

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМ. Т. ШЕВЧЕНКА

ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

---

# ОПЕРАЦІЙНІ ПІДСИЛЮВАЧІ З НЕГАТИВНИМ ЗВОРОТНИМ ЗВ'ЯЗКОМ

---

*Автор:*

Холоімов Валерій

23 апреля 2021 г.

# 1 Вступна частина

**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.

## *Теоретичні відомості*

**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).

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 ( $Z \rightarrow \infty$ );
3. нульовий вихідний імпеданс ( $Z = 0$ );
4. рівну нулеві напругу на виході ( $U = 0$ ) при рівності напруг на вході ( $U_1 = U_2$ );
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)  $> 10^4$ , вхідний опір  $R > 10^6$ ; вихідний опір  $R < 10^2$  Ом; коефіцієнт підсилення падає до 1 на частоті порядку  $10^6$  Гц (1 МГц); напруга зміщення  $U$  (визначається як напруга, яку потрібно подати на вхід ОП, щоб вихідна напруга стала рівною нулеві) для більшості ОП не перевищує 10 мВ, а для прецизійних – 10 мкВ.

## 2 Практична частина

Схема 1

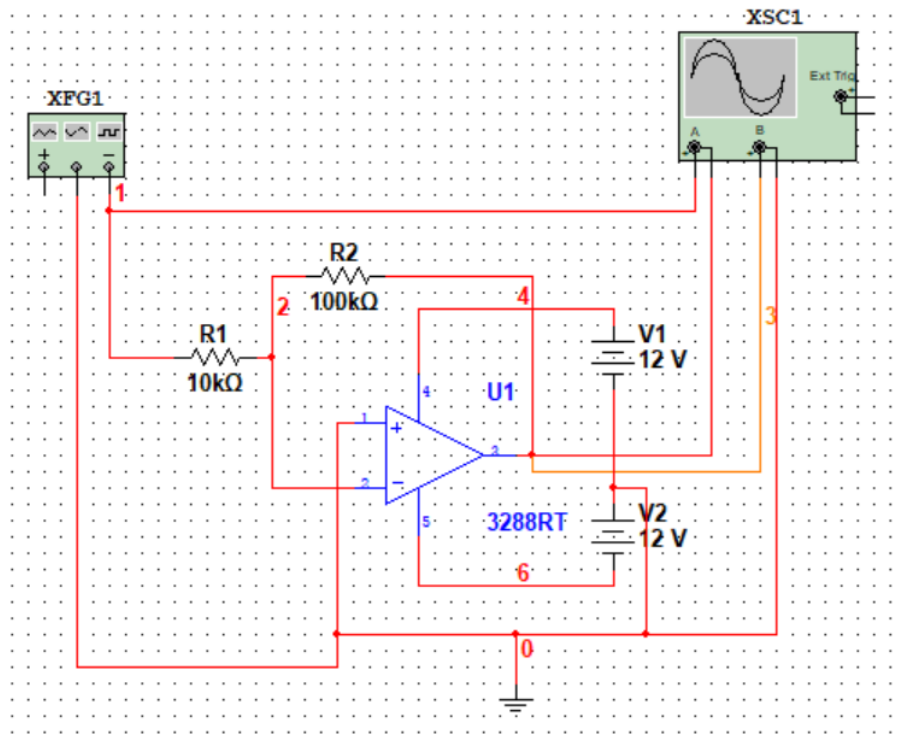


Рис. 1: Перша схема з використанням підсилювача

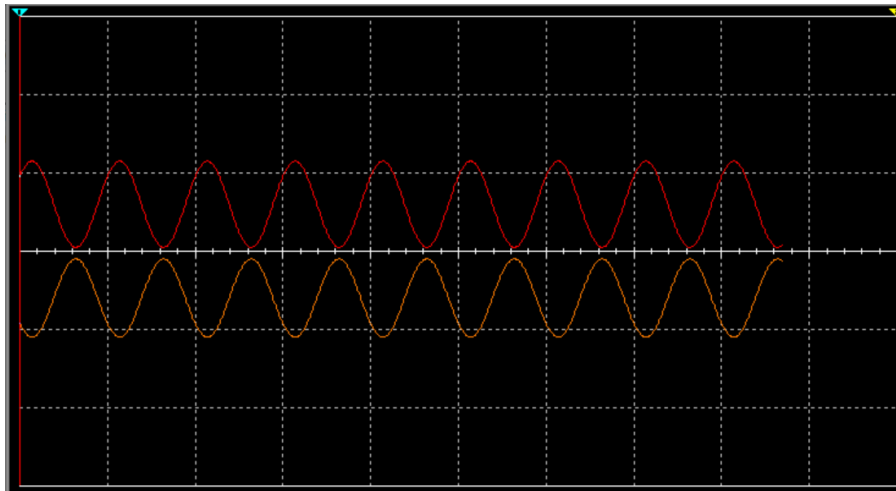


Рис. 2: Отримана напруга на вході та на виході

## Схема 2

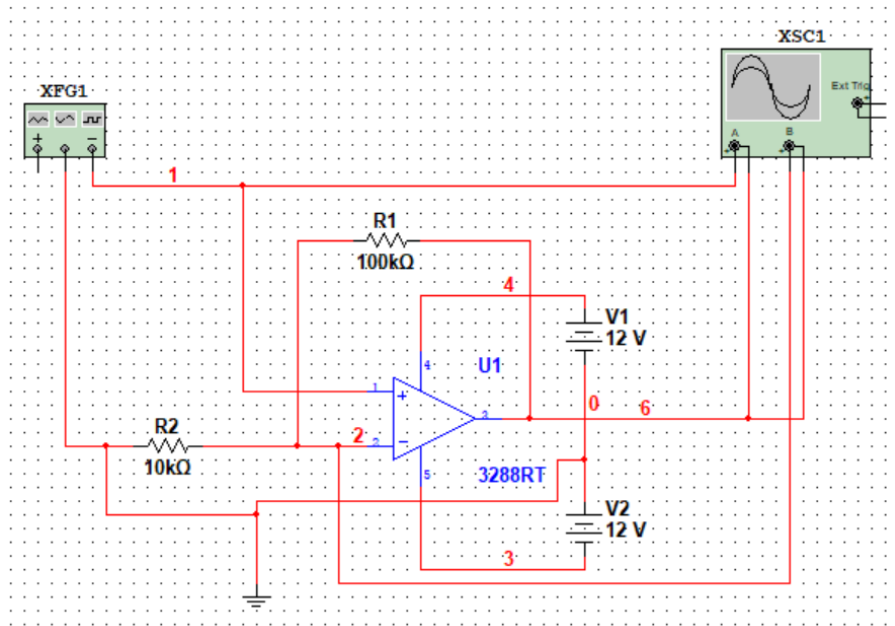


Рис. 3: Друга схема з використанням підсилювача

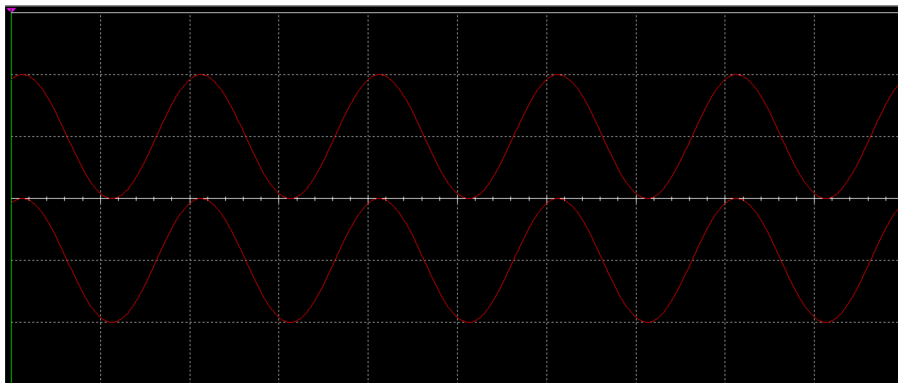


Рис. 4: Отримана напруга на вході та на виході

### Схема 3

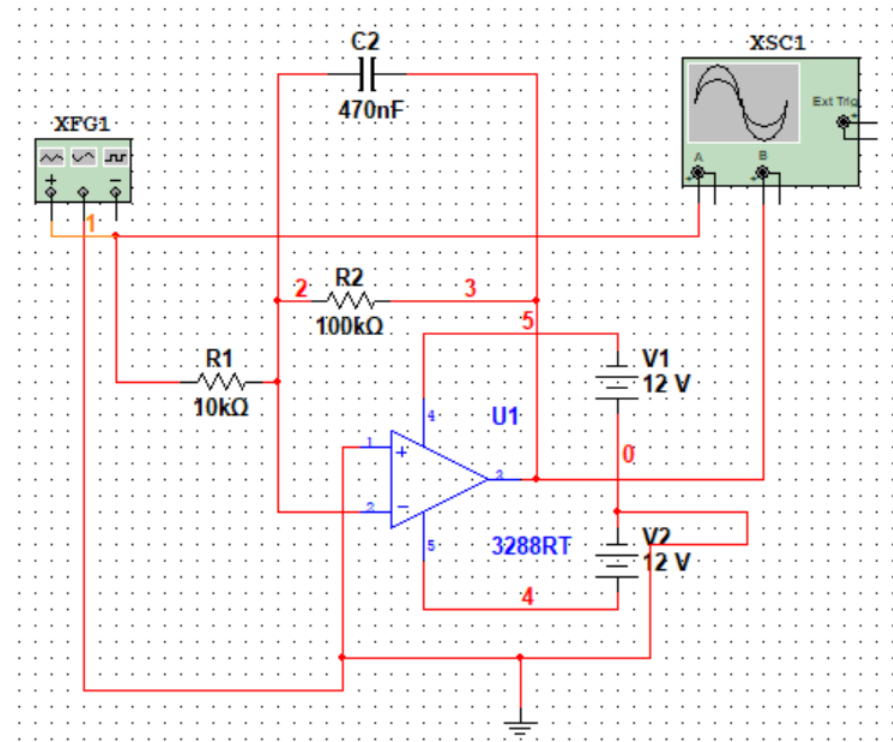


Рис. 5: Третя схема з використанням підсилювача

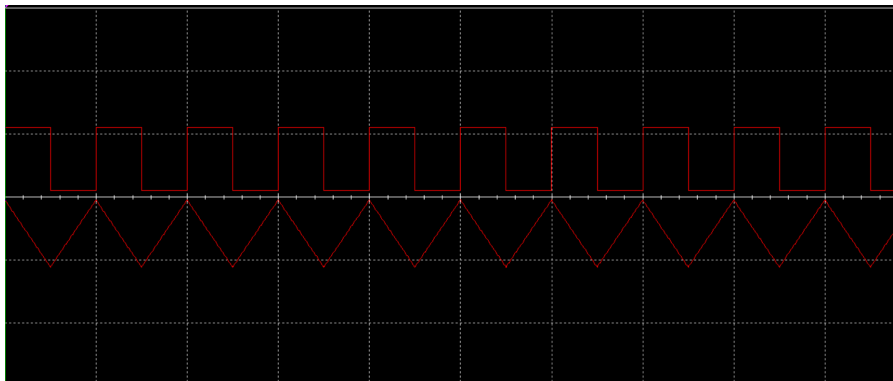


Рис. 6: Отримана напруга на вході та на виході

## Контрольні запитання

**1. 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).

Робоча формула для операційного підсилювача:

$$V_{out} = (V_+ - V_-) \cdot G$$

- $V_{out}$  - вихідна напруга.
- $V_+$  - напруга на неінвертуючому вході
- $V_-$  - напруга на інвертуючому вході
- $G$  - коефіцієнт підсилення

**2. Інвертуючий та неінвертуючий вхід** Два входу ОП - Інвертируючий і Неінвертуючий названі так за притаманними їм властивостями. Якщо подати сигнал на Інвертируючий вхід, то на виході ми отримаємо інвертований сигнал, тобто зрушений по фазі на 180 градусів - дзеркальний. Якщо ж подати сигнал на Неінвертуючий вхід, то на виході ми отримаємо фазово незмінений сигнал.

Негативний зворотний зв'язок (НЗЗ) — тип зворотного зв'язку, при якому вихідний сигнал передається назад на вхід для погашення частини вхідного сигналу.

Позитивний зворотний зв'язок (ПЗЗ) — тип зворотного зв'язку, при якому вихідний сигнал передається назад на вхід для збільшення вхідного сигналу.

Нехай вхідний сигнал  $u$  та вихідний сигнал  $U$  підсилювача зв'язано лінійним співвідношенням:

$$U = ku$$

Якщо на вхід системи подати крім сигналу  $u$  ще й частково сигнал з виходу, так що загальний вхідний сигнал стане

$$U = k(u + \alpha U)$$

—  $\alpha$  певний коефіцієнт зворотного зв'язку.

**3. Зворотний зв'язок за напругою і за струмом** Якщо коло зворотного зв'язку вмикається до виходу підсилювача паралельно його навантаженню  $R$ , то напруга зворотного зв'язку буде прямо пропорційною напрузі на виході. Такий зв'язок називають зворотним зв'язком за напругою.

Якщо коло зворотного зв'язку увімкнено до входу підсилювача послідовно з його навантаженням, то напруга зворотнього зв'язку буде пропорційною струму в навантаженні  $R$ . Такий зворотній зв'язок називають зворотнім зв'язком за струмом.

Якщо коло зворотного зв'язку вмикається до входу підсилювача послідовно з джерелом вхідного сигналу, то зворотний зв'язок називають послідовним.

Якщо коло зворотного зв'язку вмикається до входу паралельно джерела сигналу, то зворотній зв'язок називають паралельним.