



# 第八章 功率放大电路



§ 8.1 概述

§ 8.2 互补输出级的分析计算

## § 8.1 概述

- 一、功率放大电路研究的问题
- 二、对功率放大电路的要求
- 三、晶体管的工作方式
- 四、功率放大电路的种类

# 一、功率放大电路研究的问题

1. 性能指标：输出功率和效率。

若已知 $U_{om}$ ，则可得 $P_{om}$ 。

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

最大输出功率与电源损耗的平均功率之比为效率。

2. 分析方法：因大信号作用，故应采用图解法。

3. 晶体管的选用：根据极限参数选择晶体管。

在功放中，晶体管集电极或发射极电流的最大值接近最大集电极电流 $I_{CM}$ ，管压降的最大值接近c-e反向击穿电压 $U_{(BR)CEO}$ ，集电极消耗功率的最大值接近集电极最大耗散功率 $P_{CM}$ 。称为工作在尽限状态。

## 二、对功率放大电路的要求

1. **输出功率尽可能大**: 即在电源电压一定的情况下, 最大不失真输出电压最大。
2. **效率尽可能高**: 即电路损耗的直流功率尽可能小, 静态时功放管的集电极电流近似为0。

## 三、晶体管的工作方式

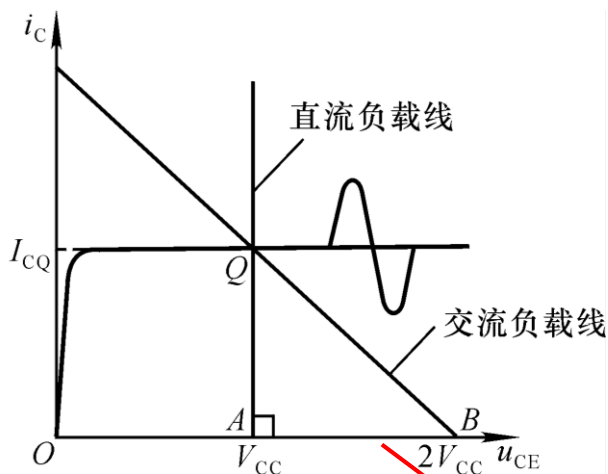
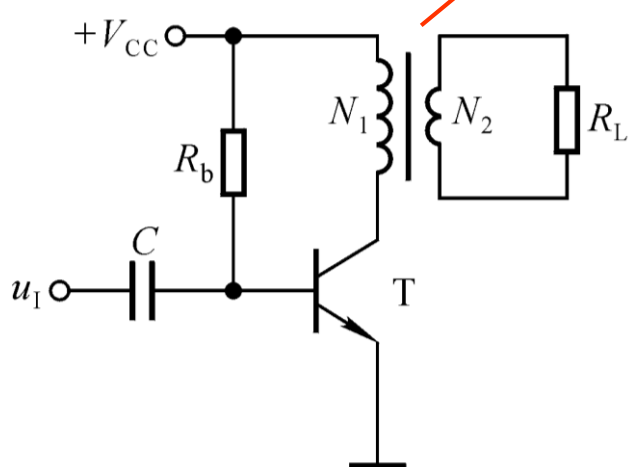
1. **甲类方式**: 晶体管在信号的整个周期内均处于导通状态
2. **乙类方式**: 晶体管仅在信号的半个周期处于导通状态
3. **甲乙类方式**: 晶体管在信号的多半个周期处于导通状态

## 四、功率放大电路的种类

### 1. 变压器耦合功率放大电路

#### 单管甲类电路

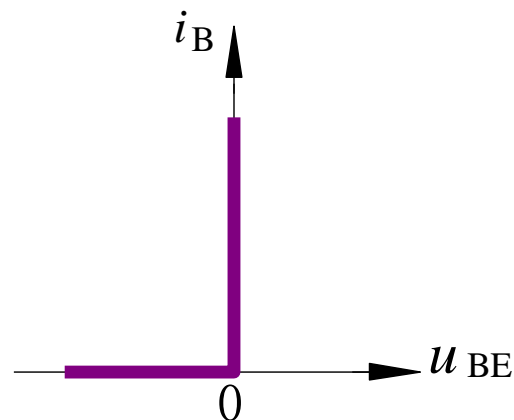
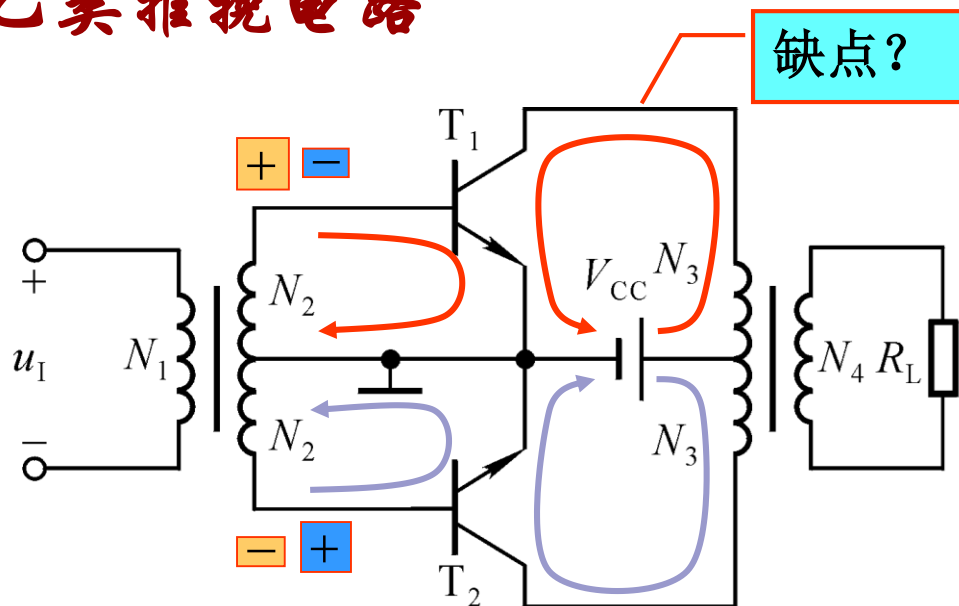
做功放适合吗？



- ① 输入信号增大，输出功率如何变化？
- ② 输入信号增大，管子的平均电流如何变化？
- ③ 输入信号增大，电源提供的功率如何变化？效率如何变化？

为什么管压降会大于电源电压？

## 乙类推挽电路



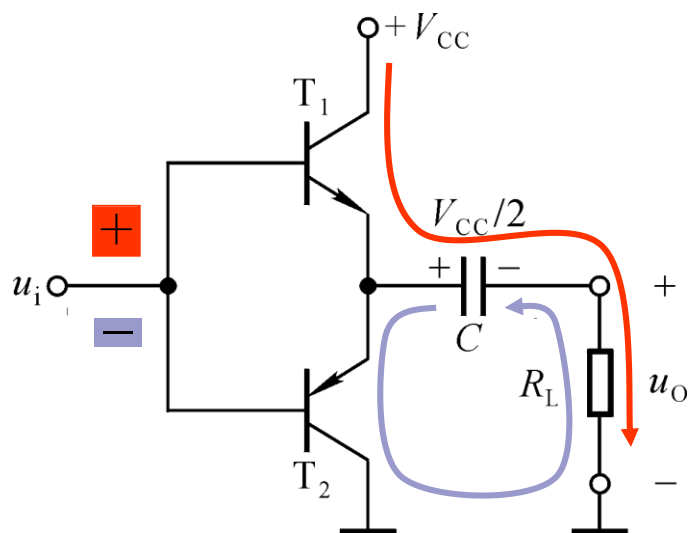
$$U_{om} = \frac{V_{CC} - U_{CES}}{\sqrt{2}}$$

信号的正半周 $T_1$ 导通、 $T_2$ 截止；负半周 $T_2$ 导通、 $T_1$ 截止。

两只管子交替工作，称为“推挽”。设 $\beta$ 为常量，则负载上可获得正弦波。输入信号越大，电源提供的功率也越大。

## 2. OTL 电路 (Output Trasfomerless): 具有理想对称性

因变压器耦合功放笨重、自身损耗大，故选用OTL电路。



输入电压的正半周:

$+V_{CC} \rightarrow T_1 \rightarrow C \rightarrow R_L \rightarrow \text{地}$

$C$  充电。

输入电压的负半周:

$C$  的 “+”  $\rightarrow T_2 \rightarrow \text{地} \rightarrow R_L \rightarrow C$   
 “-”  $C$  放电。

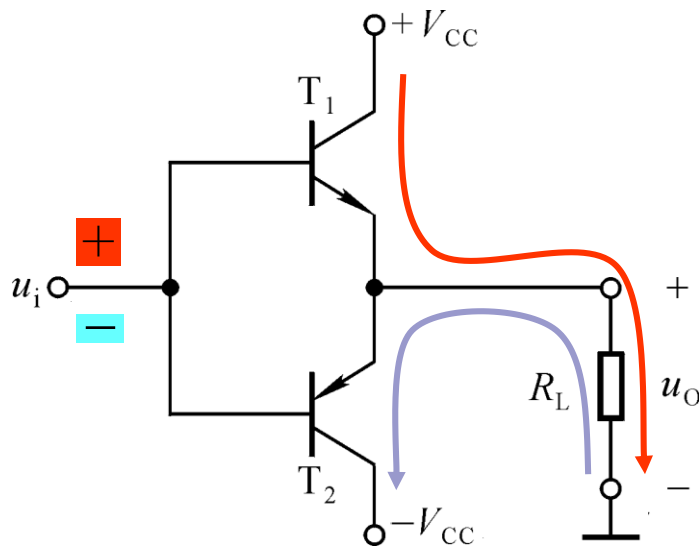
静态时,  $u_I = U_B = U_E = +\frac{V_{CC}}{2}$

$$U_{om} = \frac{(V_{CC}/2) - U_{CES}}{\sqrt{2}}$$

$C$  足够大, 才能认为其对交流信号相当于短路。

OTL电路低频特性差。

### 3. OCL电路(Output Capacitorless)：具有理想对称性



静态时， $U_{EQ} = U_{BQ} = 0$ 。

输入电压的正半周：

$+V_{CC} \rightarrow T_1 \rightarrow R_L \rightarrow \text{地}$

输入电压的负半周：

$\text{地} \rightarrow R_L \rightarrow T_2 \rightarrow -V_{CC}$

$$U_{om} = \frac{V_{CC} - U_{CES}}{\sqrt{2}}$$

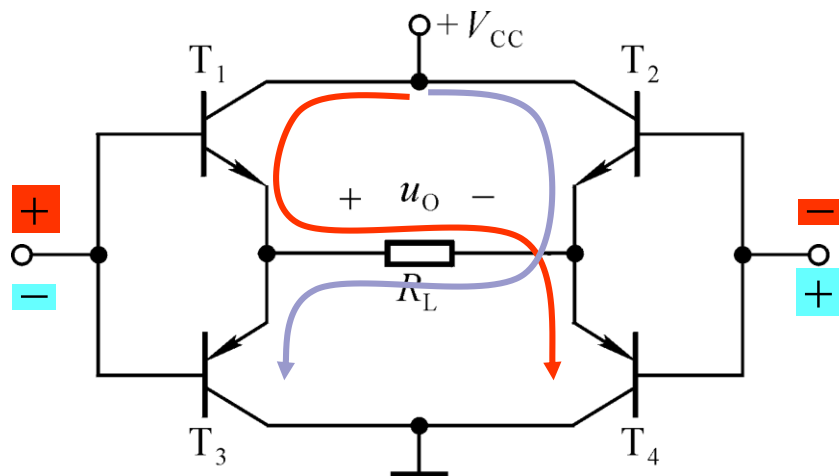
两只管子交替导通，两路电源交替供电，双向跟随。

若要单电源供电，又要直接耦合，则如何构成电路？



## 4. BTL 电路( Balanced Transformerless)

具有理想对称性



①是双端输入、双端输出形式，输入信号、负载电阻均无接地点。

②管子多，损耗大，使效率低。

输入电压的正半周：  $+V_{CC} \rightarrow T_1 \rightarrow R_L \rightarrow T_4 \rightarrow \text{地}$

输入电压的负半周：  $+V_{CC} \rightarrow T_2 \rightarrow R_L \rightarrow T_3 \rightarrow \text{地}$

$$U_{om} = \frac{V_{CC} - 2U_{CES}}{\sqrt{2}}$$

## 几种电路的比较

**变压器耦合乙类推挽：**单电源供电，笨重，效率低，低频特性差。

$$U_{om} = \frac{V_{CC} - U_{CES}}{\sqrt{2}}$$

**OTL电路：**单电源供电，低频特性差。

$$U_{om} = \frac{(V_{CC}/2) - U_{CES}}{\sqrt{2}}$$

**OCL电路：**双电源供电，效率高，低频特性好。

$$U_{om} = \frac{V_{CC} - U_{CES}}{\sqrt{2}}$$

**BTL电路：**单电源供电，低频特性好；双端输入双端输出。

$$U_{om} = \frac{V_{CC} - 2U_{CES}}{\sqrt{2}}$$

## § 8.2 互补输出级的分析计算

一、输出功率

二、效率

三、晶体管的极限参数

## 求解输出功率和效率的方法

在已知 $R_L$ 的情况下，先求出 $U_{om}$ ，则  
然后求出电源的平均功率，

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

$$P_V = I_{C(AV)} \cdot V_{CC}$$

效率

$$\eta = P_{om} / P_V$$

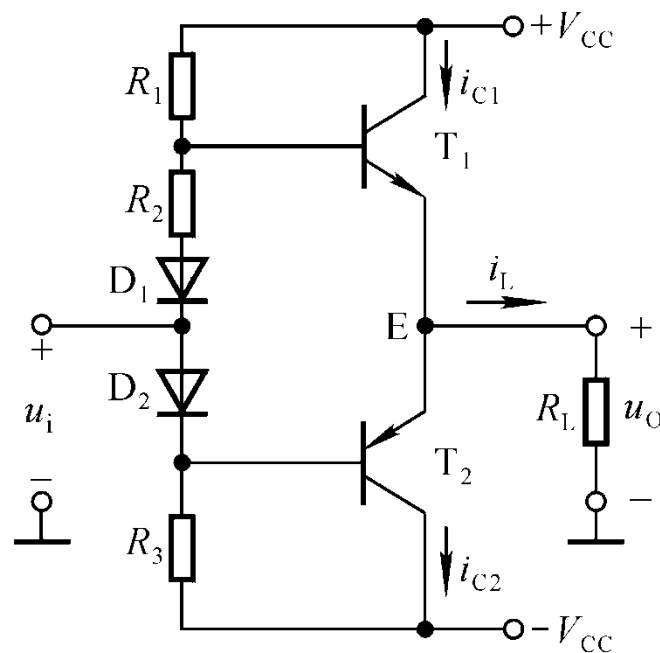
### 一、输出功率

数值较大  
不可忽略

$$U_{om} = \frac{V_{CC} - U_{CES}}{\sqrt{2}}$$

$$P_{om} = \frac{(V_{CC} - U_{CES})^2}{2R_L}$$

大功率管的 $U_{CES}$ 常为2~3V。

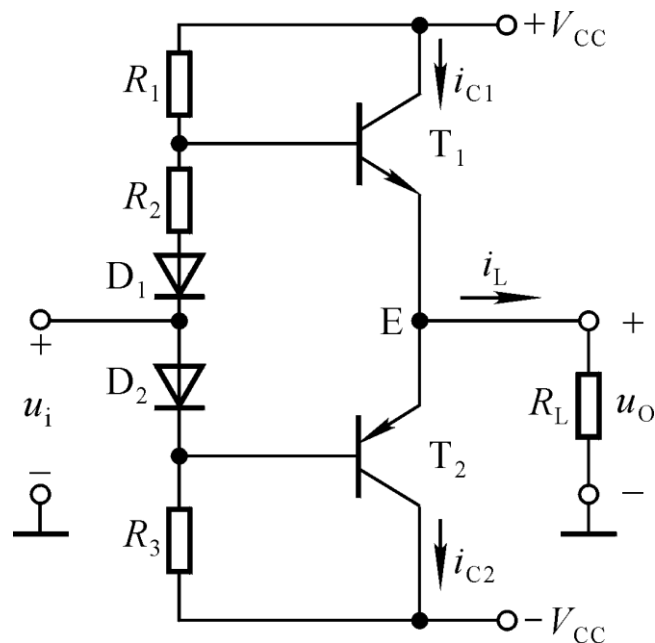


## 二、效率

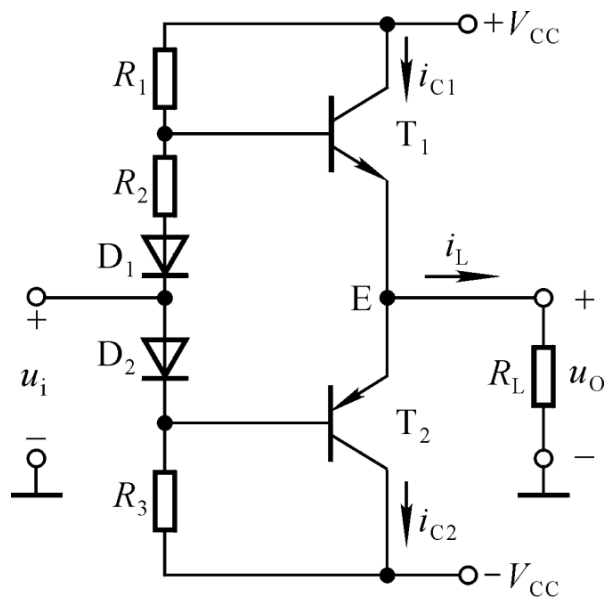
$$P_{\text{om}} = \frac{(V_{\text{CC}} - U_{\text{CES}})^2}{2R_{\text{L}}}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{V}} &= \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \frac{V_{\text{CC}} - U_{\text{CES}}}{R_{\text{L}}} \cdot \sin \omega t \cdot V_{\text{CC}} d(\omega t) \\ &= \frac{2}{\pi} \cdot \frac{V_{\text{CC}} (V_{\text{CC}} - U_{\text{CES}})}{R_{\text{L}}} \end{aligned}$$

$$\eta = \frac{P_{\text{om}}}{P_{\text{V}}} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{V_{\text{CC}} - U_{\text{CES}}}{V_{\text{CC}}}$$



### 3. 晶体管的极限参数



$$i_{C\max} \approx \frac{V_{CC}}{R_L} < I_{CM}$$

$$u_{CE\max} \approx 2V_{CC} < U_{CEO(BR)}$$

在输出功率最大时，因管压降最小，故管子损耗不大；输出功率最小时，因集电极电流最小，故管子损耗也不大。

管子功耗与输出电压峰值的关系为

$$P_T = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi (V_{CC} - U_{OM} \sin \omega t) \cdot \frac{U_{OM} \sin \omega t}{R_L} d\omega t$$

$P_T$ 对 $U_{OM}$ 求导，并令其为0，可得

$$U_{OM} = \frac{2}{\pi} \cdot V_{CC} \approx 0.6 V_{CC}$$

将 $U_{OM}$ 代入 $P_T$ 的表达式，可得

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

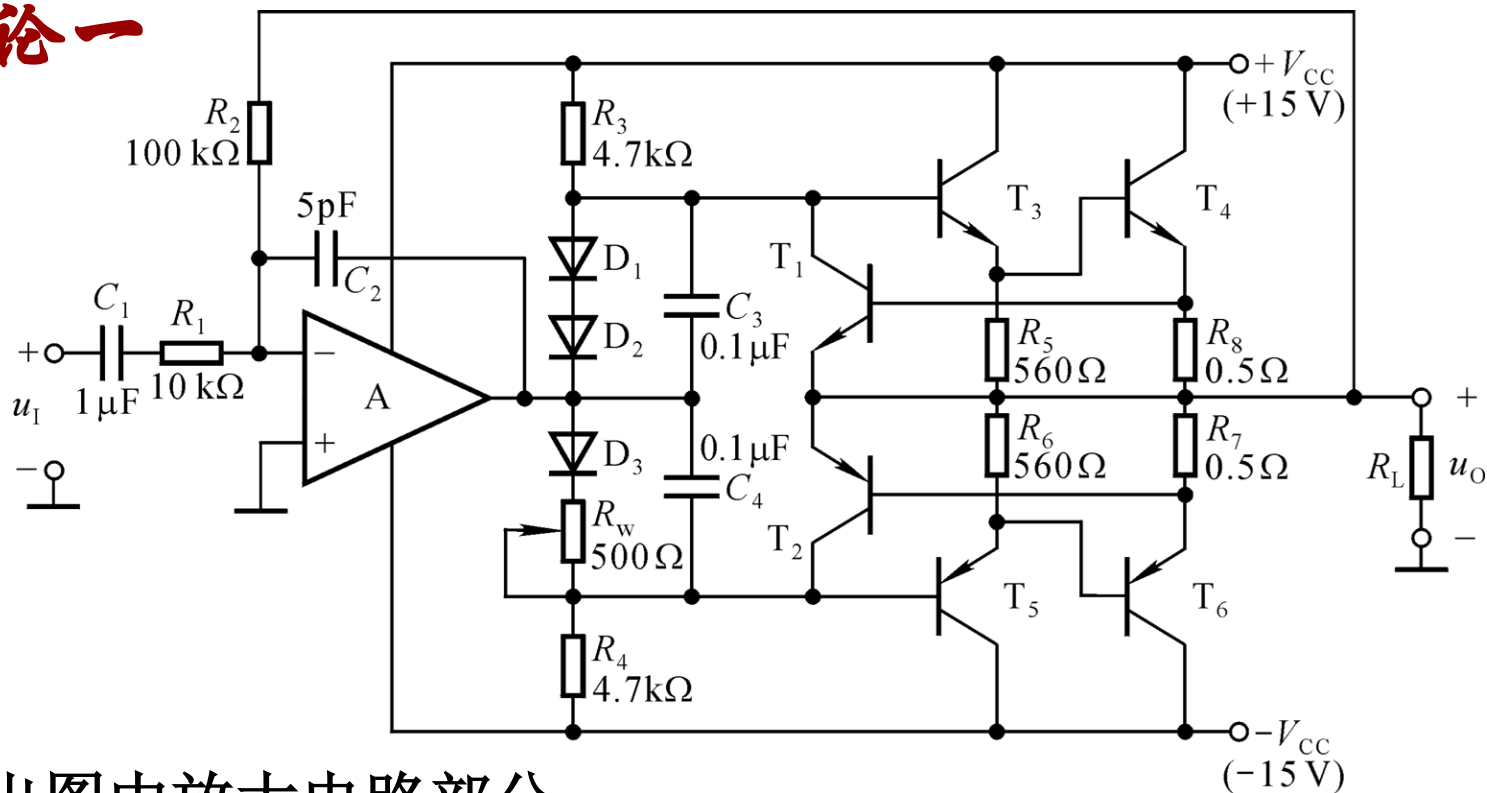
$$\text{若 } U_{CES} = 0, \text{ 则 } P_{om} = \frac{V_{CC}^2}{2R_L}, P_{Tmax} = \frac{2}{\pi^2} \cdot P_{om} \Big|_{U_{CES}=0} \approx 0.2 P_{om} \Big|_{U_{CES}=0}$$

因此，选择晶体管时，其极限参数

$$\begin{cases} I_{CM} > i_{Cmax} \approx \frac{V_{CC}}{R_L} \\ U_{CEO(BR)} > u_{CEmax} \approx 2V_{CC} \\ P_{CM} > P_{Tmax} \approx 0.2 \times \frac{V_{CC}^2}{2R_L} \end{cases}$$

要注意散热条件！

# 讨论一



1. 指出图中放大电路部分；
2. 说明电路中是否引入了级间反馈，是直流反馈还是交流反馈，若为交流负反馈则说明其反馈组态；
3. 最大输出功率和效率的表达式；
4. 说明如何估算在输出最大功率时输入电压的有效值；
5. 说明 $D_1 \sim D_3$ 和 $R_w$ 的作用， $C_1 \sim C_4$ 的作用；
6. 说明哪些元件构成过流保护电路及其原理。



## 讨论二：图示各电路属于哪种功放？

