

第九章 功率放大电路

§ 9.1 功率放大电路的特点及分类

§ 9.2 互补推挽功率放大电路



§ 9.1 功率放大电路的特点及分类

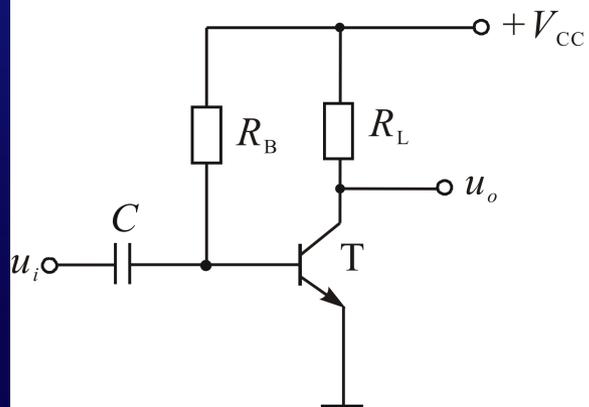
- 一、功率放大电路的特点
- 二、功率放大电路的分类



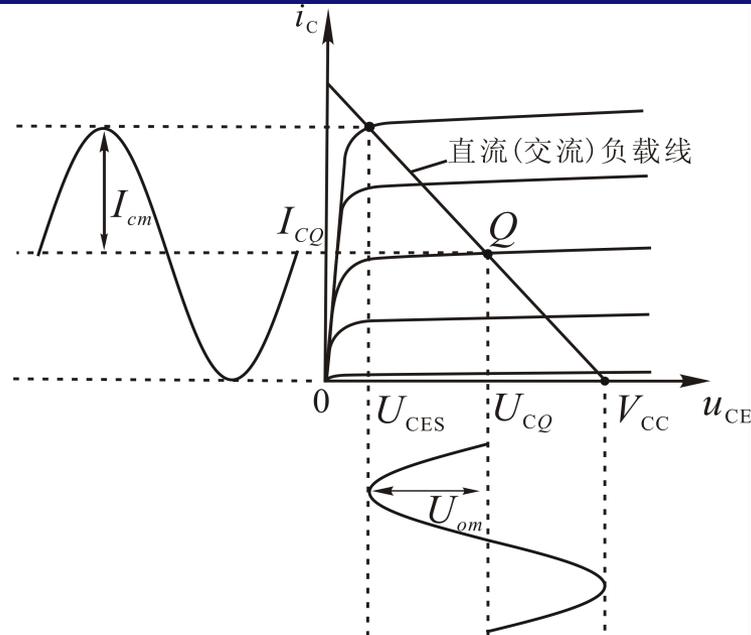
一、功率放大电路的特点

- (1) 要有尽可能大的输出功率
- (2) 效率要高
- (3) 非线性失真要小
- (4) 要加装散热和保护装置
- (5) 要用图解法分析

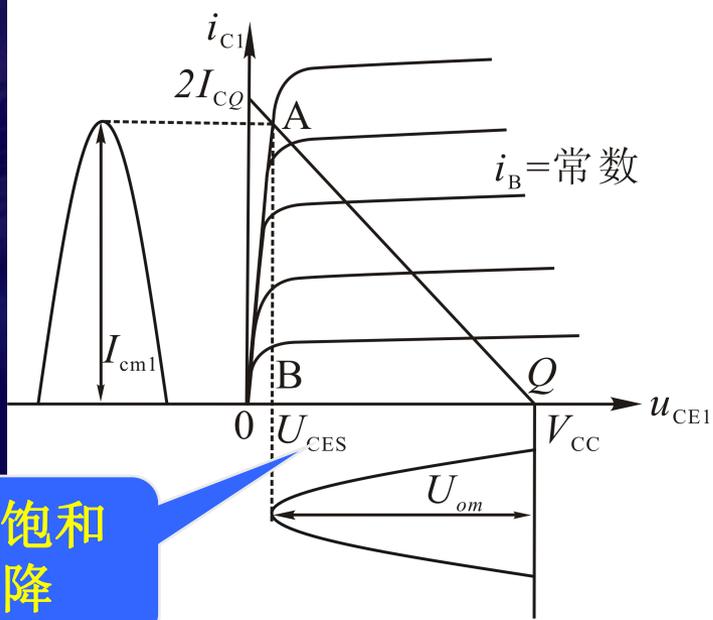
图解法



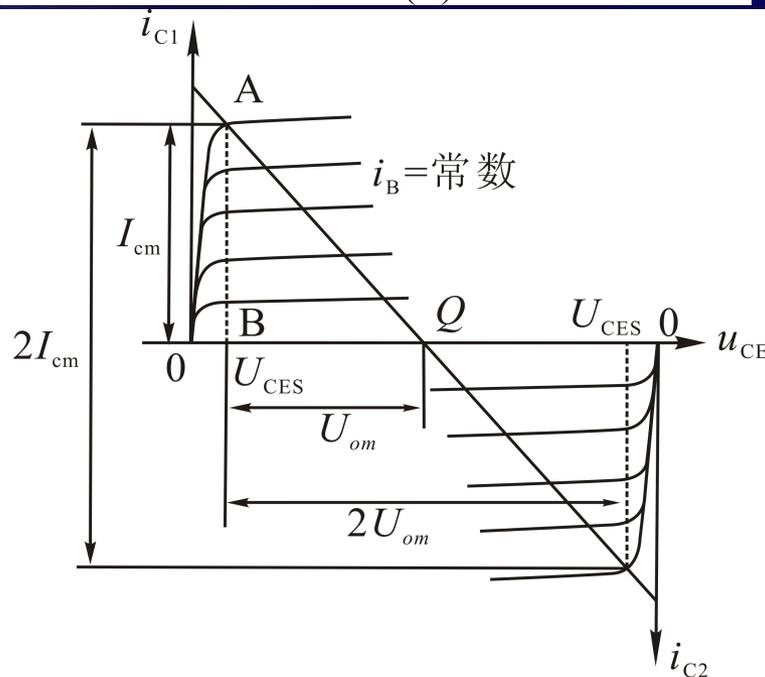
(a)



(b)



(a)



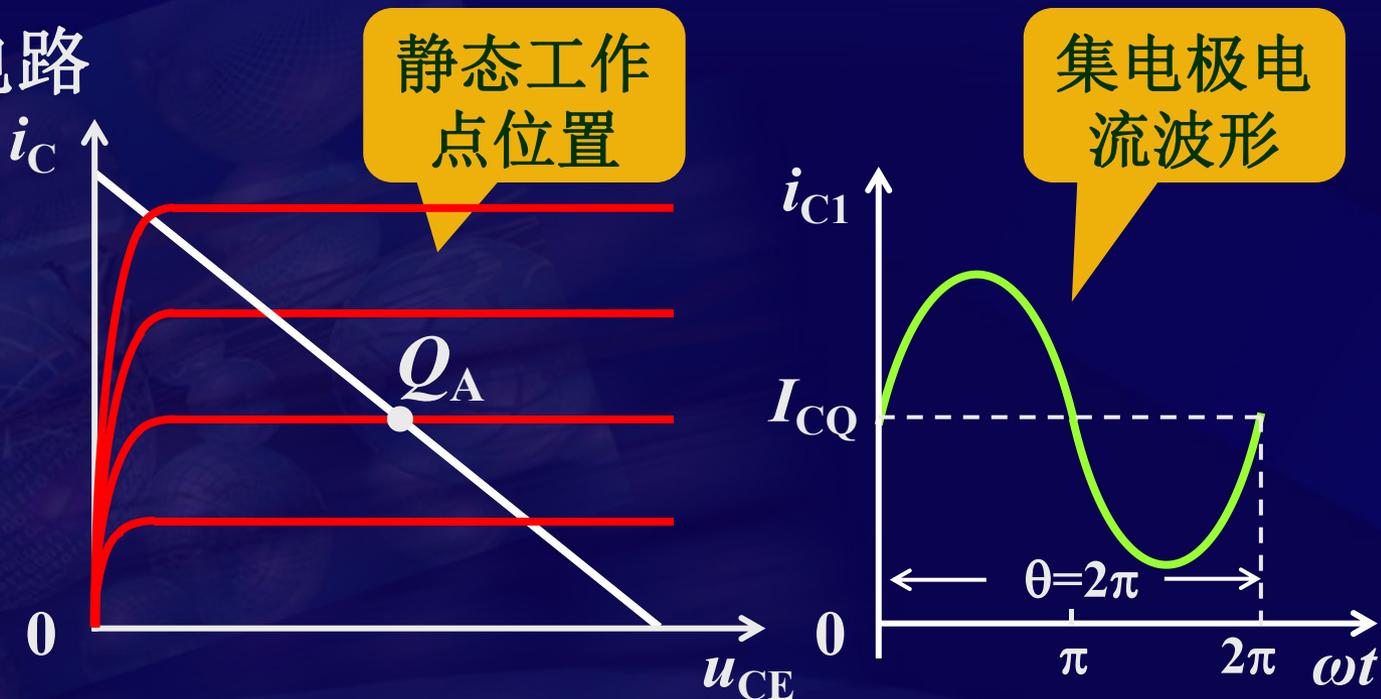
(b)

管子饱和
压降

二、功率放大电路的分类

根据晶体管的静态工作点的位置不同分：

(1) 甲类放大电路



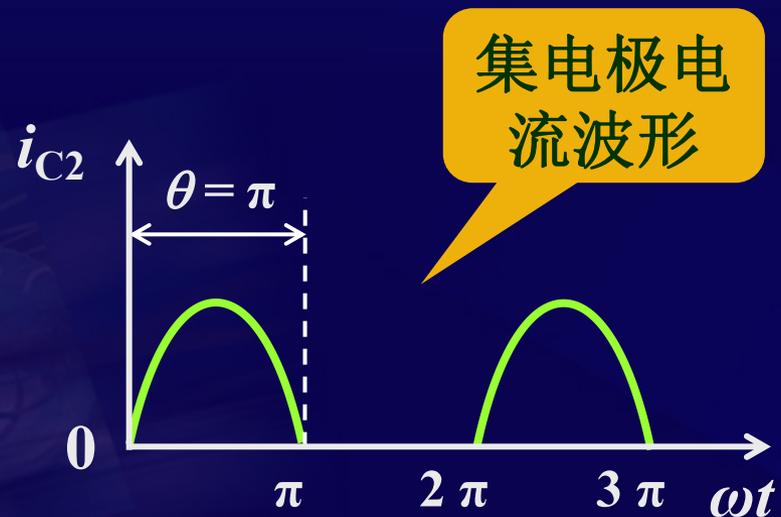
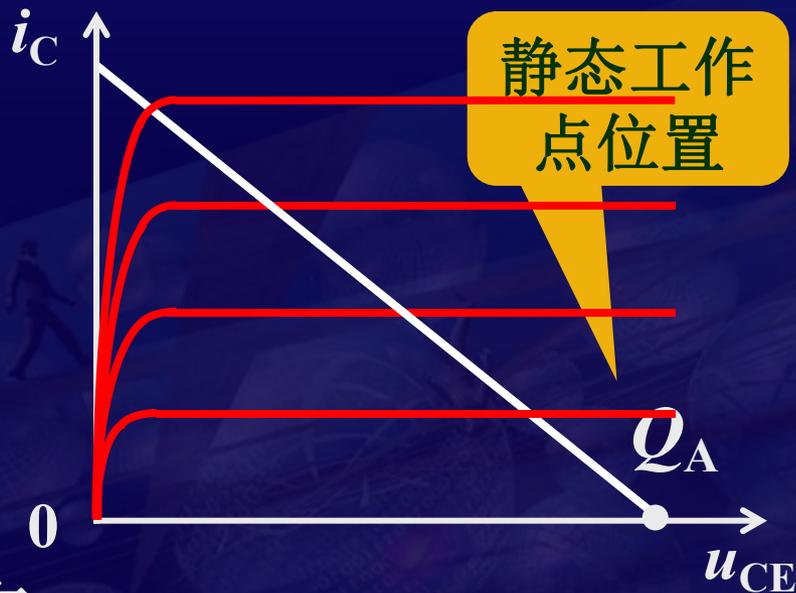
特点：

a. 静态功耗 $P_C = U_{CEQ} I_{CQ}$ 大

b. 能量转换效率低

c. 放大管的导通角 $\theta = 2\pi$

(2) 乙类放大电路



特点:

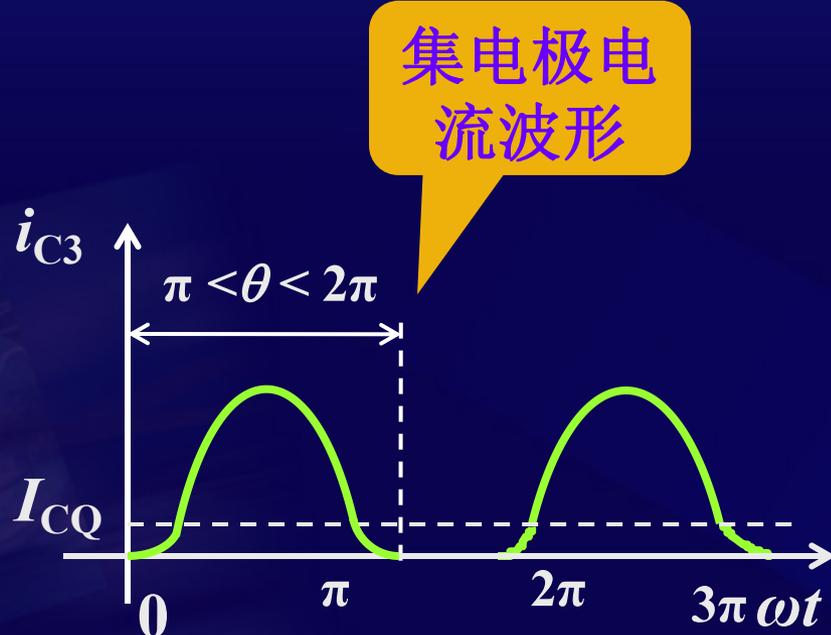
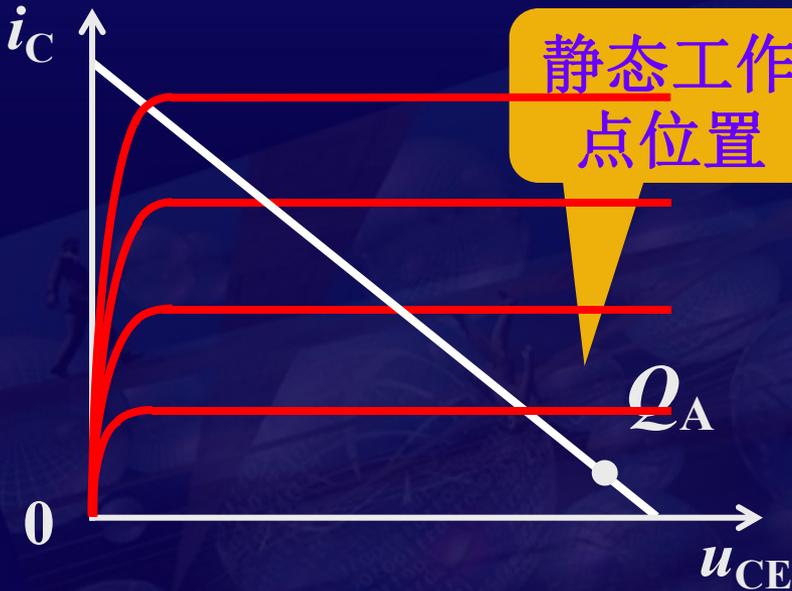
a. 静态功耗 $P_C = U_{CEQ} I_{CQ} \approx 0$

b. 能量转换效率高

c. 输出失真大

d. 放大管的导通角 $\theta = \pi$

(3) 甲乙类放大电路



特点:

a. 静态功耗较小

b. 能量转换效率较高

c. 输出失真较大

d. 放大管的导通角 $\pi < \theta < 2\pi$

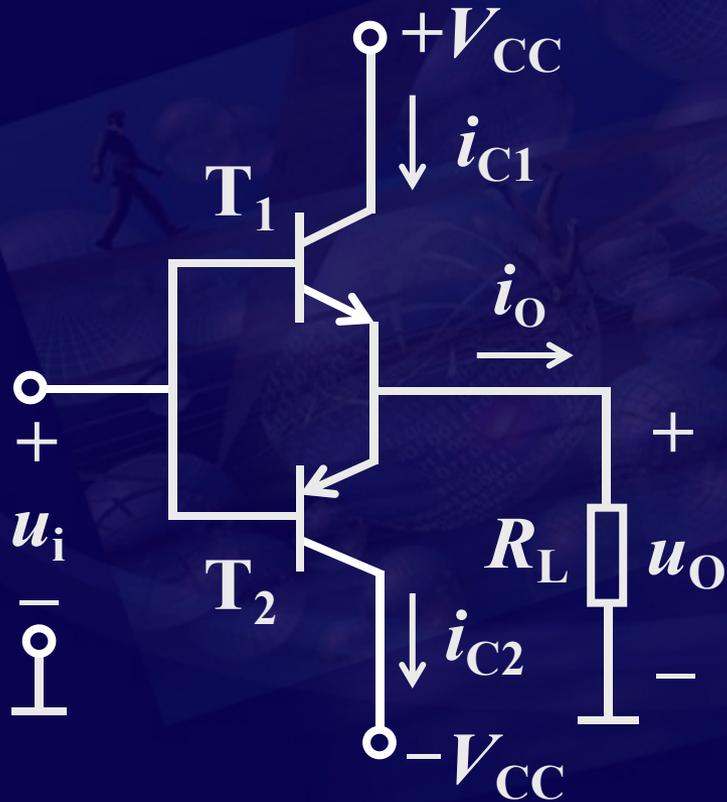


9.2 互补推挽功率放大电路

- 一、乙类互补推挽功率放大电路
- 二、甲乙类互补推挽电路
- 三、单电源功率放大电路



一、乙类互补推挽功率放大电路



电路特点：

- (1) 晶体管 T_1 、 T_2 特性对称
- (2) 电源对称
- (3) T_1 、 T_2 射极输出

1. 工作原理

设 $u_i = U_{im} \sin \omega t$

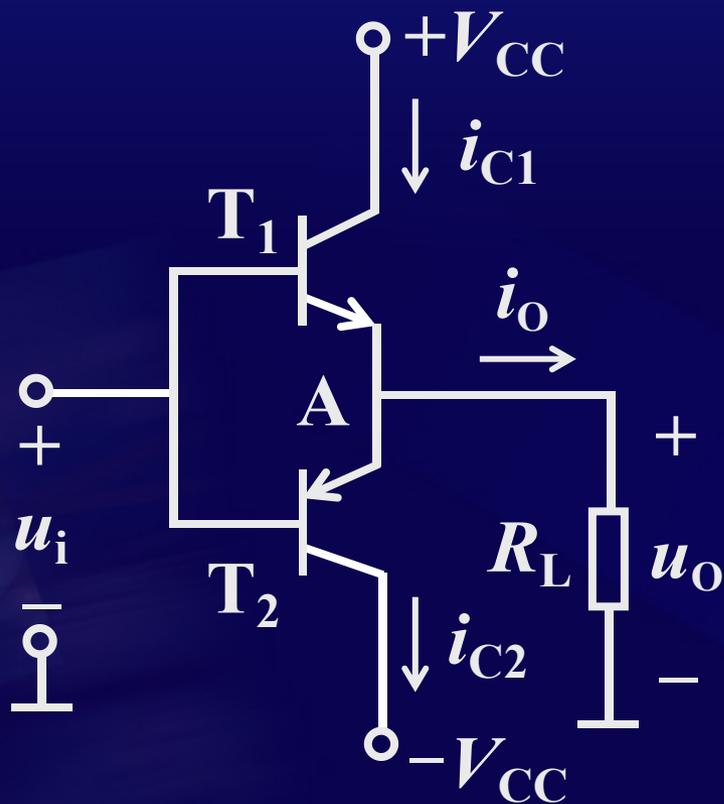
a. 当 $u_i = 0$ 时

$$U_A = 0$$

T_1 、 T_2 截止

$$u_o = 0$$

静态功耗为零



b. $u_i > 0$ 时

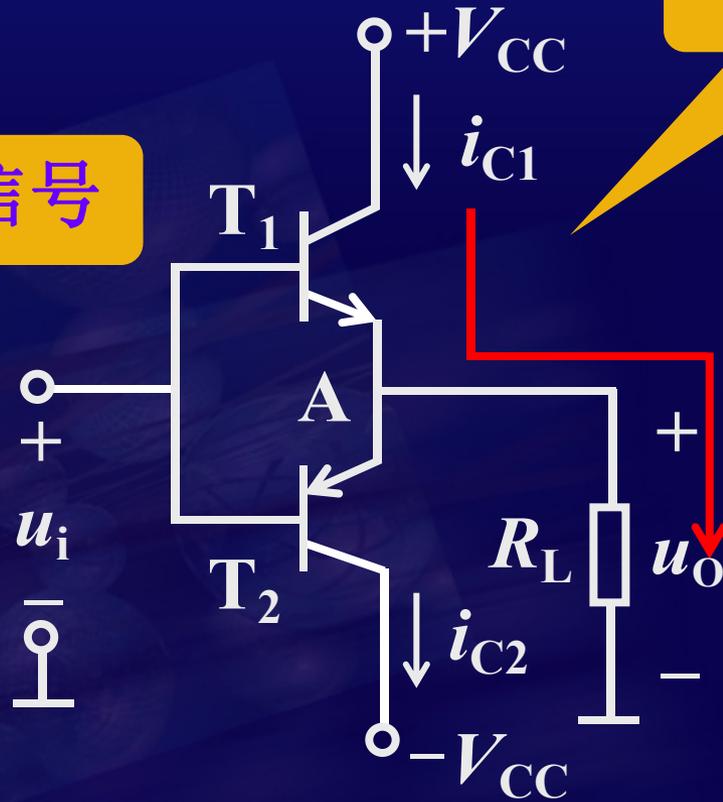
T_1 导通

T_2 截止

输入信号

电流方向

输出信号



$u_O \approx u_i$



c. $u_i < 0$ 时

T_1 截止

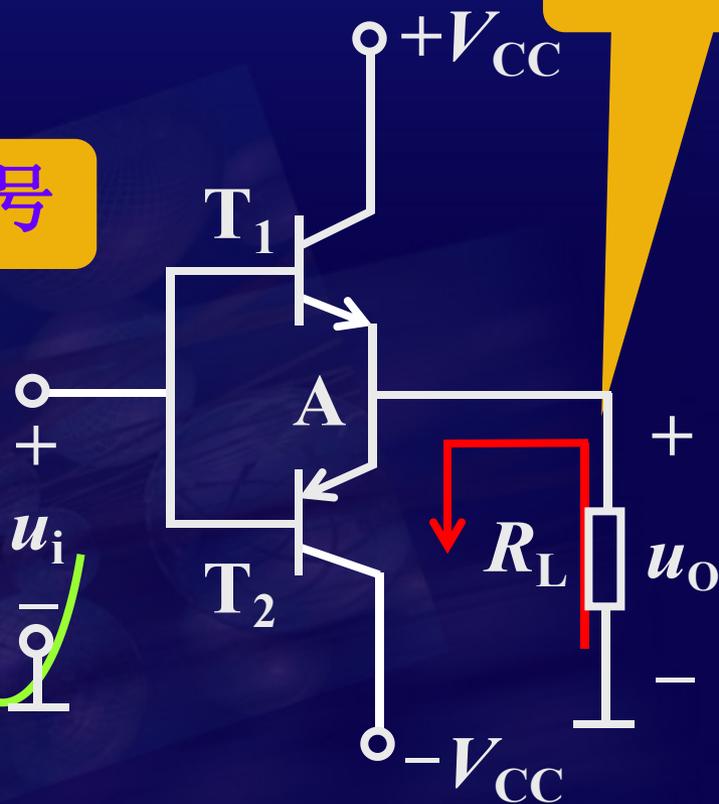
T_2 导通

输入信号

电流方向

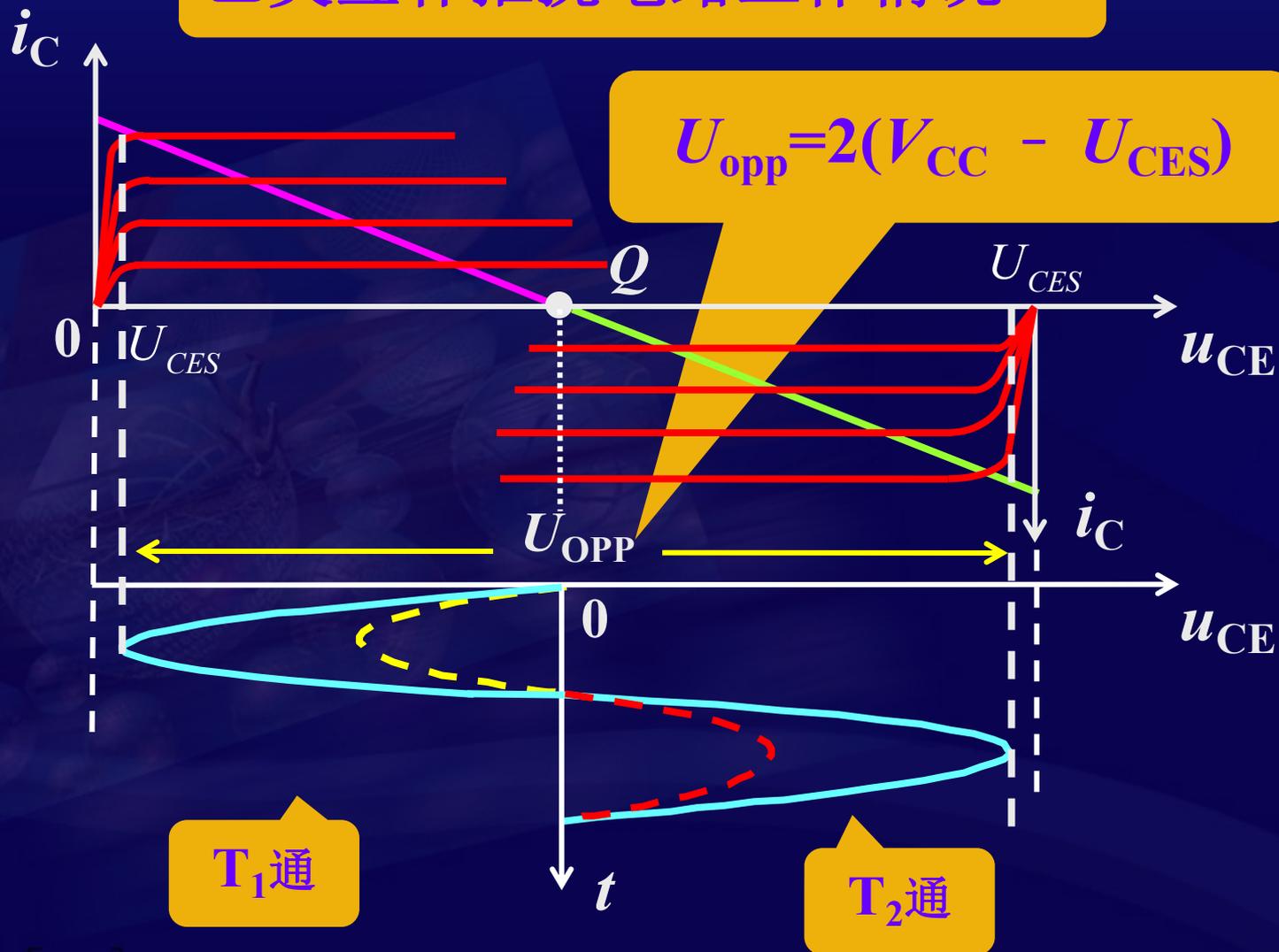
输出信号

$$u_o \approx u_i$$



由于电路的负载并非通过电容而是直接接在晶体管的射极，因而这功率放大电路业常称为OCL (Output Capacitanceless) 电路。

乙类互补推挽电路工作情况



2. 主要指标计算

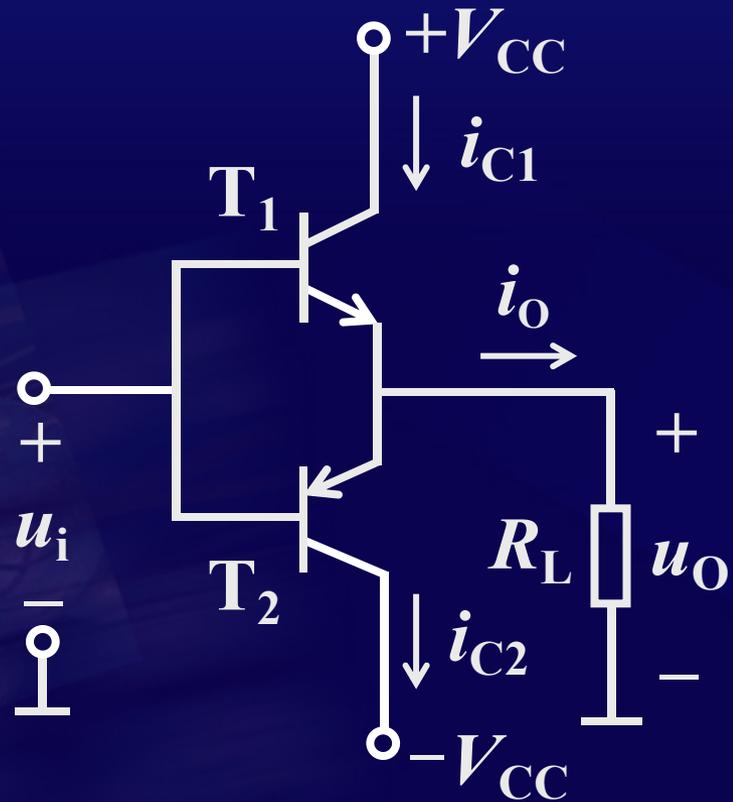
设 $u_o = U_{om} \sin \omega t$

(1) 输出功率

$$P_o = U_o I_o$$

$$= \frac{1}{2} U_{om} I_{om}$$

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

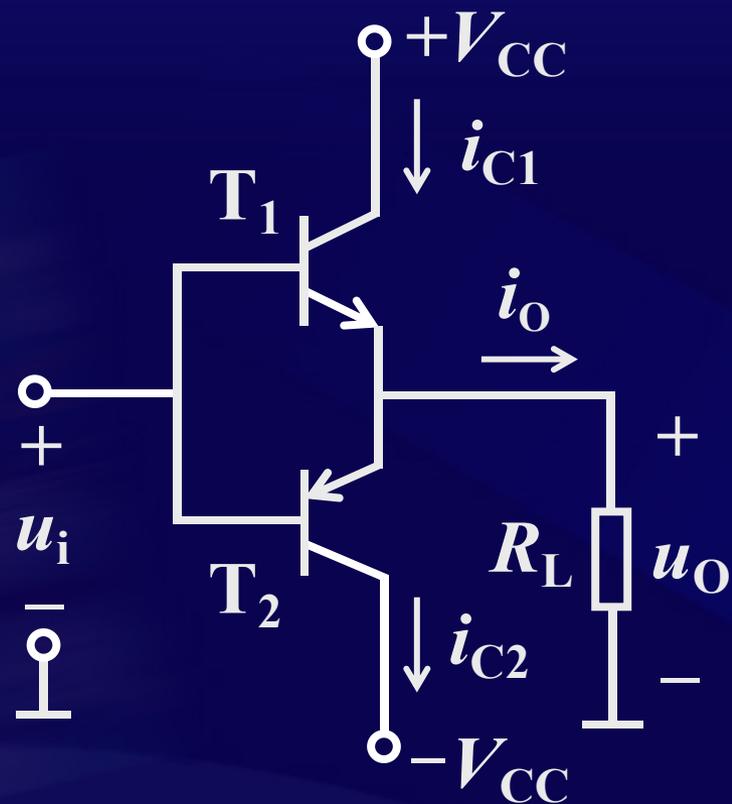


当 U_{om} 达到最大值 ($V_{CC} - U_{CES}$) 时

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

当忽略三极管的饱和压降 U_{CES} 时

$$P_{\text{om}} \approx \frac{V_{\text{CC}}^2}{2R_{\text{L}}}$$



(2) 电源供给的功率

平均集电极电流 $I_{C(AV)}$ 为

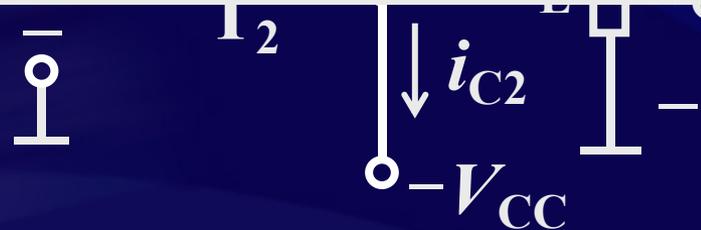
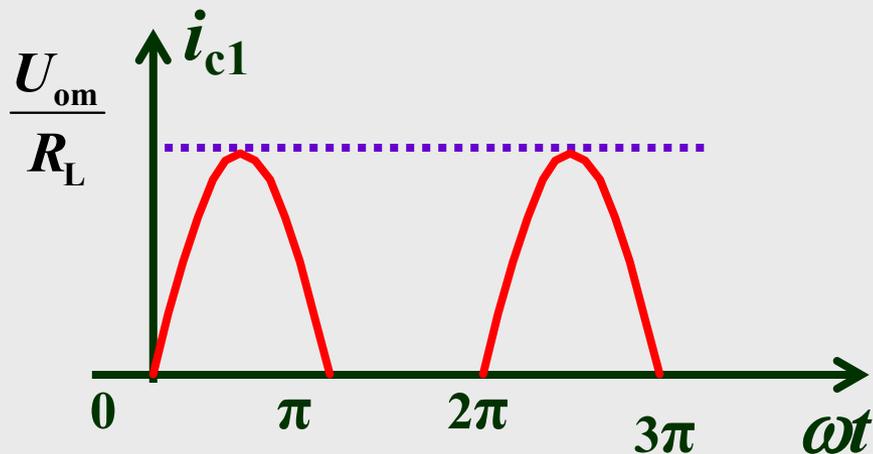
$$I_{C(AV)} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} i_{c1} d\omega t$$

$$= \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} \frac{u_{om}}{R_L} d\omega t$$

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

$$= \frac{1}{\pi} \frac{U_{om}}{R_L}$$

每个电源中的电流为半个正弦波



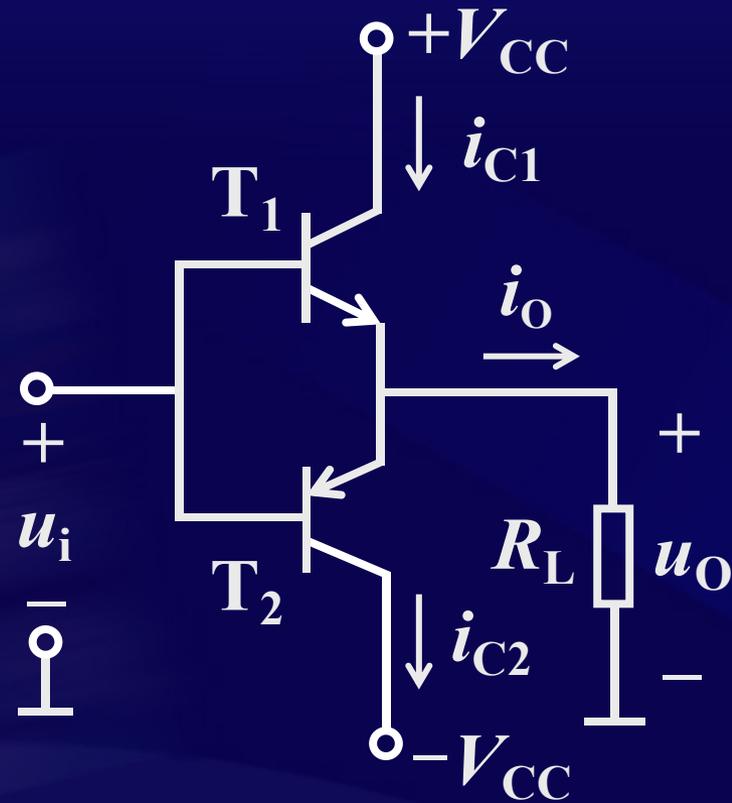
两个电源供给的总电源功率

$$\begin{aligned} P_V &= 2V_{CC}I_C \\ &= \frac{2V_{CC}U_{om}}{\pi R_L} \end{aligned}$$

(3) 能量转换效率

$$\eta = \frac{P_o}{P_V}$$

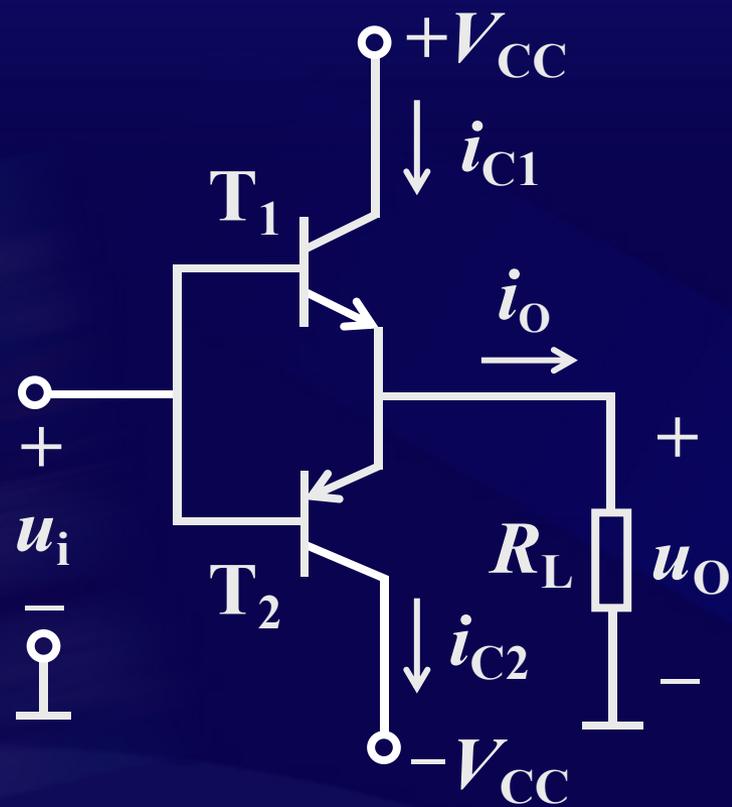
$$\begin{aligned} &= \frac{\frac{1}{2} \frac{U_{om}^2}{R_L}}{\frac{2U_{om}V_{CC}}{\pi R_L}} = \frac{\pi U_{om}}{4V_{CC}} \end{aligned}$$



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

当 $U_{om} \approx V_{CC}$ 时

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



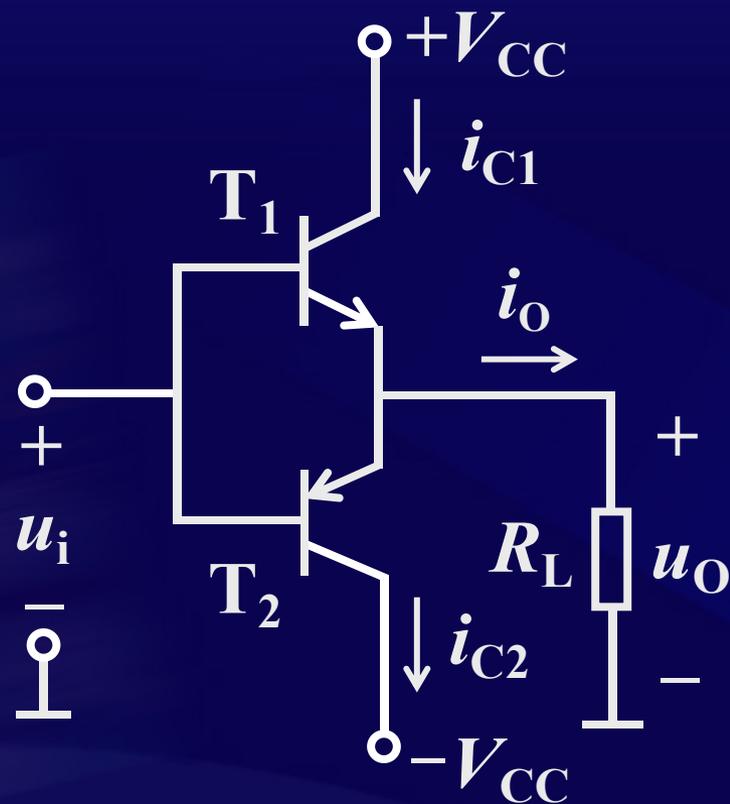
(4) 晶体管的耗散功率

$$\begin{aligned} P_T &= P_V - P_o \\ &= \frac{2 V_{CC} U_{om}}{\pi R_L} - \frac{1 U_{om}^2}{2 R_L} \end{aligned}$$

令

$$\frac{dP_T}{dU_{om}} = \frac{1}{R_L} \left(\frac{2V_{CC}}{\pi} - U_{om} \right) = 0$$

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



即当输出电压幅值为

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

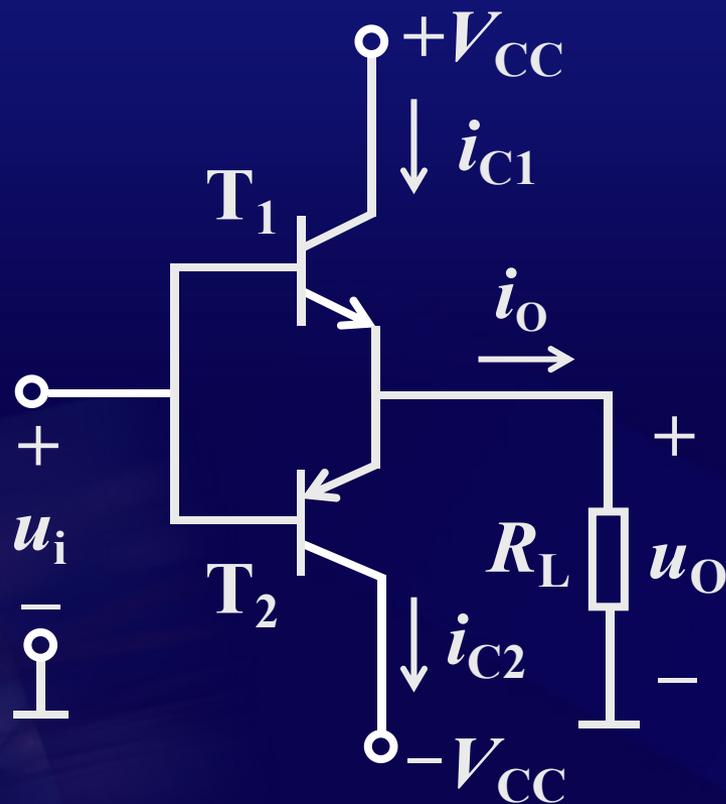
晶体管的管耗最大

最大管耗为

$$P_{Tm} = \frac{2}{\pi^2} \frac{V_{CC}^2}{R_L} \approx 0.4 P_{om}$$

每只管子的最大管耗为

$$P_{Tm1} = P_{Tm2} \approx 0.2 P_{om}$$



结论:

OCL电路效率较高;

电流、电压波形存在失真。



3. 电路存在的主要缺陷

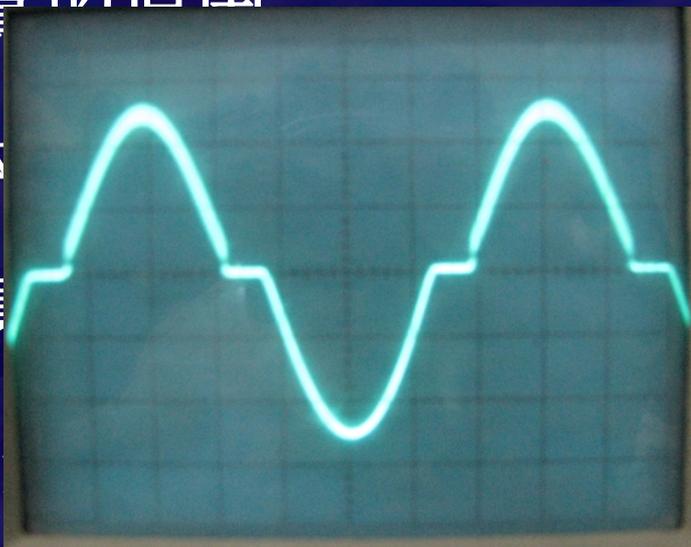
存在交越失真

a. 失真的原因

晶体

b. 失真

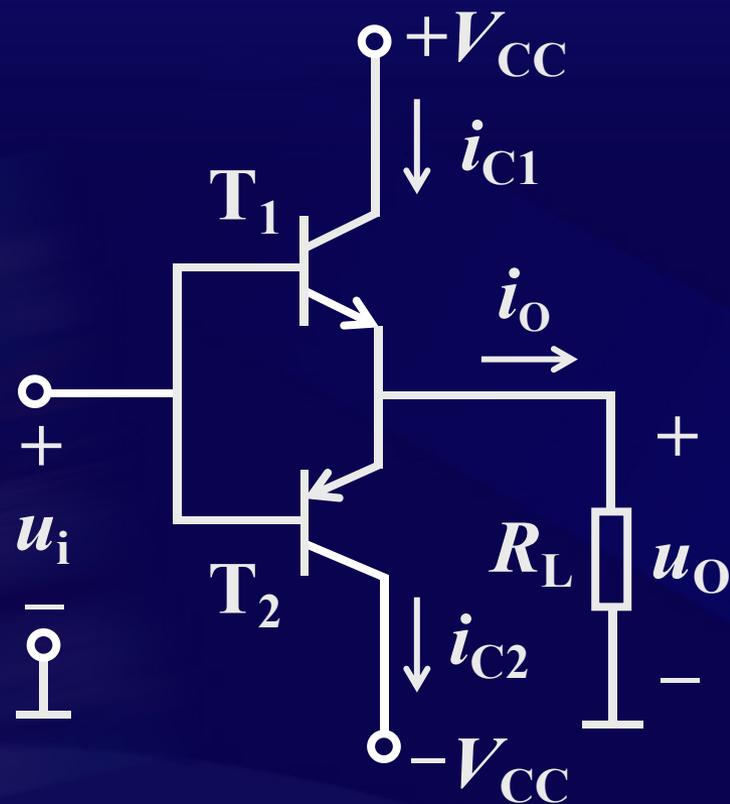
当 u_i



部截止

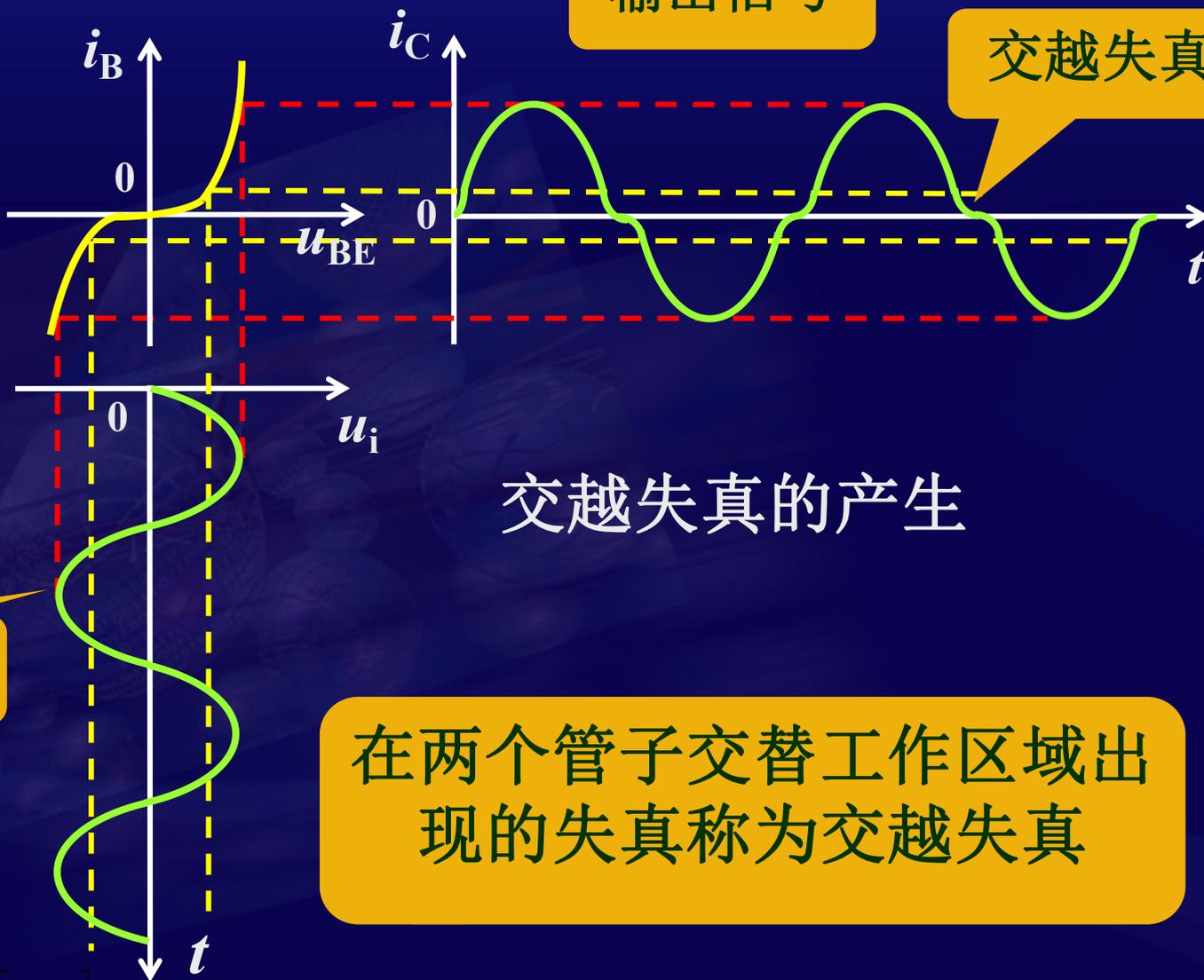
输出波形

“死区”



输出信号

交越失真



交越失真的产生

在两个管子交替工作区域出现的失真称为交越失真

输入信号

4. 克服交越失真的常用方法

给功率管 (T_1 和 T_2) 一定的直流偏置, 使其工作于微导通状态, 即甲乙类工作状态。



5. 功率管的选择

极限参数应满足(在互补推挽功率放大电路中)

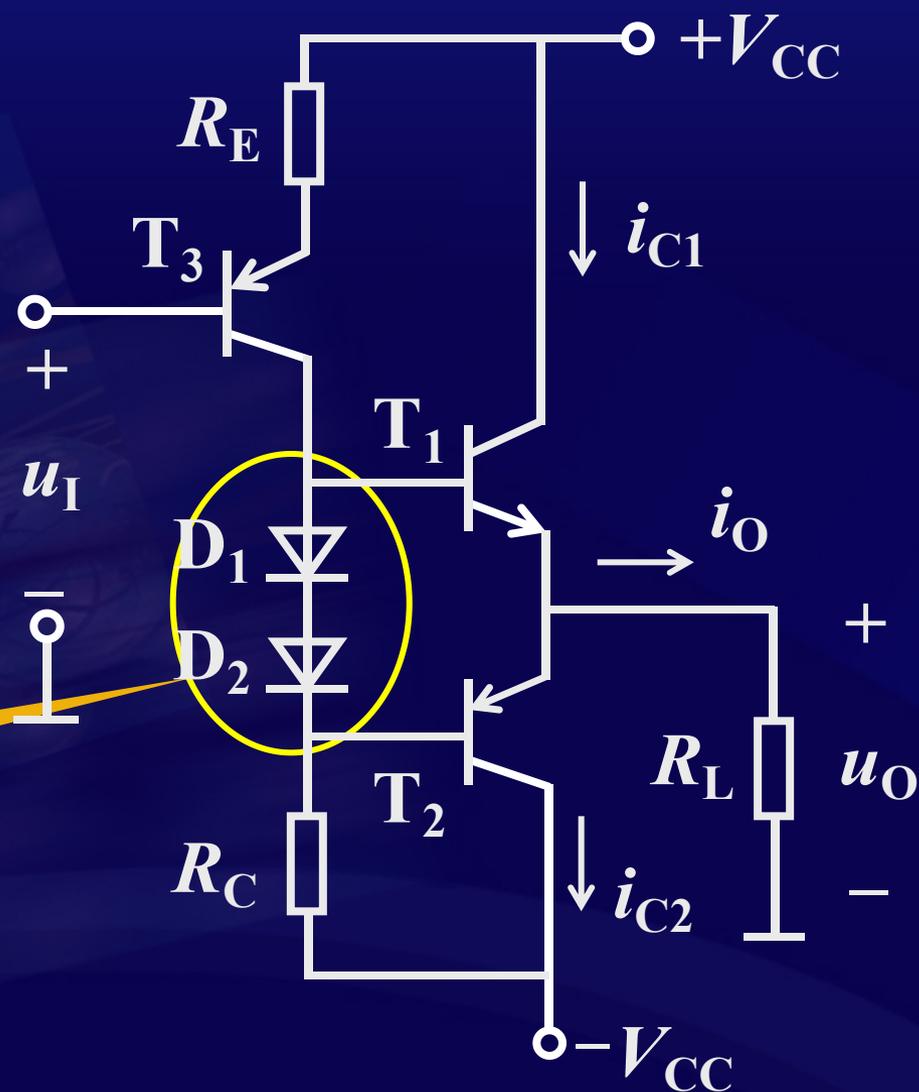
(1) 集电极允许的最大功耗 $P_{CM} \geq 0.2P_{om}$

(2) 功率管的击穿电压 $|U_{(BR)CEO}| > 2V_{CC}$

(3) 集电极允许最大电流 $I_{CM} > V_{CC}/R_C$

二、甲乙类互补推挽电路

1. 利用二极管提供偏压 (消除交越失真)

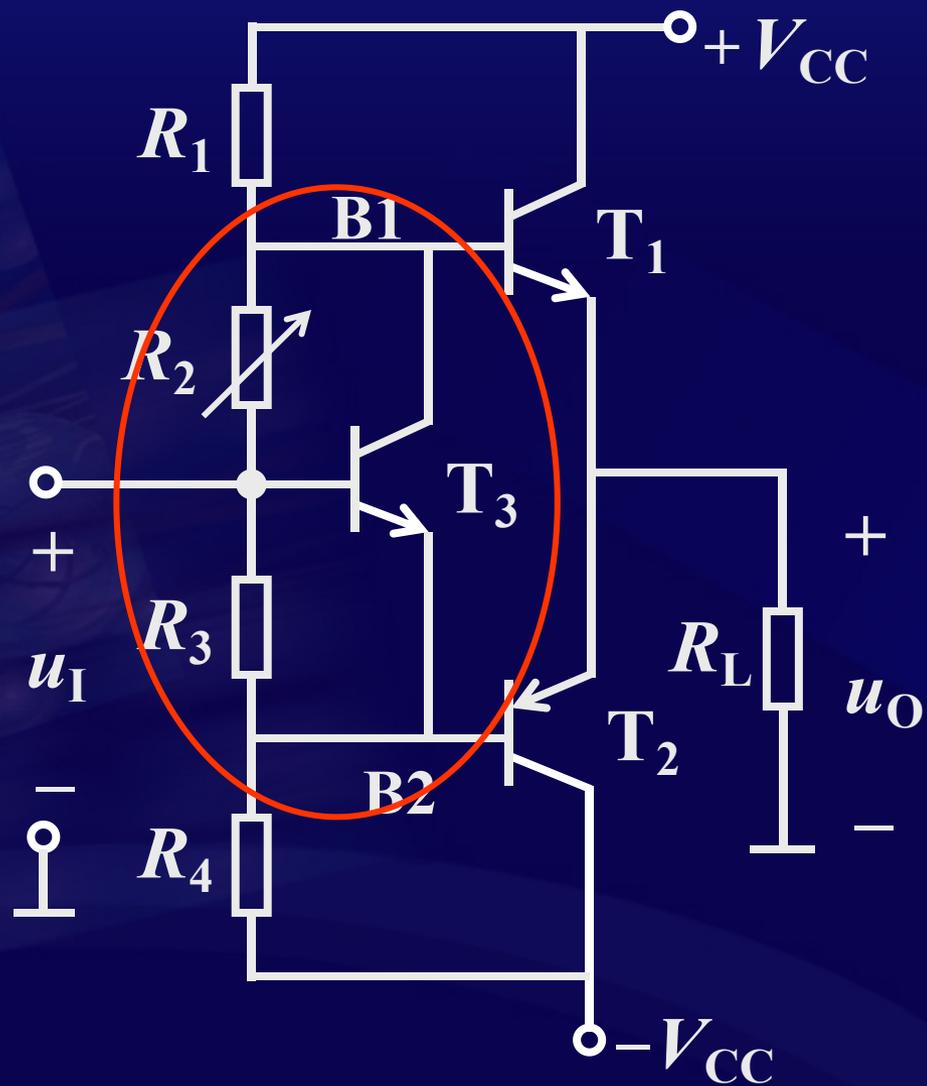


二极管提供偏压，使
 T_1 、 T_2 微导通状态

2. 利用扩大电路实现偏置

图中

$$U_{B1B2} = U_{BE3} \left(1 + \frac{R_2}{R_3} \right)$$



小结:

甲乙类互补推挽电路特点:

1. T_1 与 T_2 管基极之间有偏压, 存在小的集电极静态电流;

2. 可使放大器输出在零点附近仍能得到线性放大, u_o 与 u_i 在任何时刻都成线性。



三、单电源功率放大电路

1. 电路组成

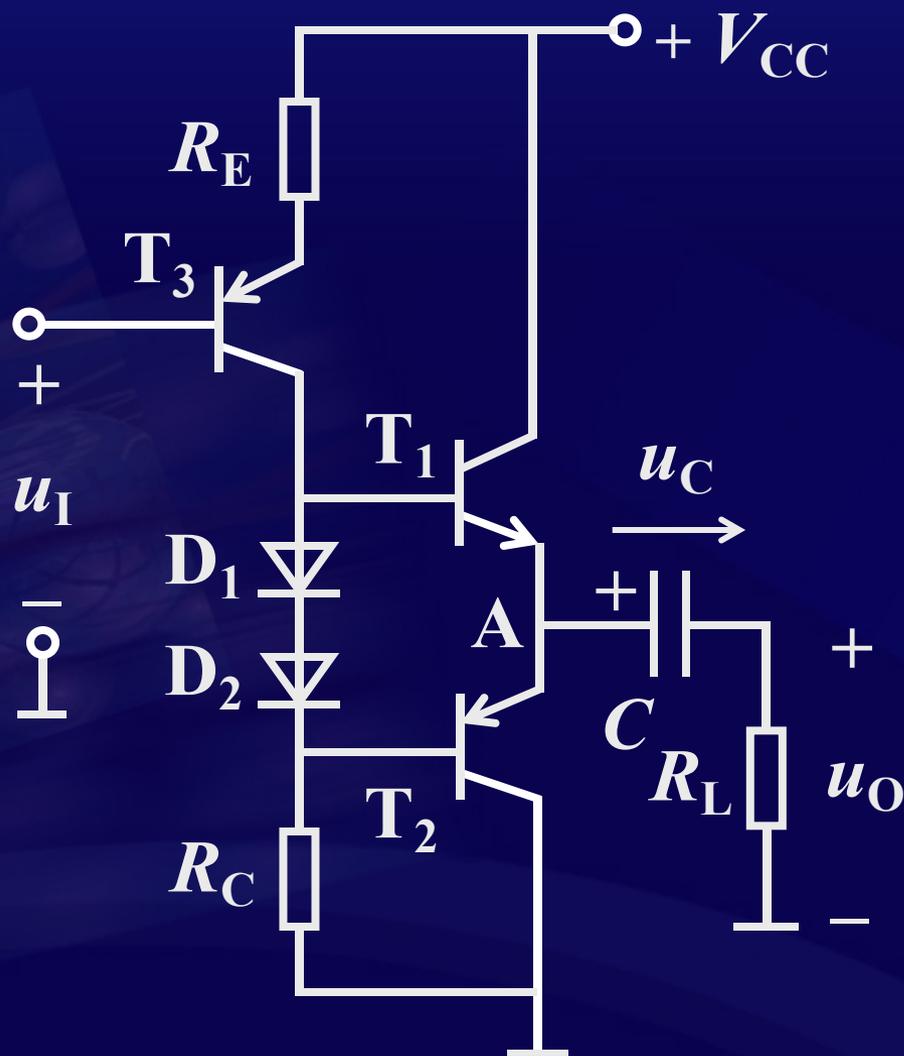
2. 工作原理

(1) 当 $u_I=0$ 时

$$u_A = V_{CC}/2$$

$$u_C = V_{CC}/2$$

输出电压 $u_O=0$



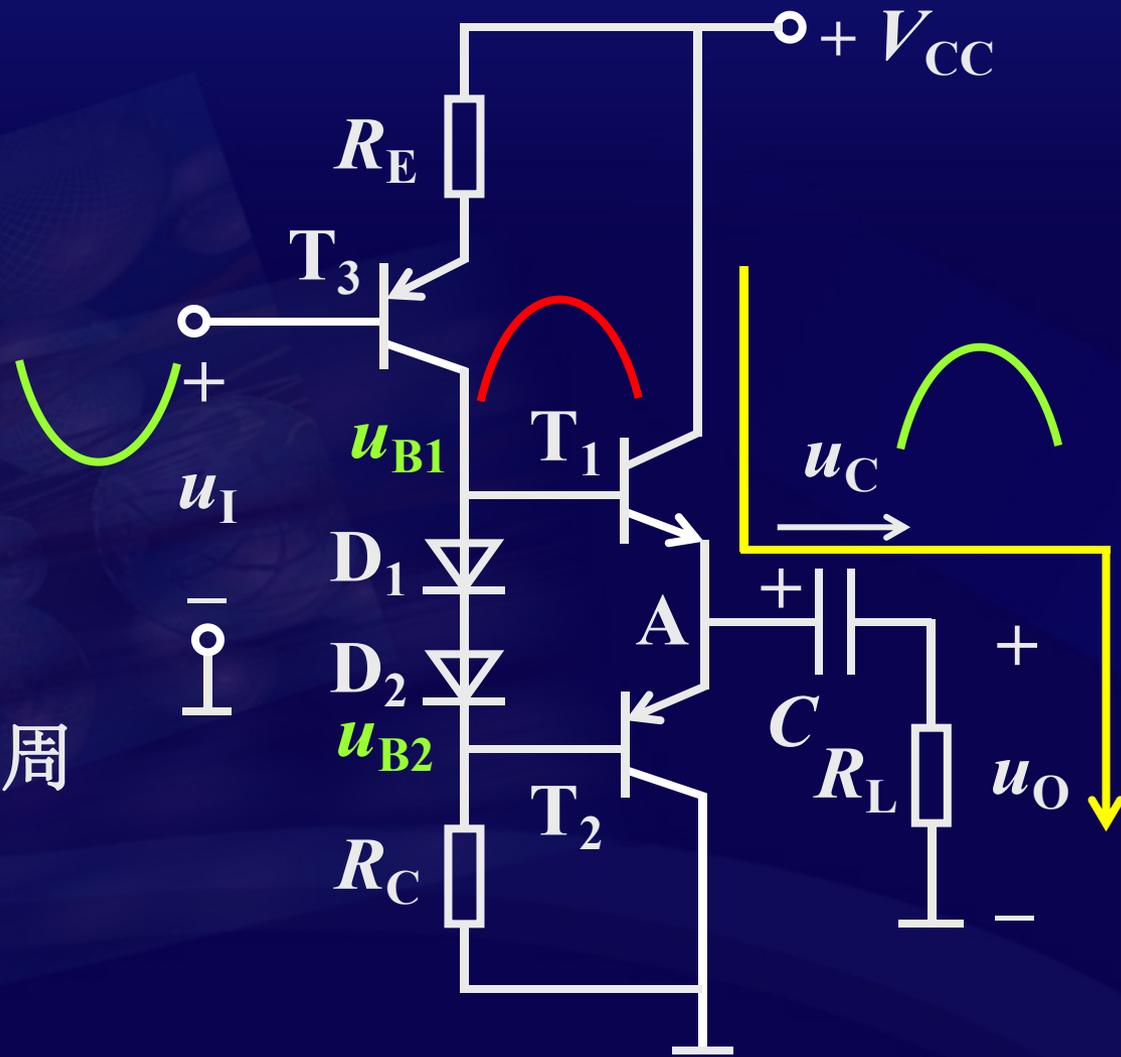
(2) 当 u_I 为负半周时

u_{B1} 信号为正半周

T_1 导通, T_2 截止

输出信号为正半周

电容 C 同时充电



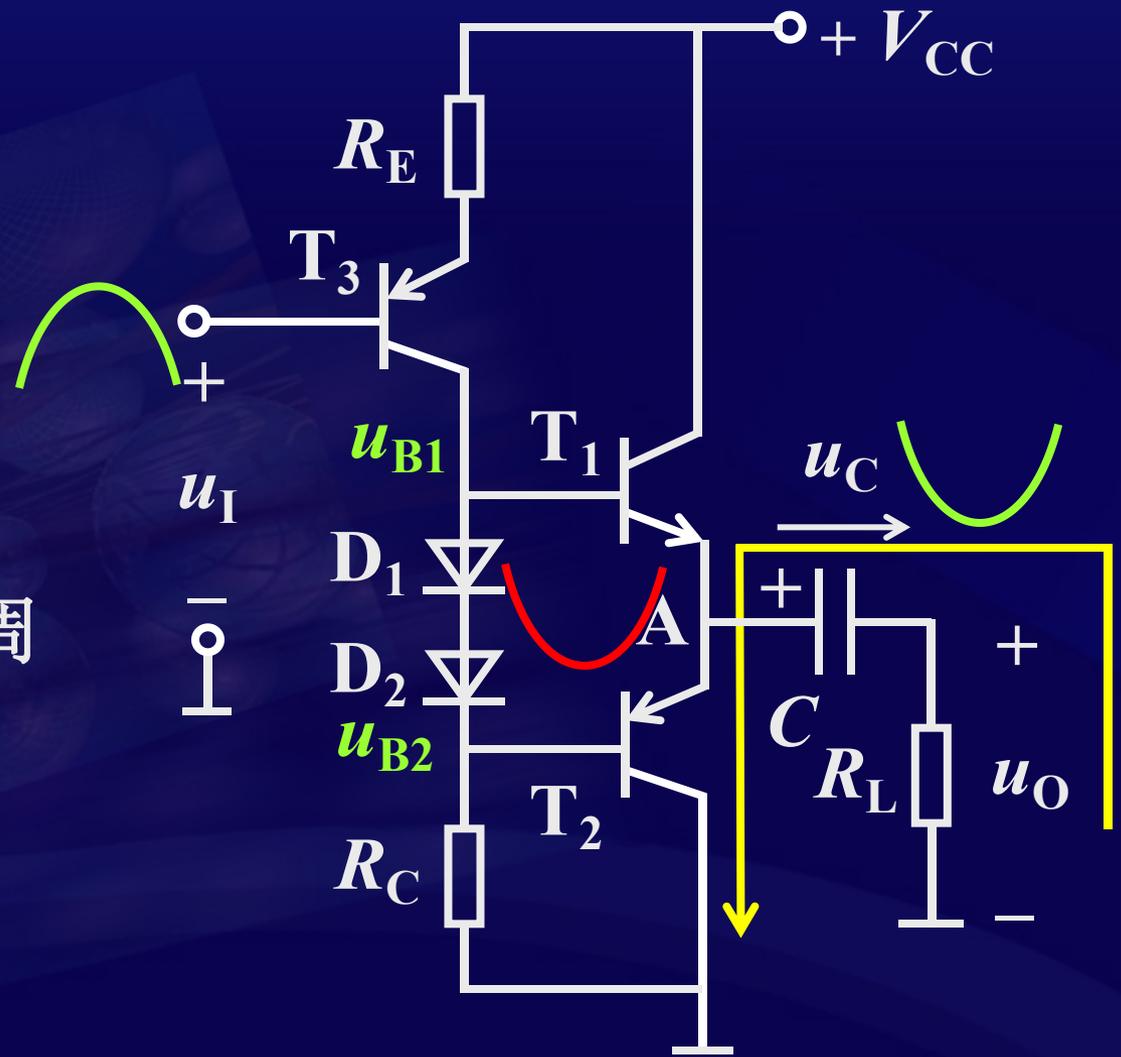
(3) 当 u_I 为正半周时

u_{B2} 信号为负半周

T_1 截止, T_2 导通

输出信号为负半周

电容 C 放电

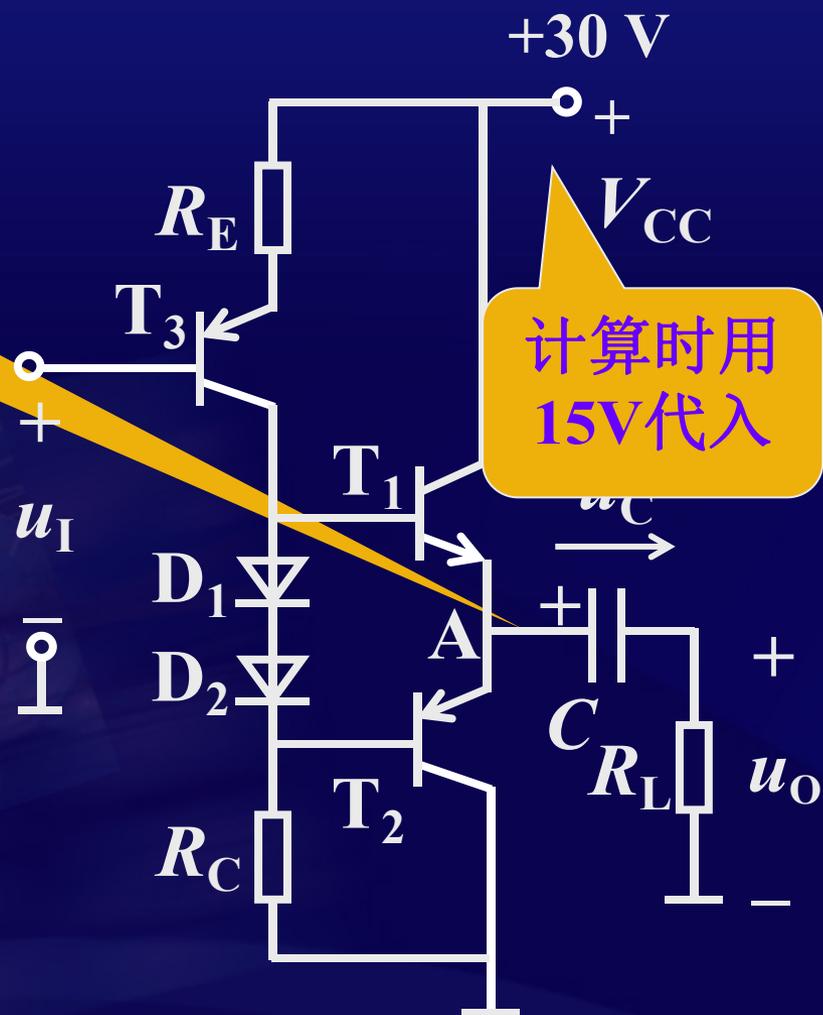


电容 C 起负电源 $-V_{CC}$ 的作用

注意:

1. 每只管子的工作电压变成了 $V_{CC}/2$, 在计算各项指标时电源电压要用 $V_{CC}/2$ 。

2. 电容 C 足够大, 使输出正负半周对称。

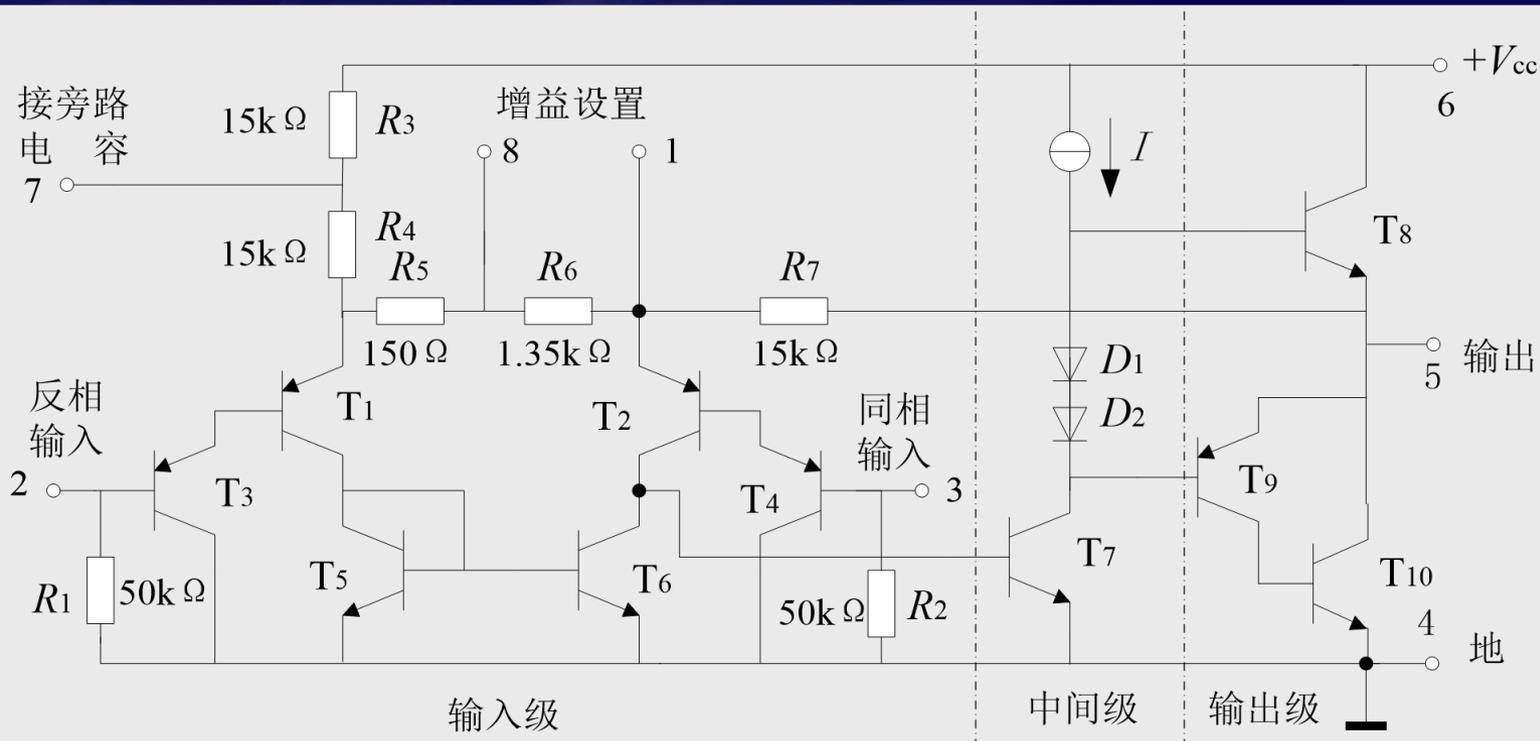


计算时用
15V代入

由于电路的负载并非通过变压器而是经过电容接在晶体管的射极, 这功率放大电路业常称为 **OTL** (Output Transformerless) 电路。

集成功率放大器

内部电路与通用集成放大器类似，一般包括三级电路。输入级为差分电路；中间级为共射电路；输出级为互补推挽电路。集成功率放大器的种类很多，常用的低频集成功放有LM386、LM380、TDA2003和TDA2006等。



LM386 简介



图 (a) LM386的管脚说明

电源滤波电容

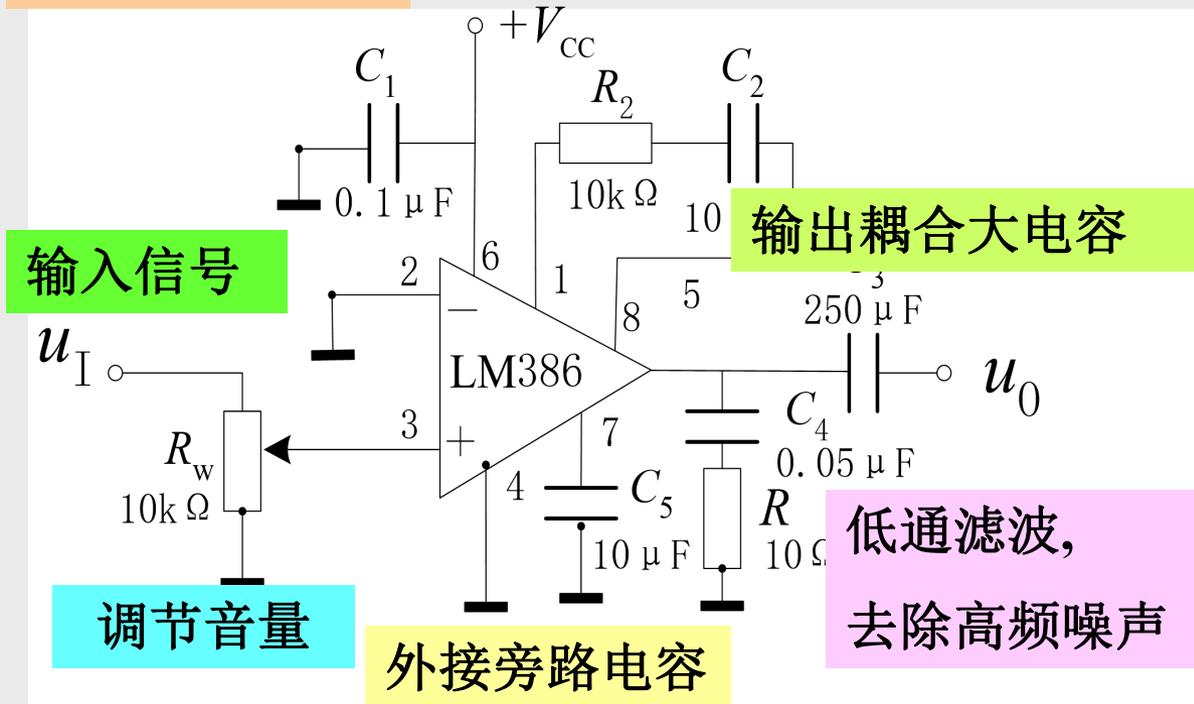


图 (b) LM386典型应用电路

例1，在图所示电路中，已知 $V_{CC}=12V$ ，输入电压为正弦波，晶体管的饱和管压降 $U_{CES}=2V$ ，电压放大倍数约为1，负载电阻， $R_L=4\Omega$ 。试求：（1）负载上可能获得的最大功率和效率；（2）当输入电压最大有效值为8V时，则负载上能够获得的最大功率为多少？

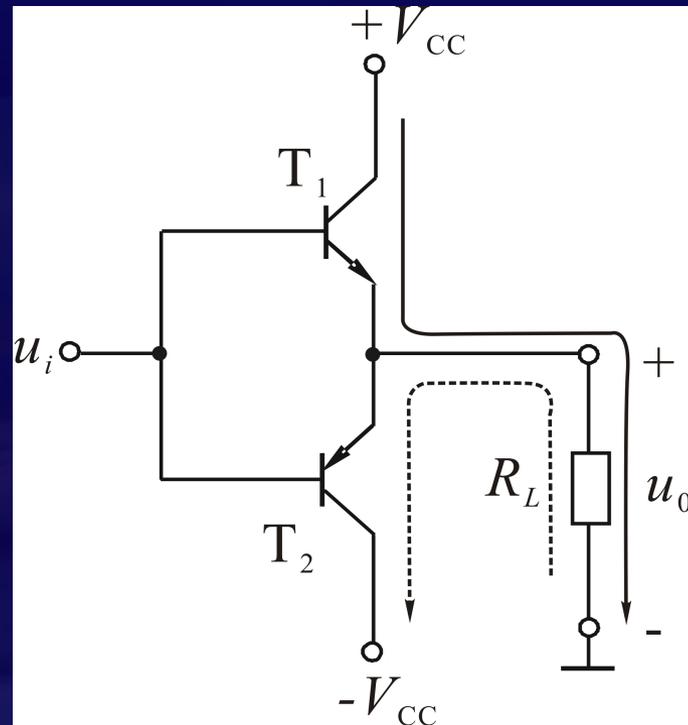
解（1）：

$$P_{OM} = \frac{(V_{CC} - U_{CES})^2}{2R_L} = \frac{(12 - 2)^2}{2 \times 4} W = 12.5 W$$

$$\eta = \frac{\pi(V_{CC} - U_{CES})}{4V_{CC}} = \frac{\pi \times (12 - 2)}{4 \times 12} = 65.4\%$$

（2）由电压放大倍数约为1，可得 $U_0=U_I=8V$ ，最大输出功率

$$P_{OM} = \frac{U_{om}^2}{R_L} = \frac{8^2}{4} W = 16W$$



可见，功率放大电路的最大输出功率除了决定于功放自身的参数外，还与输入电压是否足够大有关。

谢谢大家!

