

第四章 运算放大器

4.2 描述运放非理想特性的参数

描述运放非理想特性的参数

- 运放非理想特性参数
- 实际运放模型

理想运放电路模型

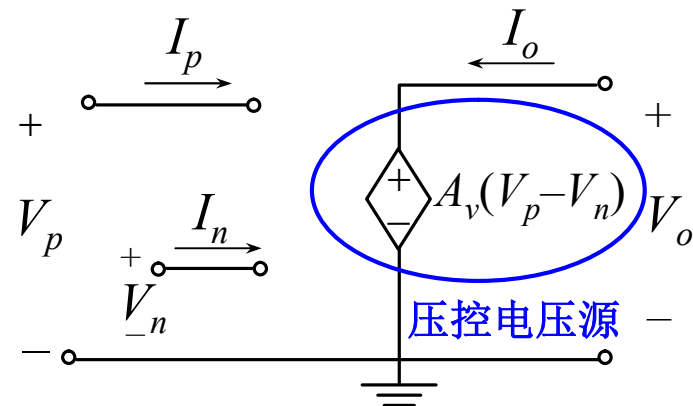
理想情况下

$$V_d = V_p - V_n, \quad V_o = A_v V_d, \quad A_v = \infty$$

$$-\frac{V_{CC}}{A_v} \leq V_d \leq \frac{V_{CC}}{A_v}$$

虚断特性 $I_p = 0, \quad I_n = 0$

虚短特性 $V_p \approx V_n$



理想运放电路模型参数

- 增益

$$A_v = \infty$$

- 包含了运放的“虚短”特性

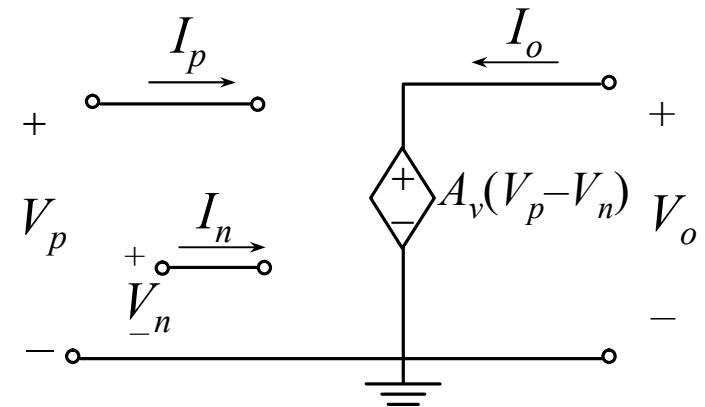
- 输入电阻

$$R_i = \infty$$

- 包含了运放的“虚断”特性

- 输出电阻

$$R_o = 0$$

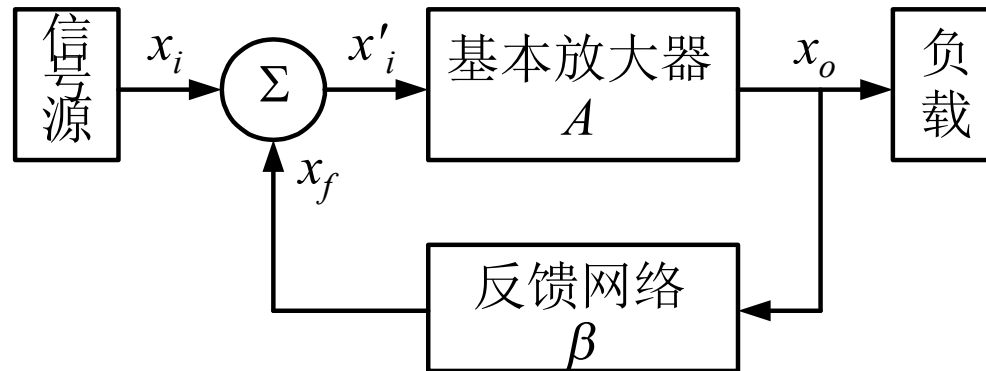


运放非理想特性的参数

1, 开环增益A (Open loop gain)

- 也称为直流开环增益
- 741运放开环增益: 106dB

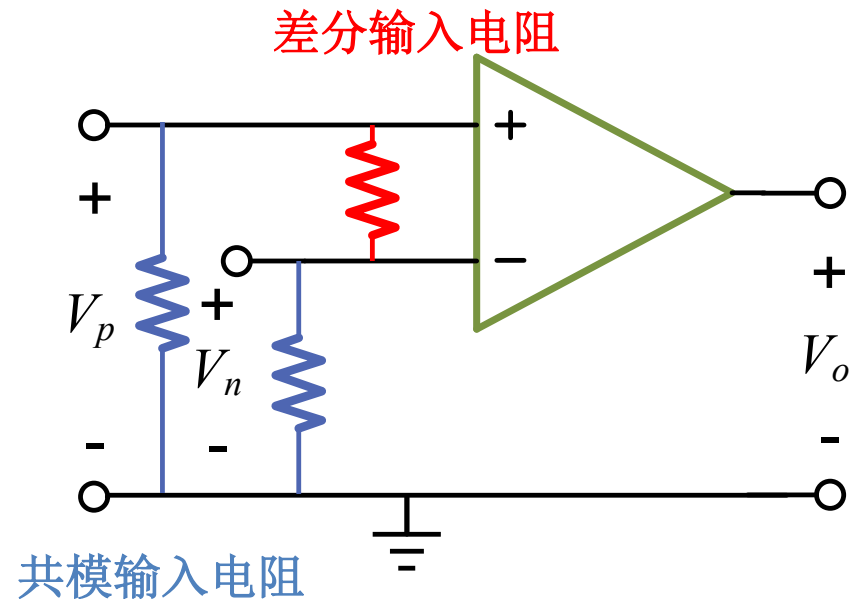
- 实际运放在使用时, 通常都需要通过反馈形成闭环系统
 - 开环增益越高, 闭环系统的稳定性越好



运放非理想特性的参数

2, 输入电阻 R_i (Input resistance)

- 也称为差分开环输入电阻
- 当频率升高时, 还需要考虑差分输入电容
- 741运放输入电阻: 典型值 $2\text{M}\Omega$; 输入电容: 1.4pF



$$V_d = V_p - V_n$$

运放非理想特性的参数

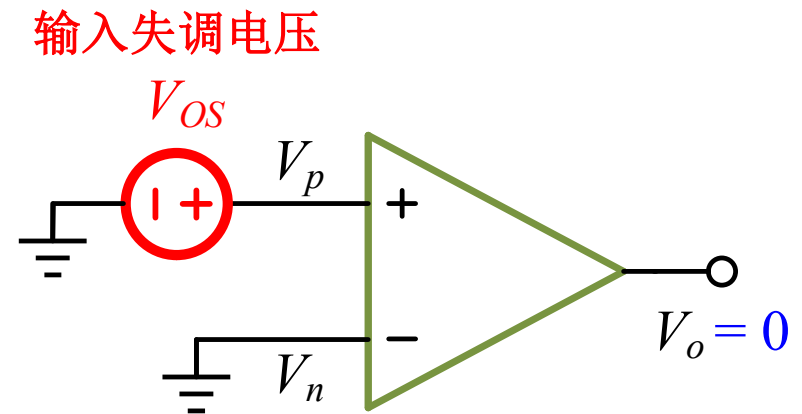
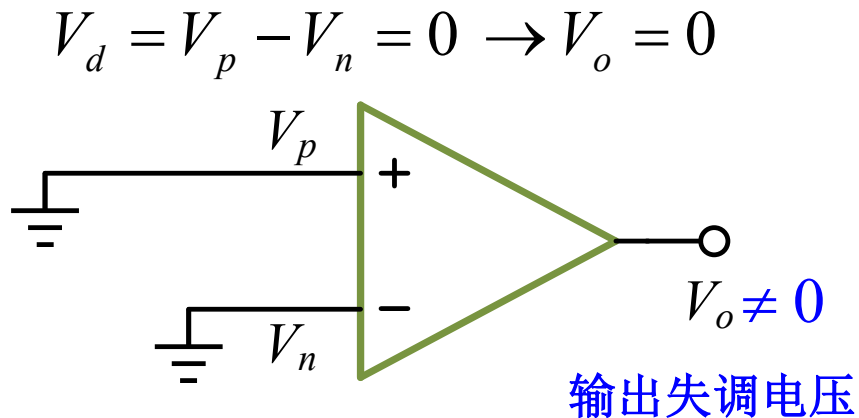
3, 输出电阻 R_o (Output resistance)

- 也称为开环输出电阻
- 741运放输出电阻：典型值 75Ω

运放非理想特性的参数

4, 输入失调电压VOS (Input offset voltage)

- 为了使输出电压为零，而在输入端加的补偿电压
- 741运放输入失调电压：典型值1mV



运放非理想特性的参数

5, 输入偏置电流 I_B (Input bias current)

$$I_B = \frac{I_{B1} + I_{B2}}{2}$$

- 741运放输入偏置电流：
典型值80nA

6, 输入失调电流 I_{OS} (Input offset current)

- 运放由电流源驱动时，为了使输出电压为零，而在输入端加的补偿电流

$$I_{OS} = I_{B1} - I_{B2}$$

- 741运放输入失调电流：
典型值20nA

运放非理想特性的参数

7, 共模抑制比CMMR (Common-Mode Rejection Ratio)

$$V_d = V_p - V_n$$

- 开环增益, 即差分输入对应的增益, 称为差模增益 A_d

$$V_{cm} = \frac{V_p + V_n}{2}$$

- 共模输入对应的增益, 称为共模增益 A_{cm}

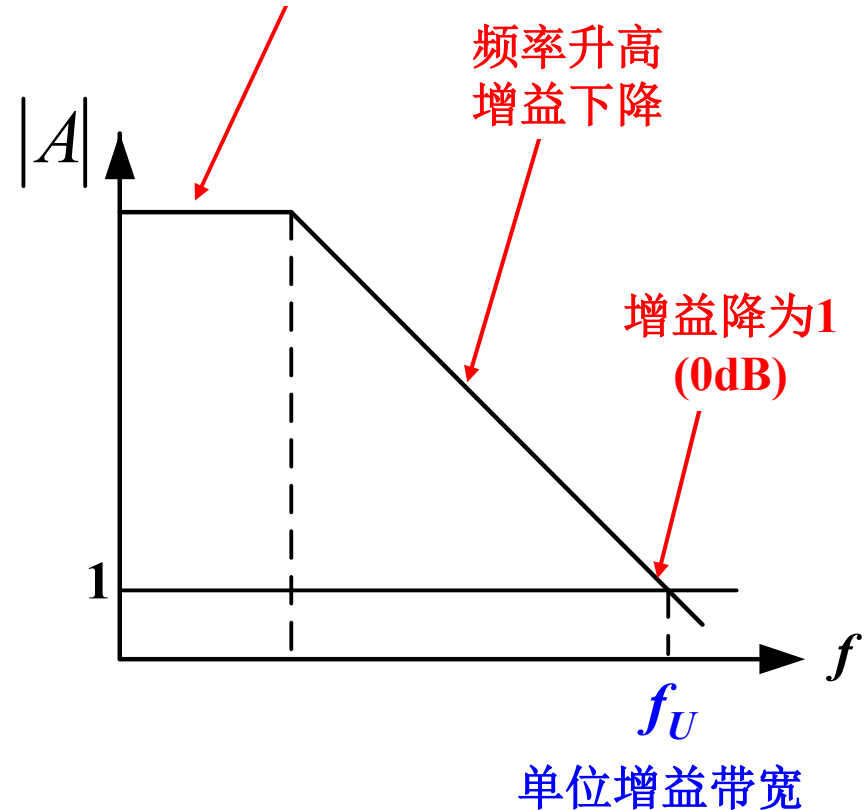
$$CMRR = 20 \log \left| \frac{A_d}{A_{cm}} \right| \quad (dB)$$

- 理想运放共模抑制比: 无穷大
- 741运放共模抑制比: 典型值90dB

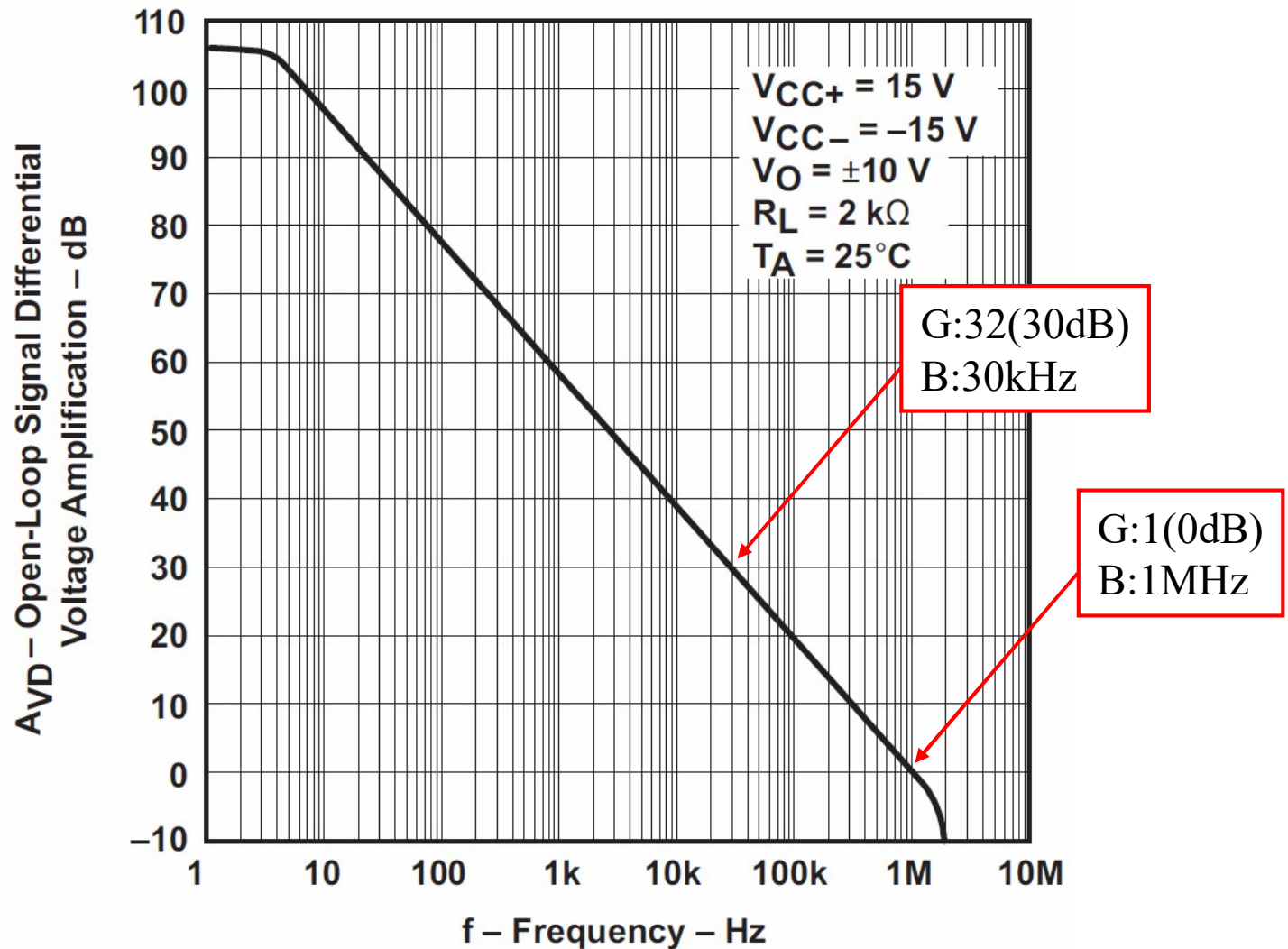
运放非理想特性的参数

8, 单位增益带宽 (Unity-gain bandwidth) 开环增益

- 741运放单位增益带宽:
约1MHz
- 实际运放的增益×带宽是常数
- 单位增益带宽=增益×带宽**
- 也叫做增益带宽积GBW



741运放开环增益



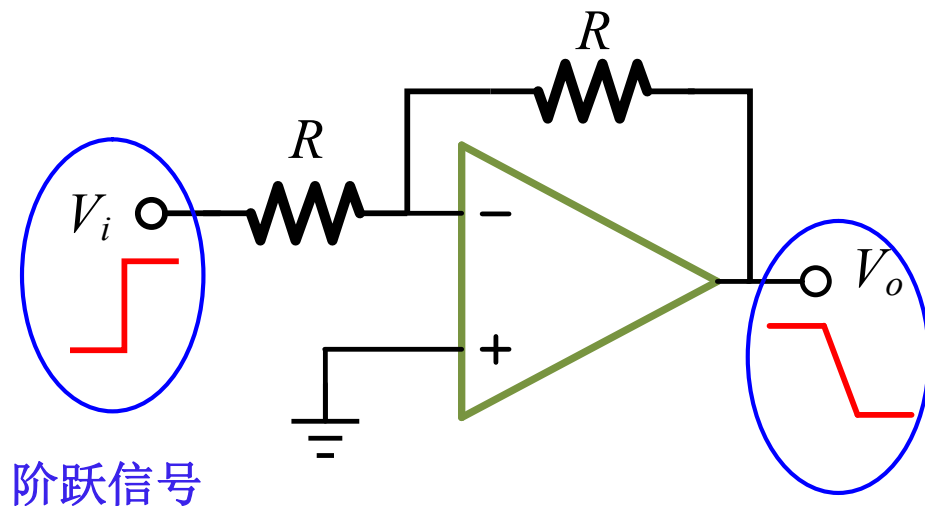
运放非理想特性的参数

9, 压摆率SR (Slew rate)

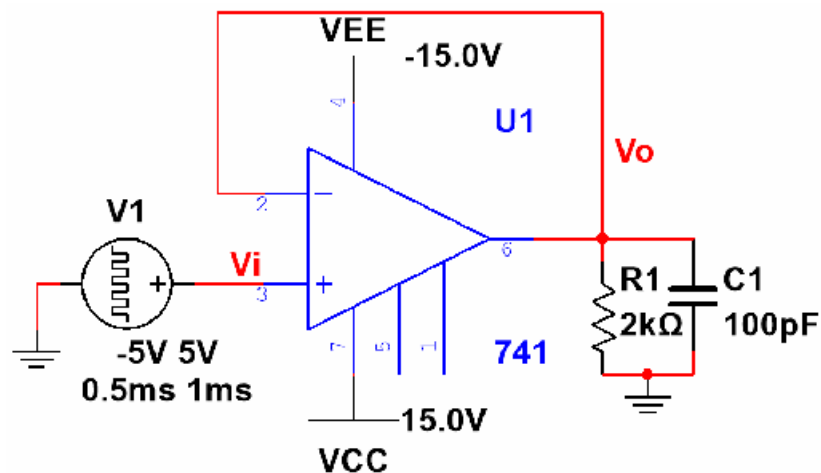
- 运放输出上升（或下降）时，线性部分的斜率就是压摆率

$$SR = \frac{dV_o}{dt}$$

- 上行压摆率
- 下行压摆率
- 根据输入阶跃信号的幅度
 - 大信号压摆率
 - 小信号压摆率



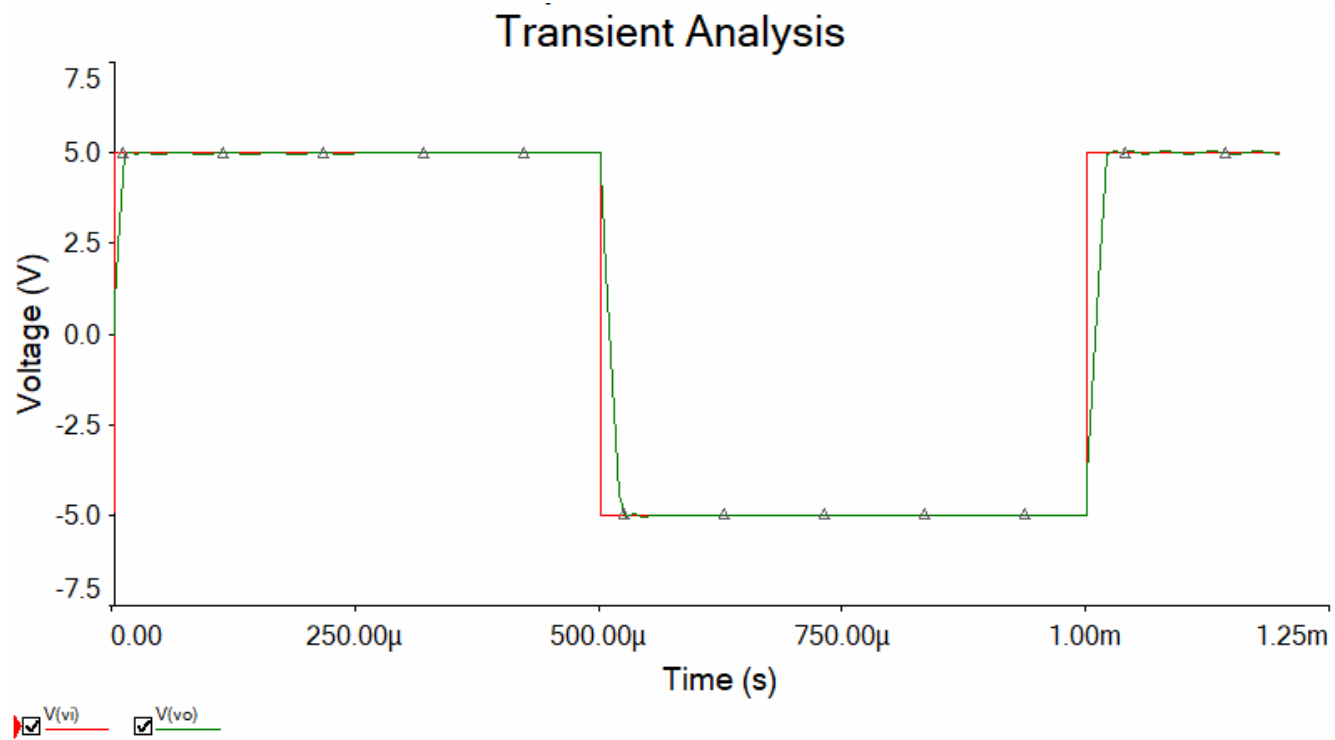
压摆率仿真



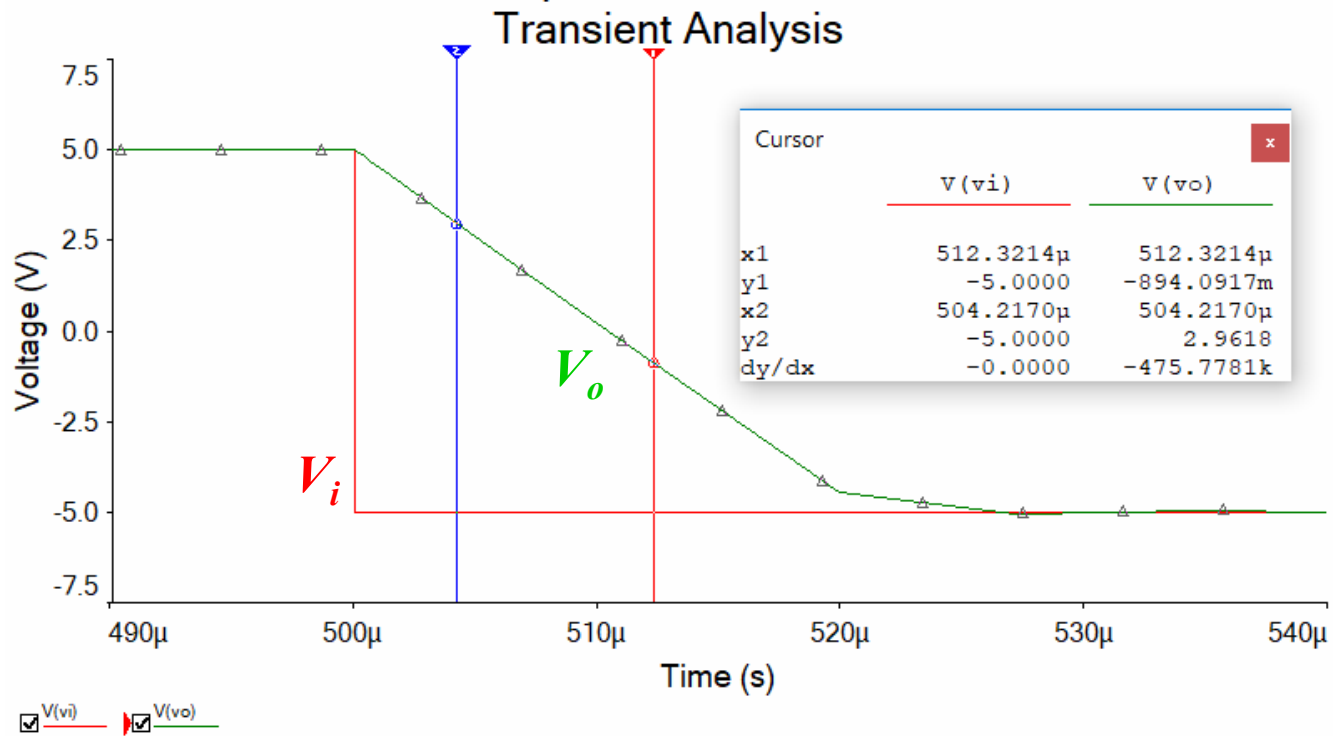
电压跟随器

- 输入信号：脉冲电压源，幅度 $\pm 5\text{V}$ ，周期 1ms ，占空比 50%
- 瞬态仿真，仿真时间 1.2ms
- 仿真初始条件设置为0状态

压摆率仿真

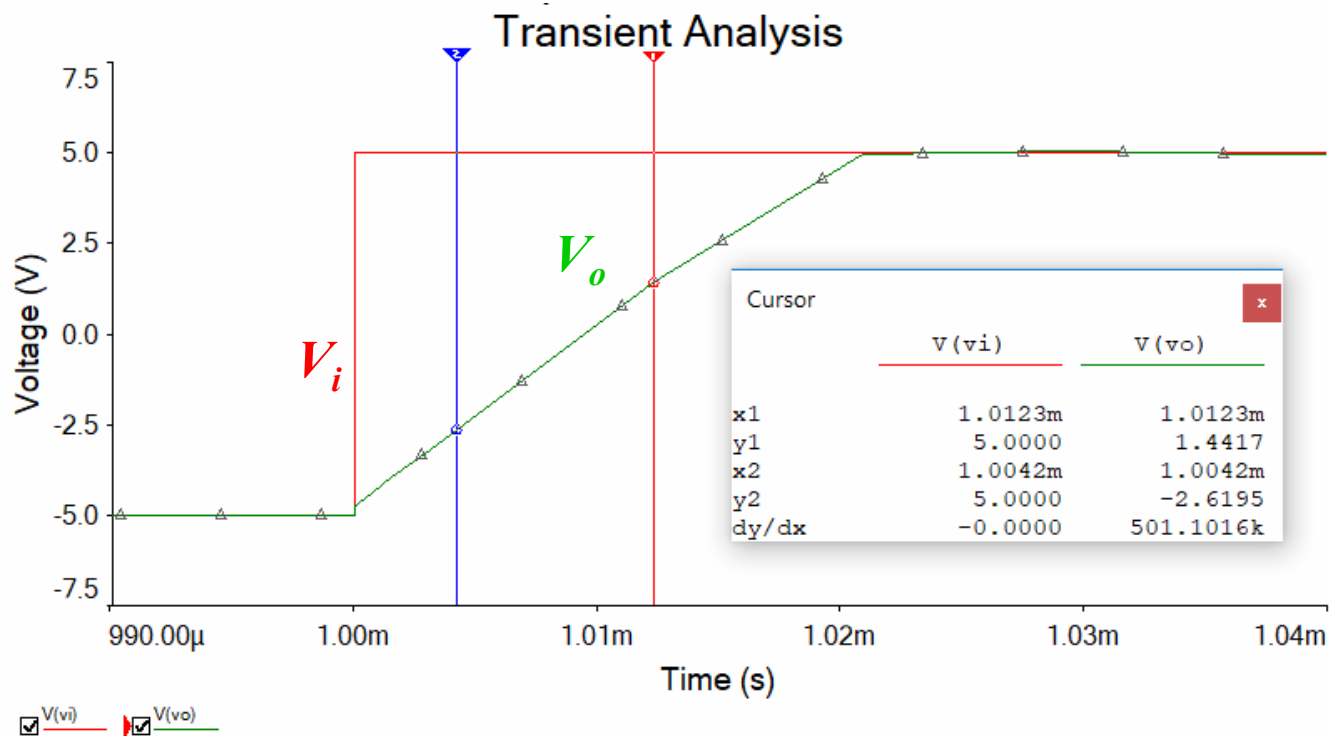


压摆率仿真



$$\text{压摆率} = dy/dx = -0.48 \times 10^6$$

压摆率仿真



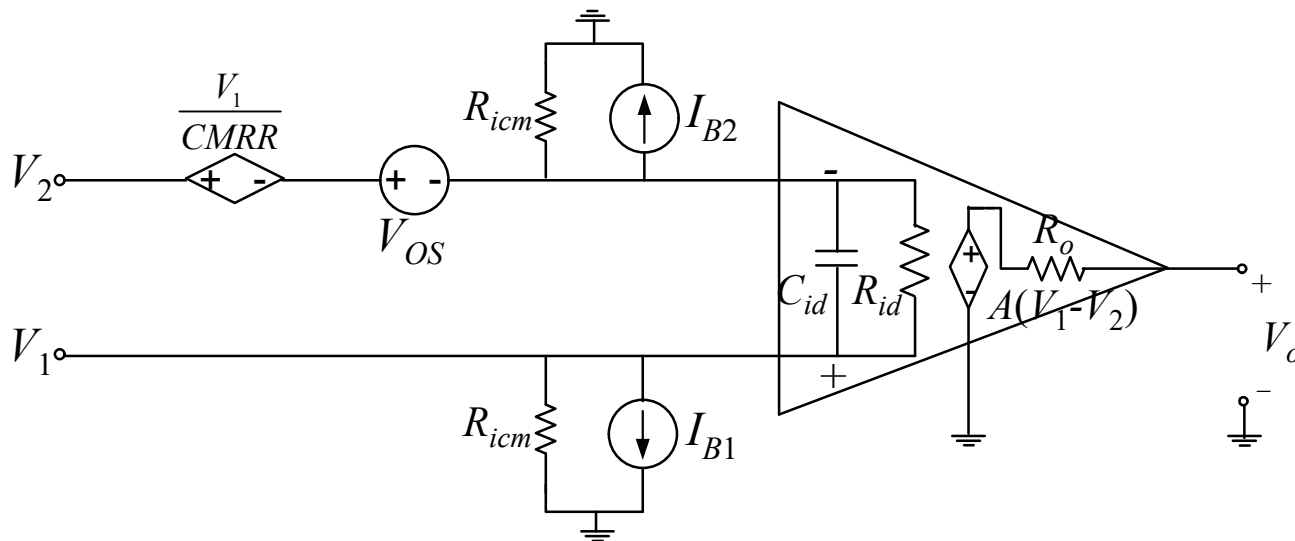
$$\text{压摆率} = dy/dx = 0.5 \times 10^6$$

741运放压摆率: $0.5\text{V}/\mu\text{s}$ ($=0.5 \times 10^6$)

运放非理想特性的参数

- 输入共模范围(ICMR)
- 输出电压摆幅(Output Voltage Range)
- 电源抑制比(PSRR)

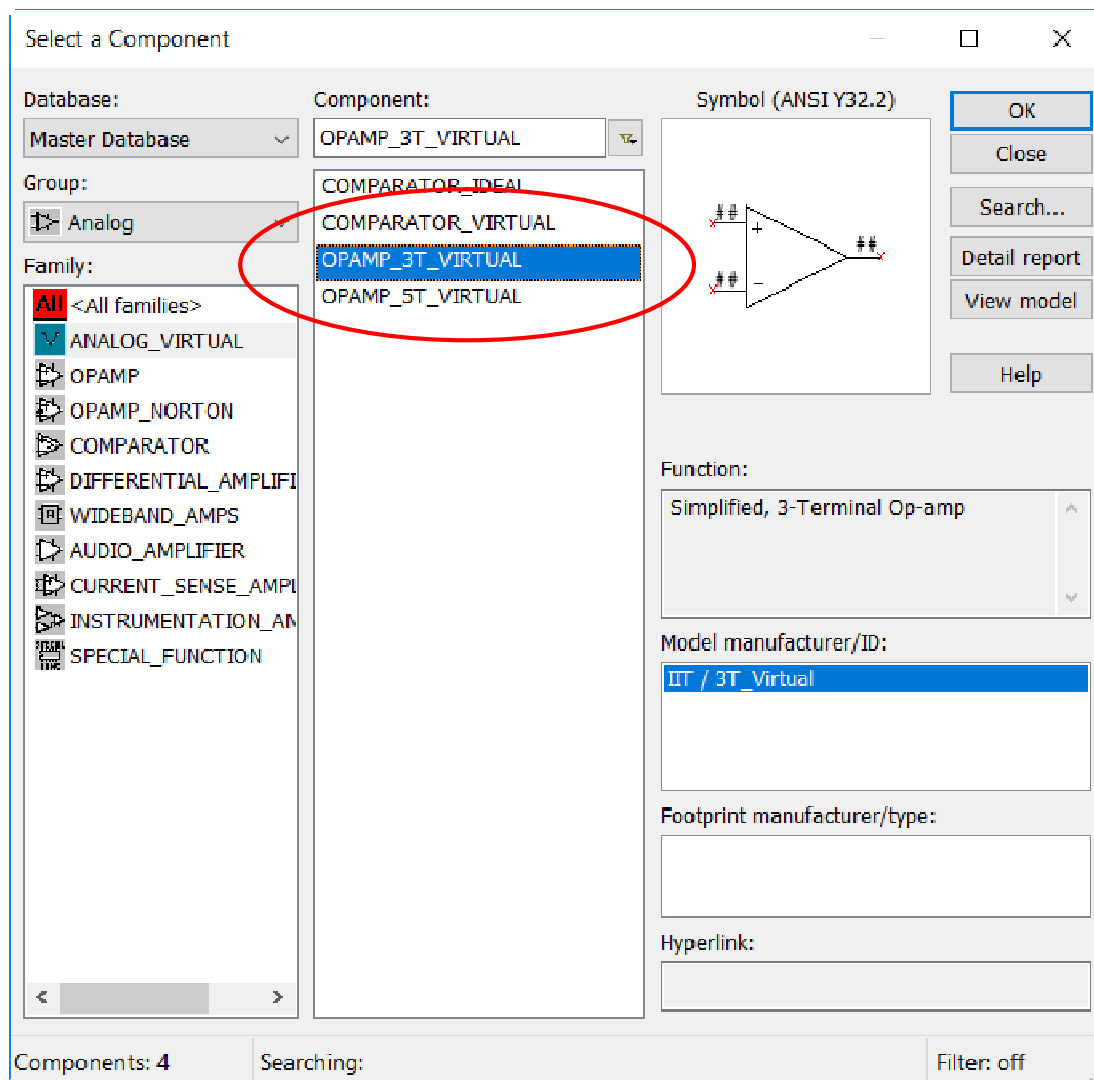
实际运放电路模型



增益 A 为有限值， R_o 表示有限大小的输出电阻， R_{id} 、 C_{id} 表示差分输入电阻与差分输入电容。共模输入电阻用 R_{icm} 表示， I_{B1} 、 I_{B2} 表示输入偏置电流。 V_{OS} 表示输入失调电压。 $v_1/CMRR$ 表示共模抑制程度，其它非理想因素，没有在图中反映出来

手工估算电路性能，用理想运放模型
借助电路软件仿真，用实际运放模型

虚拟运放元件



虚拟运放元件

OPAMP_3T_VIRTUAL

Label Display Value Fault Pins Variant User fields

Input offset voltage (VOS):	0	V
Input bias current (IBS):	0	A
Input offset current (IOS):	0	A
Open loop gain (A):	200k	V/V
Unity-gain bandwidth (FU):	100M	Hz
Input resistance (RI):	10M	Ω
Output resistance (RO):	10	Ω
Positive voltage swing (VSW+):	12	V
Negative voltage swing (VSW-):	-12	V

Replace... OK Cancel Help