

请同学们不要将课件上传至网上的各个公共平台，谢谢！
课件中存在的错误可以在b站私信反馈给我，不胜感激！

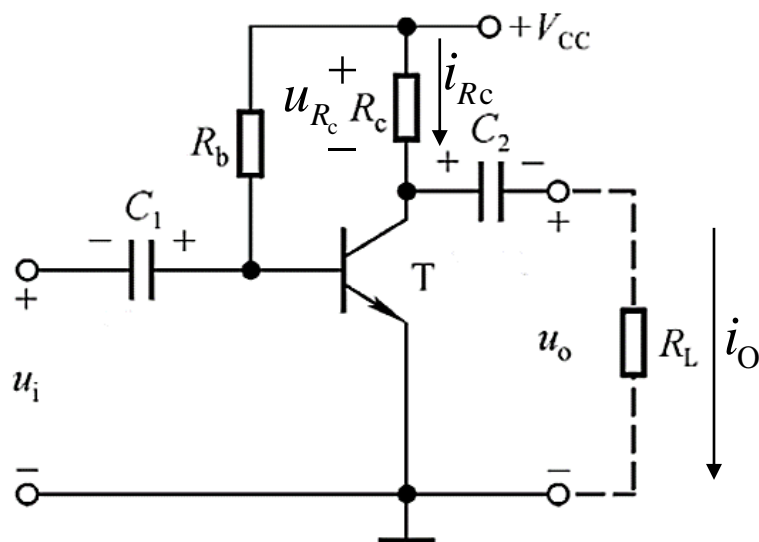


Part 7 功率放大电路

原作者：b站up主—这个ximo不太冷

功率放大的概念

基本放大电路回顾



动态

$$\Delta u_i \rightarrow \Delta u_{be} \rightarrow \Delta i_b \rightarrow \Delta i_c = i_{cm} \sin \omega t$$

静态
工作
点

共射放大电路
(以阻容耦合为例分析)

静态管压降: $U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_c$

静态输出电压 (负载静态电压) : 0

电阻 R_c 上的静态电压: $I_{CQ} R_c = V_{CC} - U_{CEQ}$

静态电流: $I_{R_c} = I_{CQ}$, $I_o = 0$

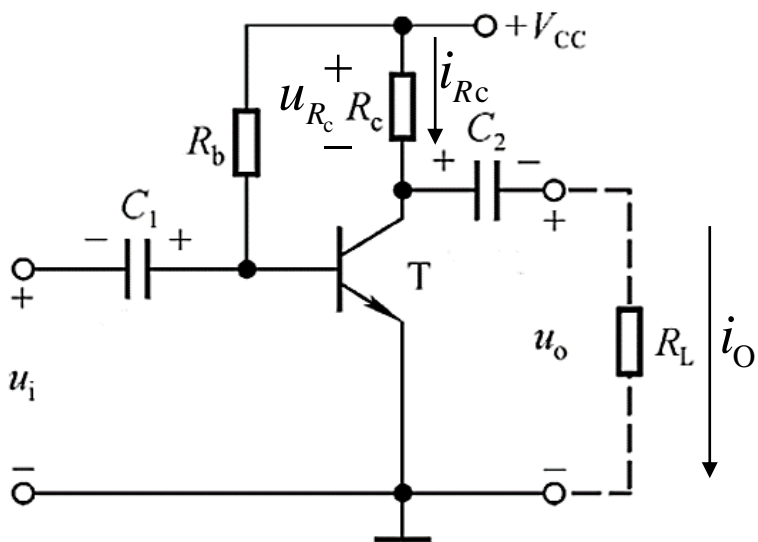
$$\begin{aligned} \Delta i_{R_c} &= i_{cm} \frac{R_L}{R_c + R_L} \sin \omega t \\ \Delta i_o &= -i_{cm} \frac{R_c}{R_c + R_L} \sin \omega t \end{aligned}$$
$$\Delta u_o = -\Delta u_{R_c} = -i_{cm} (R_c // R_L) \sin \omega t$$

原作者：b站up主—这个ximo不太冷

请同学们不要将课件上传至网上的各个公共平台，谢谢！
 课件中存在的错误可以在b站私信反馈给我，不胜感激！

功率放大的概念

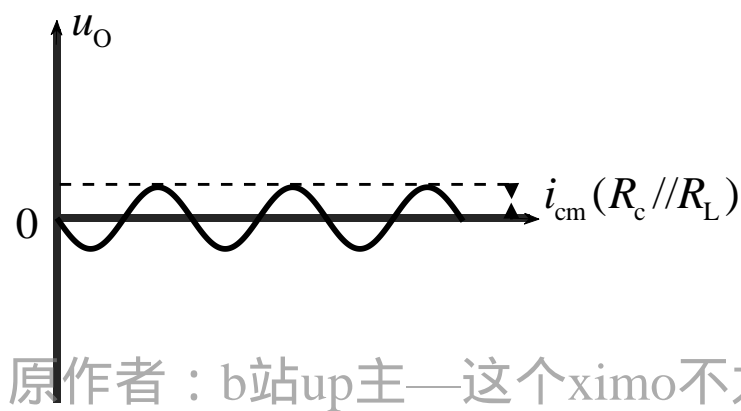
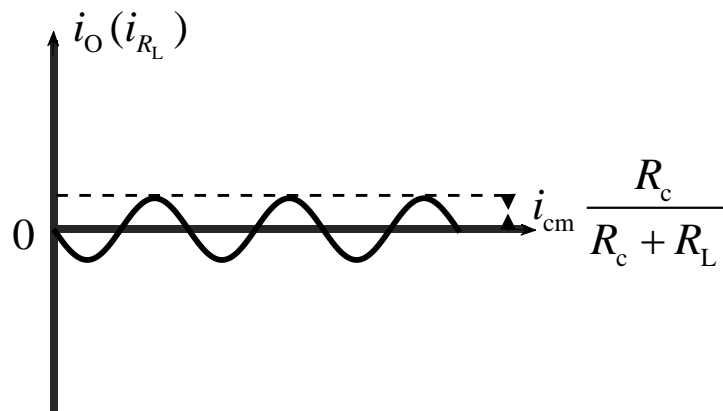
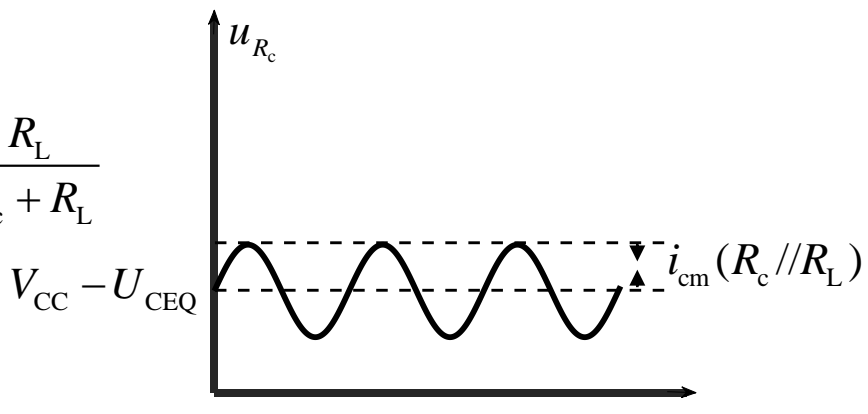
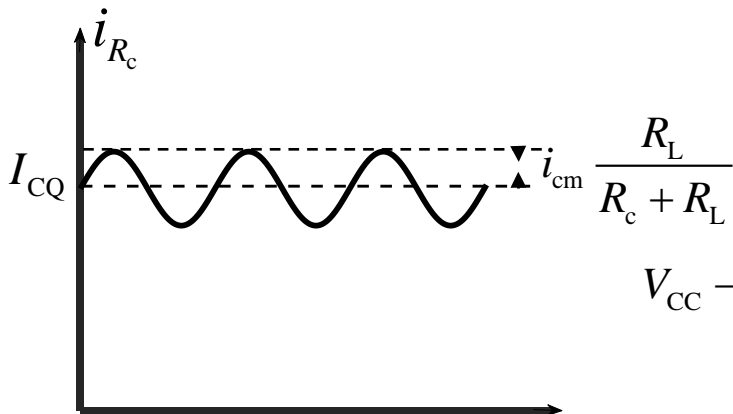
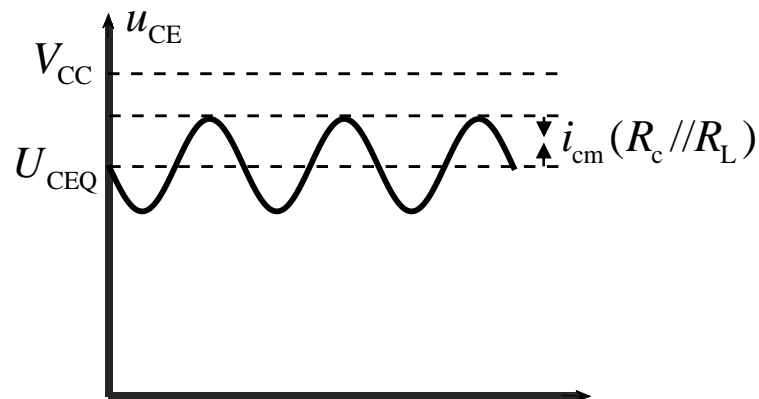
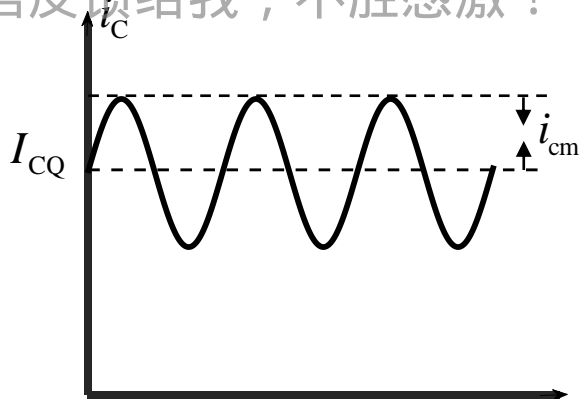
输出回路有关物理量



晶体管、集电极电阻 R_c 、负载

电压与电流波形：

(注意参考方向)



原作者：b站up主—这个ximo不太冷

电路理论基础知识复习

○ 瞬时功率与平均功率

- 瞬时功率： $p(t)=u(t)i(t)$;
- 平均功率： 瞬时功率在一个周期内的平均值；——→ 平均值= “面积（积分）除以时间跨度”

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u(t)i(t)dt$$

- 当电压与电流均是带有直流分量的交流正弦波，即 $u(t)=U_0+\Delta u(t)$, $i(t)=I_0+\Delta i(t)$;

$$P = U_0 I_0 + U_0 \underbrace{\frac{1}{T} \int_0^T \Delta i(t) dt}_{\text{均为零 (正负面积抵消)}} + I_0 \underbrace{\frac{1}{T} \int_0^T \Delta u(t) dt}_{\text{均为零 (正负面积抵消)}} + \underbrace{\frac{1}{T} \int_0^T \Delta u(t) \Delta i(t) dt}_{\text{对于电阻元件 (电压电流同相) 交流正弦波的平均功率为 } P=UI; \text{ } U \text{ 和 } I \text{ 为交流量有效值;}} = U_0 I_0 + UI = \text{直流功率} + \text{交流功率}$$

均为零
(正负面积抵消)

对于电阻元件（电压电流同相）
交流正弦波的平均功率为 $P=UI$;
 U 和 I 为交流量有效值;

U_0 和 I_0 为电压与电流的直流分量
 U 和 I 为电压与电流的交流分量的有效值
虽然都是大写，
但注意两者区别！

原作者：b站up主——这个ximo不太冷

功率放大的概念

放大电路的功率关系

集电极电流的交流分量： $\Delta i_c = i_{cm} \sin \omega t$, 有效值 $I_c = \frac{i_{cm}}{\sqrt{2}}$

晶体管平均功率： $P_T = \frac{1}{T} \int_0^T u_{CE}(t) i_c(t) dt = U_{CEQ} I_{CQ} - I_C \cdot I_C (R_c // R_L)$

思考：
为什么这里交流功率的部分是负号？
(电压与电流交流分量反相)

电阻 R_c 的平均功率： $P_{R_c} = \frac{1}{T} \int_0^T u_{R_c}(t) i_{R_c}(t) dt = (V_{CC} - U_{CEQ}) I_{CQ} + I_C \frac{R_L}{R_c + R_L} \cdot I_C (R_c // R_L)$

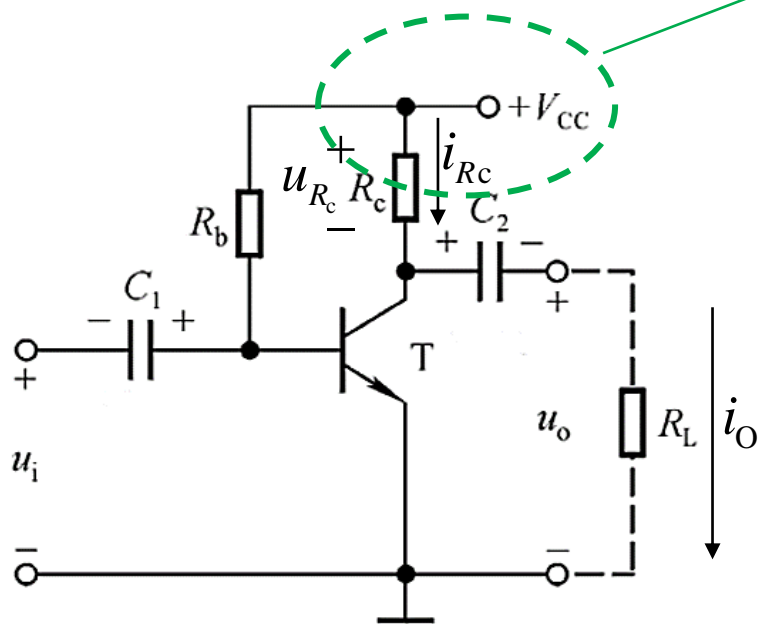
负载电阻的平均功率即输出功率： $P_O = P_{R_L} = I_C \frac{R_c}{R_c + R_L} \cdot I_C (R_c // R_L)$

晶体管平均功率、集电极电阻 R_c 平均功率、负载电阻平均功率之和满足：

$$P_T + P_{R_c} + P_O = V_{CC} I_{CQ}$$

功率放大的概念

电源功率



电源的输出电流 = 集电极电阻 R_c 电流 + 基极电阻 R_b 电流；

电源的电压为 V_{CC} ，为直流量即定值；

根据前面的分析，流过集电极电阻的电流为静态值叠加交流分量，静态值为 I_{CQ} ，交流分量为集电极动态电流 Δi_c 的分流；

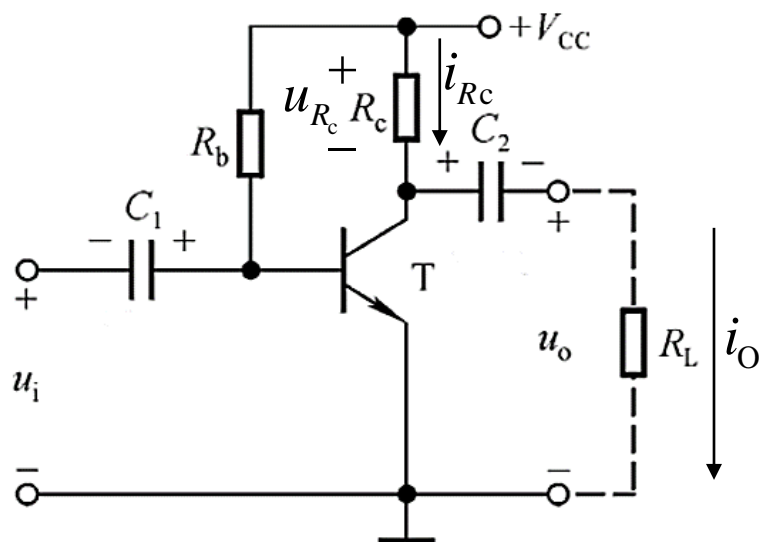
流过基极电阻的电流也是静态值叠加交流分量的形式，静态值为 I_{BQ} ，交流分量为交流等效电路中 R_b 所在支路的电流；

根据前面推导平均功率的表达式，电源功率（即电源的平均功率）：

$$P_V = V_{CC} I_{CQ} + V_{CC} I_{BQ} \xrightarrow[\text{忽略偏置电路消耗的功率}]{\text{假设静态基极电流很小可以忽略}} P_V \approx V_{CC} I_{CQ}$$

功率放大的概念

○ 放大电路放大的本质



根据前面的分析，对于如图所示的共射放大电路，基极电流忽略不计时，有以下能量（功率）关系：

直流电源功率 = 晶体管耗散功率 + 集电极电阻功率 + 输出功率（负载功率）

因此，功率实质上是守恒的（忽略损耗），输出功率即负载上的交流功率的来源并不是晶体管将输入侧交流信号源的功率直接去放大，而是通过晶体管物理量的变化，去控制能量的变化，因而将直流电源的能量转换为负载所需的能量；

功率放大的概念

○ 放大电路放大的本质

总结：

无论是共射（既放大电流又放大电压）、共集（只放大电流）还是共基（只放大电压），以及包括对应的场效应管放大电路，放大电路都能够通过晶体管/场效应管对能量的控制，实现直流电源能量向输出的交流功率的转换，实现功率的放大（负载的输出功率与信号源的输入功率相比较）；因此放大电路放大的特征是指功率放大，功率放大的本质是能量的控制与变换，能够控制能量的元器件称为有源元件（需要直流电源才能工作）；

功率放大的概念

思考：

较重的负载指的是什么意思？
如果是纯电阻负载电阻阻值小还是大？

○ 功率放大电路

根据前面的分析，事实上任何放大电路都能实现功率的放大；而我们通常提到的即本章讲解的功率放大电路（简称功放），特指的是能够提供较大的功率且具有较优的效率与失真裕度的放大电路，一般作为输出级驱动较重的负载，如最典型的音频放大电路；

因此，功率放大电路的重要性能指标从不同的角度主要分为以下几点：

效率——足够高的效率；

输出功率——足够高的输出功率；

失真裕度——足够大的最大不失真输出电压，且电路失真尽可能小；

功率放大电路

功率放大电路的性能指标

最大输出功率 P_{om} ：负载上可能获得的最大交流功率；

效率 η ：最大输出功率 P_{om} 与直流电源的平均功率 P_V 之比；

最大不失真输出电压 U_{om} ：负载电压不发生很明显的超范围失真（即截止失真与饱和失真）的最大有效值；对于电阻负载， U_{om} 和 P_{om} 的关系为：
$$P_{om} = \frac{U_{om}^2}{R_L} ;$$

电路的非线性失真是固有存在无法完全消除的，难以用一个明确的数值指标来衡量，但在分析时仍然需要考虑；

功率放大电路的特点与分类

○ 功率放大电路的分类——按照晶体管的工作状态划分

甲类：在输入信号的一个周期内晶体管始终导通，一直处于放大区，即导通角为 360° ；

乙类：在输入信号的一个周期内晶体管只有一半时间导通，导通角为 180° ；

甲乙类：在输入信号的一个周期内晶体管的导通角大于 180° 小于 360° ；

丙类：晶体管导通角大于 0 小于 180° ；

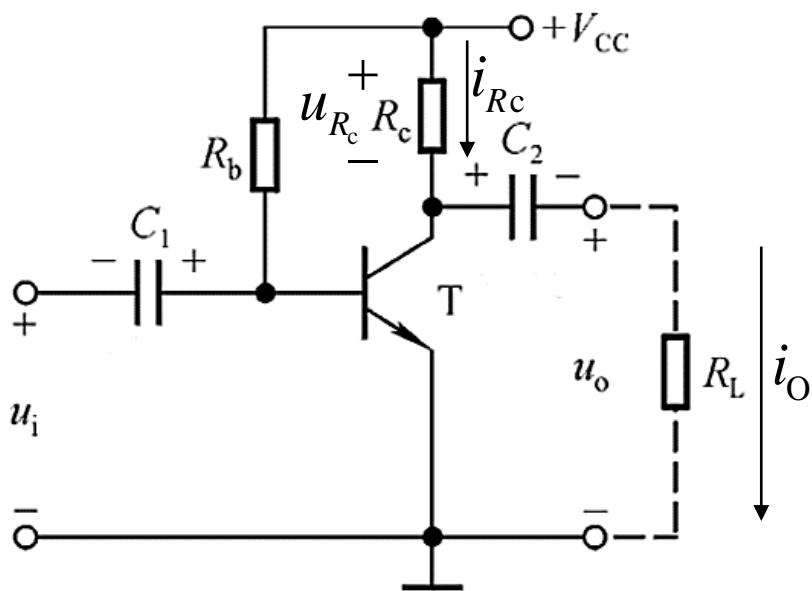
丁类：晶体管工作在开关状态，截止或饱和



射频电路或电力电子内容，
不是我们本章关注重点

甲类功放

○ 共射放大电路作为功率放大电路的缺点



根据前面的分析，对于这样一个阻容耦合共射放大电路，应属于甲类功率放大电路，这个电路作为功率放大电路有以下缺点：

①存在较大的静态功耗——由于晶体管始终导通，即便没有交流信号输入，都存在着晶体管与集电极电阻的静态功耗；

②效率很低——即使考虑必须存在的晶体管功耗，动态时集电极电流的变化量并没有全部传递给负载输出电流的变化量，而是由于集电极电阻的存在并联分流，即集电极电阻“抢夺”了一部分属于负载电阻的交流功率；

③带负载能力较差——由于要设置合适的静态工作点通常集电极电阻不能太小，而共射放大电路的输出电阻正是集电极电阻；当后级带有较重即阻值很小的负载时，难以稳定输出电压；

甲类功放

○ 甲类功放的共性问题

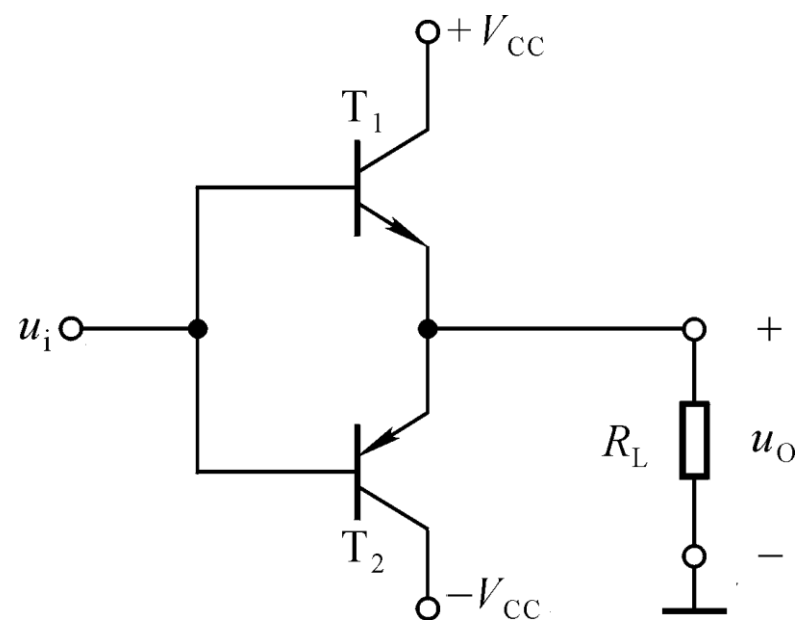
根据对变压器耦合功放电路的分析可见，即使是通过变压器的耦合作用实现阻抗匹配，去掉了集电极电阻，但是效率最高仍不超过 50%；这是由于在没有输入信号作用时即直流静态时，晶体管处于导通状态，电源仍然要提供能量；

甲类功放的晶体管导通角为 360° ，决定了无论如何提高交流输出功率，直流电源的能量始终有一大部分消耗在晶体管上，因此**功耗高**（电能浪费严重）、**效率低**是甲类功放的共性问题；但是，甲类功放因为始终工作在线性区（保证不失真的前提下），因此信号还原度很高，几乎无失真，特别是小信号；对于一些对音质要求很高的音频放大电路，仍然选用甲类功放；

以音频电路为例即体现在“续航能力”与“音质”的内在矛盾！（trade – off）

乙类功放

一个最典型的乙类功放电路 —— 直接耦合互补输出级 / OCL电路



采用直接耦合方式，即输出不带电容（**Output Capacitorless**）
由两个正负双电源供电的特性对称的射级跟随器（共集接法）
组成；理想情况，两个晶体管交替导通，每个周期内只导通
 180° ，因此称为互补输出或推挽输出方式，属于乙类功放；

思考：

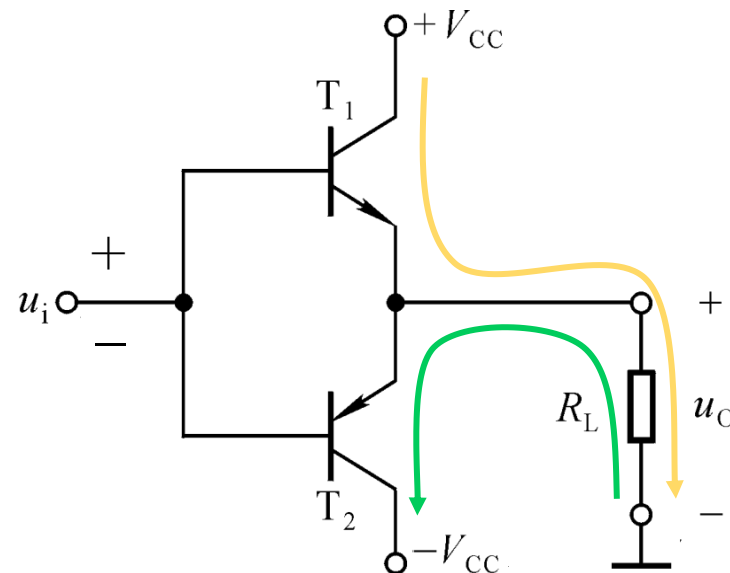
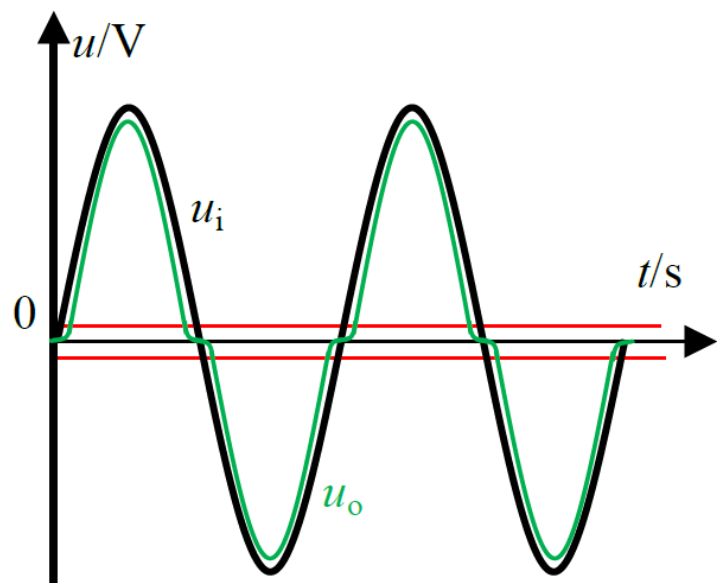
为什么采用共集接法（射极输出）？
（回顾第二章共集放大电路的特点）

原作者：b站up主——这个ximo不太冷

请同学们不要将课件上传至网上的各个公共平台，谢谢！
课件中存在的错误可以在b站私信反馈给我，不胜感激！

乙类功放

○ OCL电路的工作原理



考虑晶体管的开启电压为 $0.7V$ ：

当输入电压 $u_i > 0.7V$ 时， T_1 管导通， T_2 管截止，此时由于射极输出， $u_o \approx u_i$ （或根据发射结导通电压估算 $u_o \approx u_i - 0.7$ ）；

同理，当输入电压 $u_i < -0.7V$ 时， T_1 管截止， T_2 管导通，此时 $u_o \approx u_i$ （或 $u_o \approx u_i - 0.7$ ）；

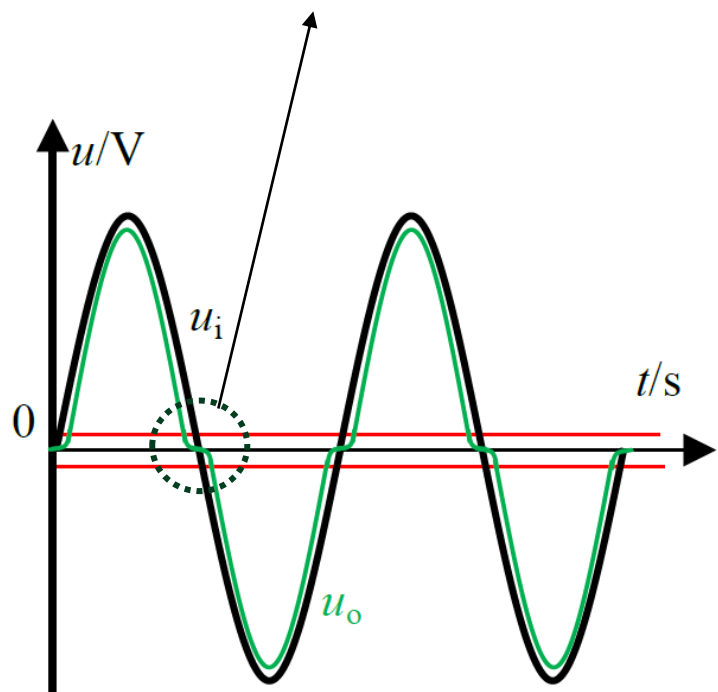
当输入电压 $-0.7V < u_i < 0.7V$ 时， T_1 管与 T_2 管均截止，此时 $u_o = 0$ ；

输入电压与输出电压波形如图所示；

请同学们不要将课件上传至网上的各个公共平台，谢谢！
课件中存在的错误可以在b站私信反馈给我，不胜感激！

乙类功放

○ 交越失真



根据前面原理的分析，实际电路中考虑晶体管导通电压时会发生在输入电压过零点附近（从正到负或从负到正的交接）输出电压为零的现象，进而导致输出信号的失真，这种失真称为交越失真；

因此，乙类功放的一个最主要的共性问题便是交越失真现象；

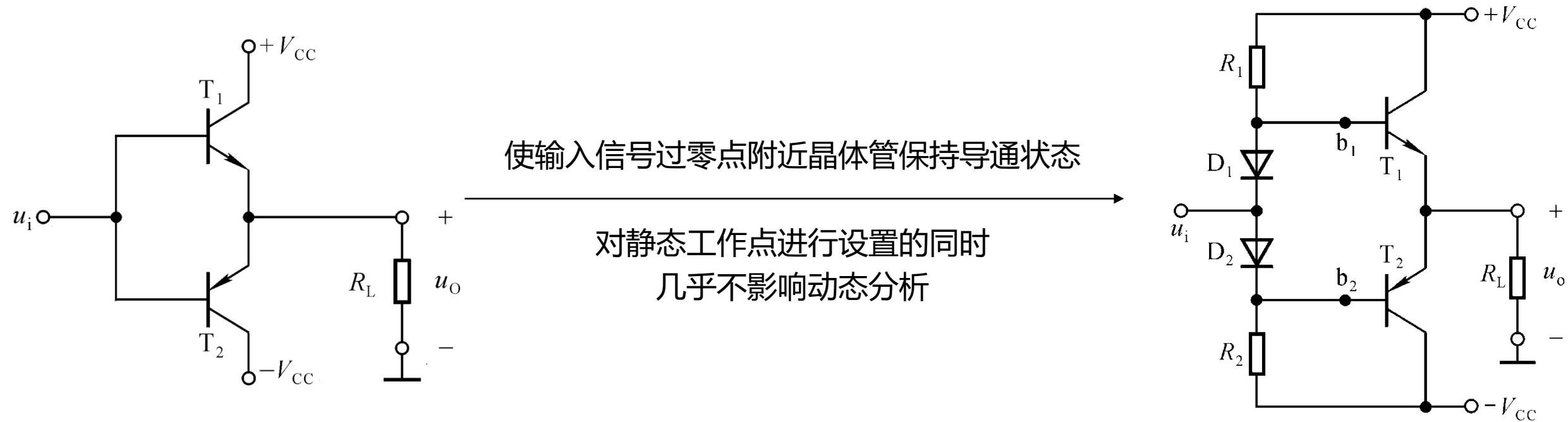
思考：交越失真本质上属于哪种失真？

原作者：b站up主—这个ximo不太冷

请同学们不要将课件上传至网上的各个公共平台，谢谢！
课件中存在的错误可以在b站私信反馈给我，不胜感激！

甲乙类功放

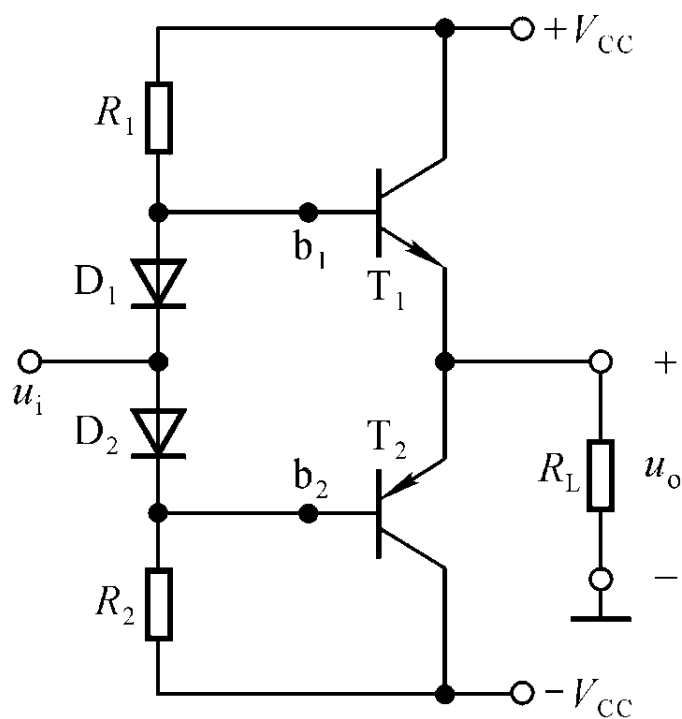
如何消除乙类功放的交越失真



请同学们不要将课件上传至网上的各个公共平台，谢谢！
课件中存在的错误可以在b站私信反馈给我，不胜感激！

甲乙类功放

消除交越失真的OCL电路



思考：

二极管的导通压降和晶体管的开启电压不都是 0.7V 吗？
为什么还要通过调节电流来进行钳位？
(0.7只是计算求解估算，二极管的非线性伏安特性)

原理分析：

静态时：偏置支路 $V_{CC} - R_1 - D_1 - (0) - D_2 - R_2 - -V_{CC}$ ；

通过调节 R_1 、 R_2 的大小来调节支路电流，保证 D_1 与 D_2 两个二极管的导通压降之和略大于 T_1 与 T_2 两个晶体管的发射结的开启电压之和，通过二极管的钳位作用使 T_1 与 T_2 在静态时处于微导通状态（最理想即临界导通）；

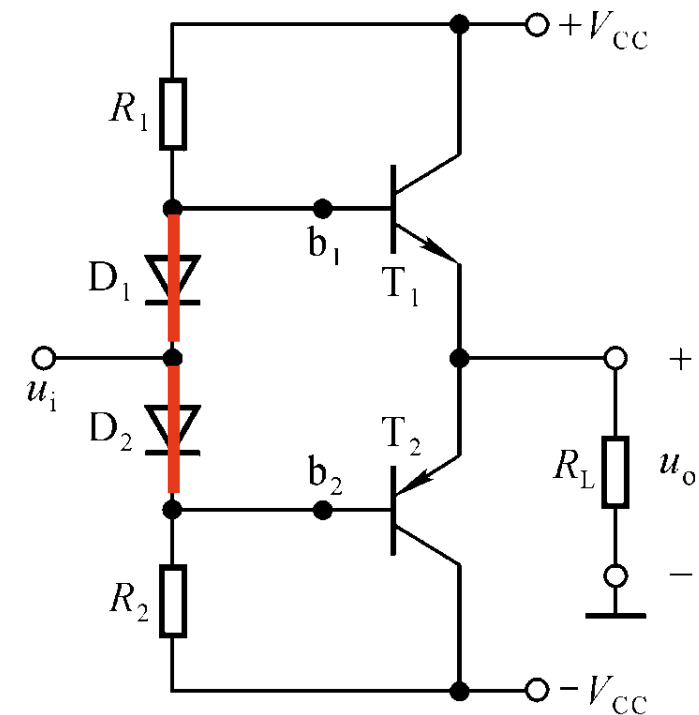
甲乙类功放

思考：

交流输入信号 u_i 可不可以上下移动至 b_1 点或 b_2 点？
(理论上可以)

消除交越失真的OCL电路

交流动态：



二极管导通的动态电阻很小（微变等效模型，伏安特性曲线斜率的倒数），可以近似短路；因此 $\Delta u_{b1} \approx \Delta u_{b2} \approx u_i$ ；

当 $u_i > 0$ 且不断增加时， T_1 仍然保持导通，而 T_2 的发射结电压会减小直至小于开启电压使 T_2 截止；正半周主要是 T_1 导通驱动负载；

当 $u_i < 0$ 且不断减小时， T_1 发射结电压会减小直至小于开启电压而使 T_1 截止，而 T_2 仍然保持导通；负半周主要是 T_2 导通驱动负载；

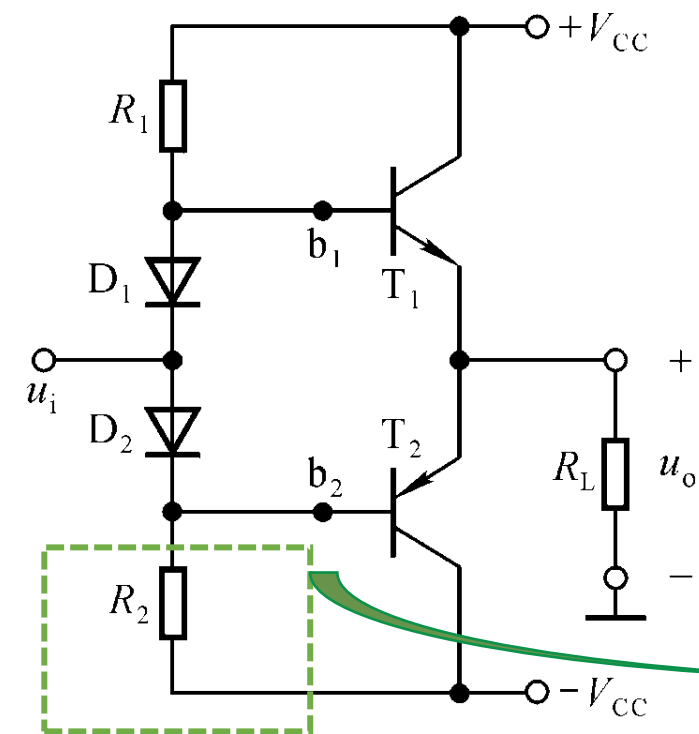
在一个周期内，始终至少有一个晶体管导通实现射级输出满足 $u_o \approx u_i$ ；
每个晶体管导通角略大于 180° ，属于甲乙类电路；

请同学们不要将课件上传至网上的各个公共平台，谢谢！
课件中存在的错误可以在b站私信反馈给我，不胜感激！

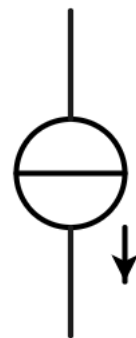
甲乙类功放

消除交越失真的OCL电路 —— 电流源

思考：
用什么途径实现恒流？
(前级偏置电路，
即第三章的电流源电路)



通过 R_1 和 R_2 两个电阻来同时调节
电流与电压条件较难满足；
可以通过电流源来维持支路电流恒定



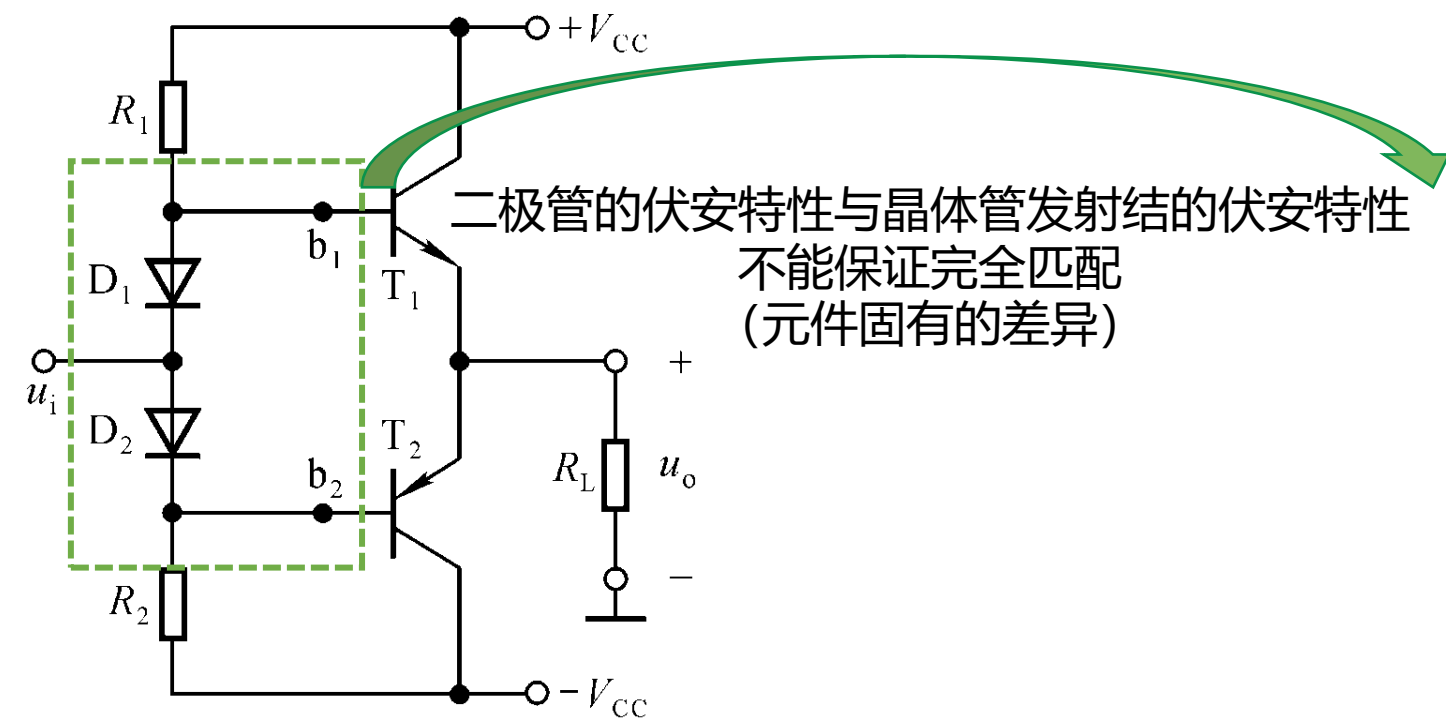
此时支路电流近似恒定，调节 R_1 即可满足 U_{B1} 、 U_{B2} 电位
使 T_1 、 T_2 临界导通

原作者：b站up主——这个ximo不太冷

请同学们不要将课件上传至网上的各个公共平台，谢谢！
课件中存在的错误可以在b站私信反馈给我，不胜感激！

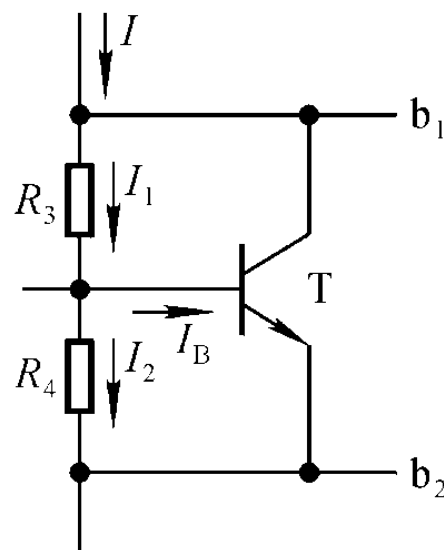
甲乙类功放

消除交越失真的OCL电路 —— U_{BE} 倍增结构



思考：

这种 U_{BE} 倍增结构动态分析时如何处理？
为什么不影响动态分析？
($\Delta(u_{b1}-u_{b2}) \approx 0$ ，近似短路)



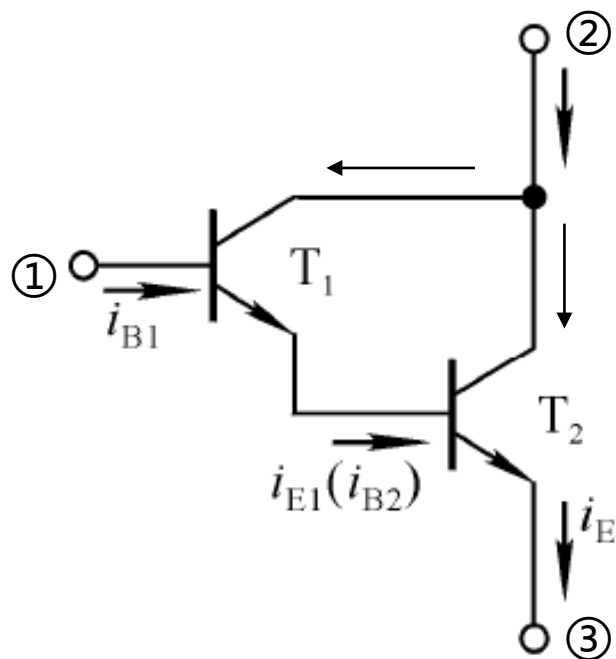
用一个晶体管和分压电阻结构实现 T1 与 T2 基极电位差与 T 的发射结压降的比例关系，
具有一致性的变化；

原作者：b站up主——这个ximo不太冷

补充知识点 —— 复合管

○ 复合管（达林顿管）

复合管：将第一只晶体管的集电极电流（或场效应管的漏极电流）或发射极电流（或场效应管的源极电流）作为第二只晶体管的基极电流，且每只管子的各极电流都具有合适的通路，即可以组成复合管；实用电路中也常称为达林顿管；



流入端口①的电流： i_{B1}

流入端口②的电流： $\beta_1 i_{B1} + \beta_2 (1 + \beta_1) i_{B1}$

流出端口③的电流： $(1 + \beta_2)(1 + \beta_1) i_{B1}$

端口①、②、③的电流关系满足：①+②=③；

且比例关系为 $1 : \beta_1 + \beta_2 + \beta_1 \beta_2 : 1 + \beta_1 + \beta_2 + \beta_1 \beta_2$

$$\beta_1 + \beta_2 + \beta_1 \beta_2 \approx \beta_1 \beta_2$$

原作者：b站up主—这个ximo不太冷

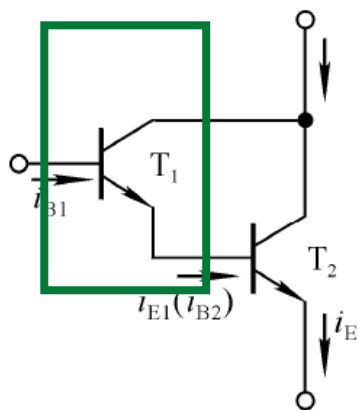
思考：

复合管的功耗主要在哪个晶体管上？
(主要集中在第二个晶体管上！)

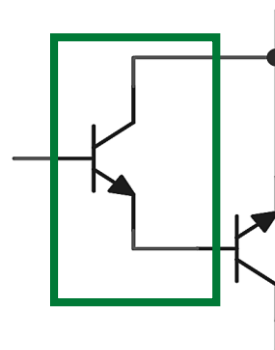
补充知识点 —— 复合管

○ 复合管的特点

根据复合管的组成原则，两个晶体管若能够组成复合管，则复合管应能够等效为一只与 T_1 管**性质相同**且管脚对应的晶体管；



可以组成复合管



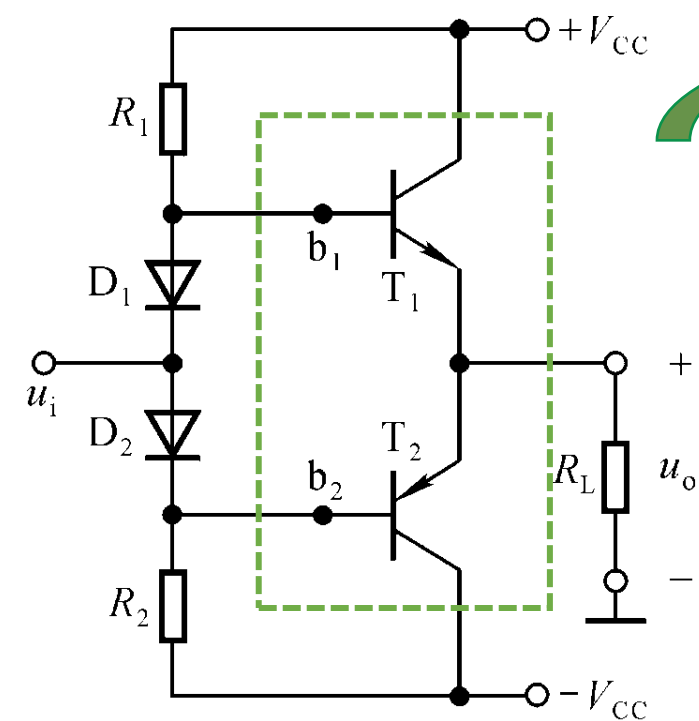
不可以组成复合管

原作者：b站up主——这个ximo不太冷

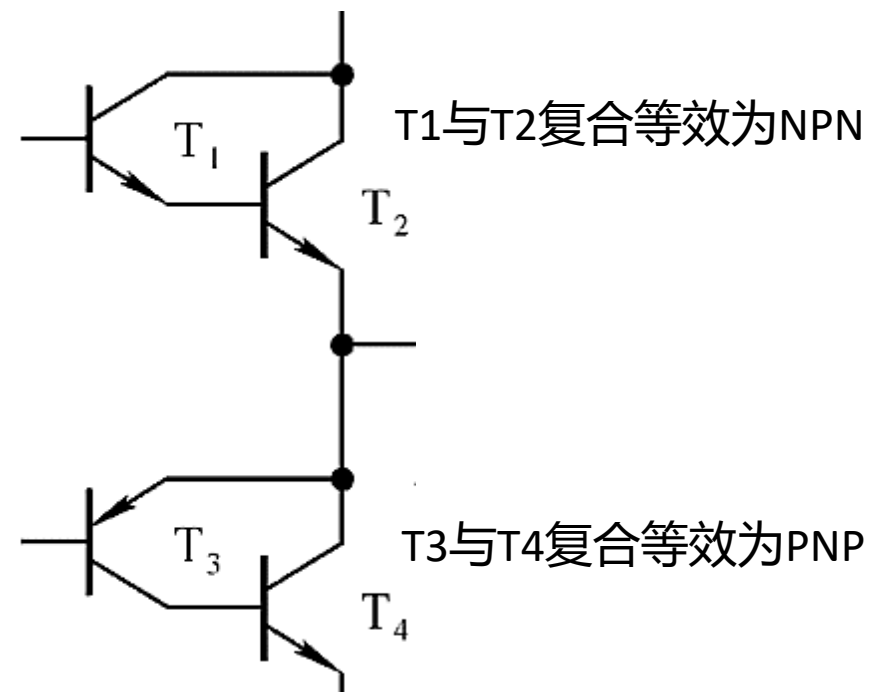
请同学们不要将课件上传至网上的各个公共平台，谢谢！
课件中存在的错误可以在b站私信反馈给我，不胜感激！

甲乙类功放

消除交越失真的OCL电路 —— 复合管结构（准互补）



保证晶体管的对称性
同时减小前级的驱动电流

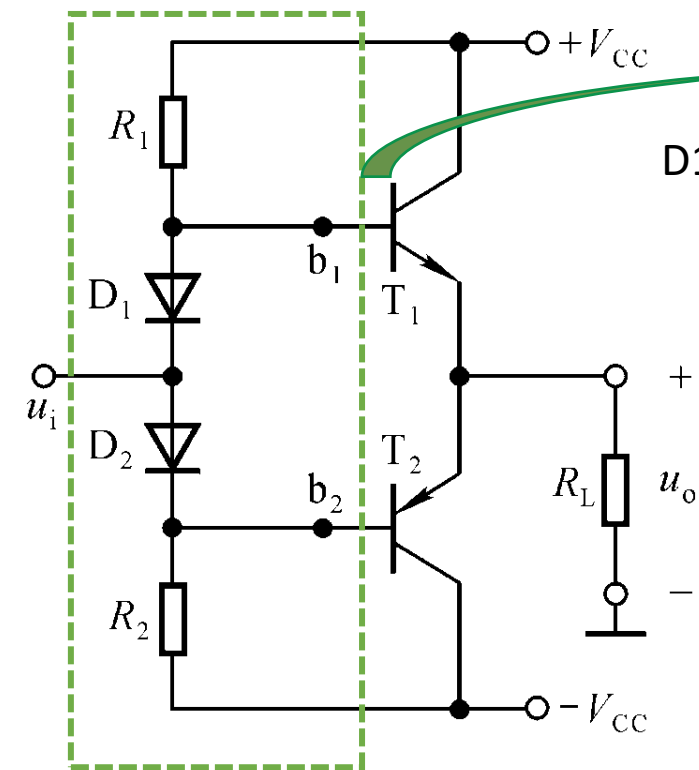


T2 与 T4 为驱动管，对功耗要求大
(主要功耗在 T2 与 T4 上)

思考：
如果采用了复合管结构，前面的钳位结构
2个二极管能满足吗？
(至少3个)

甲乙类功放

消除交越失真的OCL电路 —— 微调电阻



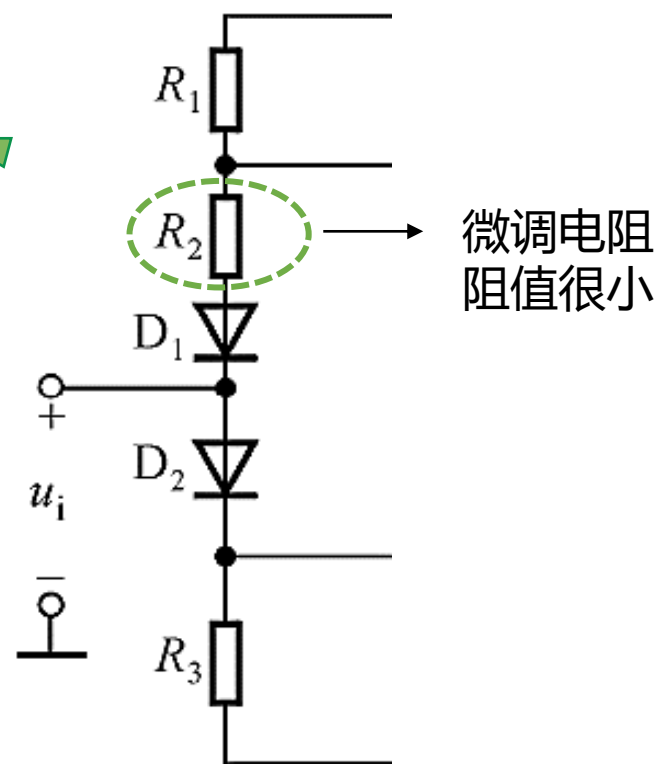
D1 与 D2 虽然使得两个晶体管发射结均导通，
即使其导通压降均相等，
但由于晶体管特性差异，

$$I_{B1} \neq I_{B2}$$

进而导致 $I_{E1} \neq I_{E2}$ ，

即静态时负载电阻中有微小电流流过，
静态输出电位不为零，
存在静态直流功耗；

思考：
增大 R_2 会使输出电位如何变化？
($R_2 \uparrow$, T_2 基极电流 \uparrow)

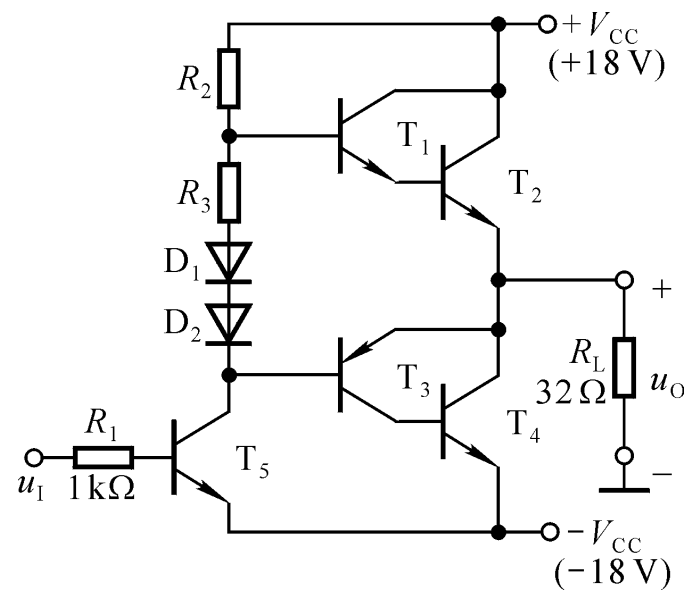
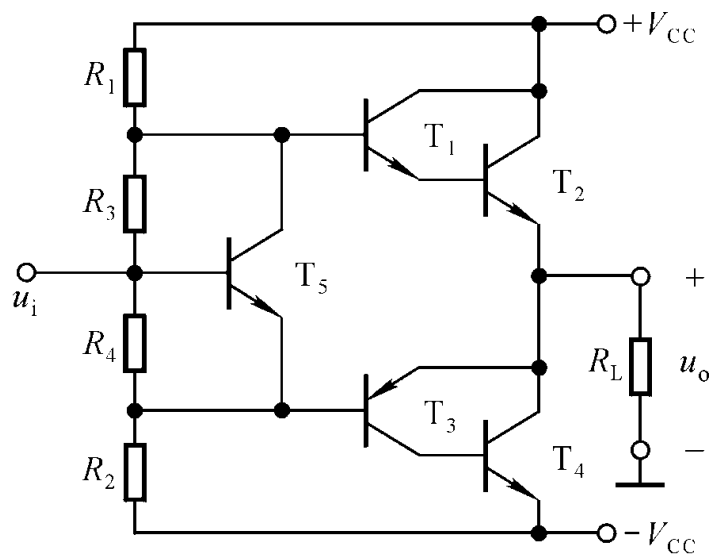
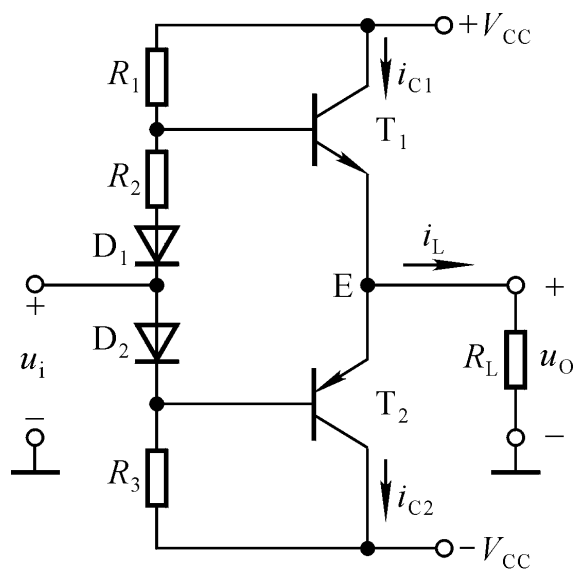


静态输出电位明显远离 0 调节大电阻 R_1 与 R_3 ，稍微偏离 0 调节小电阻 R_2 ！

请同学们不要将课件上传至网上的各个公共平台，谢谢！
课件中存在的错误可以在b站私信反馈给我，不胜感激！

甲乙类功放

消除交越失真的OCL电路



以上这些例子都是实用的OCL功放电路

小结：无论是哪种对电路结构进行的改进，其优化目标都是想在对动态影响尽可能小的前提下，对静态工作点进行设置，保持输入信号过零点附近的微导通状态，消除交越失真；同时保证电路结构的对称性，使静态时输出电位为零，即负载无直流功耗；

原作者：b站up主—这个ximo不太冷

甲乙类功放

○ 甲乙类功放小结

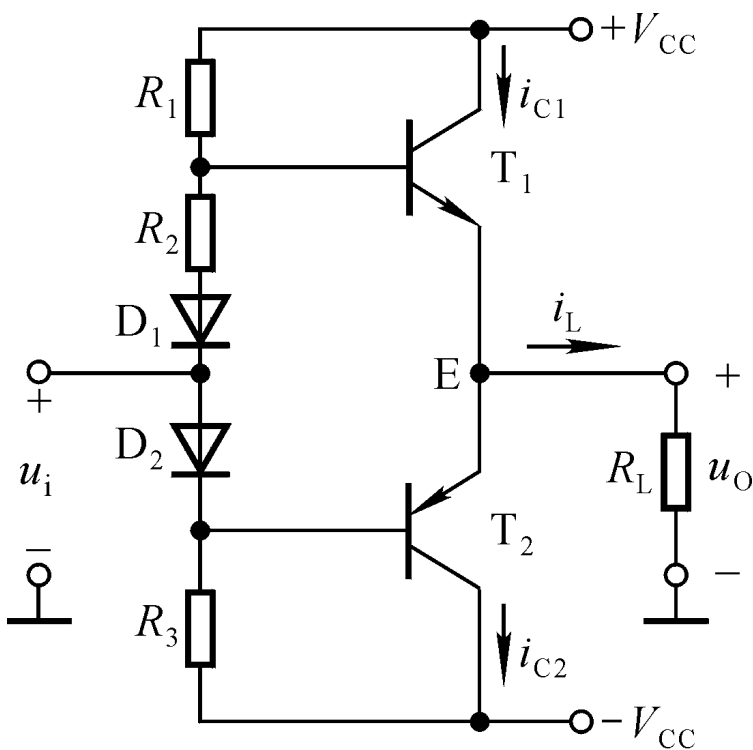
甲乙类功放是在乙类功放的基础上，对静态工作点进行设置与调节，保证交流输入在过零点附近晶体管仍然处于导通状态，消除了交越失真，保持了信号的完整度；然而由于静态晶体管的导通势必会带来静态功耗，因此晶体管应处于微导通状态，电流尽可能小；甲乙类相当于“牺牲”了一部分效率（增加了一些功耗）来换取信号的完整度即小失真，这种“牺牲”是必须的，因为很严重的失真输出波形是没有意义的；

甲乙类功放可以看成是乙类功放的实用电路，因此实际应用中不严格区分乙类和甲乙类电路，包括前面列举的几种如OTL、BTL电路都可以通过类似的方法来消除交越失真，有各自对应的甲乙类电路，OCL、OTL、BTL、变压器式只是输出方式名称的区别；

在分析计算时，按照最理想的情况 —— 电路结构完全对称，静态输出电位为0；且当无交流输入即静态时两个晶体管均临界导通，即无直流功耗，同时能满足对交越失真的消除，输出为理想正弦波；

OCL功放的计算分析

OCL电路的计算分析



如图所示为典型的 OCL 应用电路，电路的结构与原理前面已分析过；静态时通过 D1、D2 和 R2 的钳位作用使 T1 与 T2 微导通，同时保持电路的对称性使静态输出电压为零；交流分析时 D1、D2 和 R2 均可短路处理，T1 和 T2 的基极电位均为 u_i ；

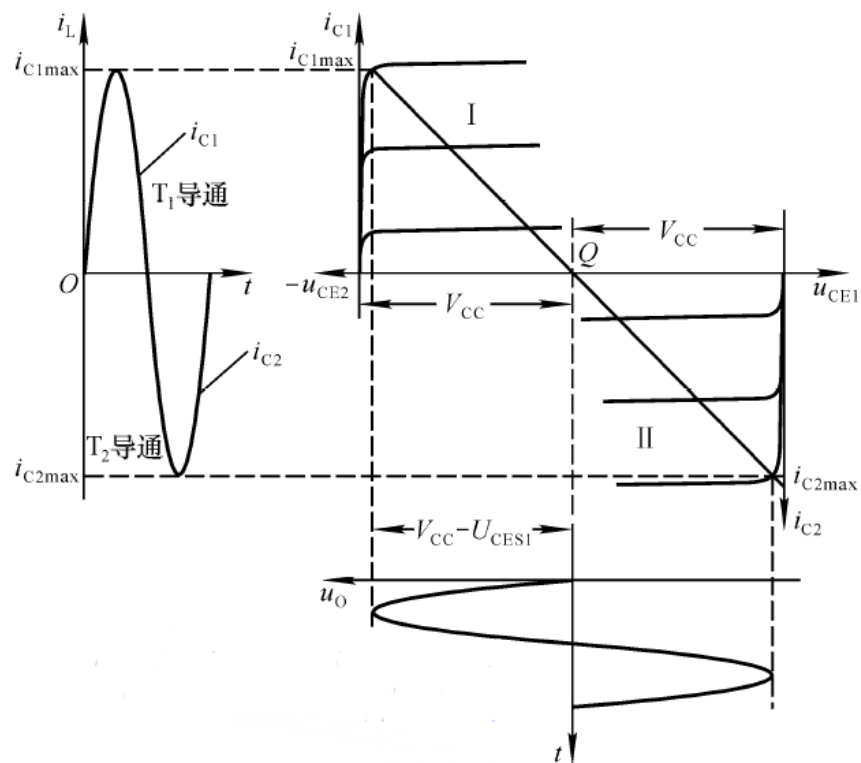
OCL 电路的计算分析基于最理想的情况，即假设静态时晶体管均临界导通，无电流，同时消除交越失真；因此，这样的假设实质上是忽略了静态的直流功耗，而根据我们前面分析的功率关系，此时：

电源功率 = 晶体管耗散功率 + 输出功率；

$$P_V = P_T + P_o$$

OCL功放的计算分析

○ OCL电路的最大不失真输出电压与最大输出功率



OCL 电路为射极输出，考虑 T1 管，根据第二章对共集放大电路的分析，由于管压降 u_{CE} 的范围是 $U_{CES} \sim V_{CC}$ （对应两个极端——饱和/截止）， $u_C = V_{CC}$ ，因此能够保证输出不失真的 u_O 即 u_E 的范围是 $0 \sim V_{CC} - U_{CES}$ ；T2 管分析同理；两个晶体管推挽工作；

因此输出电压可能达到最大的幅值即对应晶体管饱和，但是由于 OCL 功放电路为共集接法，射级跟随，因此输出电压约等于输入电压，输出电压的幅值不可能超过输入电压幅值；**OCL 功放电路的最大不失真输出电压大小与输入电压大小和电源均有关；**

阻性负载，电压与电流满足欧姆定律，因此负载功率利用有效值公式即可；

$$U_{om} = \min \left\{ \frac{V_{CC} - U_{CES}}{\sqrt{2}}, U_i \right\}$$

$$U_{om} = \frac{V_{CC} - U_{CES}}{\sqrt{2}} \quad (\text{输入电压足够大}) \quad P_{om} = \frac{U_{om}^2}{R_L}$$

OCL功放的计算分析

OCL电路的效率

效率的定义是负载上的交流输出功率除以电源的功率；

直流电源的功率（平均功率）：

由于电源电压为常量，因此电源的平均功率应为电压乘以一个周期内电流的平均值；
OCL 电路为双电源供电推挽工作模式，即 V_{CC} 与 $-V_{CC}$ 均只有半个周期有电流，波形对称，因此两个电源在一个周期的平均功率就等于一个电源在半个周期的平均功率；

$$P_V = \frac{\int_0^{\frac{T}{2}} V_{CC} i_C(t) dt}{\frac{T}{2}} = \frac{2V_{CC}}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} i_C(t) dt = \frac{V_{CC}}{\pi} \int_0^{\pi} \left(\frac{V_{CC} - U_{CES}}{R_L} \sin \omega t \right) d\omega t = \frac{2}{\pi} \times V_{CC} \times \frac{V_{CC} - U_{CES}}{R_L}$$

$$\eta = \frac{P_{om}}{P_V} = \frac{\frac{(V_{CC} - U_{CES})^2}{2R_L}}{V_{CC} \cdot \frac{V_{CC} - U_{CES}}{R_L} \cdot \frac{2}{\pi}} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{V_{CC} - U_{CES}}{V_{CC}}$$

高等数学，定积分： $\int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin t dt = 1$

单位正弦半波面积为 2；

（假设输入足够大）

原作者：b站up主—这个ximo不太冷

OCL功放的计算分析

OCL电路晶体管的选择

回顾第一章晶体管的三个重要参数：

最大集电极耗散功率 P_{CM} —— 晶体管输出端管压降与集电极电流乘积的最大值，若功率大于此值晶体管会被烧坏；（平均值）

最大集电极电流 I_{CM} —— 允许的最大集电极电流（瞬时值）；

极间反向击穿电压 $U_{(BR)CEO}$ —— 基极开路时（即晶体管截止状态时）集电极与发射极间的反向电压最大值；

前两个都是考量晶体管在正向导通时的功率应力和电流应力，
最后一个是考量晶体管在反向截止时的电压应力；

OCL功放的计算分析

OCL电路晶体管的选择

晶体管耗散功率 P_T 的最大值与输出功率最大即输出电压有效值为最大不失真输出电压时并不一致，应通过求导计算；求导可以计算出当输出电压的峰值约为 $0.6 V_{CC}$ 时，晶体管耗散功率最大；

$$P_T = \frac{1}{T} \int_0^T u_{CE} i_C(t) dt = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi (V_{CC} - U_{omax} \sin \omega t) \frac{U_{omax} \sin \omega t}{R_L} d\omega t$$

$$P_{Tmax} = \frac{V_{CC}^2}{\pi^2 R_L} = 0.2 P_{om} \Big|_{U_{CES} = 0}$$

\Rightarrow 当 $U_{omax} = \frac{2}{\pi} V_{CC} = 0.6 V_{CC}$ 时， P_T 有 max；

即晶体管最大耗散功率约等于 0.2 倍负载的最大输出功率表达式 U_{CES} 代入 0 计算的结果)；

选择晶体管时晶体管参数 P_{CM} 应满足大于计算得到的 P_{Tmax} ；

OCL功放的计算分析

OCL电路晶体管的选择

晶体管最大集电极电流即约等于最大发射极电流，在 OCL 电路中即负载电流；负载为电阻负载，电压与电流满足欧姆定律，因此电流的最大值：

$$I_{o\max} = \frac{V_{CC} - U_{CES}}{R_L}$$

选取参数时考虑一定安全裕量： $I_{CM} > \frac{V_{CC}}{R_L}$

晶体管的最大反向管压降——考虑 T1截止时，当 T2 的射级输出最大为 $-(V_{CC} - U_{CES})$ 时，T1管的最大反向管压降为：

$$|U_{CE\max}| = 2V_{CC} - U_{CES}$$

选取参数时考虑一定安全裕量： $U_{BR(CEO)} > 2V_{CC}$

OCL功放的计算分析

掌握基本的定义与原理，
在理解的基础上记忆！

OCL计算分析小结

$$U_{om} = \min \left\{ \frac{V_{CC} - U_{CES}}{\sqrt{2}}, U_i \right\}$$

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

$$\eta = \frac{P_{om}}{P_V} = \frac{\frac{U_{om}^2}{R_L}}{V_{CC} \cdot \frac{\sqrt{2}U_{om}}{R_L} \cdot \frac{2}{\pi}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \cdot \frac{U_{om}}{V_{CC}}$$

$$U_{om} = \frac{V_{CC} - U_{CES}}{\sqrt{2}} \text{ (输入电压足够大)}$$

$$P_{om} = \frac{(V_{CC} - U_{CES})^2}{2R_L} \text{ (输入电压足够大)}$$

$$\eta = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{V_{CC} - U_{CES}}{V_{CC}} \text{ (输入电压足够大)}$$

$$|U_{CEmax}| = 2V_{CC} - U_{CES}$$

$$I_{omax} = \frac{V_{CC} - U_{CES}}{R_L}$$

$$P_{Tmax} = \frac{V_{CC}^2}{\pi^2 R_L} = 0.2P_{om}|_{U_{CES}=0}$$

理论计算结果

$$U_{BR(CEO)} > 2V_{CC}$$

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

$$P_{CM} > 0.2P_{om}|_{U_{CES}=0}$$

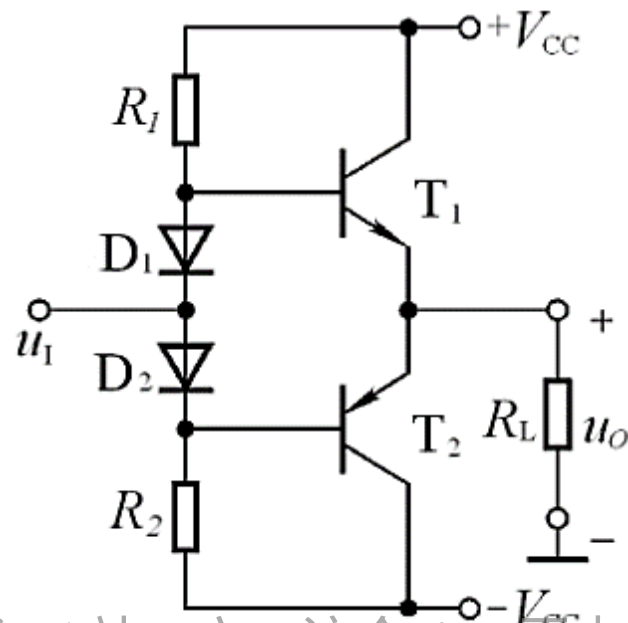
实际选型

OCL功放的计算分析

例 1

OCL 电路如图所示，已知 $V_{CC} = 16V$ ， $R_L = 4\Omega$ ， T_1 和 T_2 管的饱和压降 $U_{CES} = 2V$ ，输入电压足够大。试问：

- (1) 最大输出功率 P_{om} 和效率 η 各为多少？
- (2) 晶体管的最大功耗 P_{Tmax} 为多少？
- (3) 为了使输出功率达到 P_{om} ，输入电压的有效值约为多少？

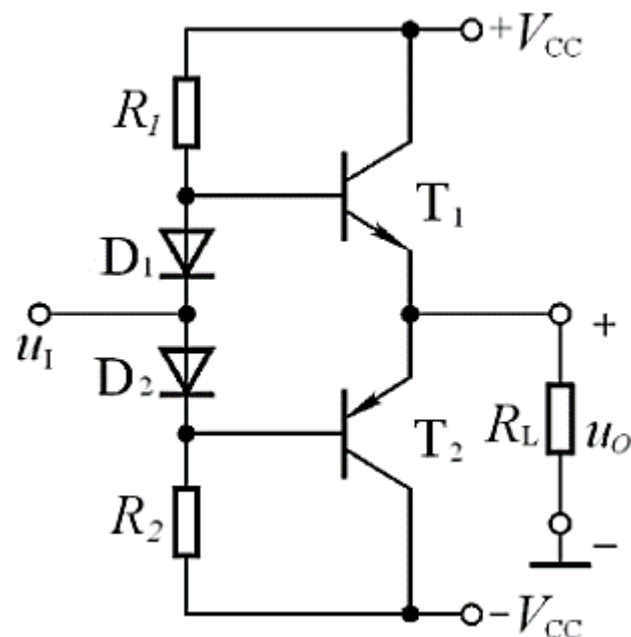


OCL功放的计算分析

例 2

OCL 电路如图所示，若电路中出现下述故障，则分别会产生什么情况？

(1) R_1 开路 (2) R_1 短路 (3) D_1 开路 (4) D_1 短路 (5) T_1 集电极开路



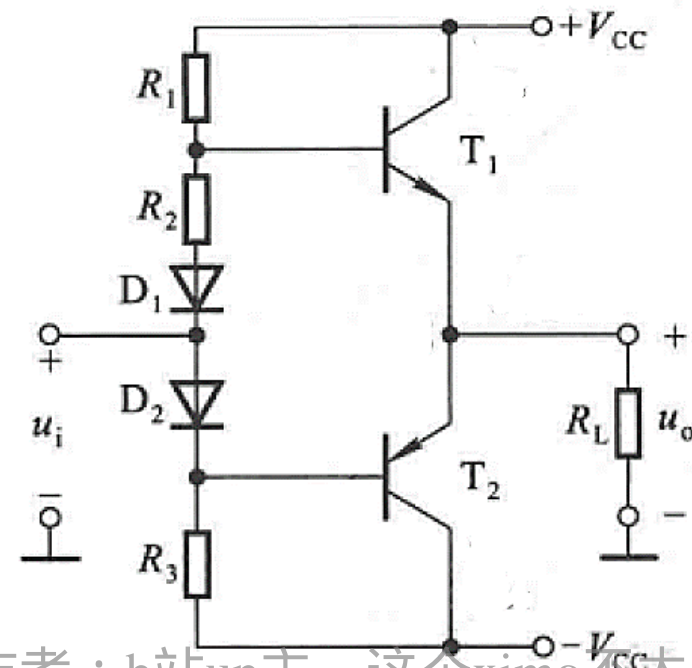
原作者：b站up主—这个ximo不太冷

OCL功放的计算分析

例 3

OCL 电路如图所示，已知 $V_{CC} = 15V$ ， $R_L = 4\Omega$ ， T_1 和 T_2 管的饱和压降 $U_{CES} = 3V$ ，试问：

- (1) 负载上可能获得的最大输出功率 P_{om} 和效率 η 各为多少？
- (2) 若输入电压最大有效值为 8 V，则负载上能够获得的最大功率为多少？
- (3) 若 T_1 管的集电极和发射级短路，则将产生什么现象？

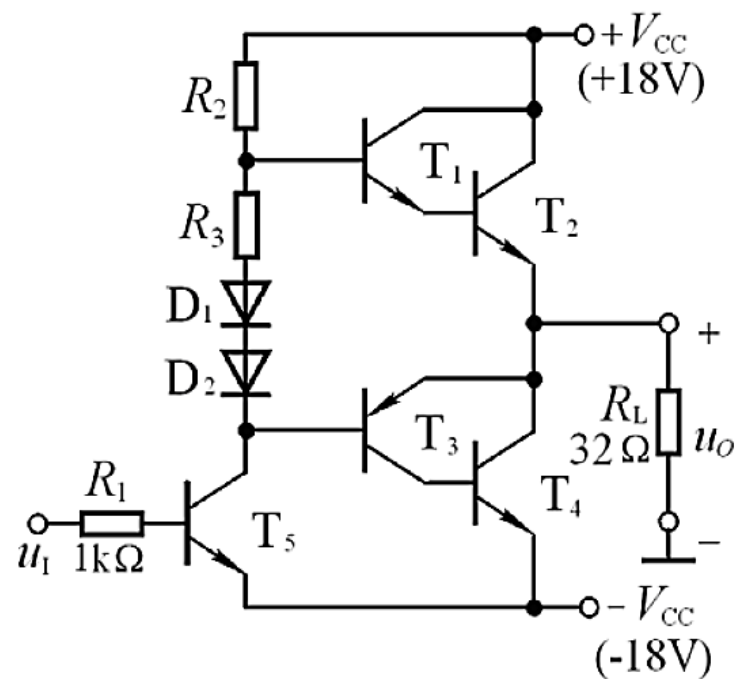


OCL功放的计算分析

例 4

OCL 电路如图所示，已知二极管的导通电压为 $0.7V$ ，晶体管导通时的 $|U_{BE}|$ 为 $0.7V$ ， T_2 和 T_3 管发射极静态电位 $U_{EQ} = 0$ ；晶体管饱和管压降 $|U_{CES}|$ 为 $2V$ ；

- (1) T_1 、 T_3 、 T_5 管的基极电位各为多少？
- (2) 已知 $R_2 = 10k\Omega$ ， $R_3 = 100\Omega$ ，若 T_1 和 T_3 管基极的静态电流可以忽略不计，则 T_5 管集电极静态电流约为多少？
- (3) 若静态时 i_{B1} 略大于 i_{B3} ，则应调节哪个参数使 $i_{B1} = i_{B3}$ ？如何调节？
- (4) 电路中二极管的个数可以为 1、2、3、4 吗？
- (5) 如果 T_1 的集电极开路，会产生什么现象？
- (6) 功放管 T_2 和 T_4 的最大集电极电流、最大管压降以及最大功耗各约为多少？

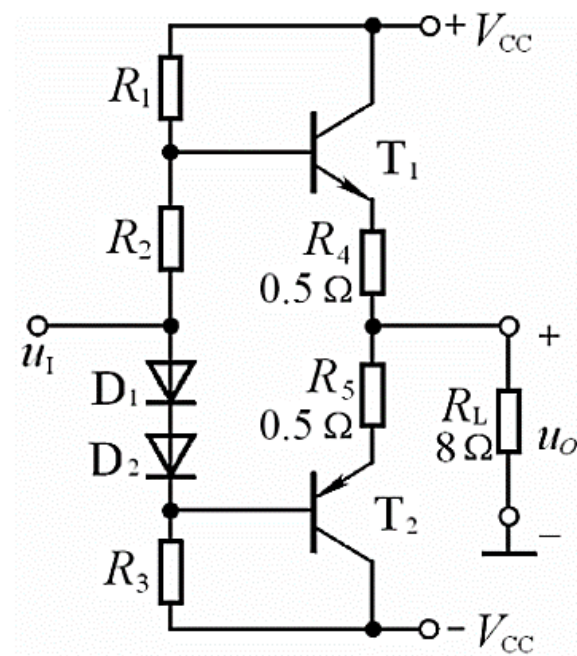


OCL功放的计算分析

例 5

OCL 电路如图所示，已知 $V_{CC} = 15V$ ， T_1 和 T_2 管的饱和压降 $U_{CES} = 2V$ ，输入电压足够大。试问：

- (1) 最大不失真输出电压 U_{om} 为多少？
- (2) 流过负载电阻 R_L 的电流的最大值为多少？
- (3) 最大输出功率 P_{om} 和效率 η 各为多少？
- (4) 当输出因故障短路时，晶体管的最大集电极电流和耗散功率为多少？



小结

- 理解放大电路放大的本质 —— 功率放大，能量的控制与转换
- 熟悉功率放大电路的不同类别以及各自的特点 —— 甲类，乙类，甲乙类
- 能够识别出OCL功放电路以及电路中各个元件的作用
- 掌握OCL功放电路的计算分析
 - 最大不失真输出电压，最大输出功率，效率的定义；
 - 功放管的参数选择 —— 最大集电极电流、最大管压降以及最大功耗；
 - OCL功放电路常用的计算分析的结论；