

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет «Одеська політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ ЗАСОБИ СИСТЕМ ІoT

Одеса: НУОП, 2024

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет «Одеська політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ ЗАСОБИ СИСТЕМ ІoT

для здобувачів вищої освіти  
спеціальності 122 «Комп'ютерні науки»

Затверджено  
на засіданні кафедри  
інформаційних систем  
Протокол № 1 від 01.09.2023 р.

Одеса: НУОП, 2024

Інструментальні засоби систем IoT. Методичні вказівки до лабораторних робіт для здобувачів вищої освіти спеціальності 122 «Комп'ютерні науки»

/Уклад.: М.В. Ядро́ва, А.О. Ні́коленко, В.Л. Ко́стенко. Одеса: НУОП, 2024. 39 с.

Укладачі: М.В. Ядро́ва,  
А.О. Ні́коленко, канд. техн. наук, доценти  
В.Л. Ко́стенко, докт. техн. наук, професор

## Зміст

	стор
Лабораторна робота № 1 .....	4
Лабораторна робота № 2 .....	10
Лабораторна робота № 3 .....	166
Лабораторна робота № 4 .....	22
Лабораторна робота № 5 .....	26
Лабораторна робота № 6 .....	31
Лабораторна робота № 7 .....	37
Список літератури .....	399

## Лабораторна робота № 1

### Інвертуючий, неінвертуючий підсилювачі та суматор на основі операційних підсилювачів

**Мета роботи:** дослідження операційних підсилювачів (ОП) та схем інвертуючого, неінвертуючого підсилювачів та суматора на основі ОП.

#### Завдання:

- 1.Зібрати схему інвертуючого підсилювача із заданим коефіцієнтом підсилення і дослідити його властивості.
- 2.Зібрати схему неінвертуючого підсилювача із заданим коефіцієнтом підсилення і дослідити його властивості.
3. Зібрати схему аналогового суматора і дослідити його властивості.

#### Рекомендації до виконання лабораторної роботи

1.Використовуючи Library Browser (рис. 1.1), зібрати схему інвертуючого підсилювача (рис. 1.2) або неінвертуючого підсилювача (рис. 1.3) із заданим коефіцієнтом підсилення.

Вибрати номінали резисторів R1, R2, R3 відповідно до заданого коефіцієнта підсилення:

для інвертуючого підсилювача  $K_{\text{уос}} = -R_3/R_2$ ,  $R_1 \approx R_2$ ;

для неінвертуючого підсилювача  $K_{\text{уос}} = 1+R_3/R_2$ ,  $R_1 \approx R_2$ .

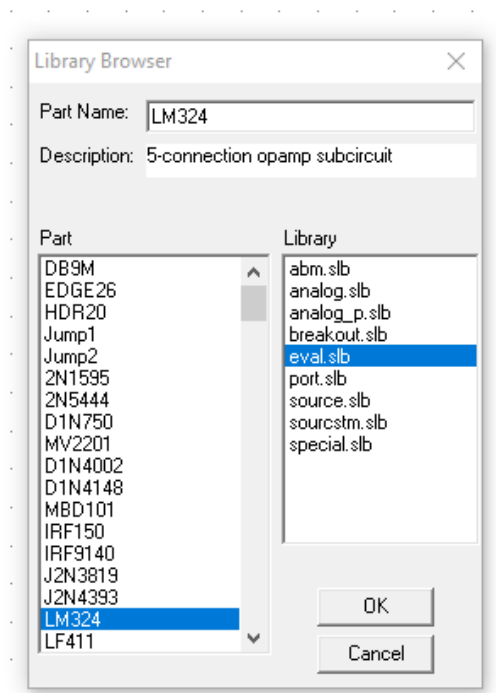


Рис. 1.1. Бібліотека елементів принципів схем

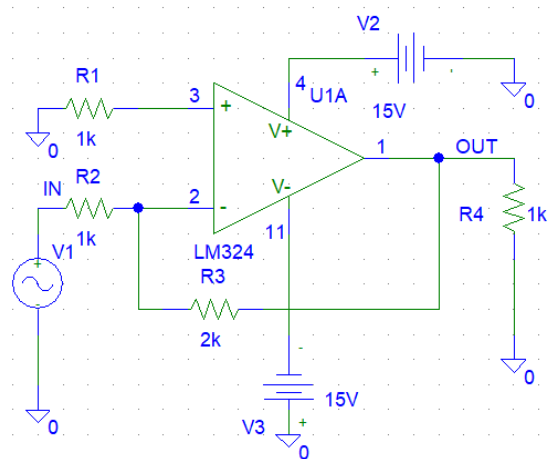


Рис. 1.2. Схема інвертуючого підсилювача

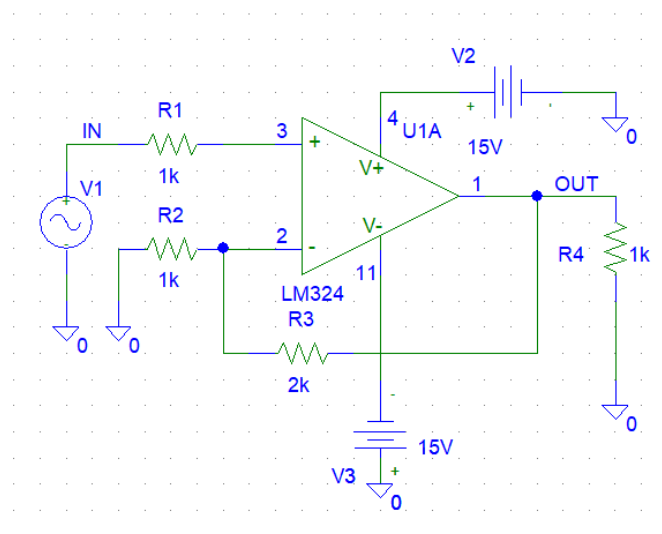


Рис. 1.3. Схема неінвертуючого підсилювача

Підключити генератор синусоїдальної напруги VSIN (V1) і подати сигнал з заданими параметрами (рис. 1.4).

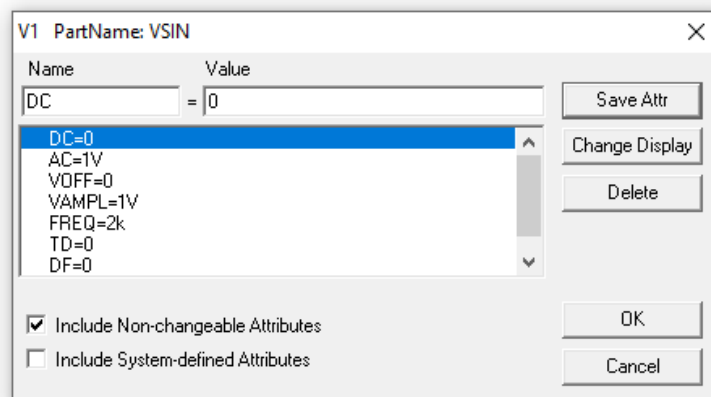


Рис. 1.4. Вікно атрибутів генератора синусоїдальної напруги VSIN

Одержати часові діаграми вхідного і вихідного сигналів схем підсилювачів і переконатися в працездатності схеми.

Для отримання часових діаграм слід використати Transient-аналіз – аналіз часових процесів ( рис. 1.5, 1.6) та запустити моделювання.

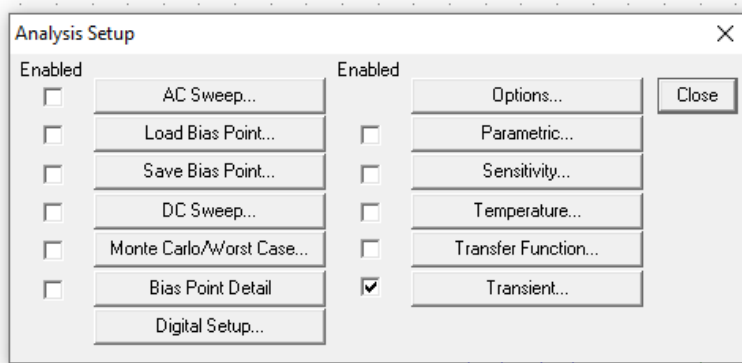


Рис. 1.5. Вибір режимів аналізу схем

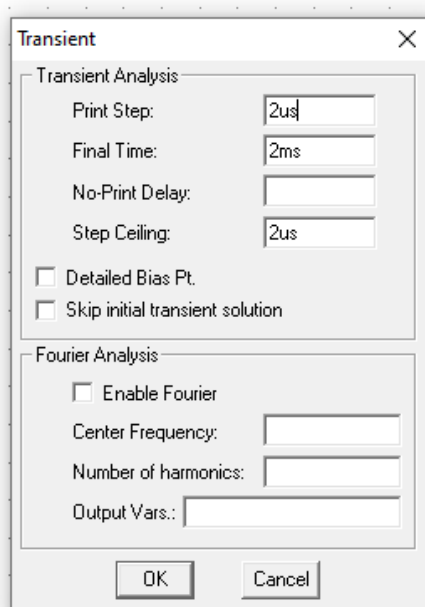


Рис. 1.6. Вікно атрибутів Transient

На підставі отриманих діаграм (рис. 1.7, 1.8) визначити коефіцієнт підсилення  $K_{\text{цос}} = U_{\text{вих}} / U_{\text{вх}}$ .

Порівняти отримані значення коефіцієнтів підсилення з заданими.

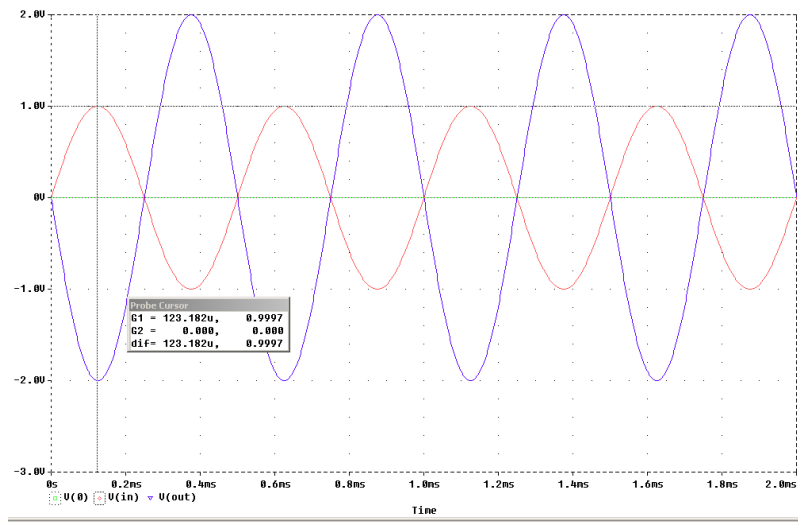


Рис. 1.7. Часові діаграми інвертуючого підсилювача

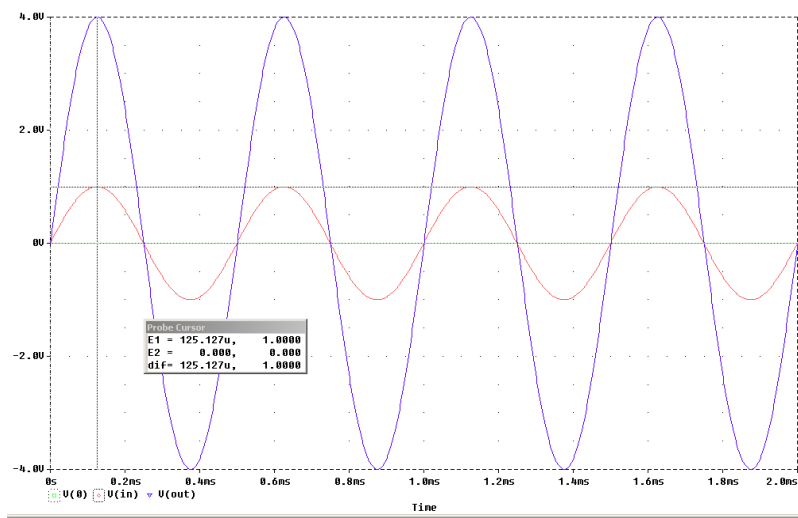


Рис. 1.8. Часові діаграми неінвертуючого підсилювача

Одержати амплітудно-частотну характеристику (АЧХ) підсилювача (рис. 1.9) та визначити граничну частоту  $f_{2p}$  за рівнем  $0.707U_{вих\max.}$ .

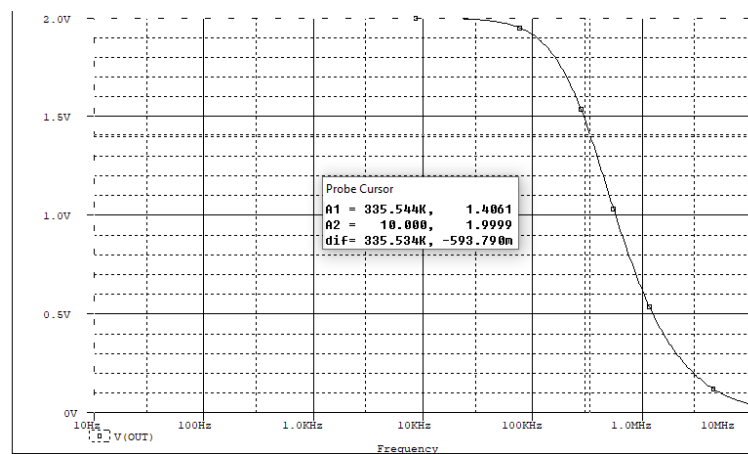


Рис. 1.9. Амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) підсилювача

Для одержання частотних характеристик слід використати AC Sweep-аналіз (рис. 1.10, 1.11) та запустити моделювання.

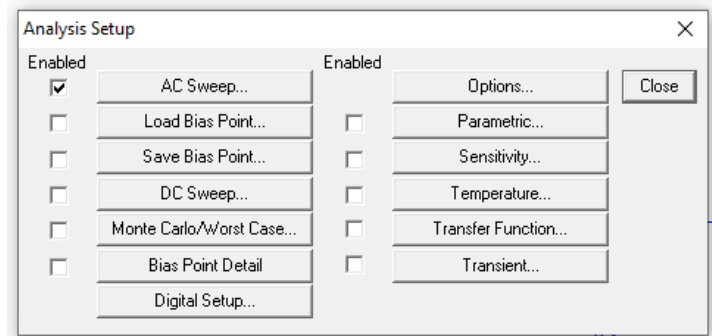


Рис. 1.10. Вибір режимів аналізу схем

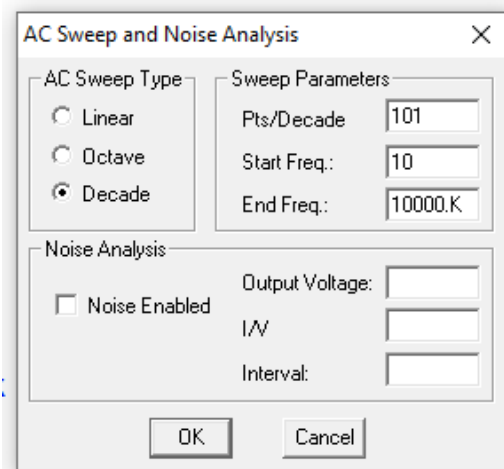


Рис. 1.11. Вікно атрибутів AC Sweep

2. Зібрати схему аналогового суматора (рис. 1.12).

Подати вхідні сигнали  $U_{BX1}$ ,  $U_{BX2}$ ,  $U_{BX3}$ .

Отримати часові діаграми.

Визначити значення вихідного сигналу  $U_{BIX}$  за часовими діаграмами та за формулою

$$U_{BIX} = - \left( \frac{R_{oc}}{R_1} U_{ex1} + \frac{R_{oc}}{R_2} U_{ex2} + \frac{R_{oc}}{R_3} U_{ex3} \right).$$

З формули виходить, що вихідний сигнал рівний сумі вхідних сигналів з урахуванням коефіцієнтів посилення по кожному з каналів.

Якщо  $R_1 = R_2 = R_3 = R_{OC}$ , то  $U_{BIX} = -(U_{BX1} + U_{BX2} + U_{BX3})$ .

Порівняти отримані результати.



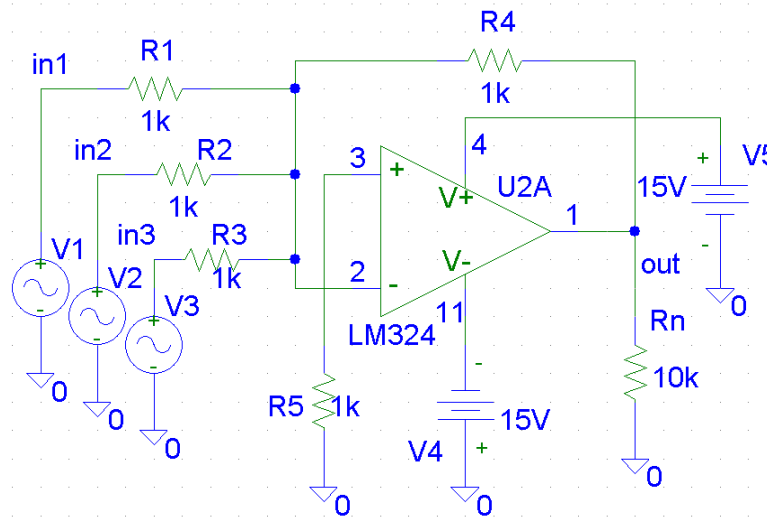


Рис. 1.12. Схема аналогового суматора

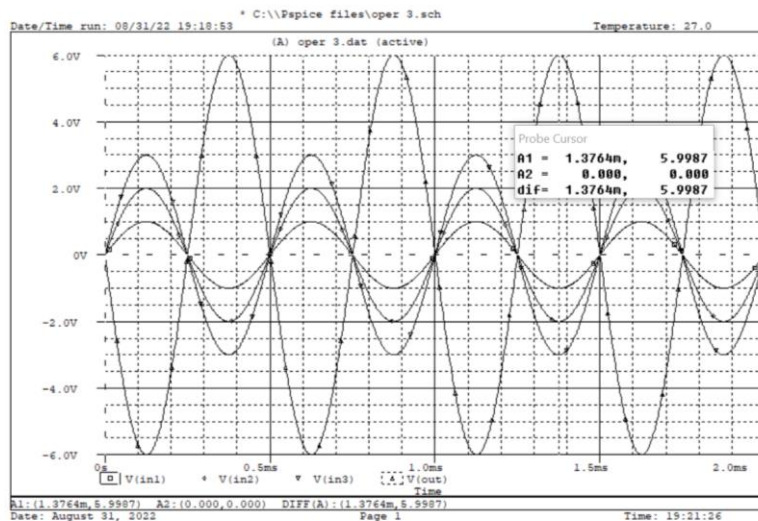


Рис. 1.13. Часові діаграми інвертуючого суматора

## Зміст звіту

1. Мета роботи і завдання до виконання.
2. Схеми дослідження операційного підсилювача.
3. Осцилограми напруг та АЧХ
4. Розрахунок параметрів підсилювачів.
5. Висновки по виконаній роботі.

## Контрольні запитання

1. Що таке операційний підсилювач?
2. Охарактеризуйте призначення, характеристики і параметри ОП.
3. Приведіть схеми інвертуючого, неінвертуючого і диференціального включення ОП.
4. Дайте порівняльну характеристику параметрів ОП для різних схем включення.
5. Приведіть схему аналогового суматора та поясніть принцип дії.

## Лабораторна робота № 2

### Інтегруючий та диференціюючий підсилювачі на основі операційного підсилювача

**Мета роботи:** вивчити і дослідити схеми інтегруючого і диференціюючого підсилювачів на основі ОП.

#### Завдання:

- 1.Зібрати і дослідити схему інтегруючого підсилювача.
- 2.Зібрати і дослідити схему диференціюючого підсилювача.

#### Рекомендації до виконання лабораторної роботи

1.Зібрати схему інтегруючого підсилювача (рис. 2.1) із заданим значенням постійної часу кола (постійної інтегрування)  $\tau_3 = R_1 C_1$ .

Підключити генератор синусоїдальної напруги VSIN і подати сигнал з заданими параметрами (рис. 2.1).

Одержати амплітудно-частотну характеристику (АЧХ) підсилювача (рис. 2.3) та визначити граничну частоту  $f_{cp}$  за рівнем  $0.707U_{ВНХmax}$ . Визначити смугу пропускання ФНЧ.

Для одержання частотних характеристик слід використати AC Sweep- аналіз (рис. 2.4, 2.5) та запустити моделювання.

Одержати часові діаграми вхідного і вихідного сигналів схем фільтра ФНЧ і переконатися в працездатності схеми.

Для одержання часових діаграм слід використати Transient-аналіз (рис. 2.8, 2.9) та запустити моделювання.

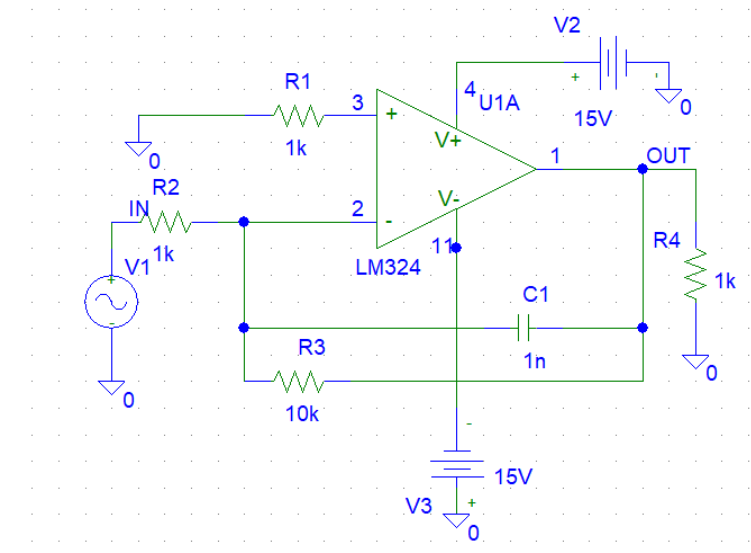


Рис. 2.1. Схема інтегруючого підсилювача

Підключити генератор синусоїдальної напруги VSIN (V1) і подати сигнал з заданими параметрами (рис. 2.2).

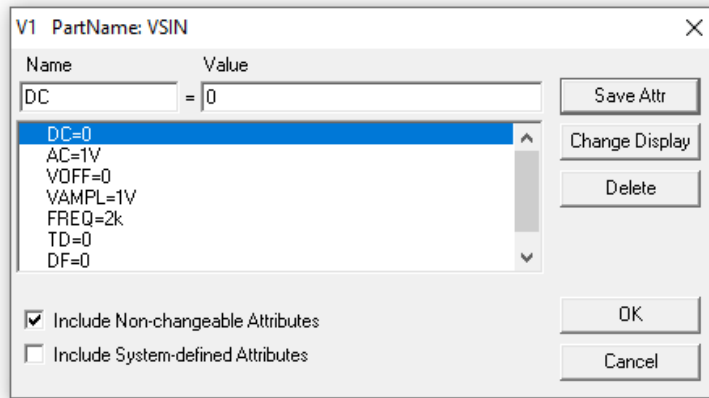


Рис. 2.2. Вікно атрибутів генератора синусоїдальної напруги VSIN

Одержати амплітудно-частотну характеристику (АЧХ) підсилювача (рис. 2.3) та визначити граничну частоту  $f_{2p}$  за рівнем  $0.707U_{BHXmax.}$ .

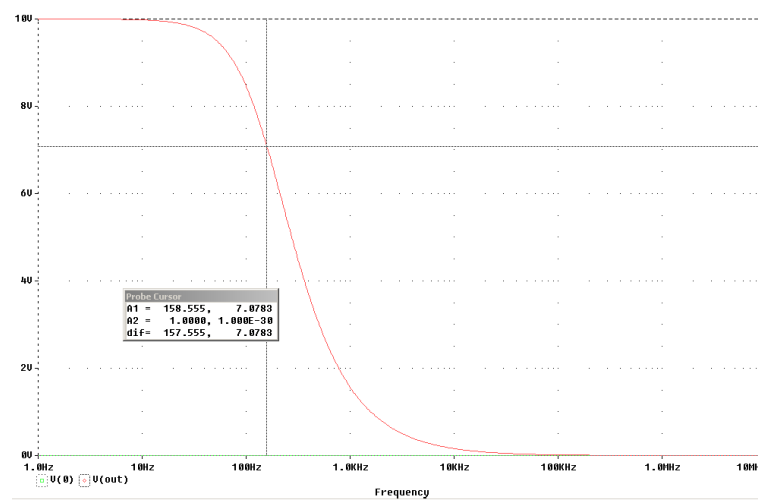


Рис. 2.3. АЧХ інтегруючого підсилювача

Для одержання частотних характеристик слід використати AC Sweep-аналіз (рис. 2.4, 2.5) та запустити моделювання.

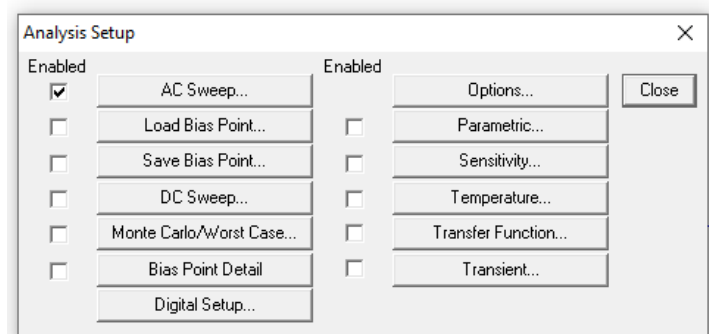


Рис. 2.4. Вибір режимів аналізу схем

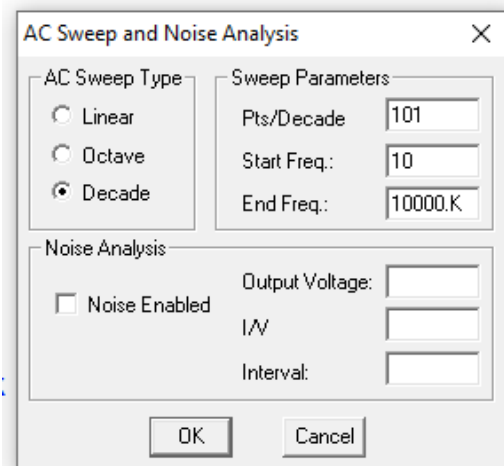


Рис. 2.5. Вікно атрибутів AC Sweep

Дослідити роботу інтегруючого підсилювача в якості фільтру низьких частот. Підключити два генератори VSIN на вхід послідовно (рис. 2.6), задати частоту одного генератора у смузі пропускання, сигнал другого генератора у смузі загасання. Зняти часові діаграми на вході і виході фільтру.

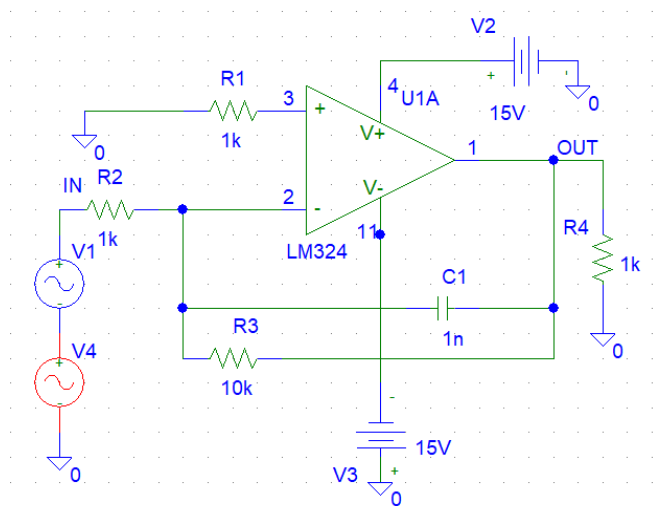


Рис. 2.6. Схема інтегруючого підсилювача

Одержати часові діаграми вхідного і вихідного сигналів схем фільтра ФНЧ і переконатися в працездатності схеми (рис. 2.7).

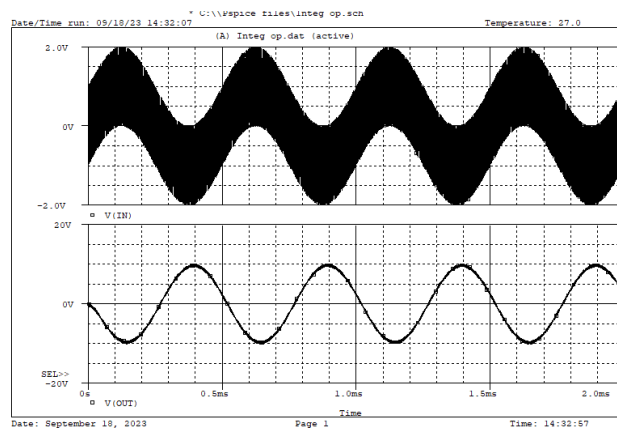


Рис. 2.7. Часові діаграми вхідного і вихідного сигналів фільтра ФНЧ

Для отримання часових діаграм слід використати Transient-аналіз – аналіз часових процесів ( рис. 2.8, 2.9) та запустити моделювання.

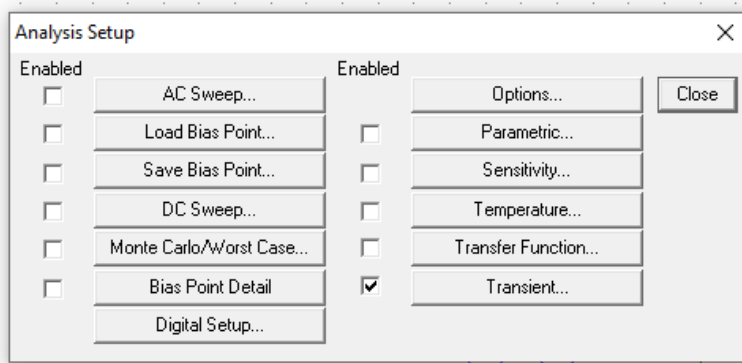


Рис. 2.8. Вибір режимів аналізу схем

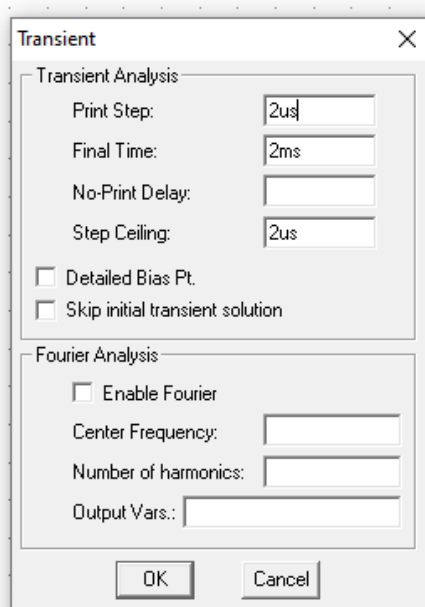


Рис. 2.9. Вікно атрибутів Transient

2.Зібрати схему диференціюючого підсилювача.(рис. 2.10) із заданим значенням постійної диференціювання  $\tau_3 = R_1 C_1$ .

Підключити генератор синусоїдальної напруги VSIN і подати сигнал з заданими параметрами (рис. 2.1).

Одержати амплітудно-частотну характеристику (АЧХ) підсилювача (рис. 2.11) та визначити граничну частоту  $f_{cp}$  та  $f_B$  за рівнем  $0.707U_{BHXmax}$ . Визначити смугу пропускання ФВЧ.

Для одержання частотних характеристик слід використати AC Sweep- аналіз (рис. 2.4, 2.5) та запустити моделювання.

Дослідити роботу диференціюючого підсилювача в якості фільтру високих частот (ФВЧ). Підключити два генератори VSIN на вхід послідовно, задати частоту одного генератора у смузі пропускання, сигнал другого генератора у смузі загасання. Зняти часові діаграми на вході і виході фільтру.

Одержати часові діаграми вхідного і вихідного сигналів схем фільтра ФВЧ і переконатися в працездатності схеми (рис. 2.12).

Для одержання часових діаграм слід використати Transient-аналіз (рис. 2.8, 2.9) та запустити моделювання.

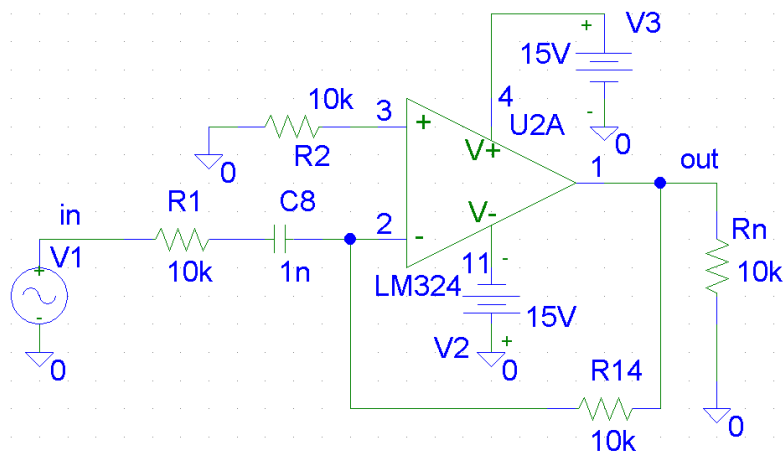


Рис. 2.10. Схема диференціюючого підсилювача

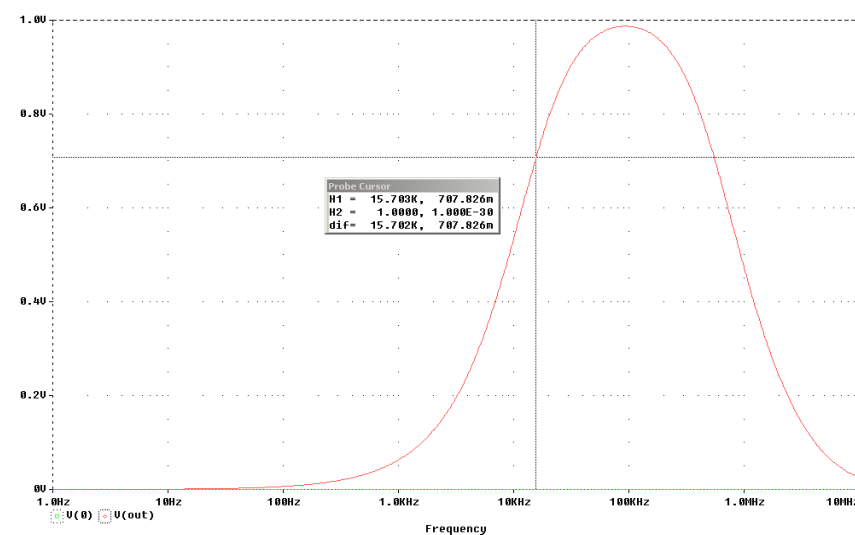


Рис. 2.11. АЧХ диференціюючого підсилювача

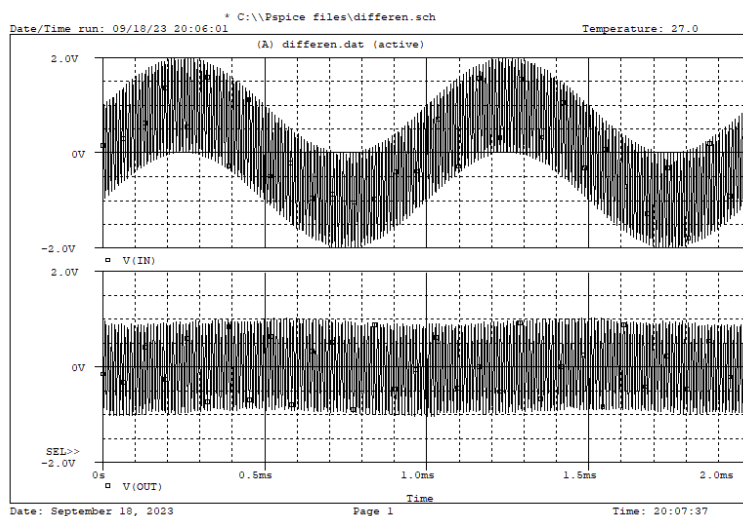


Рис. 2.12. Часові діаграми вхідного і вихідного сигналів фільтра ФВЧ

## **Зміст звіту**

1. Мета роботи і завдання до виконання.
2. Схеми дослідження інтегруючого і диференціюючого підсилювачів
3. Амплітудно-частотні характеристики підсилювачів.
4. Часові діаграми вхідної і вихідної напруг.
4. Розрахунок параметрів.
5. Висновки по виконаній роботі.

## **Контрольні запитання**

1. Поясніть принцип дії інтегруючого і диференціюючого підсилювачів?
2. Призначення інтегруючого і диференціюючого підсилювачів.
3. Приведіть схеми включення цих підсилювачів.
4. Приведіть АЧХ інтегруючого і диференціюючого підсилювачів.
5. Дайте порівняльну характеристику АЧХ інтегруючого та диференціюючого підсилювачів.

## Лабораторна робота № 3

### Активні фільтри на основі операційних підсилювачів (ОП)

**Мета роботи:** вивчити і дослідити схеми активних фільтрів на основі ОП.

**Завдання:**

1. Визначити параметри, зібрати і дослідити схему фільтра низької частоти (ФНЧ) із заданою частотою зрізу.
2. Визначити параметри, зібрати і дослідити схему фільтра високої частоти (ФВЧ) із заданою частотою зрізу.
3. Визначити параметри, зібрати і дослідити схему смугового фільтра (СФ) із заданою резонансною частотою.
4. Визначити параметри, зібрати і дослідити схему загороджувального фільтра (ЗФ) із заданою резонансною частотою.

**Рекомендації до виконання лабораторної роботи**

1. Визначити параметри і зібрати схему фільтра низької частоти (ФНЧ) із заданою частотою зрізу (рис. 3.1).

$$f_{zp} = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}.$$

Якщо  $R_1 = R_2$ ,  $C_1 = C_2$

$$f_{cp} = \frac{1}{2\pi RC}.$$

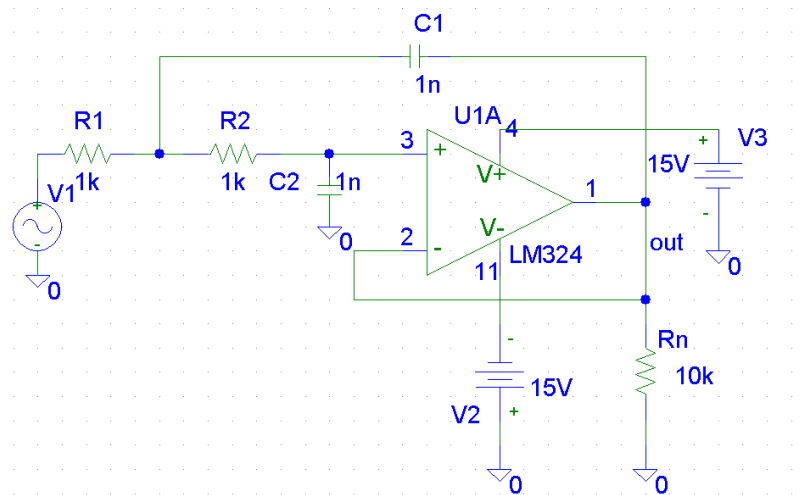


Рис. 3.1. Схема ФНЧ 2-го порядку

Підключити генератор синусоїдальної напруги VSIN і подати сигнал з заданими параметрами (рис. 2.2).

Одержати амплітудно-частотну характеристику фільтра (рис. 3.2) та визначити частоту зрізу  $f_{zp}$  за рівнем  $0.707U_{вих\max}$ . Порівняйте отримані результати. Визначте смугу пропускання.

Для одержання частотних характеристик слід використати AC Sweep-аналіз (рис. 2.4, 2.5) та запустити моделювання. Визначити коефіцієнт підсилення у смузі пропускання.



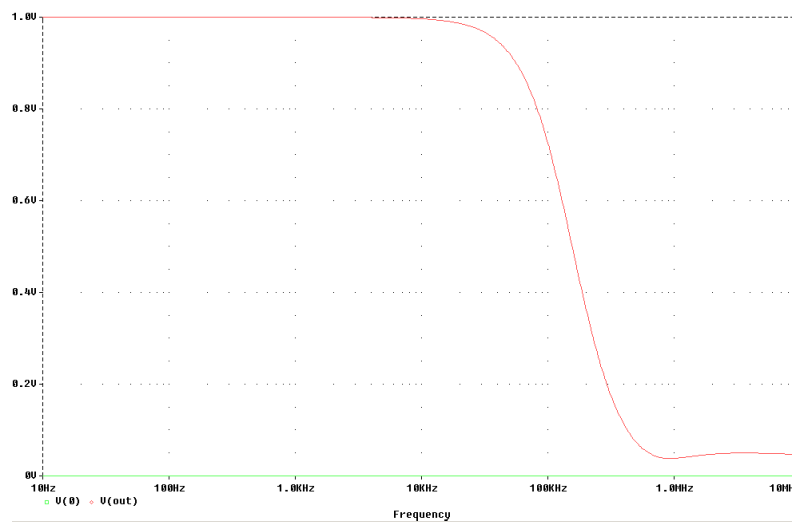


Рис. 3.2. Амплітудно-частотна характеристика АЧХ ФНЧ 2-го порядку

Послідовно з V1 (рис. 3.1), частота сигналу якого входить до смуги пропускання, підключити генератор синусоїдальної напруги VSIN з частотою, що не входить до смуги пропускання, наприклад, 1000 KHz.

Одержати часові діаграми сигналу до фільтра (рис. 3.3) та після фільтра (рис. 3.4). Для одержання часових діаграм слід використати Transient-аналіз (рис. 2.8, 2.9) та запустити моделювання.

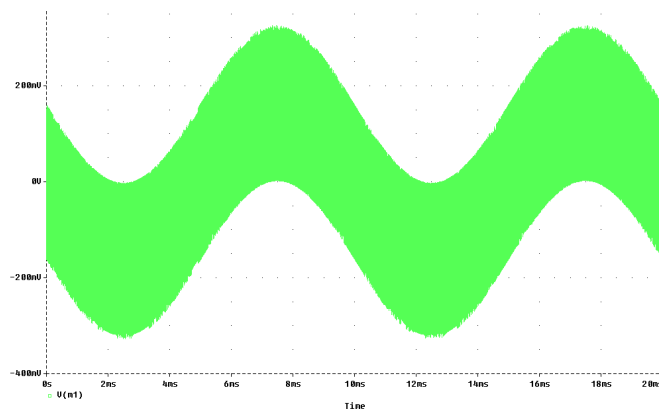


Рис. 3.3. Часова діаграма сигналу до ФНЧ

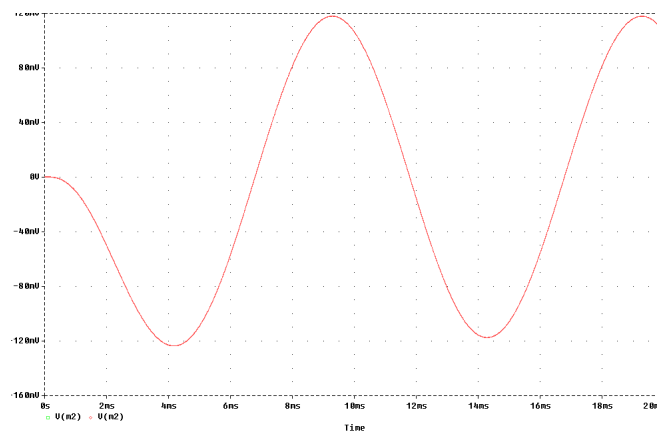


Рис. 3.4. Часова діаграма сигналу після ФНЧ

2. Визначити параметри й зібрати схему фільтра високої частоти (ФВЧ) із заданою частотою зрізу. (рис. 3.5).

$$f_{cp} = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}.$$

Якщо  $R_1=R_2$ ,  $C_1=C_2$

$$f_{cp} = \frac{1}{2\pi RC}.$$

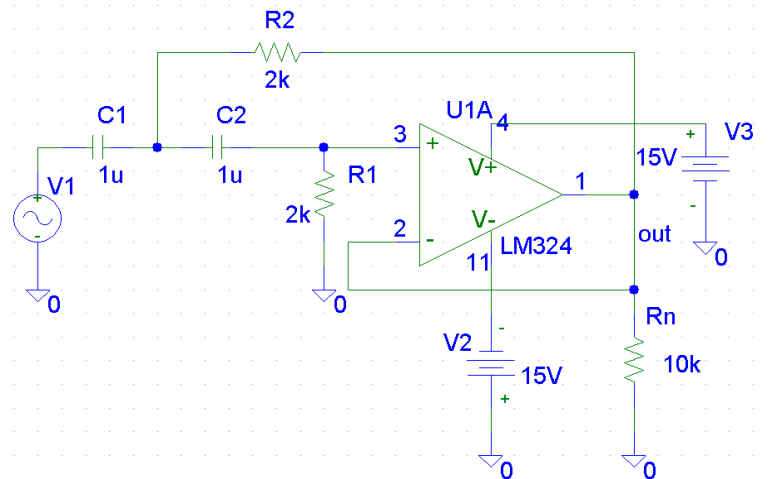


Рис. 3.5. Схема ФВЧ 2-го порядку

Одержати амплітудно-частотну характеристику фільтра (рис. 3.6) та визначити частоту зрізу  $f_{зр}$  за рівнем  $0.707U_{вих\max}$ . Порівняйте отримані результати. Визначте смугу пропускання.

Для одержання частотних характеристик слід використати AC Sweep-аналіз (рис. 2.4, 2.5) та запустити моделювання.

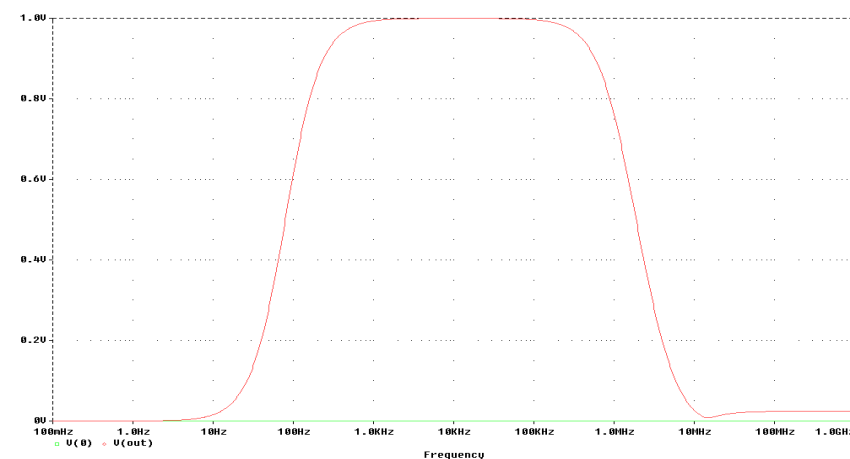


Рис. 3.6. АЧХ ФВЧ 2-го порядку

Послідовно з V1 (рис. 3.5) підключити ще один генератор синусоїдальної напруги VSIN. Задати частоту одного генератора у смузі пропускання, сигнал другого генератора у смузі загасання.

Одержати часові діаграми сигналу до фільтра та після фільтра. Для одержання часових діаграм слід використати Transient-аналіз (рис. 3.7, 3.8) та запустити моделювання.

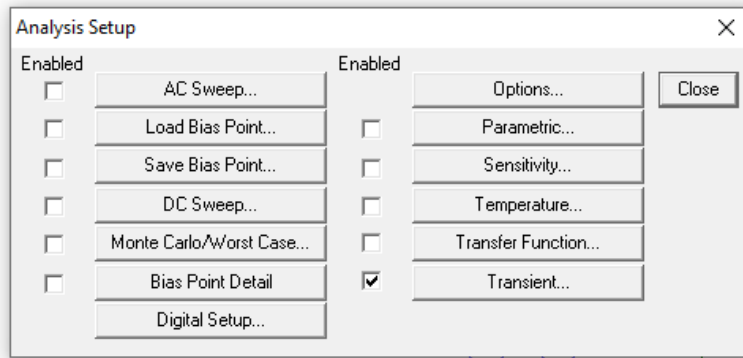


Рис. 3.7. Вибір режимів аналізу схем

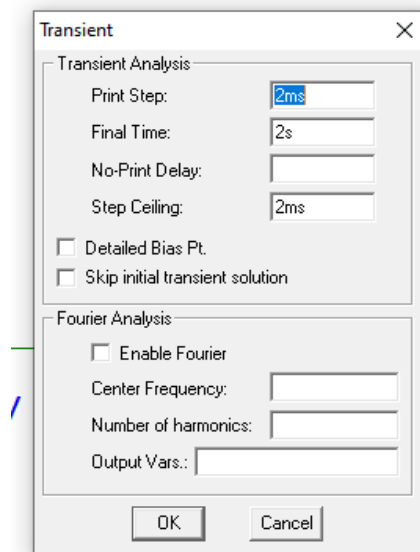


Рис. 3.8. Вікно атрибутів Transient

3. Визначити параметри й зібрати схему смугового фільтра (СФ) із заданою резонансною частотою  $f_0$  (рис. 3.9)

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_1 C_2 R_{12} R_3}}, \text{ де } R_{12} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}.$$

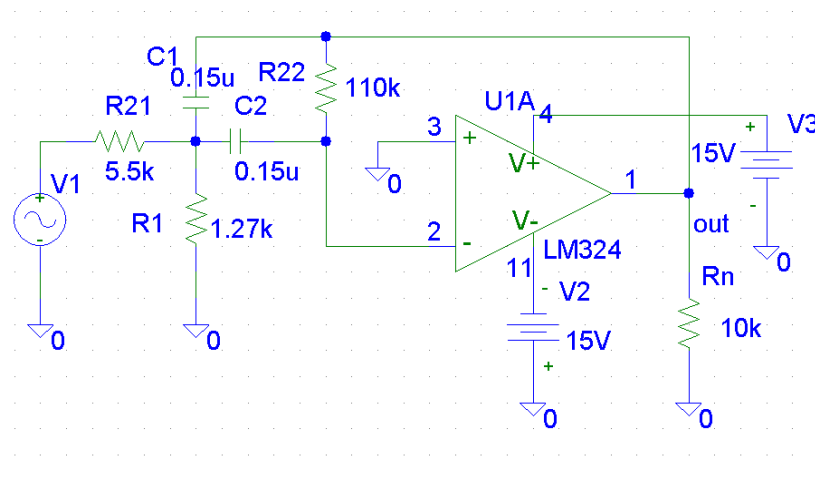


Рис. 3.9. Схема смугового фільтру

Одержати амплітудно-частотну характеристику СФ (рис. 3.10). Визначити резонансну частоту  $f_0$  й порівняти її з розрахованою величиною. Визначити коефіцієнт підсилення СФ на резонансній частоті  $K_0$  й порівняти його з розрахованою величиною  $K_0 = \frac{R_3 C_2}{R_1 (C_1 + C_2)}$ . Визначити ширину смуги пропускання СФ  $\Delta f$  (на рівні 0.707 від  $K_0$ ).

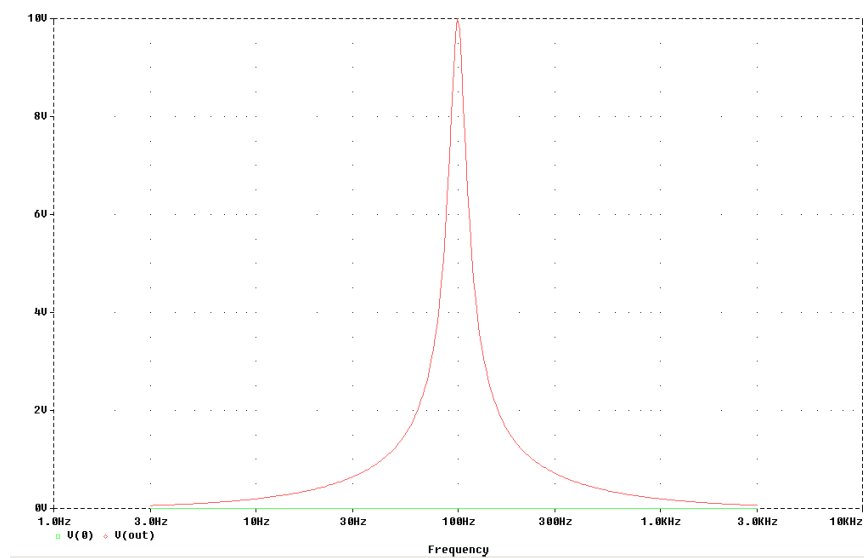


Рис. 3.10. АЧХ смугового фільтру

Підключити два генератори VSIN на вхід послідовно, задати частоту одного генератора у смугі пропускання, сигнал другого генератора у смугі загасання. Зняти часові діаграми на вході і виході фільтру.

4. Визначити параметри й зібрати схему загороджувального фільтру (ЗФ) із заданою частотою квазірезонансу  $f_0$  (рис. 3.11)

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}, \text{ якщо } R_1 = R_2 = R; C_1 = C_2 = C; R_3 = R/2; C_3 = 2C.$$

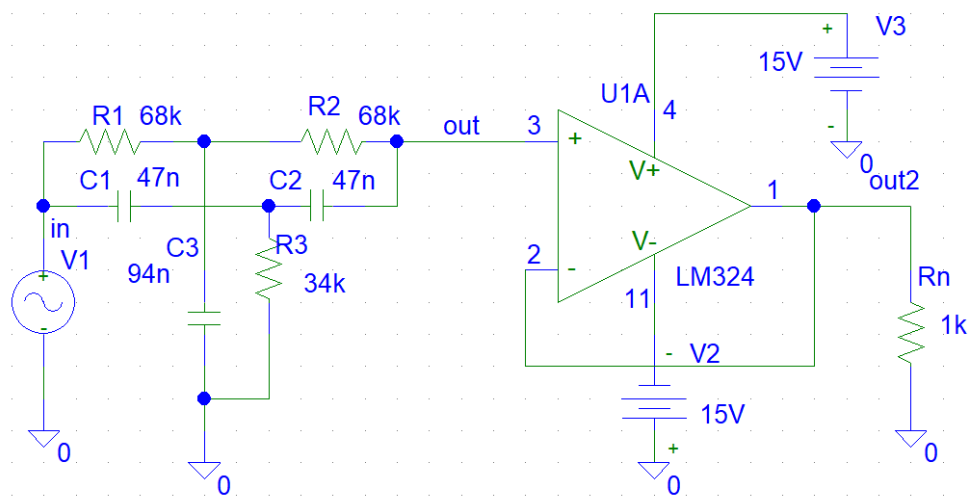


Рис. 3.11. Схема загороджувального фільтру

Одержати амплітудно-частотну характеристику 3Ф (рис. 3.12). Визначити частоту квазірезонансу  $f_0$  й порівняти її з розрахованою величиною.

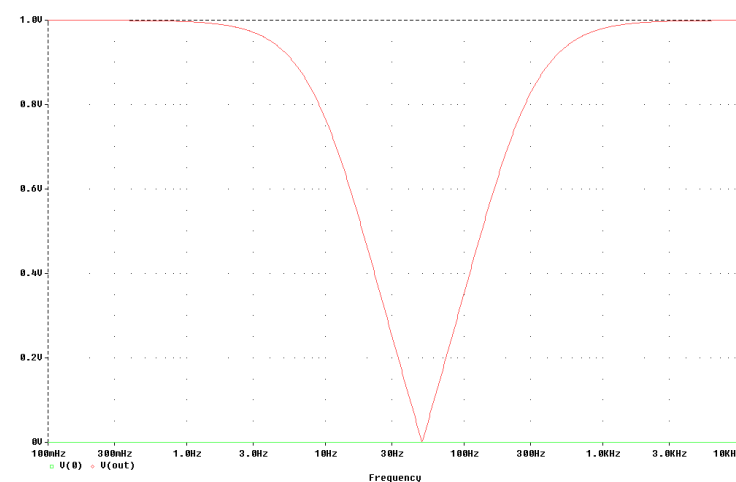


Рис. 3.12. АЧХ загороджувального фільтру

Підключити два генератори VSIN на вхід послідовно, задати частоту одного генератора у смузі пропускання, сигнал другого генератора у смузі загасання (50 Гц). Зняти часові діаграми на вході і виході фільтру.

### Зміст звіту

1. Мета роботи й завдання до виконання.
2. Схеми фільтра низької частоти, фільтра високої частоти, смугового і загороджувального фільтрів
3. Амплітудно-частотні характеристики фільтрів.
4. Часові діаграми напруг.
4. Розрахунок параметрів фільтрів.
5. Виводи.

### Контрольні запитання

1. Що таке активні фільтри?
2. Призначення ФНЧ, ФВЧ, СФ, ЗФ.
3. Наведіть схеми ФНЧ, ФВЧ, СФ і ЗФ на основі ОП.
4. Наведіть АЧХ розглянутих фільтрів і поясніть, як визначається їхня смуга пропускання.

## Лабораторна робота № 4

### Комутатори в інтегральному виконанні

**Мета роботи:** вивчення та дослідження схем цифрових комутаторів в інтегральному виконанні.

**Завдання:**

- 1.Зібрати та дослідити схему цифрового комутатора в режимі ручного управління
- 2.Зібрати та дослідити схему цифрового комутатора в режимі автоматичного вибору каналів
- 3.Зібрати та дослідити схему чотириканального зведеного комутатора

**Рекомендації до виконання лабораторної роботи**

1. Зібрати схему цифрового комутатора (рис. 4.1) у режимі ручного управління на основі інтегральної мікросхеми K155КП7 (74151А).

Підключити до інформаційного входу І0 комутатора генератор імпульсного сигналу VPULSE і подати сигнал з заданими параметрами (рис. 4.2)

На адресні входи комутатора подати кодову комбінацію 000, що відповідає номеру І0 каналу, що комутується.

Одержати часові діаграми вхідного і вихідного сигналів і перевірити правильність роботи схеми комутатора.

Для одержання часових діаграм слід використати Transient-аналіз (рис. 4.3) та запустити моделювання.

Повторити зазначені дії для інших інформаційних входів. Перевірити вплив входу дозволу Е на роботу комутатора. Результати роботи комутатора занести в таблицю.

S <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>0</sub>	E	Відкритий канал
0	0	0	0	I0
0	0	1	0	I1
0	1	0	0	I2
0	1	1	0	I3
1	0	0	0	I4
1	0	1	0	I5
1	1	0	0	I6
1	1	1	0	I7
X	X	X	1	---

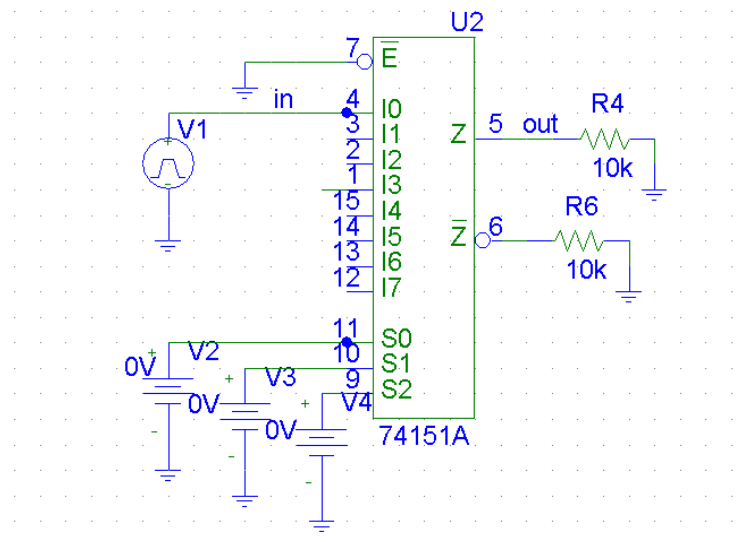


Рис. 4.1. Схема цифрового комутатора в режимі ручного управління

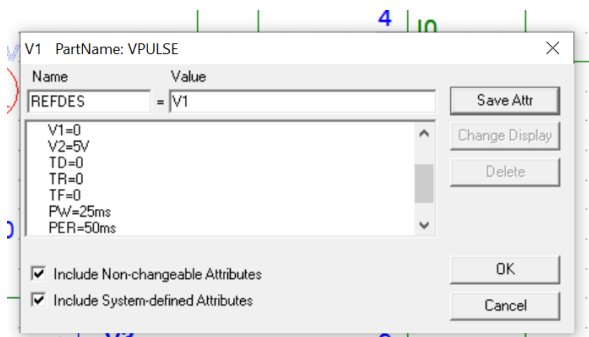


Рис. 4.2. Параметри V1(VPULSE)

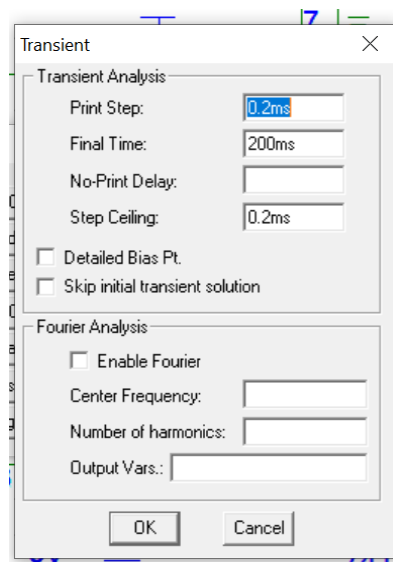


Рис. 4.3. Параметри Transient Analysis

2. Зібрати схему цифрового комутатора в режимі автоматичного вибору каналів (рис. 4.4).





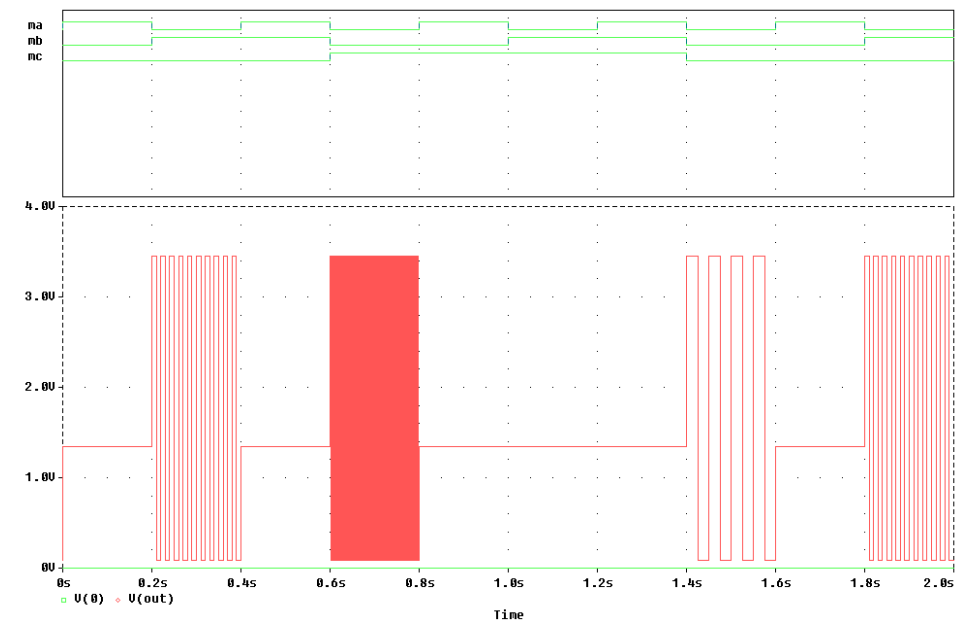


Рис. 4.6. Часові діаграми

3. Провести аналіз чотирьоканального здвоєного комутатора. Одержати часові діаграми вхідних та вихідних сигналів комутатора

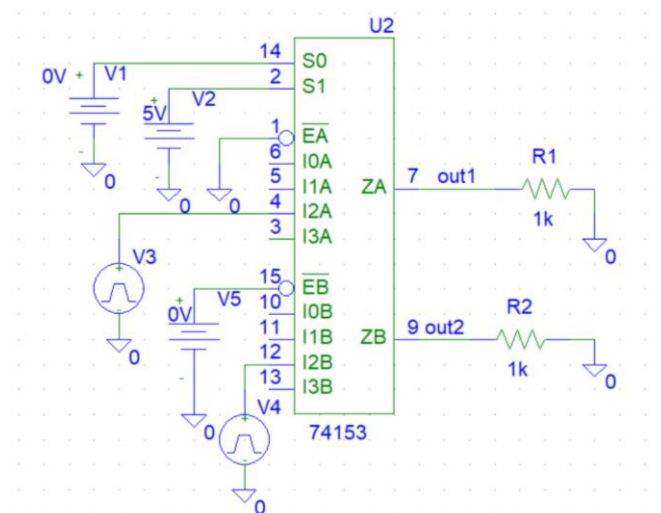


Рис. 4.7. Схема цифрового комутатора

## Зміст звіту

1. Мета роботи і завдання до виконання.
2. Схеми дослідження цифрового комутатора.
3. Таблиця функціонування комутатора.
4. Часові діаграми напруг.
5. Висновки.

## Контрольні запитання

1. Принцип роботи комутатора.
2. Призначення виводів комутатора.
3. Приведіть схеми включення комутаторів.
4. Використання комутаторів в інформаційно-вимірювальних системах.

## Лабораторна робота № 5

### Аналогові компаратори

**Мета роботи:** дослідження аналогових пристроїв порівняння (компараторів).

**Завдання:**

1. Зібрати і дослідити схему аналогового компаратора на основі операційного підсилювача.
2. Зібрати і дослідити схему аналогового компаратора на основі спеціалізованої мікросхеми.

**Рекомендації до виконання лабораторної роботи**

1. Зібрати схему аналогового компаратора на основі операційного підсилювача (рис. 5.1).

Підключити до входу ОП, що інвертує, генератор синусоїдальної напруги VSIN і подати сигнал з заданими параметрами (рис. 5.2). На неінвертуючий вхід подати опорну напругу, рівну нулю.

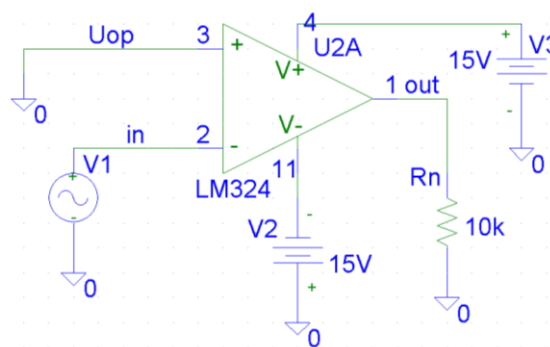


Рис. 5.1. Схема аналогового компаратора на основі операційного підсилювача

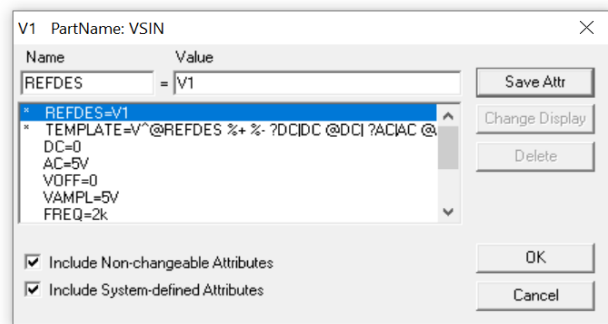


Рис. 5.2. Параметри сигналу V1

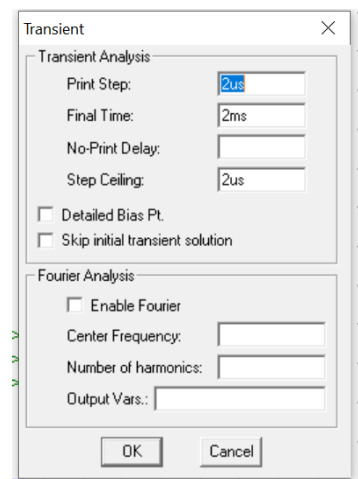


Рис. 5.3. Параметри Transient-аналіз

Одержати часові діаграми вхідного та вихідного сигналу та опорної напруги. (рис. 5.4). Для одержання часових діаграм слід використати Transient-аналіз (рис. 5.3) та запустити моделювання.

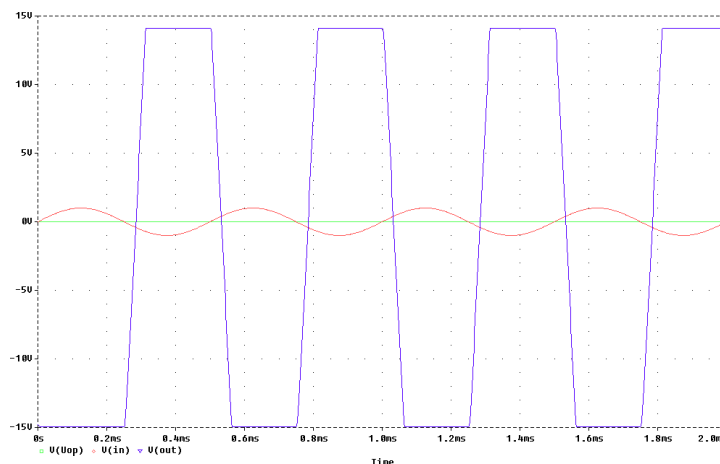


Рис. 5.4. Часові діаграми

Одержати передатну характеристику компаратора (рис. 5.5). Для одержання передатної характеристики слід використати DC Sweep-аналіз (рис. 5.6) та запустити моделювання.

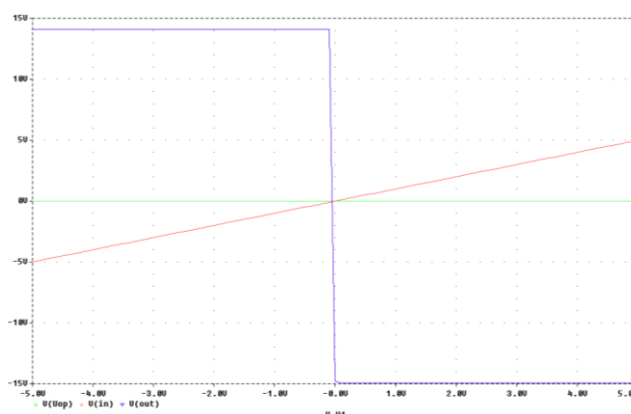


Рис. 5.5. Передатна характеристика компаратора

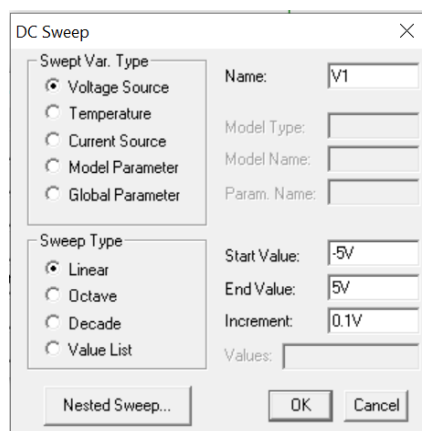


Рис. 5.6. Вікно атрибутів DC Sweep

2. На неінвертуючий вхід ОП подати напругу відмінну від нуля (рис.5.7). Одержати часові діаграми вхідного та вихідного сигналу, опорної напруги і передатну характеристику компаратора.

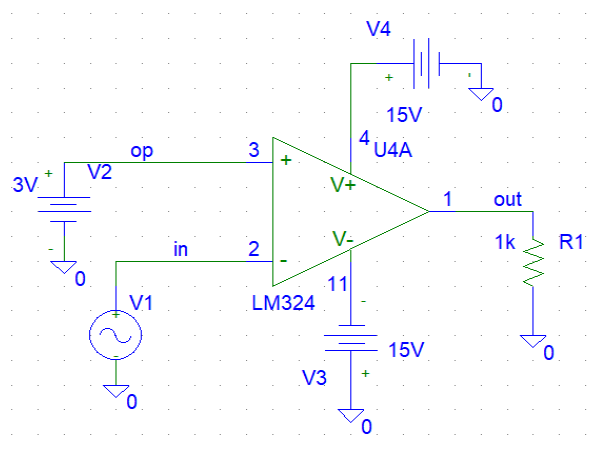


Рис. 5.7. Схема аналогового компаратора на основі операційного підсилювача

3. Зібрати схему аналогового компаратора на основі спеціалізованої мікросхеми (рис.5.8).

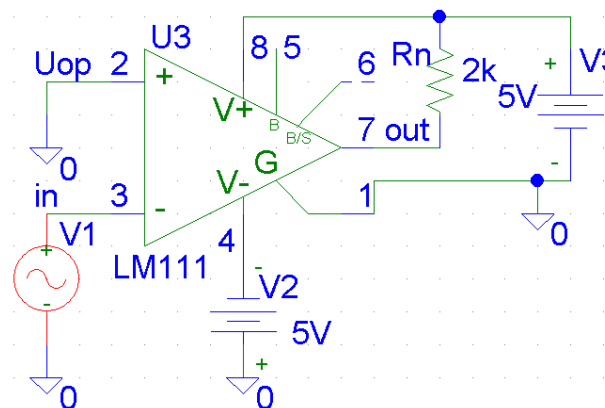


Рис. 5.8. Схема аналогового компаратора на основі спеціалізованої мікросхеми

Підключити до входу ОП, що інвертує, генератор синусоїдальної напруги VSIN і подати сигнал з заданими параметрами (рис. 5.2). На неінвертуючий вхід подати опорну напругу, рівну нулю.

Одержати часові діаграми вхідного та вихідного сигналу та опорної напруги. Для одержання часових діаграм слід використати Transient-аналіз (рис. 5.3) та запустити моделювання.

Одержати передатну характеристику компаратора. Для одержання передатної характеристики слід використати DC Sweep-аналіз (рис. 5.6) та запустити моделювання.

4. На неінвертуючий вхід ОП подати напругу відмінну від нуля. Одержати часові діаграми вхідного та вихідного сигналу, опорної напруги і передатну характеристику компаратора (рис. 5.9).

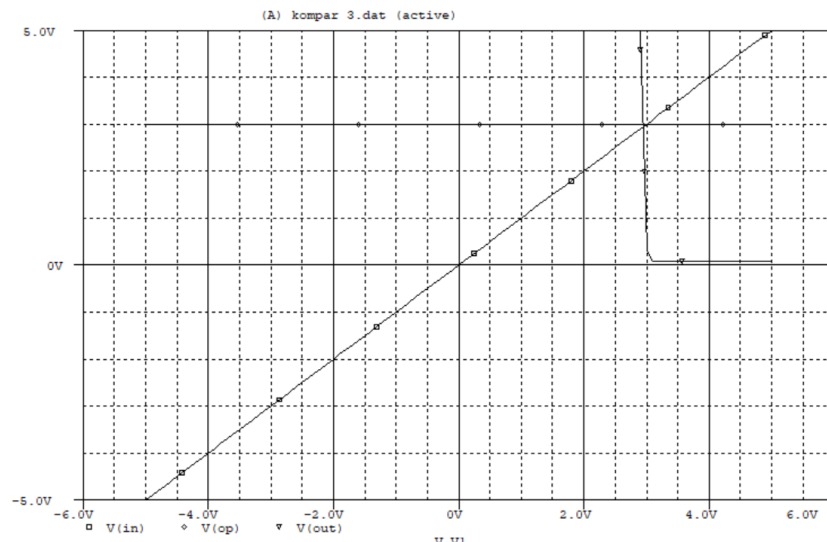


Рис. 5.9. Передатна характеристика компаратора

5. Зібрати схему двопорогового компаратора (рис. 5.10)

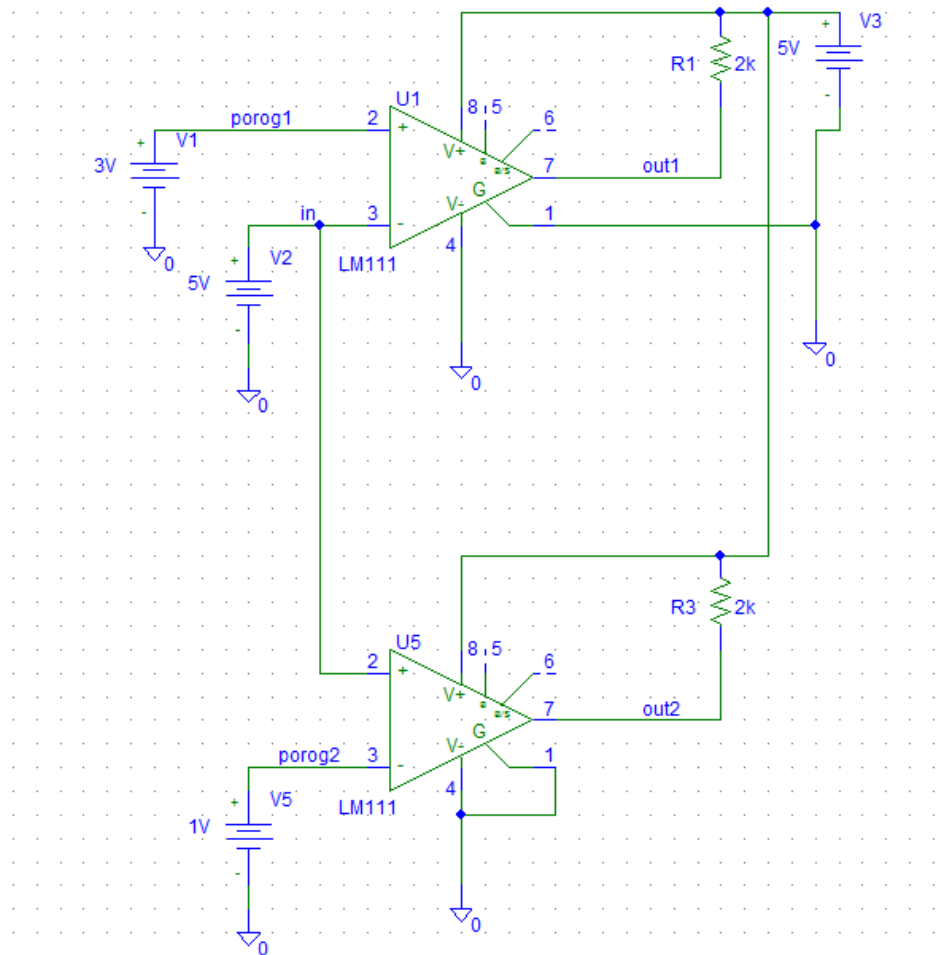


Рис. 5.10. Схема двопорогового аналогового компаратора

Одержати передатну характеристику компаратора (рис. 5.12). Для одержання передатної характеристики слід використати DC Sweep-аналіз (рис. 5.11) та запустити моделювання.

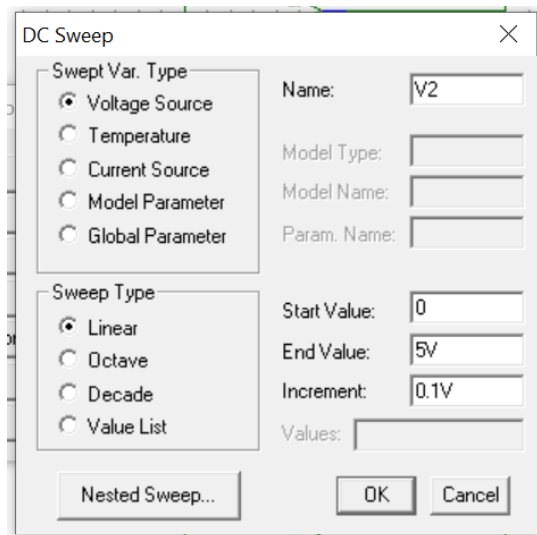


Рис. 5.11. Вікно атрибутів DC Sweep

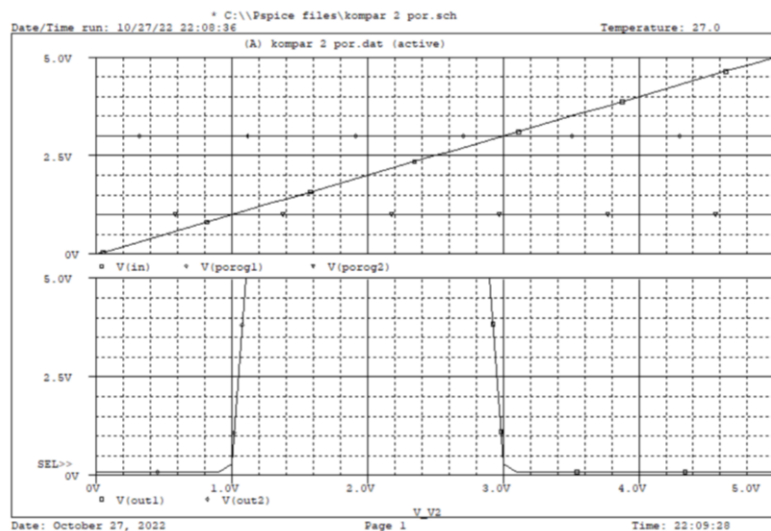


Рис. 5.12. Передатна характеристика компаратора

### Зміст звіту

1. Мета роботи і завдання до виконання.
2. Схеми дослідження аналогових компараторів.
3. Часові діаграми напруг.
4. Передатні характеристики компараторів.
5. Висновки.

### Контрольні запитання

1. Принцип роботи аналогових компараторів.
2. У чому перевага аналогового компаратора на основі спеціалізованої мікросхеми в порівнянні з компаратором на основі ОП?
3. Приведіть схеми включення компараторів.
4. Принцип роботи двопорогового аналогового компаратора
5. Використання компараторів в інформаційно-вимірювальних системах.

## Лабораторна робота № 6

### Цифро-аналогові та аналого-цифрові перетворювачі

**Мета роботи:** дослідження цифро-аналогових та аналого-цифрових перетворювачів.

**Завдання:**

1. Дослідити схему цифро-аналогового перетворювача (ЦАП).
2. Дослідити схему аналого-цифрового перетворювача (АЦП).
3. Зібрати і дослідити схеми спільного використання ЦАП і АЦП у статичному режимі.
4. Зібрати і дослідити схеми спільного використання ЦАП і АЦП у динамічному режимі.

**Рекомендації до виконання лабораторної роботи**

1. Зібрати схему дослідження ЦАП (рис. 6.1).

Підключити до цифрових входів ЦАП виходи лічильника 74161. На вхід CLK лічильника подати тактові імпульси від генератора VPULSE (рис. 6.2). На вхід "REF" ЦАП подати опорну напругу +5В.

Одержати часові діаграми цифрового коду на входах ЦАП та вихідного аналогового сигналу ЦАП. Для одержання часових діаграм слід використати Transient-аналіз (рис. 6.3) та запустити моделювання. Переконайтеся, що вихідний аналоговий сигнал змінюється пропорційно вхідному цифровому коду.

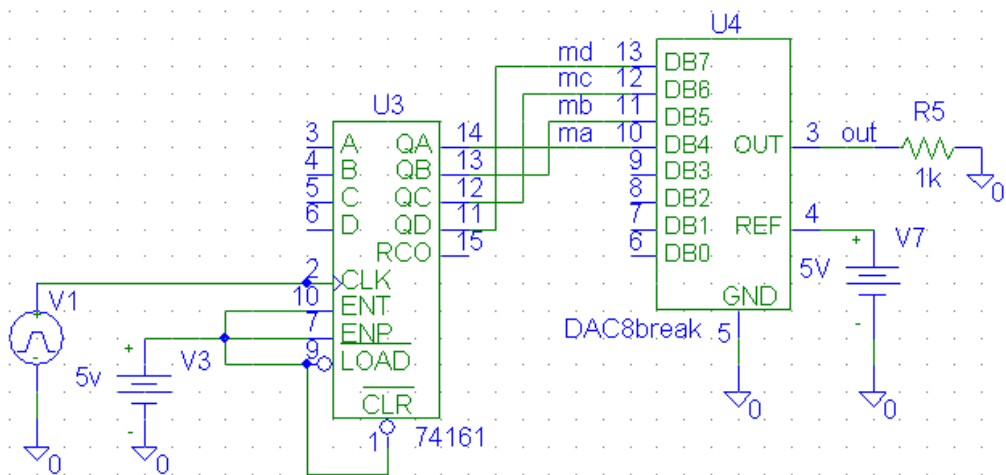


Рис. 6.1. Схема дослідження цифро-аналогового перетворювача

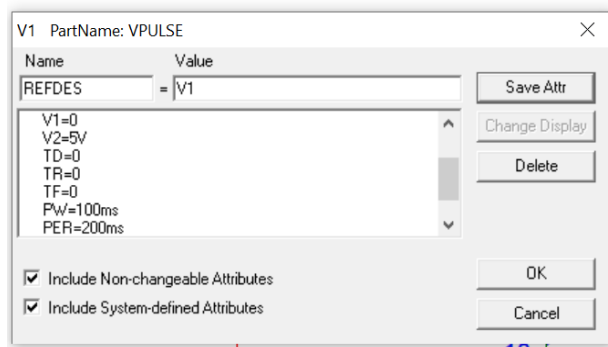


Рис. 6.2. Параметри сигналу V1

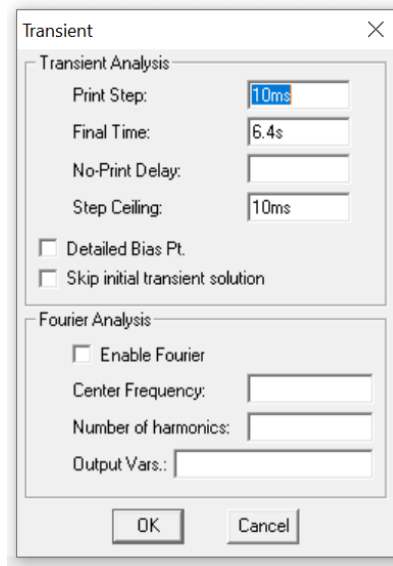


Рис. 6.3. Параметри Transient-аналіз

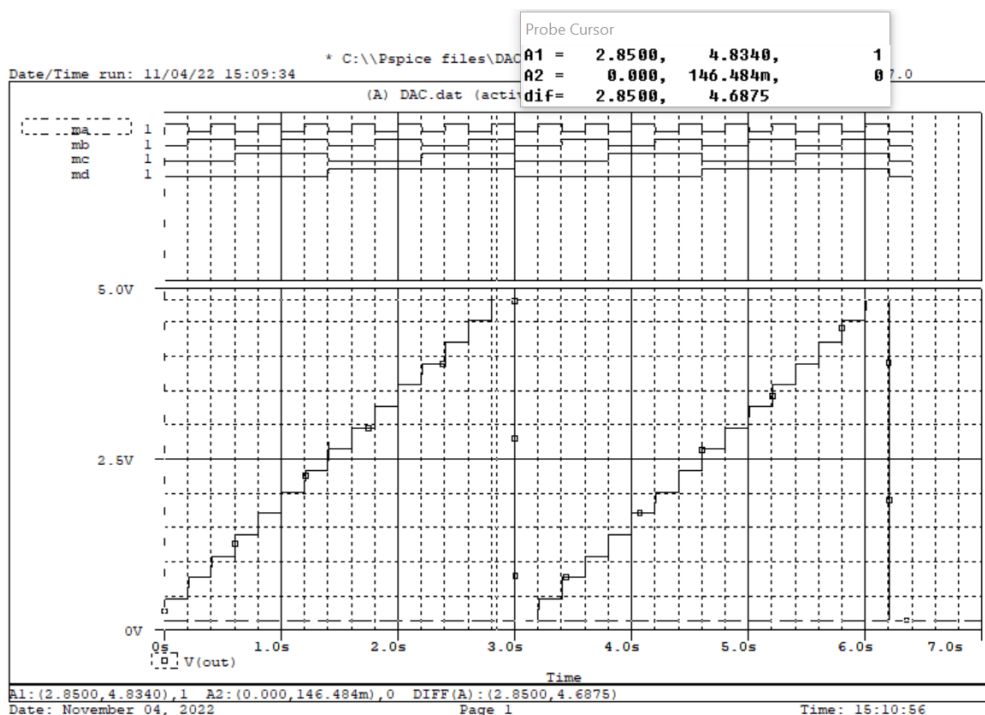


Рис. 6.4. Часова діаграма роботи ЦАП

Розрахувати роздільну здатність ЦАП.

**Роздільна здатність** – приріст  $U_{\text{вих}}$  при перетворенні суміжних значень коду  $D_j$ , тобто відмінних на одиницю молодшого розряду. Цей приріст є кроком квантування. Для двійкових кодів номінальне значення кроку квантування

$$h = U_{\text{пш}} / (2^N - 1),$$

де  $U_{\text{пш}}$  – максимальна вихідна напруга ЦАП (напруга повної шкали);

$N$  – розрядність ЦАП.

2.Зібрати схему дослідження АЦП (рис. 6.5).

Підключити опорну напругу +5V на вхід "REF". Подати тактові імпульси на вхід CNVRT від генератора VPULSE V2 (рис. 6.2). На вхід "in" подати постійний аналоговий сигнал (0, 1, 2, 3, 4, 5V послідовно).



Одержати часові діаграми вхідного сигналу та вихідного цифрового коду АЦП. Для одержання часових діаграм слід використати Transient-аналіз (рис. 6.6) та запустити моделювання.

Занести показання в таблицю та переконатися, що цифровий код пропорційний вхідній напрузі.

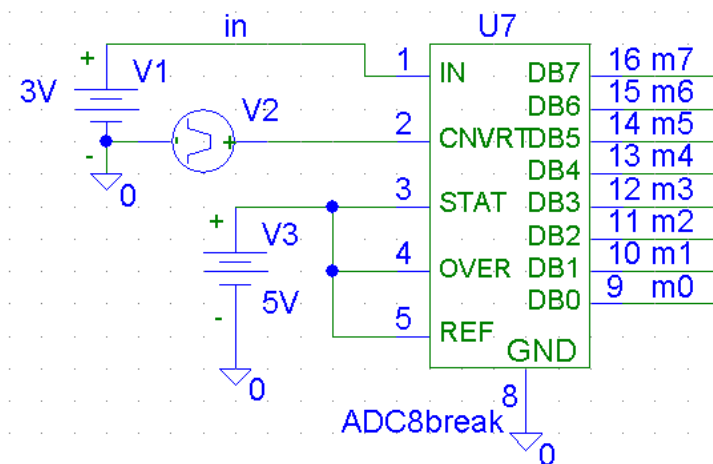


Рис. 6.5. Схема дослідження аналого-цифрового перетворювача

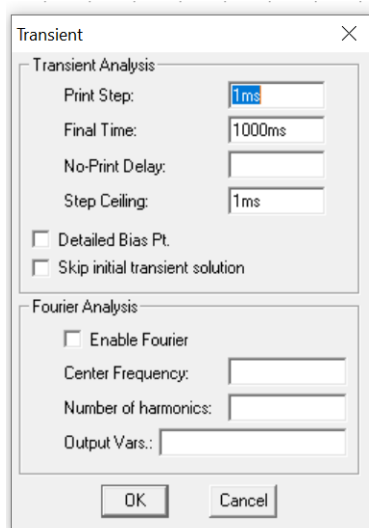


Рис. 6.6. Параметри Transient-аналіз

3.Зібрати і дослідити схеми спільного використання ЦАП і АЦП у статичному режимі (рис. 6.7).

Підключити опорну напругу +5V на вхід "REF". Подати тактові імпульси на вхід CNVRT від генератора VPULSE V2 (рис. 6.2). На вхід "in" подати постійний аналоговий сигнал (1, 2, 3, 4, 5V послідовно).

Одержати часові діаграми вхідного та вихідного сигналів схеми. Для одержання часових діаграм слід використати Transient-аналіз (рис. 6.6) та запустити моделювання.

Задаючи значення вхідної напруги, визначити вихідну напругу схеми. Зробити розрахунок абсолютної похибки перетворення  $U_{вх}-U_{вих}$  та відносної похибки перетворення

$\delta = \frac{U_{вх} - U_{вих}}{U_{вх}}$  і переконатися, що вона збігається з припустимою похибкою, яка не

перевищує величини  $2^{-n}$ , де  $n$  – кількість розрядів АЦП (ЦАП). Занести показання в таблицю.

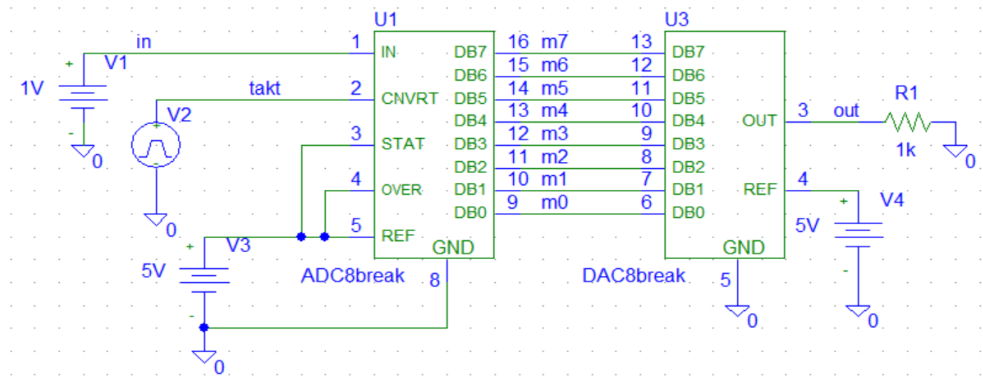


Рис. 6.7. Схема спільного використання ЦАП і АЦП у статичному режимі

4.Зібрати і дослідити схеми спільного використання ЦАП і АЦП у динамічному режимі (рис.6.8.).

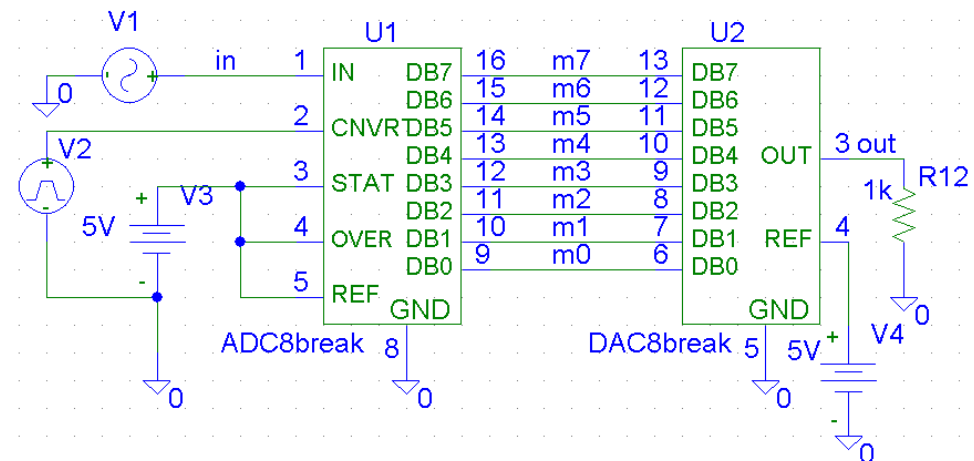


Рис. 6.8. Схема спільного використання ЦАП і АЦП у динамічному режимі

На вхід подати синусоїдальний сигнал, що має постійну напругу зсуву, сума напруги зсуву й амплітуди вхідного сигналу не повинна перевищувати величини опорної напруги  $U_{op.}$ (рис. 6.9).

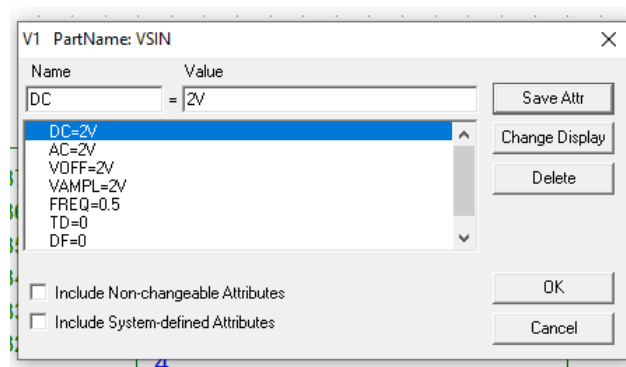


Рис. 6.9. Вікно атрибутів генератора синусоїдальної напруги VSIN

На вхід CNVRT від генератора VPULSE V2 подати тактові імпульси з частотою в 1000 раз більшою частоти синусоїдального сигналу на вході "in" (рис. 6.10).

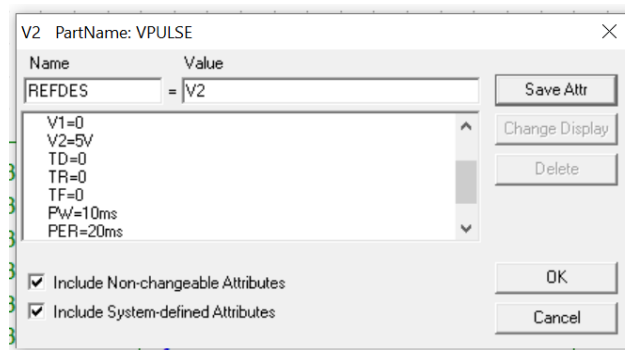


Рис. 6.10. Параметри сигналу V2

Одержати часові діаграми вхідного та вихідного сигналів схеми (рис. 6.12). Для одержання часових діаграм слід використати Transient-аналіз (рис. 6.11) та запустити моделювання

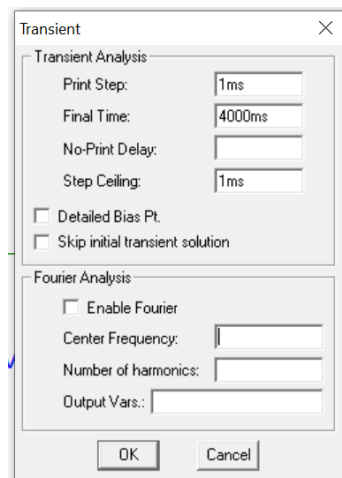


Рис. 6.11. Параметри Transient-аналіз

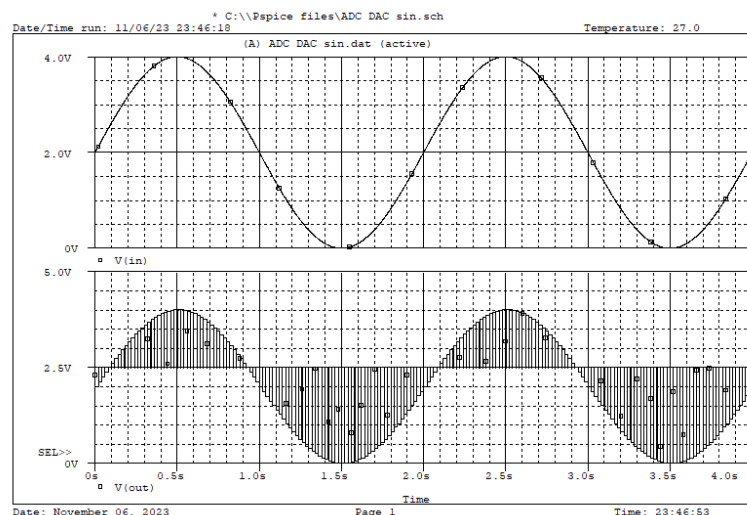


Рис. 6.12. Часові діаграми вхідного та вихідного сигналів

Щоб прибрати високочастотну перешкоду, на вихід схеми підключимо фільтр низької частоти R1-C1 (рис. 6.13). Одержати часові діаграми out1 і out2 та порівняти сигнали.

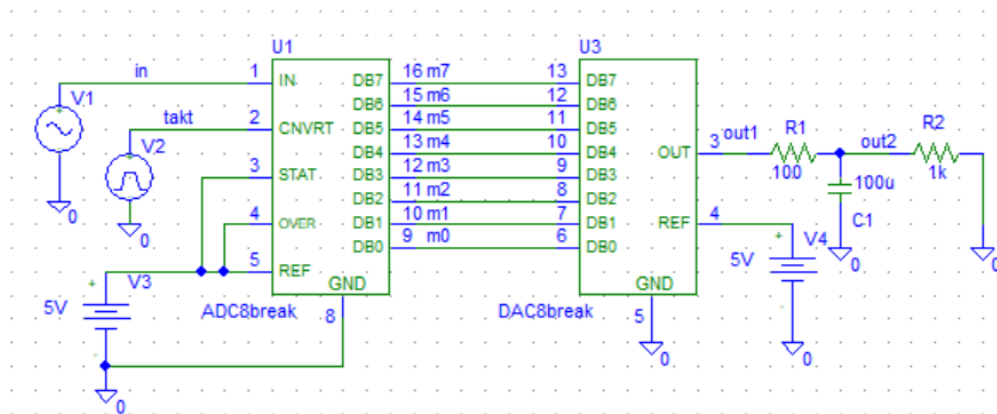


Рис. 6.13. Схема ЦАП і АЦП з фільтром низької частоти R1-C1

### Зміст звіту

1. Мета роботи і завдання до виконання.
2. Схеми дослідження ЦАП і АЦП.
3. Часові діаграми напруг.
4. Висновки.

### Контрольні запитання

1. Принцип роботи ЦАП і АЦП.
2. Приведіть схеми включення ЦАП і АЦП.
3. Поясніть призначення виводів використаних ЦАП і АЦП.
4. Використання ЦАП і АЦП в інформаційно-вимірювальних системах.



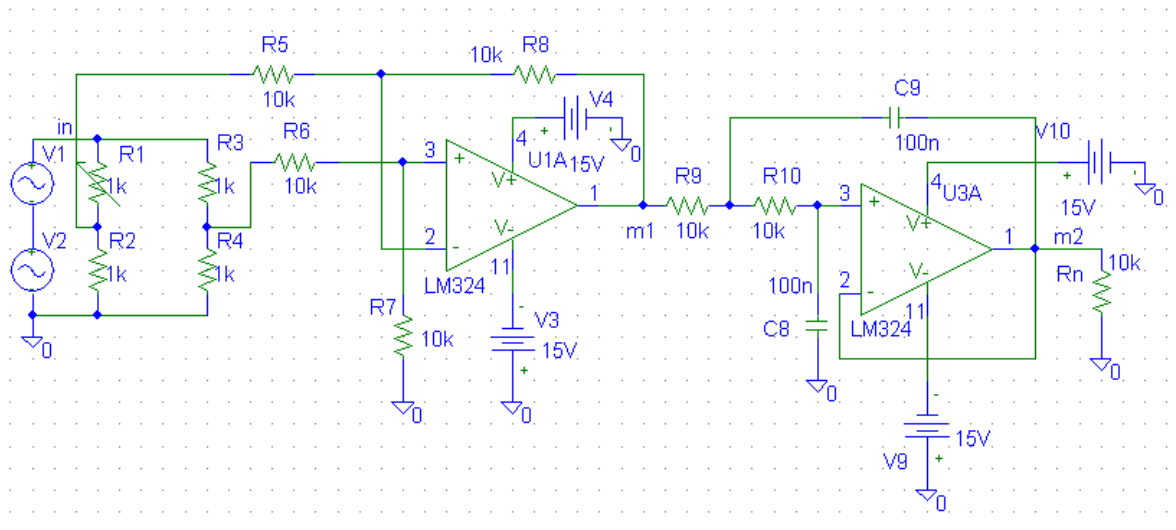


Рис. 7.2. Схема резистивного мостового перетворювача з диференціальним підсилювачем і НЧ-фільтром

Визначити частоту зрізу ФНЧ.

Одержати часові діаграми сигналу до фільтра (рис. 7.3) та після фільтра (рис. 7.4).

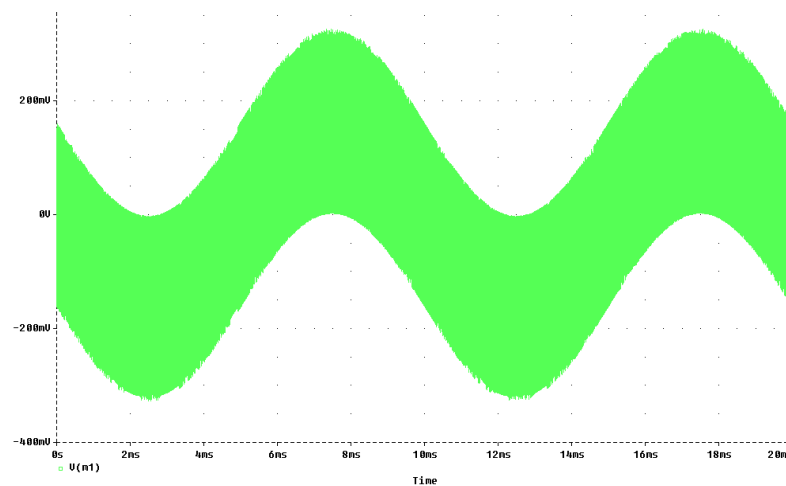


Рис. 7.3. Часова діаграма сигналу до ФНЧ

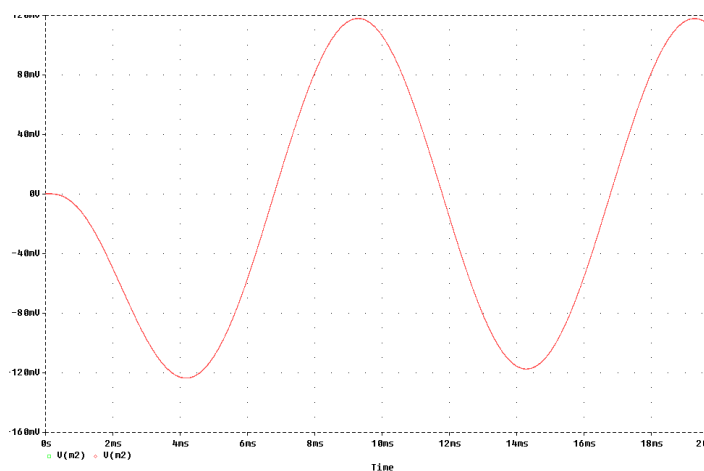


Рис. 7.4. Часова діаграма сигналу після ФНЧ

3. Зібрати схему резистивного мостового вимірювального перетворювача з диференціальним підсилювачем і ВЧ-фільтром (ФВЧ). До однієї діагоналі моста

підключити послідовно два генератори синусоїдальної напруги VSIN і подати сигнал з частотами, наприклад, 100 Hz та 100 KHz, до другої діагоналі підключити диференціальний підсилювач.

До виходу підсилювача підключити ФВЧ, в смугу пропускання якого входить частота 100 KHz, а в смугу затухання – частота 100 Hz

Визначити частоту зрізу ФВЧ.

Одержати часові діаграми сигналу до фільтра та після фільтра.

4. Зібрати схему ємнісного мостового вимірювального перетворювача з диференціальним підсилювачем. До однієї діагоналі моста підключити генератор синусоїдальної напруги VSIN, до другої діагоналі підключити диференціальний підсилювач.

Одержати часові діаграми вхідної та вихідної напруги пристрою для збалансованого ( $C_1C_4 = C_2C_3$ ) і розбалансованого ( $C_1C_4 \neq C_2C_3$ ) моста.

Побудувати залежність амплітуди вихідної напруги від величини ємності датчика  $C_1$ .

### Зміст звіту

1. Мета роботи й завдання до виконання.
2. Схеми мостових вимірювальних перетворювачів.
3. Часові діаграми сигналів.
5. Графіки отриманих залежностей.
6. Виводи.

### Контрольні запитання

1. Що таке резистивний мостовий вимірювальний перетворювач? Поясніть принцип його роботи.
2. Що таке ємнісний мостовий вимірювальний перетворювач?
3. Наведіть схему резистивного мостового вимірювального перетворювача з диференціальним підсилювачем і поясніть її роботу.
4. Наведіть схеми резистивного мостового вимірювального перетворювача з диференціальним підсилювачем та ФНЧ чи ФВЧ. Поясніть їх роботу.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Конспект лекцій з дисципліни «Інструментальні засоби систем IoT» для здобувачів вищої освіти спеціальності 122 «Комп'ютерні науки» / Уклад.: М.В. Ядрова. Одеса: НУОП, 2024. 82 с.