

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Радіоелектроніки і телекомунікацій

(повне найменування інституту, факультету)

Мікро- та наноелектроніки

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

бакалавр

(ступінь вищої освіти)

на тему: Дослідження характеристик осцилографів та обробка результатів
вимірювань

Виконав: студент(ка) IV курсу, групи РТ-317
Спеціальності 153 – “Мікро- та
наносистемна техніка”

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)
“Мікро- та наноелектронні прилади та
пристрої”

Назаров І. Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник Нагорна Н. М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Загаєвська В. І.

(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет Радіоелектроніки і телекомунікацій
 Кафедра Мікро- та наноелектроніки
 Ступінь вищої освіти бакалавр
 Спеціальність 153 – “Мікро- та наносистемна техніка”
(код і найменування)
 Освітня програма (спеціалізація) “Мікро- та наноелектронні прилади та пристрої”
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри мікро- та
наноелектроніки

Г. В.Сніжної

« » 2021 року

З А В Д А Н Н Я
НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТА

Назарову Ісламу Равшеновичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Дослідження характеристик осцилографів та обробка
результатів вимірювань

керівник проєкту (роботи) Нагорна Ніна Миколаївна

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «17» травня 2021 року № 190

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 24 травня 2021 р.

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) Дослідження імпульсів форми: синусоїдальна,
меандрова, трикутна симетрична, послідовність прямокутних імпульсів.

Досліджувані прилади: осцилограф С1-93, осцилограф С1-112А, осцилограф DSO
138, осцилограф С1-73. Допоміжні прилади: вольтметр імпульсний В4-17,
генератор імпульсів Г5-54. Допоміжне устаткування: OpAmp System Open.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно
 розробити) Розділ 1 Класифікації та характеристики осцилографів.

Розділ 2 Класифікація, опис роботи і структури генераторів імпульсів.

Розділ 3 Отримання і порівняння результатів вимірів за допомогою осцилографів.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Презентація результатів роботи.

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-3	Нагорна Н. М., старш. викл. каф. МіНЕ		
Нормо-контроль	Коротун А. В., к.ф.-м.н., доцент каф. МіНЕ		

7. Дата видачі завдання «26» квітня 2021 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Створення літературного огляду.	26.04 – 05.05	Виконано
2	Ознайомлення з технічними характеристиками приладів і установок, що використовуються в роботі.	06.05 – 12.05	Виконано
3	Проведення експериментів.	13.05 – 16.05	Виконано
4	Аналіз результатів експериментів.	17.05 – 22.05	Виконано
5	Написання пояснювальної записки і створення презентації	23.05 – 25.05	Виконано

Студент

(підпис)

Назаров І. Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи)

(підпис)

Нагорна Н. М.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 83 с., 68 рис., 6 табл., 13 джерел.

Об'єкт дослідження – характеристики осцилографів при вимірюванні параметрів електричних сигналів.

Мета роботи – ознайомлення з принципами дії різних типів осцилографів; отримання практичних навичок вимірювань за допомогою осцилографів; експериментальне дослідження і порівняння отриманих характеристик сигналів різної форми з використанням осцилографів різних типів.

Методи дослідження – проведення експериментів, теоретичні розрахунки за відомими методиками.

Перша частина роботи присвячена класифікації і вивченню принципів роботи осцилографів. У другій частині роботи наведені теоретичні відомості про генераторів імпульсів. В третій частині наведено отримані результати експериментів.

ОСЦИЛОГРАФ, ГЕНЕРАТОР ІМПУЛЬСІВ, ВОЛЬТМЕТР ІМПУЛЬСНИЙ,
ВІРТУАЛЬНИЙ ГЕНЕРАТОР

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 КЛАСИФІКАЦІЇ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСЦИЛОГРАФІВ.....	8
1.1 Класифікація осцилографів.....	8
1.2 Універсальні осцилографи.....	10
1.3 Осцилограф С1–93.....	11
1.4 Осцилограф С1–112А.....	15
1.5 Цифрові осцилографи.....	17
1.6 Осцилограф DSO 138.....	17
1.7 Портативні осцилографи.....	23
1.8 Віртуальні осцилографи	24
2 ОПИС ЗАДІЯНИХ У ДОСЛІДАХ ПРИСТРОЇВ, ЩО ГЕНЕРУЮТЬ І ВИМІРЮЮТЬ СИГНАЛИ.....	25
2.1 Генератори імпульсних сигналів.....	25
2.2 Генератор імпульсів Г5–54.....	26
2.3 Використання віртуальних приладів в роботі.....	28
2.4 Віртуальний генератор ВЕЕРіng	28
2.5 Віртуальний генератор РА Tone.....	29
2.6 Лабораторний стенд ОпАmp.....	30
2.7 Вольтметр імпульсний В4–17.....	31
2.8 Параметри вимірюваних сигналів.....	33
3 ОТРИМАННЯ І ПОРІВНЯННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ ОСЦИЛОГРАФІВ.....	36
3.1 Налаштування цифрового осцилографа перед початком вимірювань.....	36
3.2 Проведення експериментів та обробка результатів вимірювань.....	43
ВИСНОВКИ.....	81
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	83

ВСТУП

Наука – надзвичайно складний процес із своїми законами та методологією, зі своєю чітко сформованою системою. Важливою приналежністю науки є метод дослідження – це сукупність прийомів і операцій, способів обґрунтування системи знань, контролю об’єктивності отриманих результатів, побудови моделей дійсності.

Поняття “вимірювання” означає знаходження значення певної фізичної величини за допомогою досліду та спеціальних технічних засобів. Вимірювання фізичних величин є одним з найважливіших методів пізнання світу, що ґрунтується на принципі відображення фізичної величини певного розміру і результату відображення, тобто значення фізичної величини. Якщо значення вимірювальної величини в процесі вимірювання не змінюється, то маємо статичне вимірювання, в іншому випадку – динамічне вимірювання. Вимірювання можуть бути прямими та непрямыми. Під час прямих вимірювань потрібна величина відраховується безпосередньо за шкалою приладу, від градуйованого у відповідних одиницях. При непрямих вимірюваннях виконують пряме вимірювання однієї величини, а потім, використовуючи відомі функціональні залежності, знаходять шукану величину.

Технічні засоби, що їх використовують для проведення вимірювань і які мають нормовані метрологічні характеристики, називають засобами вимірювання. До них відносять вимірювальні прилади, вимірювальні пристрої і перетворювачі.

Вимірювальні прилади виробляють сигнали вимірювальної інформації в такій формі, щоб її легко було прочитати експериментаторові. Всі вимірювальні прилади поділяють на вказівні та реєстраційні. Якщо прилад має шкалу з цифрами і будь – який вказівний пристрій, наприклад стрілку, то такий прилад називають вказівним. Вказівні прилади, які видають інформацію тільки у вигляді цифр і не мають вказівних пристроїв, цифровими.

Осцилограф – найпоширеніший вимірювальний прилад, який використовується в усіх галузях науки і техніки. Це пояснюється тим, що візуальне спостереження процесів на екрані електронно – променевої трубки дає досліднику

велику кількість інформації. Останні десятиріччя стали стадією інтенсивного розвитку осцилографів. З приладів для спостереження і якісного дослідження процесів вони перетворилися на засоби вимірювання з високими метрологічними характеристиками.

1 КЛАСИФІКАЦІЇ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСЦИЛОГРАФІВ

1.1 Класифікація осцилографів

Осцилограф – прилад, призначений для дослідження електричних сигналів у часовій області шляхом візуального спостереження графіка сигналу на екрані, а також для виміру амплітудних і часових параметрів сигналу за формою графіка [1]. Зображення на екрані осцилографа називають осцилограмою. Найчастіше осцилограма зображує форму електричного сигналу в часі. По ній можна визначити полярність, амплітуду й тривалість сигналу. Осцилографи мають проградуйовані у вольтах по вертикалі й у секундах по горизонталі шкали на екрані. Це забезпечує можливість одночасного спостереження й виміру часових і амплітудних характеристик усього сигналу або його частини.

Компенсаційний метод вимірювання – це метод вимірювання, заснований на компенсації вимірюваної напруги, створеної на відомому опорі струмом від допоміжного джерела [2]. Компенсаційний метод вимірювання застосовується не тільки для вимірювання електричних величин (напруги, струму, опору). Він широко застосовується й для виміру інших фізичних величин (механічних, світлових, температури тощо), які звичайно попередньо перетворюються в електричні величини.

Компенсаційний метод вимірювання є одним з варіантів методу порівняння із способом, у якому результуючий ефект впливу величин на прилад порівняння доводять до нуля (домагаються нульового показання вимірювального приладу). Компенсаційний метод відрізняється високою точністю. Вона залежить від чутливості нульового приладу (нуль – індикатора), що контролює здійснення компенсації і від точності визначення величини, що компенсує вимірювану величину [3].

Важливими характеристиками осцилографа, що визначають його експлуатаційні можливості, є:

1) коефіцієнт відхилення – відношення напруги вхідного сигналу до відхилення променя, викликаного цією напругою (В/см. або В/под.);

2) смуга пропускання – діапазон частот, у межах якого коефіцієнт відхилення осцилографа зменшується не більше, ніж на 3 дБ щодо його значення на середній (опорної) частоті;

3) час наростання t_n , протягом якого перехідна характеристика осцилографа нарастає від 0,1 до 0,9 від амплітудного значення (часто вживається замість смуги пропускання);

4) коефіцієнт розгортки – відношення часу t_n до величини відхилення променя, викликаного напругою розгортки за цей час (у сек/под. або сек/под.);

5) швидкість запису – максимальна швидкість переміщення променя по екрану, при якій забезпечується фотографування або запам'ятовування (для запам'ятовувального осцилографа) однократного сигналу.

Перераховані параметри визначають амплітудний, часовий і частотний діапазони досліджуваних сигналів.

Похибка вимірювання сигналів залежить від похибок коефіцієнта відхилення й коефіцієнта розгортки (звичайно $\sim 2-5\%$) [4]. Від частоти (тривалості) досліджуваного сигналу й смуги пропускання (часу наростання сигналу t_n). Якщо вимірюваний параметр сигналу $5 t_n$, то він відтворюється на екрані осцилографа з похибкою 2%. Замість похибки коефіцієнтів відхилення й розгортки для осцилографа часто вказують близькі їм похибку вимірювання амплітуди стандартного сигналу (синусоїдального певної частоти або прямокутного імпульсу досить великої тривалості) і похибку вимірювання часових інтервалів.

Для одночасного дослідження двох або більше сигналів використовуються багатопроменеві осцилографи, а також багатоканальні електронні комутатори, що вбудовуються в тракт вертикального відхилення. Електронний комутатор забезпечує одержання зображення декількох сигналів на однопроменевій трубці при послідовному підключенні джерел цих сигналів до тракту вертикального відхилення. Електронні комутатори використовуються, як правило, для дослідження часових (фазових) співвідношень декількох синхронних сигналів. Для вивчення частини досліджуваного сигналу, у тому числі віддаленої на значний час від його початку, застосовується розтяжка розгортки (частина пилкоподібної напруги, що

подається на вхід підсилювача горизонтального відхилення, підсилюється в кілька разів, що еквівалентно збільшенню в кілька разів довжини розгортки) або затримка запуску розгортки (затримана розгортка). Затримана розгортка еквівалентна розтяжці розгортки в кілька тисяч разів.

Найбільші функціональні можливості мають осцилографи зі змінними блоками в трактах вертикального й горизонтального відхилення. Перестановкою блоків можна одержати осцилографи з різними характеристиками: широкосмуговий, високочутливий, 2 – або 4 – каналний, диференціальний тощо. Залежно від особливостей схеми осцилографи діляться на універсальні, що запам'ятовують, стробоскопічні, швидкісні й спеціальні.

1.2 Універсальні осцилографи

Універсальними називаються осцилографи [5], побудовані за функціональною схемою, показаною на рис. 1.1.

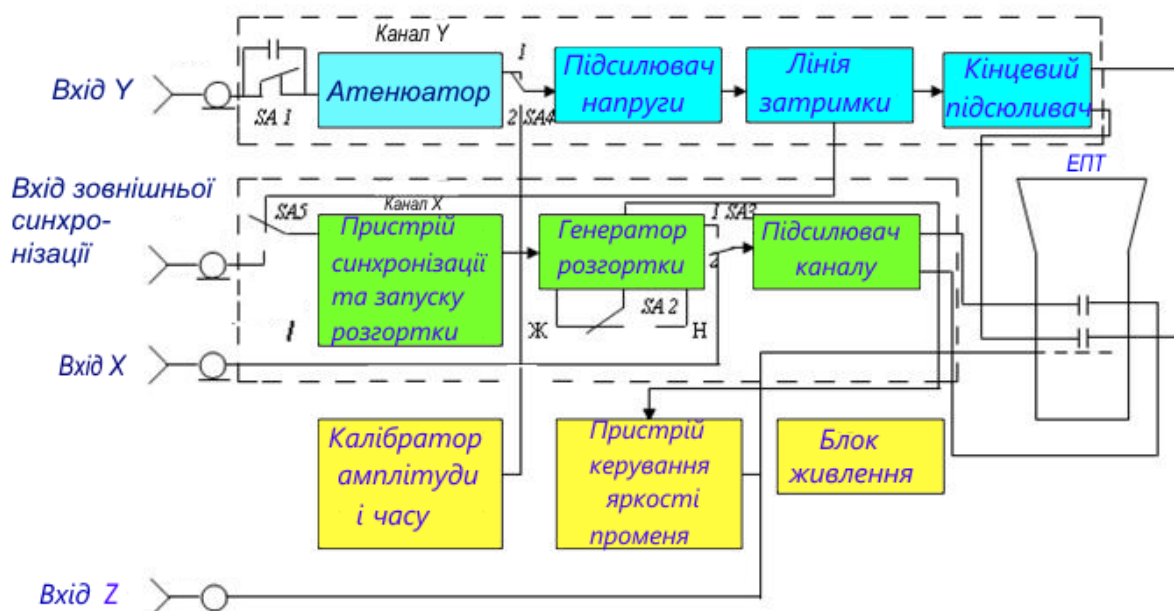


Рисунок 1.1 – Функціональна схема універсального осцилографа

1.3 Осцилограф С1–93

Осцилограф С1–93 універсальний, призначений для візуального спостереження і дослідження електричних сигналів в діапазоні частот 0 МГц – 15 МГц, вимірювання розмахів в діапазоні від 0,01 В до 200 В і часових інтервалів від $0,8 \cdot 10^{-7}$ с до 1,0 с. [11].

Зовнішній вигляд осцилографа С1-93 показаний на рис. 1.2.



Рисунок 1.2 – Осцилограф С1–93

Технічні характеристики осцилографа:

- час наростання перехідної характеристики, 25 нс;
- мінімальний коефіцієнт відхилення, 5 мВ/под.

Досліджувані сигнали:

- амплітуда, 200 В;
- часові інтервали, 20 с.

Основна похибка каліброваного коефіцієнта відхилення і розгортки, $\pm (3, 4)\%$.

Діапазон розгортки: $0,1-10^6$ мкс/под.

Напрацювання на відмову: 3500 год.

Живлення:

- від мережі змінного струму: 115 (220) В; 50, 60 або 400 Гц;
- від джерела постійного струму напругою: 24 В;

- споживана потужність: 55 В·А;
- маса 10 кг;
- габарити 308 x 180,5 x 438 мм.

Робоча частина екрану осцилографа С1–93: 120 мм або 10 поділок (ціна 1 поділки 12 мм) по горизонталі, 100 мм або 8 поділок (ціна 1 поділки 12,5 мм) по вертикалі. Ширина лінії променя не перевищує: в центральній зоні (зона А), обмеженою прямокутником зі сторонами, віддаленими від центру в напрямку осей на $\frac{3}{8}$ розміру робочої частини околиць, горизонтальної лінії – 0,7 мм, вертикальної лінії 0,5 мм, на краях робочої частини (зона Б) за межами зони А горизонтальної лінії – 0,9 мм, вертикальної – 0,7 мм.

Мінімальна частота проходження розгортки, при якій забезпечується спостереження та вимірювання досліджуваного сигналу на найбільш швидкій розгортці, не перевищує 300 Гц. Яскравість зображення регулюється від повної відсутності до величини, зручної для спостереження. Значення коефіцієнтів відхилення по вертикалі:

1) кожного каналу вертикального відхилення (номінальні значення): 0,005; 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2; 5; 10 В/под. Забезпечується можливість плавного регулювання коефіцієнтів відхилення перекриттям не менше 2,5;

2) мінімальний при послідовному з'єднанні каналів вертикального відхилення – 0,001 В/под.

Межі допустимого значення відносної похибки коефіцієнтів відхилення при розмірі зображення сигналу від 3 до 8 поділок по вертикалі:

1) основний – $\pm 3\%$ при розмірі зображення від 8 до 6 поділок і – $\pm 4\%$ при розмірі зображення менше 6 до 3 поділів для кожного каналу вертикального відхилення при безпосередньому вході і з виносним дільником 1: 10 і 12% для мінімального коефіцієнта відхилення при послідовному з'єднанні каналів;

2) в робочому діапазоні $\pm 6\%$ при розмірі зображення від 8 до 6 поділок і $\pm 8\%$ при розмірі зображення менше 6 до 3 поділок для кожного каналу вертикального відхилення при безпосередньому вході і з виносним дільником 1: 10 і 12% для мінімального коефіцієнта відхилення при послідовному з'єднанні каналів.

Час наростання перехідної характеристики кожного каналу тракту вертикального відхилення не більше:

– 25 нс для всіх коефіцієнтів відхилення, крім 5 мВ/под., і без виносного дільника 1:10;

– 35 нс для всіх положень коефіцієнтів відхилення з виносним дільником 1:10 і положення 5 мВ/под. без дільника.

Викид перехідної характеристики кожного каналу вертикального відхилення при безпосередньому вході і з виносним дільником 1: 10 не більше 3%.

Час встановлення перехідної характеристики кожного каналу вертикального відхилення при безпосередньому вході і з виносним дільником 1: 1 не більше 100 нс.

Нерівномірність перехідної характеристики кожного каналу вертикального відхилення при безпосередньому вході і з виносним дільником 1: 1 не більше 2,5% на ділянці встановлення і 2% за межами дільниці встановлення.

Спад вершини перехідної характеристики кожного каналу вертикального відхилення при закритому вході за час 10 мс, який починається від рівня 0,1 сталого значення перехідної характеристики при безпосередньому вході і з виносним дільником 1: 10, не більше 10 %. Смуга пропускання тракту вертикального відхилення при послідовному з'єднанні каналів від 0 до 3 МГц при опорній частоті 1 кГц.

Дрейф променя кожного каналу вертикального відхилення після часу встановлення робочого режиму не перевищує:

1) короткочасний – 0,5 мВ (0,1 под.) за будь-яку одну хвилину протягом 1 години;

2) довгостроковий – 2 мВ / год (0,4 под.).

Зсув променя через вхідний струм кожного каналу не перевищує 1 мВ (0,2 под.).

Межі переміщення променя по вертикалі становлять не менше двох значень номінального вертикального відхилення.

Вхідний активний опір кожного каналу вертикального відхилення:

- $(1 \pm 0,02)$ МОм з паралельною ємністю (30 ± 3) пФ при безпосередньому вході;

- $(1 \pm 0,02)$ МОм з паралельною ємністю не більше 12 пФ з виносним дільником 1:10.

Допустиме сумарне значення постійної і змінної напруги при закритому вході кожного з каналів вертикального відхилення не більше 200 В при безпосередньому вході і з виносним дільником 1:10. Максимальний розмах досліджуваного сигналу становить не більше 80 В при безпосередньому вході кожного каналу вертикального відхилення і 200 В з дільником 1:10.

Коефіцієнт розв'язки між каналами вертикального відхилення становить не менше 3000.

Коефіцієнти ослаблення синфазних сигналів в режимі роботи каналів I–II становить не менше 50 на частоті 100 кГц при амплітуді сигналу, що дорівнює 100 мВ.

Затримка зображення сигналу в каналах вертикального відхилення забезпечує перегляд фронту досліджуваного сигналу на робочій частині розгортки і становить не менше 34 нс.

Тракт вертикального відхилення забезпечує наступні режими робіт:

- 1) одного першого каналу (I);
- 2) одного другого каналу (II);
- 3) переривчасте зображення за один хід розгортки (...);
- 4) почергове зображення з частотою проходження розгортки ($\rightarrow \rightarrow$);
- 5) алгебраїчне додавання сигналів від обох каналів (I–II).

Тракт горизонтального відхилення забезпечує наступні види робіт:

- 1) розгортку сигналу по горизонталі в автоколивальному режимі (АВТ);
- 2) розгортку сигналу по горизонталі в режимі очікування;
- 3) вхід зовнішнього сигналу на підсилювач горизонтального відхилення.

Осцилограф допускає безперервну роботу в робочих умовах а протягом 16 год при збереженні своїх технічних характеристик.

Осцилограф зберігає свої характеристики при електроживленні:

1) від мережі змінного струму напругою (220 ± 22) В, частотою 49,5 – 60,5 Гц і вмістом гармонік до 5 %;

2) від мережі змінного струму напругою $(115 \pm 5,75)$ В або (220 ± 11) частотою (400 ± 10) Гц і змістом гармонік до 5 %;

3) від джерела постійного струму напругою $(24 \pm 2,4)$ В.

Потужність, споживана осцилографом від мережі при номінального напрузі, не перевищує 55 В·А. Струм, споживаний від джерела постійного струму при напрузі 24 В, не перевищує 1,2 А. Напруга індустриальних радіозавод, створюваних осцилографом не перевищує:

– 80 дБ на частотах від 0,15 до 0,5 МГц;

– 74 дБ на частотах від 0,5 до 2,5 МГц;

– 66 дБ на частотах від 2,5 до 30 МГц.

Осцилограф зберігає свої технічні характеристики в межах норм після заміни в ньому електронно – променевої трубки (ЕПТ).

Допускається підрегулювання за допомогою наявних органів підстроювання, передбачених принциповою схемою осцилографа.

Осцилограф по стійкості до дії статичної електрики відноситься до II ступеня жорсткості. Величина допустимого значення статичної електрики не повинна перевищувати 100 В.

1.4 Осцилограф С1–112А

Осцилограф – мультиметр С1–112А призначений для дослідження і вимірювання сигналів в режимі осцилографа і в режимі мультиметра [13]. У осцилографічному режимі досліджуються сигнали в амплітудному діапазоні від 5 мВ до 250 В і в часовому діапазоні від 120 нс до 0.5 с з частотою до 10 МГц. У режимі мультиметра вимірюється напруга постійного струму від 1 мВ до 1000 В і активні опори від 1 Ом до 2.5 МОм з цифровим відліком на екрані ЕПТ. Прилад розрахований на використання в лабораторних і цехових умовах.

Основні параметри осцилографа С1–112А:

Смуга пропускання 0 ... 10 МГц, чутливість 5 мВ/под., ТВ – синхронізація (кадровими синхроімпульсами), вбудований цифровий мультиметр, вимірювання постійної напруги до 1000 В і опору постійному струму до 2.5 МОм, компактний (ЕПТ 40х60 мм), маса 3,6 кг.

Зовнішній вигляд осцилографа С1–112А показаний на рис. 1.3.



Рисунок 1.3 – Осцилограф С1–112А

Структурна схема приладу включає:

- канал вертикального відхилення (КВВ), призначений для підсилення сигналу в заданому частотному діапазоні до рівня, необхідного для отримання заданого коефіцієнта відхилення з мінімальними амплітудними і частотними спотвореннями. КВВ складається з вхідного дільника, попереднього підсилювача, лінії затримки і крайового підсилювача;
- канал горизонтального відхилення (КГВ), призначений для забезпечення лінійного відхилення променя з заданим коефіцієнтом розгортки. КГВ включає підсилювач синхронізації, тригер синхронізації, схему запуску, генератор розгортки, схему блокування і підсилювач розгорнення;
- електронно-променевої індикатор, призначений для візуального дослідження сигналів і включає ЕПТ, схему підсвітки і схему живлення ЕПТ;
- низьковольтне джерело живлення, призначене для забезпечення живленням всіх функціональних пристроїв;

- калібратор, призначений для формування сигналу, каліброваного по амплітуді і по часу;
- аналого-цифровий перетворювач (АЦП), що є основним вузлом мультиметра і призначений для оцифровки вимірюваних напруг і опорів;
- знакогенератор, призначений для індикації на екрані ЕПТ вимірюваних значень напруги і опору.

1.5 Цифрові осцилографи

Цифрові осцилографи володіють значними можливостями за рахунок самого принципу роботи. Вхідний сигнал після нормалізації перетворюється в цифрову форму і записується у пам'ять [6]. Швидкість запису (кількість вибірок в секунду) задається пристроєм управління, і її верхня межа визначається швидкодією аналого-цифрового перетворювача, а нижня межа теоретично не обмежена, на відміну від аналогових осцилографів.

Повне оцифровування сигналу дозволяє уникнути відображення сигналу в реальному масштабі часу а, отже, підвищити стійкість зображення, організувати збереження результатів, спростити масштабування та розтяжку, ввести відмітки. Використання дисплея замість осцилографічної трубки відкриває можливість для відображення будь-якої додаткової інформації та управління приладом за допомогою меню.

1.6 Осцилограф DSO 138

Основною і головною характеристикою будь-якого осцилографа є його частота – величина, що показує, яку кількість замірів прилад виробляє в одиницю часу – секунду. Порівняти частоту осцилографа можна з кратністю збільшення мікроскопа – чим більше збільшення, тим більше можна побачити [9]. Звідси

головний і по суті єдиний недолік (беручи до уваги його ціну) осцилографа DSO 138 – низька частота – 200 кГц. Якщо говорити про можливість застосування осцилографа DSO 138 до Arduino – розробків, то в порівнянні з частотою мікроконтролера 16 МГц, максимальна частота осцилографа невисока. Дуже багато процесів залишаються за межами можливостей DSO 138 [8].

Наступною істотною характеристикою будь-якого осцилографа є кількість каналів. Кожен канал відповідає за свою ділянку електричної схеми. Наявність декількох каналів дозволяє здійснювати «пов'язані» спостереження, в цьому випадку показуючи одночасно зміни напруги в декількох точках, осцилограф допомагає їх порівнювати і виявляти закономірності. У осцилографа DSO 138 всього 1 канал.

Розгортка – це лінія, якою осцилограф малює рівень вимірюваної напруги. Для того, щоб періодичні коливання (наприклад, синусоїда змінного струму) відображалися коректно (нерухомо по горизонталі) існує поняття синхронізації розгортки. Синонім з англійського світу – тригер (засувка). Як правило, в осцилографах передбачена можливість зміни двох параметрів схеми синхронізації – рівня запуску і його типу (по спаду і по фронту). Основний параметр – період розгортки. Значення – від 10 мкс до 500 с. дозволяє «масштабувати» в часі процес, що відбувається. Процеси, що швидко протікають, спостерігаються при менших значеннях параметра, повільні – при більших.

Виділяють також 3 режими розгортки – автоматичний, який чекає, і одноразовий. Цифрові осцилографи мають незаперечну перевагу перед аналоговими в тому, що в них реалізована можливість використання всіх 3 режимів розгортки, а в аналогових – тільки автоматичний. Це обмеження пов'язане з конструктивною неможливістю роботи в інших режимах.

Для осцилографа DSO 138 максимально допустима вхідна вимірювана напруга зі штатним щупом (без дільника) складає 50 В. При перевищенні даного значення дуже вірогідний вихід приладу з ладу.

Осцилограф DSO 138 має 3 перемикача режимів роботи (ліворуч) і 5 кнопок (праворуч), з яких 4 кнопки є керуючими, а п'ята кнопка RESET – кнопка перезавантаження. Зовнішній вигляд осцилографа показаний на рис. 1.4.

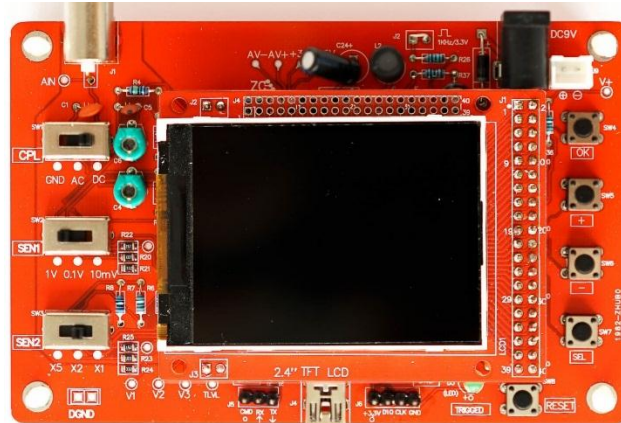


Рисунок 1.4 – Зовнішній вигляд осцилографа DSO 138

Перемикач CPL відповідає за установку типу вхідної напруги:

- 1) GND – вхід осцилографа заземлений;
- 2) AC – режим вимірювання змінного струму (без врахування постійної складової сигналу);
- 3) DC – режим роботи з постійним струмом.

Два інших перемикача – SEN1 і SEN2 (англ. Sensitivity – чутливість) – відповідають за чутливість приладу при вимірюванні різних напруг. Перемикач SEN1 задає одиничний номінал, а перемикач SEN2 задає множник одиничного номіналу – таким чином задається номінал клітини екрану по вертикалі. Наприклад, при виборі 10 мВ і X5, значення однієї клітини екрану по вертикалі буде 50 мВ.

Екран осцилографа DSO 138 інформативний і містить всю необхідну інформацію. За допомогою кнопки SEL здійснюється навігація по доступним параметрами. А за допомогою кнопок + і – відбувається зміна обраного параметра. Кожен з параметрів при виборі або підсвічується рамкою, або змінює колір на бірюзовий. Всього параметрів 6 (на рисунку 1.5 знизу бірюзові покажчики):

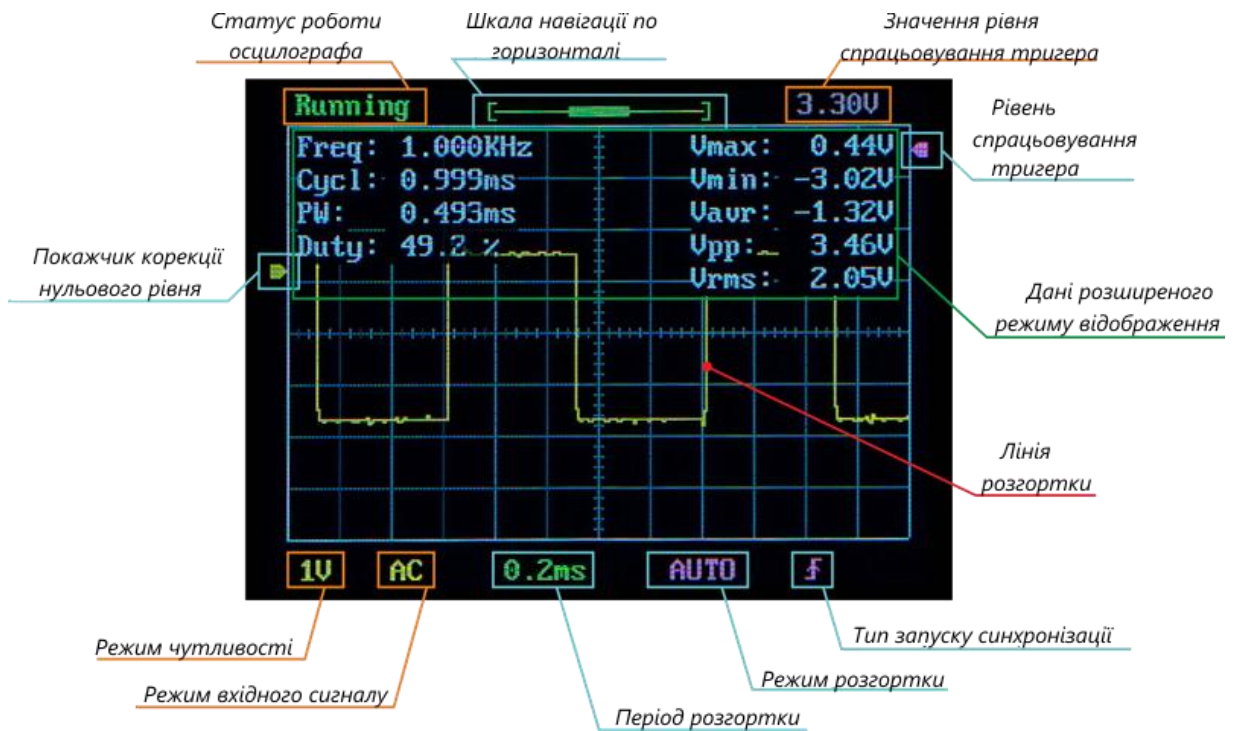


Рисунок 1.5 – Екран осцилографа DSO 138

Режим розгортки. Значення: AUTO, NORM, SIGN.

AUTO – автоколивальна, безперервна розгортка. Розгортка працює постійно, навіть коли сигналу немає. Застосовується для дослідження періодичних сигналів, а також імпульсних з невеликою шпаруватістю.

NORM – чекаючи розгортка. Спрацьовує кожен раз, коли настає задана умова спрацьовування тригера. Можна використовувати для відстеження реакції на підконтрольну подію, наприклад, натискання кнопки.

SIGN – одноразова розгортка. Працює також, як і NORM, але після першого спрацьовування «заморожується» (індикатор запуску розгортки Running змінюється на HOLD). Наступний запуск можливий тільки після зняття режиму утримання HOLD (кнопка OK). Використовується для отримання масиву даних, наприклад, від пульта ІК, від датчика температури, коли наступні дані могли б «затерти» попередні дані в режимі SIGN.

Тип запуску синхронізації. Значення – по фронту, по спаду (за аналогією з перериваннями – RISING, FALLING). Перший тип – по фронту – змушує

спрацьовувати тригер за умови перевищення сигналом заданого рівня тригера, другий тип – по спаду – за умови зниження рівня сигналу нижче рівня тригера.

Рівень тригера (стрілка праворуч по вертикальній шкалі) є другим налаштовуваним параметром схеми синхронізації. Він задає рівень напруги, при досягненні якого запускається розгортка.

На платі припаяний світлодіод, який морганням показує момент спрацьовування синхронізації (рис. 1.6).

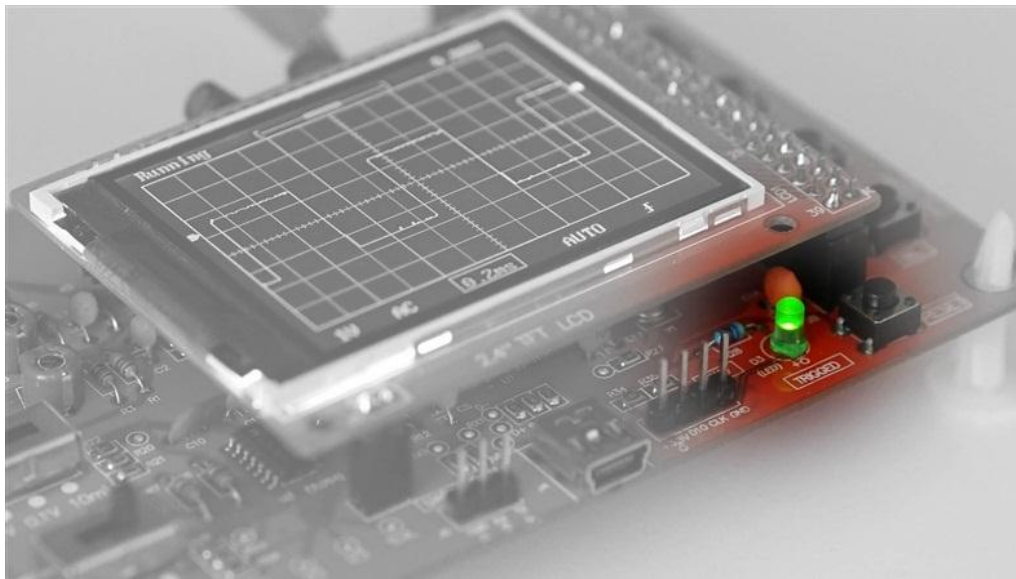


Рисунок 1.6 – Світлодіод, який морганням показує момент спрацьовування синхронізації

Навігаційна шкала дозволяє переміщатися по отриманій розгортці в часі. Осцилограф кожен раз запам'ятовує набір показань, що складається з 1024 значень. А оскільки відразу всі вони не поміщаються на екрані, то для їх перегляду і служить шкала.

Корекція нульового рівня (стрілка зліва по вертикальній шкалі) використовується для корекції нульового рівня відображення графіка відносно центру екрана по осі Y. Щоб вирівняти і запам'ятати положення нульового рівня сигналу, необхідно встановити покажчик корекції нульового рівня (кнопки + і –) по центру екрана по осі Y і утримувати протягом 3 секунд кнопку ОК. Покажчик

автоматично перевстановлюється по центру графіка. Осцилограф DSO 138 вміє запам'ятовувати актуальну осцилограму в незалежній пам'яті. Для того, щоб зберегти дані в пам'ять, потрібно одночасно натиснути SEL ++. Для того, щоб витягти з пам'яті збережені дані і показати їх на екрані – SEL + –.

У осцилографа DSO 138 є режим відображення цифрових даних щодо одержуваного сигналу. Режим включається – відключається 3 секундним утриманням кнопки ОК при обраному для зміни параметрі. Період розгортки. На рис. 1.7 показано, як виглядає розширений режим роботи осцилографа.

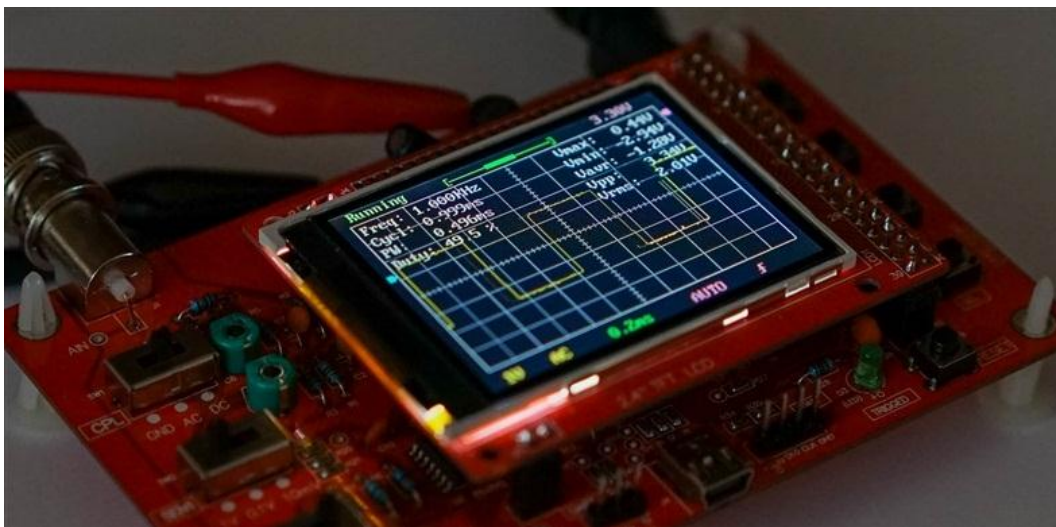


Рисунок 1.7 – Розширений режим відображення даних

Розшифровка показників представлена нижче:

- freq (Frequency) – частота сигналу (Гц);
- cycl (Cycle) – тривалість одного циклу (сек);
- pw (Pulse Width) – ширина імпульсу (сек);
- duty – шпаруватість (%) – відношення тривалість одного періоду до ширини імпульсу. Поняття дуже близьке до ШІМ – його сенс практично ідентичний;
- vmax – максимальна напруга (В);
- vmin – мінімальна напруга (В);
- vavr (Average Voltage) – середня напруга (В);

- vpp (Peak-to-Peak Voltage) – розмах напруги сигналу – різниця між максимальною і мінімальною піковою напругою (В);
- vrms (Root Mean Square Voltage) – середньоквадратична напруга (В).

1.7 Портативні осцилографи

Прогрес у розвитку цифрових технологій дозволив звичайні стаціонарні цифрові осцилографи перетворити у портативні осцилографи з добрими малогабаритними показниками і з малим енергоспоживанням [8]. На рис. 1.8 показаний портативний осцилограф Fluke 199C.



Рисунок 1.8 – Портативний осцилограф Fluke 199C

Причому портативні прилади з живленням від батареї не поступаються стаціонарним осцилографам за функціональністю і мають широкі можливості застосування в різних галузях виробництва, обслуговування, досліджень.

1.8 Віртуальні осцилографи

Новий клас осцилографів, який може бути як зовнішнім приладом з USB або паралельним портом вводу – виводу даних, або ж внутрішнім додатковим приладом на основі PCI або ISA карт [10]. Програмне забезпечення будь – якого віртуального осцилографа дає можливість повного управління приладом, а також надає ряд сервісних можливостей, наприклад, експорт / імпорт даних, математична обробка сигналів, розширені вимірювання, цифрова фільтрація тощо.

Як приклад, на рис. 1.9 показане зображення віртуального осцилографа Rigol.



Рисунок 1.9 – Віртуальний осцилограф Rigol

Різні серії осцилографів на базі ПК можуть використовуватися для дуже широкого спектра вимірювань, зокрема при розробці та обслуговуванні радіоелектронної апаратури, у сферах телекомунікацій та зв'язку, при виробництві комп'ютерної техніки, при діагностиці автотранспортних засобів на станціях техобслуговування та багатьох інших, в яких необхідно тестувати і оцінювати перехідні, нестійкі процеси. З огляду на ключові переваги – висока швидкодія, малі габарити, легкість у використанні та невисока вартість, можна стверджувати, що дані прилади – гідні альтернатив традиційним цифровим запам'ятовуючим осцилографам. Недоліком приладу є неможливість побачити й виміряти постійну складову сигналів.

2 ОПИС ЗАДІЯНИХ У ДОСЛІДАХ ПРИСТРОЇВ, ЩО ГЕНЕРУЮТЬ І ВИМІРЮЮТЬ СИГНАЛИ

2.1 Генератори імпульсних сигналів

Генератори імпульсних сигналів (ГІС) широко використовуються як джерела несинусоїдальних сигналів. Крім того, ГІС необхідні для тестування цифрових систем та пристроїв, а також імпульсних систем. Будь-яка цифрова система потребує налагодження. При налагодженні систем теж використовуються ГІС.

При роботі сучасних мікропроцесорних і будь-яких цифрових пристроїв генератори імпульсних або цифрових сигналів використовуються у якості генераторів, що задають тактову частоту. У цифрових системах використовуються також синхронізуючі генератори, генератори серій прямокутних імпульсів стробуючі генератори з періодичною установкою початкової фази, генератори поодиноких імпульсів, які називаються очікувальними генераторами або одновібраторами.

ГІС будуються з різними типами часозадаючих кіл на цифрових мікросхемах або на операційних підсилювачах. Як окремі типи генераторів можна відзначити релаксаційні генератори – генератори коливачів, у яких пасивні та активні нелінійні елементи не мають резонансних властивостей.

Основні режими роботи релаксаційних ГІС:

1) автоколивальний з двома квазістійкими станами (без стійких станів), при якому параметри генерованих імпульсів залежать від параметрів схеми генератора;

2) очікувальний з одним станом стійкої рівноваги і одним станом квазістійкої рівноваги, який формує один імпульс при надходженні на вхід генератора зовнішнього імпульсу запуску, причому тривалість сформованого імпульсу залежить від тривалості протікання релаксаційного процесу, а частота проходження серії сформованих імпульсів залежить від частоти повторення імпульсів запуску;

3) синхронізації з частотою повторення генерованих імпульсів, яка кратна частоті вхідних синхронізуючих імпульсів, а якщо синхронізуючі імпульси не передбачені, то ГІС знаходиться в автоколивальному режимі.

2.2 Генератор імпульсів Г5–54

Генератор Г5–54 має металевий корпус. Розташування приладу горизонтальне. Всі основні органи управління зосереджені на передній панелі. Прилад формує одиночні і парні імпульси з характеристиками, що задаються дослідником [12].

Зміна параметрів сигналу та управління здійснюється кнопковими перемикачами і лімбами барабанного типу з вертикальним переміщенням.

Генератор Г5–54 може забезпечувати амплітуду вихідного імпульсу до 50 В на навантаженні 500 Ом. Крім виходів, має вхід для використання зовнішнього синхроімпульсу, за рахунок чого на базі приладу Г5–54 реалізується генерація імпульсних послідовностей, пачок імпульсів та складних імпульсних сигналів з використанням зовнішнього генератора. Зовнішній вигляд генератора Г5-51 показаний на рис. 2.1.



Рисунок 2.1 – Генератор імпульсів Г5–54

Генератор імпульсів Г5-54 призначений для налагодження і налаштування радіотехнічних пристроїв. Прилад видає відеоімпульси позитивної і негативної полярностей прямокутної форми в діапазоні тривалостей імпульсів від 0,5 до 1000 мкс (зазначені імпульси називаються основними). У приладі є додатковий діапазон тривалості 0,1-0,5 мкс (імпульси тривалості додаткового діапазону називаються додатковими).

Тривалість основних імпульсів (τ) регулюється плавно-східчасто в межах 8 піддіапазонів: 0,1–0,3; 0,3–1,0; 1–3; 3–10; 10–30; 30–100; 100–300; 300–1000 мкс.

Основний діапазон регулювання забезпечується при шпаруватості більш 5. Похибка установки тривалості основних імпульсів в основному діапазоні не перевищує $\pm (0,1\tau + 0,03)$ мкс. Піддіапазон регулювання тривалості основних імпульсів при шпаруватості від 5 до 2 є додатковим, похибка установки тривалості імпульсів в ньому не нормується.

Нестабільність тривалості основних імпульсів за одну годину не перевищує $\pm 3\%$ від встановленої величини. Паразитна модуляція тривалості не перевищує $3 \times 10^{-3}\tau + 0,003$ мкс.

Максимальна амплітуда основних імпульсів U_{max} на зовнішньому навантаженні 500 Ом з паралельною ємністю 50 пФ не менше 50 В.

Забезпечується плавне регулювання амплітуди від U_{max} до $0,3U_{max}$ і ступінчасте ослаблення з коефіцієнтами (К) $\times 1$; $\times 0,3$; $\times 0,1$; $\times 0,03$.

Прилад має два додаткові виходи 1:10 і 1:100 при коефіцієнті ослаблення $\times 0,03$.

Похибка установки амплітуди в межах плавно-ступінчастого регулювання не перевищує $\pm(0,1U + K \cdot 0,1 \text{ В})$, де К – коефіцієнт ступінчастого ослаблення.

Тривалість фронту і зрізу основних імпульсів на зовнішньому навантаженні 500 Ом з паралельною ємністю 50 пФ, підключеної до кінця кабелю довжиною 400 мм, не перевищує відповідно 50 і 100 нс при шпаруватості не менше 5, а при шпаруватості менше 5 (до 2) - відповідно 75 і 120 нс.

Нерівномірність вершини імпульсу і в паузі при роботі на зовнішнє навантаження 500 Ом з паралельною ємністю 50 пФ не перевищує 5% від амплітуди при шпаруватості менше 5, а при шпаруватості від 5 до 2 нерівномірність не нормується. Викиди на вершині і в паузі не перевищують 5% від амплітуди.

Часовий зсув основного імпульсу щодо синхроімпульсу (D) регулюється плавно-східчасто в межах: 0,1–0,3; 0,3–1; 1–3; 3–10; 10–30; 30–100; 100–300; 300–1000 мкс.

Частота повторення імпульсів (F) при внутрішньому запуску регулюється плавно-східчасто (8 піддіапазонів) і встановлюється в межах: 0,01–0,03; 0,03–0,1; 0,1–0,3; 0,3–1; 1–3; 3–10; 10–30; 30–100 кГц.

Похибка установки частоти повторення імпульсів не перевищує $\pm 0,1 \cdot F$.

2.3 Використання віртуальних приладів в роботі

Віртуальні прилади, що працюють на базі персональних комп'ютерів або смартфонів, дозволяють вирішувати завдання вимірів на новому рівні з досить високою якістю. Завдяки використанню досить простого інтерактивного налаштування параметрів віртуальні прилади отримали досить широке поширення.

Основу технології віртуальних приладів складають програми з заданою прикладною функціональністю.

За допомогою віртуальних приладів стало можливим проведення реально-віртуальних експериментів. Перед розробниками апаратури, експериментаторами з'явилися нові можливості в оптимізації своєї праці, здешевлення проведення експериментів і різних робіт з вимірювання параметрів пристроїв і систем.

У даній роботі застосовувалися віртуальні генератори, що працюють на основі смартфонів. Зазначені генератори приєднувалися до реальних осцилографів за допомогою аудіо кабелю-перехідника типу AUX 3,5 мм.

2.4 Віртуальний генератор BEEPing

Віртуальний генератор BEEPing – це програма для генерації тонів, яка генерує тони від 20 Гц до 20 000 Гц у чотирьох різних формах хвиль (синус, трикутник, квадрат і пілкоподібний).

Можливе використання цього додатка:

– для проведення вимірювань;

- тестування пристрою на діапазон навушників / динаміків;
- налаштування музичного інструменту;
- створення музичних творів.

На рис. 2.2 показаний віртуальний генератор BEEPing.

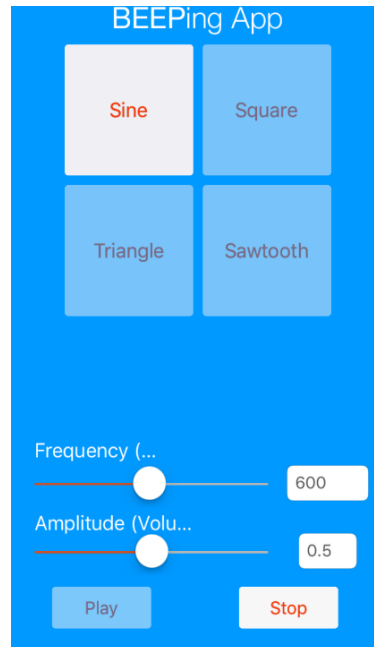


Рисунок 2.2 – Віртуальний генератор BEEPing

2.5 Віртуальний генератор PA Tone

Надлегкий звуковий інструмент, який забезпечує опорні тони для дослідницьких проєктів звукової частоти та загальних аудіотестів.

Віртуальний генератор генерує чіткий сигнал на рівні + 0 дБ щодо підсилення. Необхідно дотримуватися зовнішніх налаштувань гучності під час використання цього додатка.

Можливе використання цього додатка:

- смуга пропускання від 1 Гц до 20 кГц;
- дискретизація якості CD на 16 бітах 44,1 кГц;
- цифровий частотний вхід (натисніть, щоб встановити);

- 5 програмованих частотних налаштувань (тривале натискання);
- повзунок управління ультранизькою затримкою;
- вбудовані генератори для синусоїдальних, квадратних та боперівських сигналів;
- регульований випадковий білий шум;
- перемикачі стереозвуку для ввімкнення / вимкнення ліворуч / праворуч;
- високоточний циферблат управління частотою;
- видає звуковий сигнал у фоновому режимі.

На рис. 2.3 показаний віртуальний генератор PA Tone.



Рисунок 2.3 – Віртуальний генератор PA Tone

2.6 Лабораторний стенд OpAmp

В роботі використовується універсальний лабораторний стенд OpAmp, який призначений для дослідження аналогових електронних схем, побудованих на основі операційних підсилювачів. До мережі 220 В стенд підключається за допомогою AC/DC - адаптера з вихідною постійною напругою 12 В, максимальним вихідним струмом 500 мА, вихідною потужністю 12 Вт.

До складу стенду входять:

- внутрішній блок живлення, який забезпечує напругу живлення схем на операційних підсилювачах ± 12 В (розташований в верхній правій частині передньої панелі);
- внутрішні контрольно-вимірювальні пристрої, призначені для генерації сигналів різної форми та вимірювання частоти і амплітуди сигналів (розташовані у правій частині передньої панелі);
- окремі функціональні схеми;
- роз'язтя для підключення зовнішніх контрольно-вимірювальних пристроїв (розташовані у верхній лівій частині передньої панелі: два роз'язтя для підключення зовнішніх контрольно-вимірювальних пристроїв типу BNC та три роз'язтя для підключення штирових виводів, один з яких з'єднано зі спільною шиною 0 В).

До складу внутрішніх контрольно-вимірюваних пристроїв входять:

- два вольтметри, які вимірюють напругу в діапазоні ± 12 В з похибкою не більше $\pm 2,5$ % (кнопкою “VOLTMETER AC/DC” вибирається режим вимірювань: постійної чи змінної напруги; при виборі змінної напруги засвітлюється індикатор “AC”);
- внутрішній функціональний генератор сигналів з регульованою частотою від 0,1 кГц до 100 кГц (кнопки “FREQUENCY” (“-“ зниження частоти; “+” – збільшення частоти);
- частотомір з індикацією “F” сигналів внутрішнього генератора.

2.7 Вольтметр імпульсний В4–17

В4-17 вольтметр імпульсний цифровий призначений для вимірювання амплітуди одиночних і рідкоповторюваних відеоімпульсів обох полярності в лабораторних і цехових умовах. Вольтметри В4-17 можуть вживатися для вимірювання одноразових процесів в радіовимірювальній техніці, ядерній фізиці,

балістичних дослідженнях, при розробці і виробництві напівпровідникових приладів, в радіо- і гідролокаціях, при вимірюванні неелектричних величин за допомогою датчиків та в інших областях.

Вольтметр В4–17 має наступні основні технічні характеристики:

Діапазон вимірювань:

- без зовнішнього дільника – від 0,1 В до 1000 В;
- з зовнішнім дільником 1:10 – не більше 1000 В;
- тривалість імпульсів – від 0,2 мкс до 1000 мкс.

Діапазон вимірюваних напруг перекривається наступними межами вимірювання:

- від 100 мВ до 1000 мВ;
- від 1 В до 10 В;
- від 10 В до 100 В;
- від 100 В до 1000 В.

Межі шкал вимірювання: – 0,1 В; – 1 В; – 10 В; – 100 В.

Частота повторення імпульсів В4–17 – від 0 до 100 Гц.

Похибка у відсотках від вимірюваної величини напруги при вимірюванні імпульсів з тривалістю плоскої частини вершини не менше 0,5 мкс:

- для імпульсів тривалістю від 1 мкс до 100 мкс – $\pm (1,5\% + 1 \text{ од.})$;
- для імпульсів тривалістю не менше 100 мкс – $\pm (2\% + 1 \text{ од.})$.

Похибка у відсотках від вимірюваної величини напруги при вимірюванні імпульсів з тривалістю плоскої частини вершини від 0,15 мкс до 0,5 мкс і тривалістю від 0,2 мкс до 1000 мкс – $\pm (5\% + 1 \text{ од.})$.

Похибка зовнішнього дільника – $\pm 2\%$.

Поріг спрацьовування – від 0,03 % до 0,07 % від верхнього значення будь-якої з меж вимірювання.

Прилад забезпечує свої технічні характеристики по тривалості часу встановлення робочого режиму – 30 хв.

Час безперервної роботи – не менше 8 год.

Напрацювання на відмову – не менше 5000 год.

Вхідний опір вольтметра В4–17 – 500 кОм.

Вхідна ємність без дільника – 40 пФ; з дільником – 30 пФ.

Виведення інформації в коді – 1–2–4–8.

Споживана потужність – $80 \text{ В} * \text{А}$.

Живлення від мережі змінного струму: частотою – від 49,5 Гц до 50,5 Гц; напругою – від 198 В до 242 В.

Габаритні розміри приладу – $490 \times 176 \times 475 \text{ мм}$.

Маса – не більше 17 кг.

Зовнішній вигляд вольтметра показаний на рис. 2.4.



Рисунок 2.4 – Вольтметр імпульсний В4–17

2.8 Параметри вимірюваних сигналів

Вимірювання струму та напруги є основними при дослідженні пристроїв різного типу та контролю їх роботи. У метрологічних вимірюваннях найчастіше вимірюють напругу, а вимірювання струму замінюють на вимірювання напруги на відомому опорі, при цьому струм визначається за законом Ома. Вимірювані змінні напруга та струм оцінюються наступними параметрами (рис. 2.5): амплітудою, середнім, середньовипрямленим та діючим (ефективним) значеннями.

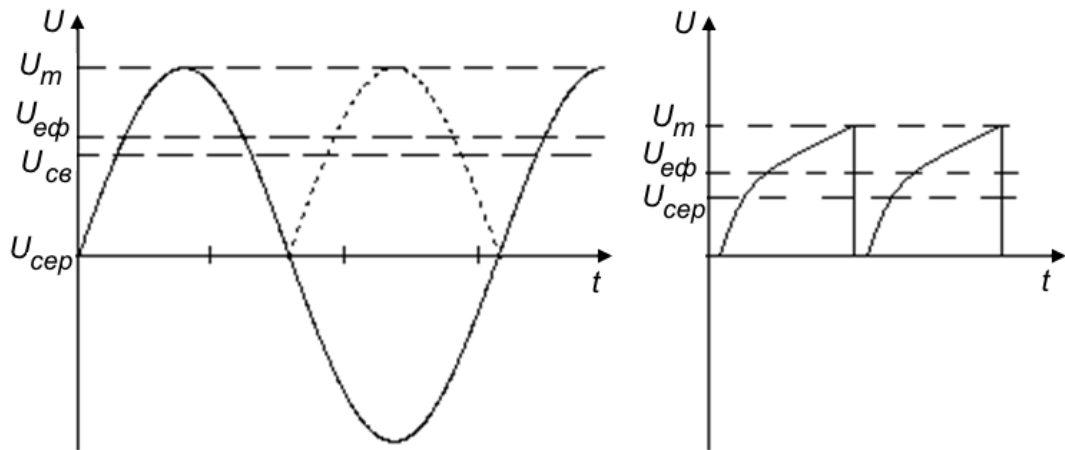


Рисунок 2.5 - Параметри сигналів змінної напруги

Амплітуда (пікове значення) U_m визначається як найбільше значення напруги за період. Для несиметричної щодо нуля напруги вводять поняття пікових відхилень вгору U_{m+} та униз U_{m-} . Середнє значення напруги $U_{сер}$ - це його постійна складова:

$$U_{сер} = \frac{1}{T} \int_0^T U(t) dt .$$

Середньовипрямлене значення $U_{св}$ визначається як постійна складова напруги після її двопівперіодного випрямлення:

$$U_{св} = \frac{1}{T} \int_0^T |U(t)| dt .$$

Діюче або ефективне значення $U_{эф}$ оцінюється по середньоквадратичному значенню вимірюваної напруги:

$$U_{эф} = \left(\frac{1}{T} \int_0^T U^2(t) dt \right)^{1/2} .$$

Закону зміни напруги відповідають кількісні співвідношення між U_m , $U_{св}$, $U_{еф}$, які оцінюються коефіцієнтами амплітуди $K_a = U_m / U_{еф}$ та форми $K_f = U_{еф} / U_{св}$. Наприклад, для гармонійної напруги $K_a = 1.41$, $K_f = 1.11$.

Прямокутне коливання напруги - меандр - без постійної складової характеризується як $K_a = K_f = 1$.

3 ОТРИМАННЯ І ПОРІВНЯННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ ОСЦИЛОГРАФІВ

3.1 Налаштування цифрового осцилографа перед початком вимірювань

При виконанні досліджень сигналів за допомогою осцилографів бажано дотримуватись наведених нижче правил.

Правило 1. Спостереження сигналів та вимірювання треба починати з базових налаштувань запуску.

При використанні налаштувань запуску за замовчуванням осцилограф спрацьовує по наростаючому фронту сигналу. Ця часова точка знаходиться в центрі екрану. Налаштування рівня напруги спрацьовування, установка типу фронту, за яким буде відбуватися спрацьовування (наростаючий, спадаючий), а також управління знаходженням сигналу по горизонталі та вертикалі – настройка всіх цих параметрів забезпечить отримання необхідного зображення.

Правило 2. Правильний вибір пробників осцилографа.

Пробники (щупи) служать для підключення осцилографа до пристрою, що тестується, і мають першорядне значення для забезпечення цілісності сигналу. Існують різні типи пробників для осцилографів. Параметри, які необхідно враховувати при виборі оптимального типу пробника:

- смуга пропускання;
- коефіцієнт ослаблення;
- опір, ємність, індуктивність;
- пасивність, активність.

Смуга пропускання пробника визначає максимальну частоту сигналу, яку пробник може передати на осцилограф. Максимальна частота пробника повинна бути, як мінімум, в 3 – 5 разів вище частоти досліджуваного сигналу.

Коефіцієнт ослаблення впливає на надходження сигналів до осцилографа. При більшому коефіцієнті ослаблення реєструються більш високі значення напруги, але при цьому шуми внутрішніх підсилювачів осцилографа стають більш вираженими. При меншому коефіцієнті ослаблення шуми внутрішніх підсилювачів осцилографа

стають менш вираженими, але при цьому виникає більше навантаження на систему вимірювання, що призводить до більшого спотворення сигналу.

Приклад. Опір кінцевика пробника становить 9 МОм, вхідний опір осцилографа дорівнює 1 МОм, Разом ці опори утворюють резистивний діляк з коефіцієнтом 10:1. Отже, сигнал на вході пробника буде послаблюватися на величину, яка визначається коефіцієнтом ослаблення, рівним $1 \text{ МОм} / (9 \text{ МОм} + 1 \text{ МОм}) = 0,1$. Наприклад, якщо подати на вхід пробника сигнал з напругою 10 В, то з урахуванням коефіцієнта ослаблення пробника 10:1 на вхід осцилографа надійде сигнал з напругою 1 В. До кінцевика пробника під'єднується високоімпедансний кабель. На кінці кабелю розташовується компенсаторна або інтерфейсна частина, яка з'єднується зі входом осцилографа, як показано на рис. 3.1. При постійному струмі вхідний імпеданс пробника дорівнює 10 МОм, але з підвищенням частоти вхідного сигналу вхідний імпеданс пробника знижується внаслідок збільшення ємнісного реактивного опору.

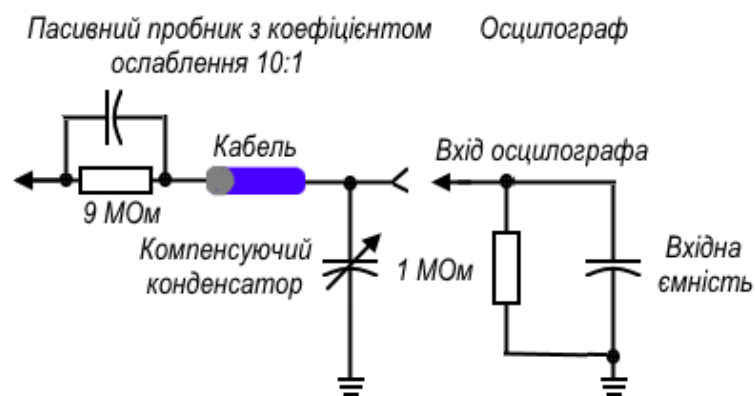


Рисунок 3.1 – Спрощена схема високоімпедансного пасивного пробника з коефіцієнтом ослаблення 10:1

Вплив R, C, L пробника. Жоден пробник не може ідеально передати сигнал, тому що при підключенні до схеми він стає її частиною. Це явище називається підключенням навантаження. Підключення непотрібного навантаження до вимірювальної системи може призвести до спотворення результатів вимірювання і навіть змінити форму сигналу на екрані осцилографа. Для меншого зниження

амплітуди сигналу в пробнику (менше, ніж на 10%) величина опору пробника повинна перевищувати величину опору джерела сигналу у 10 разів чи більше. Величина ємності пробника повинна відповідати розрахунковим параметрам. Індуктивність пробника проявляється як «дзвін» в сигналі. Меншу індуктивність мають пробники з проводами мінімальної довжини.

Існують пасивні та активні пробники. Пасивні пробники зазвичай недорогі, прості у використанні і мають міцну конструкцію. Пробники цього типу характеризуються універсальністю і точністю вимірювань. Пасивні пробники, як правило, створюють відносно високе ємнісне навантаження і низьке резистивне навантаження. Вони рекомендуються до використання для вимірювання сигналів в смузі частот до 600 МГц.

У разі перевищення зазначеної частоти необхідно використовувати активні пробники. Активні пробники використовують активні компоненти для підсилення або формування сигналу і для роботи вимагають наявності джерела живлення. Активні пробники підтримують значно вищі частоти сигналів. У порівнянні з пасивними, активні пробники істотно дорожчі і мають більш складну конструкцію. Як правило, активні пробники створюють менше навантаження, ніж пасивні.

Пасивні пробники відмінно підходять для виконання якісних вимірів, таких як перевірка тактових частот, пошук помилок тощо. Активні пробники, навпаки, відрізняються чудовими показниками в кількісних вимірах, наприклад, пульсацій вихідного сигналу або часу наростання. Незважаючи на більш високу вартість активних пробників в порівнянні з пасивними, для забезпечення точності вимірювань саме вони можуть зіграти вирішальну роль для якості вимірювань.

Правило 3. Масштабування сигналів необхідно виконувати правильно.

Правильно вибрана величина масштабування сигналу грає ключову роль. Частота дискретизації і розрядність АЦП осцилографа впливає на точність вимірювань, при цьому оптимізувати вимірювання можна за рахунок правильного масштабування сигналів.

Горизонтальне масштабування є важливим параметром, який слід враховувати при виконанні динамічних вимірювань. Зі зміною горизонтальної розгортки

(одиниць часу на одну поділку) вимірюваного сигналу також змінюється загальний час виявлення сигналу. У свою чергу, час захоплення сигналу впливає на частоту дискретизації осцилографа. Ця залежність описується рівнянням такого вигляду:

$$\text{Частота дискретизації} = \text{об'єм пам'яті} / \text{час збору даних}$$

Об'єм пам'яті є фіксованою величиною, а час збору даних фіксується регулюванням часу на одну поділку в налаштуваннях осцилографа. У міру збільшення часу збору даних частота дискретизації повинна зменшуватися для збереження зібраних даних в пам'яті осцилографа. Для динамічних вимірювань (частоти, тривалості імпульсу, наростаючого фронту тощо). Налаштування відповідної частоти дискретизації грає важливу роль.

Вертикальне масштабування важливо для амплітудних вимірів (розмах сигналу, середнє квадратичне значення, максимум, мінімум тощо) За рахунок простого збільшення величини вертикального масштабування сигналу можна отримати істотно більш точні результати вимірювання при значно меншій величині середньоквадратичного відхилення. Вертикальне масштабування впливає на результати вимірювання так, як на вимірювання по горизонтальній осі (залежність від часу) впливає частота дискретизації, на вимірювання по вертикальній осі (залежність від амплітуди) впливає розрядність АЦП.

Правило 4. Правильний вибір режиму збору даних.

Щоб бути впевненим у показах осцилографа, потрібно розуміти сильні і слабкі сторони різних режимів збору даних: нормального, з усередненням, з високою роздільною здатністю і з виявленням піків сигналу.

Режими збору даних є точно налаштовані алгоритми генерації вибірки. Змінюючи частоту дискретизації аналого – цифрового перетворювача (АЦП) осцилографа і вибірково завдаючи на графіку або об'єднуючи точки вибірки, можна спостерігати різні особливості сигналу.

Нормальний режим збору даних. У осцилографах нормальний режим збору даних встановлено за умовчанням. АЦП формує вибірку сигналу, а осцилограф

проріджує її до потрібного числа точок і будує графік. Для виконання повсякденних завдань по налагодженню найкраще використовувати нормальний режим збору даних, він забезпечує загальне відтворення сигналу на хорошому рівні. Нормальний режим є безпечним, використання якого немає істотних застережень.

Режим збору даних з усередненням. У режимі збору даних з усередненням проводиться багаторазове захоплення сигналів і їх спільне усереднення. Основною перевагою режиму збору даних з усередненням є те, що він усереднює випадкові завади і видаляє їх з сигналу, дозволяючи спостерігати досліджуваний сигнал. Режим збору даних з усередненням слід використовувати тільки з періодичними сигналами і при стабільному запуску розгортки осцилографа. Вказаний режим можна використовувати для візуалізації і визначення характеристик сигналів (рис. 3.2). Висновок: режим збору даних з усередненням доцільно використовувати для видалення випадкових завад з періодичних стабільних сигналів.

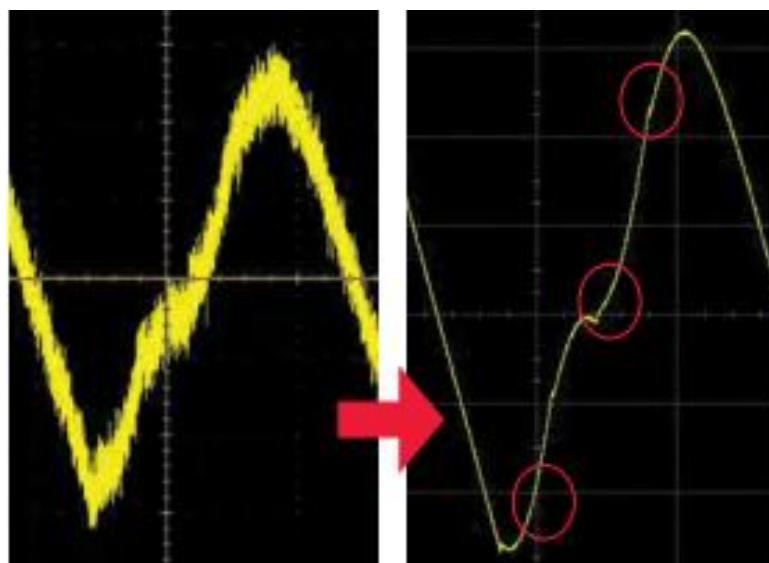


Рисунок 3.2 – Представлення режиму з усередненням, при якому деталізація зображення є більш докладнішою

Режим з високою роздільною здатністю. Режим з високою роздільною здатністю є ще одна форма усереднення. Однак замість усереднення по сигналах він усереднює по точкам. Фактично АЦП виробляє вибірку сигналу із запасом і спільно

усереднює значення по сусіднім точкам. У цьому режимі використовується алгоритм усереднення в режимі реального часу з вузькосмуговою фільтрацією, який дозволяє зменшити випадкові завади. Він також може сформувати більше число розрядів дозволу. Режим з високою роздільною здатністю не настільки ефективний в ослабленні випадкових завад, як режим збору даних з усередненням, однак у нього є ряд важливих переваг. З огляду на те, що режим з високою роздільною здатністю не залежить від кратності захоплення сигналів, його можна використовувати при роботі з неперіодичними сигналами і при нестабільних сигналах. Завдяки цьому для цілей стандартного налагодження режим з високою роздільною здатністю має значну перевагу перед режимом збору даних з усередненням. Висновок: режим з високою роздільною здатністю рекомендується використовувати для максимально можливого збільшення розрядності дозволу при виконанні налагодження періодичних і неперіодичних сигналів.

Режим збору даних з виявленням піків сигналу. Функції режиму збору даних з виявленням піків сигналу аналогічні функціям режиму з високою роздільною здатністю. АЦП виробляє вибірку сигналу з запасом і вибірково визначає, які точки будуть відображатися. Однак замість спільного усереднення цих точок в режимі з виявленням піків сигналу вибираються вища і нижча точки, які і наносяться на графік. Ця функція дає можливість проаналізувати будь – які точки незвично високого або низького рівня, які в іншому випадку були б не видно. Режим збору даних з виявленням піків сигналів найкраще використовувати для виявлення імпульсних завад або візуалізації дуже коротких імпульсів. Вказаний режим дозволяє проаналізувати будь – які точки незвично високого або низького рівня, які, як правило, не видно на екрані.

Правило 5. Для більш тонкого настроювання необхідно використовувати розширені умови запуску.

Для запуску існує набагато ширший вибір налаштувань, ніж в правилі 1.

Запуск за часом наростання або спаду. Для запуску за часом наростання або спаду виконується пошук переходу наростаючого або спадаючого фронту з одного рівня на інший протягом часу, що перевищує або що не перевищує певний інтервал.

Спрацьовування відбувається за сигналами, що змінюють стан занадто швидко або занадто повільно. Дану функцію запуску доцільно використовувати для перевірки наявності неузгодженості імпедансу або підключення до вимірювальної системи додаткового навантаження, в результаті чого надмірно збільшується тривалість фронтів.

Запуск за часом настроювання і утримання. Зазвичай використовується для запуску при порушеннях інтервалів настроювання і утримання. Запуск за часом настроювання і утримання використовується для будь – якого тактового сигналу і сигналу передачі даних. В одному каналі осцилографа вимірює тактовий сигнал, а в іншому – сигнал передачі даних. Час налаштування – це час, протягом якого перед фронтом тактового сигналу повинен бути присутнім певний рівень сигналу передачі даних. Час утримання – це час, протягом якого певний рівень сигналу передачі даних повинен бути присутнім після фронту тактового сигналу. Це важлива функція запуску, тому що у конструкціях на основі цифрових схем настроювання стану лінії передавання даних («0» або «1») повинне проводитися на протязі визначеного часу до появи фронту тактового сигналу. Необхідно задати умови запуску відповідно до зазначених вимог.

Запуск за протоколами. Сьогодні в багатьох осцилографах передбачена функція запуску за протоколами передачі даних. Це виключно корисна функція при роботі з послідовними шинами. Для всіх цих шин передбачена послідовність різних сигналів запуску (стан «Старт» (Start), стан «Стоп» (Stop), «Відсутність підтвердження» (Missing Ack), «Адреса без підтвердження» (Address with no Ack) і ряд інших) . Приклад протоколів передавання даних:

- аерокосмічна та оборонна промисловість ARINC 429, MIL–STD 1553 тощо;
- автомобільна промисловість CAN, I2 C, SPI тощо;
- комп'ютерні технології USB тощо.

При налагодженні можна почати з запуску команди «Старт», що забезпечить стабільну візуалізацію пакетів даних, що проходять, і можливість аналізу роботи системи. У разі отримання системних помилок або при бажанні підтвердити функціональність всіх каналів можна навіть перейти в режим запуску тільки при

наявності помилок. Це дозволить сконцентруватися тільки на тих проблемних ділянках і не витратити час на обробку сотень пакетів, що не містять помилок. Якщо в осцилографі встановлена сегментована пам'ять, її можна включити для безпосередньої фіксації помилок протягом дуже тривалого часу.

3.2 Проведення експериментів та обробка результатів вимірювань

Досліди 1.1, 1.2 і 1.3.

Вимірювання ефективного значення синусоїдального сигналу з установки ЛУ-5:

- мультиметр DT-838: $U_{\text{ef}} = 0,1 \text{ В} \dots 0,2 \text{ В}$;
- осцилограф C1-112A у режимі вимірювання напруги: $U_{\text{ef}} = 2 \text{ В}$;
- вольтметр імпульсний В4-17: $U_{\text{ef}} = 1,08 \text{ В}$.

Таблиця 3.1 – Результати вимірювання часових параметрів сигналів у дослідах 1.1, 1.2 і 1.3.

Частота сигналу f , кГц	Тип осцилографа								
	C1-93			C1-112A			DSO 138		
	Дослід 1.1			Дослід 1.2			Дослід 1.3		
1,24	Параметри сигналу за експериментальними даними								
	U_m , В	T , мс	f , кГц	U_m , В	T , мс	f , кГц	U_m , В	T , мс	f , кГц
	0,6	0,79	1,25	0,95	0,84	1,19	0,63	0,81	1,24

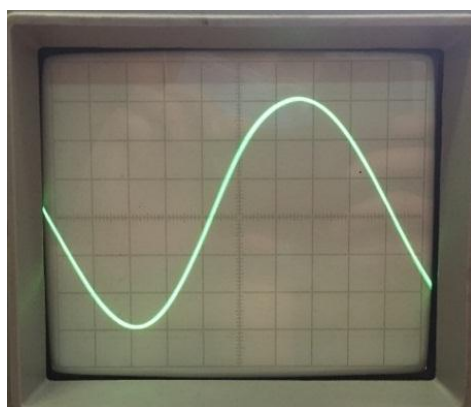
Аналіз результатів дослідів 1.1, 1.2 і 1.3. Амплітудне значення сигналу приймається рівним $U_m = 0,63 \text{ В}$ (покази DSO 138 як найбільш імовірні). Тоді похибки у визначенні амплітуди сигналу будуть дорівнювати значенням, показаним у табл. 3.2. Вимірювання приладами DT-838, C1-112A ефективного значення синусоїдального сигналу дають значну похибку і не можуть бути визнані дійсними.

За дійсний період синусоїдального сигналу приймається $T = 0,81$ мс. Тоді у визначенні періоду сигналу періоди будуть дорівнювати значенням, показаним у табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Похибки вимірювання параметрів сигналів у дослідах 1.1, 1.2 і 1.3.

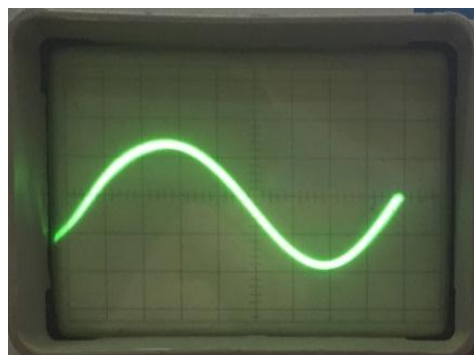
Тип осцилографа					
C1-93		C1-112A		DSO 138	
Дослід 1.1		Дослід 1.2		Дослід 1.3	
Похибки, що виникають при вимірюванні сигналу					
ΔU_m , В	ΔT , мс	ΔU_m , В	ΔT , мс	ΔU_m , В	ΔT , мс
-0,03	-0,02	0,32	0,03	0	0

Осцилограми дослідів 1.1, 1.2 і 1.3. показані на рисунках 3.3, 3.4 і 3.5.



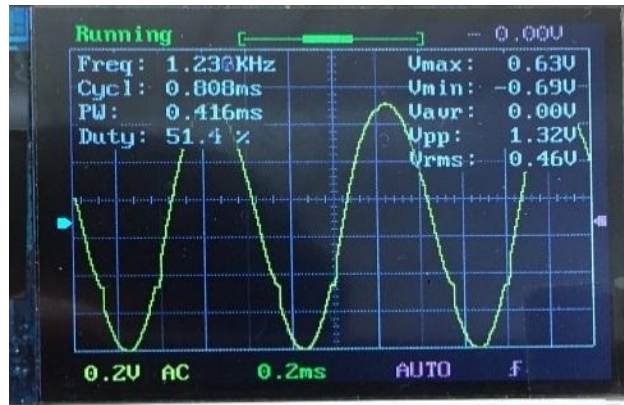
Дослід 1.1
Джерело сигналу:
ЛУ-5.
Форма сигналу:
синусоїдальна.
Тип осцилографа:
C1-93.

Рисунок 3.3 – Осцилограма дослідів 1.1



Дослід 1.2
Джерело сигналу:
ЛУ-5.
Форма сигналу:
синусоїдальна.
Тип осцилографа:
C1-112A.

Рисунок 3.4 – Осцилограма досліду 1.2



Дослід 1.3
 Джерело сигналу:
 ЛУ-5.
 Форма сигналу:
 синусоїдальна.
 Тип осцилографа:
 DSO 138

Рисунок 3.5 – Осцилограма досліду 1.3

Досліди 1.4 і 1.5.

В дослідях задіяні віртуальні генератори сигналів PA Tone та BEEPing App. Особливістю генератора PA Tone є те, що амплітуда сигналу не задається, але вона залежить від величини гучності сигналу, встановленому на смартфоні. В генераторі BEEPing App є можливість задання як частоти сигналу, так і амплітуди.

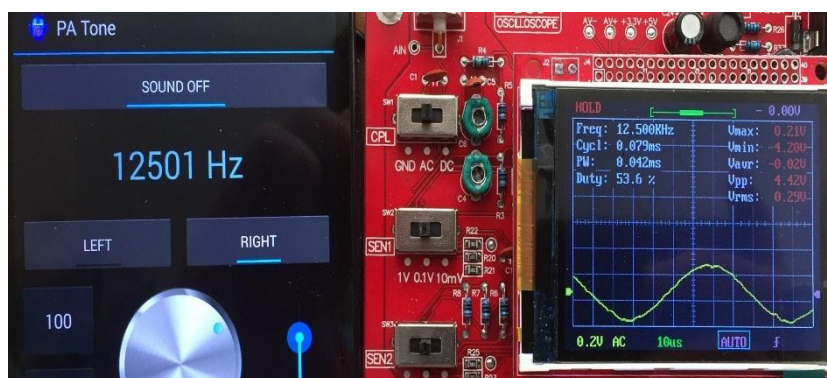
Аналіз результатів дослідів 1.4 і 1.5. При дослідях треба ретельно вибрати тип віртуального генератора. Необхідна щоб задавалася не тільки частота, а і амплітуда сигналу. При використанні генератора BEEPing App задавалася амплітуда сигналу 0,21 В а на осцилографі DSO 138 відображалася амплітуда 0,25 В. Генератор BEEPing App не точно формує значення амплітуду сигналу. Похибка складає 0,04 В. Частота синусоїдального сигналу при вимірюваннях на осцилографі DSO 138 і та що, задавалася PA Tone та BEEPing App, за значеннями повністю однакові.

Зображення синусоїди осцилографом DSO 138 є дуже чутким, але при виконанні досліду 1.4 візуальне визначення амплітуди склало 0,15 В, а індикація показала 0,21 В. Тому в експериментах завжди бажано вмикати режим відображення цифрових даних щодо одержуваного сигналу.

Таблиця 3.3 – Результати вимірювання часових параметрів сигналів у дослідах 1.4 і 1.5

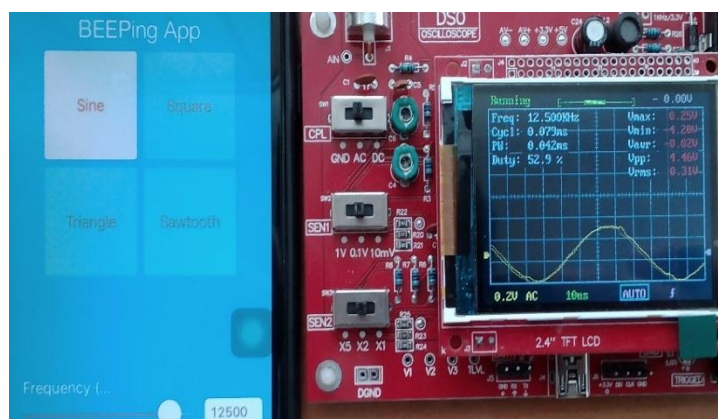
Частота сигналу f , кГц	Тип осцилографа					
	DSO 138			DSO 138		
	Дослід 1.4			Дослід 1.5		
Параметри сигналу за експериментальними даними						
	U_m , В	T , мс	f , кГц	U_m , В	T , мс	f , кГц
12,5	0,21	0,08	12,5	0,25	0,08	12,5

Осцилограми дослідів 1.4 і 1.5 показані на рисунках 3.6 і 3.7.



Дослід 1.4
 Джерело сигналу: PA Tone
 віртуальний генератор
 Параметри сигналу:
 $F = 12500$ Гц; $A = 0,15$ В.
 Форма сигналу:
 синусоїдальна
 Тип осцилографа: DSO 138
 Ціна поділок: 0,2 В/под; 10 мкс/под.

Рисунок 3.6 – Осцилограма дослідів 1.4



Дослід 1.5
 Джерело сигналу: BEEPing App
 віртуальний генератор
 Параметри сигналу:
 $F = 12500$ Гц; $A = 0,21$ В.
 Форма сигналу:
 синусоїдальна
 Тип осцилографа: DSO 138
 Ціна поділок: 0,2 В/под; 10 мкс/под.

Рисунок 3.7 – Осцилограма дослідів 1.5

Досліди 2.1, 2.2 і 2.3.

Дослід 2.1. До осцилографа С1-93 підключався сигнал від віртуального генератора РА Тоне. Параметри сигналу: форма сигналу меандр, частота 70 Гц.

На осцилографі С1-93 встановлені: чутливість каналу Y: 0,05 В/под; тривалість розгортки каналу X: 20 мкс/под. (рис. 3.8).

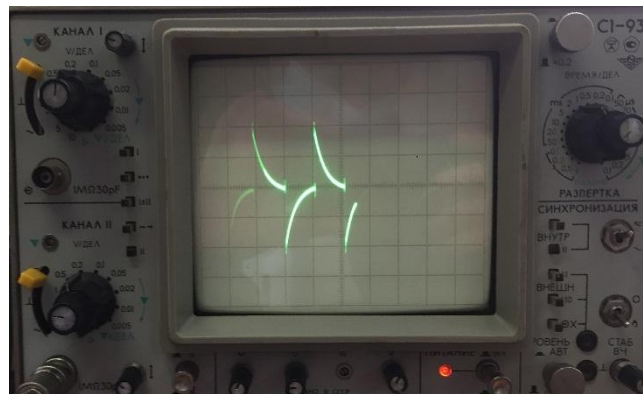


Рисунок 3.8 – Осцилограма дослід 2.1

Дослід 2.2. До осцилографа С1-112А підключався сигнал від віртуального генератора РА Тоне. Параметри сигналу: форма сигналу меандр, частота 70 Гц.

На осцилографі С1-112А встановлені: чутливість каналу Y: 0,2 В/под; тривалість розгортки каналу X: 2 мс/под. (рис. 3.9).



Рисунок 3.9 – Осцилограма дослід 2.2

Дослід 2.3. До осцилографа DSO 138 підключався сигнал від віртуального генератора PA Tone. Параметри сигналу: форма сигналу меандр, частота 70 Гц.

На осцилографі DSO 138 встановлені: чутливість каналу Y: 0,2 В/под; тривалість розгортки каналу X: 2 мс/под. (рис. 3.10).

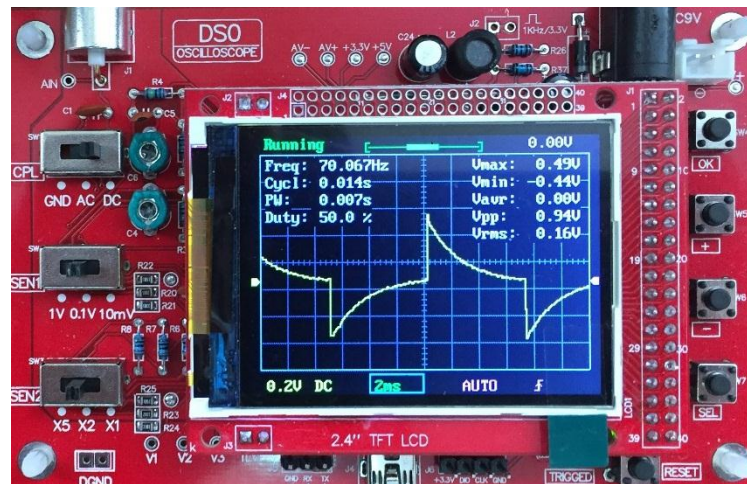


Рисунок 3.10 – Осцилограма досліду 2.3

Аналіз результатів дослідів 2.1, 2.2 і 2.3. Меандрові сигнали з частотою 70 Гц, що видавалися віртуальним генератором PA Tone на екрани осцилографів, мали дуже спотворені форми внаслідок достатньо низької частоти. Амплітудне значення зображення осцилографа DSO 138 дорівнює $U_m = 0,48$ В. Візуально визначені значення амплітуди сигналу: на осцилографі C1-112A $U_m = 0,44$ В, а на осцилографі C1-93 $U_m = 0,11$ В. Похибка у визначенні амплітуди на осцилографі C1-93 значна, що пов'язане з нечітким зображенням сигналу. При визначенні періоду сигналу на основі зображень періоди сигналів осцилографів C1-112A і DSO 138 майже співпали (14 мс і 14,4 мс відповідно), а період сигналу осцилографа C1-93 склав 42 мкс, тому що перед вимірюваннями частота не калібрувалася.

Досліди 3.1, 3.2 і 3.3.

Дослід 3.1. До осцилографа C1-93 підключався сигнал від віртуального генератора PA Tone. Параметри сигналу: форма сигналу меандр, частота 2700 Гц.

На осцилографі С1-93 встановлені: чутливість каналу Y: 0,05 В/под; тривалість розгортки каналу X: 20 мкс/под. (рис. 3.11).

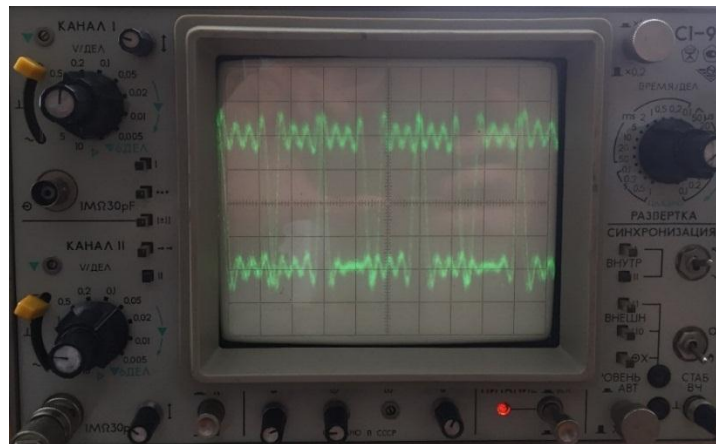


Рисунок 3.11 – Осцилограма досліду 3.1

Дослід 3.2. До осцилографа С1-112А підключався сигнал від віртуального генератора РА Tone. Параметри сигналу: форма сигналу меандр, частота 2700 Гц.

На осцилографі С1-112А встановлені: чутливість каналу Y: 0,1 В/под; тривалість розгортки каналу X: 2 мс/под. (рис. 3.12).

Візуально визначено: амплітуда $A = 2,6/2 \text{ под} \cdot 0,1 \text{ В/под} = 0,13 \text{ В}$.

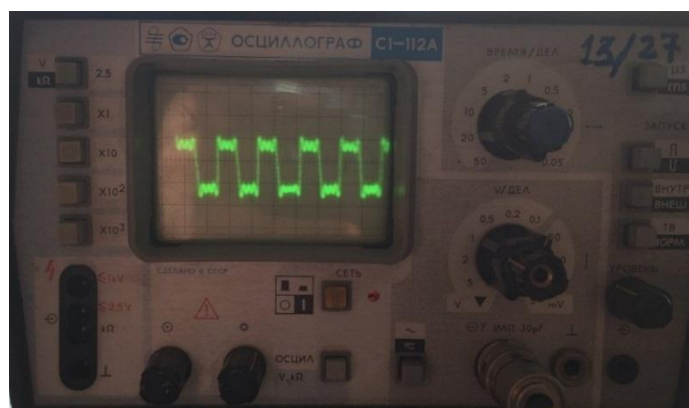


Рисунок 3.12 – Осцилограма досліду 3.2

Дослід 3.3. До осцилографа DSO 138 підключався сигнал від віртуального генератора РА Tone. Параметри сигналу: форма сигналу меандр, частота 2700 Гц.

На осцилографі DSO 138 встановлені: чутливість каналу Y: 0,1 В/под; тривалість розгортки каналу X: 0,2 мс/под. (рис. 3.13).

На екрані осцилографа показано:

$V_{max} = 0,17 \text{ В}$; $V_{rms} = 0,11 \text{ В}$; $\text{Cycle} = 0,369 \text{ мс}$; $F = 2700 \text{ Гц}$; $\text{Duty} = 49 \%$.

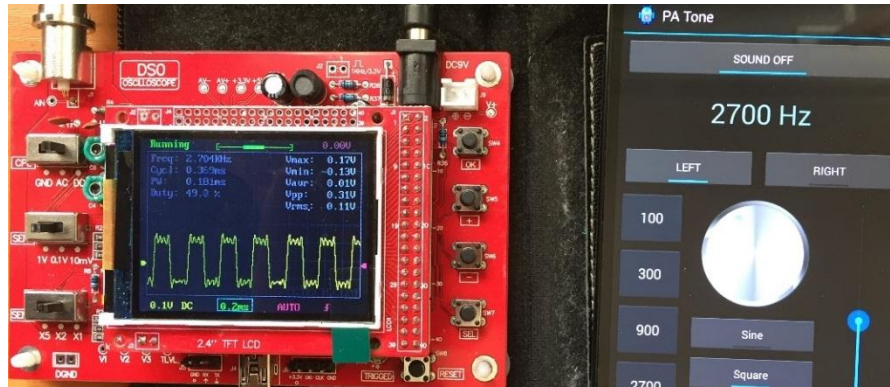


Рисунок 3.13 – Осцилограма досліду 3.3

Аналіз результатів дослідів 3.1, 3.2 і 3.3. Генератор імпульсів PA Tone видавав меандрові сигнали з частотою 2,7 кГц, з амплітудою приблизно 0,13 В. Форми сигналів С1-93, С1-112А і DSO 138 мають хвилеподібний вигляд у місцях горизонтальних ділянок з чітко вираженими викидами по краях ділянок. Особливо велика спотворення спостерігається у осцилографі С1-93. На осцилографі С1-112А частота становить 3,1 кГц, а на осцилографі С1-93 період сигналу і, відповідно, частоту становити неможливо внаслідок зміщення деяких імпульсів по часовій осі.

Досліди 4.1, 4.2 і 4.3.

На генераторі імпульсів Г5-54 встановлені: частота 3400 Гц, тривалість імпульсу 300 мкс, амплітуда $30 \text{ В} \cdot 0,03 = 0,9 \text{ В}$, з урахуванням гнізда 1: 10 отримуємо $0,09 \text{ В} = 90 \text{ мВ}$ (рис. 3.14). При цьому імпульсний вольтметр показує 142 мВ у межах 100 – 1000 мВ.

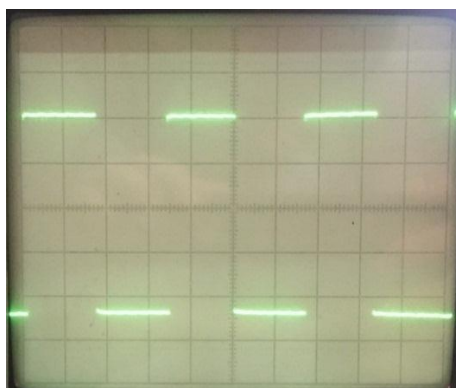


Рисунок 3.14 – Встановлені параметри сигналу на генераторі імпульсів Г5-54

Дослід 4.1. До осцилографа С1-93 підключався сигнал від генератора імпульсів Г5-54. Параметри сигналу: форма сигналу - послідовність прямокутних імпульсів, частота 3400 Гц, амплітуда 90 мВ.

На осцилографі С1-93 встановлені: чутливість каналу Y: 0,02 В/под; тривалість розгортки каналу X: 0,1 мс/под. (рис. 3.15).

Візуально визначено: амплітуда $A = 4,4 \text{ под} \cdot 0,02 \text{ В} = 0,088 \text{ В} = 88 \text{ мВ}$; період $T = 3,2 \text{ под} \cdot 0,1 \text{ мс/под} = 0,32 \text{ мс}$; частота $F = 1/0,32 = 3,125 \text{ кГц}$; тривалість імпульсу: $1,6 \text{ под} \cdot 0,1 \text{ мс/под} = 0,16 \text{ мс}$; тривалість паузи: $1,6 \text{ под} \cdot 0,1 \text{ мс/под} = 0,16 \text{ мс}$.



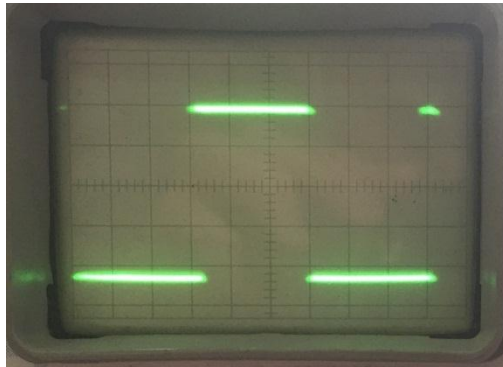
Дослід 4.1
 Джерело сигналу: Г5-54
 Параметри сигналу:
 $F = 3400 \text{ Гц}$; $A = 90 \text{ мВ}$
 Форма сигналу:
 послідовність прямокутних імпульсів
 Тип осцилографа: С1-93
 Ціна поділок: 0,02 В/под; 0,1 мс/под.

Рисунок 3.15 – Осцилограма досліду 4.1

Дослід 4.2. До осцилографа С1-112А підключався сигнал від генератора імпульсів Г5-54. Параметри сигналу: форма сигналу: послідовність прямокутних імпульсів, частота 3400 Гц, амплітуда 90 мВ.

На осцилографі С1-112А встановлені: чутливість каналу Y: 2 мВ/под; тривалість розгортки каналу X: 0,1 мс/под. (рис. 3.16).

Візуально визначено: амплітуда $A = 4,2 \text{ под} \cdot 20 \text{ мВ} = 84 \text{ мВ}$; період $T = 6 \text{ под} \cdot 0,1 \text{ мс/под} = 0,6 \text{ мс}$; частота $F = 1/0,36 = 1,67 \text{ кГц}$; тривалість імпульсу: $3,1 \text{ под} \cdot 0,1 \text{ мс} = 0,31 \text{ мс}$; тривалість паузи: $2,9 \text{ под} \cdot 0,1 \text{ мс} = 0,29 \text{ мс}$.



Дослід 4.2

Джерело сигналу: Г5-54

Параметри сигналу:

$F = 3400 \text{ Гц}$; $A = 90 \text{ мВ}$

Форма сигналу:

послідовність прямокутних імпульсів

Тип осцилографа: С1-112А

Ціна поділок: 20 мВ/под; 0,1 мс/под.

Рисунок 3.16 – Осцилограма дослідження 4.2

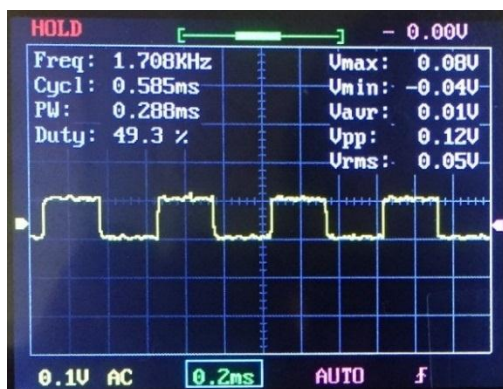
Дослід 4.3. До осцилографа DSO 138 підключався сигнал від генератора імпульсів Г5-54. Параметри сигналу: форма сигналу - послідовність прямокутних імпульсів, частота 3400 Гц, амплітуда 90 мВ.

На осцилографі DSO 138 встановлені: чутливість каналу Y: 0,1 мВ/под; тривалість розгортки каналу X: 0,2 мс/под. (рис. 3.17).

Візуально визначено: амплітуда $A = 0,08 \text{ В} = 80 \text{ мВ}$; період $T = 3 \text{ под} \cdot 0,2 \text{ мс/под} = 0,6 \text{ мс}$; $F = 1/0,24 = 1,67 \text{ кГц}$; тривалість імпульсу: $1,8 \text{ под} \cdot 0,2 \text{ мс/под} = 0,36 \text{ мс}$; тривалість паузи: $1,2 \text{ под} \cdot 0,2 \text{ мс/под} = 0,24 \text{ мс}$.

На екрані осцилографа показано:

$V_{\text{max}} = 0,08 \text{ В}$; $C_{\text{ycl}} = 0,58 \text{ мс}$; $F = 1,71 \text{ кГц}$; $Duty = 49,3 \%$



Дослід 4.3
 Джерело сигналу: Г5-54
 Параметри сигналу:
 $F = 3400$ Гц; $A = 90$ мВ
 Форма сигналу:
 послідовність прямокутних імпульсів
 Тип осцилографа: DSO 138
 Ціна поділок: 0,1 В/под; 0,2 мс/под.

Рисунок 3.17 – Осцилограма досліду 4.3

Зведені дані дослідів 4.1, 4.2 і 4.3 показані у табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Зведені результати вимірювання дослідів 4.1, 4.2 і 4.3.

Параметри сигналу	Джерело сигналу Г5-54	Осцилограф С1-93 (дослід 4.1)	Осцилограф С1-112А (дослід 4.2)	Осцилограф DSO 138 (дослід 4.3)
Амплітуда U_m , мВ	90	88	84	80
Період T , мс	0,3	0,32	0,6	0,585
Частота f , кГц	3,4	3,125	1,67	1,7

Аналіз результатів дослідів 4.1, 4.2 і 4.3. На основі аналізу результатів таблиці 3.4 можна зробити висновок, що результати дослідів 4.2 і 4.3 майже співпадають, а період і частота в досліді 4.1 вдвічі більше. Ці результати можна пояснити неправильним заданням параметрів імпульсів на генераторі Г5-54 (не витримано умова, що мінімальна шпаруватість імпульсів $Q_{\min} = 2$). Також може сказатися відсутність калібрування частоти у осцилографа С1-93. Усі осцилографи показують неспотворені форму послідовності прямокутних імпульсів.

Досліди 5.1, 5.2 і 5.3.

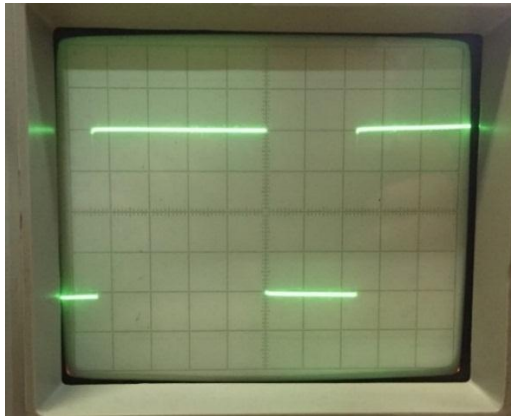
На прикладі генератора імпульсів Г5-54 встановлено: частота 10 кГц, тривалість імпульсу 200 мкс, амплітуда $30 \text{ В} \cdot 0,03 = 0,9 \text{ В}$, з урахуванням гнізда 1:10 отримуємо $0,09 \text{ В} = 90 \text{ мВ}$. Вольтметр імпульсний показує 131 мВ, в межах 100 – 1000 мВ.

Дослід 5.1. До осцилографа С1-93 підключався сигнал від генератора імпульсів Г5-54. Параметри сигналу: форма сигналу - послідовність прямокутних імпульсів, частота 10 кГц, амплітуда 90 мВ, тривалість імпульсу 200 мкс.

На осцилографі С1-93 встановлені: чутливість каналу Y: 0,02 В/под; тривалість розгортки каналу X: 20 мкс/под.

Візуально визначено: амплітуда $A = 4 \text{ под} \cdot 0,02 \text{ В} = 0,08 \text{ В} = 80 \text{ мВ}$; період $T = 6,7 \text{ под} \cdot 20 \text{ мкс/под} = 134 \text{ мкс}$; тривалість імпульсу: $4,4 \text{ под} \cdot 20 \text{ мкс/под} = 88 \text{ мкс}$; тривалість паузи: $2,3 \text{ под} \cdot 20 \text{ мкс/под} = 46 \text{ мкс}$.

Осцилограма досліду 5.1. показано на рисунку 3.18.



Дослід 5.1
Джерело сигналу: Г5-54.
Параметри сигналу:
 $F = 10 \text{ кГц}$; $A = 0,9 \text{ В}$.
Форма сигналу:
послідовність
прямокутних імпульсів.
Тип осцилографа: С1-93.
Ціна поділок: 0,02 В/под;
20 мкс/под.

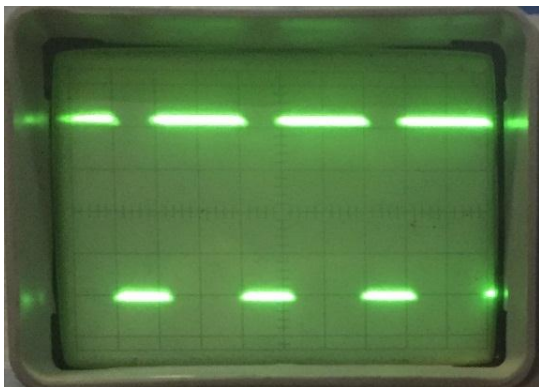
Рисунок 3.18 – Осцилограма досліду 5.1

Дослід 5.2. До осцилографа С1-112А підключався сигнал від генератора імпульсів Г5-54. Параметри сигналу: форма сигналу - послідовність прямокутних імпульсів, частота 10 кГц, амплітуда 90 мВ.

На осцилографі С1-112А встановлені: чутливість каналу Y: 20 мВ/под; тривалість розгортки каналу X: 0,1 мс/под.

Візуально визначено: амплітуда $A = 4,2 \text{ под} \cdot 20 \text{ мВ} = 84 \text{ мВ}$; період $T = 3,1 \text{ под} \cdot 0,1 \text{ мс/под} = 0,31 \text{ мс}$; частота $F = 1/0,31 = 3,22 \text{ кГц}$; тривалість імпульсу: $2,1 \text{ под} \cdot 0,1 \text{ мс} = 0,21 \text{ мс}$; тривалість паузи: $1 \text{ под} \cdot 0,1 \text{ мс} = 0,10 \text{ мс}$.

Осцилограма досліду 5.2. показана на рисунку 3.19.



Дослід 5.2

Джерело сигналу: Г5-54
 Параметри сигналу:
 $F = 10$ кГц; $A = 90$ мВ
 Форма сигналу:
 послідовність прямокутних імпульсів
 Тип осцилографа: С1-112А
 Ціна поділок: 20 мВ/под; 0,1 мс/под.

Рисунок 3.19 – Осцилограма досліду 5.2

Дослід 5.3. До осцилографа DSO 138 підключався сигнал від генератора імпульсів Г5-54. Параметри сигналу: форма сигналу - послідовність прямокутних імпульсів, частота 10 кГц, амплітуда 90 мВ.

На осцилографі DSO 138 встановлені: чутливість каналу Y: 0,1 мВ/под; тривалість розгортки каналу X: 0,1 мс/под.

Візуально визначено: амплітуда $A = 0,09$ В = 90 мВ; період $T = 2$ под $\cdot 0,1$ мс/под = 0,2 мс; частота $F = 1/0,3 = 3,33$ кГц; тривалість імпульсу: 1,8 под $\cdot 0,2$ мс/под = 0,36 мс; тривалість паузи: 1 под $\cdot 0,1$ мс/под = 0,1 мс.

На екрані осцилографа показано:

$V_{max} = 0,06$ В; $Cycl = 0,29$ мс; $F = 3,36$ кГц; $Duty = 63,6$ %

Осцилограма досліду 5.3. показано на рисунку 3.20.



Дослід 5.3

Джерело сигналу: Г5-54
 Параметри сигналу:
 $F = 10$ кГц; $A = 90$ мВ
 Форма сигналу:
 послідовність прямокутних імпульсів
 Тип осцилографа: DSO 138
 Ціна поділок: 0,1 В/под; 0,1 мс/под.

Рисунок 3.20 – Осцилограма досліду 5.3

Зведені дані дослідів 5.1, 5.2 і 5.3 показані у табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Зведені результати вимірювання дослідів 5.1, 5.2 і 5.3.

Параметри сигналу	Джерело сигналу Г5-54	Осцилограф С1-93 (дослід 5.1)	Осцилограф С1-112А (дослід 5.2)	Осцилограф DSO 138 (дослід 5.3)
Амплітуда U_m , мВ	90	80	84	90
Період T , мс	0,3	0,134	0,31	0,296
Частота f , кГц	3,34	7,46	3,22	3,367

Аналіз результатів дослідів 5.1, 5.2 і 5.3. Осцилограми осцилографів С1-93 і С1-112А показують неспотворену форму послідовності прямокутних імпульсів. Хвилеподібні коливання спостерігаються на горизонтальних ділянках з розкидом до піку до піку $U_{pp}=0,13$ В, що складає 3,7 % від амплітудного значення. При експерименті на генераторі Г5-54 був становлений період 0,1 мс, а тривалість імпульсу 0,2 мс, що відповідає значенню шпаруватості 0,5. Була порушена умова правильної роботи генератора ($Q_{min}=2$). Спрацювала захисна функція генератора і тривалість імпульсу була взята за вихідне значення ($T_{imp}=0,2$ мс), а тривалість паузи ($T_p=0,1$ мс) відповідно мінімальні шпаруватості. Тоді період склав $T=0,3$ мкс, а частота $F=3,34$ кГц. Неправильні покази часових параметрів імпульсів в осцилографі С1-93 пояснюються відсутністю калібрування частоти.

Досліди 6.1, 6.2 і 6.3.

Дослід 6.1. До осцилографа С1-93 підключався сигнал від генератора імпульсів Г5-54. Параметри сигналу: частота 10 кГц.

На осцилографі С1-93 встановлені: чутливість каналу Y : 0,05 В/под; тривалість розгортки каналу X : 20 мкс/под (рис. 3.21).

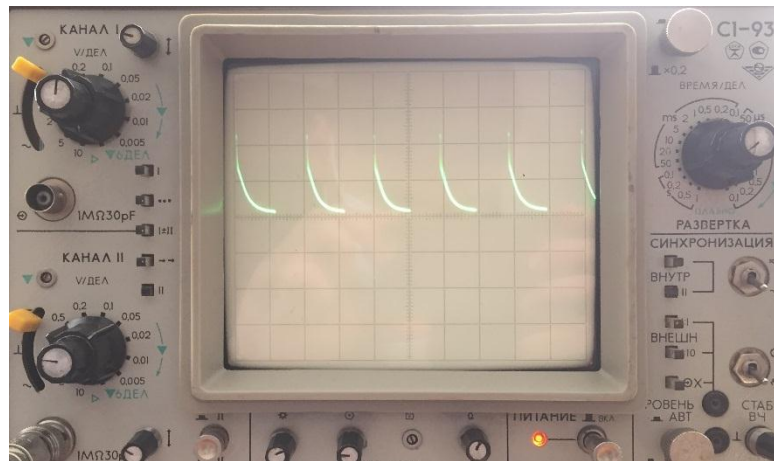


Рисунок 3.21 – Осцилограма досліду 6.1

Дослід 6.2. До осцилографа С1–112А підключався сигнал від генератора імпульсів Г5-54. Параметри сигналу: частота 10 кГц.

На осцилографі С1–112А встановлені: чутливість каналу Y: 0,1 В/под; тривалість розгортки каналу X: 0,05 мс/под (рис. 3.22).



Рисунок 3.22 – Осцилограма досліду 6.2

Дослід 6.3. До осцилографа DSO 138 підключався сигнал від генератора імпульсів Г5-54. Параметри сигналу: частота 10 кГц.

На осцилографі DSO 138 встановлені: чутливість каналу Y: 2 В/под; тривалість розгортки каналу X: 50 мкс/под (рис. 3.23).

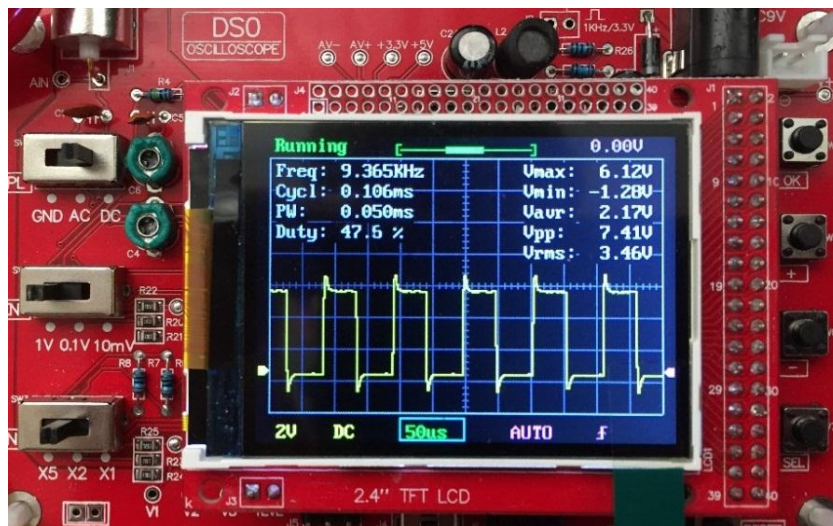


Рисунок 3.23 – Осцилограма досліду 6.3

Аналіз результатів дослідів 6.1, 6.2 і 6.3. Генератор сигналів Г5-54 видавав послідовності прямокутних імпульсів з частотою 10 кГц. На осцилограмах осцилографів С1-93, С1-112А і DSO 138 форми сигналу були спотворені. Осцилографи С1-93 і С1-112А згладжували прямокутних кути імпульсів, але згладжування відбувалося по різному, що пов'язано з різними схемами осцилографів. В осцилограмі DSO 138 спостерігалася викиди в місцях фронтів і спадів імпульсів, що пов'язано з обмеженням кількості гармонічних складових ряду Фур'є при витворенні сигналів.

Досліди 7.1, 7.2 і 7.3.

Зовнішній вигляд установки OpAmp показані на рис. 3.24.

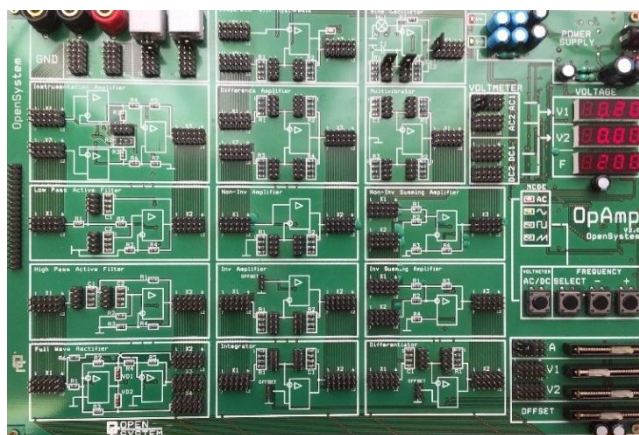


Рисунок 3.24 – Зовнішній вигляд установки OpAmp

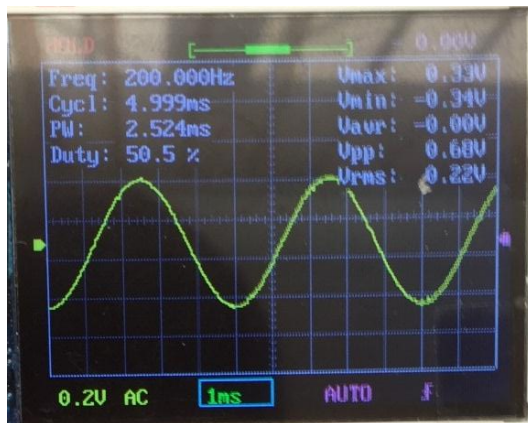
Дослід 7.1. До осцилографа DSO 138 підключався сигнал від установки ОрАмр. Параметри сигналу: форма сигналу синусоїдальна, частота 200 Гц, ефективне значення напруги 0,22 В.

На осцилографі DSO 138 встановлені: чутливість каналу Y: 0,2 В/под; тривалість розгортки каналу X: 1 мс/под (рис. 3.25).

Візуально визначено: амплітуда $A = 3,1 \cdot 0,2/2 = 0,31$ В; частота $F = 200$ Гц; період $T = 5$ под $\cdot 1$ мс/под = 5 мс.

На екрані осцилографа показано:

$V_{max} = 0,33$ В; $V_{min} = -0,31$ В; Cycle = 5 мс; $F = 200$ Гц; Duty = 50,5 %.



Дослід 7.1
Джерело сигналу: ОрАмр.
Параметри сигналу:
 $F = 200$ Гц; $A = 0,22$ В.
Форма сигналу:
синусоїдальна
Тип осцилографа: DSO138.
Ціна поділок: 0,2 В/под;
1 мс/под.

Рисунок 3.25 – Осцилограма досліду 7.1

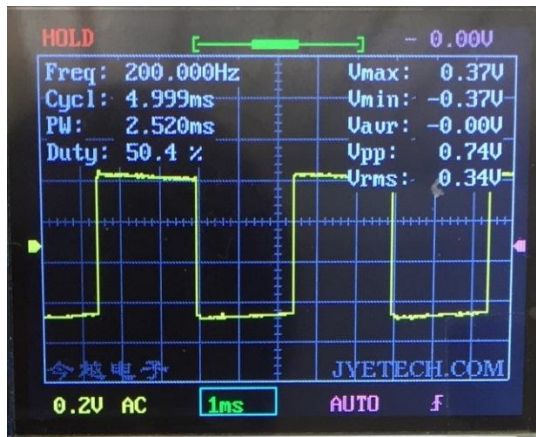
Дослід 7.2. До осцилографа DSO 138 підключався сигнал від установки ОрАмр. Параметри сигналу: форма сигналу меандр, частота 200 Гц, ефективне значення напруги 0,37 В.

На осцилографі DSO 138 встановлені: чутливість каналу Y: 0,2 В/под; тривалість розгортки каналу X: 1 мс/под (рис. 3.26).

Візуально визначено: амплітуда $A = 3,3 \cdot 0,2/2 = 0,33$ В; частота $F = 200$ Гц; період $T = 5$ под $\cdot 1$ мс/под = 5 мс.

На екрані осцилографа показано:

$V_{max} = 0,37$ В; $V_{rms} = 0,34$ В; Cycle = 5 мс; $F = 200$ Гц; Duty = 50,4 %.



Дослід 7.2

Джерело сигналу: OpAmp.

Параметри сигналу:

F= 200 Гц; A= 0,37 В.

Форма сигналу:

меандр

Тип осцилографа: DSO138.

Ціна поділок: 0,2 В/под;

1 мс/под.

Рисунок 3.26 – Осцилограма досліду 7.2

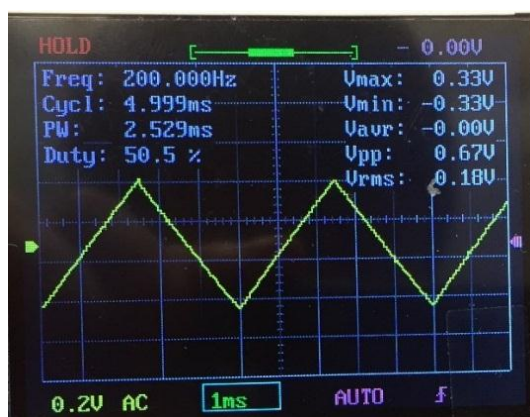
Дослід 7.3. До осцилографа DSO 138 підключався сигнал від установки OpAmp. Параметри сигналу: форма сигналу трикутна, частота 200 Гц, ефективне значення напруги 0,17 В.

На осцилографі DSO 138 встановлені: чутливість каналу Y: 0,2 В/под; тривалість розгортки каналу X: 1 мс/под. (рис. 3.27).

Візуально визначено: амплітуда $A = 3,1 \cdot 0,2/2 = 0,31$ В; частота $F = 200$ Гц; період $T = 5$ под $\cdot 1$ мс/под = 5 мс.

На екрані осцилографа показано:

$V_{max} = 0,33$ В; $V_{rms} = 0,18$ В; Cycle = 5 мс; F = 200 Гц; Duty = 50,5 %.



Дослід 7.3

Джерело сигналу: OpAmp.

Параметри сигналу:

F= 200 Гц; A= 0,17 В.

Форма сигналу:

трикутна.

Тип осцилографа: DSO138.

Ціна поділок: 0,2 В/под;

1 мс/под.

Рисунок 3.27 – Осцилограма досліду 7.3

Зведені дані дослідів 7.1, 7.2 і 7.3 показані у табл. 3.6.

Таблиця 3.6 – Зведені результати вимірювань дослідів 7.1, 7.2 і 7.3.

Параметри вхідного сигналу	Осцилограф DSO 138 (дослід 7.1)	Осцилограф DSO 138 (дослід 7.2)	Осцилограф DSO 138 (дослід 7.3)
Ефективне значення напруги U_{ef} , В	0,22	0,37	0,17
Форма сигналу	Синусоїдальна	Меандрова	Трикутна симетрична
Амплітудна значення напруги U_m , В	$0,22 \cdot 1,41 = 0,31$	$0,37 \cdot 1 = 0,37$	$0,17 \cdot 1,73 = 0,29$
Різниця між заданим амплітудним значенням вхідного сигналу і показами осцилографа, В	0,01	0,00	0,04
Частота f , кГц	200	200	200

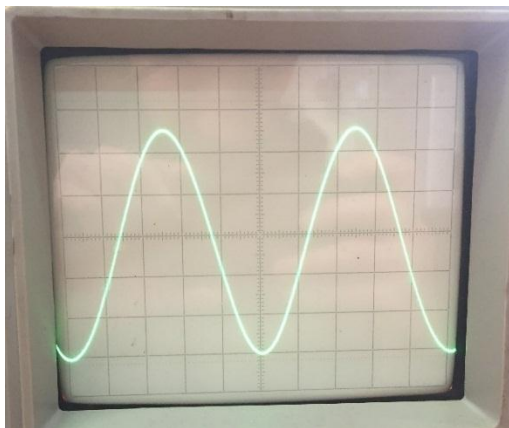
Аналіз результатів дослідів 7.1, 7.2 і 7.3. Сигнали типу синусоїда, меандр і трикутник симетричний двополярний, з частотою 200 Гц подавалися на осцилограф DSO 138 від установки OpAmp. Осцилограф майже не спотворює форми сигналів, похибки амплітудних значень сигналів незначні (див. табл. 3.5).

Досліди 8.1, 8.2 і 8.3.

Дослід 8.1. До осцилографа С1-93 підключався сигнал від установки OpAmp. Параметри сигналу: форма сигналу синусоїдальна, частота 200 Гц, ефективне значення напруги 0,22 В.

На осцилографі С1-93 встановлені: чутливість каналу Y: 0,1 В/под; тривалість розгортки каналу X: 1 мс/под (рис. 3.28).

Візуально визначено: амплітуда $A = 5,55/2 \text{ под} \cdot 0,1 \text{ В/под} = 0,275 \text{ В}$; період $T = 5 \text{ под} \cdot 1 \text{ мс/под} = 5 \text{ мс}$; частота $F = 200 \text{ Гц}$.



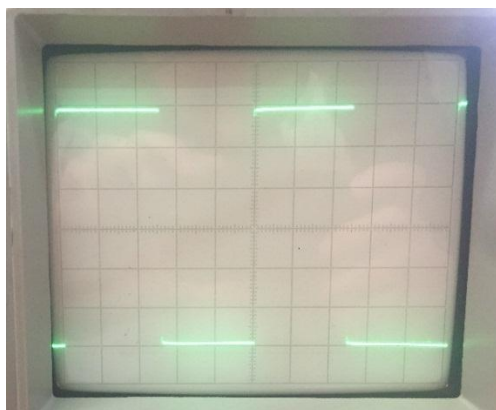
Дослід 8.1
 Джерело сигналу:
 ОрАмр.
 Параметри сигналу:
 $F = 200$ Гц; $A = 0,22$ В.
 Форма сигналу:
 синусоїдальна.
 Тип осцилографа: С1-93.
 Ціна поділок: $0,1$ В/под;
 1 мс/под.

Рисунок 3.28 – Осцилограма досліду 8.1

Дослід 8.2. До осцилографа С1-93 підключався сигнал від установки ОрАмр.
 Параметри сигналу: форма сигналу меандр, частота 200 Гц, ефективне значення
 напруги $0,37$ В.

На осцилографі С1-93 встановлені: чутливість каналу Y: $0,1$ В/под; тривалість
 розгортки каналу X: 1 мс/под. (рис. 3.29).

Візуально визначено: амплітуда $A = 5,9/2$ под $\cdot 0,1$ В/под = $0,295$ В; період
 $T = 5$ под $\cdot 1$ мс/под = 5 мс; частота $F = 200$ Гц.



Дослід 8.2
 Джерело сигналу: ОрАмр.
 Параметри сигналу:
 $F = 200$ Гц; $A = 0,37$ В.
 Форма сигналу:
 меандр.
 Тип осцилографа: С1-93.
 Ціна поділок: $0,1$ В/под;
 1 мс/под.

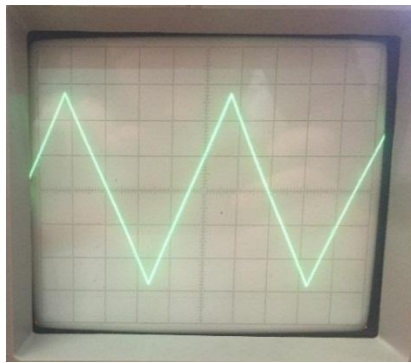
Рисунок 3.29 – Осцилограма досліду 8.2

Дослід 8.3. До осцилографа С1-93 підключався сигнал від установки ОрАмр.
 Параметри сигналу: форма сигналу трикутна, частота 200 Гц, ефективне значення
 напруги $0,17$ В.

На осцилографі С1-93 встановлені: чутливість каналу Y: 0,1 В/под; тривалість розгортки каналу X: 1 мс/под. (рис. 3.30).

Візуально визначено: амплітуда $A = 5,55/2 \text{ под} \cdot 0,1 \text{ В/под} = 0,275 \text{ В}$; частота $F = 200 \text{ Гц}$; період $T = 5 \text{ под} \cdot 1 \text{ мс/под} = 5 \text{ мс}$.

На приладі OpAmp встановлено: частота 200 Гц, амплітуда 0,17 В.



Дослід 8.3
 Джерело сигналу: OpAmp.
 Параметри сигналу:
 $F = 200 \text{ Гц}$; $A = 0,17 \text{ В}$.
 Форма сигналу:
 трикутна.
 Тип осцилографа: С1-93.
 Ціна поділок: 0,1 В/под;
 1 мс/под.

Рисунок 3.30 – Осцилограма досліду 8.3

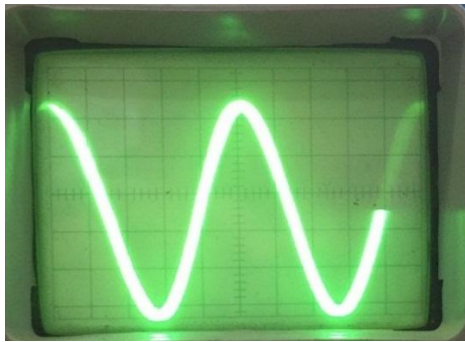
Аналіз результатів дослідів 8.1, 8.2 і 8.3. Сигнали типу синусоїда, меандр і трикутник симетричний двополярний, з частотою 200 Гц подавалися на осцилограф С1-93 від установки OpAmp. Сигнали осцилографа не спотворюють форми сигналів, похибки амплітудних значень сигналів складають: 11,3 % (дослід 8.1), 4,8 % (дослід 8.2), 11,3 % (дослід 8.3). Форми сигналів на екранах відображаються чітко.

Досліди 9.1, 9.2 і 9.3.

Дослід 9.1. До осцилографа С1-112А підключався сигнал від установки OpAmp. Параметри сигналу: форма сигналу синусоїдальна, частота 100 Гц, ефективне значення напруги 0,22 В.

На осцилографі С1-112А встановлені: чутливість каналу Y: 0,1 В/под; тривалість розгортки каналу X: 2 мс/под (рис. 3.31).

Візуально визначено: амплітуда $A = 5,4/2 \text{ под} \cdot 0,1 \text{ В/под} = 0,27 \text{ В}$; частота $F = 100 \text{ Гц}$; період $T = 5 \text{ под} \cdot 2 \text{ мс/под} = 10 \text{ мс}$.



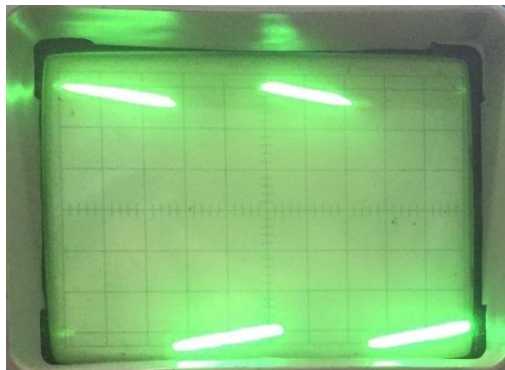
Дослід 9.1
 Джерело сигналу: ОрАмр.
 Параметри сигналу:
 $F = 100$ Гц; $A = 0,22$ В.
 Форма сигналу:
 синусоїдальна.
 Тип осцилографа: С1-112А.
 Ціна поділок: $0,1$ В/под;
 2 мс/под.

Рисунок 3.31 – Осцилограма досліду 9.1

Дослід 9.2. До осцилографа С1-112А підключався сигнал від установки ОрАмр. Параметри сигналу: форма сигналу меандр, частота 100 Гц, ефективне значення напруги $0,37$ В.

На осцилографі С1-112А встановлені: чутливість каналу Y : $0,1$ В/под; тривалість розгортки каналу X : 2 мс/под. (рис. 3.32).

Візуально визначено: амплітуда $A = 6$ под/2 $\cdot 0,1$ В/под = $0,3$ В; частота $F = 100$ Гц; період $T = 5$ под $\cdot 2$ мс/под = 10 мс.



Дослід 9.2
 Джерело сигналу: ОрАмр.
 Параметри сигналу:
 $F = 100$ Гц; $A = 0,37$ В.
 Форма сигналу:
 меандр.
 Тип осцилографа: С1-112А.
 Ціна поділок: $0,1$ В/под;
 2 мс/под.

Рисунок 3.32 – Осцилограма досліду 9.2

Дослід 9.3. До осцилографа С1-112А підключався сигнал від установки ОрАмр. Параметри сигналу: форма сигналу трикутна, частота 100 Гц, ефективне значення напруги $0,17$ В.

На осцилографі С1-112А встановлені: чутливість каналу Y: 0,1 В/под; тривалість розгортки каналу X: 2 мс/под. (рис. 3.33).

Візуально визначено: амплітуда $A = 5,9/2 \text{ под} \cdot 0,1 \text{ В/под} = 0,295 \text{ В}$; частота $F = 100 \text{ Гц}$; період $T = 5 \text{ под} \cdot 2 \text{ мс/под} = 10 \text{ мс}$.

На приладі операційного підсилювача OpAmp встановлено: частота 100 Гц, ефективне значення напруги 0,17 В.



Дослід 9.3
Джерело сигналу: OpAmp.
Параметри сигналу:
 $F = 100 \text{ Гц}$; $A = 0,17 \text{ В}$.
Форма сигналу:
трикутна.
Тип осцилографа: С1-112А.
Ціна поділок: 0,1 В/под;
2 мс/под.

Рисунок 3.33 – Осцилограма дослідження 9.3

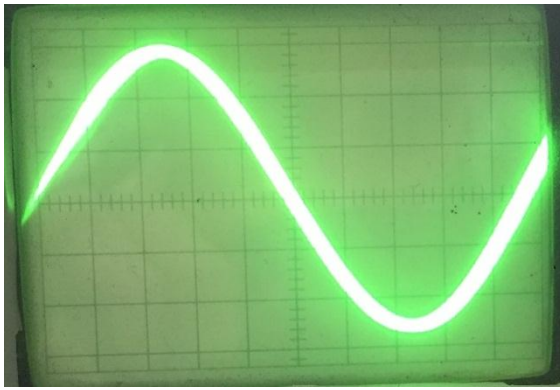
Аналіз результатів дослідів 9.1, 9.2 і 9.3. Сигнали типу синусоїда, меандр і трикутник симетричний двополярний, з частотою 100 Гц подавалися на осцилограф С1-112А від установки OpAmp. Сигнали осцилографа не спотворюють форми сигналів, похибки амплітудних значень сигналів складають: 11,3 % (дослід 9.1), 4,8 % (дослід 9.2) і 11,3 % (дослід 9.3). Форми сигналів на екранах відображаються чітко. Визначення на осцилограмах періоду відповідає заданій частоті.

Досліди 10.1, 10.2 і 10.3.

Дослід 10.1. До осцилографа С1-112А підключався сигнал від установки OpAmp. Параметри сигналу: форма сигналу синусоїдальна, частота 100 кГц, ефективне значення напруги 0,21 В.

На осцилографі С1-112 встановлені: чутливість каналу Y: 0,1 В/под; тривалість розгортки каналу X: 1 мкс/под. (рис. 3.34).

Візуально визначено: амплітуда $A = 5,85/2 \text{ под} \cdot 0,1 \text{ В/под} = 0,292 \text{ В}$; період $T = 10 \text{ под} \cdot 1 \text{ мкс/под} = 10 \text{ мкс}$.



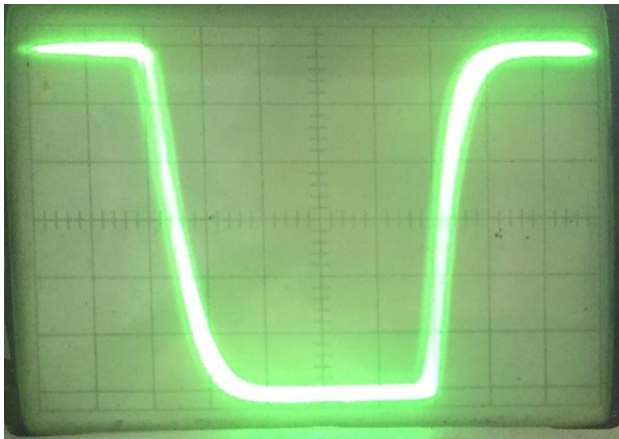
Дослід 10.1
 Джерело сигналу: ОрАмр.
 Параметри сигналу:
 $F = 100$ кГц; $U_{\text{еф}} = 0,21$ В.
 Форма сигналу:
 синусоїдальна.
 Тип осцилографа: С1-112А.
 Ціна поділок: $0,1$ В/под;
 1 мкс/под.

Рисунок 3.34 – Осцилограма досліду 10.1

Дослід 10.2. До осцилографа С1-112А підключався сигнал від установки ОрАмр. Параметри сигналу: форма сигналу меандр, частота 100 кГц, ефективне значення напруги $0,32$ В.

На осцилографі С1-112А встановлені: чутливість каналу Y: $0,1$ В/под; тривалість розгортки каналу X: 1 мкс/под. (рис. 3.35).

Візуально визначено: амплітуда $A = 6,1/2$ под $\cdot 0,1$ В/под = $0,305$ В; період $T = 10$ под $\cdot 1$ мкс/под = 10 мкс.



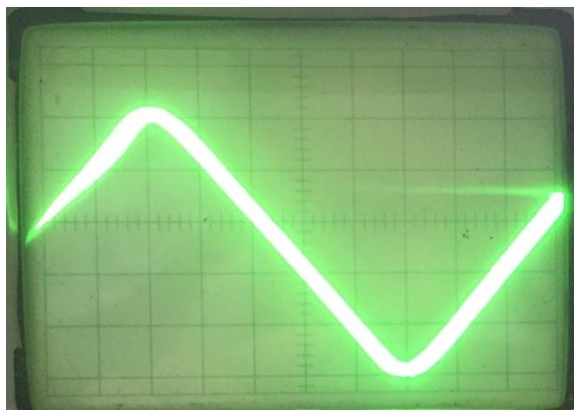
Дослід 10.2
 Джерело сигналу: ОрАмр.
 Параметри сигналу:
 $F = 100$ кГц; $U_{\text{еф}} = 0,32$ В.
 Форма сигналу:
 меандр.
 Тип осцилографа: С1-112А.
 Ціна поділок: $0,1$ В/под;
 1 мкс/под.

Рисунок 3.35 – Осцилограма досліду 10.2

Дослід 10.3. До осцилографа С1-112А підключався сигнал від установки ОрАмр. Параметри сигналу: форма сигналу трикутна, частота 100 кГц, ефективне значення напруги $0,16$ В.

На осцилографі С1-112А встановлені: чутливість каналу Y: 0,1 В/под; тривалість розгортки каналу X: 1 мкс/под. (рис. 3.36).

Візуально визначено: амплітуда $A = 5,7/2 \text{ под} \cdot 0,1 \text{ В/под} = 0,255 \text{ В}$; період $T = 10 \text{ под} \cdot 1 \text{ мкс/под} = 10 \text{ мкс}$.



Дослід 10.3
 Джерело сигналу: OpAmp.
 Параметри сигналу:
 $F = 100 \text{ кГц}$; $U_{\text{эф}} = 0,16 \text{ В}$.
 Форма сигналу:
 трикутна.
 Тип осцилографа: С1-112А.
 Ціна поділок: 0,1 В/под;
 1 мкс/под.

Рисунок 3.36 – Осцилограма дослідження 10.3

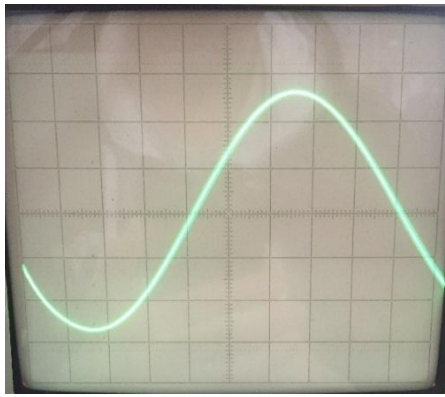
Аналіз результатів дослідів 10.1, 10.2 і 10.3. Сигнали типу синусоїда, меандр і трикутник симетричний двополярний з частотою 100 кГц подавалися на осцилограф С1-112А від установки OpAmp. Сигнали осцилографа не спотворюють форми сигналів, похибки амплітудних значень сигналів складають: 3,55 % (дослід 10.1), 4,69 % (дослід 10.2) і 7,94 % (дослід 10.3). Форми сигналів на екранах відображаються чітко. Визначення на осцилограмах періоду відповідає заданій частоті.

Досліди 11.1, 11.2 і 11.3.

Дослід 11.1. До осцилографа С1-93 підключався сигнал від установки OpAmp. Параметри сигналу: форма сигналу синусоїдальна, частота 100 кГц, ефективне значення напруги 0,21 В.

На осцилографі С1-93 встановлені: чутливість каналу Y: 0,1 В/под; тривалість розгортки каналу X: 1 мкс/под (рис. 3.37).

Візуально визначено: амплітуда $A = 5,4/2 \text{ под} \cdot 0,1 \text{ В/под} = 0,27 \text{ В}$; період $T = 10 \text{ под} \cdot 1 \text{ мкс/под} = 10 \text{ мкс}$.



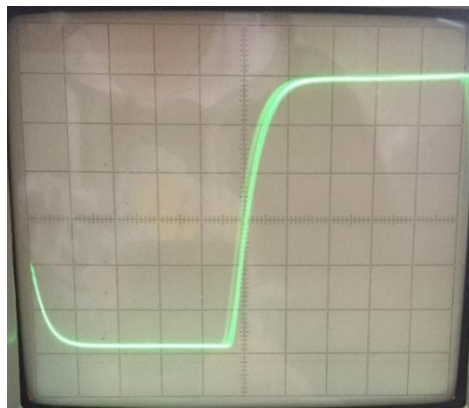
Дослід 11.1
 Джерело сигналу: ОрАмр.
 Параметри сигналу:
 $F = 100$ кГц; $U_{\text{еф}} = 0,21$ В.
 Форма сигналу:
 синусоїдальна.
 Тип осцилографа: С1-93.
 Ціна поділок: $0,1$ В/под;
 1 мкс/под.

Рисунок 3.37 – Осцилограма дослід 11.1

Дослід 11.2. До осцилографа С1-93 підключався сигнал від установки ОрАмр. Параметри сигналу: форма сигналу меандр, частота 100 кГц, ефективне значення напруги $0,32$ В.

На осцилографі С1-93 встановлені: чутливість каналу Y: $0,1$ В/под; тривалість розгортки каналу X: 1 мкс/под. (на рис. 3.38).

Візуально визначено: амплітуда $A = 5,85/2$ под $\cdot 0,1$ В/под = $0,292$ В; період $T = 9,9$ под $\cdot 1$ мкс/под = $9,9$ мкс.



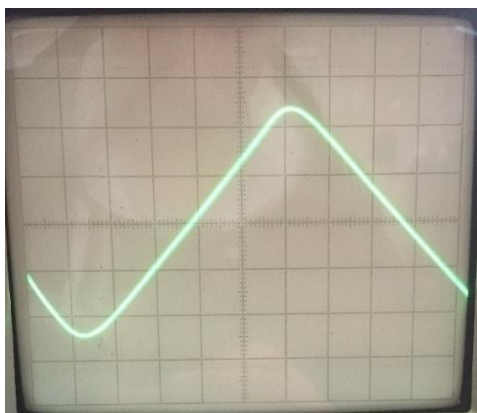
Дослід 11.2
 Джерело сигналу: ОрАмр.
 Параметри сигналу:
 $F = 100$ кГц; $U_{\text{еф}} = 0,32$ В.
 Форма сигналу:
 меандр.
 Тип осцилографа: С1-93.
 Ціна поділок: $0,1$ В/под;
 1 мкс/под.

Рисунок 3.38 – Осцилограма дослід 11.2

Дослід 11.3. До осцилографа С1-93 підключався сигнал від установки ОрАмр. Параметри сигналу: форма сигналу трикутна, частота 100 кГц, ефективне значення напруги $0,16$ В.

На осцилографі С1-93 встановлені: чутливість каналу Y: $0,1$ В/под; тривалість розгортки каналу X: 1 мкс/под (на рис. 3.39).

Візуально визначено: амплітуда $A = 5,8/2 \text{ под} \cdot 0,1 \text{ В/под} = 0,29 \text{ В}$; період $T = 10 \text{ под} \cdot 1 \text{ мкс/под} = 10 \text{ мкс}$.



Дослід 11.3
 Джерело сигналу: OpAmp.
 Параметри сигналу:
 $F = 100 \text{ кГц}$; $U_{\text{ef}} = 0,16 \text{ В}$.
 Форма сигналу:
 трикутна.
 Тип осцилографа: С1-93.
 Ціна поділок: $0,1 \text{ В/под}$;
 1 мкс/под .

Рисунок 3.39 – Осцилограма дослідження 11.3

Аналіз результатів дослідів 11.1, 11.2 і 11.3. Сигнали типу синусоїда, меандр і трикутник симетричний двополярний з частотою 100 кГц подавалися на осцилограф С1-93 від установки OpAmp. Сигнали осцилографа не спотворюють форми сигналів, похибки амплітудних значень сигналів складають: $8,78 \%$ (дослід 11.1), $8,75 \%$ (дослід 11.2) і $4,69 \%$ (дослід 11.3). Форми сигналів на екранах відображаються чітко. Визначення на осцилограмах періоду відповідає заданій частоті.

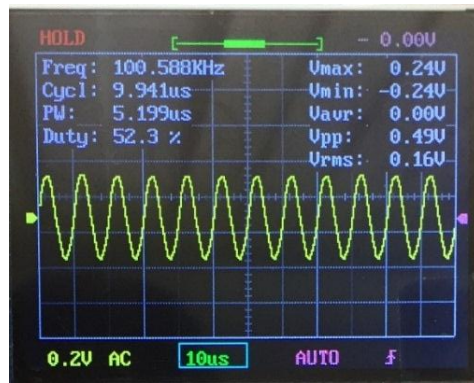
Досліди 12.1, 12.2 і 12.3

Дослід 12.1. До осцилографа DSO 138 підключався сигнал від установки OpAmp. Параметри сигналу: форма сигналу синусоїдальна, частота 100 кГц , ефективне значення напруги $0,21 \text{ В}$.

На осцилографі DSO 138 встановлені: чутливість каналу Y: $0,2 \text{ В/под}$; тривалість розгортки каналу X: 10 мкс/под (рис. 3.40).

На екрані осцилографа показано:

$V_{\text{max}} = 0,24 \text{ В}$; $V_{\text{rms}} = 0,16 \text{ В}$; Cycle = $9,940 \text{ мкс}$; $F = 100,6 \text{ кГц}$; Duty = $52,3 \%$.



Дослід 12.1
 Джерело сигналу: OpAmp.
 Параметри сигналу:
 $F = 100$ кГц; $U_{\text{еф}} = 0,21$ В.
 Форма сигналу:
 синусоїдальна.
 Тип осцилографа: DSO 138.
 Ціна поділок: 0,2 В/под;
 10 мкс/под.

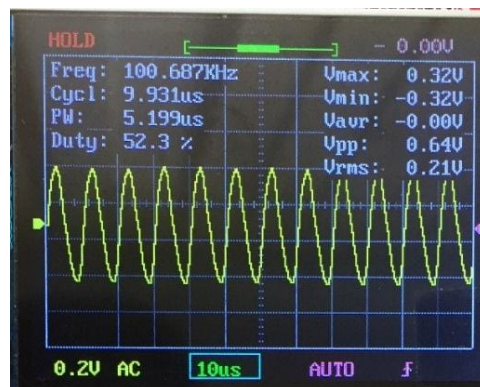
Рисунок 3.40 – Осцилограма дослід 12.1

Дослід 12.2. До осцилографа DSO 138 підключався сигнал від установки OpAmp. Параметри сигналу: форма сигналу меандр, частота 100 кГц, ефективне значення напруги 0,32 В.

На осцилографі DSO 138 встановлені: чутливість каналу Y: 0,2 В/под; тривалість розгортки каналу X: 10 мкс/под. (рис. 3.41).

На екрані осцилографа показано:

$V_{\text{max}} = 0,32$ В; $V_{\text{rms}} = 0,21$ В; Cycle = 9,93 мкс; $F = 100,69$ кГц; Duty = 52,3 %.



Дослід 12.2
 Джерело сигналу: OpAmp.
 Параметри сигналу:
 $F = 100$ кГц; $U_{\text{еф}} = 0,32$ В.
 Форма сигналу:
 меандр.
 Тип осцилографа: DSO 138.
 Ціна поділок: 0,2 В/под;
 10 мкс/под.

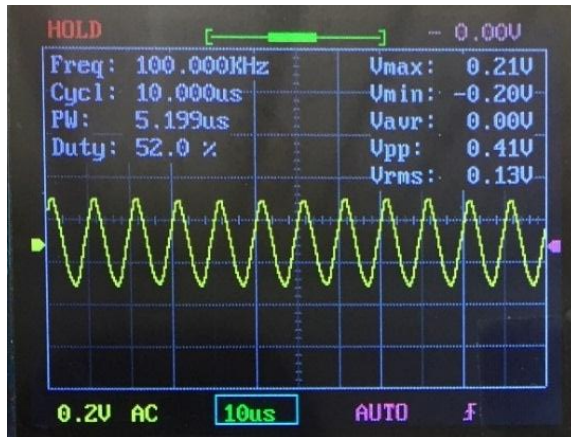
Рисунок 3.41 – Осцилограма дослід 12.2

Дослід 12.3. До осцилографа DSO 138 підключався сигнал від установки OpAmp. Параметри сигналу: форма сигналу трикутна, частота 100 кГц, ефективне значення напруги 0,16 В.

На осцилографі DSO 138 встановлені: чутливість каналу Y: 0,2 В/под; тривалість розгортки каналу X: 10 мкс/под. (рис. 3.42).

На екрані осцилографа показано:

$V_{max} = 0,21 \text{ В}$; $V_{rms} = 0,13 \text{ В}$; $\text{Cycle} = 10 \text{ мкс}$; $F = 100 \text{ кГц}$; $\text{Duty} = 52 \%$.



Дослід 12.3
 Джерело сигналу: OpAmp.
 Параметри сигналу:
 $F = 100 \text{ кГц}$; $U_{\text{эф}} = 0,16 \text{ В}$.
 Форма сигналу:
 трикутна.
 Тип осцилографа: DSO 138.
 Ціна поділок: $0,2 \text{ В/под}$;
 10 мкс/под .

Рисунок 3.42 – Осцилограма досліді 12.3

Аналіз результатів дослідів 12.1, 12.2 і 12.3. Сигнали типу синусоїда, меандр і трикутник симетричний двополярний з частотою 100 кГц подавалися на осцилограф DSO 138 від установки OpAmp. Сигнали осцилографа не спотворюють форми сигналів, похибки амплітудних значень сигналів складають: $18,9 \%$ (дослід 12.1), 0% (дослід 12.2) і $24,2 \%$ (дослід 12.3). В досліді 12.2 форма меандра дуже спотворена. Визначення на осцилограмах періоду відповідає заданій частоті.

Досліди 13.1, 13.2 і 13.3. Дослідження тривалості фронту і спаду сигналу.

Дослід 13.1. До осцилографа DSO 138 підключався сигнал від установки OpAmp. Параметри сигналу: форма сигналу меандр, частота 8 кГц , ефективне значення напруги $0,37 \text{ В}$.

На осцилографі DSO 138 встановлені: чутливість каналу Y: $0,2 \text{ В/под}$; тривалість розгортки каналу X: 20 мкс/под і 10 мкс/под . (на рис. 3.43).

На екрані осцилографа показано:

$V_{max} = 0,37 \text{ В}$; $V_{rms} = 0,32 \text{ В}$; $\text{Cycle} = 0,124 \text{ мс}$; $F = 8 \text{ кГц}$; $\text{Duty} = 48,7 \%$.

Розтягнуте зображення: 10 мкс/под .

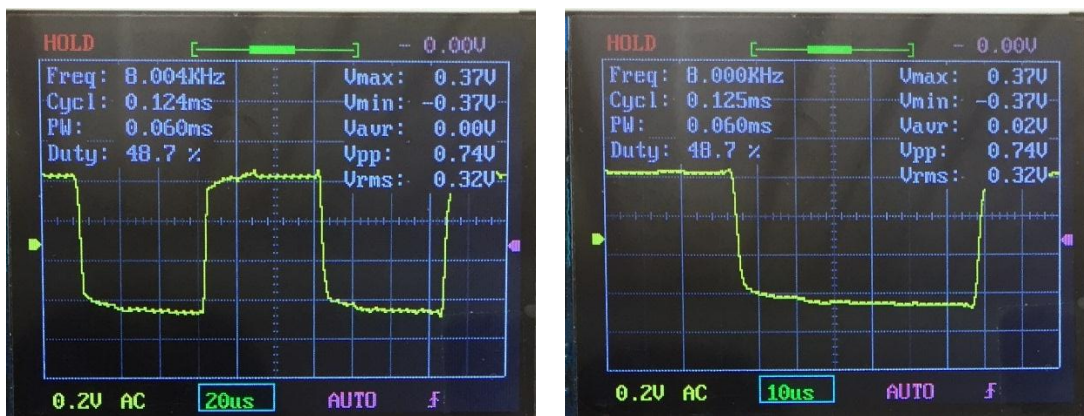
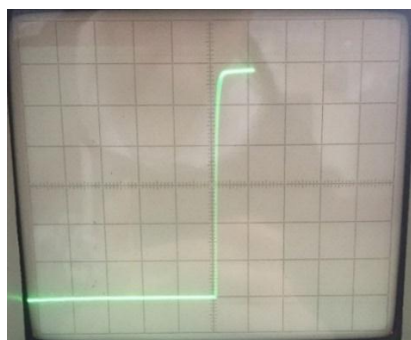
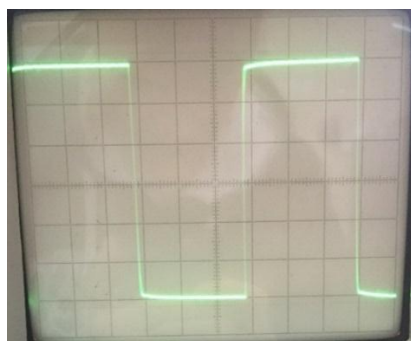


Рисунок 3.43 – Осцилограма дослід 13.1

Дослід 13.2. До осцилографа С1-93 підключався сигнал від установки OpAmp. Параметри сигналу: форма сигналу меандр, частота 8 кГц, ефективне значення напруги 0,37 В.

На осцилографі С1-93 встановлені: чутливість каналу Y: 0,1 В/под; тривалість розгортки каналу X: 20 мкс/под (рис. 3.44).

Візуально визначено: амплітуда $A = 6/2 \text{ под} \cdot 0,1 \text{ В/под} = 0,3 \text{ В}$; розтягнуте зображення 10 мкс/под; розтягнутий фронт: 5 мкс/под; розтягнутий спад 5 мкс/под.



Дослід 13.2
Джерело сигналу: OpAmp.
Параметри сигналу:
 $F = 8 \text{ кГц}$; $U_{\text{еф}} = 0,37 \text{ В}$.
Форма сигналу:
меандр.
Тип осцилографа: С1-93.
Ціна поділок:
0,1 В/под; 10 мкс/под.

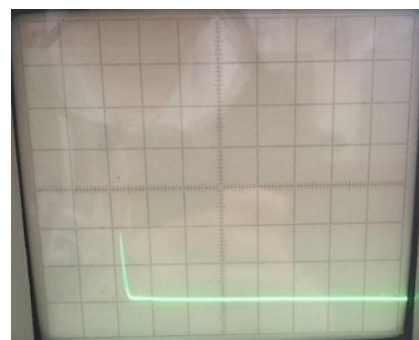


Рисунок 3.44 – Осцилограма дослід 13.2

Дослід 13.3. До осцилографа С1-112А підключався сигнал від установки ОрАmp. Параметри сигналу: форма сигналу меандр, частота 8 кГц, ефективне значення напруги 0,37 В.

На осцилографі С1-112А встановлені: чутливість каналу Y: 0,1 В/под; тривалість розгортки каналу X: 20 мкс/под і 10 мкс/под (рис. 3.45).

Візуально визначено: амплітуда $A = 6/2 \text{ под} \cdot 0,1 \text{ В/под} = 0,3 \text{ В}$.

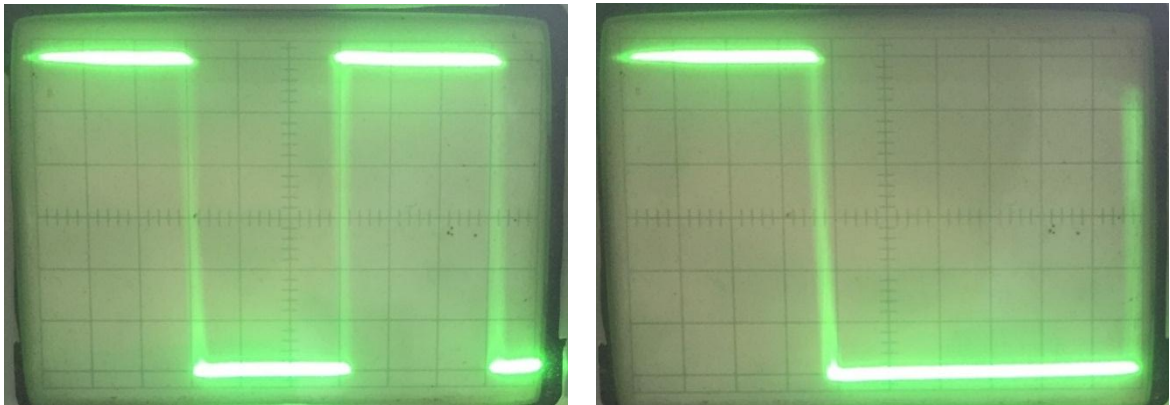


Рисунок 3.45 – Осцилограма дослід 13.3

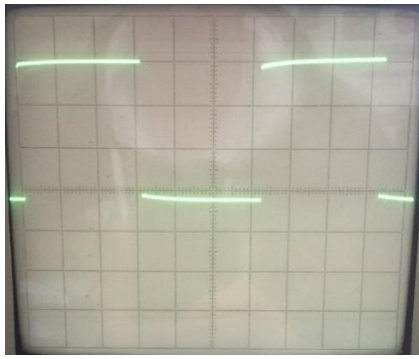
Аналіз результатів дослідів 13.1, 13.2 і 13.3. На досліджувані осцилографи подавався меандр з частотою 8 кГц, ефективне значення напруги 0,37 В. Результати розрахунків затримок: DSO 138 – тривалість спаду $t_{сп} = 3 \text{ мкс}$, тривалість фронту $t_{фр} = 2 \text{ мкс}$; С1-93 – $t_{сп} = 2 \text{ мкс}$, $t_{фр} = 6 \text{ мкс}$; С1-112А – $t_{сп} = 2 \text{ мкс}$, $t_{фр} = 0 \text{ мкс}$.

Досліди 14.1, 14.2 і 14.3.

Дослід 14.1. До осцилографа С1-93 підключався сигнал від генератора імпульсів Г5-54. Параметри сигналу: форма сигналу - послідовність прямокутних імпульсів, частота 8 кГц, ефективне значення напруги 0,174 В.

На осцилографі С1-93 встановлені: чутливість каналу Y: 0,05 В/под; тривалість розгортки каналу X: 20 мкс/под. (на рис. 3.46).

Візуально визначено: амплітуда $A = 3,20 \text{ под} \cdot 0,05 \text{ В/под} = 0,16 \text{ В}$; період $T = 6,2 \text{ под} \cdot 20 \text{ мкс/под} = 124 \text{ мкс}$; частота $F = 1/124 \cdot 10^{-6} = 8,064 \text{ кГц}$.



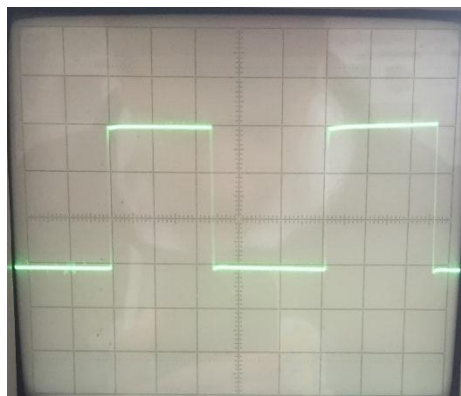
Дослід 14.1
 Джерело сигналу: Г5-54.
 Параметри сигналу:
 $F = 8 \text{ кГц}$; $U_{\text{еф}} = 0,174 \text{ В}$.
 Форма сигналу: послідовність
 прямокутних імпульсів.
 Тип осцилографа: С1-93.
 Ціна поділок:
 $0,05 \text{ В/под}$; 20 мкс/под .

Рисунок 3.46 – Осцилограма досліду 14.1

Дослід 14.2. До осцилографа С1-93 підключався сигнал від генератора імпульсів Г5-54. Параметри сигналу: форма сигналу - послідовність прямокутних імпульсів, ефективне значення напруги 100 кГц , амплітуда $0,174 \text{ В}$.

На осцилографі С1-93 встановлені: чутливість каналу Y: $0,05 \text{ В/под}$; тривалість розгортки каналу X: 2 мкс/под (рис. 3.47).

Візуально визначено: амплітуда $A = 3,1 \text{ под} \cdot 0,05 \text{ В/под} = 0,155 \text{ В}$; $T = 5,1 \text{ под} \cdot 2 \text{ мкс/под} = 10,2 \text{ мкс}$;



Дослід 14.2
 Джерело сигналу: Г5-54.
 Параметри сигналу:
 $F = 100 \text{ кГц}$; $U_{\text{еф}} = 0,174 \text{ В}$.
 Форма сигналу: послідовність
 прямокутних імпульсів.
 Тип осцилографа: С1-93.
 Ціна поділок:
 $0,05 \text{ В/под}$; 2 мкс/под .

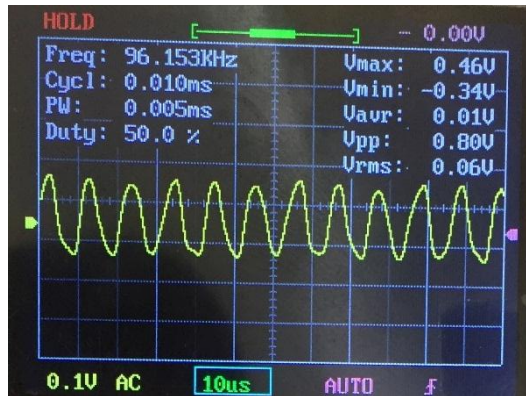
Рисунок 3.47 – Осцилограма досліду 14.2

Дослід 14.3. До осцилографа DSO 138 підключався сигнал від генератора імпульсів Г5-54. Параметри сигналу: форма сигналу - послідовність прямокутних імпульсів, частота 100 кГц , ефективне значення напруги $0,174 \text{ В}$.

На осцилографі DSO 138 встановлені: чутливість каналу Y: $0,1 \text{ В/под}$; тривалість розгортки каналу X: 10 мкс/под (рис. 3.48).

На екрані осцилографа показано:

$V_{max} = 0,46 \text{ В}$; $V_{rms} = 0,06 \text{ В}$; $\text{Cycle} = 0,01 \text{ мс}$; $F = 96,153 \text{ кГц}$; $\text{Duty} = 50 \%$.



Дослід 14.3

Джерело сигналу: Г5-54.

Параметри сигналу:

$F = 100 \text{ кГц}$; $U_{\text{еф}} = 0,174 \text{ В}$.

Форма сигналу: послідовність прямокутних імпульсів.

Тип осцилографа: DSO 138.

Ціна поділок:

0,1 В/под; 10 мкс/под.

Рисунок 3.48 – Осцилограма дослід 14.3

Аналіз результатів дослідів 14.1, 14.2 і 14.3. На досліджувані осцилографи подавалася послідовність прямокутних імпульсів від генератора Г5-54. В досліді 14.1 частота дорівнювала 8 кГц, а в досліді 14.2 і 14.3 – 100 кГц. Ефективне значення напруги 0,174 В. Похибка у визначення амплітуди при обробці осцилограм склала $\Delta U_m = 33,3\%$; 35,42%; 33,3% у досліді 14.1, 14.2 і 14.3 відповідно. У досліді 14.1 і 14.2 спостерігалася малі спотворення форма сигналу, у досліді 14.3 спотворення спостерігалася великі, навіть форму сигналу не можна було визначити.

Досліди 15.1, 15.2 і 15.3.

Дослід 15.1. До осцилографа DSO 138 підключався сигнал від віртуального генератора ВЕЕРіng App. Параметри сигналу: форма сигналу синусоїдальна, частота 20 кГц, амплітуда 0,9 В.

На осцилографі DSO 138 встановлені: чутливість каналу Y: 0,5 В/под; тривалість розгортки каналу X: 10 мкс/под (рис. 3.49).

На екрані осцилографа показано:

$V_{max} = 0,60 \text{ В}$; $V_{rms} = 0,74 \text{ В}$; $\text{Cycle} = 0,049 \text{ мс}$; $F = 20 \text{ кГц}$; $\text{Duty} = 44,0 \%$.

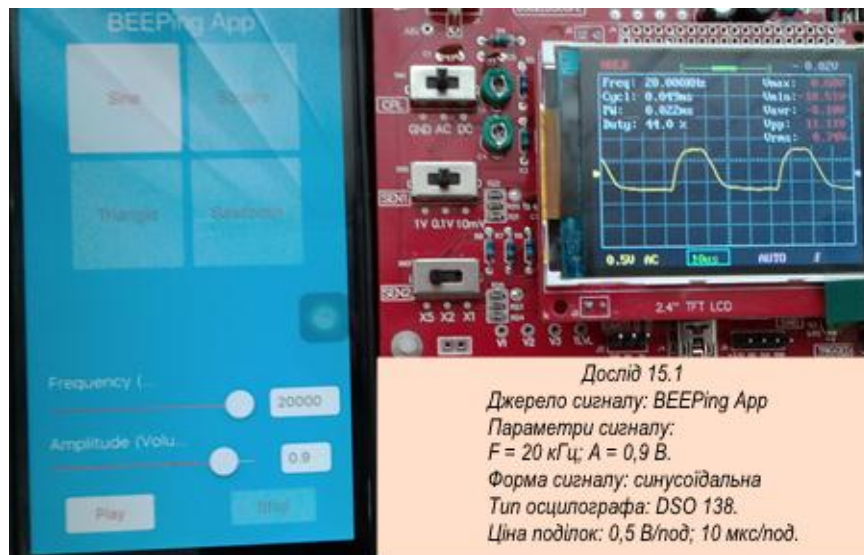


Рисунок 3.49 – Осцилограма дослід 15.1

Дослід 15.2. До осцилографа DSO 138 підключався сигнал від віртуального генератора BEEPing App. Параметри сигналу: форма сигналу меандр, частота 20 кГц, амплітуда 0,9 В.

На осцилографі DSO 138 встановлені: чутливість каналу Y: $0,2$ В/под; тривалість розгортки каналу X: 10 мкс/под (рис.3.50).

На екрані осцилографа показано:

$V_{max} = 0,66$ В; $V_{rms} = 0,42$ В; Cycle = $0,065$ мс; $F = 15,18$ кГц; Duty = $25,0$ %.

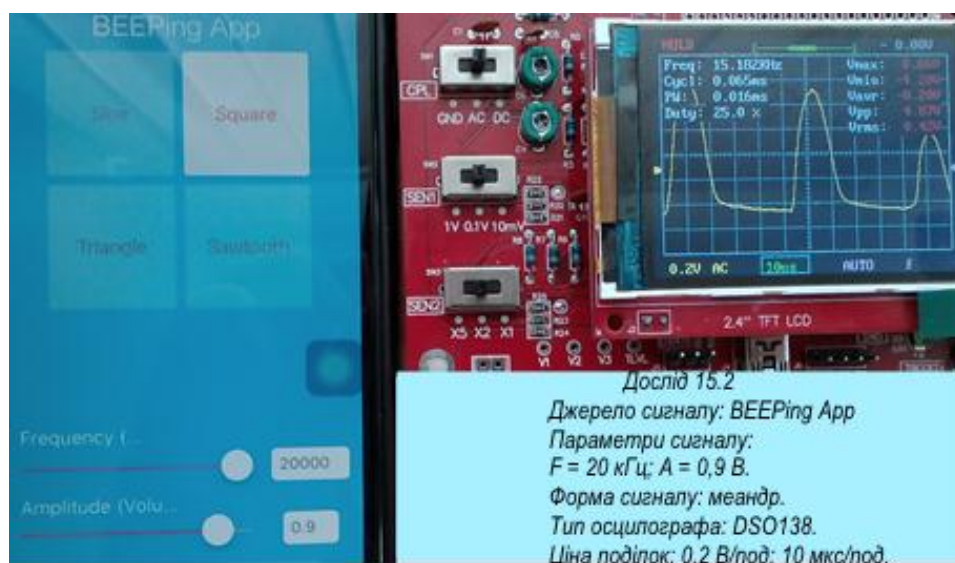


Рисунок 3.50 – Осцилограма дослід 15.2

Дослід 15.3. До осцилографа DSO 138 підключався сигнал від віртуального генератора BEEPing App. Параметри сигналу: форма сигналу трикутна, частота 20 кГц, амплітуда 0,9 В.

На осцилографі DSO 138 встановлені: чутливість каналу Y: 0,2 В/под; тривалість розгортки каналу X: 10 мкс/под (рис. 3.51).

На екрані осцилографа показано:

$V_{max} = 0,61 \text{ В}$; $V_{rms} = 0,45 \text{ В}$; $\text{Cycle} = 0,049 \text{ мс}$; $F = 20 \text{ кГц}$; $\text{Duty} = 45,2 \%$.



Рисунок 3.51 – Осцилограма дослідів 15.3

Аналіз результатів дослідів 15.1, 15.2 і 15.3. На досліджуваній осцилограф DSO 138 подавалися сигнали з частотою $F=20 \text{ кГц}$ від віртуального генератора BEEPing App трьох форм: синусоїдальна (дослід 15.1), меандрова (дослід 15.2) і трикутна симетрична (15.3). Спостерігалось, що при амплітуді сигналів 0,02 В сигнали не спотворюються, спотворення починається при амплітуді 0,09 В і більше.

Дослід 16.1, 16.2 і 16.3.

Дослід 16.1. До осцилографа DSO 138 підключався сигнал від віртуального генератора BEEPing App. Параметри сигналу: форма сигналу синусоїдальна, частота 100 Гц, амплітуда 0,02 В.

На осцилографі DSO 138 встановлені: чутливість каналу Y: 0,1 В/под; тривалість розгортки каналу X: 5 мс/под. (на рис. 3.52).

На екрані осцилографа показано:

$V_{max} = 0,22$ В; $V_{rms} = 0,14$ В; Cycle = 10 мс; $F = 100$ Гц; Duty = 50,0 %.



Рисунок 3.52 – Осцилограма досліді 16.1

Дослід 16.2. До осцилографа DSO 138 підключався сигнал від віртуального генератора BEEPing App. Параметри сигналу: форма сигналу меандр, частота 100 Гц, амплітуда 0,02 В.

На осцилографі DSO 138 встановлені: чутливість каналу Y: 0,1 В/под; тривалість розгортки каналу X: 2 мс/под (рис. 3.53).

На екрані осцилографа показано:

$V_{max} = 0,24$ В; $V_{rms} = 0,20$ В; Cycle = 9 мс; $F = 100$ Гц; Duty = 50,4 %.

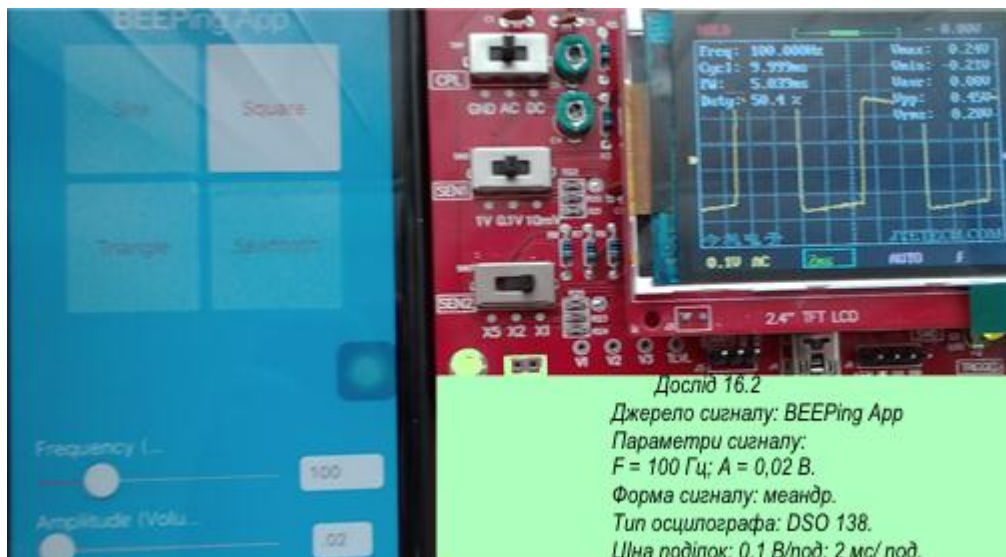


Рисунок 3.53 – Осцилограма досліду 16.2

Дослід 16.3. До осцилографа DSO 138 підключався сигнал від віртуального генератора BEEPing App. Параметри сигналу: форма сигналу трикутна, частота 100 Гц, амплітуда 0,02 В.

На осцилографі DSO 138 встановлені: чутливість каналу Y: 0,1 В/под; тривалість розгортки каналу X: 2 мс/под. (на рис. 3.54).

На екрані осцилографа показано:

$V_{max} = 0,22$ В; $V_{rms} = 0,11$ В; Cycle = 10 мс; $F = 100$ Гц; Duty = 50,3 %.

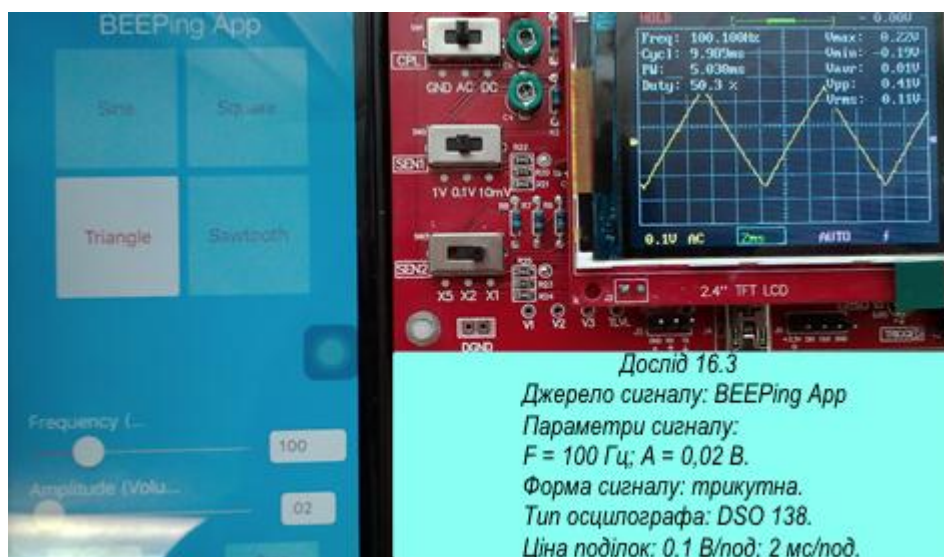


Рисунок 3.54 – Осцилограма досліду 16.3

Аналіз результатів дослідів 16.1, 16.2 і 16.3. На досліджуваний осцилограф DSO 138 подавалися сигнали з частотою $F=100$ Гц і з амплітудою $0,02$ В від віртуального генератора BEEPing App трьох форм: синусоїдальна (дослід 16.1), меандрова (дослід 16.2) і трикутна симетрична (дослід 16.3). Спостерігалось значне відхилення від значення амплітуди сигналу з осцилограм від амплітуди, встановленої на генераторі. Осцилограма меандра мала нахили в області горизонтальних ділянок.

ВИСНОВКИ

В роботі виконано 50 дослідів. В дослідях були задіяні осцилографи типів C1-93, C1-112A, DSO 138, що використовуються при проведенні лабораторних робіт спеціальностей 152 – “Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка”, 153 – “Мікро- та наносистемна техніка” на кафедрі мікро-та наноелектроніки.

Метою роботи було визначення точності вимірювань з використанням вказаних осцилографів, а також порівняльній аналіз їх характеристик.

Сигнали, що подавалися на осцилографи, бралися з генератора Г5-54, установки OpAmp і установки ЛУ-5. Також джерелами сигналів в дослідях були віртуальні генератори PA Tone і BEEPing App, у яких максимальна частота сигналу складає 20 кГц.

Установка ЛУ-5 використовувалася тільки в перших трьох дослідях, тому що вона не містить прилад для вимірювання частоти сигналу. В цих же дослідях використовувалася мультиметр DT-838, який показав повну нездатність вимірювання ефективного значення синусоїдальних сигналів з амплітудою, меншою за 1 В.

Установка OpAmp може видавати сигнали трьох форм: синусоїдальної, меандрової, трикутної симетричної, з фіксацією частоти і ефективного значення сигналу. При цьому амплітудне значення сигналу визначалося помноженням ефективного значення на коефіцієнт амплітуди. Максимальне значення частоти сигналів складало 100 кГц.

Генератор Г5-54 може видавати послідовність прямокутних імпульсів з максимальною частотою 100 кГц. Досліди з використанням Г5-54 показали, що при порушенні вимоги установки шпаруватості імпульсів більше чи дорівнює 2, спрацьовує захисна функція генератора, і він встановлює задану тривалість сигналу, а тривалість паузи встановлює вдвічі меншою. Тобто змінює період сигналу.

У осцилографах C1-93, C1-112A, DSO 138 діапазоні частот складав від 0 до 15 МГц, 10 МГц, 200 кГц відповідно.

З порівняння частотних обмежень генераторів видно, що дослідження осцилографів на високих частотах було неможливим наслідок відсутності на кафедрі джерел сигналів високої частоти.

Осцилограф С1-93 за технічними характеристиками має калібрований коефіцієнт відхилення розгортки $\pm 3,4\%$. Для калібрування осцилографа потрібний частотомір, який кафедрі необхідна придбати. Інакше часові параметри імпульсів на ньому не можна вимірювати. В роботі виконана подібна калібруванню операція за допомогою установки OpAmp. В дослідях на осцилограф подавалися сигнали від 70 Гц до 100 кГц різної форми. На осцилограмах форма сигналів не спотворювалася. Також вимірювалася тривалість фронту і спаду меандру на частоті 8 кГц, що становило 2 мкс і 6 мкс відповідно (таке значення тривалості є прийнятним). Перевагою С1-93 є його двоканальність.

В дослідях з осцилографам С1-112А подавалися сигнали від 70 Гц до 100 кГц різної форми. На осцилограмах форма сигналів не спотворювалася. Також вимірювалася тривалість фронту і спаду меандру на частоті 8 кГц, що становило 0 мкс і 2 мкс відповідно. Значення цих параметрів навіть краще, ніж осцилографа С1-93. Осцилограф С1-112А має дуже складну схему, тому його технічні характеристики дуже добрі. Недоліком осцилографа є мала площа екрану.

В дослідях з осцилографам DSO 138 подавалися сигнали від 70 Гц до 100 кГц. При подачі прямокутних імпульсів з частотою 10 кГц в осцилограмі спостерігалися викиди в місцях фронтів і спадів імпульсів. На частоті 100 кГц синусоїда і трикутник на осцилографі відображалася ідеально, а прямокутник був спотворений.

Усі досліджувані осцилографи можна використовувати в лабораторних практикумах, але при цьому треба ретельно вивчати їх технічні характеристики. Частотний діапазон досліджуваних сигналів рекомендується брати приблизно у 5 разів менше за діапазон, вказаний у технічних характеристиках.

Як показали досліди, проведені у роботі, потрібно вибирати віртуальні прилади з більш складним програмним забезпеченням і з більш високою потужністю сигналів, що генеруються.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. **Новопольский, В. А.** Электроннолучевой осциллограф [Текст] / В. А. Новопольский. - М.: Энергия, 1969. - 424 с.
2. **Винокуров, В. И.** Электрорадиоизмерения [Текст] / В. И. Винокуров, С. И. Каплин, И. Г. Петелин. - М.: Высшая школа, 1986. - 351 с.
3. **Чех, И.** Осциллографы в измерительной технике [Текст] / И. Чех. - М.: Энергия, 1965. - 784 с.
4. **Скаржепа, В. А.** Электроника и микросхемотехника [Текст] / В. А. Скаржепа, А. А. Новацький, В. И. Сенько. - К.: Выща школа, 1989. - 279 с.
5. **Вишенчук, И. М.** Электроннолучевой осциллограф и его применение в измерительной технике [Текст] / И. М. Вишенчук, Е. П. Соголовский, Б. И. Швецкий. - М.: Издательство физико - математической литературы, 1957. - 220 с.
6. **Найденов, А. И.** Электроннолучевые осциллографы [Текст] / А. И. Найденов, В. А. Новопольский. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 232 с.
7. <https://electronoff.ua/good/tsifroviy-ostsilograf-dso138.php>.
8. **Блюдин, Е. К.** Портативные осциллографы [Текст] / Е. К. Блюдин, З. М. Боднар. - М.: Советское радио, 1978. - 265 с.
9. **Дьяконов, В. П.** Современная осциллография и осциллографы [Текст] / В. П. Дьяконов. - М.: Солон-Пресс, 2005. - 320 с.
10. **Казанский, Н. А.** Осциллографические методы измерения параметров электрических сигналов [Текст] / Н. А. Казанский, С. В. Городничев, И. О. Маленков, В. А. Логинов, А. А. Вячеславов. - М.: ММИТ, 2003. - 57 с.
11. <https://radiostorage.net/3302-oscillograf-s1-93-skhema-principialnaya-foto-i-parametry.html>.
12. <https://jais.ru/info/servisnyj-centr/generator-impulsov-g5-54>.
13. <https://www.astena.ru/c1-112.html>.