

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМ. ТАРАСА ГРИГОРОВИЧА ШЕВЧЕНКА  
ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

# ЗВІТ

до лабораторної роботи №6:  
«Операційні підсилювачі з негативним зворотним зв'язком»

Месюра М. С.

Київ, 2021

## РЕФЕРАТ

Звіт до ЛР №6: 13 с., 6 рис., 2 джерела.

ОСЦИЛОГРАФ, ОПЕРАЦІЙНИЙ ПІДСИЛЮВАЧ, МОДЕЛЮВАННЯ, ВАХ, LTSPICE, ІНТЕГРАТОР

Об'єкт дослідження — ОП, їхні ВАХ.

Мета роботи — ознайомитися з властивостями операційних підсилювачів, опанувати способи підсилення електричних сигналів схемами з ОП, охопленим негативним зворотним зв'язком та способи виконання математичних операцій за допомогою схем з ОП.

Методи дослідження — в роботі використовуються:

- 1) це метод співставлення: одночасне спостереження вхідного та вихідного сигналів на екрані двоканального осцилографа із наступним вимірюванням і порівнянням їх параметрів.

Змодельовано інвертувальний та неінвертувальний підсилювачі, інтегратор на базі інтегрувального підсилювача. Використано математичне моделювання. Оброблено отримані результати.

## ЗМІСТ

Частина 1. Теоретичні відомості.	с.
I. Основні означення.....	4
II. ОП як інтегральна мікросхема.....	5
Частина 2. Виконання роботи.	
I. Інвертувальний підсилювач	
1. Схема.....	6
2. ВАХ.....	7
II. Неінвертувальний підсилювач	
1. Схема.....	8
2. ВАХ.....	9
III. Інтегратор на базі інвертувального підсилювача	
1. Напруга.....	10
2. ВАХ.....	11
Висновки.....	12
Джерела.....	13

## **Частина 1. Теоретичні відомості.**

### **I. Основні означення.**

**Операційний підсилювач** — це диференціальний підсилювач постійного струму, який в ідеалі має нескінченний коефіцієнт підсилення за напругою і нульову вихідну напругу за відсутності сигналу на вході, великий вхідний опір і малий вихідний, а також необмежену смугу частот підсилюваних сигналів. Раніше такі високоякісні підсилювачі використовувалися виключно в аналогових обчислювальних пристроях для виконання математичних операцій, наприклад, складання та інтегрування. Звідси і походить їх назва — операційні підсилювачі (ОП).

**Створення зворотного зв'язку** полягає в тому, що частина вихідного сигналу підсилювача повертається через ланку зворотного зв'язку (ЗЗ) на його вхід. Якщо сигнал зворотного зв'язку подається на вхід у протифазі до вхідного сигналу (різниця фаз  $\Phi = 180^\circ$ ), то зворотний зв'язок називають негативним (НЗЗ). Якщо ж він подається на вхід у фазі до вхідного сигналу ( $\Phi = 0^\circ$ ), то такий зворотний зв'язок називають позитивним (ПЗЗ).

## II. ОП як інтегральна мікросхема.

У сучасній електроніці для конструювання різних електронних пристроїв (підсилювачів, детекторів, перетворювачів і т. д.) використовуються інтегральні мікросхеми. Шляхом комутації (створення певних електричних з'єднань) виводів інтегральних мікросхем і додавання кількох зовнішніх дискретних елементів (резисторів, конденсаторів, діодів і т. п.) вдається створити великий набір різноманітних електронних схем на основі одєї і тієї ж мікросхеми.

Основною інтегральною мікросхемою для створення аналогових електронних пристроїв є операційний підсилювач (ОП). ОП являє собою мікросхему, що за своїми розмірами і ціною практично не відрізняється від окремого транзистора, хоча вона й містить кілька десятків транзисторів, діодів і резисторів.

Завдяки практично ідеальним характеристикам ОП реалізація на їх основі різних схем виявляється значно простішою і дешевшою, ніж на окремих транзисторах і резисторах.

Операційним підсилювачем називають багатокаскадний диференціальний підсилювач постійного струму, який має в діапазоні частот до кількох десятків кілогерц коефіцієнт підсилення більший за  $10^4$  і за своїми властивостями наближається до уявного «ідеального» підсилювача. Під «ідеальним» розуміють такий підсилювач, який має:

1) нескінченний коефіцієнт підсилення за напругою диференціального вхідного сигналу ( $K \rightarrow \infty$ );

2) нескінченний вхідний імпеданс ( $Z_{in} \rightarrow \infty$ );

3) нульовий вихідний імпеданс ( $Z_{out} = 0$ );

4) рівну нулевій напругу на виході ( $U_{out} = 0$ ) при рівності напруг на вході

( $U_{in_1} = U_{in_2}$ );

5) нескінченний діапазон робочих частот.

Характеристики реального ОП не такі ідеальні, як хотілося б. Однак, для практичних цілей ці характеристики близькі до ідеальних: коефіцієнт підсилення для низьких частот (за постійним струмом)  $K > 10^4$ ; вхідний опір  $R_{in} > 10^6$  Ом; вихідний опір  $R_{out} < 10^2$  Ом; коефіцієнт підсилення падає до 1 на частоті порядку  $10^6$  Гц (1 МГц); напруга зміщення  $U_z$  (визначається як напруга, яку потрібно подати на вхід ОП, щоб вихідна напруга стала рівною нулевій) для більшості ОП не перевищує 10 мВ, а для прецизійних – 10 мкВ.

Прототипом ОП може слугувати класичний диференціальний підсилювач з двома входами і несиметричним виходом.

## Частина 2. Виконання роботи.

### I. Інвертувальний підсилювач.

#### 1. Схема.

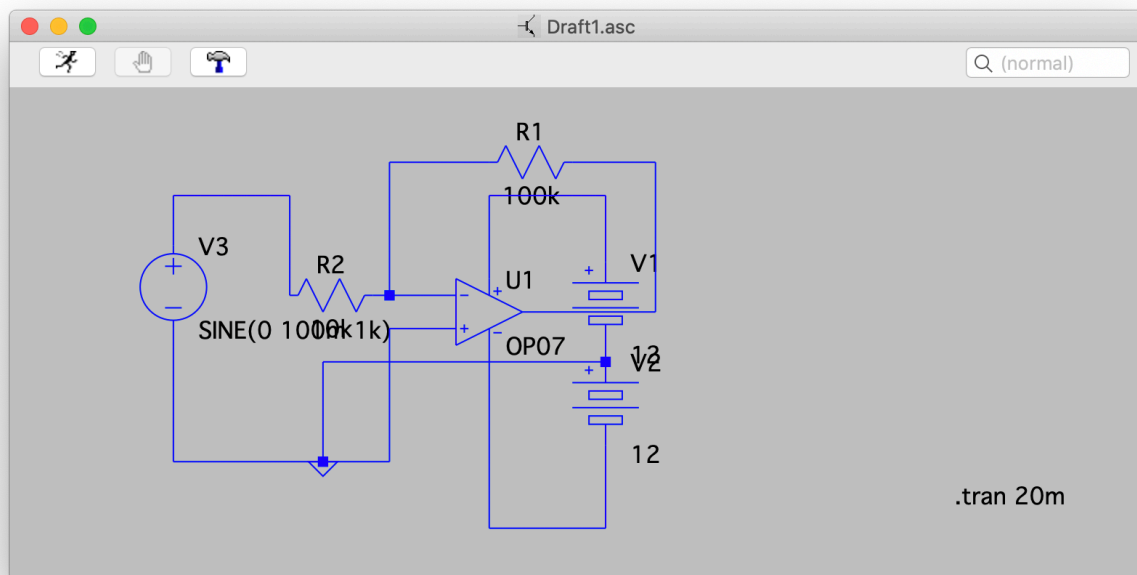


Рис. 1. Схема

## 2. BAX.

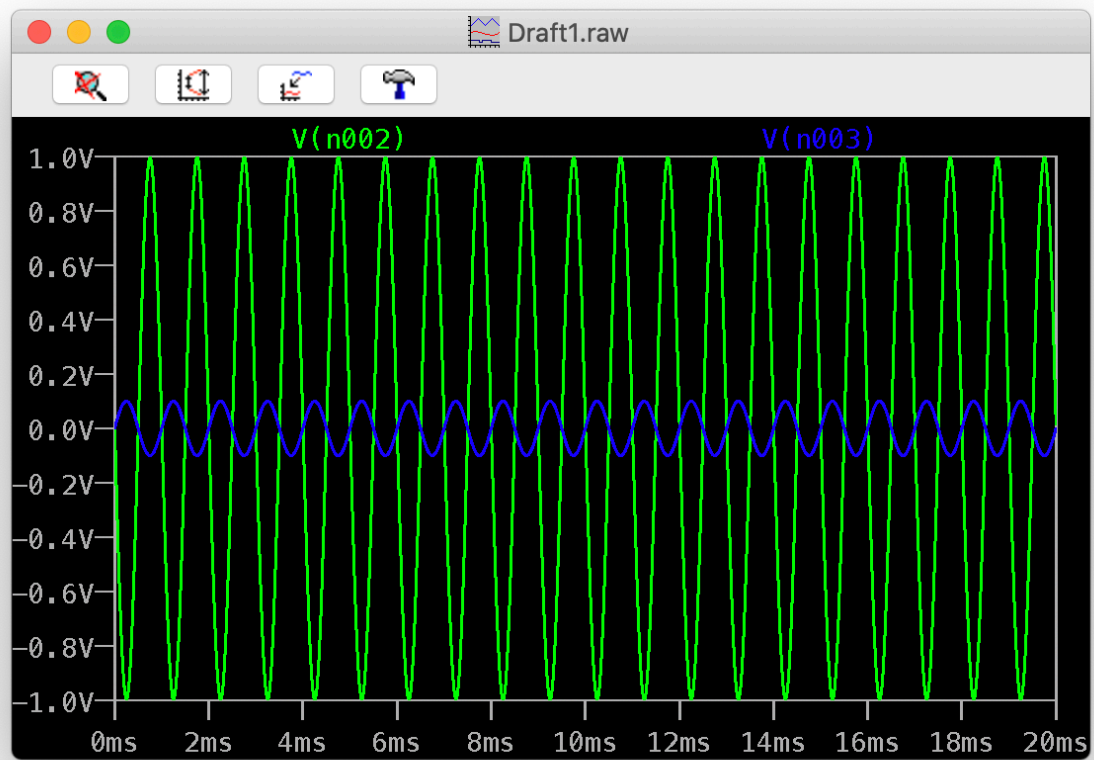


Рис. 2.  $U_{in}(t)$ ,  $U_{out}(t)$

## II. Неінвертувальний підсилювач.

### 1. Схема.

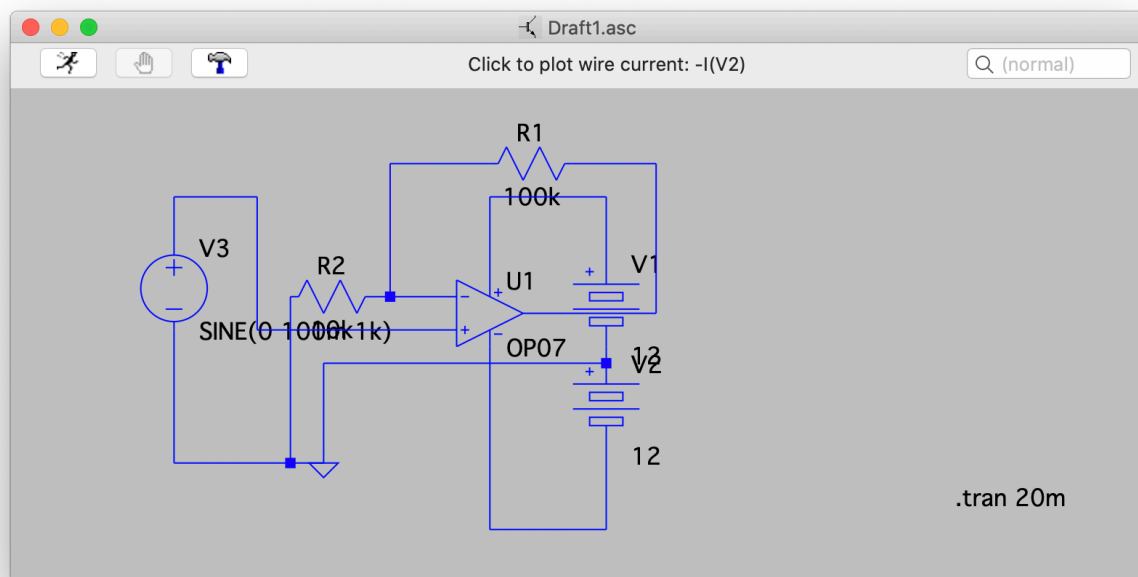


Рис. 3. Схема



## 2. BAX.

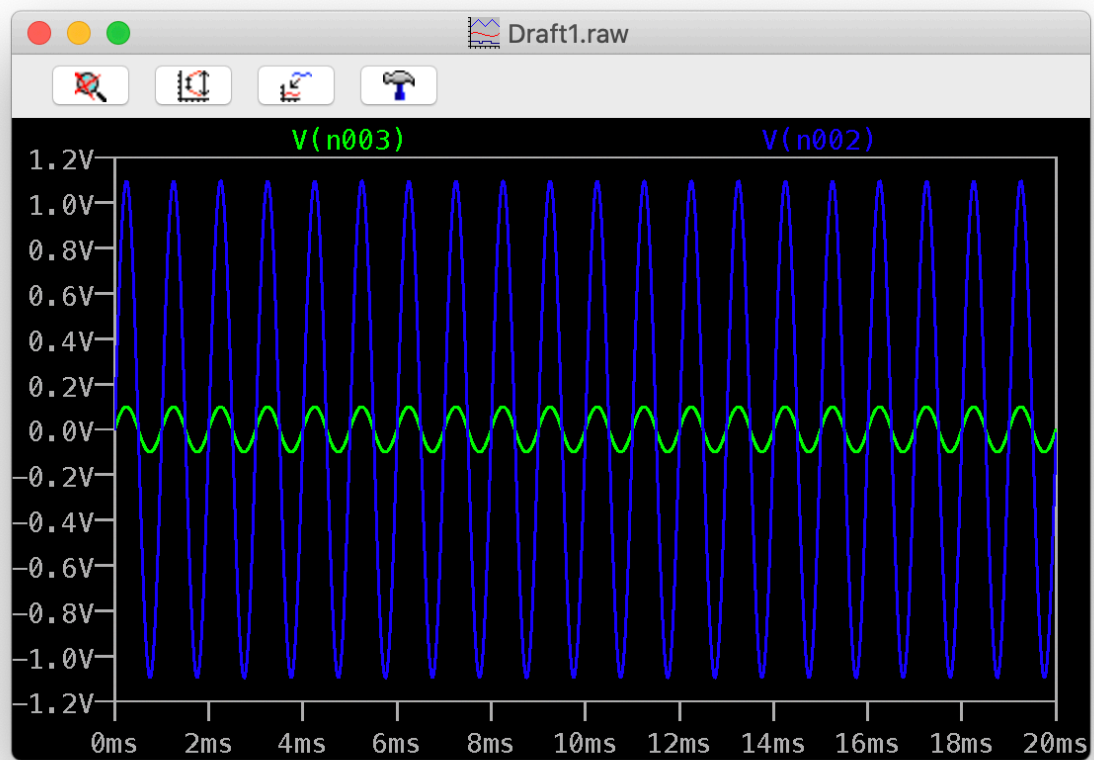


Рис. 4.  $U_{in}(t)$ ,  $U_{out}(t)$

### III. Інтегратор на базі інвертувального підсилювача.

#### 1. Схема.

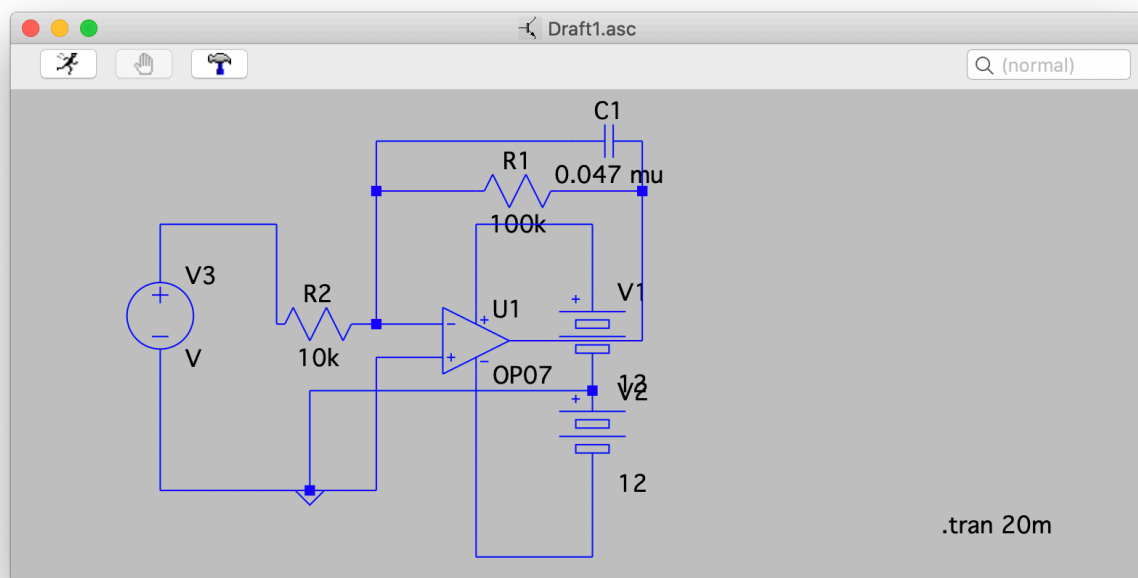


Рис. 5. Схема

## 2. BAX.

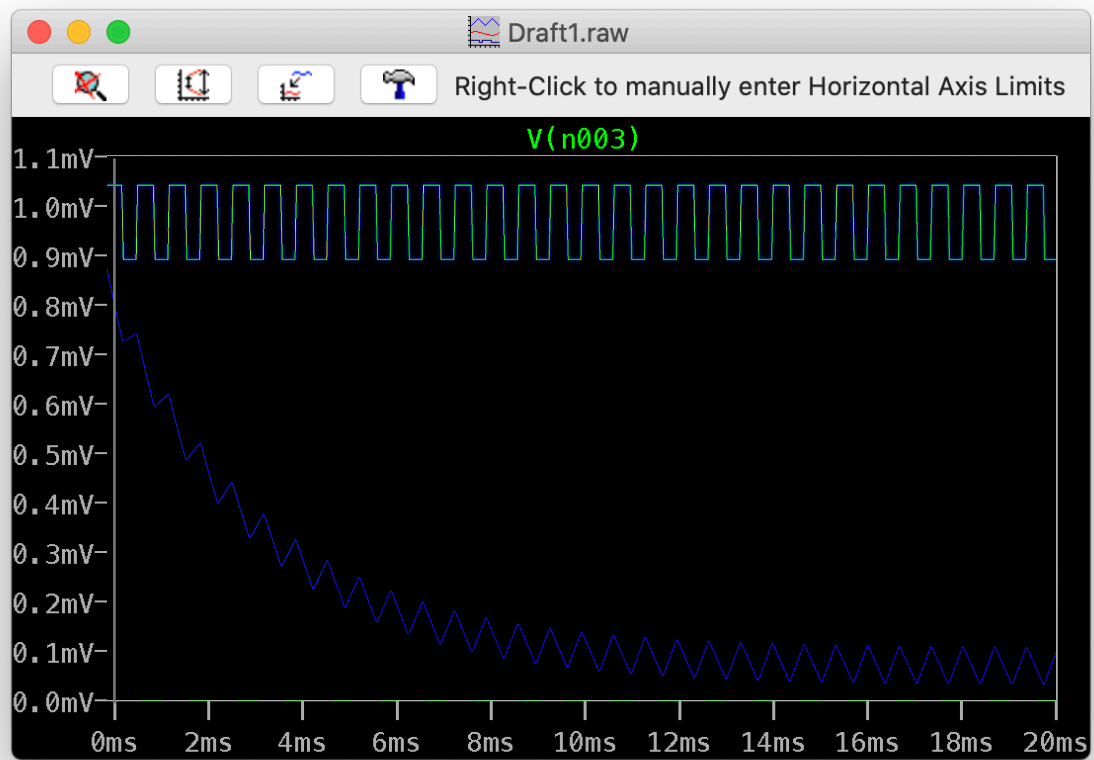


Рис. 6.  $U_{in}(t)$ ,  $U_{out}(t)$

**Висновок:** за допомогою даної лабораторної роботи вдалось дослідити ВАХ операційних підсилювачів. При дослідженні використовувались три типи ОП: інвертувальний, неінвертувальний підсилювач та інтегратор на базі інвертувального підсилювача. Для дослідження перших двох типів використовувався гармонічний сигнал, для інтегратора — імпульсний. Перевірили зміну фаз на вході та виході з кожного ОП.

Усі покази отримано за допомогою комп'ютерного моделювання у програмі LTspice ® та за допомогою її вбудованих можливостей Waveform Data.

### Використані джерела:

Методичні вказівки до практикуму «Основи радіоелектроніки» для студентів фізичного факультету / Упоряд. О.В.Слободянюк, Ю.О.Мягченко, В.М.Кравченко.- К.: Поліграфічний центр «Принт лайн», 2007.- 120 с.

Ю.О. Мягченко, Ю.М. Дулич, А.В.Хачатрян "Вивчення радіоелектронних схем методом комп'ютерного моделювання" : Методичне видання. – К.: 2006.- с.