



模拟电路基础（下）

负反馈放大器



➤ 教学要求

- 1 了解反馈的基本概念
- 2 熟练掌握反馈极性和反馈组态的判断
- 3 熟练掌握各组态的负反馈对放大电路性能的影响
- 4 熟练掌握负反馈放大电路的分析方法
- 5 掌握判断反馈放大电路稳定性的方法，了解消除方法

➤ 教学重点

- 1 反馈极性和反馈组态的判断
- 2 负反馈系数与负反馈电路参数的求解
- 3 深度负反馈条件下“虚短”和“虚断”的概念及电路分析
- 4 负反馈电路稳定的条件

第6章 负反馈放大器

3



武汉大学
WUHAN UNIVERSITY

➤ 教学难点

- 1 反馈极性和反馈组态的判断
- 2 负反馈系数与负反馈电路参数的求解
- 3 拆环分析法

➤ 教学学时

- 1 理论学时8学时

6.1 反馈的基本概念

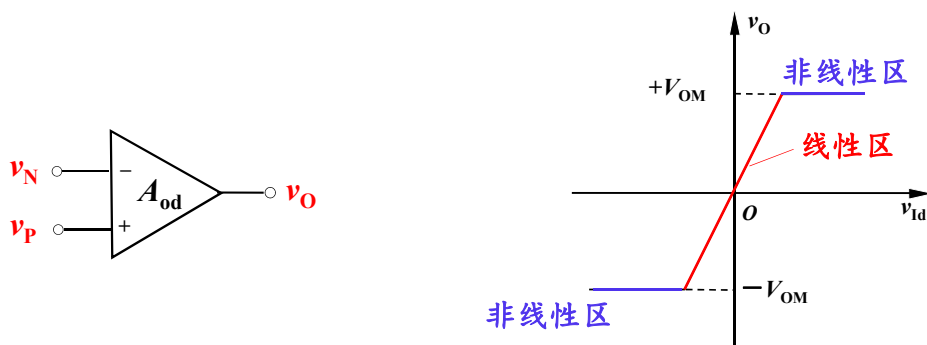
4



武汉大学
WUHAN UNIVERSITY

➤ 使用集成运放的困扰

集成运放开环增益非常大，很难保证运放工作在线性区。



6.1 反馈的基本概念

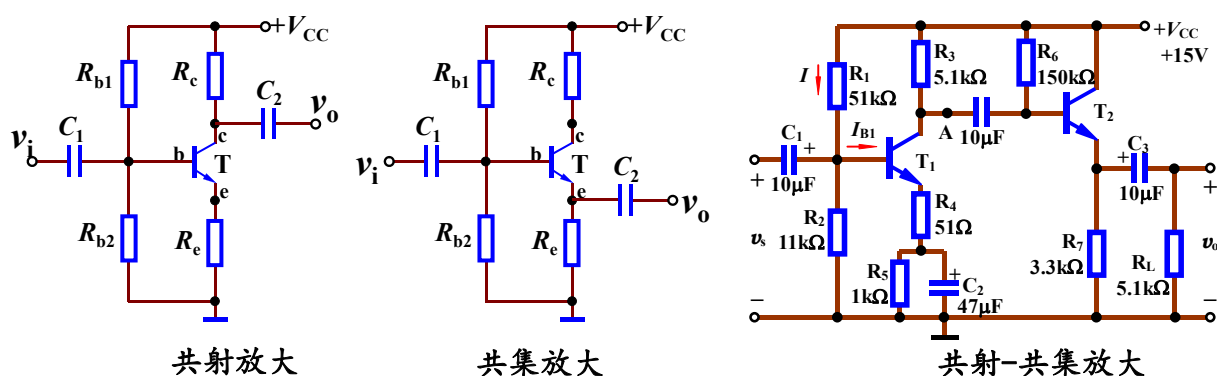
5



武汉大学
WUHAN UNIVERSITY

► 设计调试放大电路的困扰

为了达到放大倍数、输入/输出阻抗等要求，需要确定电路类型，确定电阻阻值，甚至采用多级电路，调试过程繁琐。



6.1 反馈的基本概念

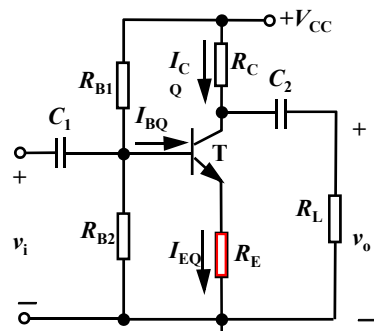
6



武汉大学
WUHAN UNIVERSITY

► 反馈的定义

所谓反馈，就是指将放大电路输出量(电压或电流)的一部分或全部，通过反馈网络，以一定方式(与输入信号串联或并联)返送到输入回路，进而影响电路性能的技术。



$$T \uparrow \rightarrow I_{CQ} (I_{EQ}) \uparrow \rightarrow V_{EQ} \uparrow \rightarrow V_{BEQ} \downarrow$$

$$I_{CQ} \downarrow \leftarrow I_{BQ} \downarrow$$

6.1 反馈的基本概念

7



武汉大学
WUHAN UNIVERSITY

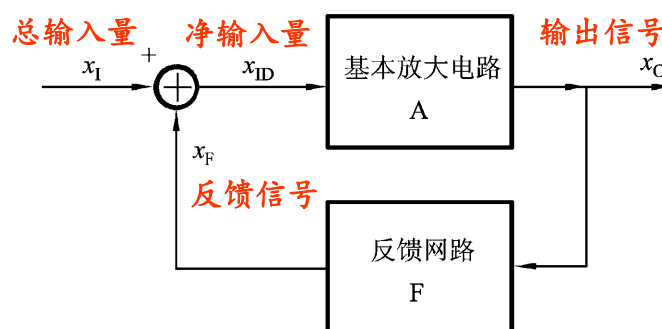
➤ 反馈的定义

所谓反馈，就是指将放大电路输出量(电压或电流)的一部分或全部，通过反馈网络，以一定方式(与输入信号串联或并联)返送到输入回路，进而影响电路性能的技术。

$$\dot{A}_o = \frac{\dot{x}_o}{\dot{x}_{id}} \quad \text{开环增益}$$

$$\dot{B} = \dot{F} = \frac{\dot{x}_f}{\dot{x}_o} \quad \text{反馈系数}$$

$$\dot{A}_{of} = \frac{\dot{x}_o}{\dot{x}_i} \quad \text{闭环增益}$$



6.1 反馈的基本概念

8



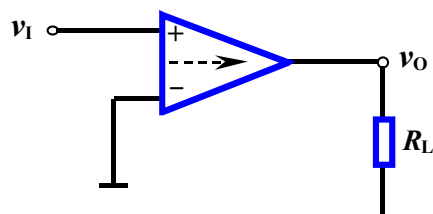
武汉大学
WUHAN UNIVERSITY

➤ 判断反馈

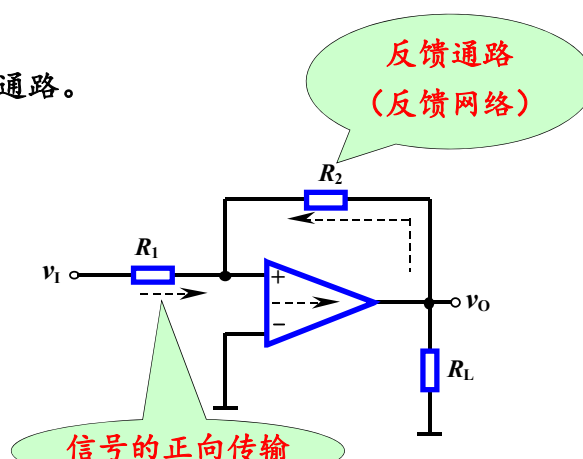
判断反馈是否存在，需要分析是否有反馈通路。

反馈通路——信号反向传输的渠道

理论上电源线和地线不能作为反馈通路



开环 —— 无反馈通路



闭环 —— 有反馈通路

6.1 反馈的基本概念

9



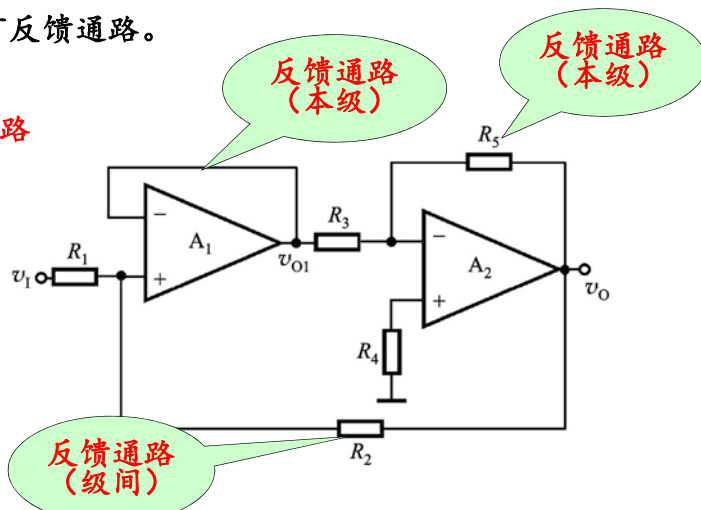
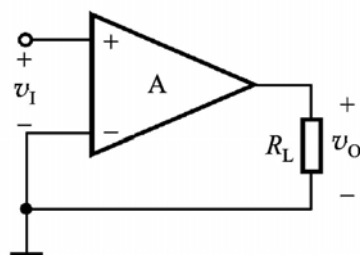
武汉大学
WUHAN UNIVERSITY

➤ 判断反馈

判断反馈是否存在，需要分析是否有反馈通路。

反馈通路——信号反向传输的渠道

理论上电源线和地线不能作为反馈通路



6.1 反馈的基本概念

10



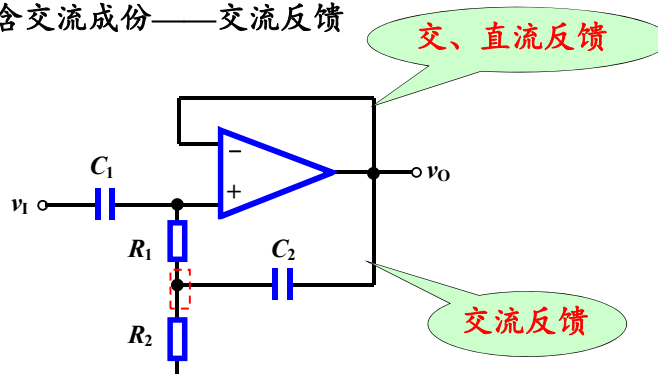
武汉大学
WUHAN UNIVERSITY

➤ 直流反馈与交流反馈

概念：

➤ 若反馈信号中只包含直流成份——直流反馈

➤ 若反馈信号中只包含交流成份——交流反馈



6.1 反馈的基本概念

11



武汉大学
WUHAN UNIVERSITY

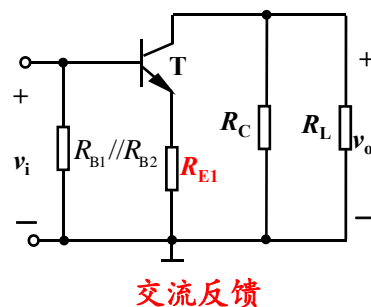
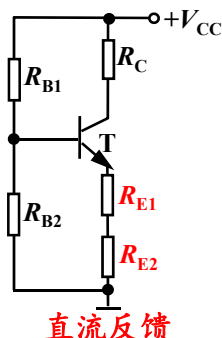
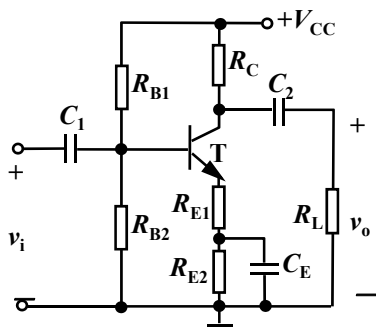
➤ 直流反馈与交流反馈

判别方法:

画交、直流通路判断。

用途:

直流负反馈主要用来稳定 Q 点;交流负反馈用来改善放大器的交流性能指标。



6.1 反馈的基本概念

12



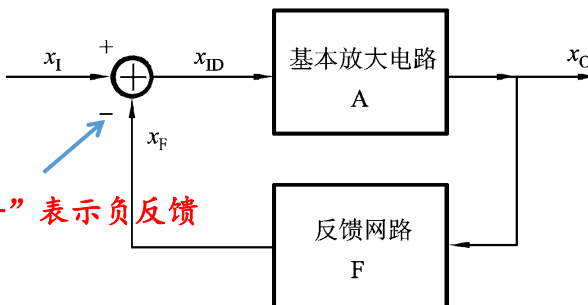
武汉大学
WUHAN UNIVERSITY

➤ 正反馈与负反馈

——正反馈, 使输入增大, 放大倍数增加

——负反馈, 使输入减小, 放大倍数降低

用“-”表示负反馈



➤ 负反馈可以克服外界不稳定因素的影响, 稳定输出信号, 改善放大器的频率响应、减小非线性失真, 按要求改变放大器输入输出电阻。

➤ 正反馈使放大器的性能恶化, 破坏放大器的正常工作, 但在振荡电路、整形电路中具有重要作用。

6.1 反馈的基本概念

13



武汉大学
WUHAN UNIVERSITY

➤ 正反馈与负反馈

从输出端看

正反馈：输入量不变时，引入反馈后输出量变大了。

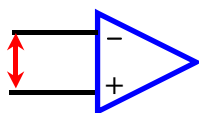
负反馈：输入量不变时，引入反馈后输出量变小了。

从输入端看

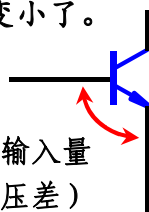
正反馈：引入反馈后，使净输入量变大了。

负反馈：引入反馈后，使净输入量变小了。

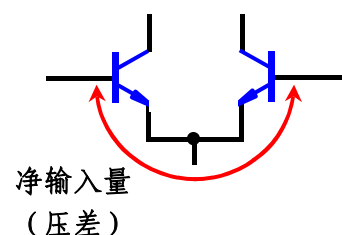
净输入量
(压差)



净输入量
(压差)



注意：净输入量可以是电压，也可以是电流。



6.1 反馈的基本概念

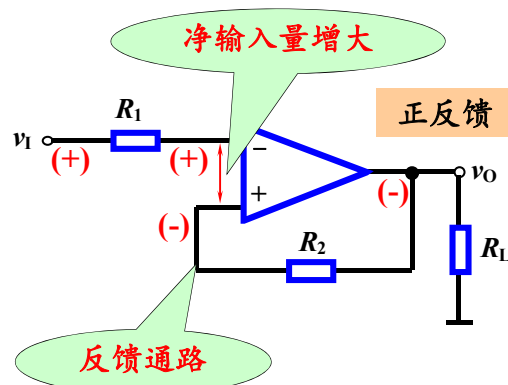
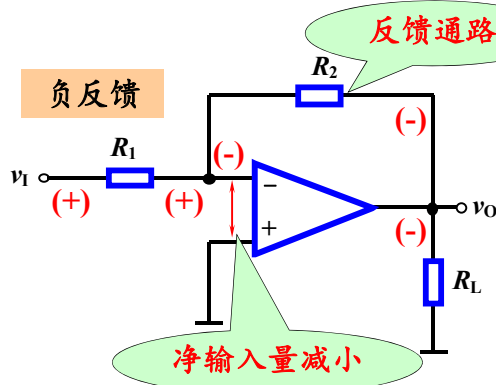
14



武汉大学
WUHAN UNIVERSITY

➤ 正反馈与负反馈

判别方法：**瞬时极性法**。即在电路中，从输入端开始，沿着信号流向，标出某一时刻有关节点电压变化的斜率（正斜率或负斜率，用“+”、“-”号表示）。



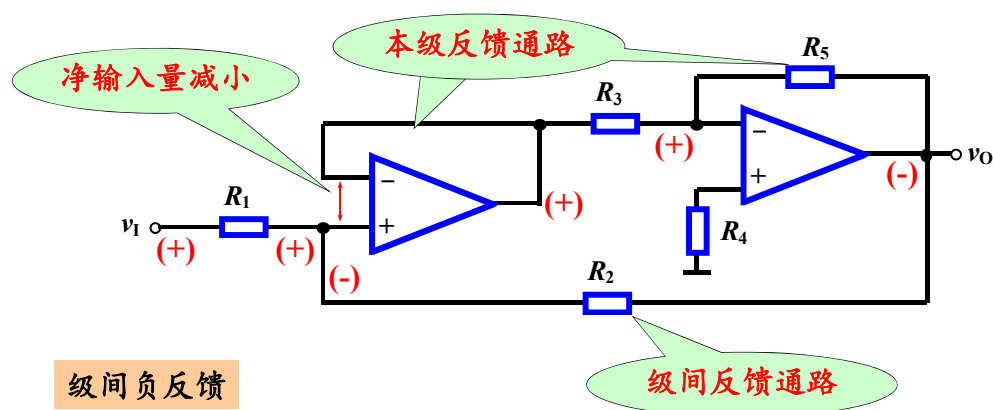
6.1 反馈的基本概念

15



武汉大学
WUHAN UNIVERSITY

➤ 正反馈与负反馈



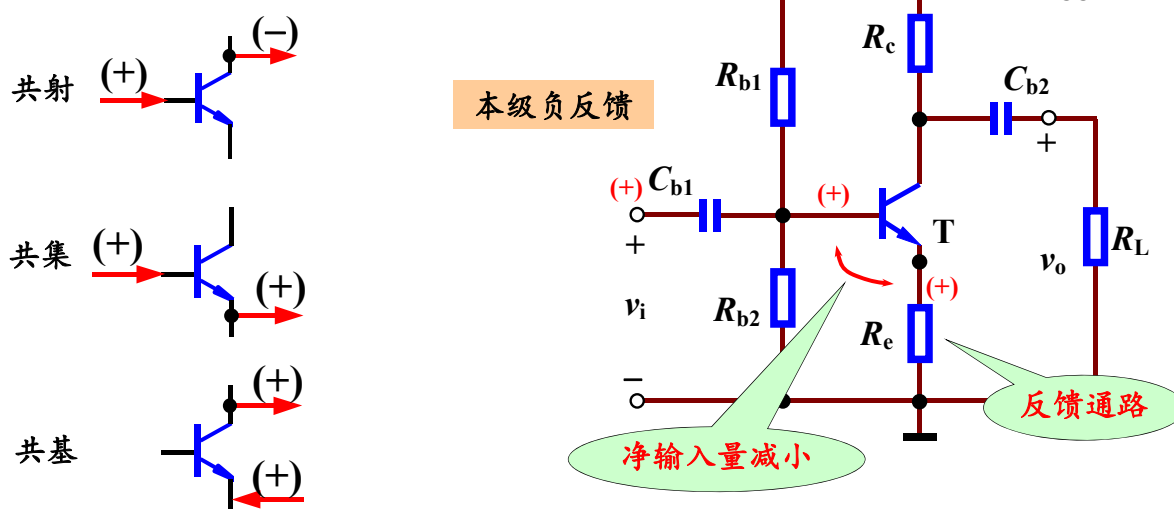
6.1 反馈的基本概念

16



武汉大学
WUHAN UNIVERSITY

➤ 正反馈与负反馈



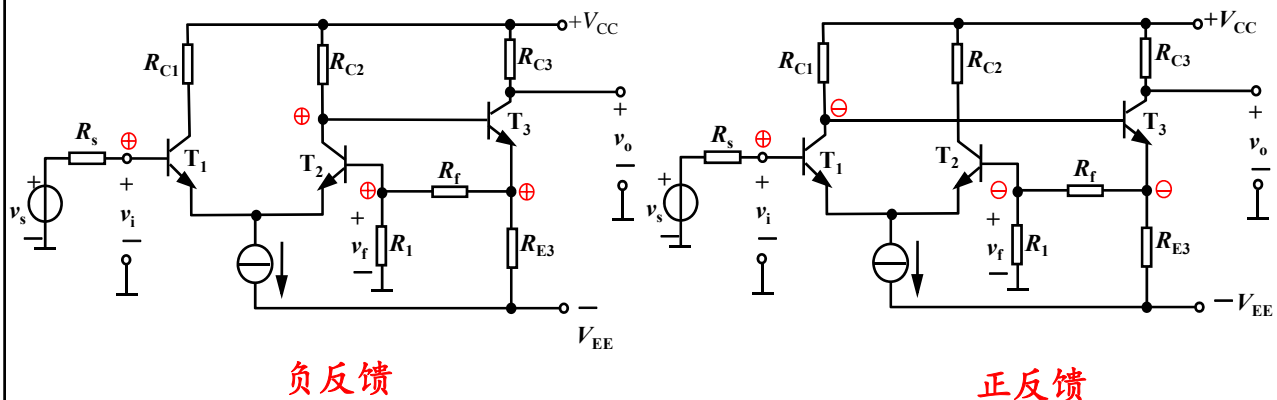
6.1 反馈的基本概念

17



武汉大学
WUHAN UNIVERSITY

➤ 正反馈与负反馈



6.1 反馈的基本概念

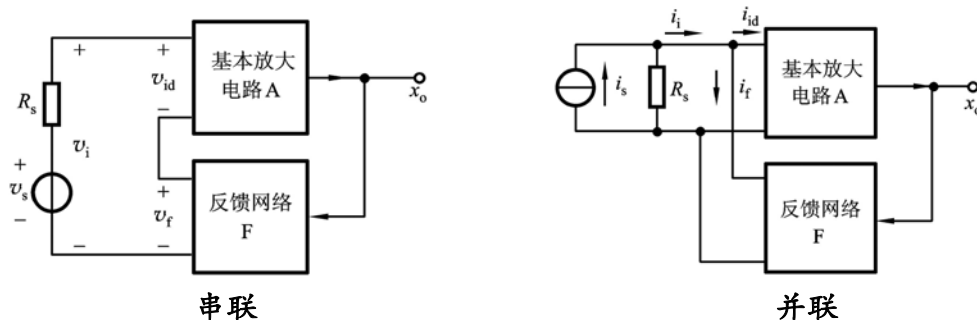
18



武汉大学
WUHAN UNIVERSITY

➤ 串联反馈与并联反馈

根据反馈网络在放大电路输入端的连接方式分为串联反馈与并联反馈



串联：输入以电压形式求和 (KVL) $-v_i + v_{id} + v_f = 0$ 即 $v_{id} = v_i - v_f$

并联：输入以电流形式求和 (KCL) $i_i - i_{id} - i_f = 0$ 即 $i_{id} = i_i - i_f$

特点: 串联负反馈增大输入电阻; 并联负反馈减小输入电阻。

6.1 反馈的基本概念

19

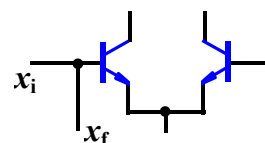
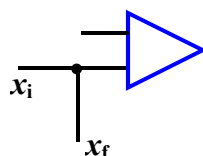
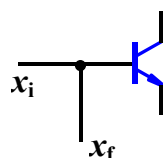


武汉大学
WUHAN UNIVERSITY

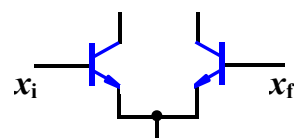
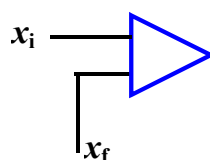
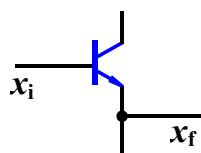
➤ 串联反馈与并联反馈

判断方法：反馈信号是否和输入信号接于放大电路同一端

并联：反馈量 x_f 和输入量 x_i 接于同一输入端。



串联：反馈量 x_f 和输入量 x_i 接于不同的输入端。



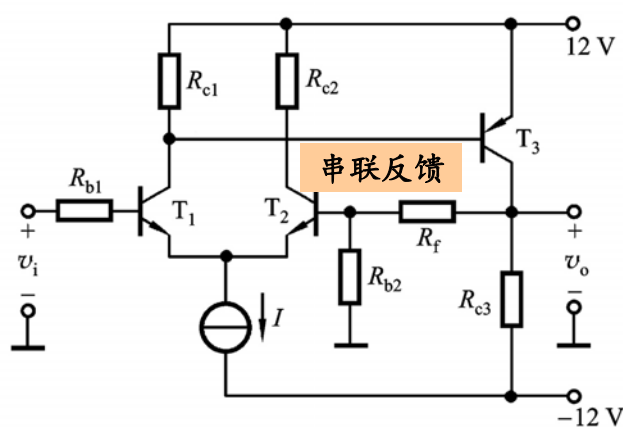
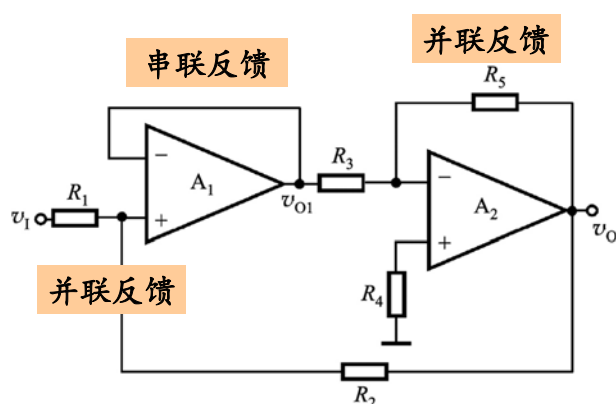
6.1 反馈的基本概念

20



武汉大学
WUHAN UNIVERSITY

➤ 串联反馈与并联反馈



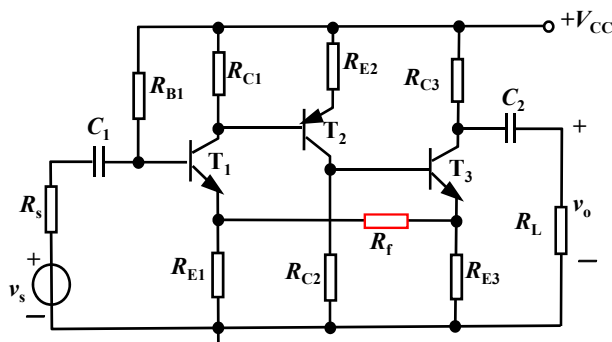
6.1 反馈的基本概念

21

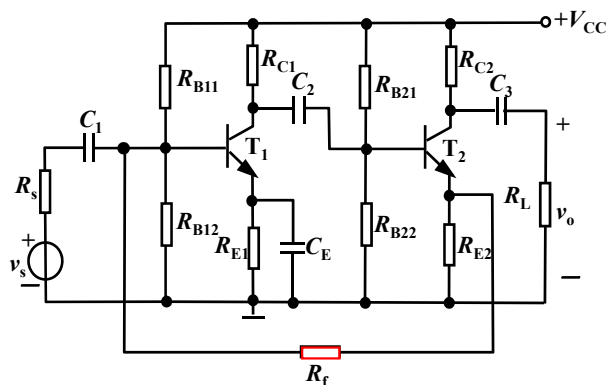


武汉大学
WUHAN UNIVERSITY

➤ 串联反馈与并联反馈



串联反馈



并联反馈

6.1 反馈的基本概念

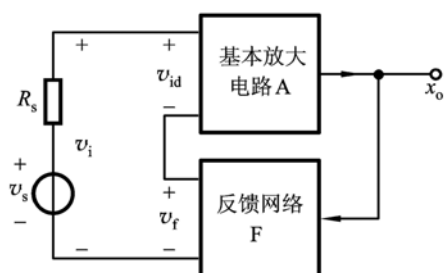
22



武汉大学
WUHAN UNIVERSITY

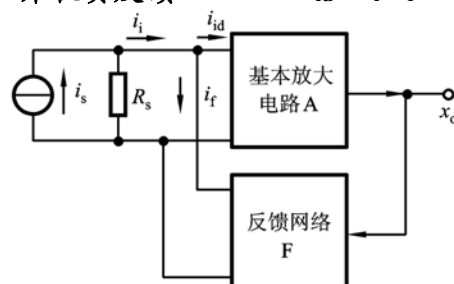
➤ 串联反馈与并联反馈

串联负反馈 $v_{id} = v_i - v_f$



要想反馈效果明显, 就要求 v_f 变化能有效引起 v_{id} 的变化。则 v_i 最好为恒压源, 即信号源内阻 R_s 越小越好。

并联负反馈 $i_{id} = i_i - i_f$



要想反馈效果明显, 就要求 i_f 变化能有效引起 i_{id} 的变化。则 i_i 最好为恒流源, 即信号源内阻 R_s 越大越好。

6.1 反馈的基本概念

23

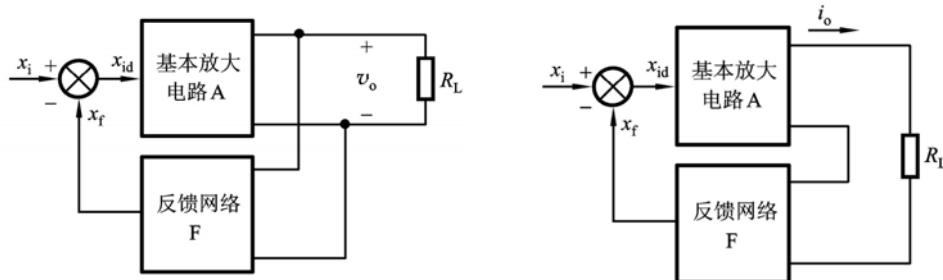


武汉大学
WUHAN UNIVERSITY

➤ 电压反馈与电流反馈

电压反馈：反馈信号 x_f 和输出电压成比例，即 $x_f = Fv_o$

电流反馈：反馈信号 x_f 与输出电流成比例，即 $x_f = Fi_o$



特点:电压负反馈用来稳定输出电压; 电流负反馈用来稳定输出电流。

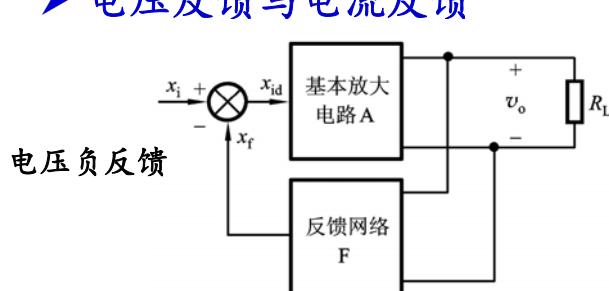
6.1 反馈的基本概念

24

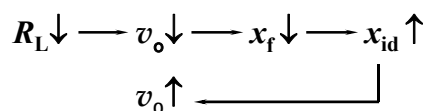


武汉大学
WUHAN UNIVERSITY

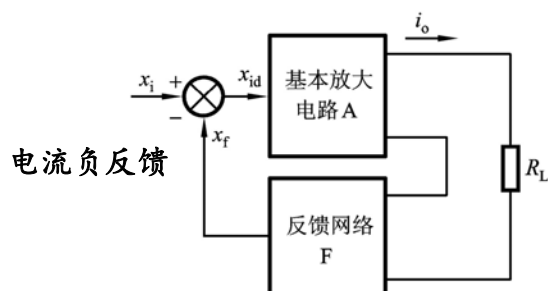
➤ 电压反馈与电流反馈



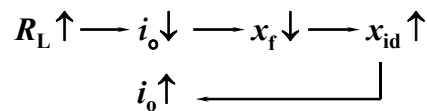
$$x_f = Fv_o, \quad x_{id} = x_i - x_f$$



▪ 电压负反馈稳定输出电压



$$x_f = Fi_o, \quad x_{id} = x_i - x_f$$



▪ 电流负反馈稳定输出电流

6.1 反馈的基本概念

25



武汉大学
WUHAN UNIVERSITY

➤ 电压反馈与电流反馈

判断方法：短路断路法、结构法

输出短路法(使用较多)：将放大器输出端交流短路，看反馈信号是否存在

存在——电流反馈

不存在——电压反馈

输出开路法(使用较少)：将放大器输出端交流开路，看反馈信号是否存在

存在——电压反馈

不存在——电流反馈

结构法：

反馈元件一端直接并接在输出端，为电压反馈；

反馈元件一端接在输出回路的某个节点，(输出端点除外)，为电流反馈

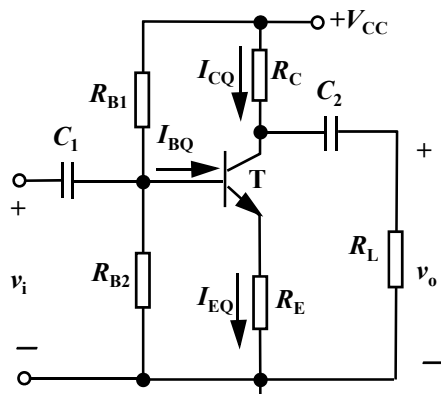
6.1 反馈的基本概念

26

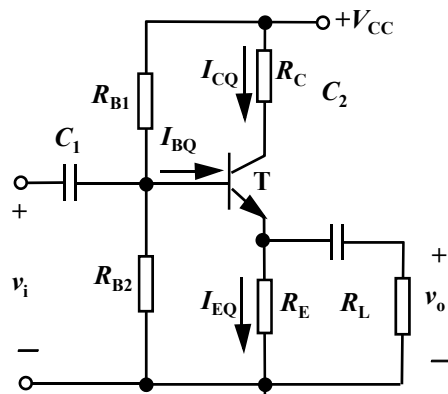


武汉大学
WUHAN UNIVERSITY

➤ 电压反馈与电流反馈



负载短路，反馈信号存在，电流反馈
 R_E 接在输出回路的某个节点，电流反馈



负载短路，反馈信号消失，电压反馈
 R_E 的一端接在输出端，电压反馈