

清华大学

第九章 功率放大电路

2001 11 11



第九章 功率放大电路

§ 9.1 概述

§ 9.2 互补输出级的分析计算





§ 9.1 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



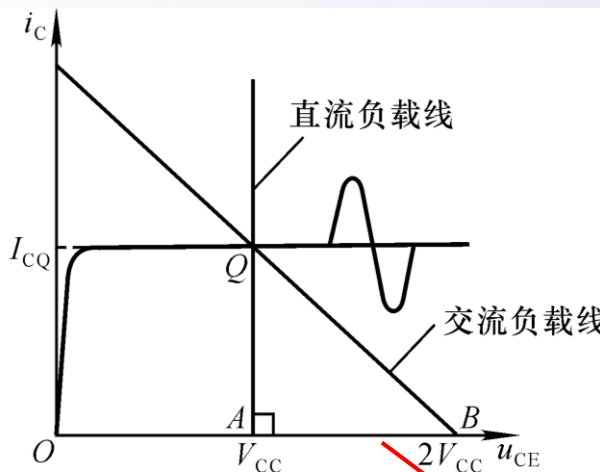
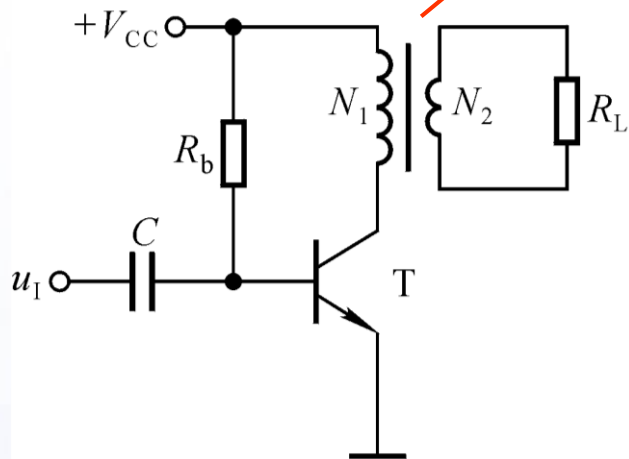


四、功率放大电路的种类

1. 变压器耦合功率放大电路

单管甲类电路

做功放适合吗？

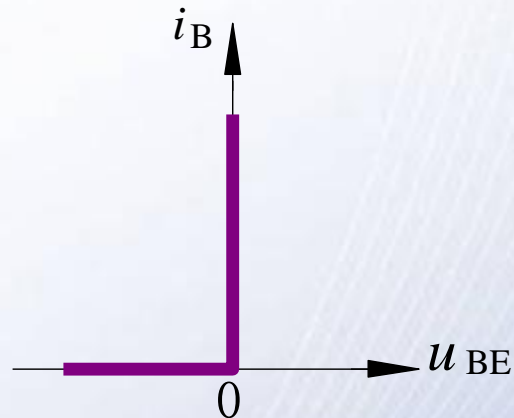
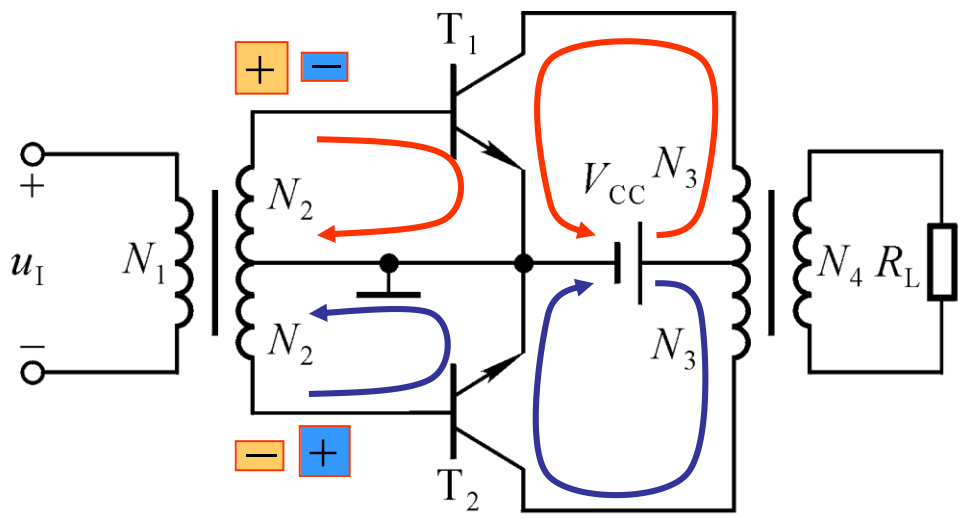


- ① 输入信号增大，输出功率如何变化？
- ② 输入信号增大，管子的平均电流如何变化？
- ③ 输入信号增大，电源提供的功率如何变化？效率如何变化？

为什么管压降会大于电源电压？



乙类推挽电路



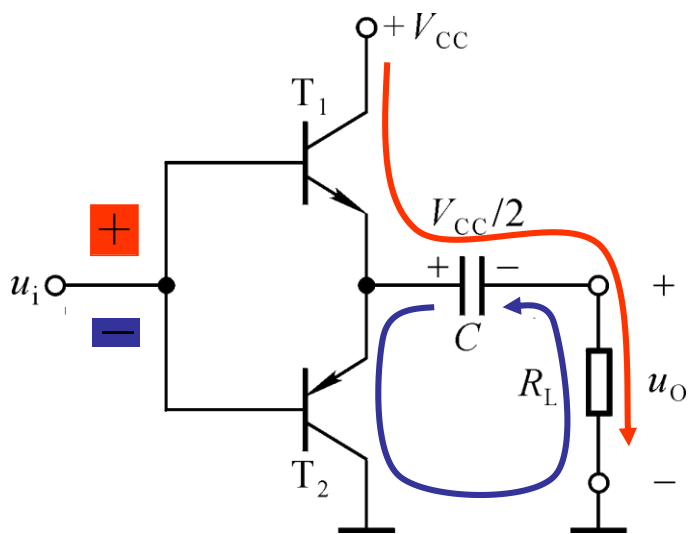
$$U_{om} = \frac{V_{CC} - U_{CES}}{\sqrt{2}}$$

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 β 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

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

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

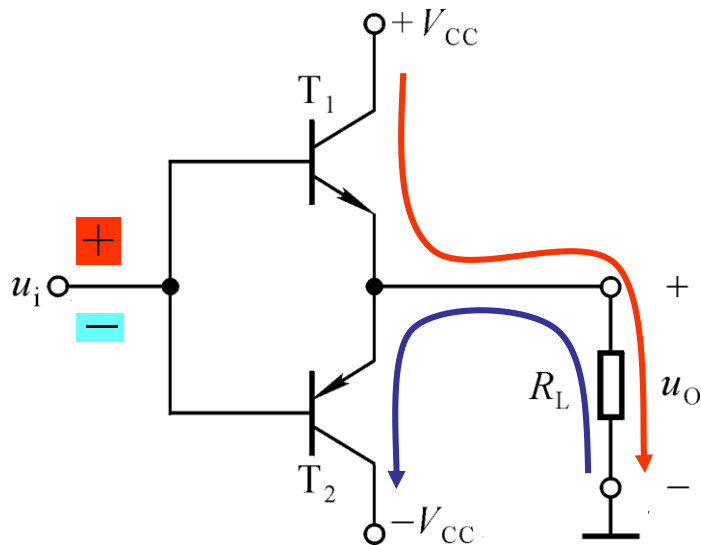
C 足够大，才能认为其对交流信号相当于短路。

OTL电路低频特性差。





3. OCL电路



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：

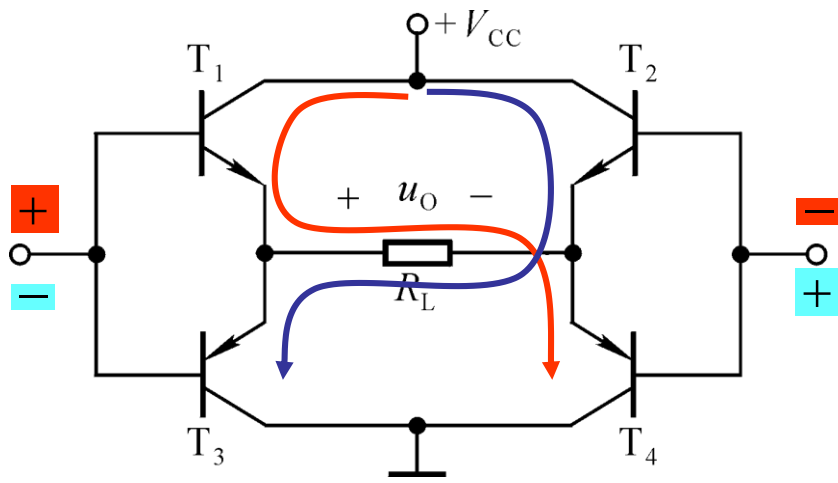
$\text{地} \rightarrow R_L \rightarrow T_2 \rightarrow -V_{CC}$

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

两只管子交替导通，两路电源交替供电，双向跟随。



4. BTL 电路



- 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。

OTL电路：单电源供电，低频特性差。

OCL电路：双电源供电，效率高，低频特性好。

BTL电路：单电源供电，低频特性好；双端输入双端输出。





§ 9.2 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

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

然后求出电源的平均功率，

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

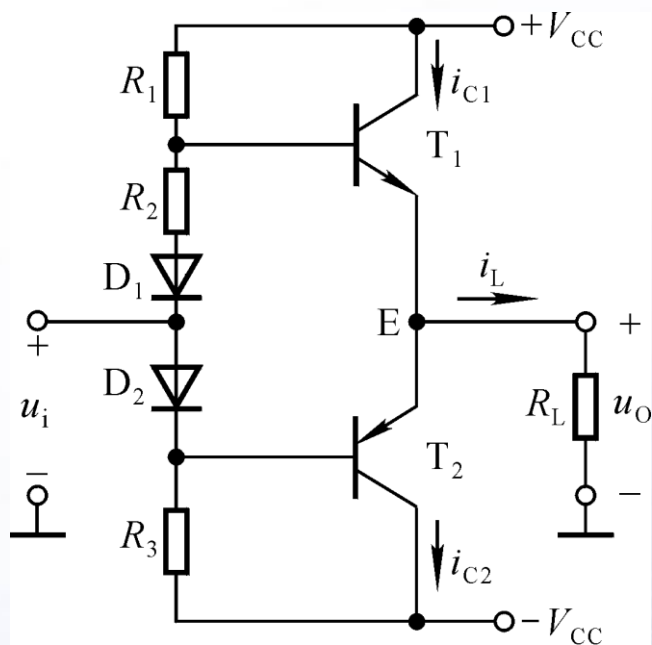
效率

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





一、输出功率



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

数值较大
不可忽略

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

大功率管的 U_{CES} 常为2~3V。





二、效率

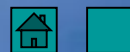
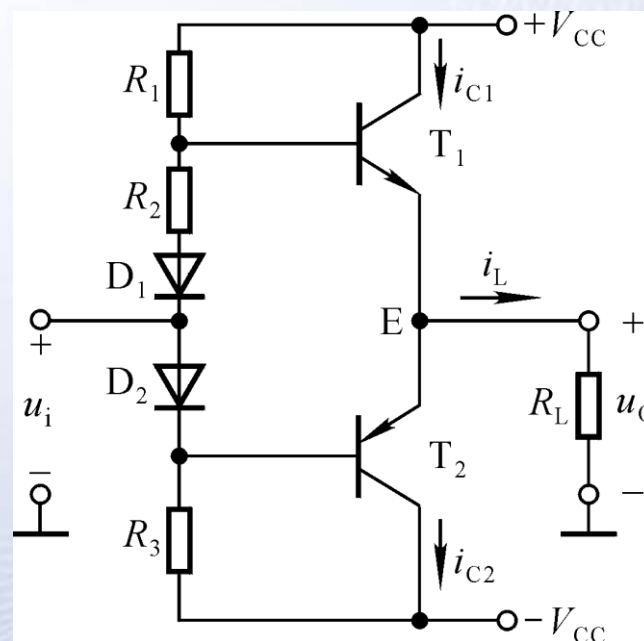
$$P_{om} = \frac{(V_{CC} - U_{CES})^2}{2R_L}$$

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

$$= \frac{2}{\pi} \cdot \frac{V_{CC} (V_{CC} - U_{CES})}{R_L}$$

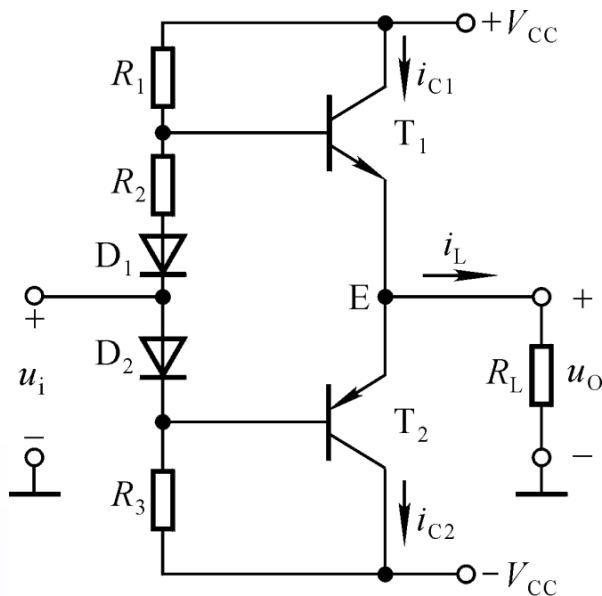
电源
电流

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





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

$$P_T = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi \underbrace{(V_{CC} - U_{OM} \sin \omega t)}_{\text{管压降}} \cdot \underbrace{\frac{U_{OM} \sin \omega t}{R_L}}_{\text{发射极电流}} d\omega t$$

管压降

发射极电流

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

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

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

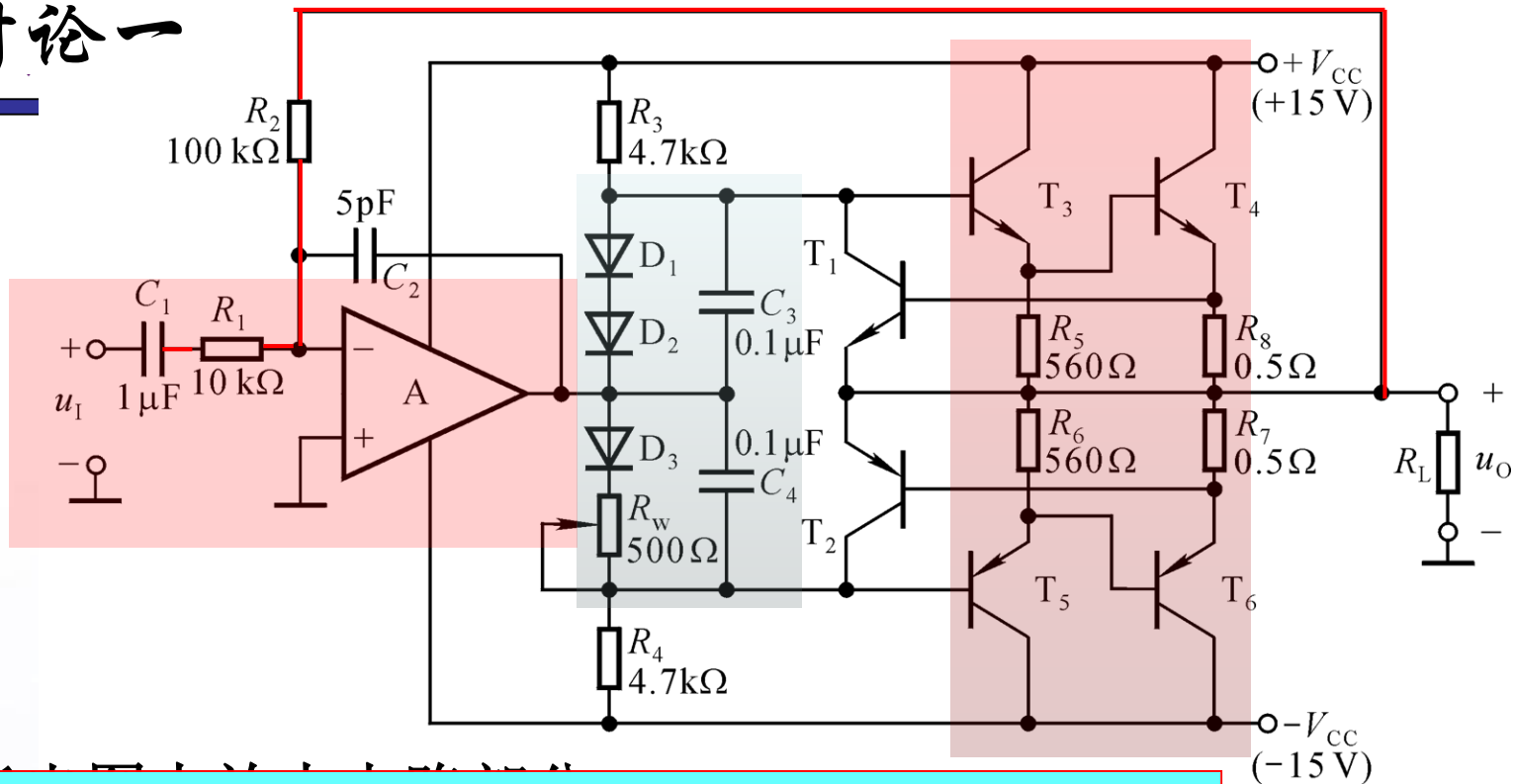
因此, 选择晶体管时, 其极限参数

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





讨论一



$$\dot{A}_u \approx -\frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = -10, U_i = \frac{U_{om}}{|\dot{A}_u|}$$

$$P_n = \frac{U_{om}^2}{2R_L}, \eta = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{U_{om}}{V_{CC}}$$

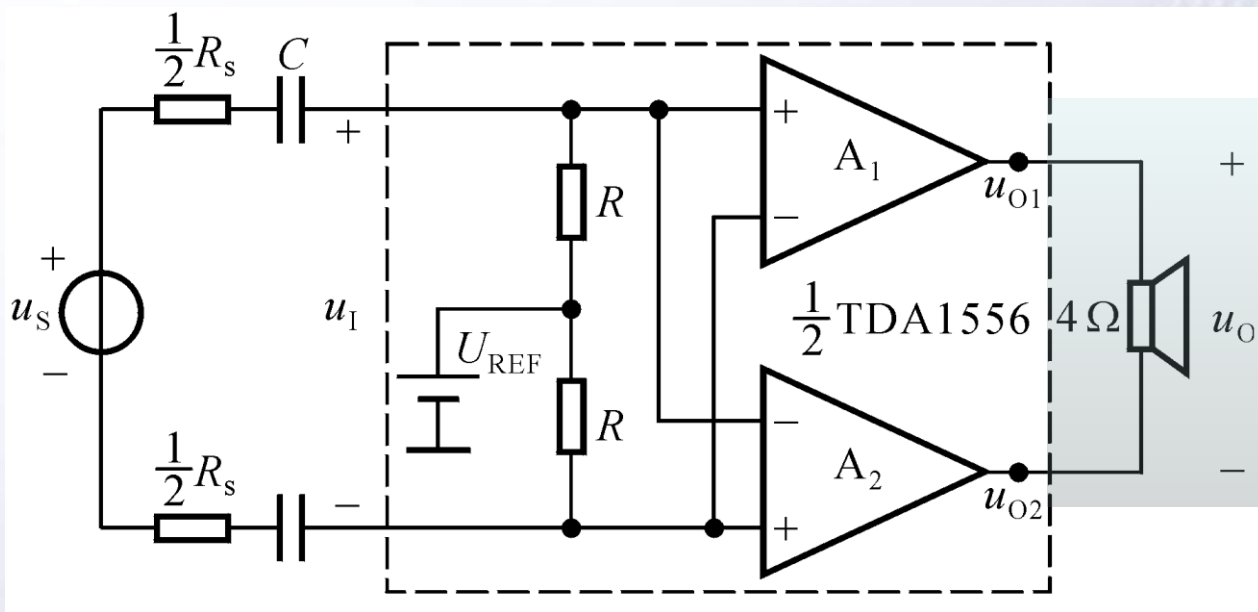
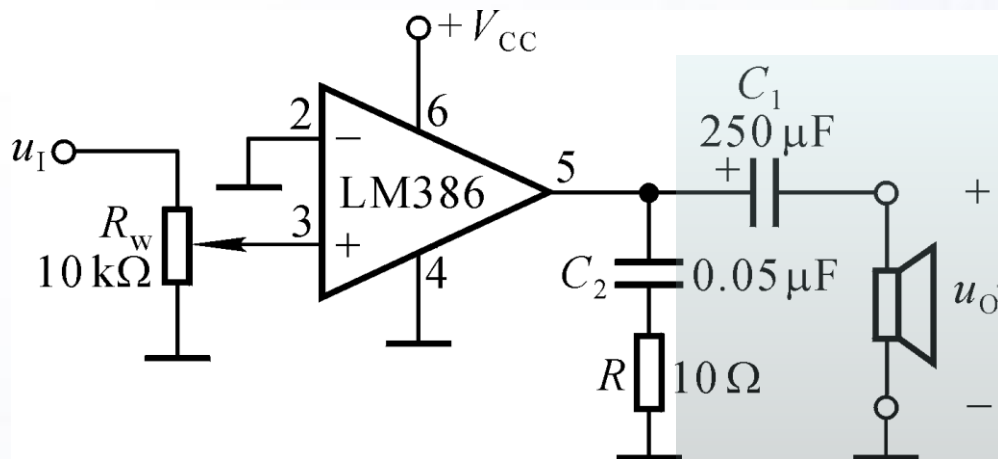
还是交流反馈，
表达式；

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？

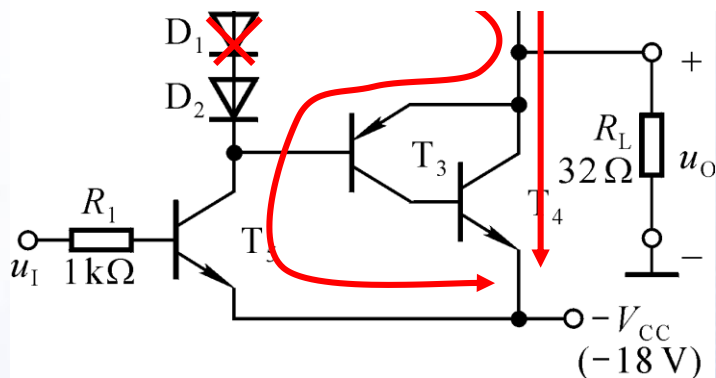




讨论三：出现下列故障时，将产生什么现象？

T_2 、 T_5 的极限参数：

$$P_{CM} = 1.5W, I_{CM} = 600mA, U_{BR(CEO)} = 40V。$$



1. R_2 短路；
2. R_2 断路；
3. D_1 短路；
4. D_1 断路；
5. T_1 集电极开路。

故障分析的问题，答案具有多样性，需多方面思考！

功放的故障问题，特别需要考虑故障的产生是否影响功放管的安全工作！

