

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！



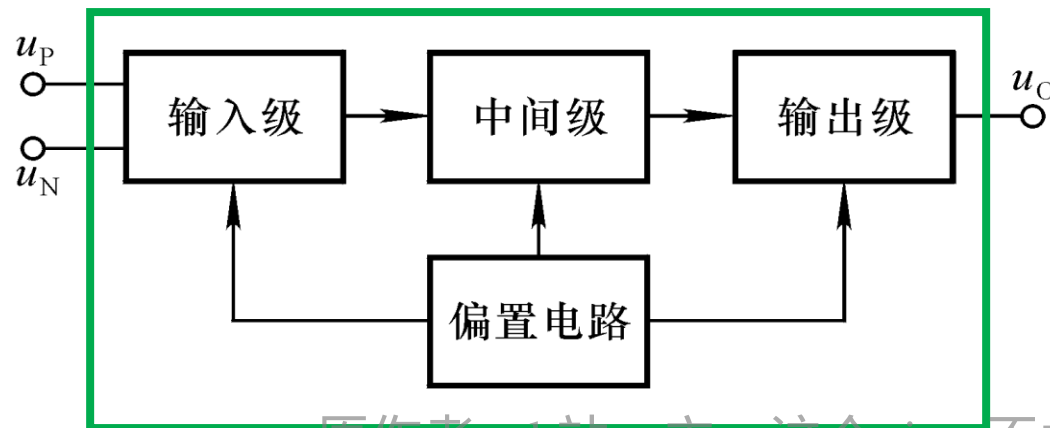
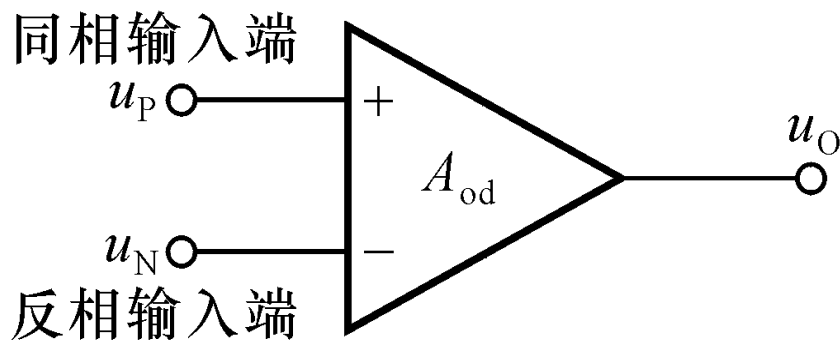
Part 11 集成运放

原作者：b站up主—这个ximo不太冷

集成运放

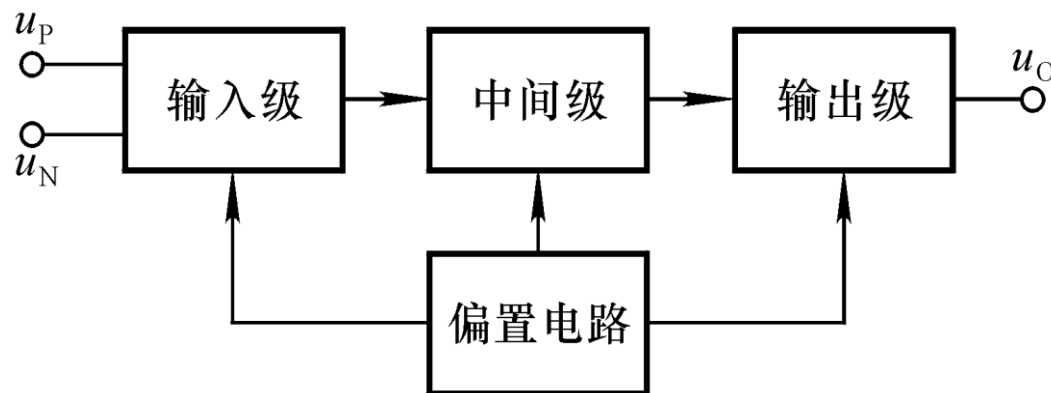
集成运放

集成运放实质上就是一个直接耦合多级放大电路集成在半导体芯片上，因为多用于运算电路（第六章），因此称为集成运算放大电路；本章前面学习的差分放大电路和电流源电路都是集成运放中非常重要的组成单元；集成运放能够将多个电路的优点结合起来，兼具电压放大倍数大、抗干扰（抑制共模能力强）、带负载能力强、线性度好等性能；本质上可以看作一个双端输入、单端输出的差分放大电路；



集成运放

集成运放的组成



- 输入级：多采用差分放大电路，要求具有较大的输入电阻和较高的共模抑制比等；
- 中间级：主放大级，多采用共射放大电路，要求有足够的电压放大能力，一般采用复合管形式；
- 输出级：功率级，多采用互补输出级，要求输出电阻小，最大不失真输出电压足够大（失真裕度高）、非线性失真足够小等；
- 偏置电路：为各级放大电路设置合适的静态工作点，一般采用电流源电路；

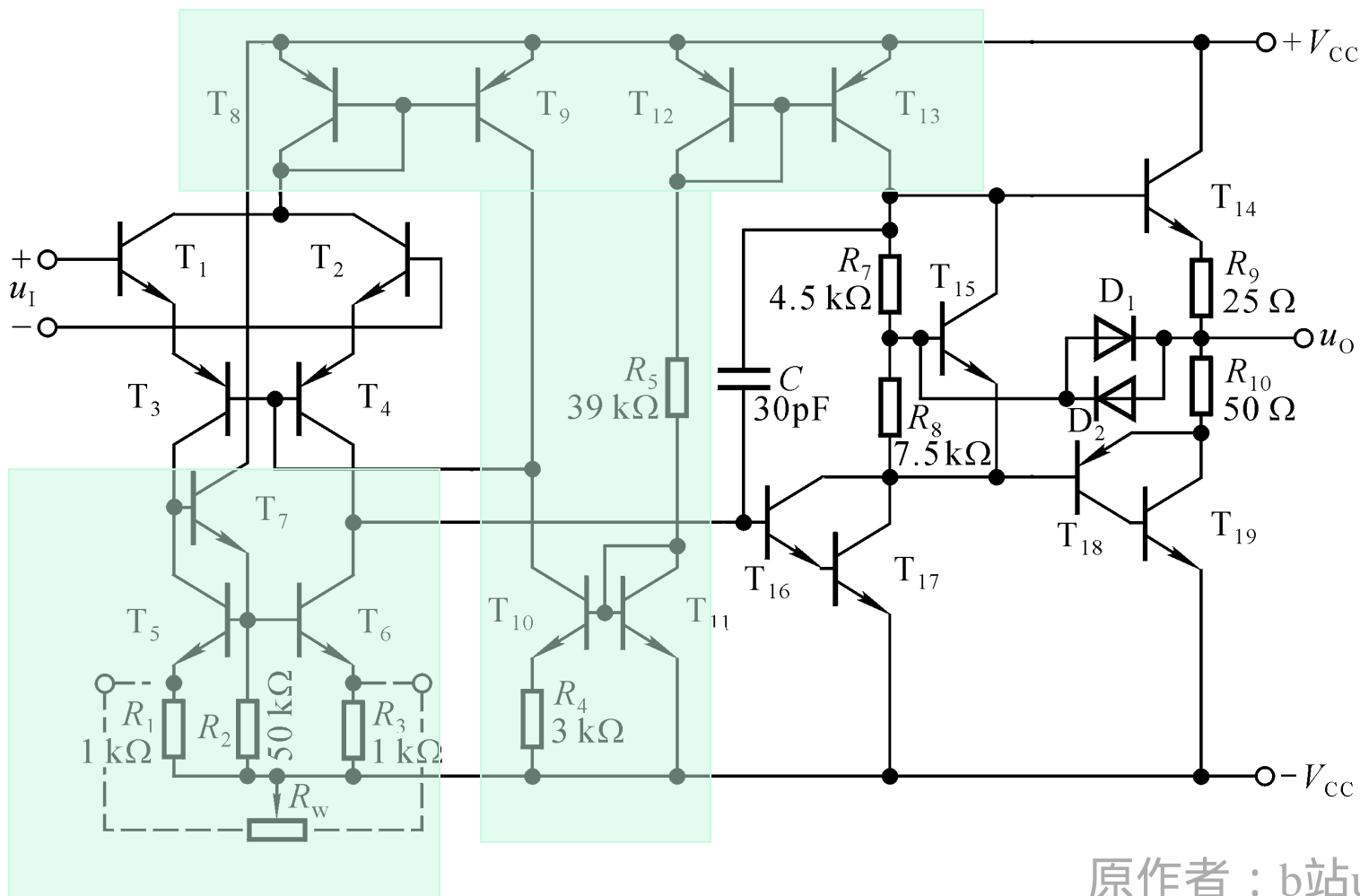
请同学们不要将课件上传至网上的各个公共平台，谢谢！
课件中存在的错误可以在b站私信反馈给我，不胜感激！

集成运放

思考：

第一级差分放大电路的两个输入端，
哪个是同相输入端？
哪个是反相输入端？

集成运放内部结构示例



原作者：b站up主—这个ximo不太冷

思考：

这几个参数按照其概念和物理意义，
各自应该越大越好还是越小越好？

集成运放

集成运放的性能指标

下面只给出比较重要的性能指标，其余参考教材或产品手册；

开环差模增益 A_{od} —— 集成运放无外加反馈时的差模电压放大倍数；

差模输入电阻 r_{id} —— 对差模信号的输入电阻；

输出电阻 r_o —— 对外输出的等效电阻；

-3dB带宽 f_H —— 随着信号频率增加，增益会下降（第四章），下降到 0.707 倍的频率；

共模抑制比 K_{CMR} —— 差模放大倍数于共模放大倍数之比绝对值，表示抑制共模能力；

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！

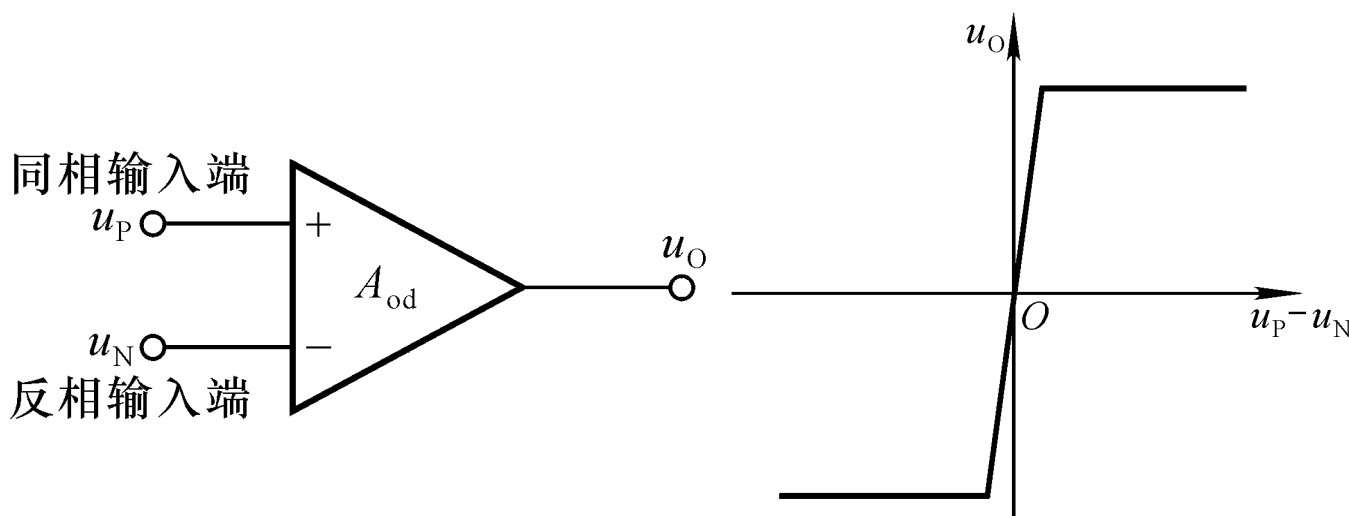
集成运放

思考：

集成运放在开环时，容易工作在线性区吗？
(线性区很窄，两个输入信号相差非常小，
一般认为开环时工作在非线性区，
为了工作在线性区要引入反馈（第五章）)

集成运放的电压传输特性

传输特性，即输出信号与输入信号的关系，用图像法表示 $u_O = f(u_P - u_N)$;



线性区： $u_O = A_{od}(u_P - u_N)$ ， A_{od} 是开环差模增益；

由于 A_{od} 非常大，一般高达几十万倍，所以集成运放工作在线性区时的最大输入电压 $(u_P - u_N)$ 的数值仅为几十~一百多微伏，线性区范围比较窄；

非线性区： $u_O = \pm U_{OM}$ ，即输出电压存在上下限；

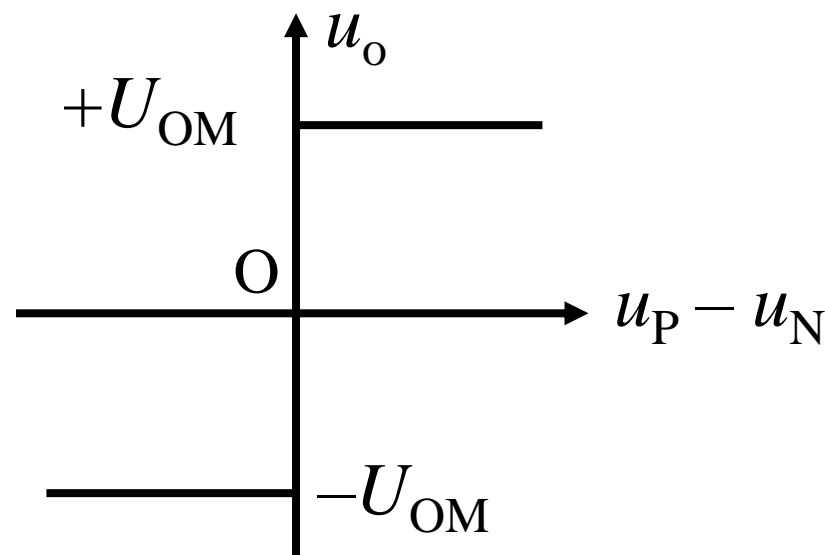
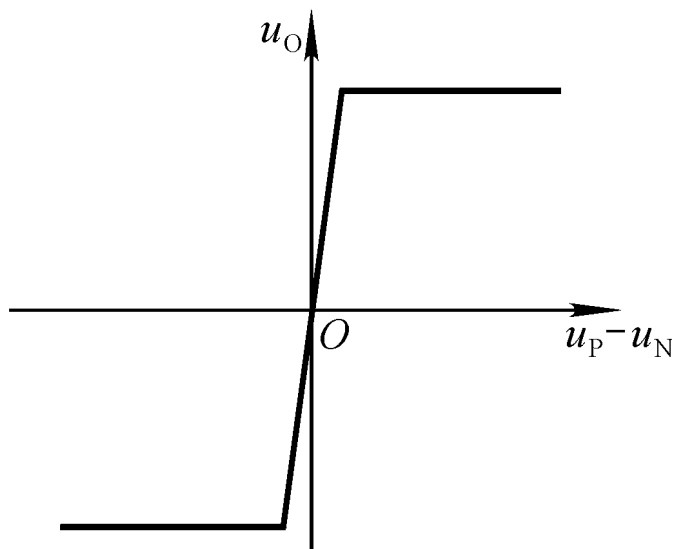
请同学们不要将课件上传至网上的各个公共平台，谢谢！
课件中存在的错误可以在b站私信反馈给我，不胜感激！

集成运放

后面其他章节应用的都是
理想运放！

理想运放

理想运放，认为开环差模增益无穷大，差模输入电阻无穷大，输出电阻为零，
带宽无限大（没有上限截止频率，增益不随频率增大衰减），共模抑制比无穷大；

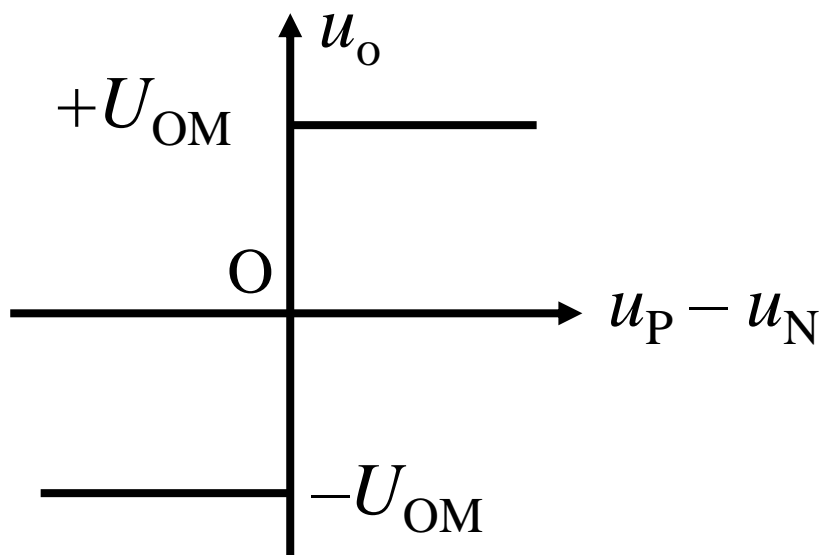


原作者：b站up主—这个ximo不太冷

集成运放

理想运放工作在线性区的特点

- ① 虚短 —— 同相输入端与反相输入端电位相等，即 $u_P - u_N = 0$ ；
- ② 虚断 —— 同相输入端和反相输入端开路电流为零（输入电阻无穷大）；

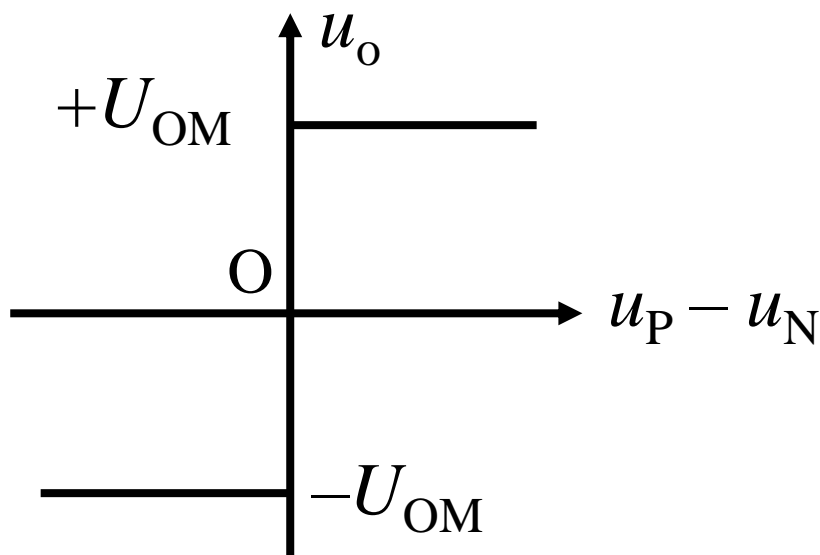


想要使集成运放工作在线性区，必须要引入负反馈，称为闭环，第五章和第六章继续讨论理想运放的线性区！

集成运放

理想运放工作在非线性区的特点

- ① 电压比较 —— 输出只有高低电平两种可能，取决于同相输入和反相输入相对大小；
- ② 虚断 —— 同相输入端和反相输入端开路电流为零（输入电阻无穷大）；



无反馈（开环）或引入正反馈时集成运放工作在非线性区，
第七章电压比较器部分继续讨论理想运放的非线性区！

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！

集成运放

集成运放小结

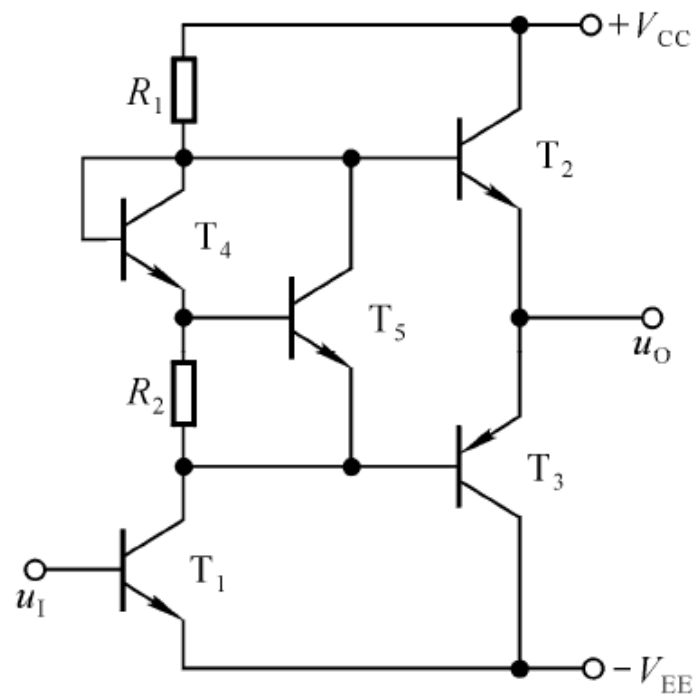
对于集成运放这一部分的掌握要求，就是能够做到与前面和后面知识衔接起来，能够识别集成运放内部电路图的结构、划分各级判断各级作用，能够将学习的差分放大电路、电流源电路、功率放大电路、复合管放大电路等内容综合在一起，有一个全局性的梳理；能够掌握集成运放的电压传输特性，知道在后续的章节如何应用理想运放的特点；

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！

集成运放

例 1

电路如图所示，试说明电路图中各晶体管的作用。



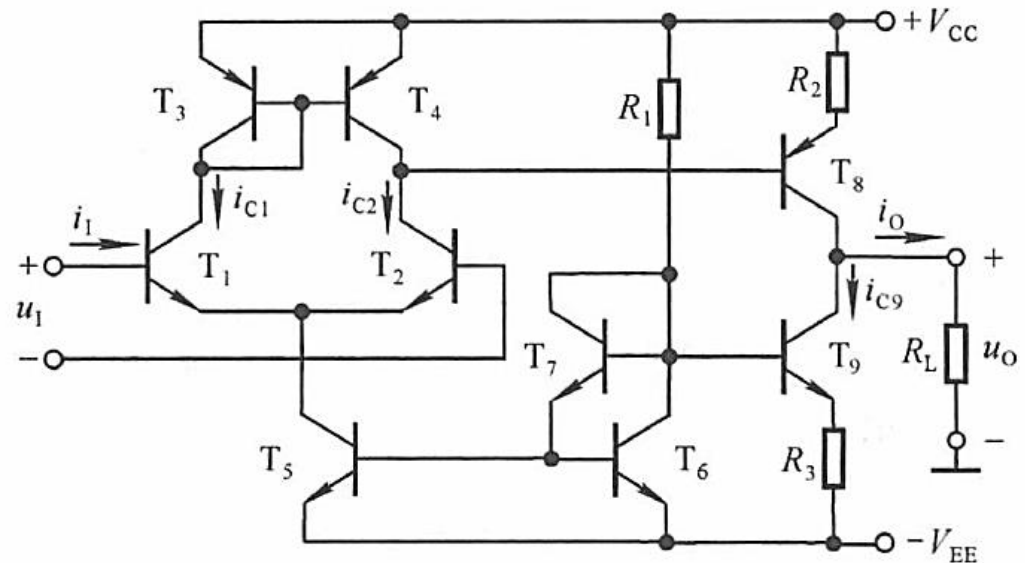
原作者：b站up主—这个ximo不太冷

集成运放

例 2

电路如图所示：

- (1) 说明电路的工作原理以及各个晶体管的作用；
- (2) 假设电路中每个晶体管的 β 和 r_{be} 均相等，求解此电路的电压增益 A_u 的表达式。



集成运放

例 3

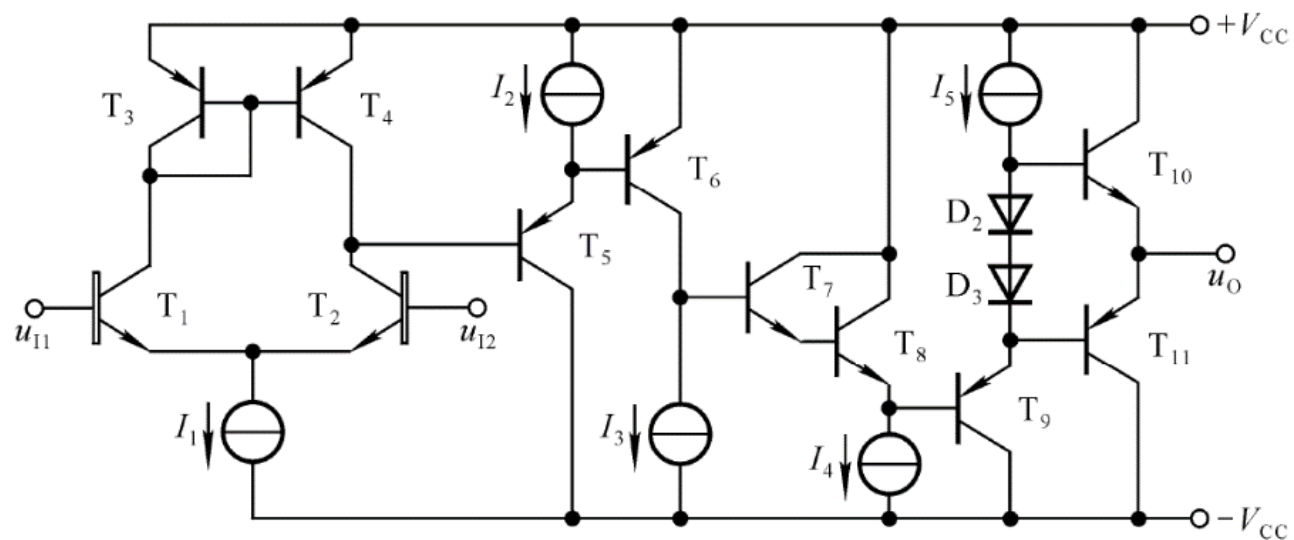
集成运放电路如图所示：

(1)两个输入端中哪个是同相输入端，哪个是反相输入端；

(2)分析晶体管 T_3 与 T_4 的作用；

(3)分析电流源 I_3 的作用；

(4)分析二极管 D_2 与 D_3 的作用；



集成运放

例 4

电路如图所示：

- (1)说明电路是几级放大电路，各级分别是哪种形式的放大电路；
- (2)说明第一级采用了哪些措施来改善其性能指标；
- (3)分析 D_1 、 D_2 的作用；
- (4)分析恒流源 I_2 的作用；

