

**УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

**ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ
ТА ТЕХНОЛОГІЙ**

Кафедра транспортного зв'язку

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

для виконання лабораторних і практичних робіт із дисципліни

«ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ»

Харків 2025

Методичні вказівки розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри транспортного зв'язку 13 січня 2025 р., протокол № 7.

Методичні вказівки містять опис восьми лабораторних занять, тематика яких охоплює питання, розглянуті в рамках навчальної дисципліни «Телекомунікаційні системи передачі».

Методичні вказівки також можуть бути використані під час самостійної підготовки, а також викладення певних розділів інших дисциплін відповідно до навчальних програм.

Рекомендовано для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня всіх форм навчання за освітньою програмою «Телекомунікації та радіотехніка».

Видання друге, перероблене та доповнене.

Укладач

проф. К. А. Трубчанінова

Рецензент

проф. С. І. Доценко

ЗМІСТ

ПОРЯДОК РОБОТИ В ЛАБОРАТОРІЇ	4
<i>Лабораторна робота 1.</i> Вимірювання параметрів детермінованих сигналів	6
<i>Лабораторна робота 2.</i> Аналіз спектра періодичних сигналів	20
<i>Лабораторна робота 3.</i> Перетворення сигналу в нелінійному колі	27
<i>Лабораторна робота 4.</i> Дискретизація і відновлення неперервного сигналу	35
<i>Лабораторна робота 5.</i> Дослідження сигналів амплітудної та амплітудно-імпульсної модуляції	42
<i>Лабораторна робота 6.</i> Дослідження частотно-маніпульованих і частотно-модульованих сигналів	52
<i>Лабораторна робота 7.</i> Дослідження сигналів із відносною фазовою маніпуляцією	60
<i>Лабораторна робота 8.</i> Дослідження процесів демодуляції (детектування) сигналів	67
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	74
ДОДАТОК А Приклад оформлення звіту з лабораторної роботи 7	75

ПОРЯДОК РОБОТИ В ЛАБОРАТОРІЇ

Підготовка до роботи

Для підготовки до роботи потрібно:

- за конспектами лекцій і рекомендованою літературою вивчити теоретичний матеріал, що стосується лабораторної роботи;
- вивчити застосовувану для досліджень і розрахунків комп'ютерну програму *Electronics Workbench*;
- ознайомитися з описом виконуваної роботи і продумати відповіді на контрольні запитання та запитання для самопідготовки.

Виконання робіт у лабораторії

Лабораторні роботи виконують в аудиторії кафедри транспортного зв'язку на індивідуальних комп'ютерах. При цьому здобувач повинен виконати всі вимоги, викладені вище.

Роботу в лабораторії вважають закінченою тільки після перегляду і затвердження отриманих результатів викладачем.

Після закінчення роботи здобувач зобов'язаний привести робоче місце в порядок.

Техніка безпеки з проведенням робіт

У зв'язку з тим що електроживлення комп'ютерів здійснюється від мережі змінного струму напругою 220 В частотою 50 Гц, під час виконання лабораторних робіт може виникнути ураження електричним струмом або пожежа. Тому здобувачі можуть бути допущені до виконання лабораторних робіт тільки після проведення інструктажу з техніки

безпеки. Інструктаж проводить викладач і підтверджує особистим підписом здобувач у спеціальному журналі.

Особи, які не виконують правила техніки безпеки або допускають їх порушення до інших осіб, будуть відсторонені від роботи і залучені до відповідальності.

Виконуючи лабораторні роботи, **заборонено:**

- виконувати роботи без інструктажу з техніки безпеки;
- виконувати роботи без викладача;
- самостійно вмикати і вимикати комп'ютери;
- залишати без нагляду ввімкнений комп'ютер;
- здійснювати будь-які дії, які можуть призвести до поломки комп'ютера або пошкодження встановленого програмного забезпечення і файлів;

- копіювати інформацію, що міститься в комп'ютерах, на будь-які види власних носіїв;

- захарашувати робоче місце.

Якщо стався нещасний випадок, необхідно негайно:

- відключити мережу змінного струму;
- повідомити викладачеві;
- надати першу медичну допомогу потерпілому;
- за необхідності викликати «Швидку допомогу».

Оформлення звіту і захист роботи

Звіт про виконану роботу має бути підготовлений індивідуально в електронному вигляді і зберігатися в персональній папці на «жорсткому» диску комп'ютера аудиторії.

Залік з роботи здобувач отримує після подання звіту та успішної відповіді на запропоновані викладачем запитання, пов'язані з тематикою лабораторної роботи, що захищається.

Лабораторна робота 1

ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ДЕТЕРМІНОВАНИХ СИГНАЛІВ

Мета роботи: засвоїти роботу на персональному комп'ютері з програмним забезпеченням *Electronics Workbench*; виміряти параметри детермінованих сигналів.

Підготовка для виконання роботи

- 1 Вивчити параметри і характеристики сигналів.
- 2 Підготувати відповіді на запитання для самоперевірки.

Запитання для самоперевірки

- 1 Дайте визначення терміна «електричний сигнал».
- 2 Перелічіть параметри і характеристики сигналів.
- 3 Що таке період і тривалість сигналу?
- 4 Що таке амплітуда і розмах сигналу?
- 5 Що таке первинні і вторинні сигнали?
- 6 Дайте визначення термінів «інформація», «повідомлення», «сигнал». У чому відмінність між ними?
- 7 Які форми подання сигналів ви знаєте?
- 8 Наведіть класифікацію сигналів за інформативністю і формою.
- 9 Наведіть параметри цифрового сигналу.
- 10 Наведіть класифікацію сигналів за регулярністю повторення і зміни в часі.

Порядок виконання роботи

- 1 Відповісти на запитання для самоперевірки до лабораторної роботи.
- 2 Отримати інструктаж із техніки безпеки.
- 3 Ввімкнути персональний комп'ютер.
- 4 Відкрити програму *Electronics Workbench 5.12*. Отримати зображення стандартного вікна програми.
- 5 Натиснути маніпулятором миші (рисунок 1.1) на зображенні *Instruments (Інструменти)*.

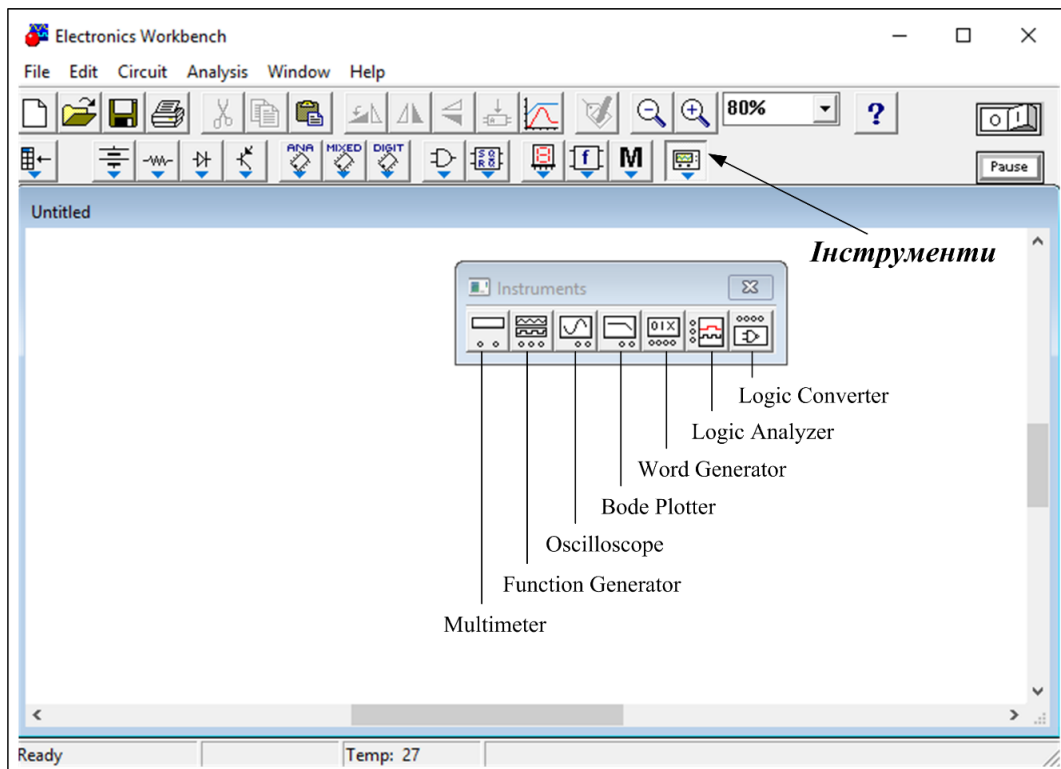


Рисунок 1.1 – Елементи папки *Instruments*

Натиснути лівою клавішею маніпулятора миші на зображенні генератора *Function Generator*. Переміщуючи маніпулятор миші, помістити генератор на білий аркуш робочого поля, відпустити клавішу. Також перемістити осцилограф *Oscilloscope* і умовні графічні позначення заземлення (рисунок 1.2).

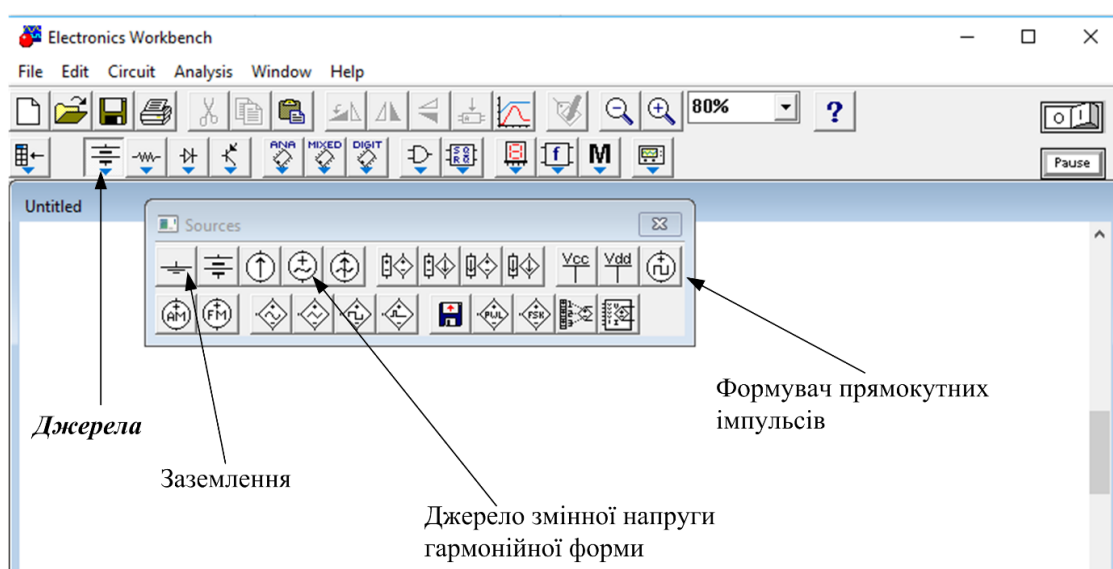


Рисунок 1.2 – Елементи папки *Sources*

6 Виміряти параметри детермінованих сигналів.

6.1 Зібрати схему для проведення досліджень відповідно до рисунка 1.3.

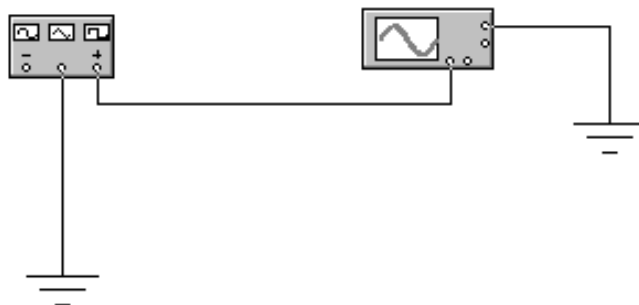


Рисунок 1.3 – Схема досліджень параметрів детермінованих сигналів

Для цього з'єднати вихід генератора зі входом осцилографа. Для їх з'єднання необхідно натиснути лівою клавішею маніпулятора миша в точці з'єднання в момент появи стрілки. Утримуючи клавішу, переміщати маніпулятор миша по килимку. Відпустити клавішу необхідно в момент появи іншої точки в потрібному місці з'єднання. З'являється лінія - підтвердження правильності з'єднання.

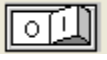
6.2 Натиснути два рази на зображенні генератора на білому аркуші робочого поля. Встановити режим генерації гармонійних (синусоїдальних) коливань, натиснувши на відповідне зображення у вікні, що розкрилося на лицьовій панелі генератора.


6.3 За варіантом із таблиці 1.1 встановити частоту (*Frequency*), амплітуду (*Amplitude*), тривалість імпульсу (*Duty cycle*) і постійну складову (*Offset*) сигналу на виході генератора за допомогою клавіатури і маніпулятора миші в комірках навпроти параметрів у вікні, що розкрилося на лицьовій панелі генератора.

Таблиця 1.1 – Параметри сигналів гармонійної форми

Варіант	<i>Frequency</i> <i>F, Гц</i>	<i>Voltage</i> <i>Um, В</i>	<i>Duty cycle</i> <i>tu, %</i>	<i>Uuo (offset)</i>
1	100	5	60	1
2	100	1	50	0
3	5000	20	20	1
4	200	13	25	2
5	2500	4	30	3
6	300	5,5	10	-1
7	3500	6	25	-2
8	400	15	10	-3
9	4500	8	15	0
10	500	1,9	45	1
11	550	2	55	-1
12	6000	11	60	-2
13	650	10	65	2
14	700	13	70	-3
15	10000	7,7	75	3
16	1500	3,5	80	0

Примітка – тривалість імпульсу (Duty cycle) визначають, %, як відношення тривалості імпульсу до періоду проходження імпульсів (для сигналів імпульсної форми!)

6.4 Ввімкнути режим аналізу схеми, натиснувши маніпулятором миші на зображенні **I** перемикача , розташованого в правому верхньому куті панелі інструментів.

6.5 Натиснути два рази на зображенні осцилографа, спостерігати часову діаграму сигналу на екрані осцилографа. Вимкнути режим аналізу схеми, натиснувши маніпулятором миші на зображенні **0** перемикача .

6.6 Натиснути на зображенні **Expand** на лицьовій панелі осцилографа. Спостерігати часову діаграму сигналу на розширеному екрані осцилографа (рисунок 1.4).

На рисунку 1.4 подано такі позначення:

1 – перемикач «Час на розподіл» (**Time base**), відображує масштаб часової діаграми по осі **x** (вісь часу) - кількість секунд (s), мілісекунд (ms), мікросекунд (μ s) на одну поділку (клітку);

2 – перемикач «**X position**», який дає змогу переміщати часову діаграму по осі **x** (вправо-вліво);

3 – перемикач «Вольт на розподіл» (**V/div**) каналу осцилографа **A** (**Channel A**), відображує масштаб часової діаграми по осі **y** (вісь амплітуди) – кількість Вольт (V), мілівольт (mV), мікрвольт (μ V) на одну поділку (клітинку). Аналогічний перемикач є в каналі осцилографа **B** (**Channel B**);

4 – перемикач «**Y position**», який дає змогу переміщати часову діаграму по осі **y** (вгору-вниз);

5 – перемикач режиму роботи схеми: DC (**Direct Current**) - режим постійного струму, AC (**Alternating Current**) - режим змінного струму;

6 – часова діаграма.

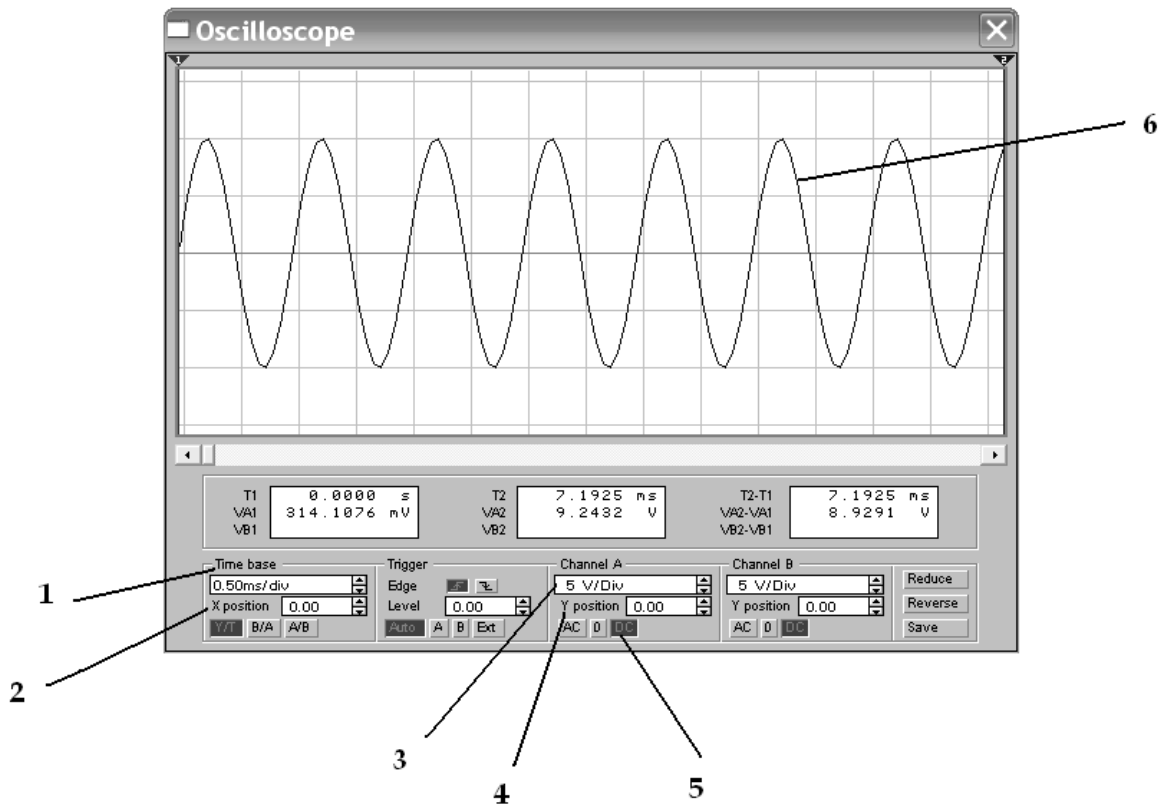


Рисунок 1.4 – Лицьова панель осцилографа

6.7 Встановити на лицьовій панелі осцилографа перемикачем «Час на розподіл» (*Time base*) час, який відповідає спостереженню двох або трьох періодів коливання.

6.8 Встановити перемикачем «Вольт на розподіл» (*V/div*) масштаб по осі амплітуд, зручний для спостереження діаграми.

6.9 Накреслити часову діаграму сигналу у звіті. Підписати.

6.10 Визначити час початку періоду сигналу (*T1*). Для цього встановити візирну лінію на початок періоду гармонійного (синусоїдального) сигналу, натиснувши лівою клавiшею маніпулятора миші на червоному трикутнику 1. Перемістити візирну лінію на початок періоду, утримуючи її і рухаючи маніпулятор миші.

6.11 Визначити час закінчення періоду сигналу (*T2*). Встановити синю візирну лінію 2 на кінець періоду гармонійного сигналу, використовуючи методику п. 6.10 (рисунок 1.5).

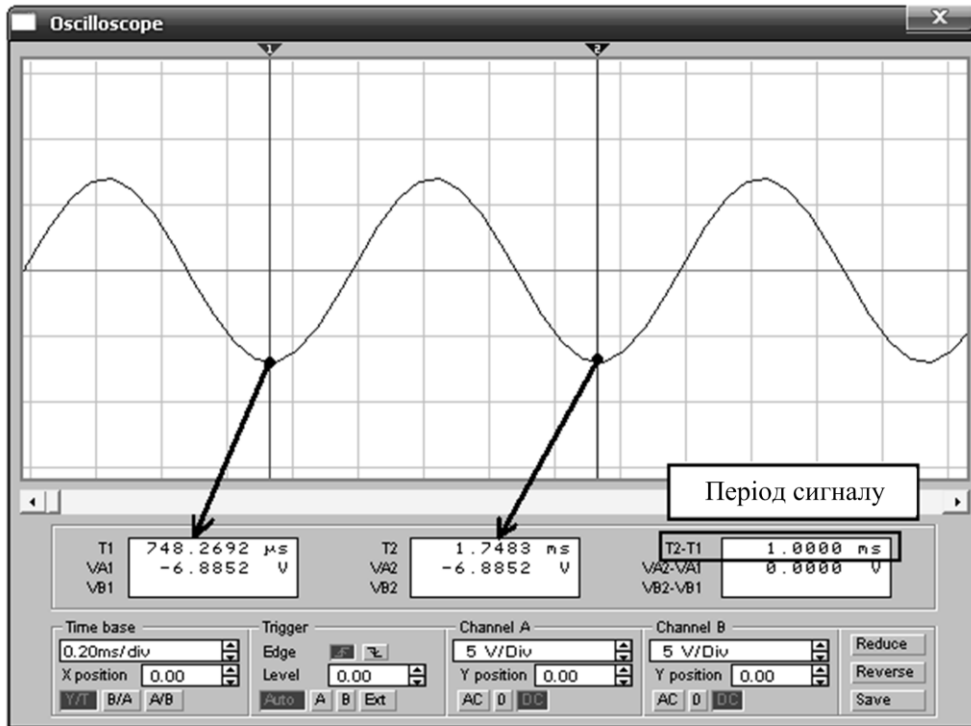


Рисунок 1.5 – Методика вимірювання періоду сигналу

6.12 Записати значення T1, T2 і періоду T до звіту.

6.13 Виміряти мінімальне значення напруги гармонійного сигналу. Встановити курсор маніпулятора миші на червоному трикутнику 1 і, натиснувши клавішу маніпулятора, переміщати візирну лінію на мінімальне значення амплітуди. Записати мінімальне значення VA1 у звіті.

6.14 Виміряти максимальне значення напруги VA2, використовуючи методику п. 6.13 для синьої візирної лінії 2 (рисунок 1.6). Виміряти розмах $U_p = VA2 - VA1$ і розрахувати амплітуду. Дані занести до звіту.

Примітка - амплітуду розраховують за формулою $U_m = U_p/2$.

6.15 Виконати п. 6.2-6.14 для сигналів прямокутної і трикутної форм. Дані записати до звіту і порівняти значення амплітуди, частоти і шпаруватості з раніше встановленими на генераторі.

6.16 Видалити лінію з'єднання заземлення з генератором (рисунок 1.3), натиснувши маніпулятором миші на лінію і клавішами Delete клавіатури і Enter, коли з'явиться відповідний запит.

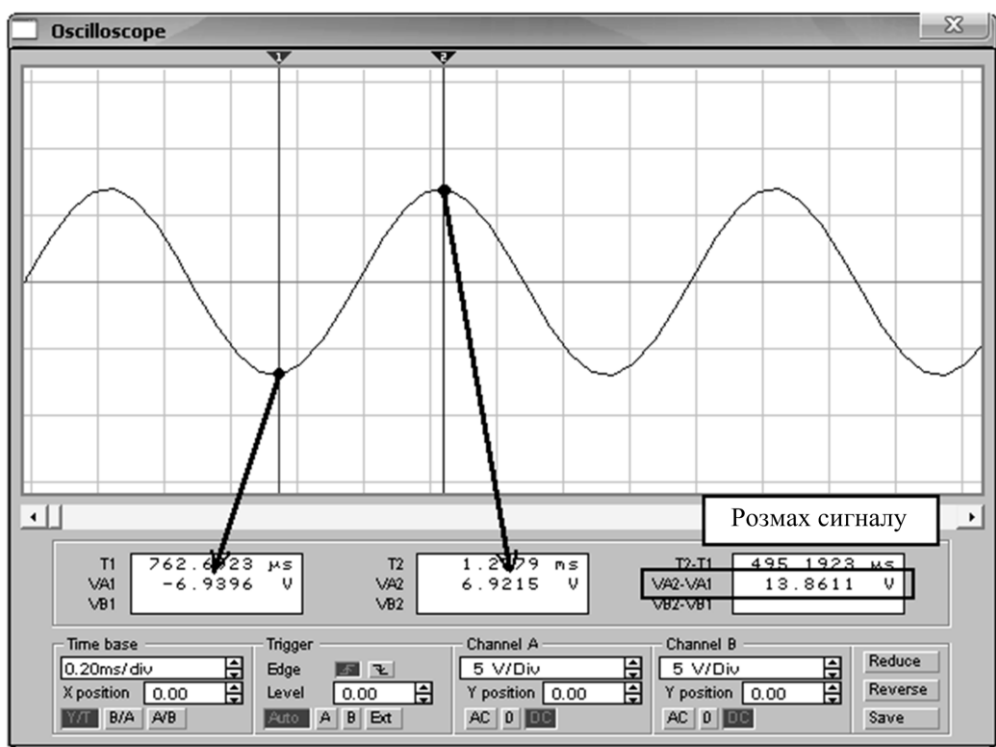


Рисунок 1.6 – Методика вимірювання розмаху сигналу

6.17 Підключити заземлення до лівої клемі генератора відповідно до методики п. 6.1.

6.18 Виконати п. 6.2-6.14 для сигналів прямокутної форми. Дані записати до звіту і порівняти значення амплітуди, частоти і шпаруватості з раніше встановленими на генераторі.

7 Виміряти параметри двох одночасно спостережуваних сигналів.

7.1 Зібрати схему для проведення досліджень відповідно до рисунка 1.7.

Для цього з'єднати вихід генератора зі входом осцилографа. Для їх з'єднання необхідно натиснути лівою клавішею маніпулятора миші в точці з'єднання в момент появи стрілки. Утримуючи клавішу, переміщати маніпулятор миші. Відпустити клавішу необхідно в момент появи іншої точки в потрібному місці з'єднання. Наявність лінії - підтвердження правильності з'єднання.

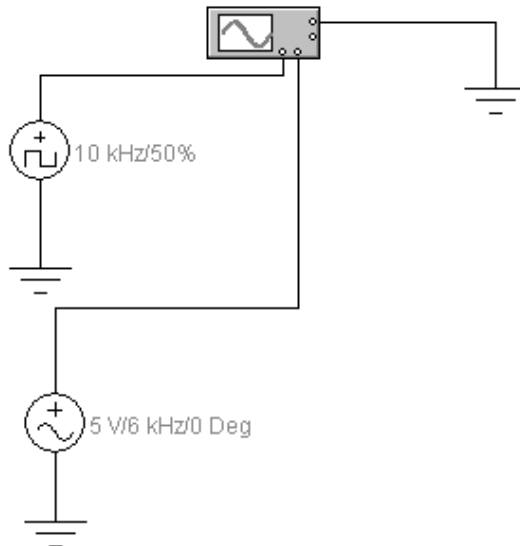
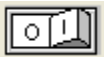



Рисунок 1.7 – Схема досліджень сигналів прямокутної форми

7.2 Встановити частоту (**Frequency**), амплітуду (**Voltage**), тривалість імпульсу (**Duty cycle**) сигналу на виході формувача прямокутних імпульсів (рисунок 1.2) за допомогою клавіатури і маніпулятора миші за варіантом з таблиці 1.2.

7.3 Встановити частоту (**Frequency**), амплітуду (**Voltage**), фазу (**Phase**) сигналу на виході джерела змінної напруги гармонійної форми (рисунок 1.2) за допомогою клавіатури і маніпулятора миші за варіантом з таблиці 1.3.

7.4 Ввімкнути режим аналізу схеми, натиснувши маніпулятором миші на зображенні **I** перемикача , розташованого в правому верхньому куті панелі інструментів.

7.5 Натиснути два рази на зображенні осцилографа, спостерігати часові діаграми сигналів на екрані осцилографа. Вимкнути режим аналізу схеми, натиснувши маніпулятором миші на зображенні **0** перемикача .

Таблиця 1.2 – Параметри сигналів прямокутної форми

Варіант	<i>Frequency</i> <i>F, кГц</i>	<i>Voltage</i> <i>Um, В</i>	<i>Duty cycle</i> <i>tu, %</i>
1	10	5	60
2	10	2	50
3	2	3	20
4	8	4	25
5	3	1	30
6	11	2	10
7	20	7	25
8	15	6	10
9	18	5	15
10	7	1,5	45
11	5,5	5	55
12	12	6	60
13	4	8	65
14	14	7	70
15	25	2	75
16	30	3	80

7.6 Натисканнями маніпулятором миші встановити на лицьовій панелі осцилографа перемикачем «Час на розподіл» (*Time base*) час, який відповідає спостереженню трьох-п'яти періодів коливань (щоб можна було спостерігати форму сигналів).

7.7 Встановити перемикачем «Вольт на розподіл» (*V/div*) масштаб по осі амплітуд, зручний для спостереження діаграм (рисунок 1.8).

7.8 Осциллограф програми дає змогу спостерігати часові діаграми і проводити вимірювання одночасно двох сигналів. При цьому задіяні два канали осцилографа: *Channel A* - канал А і *Channel B* - канал В. На вхід каналу А поданий періодичний імпульсний сигнал, на вхід каналу В - змінна напруга гармонійної форми.

Таблиця 1.3 – Параметри сигналів гармонійної форми

Варіант	<i>Frequency</i> <i>F, кГц</i>	<i>Voltage</i> <i>Um, В</i>	<i>Phase,</i> <i>град</i>
1	15	5	45
2	15	3	0
3	1	4	45
4	10	2	0
5	1,5	3,5	90
6	17	1	0
7	25	3	60
8	8	7	0
9	9	2,5	30
10	11	5	0
11	2	3	45
12	6	4	0
13	7	6	90
14	12	9	0
15	20	5	30
16	19	1	0

7.9 Розмістити часові діаграми одна над одною, використовуючи перемикач «*Y position*» у каналах А і В. Накреслити часові діаграми сигналів у звіті в однаковому масштабі.

7.10 Виміряти період імпульсного сигналу відповідно до методики п. 6.10-6.12. Розрахувати частоту, записати до звіту.

7.11 Виміряти амплітуду (розмах) імпульсного сигналу відповідно до методики п. 6.13, 6.14 (рисунок 1.9). Записати до звіту.

7.12 Виміряти період гармонійного сигналу відповідно до методики п. 6.10-6.12. Розрахувати частоту, записати до звіту.

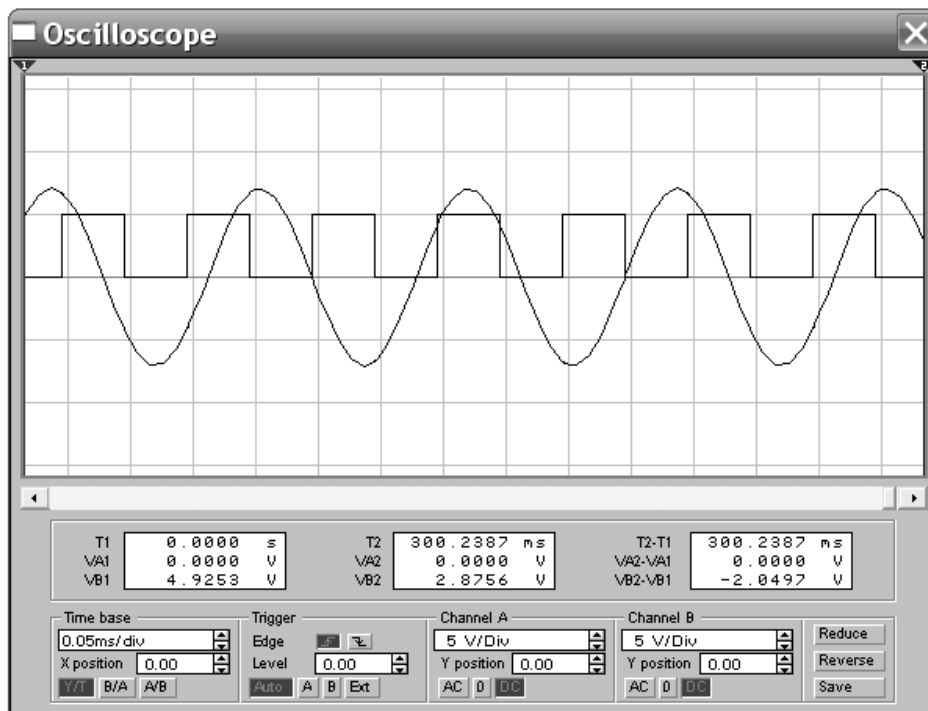


Рисунок 1.8 – Часові діаграми одночасно двох сигналів

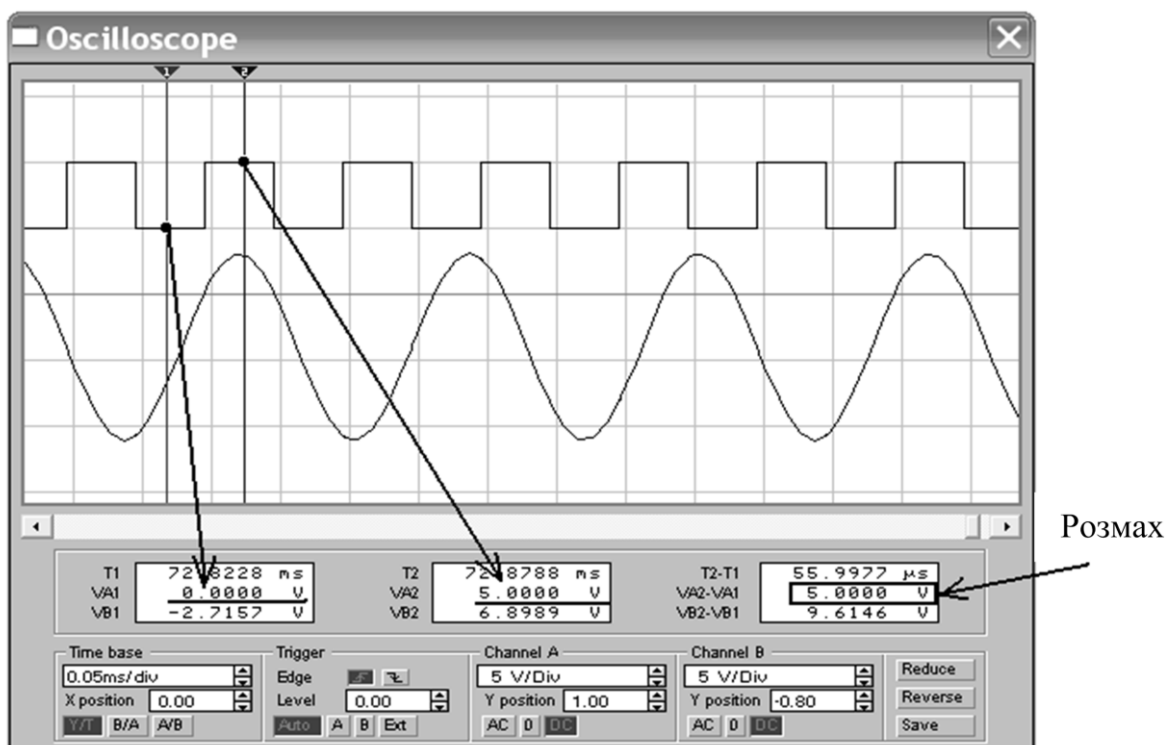


Рисунок 1.9 – Методика вимірювання розмаху імпульсного сигналу

7.13 Виміряти амплітуду (розмах) гармонійного сигналу відповідно до методики п. 6.13, 6.14 (рисунок 1.10). Записати до звіту.

Примітка - гармонійний сигнал подано на вхід осцилографа В.

8 Скласти звіт із роботи.

Література [1, 2].

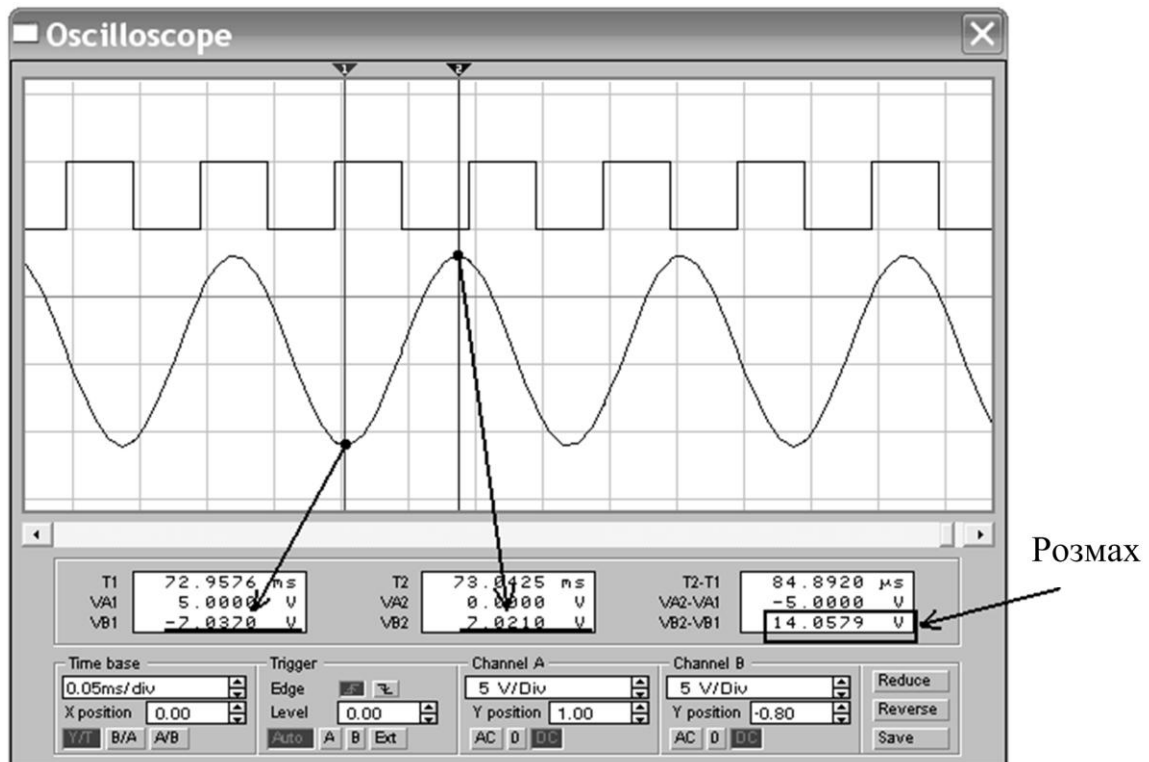


Рисунок 1.10. – Методика вимірювання розмаху гармонійного сигналу

Зміст звіту

- 1 Найменування і мета роботи.
- 2 Схеми вимірювань.
- 3 Результати вимірювань, обчислень і спостережень (п. 6.5 і 6.6).
- 4 Висновки з роботи.
- 5 Відповіді на контрольні запитання (за завданням викладача).

Контрольні запитання

- 1 Яка особливість використання програми Electronics Workbench?
- 2 Вкажіть призначення і особливості вимірювальних приладів програми Electronics Workbench.
- 3 Як виміряти амплітуду періодичного сигналу за допомогою віртуального осцилографа?
- 4 Чим відрізняються віртуальні виміри від реальних вимірів?
- 5 Поясніть наявність похибки вимірювань за віртуальних і реальних вимірюваннях.
- 6 Які віртуальні генератори входять до складу програми Electronics Workbench?
- 7 Поясніть, у чому відмінність коливань з симетричного і несиметричного виходу генератора.

Лабораторна робота 2

АНАЛІЗ СПЕКТРА ПЕРІОДИЧНИХ СИГНАЛІВ

Мета роботи: досліджування спектра амплітуд детермінованих сигналів.

Підготовка для виконання роботи

1 Вивчити спектральний склад періодичної послідовності прямокутних імпульсів.

2 Розрахувати і побудувати спектр періодичної послідовності прямокутних імпульсів, якщо частота (*Frequency*), кГц, розмах (*Amplitude*), В, дорівнюють номеру запису здобувача в навчальному журналі, а тривалість імпульсу (*Duty cycle*) становить 20 % періоду.

3 Підготувати бланк звіту.

4 Підготувати відповіді на запитання для самоперевірки.

Запитання для самоперевірки

1 Що називається спектром фаз?

2 Що називається спектром амплітуд?

3 Що називається шпаруватістю імпульсів?

4 Що називається частотою проходження імпульсів?

5 Які властивості мають спектри негармонійних (дискретних) періодичних і негармонійних (дискретних) неперіодичних сигналів?

6 Як залежить ширина спектра імпульсної послідовності від шпаруватості?

7 Чим визначена щільність спектральних ліній у пелюстці спектра імпульсів?

8 У якому випадку отримують лінійчатий спектр імпульсного сигналу?

9 У якому випадку отримують суцільний спектр імпульсного сигналу?

10 Що таке верхня гранична частота спектра?

11 Що таке нижня гранична частота спектра?

12 У чому полягає зв'язок між часовим і спектральним поданням сигналу?

13 Наведіть формулу для розрахунку спектра періодичної послідовності прямокутних імпульсів.

Порядок виконання роботи

1 Відповісти на запитання для самоперевірки до лабораторної роботи.

2 Отримати інструктаж із техніки безпеки.

3 Ввімкнути персональний комп'ютер.

4 Відкрити програму *Electronics Workbench 5.12*. Отримати зображення стандартного вікна програми.

5 Зібрати схему для проведення досліджень (рисунок 2.1).

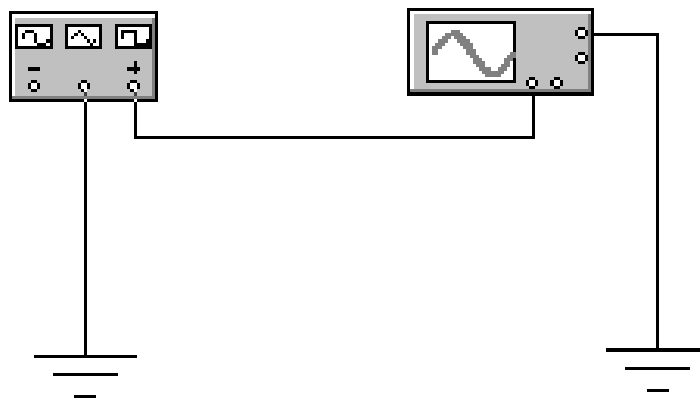


Рисунок 2.1 – Схема досліджень

З'єднати вихід генератора зі входом осцилографа. Для їх з'єднання необхідно натиснути лівою клавішею маніпулятора миші в точці з'єднання в момент появи стрілки. Утримуючи клавішу, переміщати маніпулятор миші. Відпустити клавішу необхідно в момент появи іншої точки в потрібному місці з'єднання. Наявність лінії - підтвердження правильності з'єднання.


6 Виміряти параметри періодичного сигналу.

6.1 Натиснути два рази на зображенні генератора на білому аркуші робочого поля. Встановити режим генерації прямокутних імпульсів, натиснувши на відповідному зображенні у вікні, що розкрилося на лицьовій панелі генератора.

6.2 Встановити частоту (*Frequency*), амплітуду (*Amplitude*), тривалість імпульсу (*Duty cycle*) і постійну складову (*Offset*) сигналу на виході генератора за допомогою клавіатури і маніпулятора миші згідно з домашнім завданням (п. 2 розділу «Підготовка до виконання роботи»), змінюючи ці дані у віконцях навпроти параметрів у вікні, що розкрилося на лицьовій панелі генератора.

Примітки: 1) працюючи в бригаді вибрати варіант одного із здобувачів;


*2) тривалість імпульсу (*duty cycle*) визначають, %, як відношення тривалості імпульсу до періоду проходження імпульсів (для сигналів імпульсної форми!).*

6.3 Ввімкнути режим аналізу схеми, натиснувши маніпулятором миші на зображенні I перемикача , розташованого в правому верхньому куті панелі інструментів.

6.4 Натиснути два рази на зображенні осцилографа, спостерігати часову діаграму сигналу на екрані осцилографа.

6.5 Натиснути на зображенні «*Expand*» на лицьовій панелі осцилографа. Спостерігати часову діаграму на розширеному екрані.

6.6 Натисканнями маніпулятором миші встановити на лицьовій панелі осцилографа перемикачем «Час на розподіл» (*Time base*) - час, який відповідає спостереженню двох-чотирьох періодів коливання.

6.7 Встановити перемикачем «Вольт на розподіл» (*V/div*) зручний для спостереження сигналу масштаб по осі амплітуд. Вимкнути режим аналізу схеми, натиснувши маніпулятором миші на зображенні 0  перемикача, розташованого в правому верхньому куті панелі інструментів. Накреслити часову діаграму сигналу у звіті. Підписати.

6.8 Виміряти час початку періоду сигналу (*T1*). Для цього встановити візирну лінію на початок періоду імпульсного сигналу, натиснувши лівою клавішею маніпулятора миші на червоному трикутнику 1. Перемістити візирну лінію на початок періоду, утримуючи її і рухаючи маніпулятор миші.

6.9 Виміряти час закінчення періоду імпульсного сигналу (*T2*). Встановити синю візирну лінію 2 на кінець періоду, використовуючи методику п. 6.8 (рисунок 1.5).

6.10 Записати значення T_1 , T_2 і періоду T у звіті. Розрахувати частоту, визначити шпаруватість.

6.11 Виміряти мінімальне значення напруги імпульсного сигналу. Встановити курсор маніпулятора миші на червоному трикутнику 1 і, натиснувши клавішею маніпулятора, переміщати візирну лінію на мінімальне значення амплітуди. Записати мінімальне значення $VA1$ у звіті.

6.12 Виміряти максимальне значення напруги $VA2$ використовуючи методику п. 6.11 для синьої візирної лінії 2 (рисунок 1.6). Виміряти розмах $Up = VA2 - VA1$ і розрахувати амплітуду. Дані занести до звіту.

7 Дослідити спектр амплітуд імпульсного сигналу.

7.1 Натиснути лівою клавішею маніпулятора миші функцію «*Analysis*» вгорі вікна, а потім «*Fourier*» в таблиці, що розкрилася.

7.2 Задати параметри аналізу спектра: *Fundamental frequency* – частота проходження сигналу (п. 6.2); *Number harmonics* – кількість гармонік – до 20; *Vertical scale* – масштаб по вертикалі, *linear* – лінійний.

7.3 Натиснути функцію «*Simulate*» і почекати появи на екрані спектральних діаграм. Встановити розгорнутий вигляд вікна, натиснувши лівою клавішею маніпулятора миші функцію (розгорнути) у правому верхньому куті вікна.

7.4 Натиснути лівою клавішею маніпулятора миші функцію «*Toggle Cursors*» у правому верхньому куті вікна (рисунок 2.2).

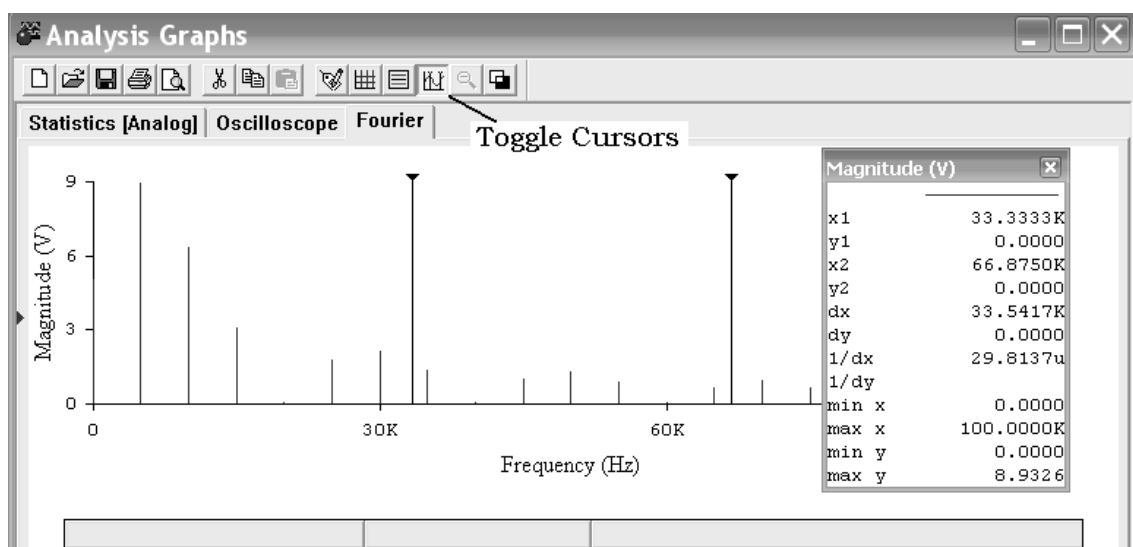


Рисунок 2.2 – Спектральна діаграма імпульсного сигналу

7.5 Виміряти амплітуди спектральних складових у межах прийнятої ширини спектра за допомогою візирних ліній і таблиці «*Magnitude (V)*» (рисунок 2.3). Візирну лінію переміщувати за чорний трикутник вгорі, встановлюючи її на спектральну складову. Записати значення *x1* – частоти, *y1* – амплітуди спектральної складової з таблиці «*Magnitude (V)*» у звіті.

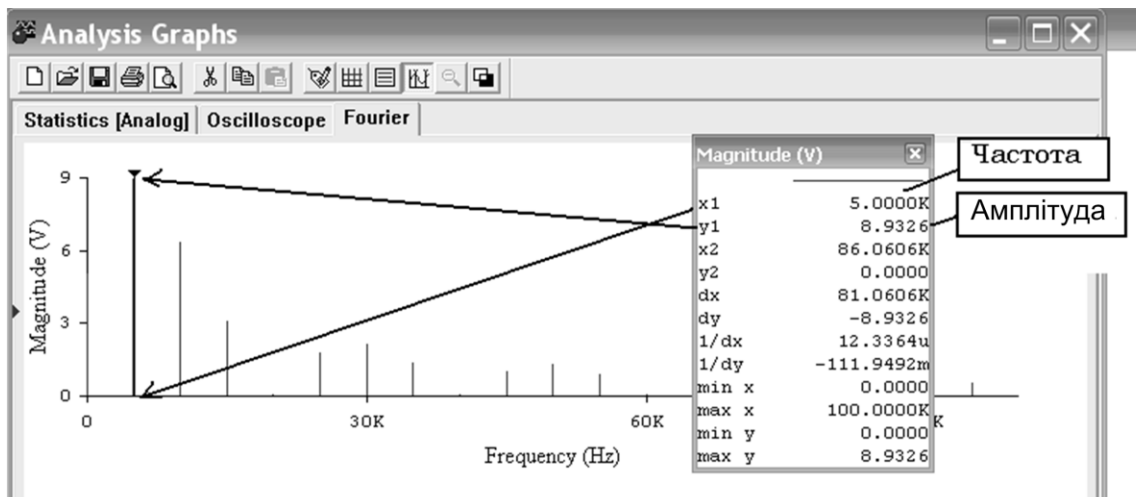


Рисунок 2.3 – Порядок вимірювання амплітуди і частоти гармонійних складових спектра

7.6 Накреслити спектральні діаграми у звіті, вказавши значення частот і амплітуд усіх спектральних складових у межах прийнятої ширини спектра. Порівняти спектр із раніше розрахованим спектром у домашньому завданні. Зробити висновки.

8 Отримати спектральні діаграми амплітуд для послідовності прямокутних імпульсів із параметрами в таблиці 2.1. Номер варіанта відповідає варіанту з таблиці 1.2.

9 Накреслити у звіті спектральні діаграми амплітуд.

10 Виконати п. 6.4-7.6 для імпульсів трикутної форми.

11 Виконати п. 6.4-7.6 для коливань синусоїдальної форми.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Duty cycle, $\frac{\tau}{T} \cdot 100\%$	20	25	33	50	75	25	50	66	33	75	66	25	66	33	75	50

12 Скласти звіт із роботи.

Література [2, 3].

Зміст звіту

- 1 Найменування і мета роботи.
- 2 Схема досліджень.
- 3 Результати вимірювань і розрахунків за п. 6, 7, 9-11.
- 4 Висновки з роботи.
- 5 Відповіді на контрольні запитання (за завданням викладача).

Контрольні запитання

- 1 Як впливає шпаруватість на спектр послідовності прямокутних імпульсів (ППІ)?
- 2 Як впливає зміна тривалості імпульсів на спектр ППІ?
- 3 Які гармонійні складові відсутні за шпаруватості 4 в ППІ?
- 4 Як зміниться спектр ППІ зі зміною частоти проходження імпульсів?
- 5 Що зміниться в спектрі ППІ зі зміною амплітуди імпульсів?
- 6 Що відбувається зі спектром ППІ зі зміною форми імпульсів?
- 7 Для чого визначають спектри ППІ на практиці?
- 8 Чим визначена ширина спектра ППІ?
- 9 Поясніть, як визначити ширину спектра за спектральною діаграмою ППІ.
- 10 Чому дорівнює ширина спектрів ППІ, досліджуваних у роботі?
- 11 У чому переваги і недоліки програмного методу аналізу спектрів?
- 12 Як змінюється спектр фаз за інверсії часової діаграми сигналу?

Лабораторна робота 3

ПЕРЕТВОРЕННЯ СИГНАЛУ В НЕЛІНІЙНОМУ КОЛІ

Мета роботи: спостерігати часові діаграми на вході та виході нелінійного елемента за різних режимів роботи; навчитися вимірювати кут відсічення сигналу на виході нелінійного кола; досліджувати перетворення спектра відгуку нелінійного елемента залежно від його режиму роботи.

Підготовка для виконання роботи

1 Вивчити перетворення сигналів під час проходження через нелінійне коло.

2 Розрахувати й зобразити на спектральній діаграмі спектри відгуку нелінійного кола під час впливу на нього гармонійного сигналу, якщо кут відсічення 50° , крутизна ВАХ 20 мА/В , частота сигналу, що впливає (*Frequency*), кГц, амплітуда сигналу, що впливає (*Amplitude*), В, дорівнює номеру запису здобувача в навчальному журналі.

3 Підготувати бланк звіту.

4 Підготувати відповіді на запитання для самоперевірки.

Запитання для самоперевірки

1 Наведіть класифікацію нелінійних елементів.

2 Дайте визначення лінійного, нелінійного та параметричного кіл.

3 Як визначити кут відсічення за осцилографом?


4 Наведіть приклади лінійних і нелінійних двополюсників і чотиріполюсників. Поясніть їхні особливості.

5 З якою метою проводять апроксимацію вольт-амперних характеристик нелінійних елементів (ВАХ)?

6 Які види апроксимації ВАХ ви знаєте?

- 7 Назвіть параметри нелінійних елементів.
- 8 Що називають відгуком кола?
- 9 Що містить відгук нелінійного кола на гармонійний вплив?
- 10 Як зміниться відгук нелінійного кола, якщо амплітуда впливу зменшиться?
- 11 Поясніть зміст статичних, диференціальних і усереднених параметрів нелінійних елементів.
- 12 Перелічіть особливості проходження сигналів через параметричні кола.

Порядок виконання роботи

- 1 Відповісти на запитання для самоперевірки до лабораторної роботи.
- 2 Отримати інструктаж із техніки безпеки.
- 3 Ввімкнути персональний комп'ютер.
- 4 Відкрити програму *Electronics Workbench 5.12*. Отримати зображення стандартного вікна програми.
- 5 Зібрати схему для проведення досліджень (рисунок 3.1). З'єднати вихід генератора зі входом осцилографа. Для їх з'єднання необхідно натиснути лівою клавішею маніпулятора миші в точці з'єднання в момент появи стрілки. Утримуючи клавішу, переміщати маніпулятор миші. Відпустити клавішу необхідно в момент появи іншої точки в потрібному місці з'єднання. Наявність лінії - підтвердження правильності з'єднання.
- 6 Спостерігати часові діаграми на вході та виході нелінійного елемента за різних режимів роботи.
 - 6.1 Встановити значення опору резистора $R3$ 5 % номінального. Увімкнути режим аналізу схеми, натиснувши маніпулятором миша на зображенні I перемикача , розташованого в правому верхньому куту панелі інструментів.

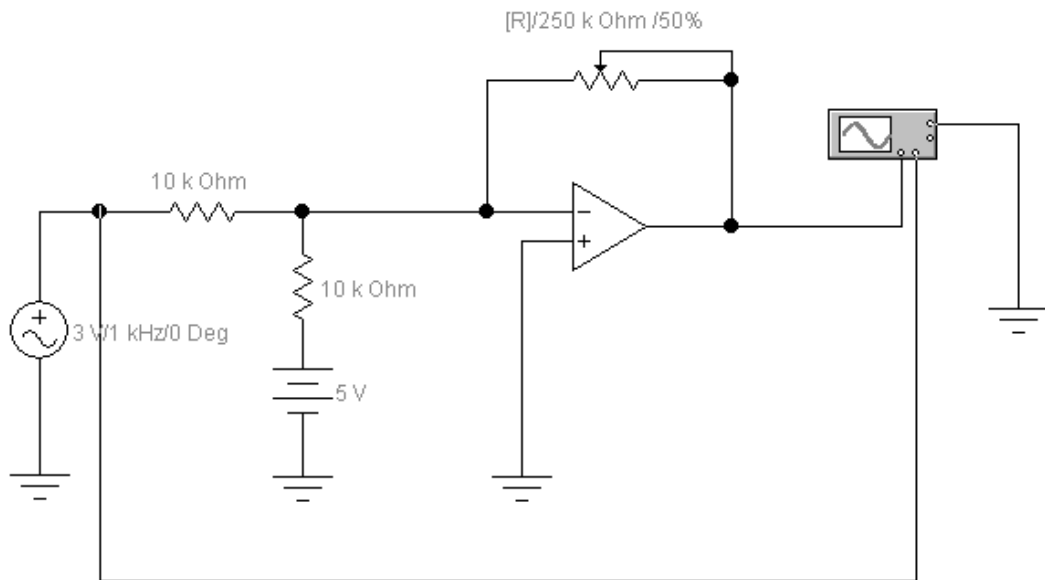



Рисунок 3.1 – Функціональна схема досліджуваного нелінійного кола

6.2 Натиснути два рази на зображенні осцилографа, спостерігати часову діаграму сигналу на екрані осцилографа.

6.3 Натиснути на зображенні «*Expand*» на лицьовій панелі осцилографа. Спостерігати часову діаграму на розширеному екрані.

6.4 Натисканнями маніпулятором миші встановити на лицьовій панелі осцилографа перемикачем «Час на розподіл» (*Time base*) час, який відповідає спостереженню двох-чотирьох періодів коливання.

6.5 Встановити перемикачем «Вольт на розподіл» (*V/div*) зручний для спостереження сигналу масштаб по осі амплітуд. Вимкнути режим аналізу схеми, натиснувши маніпулятором миші на зображенні 0  перемикача, розташованого в правому верхньому куті панелі інструментів. Накреслити часову діаграму сигналу у звіті. Підписати.

6.6 Виміряти час початку періоду сигналу (*TI*). Для цього встановити візирну лінію на початок періоду імпульсного сигналу, натиснувши лівою клавішею маніпулятора миші на червоному трикутнику 1. Перемістити візирну лінію на початок періоду, утримуючи її і рухаючи маніпулятор миші.

6.7 Виміряти час закінчення періоду імпульсного сигналу (T_2). Встановити синю візирну лінію 2 на кінець періоду, використовуючи методику п. 6.8 (рисунок 1.5).

6.8 Записати значення T_1 , T_2 і періоду T до звіту. Розрахувати частоту, визначити шпаруватість.

6.9 Виміряти мінімальне значення напруги імпульсного сигналу. Встановити курсор маніпулятора миші на червоному трикутнику 1 і, натиснувши клавішу маніпулятора, переміщати візирну лінію на мінімальне значення амплітуди. Записати мінімальне значення $VA1$ до звіту.

6.10 Виміряти максимальне значення напруги $VA2$ використовуючи методику п. 6.11 для синьої візирної лінії 2 (рисунок 1.6). Виміряти розмах $U_p = VA2 - VA1$ і розрахувати амплітуду. Дані занести до звіту.

7 Дослідити спектр амплітуд імпульсного сигналу.

7.1 Натиснути лівою клавішею маніпулятора миша на зображенні меню **Circuit**, а потім на покажчику функції «Параметри схеми» **Schematic Options**.

7.2 Встановити параметр електричної схеми, що показує номер електричного з'єднання (контрольної точки). Для цього натиснути лівою клавішею маніпулятора миша на порожньому квадратику навпроти напису **Show nodes**. Визначити номери вхідної та вихідної контрольних точок для дослідження спектра.

Примітка - персональний комп'ютер встановлює контрольні точки на схемі у випадковому порядку, тому для кожного робочого місця нумерація точок на схемі може бути різною. Наприклад, на рисунку 3.2 показано схему, на якій номер вхідної контрольної точки відповідає 5, а номер вихідної контрольної точки – 1.

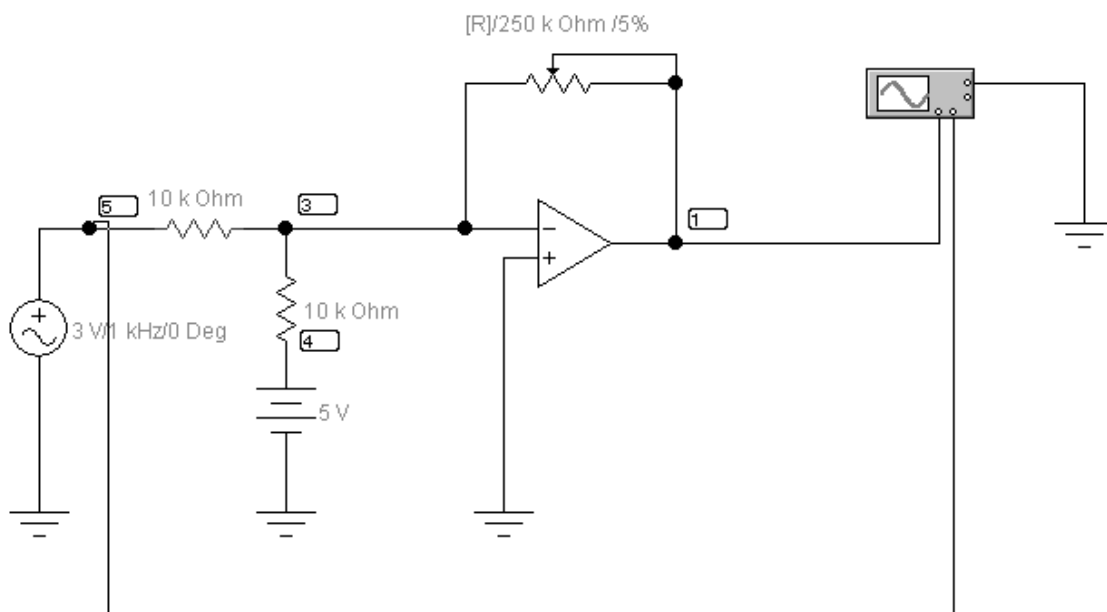



Рисунок 3.2 – Функціональна схема досліджуваного нелінійного кола із зазначенням номерів контрольних точок

7.3 Натиснути лівою клавiшею манiпулятора мишi спочатку на зображеннi **0**, а потiм на **I** перемикача , розташованого в правому верхньому куту панелi iнструментiв. Зачекати кiлька секунд. Вимкнути формування сигналу, натиснувши лiвою клавiшею манiпулятора мишi на зображеннi **0** у правому верхньому кутi вiкна.

7.4 Натиснути лiвою клавiшею манiпулятора миша на функцiї **Analysis** у верхнiй частинi вiкна, а потiм аналіз спектра **Fourier** у таблицi, що розкрилася.

7.5 Задати параметри аналізу спектра: **Output node** – номер вхiдної контрольної точки, у якiй досліджено спектр; **Fundamental frequency** – частота досліджуваного сигналу (таблиця 1.3); **Number of harmonics** – кiлькiсть гармонiк – 20; **Vertical scale** – масштаб по вертикалi, лiнiйний – **linear**.

7.6 Натиснути на функцiї **Simulate** i почекаати появи спектральних дiаграм амплiтуд. Встановити розгорнутий вигляд маленького вiкна, що

з'явилося, натиснувши лівою клавiшею манiпулятора миша на функцiї (розгорнути) у правому верхньому кутi вiкна.

7.7 Натиснути лiвою клавiшею манiпулятора миша на функцiї ***Toggle Cursors*** у правому верхньому кутi вiкна. Вимiряти амплiтуди спектральних складових за допомогою вiзирних лiнiй i таблицi «***Magnitude (V)***». Вiзирну лiнiю перемiщати за чорний трикутник угорi, встановлюючи її на спектральну складову. Записувати значення ***x1*** - частоти, ***y1*** - амплiтуди спектральної складової з таблицi «***Magnitude (V)***» до звiту за методикою п. 7.5 лабораторної роботи 2.

7.8 Накреслити спектральну дiаграму амплiтуд у звiтi, вказавши значення всiх спектральних складових. Зробити висновки.

7.9 Одержати спектральну дiаграму амплiтуд на виходi нелiнiйного кола, виконавши п. 7.4-7.8 (пiд час виконання п. 7.5 у вiкнi ***Output node*** встановити номер вихiдної контрольної точки).

7.10 Спектральну дiаграму накреслити у звiтi. Зробити висновки.

8 Одержати часовi та спектральнi дiаграми на виходi нелiнiйного кола для трьох значень опору потенцiометра R3, зазначених у таблицi 3.1.

Таблиця 3.1 – Вихiднi данi

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8
Опір	11	12	13	14	15	16	17	18
потенціометра	40	41	42	43	44	45	46	47
R3, %	81	82	83	84	85	86	87	88
номінального								
Варіант	9	10	11	12	13	14	15	16
Опір	19	20	21	22	23	24	25	26
потенціометра	48	49	50	51	52	53	54	55
R3, %	89	90	91	92	93	94	95	96
номінального								

9 Для кожного значення опору потенціометра R3 розрахувати кут відсічення. Записати у звіті.

Примітка - кут відсічення θ – це половина часу протікання струму за період (рисунок 3.3). Одиниця вимірювання - градус. Для розрахунку розв'язують пропорцію.

$$T - 360^\circ$$

$$t_i - 2 * \theta$$

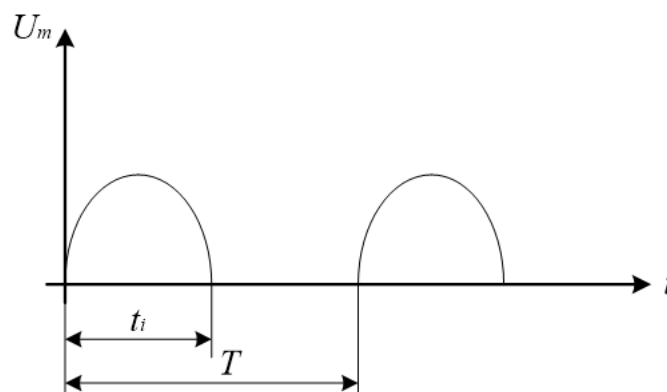


Рисунок 3.3 – Часова діаграма сигналу з відсіченням

10 Скласти звіт із роботи.

Література [3, 4].

Зміст звіту

- 1 Найменування і мета роботи.
- 2 Схема досліджень.
- 3 Результати вимірювань і розрахунків (п. 6-9).
- 4 Висновки з роботи.
- 5 Відповіді на контрольні запитання (за завданням викладача).

Контрольні запитання

- 1 Чим відрізняється спектр сигналу на виході нелінійного кола від спектра сигналу на його вході?
- 2 Чи зустрічаються на практиці чисто гармонійні сигнали?
- 3 Як забезпечити нелінійний режим транзисторному підсилювачу?
- 4 Що зміниться в разі потрапляння на вхід нелінійного кола двох гармонійних коливань?
- 5 Який склад спектра відгуку нелінійного кола за полігармонійного впливу?
- 6 Яким параметром аналітичної програми *Fourier* визначатиметься кількість спектральних складових сигналу на виході нелінійного кола?
- 7 Яка особливість використання операційного підсилювача як нелінійного приладу?
- 8 Через що з'являються гармоніки на виході операційного підсилювача?
- 9 Як забезпечити лінійний режим операційному підсилювачу?
- 10 Як забезпечити нелінійний режим операційному підсилювачу?

Лабораторна робота 4

ДИСКРЕТИЗАЦІЯ І ВІДНОВЛЕННЯ НЕПЕРЕРВНОГО СИГНАЛУ

Мета роботи: спостерігати часові діаграми процесу дискретизації неперервних сигналів; досліджувати зміни спектра в процесі дискретизації неперервного сигналу.

Підготовка для виконання роботи

1 Вивчити відомості з дискретизації і відновлення неперервних сигналів.

2 Вивчити основні процеси, що відбуваються з перетворенням аналогових сигналів у цифрові.

3 Вибрати частоту дискретизації сигналу, якщо верхня частота в спектрі неперервного сигналу, кГц, дорівнює номеру запису прізвища здобувача в навчальному журналі. Розрахувати період дискретизації Δt .

4 Підготувати відповіді на запитання для самоперевірки.

Запитання для самоперевірки

1 Сформулюйте теорему про дискретні відліки Котельнікова-Найквіста.

2 Які процеси необхідно здійснити з перетворенням аналогового сигналу в цифровий?

3 Від яких параметрів залежить часова крок і цикл дискретизації?

4 Чи можна здійснити дискретизацію сигналу з необмеженим спектром?

5 Який пристрій можна використовувати як дискретизатор?

6 Як здійснити відновлення неперервного сигналу за дискретними значеннями?

7 Що таке імпульсно-кодова модуляція ІКМ (PCM)?

8 Чому сигнал, відновлений за дискретними відліками на виході фільтра нижніх частот (ФНЧ), може неточно відображувати вихідний сигнал?

9 Що означає амплітудно-імпульсна модуляція АІМ-1 і АІМ-2? Чи має це відношення до дискретизації?

Порядок виконання роботи

1 Відповісти на запитання для самоперевірки до лабораторної роботи.

2 Отримати інструктаж із техніки безпеки.

3 Ввімкнути персональний комп'ютер. Спостерігати вихід комп'ютера в операційне середовище Windows.

4 Відкрити програму *Electronics Workbench 5.12*. Отримати зображення стандартного вікна програми.

5 Зібрати схему електричного функціонального дослідження процесу дискретизації (рисунок 4.1).

5.1 Помістити елементи схеми на білий аркуш робочого поля. Натискати лівою клавішею маніпулятора миші на зображенні елемента схеми на панелі інструментів. Переміщати маніпулятор миші. Відпускати ліву клавішу маніпулятора миші в потрібному місці білого аркуша робочого поля.

5.2 З'єднати елементи за схемою. Для їх з'єднання необхідно натиснути лівою клавішею маніпулятора миші в точці з'єднання в момент появи стрілки. Утримуючи клавішу, переміщати маніпулятор миші. Відпустити клавішу необхідно в момент появи іншої точки в потрібному місці з'єднання. Наявність лінії - підтвердження правильності з'єднання.

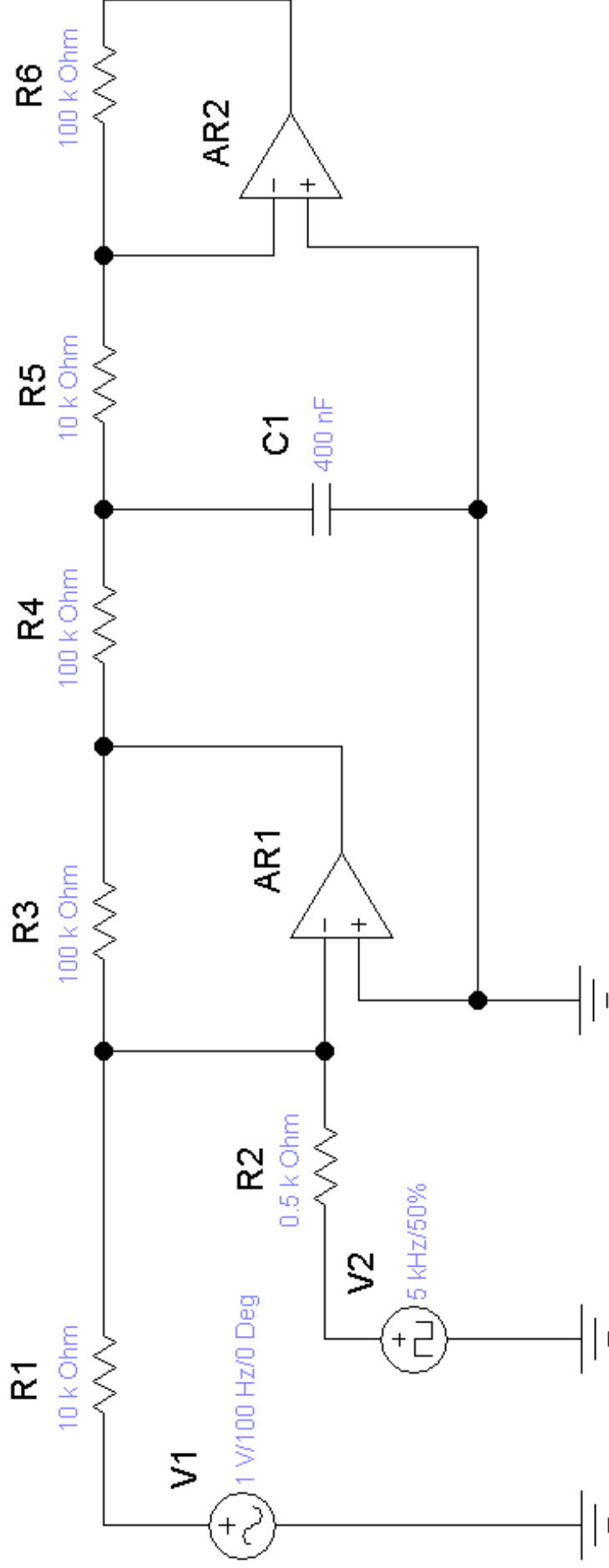


Рисунок 4.1 – Схема дослідження процесу дискретизації неперервних сигналів

5.3 Встановити значення елементів схеми: $R1 = 10 \text{ кОм}$, $R2 = 0,5 \text{ кОм}$, $R3 = 100 \text{ кОм}$, $R4 = 100 \text{ кОм}$, $R5 = 10 \text{ кОм}$, $R6 = 100 \text{ кОм}$, $C1 = 400 \text{ нФ}$. Встановити значення генератора гармонійних коливань $V1$: амплітуда напруги (*Voltage*) – 1 В, частота (*Frequency*) – 100 Hz, початкова фаза (*Phase*) – 0; генератора прямокутних імпульсів $V2$: частота (*Frequency*) – 5 кГц; тривалість імпульсів (*Duty cycle*) – 50 %; амплітуда напруги (*Voltage*) – N, де N відповідає номеру варіанта здобувача.

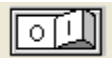
6 Спостерігати часові діаграми процесу дискретизації в контрольних точках схеми за різних режимів роботи.

6.1 Натиснути лівою клавішею маніпулятора миші на зображенні меню «*Circuit*», а потім на покажчику функції «Параметри схеми» (*Schematic Options*). Встановити параметр електричної схеми, що показує номер електричного з'єднання (контрольної точки).

Для цього натиснути лівою клавішею маніпулятора миші на порожньому квадратику навпроти напису «*Show nodes*».

Примітка - персональний комп'ютер встановлює контрольні точки на схемі у випадковому порядку, тому для кожного робочого місця нумерація точок на схемі може бути різною.

6.2 Підключити осцилограф до контрольної точки A згідно з рисунком 4.2.

6.3 Отримати на екрані осцилографа часову діаграму вхідного сигналу. Ввімкнути режим аналізу схеми, натиснувши маніпулятором миші на зображенні I перемикача , розташованого в правому верхньому куті панелі інструментів.

6.4 Натиснути на зображенні «*Expand*» осцилографа. Спостерігати часову діаграму сигналу на розширеному екрані.

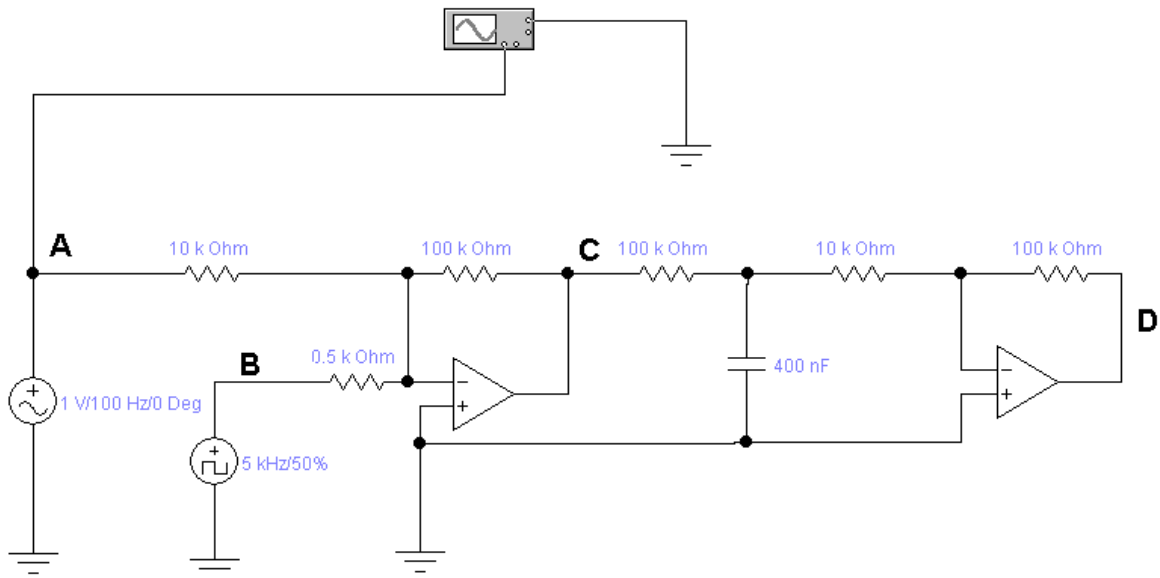


Рисунок 4.2 – Підключення осцилографа до контрольної точки *A*

6.5 Натисканнями маніпулятором миші встановити на лицьовій панелі осцилографа перемикачем «Час на розподіл» (*Time base*) час, який відповідає спостереженню за одним або двома періодами сигналу; перемикачем «Вольт на розподіл» (*V/div*) встановити розмах, зручний для спостереження. Накреслити часову діаграму у звіті.


6.6 Виміряти період сигналу. Для вимірювання встановити червону візирну лінію 1 на початок періоду, а синю візирну лінію 2 на кінець періоду. Записати значення періоду $T = T2 - T1$ до звіту. Розрахувати частоту сигналу.

6.7 Виміряти розмах сигналу. Для вимірювання необхідно перемістити червону візирну лінію 1 на мінімальне миттєве значення, а синю лінію 2 на максимальне миттєве значення сигналу. Значення розмаху вважати різницею $VA2 - VA1$ у вікні. Дані записати до звіту.

7 Виконати п. 6.2-6.7 для контрольних точок B, C і D (рисунок 4.2).

Примітка - часові діаграми спостерігати і накреслити у звіті в однаковому масштабі, для цього потрібно не змінювати положення перемикача «Час на розподіл» (*Time base*).

8 Дослідити зміну спектра неперервного сигналу в процесі дискретизації.

8.1 Натиснути лівою клавішею маніпулятора миші спочатку на зображенні **0**, а потім на **I** перемикача , розташованого в правому верхньому куті панелі інструментів. Почекати кілька секунд. Відключити формування сигналу, натиснувши лівою клавішею маніпулятора миші на зображенні **0** в правому верхньому куті вікна.

8.2 Натиснути лівою клавішею маніпулятора миші на функції «*Analysis*» вгорі вікна, а потім аналіз спектра «*Fourier*» в таблиці.

8.3 Задати параметри аналізу спектра: *Output node* – номер вхідної контрольної точки *A* (п. 6.1), у якій досліджено спектр; *Fundamental frequency* – частота досліджуваного сигналу (100 Гц); *Number harmonics* - кількість гармонік – 240; *Vertical scale* – масштаб по вертикалі – лінійний (linear).

8.4 Натиснути функцію «*Simulate*» і почекати появи спектральних діаграм амплітуд. Встановити розгорнутий вигляд вікна, натиснувши лівою клавішею маніпулятора миші на функції «Розгорнути» в правому верхньому куті вікна.

8.5 Натиснути лівою клавішею маніпулятора миші на функції «*Toggle Cursors*» у правому верхньому куті вікна. Накреслити спектральні діаграми у звіті. Виміряти амплітуди спектральних складових за допомогою візирних ліній і таблиці. Візирну лінію переміщати за чорний трикутник вгорі. Записувати значення *x1* - частоти, *y1* - амплітуди спектральної складової з таблиці «*Magnitude, V*» до звіту.

8.6 Накреслити спектральні діаграми у звіті, вказавши значення всіх спектральних складових.

9 Отримати спектральні діаграми в контрольних точках В, С і D (рисунок 4.2), виконавши п. 8.3-8.6. Зробити висновки.

10 Скласти звіт із роботи.

Література [4, 5].

Зміст звіту

- 1 Найменування і мета роботи.
- 2 Схема дослідження процесу дискретизації неперервних сигналів.
- 3 Результати вимірювань, розрахунків (п. 6-9).
- 4 Відповіді на контрольні запитання (за завданням викладача).
- 5 Висновки з роботи.

Контрольні запитання

- 1 Який вигляд має спектр сигналу на вході дискретизатора?
- 2 Як формується дискретизований сигнал?
- 3 Поясніть часову діаграму дискретизованого сигналу.
- 4 Який вигляд має спектр дискретизованого сигналу.
- 5 Поясніть, чим відрізняється спектр дискретизованого сигналу від спектра ПШ.
- 6 Яким пристроєм може бути обмежений спектр інформаційного сигналу для дискретизації?
- 7 Як був визначений крок і цикл дискретизації для виконання цієї лабораторної роботи?
- 8 Як визначити частоту дискретизації з передаванням телефонного сигналу?
- 9 Що таке нерівномірне квантування?
- 10 У яких цифрових пристроях здійснюється перетворення неперервного (аналогового) сигналу в кодові комбінації?
- 11 Чи можлива дискретизація неперервного сигналу кінцевої тривалості?

Лабораторна робота 5

ДОСЛІДЖЕННЯ СИГНАЛІВ АМПЛІТУДНОЇ ТА АМПЛІТУДНО-ІМПУЛЬСНОЇ МОДУЛЯЦІЇ

Мета роботи: отримати часові діаграми сигналів амплітудної (АМ) та амплітудно-імпульсної (АІМ) модуляції за різних модулюючих сигналів; виміряти коефіцієнт амплітудної модуляції за допомогою осцилографа; дослідити спектральний склад сигналів амплітудної та амплітудно-імпульсної модуляції.

Підготовка для виконання роботи

1 Вивчити теоретичні відомості про сигнали з амплітудною та амплітудно-імпульсною модуляцією, основні параметри і характеристики АМ та АІМ сигналів.

2 Вивчити склад АМ та АІМ сигналів.

3 Розрахувати і побудувати часову і спектральну діаграми АМ сигналу, якщо амплітуда несучого коливання A_m , B , частота несучого коливання f_0 , $МГц$, частота модулюючого синусоїдального сигналу F , $кГц$, дорівнюють номеру запису прізвища здобувача в навчальному журналі. Амплітуда модулюючого сигналу $A_{mi} = 0,3 A_m$. Скласти математичну модель амплітудно-модульованого сигналу.

4 Підготувати відповіді на запитання для самоперевірки.

Запитання для самоперевірки

- 1 Що таке АМ та АІМ модуляція? Що в них відмінне і схоже?
- 2 Що таке несуче коливання?
- 3 Що таке модулюючий сигнал?

- 4 Як визначити коефіцієнт амплітудної модуляції?
- 5 Який фізичний зміст має коефіцієнт амплітудної модуляції?
- 6 Який параметр несучого коливання змінюється за амплітудної модуляції?
- 7 Як відрізняються частоти несучого коливання і модулюючого сигналу за амплітудної модуляції?
- 8 Яким виразом визначено амплітуду бокового коливання за АМ?
- 9 Поясніть спектр АМ сигналу для модуляції гармонійним синусоїдальним (косинусоїдальним) сигналом.
- 10 Поясніть спектр АІМ сигналу.
- 11 Наведіть математичну модель АМ та АІМ сигналу для модуляції гармонійним сигналом.
- 11 За якою формулою можна визначити ширину спектра АМ та АІМ сигналу?
- 12 За якою формулою можна визначити коефіцієнт амплітудної модуляції з часової діаграми АМ сигналу?

Порядок виконання роботи

- 1 Відповісти на запитання для самоперевірки до лабораторної роботи.
- 2 Отримати інструктаж із техніки безпеки.
- 3 Ввімкнути персональний комп'ютер.
- 4 Відкрити програму *Electronics Workbench 5.12*. Отримати зображення стандартного вікна програми.
- 5 Зібрати схему для проведення досліджень АМ (рисунок 5.1).
- 6 Натиснути два рази на зображенні генератора модулюючого сигналу на білому аркуші робочого поля. Встановити режим генерації синусоїдального коливання, натиснувши на відповідному зображенні у вікні, що розкрилося на лицьовій панелі генератора.

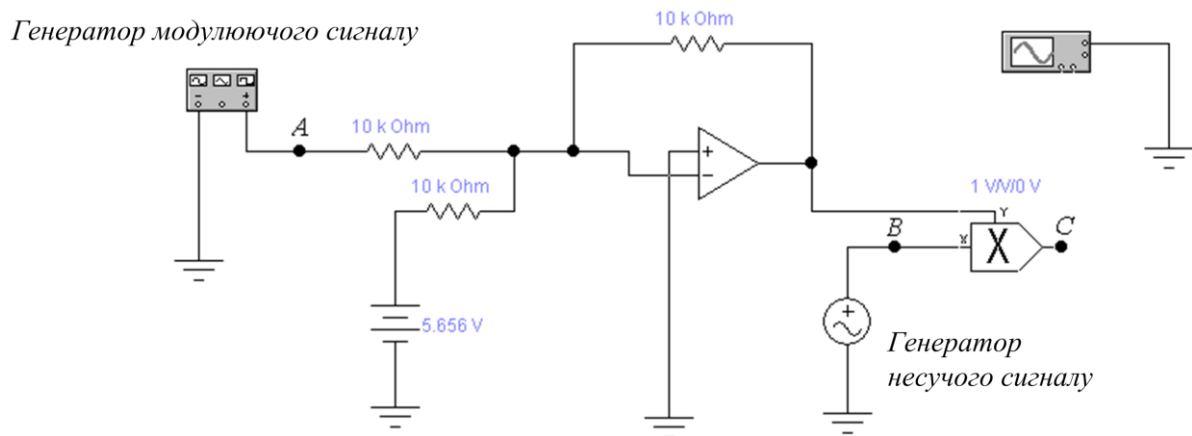


Рисунок 5.1 – Схема дослідження

7 Встановити частоту (**Frequency**), амплітуду (**Amplitude**), тривалість імпульсу (**Duty Cycle**) і постійну складову (**Offset**) сигналу на виході генератора за допомогою клавіатури і маніпулятора миші згідно з домашнім завданням (п. 3 розділу «Підготовка до виконання роботи»), змінюючи ці дані у віконцях навпроти параметрів у вікні, що розкрилося на лицьовій панелі генератора.

Примітки: 1) працюючи в бригаді, вибрати варіант одного зі здобувачів;


2) тривалість імпульсу (Duty Cycle), %, визначають як відношення тривалості імпульсу до періоду проходження імпульсів (для сигналів імпульсної форми!);

3) якщо параметр не заданий, то потрібно приймати за нуль.

8 Натиснути два рази на зображенні генератора несучого сигналу на білому аркуші робочого поля. Встановити амплітуду (**Voltage**) і частоту (**Frequency**) сигналу за допомогою клавіатури і маніпулятора миші згідно з домашнім завданням (п. 3 розділу «Підготовка до виконання роботи»), змінюючи ці дані у віконцях навпроти параметрів у вікні, що розкрилося на лицьовій панелі генератора.


9 Отримати часові діаграми модулюючого і несучого сигналів. цього:

9.1 Підключити осцилограф до точок *A* і *B*.

9.2 Ввімкнути режим аналізу схеми, натиснувши маніпулятором миші на зображенні **I** перемикача , розташованого в правому верхньому куті панелі інструментів.

9.3 Натиснути два рази на зображенні осцилографа, спостерігати часову діаграму модулюючого і несучого сигналів.

9.4 Натиснути на зображенні напису «*Expand*» осцилографа. Спостерігати часові діаграми на розширеному екрані.

9.5 Натисканнями маніпулятора миші встановити на лицьовій панелі осцилографа перемикачем «Час на розподіл» (*Time base*) час, який відповідає спостереження одного-двох періодів обвідної модульованого сигналу, і перемикачем «Вольт на поділ» (*V/div*) необхідний масштаб по осі *y*. Вимкнути режим аналізу схеми, натиснувши маніпулятором миші на зображенні **0** перемикача , розташованого в правому верхньому куті панелі інструментів. Накреслити часову діаграму сигналу у звіті. Підписати.

9.6 Виміряти час початку періоду модулюючого сигналу. Для вимірювання встановити курсор маніпулятора миша на червоному трикутнику 1 і, натиснувши клавішу маніпулятора, перемістити червону візирну лінію на початок періоду.


9.7 Перемістити синю візирну лінію 2 на кінець періоду модулюючого сигналу відповідно до методики п. 9.6.

9.8 Відлічити значення T_1 , T_2 і записати значення періоду модулюючого сигналу $T = T_2 - T_1$ з вимірювальних вікон осцилографа до звіту. Розрахувати частоту і порівняти її з раніше встановленою.

9.9 Виконати п. 9.6-9.8, вимірюючи період несучого сигналу. Дані записати до звіту.

10 Отримати часову діаграму амплітудно-модульованого сигналу.

10.1 Підключити канал **B** осцилографа до точки **C**.

10.2 Ввімкнути режим аналізу схеми, натиснувши маніпулятором миші на зображенні **I** перемикача , розташованого в правому верхньому куті панелі інструментів.

10.3 Натиснути два рази на зображенні осцилографа. Спостерігати часову діаграму амплітудно-модульованого сигналу.

10.4 Накреслити часову діаграму амплітудно-модульованого сигналу у звіті.

11 Виміряти коефіцієнт амплітудної модуляції методом осцилографа.

11.1 Виміряти розмах A_{max} амплітудно-модульованого сигналу (рисунок 5.2).

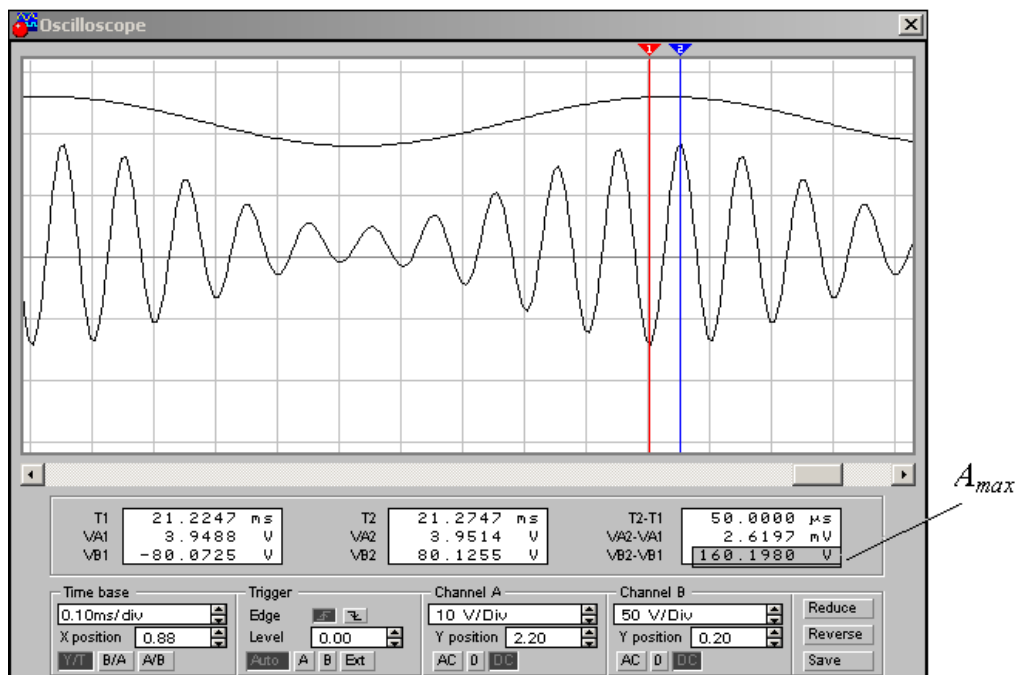


Рисунок 5.2 – Методика вимірювання максимального розмаху АМ сигналу

Для вимірювання необхідно перемістити червону візирну лінію 1 на наймінімальніше миттєве значення модульованого сигналу, потім перемістити синю візирну лінію 2 на наймаксимальніше миттєве значення

модульованого сигналу. Записати значення розмаху сигналу $A_{max} = VB2 - VB1$ до звіту.

11.2 Виконати п. 11.1 для розмаху A_{min} модульованого сигналу (рисунок 5.3).

Дані записати до звіту.

11.3 Розрахувати коефіцієнт амплітудної модуляції.

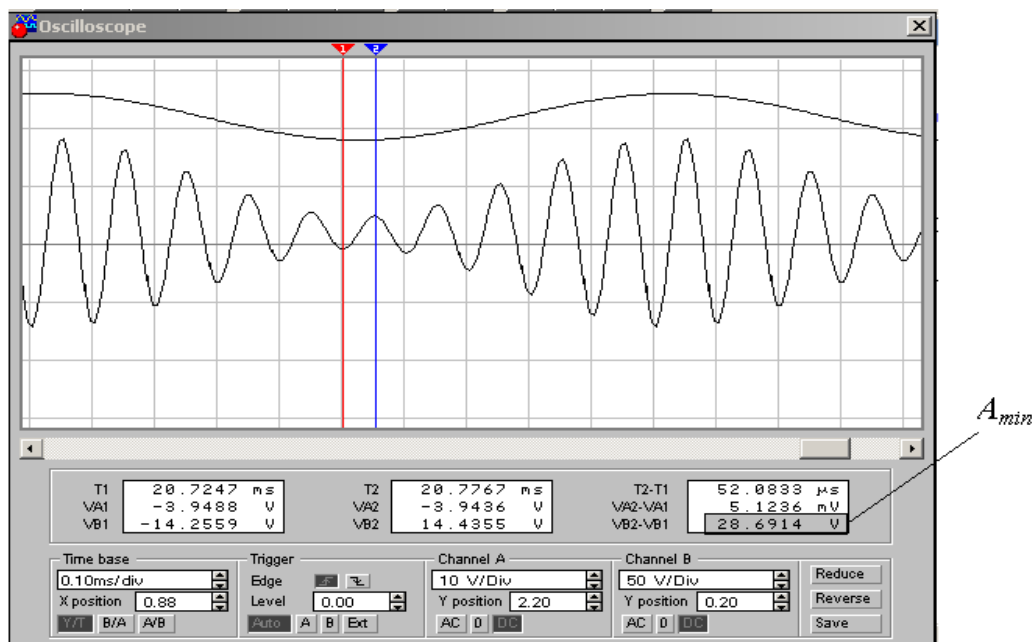


Рисунок 5.3 – Методика вимірювання мінімального розмаху АМ сигналу

12 Дослідити спектральний склад модулюючого сигналу (точка **A**), несучого сигналу (точка **B**) і амплітудно-модульованого сигналу (точка **C**).

12.1 Натиснути лівою клавiшею манiпулятора миши на зображеннi меню «**Circuit**», а потiм на покажчику функцiї «Параметри схеми» (**Schematic Options**).

12.2 Встановити параметр схеми, що показує номер з'єднання (контрольної точки) «**Show nodes**». Для цього натиснути лiвою клавiшею манiпулятора миши на порожньому квадратику навпроти напису «**Show**

nodes». Визначити номер вихідний контрольної точки для дослідження спектра.

Примітка - персональний комп'ютер встановлює контрольні точки на схемі у випадковому порядку, тому для кожного робочого місця нумерація точок на схемі може бути різною.

12.3 Натиснути лівою клавішею маніпулятора миші спочатку на зображенні **0**, а потім на **I** перемикача, розташованого в правому верхньому куті панелі інструментів. Почекати кілька секунд. Відключити формування сигналу, натиснувши лівою клавішею маніпулятора миші на зображенні **0** в правому верхньому куті вікна.

12.4 Натиснути лівою клавішею маніпулятора миші на функції «*Analysis*» вгорі вікна, а потім аналіз спектра «*Fourier*» в таблиці.

12.5 Задати параметри аналізу спектра: *Output node* – номер контрольної точки, у якій досліджено спектр; *Fundamental frequency* – частота модулюючого сигналу; *Number harmonics* – кількість гармонік – 40; *Vertical scale* – масштаб по вертикалі – лінійний – *linear*.

12.6 Натиснути функцію «*Simulate*» і почекати появи спектральної діаграми амплітуд. Встановити розгорнутий вигляд вікна, натиснувши лівою клавішею маніпулятора миші на функції «Розгорнути» в правому верхньому куті вікна.

12.7 Натиснути лівою клавішею маніпулятора миші на функції «*Toggle Cursors*» у правому верхньому куті вікна. Виміряти амплітуди спектральних складових за допомогою візирних ліній і таблиці. Візирну лінію переміщати за чорний трикутник вгорі на спектральну складову. Записувати значення *x1* - частоти, *y1* - амплітуди спектральної складової з таблиці «*Magnitude, V*» у звіті.

12.8 Накреслити спектральні діаграми у звіті, вказавши значення всіх спектральних складових. Зробити висновки.

13 Виконати п. 9.1-12.8 для модулюючого сигналу прямокутної і трикутної форми.

14 Виконати п. 5-12 для дослідження АІМ модуляції. Схема досліджень наведена на рисунку 5.4.

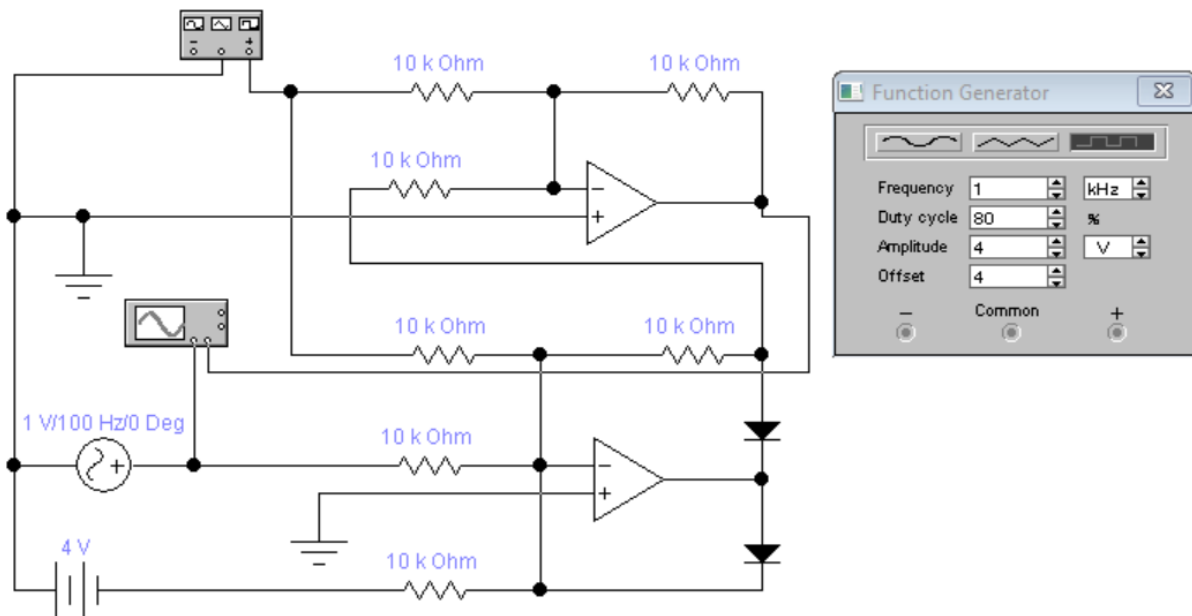


Рисунок 5.4 – Схема досліджень АІМ модуляції

Приклад часової діаграми роботи АІМ модулятора наведений на рисунку 5.5.

15 Скласти звіт із роботи.

Література [5, 6].

Зміст звіту

- 1 Найменування і мета роботи.
- 2 Схема досліджень.
- 3 Результати вимірювань, обчислень і спостережень (п. 5-14).
- 4 Висновки з роботи.
- 5 Відповіді на контрольні запитання (за завданням викладача).

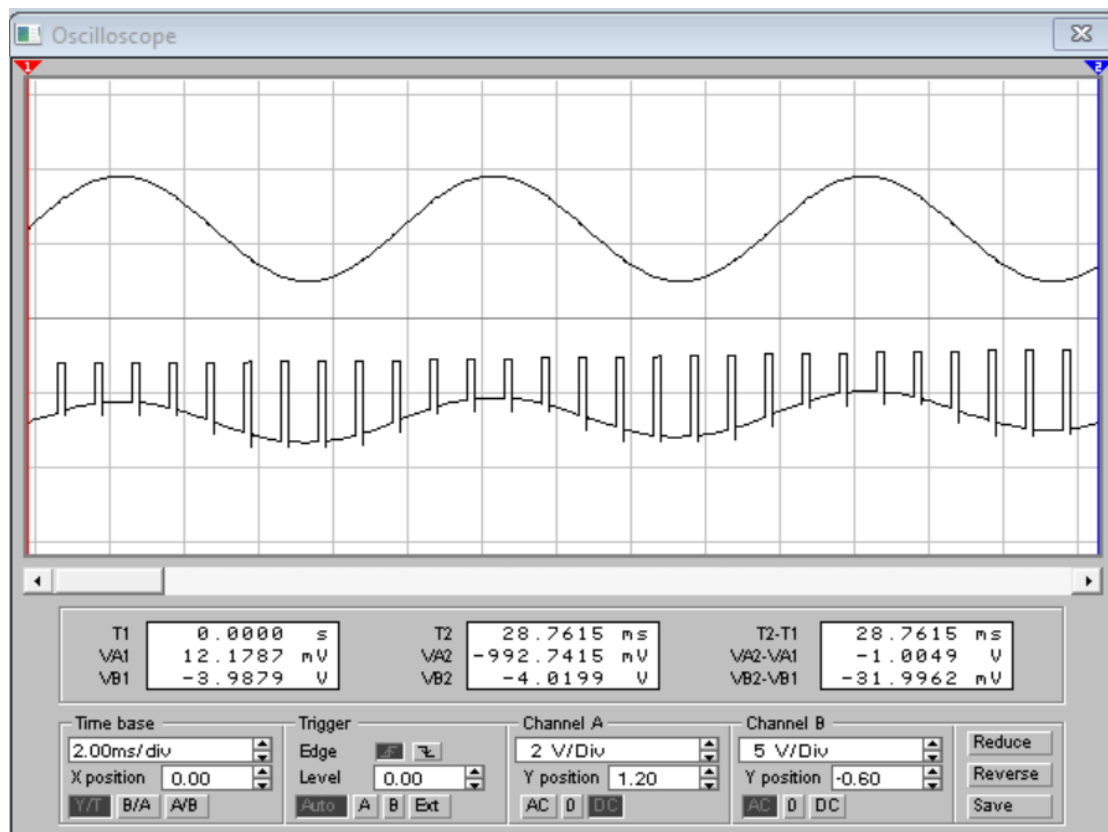


Рисунок 5.5 – Часова діаграма АІМ сигналу

Контрольні запитання

- 1 Поясніть осцилограму АМ та АІМ сигналу за значення коефіцієнта амплітудної модуляції $m = 1$.
- 2 Поясніть спектральний склад АМ та АІМ сигналу.
- 3 Поясніть призначення функціональних компонентів схеми на рисунках 5.1 і 5.4.
- 4 Визначте параметри амплітудно-модульованого сигналу для випадку на рисунку 5.2.
- 5 Поясніть фізичний зміст коефіцієнта пропорційності і коефіцієнта амплітудної модуляції m .
- 6 Що станеться з параметрами амплітудно-модульованого сигналу, якщо збільшити амплітуду несучого коливання?

7 Чому на частоті $2f_0$ є спектральні складові для формування амплітудно-модульованого сигналу?

8 Чому дорівнює різниця частот несучого і бічного коливання в діапазоні АМ та АІМ сигналу?

9 Оцініть похибку вимірювання коефіцієнта амплітудної модуляції m .

10 Чому дорівнює ширина спектра АМ та АІМ сигналу відповідно до проведеного комп'ютерного моделювання?

11 Чому дорівнює різниця між спектральними складовими в спектрі АМ та АІМ сигналу?

12 Яка спектральна складова має максимальну амплітуду в спектрі АМ та АІМ сигналу?

13 Як переноситься повідомлення за АМ та АІМ? Поясніть за часовими і спектральними діаграмами комп'ютерного моделювання.

Лабораторна робота 6

ДОСЛІДЖЕННЯ ЧАСТОТНО-МАНІПУЛЬОВАНИХ І ЧАСТОТНО- МОДУЛЬОВАНИХ СИГНАЛІВ

Мета роботи: отримати часові діаграми частотно-маніпульованого ЧМн і частотно-модульованого сигналів ЧМ; досліджувати спектральний склад сигналів ЧМн і ЧМ; досліджувати спектри сигналів ЧМн і ЧМ зі зміною індексу частотної модуляції.

Підготовка для виконання роботи

1 Вивчити теоретичні відомості про сигнали, характеристики ЧМн і ЧМ.

2 Вивчити склад спектра ЧМн і ЧМ сигналів.

3 Розрахувати і побудувати часову і спектральну діаграми частотно-модульованого сигналу, якщо амплітуда несучого коливання A_m , B ; частота несучого коливання f_0 , $MГц$; частота модулюючого косинусоїдального сигналу F , $кГц$, дорівнюють номеру запису прізвища здобувача в навчальному журналі. Індекс частотної модуляції прийняти $M_{ЧМ} = 3,3$. Скласти математичну модель частотно-модульованого сигналу і розрахувати девіацію частоти.

4 Підготувати відповіді на запитання для самоперевірки.

Запитання для самоперевірки

1 Які параметри несучого коливання змінюються за ЧМн?

2 За якою формулою визначають девіацію частоти ЧМ сигналу?

3 За якою формулою визначають індекс частотної модуляції ЧМ сигналу?

- 4 Яким виразом визначено ширину спектра ЧМн і ЧМ сигналів?
- 5 Чи змінюється частота несучої за ЧМн?
- 6 У яких випадках спостерігають розрив фази ЧМн сигналу?
- 7 Які існують методи формування ЧМн сигналів?
- 8 Як визначити крутизну модуляційної характеристики за ЧМ?
- 9 Що таке коефіцієнт пропорційності за ЧМ?

Порядок виконання роботи

- 1 Відповісти на запитання для самоперевірки до лабораторної роботи.
- 2 Отримати інструктаж із техніки безпеки.
- 3 Ввімкнути персональний комп'ютер.
- 4 Відкрити програму *Electronics Workbench 5.12*. Отримати зображення стандартного вікна програми.
- 5 Отримати часову діаграму частотно-маніпульованого сигналу.
- 5.1 Помістити елементи схеми (рисунок 6.1) на білий аркуш робочого поля.

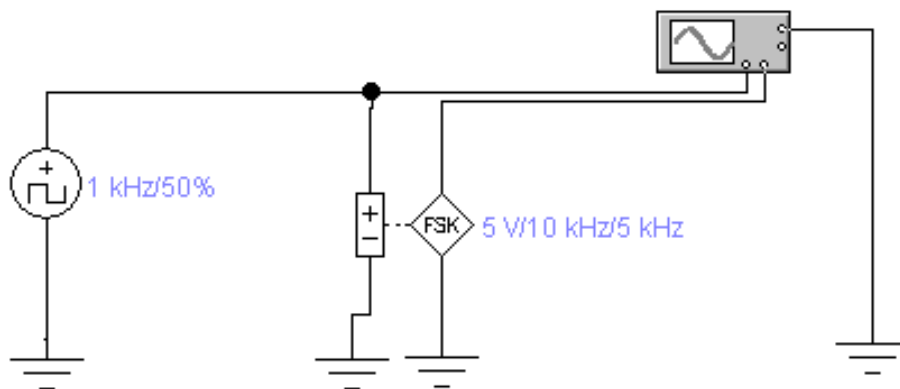



Рисунок 6.1 – Схема дослідження ЧМн сигналу

Для розміщення елементів натискати лівою клавшею маніпулятора миші на їхніх зображеннях на панелі інструментів. Переміщати маніпулятор миші. Відпускати ліву клавшу маніпулятора миші в потрібному місці білого аркуша робочого поля.


5.2 З'єднати елементи за схемою. Для їх з'єднання необхідно натиснути лівою клавшею маніпулятора миші в точці з'єднання в момент появи стрілки. Утримуючи клавшу, переміщати маніпулятор миші. Відпускати клавшу необхідно в момент появи іншої точки в потрібному місці з'єднання. Наявність лінії - підтвердження правильності з'єднання.

5.3 Двічі натиснути маніпулятором миші на зображенні генератора прямокутних імпульсів ().

5.4 Встановити у вікні, що відкрилося, параметри генератора прямокутних імпульсів: частота (*Frequency*) – 1 кГц; тривалість імпульсу (*Duty cycle*) – 50 %; амплітуда (*Voltage*) – $N + 5V$, де N відповідає номеру запису прізвища здобувача в навчальному журналі. Закрити вікно генератора.

5.5 Двічі натиснувши маніпулятором миші на зображенні частотного маніпулятора (FSK).

5.6 Встановити у вікні, що розкрилося, параметри частотного маніпулятора FSK: амплітуда несучого сигналу (*Peak amplitude of FSK signal*) – N, V; частота, яка відповідає високому рівню маніпуляції (*Mark transmission frequency*), – 10 кГц; частота, яка відповідає низькому рівню маніпуляції (*Space transmission frequency*), – 5 кГц. Натиснути на клавіатурі клавшу ОК вікна генератора.

5.7 Ввімкнути режим аналізу схеми, натиснувши маніпулятором миші на зображенні I перемикача  , розташованого в правому верхньому куті панелі інструментів.

5.8 Натиснути два рази на зображенні осцилографа, спостерігати часові діаграми маніпулюючого та частотно-маніпульованого сигналів.

5.9 Натиснути на зображенні напису «*Expand*» осцилографа. Спостерігати часові діаграми на розширеному екрані.

5.10 Натисканнями маніпулятора миші встановити на лицьовій панелі осцилографа перемикачем «Час на розподіл» (*Time base*) час, який відповідає спостереженню одного-двох періодів маніпулюючого сигналу.

5.11 Натисканнями маніпулятора миші встановити на лицьовій панелі осцилографа перемикачем «Вольт на розподіл» (*V/div*) розмах, який відповідає спостереженню двох сигналів: маніпулюючого і маніпульованого.

5.12 Натисканнями маніпулятора миші розмістити на екрані осцилографа осцилограму маніпулюючого сигналу над маніпульованим, використовуючи функції прокручування (*Y position*) у каналах *A* і *B* (*channel A* і *channel B*).

5.13 Виміряти час початку періоду імпульсів. Для вимірювання встановити курсор маніпулятора миші на червоному трикутнику 1 і, натиснувши клавішу маніпулятора, перемістити червону візирну лінію на початок періоду.

5.14 Перемістити синю візирну лінію 2 на кінець імпульсів відповідно до методики п. 5.13.

5.15 Визначити значення T_1 , T_2 і записати значення періоду $T = T_2 - T_1$ з вимірювальних вікон осцилографа до звіту. Розрахувати частоту і порівняти її зі встановленою.

5.16 Виміряти тривалість імпульсу і параметри частотно-маніпульованого сигналу, періоди коливань за високого і низького рівнях маніпуляції за методикою п. 5.13-5.15. Оцінити наявність розриву фази. Дані вимірювань занести до звіту.

5.17 Виміряти розмах частотно-маніпульованого сигналу. Для вимірювання необхідно перемістити червону візирну лінію на мінімальне миттєве значення, а синю лінію на максимальне миттєве значення

частотно-маніпульованого сигналу відповідно до методики п. 5.13. Значення розмаху вважати у вікні *VA2 - VAI*. Дані записати до звіту.

5.18 Виміряти розмах маніпулюючих імпульсів відповідно до методики п. 5.17. Порівняти параметри, встановлені раніше, з вимірними.

6 Дослідити спектральний склад частотно-маніпульованого сигналу.

6.1 Натиснути лівою клавішею маніпулятора миші на зображенні меню «*Circuit*», а потім на покажчику функції «Параметри схеми» (*Schematic Options*).

6.2 Встановити параметр схеми, що показує номер з'єднання (контрольної точки) «*Show nodes*». Для цього натиснути лівою клавішею маніпулятора миші на порожньому квадратику навпроти напису «*Show nodes*». Визначити номер вихідний контрольної точки для дослідження спектра на схемі.

Примітка - персональний комп'ютер встановлює контрольні точки на схемі у випадковому порядку, тому для кожного робочого місця нумерація точок на схемі може бути різною.

6.3 Натиснути лівою клавішею маніпулятора миші спочатку на зображенні **0**, а потім на **I** перемикача, розташованого в правому верхньому куті панелі інструментів. Почекати кілька секунд. Відключити формування сигналу, натиснувши лівою клавішею маніпулятора миші на зображенні **0** в правому верхньому куті панелі інструментів.

6.4 Натиснути лівою клавішею маніпулятора миша на функції «*Analysis*» вгорі вікна, а потім на аналізі спектра «*Fourier*» у таблиці.

6.5 Задати параметри аналізу спектра: *Output node* – номер контрольної точки, у якій досліджено спектр; *Fundamental frequency* – частота маніпулюючого сигналу; *Number harmonics* – кількість гармонік – 40; *Vertical scale* – масштаб по вертикалі, лінійний – *linear*.

6.6 Натиснути функцію «*Simulate*» і почекати появи спектральної діаграми амплітуд. Встановити розгорнутий вигляд вікна, натиснувши

лівою клавішею маніпулятора миші на функції «Розгорнути» у правому верхньому куті вікна.

6.7 Натиснути лівою клавішею маніпулятора миші на функції «*Toggle Cursors*» у правому верхньому куті вікна. Виміряти амплітуди спектральних складових за допомогою візирних ліній і таблиці. Візирну лінію переміщати за чорний трикутник вгорі на спектральну складову. Записувати значення $x1$ - частоти, $y1$ - амплітуди спектральної складової з таблиці «*Magnitude, V*» до звіту.

6.8 Накреслити спектральну діаграму амплітуд у звіті, вказавши значення всіх спектральних складових. Зробити висновки.

7 Дослідити спектр частотно-модульованого сигналу зі зміною індексу частотної модуляції МЧМ.

7.1 Зібрати схему досліджень (рисунок 6.2) і виконати п. 6.4 для частотно-модульованого сигналу. Встановити параметри частотно-модульованого генератора: амплітуда несучого сигналу (*Peak Amplitude*) – 5 В, частота несучого сигналу (*Carrier frequency*) – 1000 Гц, індекс частотної модуляції (*Modulation index*) – 5; частота модулюючого сигналу (*Modulation frequency*) – 100 Гц, постійна складова (*Offset*) – 0 В.

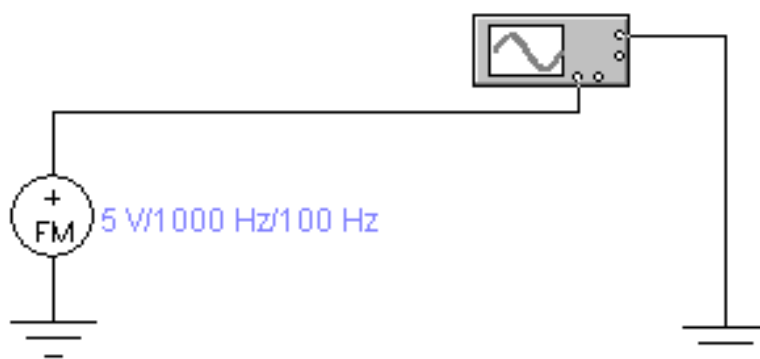


Рисунок 6.2 – Схема дослідження ЧМ сигналу

7.2 Виконати п. 6 для індексів частотної модуляції $M_{чм}$ згідно з таблицею 6.1 для кожного моделювання.

7.3 Накреслити у звіті спектральні діаграми частотно-модульованих сигналів за $M_{чм}$ для всіх моделювань.

8 Скласти звіт із роботи.

Література [3, 4].

Таблиця 6.1 – Вихідні дані

Варіант	1, 9	2, 10	3, 11	4, 12	5, 13	6, 14	7, 15	8, 16
$M_{чм}$	0,3	2	2,42	3,3	5	5,5	7	8,65

Зміст звіту

- 1 Найменування і цілі роботи.
- 2 Схеми для вимірювань.
- 3 Результати вимірювань, досліджень, обчислень і спостережень (п. 5-7).
- 4 Висновки з роботи.
- 5 Відповіді на контрольні запитання (за завданням викладача).

Контрольні запитання

- 1 Які параметри ЧМн генератора ви встановлювали?
- 2 Як виміряти зсув частот за допомогою осцилографа?
- 3 Поясніть часові діаграми ЧМн сигналу.
- 4 Поясніть спектральний склад ЧМн сигналу.
- 5 Як змінюється період несучого коливання за ЧМн?

- 6 Як зміниться спектр ЧМн сигналу, якщо змінити шпаруватість маніпулюючих імпульсів?
- 7 Чи спостерігався розрив фази за ЧМн?
- 8 Які заходи необхідно застосовувати для виключення розриву фази за ЧМн?
- 9 Чому може бути відсутнім несуче колювання в спектрах ЧМн і ЧМ сигналів?
- 10 Для чого необхідно мінімізувати ширину спектра ЧМн сигналу?
- 11 У яких системах і мережах зв'язку знайшла застосування ЧМн? Чому?
- 12 Як здійснити багаторазову ЧМн?
- 13 Як впливає індекс ЧМ $M_{чм}$ на ширину спектра?
- 14 Визначте ширину спектра Δf ЧМ сигналу за результатами дослідів. Порівняйте її з розрахованою в п. 3.

Лабораторна робота 7

ДОСЛІДЖЕННЯ СИГНАЛІВ ІЗ ВІДНОСНОЮ ФАЗОВОЮ МАНІПУЛЯЦІЄЮ

Мета роботи: отримати часову діаграму сигналу з відносною фазовою маніпуляцією (ОФМн); досліджувати спектральний склад сигналу з відносною фазовою маніпуляцією.

Підготовка для виконання роботи

- 1 Вивчити теоретичні відомості про сигнали з фазовою маніпуляцією (ФМн) і відносною фазовою маніпуляцією (ОФМн).
- 2 Вивчити основні параметри і характеристики сигналів з ОФМн і ФМн.
- 3 Вивчити склад спектра сигналів з ОФМн і ФМн.
- 4 Зобразити сигнал з ОФМн, якщо цифрова маніпулююча послідовність є числом, що відповідає номеру запису прізвища здобувача з навчального журналу. Номер запису подати як кодову послідовність.
- 5 Підготувати відповіді на запитання для самоперевірки.

Запитання для самоперевірки

- 1 Який сигнал можна використовувати як маніпулюючий для здійснення ФМн?
- 2 Як змінюється фаза несучого коливання за абсолютної ФМн?
- 3 Як змінюється амплітуда несучого коливання за ОФМн?
- 4 Як змінюється фаза несучого коливання за одноразової ОФМн?
- 5 Як змінюється частота несучого коливання за одноразової ОФМн?
- 6 Який характер має спектр сигналу з ОФМн?

- 7 Які існують методи формування ОФМн сигналів?
- 8 Які існують методи приймання ОФМн сигналів?
- 9 Наведіть часову діаграму сигналу з ОФМн.
- 10 Чому дорівнює мінімальний зсув фаз за багаторазової ОФМн?
- 11 Чим відрізняється ОФМн від ФМн?
- 12 Перелічіть недоліки ФМн.
- 13 Чому дорівнює смуга частот ОФМн і ФМн сигналів?

Порядок виконання роботи

- 1 Відповісти на запитання для самоперевірки до лабораторної роботи.
- 2 Отримати інструктаж із техніки безпеки.
- 3 Ввімкнути персональний комп'ютер.
- 4 Відкрити програму *Electronics Workbench 5.12*. Отримати зображення стандартного вікна програми.
- 5 Отримати часову діаграму сигналу з відносною фазовою маніпуляцією.
 - 5.1 Зібрати схему для проведення досліджень (рисунок 7.1).
 - 5.2 Натиснути двічі маніпулятором миші на зображенні генератора слів (*Word Generator*) і встановити в лівому полі зверху восьмирозрядну маніпулюючу кодову комбінацію, що відповідає номеру запису прізвища здобувача з навчального журналу (приклад на рисунку 7.2 – одиниці вводять за допомогою клавіатури), значення *Final* – 0007, частоту (*Frequency*) – 1 кГц.
 - 5.3 Натиснути двічі маніпулятором миші на зображенні генератора ППІ і встановити частоту (*Frequency*) – 1 кГц; тривалість імпульсу в процентах до періоду (*Duty cycle*) – 50 %, амплітуду (*Amplitude*) – 5 В.

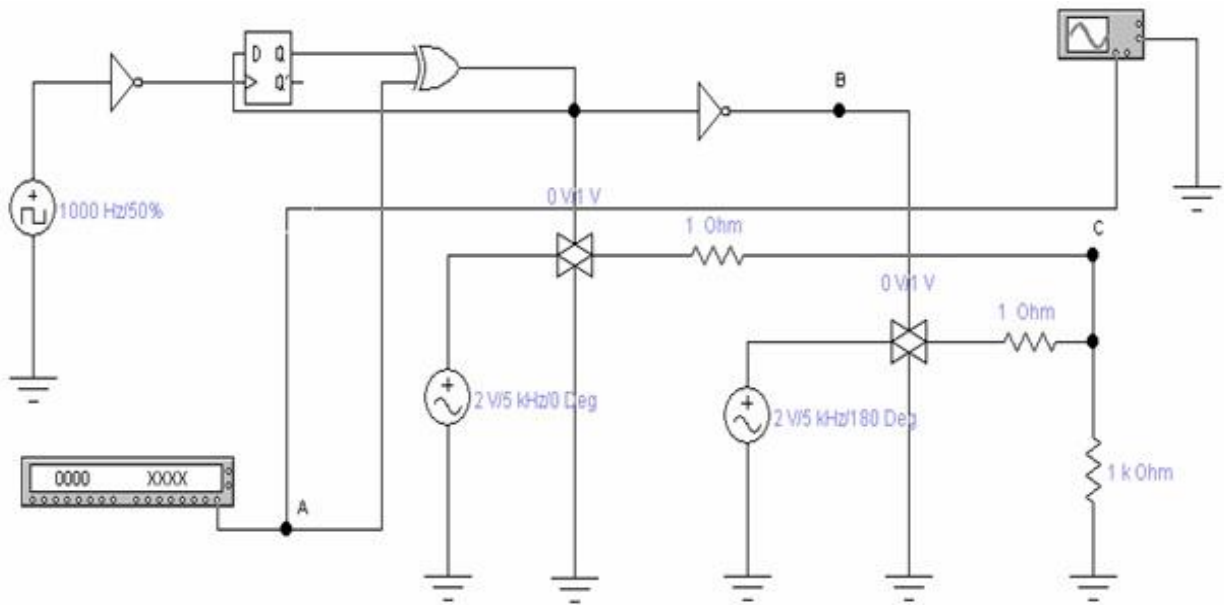


Рисунок 7.1 – Схема дослідження

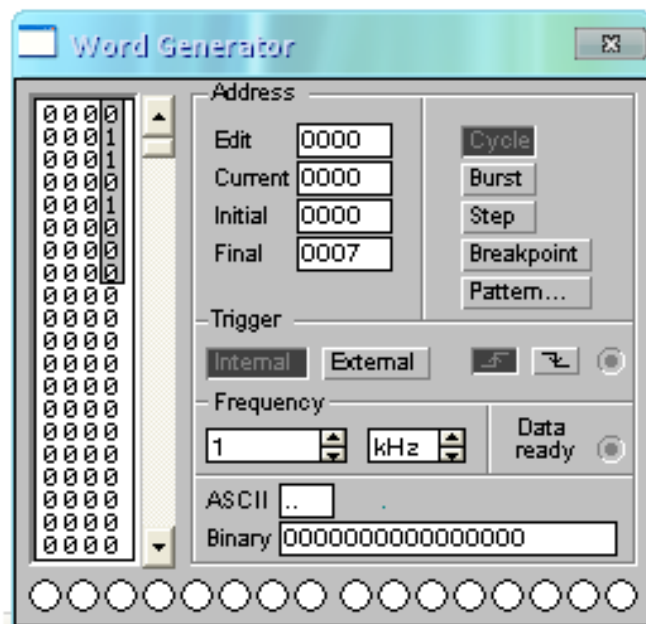


Рисунок 7.2 – Приклад введення маніпулюючої кодової комбінації

5.4 Встановити параметри генератора несучого коливання **E1**, використовуючи методику п.5.3: амплітуда (**Voltage**) – 2 В; частота (**Frequency**) – 5 кГц; початкова фаза (**Phase**) – 0 Deg.

5.5 Виконати п. 5.4 для генератора *E2*, встановивши ті самі параметри, що і для *E1*, а початкову фазу (*Phase*) – 180 Deg.

5.6 Підключити осцилограф до точок *A* і *C*.

5.7 Ввімкнути режим аналізу схеми, натиснувши на зображенні **I** перемикача, розташованого в правому верхньому куті панелі інструментів.

5.8 Натиснути два рази на зображенні осцилографа, спостерігати часові діаграми маніпулюючого і сигналу з ОФМн.

5.9 Натиснути на зображенні напису «*Expand*» осцилографа. Спостерігати часові діаграми на розширеному екрані. Зарисувати їх у масштабі.

5.10 Натисканнями маніпулятора миші встановити на лицьовій панелі осцилографа перемикачем «Час на розподіл» (*Time base*) час, який відповідає спостереження одного-двох періодів маніпулюючого сигналу.

5.11 Натисканнями маніпулятора миші встановити на лицьовій панелі осцилографа перемикачем «Вольт на розподіл» (*V/div*) розмах, який відповідає спостереженню двох сигналів: маніпулюючого і маніпульованого.

5.12 Натисканнями маніпулятора миші розмістити на екрані осцилографа осцилограму маніпулюючого сигналу над маніпульованим, використовуючи функції прокручування (*Y position*) у каналах *A* і *B* (*channel A* і *channel B*).

5.13 Виміряти час початку періоду імпульсів. Для вимірювання встановити курсор маніпулятора миші на червоному трикутнику 1 і, натиснувши клавішу маніпулятора, перемістити червону візирну лінію на початок періоду. Перемістити синю візирну лінію 2 на кінець імпульсів.

5.14 Визначити значення T_1 , T_2 і записати значення періоду $T = T_2 - T_1$ з вимірювальних вікон осцилографа до звіту. Розрахувати частоту і порівняти її зі встановленою.

5.15 Виміряти параметри сигналу з ОФМн: періоди коливань за високого і низького рівнях маніпуляції за методикою п. 5.12-5.14. Оцінити наявність розриву фази. Дані вимірювань занести до звіту.

5.16 Виміряти розмах сигналу з ОФМн. Для вимірювання необхідно перемістити червону візирну лінію на мінімальне миттєве значення, а синю лінію на максимальне миттєве значення сигналу з ОФМн відповідно до методики п. 5.12. Значення розмаху вважати у вікні *VA2 - VA1*. Дані записати до звіту.

5.17 Виміряти розмах маніпулюючих імпульсів відповідно до методики п. 5.16. Порівняти параметри, встановлені раніше, з вимірними. Закрити вікно осцилографа.

6 Отримати часові діаграми на виході відносного кодера (*Coder*) і ОФМн сигналу.

6.1 Видалити лінію з'єднання каналу *A* осцилографа і фазового маніпулятора (*ФМн*). Для її видалення натиснути на клавіатурі клавішу *Delete*, а потім *Enter*.

6.2 Приєднати осцилограф до точок *B* і *C*. Для з'єднання їх необхідно натиснути лівою клавішею маніпулятора миші в точці з'єднання в момент появи стрілки. Утримуючи клавішу, переміщати маніпулятор миші. Відпускати клавішу необхідно в момент появи іншої точки в потрібному місці з'єднання. Наявність лінії – підтвердження правильності з'єднання.

6.3 Виконати п. 5.6-5.14 для отриманих сигналів. Осцилограми зарисувати у звіті. Порівняти отримані результати з домашнім завданням. Зробити висновки.

7 Дослідити спектральний склад сигналу з відносною фазовою маніпуляцією.

7.1 Натиснути лівою клавішею маніпулятора миші на зображенні меню «*Circuit*», а потім на покажчику функції «Параметри схеми» (*Schematic Options*).

7.2 Встановити параметр схеми, що показує номер з'єднання (контрольної точки) «**Show nodes**». Для цього натиснути лівою клавiшею маніпулятора миші на порожньому квадратику навпроти напису «**Show nodes**». Визначити на схемі номер вихідної контрольної точки для дослідження спектра.

Примітка - персональний комп'ютер встановлює контрольні точки на схемі у випадковому порядку, тому для кожного робочого місця нумерація точок на схемі може бути різною.

7.3 Натиснути лівою клавiшею маніпулятора миші спочатку на зображенні **0**, а потім на **I** перемикача, розташованого в правому верхньому куті панелі інструментів. Почекати кілька секунд. Відключити формування сигналу, натиснувши лівою клавiшею маніпулятора миша на зображенні **0** в правому верхньому куті панелі інструментів.

7.4 Натиснути лівою клавiшею маніпулятора миші на функції «**Analysis**» угорі вікна, а потім аналіз спектра «**Fourier**» у меню, що розкрилося.

7.5 Задати параметри аналізу спектра: **Output node** - номер контрольної точки, у якій досліджено спектр; **Fundamental frequency** - параметр, що відповідає частоті 100 Гц; **Number harmonics** - кількість гармонік - 140; **Vertical scale** - масштаб по вертикалі, лінійний - **linear**.

7.6 Натиснути на функції «**Simulate**» і почекати появи спектральної діаграми амплітуд. Встановити розгорнутий вигляд вікна, натиснувши лівою клавiшею маніпулятора миші на функції «Розгорнути» в правому верхньому куті вікна.

7.7 Натиснути лівою клавiшею маніпулятора миші на функції «**Toggle Cursors**» у правому верхньому куті вікна. Виміряти амплітуди спектральних складових за допомогою візирних ліній і таблиці. Візирну лінію переміщати за чорний трикутник вгорі на спектральну складову.

Записувати значення xI - частоти, yI - амплітуди спектральної складової з таблиці «*Magnitude, V*» до звіту.

7.8 Накреслити спектральні діаграми у звіті, вказавши значення всіх спектральних складових. Зробити висновки.

8 Скласти звіт із роботи.

Література [5, 6].

Зміст звіту

- 1 Найменування і цілі роботи.
- 2 Схема та вихідні дані для вимірювань (рисунки 6.1, 6.2).
- 3 Результати вимірювань, обчислень і спостережень (п. 5-7).
- 4 Висновки з роботи.
- 5 Відповіді на контрольні запитання (за завданням викладача).

Контрольні запитання

- 1 Поясніть схему формування сигналів з ОФМн (рисунок 6.1).
- 2 Який метод формування сигналів з ОФМн використано в цій лабораторній роботі?
- 3 Вкажіть параметри маніпулюючого сигналу.
- 4 Який стан несучого коливання в діапазоні ФМн і ОФМн сигналів?
- 5 Яка ширина спектра ФМн і ОФМн сигналів?
- 6 Вкажіть фазовий зсув, отриманий у процесі маніпулювання сигналу в роботі.
- 7 Як змінювалася амплітуда несучого коливання за ОФМн?
- 8 Як виміряти частоту несучого коливання за часовою і спектральною діаграмами?
- 9 У яких системах зв'язку може бути використано ОФМн?

Лабораторна робота 8

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ДЕМОДУЛЯЦІЇ (ДЕТЕКТУВАННЯ) СИГНАЛІВ

Мета роботи: дослідити роботу амплітудного та частотного демодуляторів (детекторів); отримати часові діаграми вихідних сигналів; побудувати спектр вихідних сигналів.

Підготовка для виконання роботи

1 Вивчити теоретичні відомості про сигнали, характеристики амплітудного АД та частотного детекторів ЧД.

2 Підготувати відповіді на запитання для самоперевірки.

Запитання для самоперевірки

1 Що таке АД та ЧД модуляція? Що в них відмінне і схоже?

2 Що таке несуче коливання?

3 Що таке модулюючий сигнал?

4 Як визначити коефіцієнт амплітудної та частотної модуляції?

5 Який фізичний зміст має коефіцієнт амплітудної та частотної модуляції?

6 Який параметр несучого коливання змінюється за амплітудної чи частотної модуляції?

7 За якою формулою визначено індекс амплітудної та частотної модуляції сигналу?

Порядок виконання роботи

- 1 Відповісти на запитання для самоперевірки до лабораторної роботи.
- 2 Отримати інструктаж із техніки безпеки.
- 3 Ввімкнути персональний комп'ютер.
- 4 Відкрити програму *Electronics Workbench 5.12*. Отримати зображення стандартного вікна програми.
- 5 Отримати часову діаграму сигналу амплітудного детектора.
 - 5.1 Помістити елементи схеми (рисунок 8.1) на білий аркуш робочого поля.

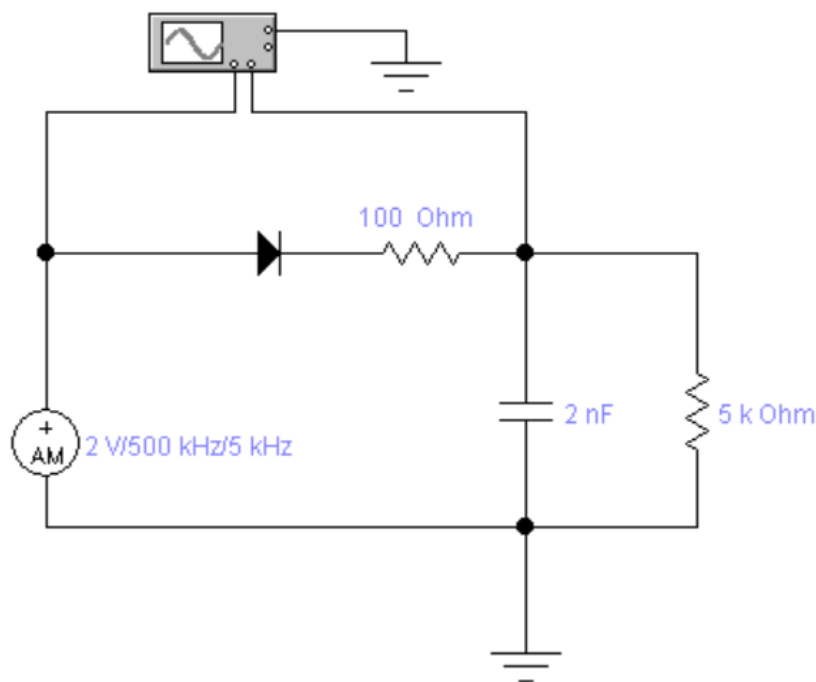


Рисунок 8.1 – Схема дослідження сигналу АД

Параметри амплітудного модулятора наведено на рисунку 8.2.

Для розміщення елементів натискати лівою клавшею маніпулятора миші на їхньому зображенні на панелі інструментів. Переміщати

маніпулятор миші. Відпустити ліву клавiшу маніпулятора миші в потрібному місці білого аркуша робочого поля.

5.2 З'єднати елементи за схемою. Для їх з'єднання необхідно натиснути лівою клавiшею маніпулятора миші в точці з'єднання в момент появи стрілки. Утримуючи клавiшу, переміщати маніпулятор миші. Відпустити клавiшу необхідно в момент появи іншої точки в потрібному місці з'єднання. Наявність лінії - підтвердження правильності з'єднання.

5.3 Двічі натиснути маніпулятором миші на зображенні амплітудного модулятора (AM).

5.4 Встановити у вікні, що розкрилося, параметри амплітудного модулятора (AM), як показано на рисунку 8.2. Натиснути на клавіатурі клавiшу ОК вікна AM.

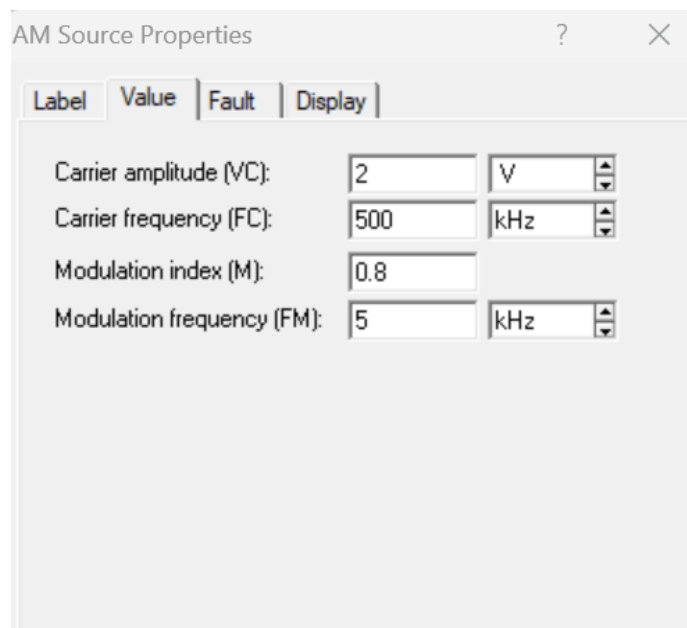



Рисунок 8.2 – Параметри амплітудного модулятора

5.5 Ввімкнути режим аналізу схеми, натиснувши маніпулятором миші на зображенні I перемикача , розташованого в правому верхньому куті панелі інструментів.

5.6 Натиснути два рази на зображенні осцилографа, спостерігати часові діаграми сигналів АД.

5.7 Натиснути на зображенні напису «*Expand*» осцилографа. Спостерігати часові діаграми на розширеному екрані.

5.8 Натисканнями маніпулятора миші встановити на лицьовій панелі осцилографа перемикачем «Час на розподіл» (*Time base*) час, який відповідає спостереженню демодульованого сигналу.

5.9 Натисканнями маніпулятора миші встановити на лицьовій панелі осцилографа перемикачем «Вольт на розподіл» (*V/div*) розмах, який відповідає спостереженню двох сигналів: модулюючого та демодулюючого.

5.10 Натисканнями маніпулятора миші розмістити на екрані осцилографа осцилограму двох сигналів, використовуючи функції прокручування (*Y position*) у каналах *A* і *B* (*channel A* і *channel B*). Приклад показаний на рисунку 8.3.

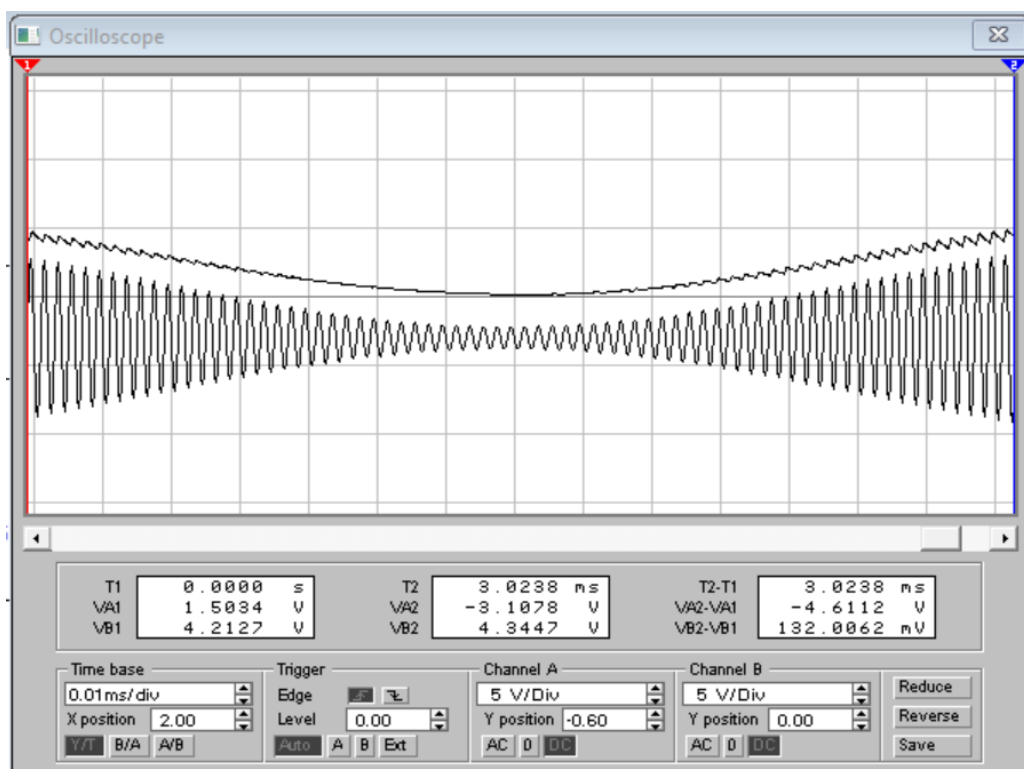


Рисунок 8.3 – Часова діаграма роботи АД

5.11 Дослідити амплітудне детектування для різних значень індексів модуляції (таблиця 8.1). Зобразити часові діаграми у звіті.

Таблиця 8.1 – Вихідні дані

Варіант	1, 9	2, 10	3, 11	4, 12	5, 13	6, 14	7, 15	8, 16
M_{AM}	0,1	0,25	0,4	0,55	0,7	0,85	0,9	1,0

5.12 Провести дослідження для частотного детектора за п. 5.1-5.11. Схема досліджень ЧД, параметри частотного модулятора та приклад часової діаграми роботи ЧД наведені на рисунках 8.4-8.6 відповідно.

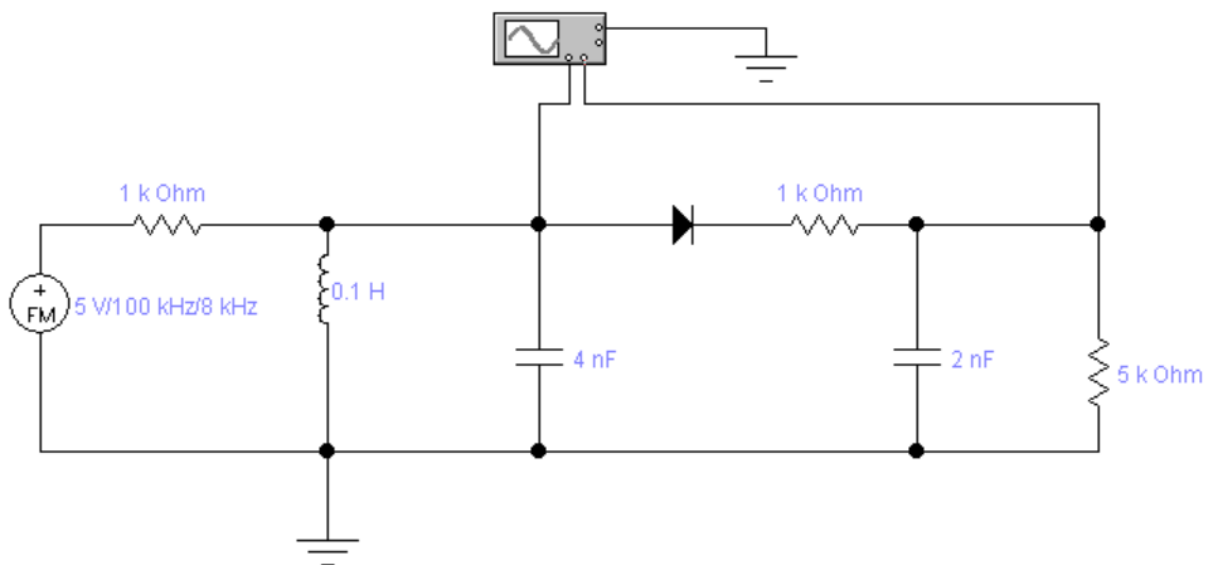


Рисунок 8.4 – Схема досліджень ЧД

5.13 Дослідити частотне детектування для різних значень індексів модуляції (таблиця 8.2). Зобразити часові діаграми у звіті.

6 Скласти звіт із роботи.

Література [4, 6].

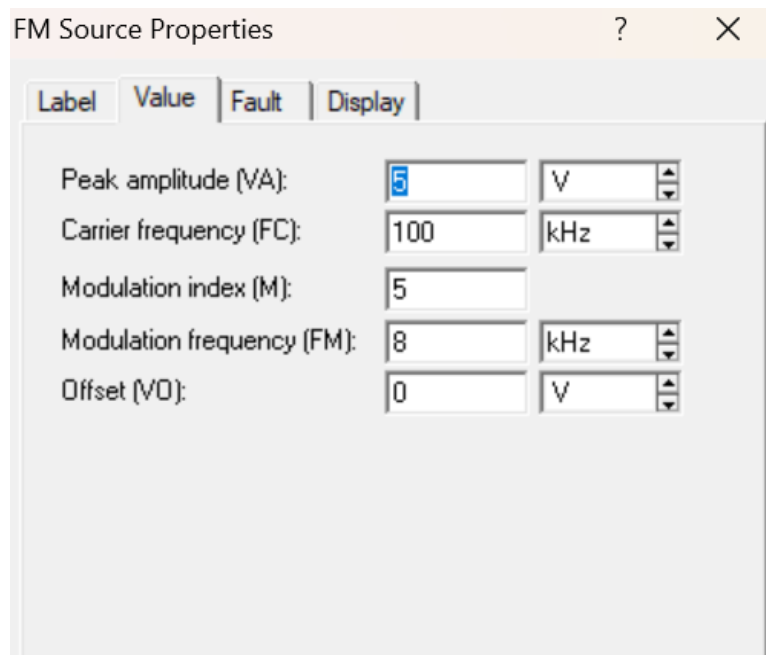


Рисунок 8.5 – Параметри частотного модулятора

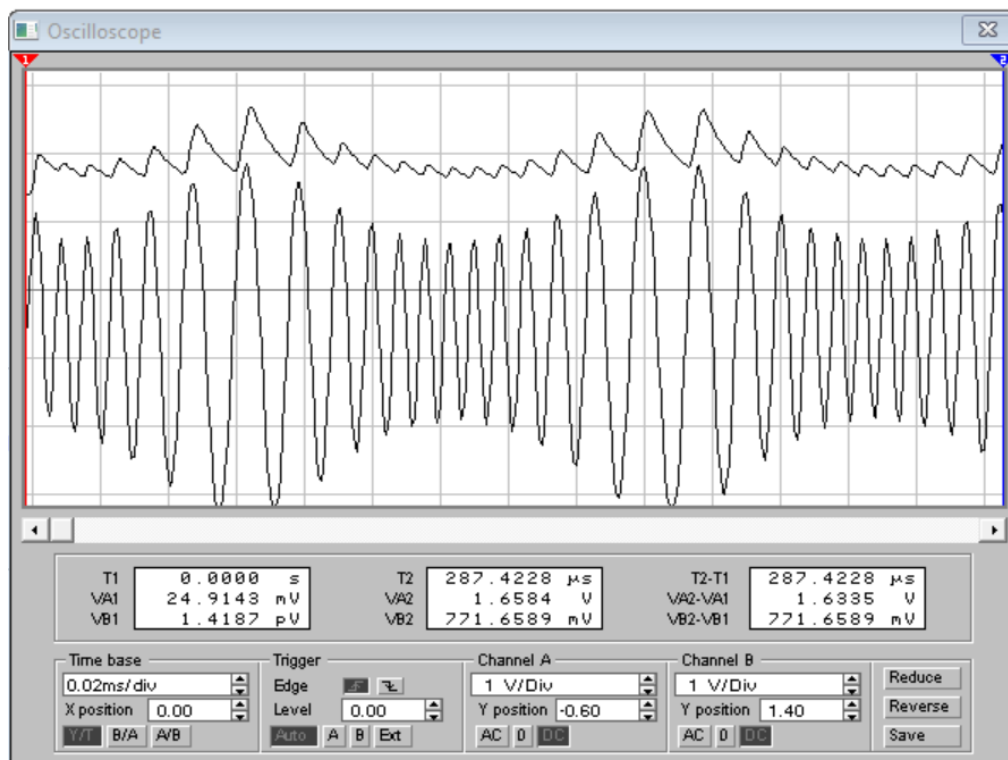


Рисунок 8.6 – Часова діаграма роботи АД

Таблиця 8.2 – Вихідні дані

Варіант	1, 9	2, 10	3, 11	4, 12	5, 13	6, 14	7, 15	8, 16
<i>Мчм</i>	0,3	2	2,42	3,3	5	5,5	7	8,65

Зміст звіту

- 1 Найменування і цілі роботи.
- 2 Схеми для вимірювань.
- 3 Результати вимірювань, досліджень, обчислень і спостережень за п. 5 для АД та ЧД.
- 4 Висновки з роботи.
- 5 Відповіді на контрольні запитання (за завданням викладача).

Контрольні запитання

- 1 У чому полягає процес демодуляції сигналу за амплітудою?
- 2 З яких міркувань у схемі детекторів вибирають коефіцієнти (індекси) модуляції?
- 3 У чому полягає відмінність між амплітудним і частотним детектуванням?
- 4 У яких пристроях використано амплітудні та частотні детектори?
- 5 Який основний алгоритм перетворення сигналів використано для побудови амплітудних і частотних детекторів?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Батаєв О. П., Корольова Н. А., Ковтун І. В. Теорія електричного зв'язку: навч. посіб. Харків: УкрДАЗТ, 2010. 630 с.
- 2 Основи теорії телекомунікацій: підручник /за заг. ред. М. Ю. Ільченка. Київ: ІССЗІ НТУУ «КПІ», 2010. 786 с.
- 3 Беркман Л. Н., Варфоломеєва О. Г., Коршун Н. В., Макаренко А. О. Сигнали в системах телекомунікацій та методи їх обробки: навч. посіб. Київ: ДУТ ННІТІ, 2017. 92 с.
- 4 Приходько С. І., Трубочанінова К. А., Батаєв О. П. Основи теорії інформації та кодування: навч. посіб. для техн. спец. ВНЗ. Харків: УкрДУЗТ, 2017. 110 с.
- 5 Основи теорії інформації та кодування: навч. посіб. / Л. С. Сорока, О. В. Северінов, О. С. Жученко та ін. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2008. 264 с.
- 6 Заполовський М. Й., Порошин С. М., Мезенцев М. В. Теорія інформації та кодування: навч. посіб. Харків: НТУ «ХПІ», 2020. 257 с.

ДОДАТОК А

Приклад оформлення звіту з лабораторної роботи 7

Лабораторна робота 7

ДОСЛІДЖЕННЯ СИГНАЛІВ З ВІДНОСНОЮ ФАЗОВОЮ МАНІПУЛЯЦІЄЮ

Мета роботи: отримати часову діаграму сигналу з відносною фазовою маніпуляцією (ОФМн); досліджувати спектральний склад сигналу з відносною фазовою маніпуляцією.

Порядок виконання роботи

- 1 Відповіді на запитання для самоперевірки.
- 2 Отримати інструктаж із техніки безпеки.
- 3 Ввімкнути персональний комп'ютер.
- 4 Відкрити програму *Electronics Workbench 5.12*. Отримати зображення стандартного вікна програми.
- 5 Отримати часову діаграму сигналу з відносною фазовою маніпуляцією, для цього:
 - 5.1 Зібрати схему (рисунок А.1) для проведення досліджень і ввести параметри генератора слів свого варіанта завдання (п. 5.1-5.5).

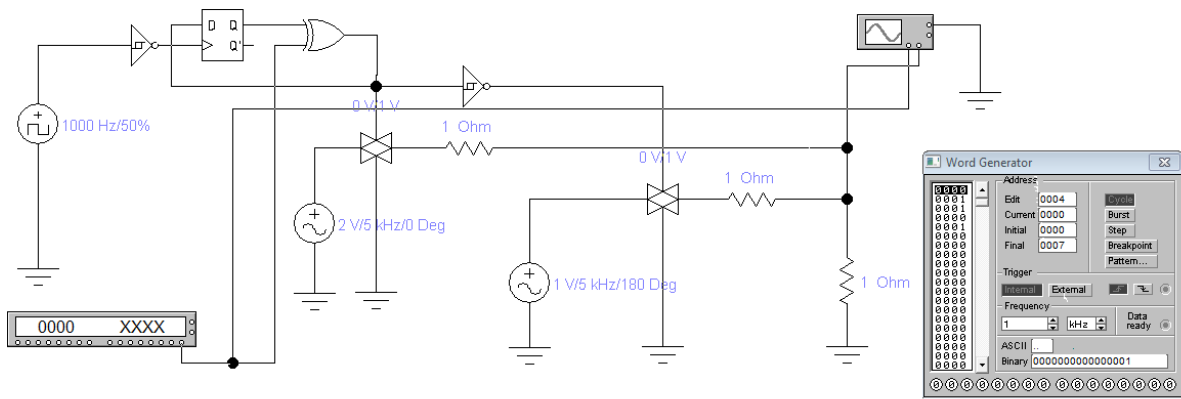


Рисунок А.1 – Схема дослідження

5.2 Отримати часові діаграми маніпулюючого і сигналу з ОФМн (точки А і С) (рисунок А.2) (п. 5.6-5.12).

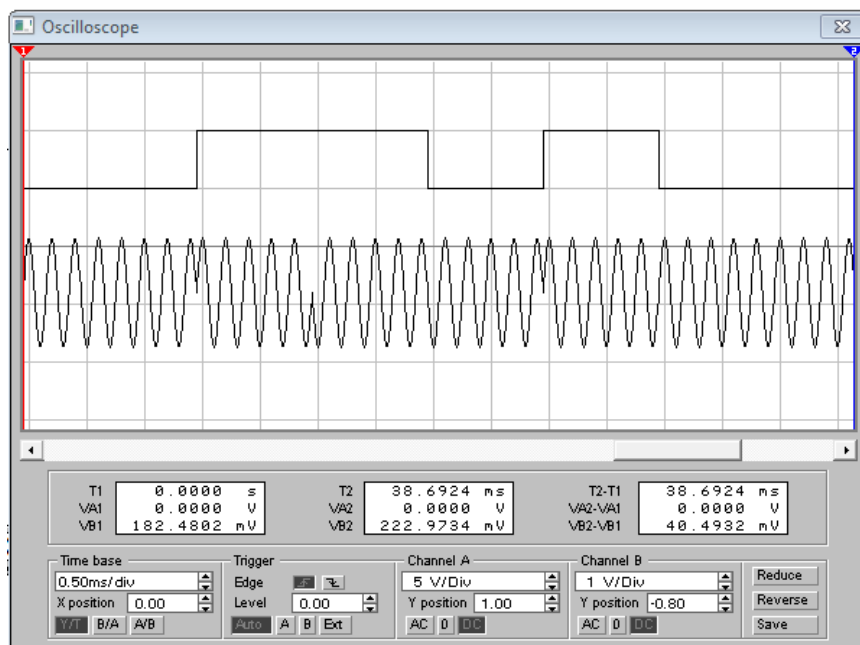


Рисунок А.2 – Часові діаграми маніпулюючого і сигналу з ОФМн

5.3 Виміряти період, амплітуду і розмах маніпулюючого сигналу (рисунок А.3, А.4) (п. 5.13, 5.14).

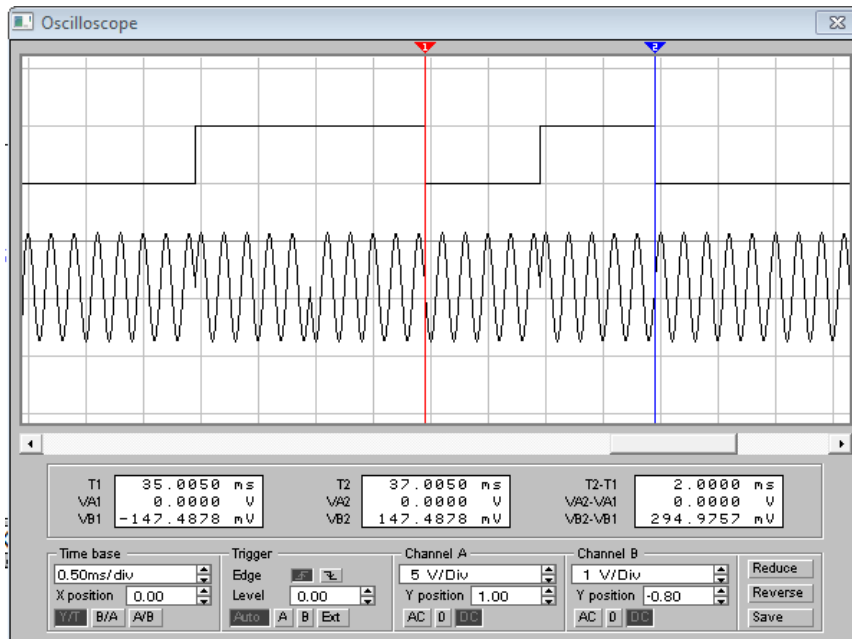


Рисунок А.3 – Визначення періоду маніпулюючого сигналу

Час початку періоду маніпулюючого сигналу - $T1 = 35,0050$ мс.

Час закінчення періоду маніпулюючого сигналу - $T2 = 37,0050$ мс.

Період маніпулюючого сигналу – $T = T1 - T2 = 2,0000$ мс.

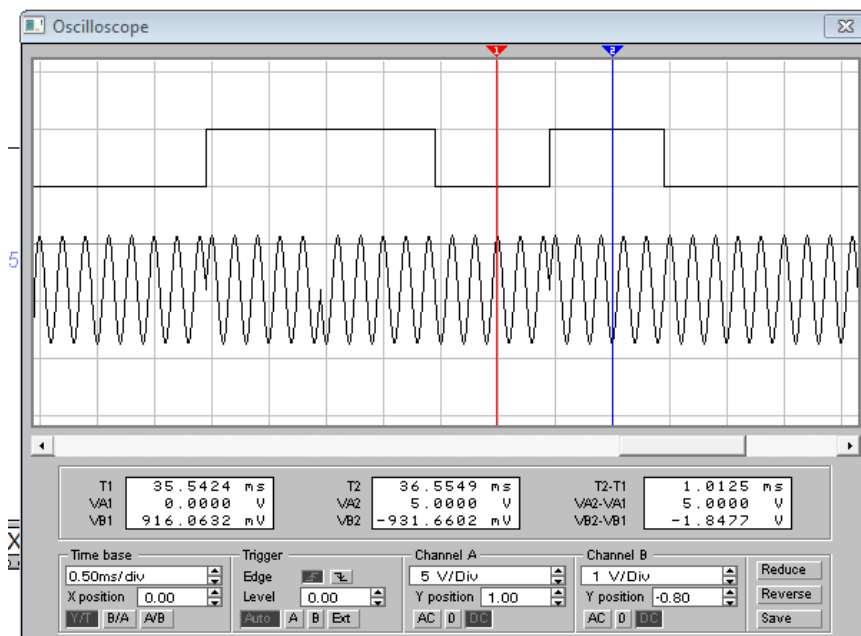


Рисунок А.4 – Визначення амплітуди маніпулюючого сигналу

Мінімальне значення напруги маніпулюючого сигналу – $VA1 = 0 \text{ B}$.

Максимальне значення напруги маніпулюючого сигналу – $VA2 = 5 \text{ B}$.

Розмах напруги маніпулюючого сигналу - $U_p = VA2 - VA1 = 5 \text{ B}$.

Амплітуда маніпулюючого сигналу - $U_m = U_p / 2 = 5,0000 / 2 = 2,5 \text{ B}$.

5.4 Виміряти період, амплітуду і розмах ОФМн сигналу (рисунки А.5-А.7) (п. 5.15-5.17).

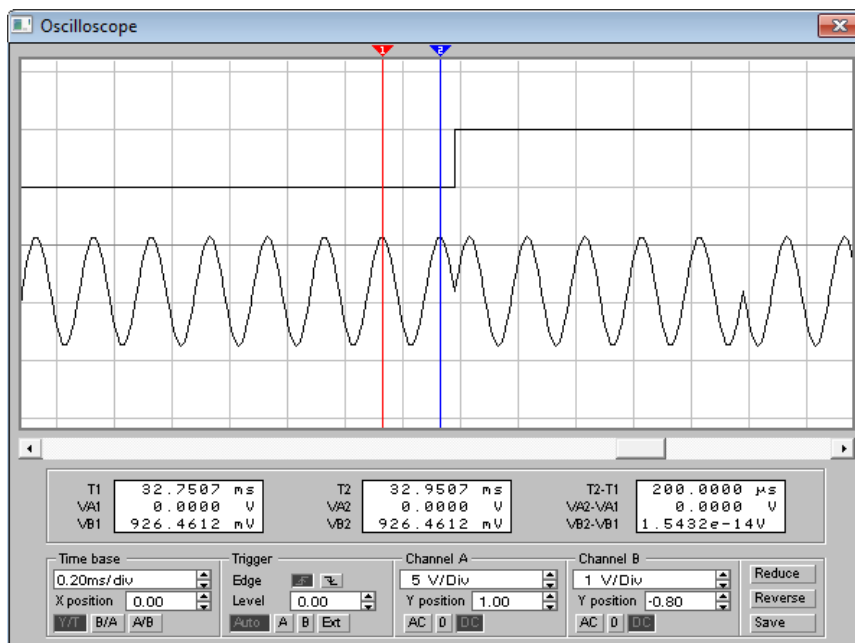


Рисунок А.5 – Визначення періоду ОФМн сигналу

Час початку періоду сигналу ОФМн – $T1 = 32,7507 \text{ мс}$.

Час закінчення періоду сигналу ОФМн - $T2 = 32,9507 \text{ мс}$.

Період сигналу ОФМн – $T = T1 - T2 = 200 \text{ мкс}$.

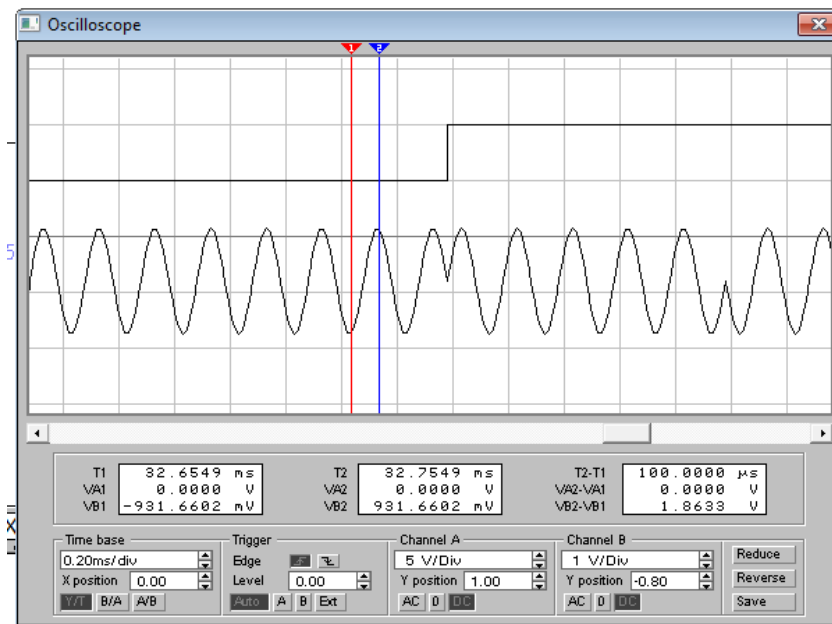


Рисунок А.6 – Визначення амплітуди ОФМн сигналу за низького рівня маніпуляції

Мінімальне значення напруги ОФМн сигналу – $VA1 = -931,6602$ мВ.

Максимальне значення напруги ОФМн сигналу – $VA2 = 931,6602$ мВ.

Розмах напруги ОФМн сигналу - $U_p = VA2-VA1 = 1,8633$ В.

Амплітуда ОФМн сигналу - $U_m = U_p/2 = 1,8633/2 = 0,93165$ В.

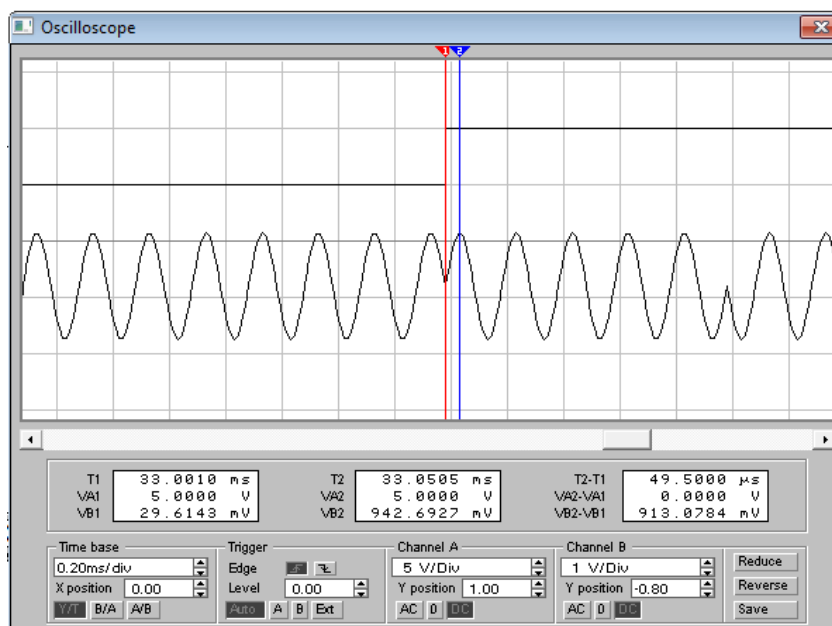


Рисунок А.7 – Визначення амплітуди ОФМн сигналу за високого рівня маніпуляції

Мінімальне значення напруги ОФМн сигналу – $VA1 = 29,6143 \text{ мВ}$.

Максимальне значення напруги ОФМн сигналу – $VA2 = 942,6927 \text{ мВ}$.

Розмах напруги ОФМн сигналу - $U_p = VA2 - VA1 = 913,0784 \text{ мВ}$.

Амплітуда ОФМн сигналу - $U_m = U_p/2 = 913,0784/2 = 456,5392 \text{ мВ}$.

6 Отримати часові діаграми на виході відносного кодера (*Coder*) і ОФМн сигналу (п. 6.1-6.3) (точки В і С) (рисунок А.8).

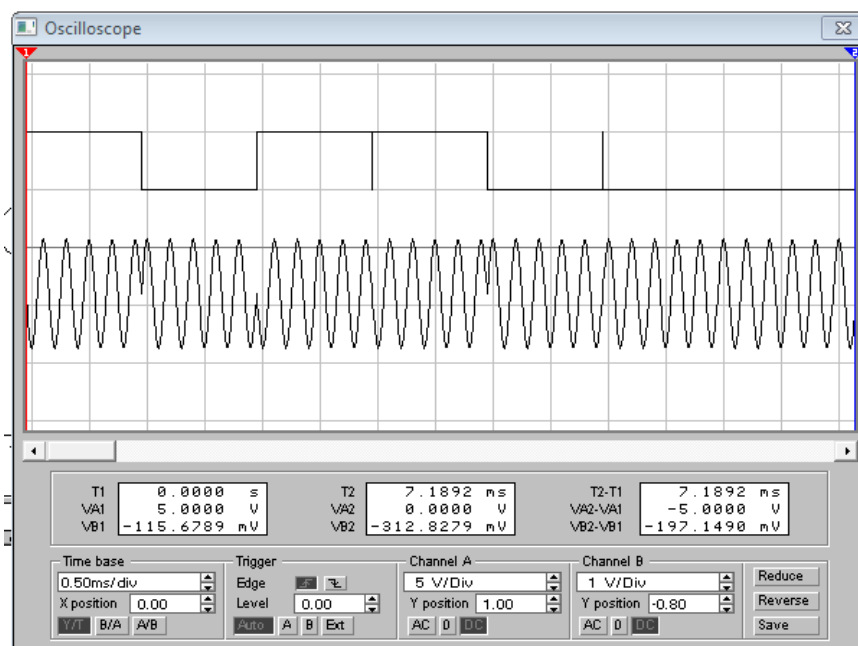


Рисунок А.8 – Часові діаграми на виході відносного кодера і ОФМн сигналу

Період і амплітуда збігаються з результатами п. 5.

7 Дослідити спектральний склад сигналу з відносною фазовою маніпуляцією (п. 7.1-7.8) (рисунки А.9-А.11).

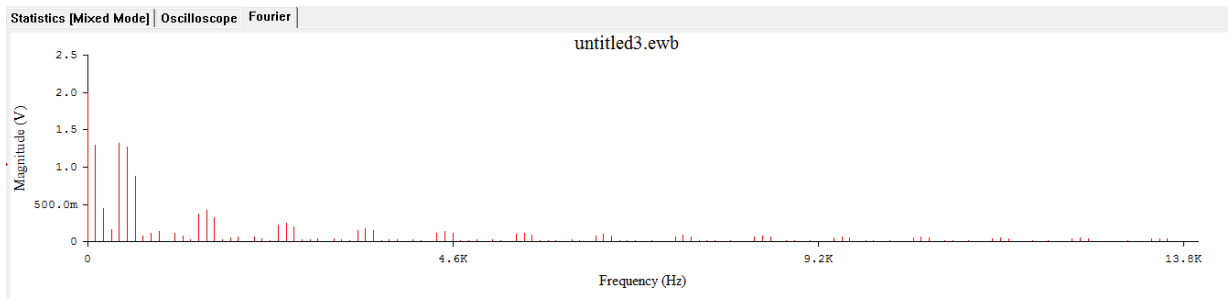


Рисунок А.9 – Спектр сигналу на виході генератора слів (точка А)

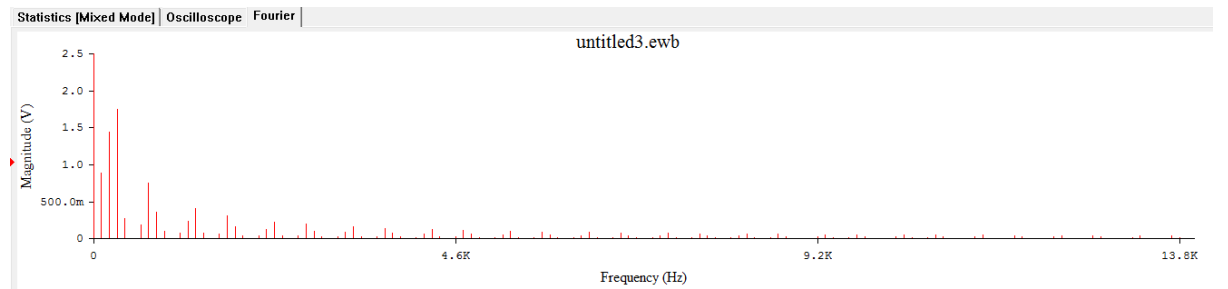


Рисунок А.10 – Спектр сигналу на виході відносного кодера (точка В)

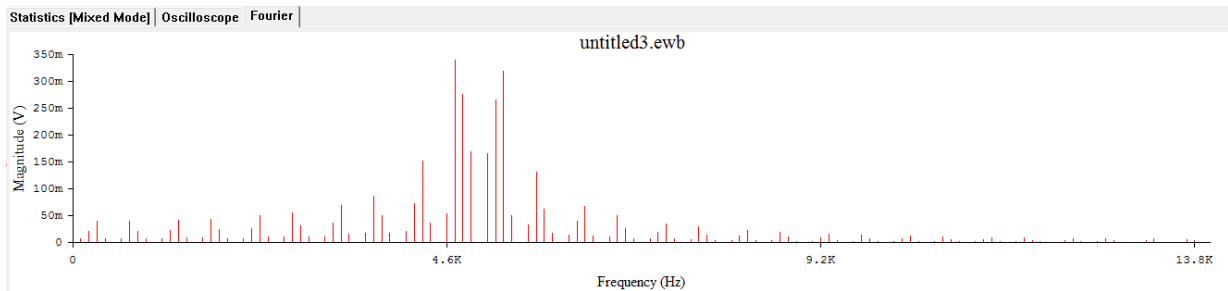


Рисунок А.11 – Спектр ОФМн сигналу (точка С)

8 Відповіді на контрольні запитання (за завданням викладача).

9 Висновки з роботи.

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

для виконання лабораторних і практичних робіт із дисципліни

«ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ»

Відповідальний за випуск Трубчанінова К. А.

Редактор Ібрагімова Н. В.

Підписано до друку 16.01.2025 р.

Умовн. друк. арк. 5,0. Тираж . Замовлення № .

Видавець та виготовлювач Український державний університет
залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха,7.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6100 від 21.03.2018 р.