

第九章 低频功放

高频功放：

电台、电视台发射机向空间发射高频信号。

低频功放：

接收机还原音频信号。

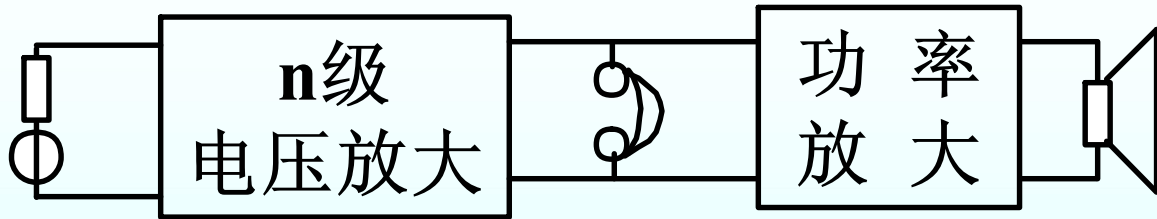
9.1 概述

9.2 互补对称功率放大电路

9.3 集成功率放大器

9.1 低频功放概述

9.1.1 功放的特点



小信号

不失真

研究 A_u 、 r_i 、 r_o

分析方法:微变等效

大信号

不失真或轻失真

研究 P 、 η 、失真、管耗

分析方法:图解

功放的电路形式: 互补对称、射极输出

9.1 低频功放概述

9.1.1 功放的特点

研究的问题： P_o 、效率 η 、失真、管耗 P_C

(1) P_o 要大, $P_o = U_o I_o = \frac{1}{2} U_{om} I_{om}$ 输出功率

(2) η 要高, 减少损失。 $\eta = \frac{P_o}{P_E} = \frac{P_o}{P_o + P_C}$ 管耗

(3) 失真尽可能小。

电源提供的功率

(4) 管耗要小, 安全工作要考虑管子的极限参数:

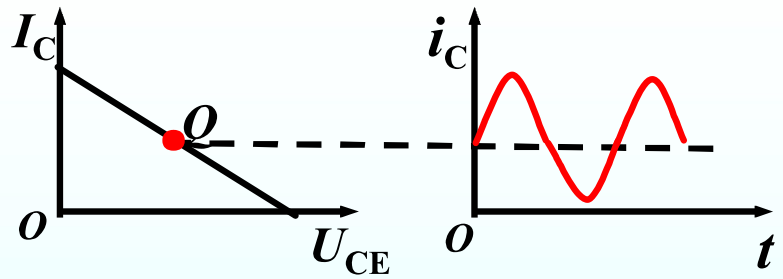
$$I_{CM} U_{CEM} P_{CM}。$$

9.1 低频功放概述

9.1.2 功放的分类

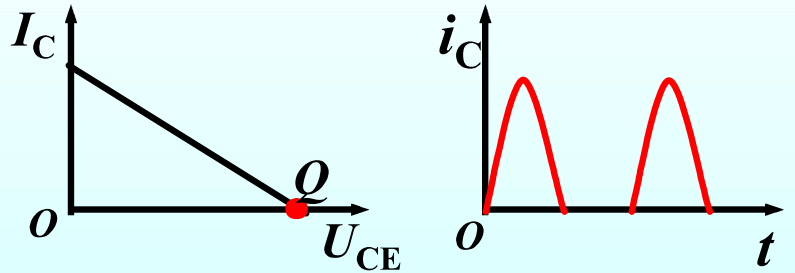
甲类功放

完整正弦波,管耗大,效率低。



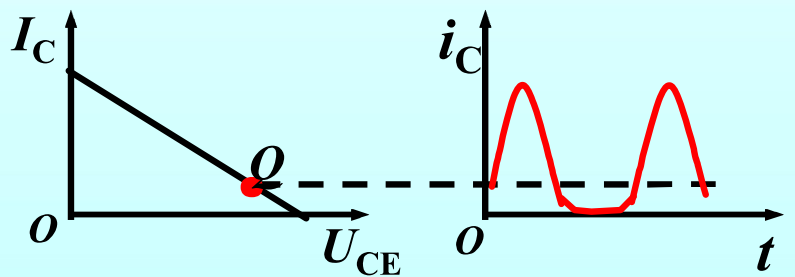
乙类功放

半个正弦波,管耗小,效率高。



甲乙类功放

多半个正弦波,静态 $I_C \approx 0$,效率较高,常用。



丙类功放?

图 9-1

9.1 低频功放概述

9.1.3 提高输出功率的方法

1. 提高电源电压
2. 散热

9.1.4 提高效率的方法

$$P_{om} = \frac{1}{2} I_{cm} U_{om} = \frac{1}{2} I_{CQ} U_{CEQ}$$

$$\text{瞬时 } p_E = U_{CC} i_C = U_{CC} (I_{CQ} + I_{Cm} \sin \omega t)$$

$$\text{平均 } P_E = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} U_{CC} (I_{CQ} + I_{Cm} \sin \omega t) d\omega t = U_{CC} I_{CQ}$$

不论有无信号, 电源提供的功率不变。 $\eta = \frac{P_o}{P_E} = \frac{\Delta M'MQ \text{ 面积}}{\square OMBA \text{ 面积}}$

阻容耦合甲类功放 $\eta_m=25\%$ 变压器耦合甲类 $\eta_m=50\%$

改错

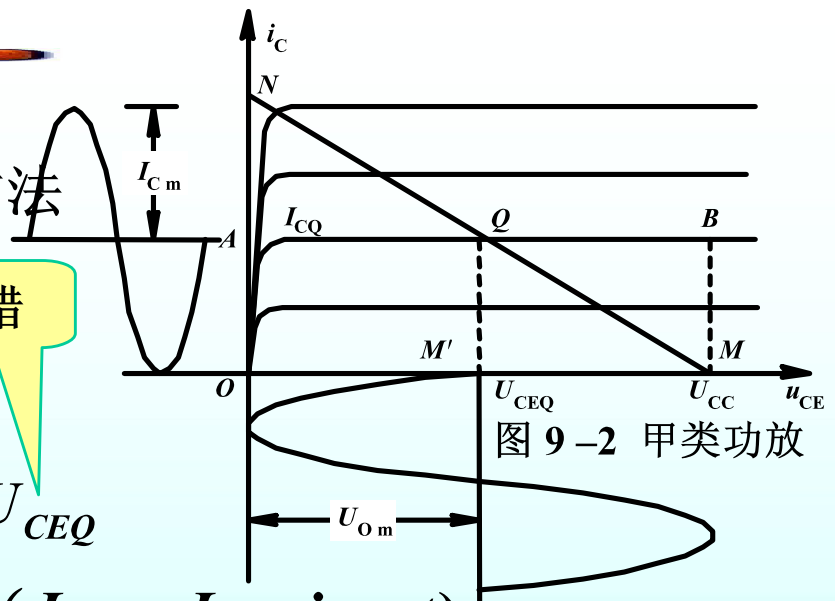


图 9-2 甲类功放

9.1 低频功放概述

$$P_{om} = \frac{1}{2} I_{CQ} U_{CEQ}$$

9.1.3 提高输出功率的方法

$$P_E = U_{CC} I_{CQ}$$

9.1.4 提高效率的方法

结论：甲类功放

1. 静态时 ($U_i=0$), $P_o=0$, $P_E=U_{CC}I_{CQ}$, 此时管耗 P_c 最大,

$$P_c = P_{cm} = P_E。$$

音量开小, 并不省电, 反使管子寿命缩短。

2. $\eta_m=50\%$, 不高。

提高效率的方法: 由 $\eta = \frac{P_{om}}{P_E} = \frac{\frac{1}{2} U_{om} I_{cm}}{U_{CC} I_{CQ}}$ 知:

(1) 使 $I_{CQ} \downarrow$, $\eta \uparrow$ 。需解决失真问题。

(2) 选择最佳负载, 使 $R'_L \uparrow$, $U_{om} \uparrow$, 使 $\eta \uparrow$ 。

9.1 低频功放概述

9.1.3 提高输出功率的方法

9.1.4 提高效率的方法

一、改变功放管的工作状态

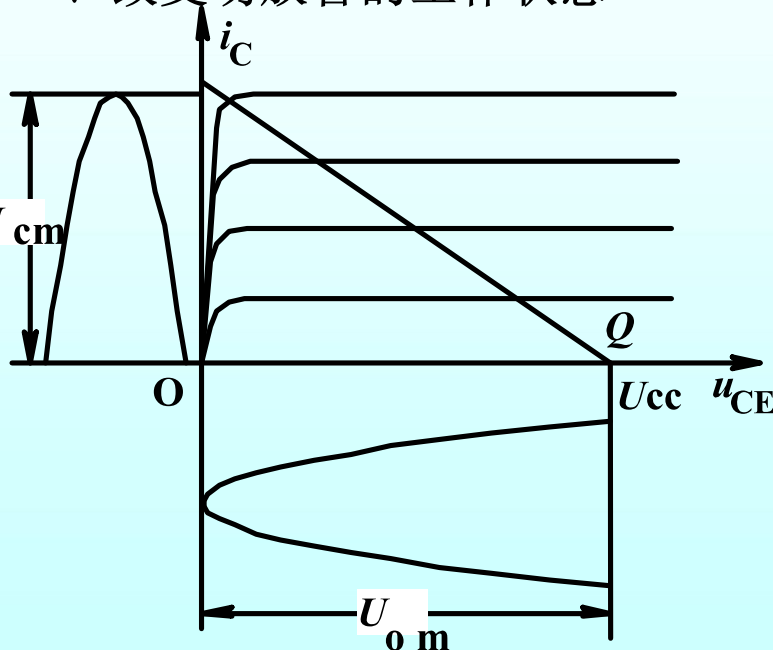


图 9-3 乙类放大

二、选择最佳负载

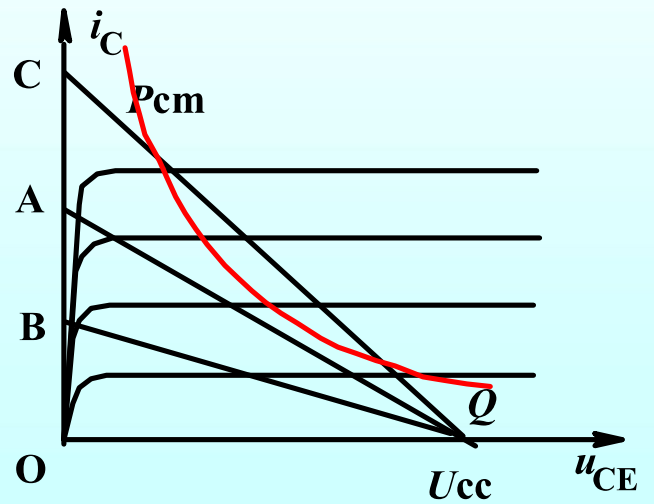


图 9-4

9.2 互补对称式功率放大电路

9.2.1 OCL电路

一、电路特点及工作原理

双管互补对称、双电源、射极输出

静态： $u_i = 0V$ ，
 $i_{C1} \approx 0$ ， $i_{C2} \approx 0$
 $u_o = 0V$ 。

动态： u_i 正半周
 V_1 导通， V_2 截止
 u_i 负半周
 V_2 导通， V_1 截止

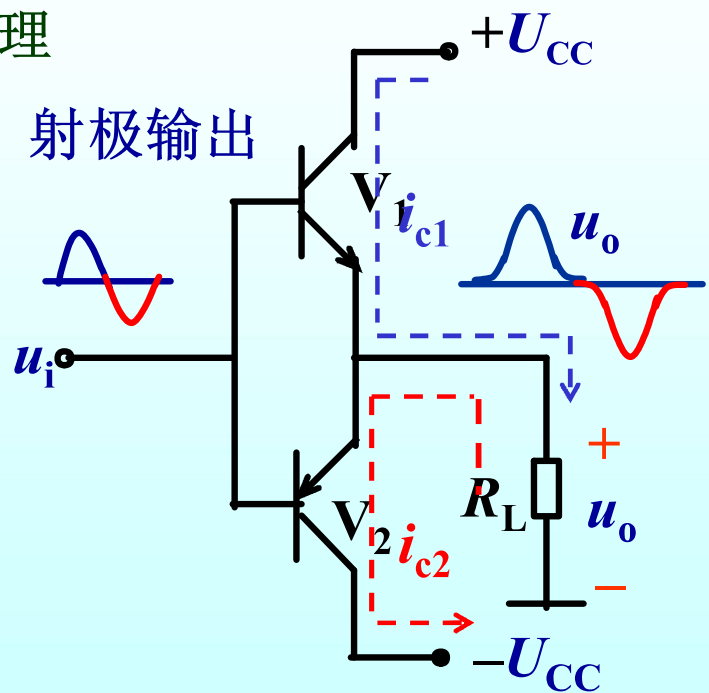
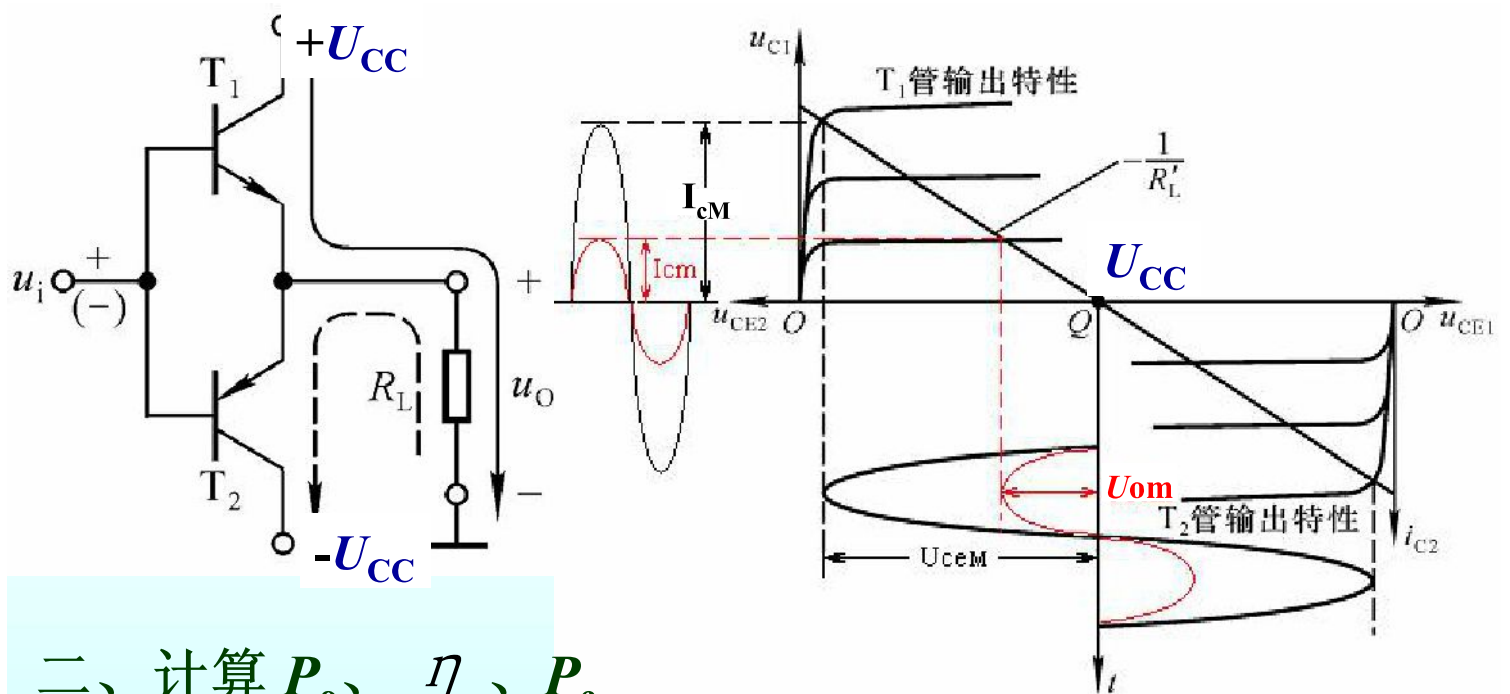


图9-5



二、计算 P_o 、 η 、 P_c

1. 输出功率 P_o
$$P_o = \frac{1}{2} U_{om} I_{cm} = \frac{1}{2} \frac{U_{om}^2}{R_L}$$

$$P_{om} = \frac{1}{2} \frac{(U_{CC} - U_{CES})^2}{R_L} \quad \text{理想 } P_{om} = \frac{1}{2} \frac{U_{CC}^2}{R_L}$$

$$P_o = \frac{1}{2} \frac{U_{om}^2}{R_L} \quad P_{om} = \frac{1}{2} \frac{U_{CC}^2}{R_L}$$

2. 效率 η 先求 P_E

单电源提供的平均电流

$$I_{av1} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} i_{C1} d(\omega t)$$

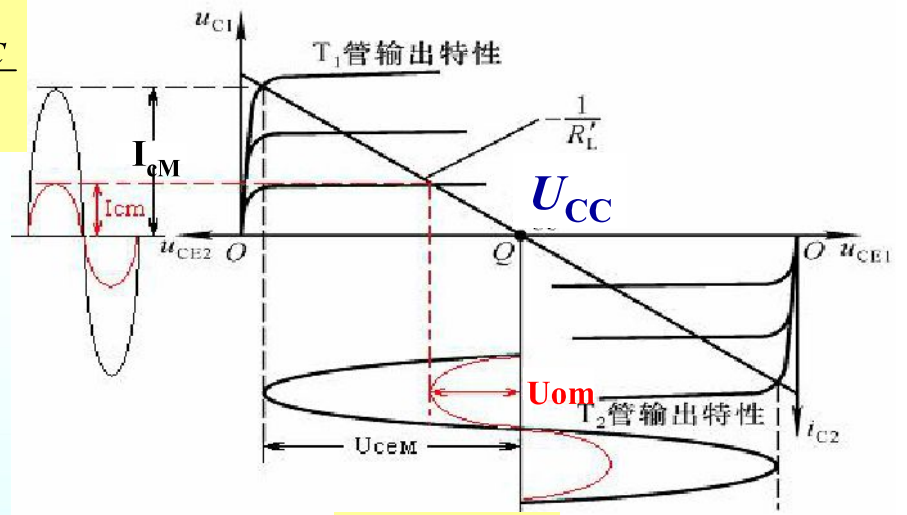
$$= \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} I_{cm} \sin \omega t d(\omega t) = \frac{1}{\pi} I_{cm} = \frac{1}{\pi} \frac{U_{om}}{R_L}$$

$$P_{E1} = I_{av1} U_{CC} = \frac{1}{\pi} \frac{U_{om}}{R_L} U_{CC}$$

$$P_E = 2P_{E1} = \frac{2}{\pi} \frac{U_{om}}{R_L} U_{CC}$$

$$\eta = \frac{P_o}{P_E} = \frac{\frac{1}{2} \frac{U_{om}^2}{R_L}}{\frac{2}{\pi} \frac{U_{om}}{R_L} U_{CC}} = \frac{\pi}{4} \frac{U_{om}}{U_{CC}}$$

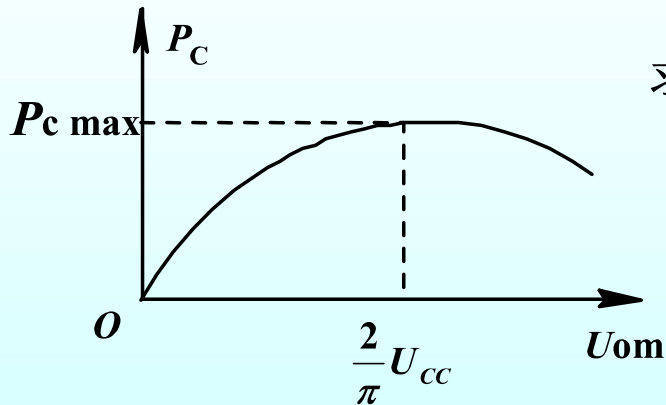
$$\eta_m = \frac{\pi}{4} = 78.5\%$$



$$P_o = \frac{1}{2} \frac{U_{om}^2}{R_L} \quad P_{om} = \frac{1}{2} \frac{U_{CC}^2}{R_L}$$

3. 管耗 P_c
$$P_c = P_E - P_o = \frac{2}{\pi} \frac{U_{om} U_{CC}}{R_L} - \frac{1}{2} \frac{U_{om}^2}{R_L}$$

静态时 $P_c = P_E = P_o = 0$



求极值方法? 当 $U_{om} = \frac{2}{\pi} U_{CC}$

$$\begin{aligned} \text{有 } P_{c \max} &= \frac{2}{\pi^2} \frac{U_{CC}^2}{R_L} \\ &= \frac{4}{\pi^2} P_{om} \approx 0.4 P_{om} \end{aligned}$$

$$P_{1c \max} = \frac{1}{2} P_{c \max} \approx 0.2 P_{om}$$

三、结论：乙类功放

1. 静态时 $I_{CQ}=0, P_o=0, P_E=0, P_c=0$; 省电。

2. 动态： $P_o=P_{om}$ 时, P_c 较小, P_c 的最大值发生在静态与 P_{om} 之间;

3. 效率高：理想 $\eta = 78.5\%$

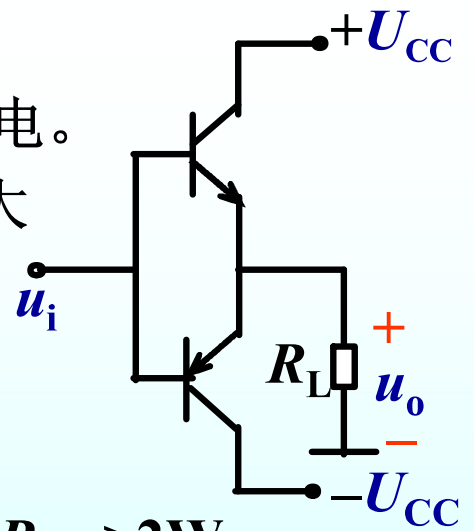
4. 选管：

(1) $P_{Cm} > 0.2P_{om}$, 若需 $P_{om}=10W$, 则需 $P_{Cm} > 2W$ 。

(甲类功放需要多大?)

(2) 反压 $U_{(BR)CEO} > 2U_{CC}$ 。

(3) $I_{CM} > U_{CC}/R_L$ 。



四、存在问题：

1. 交越失真

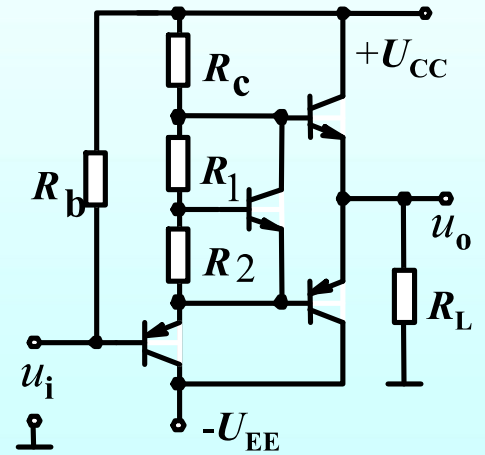
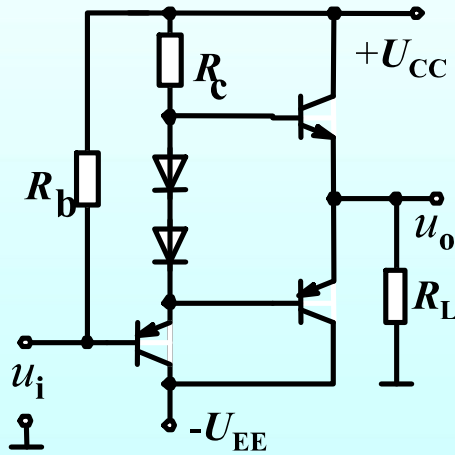
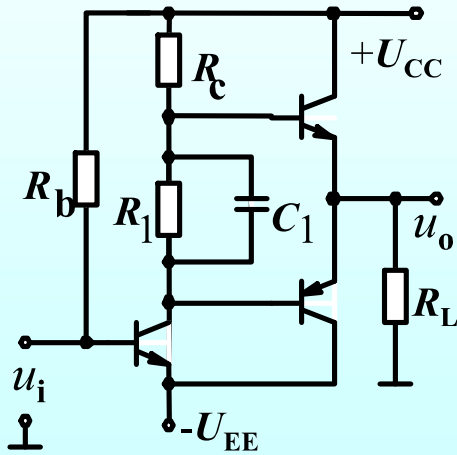
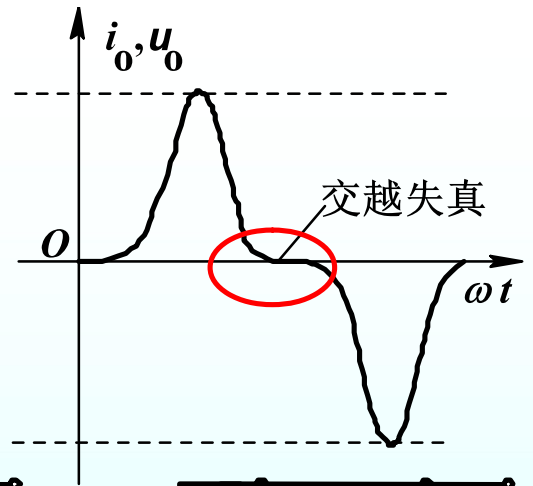
2. 互补管不易作到对称

四、存在问题：

1. 交越失真

解决：加小偏置。

(属甲乙类，多半个正弦波)



2. 互补管不易作到对称 解决:用复合管组成互补对称电路

四、存在问题：

1. 交越失真

2. 互补管不易作到对

$$\beta = \frac{I_{c2}}{I_{b1}} \approx \beta_1 \beta_2$$

管组成互补对称电路

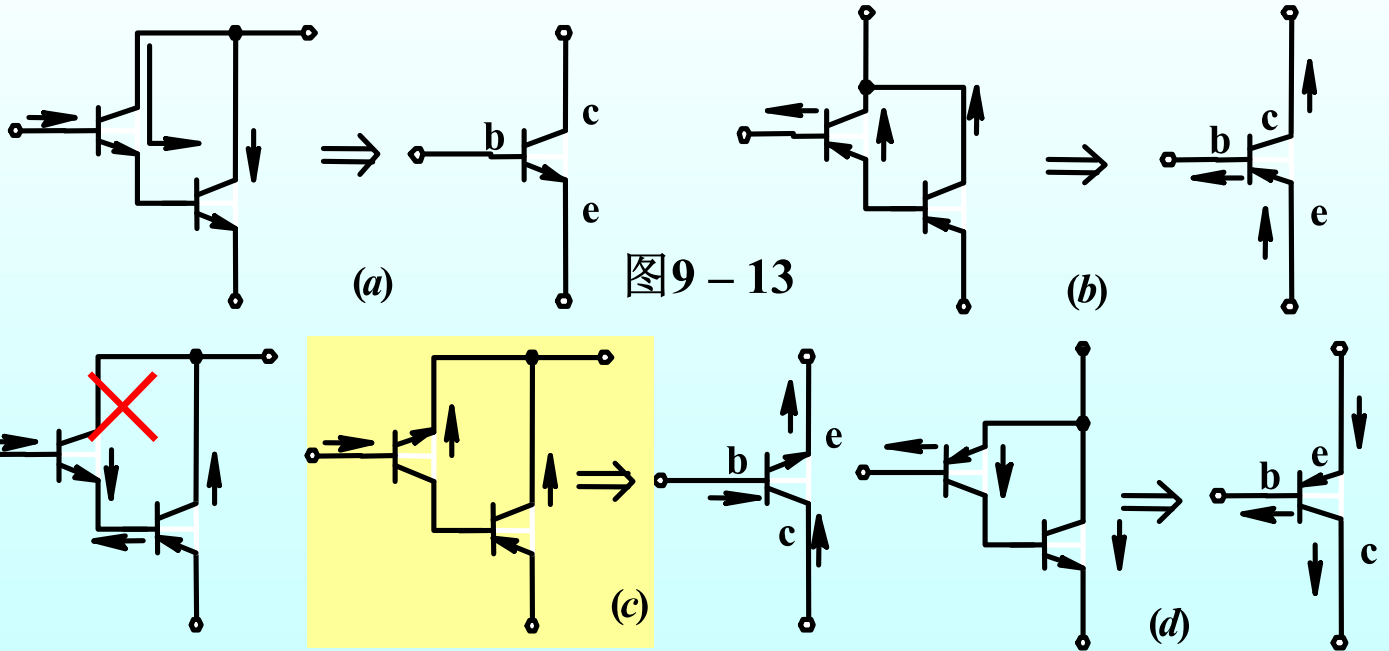
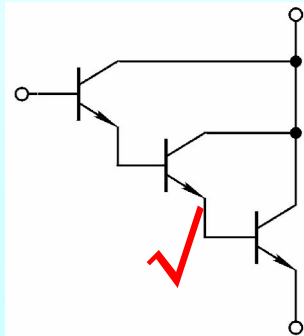
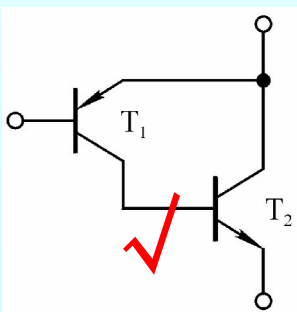
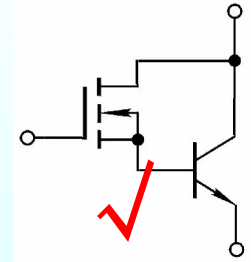
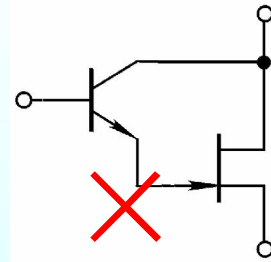
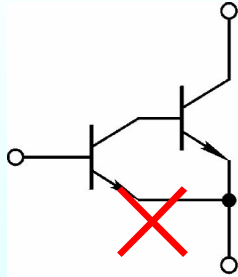
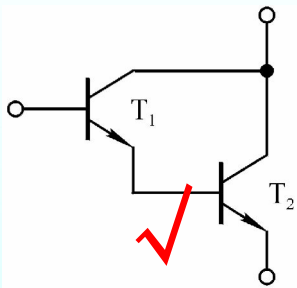


图9-13

注意：不同类型的管子复合后，其类型决定于 V_1 管。

讨论

判断下列各图是否能组成复合管



在合适的外加电压下，每只管子的电流都有合适的通路，才能组成复合管。

复合管类型取决于 V_1

复合管互补对称电路

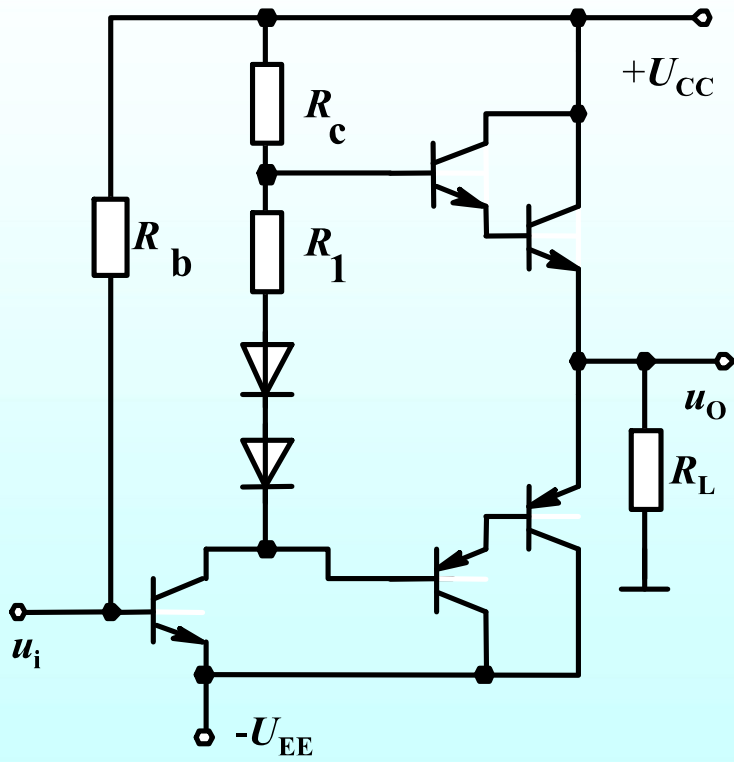


图9-14

准互补对称电路

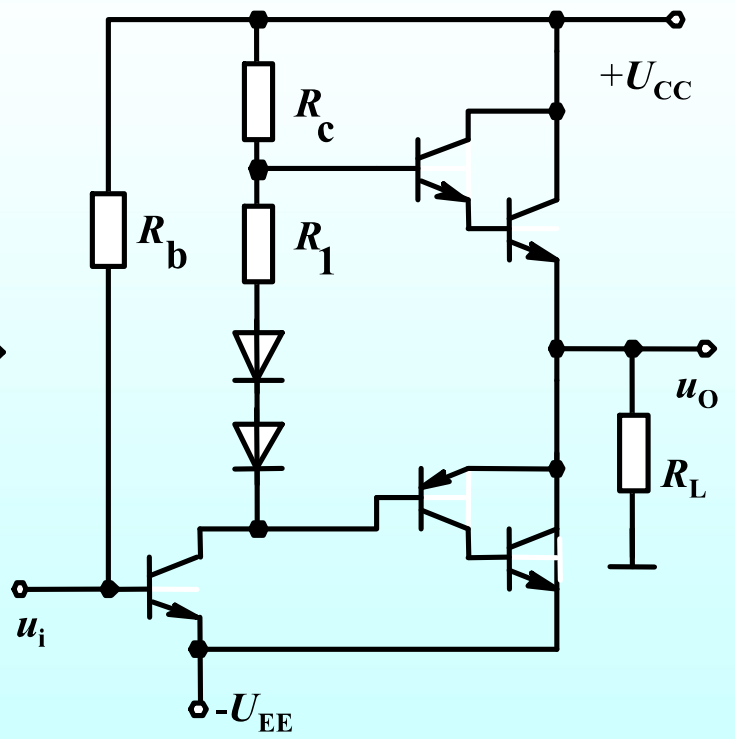


图9-15

9.2.2 OTL电路

一、特点

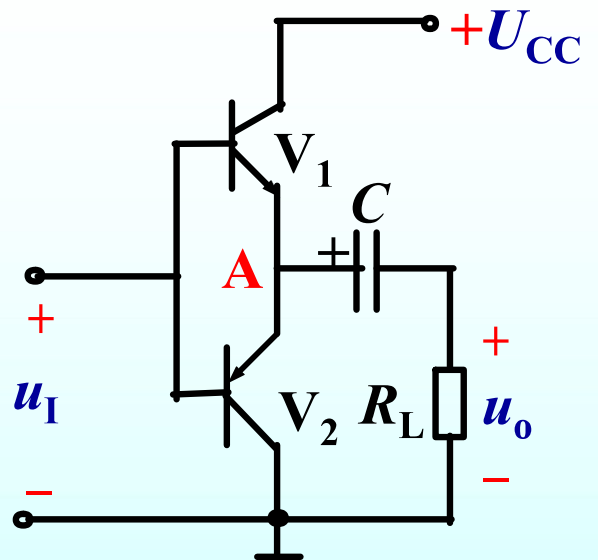
双管互补对称、单电源、
大电容、射极输出。

静态时 ($u_i = 0$)

$$V_A = \frac{V_{CC}}{2}$$

电容两端的电压

$$u_C = \frac{V_{CC}}{2}$$



OTL原理电路

$$I_{C1} \approx 0, \quad I_{C2} \approx 0$$

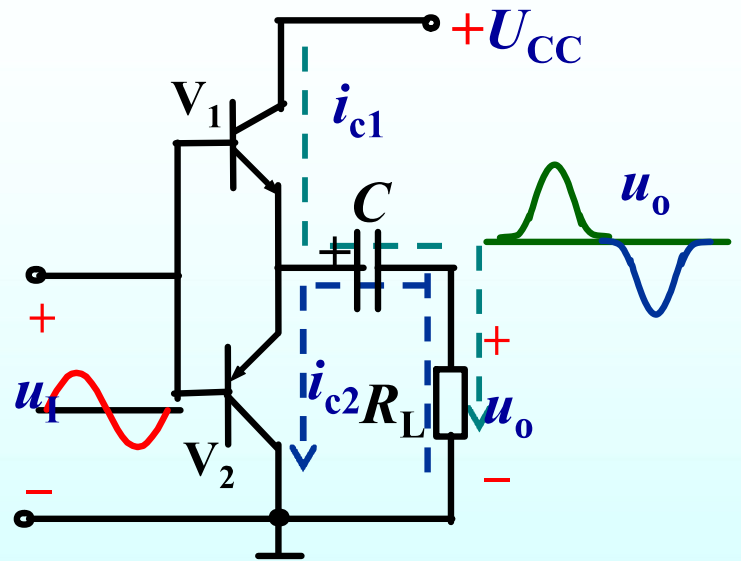
动态时

u_i 的正半周

V_1 导通、 V_2 截止；
同时给电容充电。

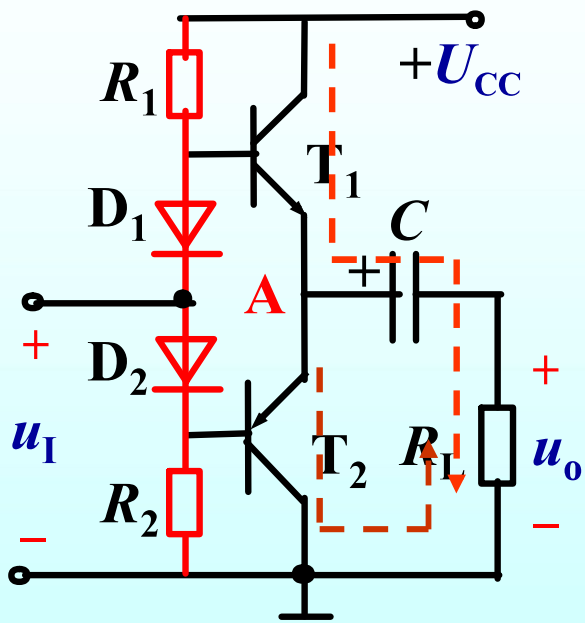
u_i 的负半周

V_2 导通、 V_1 截止；
电容放电，相当于电
源。



若 C 足够大，其上电压基本不变，则负载上得到的交流信号正负半周对称。

克服交越失真的电路



属甲乙类功率放大，
波形为多半个正弦波。

单电源互补对称电路

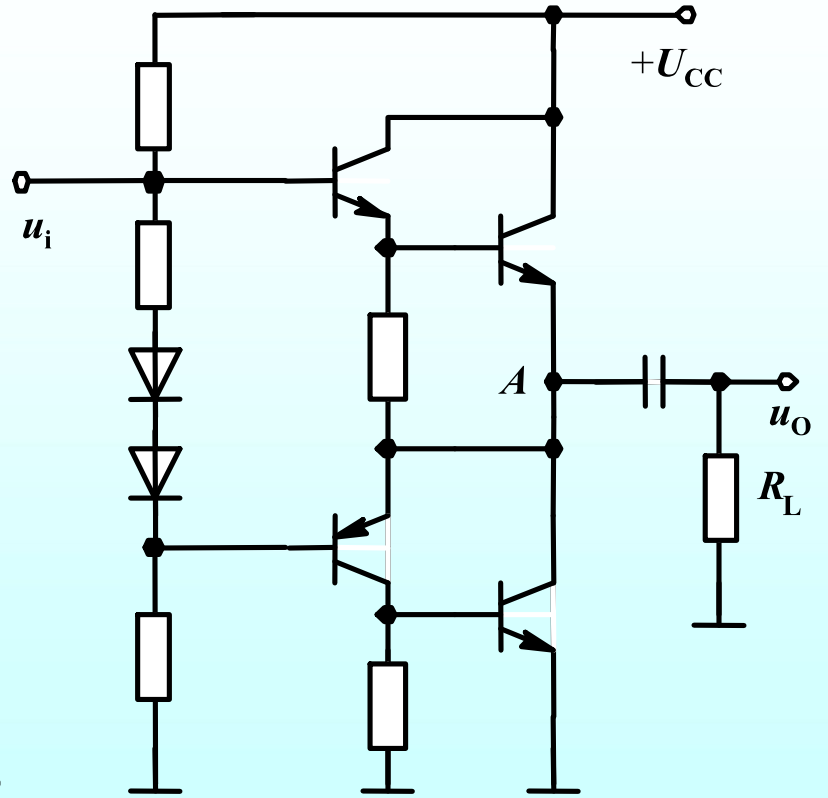


图9-16

9.2.3 实际功率放大电路举例

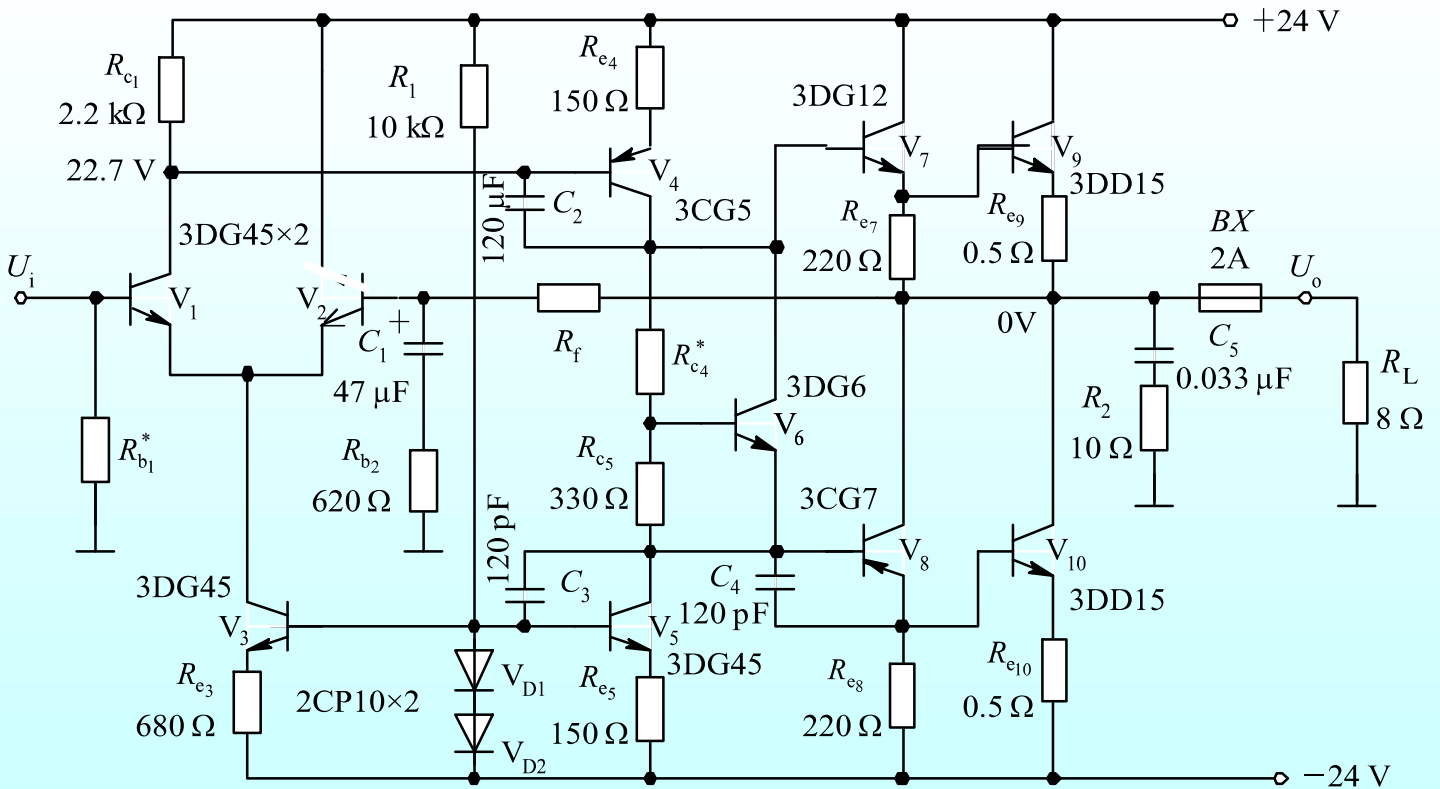


图9-17 OCL准互补对称功率放大电路

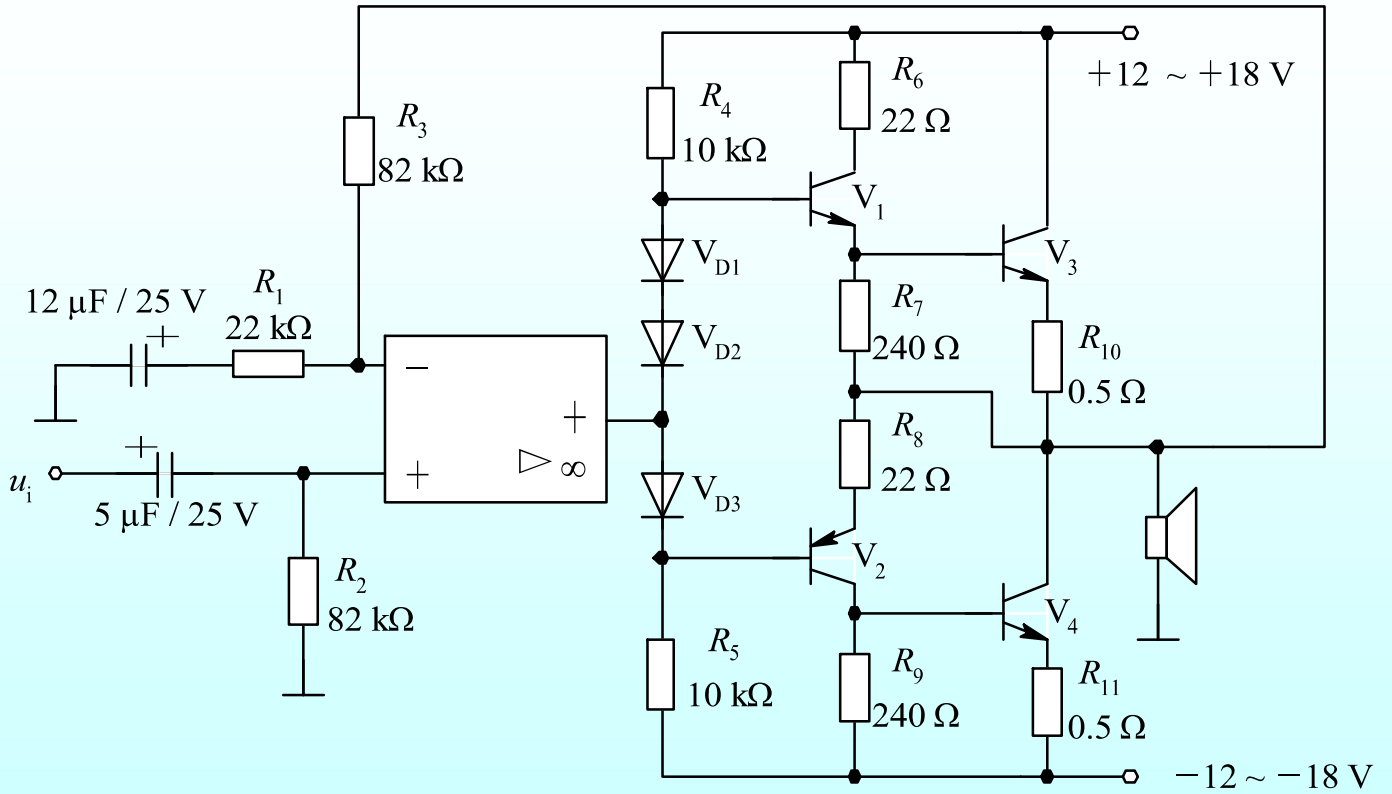
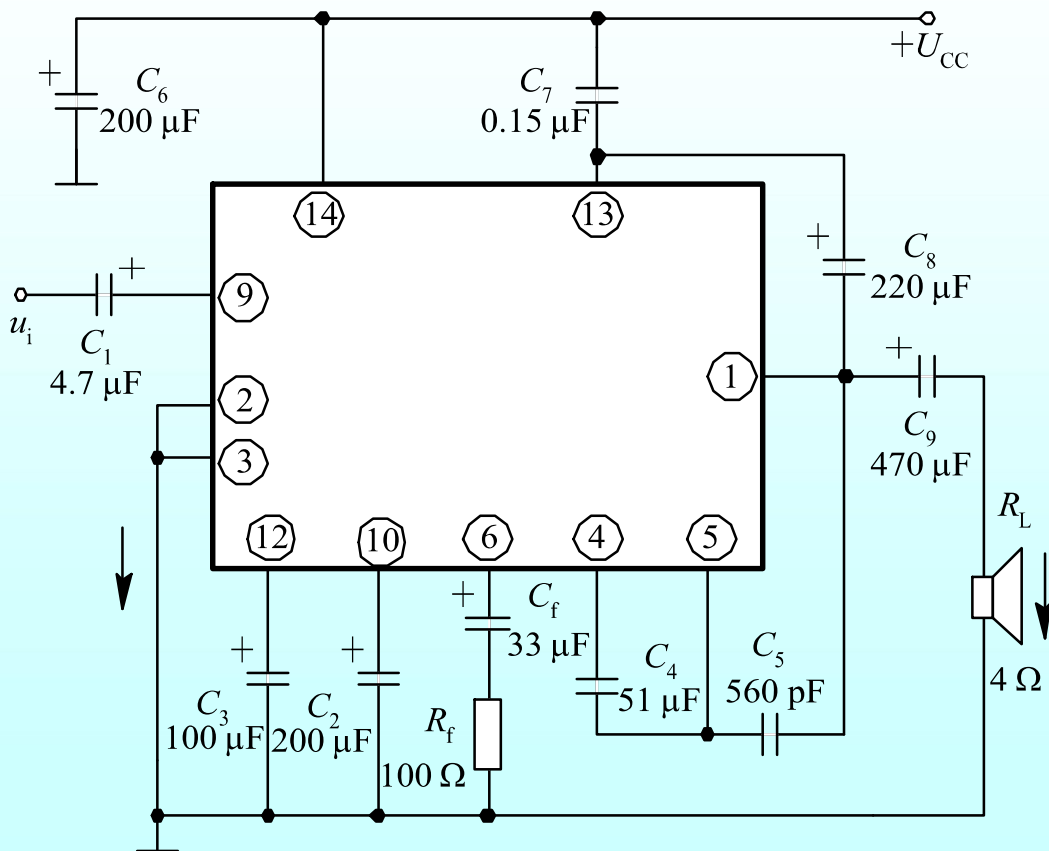


图9-18 集成运放作为前置级的OCL电路

DG4100集成功放的典型接线法



小结:

1.甲类阻容耦合功放最大效率**25%**

2.甲类变压器耦合功放最大效率**50%**

3.乙类互补对称功放(OCL电路)最大效率

$$\eta_m = 78.5\% \quad P_o = \frac{1}{2} \frac{(U_{CC} - U_{CES})^2}{R_L} \quad P_{cm} = 0.2P_{om},$$

有交越失真。

4.甲乙类互补对称功放消除交越失真，各项参数按乙类功放估算。

5.OTL电路 P_o 表达式: $P_o = \frac{1}{2} \frac{[(U_{CC} / 2) - U_{CES}]^2}{R_L}$,其余与前相同。

本章要求:

- 1.掌握甲类、乙类、甲乙类工作状态,理想 P_{om} 、 η ;
- 2.掌握OCL工作原理,了解其它功放电路特点;
- 3.正确估算 P_{om} 、 η ,了解功放管的选择方法。

作业: P229 6, 10 预习第10章