

**VIETNAM NATIONAL UNIVERSITY, HO CHI MINH CITY  
UNIVERSITY OF INFORMATION TECHNOLOGY  
FACULTY OF COMPUTER ENGINEERING**

**---oOo---**



**THIẾT KẾ VI MẠCH TƯƠNG TỰ**

**CE334.O21.MTCL**

**BÀI THỰC HÀNH SỐ 4**

**ỨNG DỤNG CỦA OP-AMP THỰC HIỆN TRÊN LTSPICE**

**STUDENT NAME:** Trương Duy Đức

**STUDENT ID:** 21521970

**Lecturer:** Ths. Tạ Trí Đức

Nội dung

<b>CHƯƠNG 1. THIẾT KẾ OP - AMP .....</b>	<b>3</b>
<b>CHƯƠNG 2. CÁC MẠCH CƠ BẢN CỦA OP-AMP .....</b>	<b>8</b>
1.  Mạch khuếch đại không đảo .....	8
2.  Mạch khuếch đại đảo .....	10
3.  Mạch buffer.....	12
4.  Mạch so sánh.....	14
5.  Mạch cộng đảo .....	16
6.  Mạch cộng không đảo .....	18
7.  Mạch khuếch đại vi sai ( Mạch trừ) .....	20
<b>CHƯƠNG 3. MẠCH ỨNG DỤNG TẠO HÀM .....</b>	<b>22</b>
1.  Mạch vi phân.....	22
2.  Mạch tích phân.....	24
<b>CHƯƠNG 4. MẠCH TRIGGER SMITH .....</b>	<b>26</b>

## Pictures

Figure 1. Mạch thiết kế trên LTSPICE .....	3
Figure 2. Symbol của Opamp .....	3
Figure 3. Thông số của M3 và M4.....	4
Figure 4. Thông số của M1 và M2.....	4
Figure 5. Thông số của M5 và M8.....	5
Figure 6. Thông số của M6 .....	5
Figure 7. Thông số của M7 .....	6
Figure 8. Mạch thiết kế của mạch khuếch đại không đảo.....	8
Figure 9. Kết quả khảo sát của mạch khuếch đại không đảo.....	9
Figure 10. Công thức mạch khuếch đại không đảo .....	9
Figure 11. Mạch thiết kế của mạch khuếch đại đảo.....	10
Figure 12. Kết quả khảo sát mạch khuếch đại đảo .....	11
Figure 13. Công thức của mạch khuếch đại đảo .....	11
Figure 14. Mạch thiết kế mạch buffer.....	12
Figure 15. Kết quả khảo sát của mạch buffer .....	13
Figure 16. Mạch thiết kế của mạch so sánh.....	14
Figure 17. Kết quả khảo sát của mạch so sánh .....	15
Figure 18. Mạch thiết kế của mạch cộng.....	16
Figure 19. Kết quả khảo sát của mạch cộng .....	17
Figure 20. Mạch thiết kế của mạch cộng đảo .....	18
Figure 21. Kết quả khảo sát của mạch cộng đảo.....	19
Figure 22. Mạch thiết kế của Mạch khuếch đại vi sai ( Mạch trừ) .....	20
Figure 23. Kết quả khảo sát của Mạch khuếch đại vi sai ( Mạch trừ) .....	21
Figure 24. Mạch thiết kế của mạch vi phân.....	22
Figure 25. Kết quả khảo sát của mạch vi phân .....	22
Figure 26. Kết quả tính toán .....	23
Figure 27. Kết quả mô phỏng .....	23
Figure 28. Mạch thiết kế của mạch tích phân .....	24
Figure 29. Kết quả khảo sát mạch tích phân.....	24
Figure 30. Mạch thiết kế của mạch Trigger Smith.....	26
Figure 31. Kết quả khảo sát của mạch Trigger smith.....	26

## Tables

Table 1. Thông số của Opamp .....	6
Table 2. Kết quả thiết kế .....	7
Table 3. Kết quả khảo sát của mạch Trigger smith .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Table 4. So sánh mạch Trigger Smith và Mạch So Sánh (Comparator) .....	27

## CHƯƠNG 1. THIẾT KẾ OP - AMP

Các mạch và thông số dưới đây đã được trình bày ở lab3 nên chỉ có tác dụng hiển thị thông số thiết kế.

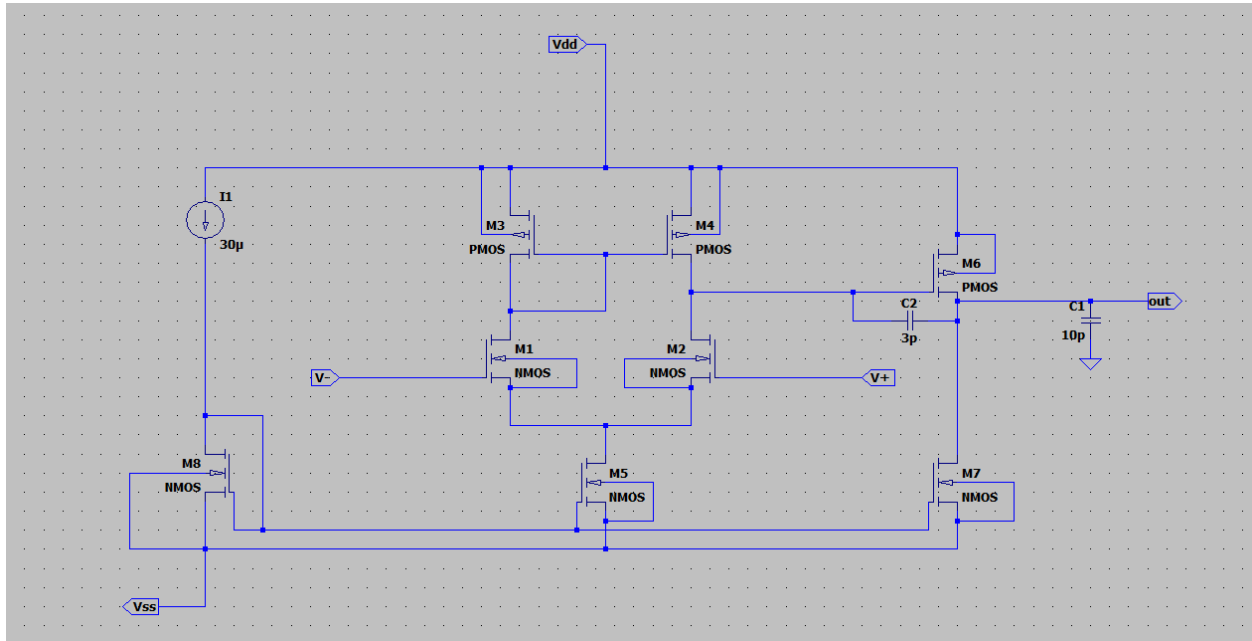


Figure 1. Mạch thiết kế trên LTSPICE

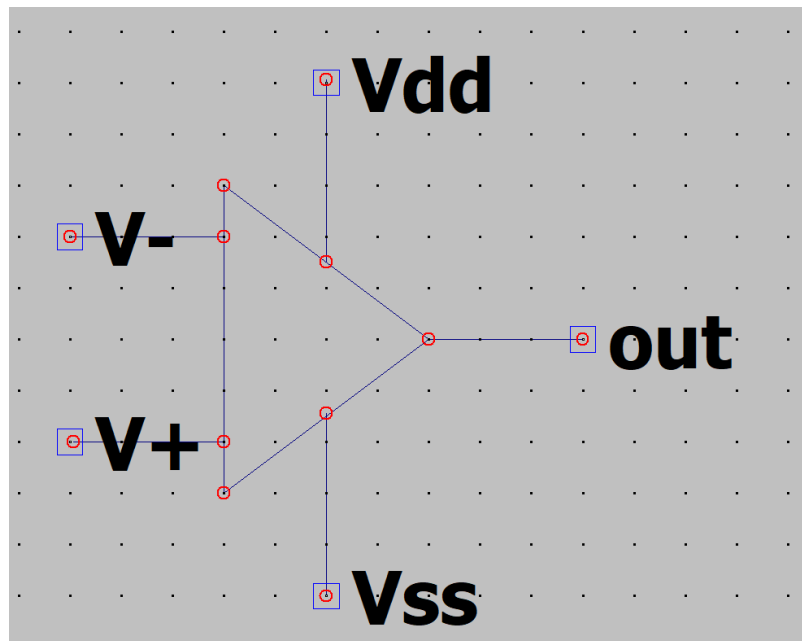
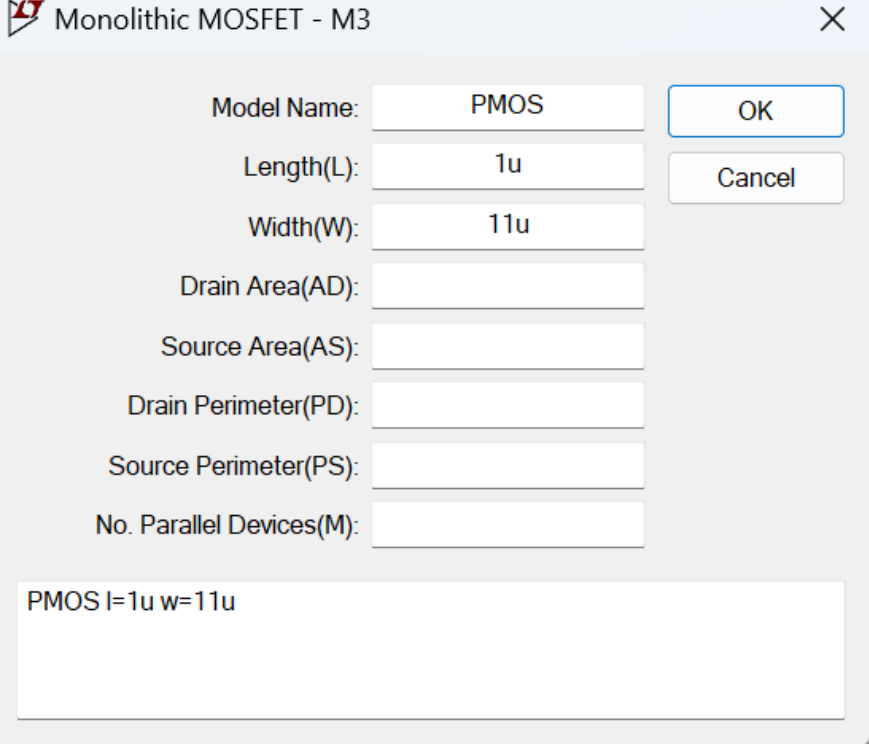


Figure 2. Symbol của Opamp

*BÀI THỰC HÀNH SỐ 4: ỨNG DỤNG CỦA OP-AMP THỰC HIỆN TRÊN LTSPICE*



Monolithic MOSFET - M3

Model Name: PMOS

Length(L): 1u

Width(W): 11u

Drain Area(AD):

Source Area(AS):

Drain Perimeter(PD):

Source Perimeter(PS):

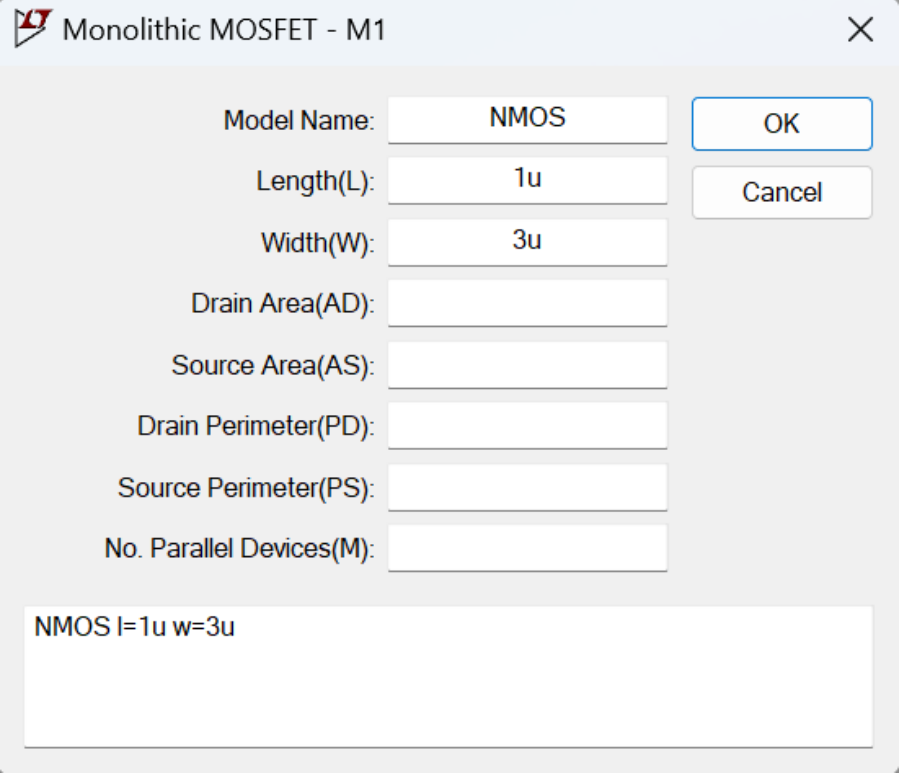
No. Parallel Devices(M):

OK

Cancel

PMOS l=1u w=11u

*Figure 3. Thông số của M3 và M4*



Monolithic MOSFET - M1

Model Name: NMOS

Length(L): 1u

Width(W): 3u

Drain Area(AD):

Source Area(AS):

Drain Perimeter(PD):

Source Perimeter(PS):

No. Parallel Devices(M):

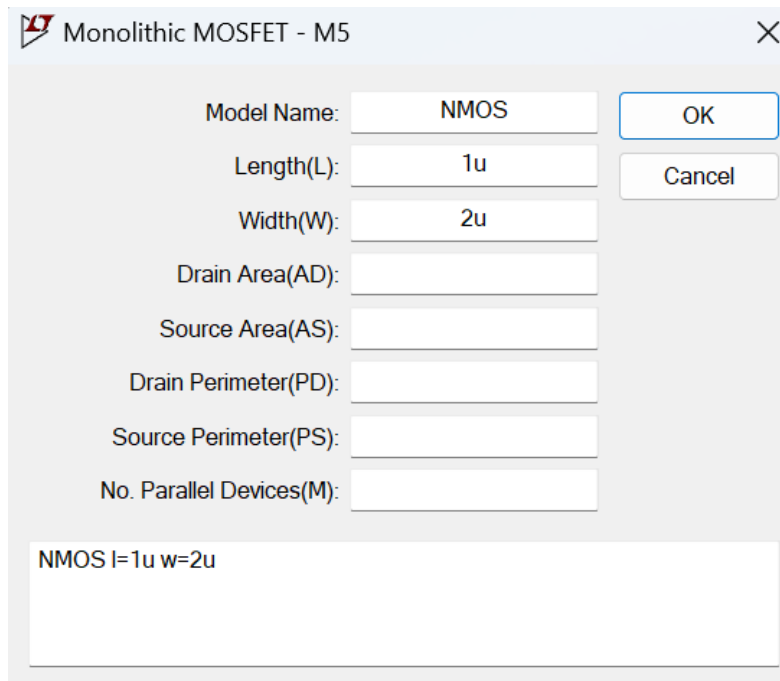
OK

Cancel

NMOS l=1u w=3u

*Figure 4. Thông số của M1 và M2*

#### BÀI THỰC HÀNH SỐ 4: ỨNG DỤNG CỦA OP-AMP THỰC HIỆN TRÊN LTSPICE



Monolithic MOSFET - M5

Model Name: NMOS

Length(L): 1u

Width(W): 2u

Drain Area(AD):

Source Area(AS):

Drain Perimeter(PD):

Source Perimeter(PS):

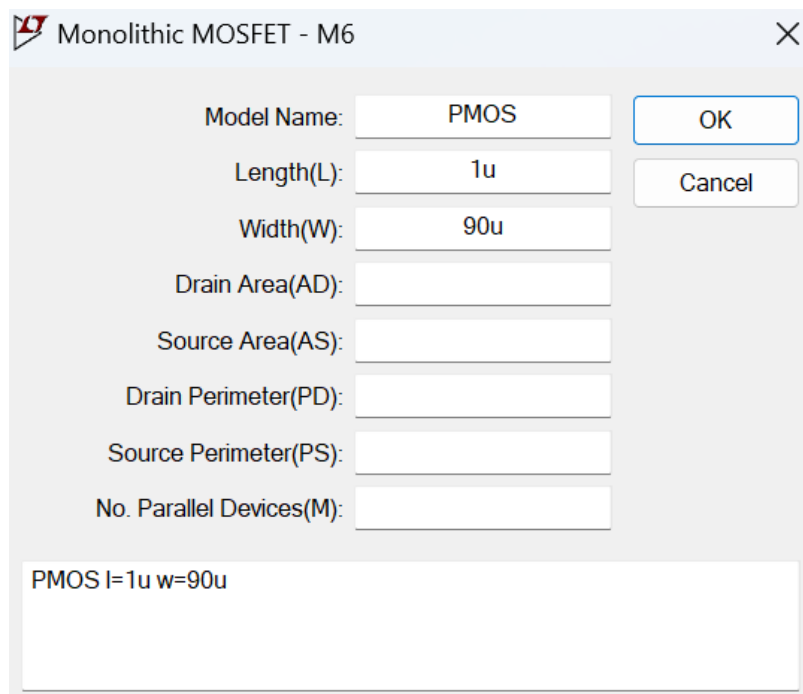
No. Parallel Devices(M):

OK

Cancel

NMOS l=1u w=2u

Figure 5. Thông số của M5 và M8



Monolithic MOSFET - M6

Model Name: PMOS

Length(L): 1u

Width(W): 90u

Drain Area(AD):

Source Area(AS):

Drain Perimeter(PD):

Source Perimeter(PS):

No. Parallel Devices(M):

OK

Cancel

PMOS l=1u w=90u

Figure 6. Thông số của M6

*BÀI THỰC HÀNH SỐ 4: ỨNG DỤNG CỦA OP-AMP THỰC HIỆN TRÊN LTSPICE*

Monolithic MOSFET - M7

Model Name:  OK

Length(L):  Cancel

Width(W):

Drain Area(AD):

Source Area(AS):

Drain Perimeter(PD):

Source Perimeter(PS):

No. Parallel Devices(M):

NMOS l=1u w=8.1u

*Figure 7. Thông số của M7*

Thông số	Giá trị
$A_v$	$>5000 \text{ V/V}$
$V_{dd}$	$2.5\text{V}$
$V_{ss}$	$-2.5\text{V}$
Phase margin	$60^\circ$
GBW	$>5\text{Mhz}$
$C_L$	$10\text{pF}$
SR	$>10\text{V/uS}$
$P_d$	$<2\text{mW}$
ICMR	$-1 \text{ to } 2\text{V}$
$K'_p$	$32.69\mu\text{A/V}^2$
$K'_n$	$86.75\mu\text{A/V}^2$
$V_{TO(\text{Max})}$	$0.56\text{V}$
$V_{TO(\text{Min})}$	$0.33\text{V}$
$C_{ox}$	$86.325\mu\text{F/um}$
$\lambda_2$	$0.04$
$\lambda_3$	$0.05$

*Table 1. Thông số của Opamp*

*BÀI THỰC HÀNH SỐ 4: ỨNG DỤNG CỦA OP-AMP THỰC HIỆN TRÊN LTSPICE*

Thông số	Gía trị cần đạt	Gía trị mô phỏng/tính toán
$A_v$	$>5000 \text{ V/V}$	6053(tính)
$A_v \text{ gain}$		78.5 db
Phase margin	$60^\circ$	$20^\circ$
GBW	$>5\text{Mhz}$	5.29Mhz
SR	$>10\text{v/uS}$	SR+ = 8.653 V/us SR- =8.823 V/us
$P_d$	$<2\text{mW}$	0.397 mW
ICMR	-1 đến 2 V.	-0.33V to 0.415V
Vout range	0.5V đến 2V	$0 \rightarrow 1.94\text{V}$
Offset		Vout offset=-0.6V Vin offset=0.48V
CMRR		81.9dB
PSRR		PSRR+ =86.9dB - PSRR- =115.37dB
Settling time		182ns

*Table 2. Kết quả thiết kế*



## CHƯƠNG 2. CÁC MẠCH CƠ BẢN CỦA OP-AMP

### 1. Mạch khuếch đại không đảo

**Chức năng:** Khuếch đại tín hiệu đầu vào mà không đảo pha của tín hiệu. Đầu ra cùng pha với đầu vào.

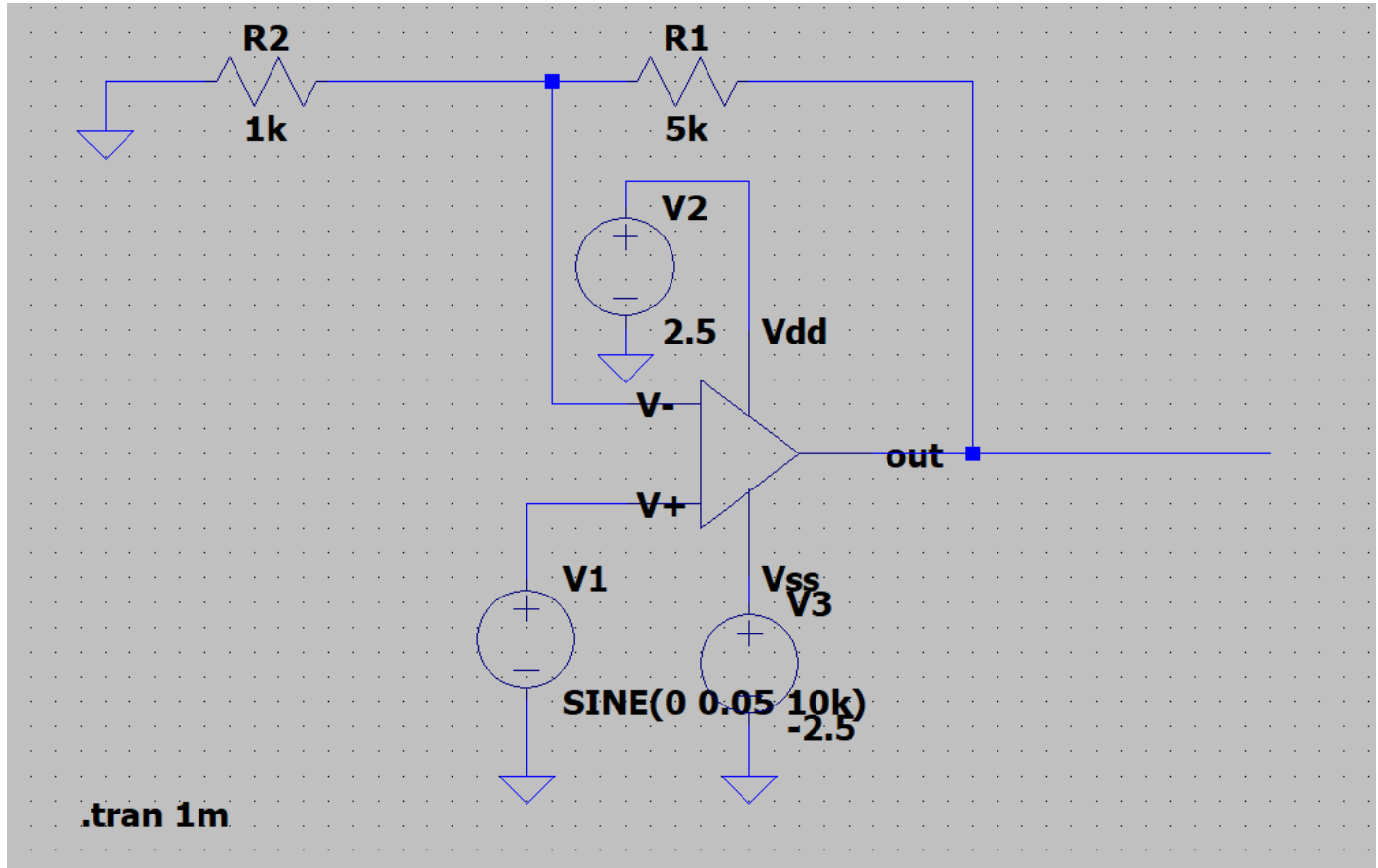


Figure 8. Mạch thiết kế của mạch khuếch đại không đảo

#### BÀI THỰC HÀNH SỐ 4: ỨNG DỤNG CỦA OP-AMP THỰC HIỆN TRÊN LTSPICE

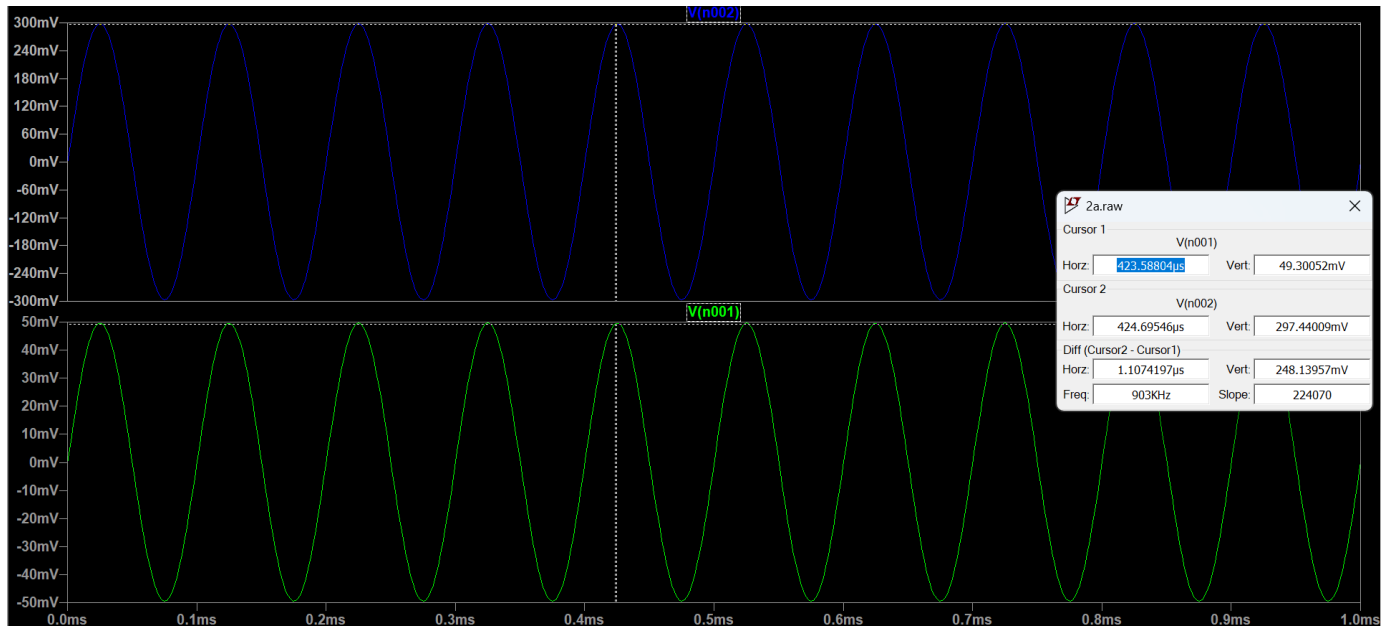


Figure 9. Kết quả khảo sát của mạch khuếch đại không đảo

Ta có công thức:

$$V_{\text{out}} = V_{\text{in}} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

Figure 10. Công thức mạch khuếch đại không đảo

Dựa vào công thức trên ta sẽ có :  $V_{\text{out}} = V_{\text{in}} \left( 1 + \frac{5k}{1k} \right) = 6V_{\text{in}} = 6 * 50\text{mV} = 300\text{mV}$ .

Ta thấy kết quả tính toán và kết quả mô phỏng giống nhau, pha của 2 mạch giống nhau. => Mạch chạy đúng chức năng.

## 2. Mạch khuếch đại đảo

**Chức năng:** Khuếch đại tín hiệu đầu vào và đảo ngược pha của tín hiệu. Đầu ra ngược pha với đầu vào.

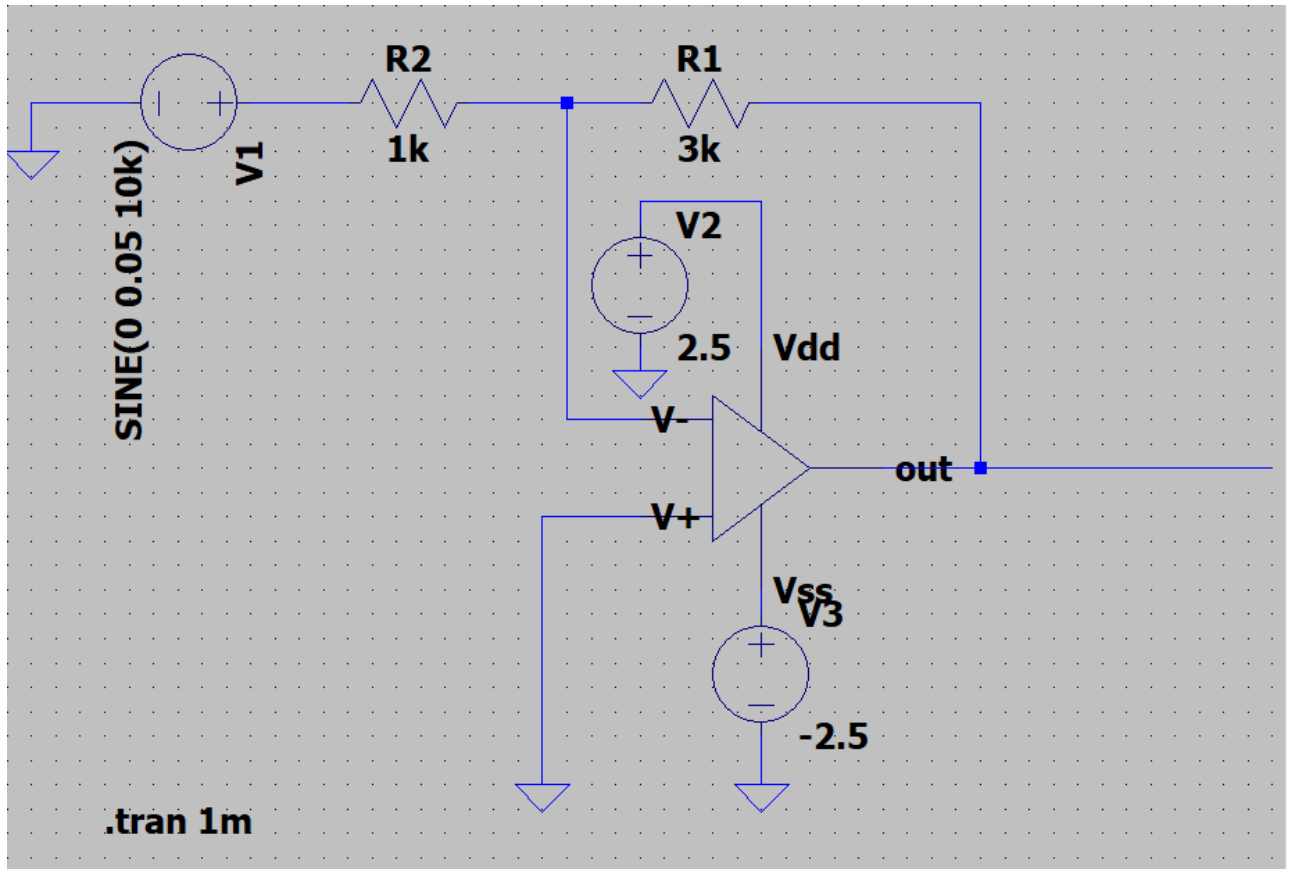


Figure 11. Mạch thiết kế của mạch khuếch đại đảo

#### BÀI THỰC HÀNH SỐ 4: ỨNG DỤNG CỦA OP-AMP THỰC HIỆN TRÊN LTSPICE

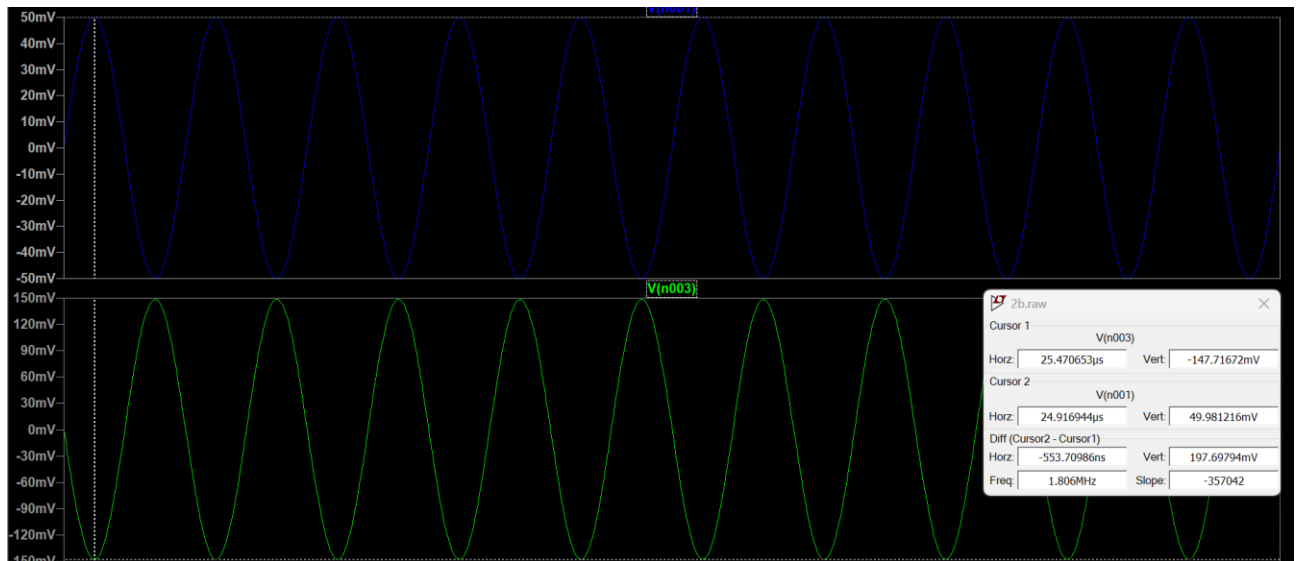


Figure 12. Kết quả khảo sát mạch khuếch đại đảo

Ta có công thức:

$$V_{\text{out}} = -V_{\text{in}} \left( \frac{R_f}{R_1} \right)$$

Figure 13. Công thức của mạch khuếch đại đảo

Dựa vào công thức trên ta sẽ có :  $V_{\text{out}} = -V_{\text{in}} \left( \frac{3k}{1k} \right) = -3V_{\text{in}} = -3 \cdot 50\text{mV} = -150\text{mV}$ .

Ta thấy kết quả tính toán và kết quả mô phỏng giống nhau, pha của 2 mạch ngược pha với nhau=> Mạch chạy đúng chức năng.

### 3. Mạch buffer

**Chức năng:** Cách ly các mạch với nhau, cung cấp trở kháng đầu vào cao và trở kháng đầu ra thấp mà không khuếch đại tín hiệu (hệ số khuếch đại bằng 1).

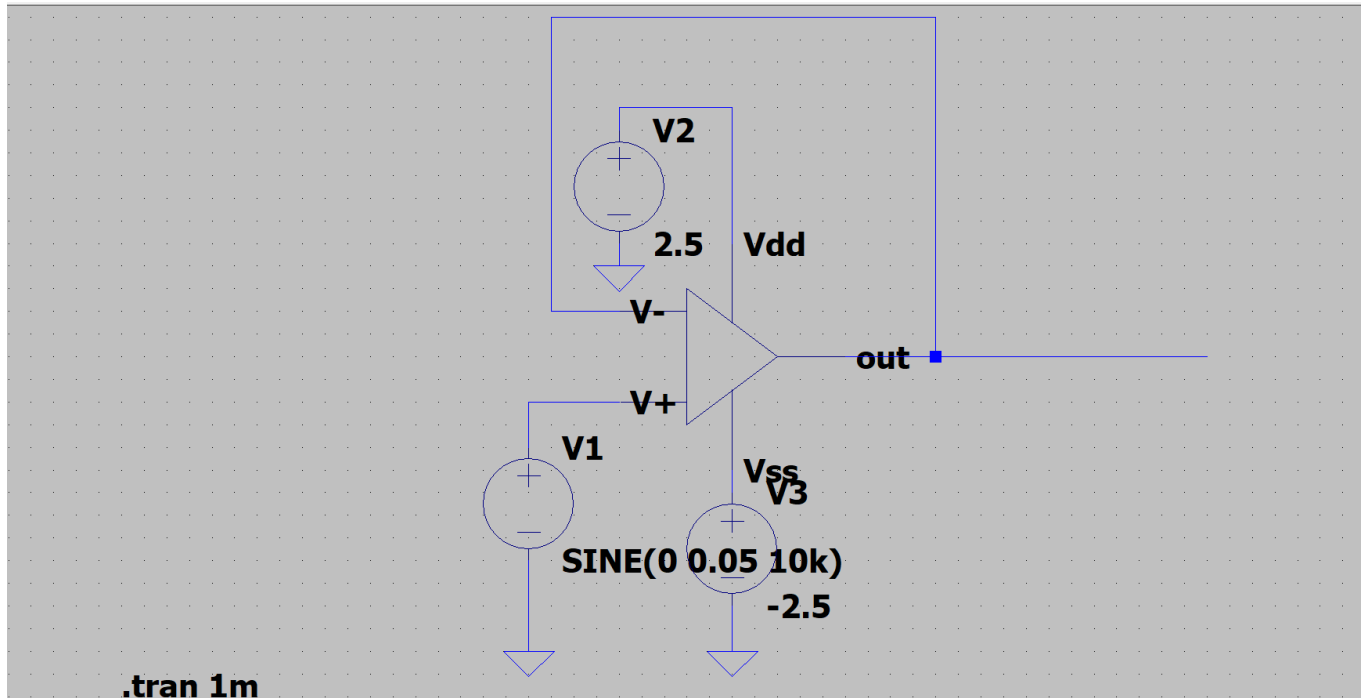


Figure 14. Mạch thiết kế mạch buffer

#### BÀI THỰC HÀNH SỐ 4: ỨNG DỤNG CỦA OP-AMP THỰC HIỆN TRÊN LTSPICE

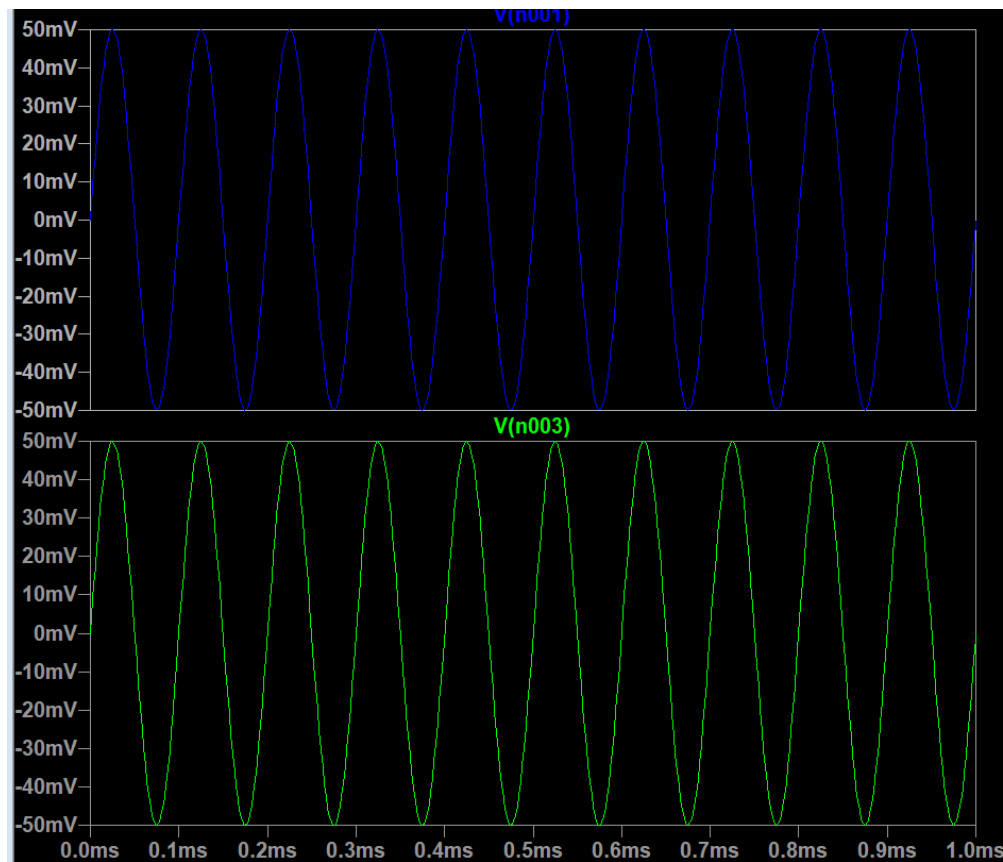


Figure 15. Kết quả khảo sát của mạch buffer

Công thức:

$$V_{\text{out}} = V_{\text{in}}$$

Dựa vào waveform ta thấy mạch hoạt động đúng với chức năng của mạch

#### 4. Mạch so sánh

**Chức năng:** So sánh hai tín hiệu đầu vào và tạo ra tín hiệu đầu ra ở mức cao hoặc thấp tùy thuộc vào tín hiệu nào lớn hơn.

- Nếu  $V1 > V2 \rightarrow V_{out} = 1$
- Nếu  $V1 < V2 \rightarrow V_{out} = 0$

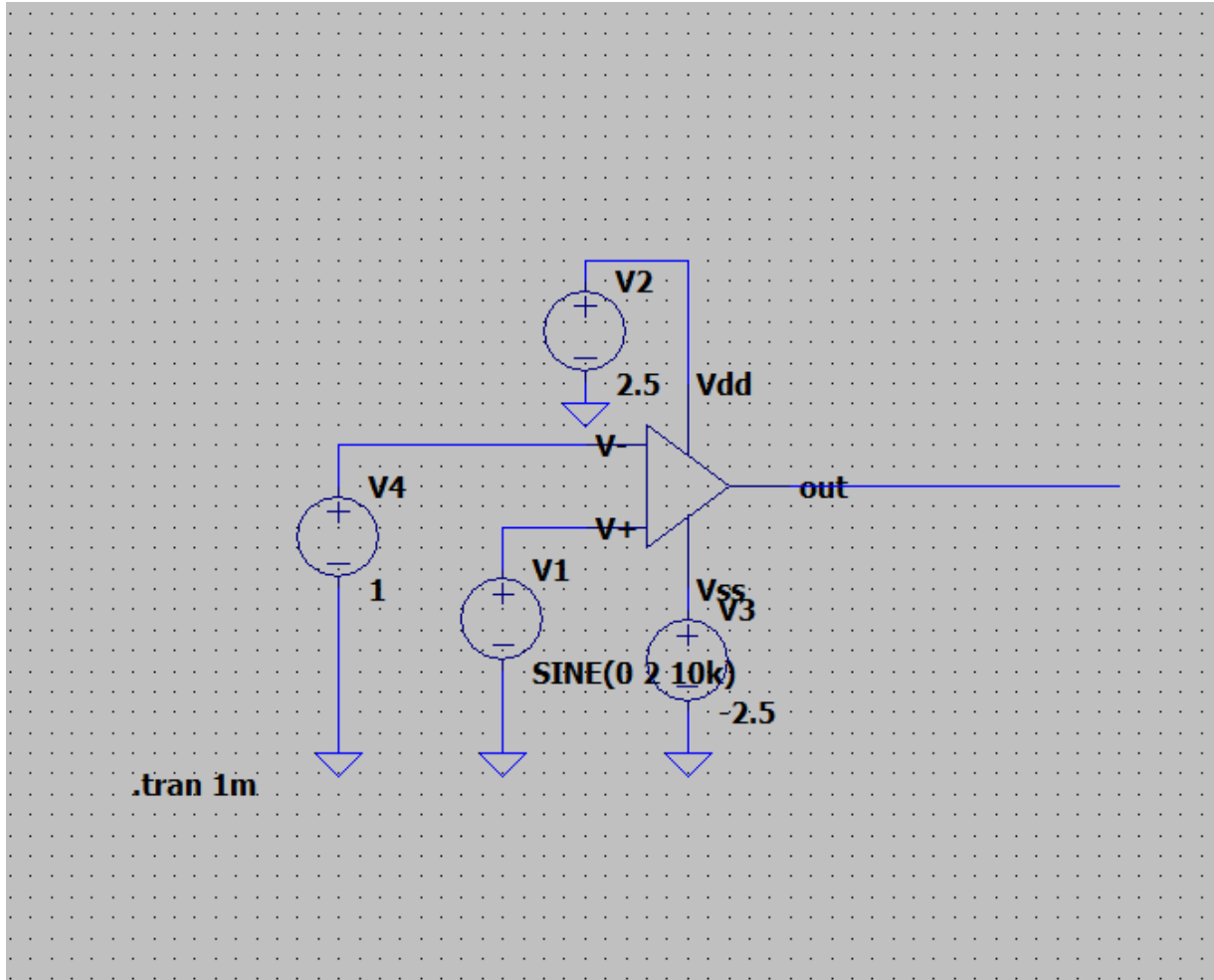


Figure 16. Mạch thiết kế của mạch so sánh

#### BÀI THỰC HÀNH SỐ 4: ỨNG DỤNG CỦA OP-AMP THỰC HIỆN TRÊN LTSPICE

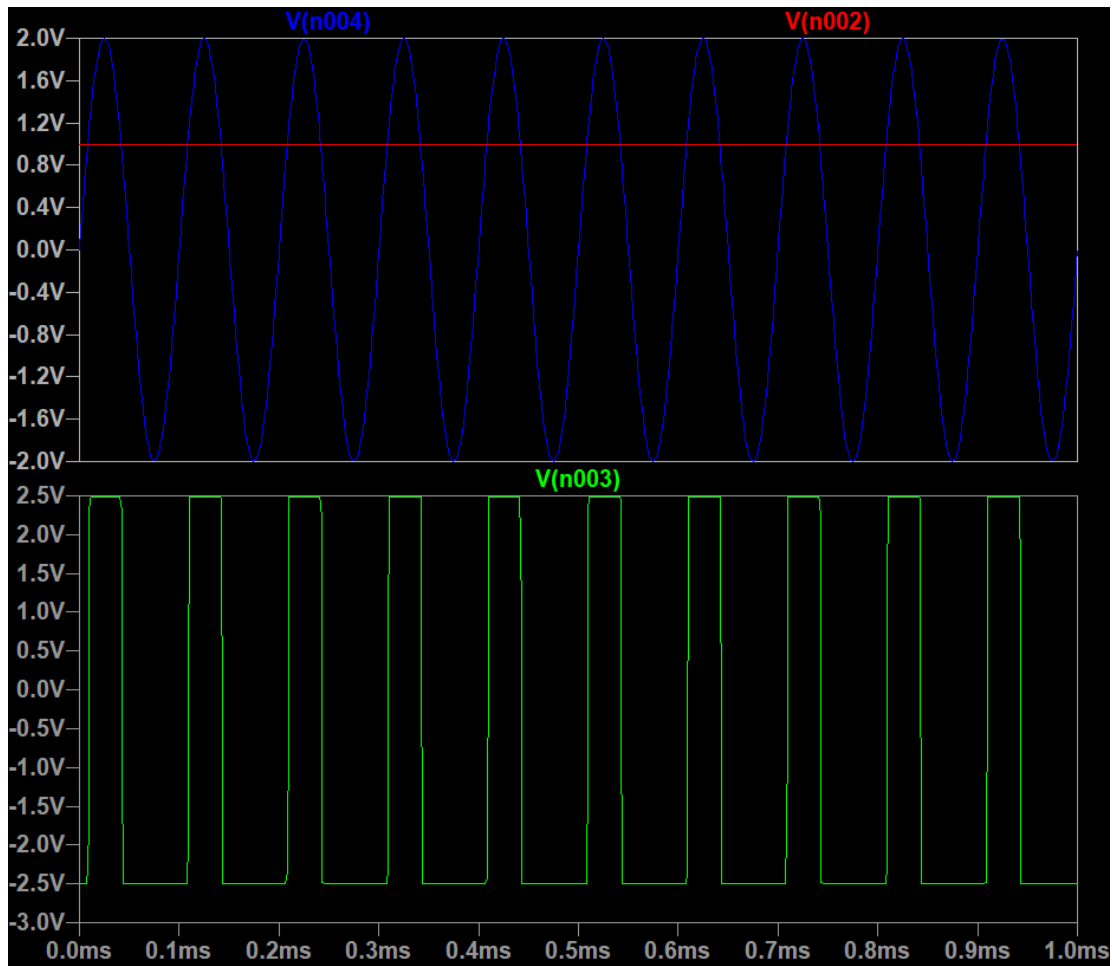


Figure 17. Kết quả khảo sát của mạch so sánh

Nhìn vào các dạng sóng trên: Khi  $V1 > V2$  tức đường xanh dương nằm trên đường màu đỏ thì đường màu xanh lá sẽ có giá trị là 2.5V. Ngược lại nếu đường màu xanh dương nằm dưới đường màu đỏ (tức  $V1 < V2$ ) thì đường màu xanh lá sẽ có giá trị là -2.5V.

⇒ Nhìn vào dạng sóng ta thấy mạch hoạt động đúng.



### 5. Mạch cộng đảo

**Chức năng:** Cộng các tín hiệu đầu vào lại với nhau và xuất ra một tín hiệu tổng, có thể được khuếch đại.

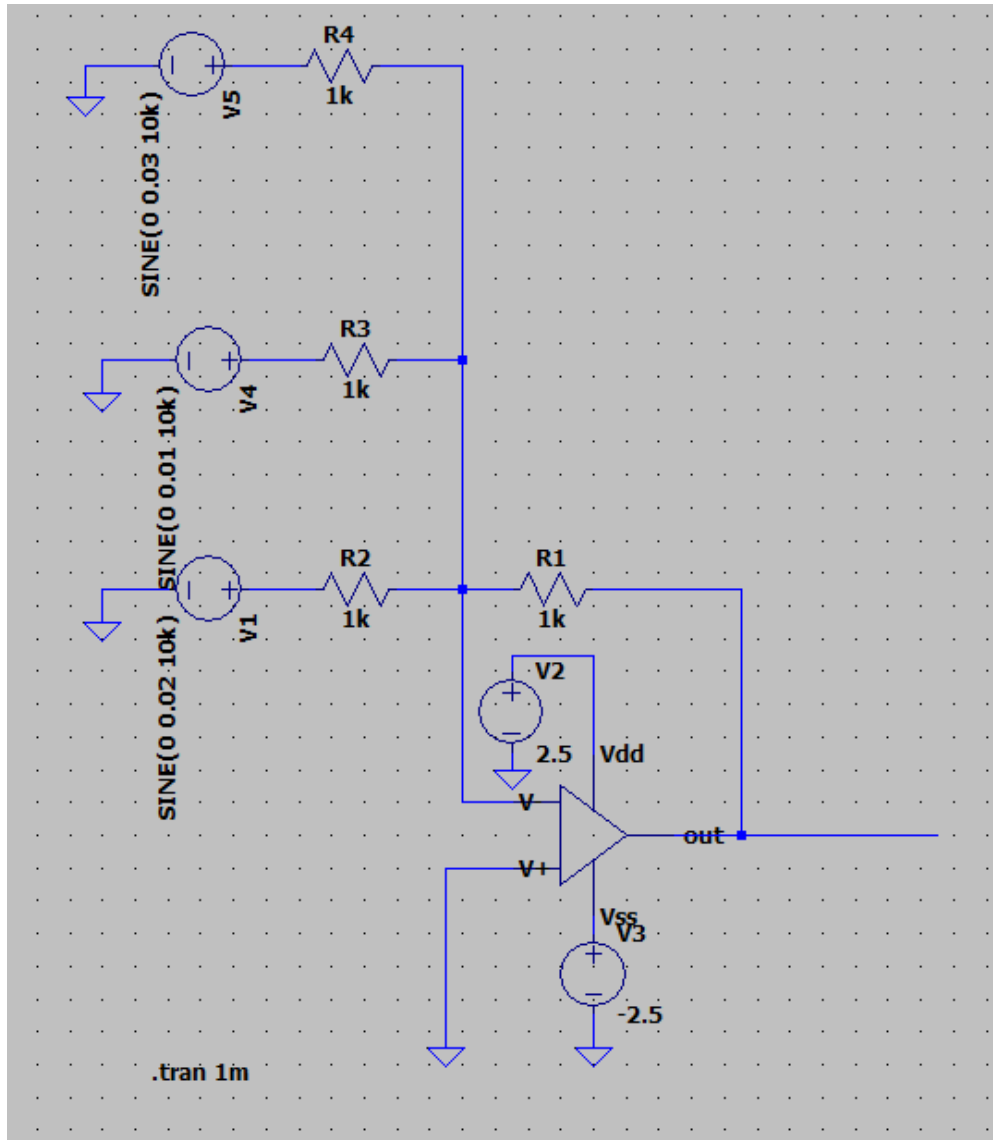


Figure 18. Mạch thiết kế của mạch cộng

BÀI THỰC HÀNH SỐ 4: ỨNG DỤNG CỦA OP-AMP THỰC HIỆN TRÊN LTSPICE

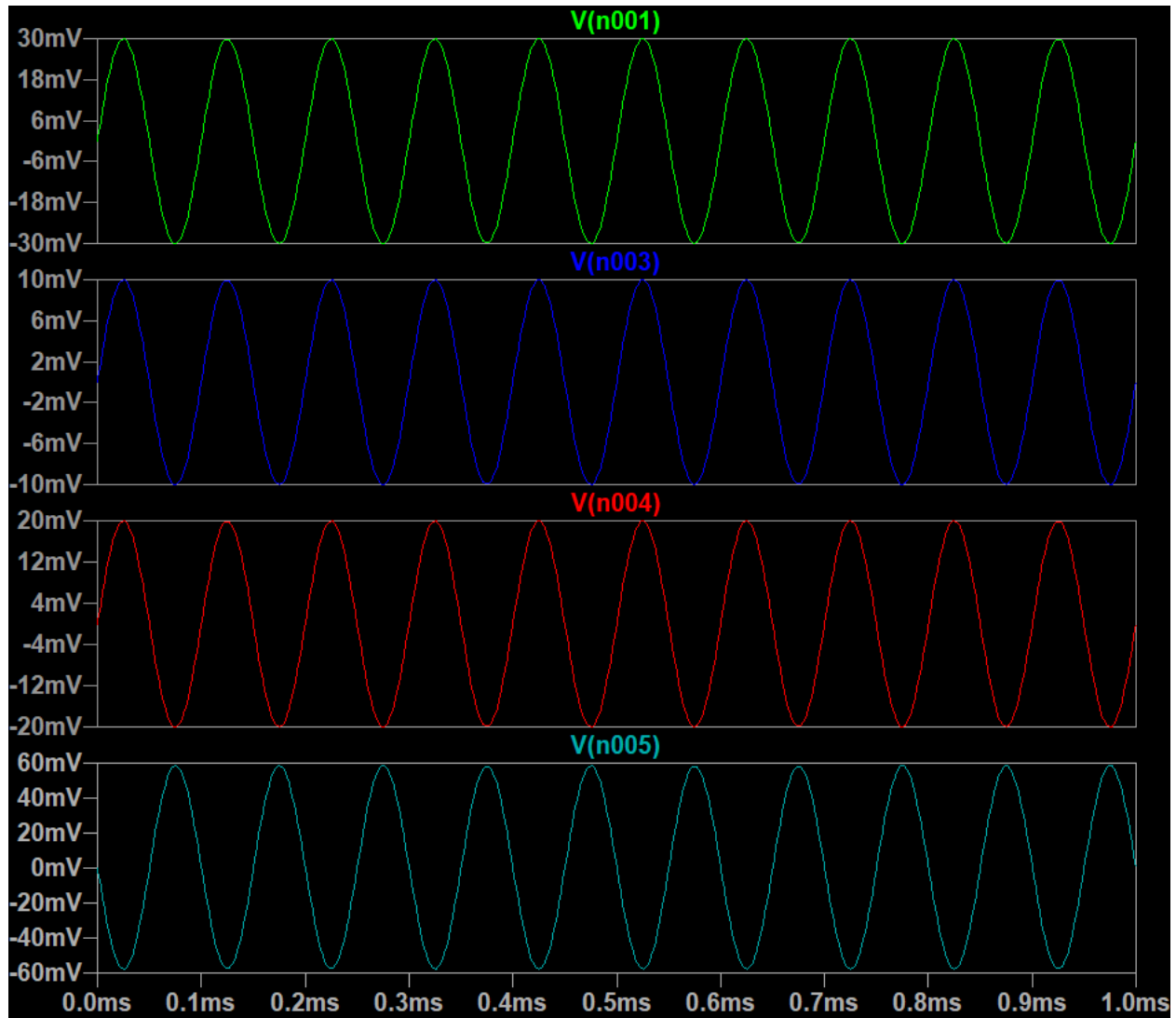


Figure 19. Kết quả khảo sát của mạch cộng

Ta có công thức:

$$V_{\text{out}} = -R_f \left( \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \dots + \frac{V_n}{R_n} \right)$$

$$V_{\text{out}} = -R_f \frac{V_1 + V_2 + \dots + V_n}{R}$$

Ta có:  $V_1 = 10\text{mV}$ ,  $V_2 = 20\text{mV}$ ,  $V_3 = 30\text{mV}$

$$V_{\text{out}} = -1k \frac{10 + 20 + 30}{1k} = -60\text{mV}$$

## BÀI THỰC HÀNH SỐ 4: ỨNG DỤNG CỦA OP-AMP THỰC HIỆN TRÊN LTSPICE

Ta thấy kết quả tính toán và kết quả mô phỏng giống nhau=> Mạch chạy đúng chức năng.

### 6. Mạch cộng không đảo

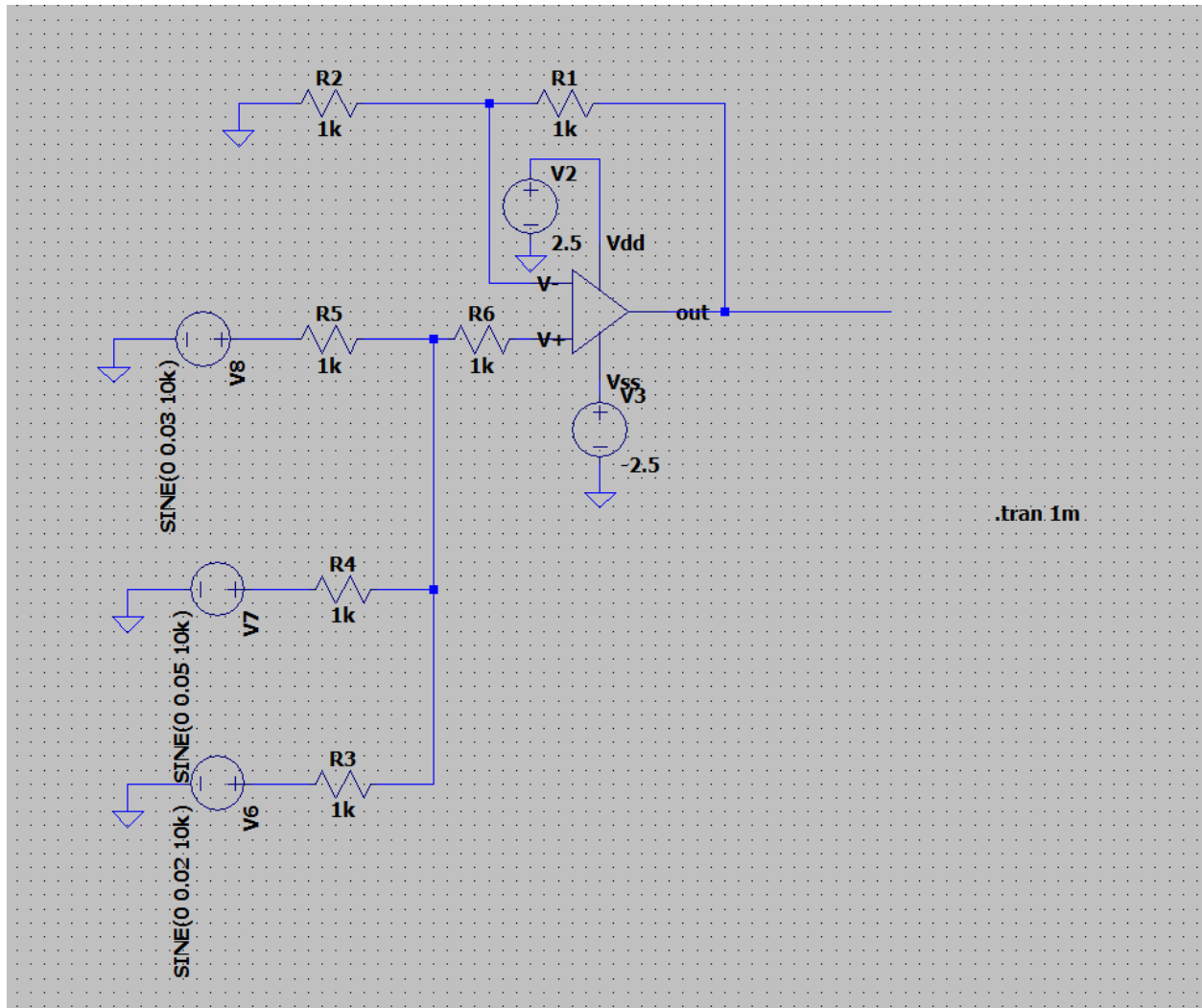


Figure 20. Mạch thiết kế của mạch cộng đảo

#### BÀI THỰC HÀNH SỐ 4: ỨNG DỤNG CỦA OP-AMP THỰC HIỆN TRÊN LTSPICE

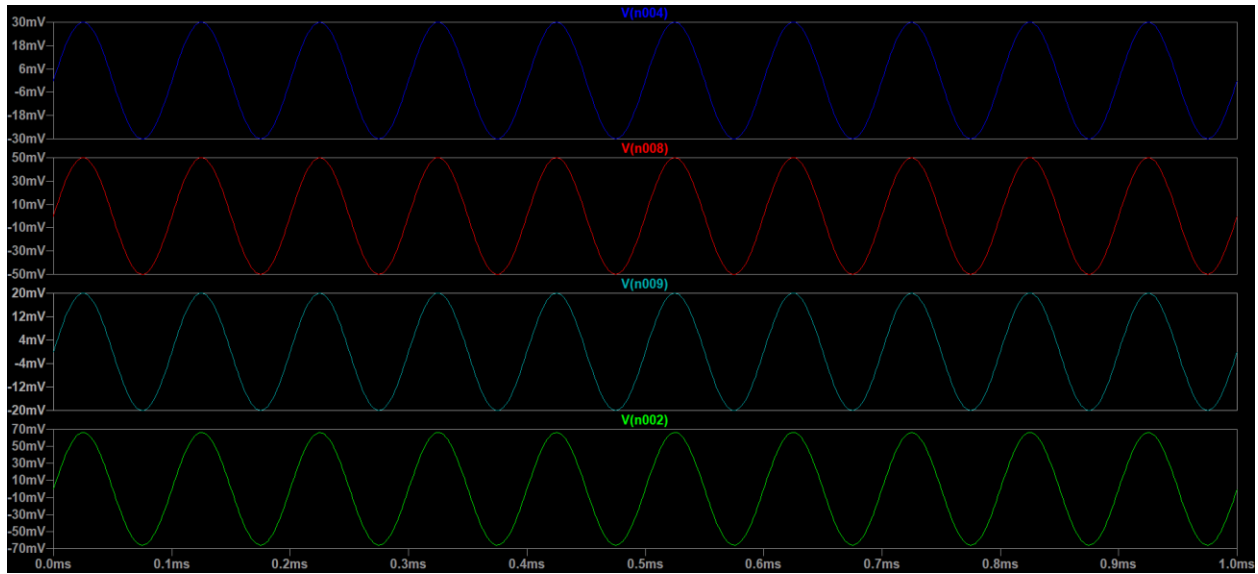


Figure 21. Kết quả khảo sát của mạch cộng đảo

Ta có công thức:

$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_f}{R_i}\right) * R_{td} \frac{V_1 + V_2 + \dots + V_n}{R}$$

Trong đó  $R_{td}$  là  $R_{td}$  của các điện trở mắc song song.

Ta có:  $V_1 = 20\text{mV}$ ,  $V_2 = 30\text{mV}$ ,  $V_3 = 50\text{mV}$ ,  $R_{td} = 333.3 \text{ m}\Omega$

$$V_{out} = \left(1 + \frac{1k}{1k}\right) * 333.3 * \frac{20 + 30 + 50}{1000} = 66.66\text{mV}$$

Ta thấy kết quả tính toán và kết quả mô phỏng giống nhau  $\Rightarrow$  Mạch chạy đúng chức năng.

### 7. Mạch khuếch đại vi sai (Mạch trừ)

**Chức năng:** Khuếch đại hiệu điện thế giữa hai tín hiệu đầu vào và lọc bỏ những thành phần chung của hai tín hiệu.

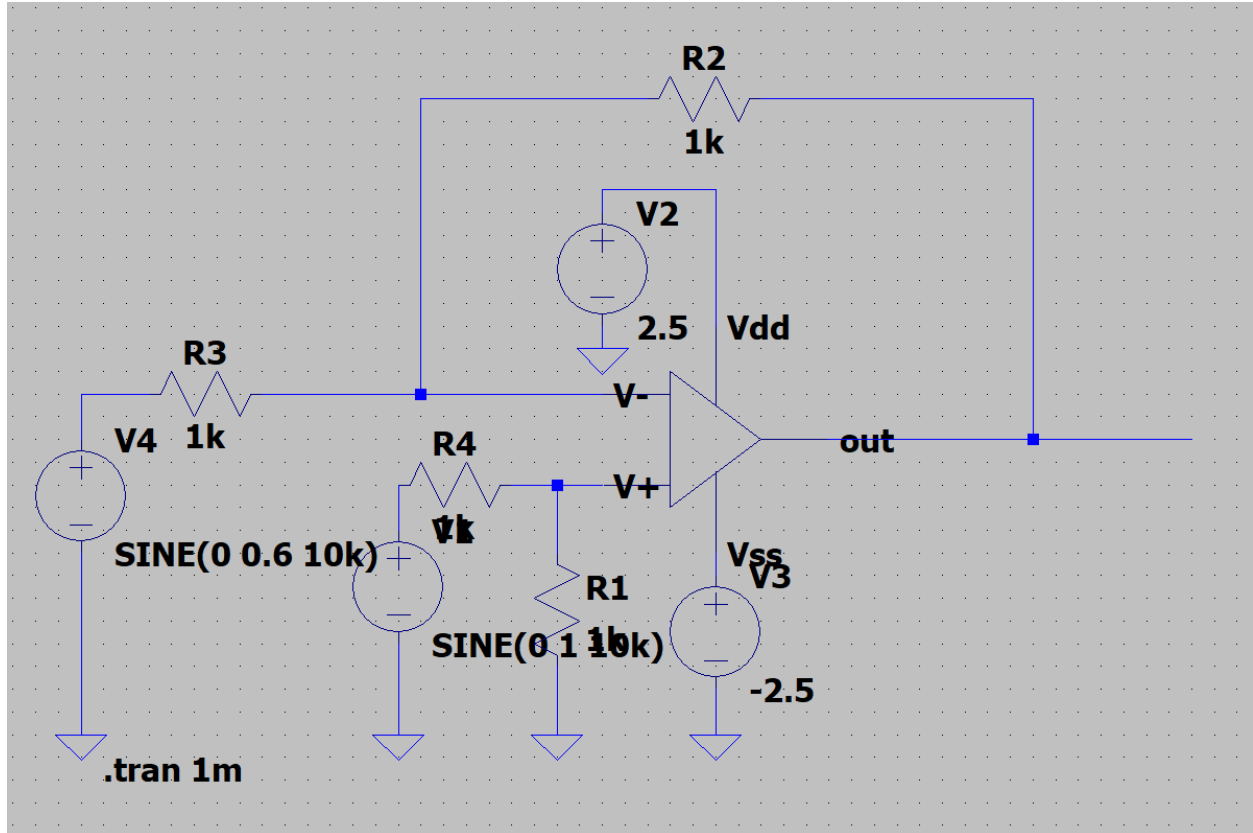


Figure 22. Mạch thiết kế của Mạch khuếch đại vi sai (Mạch trừ)

#### BÀI THỰC HÀNH SỐ 4: ỨNG DỤNG CỦA OP-AMP THỰC HIỆN TRÊN LTSPICE

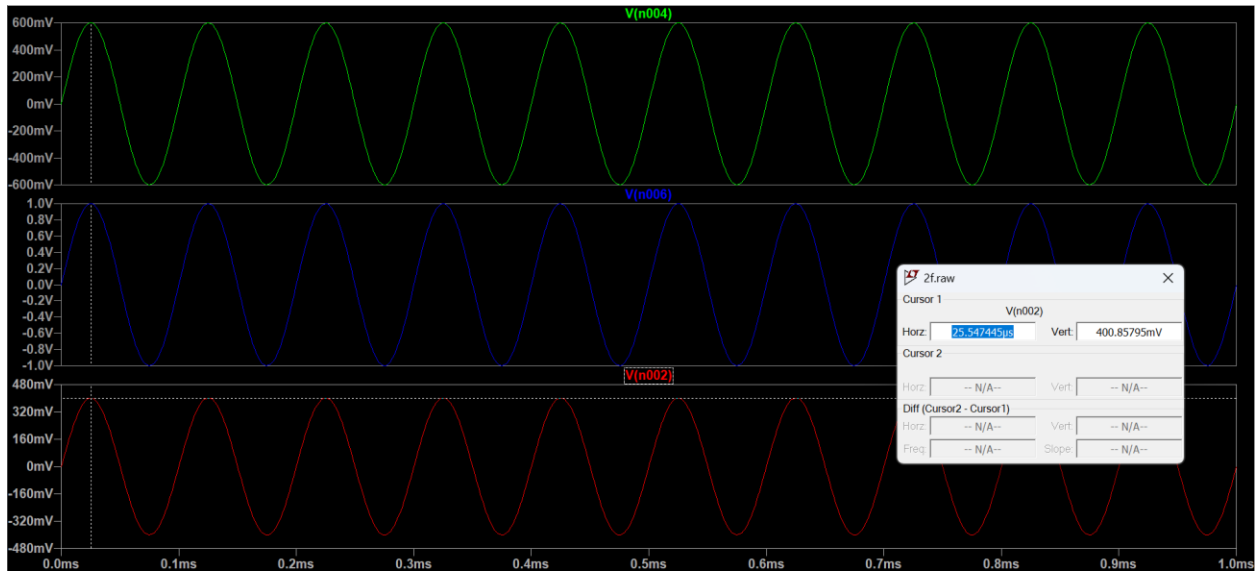


Figure 23. Kết quả khảo sát của Mạch khuếch đại vi sai ( Mạch trừ)

Ta có công thức :  $V_o = V_2 - V_1$

Ta lại có  $V_1=0.6V$  ,  $V_2=1V$

$\Rightarrow V_o=1-0.6=0.4V$

Ta thấy kết quả tính toán và kết quả mô phỏng giống nhau  $\Rightarrow$  Mạch chạy đúng chức năng.

## CHƯƠNG 3. MẠCH ỨNG DỤNG TẠO HÀM

### 1. Mạch vi phân

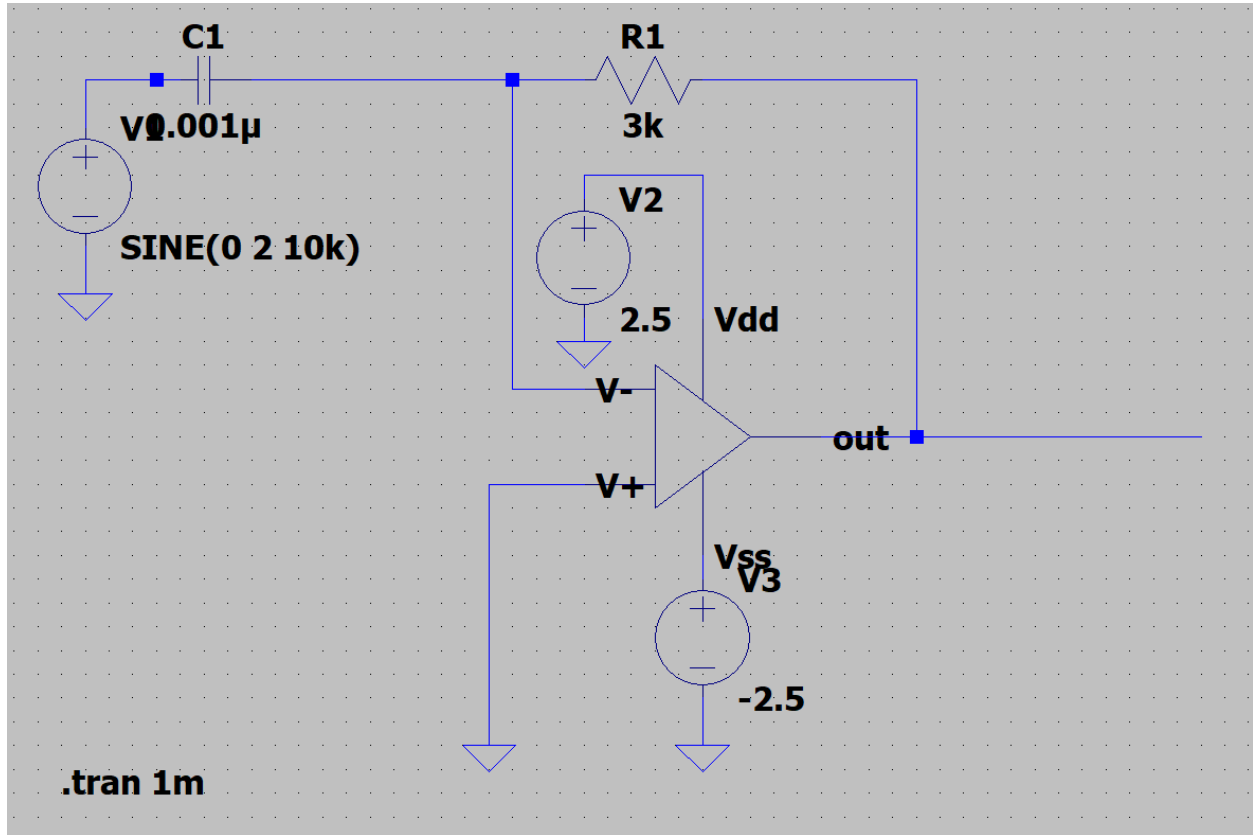


Figure 24. Mạch thiết kế của mạch vi phân

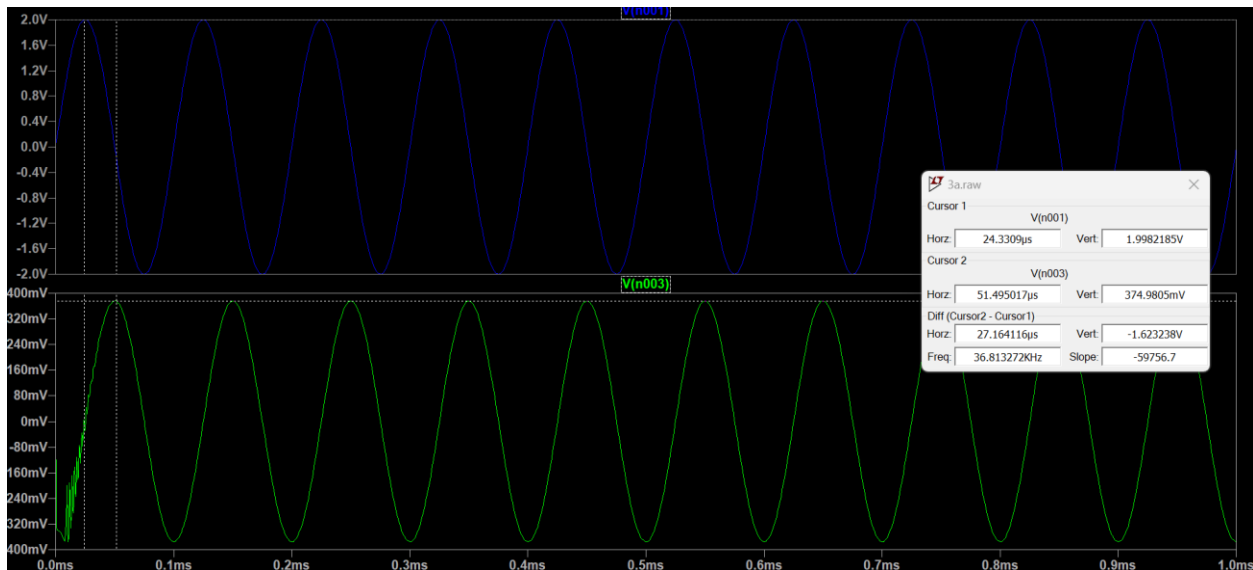


Figure 25. Kết quả khảo sát của mạch vi phân

#### BÀI THỰC HÀNH SỐ 4: ỨNG DỤNG CỦA OP-AMP THỰC HIỆN TRÊN LTSPICE

Ta có công thức:

$$V_{out} = -RC \left( \frac{dV_{in}}{dt} \right)$$

Ta có:  $R=3k$ ,  $C=0.001\mu$ ,  $V_{in}=2\sin(\frac{2\pi}{100\mu}t)$

$$\Rightarrow V_{out} = -3k * 0.001\mu * 2 * \frac{2\pi}{100\mu} \cos(\frac{2\pi}{100\mu}t)$$

Time	25us	30us	50us	75us	100us
V <sub>in</sub>	2V	1.88V	0	-2V	0V
V <sub>out</sub>	0V	125mV	375mV	0V	375mV

Figure 26. Kết quả tính toán

Time	25us	30us	50us	75us	100us
V <sub>in</sub>	2V	1.88V	0	-2V	0V
V <sub>out</sub>	0V	125mV	375mV	0V	375mV

Figure 27. Kết quả mô phỏng

Ở 25us đầu tiên có sự nhiễu tín hiệu, nguyên nhân là do các tụ điện mới bắt đầu sạc nên chưa ổn định. Cách giải quyết:

- Giảm điện dung của tụ điện.
- Tăng nguồn đầu vào.

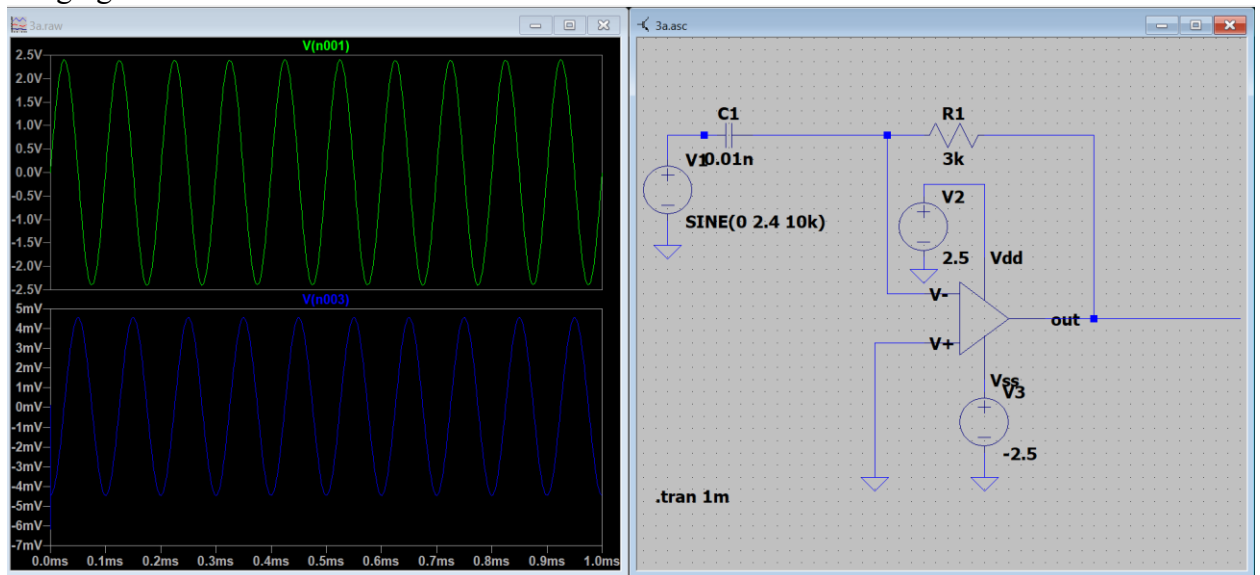


Figure 28. Sau khi thay đổi điện dung và nguồn đầu vào của mạch vi phân

Ta thấy được V<sub>out</sub>(đường màu xanh dương) đã đỡ nhiễu hơn nhưng bù lại giá trị V<sub>out</sub> sẽ nhỏ lại do V<sub>out</sub> theo công thức tỉ lệ thuận với 2 giá trị điện dung và nguồn đầu vào.

Ta thấy kết quả tính toán và kết quả mô phỏng giống nhau=> Mạch chạy đúng chức năng.



## 2. Mạch tích phân

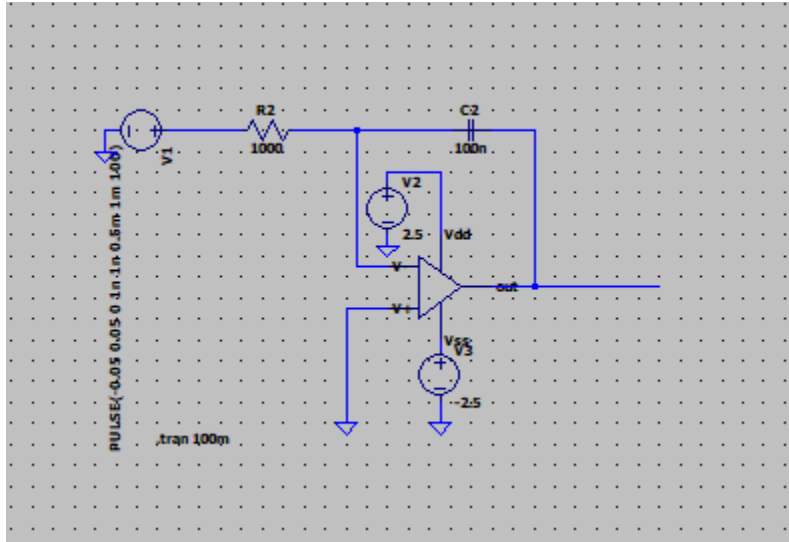


Figure 29. Mạch thiết kế của mạch tích phân

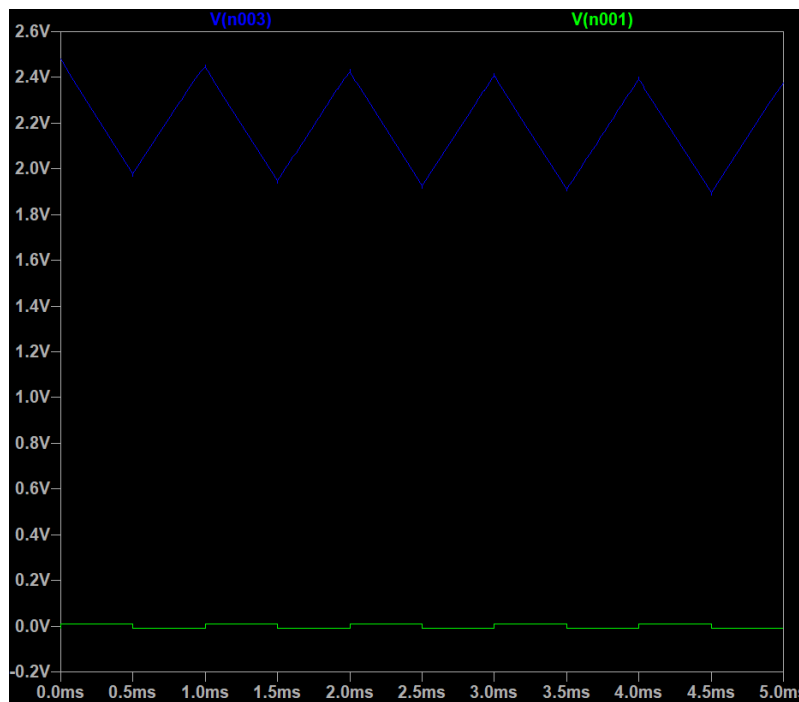


Figure 30. Kết quả khảo sát mạch tích phân

Ta có công thức:

$$V_{\text{out}} = \int_0^t -\frac{V_{\text{in}}}{RC} dt$$

#### *BÀI THỰC HÀNH SỐ 4: ỨNG DỤNG CỦA OP-AMP THỰC HIỆN TRÊN LTSPICE*

Ta có:  $R=1000$ ,  $C=100n$ ,  $V_{in}=-50mV$  hoặc  $V_{in}=50mV$

$$\text{Với } V_{in}=-50mV \Rightarrow V_{out} = \frac{50 \times 10^{-3}}{100 \times 10^{-9} \times 1000} \Big|_{t_1}^{t_2} = \frac{50(t_2 - t_1) \times 10^{-3}}{100 \times 10^{-9} \times 1000}$$

$$\text{Với } V_{in}=50mV \Rightarrow V_{out} = - \frac{50 \times 10^{-3}}{100 \times 10^{-9} \times 1000} \Big|_{t_1}^{t_2} = - \frac{50(t_2 - t_1) \times 10^{-3}}{100 \times 10^{-9} \times 1000}$$

Do còn ảnh hưởng bởi offset và các yếu tố khác nên ta chỉ kiểm tra dạng sóng xem đúng hình dạng không.

Cụ thể nếu  $V_{in}=-50mV$  thì  $V_{out}$  sẽ có hướng đi lên, ngược lại  $V_{in}=50mV$  thì  $V_{out}$  có hướng đi xuống.

Ta thấy dạng sóng như mong muốn  $\Rightarrow$  Mạch chạy đúng chức năng.

## CHƯƠNG 4. MẠCH TRIGGER SMITH

Trigger Smith là một mạch so sánh có phản hồi dương (positive feedback). Nó được sử dụng để loại bỏ hiện tượng dao động (chattering) khi tín hiệu đầu vào thay đổi chậm qua ngưỡng so sánh.

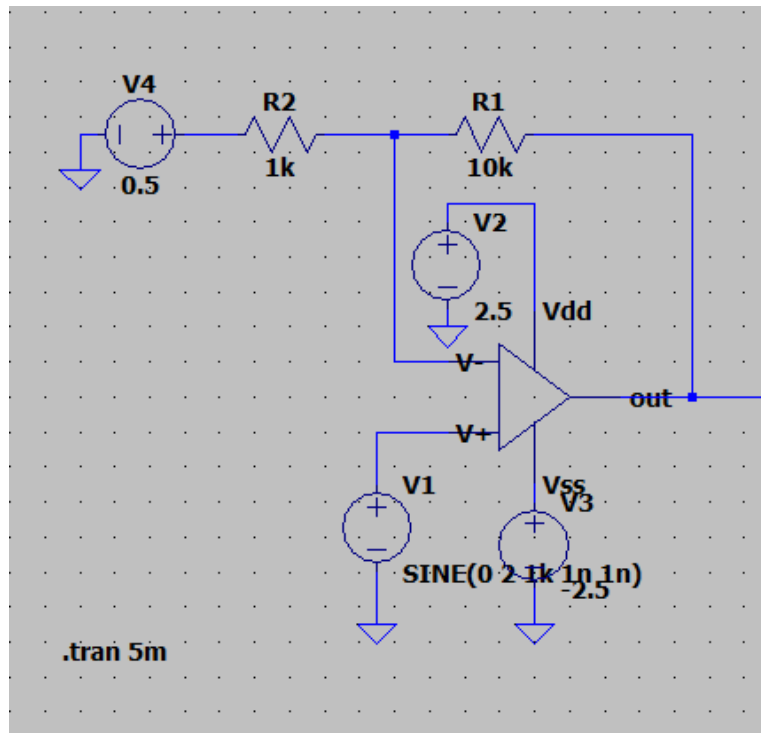


Figure 31. Mạch thiết kế của mạch Trigger Smith

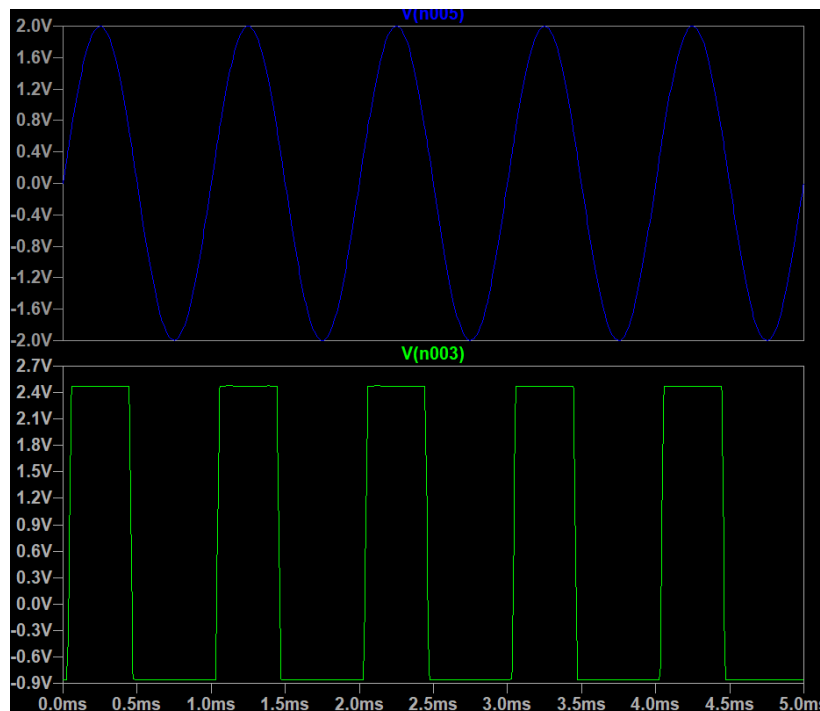


Figure 32. Kết quả khảo sát của mạch Trigger smith

#### BÀI THỰC HÀNH SỐ 4: ỨNG DỤNG CỦA OP-AMP THỰC HIỆN TRÊN LTSPICE

Nhìn vào waveform ta thấy mạch hoạt động đúng yêu cầu là chuyển từ sóng sin( thành sóng vuông.

=> Mạch chạy đúng chức năng.

So sánh mạch Trigger Smith và Mạch So Sánh (Comparator):

Đặc điểm	Trigger Smith	Mạch So Sánh (Comparator)
<b>Chức năng chính</b>	Ổn định tín hiệu đầu ra khi tín hiệu đầu vào thay đổi chậm hoặc có nhiễu	So sánh hai điện áp và thay đổi đầu ra dựa trên sự chênh lệch giữa chúng
<b>Phản hồi</b>	Có phản hồi dương (positive feedback)	Không có phản hồi (no feedback)
<b>Ngưỡng kích hoạt</b>	Có hai ngưỡng khác nhau: ngưỡng bật (upper threshold) và ngưỡng tắt (lower threshold)	Một ngưỡng duy nhất
<b>Hiện tượng dao động</b>	Tránh hiện tượng dao động (hysteresis)	Có thể bị dao động nếu tín hiệu đầu vào thay đổi chậm
<b>Ứng dụng chính</b>	Xử lý tín hiệu đầu vào nhiễu, tạo xung, chuyển đổi tín hiệu analog sang digital	Các mạch so sánh đơn giản, bộ chuyển đổi tín hiệu, mạch ngắt
<b>Điện áp đầu ra</b>	Đầu ra ổn định, tránh nhiễu do tín hiệu đầu vào	Đầu ra thay đổi tức thì, có thể không ổn định nếu tín hiệu đầu vào nhiễu
<b>Thay đổi đầu ra</b>	Chỉ thay đổi khi tín hiệu đầu vào vượt qua ngưỡng bật hoặc ngưỡng tắt	Thay đổi ngay lập tức khi tín hiệu đầu vào vượt qua ngưỡng

Table 3. So sánh mạch Trigger Smith và Mạch So Sánh (Comparator)

# END