

第3章 集成运算放大电路

——王文俊

山西农业大学

二十七、集成运放电路的分析

• 1、集成运放电路的分析步骤

①
找出基准电流

- 通常在集成运放中若有一个支路的电流可以估算出来，则该电流就是基准电流。

②
分离偏置电路

- 找出与基准电流存在镜像、比例关系的那部分电路，它们共同组成偏置电路。

③
简化电路

- 将偏置电路的多路电流用电流源取代，仅剩下与信号放大有关的部分。

④
拆分电路

- 按信号流通顺序，将简化后的电路拆分为输入级、中间级、输出级三部分。

• 1、集成运放电路的分析步骤

⑤ 分析功能

- 分析每部分电路的结构形式和性能特点。

⑥ 统观整体

- 研究各部分电路相互间的联系，从而理解电路如何实现所具有的功能。
- 确定集成运放的同相输入端和反相输入端。

⑦ 定量估算

- 对各部分电路进行定量估算，从而得到整个电路的性能指标。（本课程不做要求）

山西农业大学

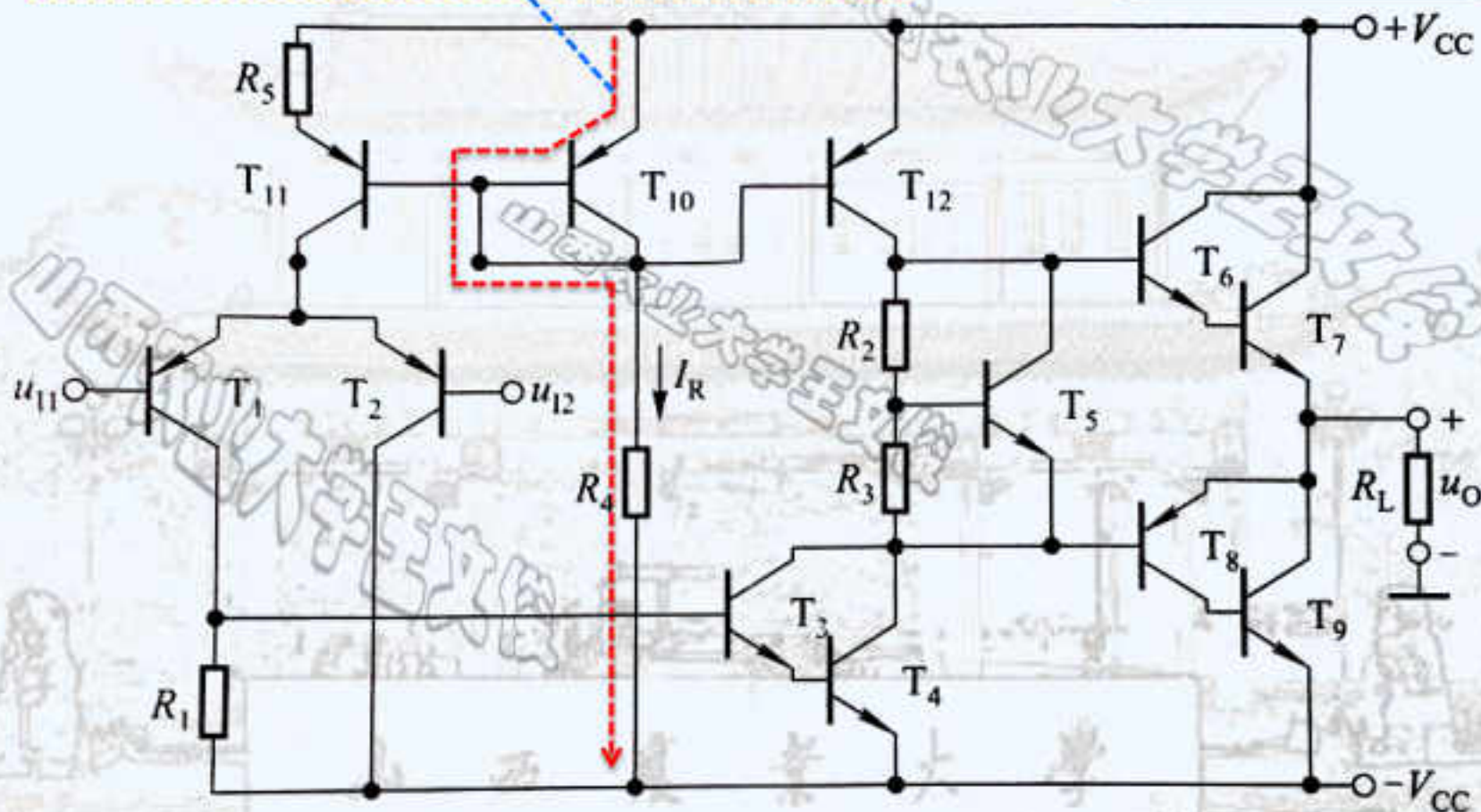
2、双极型集成运放原理电路分析

电阻 R_4 中的电流为
偏置电路的基准电流

$$I_R = \frac{2V_{CC} - U_{EB10}}{R_4}$$

①

找出基准电流

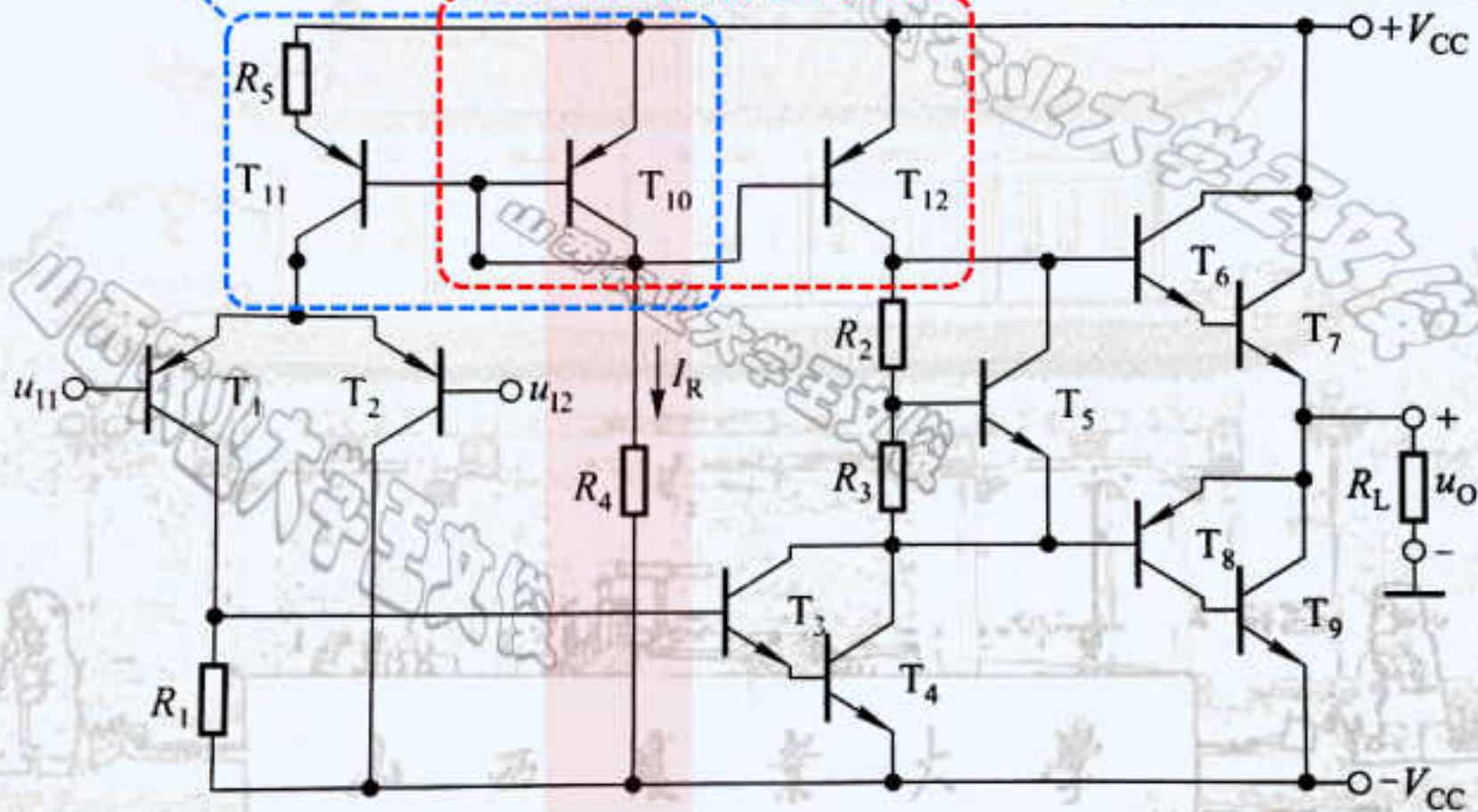


• 2、双极型集成运放原理电路分析

T_{10} 、 T_{11} 、 R_5
构成微电流源

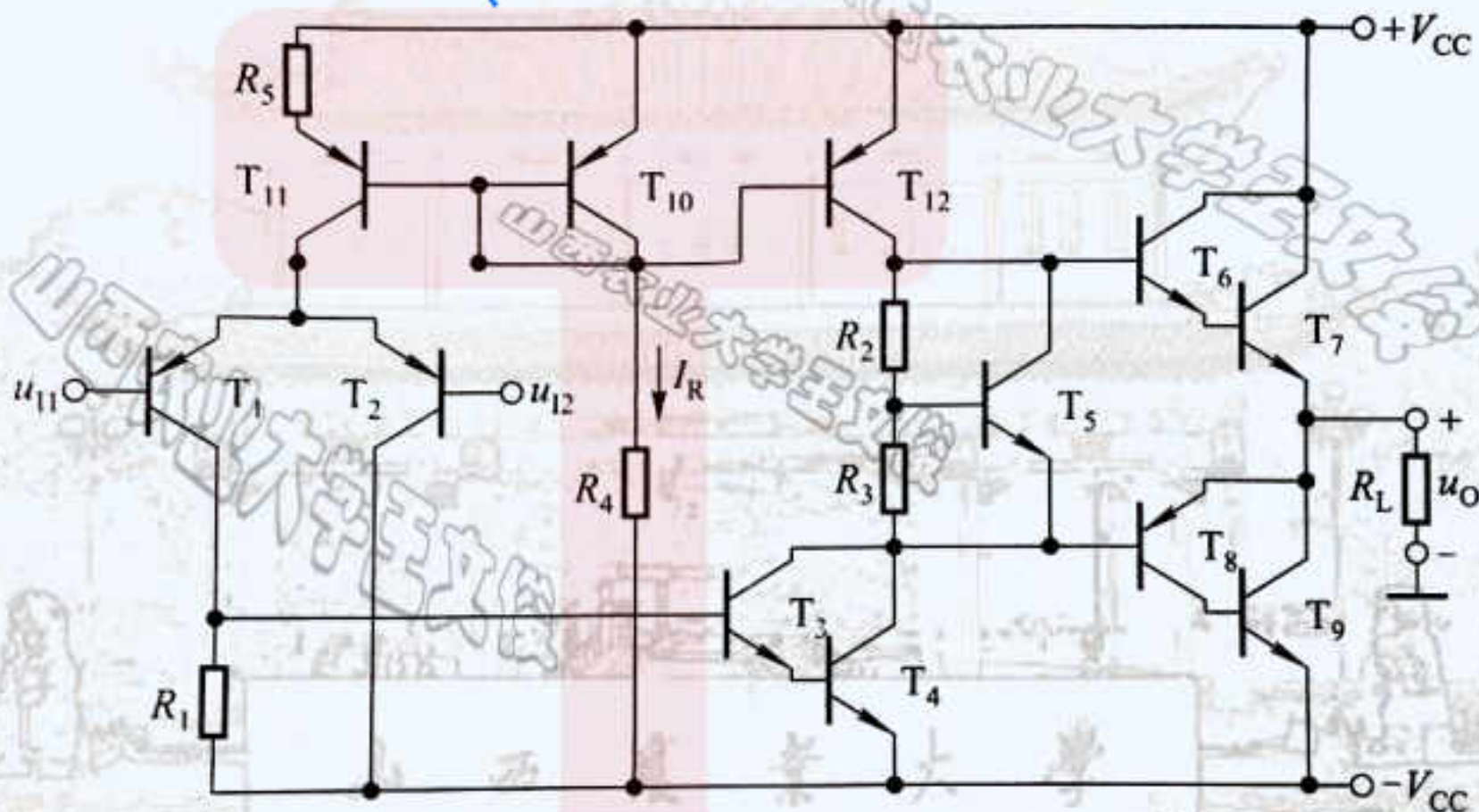
T_{10} 、 T_{12}
构成镜像电流源

②
分离偏置电路



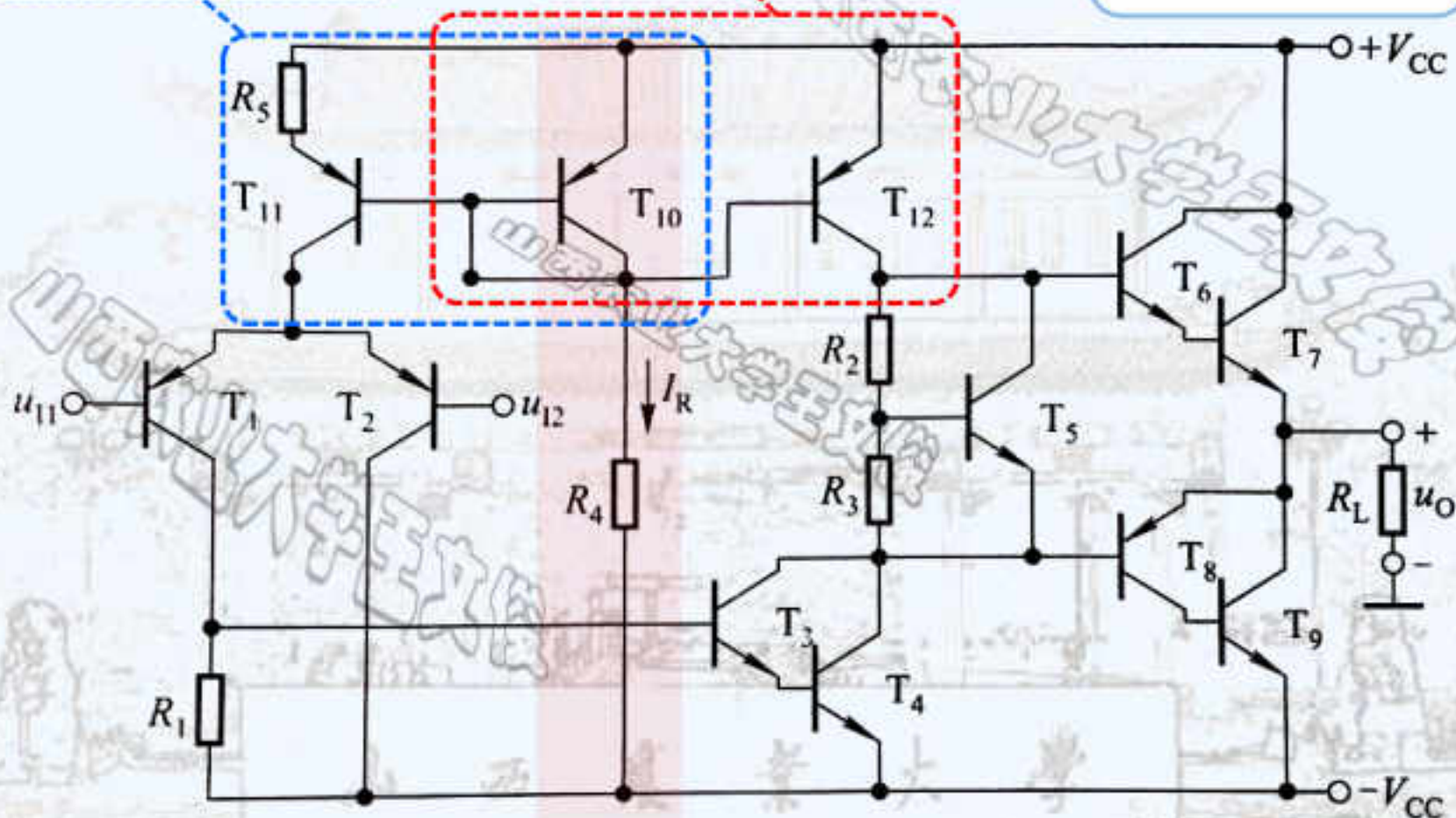
• 2、双极型集成运放原理电路分析

T_{10} 、 T_{11} 、 T_{12} 、 R_4 、 R_5 构成多路电流源，
构成偏置电路，为各级电路提供静态电流。



用电流源符号
取代电流源电路

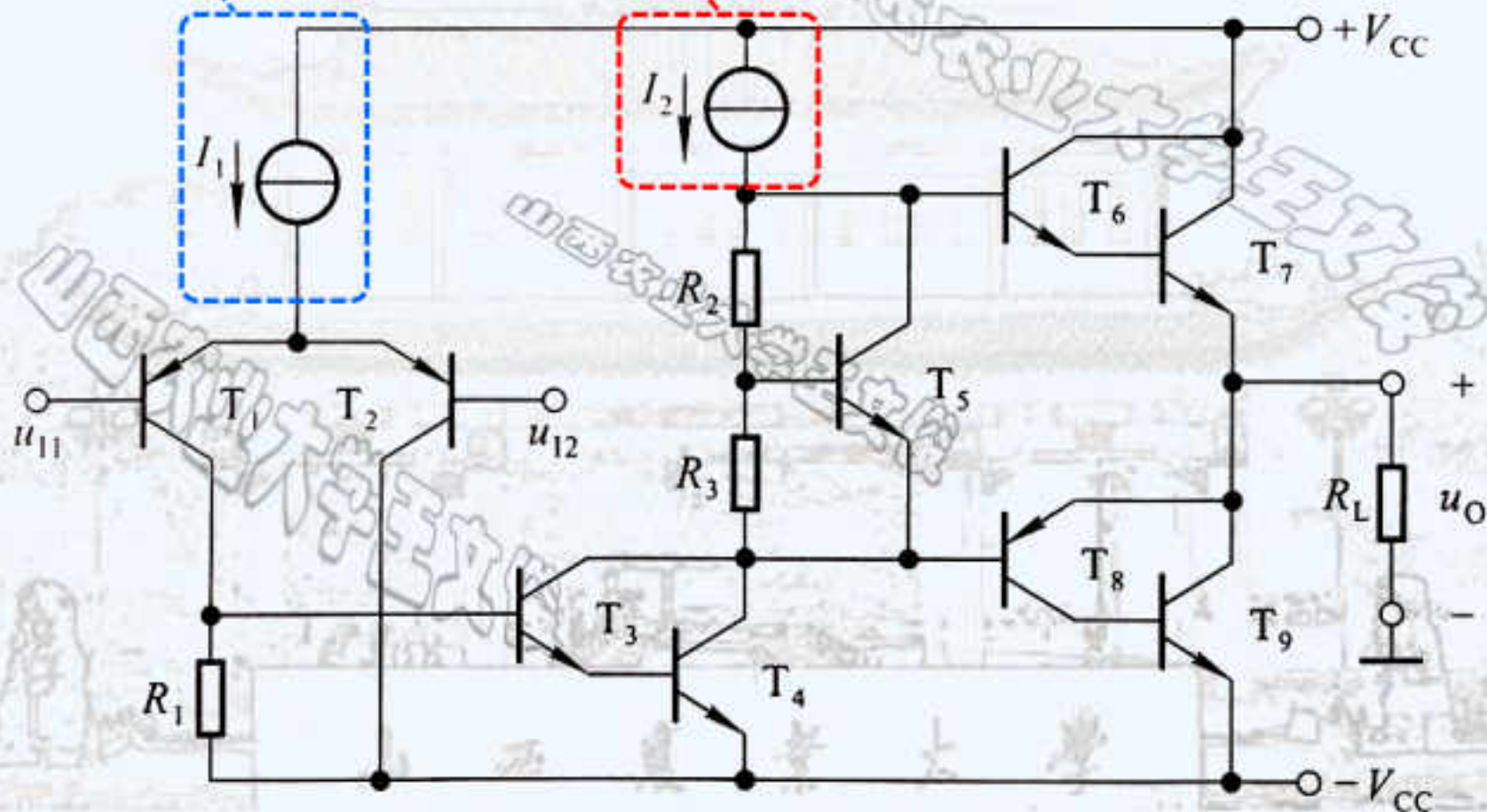
③
简化电路



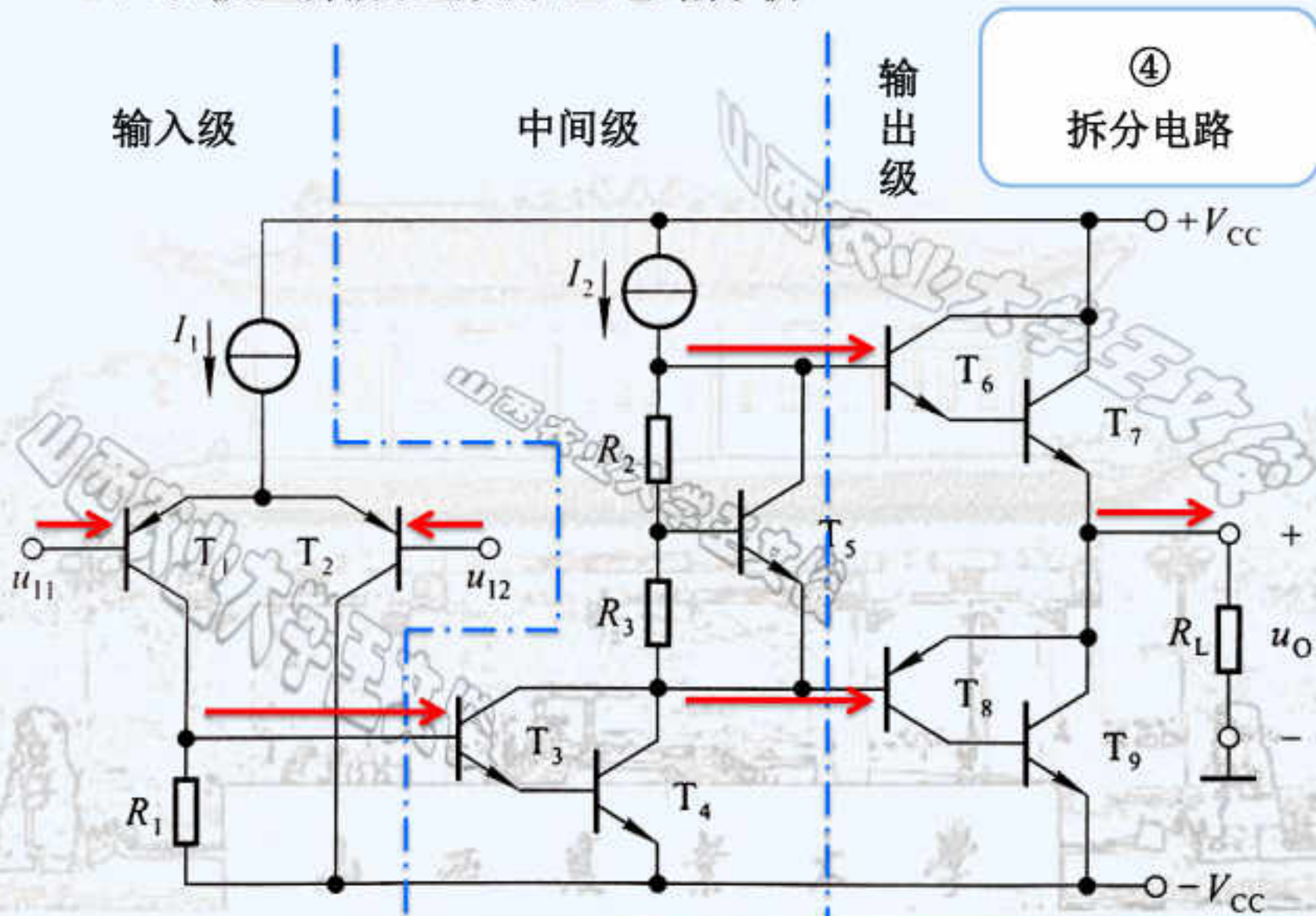
• 2、双极型集成运放原理电路分析

用电流源 I_1
取代微电流源

用电流源 I_2
取代镜像电流源

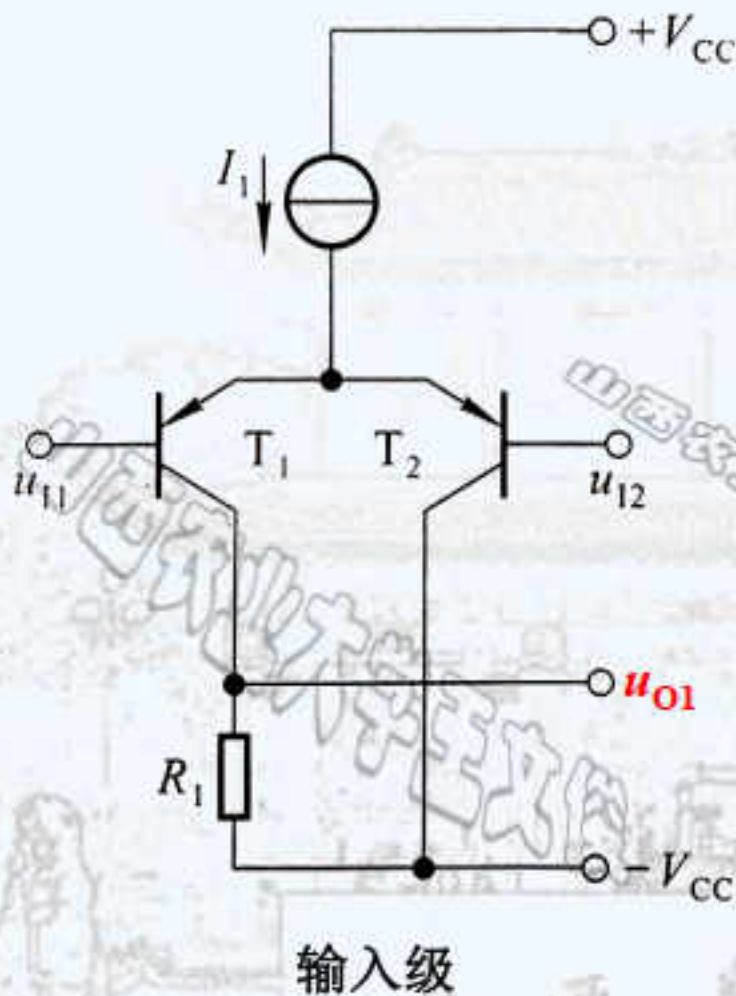


2、双极型集成运放原理电路分析



• 2、双极型集成运放原理电路分析

⑤ 分析功能



结构

- T_1 、 T_2 、 R_1 、 I_1 构成具有恒流源的、双端输入单端输出的差分放大电路。

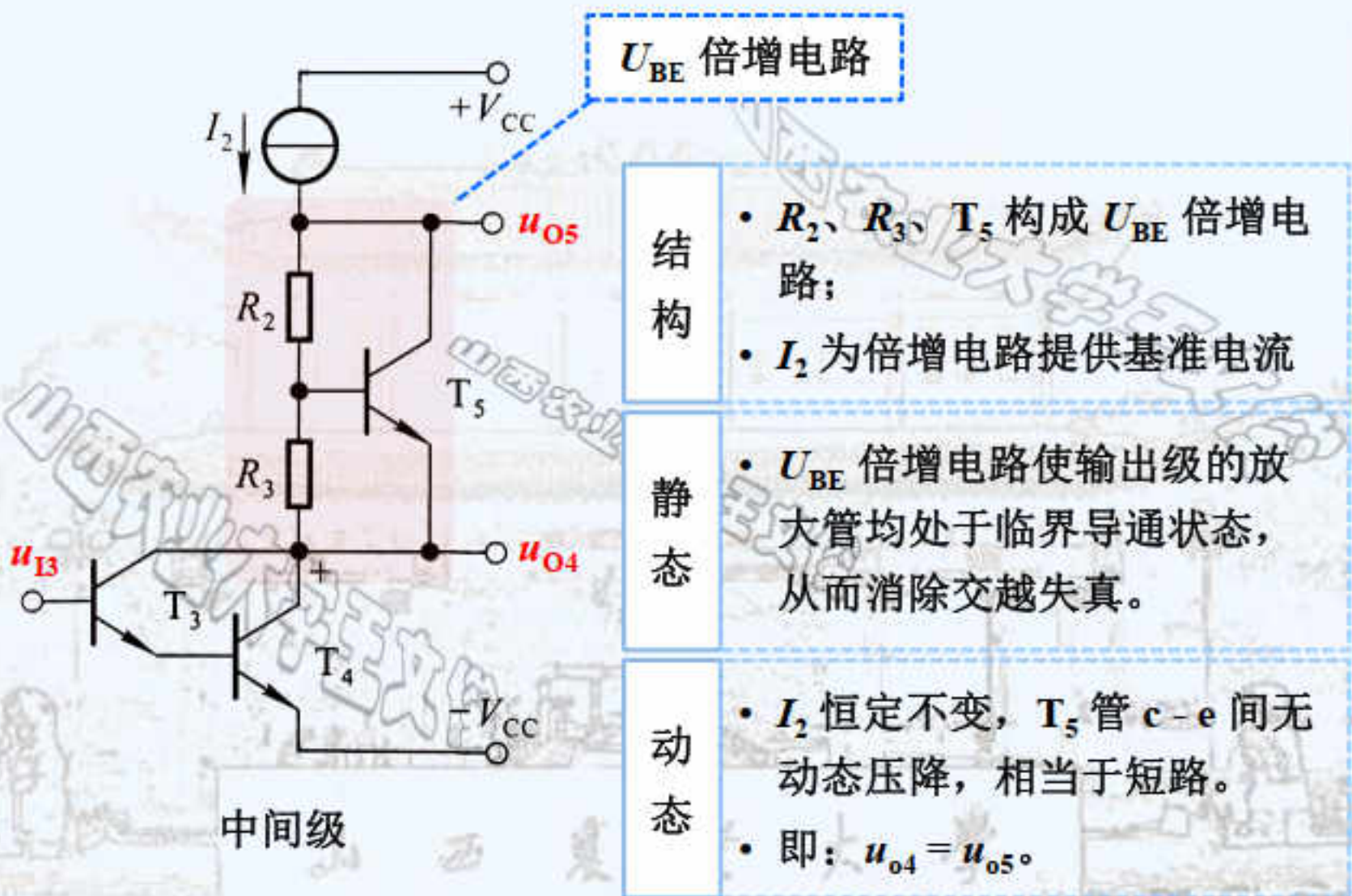
静态

- I_1 为 T_1 、 T_2 管提供合适的发射极偏置电流，用于设置合适的静态工作点。

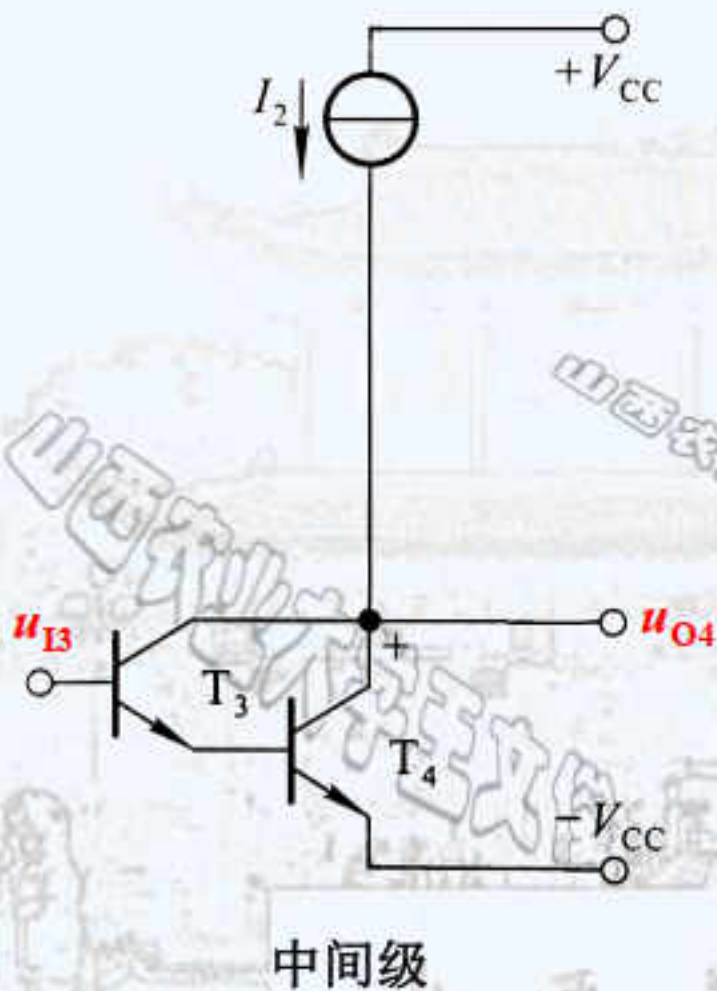
动态

- 低温漂，高共模抑制比。
- 单端输出，输出电压中包含直流分量。

• 2、双极型集成运放原理电路分析



• 2、双极型集成运放原理电路分析



结构

- T_3 、 T_4 、 I_2 组成以复合管为放大管、以恒流源为有源负载的复合管共射放大电路。

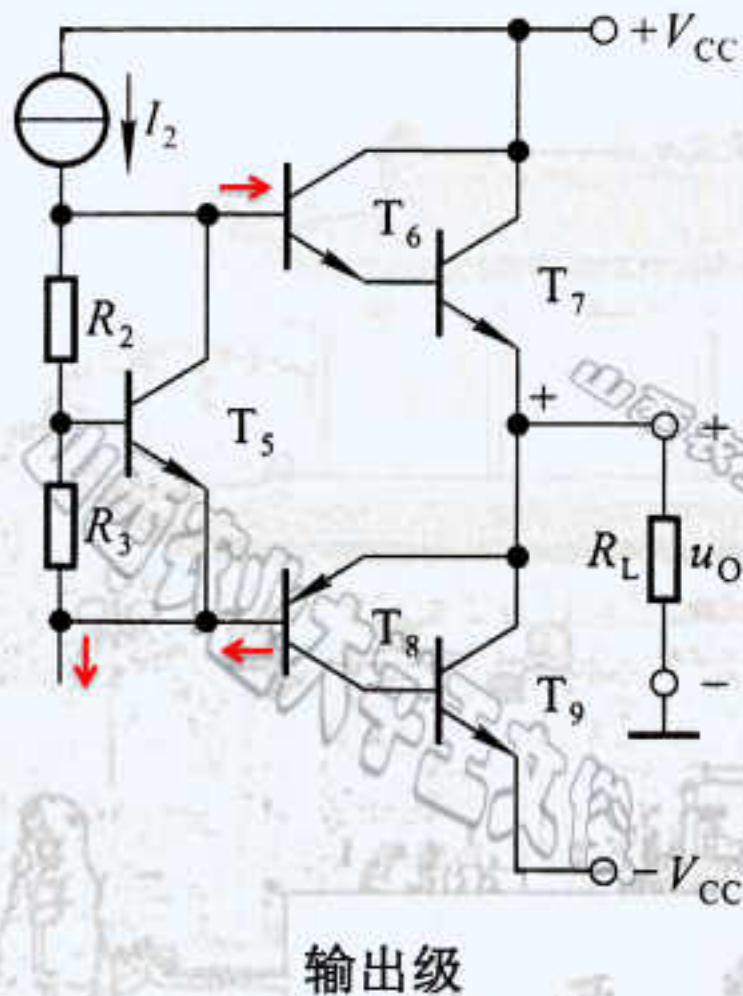
静态

- 电流 I_2 为中间级提供静态电流，用于设置合适的静态工作点。

动态

- 有源负载，具有很高的电压放大倍数， T_3 、 T_4 管动态电流全部流向输出级。

• 2、双极型集成运放原理电路分析



结构

- R_2 、 R_3 、 T_5 构成 U_{BE} 倍增电路； T_6 、 T_7 、 T_8 、 T_9 构成准互补输出电路。

静态

- 电流 I_2 为输出级提供合适的静态电流。 U_{BE} 倍增电路用于消除交越失真。

动态

- 输出电阻小，带负载能力强，最大不失真输出电压幅值接近电源电压。

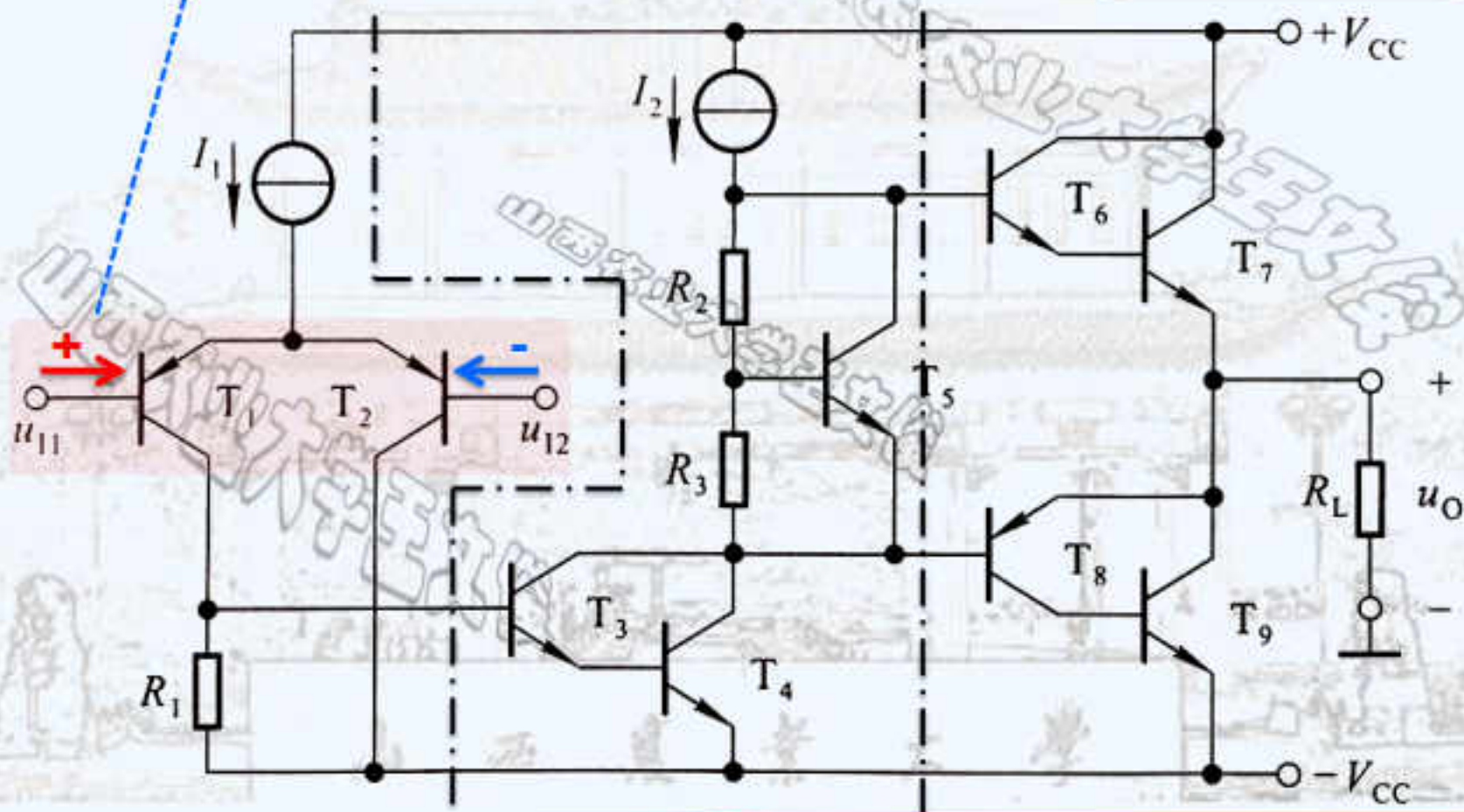
2、双极型集成运放原理电路分析

差模输入

u_{I1} 极性为正, u_{I2} 极性为负

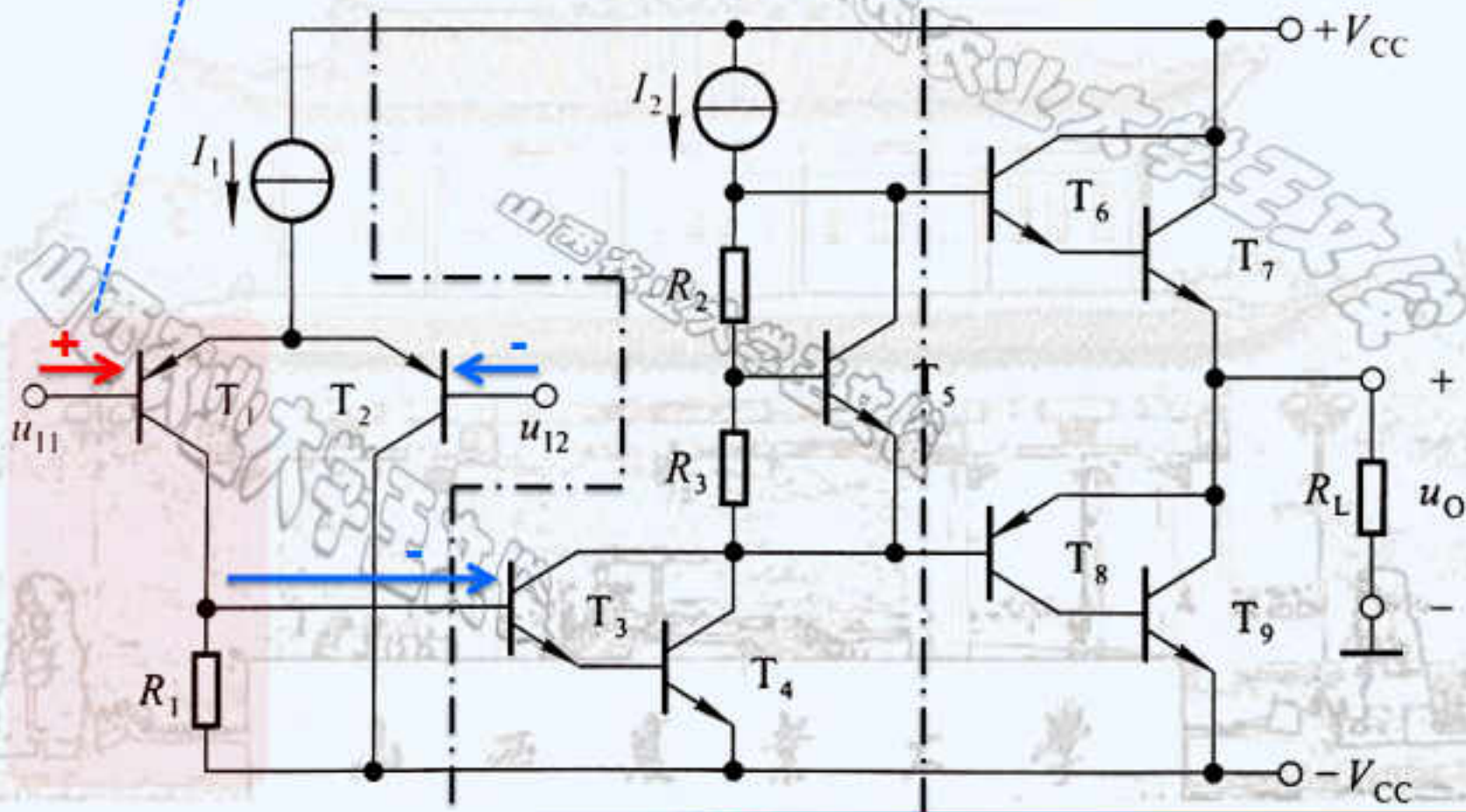
⑥

统观整体



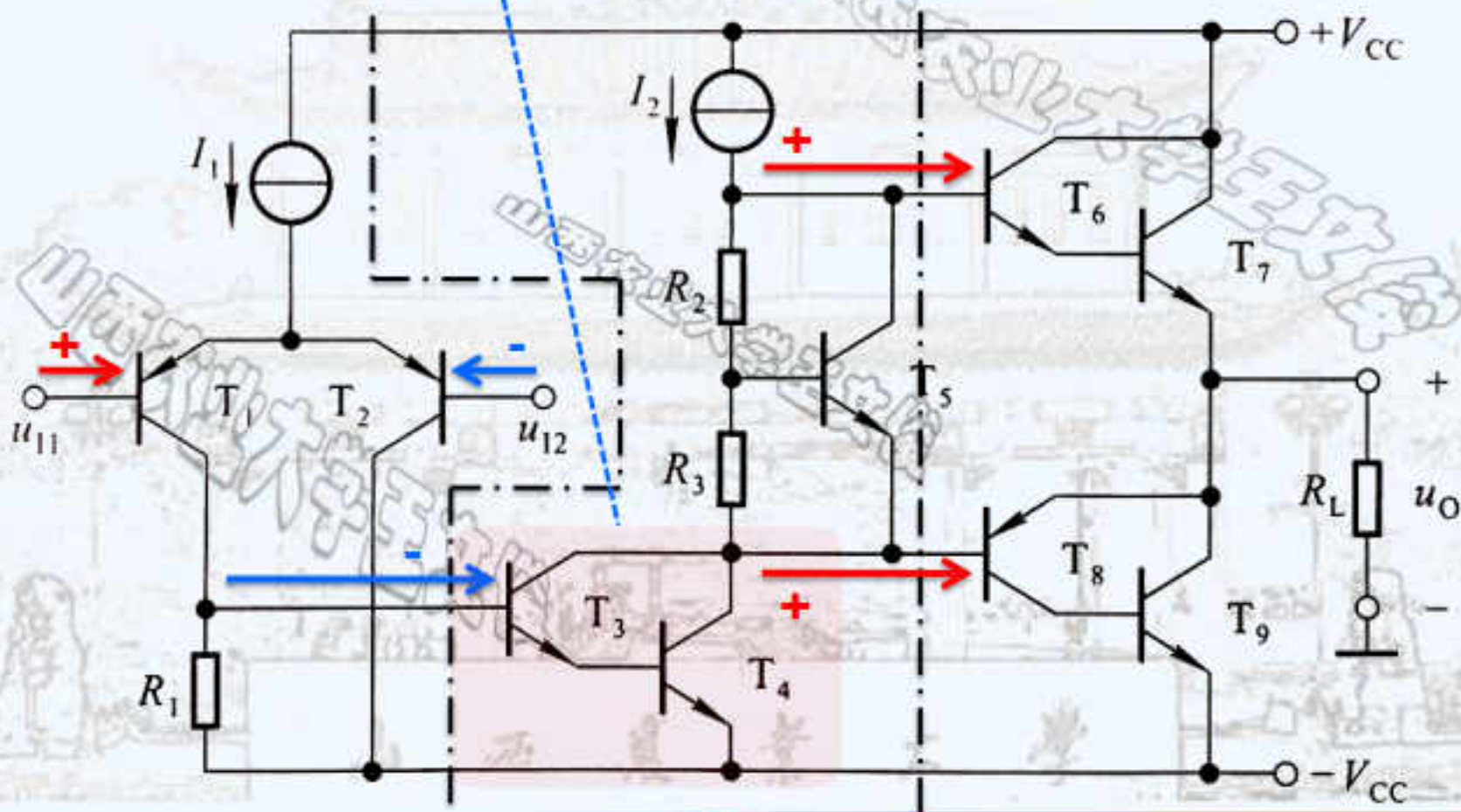
• 2、双极型集成运放原理电路分析

共射放大电路：反相输出
输入级的输出端极性为负



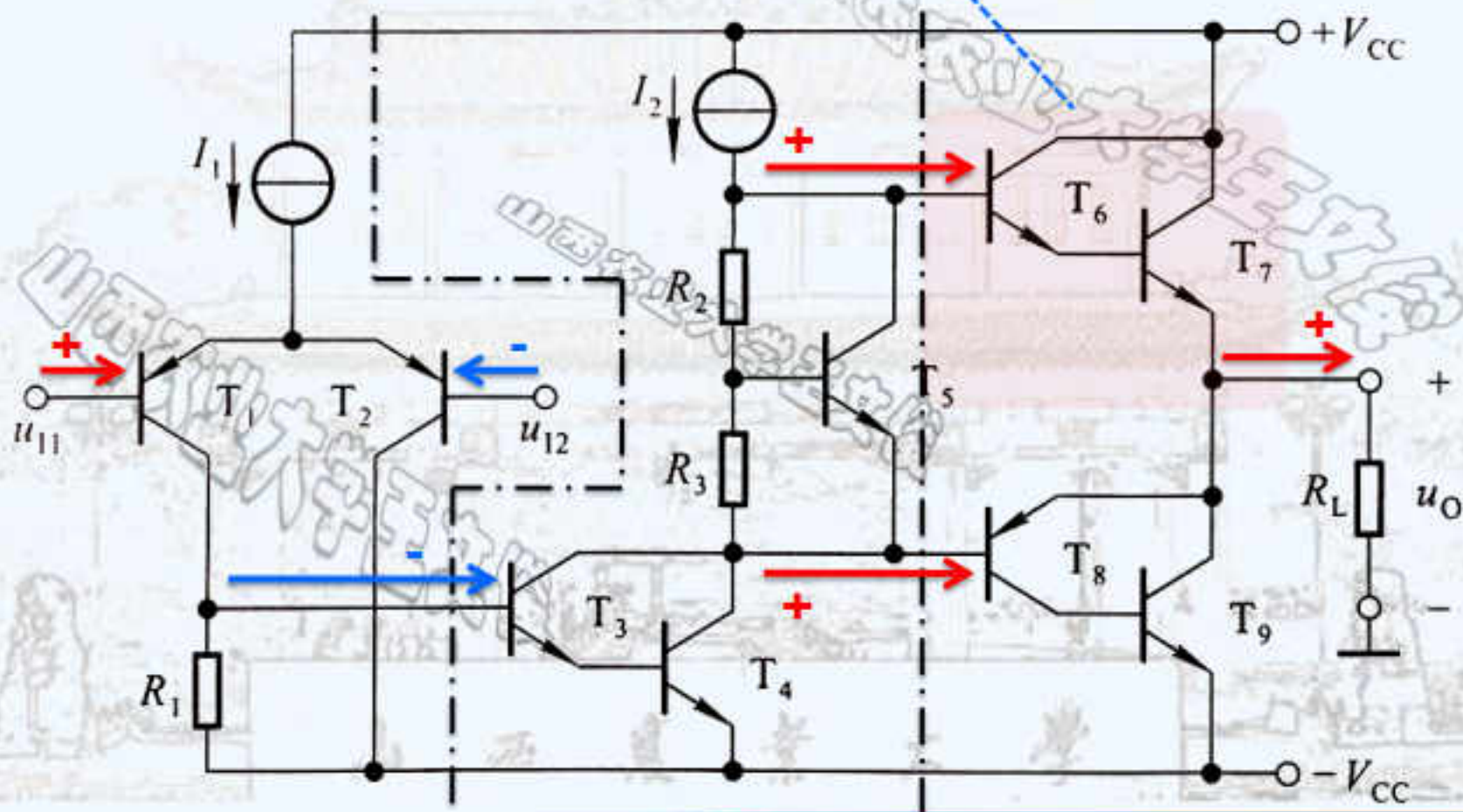
• 2、双极型集成运放原理电路分析

复合管共射放大电路：反相输出
中间级的输出端极性为正



2、双极型集成运放原理电路分析

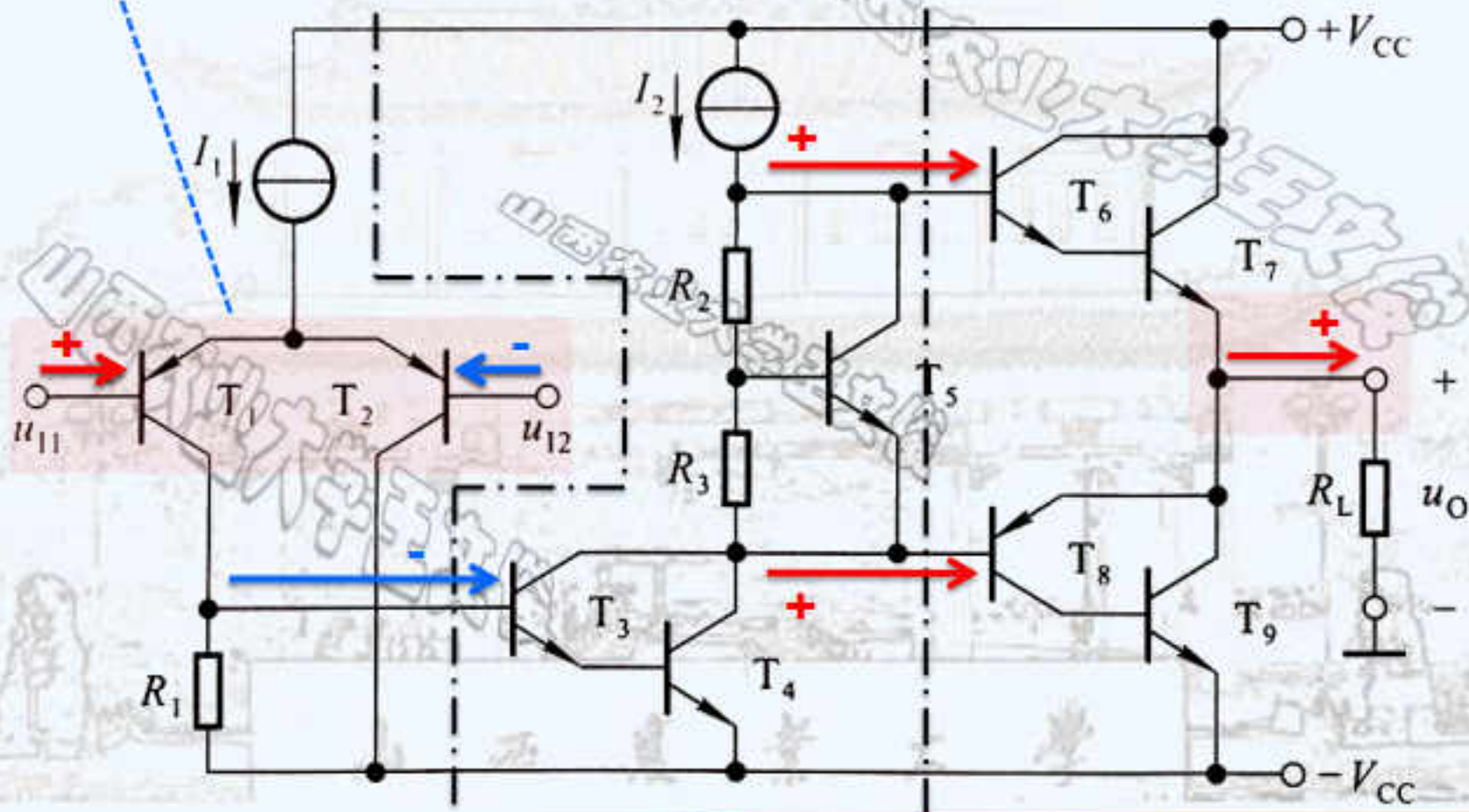
复合管共集放大电路：同相输出
输出级的输出端极性为正



• 2、双极型集成运放原理电路分析

同相输入端: u_{I1}

反相输入端: u_{I2}



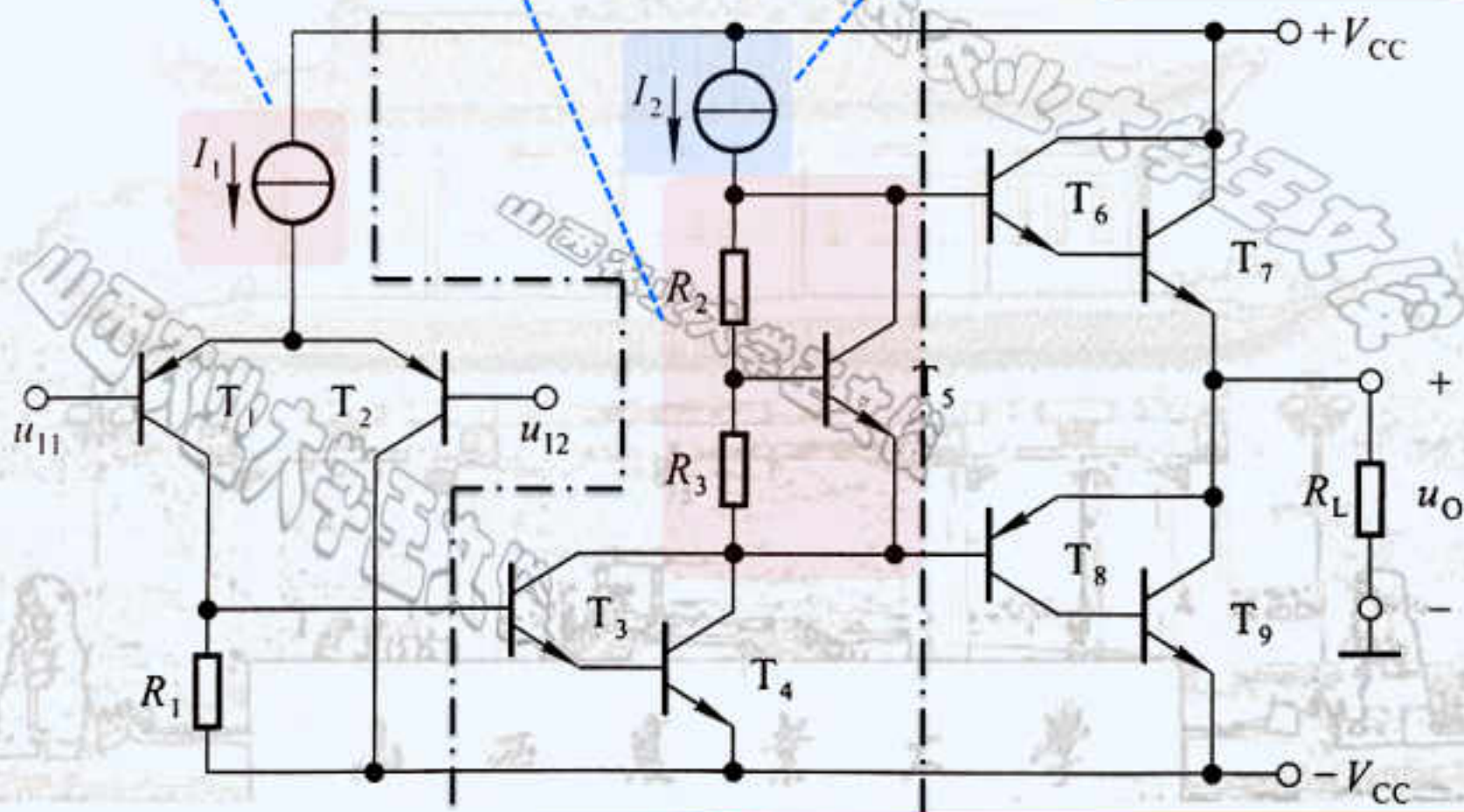
• 2、双极型集成运放原理电路分析

差模信号作用下
相当于短路

无动态压降
相当于短路

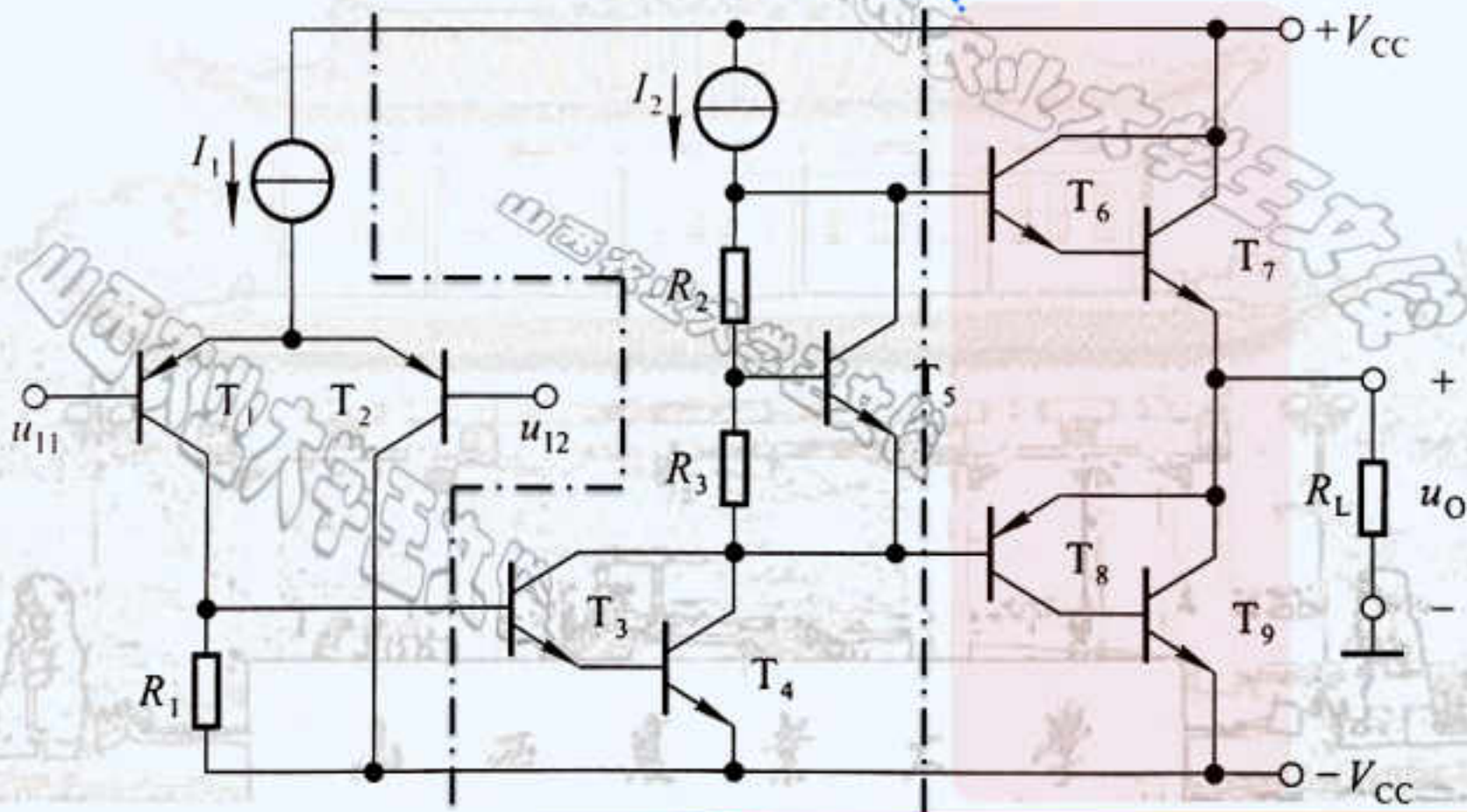
动态电阻极大
相当于开路

⑦
定量估算



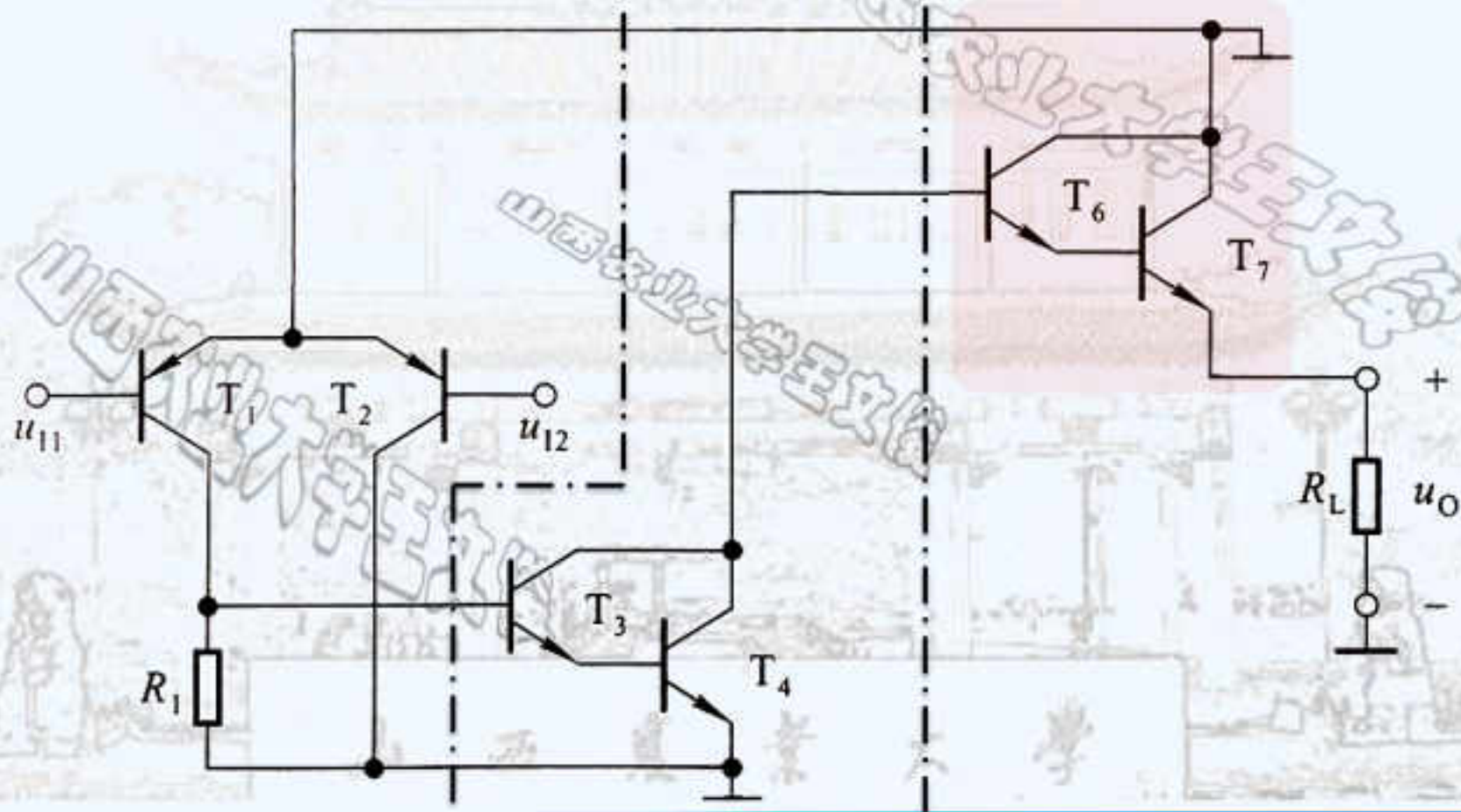
• 2、双极型集成运放原理电路分析

动态时交替工作
只分析其中一半即可

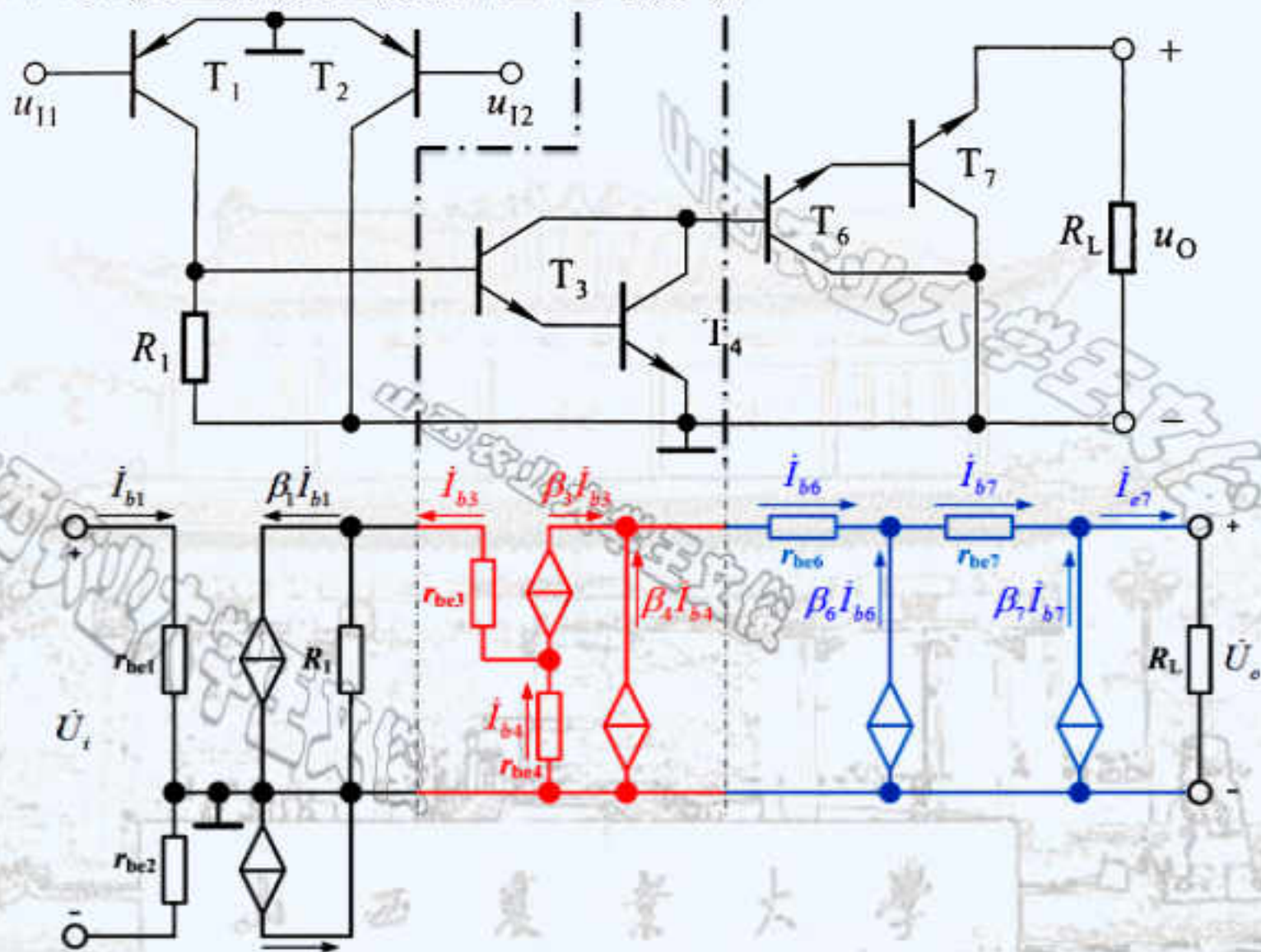


• 2、双极型集成运放原理电路分析

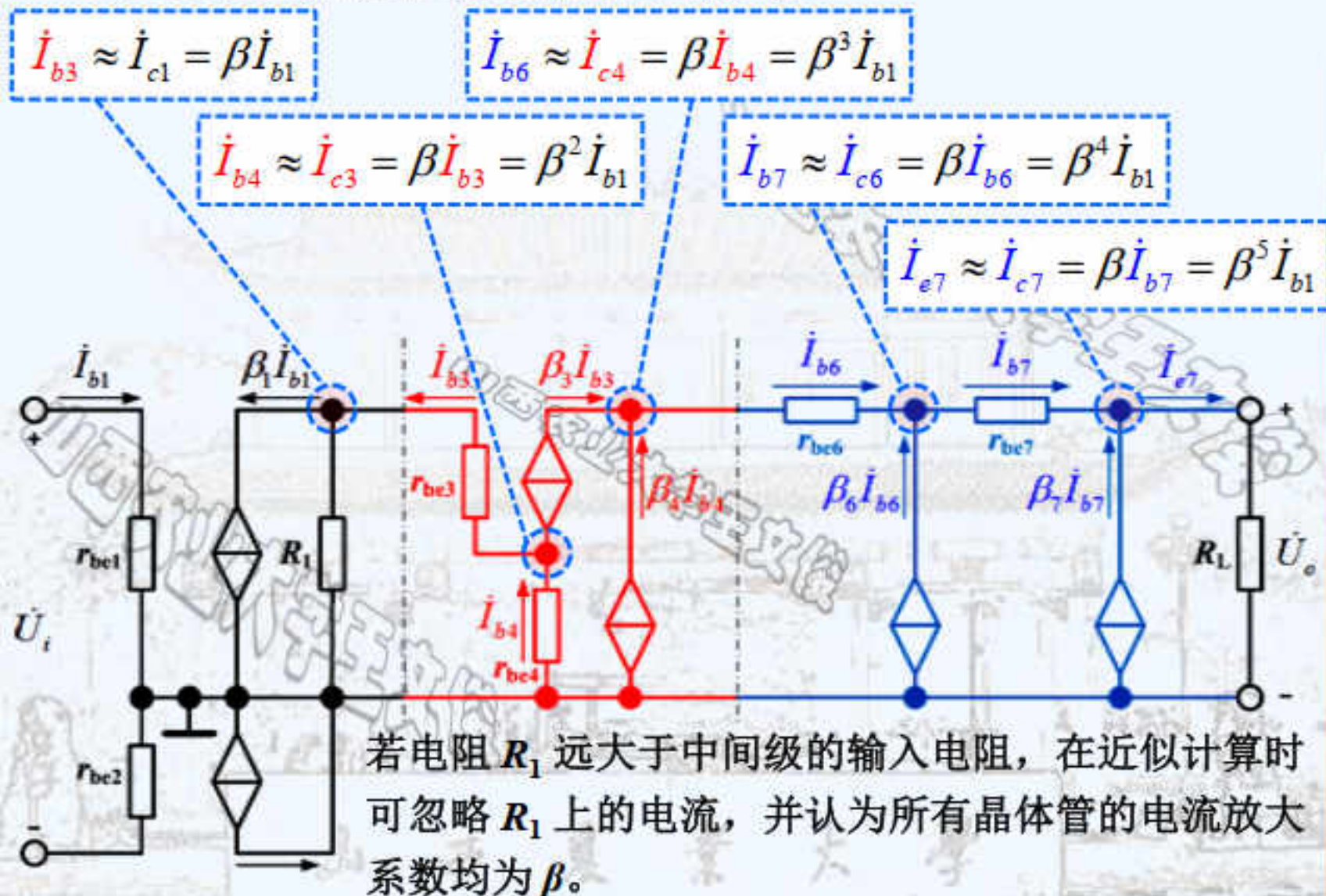
T_6 、 T_7 可翻转下去



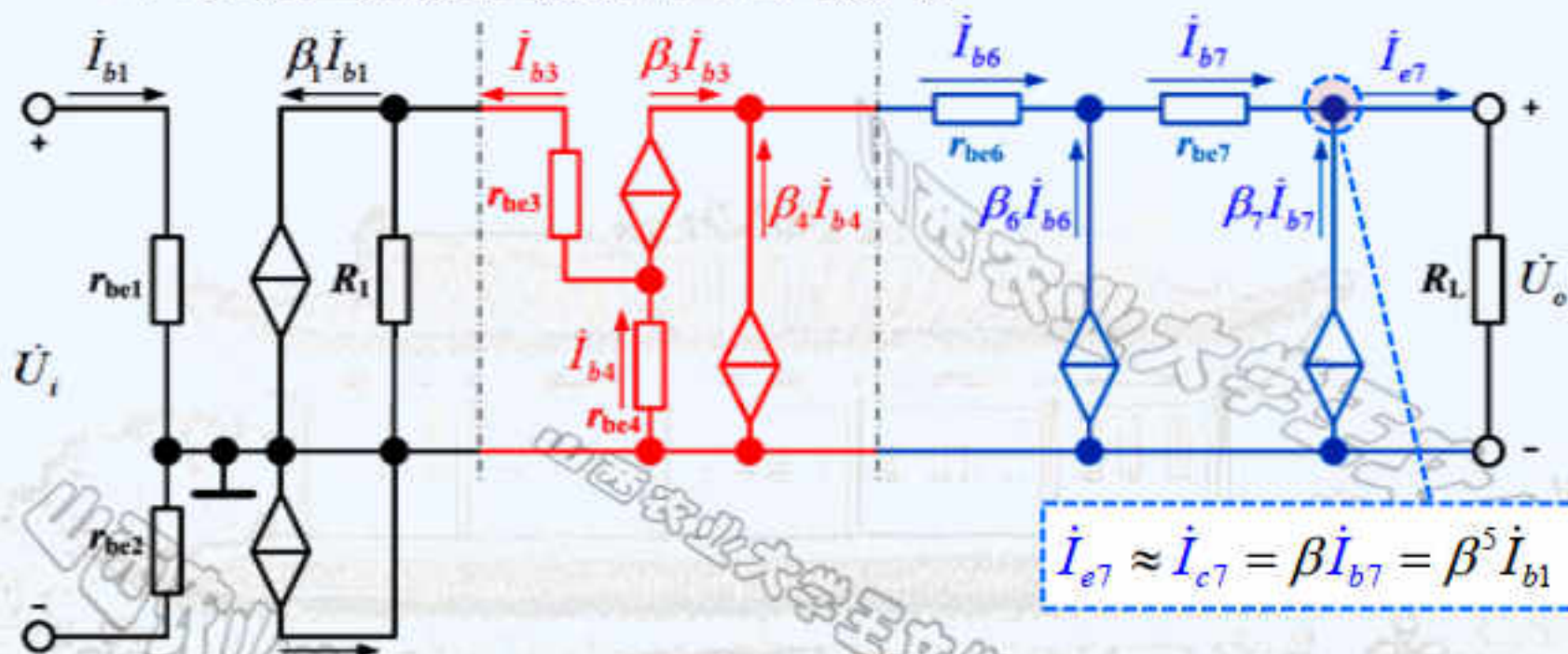
• 2、双极型集成运放原理电路分析



2、双极型集成运放原理电路分析



2、双极型集成运放原理电路分析



输入电压: $\dot{U}_i = \dot{I}_{b1} (r_{be1} + r_{be2}) = 2\dot{I}_{b1} r_{be1}$

输入电阻:

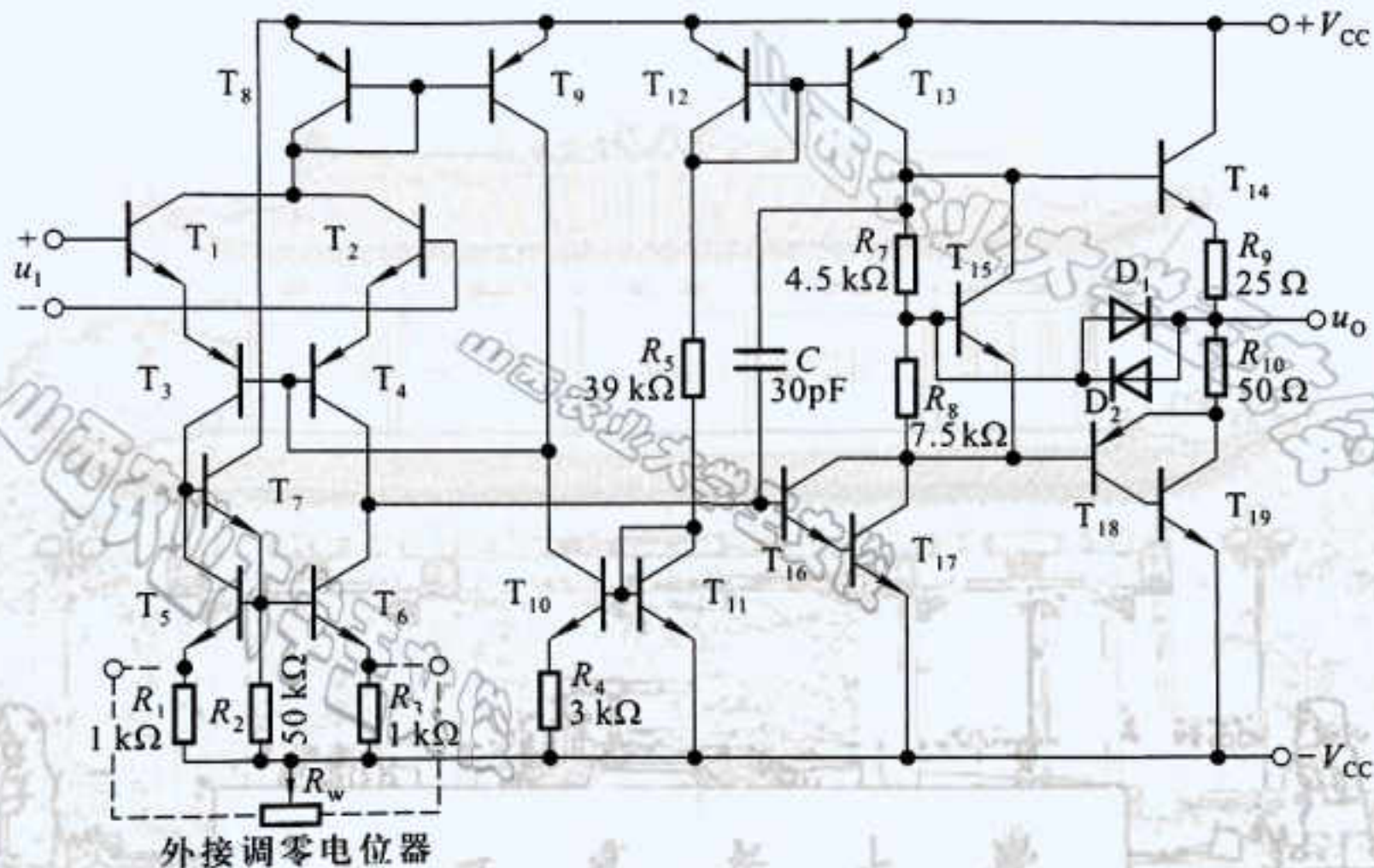
$$R_i = r_{be1} + r_{be2} = 2r_{be1}$$

输出电压: $\dot{U}_o = \dot{I}_{e7} R_L \approx \beta^5 \dot{I}_{b1} R_L$

电压放大倍数 $\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} \approx \frac{\beta^5 R_L}{2r_{be1}}$

双极型管放大电路高电压放大倍数是依靠晶体管的电流放大作用的累积来实现的。

二十八、F007 电路分析

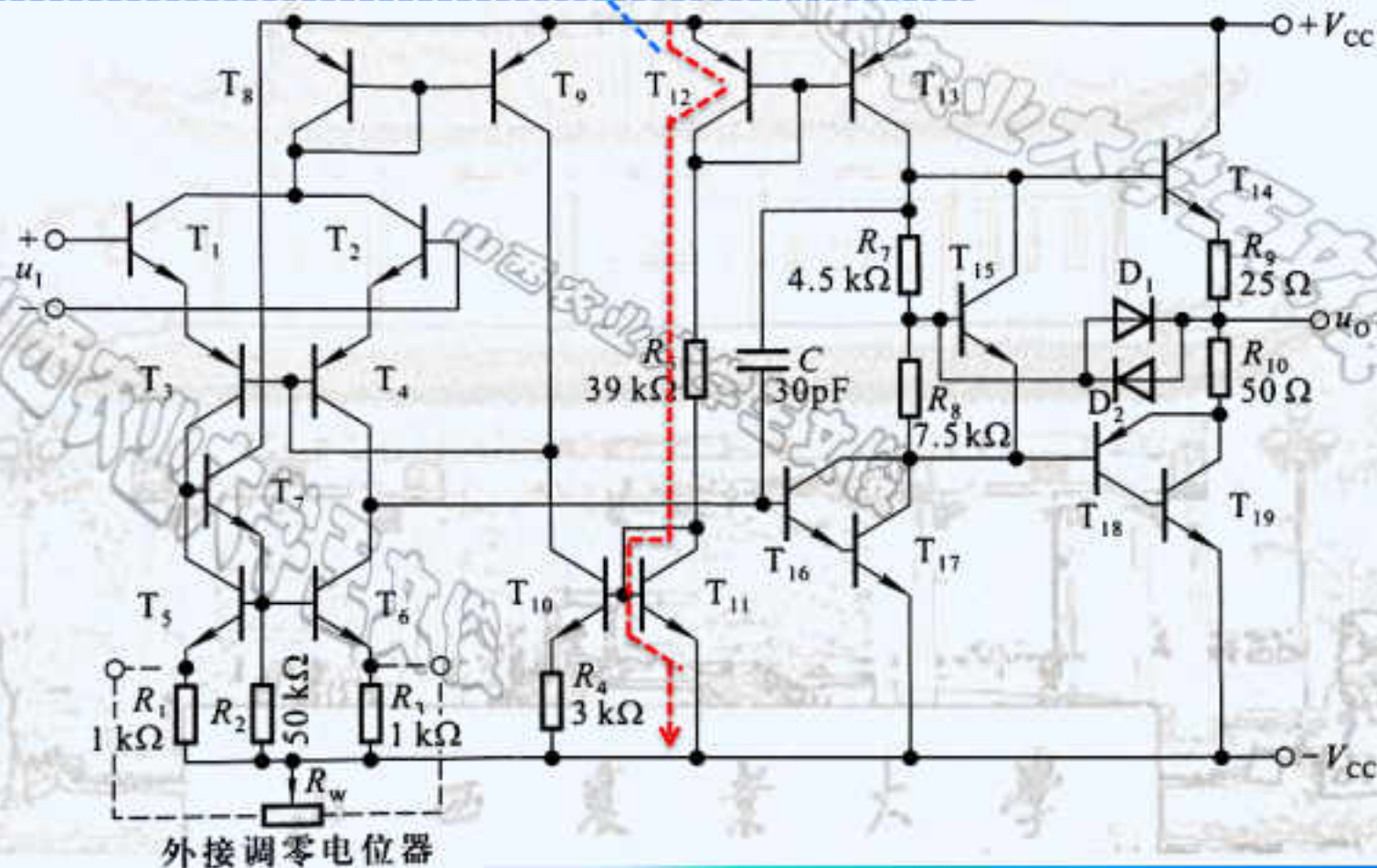


F007 电路原理图

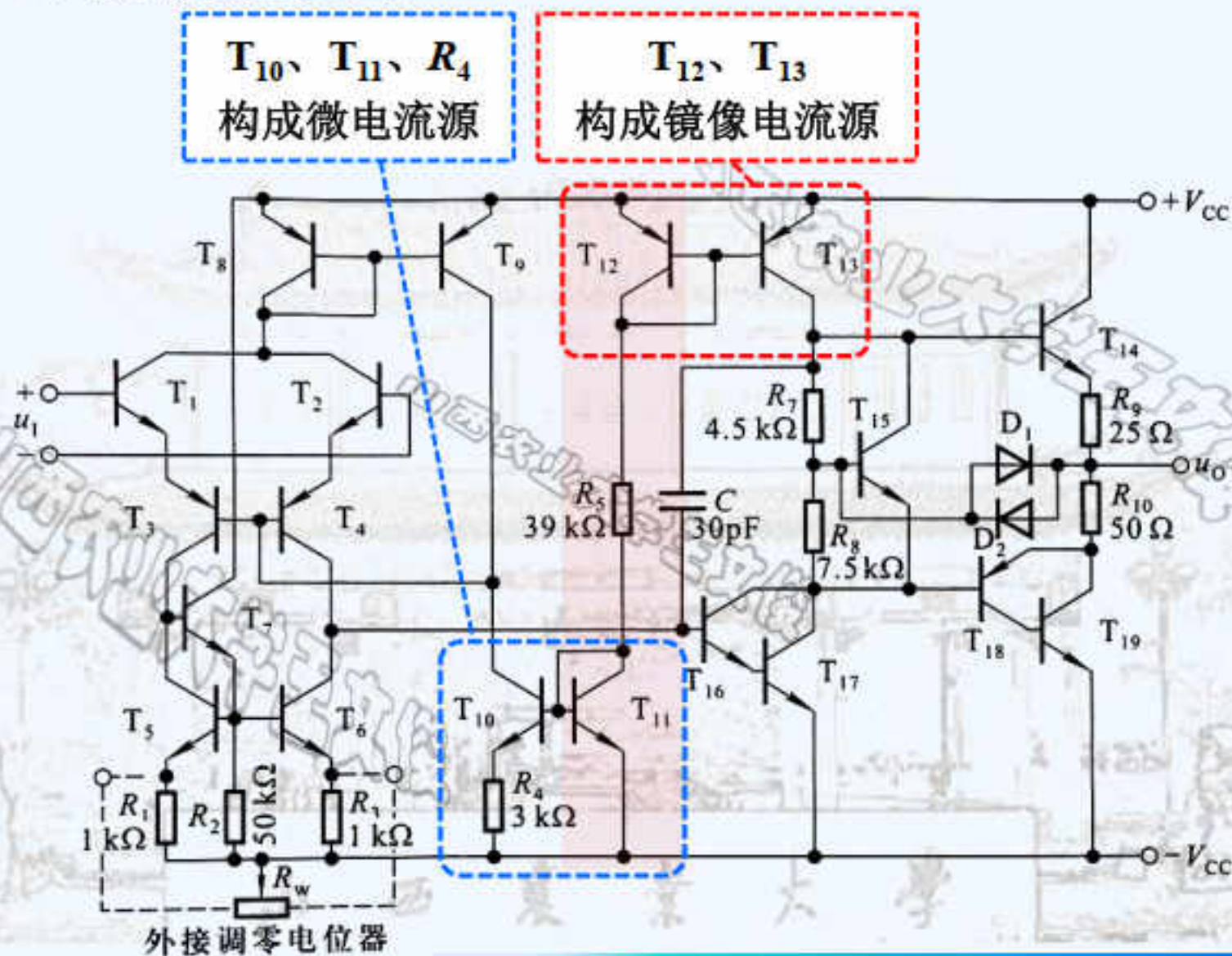
1、找出基准电流

电阻 R_5 中的电流为
偏置电路的基准电流

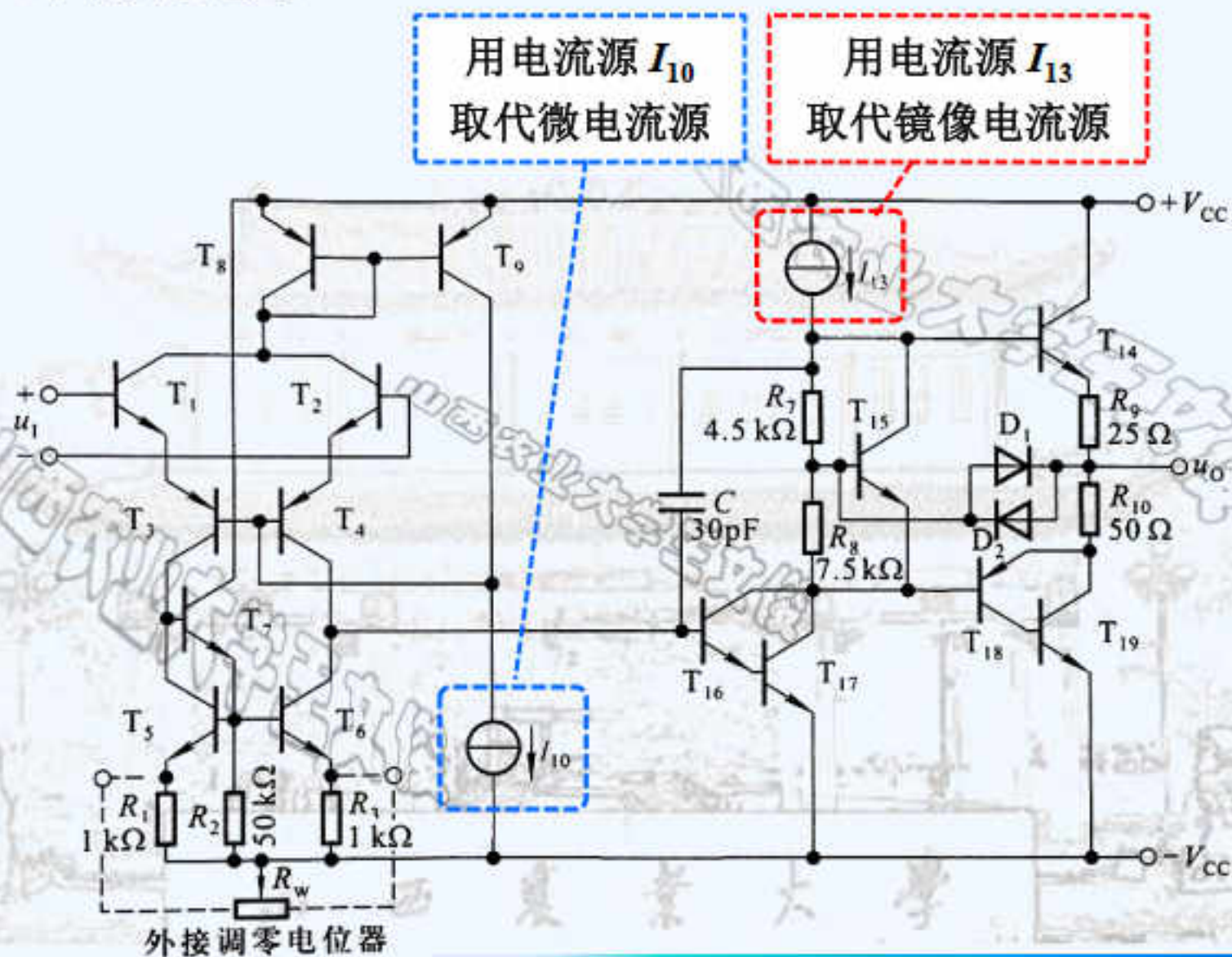
$$I_R = \frac{2V_{CC} - U_{EB12} - U_{BE11}}{R_5}$$



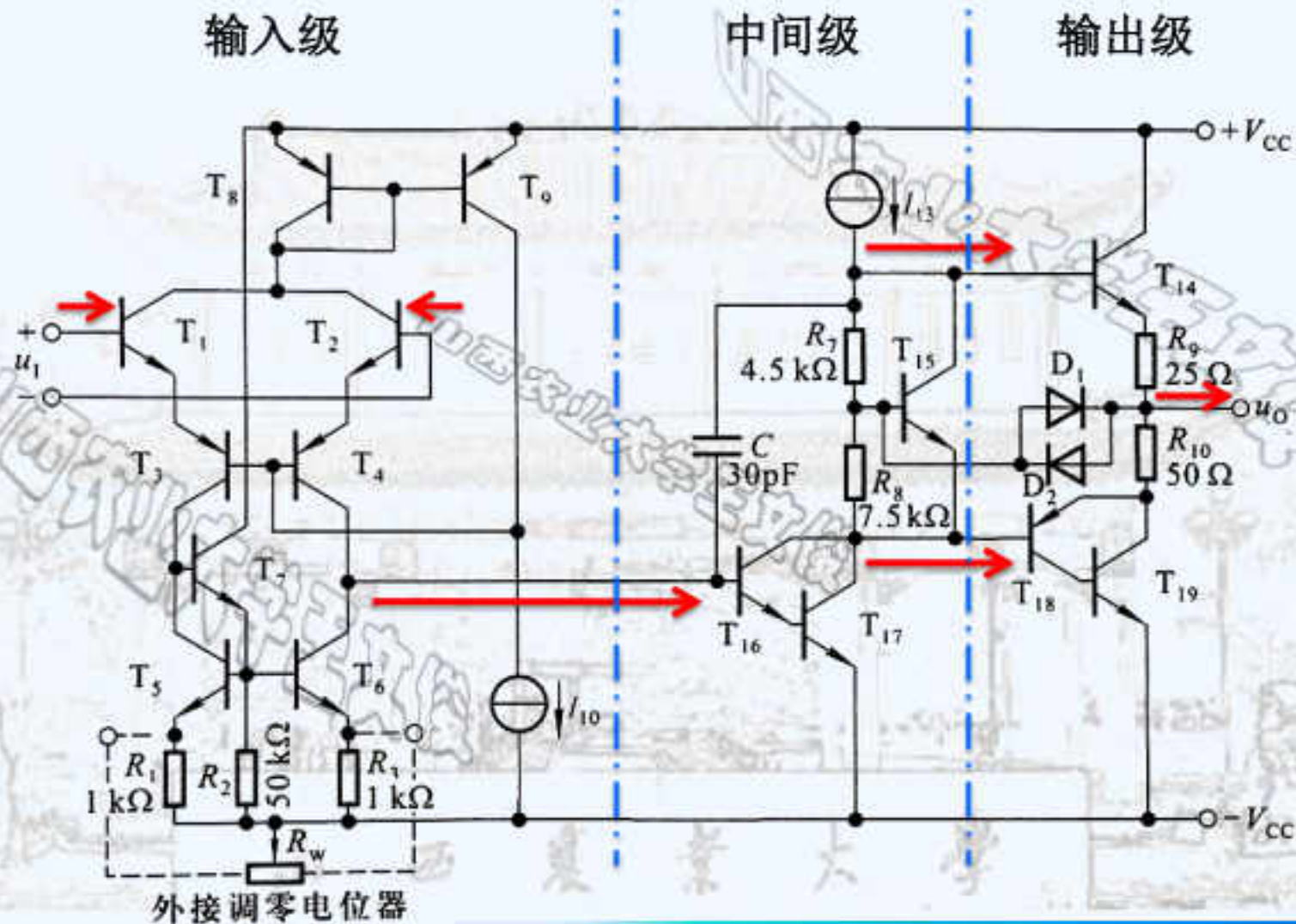
• 2、分离偏置电路



• 3、简化电路



4、拆分电路



• 5、分析功能

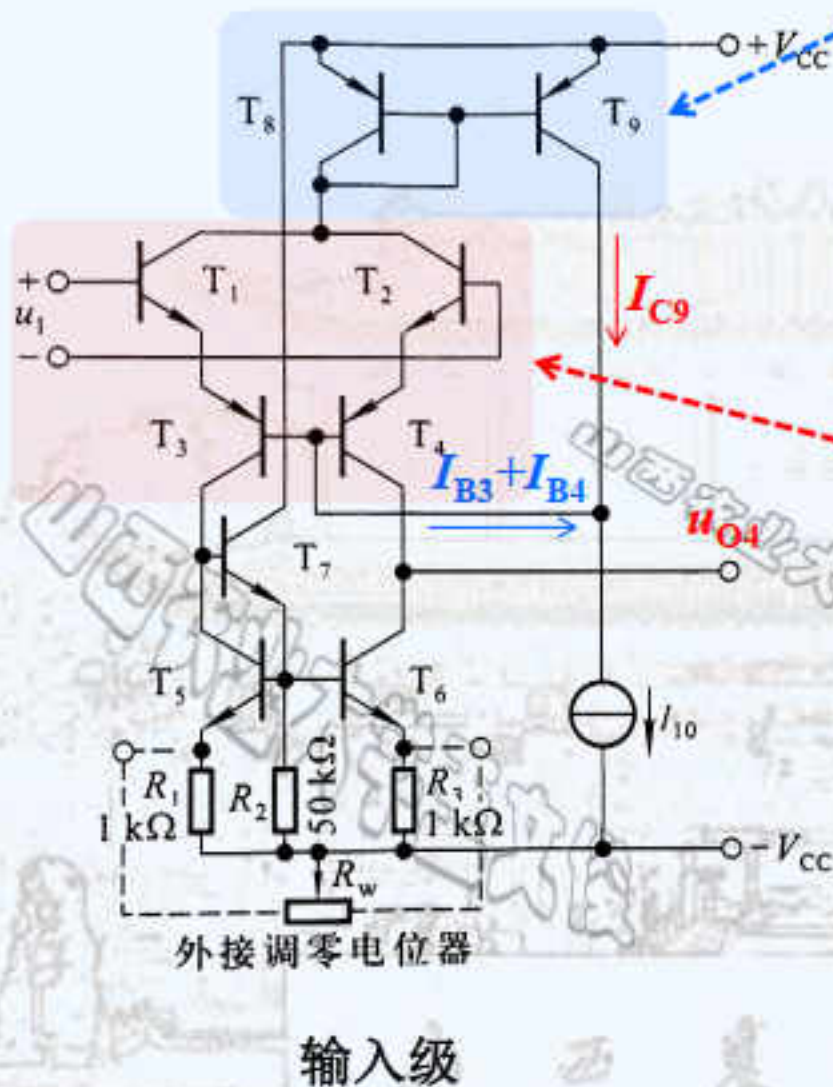
镜像电流源

- T_8 的集电极电流为输入级提供静态电流； T_8 、 T_9 呈镜像关系。

$$I_{C8} = I_{C9} = I_{10} - (I_{B3} + I_{B4})$$

差分放大电路

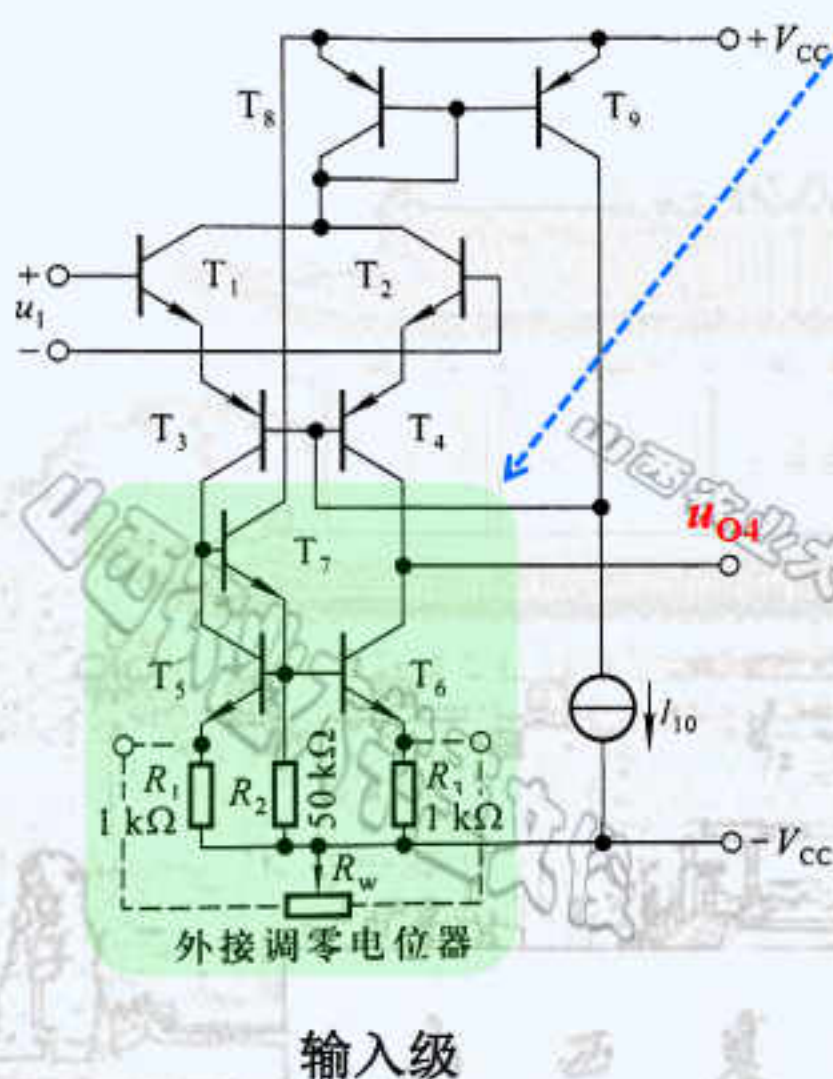
- T_1 、 T_2 管为纵向管， β 大； T_3 、 T_4 管为横向管， β 小但耐压高。
- $T_1 \sim T_4$ 构成双端输入、单端输出的共集 - 共基差分放大电路。
- 电路同时具备共集、共基放大电路的优点：输入电阻大、频率响应较好。



• 5、分析功能

有源负载

- T_5 、 T_6 与 T_7 构成了加射极输出器的电流源电路，并作为差分放大电路的有源负载。
- 有源负载差分放大电路对共模信号具有很强的抑制作用，同时会使单端输出的差模放大倍数提高到双端输出时的情况，因此电路具有较高的差模电压放大倍数和共模抑制比。
- 外接电位器 R_w 起调零作用，用于调整 T_5 、 T_6 管的发射极电阻，以调整输入级的对称程度。





输入级是一个输入电阻大、输入端耐压高、对共模信号抑制能力强、有较大差模放大倍数的双端输入、单端输出的有源负载差分放大电路。

静态工作点稳定

$$I_{C1} \sim I_{C4} \uparrow$$

$$I_{C1} \sim I_{C4} \downarrow$$

$$I_{C8} = I_{C1} + I_{C2}$$

$I_{C8} \uparrow$

$$I_{C9} = I_{C8}$$

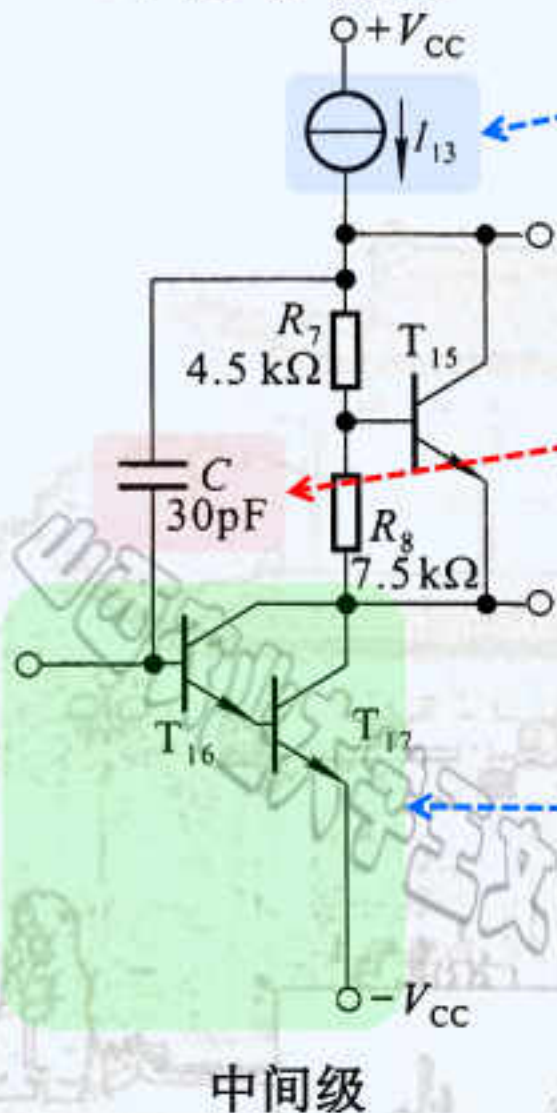
$I_{C9} \uparrow$

$$I_{B3} + I_{B4} = I_{10} - I_{C9}$$

$$I_{R3} \sim I_{R4} \downarrow$$

$$I_C = \beta I_B$$

• 5、分析功能



电流源

- I_{13} 为中间级提供静态电流。
- I_{13} 作为中间级的有源负载。

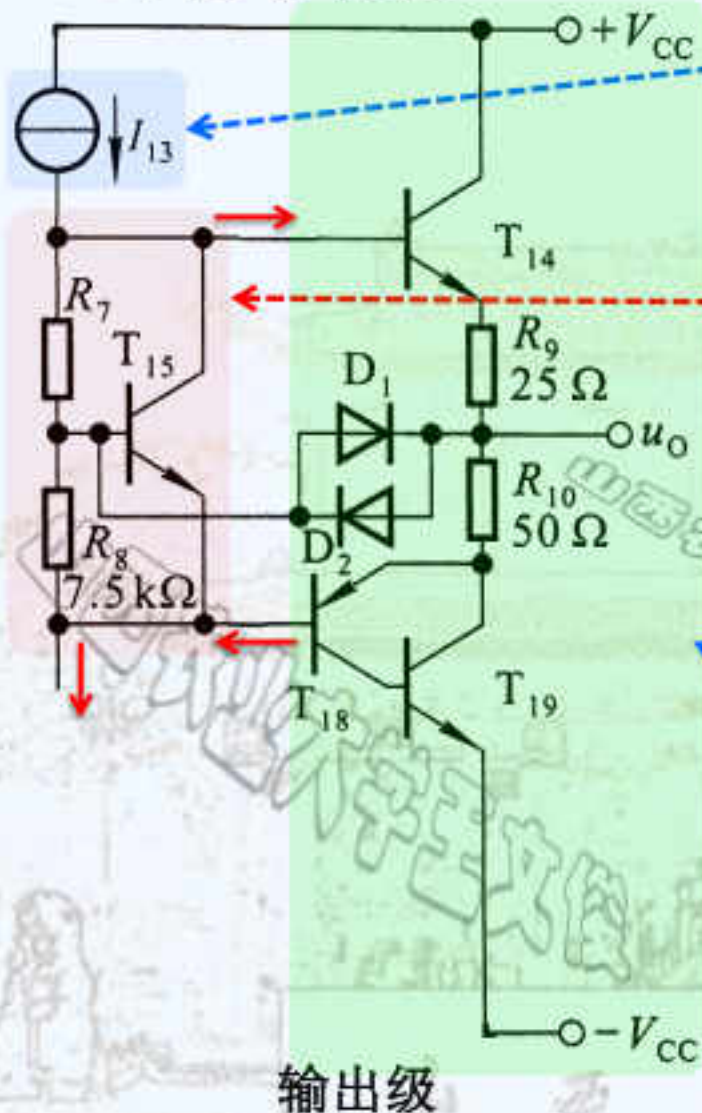
补偿电容

- **F007** 中采用简单滞后补偿（密勒补偿）来消除自激振荡，其中电容 C 为补偿电容。

共射放大电路

- 以电流源为集电极有源负载的复合管共射放大电路，具有很强的放大能力。

• 5、分析功能



电流源

- I_{13} 为输出级提供静态电流。

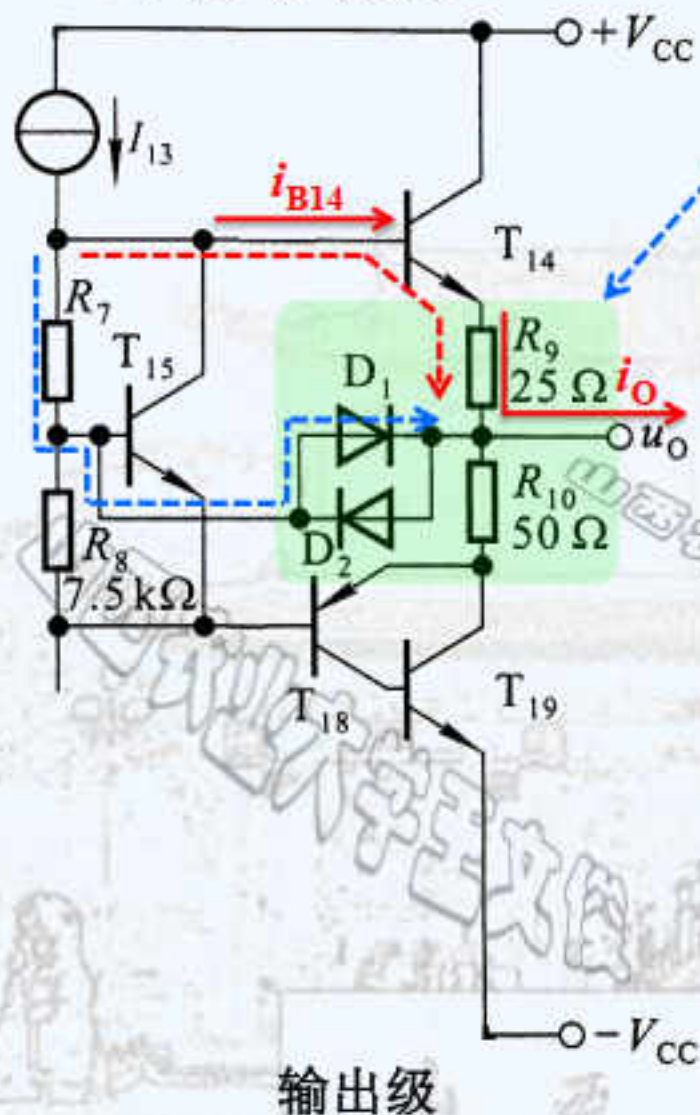
U_{BE} 倍增电路

- U_{BE} 倍增电路为输出级设置合适的静态工作点，用来消除交越失真。

准互补输出级电路

- T_{18} 和 T_{19} 复合成的 PNP 型管与 NPN 型管 T_{14} 构成互补形式。
- 发射极电阻 R_9 、 R_{10} 用来弥补输出电路的非对称性。

• 5、分析功能



过流保护

- 输出电流的采样电阻 R_9 、 R_{10} 和二极管 D_1 、 D_2 共同构成过流保护电路。

- 当 T_{14} 导通时，有：

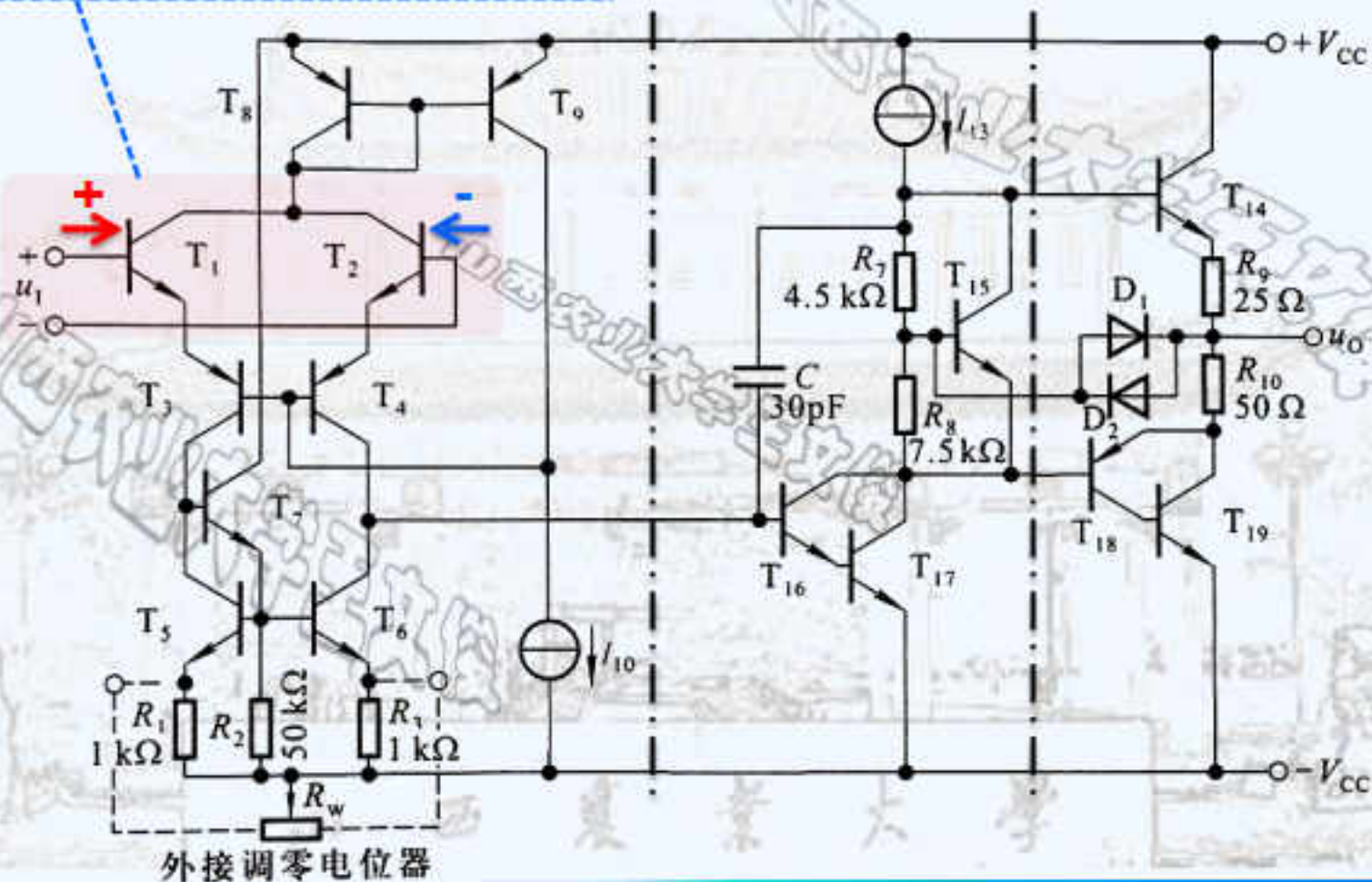
$$u_{D1} = u_{BE14} + i_O R_9 - u_{R7}$$

- 当 i_O 没有超过额定值时， $u_{D1} < U_{on}$ ， D_1 截止；
- 当 i_O 过大时， R_9 上电压变大使 D_1 导通，为 T_{14} 基极分流，从而限制了 T_{14} 的发射极电流，保护了 T_{14} 管。
- D_2 在 T_{18} 、 T_{19} 导通时起保护作用。

• 6、统观整体

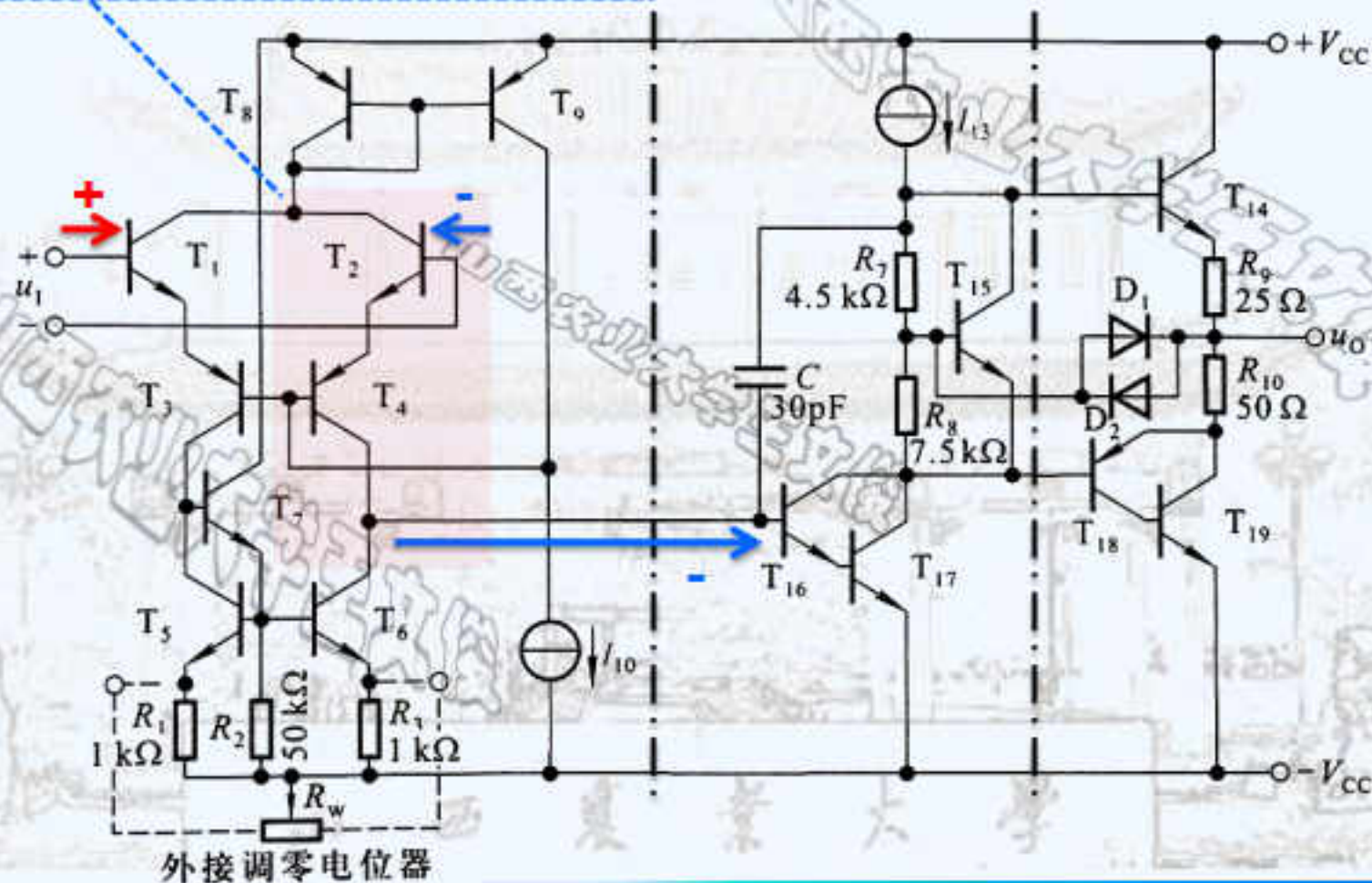
差模输入

左侧极性为正，右侧极性为负



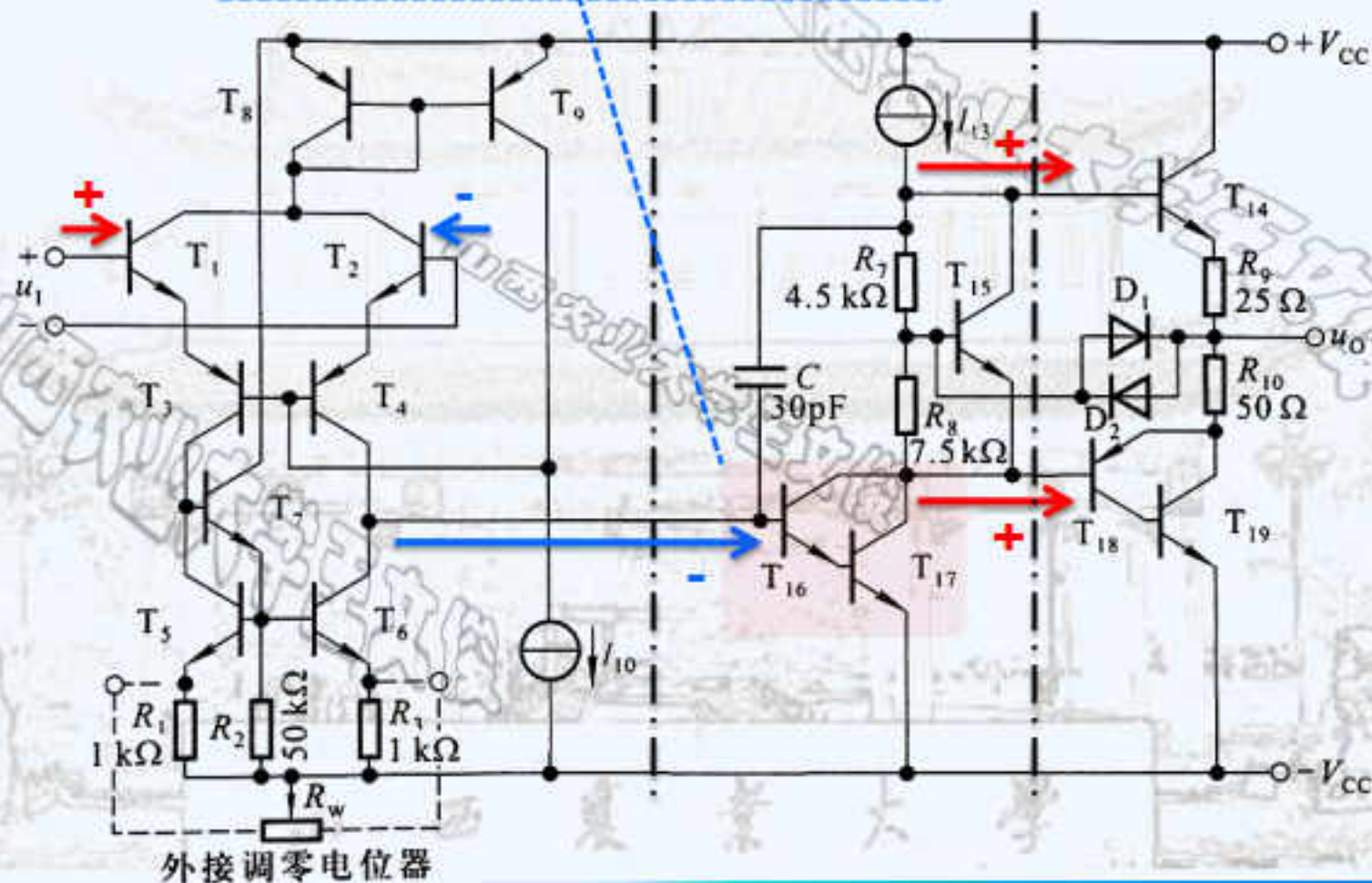
• 6、统观整体

共集-共基放大电路：同相输出
输入级的输出端极性为负



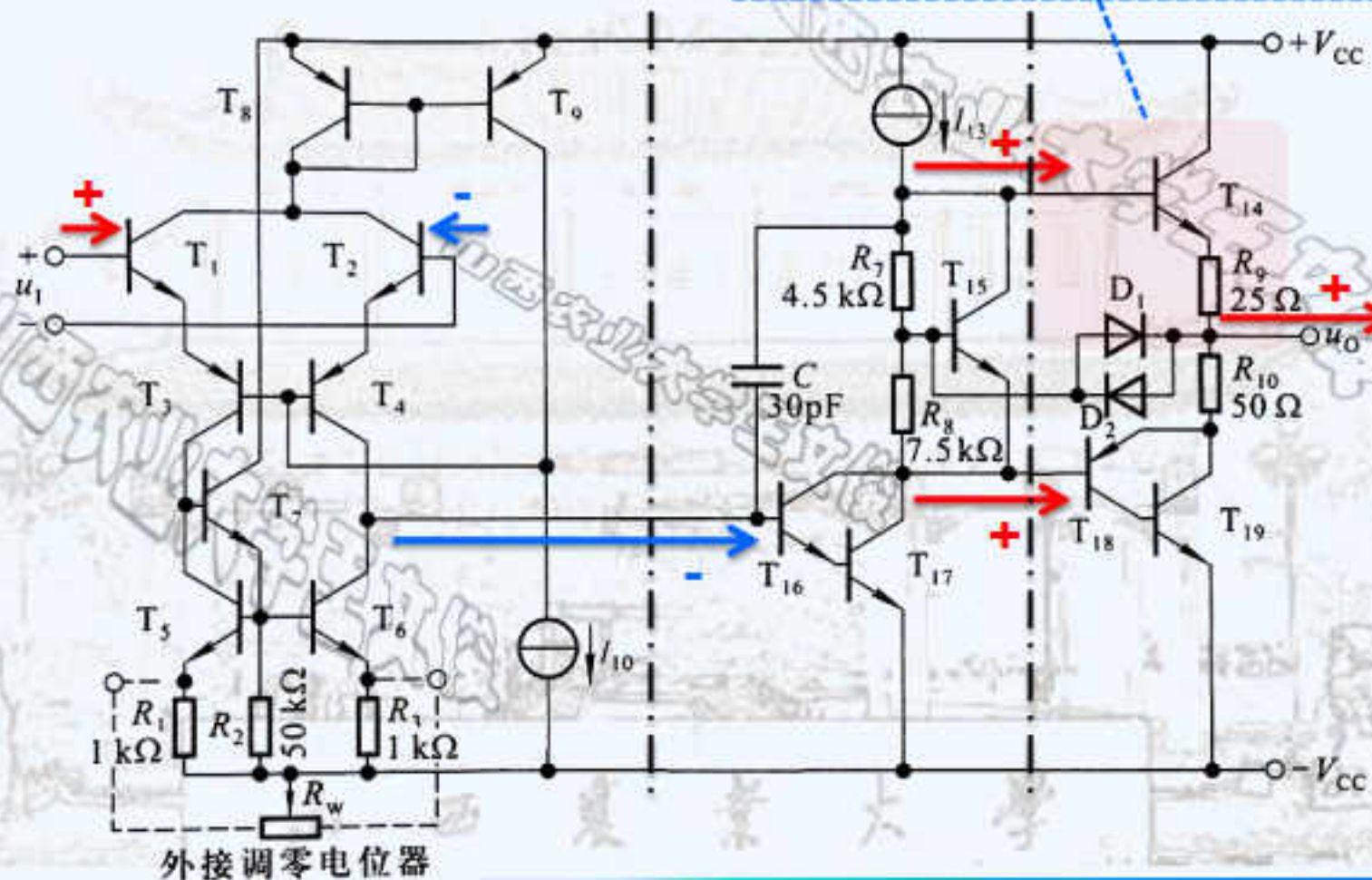
• 6、统观整体

复合管共射放大电路：反相输出
中间级的输出端极性为正



• 6、统观整体

共集放大电路：同相输出
输出级的输出端极性为正



反相输入端：右侧 (T_2 管)

