点靠近截止区。



V_{CC} 升高时， Q 点右上移， V_{om} 增大，三极管静态功耗也增大。

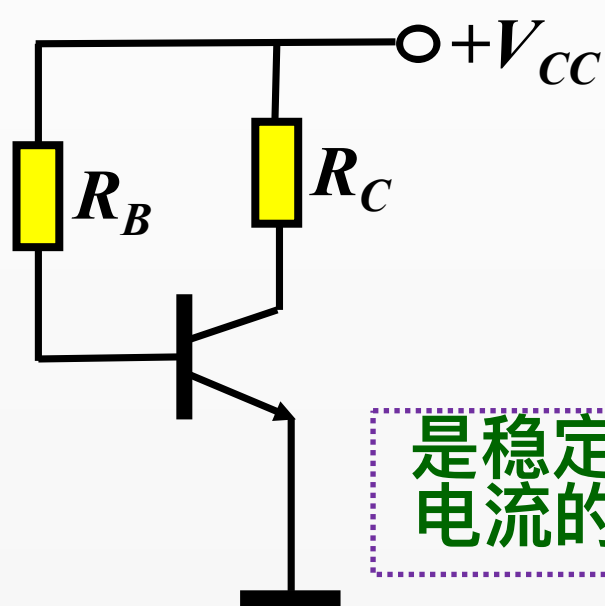


β 增大时，特性曲线上移， Q 点移近饱和区。

返回

3.3.2 工作点的稳定性

一、三极管几种直流偏置电路的稳定性分析

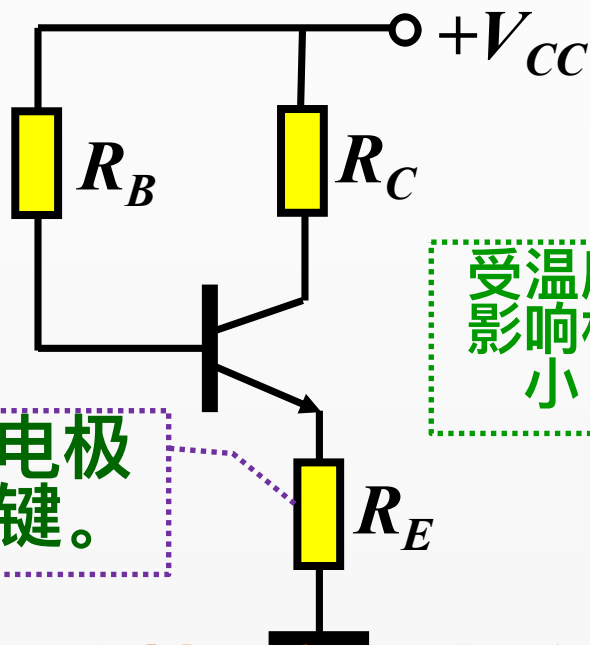


(a) 简单偏置电路

$T \uparrow \rightarrow I_{CQ} \uparrow$

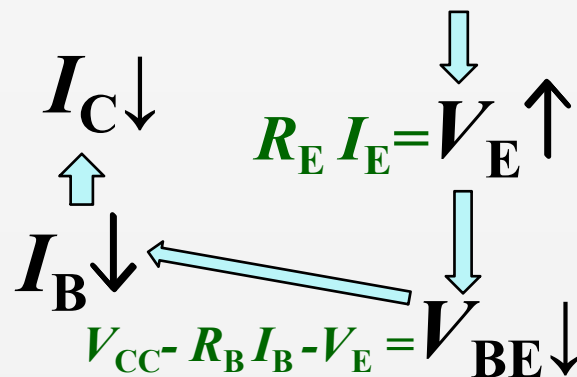
Q 点升高

工作点 Q
不稳定

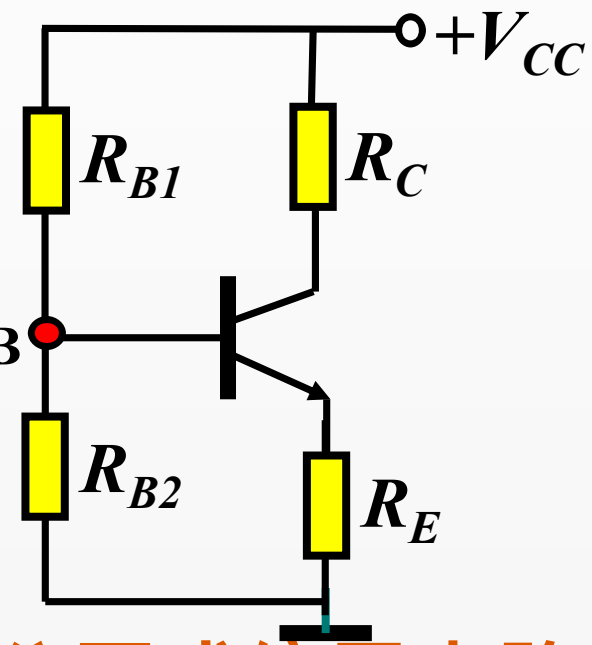


(b) 射极偏置电路

$T \uparrow \rightarrow I_C \uparrow \rightarrow I_E \uparrow$

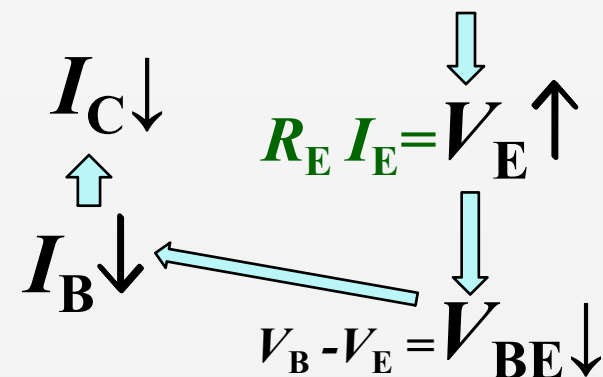


Q 点稳定



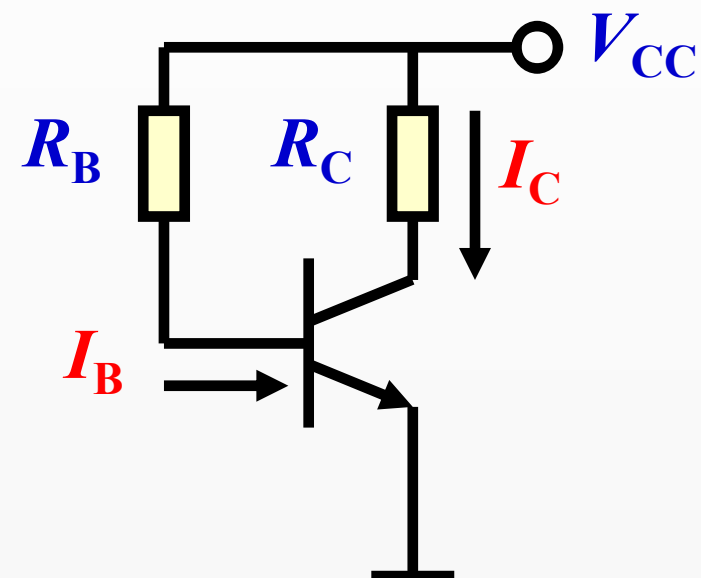
(c) 分压式偏置电路

$T \uparrow \rightarrow I_C \uparrow \rightarrow I_E \uparrow$



Q 点更稳定

1. 简单偏置电路的分析 工程估算法



P₆₇图3-3-4晶体管的简单偏置电路

工程上, $V_{BEQ} \approx V_{BE(on)}$

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_{BE(on)}}{R_B} \approx 24.33\mu A$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} + (1 + \beta) I_{CBO} \approx 1.95(mA)$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_C \approx 3.88(V)$$

温度升高 $30^{\circ}C$ 后

$$I_{BQ} \approx 24.58\mu A \quad I_{CQ} \approx 2.56mA \quad V_{CEQ} \approx 2.88V$$

$T \uparrow \rightarrow \beta \uparrow, I_{CBO} \uparrow, V_{BE(on)} \downarrow \rightarrow I_{CQ} \uparrow \rightarrow Q \text{点升高}$

结论: 管子靠近饱和区。

优点: Q 点设置方便, 计算简单。

缺点: 不具有稳定 Q 点的功能。

例 电路如图，已知 $V_{BE(on)}=0.7V$ ， $V_{CE(sat)}=0.3V$ ， $\beta=30$ ，
试判断三极管工作状态，并计算 V_C 。

解： 假设T工作在放大模式

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_{BE(on)}}{R_B} = 53 \mu A$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} = 1.59 \text{mA}$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_C = 4.41 \text{V}$$

因 $V_{CEQ} > 0.3 \text{V}$ ，三极管工作在**放大模式**。 $V_C = V_{CEQ} = 4.41 \text{V}$

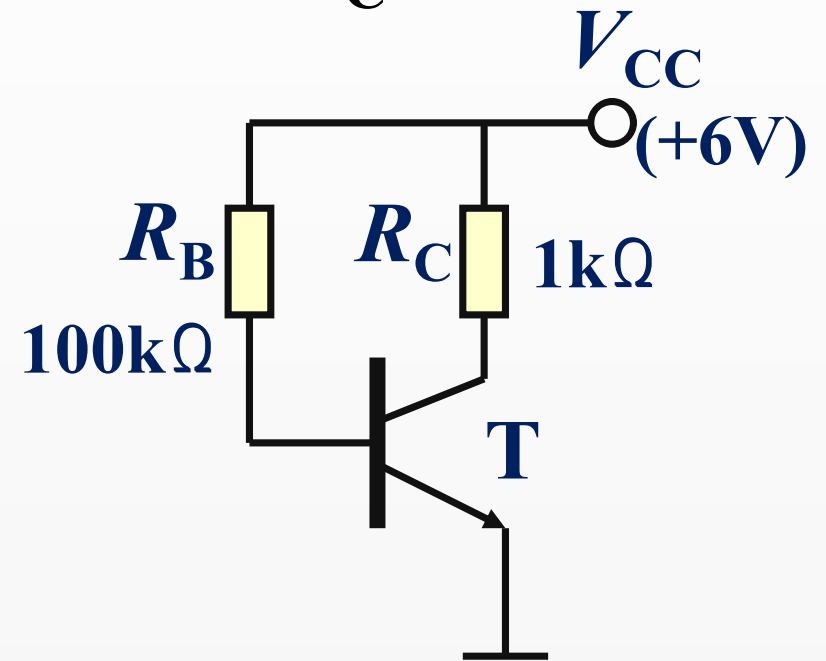
(2) 若将电路中的电阻 R_B 改为 $10 \text{k}\Omega$ 呢？

假设T工作在放大模式

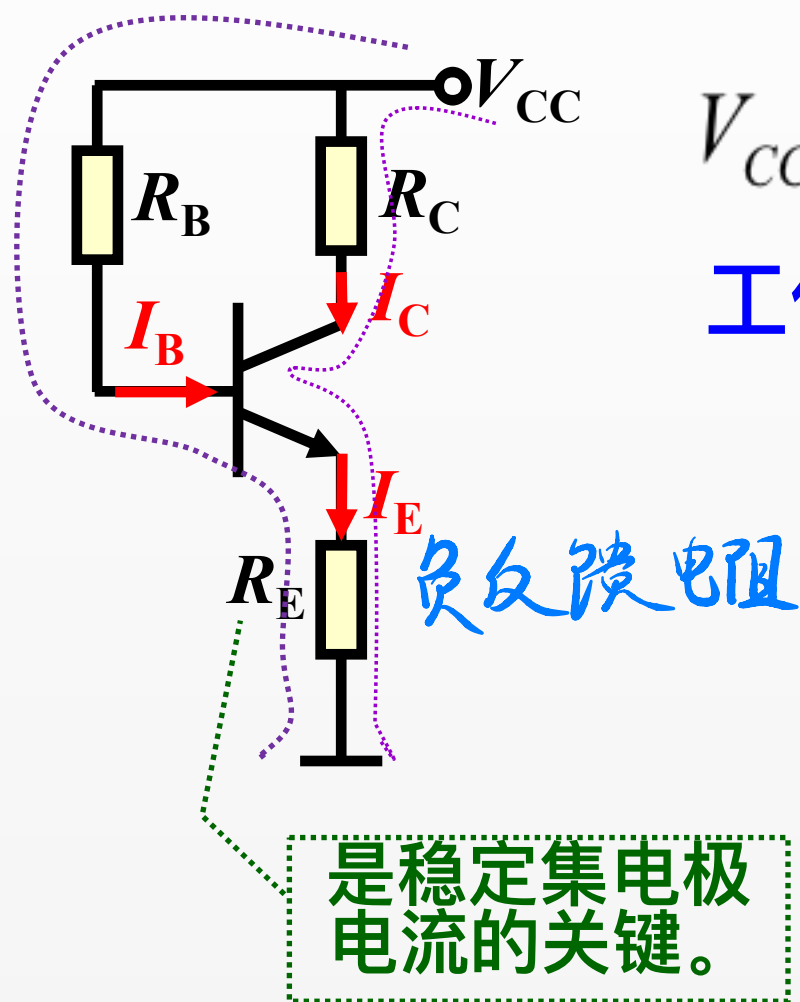
$$\text{得： } I_{BQ} = 530 \mu A, \quad I_{CQ} = 15.9 \text{mA}, \quad V_{CEQ} = -9.9 \text{V}$$

因 $V_{CEQ} < 0.3 \text{V}$ ，三极管工作在**饱和模式**。 $V_C = V_{CES} = 0.3 \text{V}$

$$\text{实际得： } I_{BQ} = 530 \mu A, \quad I_{CQ} = (V_{CC} - V_{CES}) / R_C = 5.7 \text{mA}$$



2. 射极偏置电路



$$V_{CC} = R_B I_B + V_{BE(on)} + R_E I_E$$

工作于放大时有: $I_E \approx (1 + \beta) I_B$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE(on)}}{R_B + (1 + \beta) R_E}$$

$$I_C \approx \beta I_B \approx I_E$$

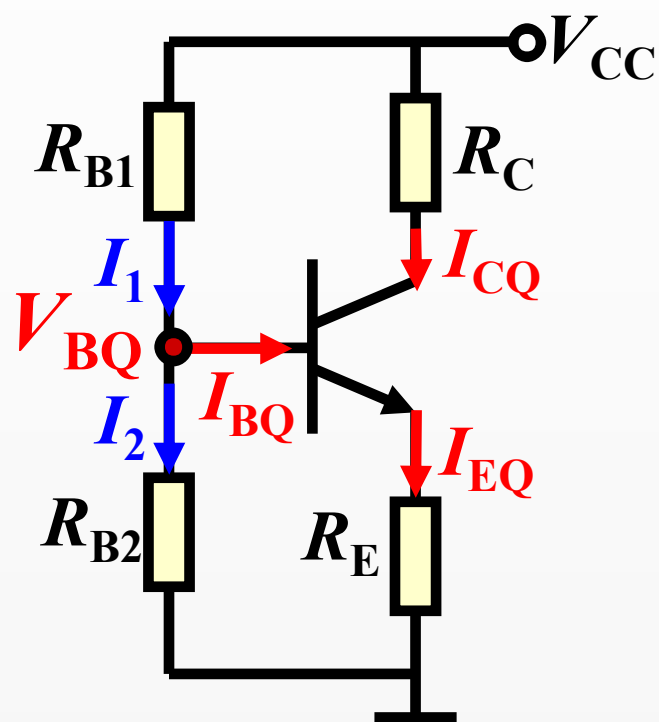
$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}(R_C + R_E)$$

$$\begin{array}{c} T \uparrow \rightarrow I_C \uparrow \rightarrow V_{EQ} \uparrow (\approx I_{CQ} R_E) \rightarrow V_{BEQ} \downarrow (= V_{CC} - R_B I_B - V_{EQ}) \\ \text{---} I_{CQ} \downarrow \leftarrow I_{BQ} \downarrow \end{array}$$

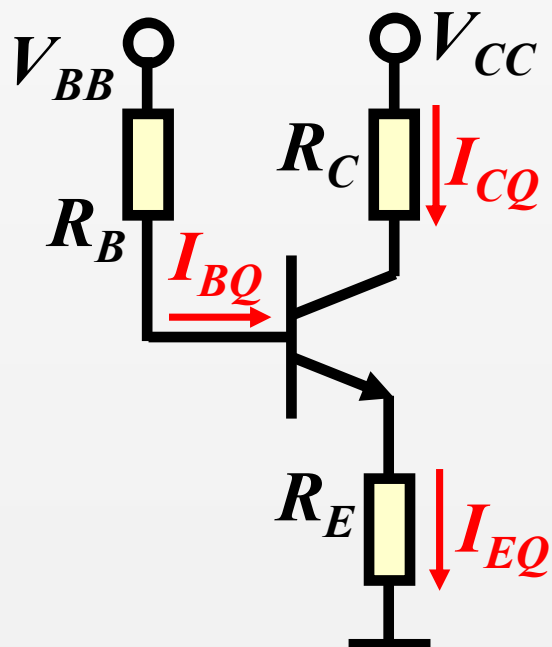
优点: 具有稳定 Q 点的功能。

3. 分压式偏置电路

P₇₃习题3-7



戴维南等效



$$V_{BB} = \frac{R_{B2} V_{CC}}{R_{B1} + R_{B2}}$$

$$R_{BB} = R_{B1} // R_{B2}$$

当 $I_1 \approx I_2$ 即 $(R_{B1} // R_{B2}) \ll (1 + \beta) R_E$ 时

$$V_{BQ} \approx V_{BB} \quad \text{基本不随温度变化}$$

$$I_E = (V_{BQ} - V_{BE(on)}) / R_E$$

$$I_C = \alpha I_E \approx I_E$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} (R_C + R_E)$$

$T \uparrow \rightarrow \beta \uparrow \rightarrow I_C \uparrow \rightarrow I_E \uparrow \rightarrow V_E \uparrow$

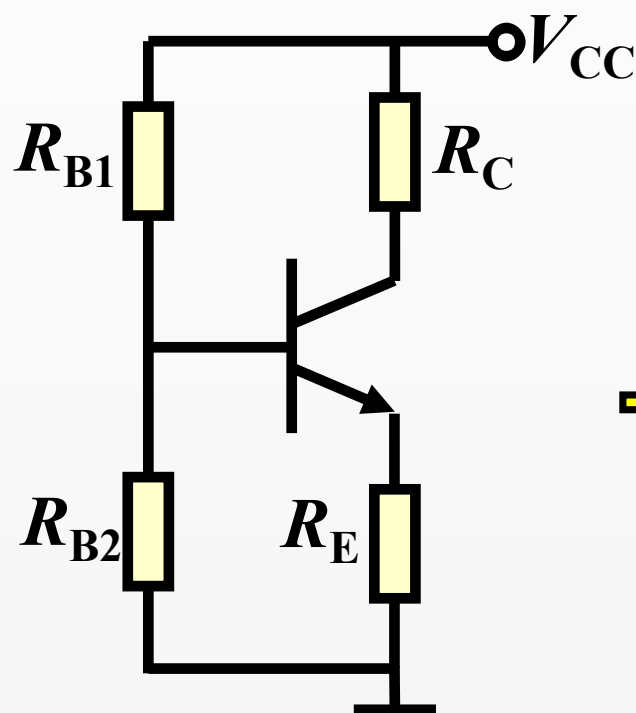
$T \uparrow \rightarrow I_{CQ} \uparrow \rightarrow V_{EQ} \uparrow (\approx I_{CQ} R_E) \rightarrow V_{BEQ} \downarrow (= V_{BQ} - V_{EQ})$

$I_{CQ} \downarrow \leftarrow I_{BQ} \downarrow$

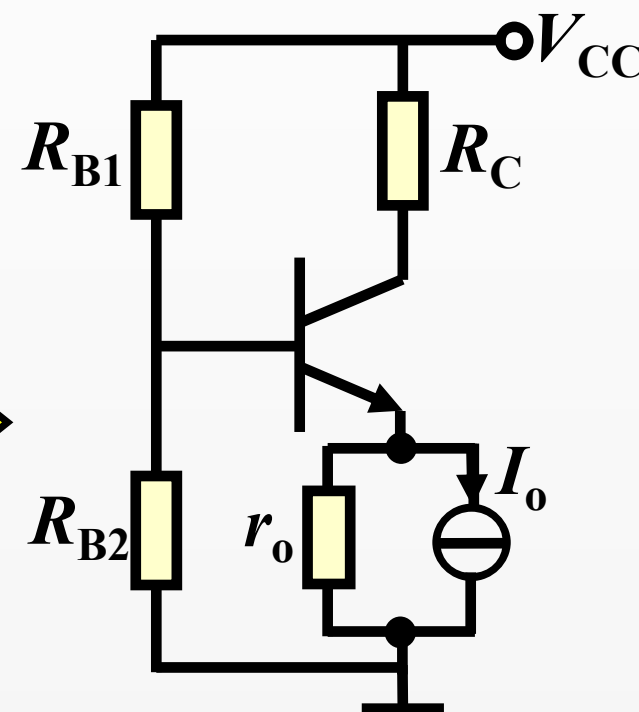
优点：具有稳定Q点的功能。

讨论

R_E 越大 $\left\{ \begin{array}{l} \Delta V_{BEQ} \text{ 越大} \rightarrow Q \text{ 点越稳定} \\ V_{CEQ} \text{ 越小} \rightarrow \text{输出动态范围越小} \end{array} \right.$



解决方案：
用恒流源代替电阻 R_E



工程规定： $V_{EQ} = 0.2V_{CC}$ 或 $V_{EQ} = 1 \sim 3V$

R_{B1} 、 R_{B2} 过大 \rightarrow 不满足 $I_1 \gg I_{BQ}$ 则 V_{BQ} 不稳定

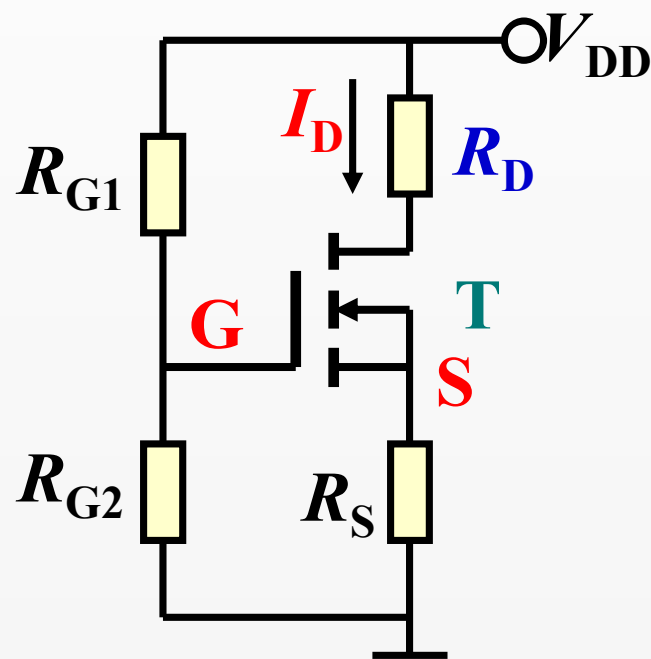
R_{B1} 、 R_{B2} 过小 \rightarrow 放大器 R_i 减小

工程规定： $I_1 = (5 \sim 10) I_{BQ}$

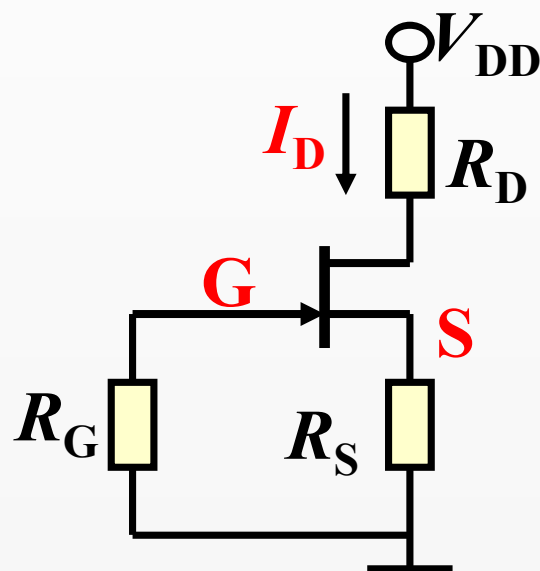
分压式偏置电路不仅适用于三极管，也适用于各种类型场效应管

场效应管的几种偏置电路

1. 分压偏置电路

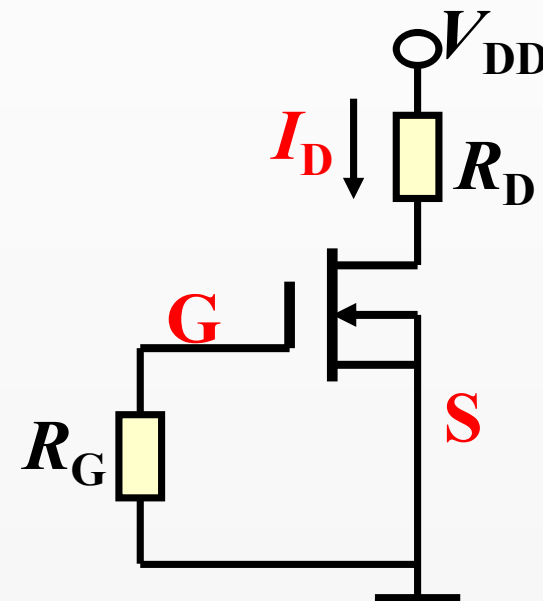


2. 自偏置电路



只适合于耗尽型、
结型场效应管

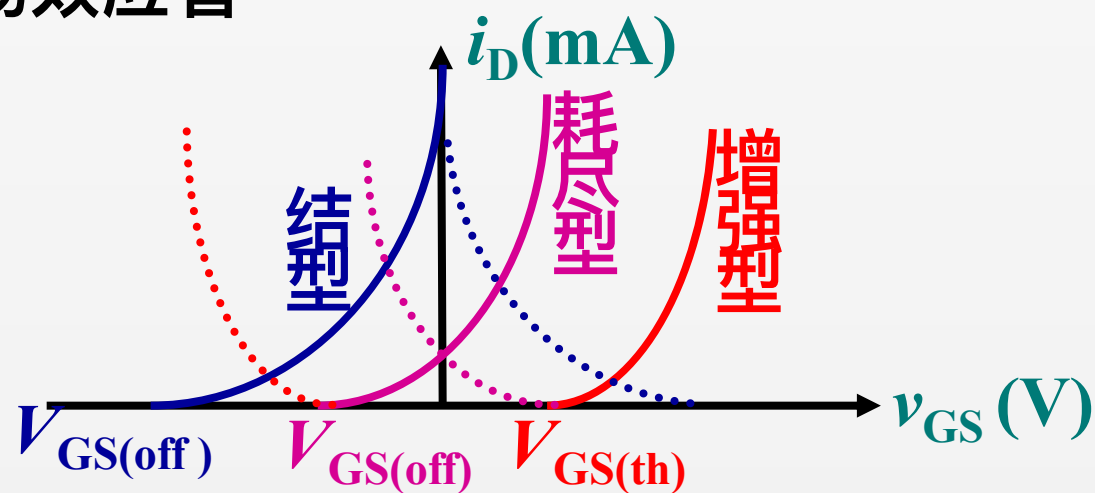
3. 零偏置电路



只适合于耗尽型场效应管

电路特点：

分压偏置电路不仅适用于三极管，同时适用于各种类型的场效应管。



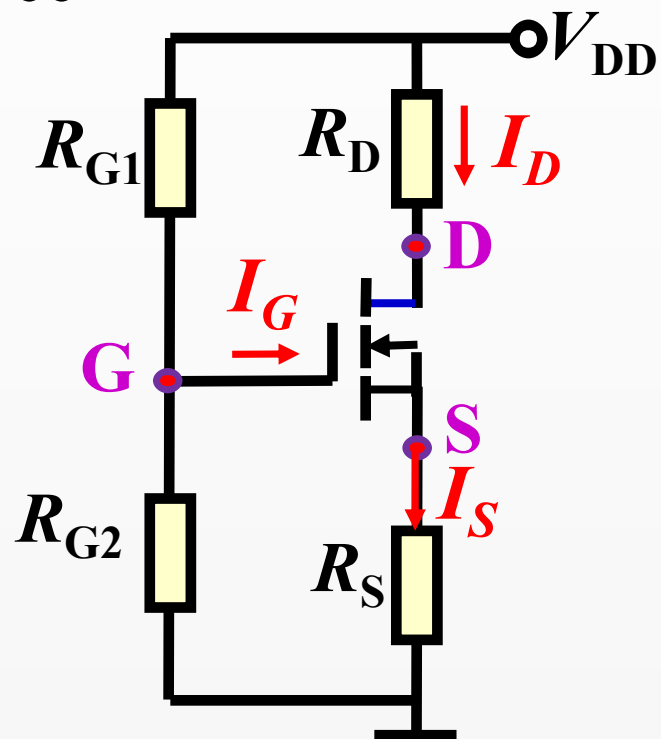
N沟道: $V_{DS} > 0$

P沟道: $V_{DS} < 0$

返回

单电源供电方案——场效应管偏置电路

(P₆₆)



P₆₆图3-3-3

- (1) 假定场效应管处于饱和区。
- (2) 选择近似解析算法($I_G=0 \rightarrow I_S=I_D$)

$$V_G = V_{GQ} = \frac{V_{DD}}{R_{G1} + R_{G2}} \cdot R_{G2} = 8V$$

$$\begin{cases} V_{GS} = V_G - V_S = V_G - R_S I_D \\ I_D = \frac{\mu_n C_{ox} W}{2l} \cdot (V_{GS} - V_{GS(th)})^2 \end{cases} \xrightarrow{\text{联立求解得}}$$

$$V_{GS1} = -1V, I_{D1} = 2.25mA$$

$$V_{GS2} = 4V, I_{D2} = 1mA$$

$V_{GS} < V_{GS(th)}$ (不合理)

$V_{GS} > V_{GS(th)}$ (合理)

(3) 代入合理数值, 计算得: $V_{DS} = -14V < 0 \Rightarrow$ 假定不成立

所以该场效应管处于**非饱和区**(V_{DS} 很小), 于是得:

$$I_D = V_{DD} / (R_D + R_S) \approx 0.59mA$$

$$V_{GS} = V_G - V_S = V_G - I_D R_S$$

工程估算法求解静态工作点总结：

1. 通过特性方程+电路方程进行求解。
2. 偏置电路不同，电路方程也不同，但特性方程一样。

三极管工作于放大区时的特性方程：

$$I_C \approx \beta I_B$$
$$I_E \approx (1 + \beta) I_B$$

场效应管工作于饱和区时的特性方程：

结型和耗尽型： $i_D \approx I_{DSS} \left(1 - \frac{v_{GS}}{V_{GS(off)}} \right)^2$

增强型： $i_D = \frac{\mu_n C_{OX} W}{2l} (v_{GS} - V_{GS(th)})^2$

3. 检验假设是否成立。

对NPN三极管电路：检验 V_{CE} 是否大于 V_{CES}

对N沟道场效应管电路：检验 V_{DS} 是否大于 V_{DSS}

增强型： $V_{DSS} = V_{GS} - V_{GS(th)}$

结型和耗尽型： $V_{DSS} = V_{GS} - V_{GS(off)}$

(动态)交流分析：在交流通路中进行

信号作用时，交流性能的分析计算过程。
目的：确定电路的性能指标等

只交流信号作用
令直流电源=0，
大电容短路
大电感开路

分析方法：

图解法和微变等效电路法两种。

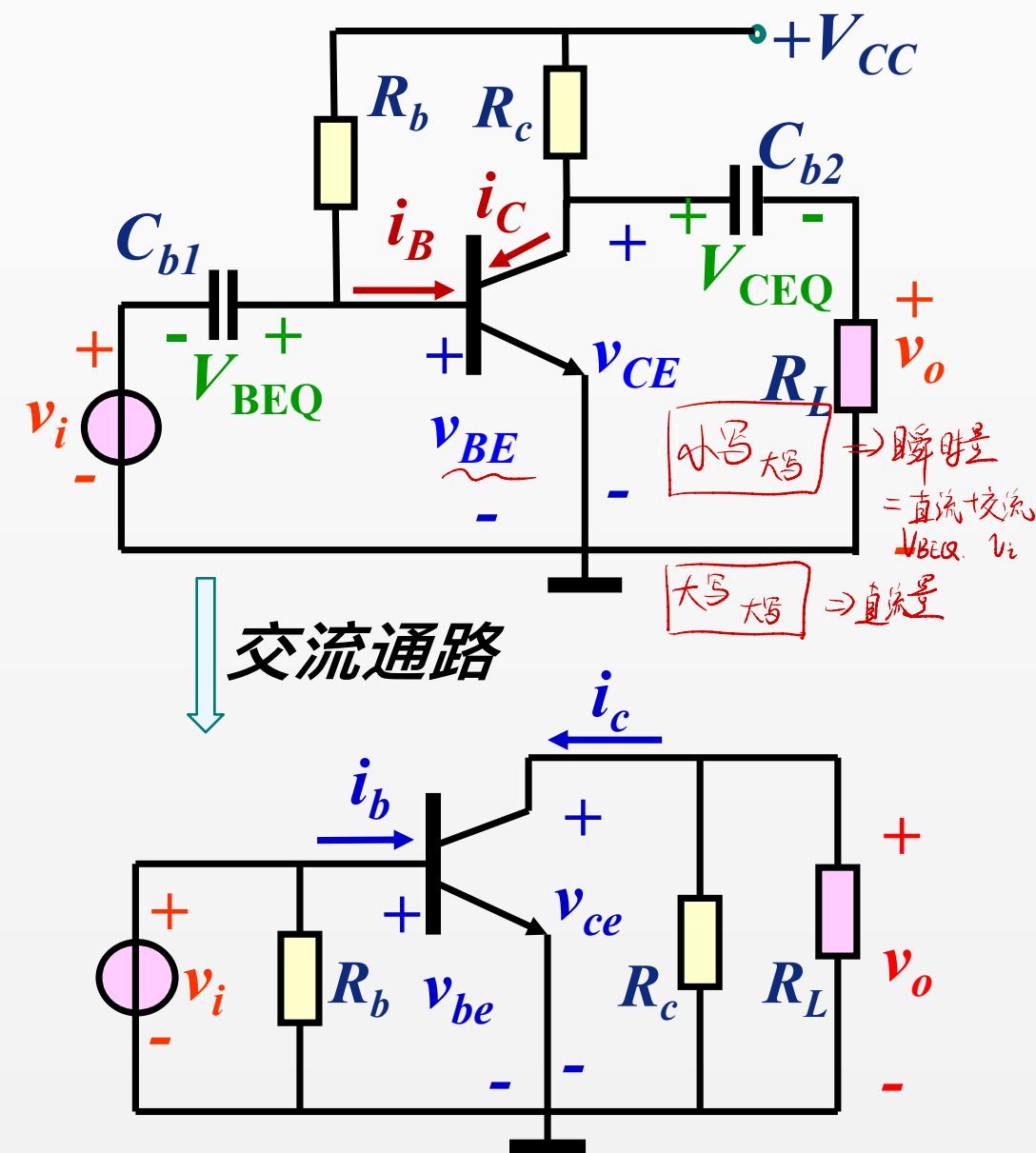
小信号等效电路法分析步骤：

❑画交流通路

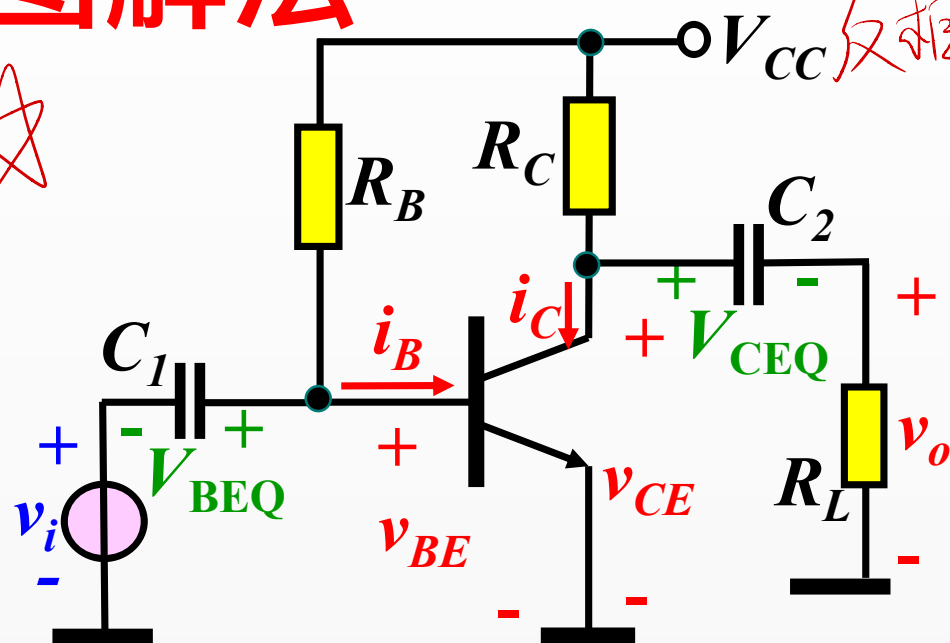
❑用小信号电路模型代替三极管，
得小信号等效电路。

❑利用小信号等效电路分析交流指标

注意：小信号等效电路只能用来分析
交流量的变化规律及动态性能
指标，不能分析静态工作点。



图解法



为获得最大不失真输出，工作点应设置在交流负载线的中点。

分析步骤：

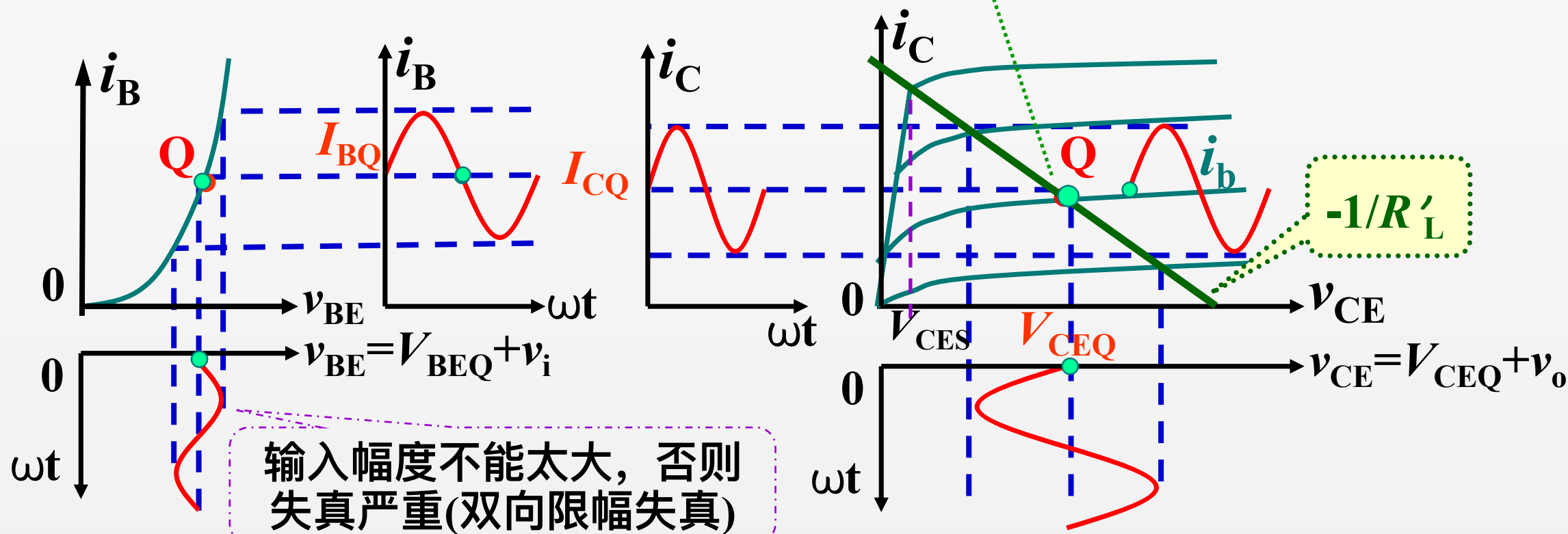
1. 确定静态工作点(方法同前)

2. 画交流负载线：过Q点、作斜率为 $-1/R'_L$ 的直线，其中 $R'_L = R_C // R_L$

3. 画波形，分析性能。

可分析指标：1. 放大倍数；
2. 最大不失真输出

$$V_{om\max} = \min \{ V_{CEQ} - V_{CES}, V_{CC} - V_{CEQ} \}$$

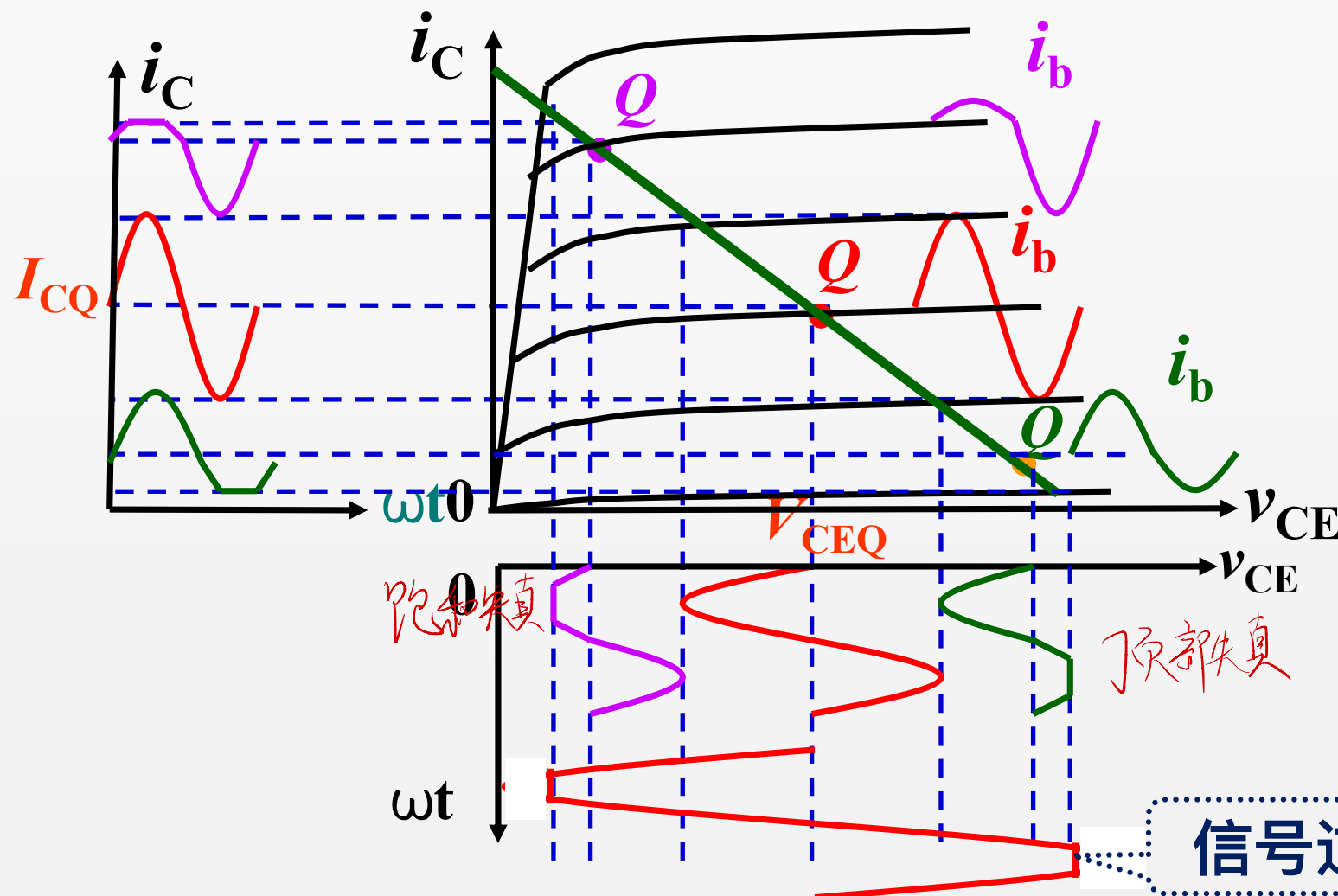


□图解法续:Q点波动对输出的影响

优点: 直观、实用, 易看出Q点设置是否合适, 波形是否产生失真。

缺点: 不适合分析含有电抗元件的复杂电路, 且在输入信号过小时作图精确度降低。

Q点波动对输出波形的影响:



当 I_C 、 I_B 太大, 会产生
饱和失真(输出平底)
可 $\uparrow R_B$ 来减小失真

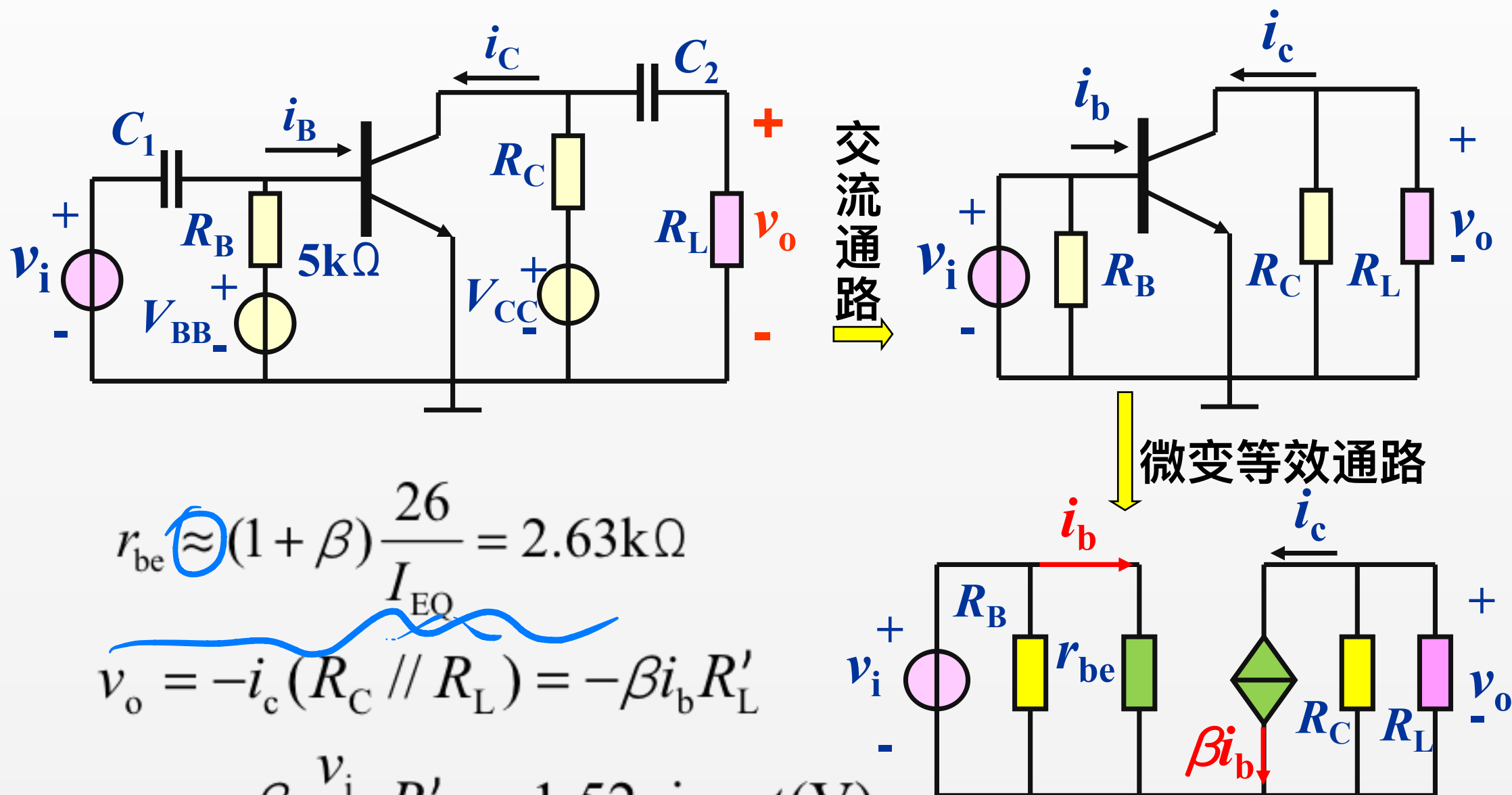
当 I_C 、 I_B 太小, 会产生
截止失真(顶端变形)
可 $\downarrow R_B$ 来减小失真

为获得最大不失真
输出, 静态工作点应
设置在交流负载线
的中点。

信号过大: 产生了双向限幅失真

微变等效电路分析举例

已知 $I_{CQ}=1\text{mA}$, $\beta=100$, $v_i=20\sin\omega t(\text{mV})$, 试画出图示电路的交流通路及交流等效电路, 并计算 v_o 。



$$r_{be} \approx (1 + \beta) \frac{26}{I_{EQ}} = 2.63\text{k}\Omega$$

$$v_o = -i_c (R_C \parallel R_L) = -\beta i_b R'_L$$

$$= -\beta \frac{v_i}{r_{b'e}} R'_L = -1.52 \sin \omega t (\text{V})$$

作业: P₇₄习题3-10、3-8、3-12

3.4 运用目标、非线性元器件的区域特性和分析方法的选取

要点：

管子工作于放大状态，且小信号情况下，非线性管子近似看做线性器件，利用叠加定理，将交、直流分开分析。

具体步骤：

- (1) 直流通路，工作点分析计算
- (2) 交流通路：性能指标分析计算

3.4 运用目标、非线性元器件的区域特性和分析方法的选取

要点：

管子工作于放大状态，且小信号情况下，非线性管子近似看做线性器件，利用叠加定理，将交、直流分开分析。

具体步骤：

- (1) 直流通路，工作点分析计算
- (2) 交流通路：性能指标分析计算