

## 四、互补对称功率放大电路

由一对**特性及参数完全相同**的**NPN**和

**PNP**采用**共集电极接法**，上下拼接而成

### 1、双电源互补对称功放（OCL功放）

特点：两个电路工作在乙类状态。

(1) 静态分析  $\rightarrow V_B = V_E = 0$

两个管子的发射结都没有正偏

$I_B = 0, I_C = 0 \rightarrow$ 没有静态损耗  $\rightarrow \eta$ 最大

只有加入交流信号后，直流电源才供能

(2) 动态分析 共集电极接法  $\rightarrow u_o \approx u_i$

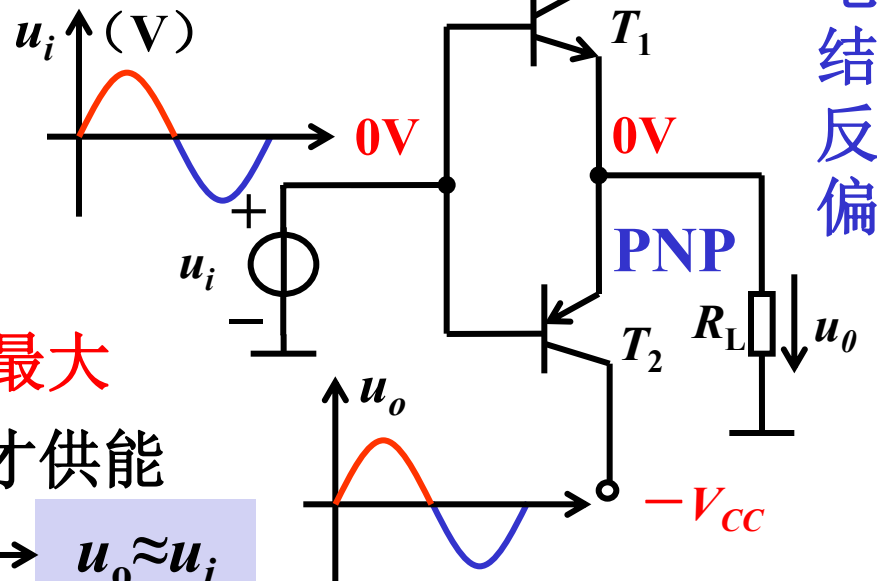
① 正半周期  $\rightarrow V_B > V_E \rightarrow$  **NPN工作PNP截止**  $\rightarrow +V_{CC}$ 提供能量给 $u_o$

② 负半周期  $\rightarrow V_B < V_E \rightarrow$  **NPN截止PNP工作**  $\rightarrow -V_{CC}$ 提供能量给 $u_o$

工作原理：利用**NPN和PNP的交替工作**来实现输出波形的不失真

$+V_{CC}$  保证NPN的 $V_C$ 最高  
 $-V_{CC}$  保证PNP的 $V_C$ 最低

输入在B  
输出在E



## 四、互补对称功率放大电路

由一对**特性及参数完全相同**的**NPN**和**PNP**采用**共集电极接法**，**上下拼接而成**

### 1、双电源互补对称功放（OCL功放）

(1) 计算**给定条件**下的 $P_o$ 、 $P_V$ 、 $\eta$ 、 $P_{T1}$

$$\text{输出功率 } P_o = U_o I_o = \frac{U_o^2}{R_L} = \frac{(U_{om}/\sqrt{2})^2}{R_L} = \frac{U_{om}^2}{2R_L}$$

问题： $U_{om}=?$  **交流量的有效值**

题型① 已知 $u_i=?$   $u_o \approx u_i$   $U_{om}=U_{im}=\sqrt{2}U_i$

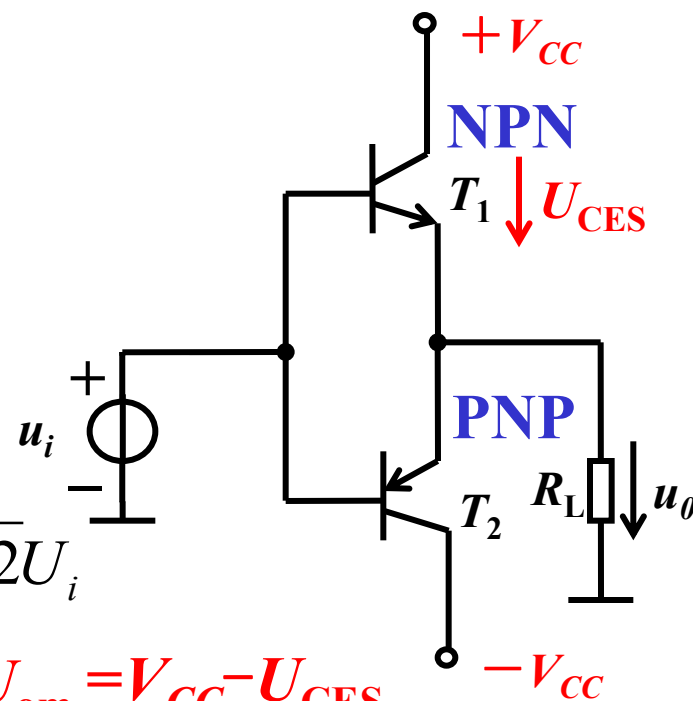
题型② 已知 $U_{CES}$ ，求最大不失真时的 $U_{om}=V_{CC}-U_{CES}$

$$\text{电源功率 } P_V = 2P_{V1} = 2(V_{CC} \times \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi I_{om} \sin \omega t d\omega t) = \frac{2V_{CC}I_{om}}{\pi} = \frac{2V_{CC}U_{om}}{\pi R_L}$$

$$\text{转换效率 } \eta = \frac{P_o}{P_V} = \frac{\pi}{4} \frac{U_{om}}{V_{CC}} \quad \text{单管管耗 } P_{T1} = \frac{P_V - P_o}{2}$$

∴ 共集电极接法

∴ 电压同相跟随



# 四、互补对称功率放大电路

由一对特性及参数完全相同的NPN和PNP采用共集电极接法，上下拼接而成

## 1、双电源互补对称功放（OCL功放）

(1) 计算给定条件下的 $P_o$ 、 $P_V$ 、 $\eta$ 、 $P_{T1}$

(2) 计算理想情况下的 $P_{om}$ 、 $P_{Vm}$ 、 $\eta_m$

忽略 $U_{CES}$   $\longrightarrow$  当 $U_{om}=V_{CC}$ 时

$$P_{om} = \frac{V_{CC}^2}{2R_L}$$

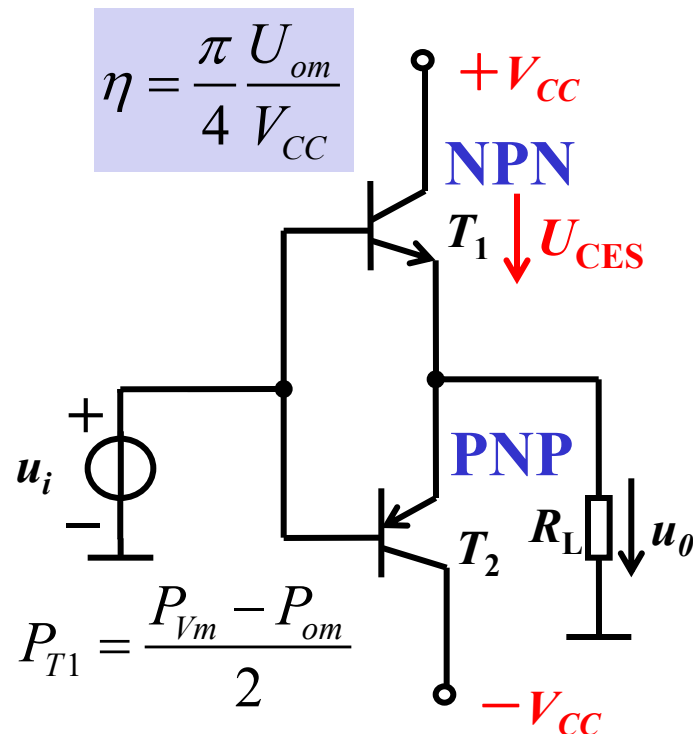
$$P_{Vm} = \frac{2V_{CC}^2}{\pi R_L}$$

$$\eta_m = \frac{\pi}{4} \approx 78.5\%$$

$$P_o = \frac{U_{om}^2}{2R_L}$$

$$P_V = \frac{2V_{CC}U_{om}}{\pi R_L}$$

$$\eta = \frac{\pi U_{om}}{4 V_{CC}}$$



注意：理想情况下的管耗 $\neq$ 最大管耗 当 $U_{om}=?$  时， $P_{T1}$ 达到最大？

$$P_{T1} = \frac{P_V - P_o}{2} = \frac{V_{CC}U_{om}}{\pi R_L} - \frac{U_{om}^2}{4R_L} \quad \frac{dP_{T1}}{dU_{om}} = \frac{V_{CC}}{\pi R_L} - \frac{U_{om}}{2R_L} \quad \text{令 } \frac{dP_{T1}}{dU_{om}} = 0$$

当 $U_{om} = \frac{2V_{CC}}{\pi} \approx 0.636V_{CC}$  时  $P_{T1}$  最大  $P_{T1m} = \frac{V_{CC}^2}{\pi^2 R_L} = \frac{2V_{CC}^2}{\pi^2 2R_L} = \frac{2}{\pi^2} P_{om} \approx 0.2P_{om}$

## 四、互补对称功率放大电路

由一对**特性及参数完全相同**的**NPN**和**PNP**采用**共集电极接法**，**上下拼接而成**

### 1、双电源互补对称功放（OCL功放）

(3) 如何选管？→ 给出T的**安全工作区** **P104**

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  $I_{CM} \geq I_{LM} = \frac{V_{CC}}{R_L}$

② 集电结反向击穿电压  $U_{(BR)CEO} \geq 2V_{CC}$

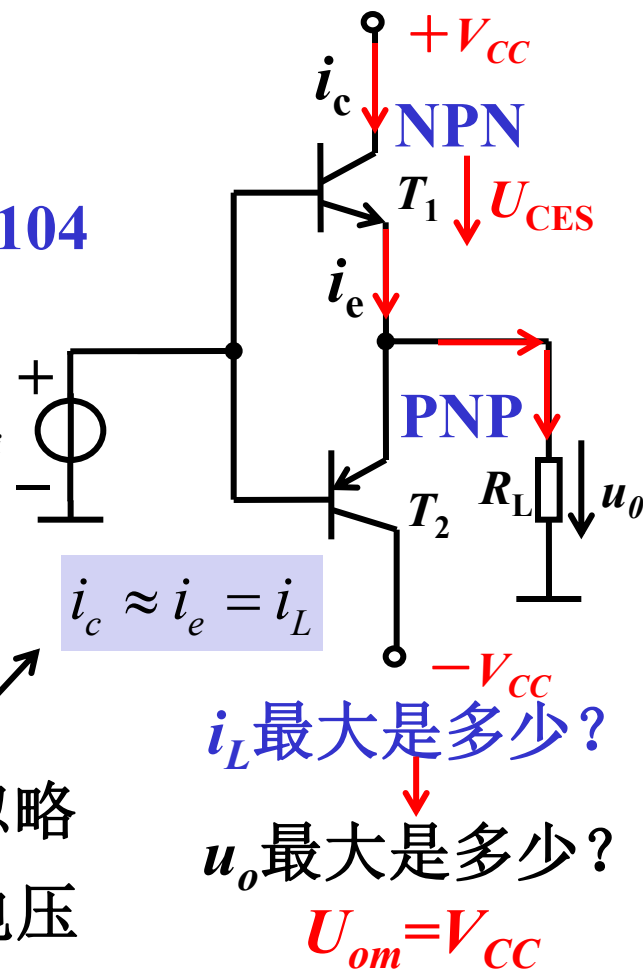
∴ 两个管**不会同时截止**而是**交替工作**

∴ 理想情况下工作的三极管的  $U_{CES}$  可忽略

∴ 每个管子截止时需承担  $2V_{CC}$  的反向电压

③ 集电结最大允许损耗功率  $P_{CM} \geq$  最大管耗  $P_{TM1} \approx 0.2P_{om}$

- ∴ 输入功放的是大电压
- ∴ 在最严重情况也不超过三极管的极限参数



例题：已知 $T_1$ 的 $U_{CES}=2V$ ,  $R_L=8\Omega$

单管 $U_{CES}$ 一般 $\leq 1V$   
复合管的 $U_{CES}>1V$

(1) 求最大不失真的 $U_{om}$ 、 $P_O$ 、 $P_V$ 、 $\eta$ 、 $P_{T1}$

(2) 求理想情况下的 $U_{om}$ 、 $P_{om}$ 、 $P_{Vm}$ 、 $\eta_m$

(3) 如何选管？

$$P_{T1} = \frac{P_V - P_O}{2} = 3.47W$$

解答过程：

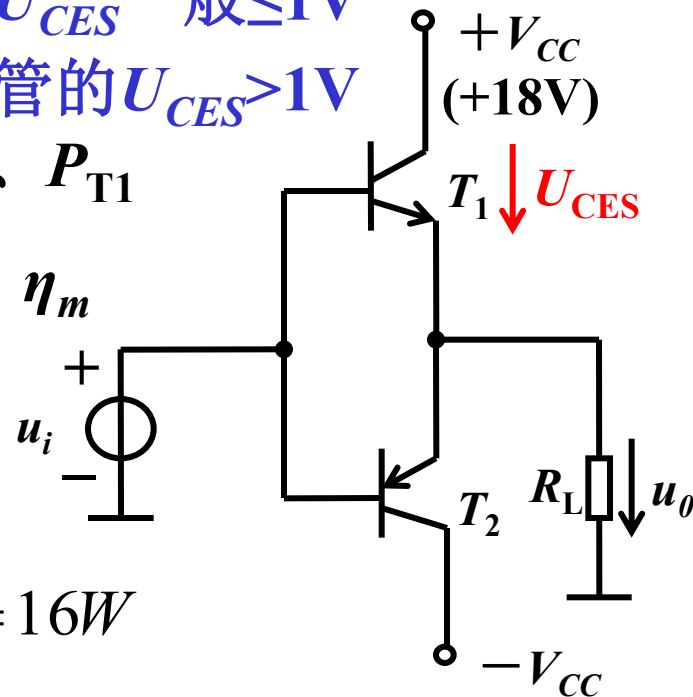
$$(1) U_{om} = V_{CC} - U_{CES} = 16V \quad P_O = \frac{U_{om}^2}{2R_L} = 16W$$

$$\pi = 3.14 \quad P_V = \frac{2V_{CC}U_{om}}{\pi R_L} = 22.93W \quad \eta = \frac{P_O}{P_V} = 69.8\% = \frac{\pi U_{om}}{4 V_{CC}}$$

$$(2) U_{om} = V_{CC} = 18V \quad P_{om} = \frac{V_{CC}^2}{2R_L} = 20.25W \quad P_{Vm} = \frac{2V_{CC}^2}{\pi R_L} = 25.80W$$

$$\eta_m = \frac{\pi}{4} \approx 78.5\%$$

$$(3) P_{CM} \geq 0.2P_{om} = 4.05W \quad I_{CM} \geq \frac{V_{CC}}{R_L} = 2.25A \quad U_{(BR)CEO} \geq 2V_{CC} = 36V$$

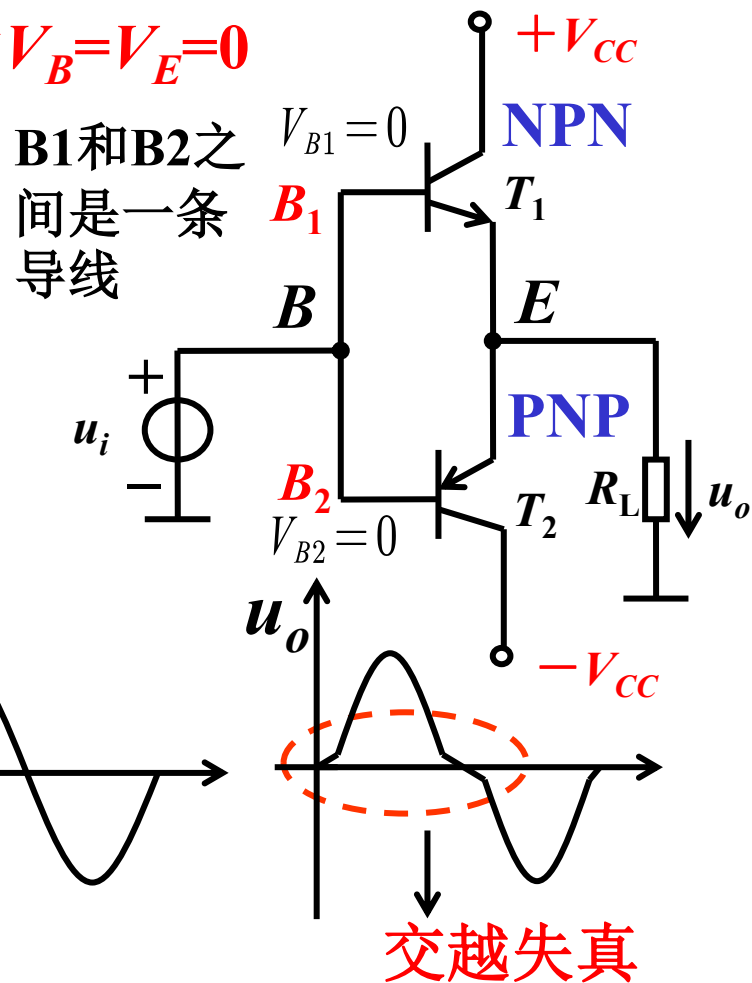
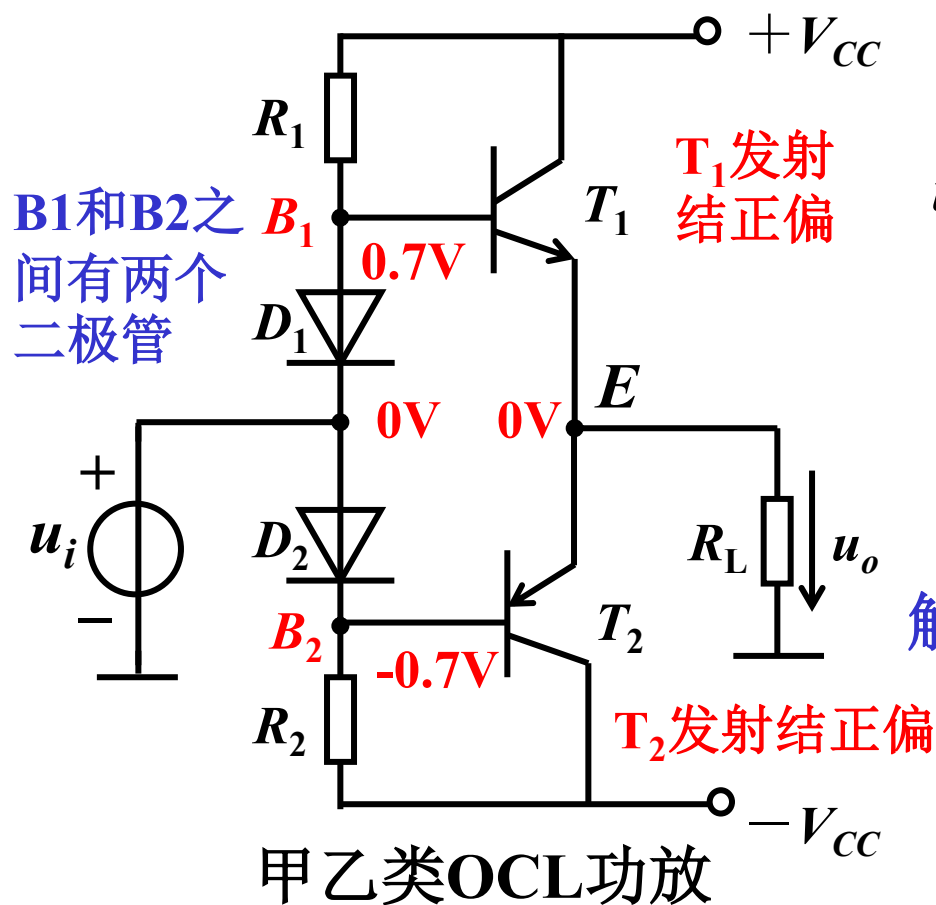


思考：乙类OCL功放的不足？ 静态时  $V_B = V_E = 0$

∴ 三极管存在死区电压 ← 失真原因

∴  $u_i > 0.7V$ ,  $T_1$  (NPN) 才开始工作

∴  $u_i < -0.7V$ ,  $T_2$  (PNP) 才开始工作



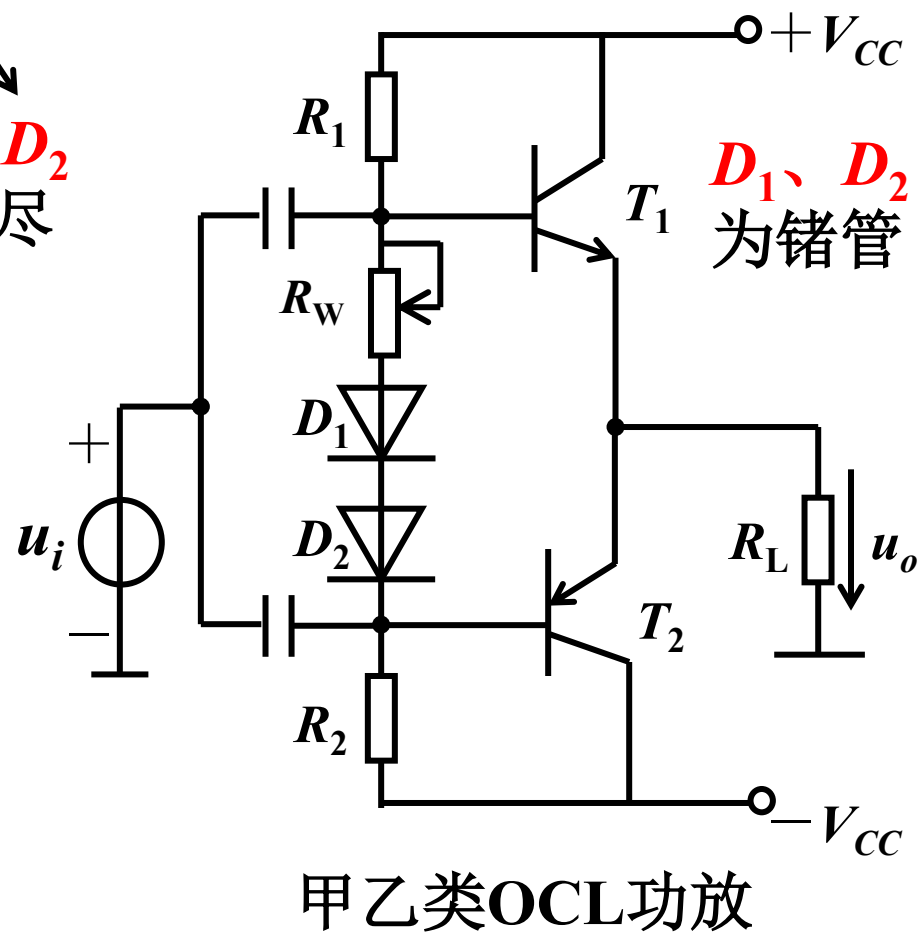
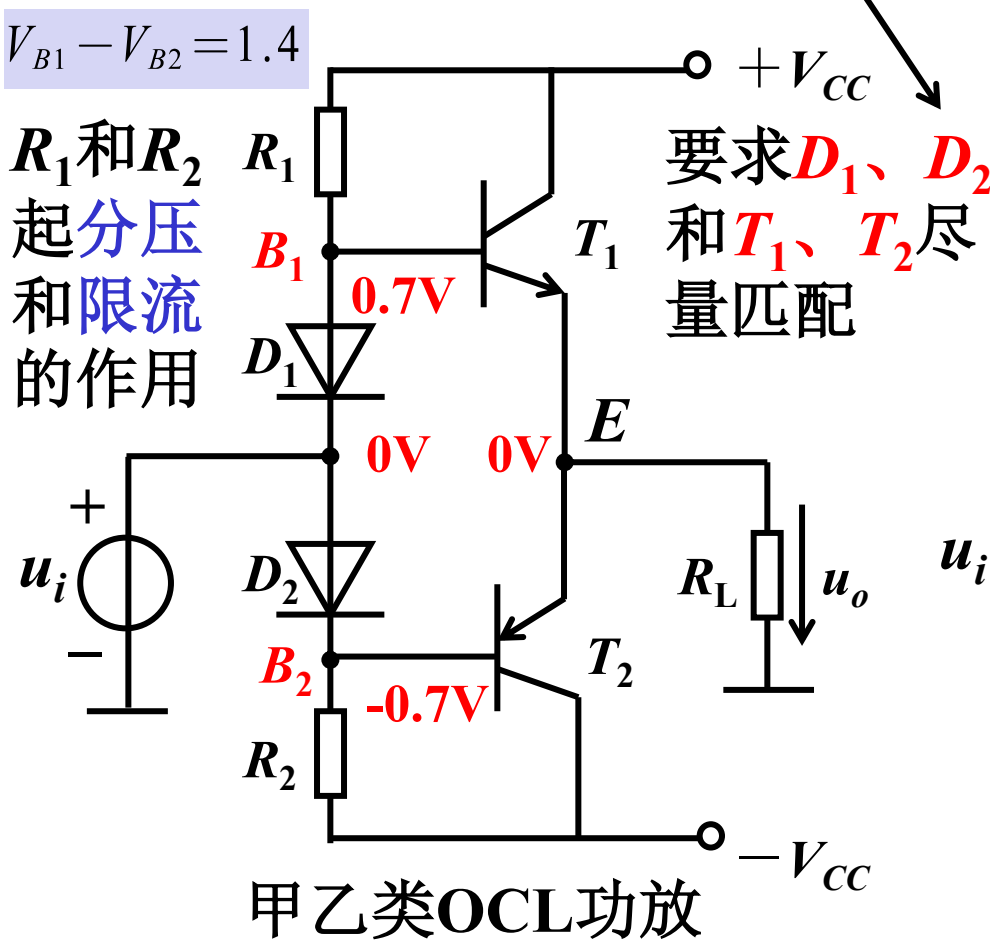
解决方法：静态时让三极管微导通

无静态损耗 → 有微小静态损耗

工作状态改为甲乙类

注意：甲乙类功放仅保证静态时 $T_1$ 、 $T_2$ 微导通，静态损耗不大，因此计算时仍然采用乙类计算公式。

静态时，通过 $D_1$ 、 $D_2$ 微导通，保证 $T_1$ 、 $T_2$ 微导通，克服交越失真  
 $T_1$ 和 $T_2$ 间的基极电位差设置成可调，克服交越失真效果更好



## 四、互补对称功率放大电路

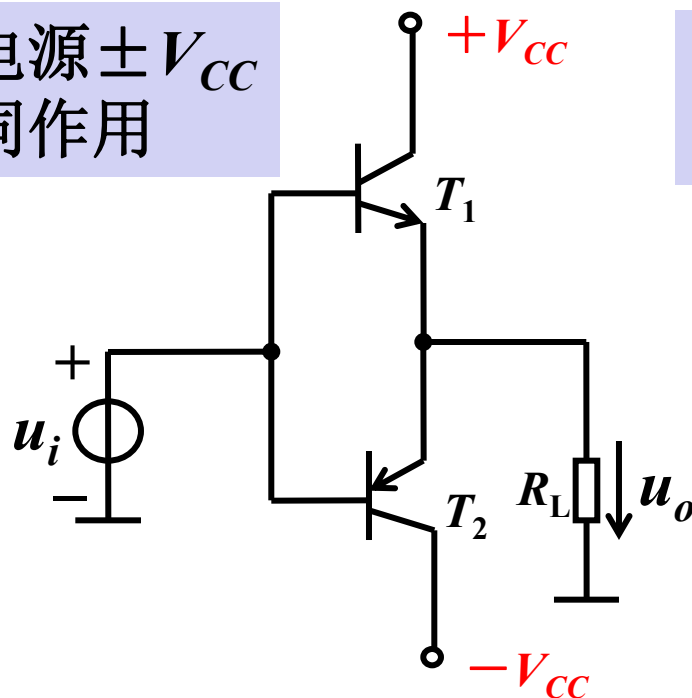
### 1、双电源互补对称功放(OCL功放)

特点：需要两个直流电源共同作用

思考：如何减少电源个数？ $\rightarrow$  利用大电容代替另一个电源

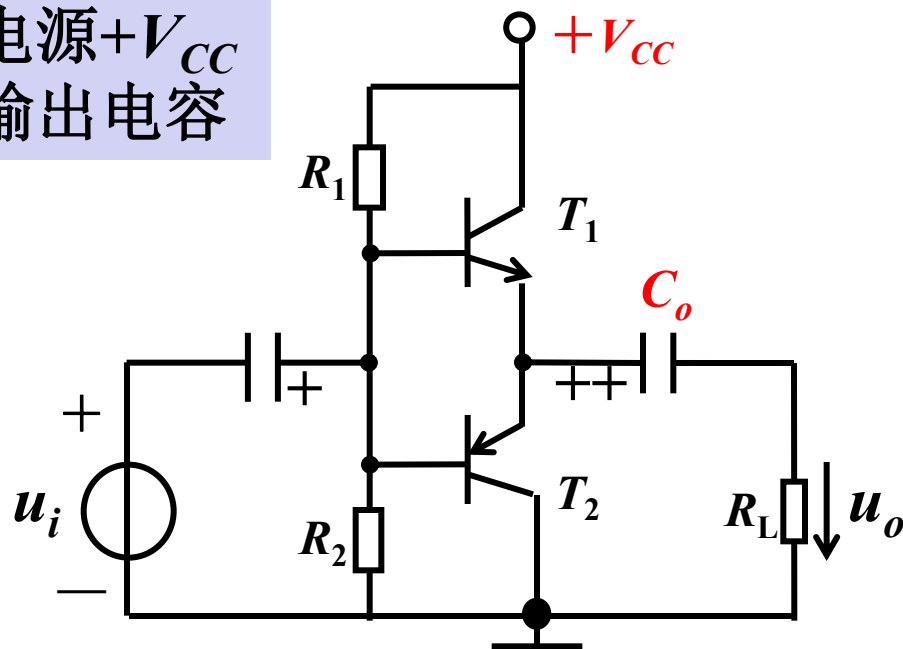
### 2、单电源互补对称功放(OTL功放)

双电源 $\pm V_{CC}$   
共同作用



OCL功放

单电源 $+V_{CC}$   
和输出电容



OTL功放

保证两管集电结反偏

①  $+V_{CC}$  保证NPN的 $V_C$ 最高  
②  $-V_{CC}$  保证PNP的 $V_C$ 最低

② 交替提供能量给输出端



## OTL功放的工作原理 利用电容的储能性质代替负电源工作

(1) 静态分析 → 利用对称性或调节的方式保证  $V_B = V_E = V_{CC}/2$

NPN:  $V_C = +V_{CC} > V_B$  PNP:  $V_C = 0 < V_B$  → 两管集电结反偏  
上下电路处于乙类状态 ←  $I_B = 0, I_C = 0$  ← 发射结没有正偏

(2) 动态分析 结论2: OTL功放可以等效成  $\pm V_{CC}/2$  的OCL功放

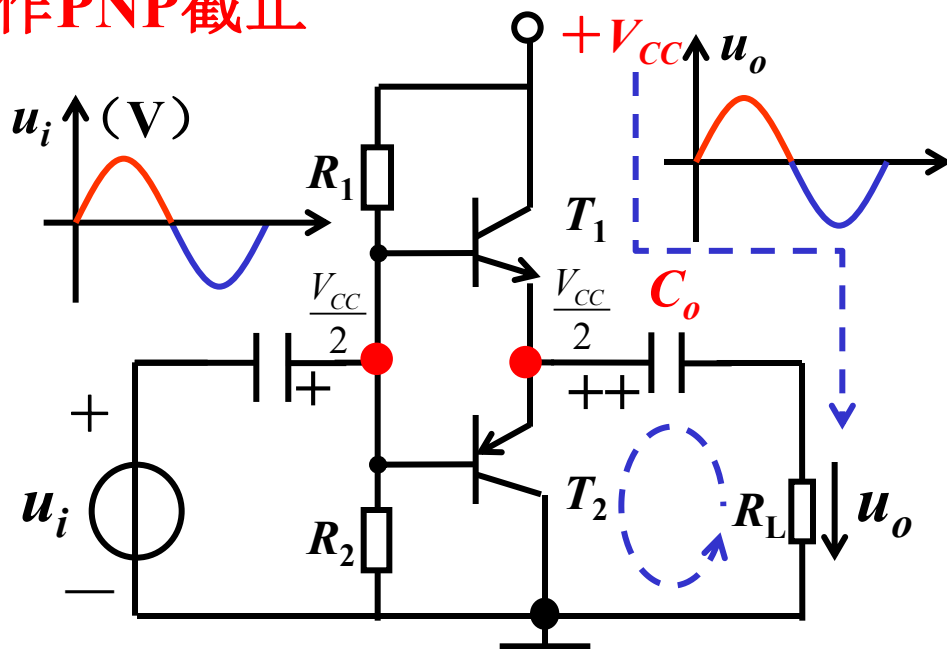
① 正半周期 →  $V_B > V_E$  → NPN工作PNP截止

$+V_{CC}$  只提供  $\frac{V_{CC}}{2}$  的能量给  $u_o$   
剩下  $\frac{V_{CC}}{2}$  的能量储存在电容  $C_0$

② 负半周期 →  $V_B < V_E$

NPN截止PNP工作

由电容  $C_0$  提供  $\frac{V_{CC}}{2}$  能量给  $u_o$



结论1: OTL功放的工作原理与OCL相同

OTL功放

# OTL 功放 计算

- (1) 计算给定条件下的  $U_{om}$ 、 $P_O$ 、 $P_V$ 、 $\eta$
- (2) 计算理想情况下的  $U_{om}$ 、 $P_{Om}$ 、 $P_{Vm}$ 、 $\eta_m$
- (3) 单管的  $P_{CM}$ 、 $I_{CM}$ 、 $U_{(BR)CEO}$  如何选择?

把OCL所有公式的  $V_{CC} \rightarrow \frac{V_{CC}}{2}$

技巧: 令  $V_{CC}' = \frac{V_{CC}}{2} \rightarrow$  把OCL所有公式中的  $V_{CC}$  改成  $V_{CC}'$

- (1) 计算给定条件下的  $U_{om}$ 、 $P_O$ 、 $P_V$ 、 $\eta$   $u_i = 10 \sin \omega t$

题型① 已知  $u_i = ?$  共集电极接法  $\rightarrow u_o \approx u_i$   $U_{om} = U_{im} = \sqrt{2}U_i$

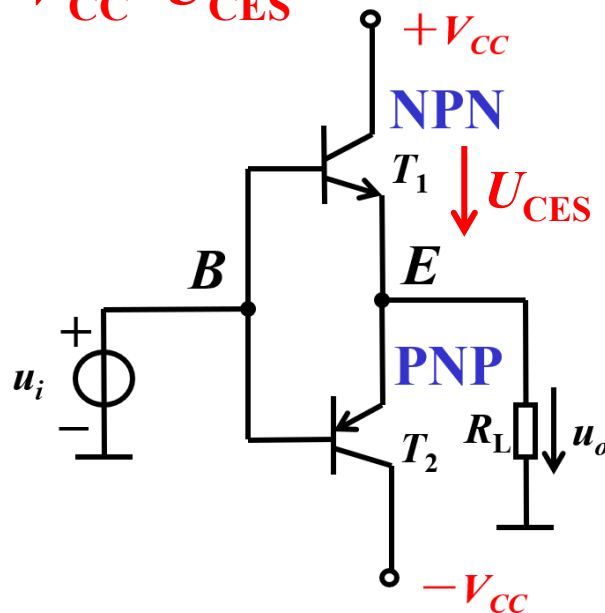
题型② 已知  $U_{CES}$ , 求最大不失真时的  $U_{om} = V_{CC}' - U_{CES}$

$$P_O = \frac{U_{om}^2}{2R_L} \quad P_V = \frac{2V_{CC}'U_{om}}{\pi R_L} \quad \eta = \frac{P_O}{P_V} = \frac{\pi U_{om}}{4V_{CC}'}$$

- (2) 理想情况: 忽略  $U_{CES}$ , 当  $U_{om} = V_{CC}'$  时

$$P_{Om} = \frac{V_{CC}'^2}{2R_L} \quad P_{Vm} = \frac{2V_{CC}'^2}{\pi R_L} \quad \eta_m = \frac{\pi}{4} \approx 78.5\%$$

- (3)  $P_{CM} \geq 0.2P_{om}$   $U_{(BR)CEO} \geq 2V_{CC}'$   $I_{CM} \geq \frac{V_{CC}'}{R_L}$



例题：已知  $U_i=1V$ ， $R_L=3.5\Omega$

(1) 求  $U_{om}$ 、 $P_O$ 、 $P_V$ 、 $\eta$

(2) 求理想的  $P_{om}$ 、 $P_{Vm}$ 、 $\eta_m$

(3) 如何选管？

$$\text{令 } V_{CC}' = \frac{V_{CC}}{2} = 3V$$

$$(1) \quad U_{om} = U_{im} = \sqrt{2}V$$

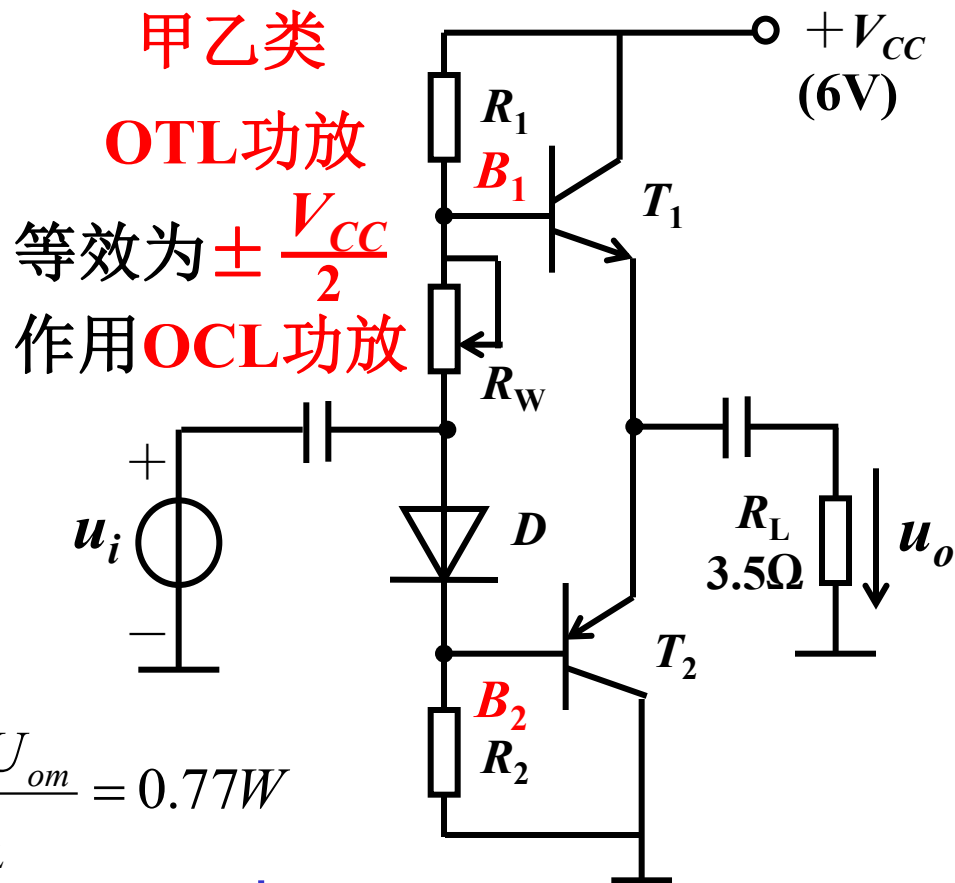
$$P_O = \frac{U_{om}^2}{2R_L} = 0.286W$$

$$P_V = \frac{2V_{CC}'U_{om}}{\pi R_L} = 0.77W$$

$$\eta = \frac{P_O}{P_V} = 37\% = \frac{\pi U_{om}}{4 V_{CC}'}$$

$$(2) \quad U_{om} = V_{CC}' = 3V \quad P_{om} = \frac{V_{CC}'^2}{2R_L} = 1.29W$$

$$P_{Vm} = \frac{2V_{CC}'^2}{\pi R_L} = 1.64W \quad \eta_m = \frac{\pi}{4} \approx 78.5\%$$



$$(3) \quad I_{CM} \geq \frac{V_{CC}'}{R_L} = 0.86A$$

$$U_{(BR)CEO} \geq 2V_{CC}' = 6V$$

$$P_{CM} \geq 0.2P_{om} = 0.258W$$

## 四、互补对称功率放大电路

特点：利用一对特性及参数完全相同的NPN和PNP型三极管，采用共集电极接法，上下拼接而成。

$$P_o = U_o I_o \quad i_e = (1 + \beta) i_b$$

问题1：难以实现NPN和PNP完全对称 问题2：单管的 $\beta$ 值不够大

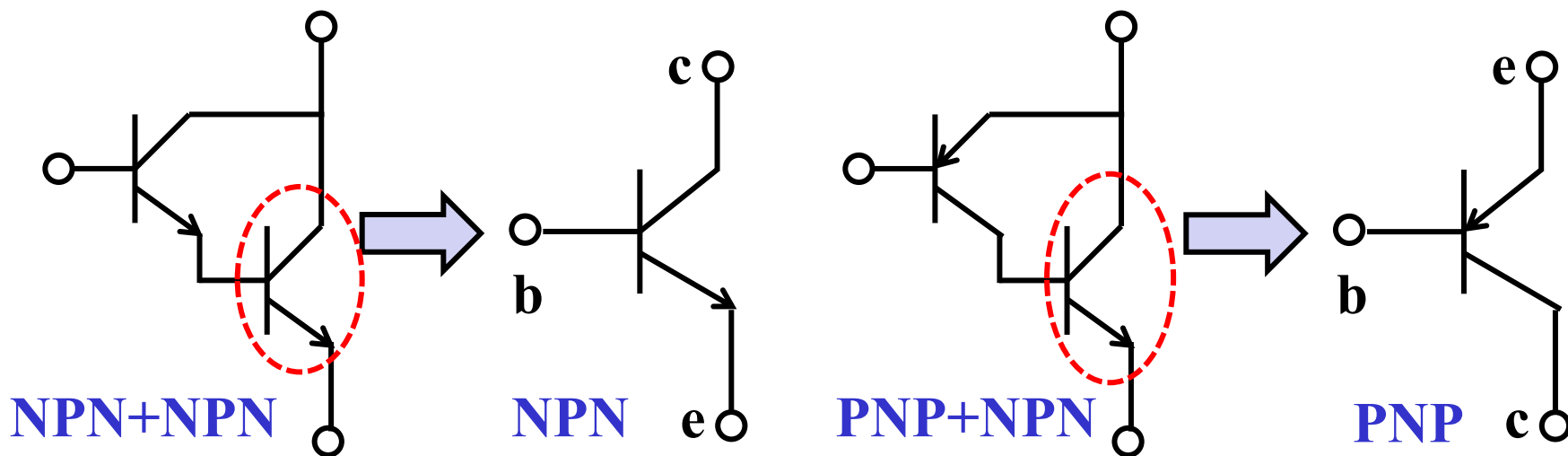
## 五、复合管准互补对称功率放大电路 P194-195

复合管：利用两个三极管组合成一个等效三极管

结论：等效三极管的类型由复合管的第一级决定

$$\beta \approx \beta_1 \beta_2$$

第一级采用不同类型的小功率管，第二级采用相同的大功率管



**P198 6-5** 某学生设计的**OTL功放**电路：

(1) 为实现输出最大幅值正负对称，

静态时A点的电位应为多大？  $V_A = \frac{V_{CC}}{2}$

**复合管的第二级用相同的管保证对称性**

(2) 若 $U_{CE3}$ 和 $U_{CE5}$ 的最小值约为3V，

求最大不失真时的 $P_O$ 、 $P_V$ 、 $\eta$ ？

**OTL功放** → 令 $V_{CC}' = \frac{V_{CC}}{2} = 10V$

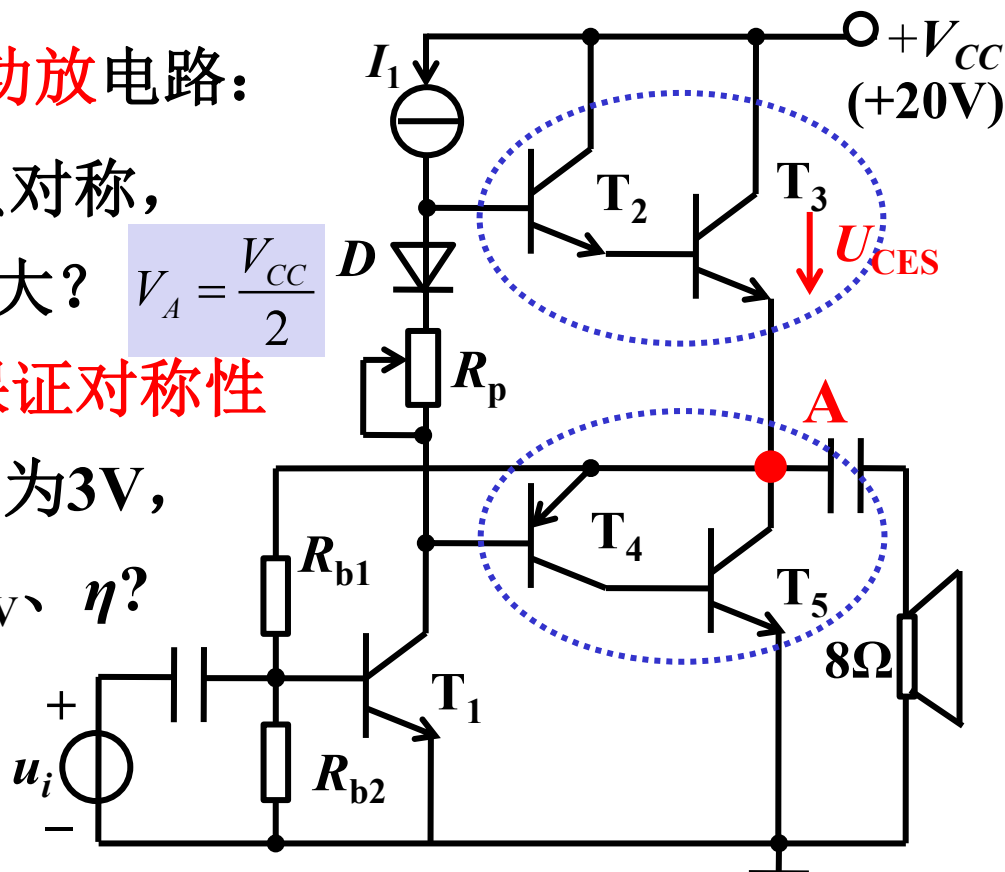
$$U_{om} = V_{CC}' - U_{CES} = 7V$$

$$P_O = \frac{U_{om}^2}{2R_L} = \frac{49}{16} \approx 3.06W \quad P_V = \frac{2V_{CC}'U_{om}}{\pi R_L} = \frac{35}{2\pi} \approx 5.57W \quad \eta = \frac{P_O}{P_V} = \frac{\pi U_{om}}{4V_{CC}'} = \frac{7\pi}{40} \approx 54.95\%$$

提示： $T_2$ 、 $T_3$ 构成了复合管，可等效成一个NPN管；

$T_4$ 、 $T_5$ 构成了复合管，可等效成一个PNP管。

$T_1$ 采用共发射极接法，目的在于放大 $u_i$



**P198 6-5 某学生设计的OTL功放电路：**

(1) 为实现输出最大幅值正负对称，

静态时A点的电位应为多大？  $V_A = \frac{V_{CC}}{2}$

**复合管的第二级用相同的管保证对称性**

(2) 若 $U_{CE3}$ 和 $U_{CE5}$ 的最小值约为3V，

求最大不失真时的 $P_O$ 、 $P_V$ 、 $\eta$ ？

**OTL功放** → 令 $V_{CC}' = \frac{V_{CC}}{2} = 10V$

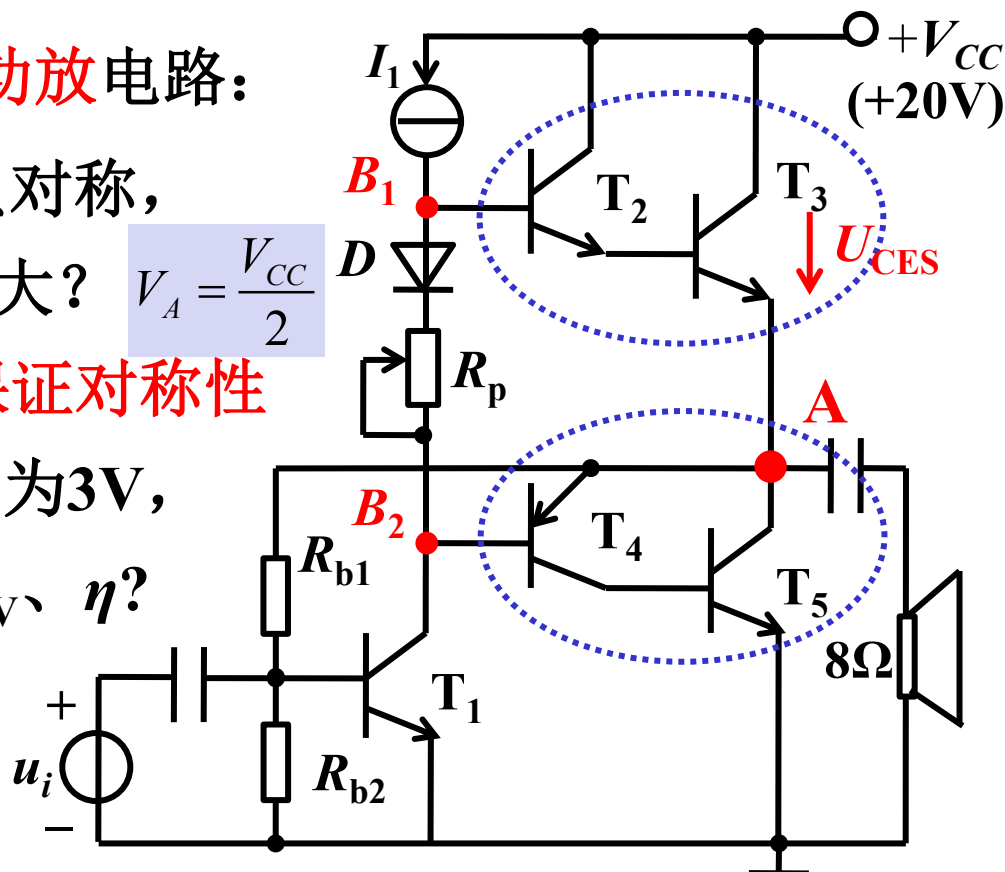
$$U_{om} = V_{CC}' - U_{CES} = 7V$$

$$P_O = \frac{U_{om}^2}{2R_L} = \frac{49}{16} \approx 3.06W \quad P_V = \frac{2V_{CC}'U_{om}}{\pi R_L} = \frac{35}{2\pi} \approx 5.57W \quad \eta = \frac{P_O}{P_V} = \frac{\pi U_{om}}{4V_{CC}'} = \frac{7\pi}{40} \approx 54.95\%$$

(3)  $T_3$ 和 $T_5$ 的 $P_{CM}$ 、 $I_{CM}$ 、 $U_{(BR)CEO}$ 如何选？  $P_{CM} \geq 1.25W$

$$I_{CM} \geq \frac{V_{CC}'}{R_L} = 1.25A \quad U_{(BR)CEO} \geq 2V_{CC}' = 20V \quad P_{CM} \geq 0.2P_{om} \neq 0.2P_o$$

(4)  $D$ 和 $R_p$ 的作用？ → 克服交越失真



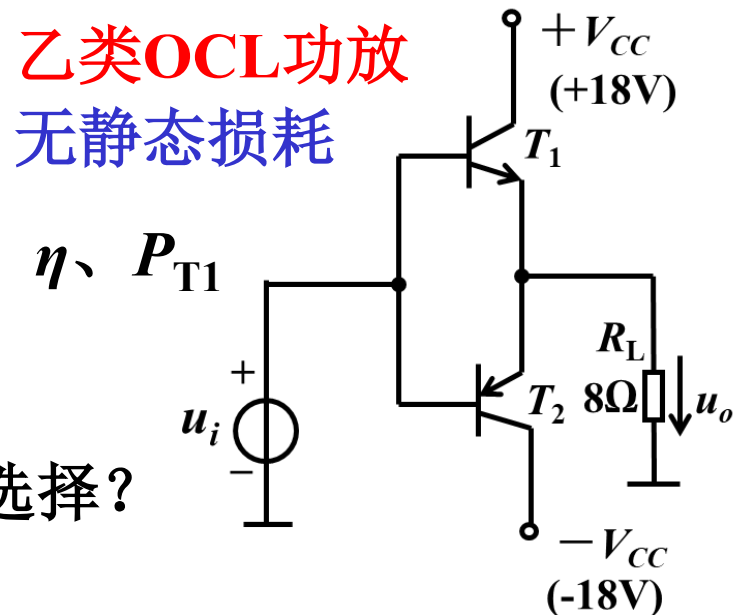
# 作业1 P198 6-3、6-2

6-3 电路如右图所示

(1) 已知  $u_i = 10\sin\omega t$ , 求此时的  $P_O$ 、 $P_V$ 、 $\eta$ 、 $P_{T1}$

(2) 求理想情况下的  $P_{om}$ 、 $P_{Vm}$ 、 $\eta_m$

(3)  $T_1$ 、 $T_2$  的  $P_{CM}$ 、 $I_{CM}$ 、 $U_{(BR)CEO}$  如何选择?



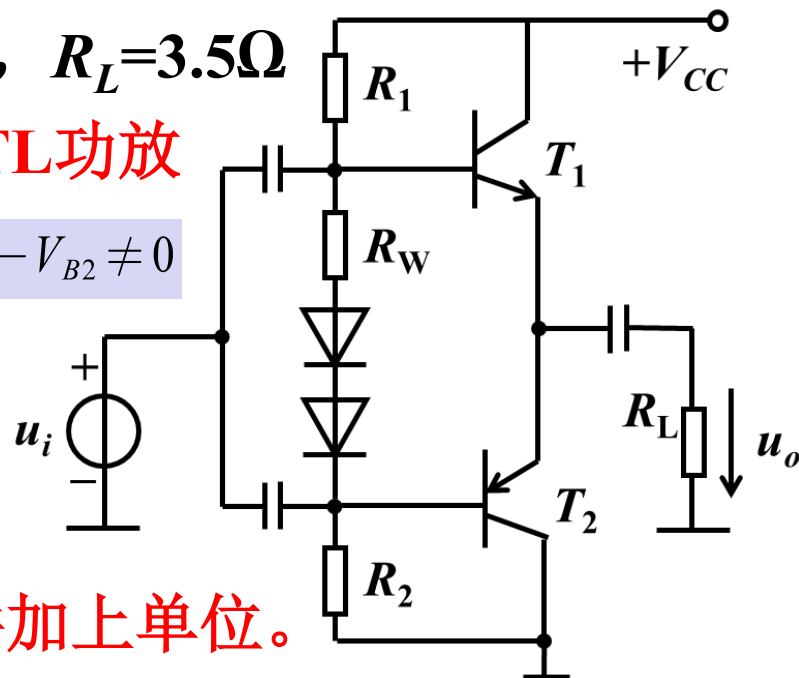
6-2 电路如右图所示, 已知  $V_{CC}=18V$ ,  $R_L=3.5\Omega$

(1) 已知  $U_{CES}=2V$ ,

求最大不失真时的  $P_O$ 、 $P_V$ 、 $\eta=?$   $V_{B1} - V_{B2} \neq 0$

(2) 理想情况下的  $P_{om}$ 、 $P_{Vm}$ 、 $\eta_m$ ?

(3)  $P_{CM}$ 、 $I_{CM}$ 、 $U_{(BR)CEO}$  如何选择?



要求: 先写公式, 再带入数据计算并加上单位。

## 作业2：实验七预习

请针对右图电路回答以下问题：

1、该电路的名称是（ ）功率放大电路。

- A、乙类 OCL      B、甲乙类 OCL  
C、乙类 OTL      D、甲乙类 OTL

2、该电路通常作为多级放大电路的（ ）。

- A、输入级      B、中间级      C、输出级

3、从图标箭头可判断  $T_1$  和  $T_2$  分别是（ ）和（ ）类型的三极管；它们均采用（ ）接法。

- A、共发射极      B、共基极      C、共集电极

4、该电路的工作原理是什么？

5、当 S1 打开时，若已知二极管的管压降  $U_D=0.8V$ ，请估算  $T_1$  管的  $V_C=(?)V$ ， $V_B=(?)V$ ， $V_E=(?)V$ ； $T_2$  管的  $V_E=(?)V$ ， $V_B=(?)V$ ， $V_C=(?)V$ 。

6、当 S1 闭合后，若已知  $U_{im}=6V$ ，请估算以下物理量的值：（要求先写公式后带入数据计算）

1) 求此时的输出功率  $P_O$ 、电源功率  $P_V$ 、转换效率  $\eta$

2) 求理想情况下的  $P_{om}$ 、 $P_{Vm}$ 、 $\eta_m$

3)  $T_1$ 、 $T_2$  的  $P_{CM}$ 、 $I_{CM}$ 、 $U_{(BR)CEO}$  如何选择？

