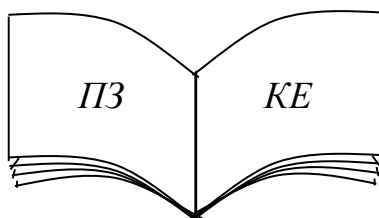


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до виконання практичних робіт з навчальної
дисципліни «Комп'ютерна електроніка»**

для студентів денної та заочної форми навчання
за спеціальністю «Комп'ютерна інженерія»



Харків 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання практичних робіт з навчальної
дисципліни «Комп'ютерна електроніка»

для студентів денної та заочної форми навчання
за спеціальністю «Комп'ютерна інженерія»

Затверджено
редакційно-видавничою
радою НТУ «ХПІ»,
протокол № 2 від 28.06.2023

Харків
НТУ «ХПІ»

2023

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з навчальної дисципліни «Комп'ютерна електроніка» для студентів денної та заочної форми навчання за спеціальністю «Комп'ютерна інженерія» / В. В. Скороделов, Г. В. Гейко, В. І. Носков. – Харків : НТУ «ХПІ», 2023. – 59 с.

Укладачі: В. В. Скороделов, Г. В. Гейко, В. І. Носков

Рецензент: доц. А. О. Подорожняк

Кафедра комп'ютерної інженерії та програмування

ВСТУП

Методичні вказівки враховують можливість виконання практичних робіт як на універсальних монтажних платах з наборами перемичок, дискретних пасивних і напівпровідникових елементів, транзисторів і мікросхем, так і з використанням програм моделювання електронних схем. При проведенні практичних робіт слід керуватися наступними положеннями:

1) практичні заняття проводяться фронтально у всій групі, об'єм завдань визначає викладач;

2) до кожної практичної роботи необхідна самостійна підготовка, що включає вивчення теоретичного матеріалу та виконання необхідних проєктних робіт, теоретичний аналіз розроблених схем, побудова часових діаграм;

3) в ході виконання практичної роботи студенти повинні зібрати на універсальній монтажній платі або у програмі моделювання схему та виконати її дослідження;

4) по кожній практичній роботі складається звіт, що включає: тему і мету роботи, індивідуальне завдання, результати досліджень з поясненнями, висновки по всім досліддам;

5) всі розроблені схеми та результати досліджень, що створювались в програмах моделювання, необхідно представити викладачу для демонстрації працездатності схеми або пристрою, що моделюється.

При здачі звіту про виконання практичної роботи, студенти повинні бути готові відповісти на контрольні питання, які знаходяться в методичних вказівках, і на додаткові питання за матеріалом, що вивчається.

Практична робота 1

ЗНАЙОМСТВО З ПРОГРАМОЮ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ СХЕМ

Мета роботи: Набути мінімально необхідні навички роботи з програмою моделювання електронних схем Multisim. Розглянути форми подання інформації в комп'ютерах. Навчитися вимірювати параметри постійних та змінних електричних сигналів. Навчитися моделювати та досліджувати найпростіші електронні ланцюги.

Дослід 1 – Дослідження найпростішого ланцюга з резистором

1.1 На постійному струмі з використанням звичайних амперметрів і вольтметрів

Зібрати схему (рис. 1.1) з наступними параметрами: $U1 = 10$ В, $R1 = N$ кОм, де N – номер варіанта. Виміряти струм в ланцюзі I_{R1} та напругу U_{R1} на резисторі $R1$ за допомогою амперметра та вольтметра, порівняти виміряні дані з розрахунками:

$$I_{R1} = U1 / R1, \quad (1.1)$$

$$U_{R1} = I_{R1} \cdot R1. \quad (1.2)$$

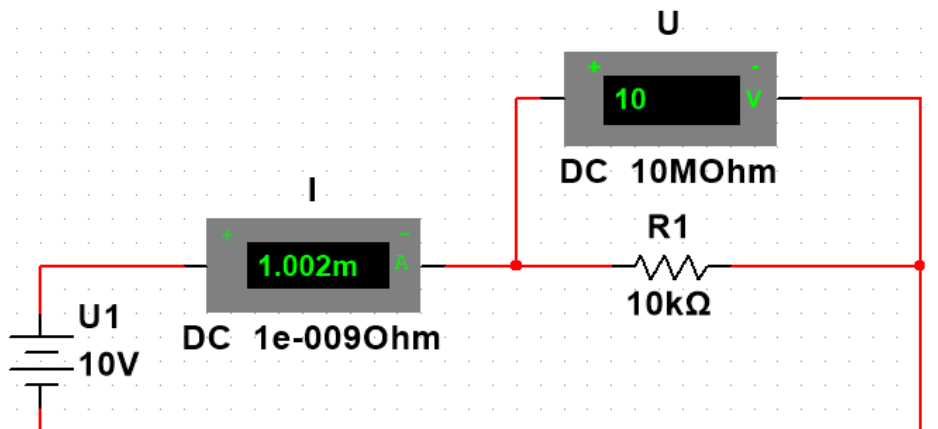


Рисунок 1.1

1.2 На постійному струмі з використанням мультиметрів

Зібрати схему (рис. 1.2) з наступними параметрами: $U1 = 10$ В, $R1 = N$ кОм, де N – номер варіанта. Виміряти струм та напругу на резисторі за допомогою мультиметрів, порівняти виміряні дані з розрахунками згідно виразів (1.1 – 1.2).

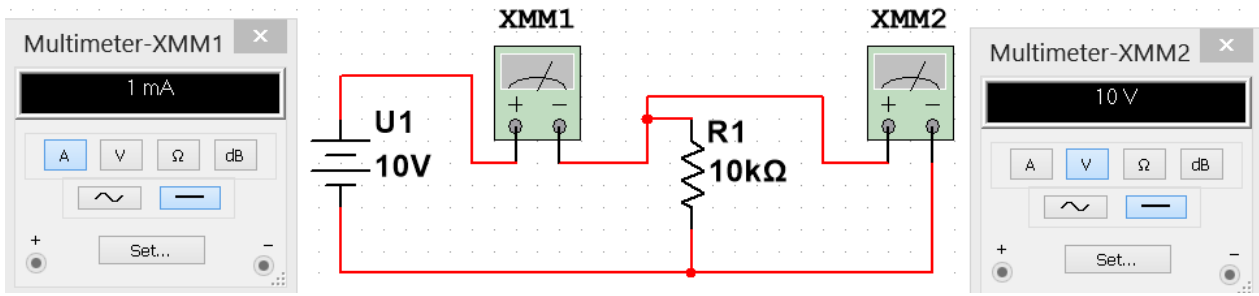


Рисунок 1.2

1.3 На змінному струмі з використанням генератора сигналів і осцилографа

Зібрати схему (рис. 1.3) та дослідити форму сигналу на резисторі за допомогою осцилографа (рис. 1.4). Навчитися задавати та вимірювати статичні та динамічні параметри різних форм сигналів (амплітуду та її миттєві значення, частоту та період, довжину імпульсу та скважність, час наростання сигналу).

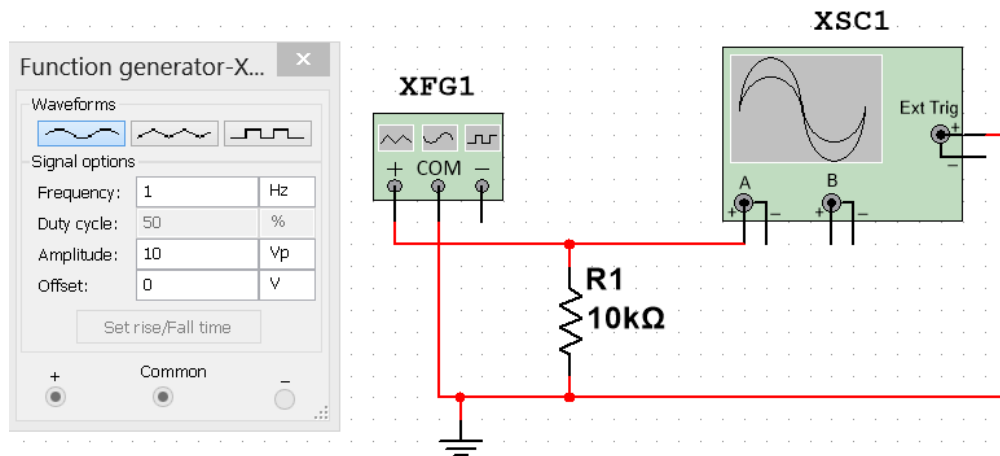


Рисунок 1.3

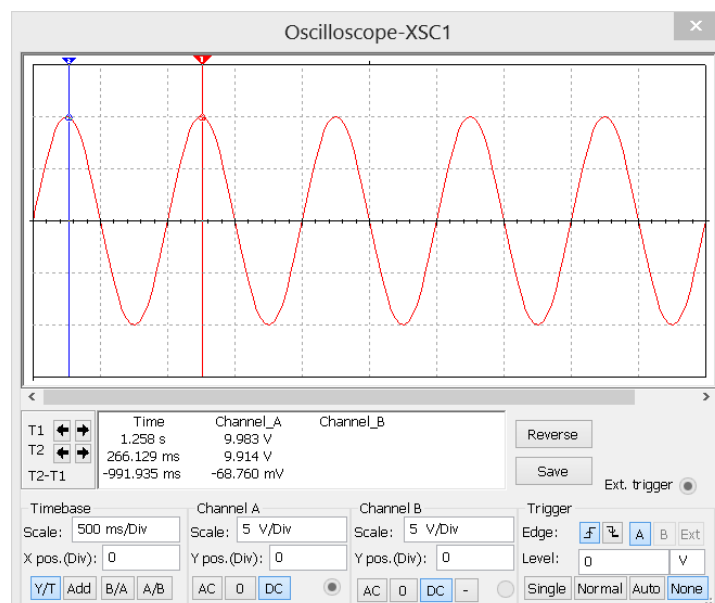


Рисунок 1.4

Дослід 2 – Дослідження RC ланцюгів

2.1. Дослідження RC ланцюгів на змінному струмі

Зібрати схему (рис. 1.5) з наступними параметрами: $U_{\text{вх}} = 10 \text{ В}$, $C1 = 1 \text{ мкФ}$, $R1 = N \text{ кОм}$, де N – номер варіанта. Дослідити форму сигналу на конденсаторі за допомогою осцилографа (рис. 1.6), змінюючи вхідну частоту $f_{\text{вх}}$ від 1 Гц до 100 Гц.

Навчитися задавати та вимірювати статичні та динамічні параметри сигналів на вході та виході схеми (амплітуду, частоту, період, час затримки між сигналами на вході та виході).

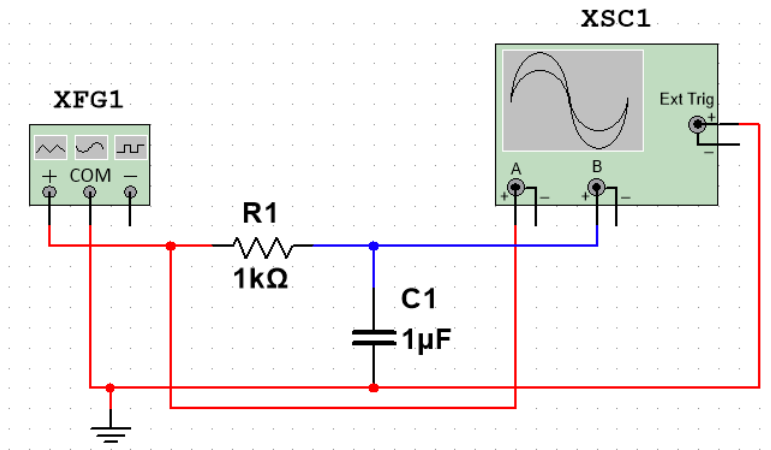


Рисунок 1.5

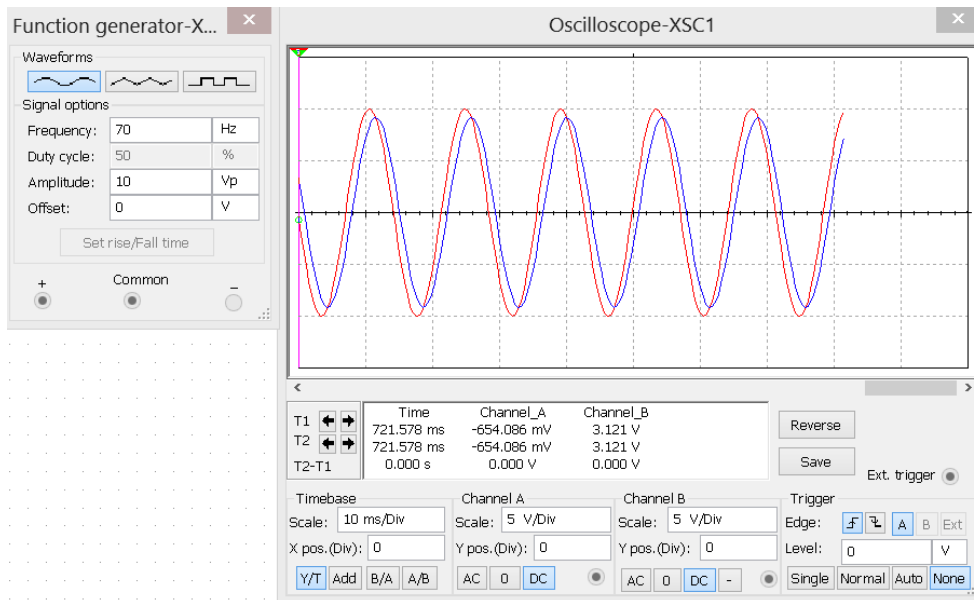


Рисунок 1.6

2.2 Дослідження CR ланцюгів на змінному струмі

Зібрати схему (рис. 1.7) з наступними параметрами: $U_{\text{вх}} = 10 \text{ В}$, $C1 = 1 \text{ мкФ}$, $R1 = N \text{ кОм}$, де N – номер варіанта. Дослідити форму сигналу на резисторі за

допомогою осцилографа (рис. 1.8), змінюючи вхідну частоту $f_{вх}$ від 1 Гц до 100 Гц.

Навчитися задавати та вимірювати статичні та динамічні параметри сигналів на вході та виході схеми (амплітуду, частоту, період, час затримки між сигналами на вході та на виході).

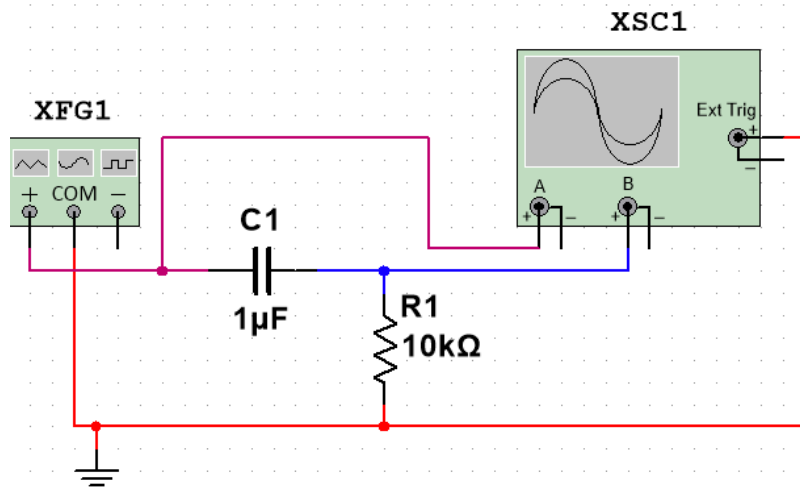


Рисунок 1.7

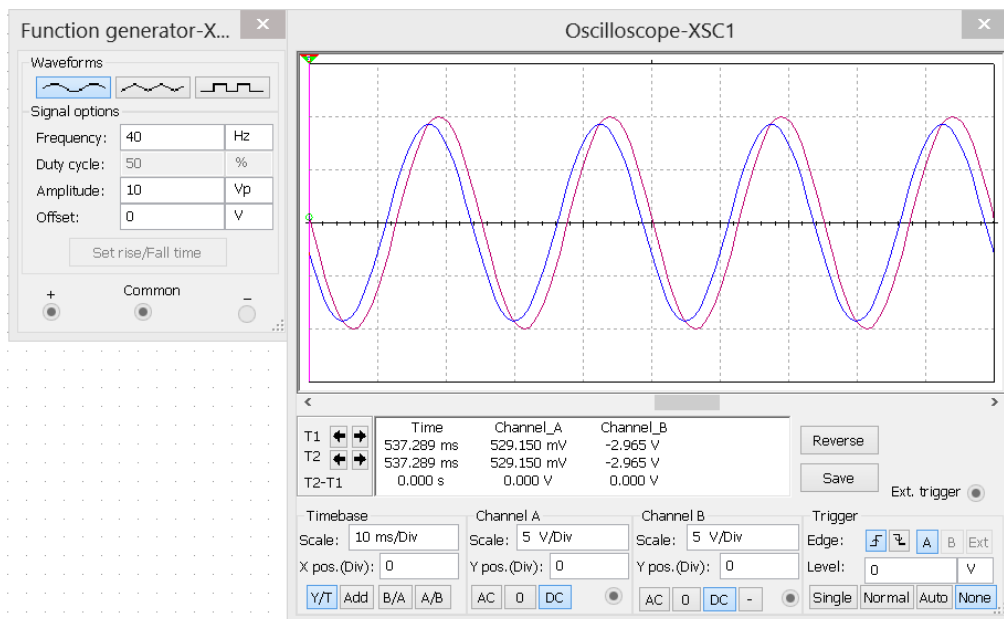


Рисунок 1.8

Зміст звіту

1. Тема і мета роботи.
2. Індивідуальне завдання.
3. Результати виконання дослідів (схеми, графіки, розрахунки та ін.) з описом, які прилади були використані, що в результаті отримали на графіках, порівняти теоретичні дані з результатами експериментів.
4. Загальні висновки по роботі.

Контрольні питання

1. Які внутрішні опори повинні мати амперметри та мультиметри (рис. 1.1 – 1.2), щоб значення струму I_{RI} і напруги U_{RI} відповідали розрахункам згідно виразів (1.1 – 1.2)?
2. Як змінюється значення струму I_{RI} у ланцюзі при зміні опору резистора RI (рис. 1.1)?
3. Чи змінюється амплітуда напруги на резисторі RI при зміні частоти або форми вхідного сигналу (рис. 1.3)?
4. Як і чому змінюється амплітуда напруги на конденсаторі CI при зміні опору резистора RI і $f_{вх} = \text{const}$ (рис. 1.5)?
5. Як і чому змінюється амплітуда напруги на конденсаторі CI при зміні його ємності і $f_{вх} = \text{const}$ (рис. 1.5)?
6. Як і чому змінюється амплітуда напруги на конденсаторі CI при зміні частоти вхідного сигналу (рис. 1.5)?
7. Як вимірюється час затримки між сигналами на вході і виході CR -ланцюга (рис. 1.7)?
8. Як і чому змінюється амплітуда напруги на резисторі RI при зміні частоти вхідного сигналу (рис. 1.7)?
9. В чому відмінність осцилограм сигналів на вході і виході ланцюгів на рис. 1.5 та рис. 1.7?

Практична робота 2

ДІЛЬНИКИ НАПРУГИ

Мета роботи: Набути мінімально необхідні навички роботи з програмою моделювання електронних схем Multisim. Навчитися розраховувати, моделювати та досліджувати ланцюги типу резистивних дільників напруги.

Дослід 1 – Дослідження дільника напруги без навантаження

1.1 На постійному струмі

Зібрати схему (рис. 2.1) з наступними параметрами: $U1 = 10$ В, $R1 = 10$ кОм, $R2 = N$ кОм, де N – номер варіанта. Виміряти струм і напругу на резисторі $R2$ за допомогою амперметра та мультиметра та порівняти їх з розрахунками:

$$I = \frac{U1}{R1 + R2}, \quad (2.1)$$

$$U_{R2} = I \cdot R2. \quad (2.2)$$

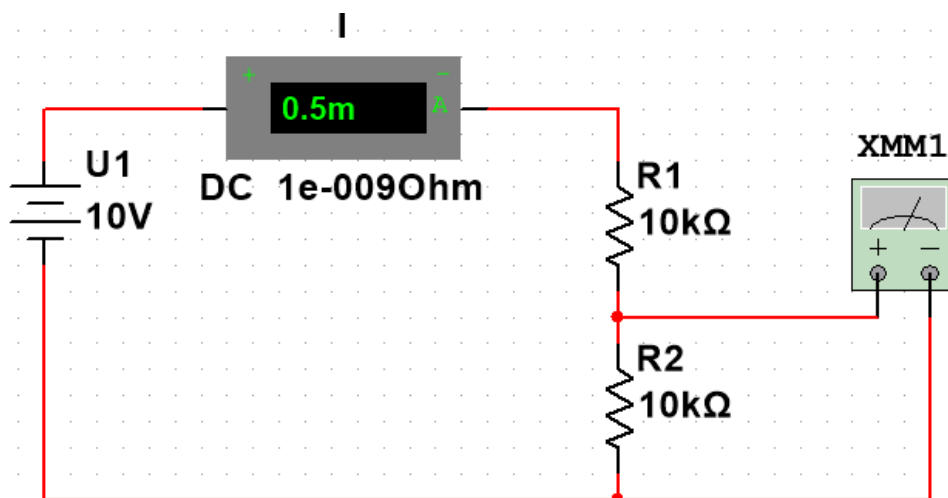


Рисунок 2.1

1.2 На змінному струмі

Зібрати схему (рис. 2.2) з наступними параметрами: $U_{BX} = 10$ В, $R1 = 10$ кОм, $R2 = N$ кОм, $f_{BX} = (3 \cdot N)$ Гц, де N – номер варіанта. Дослідити форму сигналу на резисторі $R2$ за допомогою осцилографа (рис. 2.3).

Навчитися задавати та вимірювати статичні та динамічні параметри сигналів на вході та виході схеми (амплітуду, частоту, період, час затримки між сигналами на вході та на виході).

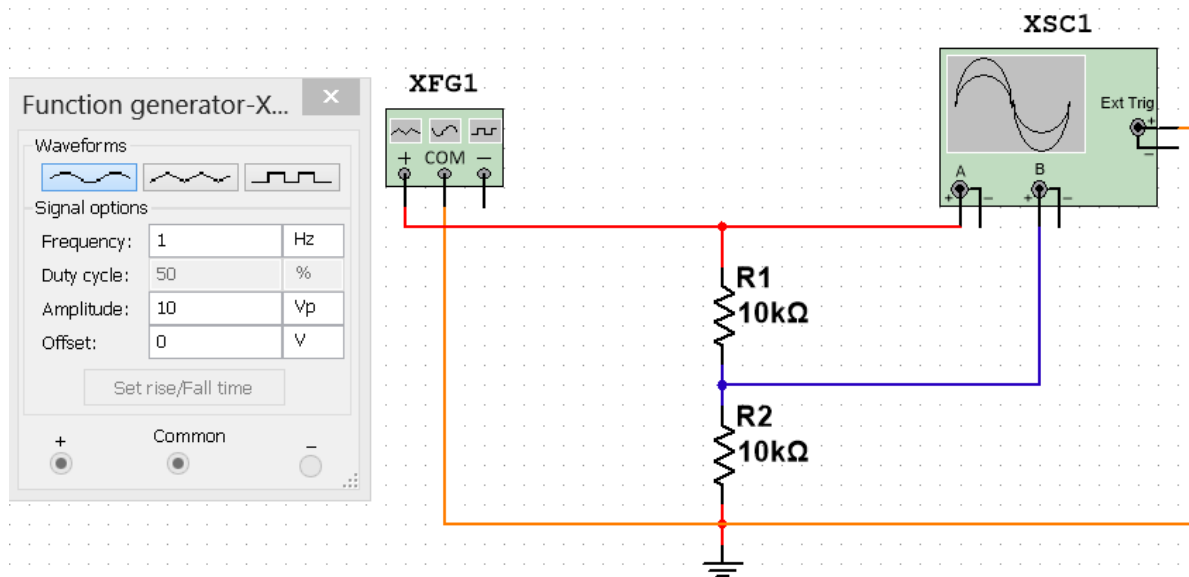


Рисунок 2.2

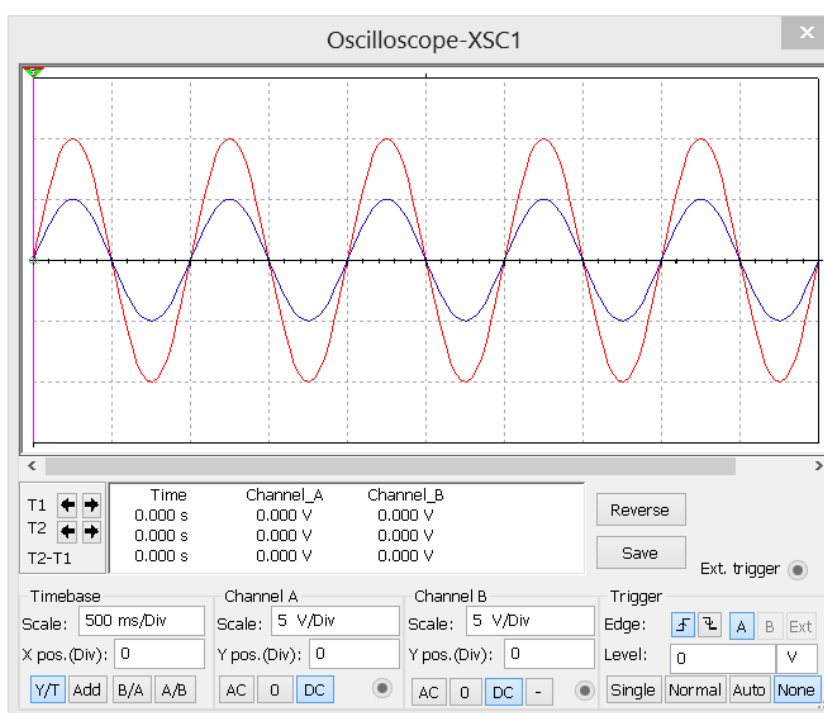


Рисунок 2.3

Дослід 2 – Дослідження ділянки напруги з активним навантаженням на постійному струмі

Зібрати схему (рис. 2.4) з наступними параметрами: $U_1 = 10$ В, $R_1 = 10$ кОм, $R_2 = (N+10)$ кОм, $R_3 = (2 \cdot N)$ кОм, де N – номер варіанта. Виміряти струм I_{R1} і напругу U_{R3} за допомогою амперметра і мультиметра та порівняти їх з розрахунками:

$$R_e = R1 + \frac{R2 \cdot R3}{R2 + R3}, \quad (2.3)$$

де R_e – еквівалентний резистор навантаження на джерело вхідної напруги.

$$I_{R1} = \frac{U1}{R_e}, \quad (2.4)$$

де I_{R1} – струм, який протікає через резистор $R1$.

$$I_{R1} = I_{R2} + I_{R3}, \quad (2.5)$$

$$U_{R3} = I_{R1} \cdot \frac{R2 \cdot R3}{R2 + R3}. \quad (2.6)$$

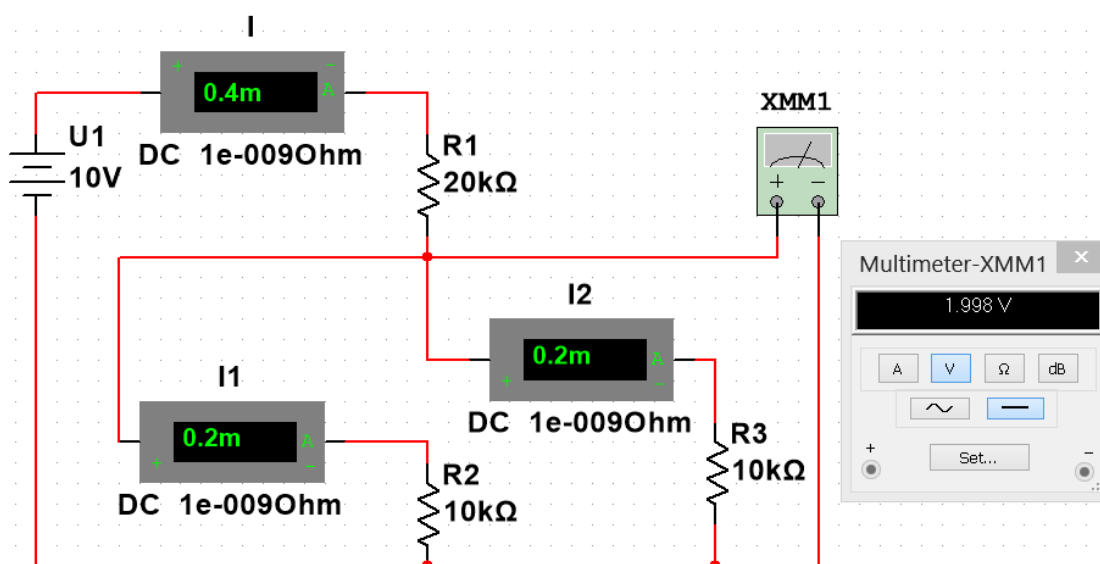


Рисунок 2.4

Дослід 3 – Дослідження діляника напруги з ємнісним навантаженням на змінному струмі

Зібрати схему діляника напруги з ємнісним навантаженням (рис. 2.5) з наступними параметрами: $U_{\text{вх}} = 10 \text{ В}$, $C1 = 1 \text{ мкФ}$, $R1 = 20 \text{ кОм}$, $R2 = N \text{ кОм}$, $f_{\text{вх}} = (3 \cdot N) \text{ Гц}$, де N – номер варіанта. Дослідити форму сигналу на конденсаторі навантаження ($C1$) за допомогою осцилографа (рис. 2.6).

Навчитися задавати та вимірювати статичні та динамічні параметри сигналів на вході та виході схеми (амплітуду, частоту, період, час затримки між сигналами на вході та на виході).

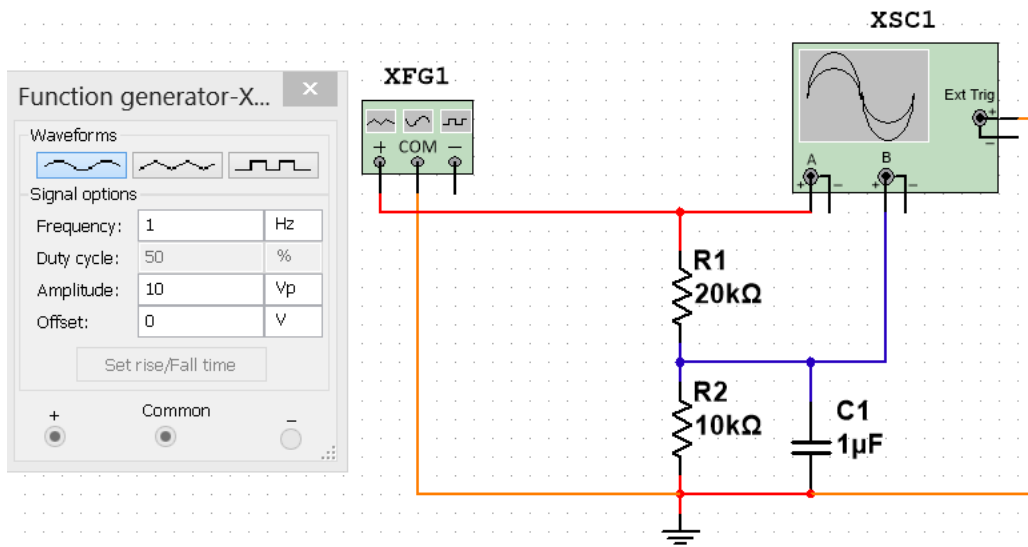


Рисунок 2.5

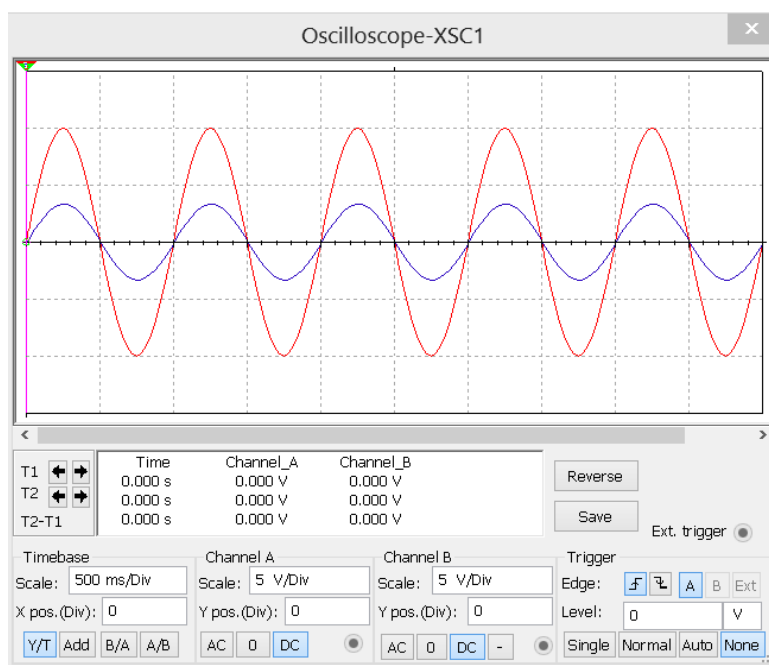


Рисунок 2.6

Зміст звіту

1. Тема і мета роботи.
2. Індивідуальне завдання.
3. Результати виконання дослідів (схеми, графіки, розрахунки та ін.) з описом, які прилади були використані, що в результаті отримали на графіках, порівняти теоретичні дані з результатами експериментів.
4. Загальні висновки по роботі.

Контрольні питання

1. Які внутрішні опори повинні мати амперметр та мультиметр (рис. 2.1), щоб значення струму I і напруги U_{R2} відповідали розрахункам згідно виразів (2.1 – 2.2)?
2. Як залежить значення струму I у ланцюзі від зміни опору резистора $R2$ (рис. 2.1)?
3. Як і чому змінюється амплітуда напруги на резисторі $R2$ при зміні його опору (рис. 2.1)?
4. Чи змінюється амплітуда напруги на резисторі $R2$ при зміні частоти або форми вхідного сигналу (рис. 2.2)?
5. Як залежить значення струму I_{R1} від зміни опору резистора $R3$ (рис. 2.4)?
6. Як і чому змінюється амплітуда напруги на резисторі $R3$ при зміні його опору (рис. 2.4)?
7. Як і чому змінюється амплітуда напруги на конденсаторі $C1$ при зміні частоти вхідного сигналу синусоїдальної форми (рис. 2.5)?
8. Як і чому змінюється амплітуда напруги на конденсаторі $C1$ при зміні його ємності (рис. 2.5)?
9. Чи змінюється форма напруги на конденсаторі $C1$ при зміні форми вхідного сигналу (рис. 2.5)?

Практична робота 3 ПАСИВНІ RC-ФІЛЬТРИ

Мета роботи: Дослідити схеми фільтра нижніх частот (ФНЧ) і фільтра верхніх частот (ФВЧ) у частотній і часовій області.

Дослід 1 – Дослідження ФНЧ

1.1 Зібрати схему дослідження ФНЧ, як показано на рис. 3.1.

1.2 Визначити амплітудно-частотну характеристику (АЧХ) і фазо-частотну характеристику (ФЧХ) при таких параметрах: $U_{\text{вх}} = 12 \text{ В}$, $f_{\text{вх}} = N \text{ кГц}$, $R1 = N \text{ кОм}$, $C1 = 0,01 \cdot N \text{ мкФ}$, де N – номер варіанту.

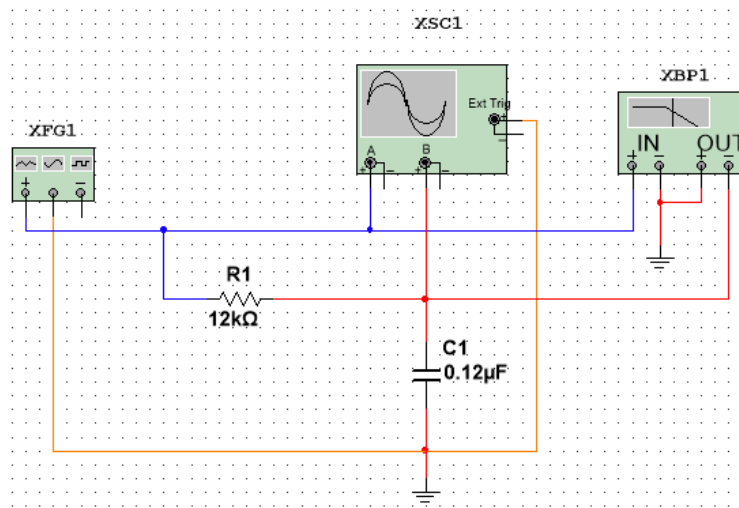


Рисунок 3.1

1.3 Дослідити залежність АЧХ (рис. 3.2) і ФЧХ, а також граничної частоти $f_{\text{гр}}$ від параметрів $R1$ і $C1$:

$$f_{\text{гр}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R1 \cdot C1} \quad (3.1)$$

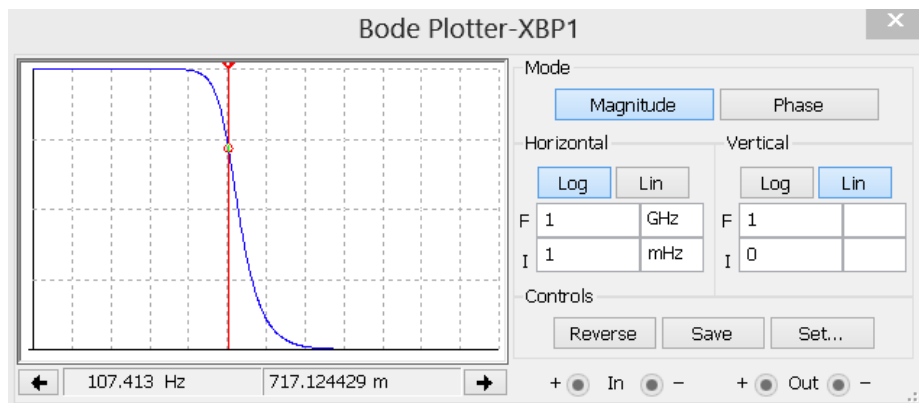


Рисунок 3.2

1.4 Дослідити форму сигналів на виході ФНЧ при подачі на його вхід прямокутного, пилкоподібного та синусоїдального сигналів при різних постійних часу ($\tau = RI \cdot CI$).

Дослід 2 – Дослідження ФВЧ

2.1 Зібрати схему дослідження ФВЧ, як показано на рис. 3.3.

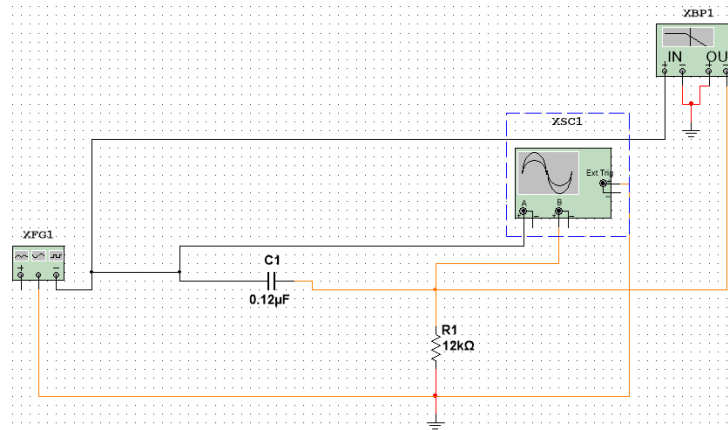


Рисунок 3.3

2.2 Виконати п. 1.2 – 1.4 з досліду 1.

Зміст звіту

1. Тема і мета роботи.
2. Індивідуальне завдання.
3. Результати виконання дослідів (схеми, графіки, розрахунки та ін.) з описом, які прилади були використані, що в результаті отримали на графіках, порівняти теоретичні дані з результатами експериментів.
4. Загальні висновки по роботі.

Контрольні питання

1. Для чого використовується ФНЧ? Наведіть його АЧХ, ФЧХ.
2. Як зміниться форма напруги на виході ФНЧ, якщо змінити RI та CI ?
3. Для чого використовується ФВЧ? Наведіть його АЧХ, ФЧХ.
4. Яка буде форма сигналу на виході ФНЧ, якщо на вхід фільтра подавати сигнали синусоїдальної або прямокутної форми?
5. Як по АЧХ знайти граничну частоту?

Практична робота 4

БАГАТОКАСКАДНІ ФІЛЬТРИ

Мета роботи: Дослідити схеми смугових та багатокаскадних RC-фільтрів у частотній і часовій області.

Дослід 1 – Дослідження смугових фільтрів

1.1 Зібрати схему дослідження смугового фільтра (рис. 4.1) з параметрами: $U_{\text{вх}} = 12 \text{ В}$, $f_{\text{вх}} = N \text{ кГц}$, $R1 = R2 = N \text{ кОм}$, $C1 = C2 = (0,01 \cdot N) \text{ мкФ}$, де N – номер варіанту. Визначити АЧХ, ФЧХ і смугу пропускання отриманого фільтра (рис. 4.2).

1.2 Дослідити залежність форми АЧХ від зміни параметрів фільтра.

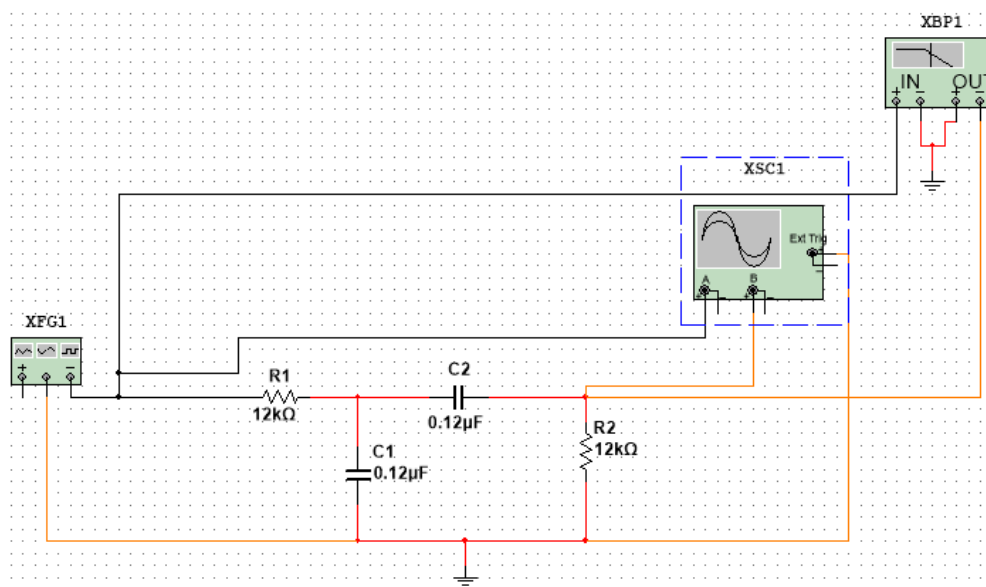


Рисунок 4.1

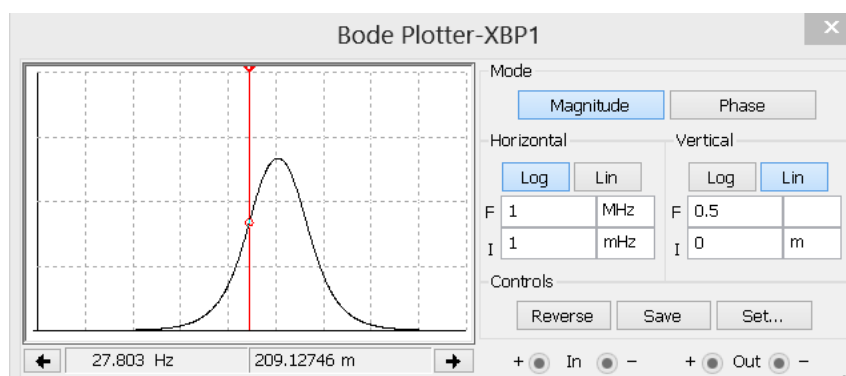


Рисунок 4.2

Дослід 2 – Дослідження багатокаскадних RC – фільтрів

2.1 З'єднати послідовно два ФНЧ і порівняти АЧХ такої схеми з АЧХ

одиначного ФНЧ (зробити відповідні висновки). Дослідити форму сигналів на виході отриманої схеми при подачі на її вхід прямокутних і пилкоподібних імпульсів.

2.2 З'єднати послідовно два ФВЧ та порівняти АЧХ такої схеми з АЧХ одиначного ФВЧ (зробити висновки). Дослідити форму сигналів на виході отриманої схеми при подачі на її вхід прямокутних і пилкоподібних імпульсів.

Зміст звіту

1. Тема і мета роботи.
2. Індивідуальне завдання.
3. Результати виконання дослідів (схеми, графіки, розрахунки та ін.) з описом, які прилади були використані, що в результаті отримали на графіках, порівняти теоретичні дані з результатами експериментів.
4. Загальні висновки по роботі.

Контрольні питання

1. Наведіть схему смугового фільтру та його АЧХ.
2. Що таке смуга пропускання фільтру, як її знайти.
3. Яка буде форма сигналу на виході ФВЧ, якщо на вхід фільтру подавати сигнали синусоїдальної або прямокутної форми?
4. Як впливає кількість ланок ФНЧ на його граничну частоту?
5. Як впливає кількість ланок ФВЧ на его АЧХ?

Практична робота 5

ПРОХОДЖЕННЯ ІМПУЛЬСІВ ЧЕРЕЗ ІНТЕГРУЮЧІ ТА ДИФЕРЕНЦІЮЮЧІ ЛАНЦЮГИ

Мета роботи: Вивчити особливості проходження прямокутних імпульсів через інтегруючі і диференціюючі ланцюги з різними постійними часу.

Дослід 1 – Дослідження інтегруючих ланцюгів

1.1 Зібрати схему дослідження (рис. 5.1) з параметрами: форма вхідних сигналів – прямокутна; $U_{\text{вх}} = 10 \text{ В}$, $f_{\text{вх}} = 1 \text{ кГц}$, $R1 = (N+1) \text{ кОм}$, $C1 = 0,25 \text{ мкФ}$, де N – номер варіанту.

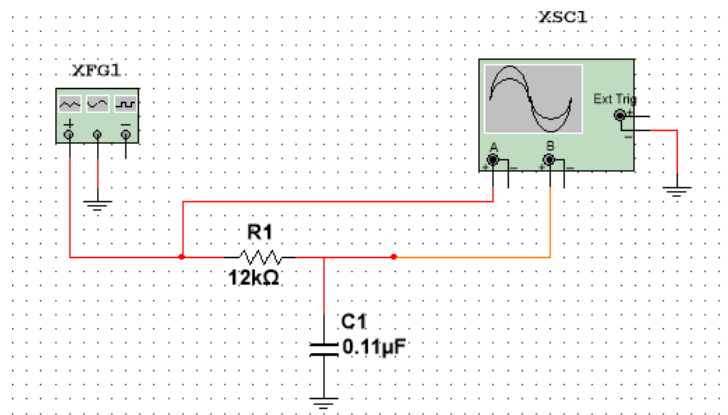


Рисунок 5.1

1.2 Отримати осцилограми вхідної та вихідної напруг. Визначити постійну часу зручним способом і перевірити результати аналітично ($\tau = R1 \cdot C1$).

Дослід 2 – Дослідження диференціюючих ланцюгів

2.1 Зібрати схему дослідження (рис. 5.2) з параметрами як у п. 1.1 досліді 1.

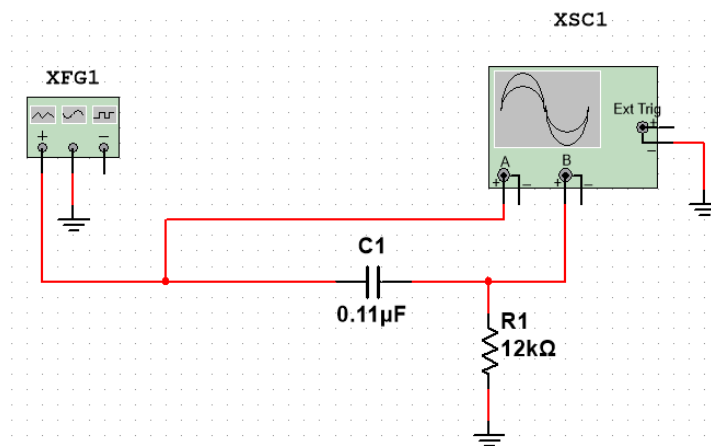


Рисунок 5.2

2.2 Отримати осцилограми вхідної і вихідної напруги. Визначити постійну часу зручним способом і перевірити результати аналітично ($\tau = RI \cdot C$).

Практичні рекомендації

Для виміру постійної часу τ інтегруючого і диференціюючого ланцюгів можна використовувати наступні способи:

1) **графічний**: для диференціюючого ланцюга (рис. 5.3, а) треба провести дотичну з точки B до пересічення з віссю часу, для інтегруючого ланцюжка (рис. 5.4, а) провести дотичну з точки B до пересічення з рівнем вхідного сигналу (відрізок CD в обох випадках буде дорівнювати τ);

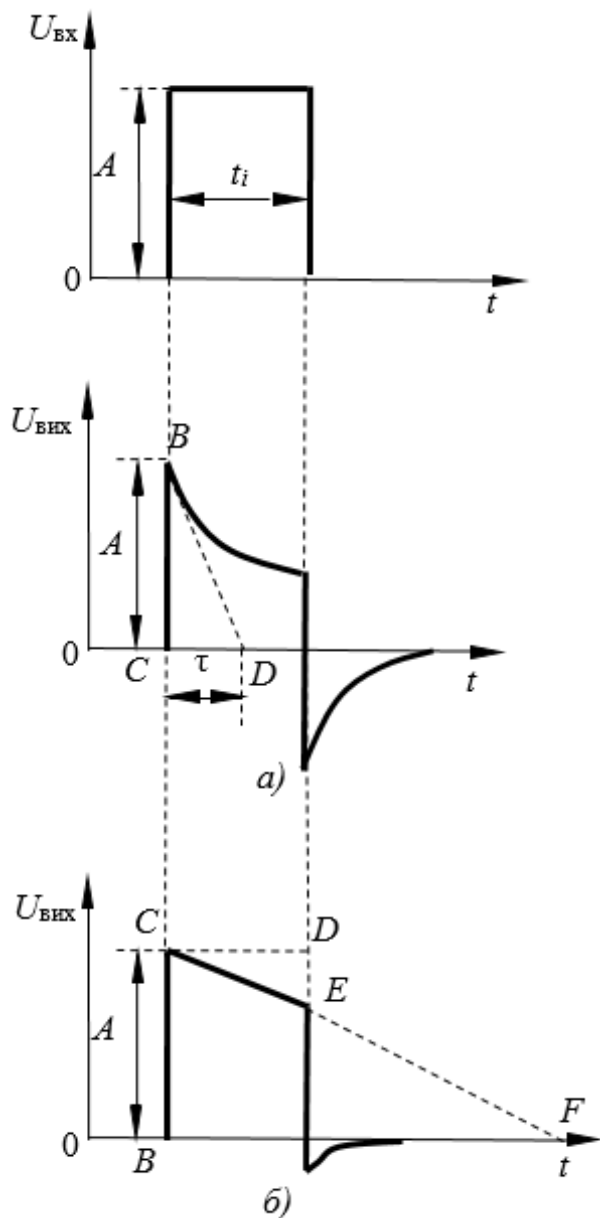


Рисунок 5.3

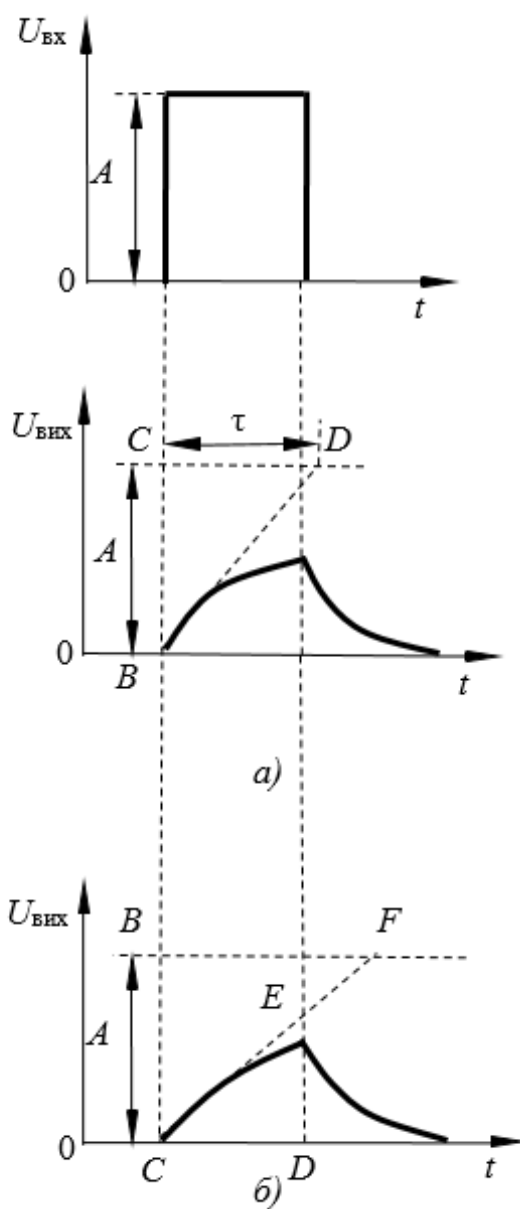


Рисунок 5.4

2) розрахунок з використанням властивостей подібних трикутників:

провести дотичну з точки C та виконати розрахунки:

– для диференціюючого ланцюжка $CD=t_i$, $BC=A$, $\tau=BF$ (рис. 5.3, б);

– для інтегруючого ланцюжка $\frac{CD}{BF} = \frac{DE}{BC}$, $\tau = \frac{CD \cdot BC}{DE}$ (рис. 5.4, б).

Зміст звіту

1. Тема і мета роботи.
2. Індивідуальне завдання.
3. Результати виконання дослідів (схеми, графіки, розрахунки та ін.) з описом, які прилади були використані, що в результаті отримали на графіках, порівняти теоретичні дані з результатами експериментів.
4. Загальні висновки по роботі.

Контрольні питання

1. Для чого використовується диференціюючий ланцюг?
2. У чому суть графічного методу визначення постійної часу?
3. Поясніть фізичні процеси, що відбуваються в диференціюючому ланцюзі при подачі на його вхід прямокутних імпульсів.
4. Наведіть АЧХ диференціюючого ланцюга.
5. Наведіть форму напруги на виході інтегруючого ланцюга при подачі на його вхід послідовності прямокутних імпульсів, коли тривалість імпульсів більше тривалості паузи.
6. Що таке постійна часу τ ?
7. Наведіть АЧХ інтегруючого ланцюга.
8. Для чого використовується інтегруючий ланцюг?

Практична робота 6

ДІОДИ

Мета роботи: Дослідити напругу і струм діода при прямому та зворотному зрушенні *p-n* переходу.

Дослід 1 – Вимір напруги і струму через діод

В програмах моделювання електронних схем є можливість змоделювати ситуації, які виникають при різних рівнях приладової оснащності дослідника, і освоїти методики вимірів, які відповідають цим рівням. Розглянемо ці ситуації на прикладі виміру вольтамперної характеристики (ВАХ) напівпровідникового діоду. Простим приладом для дослідження властивостей напівпровідникових пристроїв є мультиметр. Найпростіше в цьому випадку вимірювати напругу на діоді в схемі, яка наведена на рис. 6.1, приєднуючи до діода через резистор джерела напруги різної величини. Струм діода при цьому можна обчислити по формулі:

$$I_{\text{пр}} = \frac{(U1 - U_{\text{пр}})}{R}, \quad (6.1)$$

де $I_{\text{пр}}$ – струм діода в прямому напрямі,

$U1$ – напруга джерела живлення,

$U_{\text{пр}}$ – напруга на діоді в прямому напрямі.

Зібрати схему дослідження, як показано на рис. 6.1.

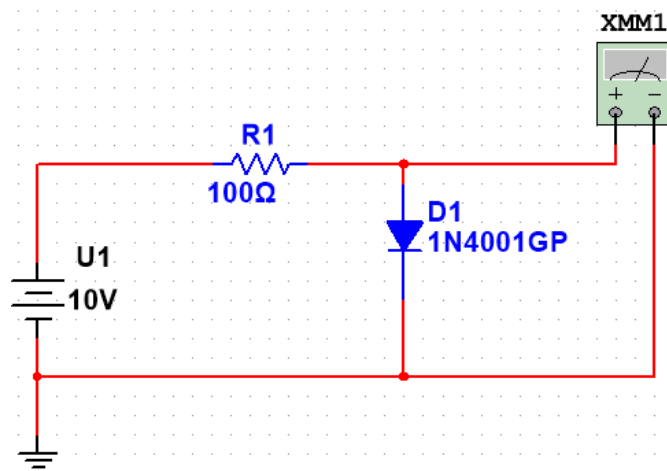


Рисунок 6.1

У зворотному напрямі струм діода обчислюється по формулі:

$$I_{3\theta} = \frac{(U1 - U_{3\theta})}{R}, \quad (6.2)$$

де $I_{3\theta}$ – струм діода в зворотному напрямі,

$U_{3\theta}$ – напруга на діоді в зворотному напрямі.

Точність при таких вимірах не висока внаслідок розкиду значень опорів резисторів одного номіналу. Якщо нам потрібно отримати більш точну характеристику, використовуючи лише один мультиметр, необхідно спочатку виміряти напругу в схемі яка показана на рис. 6.1, а потім виміряти струм в схемі, яка показана на рис. 6.2. При цьому можна користуватися мультиметром, підключаючи його як вольтметр або як амперметр.

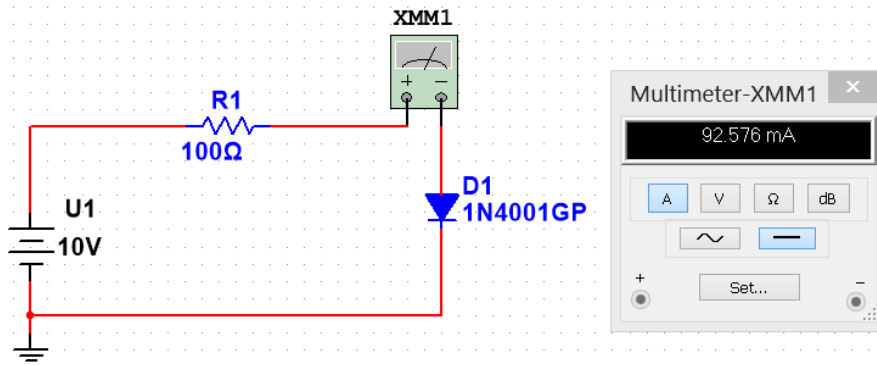


Рисунок 6.2

Набагато швидше можна виконати цю роботу, якщо це зробити одразу двома приладами: вольтметром і амперметром. Тоді, включивши їх за схемою, як показано на рис. 6.3, можна відразу виміряти струм і напругу.

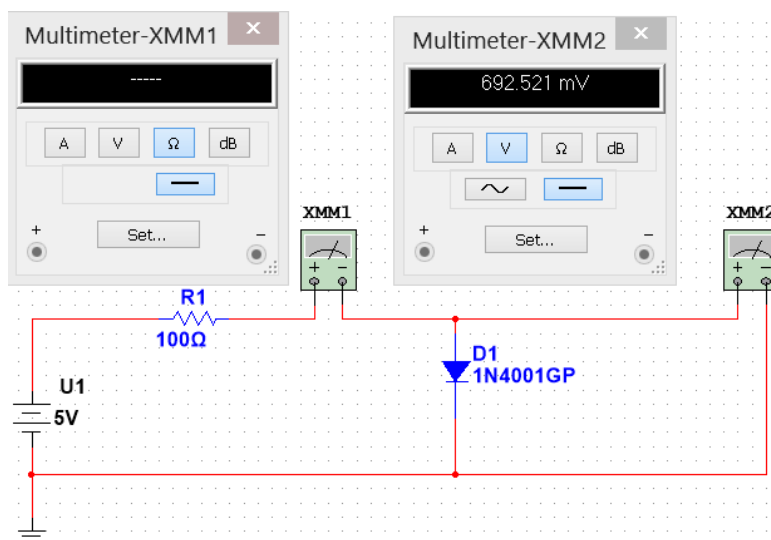


Рисунок 6.3

Виконайте моделювання схеми, яка наведена на рис. 6.1. Мультиметр покаже напругу на діоді $U_{\text{пр}}$ при прямому зрушенні. Переверніть діод і знову запустіть схему. Тепер мультиметр покаже напругу на діоді $U_{\text{зв}}$ при зворотному зрушенні. Запишіть отримані дані. Обчисліть струм діода при прямому $I_{\text{пр}}$ і зворотному $I_{\text{зв}}$ підключенні.

Виконайте моделювання схеми, яка наведена на рис. 6.2, мультиметр при цьому покаже струм діода $I_{\text{пр}}$ при прямому зрушенні. Переверніть діод і знову запустіть схему, тепер мультиметр покаже струм $I_{\text{зв}}$ діода при зворотному підключенні.

Дослід 2 – Зняття ВАХ діода

3.1 Пряма гілка ВАХ: зберіть схему, наведену на рис. 6.3, потім послідовно встановлюючи значення джерела живлення рівним $5 \cdot N$ В, $4 \cdot N$ В, $3 \cdot N$ В, $2 \cdot N$ В, N В, 0 В, де N – номер варіанту. Запишіть значення напруги $U_{\text{пр}}$ і струму $I_{\text{пр}}$ діода в таблицю.

3.2 Зворотна гілка ВАХ: переверніть діод, послідовно встановлюючи значення напруги живлення рівним 0 В, $5 \cdot N$ В, $10 \cdot N$ В, $15 \cdot N$ В, де N – номер варіанту. Запишіть значення струму $I_{\text{зв}}$ і напруги $U_{\text{зв}}$ в таблицю.

3.3 По отриманим даним побудуйте графіки $I_{\text{пр}}(U_{\text{пр}})$ та $I_{\text{зв}}(U_{\text{зв}})$.

Дослід 3 – Отримання ВАХ на екрані осцилографа

ВАХ може бути отримана шляхом виміру напруги на діоді при протіканні різних струмів за рахунок зміни напруги джерела живлення, а найбільш швидко і зручно можна досліджувати ВАХ безпосередньо спостерігаючи її на екрані осцилографа (рис. 6.4 – 6.5).

При такому підключенні координата точки по горизонтальній осі осцилографа буде пропорційна напрузі, а по вертикальній – струму через діод.

Оскільки напруга у вольтах на резисторі 1 Ом чисельно дорівнює струму через діод в амперах ($I = U/R$), по вертикальній осі можна безпосередньо зчитати значення струму.

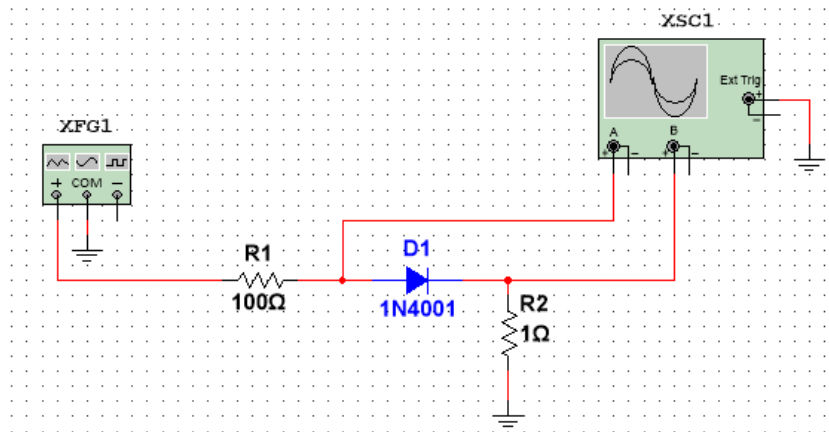


Рисунок 6.4

Якщо на осцилографі вибраний режим B/A , то величина, пропорційна струму через діод (канал B), відкладатиметься по вертикальній осі, а напруга (канал A) – по горизонтальній. Це дозволить отримати ВАХ безпосередньо на екрані осцилографа (рис. 6.5).

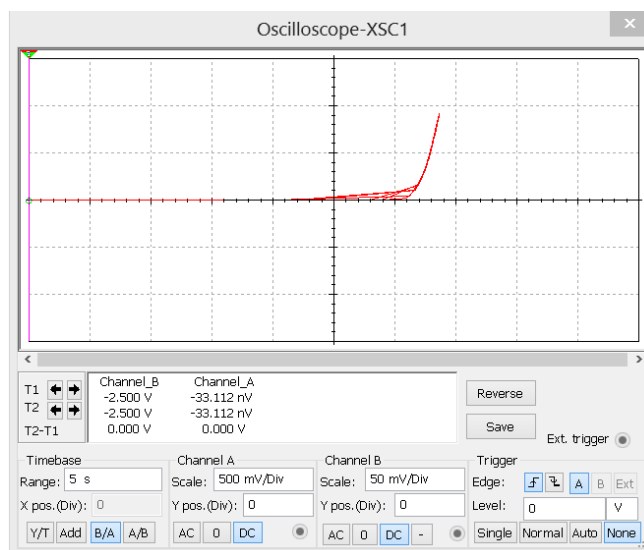


Рисунок 6.5

При дослідженні ВАХ діода за допомогою осцилографа на канал A замість точної напруги на діоді подається сума напруги діода і напруги на резисторі 1 Ом, помилка тоді буде невелика, оскільки спад напруги на резисторі буде значно менше, ніж напруга на діоді.

Внаслідок нелінійності діода його не можна характеризувати величиною опора як лінійний резистор. Відношення напруги на діоді до струму U/I , яке називається статичним опором, залежить від величини струму. У ряді випадків на постійну складову струму діода накладається невелика змінна складова (при цьому

говорять, що елемент працює в режимі маленьких сигналів), в цьому випадку інтерес представляє диференціальний (динамічний) опір. Величина динамічного опору залежить від постійної складової струму діода, який визначає робочу точку на характеристиці. Зберіть схему, яка показана на рис. 6.4. На ВАХ, що з'явилася на екрані осцилографа, по горизонтальній осі зчитується напруга на діоді в мілівольтах (канал А), а по вертикальній осі – струм в міліамперах (канал В).

Зміст звіту

1. Тема і мета роботи.
2. Індивідуальне завдання.
3. Результати виконання дослідів (схеми, графіки, розрахунки та ін.) з описом, які прилади були використані, що в результаті отримали на графіках, порівняти теоретичні дані з результатами експериментів.
4. Загальні висновки по роботі.

Контрольні питання

1. Наведіть ВАХ напівпровідникового діода.
2. Порівняйте напругу на діоді при прямому і зворотному підключенні.
3. Порівняйте струм через діод при прямому і зворотному підключенні.
4. Наведіть особливості різних типів діодів.
5. Що таке струм насичення діода?
6. Чи збігаються точки вигину ВАХ, отримані за допомогою осцилографа і побудованих за результатами обчислень?

Практична робота 7

СХЕМИ НА ОСНОВІ ДІОДІВ. ПАРАМЕТРИЧНІ СТАБІЛІЗАТОРИ НАПРУГИ

Мета роботи: розглянути різні види діодів та приклади побудови схем на їх основі. Дослідити зміни напруги на стабілітроні при зміні вхідної напруги та опору в схемі параметричного стабілізатора.

Дослід 1 – Вимірювання напруги та обчислення струму через стабілітрон

На рис. 7.1 показана схема підключення стабілітрона до джерела постійної напруги через резистор, струм $I_{ст}$ стабілітрону може бути визначений за формулою:

$$I_{ст} = \frac{(U1 - U_{ст})}{R1}, \quad (7.1)$$

де $U_{ст}$ – напруга стабілізації стабілітрону.

Потужність розсіювання стабілітрону $P_{ст}$ обчислюється за формулою:

$$P_{ст} = I_{ст} \cdot U_{ст}. \quad (7.2)$$

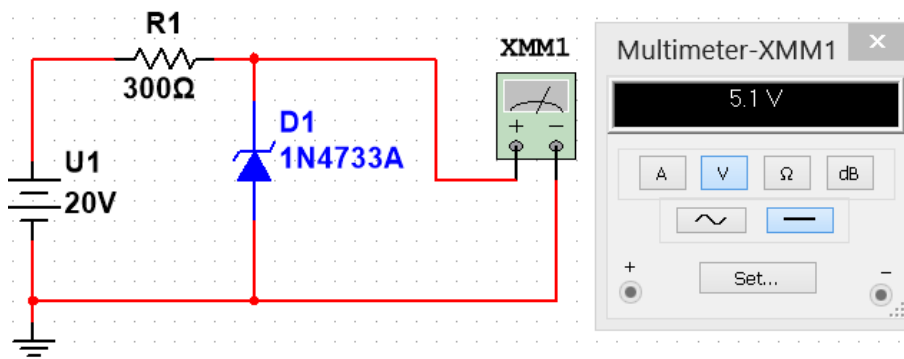


Рисунок 7.1

Зберіть схему, як показано на рис. 7.1. Вимірюйте значення напруги $U_{ст}$ на стабілітроні при значеннях джерела живлення як показано в табл. 7.1. Обчисліть струм $I_{ст}$ стабілітрону для кожного значення напруги $U_{ст}$, результати обчислень занесіть в табл. 7.1, а потім побудуйте ВАХ стабілітрона і оцініть по ній напругу стабілізації (вона визначається точкою на ВАХ, в якій струм стабілітрона починає різко збільшуватися).

1.3 Обчисліть потужність $P_{ст}$, яка розсіюється на стабілітроні при напрузі $U1 = N$ (В), де N – номер варіанту.

Таблиця 7.1

U_1 , В	0	4	6	10	15	20	25	30	35
$U_{ст}$, мВ									
$I_{ст}$, мА									

Дослід 2 – Отримання ВАХ стабілітрона на екрані осцилографа

Зберіть схему, показану на рис. 7.2 і виконайте дослідження форми ВАХ при зміні частоти вхідного сигналу.

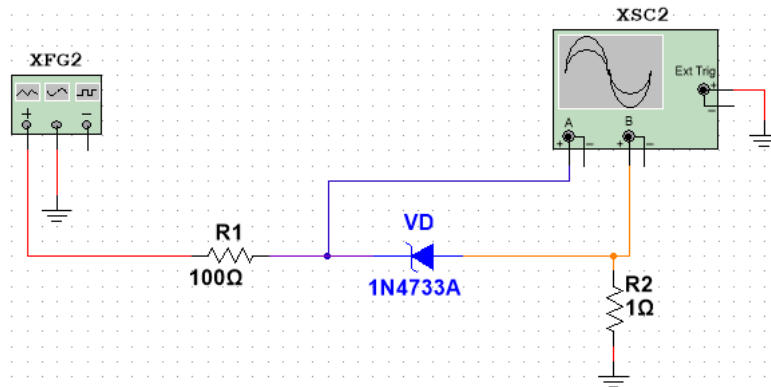


Рисунок 7.2

Зміст звіту

1. Тема і мета роботи.
2. Індивідуальне завдання.
3. Результати виконання дослідів (схеми, графіки, розрахунки та ін.) з описом, які прилади були використані, що в результаті отримали на графіках, порівняти теоретичні дані з результатами експериментів.
4. Загальні висновки по роботі.

Контрольні питання

1. Як впливає значення опору навантаження на ступінь стабілізації вихідної напруги стабілізатора?
2. Як змінюється напруга $U_{ст}$, якщо струм стабілітрона стає менше 20 мА?
3. Яке значення струму стабілітрона $I_{ст}$, якщо вхідна напруга дорівнює 15 В?
4. Побудуйте ВАХ стабілітрона і визначте на ній напругу стабілізації.

Практична робота 8

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ТРАНЗИСТОРНИХ ПІДСИЛЮВАЧІВ

Мета роботи: Дослідити роботу підсилювального каскаду на змінному струмі.

Дослід 1 - Дослідження підсилювального каскаду

1.1 Зібрати схему транзисторного підсилювача (рис. 8.1) з наступними даними: $U_{BX} = 10 \text{ мВ}$, $f_{BX} = (1 + N) \text{ кГц}$, де N – номер варіанту, $E_K = (12 + N) \text{ В}$, $R1 = 500 \text{ кОм}$, $R2 = 12 \text{ кОм}$, $R_K = R_H = (12 + N) \text{ кОм}$, $C1 = C2 = 1 \text{ мкФ}$.

1.2 Задати робочу точку з відключеними $C1$, $C2$ і генератором.

1.3 Дослідити форму сигналів на виході підсилювача при подачі на його вхід синусоїдального, пілкоподібного і прямокутного сигналів.

1.4 Змінити $R1$ відповідно до табл. 8.1 та визначити коефіцієнти підсилення для кожного випадку.

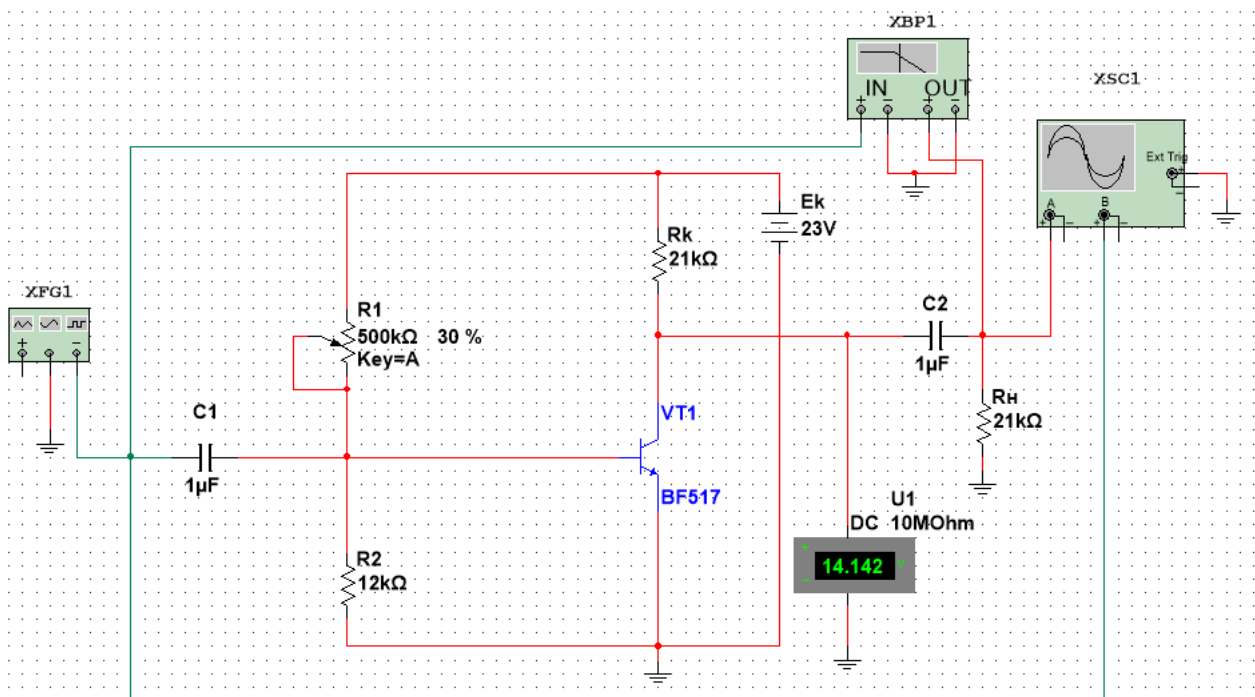


Рисунок 8.1

Таблиця 8.1

Початкове значення	Зміна $R1$, %	Коефіцієнт підсилення, K
500 кОм	-10%	
	-5%	
	0	
	+5%	
	+10%	

**Дослід 2 – Дослідження підсилювального каскаду з послідовним
негативним зворотним зв'язком (НЗЗ) по струму**

2.1 Зібрати схему транзисторного підсилювача як описано в п. 1.1 досліду 1.

2.2 У емітерний ланцюг транзистора $VT1$ підключити резистор $R_e = 100 \text{ Ом}$.

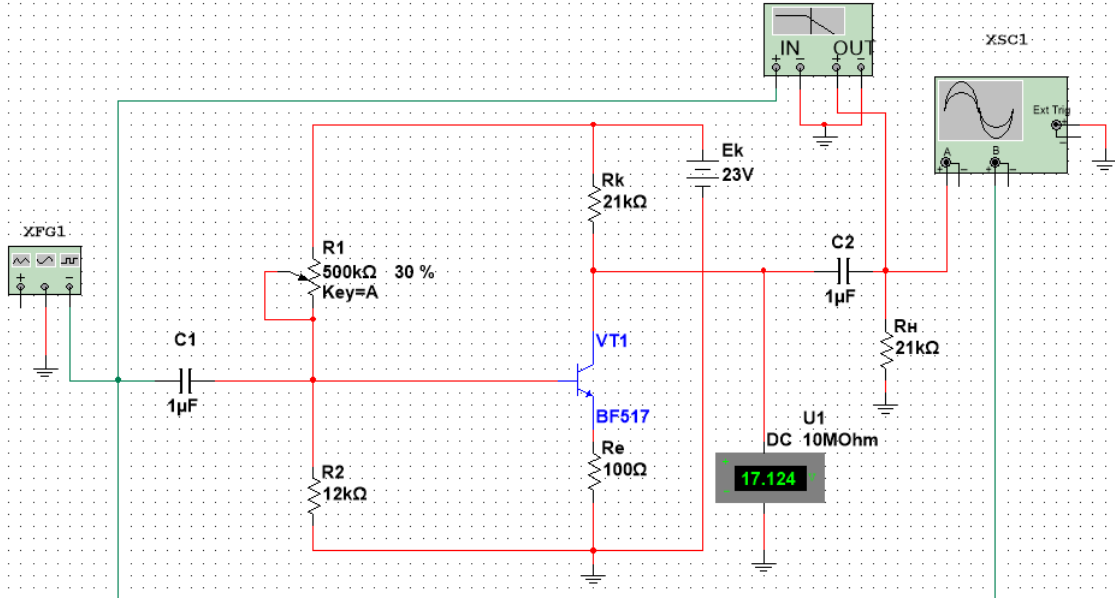


Рисунок 8.2

2.3 Зняти форму $U_{вх}(t)$, $U_{вих}(t)$ і АЧХ.

2.4 У емітерний ланцюг паралельно R_e підключити $C_e = 100 \text{ мкФ}$, як показано на рис. 10.3 та зняти форму $U_{вх}(t)$, $U_{вих}(t)$ і АЧХ.

2.5 Порівняти АЧХ, які отримані в п. 2.3 і 2.4, зробити висновки.

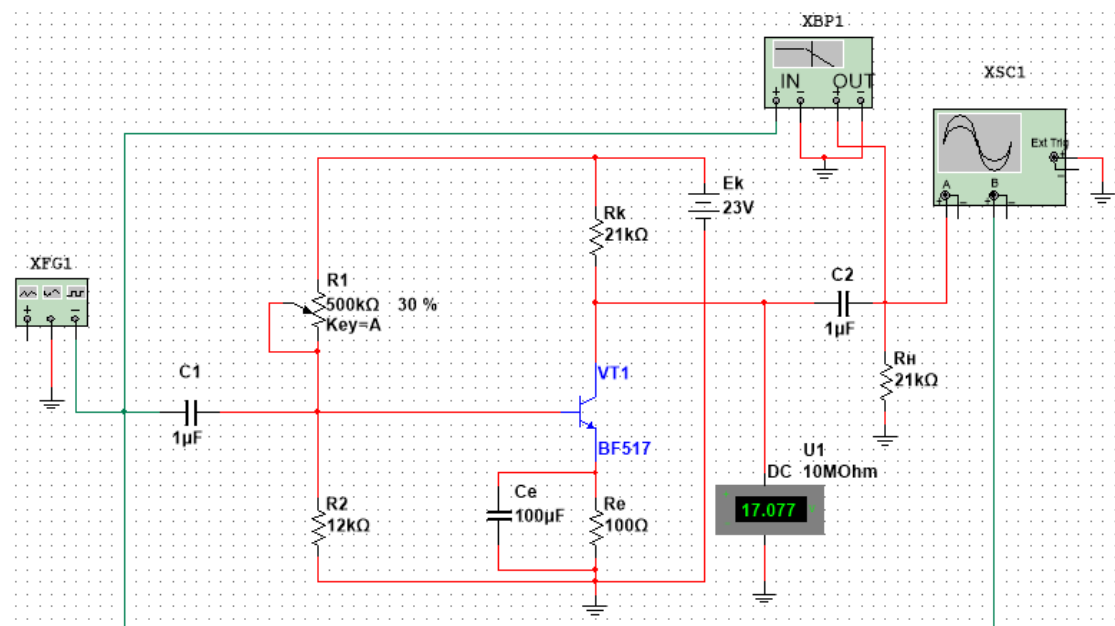


Рисунок 8.3

Зміст звіту

1. Тема і мета роботи.
2. Індивідуальне завдання.
3. Результати виконання дослідів (схеми, графіки, розрахунки та ін.) з описом, які прилади були використані, що в результаті отримали на графіках, порівняти теоретичні дані з результатами експериментів.
4. Загальні висновки по роботі.

Контрольні питання:

1. Від яких параметрів залежить коефіцієнт підсилення каскаду на транзисторі, включеному за схемою із загальним емітером?
2. Чому схема транзисторного каскаду з послідовним НЗЗ по струму використовується частіше, ніж схема каскаду з паралельним НЗЗ по вхідній напрузі?
3. Як залежить коефіцієнт підсилення і АЧХ каскаду з ланцюгом послідовної НЗЗ по струму від величини опору резистора R_e ?
4. З якою метою підключається конденсатор C_e ?
5. Як впливає НЗЗ на роботу підсилювача?

Практична робота 9

ОПЕРАЦІЙНІ ПІДСИЛЮВАЧІ. БАЗОВІ СХЕМИ ВКЛЮЧЕННЯ

Мета роботи: Дослідити базові схеми включення операційних підсилювачів (ОП) і більш детально вивчити їх принципи дії, налаштування та особливості реалізації.

Дослід 1 – Розімкнутий операційний підсилювач

1.1 Зберіть схему, наведену на рис. 9.1 з ідеальним ОП.

1.2 Спостерігайте за поведінкою вихідного сигналу $U_{\text{вих}}$ змінюючи з мінімально можливим кроком величину резистора $R1$ і визначте коефіцієнт підсилення K_u . Визначте, чи можна добитися «нуля» на виході підсилювача при $U_{\text{вх}} = 0$ В при використанні ідеального і реального ОП. Дайте пояснення отриманим результатам.

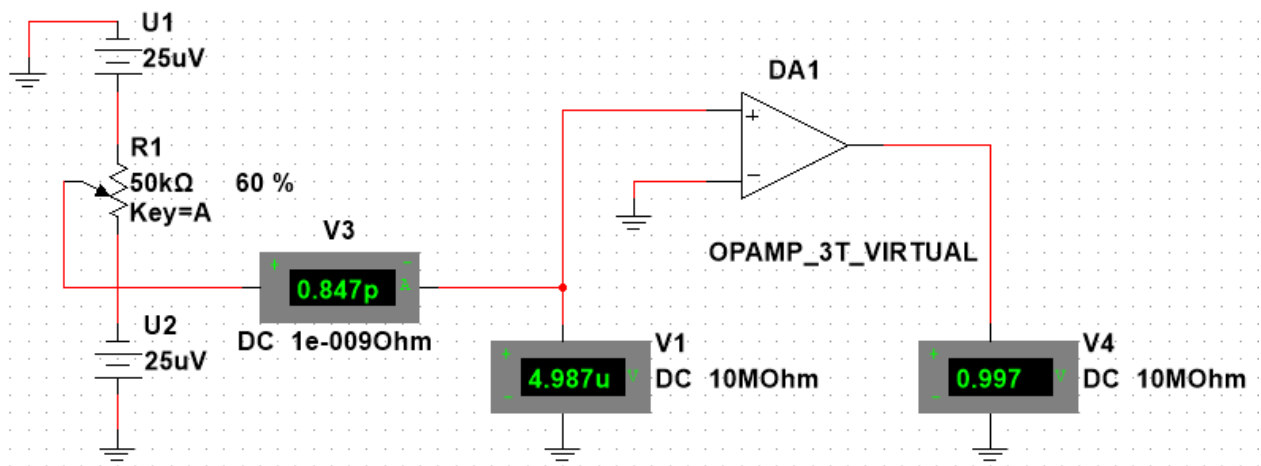


Рисунок 9.1

Дослід 2 – Інвертуючий підсилювач

2.1 Зберіть схему з ОП, наведену на рис. 9.2.

2.2 Розрахуйте величину резистора $R2$ для коефіцієнтів передачі: -1 ; $-0,1 \cdot N$; $-N$, де N – номер варіанту, користуючись наведеними нижче співвідношеннями:

$$K_u = \frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{вх}}}, \quad (9.1)$$

$$K_u = \frac{R_{33}}{R2}, \quad (9.2)$$

де $R_{33} = 100$ кОм.

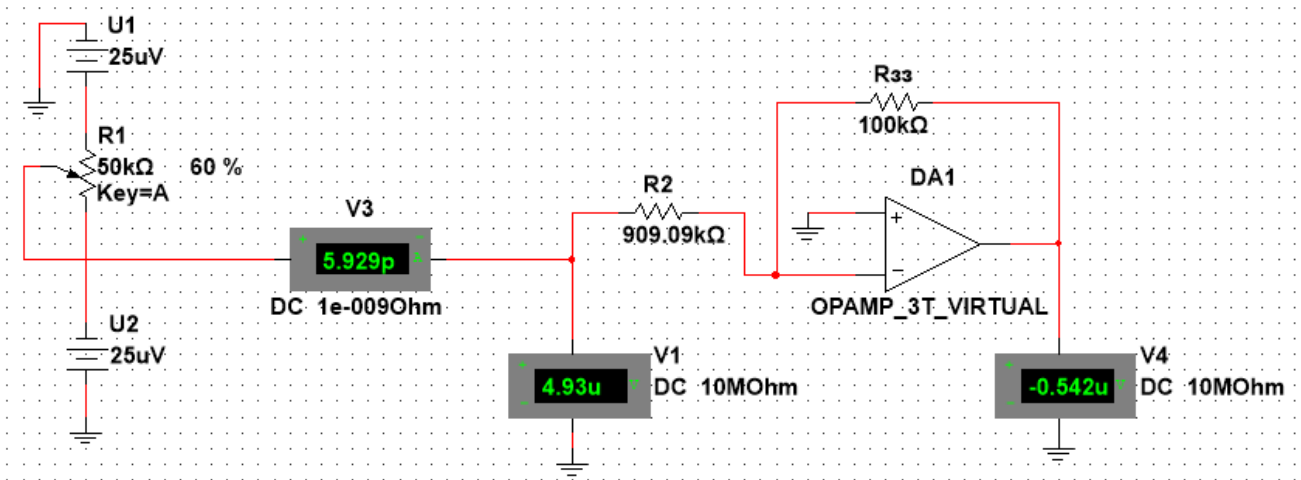


Рисунок 9.2

2.3 Виміряйте величини струмів і напруг у всіх ланцюгах і точках схеми (рис. 9.2). Особливу увагу зверніть на величини струмів і напруг в підсумовуючій точці підсилювача і на неінвертуючому вході.

2.4 Зберіть схему з ОП, наведену на рис. 9.3.

2.5 Виконайте дослідження роботи схеми при подачі на вхід різних за формою і амплітудою сигналів ($0,1 \text{ мВ} < U_{\text{вх}} < 10 \text{ В}$, $0 < f_{\text{вх}} < 20 \text{ МГц}$), за допомогою Wave Plotter зняти АЧХ.

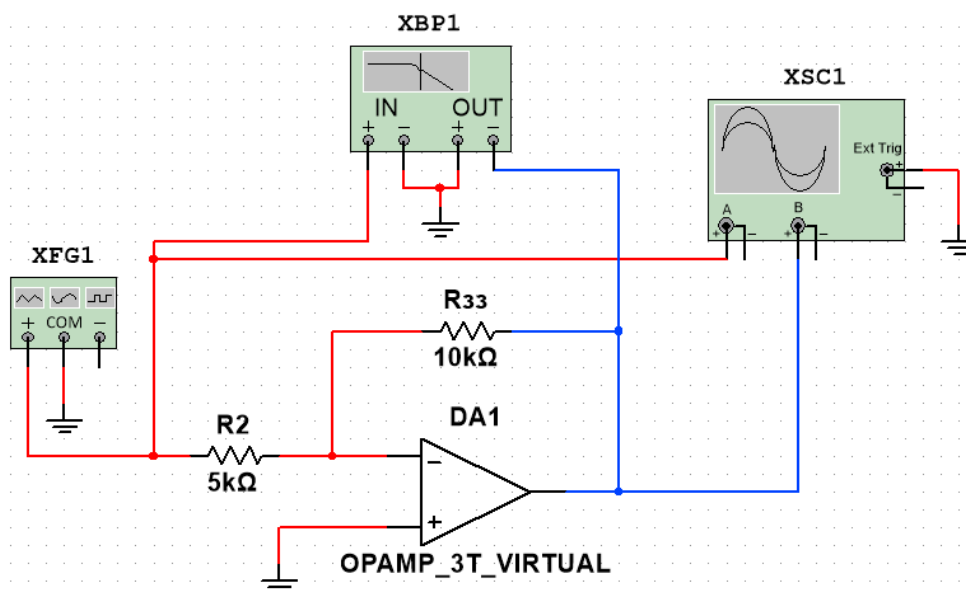


Рисунок 9.3

Зміст звіту

1. Тема і мета роботи.
2. Індивідуальне завдання.

3. Результати виконання дослідів (схеми, графіки, розрахунки та ін.) з описом, які прилади були використані, що в результаті отримали на графіках, порівняти теоретичні дані з результатами експериментів.

4. Загальні висновки по роботі.

Контрольні питання

1. Наведіть амплітудно-передавальну характеристику ОП.

2. Назвіть основні статичні параметри ідеального та реального ОП.

3. Призначення резистора $R_{зз}$ в схемі на рис. 9.2 та як буде працювати схема при його відсутності?

Практична робота 10

ЛІНІЙНІ СХЕМИ НА ОСНОВІ ОПЕРАЦІЙНИХ ПІДСИЛЮВАЧІВ. НОРМУЮЧИЙ ПІДСИЛЮВАЧ

Тема роботи: розглянути особливості схемної реалізації та функціонування аналогових пристроїв на ОП.

Завдання: запропонуйте нормуючий підсилювач (НП) із змінним коефіцієнтом передачі. У відповіді наведіть: функціональну схему НП на основі ідеального ОП; короткий опис принципу дії; розрахунки резисторів для наступних коефіцієнтів передачі: $K_1 = -N$, $K_2 = -2$, $K_3 = -1$ при значенні резистора зворотного зв'язку $R_{33} = 100$ кОм; форму входних і вихідних сигналів для заданих K_i ($i = 1, 2, 3$) за умови, що на вхід НП подаються синусоїдальні сигнали з амплітудою 2 В, а напруга живлення ОП становить $E_{ж} = \pm 6$ В.

Рішення:

Розглянемо рішення для варіанта $N = 4$. Схема НП показана на рис. 10.1, опори резисторів розраховуються по виразам:

$$R1 = R_{33} / K_1 = 100 / 4 = 25 \text{ кОм},$$

$$R2 = R_{33} / K_2 = 100 / 2 = 50 \text{ кОм},$$

(10.1)

$$R3 = R_{33} / K_3 = 100 / 1 = 100 \text{ кОм}.$$

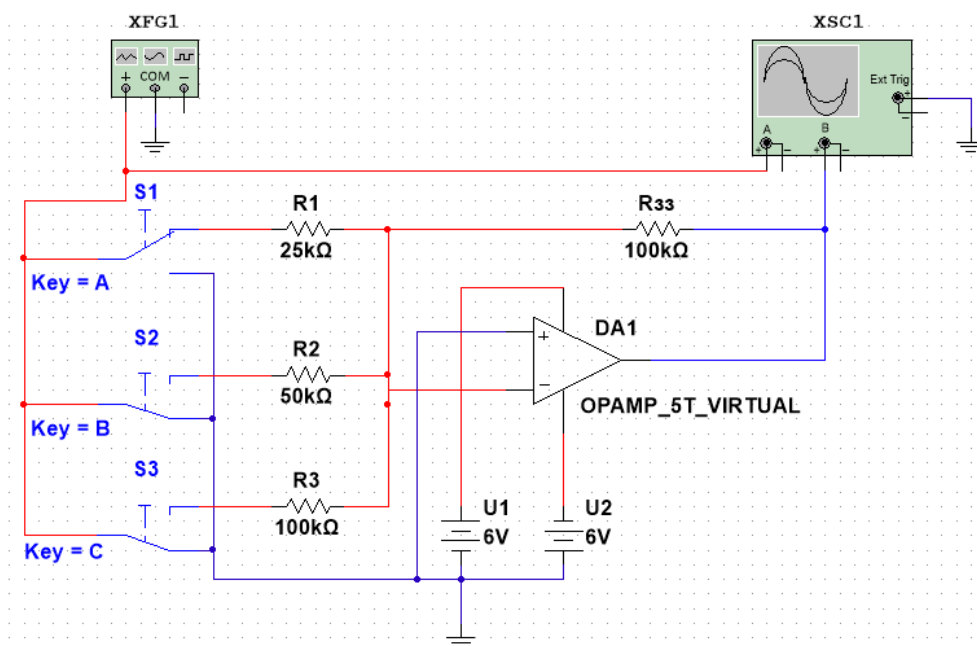
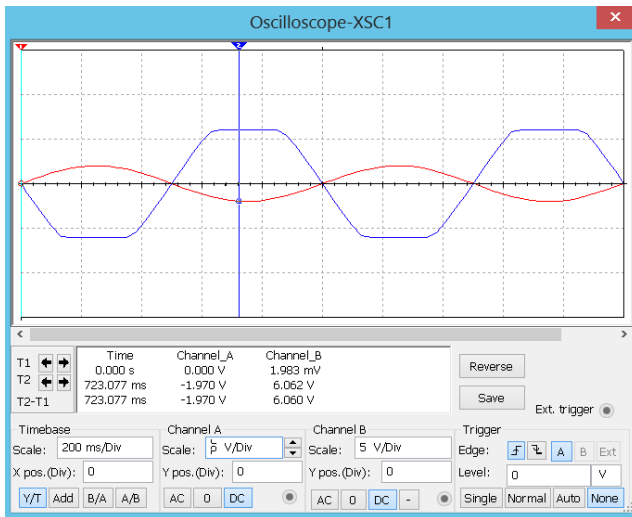


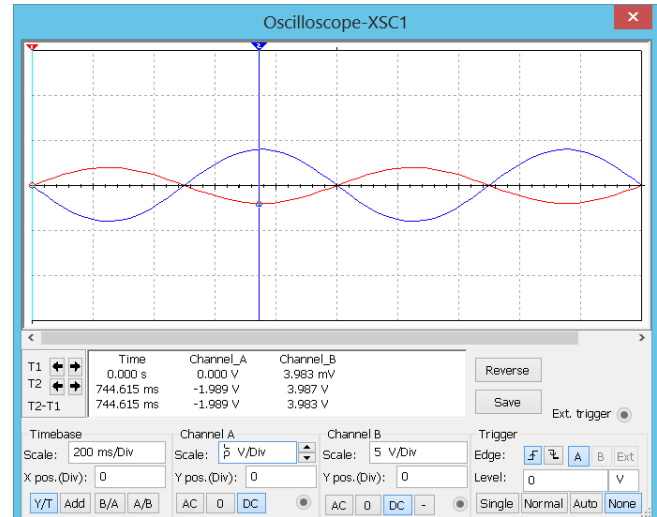
Рисунок 10.1

Для того, щоб підсилювач працював з коефіцієнтом підсилення K_1 , необхідно ключ $S1$ включити, а ключі $S2, S3$ виключити.

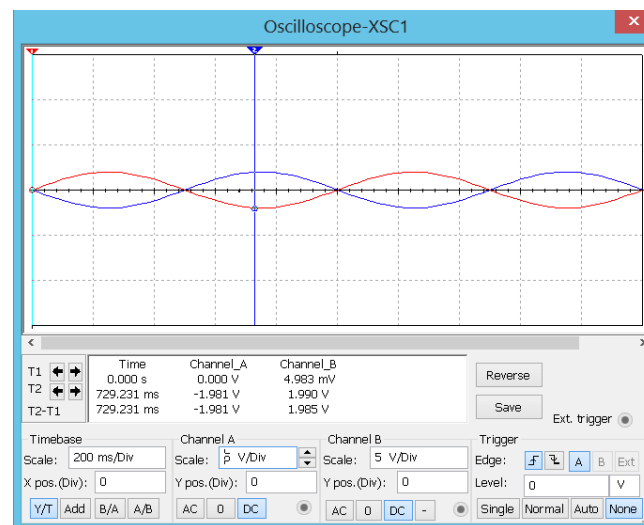
Для того, щоб підсилювач працював з коефіцієнтом підсилення K_2 , необхідно ключ $S2$ включити, а ключі $S1, S3$ виключити. Форми вхідних і вихідних сигналів для K_1 наведені на рис. 10.2 (а), для K_2 – на рис. 10.2 (б), для K_3 – на рис. 10.2 (в).



а)



б)



в)

Рисунок 10.2

Зміст звіту

1. Тема і мета роботи.
2. Індивідуальне завдання.
3. Результати виконання дослідів (схеми, графіки, розрахунки та ін.) з описом,

які прилади були використані, що в результаті отримали на графіках, порівняти теоретичні дані з результатами експериментів.

4. Загальні висновки по роботі.

Контрольні питання

1. Поясніть принцип роботи НП.
2. Поясніть призначення та сфери застосування НП.
3. Наведіть схему НП.
4. Назвіть основні статичні параметри ідеального та реального ОП.
5. Чому підсилювач називають операційним?

Практична робота 11

ЛІНІЙНІ СХЕМИ НА ОСНОВІ ОПЕРАЦІЙНИХ ПІДСИЛЮВАЧІВ. ІНВЕРТУЮЧИЙ СУМАТОР

Тема роботи: розглянути особливості схемної реалізації та функціонування аналогових пристроїв на ОП.

Завдання: запропонуйте трьохвходовий аналоговий неінвертуючий суматор (SM) на основі ОП. У відповіді наведіть: функціональну схему SM з ідеальним ОП, короткий опис роботи; розрахунки вхідних резисторів і напруги на виході ($U_{\text{вих}}$) за умови, що: $K_1 = 2,5$; $K_2 = 1,5$; $K_3 = 3$; $U_1 = 5$ В; $U_2 = (0,2 \cdot N)$ В; $U_3 = -5$ В; $R_{33} = 100$ кОм, де N – номер варіанту; K_i – коефіцієнт передачі сигналу з i -го ($i = 1, 2, 3$) входу; R_{33} – резистор зворотного зв'язку; форму $U_{\text{вих}}$ за умови, що на другий вхід подаються двохполярні синусоїдальні сигнали з амплітудою $U_2 = 5$ В при живленні ОП $E_{\text{ж}} = \pm 5$ В.

Рішення:

Розглянемо рішення задачі при $N = 6$, при цьому $U_2 = 1,2$ В. Схема трьохвходового неінвертуючого суматора показана на рис. 11.1.

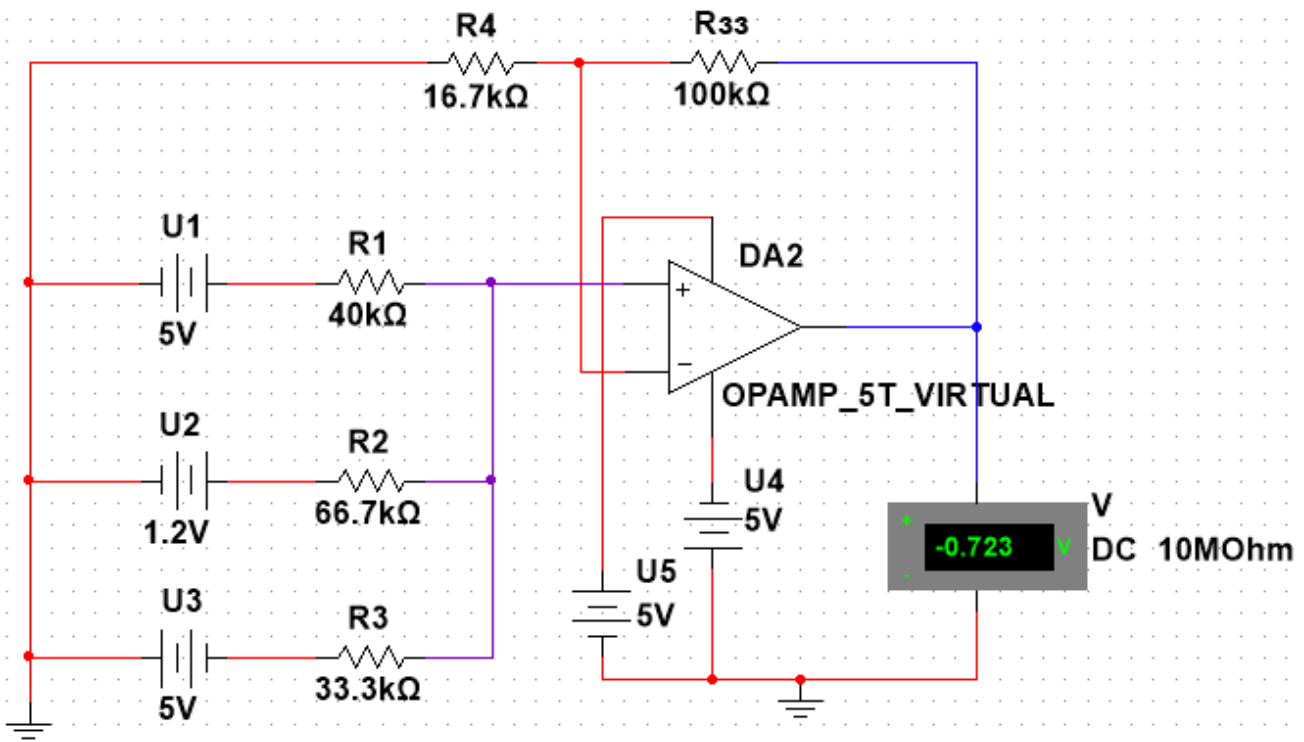


Рисунок 11.1

Суматор вважається налаштованим, якщо $U_{\text{вих}} = 0$ при $U1 = U2 = U3 = 0$. В схемі суматора цей режим встановлюється, якщо:

$$\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3} = \frac{1}{R4} + \frac{1}{R_{33}}. \quad (11.1)$$

Вибираємо резистор $R4$ згідно з виразом:

$$R4 = \frac{1}{\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3} - \frac{1}{R_{33}}}.$$

Вирази для розрахування коефіцієнтів передачі:

$$\begin{aligned} K_1 &= \frac{R_{33}}{R1}, \\ K_2 &= \frac{R_{33}}{R2}, \\ K_3 &= \frac{R_{33}}{R3}. \end{aligned} \quad (11.2)$$

Номінали резисторів знаходимо по виразам:

$$\begin{aligned} R1 &= \frac{R_{33}}{K_1} = \frac{100}{2,5} = 40 \text{кОм}, \\ R2 &= \frac{R_{33}}{K_2} = \frac{100}{1,5} = 66,7 \text{кОм}, \\ R3 &= \frac{R_{33}}{K_3} = \frac{100}{3} = 33,3 \text{кОм}. \end{aligned}$$

$$R4 = \frac{R_{33}}{K_1 + K_2 + K_3 - 1} = \frac{100}{2,5 + 1,5 + 3 - 1} = 16,7 \text{кОм}.$$

Напругу на виході неінвертуючого суматора знаходимо за виразом:

$$\begin{aligned} U_{\text{вих}} &= \frac{(R4 + R_{33})}{R4} \cdot \frac{(U1 \cdot R2 \cdot R3 + U2 \cdot R1 \cdot R3 + U3 \cdot R1 \cdot R2)}{(R2 \cdot R3 + R1 \cdot R3 + R1 \cdot R2)} = \\ &= \frac{(16,7 + 100)}{16,7} \cdot \frac{(5 \cdot 66,7 \cdot 33,3 + 1,2 \cdot 40 \cdot 33,3 - 5 \cdot 40 \cdot 66,7)}{(66,7 \cdot 33,3 + 40 \cdot 33,3 + 40 \cdot 66,7)} \approx -0,7 \text{ (В)}. \end{aligned} \quad (11.3)$$

Результати моделювання схеми, в якій на другий вхід суматора подано синусоїдальну напругу U_2 амплітудою 5 В (рис. 11.2), наведені на рис. 11.3.

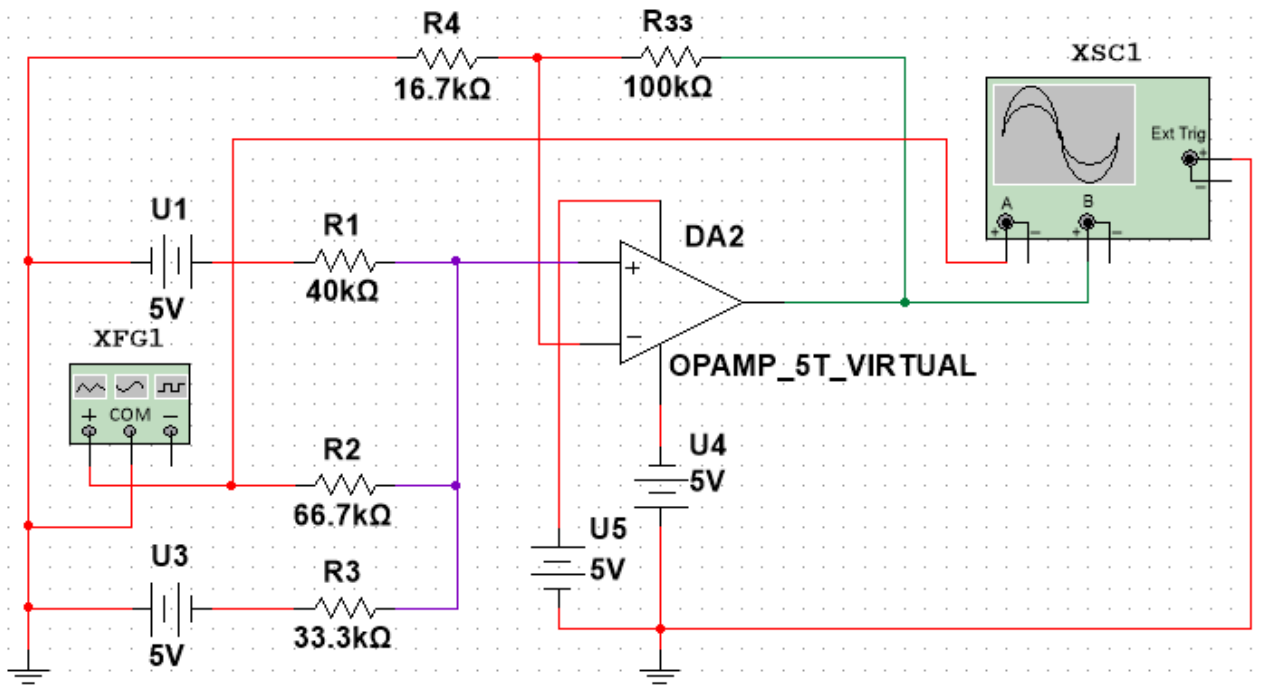


Рисунок 11.2

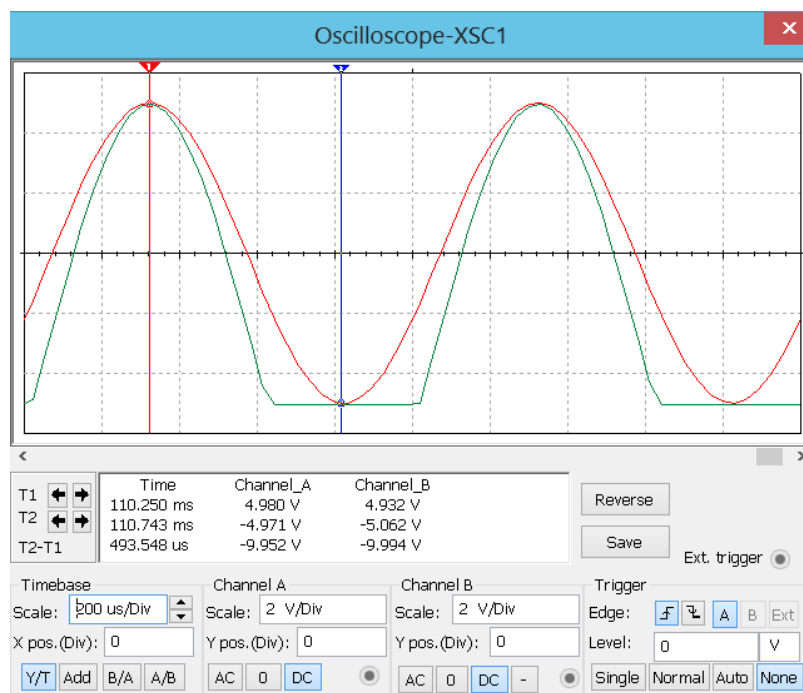


Рисунок 11.3

Зміст звіту

1. Тема і мета роботи.
2. Індивідуальне завдання.

3. Результати виконання дослідів (схеми, графіки, розрахунки та ін.) з описом, які прилади були використані, що в результаті отримали на графіках, порівняти теоретичні дані з результатами експериментів.

4. Загальні висновки по роботі.

Контрольні питання

1. Яке призначення вхідних резисторів суматора та якої величини повинні бути їх опори і чому?

2. Як та за рахунок чого здійснюється операція підсумовування в схемах суматорів?

3. Наведіть схему двовходового інвертуючого суматора.

4. Чи можна за допомогою ОП реалізувати операцію віднімання? Якщо можна, то наведіть приклад схеми.

Практична робота 12

ЛІНІЙНІ СХЕМИ НА ОСНОВІ ОПЕРАЦІЙНИХ ПІДСИЛЮВАЧІВ. НЕІНВЕРТУЮЧИЙ СУМАТОР

Тема роботи: розглянути особливості схемної реалізації та функціонування аналогових пристроїв на ОП.

Завдання: запропонуйте трьохвходовий аналоговий інвертуючий суматор (SM) на основі ОП. У відповіді наведіть: функціональну схему SM з ідеальним ОП, короткий опис роботи; розрахунки вхідних резисторів і напруги на виході ($U_{\text{вих}}$) за умови, що: $K_1 = -1$, $K_2 = -2,5 \cdot N$, $K_3 = -2$, $U1 = 3 \text{ В}$, $U2 = 2 \text{ В}$, $U3 = -1 \text{ В}$, $R_{33} = 100 \text{ кОм}$, де K_i – коефіцієнт передачі сигналу з i -го ($i = 1, 2, 3$) входу, R_{33} – резистор зворотного зв'язку, форму $U_{\text{вих}}$ за умови, що на другий вхід подаються двохполярні синусоїдальні сигнали з амплітудою $U2 = 5 \text{ В}$ при живленні ОП $E_{\text{ж}} = \pm 9 \text{ В}$.

Рішення:

На ОП будуються схеми, які виконують математичні операції над вхідними сигналами (підсумовування, вирахування, інтегрування, диференціювання та ін.). У суматорах на виході одержуємо суму вхідних напруг.

Розглянемо рішення для таких коефіцієнтів передачі: $K_1 = -4$; $K_2 = -2$; $K_3 = -1$. Вирази для розрахування коефіцієнтів передачі:

$$\begin{aligned} K_1 &= -\frac{R_{33}}{R1}, \\ K_2 &= -\frac{R_{33}}{R2}, \\ K_3 &= -\frac{R_{33}}{R3}. \end{aligned} \tag{12.1}$$

Номінали резисторів знаходимо по виразам:

$$\begin{aligned} R1 &= \frac{R_{33}}{K_1} = \frac{100}{4} = 25(\text{кОм}), \\ R2 &= \frac{R_{33}}{K_2} = \frac{100}{2} = 50(\text{кОм}), \\ R3 &= \frac{R_{33}}{K_3} = \frac{100}{1} = 100(\text{кОм}) \end{aligned}$$

Напряга на виході інвертуючого суматора:

$$U_{\text{вих}} = -R_{33} \cdot \left(\frac{U1}{R1} + \frac{U2}{R2} + \frac{U3}{R3} \right) = -100 \left(\frac{3}{100} + \frac{2}{50} + \frac{-1}{25} \right) = -15 \text{ В.} \quad (12.2)$$

У зв'язку з тим, що отримана напруга за абсолютним значенням перевищує напругу живлення $E_{\text{ж}} = \pm 9 \text{ В}$, то напруга на виході суматора буде дорівнювати 9 В (рис. 12.1).

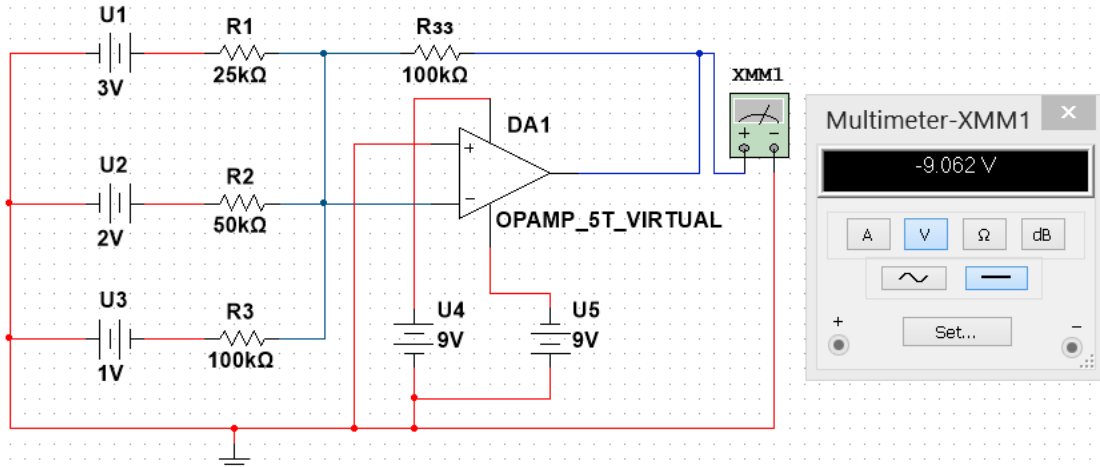


Рисунок 12.1

Тепер, якщо на перший і третій входи суматора подати постійну напругу $U1 = 3 \text{ В}$ та $U3 = -1 \text{ В}$, а на другий вхід синусоїдальну напругу $U2 = 5 \text{ В}$ (рис. 12.2), то форма отриманої на виході напруги буде мати вигляд обмеженої синусоїди (рис. 12.3).

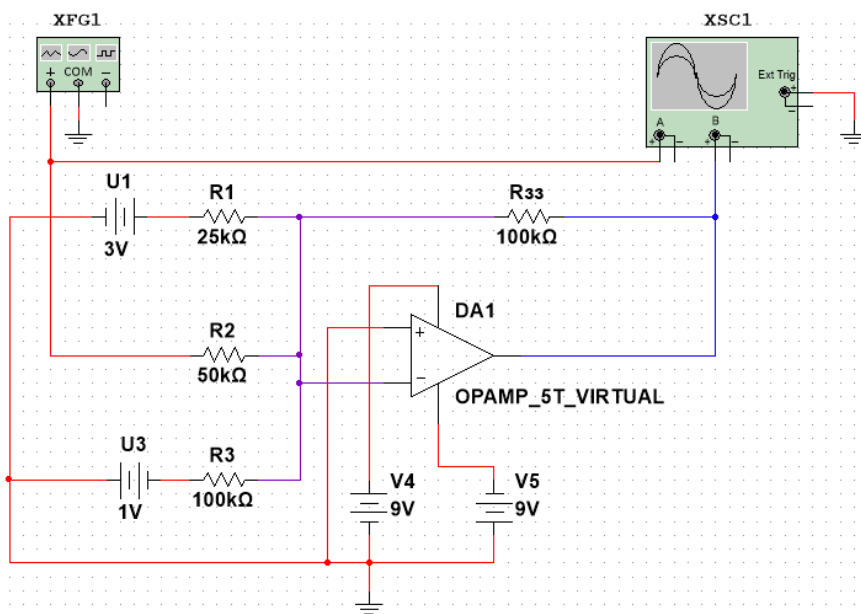


Рисунок 12.2

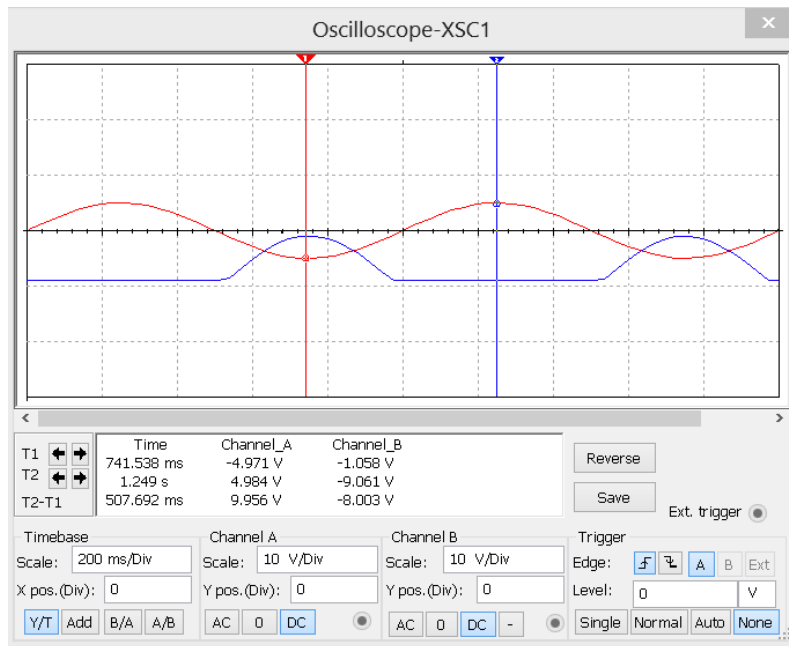


Рисунок 12.3

Зміст звіту

1. Тема і мета роботи.
2. Індивідуальне завдання.
3. Результати виконання дослідів (схеми, графіки, розрахунки та ін.) з описом, які прилади були використані, що в результаті отримали на графіках, порівняти теоретичні дані з результатами експериментів.
4. Загальні висновки по роботі.

Контрольні питання

1. Зобразіть структурну схему ОП.
2. Що таке смуга пропускання ОП?
3. Наведіть схему неінвертуючого підсилювача на базі ОП.
4. Наведіть схему інвертуючого підсилювача на базі ОП.
5. Наведіть АЧХ підсилювача, який побудовано з використанням ОП.

Практична робота 13

ЛІНІЙНІ СХЕМИ НА ОСНОВІ ОПЕРАЦІЙНИХ ПІДСИЛЮВАЧІВ. ІНТЕГРАТОРИ ТА ДИФЕРЕНЦІАТОРИ

Мета роботи: Дослідити схеми інтегратора і диференціатора, побудованих на основі ОП і більш детально вивчити їх принципи дії, налаштування та особливості реалізації.

Дослід 1 – Інтегратор

1.1 Зберіть схему інтегратора, наведену на рис. 13.1, з реальним ОП:

$$U_{\text{вих}} = -K \cdot U_{\text{вх}} dt, \quad (13.1)$$

де $K = 1/(R1 \cdot C1)$.

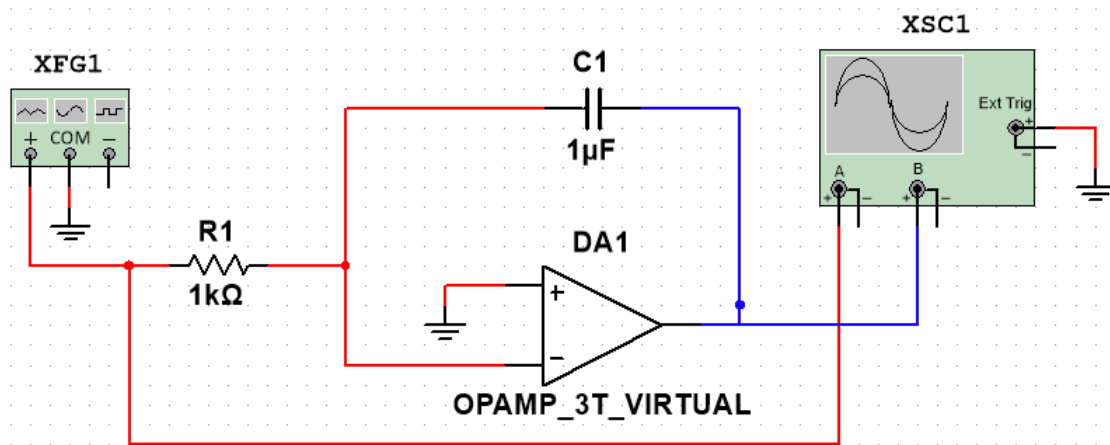


Рисунок 13.1

1.2 Розрахуйте величину $R1$ при $C1 = 1$ мкФ, $K = (10 \cdot N)$, де N – номер варіанту.

1.3 Виконайте дослідження форми сигналу на виході інтегратора при подачі на його вхід сигналів прямокутної форми з наступними параметрами: $U_{\text{вх}} = 2$ В, $f_{\text{вх}} = 500$ Гц. З'ясуйте, чи змінюється форма $U_{\text{вих}}$ при збільшенні амплітуди $U_{\text{вх}}$ до 20 В, тобто при значеннях, близьких до напруги живлення ОП.

Якщо виявиться, що при цьому вихідний сигнал приходить в «насичення», то спробуйте усунути ці спотворення за допомогою введення до складу вхідного сигналу постійного зсуву (для цього необхідно змінити налаштування генератора).

1.4 Виконайте дослідження форми сигналів на виході інтегратора при подачі на його вхід сигналів синусоїдальної і пилкоподібної форми з наступними параметрами: $U_{\text{вх}} = 2$ В, $f_{\text{вх}} = 500$ Гц.

Дослід 2 – Диференціатор

2.1 Зберіть схему диференціатора, наведену на рис. 13.2, з реальним ОП:

$$U_{\text{ВИХ}} = -K \cdot \frac{dU_{\text{ВХ}}}{dt}, \quad (13.2)$$

де $K = R1 \cdot C1$.

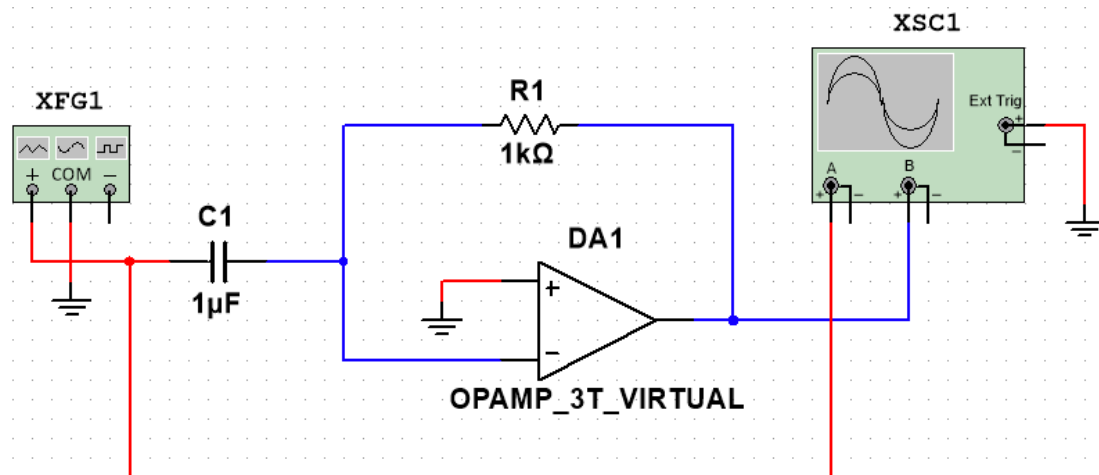


Рисунок 13.2

2.2 Розрахуйте величину $R1$ за умови, що $C1 = 1$ мкФ, $K = (10 \cdot N)$, де N – номер варіанту.

2.3 Виконайте дослідження форми сигналів на виході диференціатора при подачі на його вхід сигналів прямокутної форми з наступними параметрами: $U_{\text{ВХ}} = 2$ В, $f_{\text{ВХ}} = 500$ Гц.

Дослід 3 – Послідовне з'єднання інтегратора і диференціатора

Оскільки диференціювання та інтегрування є взаємно зворотними операціями, слід очікувати, що подавши на вхід інтегратора прямокутні імпульсні сигнали і виконавши його диференціювання, ми на виході отримаємо прямокутні сигнали.

3.1 З'єднайте послідовно схеми інтегратора і диференціатора.

3.2 Подайте на вхід інтегратора сигнали прямокутної форми з наступними параметрами: $U_{\text{ВХ}} = 2$ В, $f_{\text{ВХ}} = 500$ Гц. Виконайте дослідження форми сигналів на виходах інтегратора і диференціатора за допомогою осцилографа.

3.3 Порівняйте форми і параметри сигналів на вході інтегратора і виході диференціатора.

Зміст звіту

1. Тема і мета роботи.
2. Індивідуальне завдання.
3. Результати виконання дослідів (схеми, графіки, розрахунки та ін.) з описом, які прилади були використані, що в результаті отримали на графіках, порівняти теоретичні дані з результатами експериментів.
4. Загальні висновки по роботі.

Контрольні питання

1. Поясніть, яким чином можна зменшити похибку вихідної напруги інтегратора на основі реального ОП.
2. Поясніть принцип роботи інтегратора.
3. Поясніть принцип роботи диференціатора.
4. Що таке коефіцієнт послаблення синфазних сигналів?
5. Чому ланцюги зовнішньої корекції дозволяють компенсувати похибки вихідної напруги ОП тільки при одній температурі навколишнього середовища?

Практична робота 14

НЕЛІНІЙНІ ПРИСТРОЇ НА ОПЕРАЦІЙНИХ ПІДСИЛЮВАЧАХ

Мета роботи: Дослідити ряд функціональних пристроїв на основі ОП і більш детально вивчити їх принципи дії, налаштування та особливості реалізації.

Дослід 1 – Обмежувач рівня сигналу

1.1 Зберіть схему обмежувача на ОП, наведену на рис. 14.1. На неінвертуючий вхід ОП подавайте постійну напругу обмеження ($U1$), а на інвертуючий вхід – синусоїдальний сигнал з параметрами: $f_{\text{вх}} = 1$ кГц, $U_{\text{вх}} = (10+N)$ В, де N – номер варіанту.

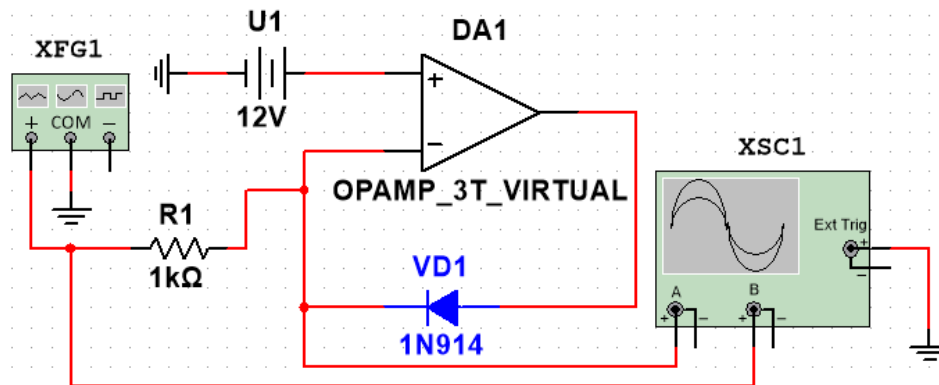


Рисунок 14.1

1.2 Спостерігайте за допомогою осцилографа за вхідним і вихідним сигналами ($U_{\text{вх}}$ і $U_{\text{вих}}$), змінюючи амплітуду і полярність напруги $U1$, а також підключення діода $VD1$ (міняючи місцями анод і катод).

1.3 Збільшуючи частоту вхідного сигналу, подивіться, чи зміниться $U_{\text{вих}}$ на більш високих частотах і якщо так, то чому?

1.4 Проаналізуйте результати експерименту і зробіть висновки.

Дослід 2 – Компаратор

2.1 Зберіть схему компаратора (рис. 14.2) з реальним ОП. На інвертуючий вхід подавайте постійну опорну напругу ($U1$), а на неінвертуючий вхід – синусоїдальний і пілкоподібний сигнали з наступними параметрами: $f_{\text{вх}} = 1$ кГц, $U_{\text{вх}} = (10+N)$ (В), де N – номер варіанту. Виконайте дослідження вихідної напруги, змінюючи амплітуду і полярність напруги $U1$.

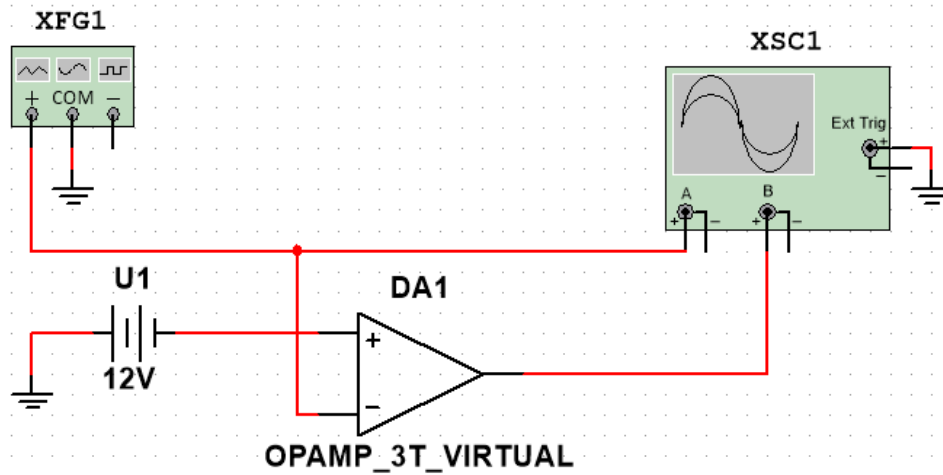


Рисунок 14.2

Дослід 3 – Тригер Шмітта

3.1 Зберіть схему тригера Шмітта на основі компаратора (рис. 14.3) з реальним ОП. Виконайте її дослідження, подаючи на неінвертуючий вхід ОП синусоїдальний сигнал з наступними параметрами: $U_{\text{вх}} = (10+N) \text{ В}$, де N – номер варіанту; $f_{\text{вх}} = 1 \text{ кГц}$; $R1 = 100 \text{ кОм}$; $R2 = 10 \text{ кОм}$.

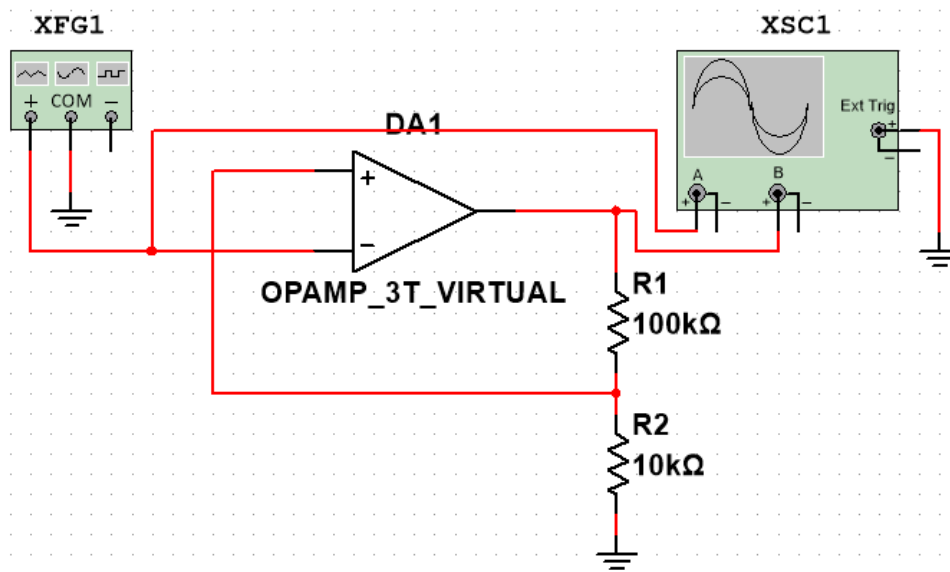


Рисунок 14.3

3.2 Спостерігайте за допомогою осцилографа за вхідним і вихідним сигналами, змінюючи величину резистора $R1$ і $R2$.

3.3 Зніміть амплітудно-передавальну характеристику (АПХ): $U_{\text{вих}} = f(U_{\text{вх}})$.

3.4 Змінюючи величину резистора $R2$ подивіться, чи зміниться при цьому $U_{\text{вих}}$, і, якщо так, то як це відобразиться на АПХ?

Дослід 4 – Генератори сигналів

4.1 Зберіть схему генератора сигналів прямокутної форми на основі тригера Шмітта (рис. 14.4) з реальними ОП.

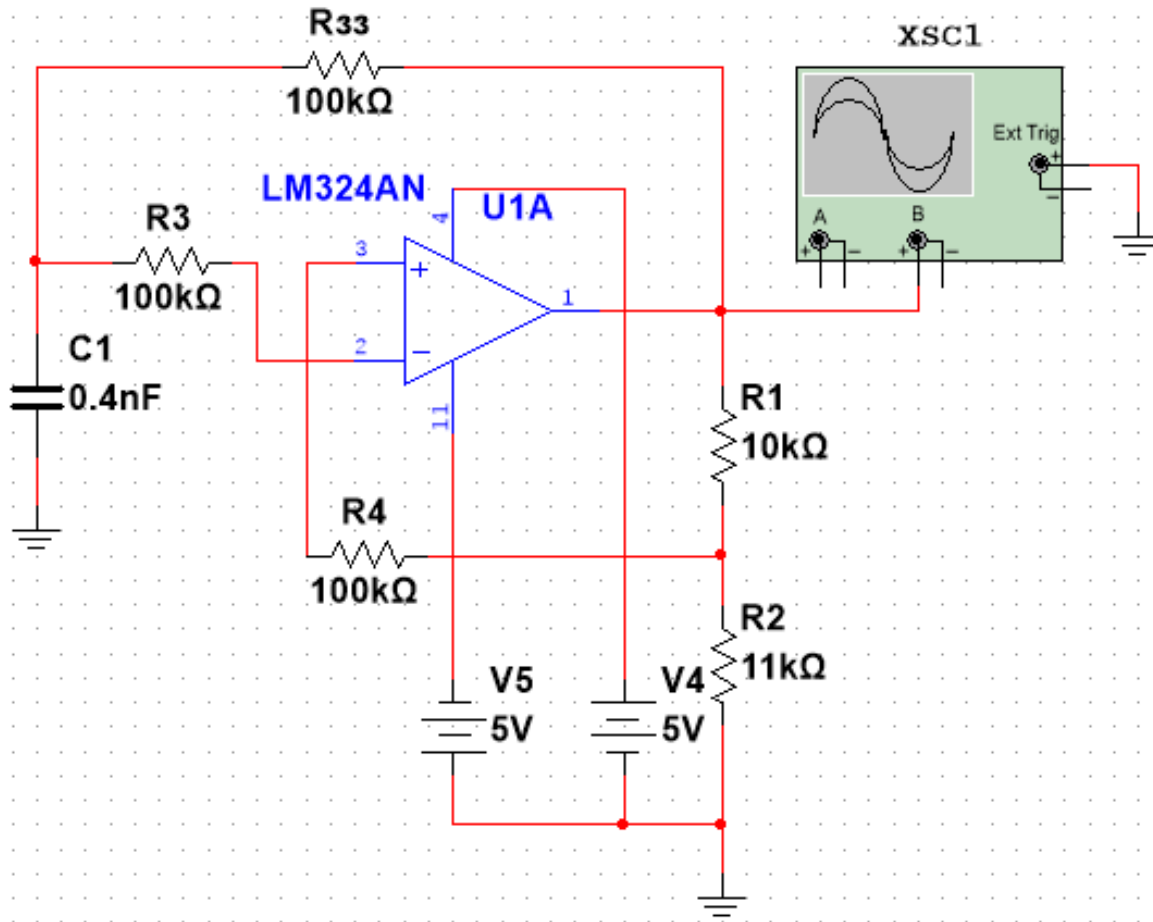


Рисунок 14.4

4.2 Задайте частоту генератора $f = N$ кГц, де N – номер варіанту, скориставшись співвідношеннями:

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_{33} \cdot C1} \quad (14.1)$$

4.3 Спостерігайте за допомогою осцилографа за вихідним сигналом і порівняйте реальну частоту генератора з розрахунковим значенням.

Зміст звіту

1. Тема і мета роботи.
2. Індивідуальне завдання.

3. Результати виконання дослідів (схеми, графіки, розрахунки та ін.) з описом, які прилади були використані, що в результаті отримали на графіках, порівняти теоретичні дані з результатами експериментів.

4. Загальні висновки по роботі.

Контрольні питання:

1. Чим схема порівняння відрізняється від схеми підсилення?
2. Які вихідні напруги можуть формуватися на виході схеми порівняння?
3. Які особливості застосування ОП в схемах компараторів?
4. Чи можна в компараторі на основі тригера Шмітта зробити рівень порогів вхідної напруги різним і, якщо так, то яким чином?
5. Що таке компараторний режим роботи ОП?

Практична робота 15

ЛОГІЧНІ ЕЛЕМЕНТИ

Тема роботи: розглянути особливості схемної реалізації та функціонування логічних елементів.

Завдання: дослідити комбінаційну схему, яка побудована по логічному виразу згідно з варіантом завдання (табл. 15.1). Наведіть таблицю станів і часові діаграми.

Таблиця 15.1

№ вар.	Логічний вираз
1, 13	$Y = \overline{X1} \cdot X2 \cdot X3$
2, 14	$Y = X1 + X2 \cdot \overline{X3}$
3, 15	$Y = X1 + X2 \cdot \overline{X3} \cdot \overline{X4}$
4, 16	$Y = (X1 \cdot X2) + (X1 + \overline{X2})$
5, 17	$Y = (X1 + \overline{X2}) + (X3 \cdot X4)$
6, 18	$Y = (X1 + \overline{X2}) + \overline{(X1 + X2)}$
7, 19	$Y = (X1 + X2) \cdot \overline{(X1 + X3)}$
8, 20	$Y = X1 \cdot \overline{(X2 + X3)}$
9, 21	$Y = \overline{X1} \cdot X2$
10, 22	$Y = (X1 \cdot X2) + (X1 + \overline{X2} + X3)$
11, 23	$Y = X1 \cdot \overline{(X2 + X3)} + X4$
12, 24	$Y = (X1 + \overline{X2}) + \overline{(X3 + X4)}$

Рішення:

На рис. 15.1 зображена схема з'єднання логічних елементів «АБО-НІ» а також «І», яка побудована по логічному виразу $Y = \overline{(X1 + X2)} \cdot X3$.

Логічний елемент «АБО-НІ» забезпечує логічне додавання (диз'юнкцію) та інверсію результату. Логічний елемент «І» забезпечує логічне множення

(кон'юнкцію). В табл. 15.2 наведена таблиця станів, а на рис. 15.3 – часові діаграми роботи схеми.

Таблиця 15.2 – Таблиця станів

X1	X2	X3	Y
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	0

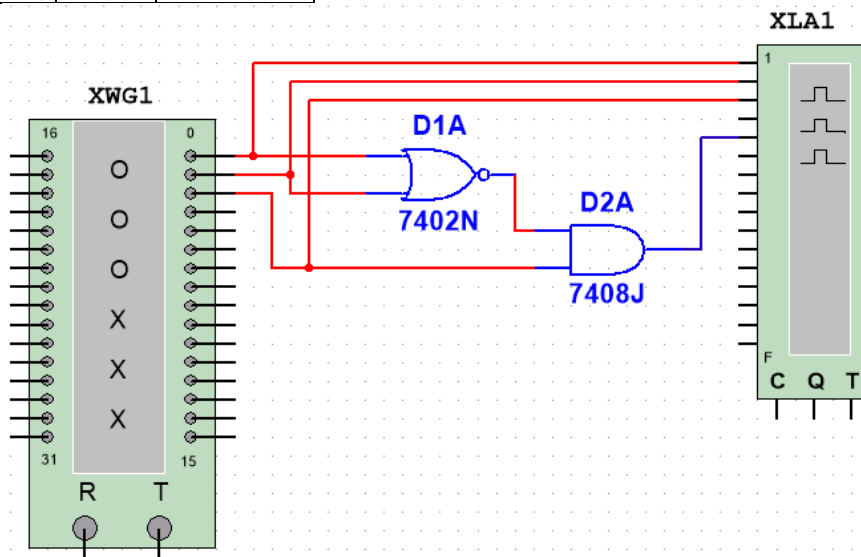


Рисунок 15.1

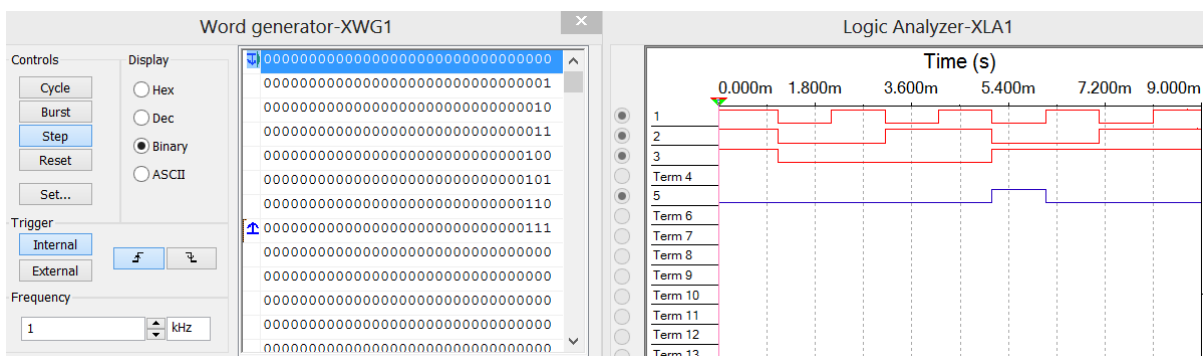


Рисунок 15.2

Зміст звіту

1. Тема і мета роботи.
2. Індивідуальне завдання.

3. Результати виконання дослідів (схеми, графіки, розрахунки та ін.) з описом, які прилади були використані, що в результаті отримали на графіках, порівняти теоретичні дані з результатами експериментів.

4. Загальні висновки по роботі.

Контрольні питання

1. Наведіть ТС для заданої викладачем схеми.
2. Побудуйте схему згідно заданого викладачем логічного виразу.
2. Що таке основний функціонально повний набір логічних елементів.
4. Що таке мінімізація логічної функції?

Практична робота 16

ФОРМУВАЧІ ІМПУЛЬСІВ

Мета роботи: розглянути призначення, принципи побудови та функціонування формувачів коротких імпульсів.

Завдання: запропонуйте формувач коротких імпульсів тривалістю $t_i = (3 \cdot N)$ мкс, де N – номер варіанта, по передньому та задньому фронту позитивного прямокутного імпульсного сигналу на основі інтегруючих RC-ланцюгів і необхідних логічних елементів. Рівні вхідних і вихідних сигналів повинні відповідати рівням ТТЛ-логіки.

У відповіді наведіть функціональну (принципову) схему, часову діаграму, що показує форми сигналів в основних характерних точках схеми; короткий опис принципу дії.

Рішення:

Розглянемо схему формувача коротких імпульсів по передньому і задньому фронтах позитивного імпульсного сигналу (рис. 16.1).

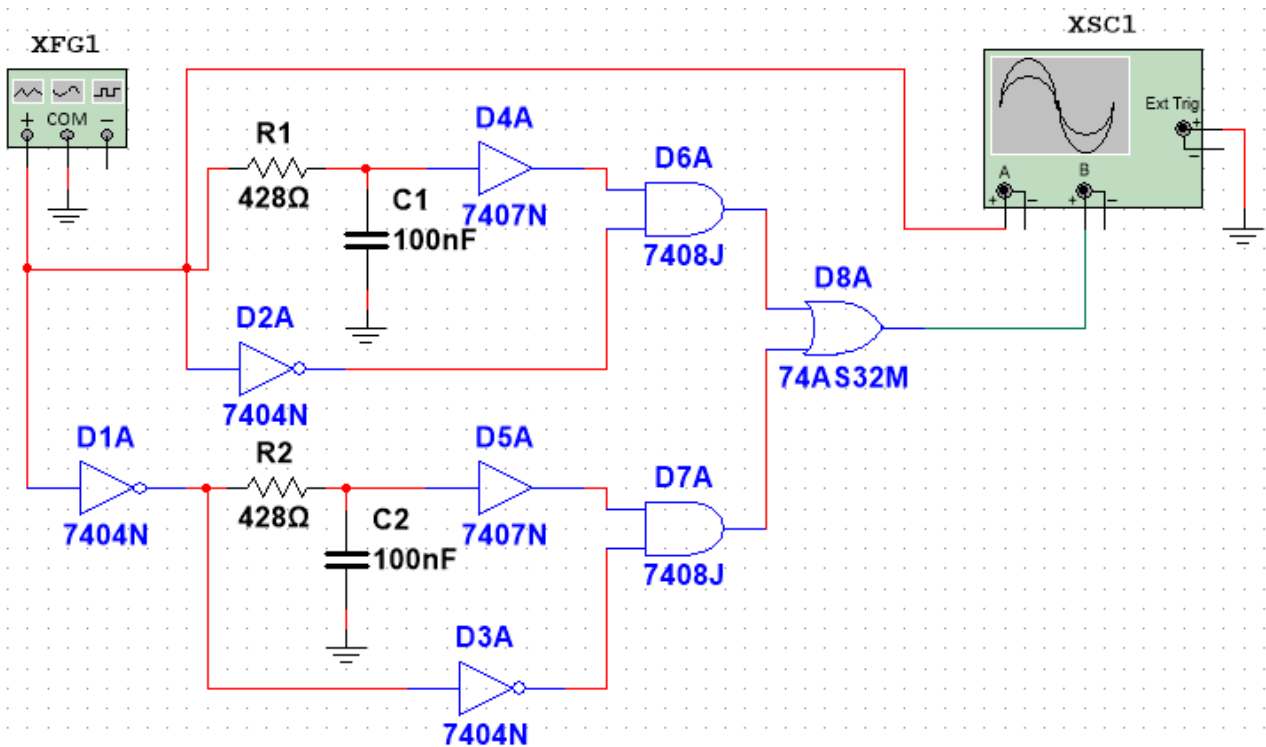


Рисунок 16.1

Для того щоб отримати необхідну тривалість вихідних імпульсів, необхідно скористатися виразом:

$$t_i = 0,7 \cdot RI \cdot CI. \quad (16.1)$$

Якщо задатися $CI = 100$ нФ, то для отримання, наприклад, $t_i = 30$ мкс, розрахуємо резистор наступним чином:

$$RI = \frac{30 \cdot 10^{-6}}{0,7 \cdot 100 \cdot 10^{-9}} \approx 428(\text{Ом}).$$

При реалізації цифрових пристроїв різного призначення часто необхідно сформувати короткі імпульси по фронтах вхідного сигналу. Зокрема, такі імпульси використовують для скидання лічильників, як імпульси синхронізації при записі інформації в регістри та ін.

Принцип дії формувача імпульсів, наведеного на рис. 16.1 можна пояснити так: завдяки використанню інтегруючих ланцюжків можна одержати необхідну затримку сигналів, які потім подаються на логічні елементи, в результаті чого на виході елемента D8A одержуємо короткі імпульси, сформовані по передньому і задньому фронтах позитивного прямокутного імпульсу вхідної напруги (рис. 16.2).

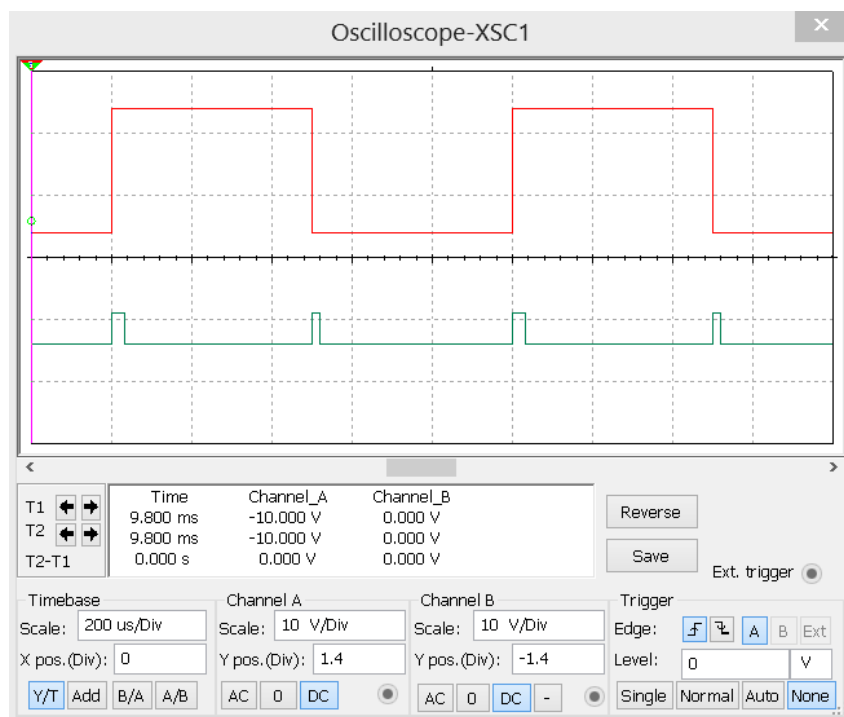


Рисунок 16.2

Зміст звіту

1. Тема і мета роботи.
2. Індивідуальне завдання.
3. Результати виконання дослідів (схеми, графіки, розрахунки та ін.) з описом, які прилади були використані, що в результаті отримали на графіках, порівняти теоретичні дані з результатами експериментів.
4. Загальні висновки по роботі.

Контрольні питання

1. Від чого залежить тривалість імпульсів на виході формувача?
2. Навіщо в схемах формувачів використовуються RC-ланцюги?
3. Наведіть схему формувача імпульсів.
4. Основні параметри імпульсних сигналів.
5. Принцип дії елемента затримки з RC-ланцюгом.

Список літератури

1. Комп'ютерна електроніка [Електронний ресурс] : підручник для студ. спец. 126 «Інформаційні системи та технології», спеціалізації «Інтегровані інформаційні системи» / А. О. Новацький. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 468 с.
2. Маланчук Є. З. Моделювання та аналіз цифрових схем : підручник / Є. З. Маланчук та ін. – Рівне : НУВГП, 2018. – 463 с.
3. Шуаїбов О. К. Низьковольтна імпульсна електроніка : навчальний посібник / О. К. Шуаїбов та ін. – Ужгород : Ужгородський національний університет, 2018. – 236 с.
4. Електроніка та мікросхемотехніка : підручник / С. О. Квітка. – Мелітополь : Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2019. – 223 с.
5. Будник М. М. Сучасна радіофізика та електроніка : навчальний посібник / М. М. Будник та ін. – Київ : ФРЕКС, 2015. – 402 с.
6. СТЗВО-ХПІ-3.01-2021. Текстові документи у сфері навчального процесу. Загальні вимоги до виконання.

ЗМІСТ

Вступ	3
Практична робота 1. Знайомство з програмою моделювання електронних схем.....	4
Практична робота 2. Дільники напруги.....	9
Практична робота 3. Пасивні RC-фільтри.....	14
Практична робота 4. Багатокаскадні фільтри.....	16
Практична робота 5. Проходження імпульсів через інтегруючі та диференціюючі ланцюги.....	18
Практична робота 6. Діоди.....	21
Практична робота 7. Схеми на основі діодів. Параметричні стабілізатори напруги.....	26
Практична робота 8. Дослідження роботи транзисторних підсилювачів.....	28
Практична робота 9. Операційні підсилювачі. Базові схеми включення.....	31
Практична робота 10. Лінійні схеми на основі операційних підсилювачів. Нормуючий підсилювач.....	34
Практична робота 11. Лінійні схеми на основі операційних підсилювачів. Інвертуючий суматор.....	37
Практична робота 12. Лінійні схеми на основі операційних підсилювачів. Неінвертуючий суматор.....	41
Практична робота 13. Лінійні схеми на основі операційних підсилювачів. Інтегратори та диференціатори.....	44
Практична робота 14. Нелінійні пристрої на операційних підсилювачах.....	47
Практична робота 15. Логічні елементи.....	51
Практична робота 16. Формувачі імпульсів.....	54
Список літератури	57

Навчальне видання

Методичні вказівки до виконання практичних робіт
з навчальної дисципліни «Комп'ютерна електроніка»
для студентів денної та заочної форми навчання
за спеціальністю «Комп'ютерна інженерія»

Укладачі:

СКОРОДЄЛОВ Володимир Васильович,
ГЕЙКО Геннадій Вікторович,
НОСКОВ Валентин Іванович

Відповідальний за випуск проф. Олександр ЗАКОВОРОТНИЙ
Роботу до видання рекомендував проф. Микола ЗАПОЛОВСЬКИЙ

В авторській редакції

План 2023 р., поз. 485
Підп. до друку 26.09.2023. Формат 60x84 1/16.
Папір офсет. Друк ризографічний. Ум. друк. арк. 1,1.

Видавничий центр НТУ «ХП»,
вул. Кирпичова, 2, м. Харків, 61002
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 5478 від 21.08.2017 р.

Електронна версія