

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМ. Т. ШЕВЧЕНКА

ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

ОПЕРАЦІЙНІ ПІДСИЛЮВАЧІ З НЕГАТИВНИМ ЗВОРОТНИМ ЗВ'ЯЗКОМ

Автор:

Холоімов Валерій

21 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

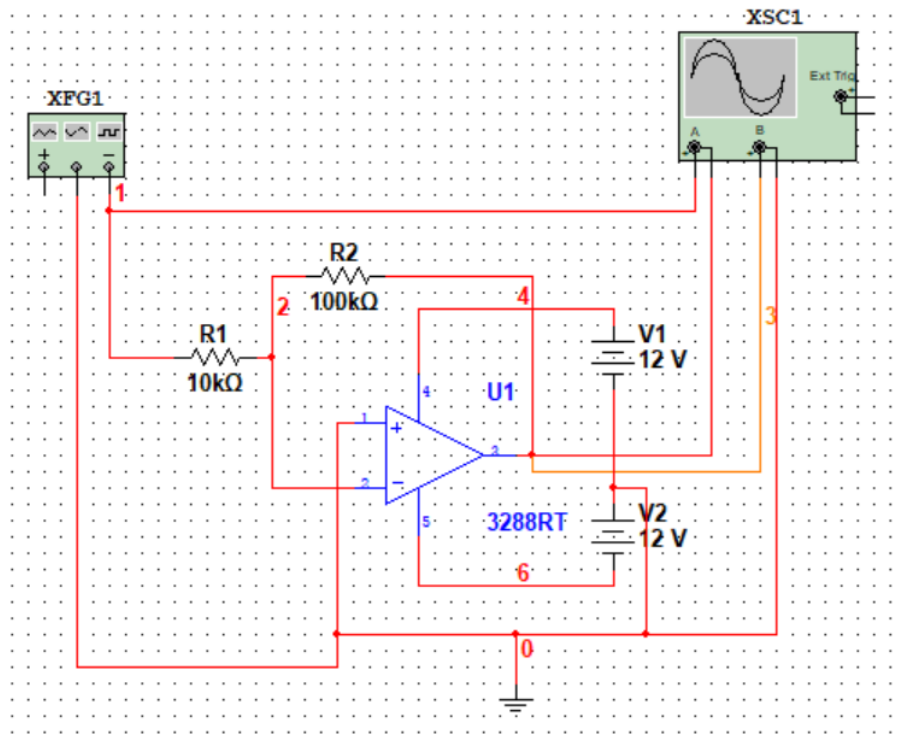


Рис. 1: Перша схема з використанням підсилювача

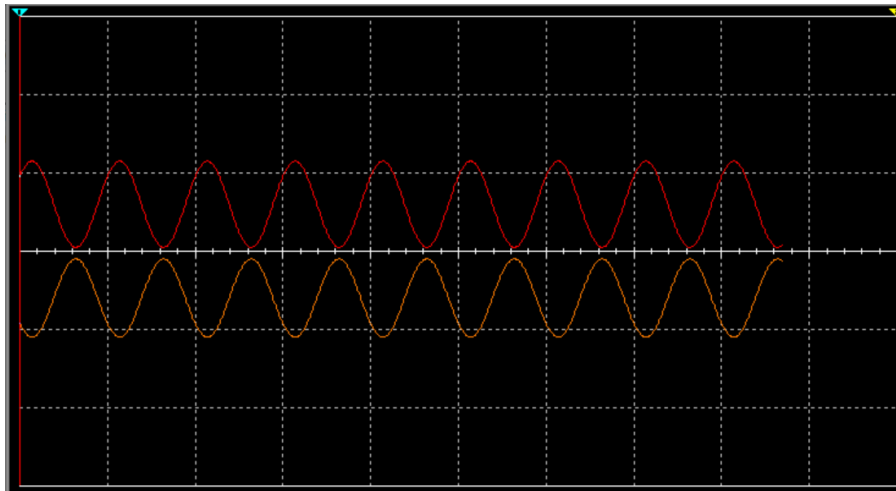


Рис. 2: Отримана напруга на вході та на виході

Схема 2

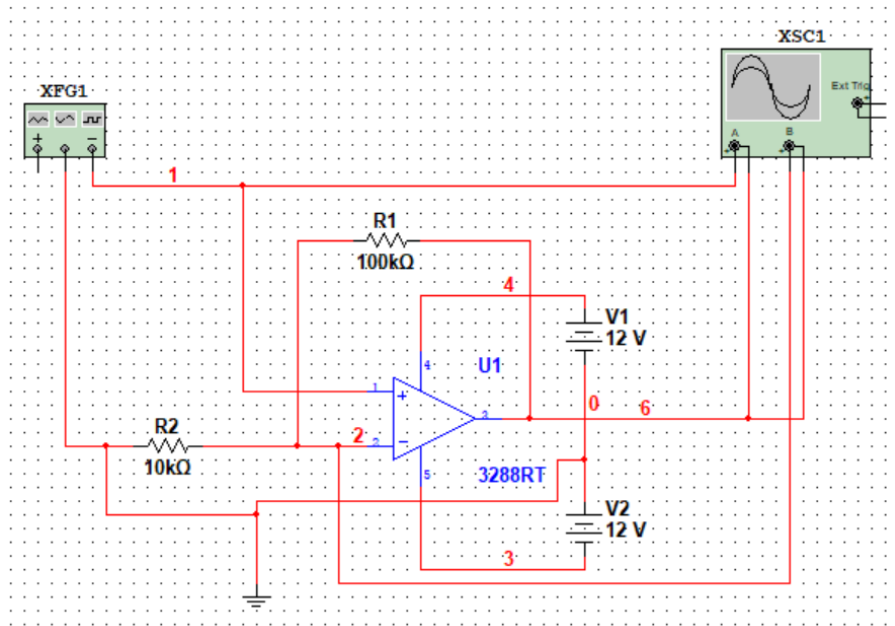


Рис. 3: Друга схема з використанням підсилювача

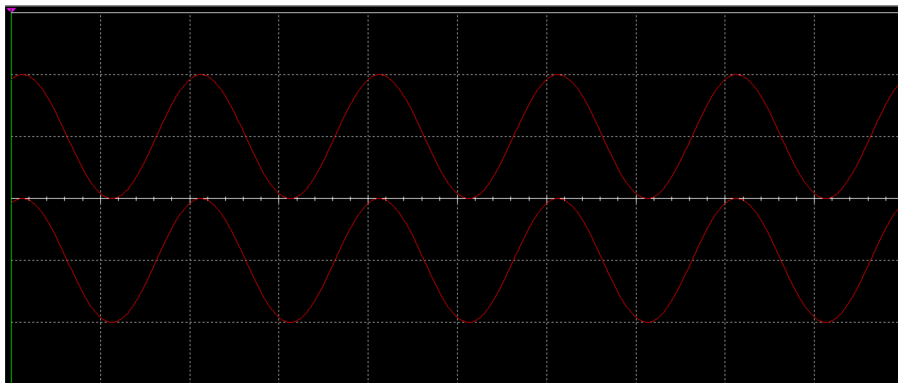


Рис. 4: Отримана напруга на вході та на виході

Схема 3

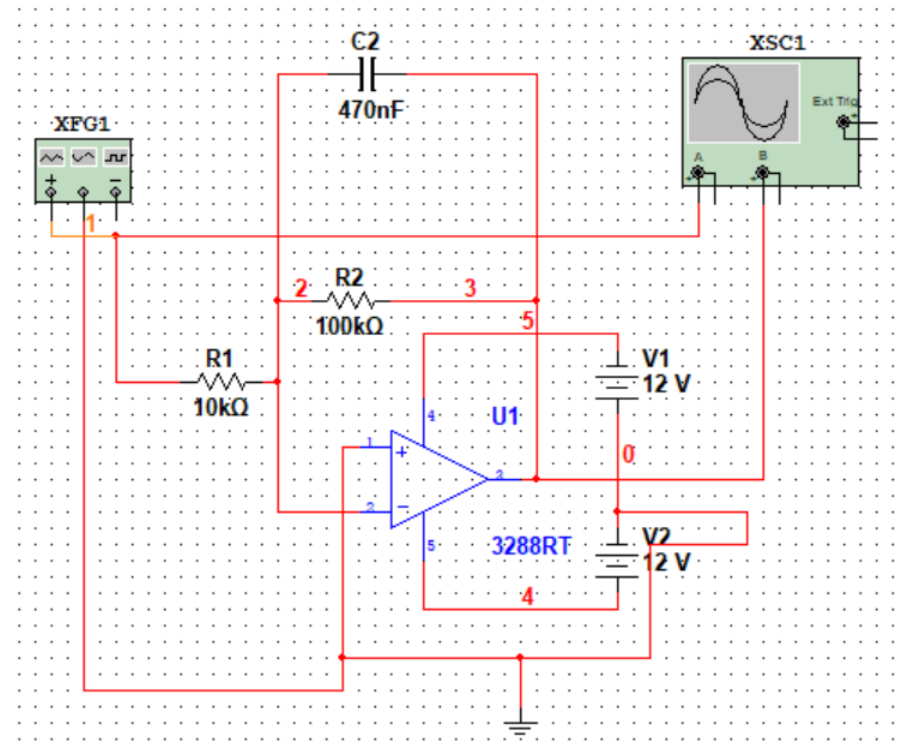


Рис. 5: Третя схема з використанням підсилювача

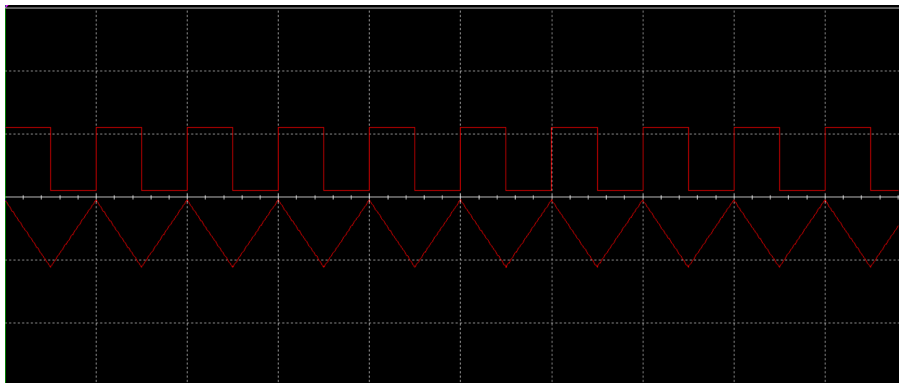


Рис. 6: Отримана напруга на вході та на виході

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

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

— α 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.