

第五章 模拟运算电路

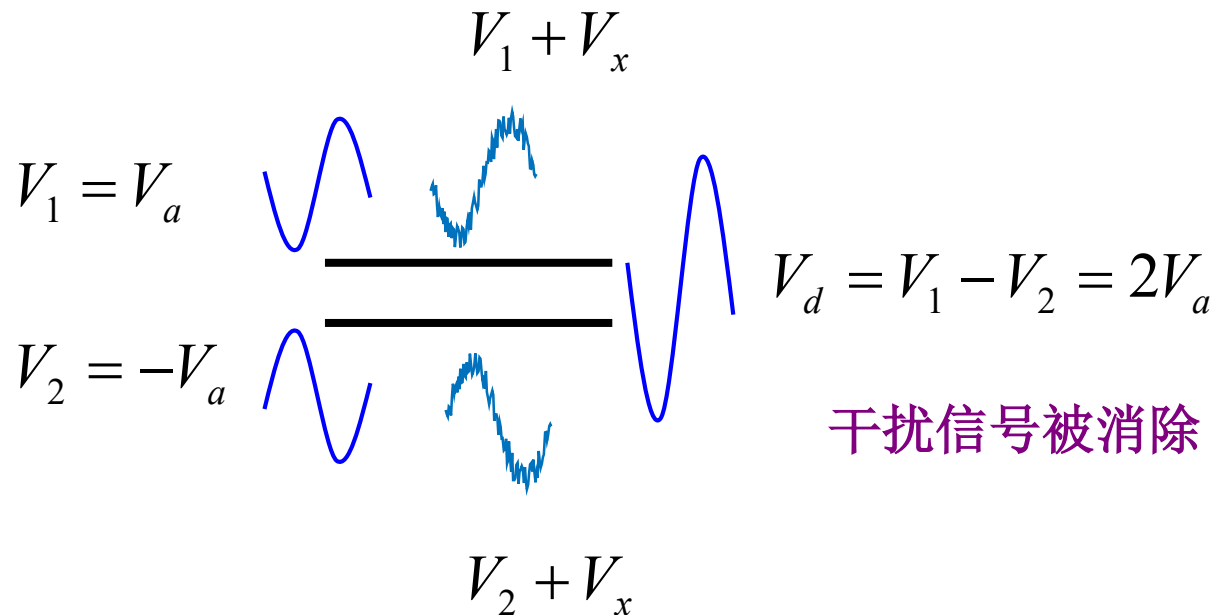
5.4 差分放大电路

差分放大电路

- 差分放大器
- 相关概念

差分信号

- 差分信号是一种信号形式，由两个大小相同、相位相反的信号组成
 - 抗干扰



单端信号

- 差分（电压）信号
 - 两个大小相同、相位相反的信号

$$V_d = V_1 - V_2$$

- 单端（电压）信号
 - 以地（也就是0电压）为参考

差模分量与共模分量

- 已知单端信号 V_a 、 V_b
 - 差模分量 $V_d = V_b - V_a$
 - 共模分量 $V_{cm} = (V_a + V_b) / 2$

- 已知差模分量 V_d 、共模分量 V_{cm}

$$V_a = V_{cm} - \frac{1}{2}V_d \quad V_b = V_{cm} + \frac{1}{2}V_d$$

- 两种表示可以互相转换

减法放大器

$$R_a = R_c, \quad R_b = R_d$$

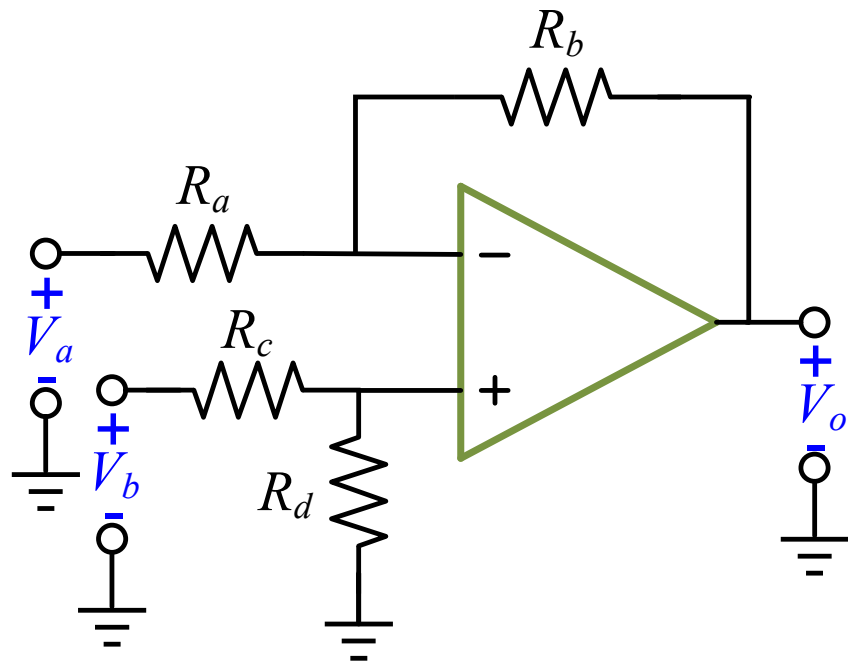
- 减法放大功能

$$V_o = \frac{R_b}{R_a} (V_b - V_a)$$

- 减法功能

$$(R_a = R_c) = (R_b = R_d)$$

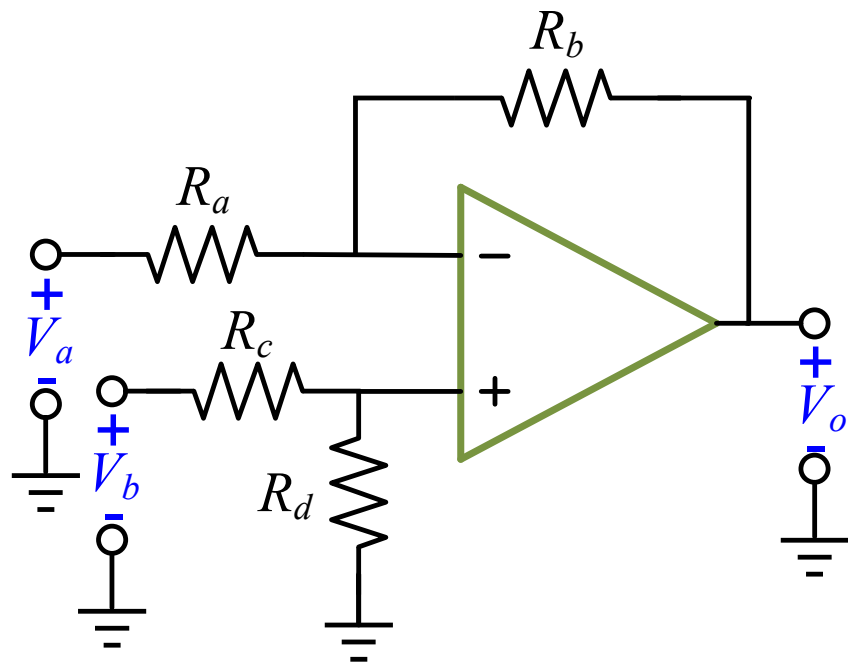
$$V_o = V_b - V_a$$



减法放大器

输入信号:

1. 2个单端输入: V_a 、 V_b
2. 差模输入 V_d 、共模输入 V_{cm}



差分放大器

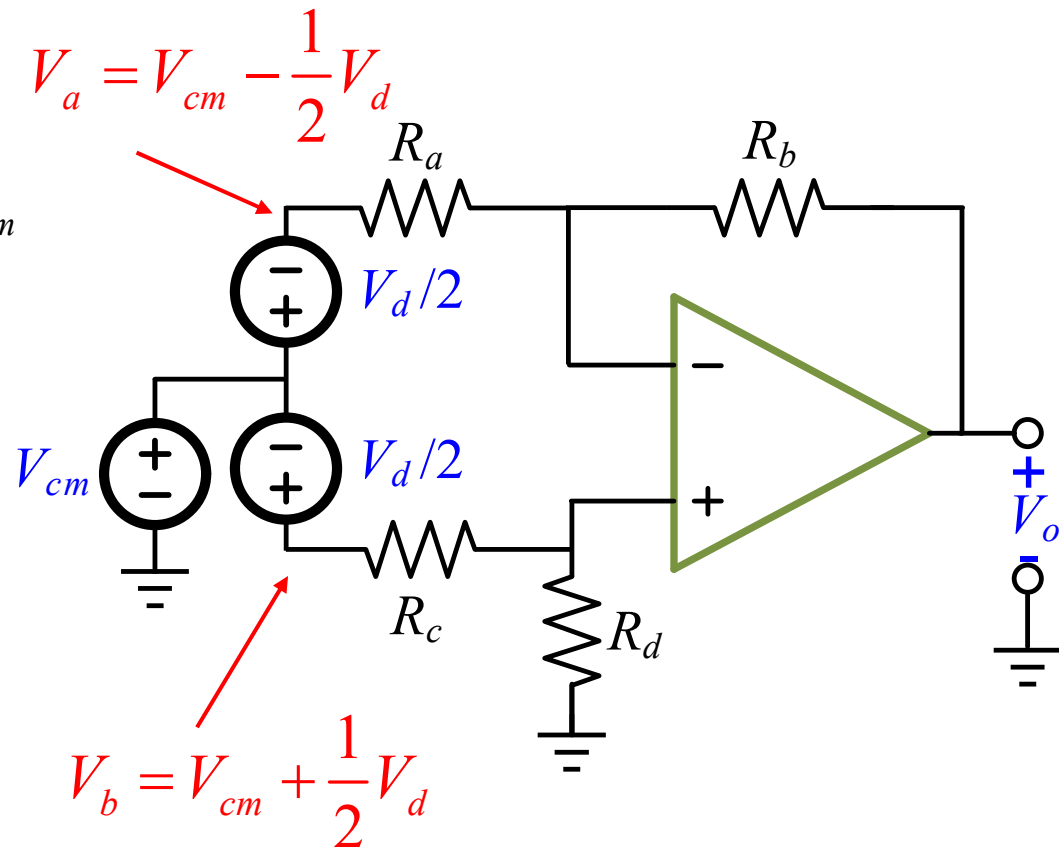
输入信号:

1. 2个单端输入: V_a 、 V_b
2. 差模输入 V_d 、共模输入 V_{cm}

- 差模输入

$$V_d = V_b - V_a$$

- 理想情况下,
只放大差模分量,
不放大共模分量



差分放大器增益

$$V_o = \frac{R_d (R_a + R_b)}{R_a (R_c + R_d)} V_b - \frac{R_b}{R_a} V_a$$

$$V_a = V_{cm} - \frac{1}{2} V_d \quad V_b = V_{cm} + \frac{1}{2} V_d$$

$$V_o = \left[\frac{R_a R_d - R_b R_c}{R_a (R_c + R_d)} \right] V_{cm} + \left[\frac{R_d (R_a + R_b) + R_b (R_c + R_d)}{2 R_a (R_c + R_d)} \right] V_d$$

$$= A_{cm} V_{cm} + A_d V_d$$

共模增益

差模增益

差分放大器增益

- 如果满足条件 $R_a = R_c$, $R_b = R_d$

$$A_{cm} = \frac{R_a R_d - R_b R_c}{R_a (R_c + R_d)} = 0$$

$$A_d = \frac{R_d (R_a + R_b) + R_b (R_c + R_d)}{2 R_a (R_c + R_d)} = \frac{R_b}{R_a}$$

理想的差分放大器只放大差模分量，不放大共模分量

共模抑制比

- 如果不满足条件 $R_a = R_c, R_b = R_d$

$$A_{cm} \neq 0$$

- 共模抑制比：衡量差分放大器对共模分量的抑制程度
 - Common Mode Rejection Ratio, CMRR

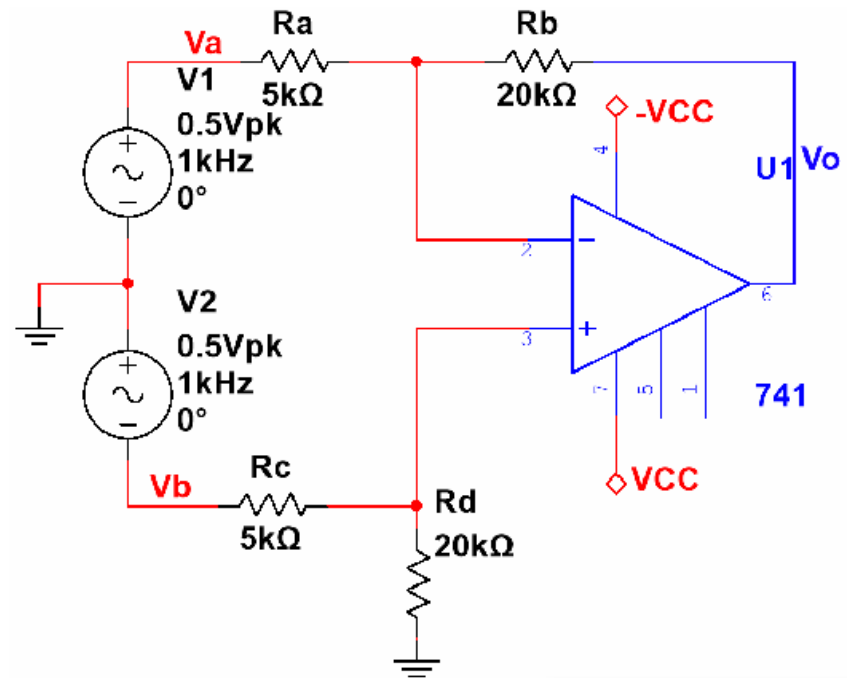
$$CMRR = 20 \log \left| \frac{A_d}{A_{cm}} \right| \quad (dB)$$

- 理想差分放大器

$$A_{cm} = 0, \quad CMRR = \left| \frac{A_d}{A_{cm}} \right| = \infty$$

共模抑制比仿真

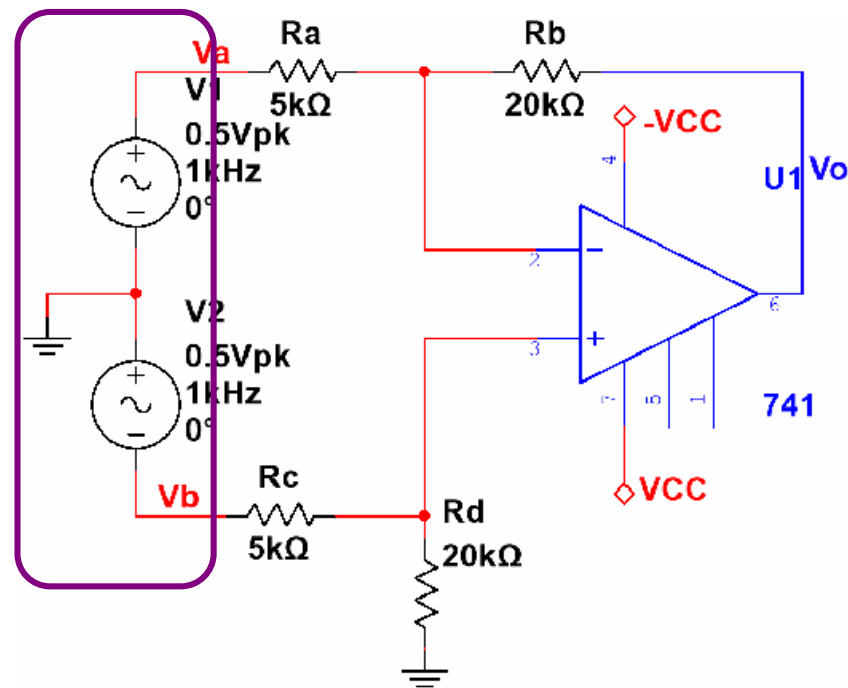
- 741运放共模抑制比：典型值90dB
- 供电电压： $\pm 5V$
- 理想运放情况下
 - 差模增益 $A_d = 4$
 - 共模增益 $A_{cm} = 0$



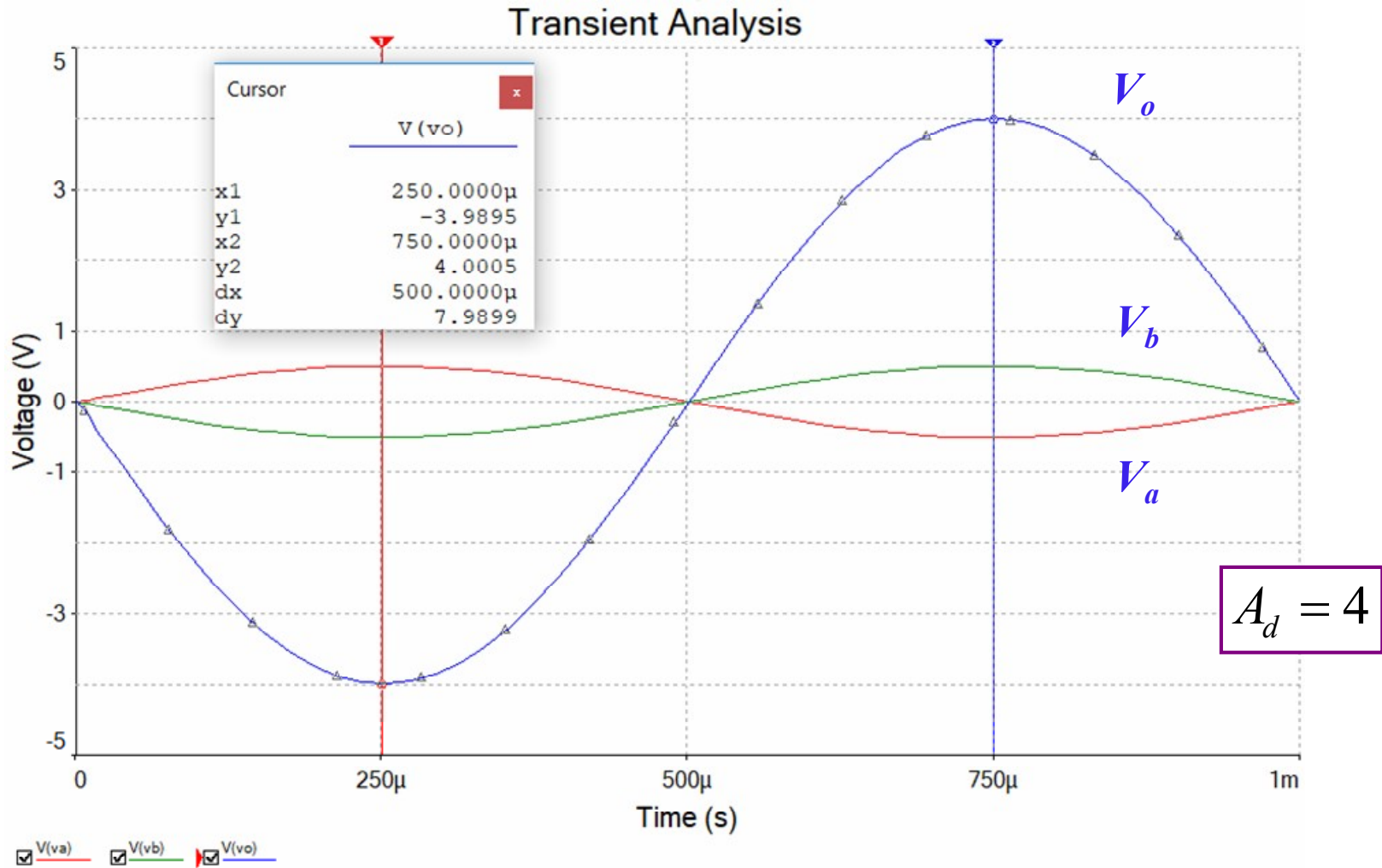
共模抑制比仿真

差模增益:

- 差模输入: 幅度1V, 频率1kHz
- 共模输入: 0V
- 瞬态仿真, 仿真时间1ms



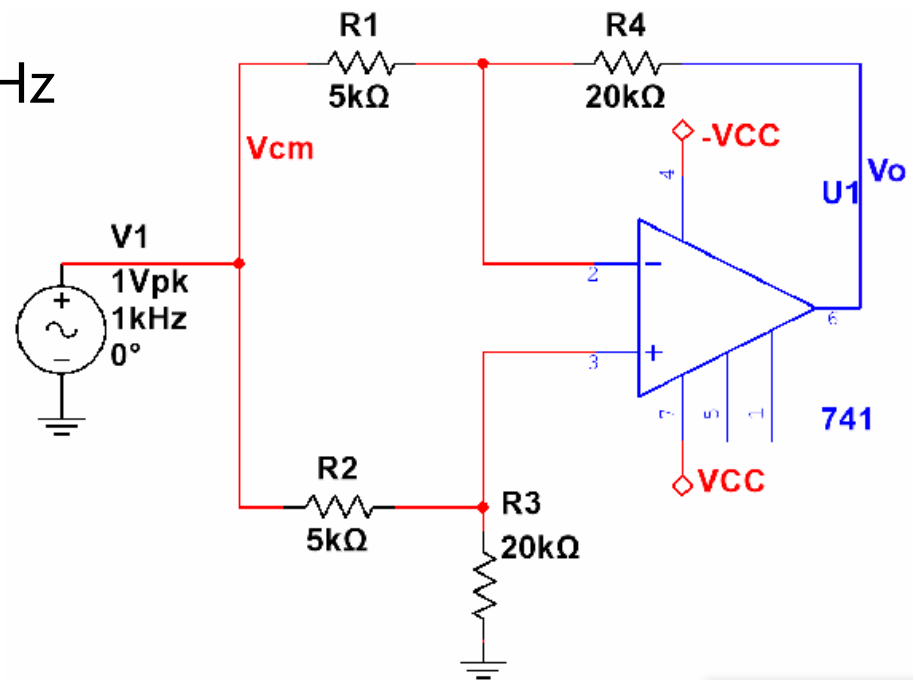
共模抑制比仿真



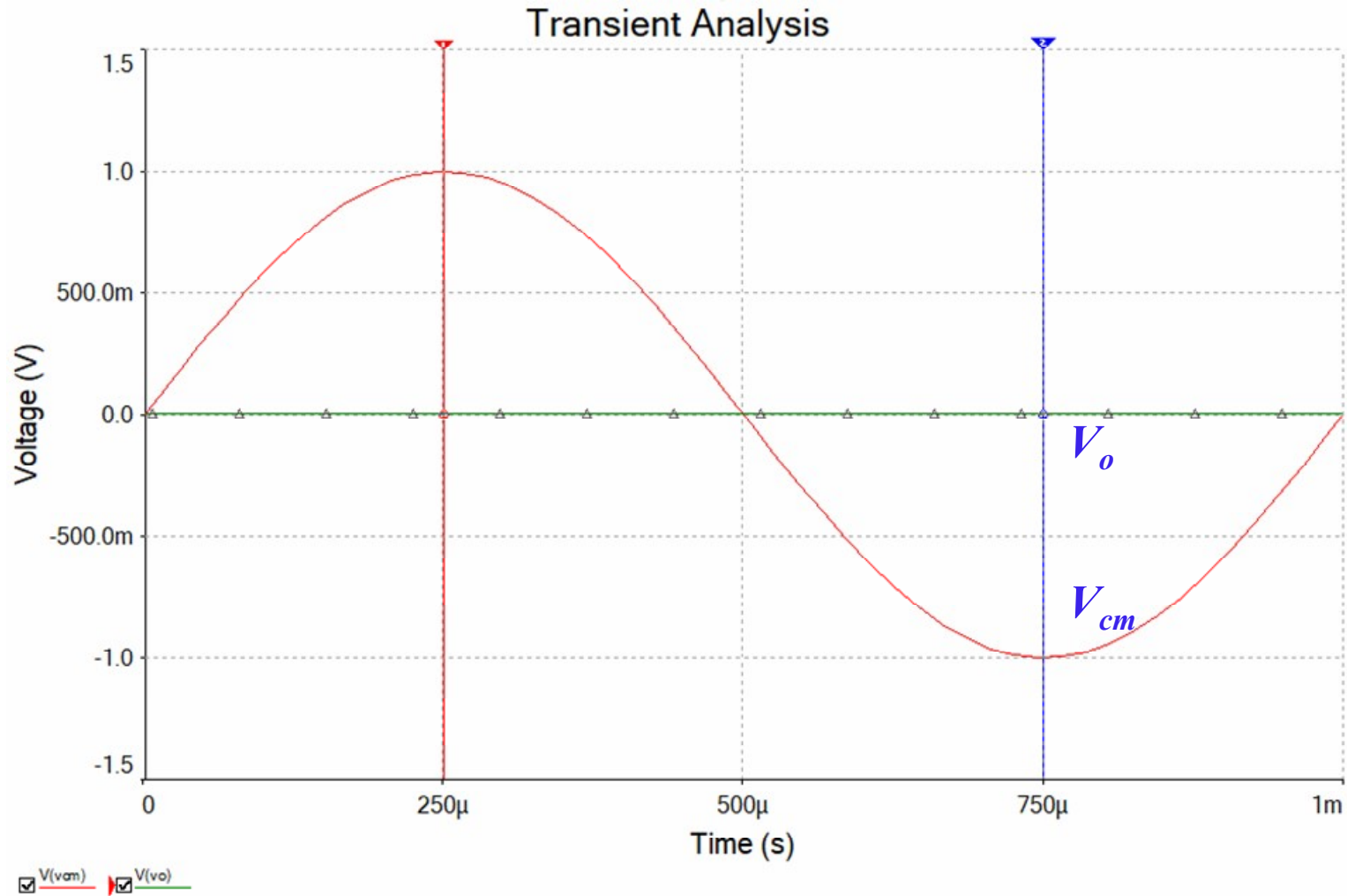
共模抑制比仿真

共模增益:

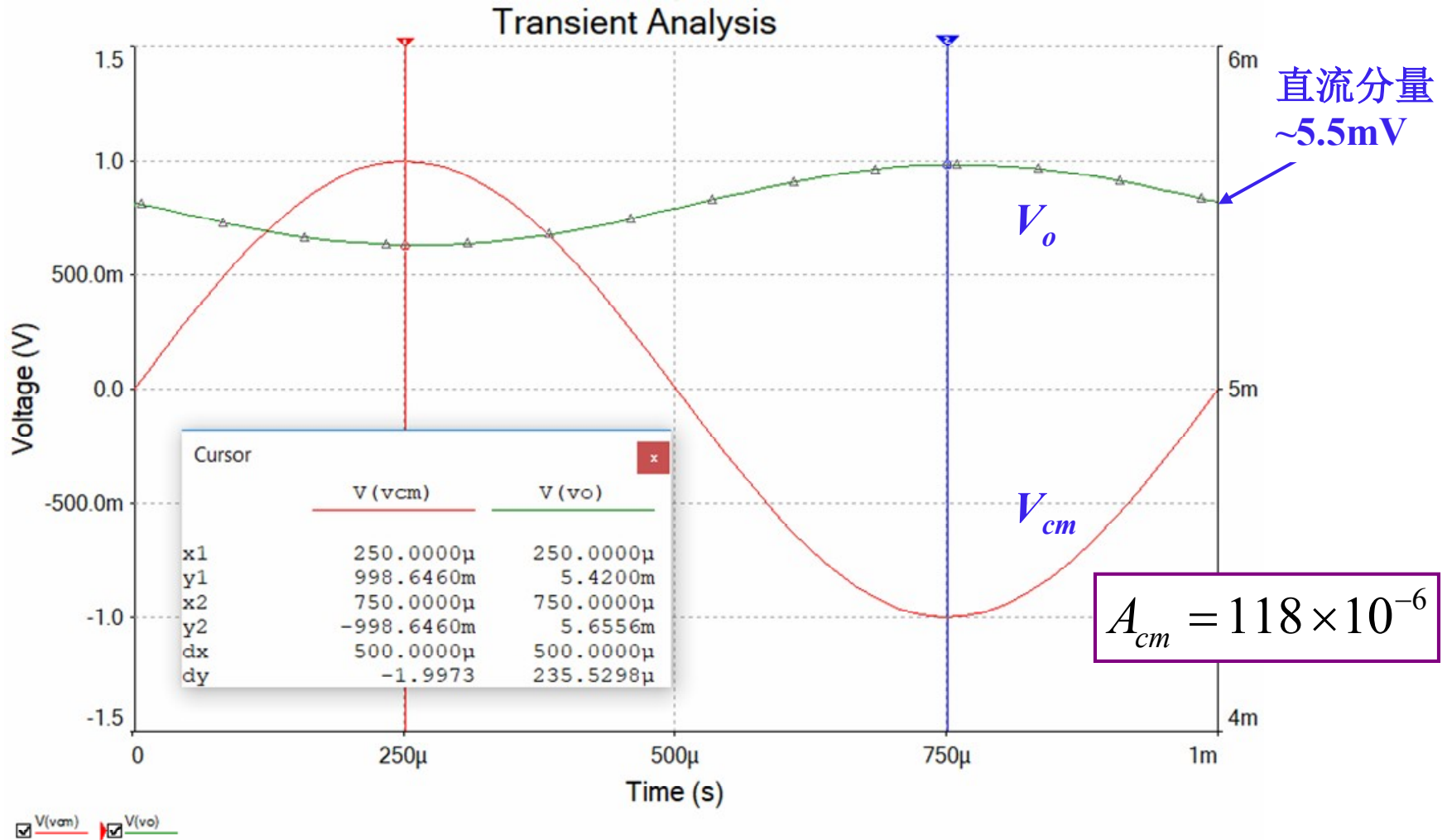
- 差模输入: 0V
- 共模输入: 幅度1V, 频率1kHz
- 瞬态仿真, 仿真时间1ms



共模抑制比仿真



共模抑制比仿真



共模抑制比仿真

$$A_d = 4$$

$$A_{cm} = 118 \times 10^{-6}$$

$$CMRR = 20 \log \left| \frac{A_d}{A_{cm}} \right| = 20 \log \left| \frac{4}{118 \times 10^{-6}} \right| = 90.6 \quad (dB)$$

电路满足条件 $R_a = R_c$, $R_b = R_d$

共模抑制比由运放决定, 与运放数据手册中给出的数据一致