

Power Amplifier

功率放大电路

第9章 功率放大电路

第1-4节 功率放大电路

内容

功放
的一般
问题

甲类放
大的实
例

乙类双
电源互
补对称
功放

甲乙类
互补对
称功放

01

02

03

04

一、功放的一般问题



失真低

效率高

带负载能力强

输出功率高

三高一低



信号
提取

电压
放大

功率
放大

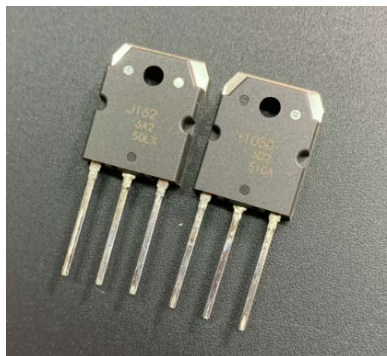


一、功放的一般问题

1、功率放大电路特点

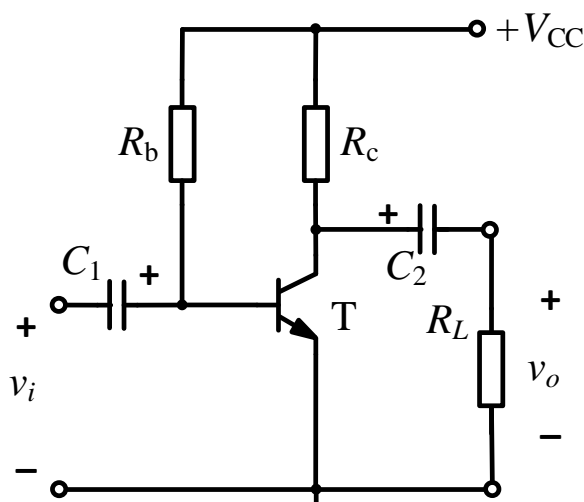
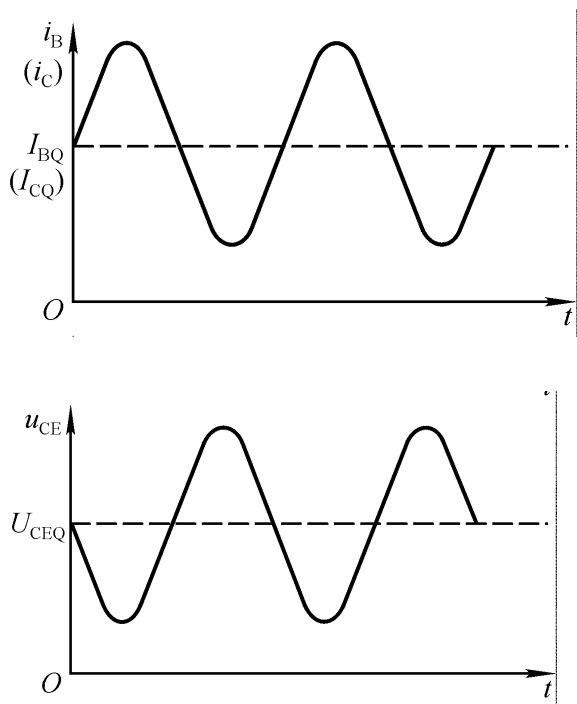
功率放大电路是一种以**输出较大功率**为目的的放大电路。

因此，要求同时输出较大的电压和电流。管子工作在接近**极限状态**。



功率放大电路与之前学习的电压放大电路有本质上的区别吗？

2、功率放大电路提高效率的主要途径



共射放大电路

电源提供能量

热量

输出功率

效率过低!!!

怎么办?

2、功率放大电路提高效率的主要途径

- 降低静态功耗，即减小静态电流

三种工作状态

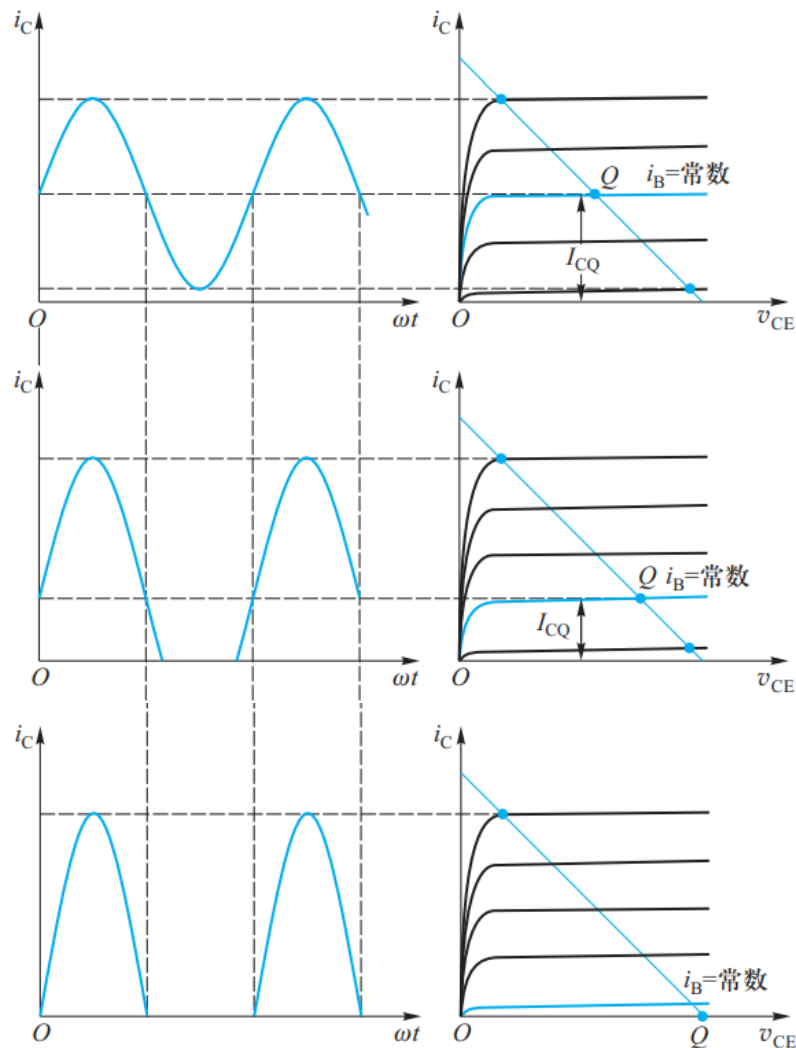
甲类

一个周期内
全导通

甲乙类

导通角大于
 180°

乙类

导通角等于
 180° 

内容

功放
的一般
问题

甲类放
大的实
例

乙类双
电源互
补对称
功放

甲乙类
互补对
称功放

01

02

03

04

二、甲类放大的实例

用哪种组态的BJT放大电路构成功放？

射极输出器：电压增益近似为1，电流增益很大，可获得较大的功率增益，输出电阻小，带负载能力强。

例9.2.1 最大输出功率

$$P_{\text{om}} = \left(\frac{V_{\text{om}}}{\sqrt{2}} \right)^2 / R_L = 13.69 \text{ W}$$

电源提供的功率

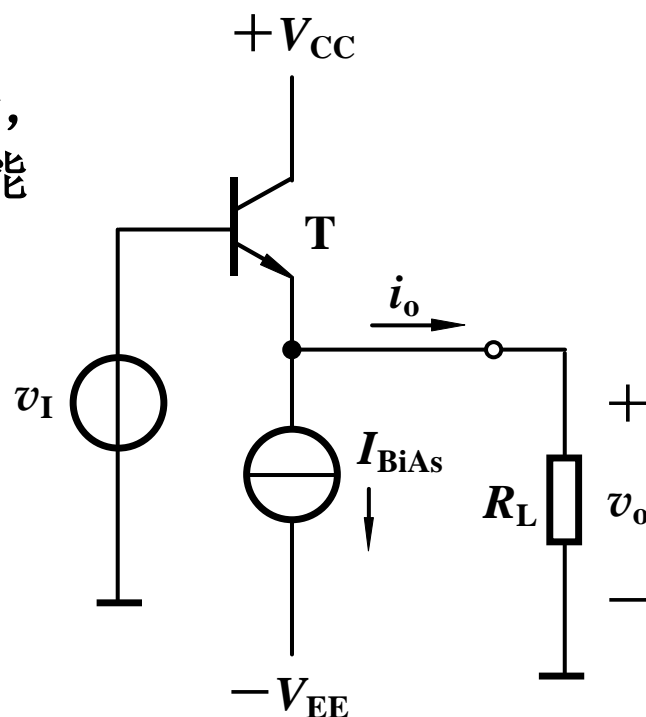
$$P_{\text{VC}} = V_{\text{CC}} I_{\text{BIAS}} = 27.75 \text{ W}$$

$$P_{\text{VE}} = V_{\text{EE}} I_{\text{BIAS}} = 27.75 \text{ W}$$

放大器的效率

$$\eta = \frac{P_{\text{om}}}{(P_{\text{VC}} + P_{\text{VE}})} \times 100\% \approx 24.7\%$$

效率低



如何构建乙类功放？

内容

功放
的一般
问题

甲类放
大的实
例

乙类双
电源互
补对称
功放

甲乙类
互补对
称功放

01

02

03

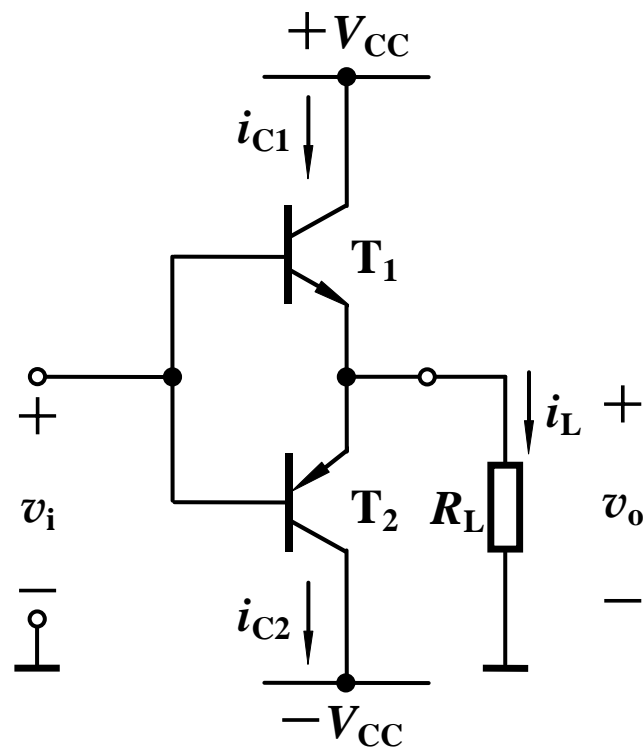
04

1. 电路组成

由一对NPN、PNP特性相同的互补三极管组成，采用正、负双电源供电。这种电路也称为OCL（**O**utput **C**apacitor**l**ess）互补功率放大电路。

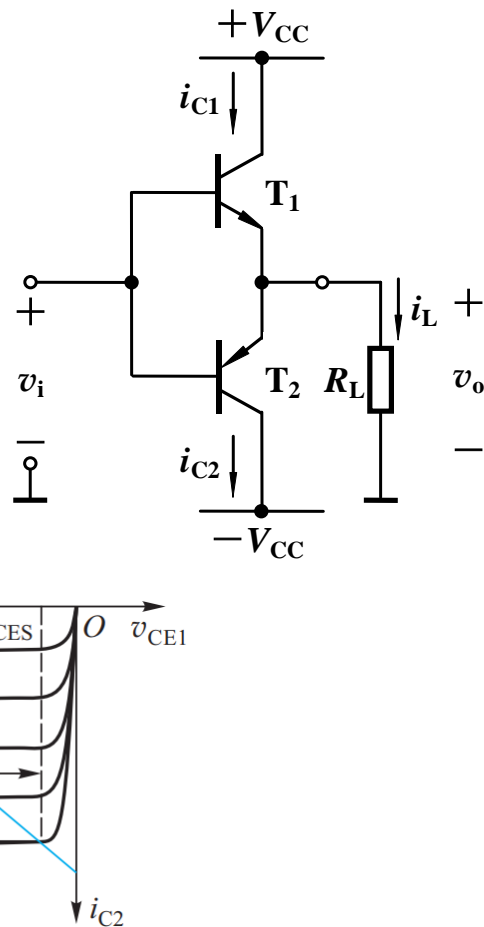
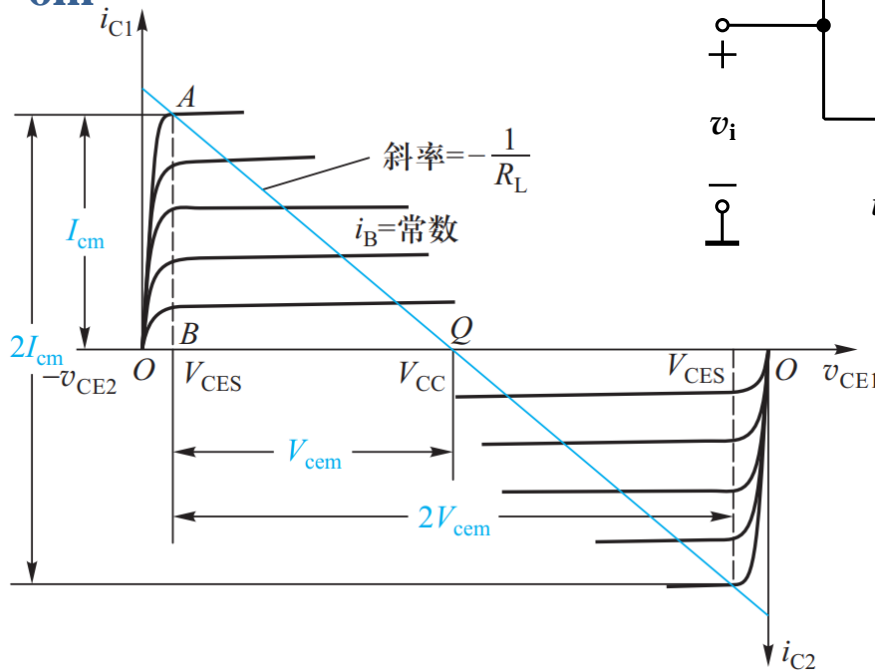
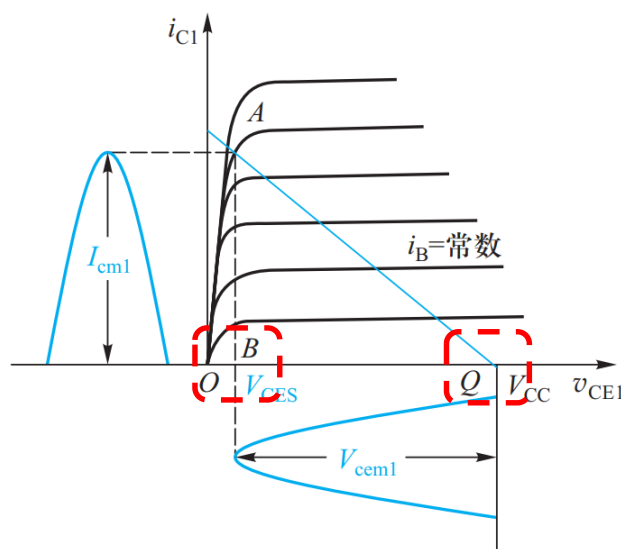
2. 工作原理

两个三极管在信号正、负半周轮流导通，使负载得到一个完整的波形。



3. 效率分析

(1) 最大输出电压 V_{om}



V_{CES} ——三极管在饱和区工作时集电极与发射极之间的饱和压降

理想情况下忽略三极管压降，此时有最大输出电压 $V_{om} = V_{CC} - V_{CES} \approx V_{CC}$

三、乙类双电源互补对称功放

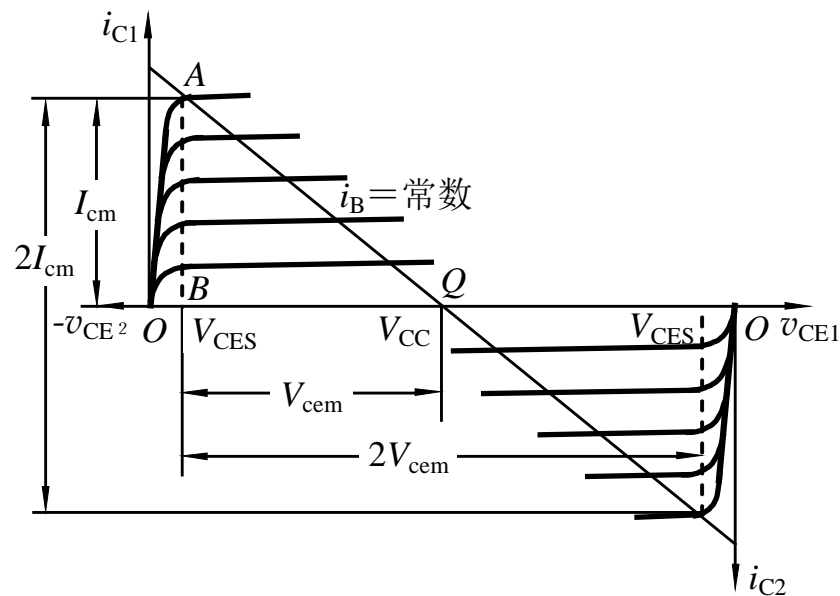
1) 最大不失真输出功率 P_{omax}

$$P_{\text{omax}} = \frac{\left(\frac{V_{\text{CC}} - V_{\text{CES}}}{\sqrt{2}}\right)^2}{R_{\text{L}}} = \frac{(V_{\text{CC}} - V_{\text{CES}})^2}{2R_{\text{L}}}$$

忽略 V_{CES} 时 $P_{\text{omax}} \approx \frac{V_{\text{CC}}^2}{2R_{\text{L}}}$

实际输出功率

$$P_{\text{o}} = V_{\text{o}} I_{\text{o}} = \frac{V_{\text{om}}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{V_{\text{om}}}{\sqrt{2} \cdot R_{\text{L}}} = \frac{V_{\text{om}}^2}{2R_{\text{L}}}$$

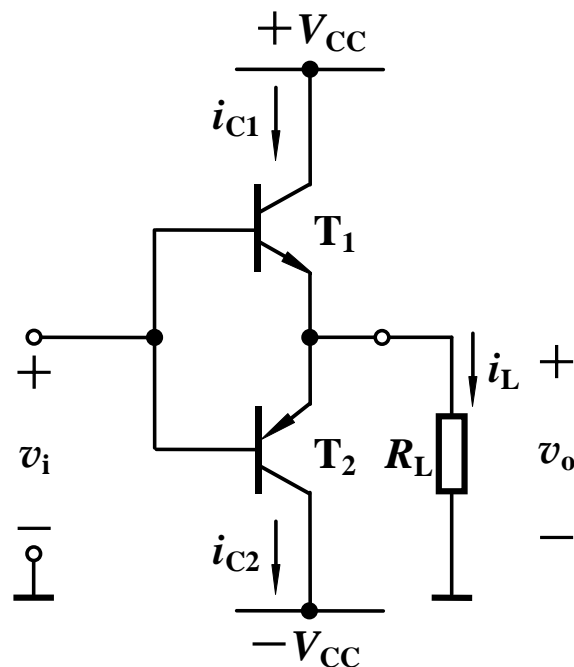


三、乙类双电源互补对称功放

思考

某乙类双电源互补对称功率放大电路如图所示：

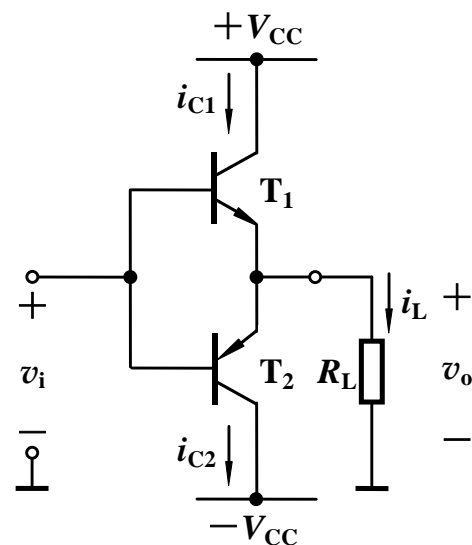
管子的饱和压降忽略不计。 $V_{CC}=20V$ ， $R_L=8\Omega$ ，试计算（1）在输入 $V_i=10V$ （有效值）时，电路的输出功率；（2）电路的最大输出功率，对应的输入 V_i （有效值）的大小。



2) 管耗 P_T

单个管子在半周期内的管耗

$$\begin{aligned}
 P_{T1} &= \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi (V_{CC} - v_o) \frac{v_o}{R_L} d(\omega t) \\
 &= \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi (V_{CC} - V_{om} \sin \omega t) \frac{V_{om} \sin \omega t}{R_L} d(\omega t) \\
 &= \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi \left(\frac{V_{CC} V_{om}}{R_L} \sin \omega t - \frac{V_{om}^2}{R_L} \sin^2 \omega t \right) d(\omega t) \\
 &= \frac{1}{R_L} \left(\frac{V_{CC} V_{om}}{\pi} - \frac{V_{om}^2}{4} \right)
 \end{aligned}$$



两管管耗

$$P_T = P_{T1} + P_{T2} = \frac{2}{R_L} \left(\frac{V_{CC} V_{om}}{\pi} - \frac{V_{om}^2}{4} \right)$$

3) 电源供给的功率 P_V

$$P_o = \frac{V_{om}^2}{2R_L} \quad P_T = \frac{2}{R_L} \left(\frac{V_{CC}V_{om}}{\pi} - \frac{V_{om}^2}{4} \right)$$

$$P_V = P_o + P_T = \frac{2V_{CC}V_{om}}{\pi R_L}$$

$$\text{当 } V_{om} \approx V_{CC} \text{ 时, } P_{Vm} = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{V_{CC}^2}{R_L}$$

4) 效率 η

$$\eta = \frac{P_o}{P_V} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{V_{om}}{V_{CC}}$$

$$\text{当 } V_{om} \approx V_{CC} \text{ 时, } \eta = \frac{\pi}{4} \approx 78.5\%$$

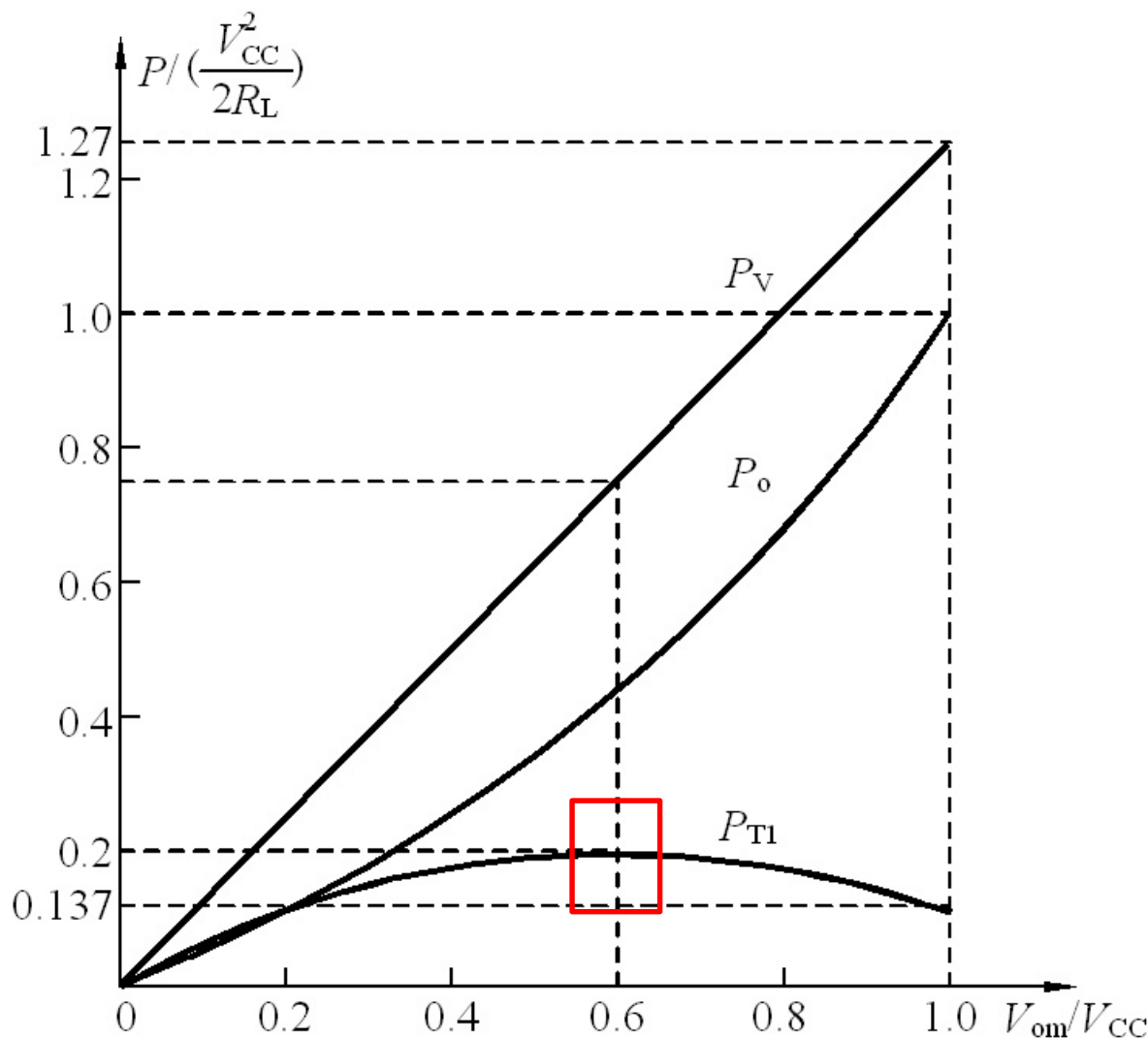
三、乙类双电源互补对称功放

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

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

$$P_T = \frac{2}{R_L} \left(\frac{V_{CC}V_{om}}{\pi} - \frac{V_{om}^2}{4} \right)$$

P403



4. 功率BJT的选择

1) 最大管耗和最大输出功率的关系

因为
$$P_{T1} = \frac{1}{R_L} \left(\frac{V_{CC} V_{om}}{\pi} - \frac{V_{om}^2}{4} \right)$$

当 $V_{om} = \frac{2}{\pi} V_{CC} \approx 0.6 V_{CC}$ 时具有最大管耗

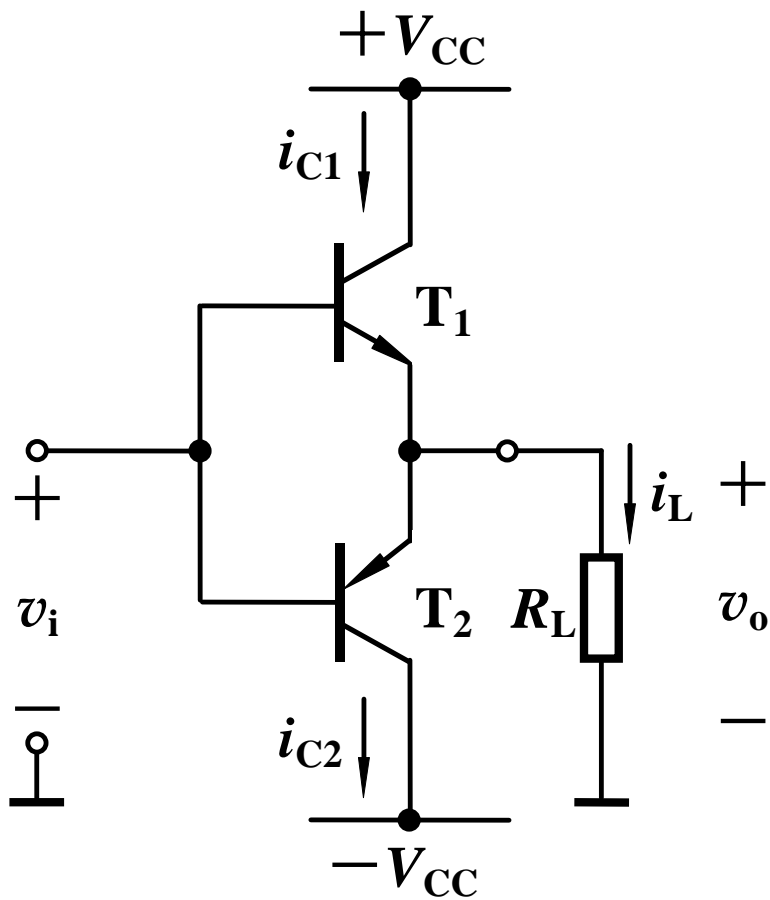
$$P_{T1m} = \frac{1}{\pi^2} \cdot \frac{V_{CC}^2}{R_L} \approx 0.2 P_{om}$$

选管依据之一

如果要求输出功率为10W，则选取管子的额定功耗高于2W即可

三、乙类双电源互补对称功放

4. 功率BJT的选择



2)

$$\left| V_{(BR)CEO} \right| > 2V_{CC}$$

（基极开路时集电极-发射极间反向击穿电压）

T_2 管导通时，极限状态下 v_{CE2} 约为0，此时 T_1 管承受两个外加工作电压之和； T_1 管工作时同理

3)

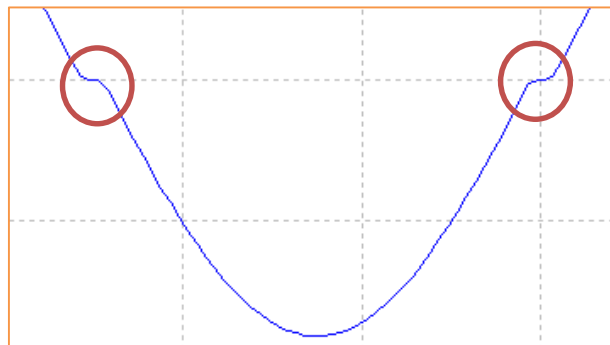
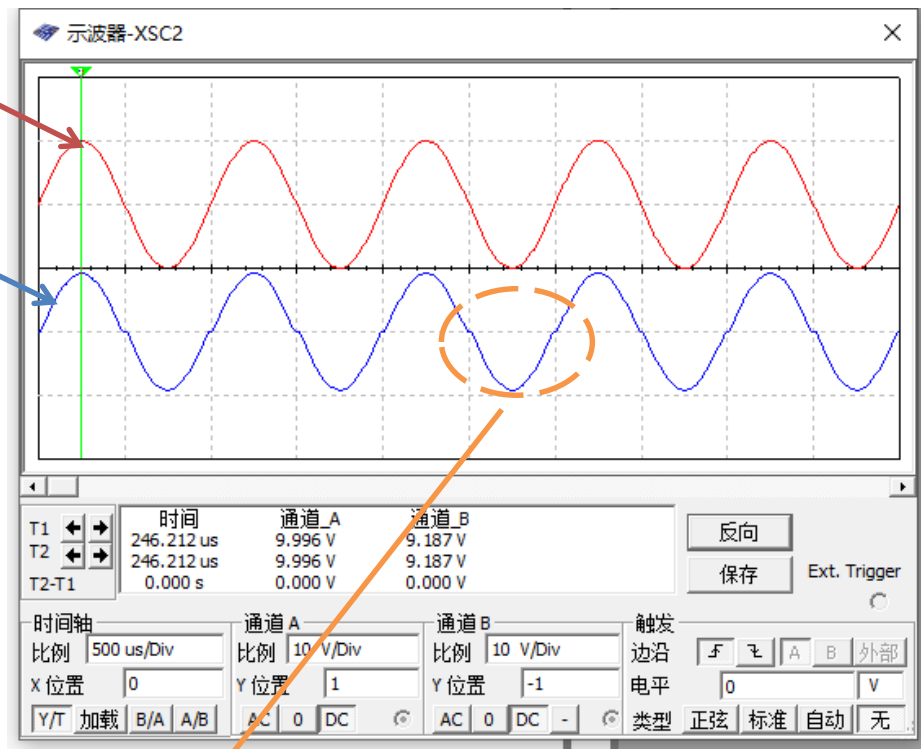
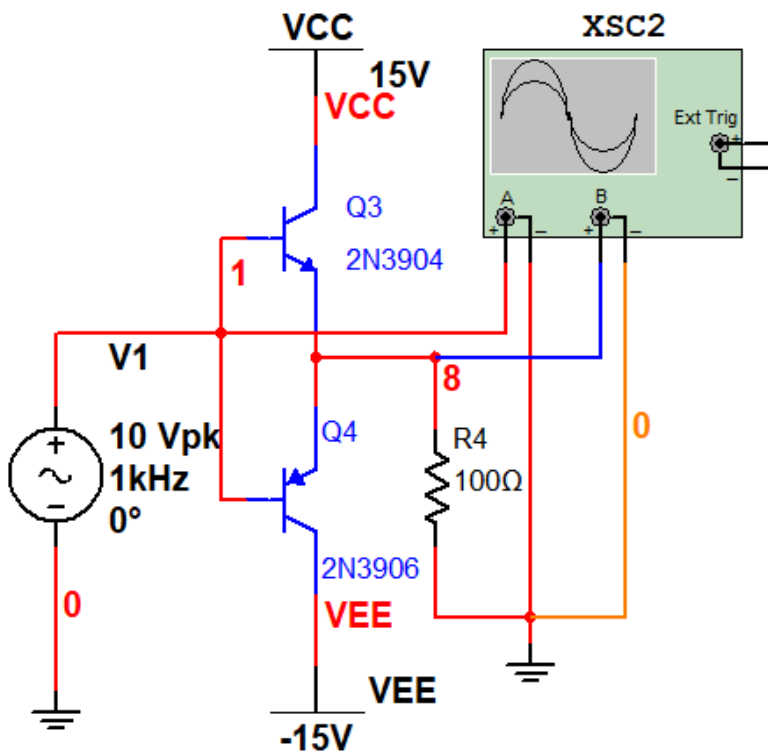
$$I_{CM} \geq \frac{V_{CC}}{R_L}$$

（集电极最大通过电流）

仿真验证

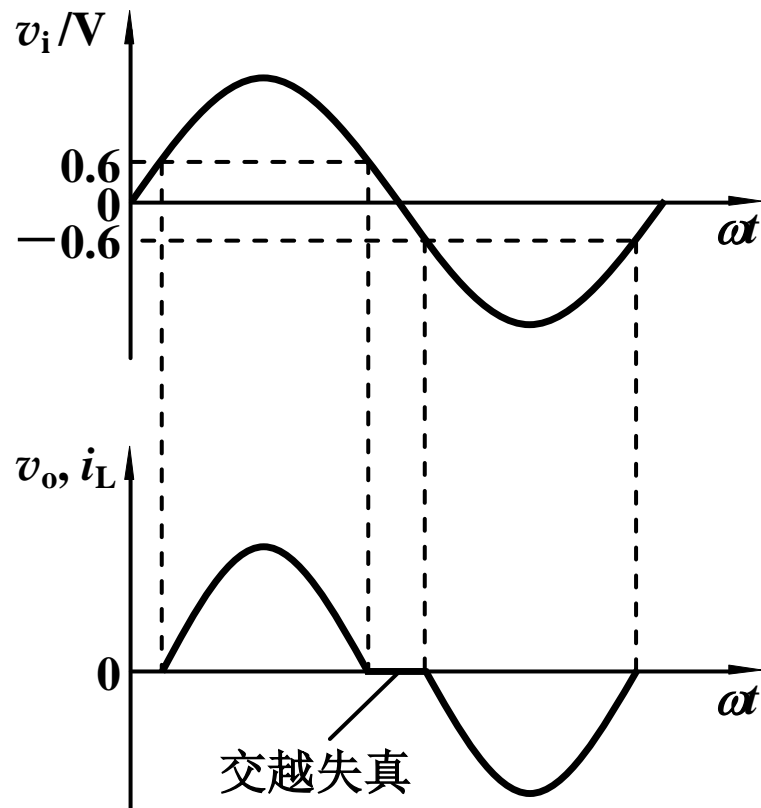
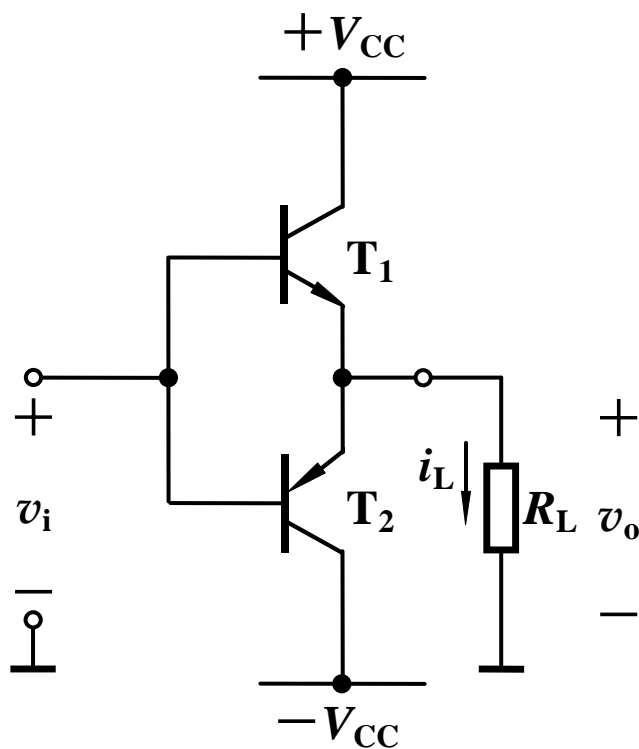
信号波形

输出电压波形



出现失真!

乙类互补对称电路存在的问题



内容

功放
的一般
问题

甲类放
大的实
例

乙类双
电源互
补对称
功放

甲乙类
互补对
称功放

01

02

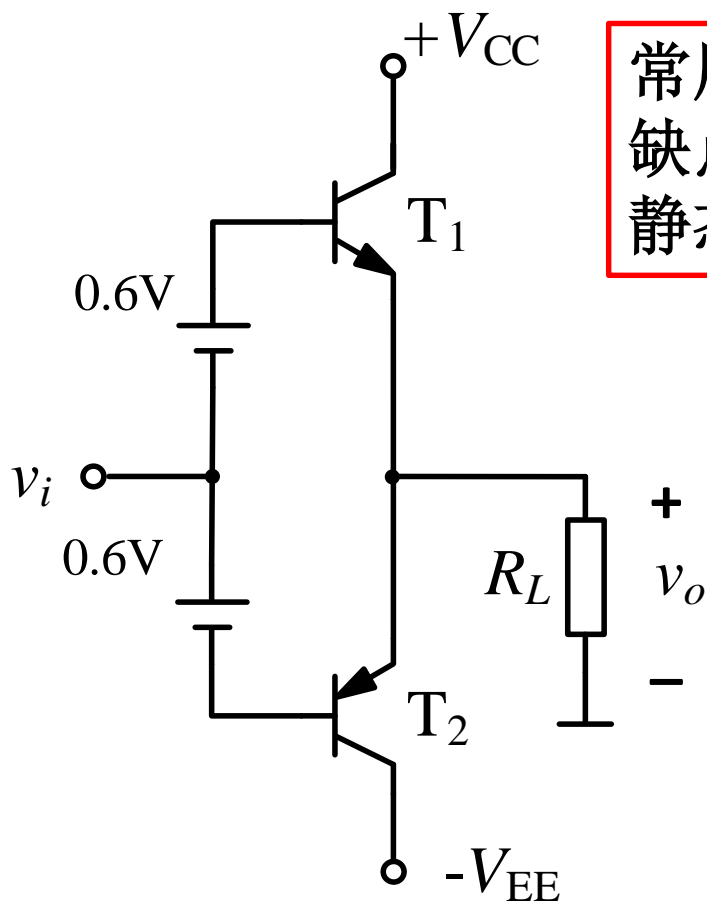
03

04

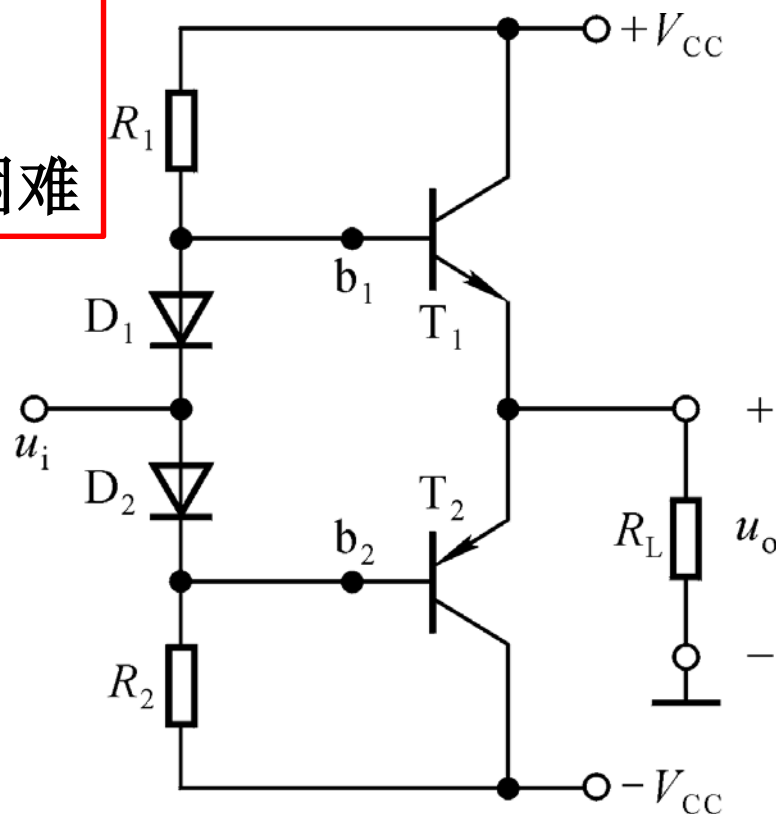
电路改进

2、二极管偏置的甲乙类输出级

克服交越失真思路：给以微导通的偏置，克服死区电压



常用于扩流
缺点：
静态偏置调节困难

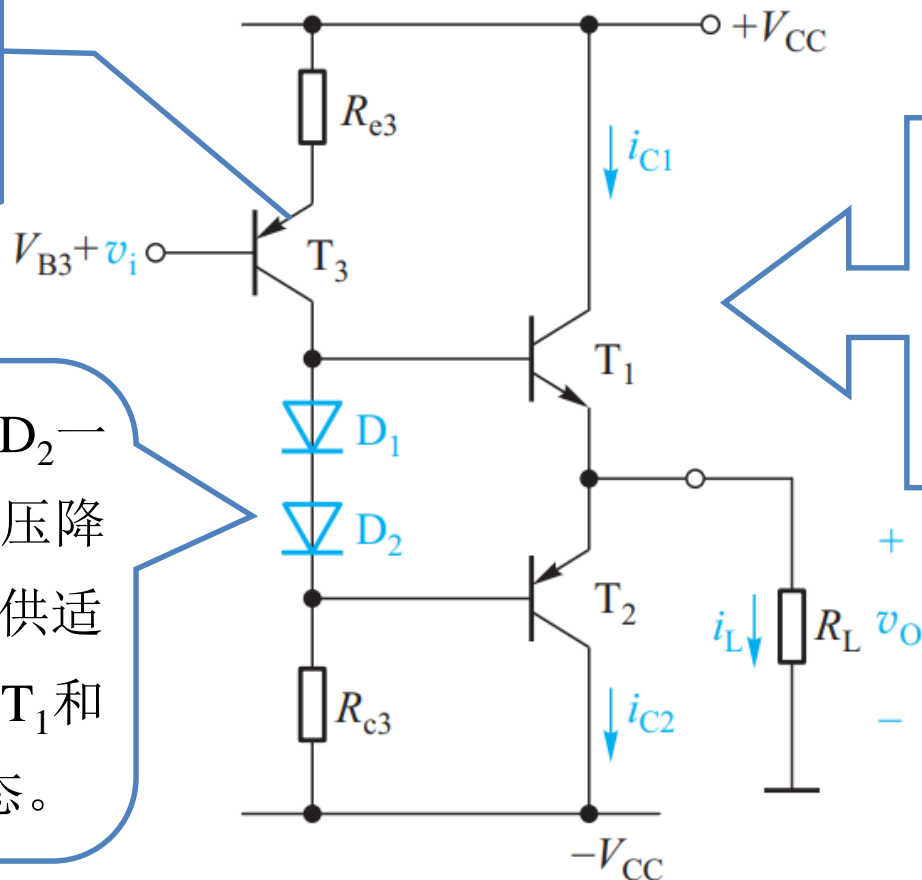


电路改进

3、带输入缓冲晶体管的甲乙类输出级

前置放大以微调
二极管管压降

T_3 正常工作， D_1 和 D_2 一直导通，等效为恒压降模型，为 T_1 、 T_2 提供适当的静态偏置，使 T_1 和 T_2 处于微导通状态。

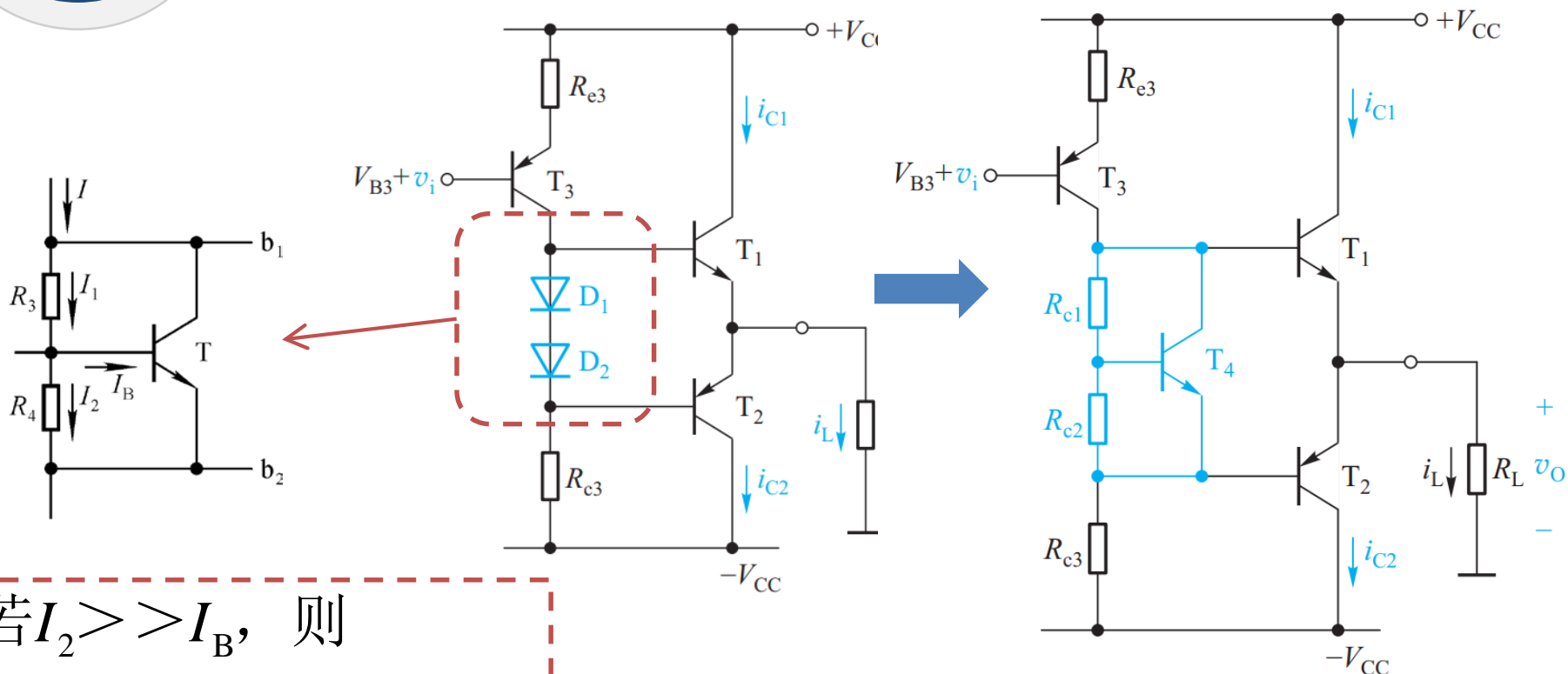


缺点：

T_1 和 T_2 两基极之间的静态压差不易调整

电路改进

4、利用 V_{BE} 倍增器偏置的甲乙类输出级



若 $I_2 \gg I_B$, 则

$$U_{b1b2} \approx \frac{R_3 + R_4}{R_4} \cdot U_{BE}$$

故称之为 U_{BE} 倍增电路

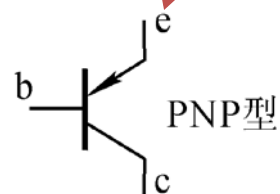
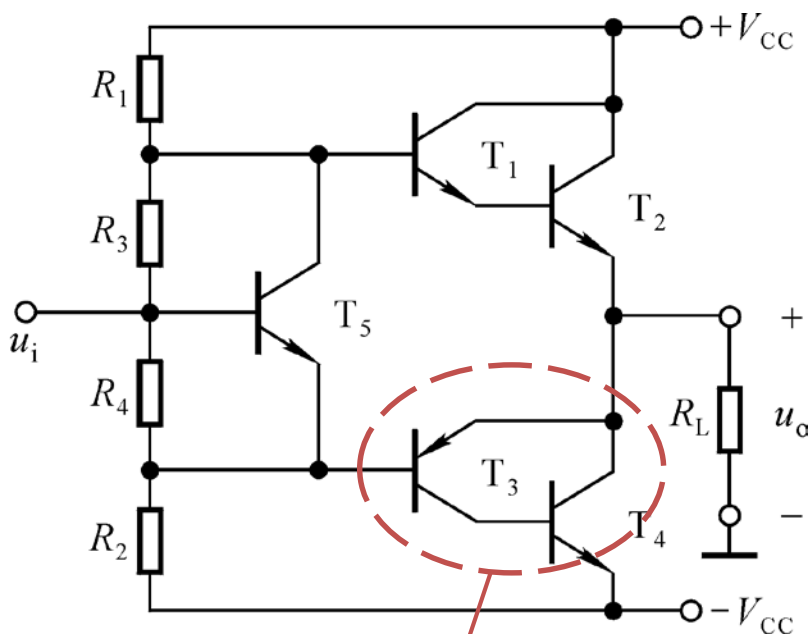
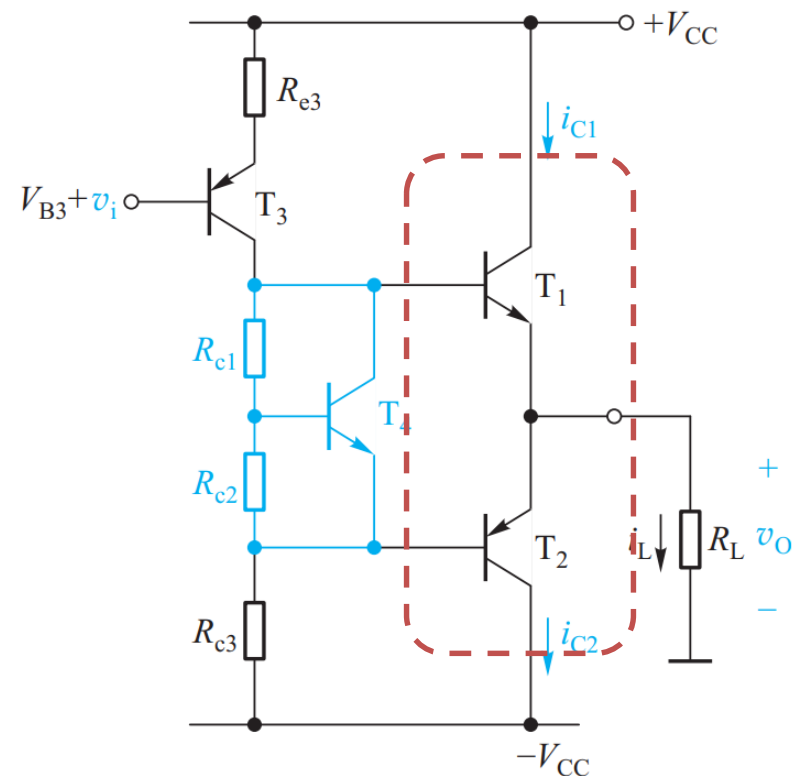
➤ 还有更好的电路吗?

电路改进

5、准互补输出级

为保持输出管的良好对称性，输出管应为同类型晶体管。

螺旋式
发展





作业

417页9.3.3

9.3.2