

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

**Д. В. КОСТЕНКО,
С. Л. ТРИБУЛЬКЕВИЧ, Г. С. ГРУДІНІНА**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторних робіт з дисципліни
«ЕЛЕКТРОНІКА ТА МІКРОСХЕМОТЕХНІКА»**

У двох частинах

Частина 2

Рекомендовано Методичною радою НУК



ВИДАВНИЦТВО
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМ. АДМІРАЛА МАКАРОВА

2021

УДК 621.38

K72

Автори: Д. В. Костенко, канд. техн. наук, доцент;
С. Л. Трибулькевич, старш. викладач;
Г. С. Грудініна, викладач

Рецензент Г. В. Павлов, д-р техн. наук, професор

Рекомендовано Методичною радою НУК

Костенко Д. В.

K72 Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Електроніка та мікросхемотехніка»: у 2 ч. Ч. 2 / Д. В. Костенко, С. Л. Трибулькевич, Г. С. Грудініна. – Миколаїв : НУК, 2021. – 40 с.

Вміщено основні відомості щодо складу лабораторного обладнання, розробленого на кафедрі ЕІС та РК. Подані методичні вказівки щодо виконання лабораторних робіт з вивчення типових схемних рішень з операційними підсилювачами: підсилювачі, активні фільтри, генератори.

Призначено для студентів НУК, які навчаються за спеціальністю 141 «Електричні системи і комплекси транспортних засобів» (галузь знань 14 «Електрична інженерія»).

УДК 621.38

© Костенко Д. В., Трибулькевич С. Л.,
Грудініна Г. С., 2021

© Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова, 2021

ВСТУП

Друга частина курсу «Електроніка та мікросхемотехніка» присвячена вивченню схемотехнічних рішень з використання мікросхем. Найбільш універсальним компонентом аналогової схемотехніки є операційний підсилювач (ОП), за допомогою якого можна робити лінійні та нелінійні перетворення, генерувати сигнали, робити частотну селекцію. Більшість лабораторних робіт присвячена вивченню ОП у таких режимах роботи. За частотою використання серед аналогових мікросхем конкуренцію операційному підсилювачу може скласти тільки популярний таймер типу 555, розглянутий в одній із лабораторних робіт.

Виконання лабораторних робіт передбачає три етапи: теоретичний розрахунок, експеримент і математичне моделювання. Теоретичний розрахунок студенти виконують у ході домашньої підготовки, а в лабораторії проводяться експериментальні дослідження і математичне моделювання. Для експериментального дослідження використовуються вимірні прилади, що серійно випускаються, та оригінальне лабораторне обладнання, розроблене і виготовлене на кафедрі ЕІС та РК.

1. ЛАБОРАТОРНЕ ОБЛАДНАННЯ

Лабораторне обладнання складається з лабораторного стенда та вимірювальних приладів. Як вимірювальні прилади використовуються осцилограф і мультиметр промислового виробництва, для користування якими треба звертатися до їх документації. Лабораторний стенд складається з демонстраційної плати, набору змінних модулів, джерела живлення. Для загального уявлення розглянемо функціональну схему лабораторного стенда (рис. 1.1).

Блок живлення (БЖ) призначений для живлення досліджуваної схеми і допоміжних елементів стенда (генераторів, джерел опорних напруг...). Для живлення ОП краще використовувати двополярне живлення, тому блок живлення повинен видавати двополярну напругу з величиною ± 12 В. Блок живлення має 3 виводи: +12 В, нульовий і -12 В. Величину вхідної напруги можна обрати довільну, але оскільки стенд має відкриту будову – треба відповідати вимогам безпеки (щоб не відбулося ураження струмом), то краще буде обрати напругу безпечного рівня: обираємо низьку величину вхідної напруги 15 В (ця величина відповідає стандартному ряду напруг для блоків живлення). Блок живлення повинен перетворювати 15 В нестабілізованої напруги в ± 12 В стабілізованої вихідної.

ЗДП – змінна досліджувана плата (змінний модуль). Це центральний елемент нашого стенда, що буде підключатися до основної плати стенда за допомогою роз'ємів. На цій платі буде розташована схема, яку безпосередньо призначено для дослідження, і до неї будуть приєднуватися усі допоміжні елементи, що розташовані на самому стенді.

ФГ – функціональний генератор. Його завдання – вироблення змінної напруги, різної форми кривої та різних частот для дослідження схем на змінному струмі.

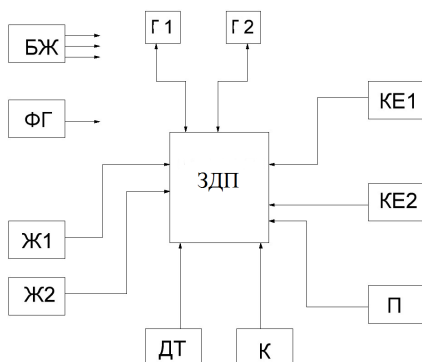


Рис. 1.1. Функціональна схема лабораторного стенда

Ж1 та Ж2 – регульовані джерела постійної напруги для дослідження схем на постійному струмі. Кількість таких джерел можна обирати довільно, але для дослідження таких схем, як диференціальний підсилювач, їх повинно бути два. Напруга на виході з джерела стабілізована та має можливість регулювання в широкому діапазоні.

КЕ1 та КЕ2 – комутатори з наборами змінних компонентів. Змінні компоненти встановлені на платі для того, щоб мати можливість оперативного налагодження параметрів дослідної схеми, до складу наборів входять резистори й конденсатори в широкому діапазоні номінальних значень з можливістю комутації через джампери.

П – потенціометр. Призначений для підвищення функціональних можливостей схеми.

К – кнопка. Для комутації всередині дослідної схеми.

ДТ – датчик температури. Призначений для більшої наочності дослідження. Характеризується змінною величиною (його можна нагріти й параметр зміниться), наочністю і передбачуваною кривою сигналу.

Г1 та Г2 – гніздо *Output1* і гніздо *Output2*. Призначені для підключення вимірювальних пристроїв для знімання сигналу зі схеми.

Схема електрична принципова плати показана на рис. 1.2.

Електроживлення лабораторного стенда здійснюється за допомогою перетворювача FDD03-12D4. Цей пристрій являє собою імпульсний стабілізований перетворювач із двополярним виходом і широким діапазоном вхідних напруг. Перетворювач виконує одночасно кілька завдань: стабілізацію напруги, отримання двополярної напруги для операційних підсилювачів, гальванічну розв'язку. Має наступні параметри: $P_{\text{вих}} = 3 \text{ Вт}$, $U_{\text{вх}} = 9 \dots 36 \text{ VDC}$, $U1 = 12 \text{ VDC}$, $I1 = 0,03 \dots 0,13 \text{ А}$, $U2 = -12 \text{ VDC}$, $I2 = 0,03 \dots 0,13 \text{ А}$; призначений для установки на друковану плату. Для того, щоб було можливим використовувати змінну напругу живлення, на вході перетворювача встановлено двопівперіодний випрямляч з ємнісним фільтром.

Важливим елементом стенда є функціональний генератор. При формуванні низькочастотних синусоїдальних коливань майже завжди необхідно використовувати кола стабілізації амплітуди вихідної напруги. Генерація змінної напруги трикутної форми виконується за більш простою схемою за допомогою інтегратора і тригера Шмітта. Зі свого боку, використовуючи блок формування синусоїдальної функції, з трикутної напруги можна отримати синусоїдальну. Оскільки за цим методом можна отримати одночасно трикутну, прямокутну й синусоїдальну напруги, працюючі на цьому принципі генератори можуть бути названі функціональними. Як інтегратор використовується операційний підсилювач *DA1*, а як тригер Шмітта – *DA3* (рис. 1.2). Регулювання частоти здійснюється резистором *R1* і джамперами *Jmp1*...*Jmp4*. Для дослідження електронних схем потрібно змінювати амплітуду сигналу в широкому діапазоні. Для цього встановлений

потенціометр $R26$ і дільник на 10 та на 100, на резисторах $R31...R34$, які комутуються за допомогою джамперів $Jmp10$, $Jmp11$, $Jmp12$, для того, щоб уникнути взаємного впливу дільника та потенціометра, установлений повторювач на ОП $DA5$.

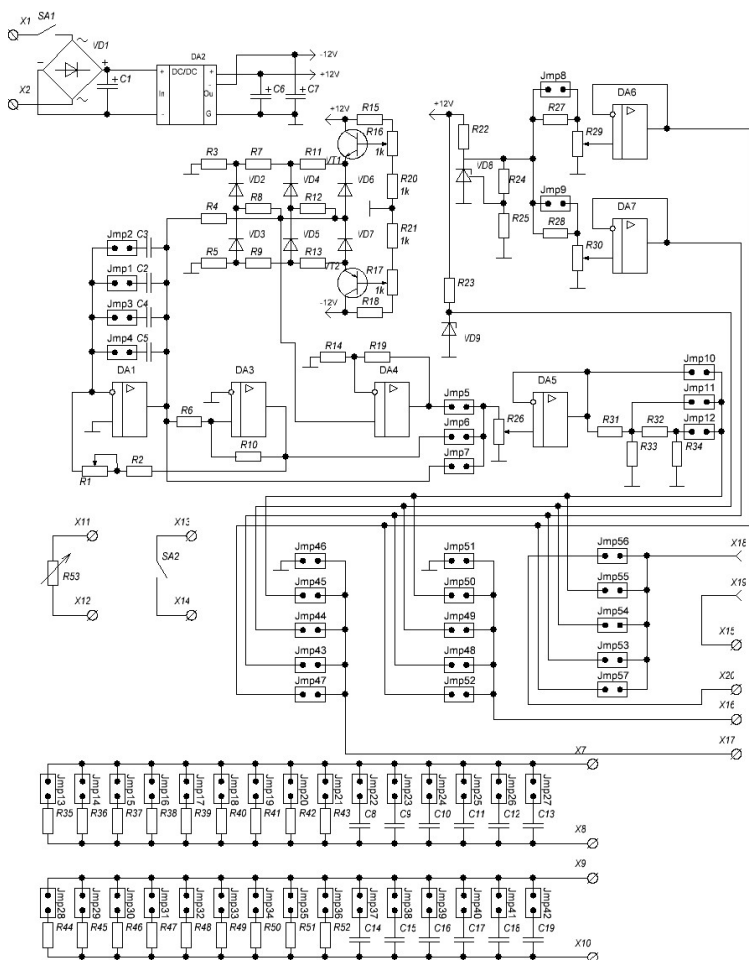


Рис. 1.2. Схема електрична принципова демонстраційної плати

Для дослідження електронних схем на постійному струмі потрібні регульовані джерела постійної напруги. На стенді для цього використовуються повторювачі на операційних підсилювачах *DA6*, *DA7*. Як опорне джерело струму використовується мікросхема *TL431*, яка має високу точність. Для регулювання напруги використовуються потенціометри *R29*, *R30* та дільники з джамперами *Imp8*, *Imp9*. Додатково на плату встановлений аналоговий датчик температури *LM335 VD9*, який розширює можливості стенда.

Передбачається, що змінні модулі не будуть мати повністю працездатну схему. Для підвищення методичного значення у схемі буде бракувати декількох компонентів, які необхідно буде вибрати в результаті розрахунку при підготовці до лабораторної роботи. Щоб виключити необхідність пайки при виконанні лабораторних робіт, прийнято наступне рішення. На основній платі встановлені два набори змінних компонентів, що складаються з резисторів і конденсаторів, та включені послідовно з джамперами, обрані номінали резисторів: 1к, 5,1к, 10к, 20к, 51к, 100к, 200к, 510к, 1М та конденсаторів: 10н, 22н, 47н, 0,1, 0,22, 0,47. Ці набори компонентів під'єднані до клем *X7*, *X8* (набір 2), *X9*, *X10* (набір 1) на демонстраційній платі і до цих же клем підключається змінний модуль. На змінному модулі електричні кола від цих клем підключені замість відсутніх елементів схем. Аналогічним чином встановлений реостат за допомогою клем *X11*, *X12* та кнопка за допомогою клем *X9*, *X10*. Для підключення зовнішніх на платі встановлені два роз'єми *X18*, *X19*. До роз'єму *X19* підключено коло («контрольна точка 2»), що є основним видом багатьох змінних модулів, до роз'єму *X18* за допомогою комутатора *Output1* на джамперах *Imp53 ... Imp56* може приєднатися коло («контрольна точка 1»), що є додатковим виходом

змінного модуля або сигнали генератора, датчика температури, джерела постійної напруги. Кожний змінний модуль має два входи *X16*, *X17*, на які за допомогою комутаторів *Input1*, *Input2*, за допомогою джамперів підключаються кола 0 В, сигнали генератора, датчика температури, джерела постійної напруги.

Взаємне розташування елементів на демонстраційній платі наведено на рис. 1.3. У центрі плати встановлені роз'єми для змінного модуля, у лівій частині розташовані функціональний генератор і джампери для керування, знизу плати – потенціометри плавного керування частотою й амплітудою генератора, джерел постійної напруги, окремий потенціометр, з правого боку – набори змінних компонентів і кнопка. За допомогою перемикача *Mode* вибирається тип вихідного сигналу: положення 1 (верхнє) – сигнал синусоїдальної форми, положення 2 – сигнал трикутної форми, положення 3 – сигнал прямокутної форми. Частота й амплітуда цього сигналу регулюються. Для регулювання частоти «плавно» призначений регулятор *Frequency*, для регулювання «грубо» – перемикач *Band*, нижнє положення відповідає частотам у десятки герц, верхнє положення – десятки кілогерц. Для регулювання амплітуди «точно» призначений регулятор *Amplitude*, для регулювання «грубо» – перемикач *Attenuator*, нижнє положення означає ослаблення 1:100, верхнє – 1:1. Для дослідження схем на постійному струмі передбачений аналоговий датчик температури LM335 і два регульованих джерела постійної напруги. Рівні напруги регулюються плавно за допомогою потенціометрів, а за допомогою джамперів можна вибрати діапазон сигналів 0,5 В або 5 В.

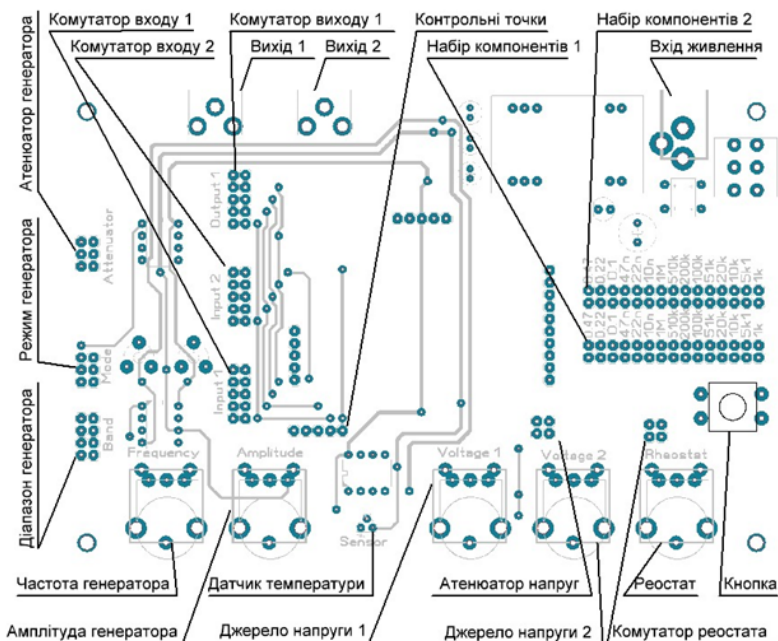


Рис. 1.3. Розташування елементів демонстраційної плати

Для подачі тестових сигналів і підключення вимірювальних приладів на демонстраційній платі розведені 4 кола, умовно названі Вхід 1, Вхід 2, Вихід 1 і Вихід 2, які можна налаштувати за допомогою відповідних перемикачів. Вхід 1 і вхід 2 за допомогою комутаторів *Input1* і *Input2* можуть бути підключені до 0 В (верхнє положення перемикача), функціонального генератора, датчика температури, джерела напруги 1 і джерела напруги 2 (нижнє положення перемикача). Це дозволяє подавати на два входи змінного модуля тестові сигнали в будь-

яких комбінаціях. Для підключення осцилографа до демонстраційної плати передбачено два роз'єми типу *RCA* на верхній частині плати. До правого роз'єму підключене коло Вихід 2, який є вихідним сигналом 2 змінного модуля, до лівого роз'єму підключене коло Вихід 1, який за допомогою перемикача *Input1* може бути підключений до наступних пристроїв: сигнал 1 змінного модуля (верхнє положення перемикача), функціонального генератора, датчика температури джерела напруги 1 і джерела напруги 2 (нижнє положення перемикача). Призначення джамперів подано в додатку у вигляді таблиці. Знизу від змінного модуля розташовані контрольні точки для під'єднання мультиметра. Призначення контрольних точок наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1. Призначення контрольних точок

1	0 В
2	Сигнал з датчика температури
3	Сигнал джерела напруги 1
4	Сигнал джерела напруги 2
5	Сигнал з виходу 2

Контрольні точки зручніші для підключення мультиметра, а роз'єми *RCA* Вихід 1 і Вихід 2 – для осцилографа.

Таким чином, демонстраційна плата дозволяє досліджувати різноманітні схеми на змінних модулях як на постійному, так і на змінному струмі. Описи схем на змінних модулях будуть надані в завданнях до лабораторних робіт.

2. ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

Лабораторна робота № 1 ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИЙ ПІДСИЛЮВАЧ

Мета роботи: дослідити роботу й похибки диференціального підсилювача на постійному струмі.

Зміст домашньої підготовки

1. Вивчити роботу диференціального підсилювача на ОП та його похибки. Схема підсилювача наведена на рис. 2.1.

2. Знайти технічні характеристики ОУ, відповідно до індивідуального завдання з табл. 2.1 (*offset voltage*, *offset current*, температурні коефіцієнти).

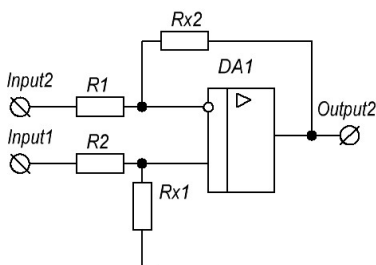


Рис. 2.1. Диференціальний підсилювач

3. Розрахувати диференціальний підсилювач на заданий коефіцієнт підсилення (В. С. Гутников. «Інтегральна електроніка у вимірювальних приладах») відповідно до індивідуального завдання з табл. 2.1. Для кожного варіанта необхідно розрахувати два підсилювачі, опори вхідних резисторів задані, резистор зворотного зв'язку і резистор

заземлення слід розрахувати.

4. Розрахувати похибки диференціального підсилювача від вхідних струмів і від ЕРС зміщення при використанні двох типів ОП, похибки викликані неточністю резисторів (при використанні 1 % резисторів).

Таблиця 2.1. Варіанти завдань лабораторної роботи № 1

	Коефіцієнт підсилення	Вхідний диференціальний сигнал, В	Вхідний синфазний сигнал, В	ОП1	ОП2	R1
1	5,0	1,00	0, 2, 4	TL081	OP07	20k
2	10,0	0,50	0, 2, 4	TL081	OP07	51k
3	25,5	0,20	0, 2, 4	TL081	OP07	20k
4	50,0	0,10	0, 2, 4	UA741	OP07	20k
5	100,0	0,05	0, 2, 4	UA741	OP07	10k

Хід роботи

1. Установити змінний модуль з першим ОП у демонстраційну плату.

2. Підключити відсутні резистори, R_{x1} – з набору змінних компонентів 1, R_{x2} – з набору змінних компонентів 2.

3. Подати на обидва входи нульову напругу, для цього перемикачі *Input1* і *Input2* встановити в положення 1, записати показання датчика температури на контрольній точці 2 і вихідну напругу на контрольній точці 5 (ця напруга буде відповідати похибці від вхідних струмів і ЕРС зміщення).

4. Нагріваючи плату за допомогою фена, повторно виміряти показання датчика температури на контрольній точці 2 і вихідну напругу на контрольній точці 5.

5. Підключити на входи *Input1* і *Input2* сигнали з джерел напруги 1 і 2 відповідно, для цього встановити перемикач *Input1* у положення 4, а перемикач *Input2* – у положення 5.

6. Подаючи вхідні сигнали відповідно до завдання, виміряти вихідну напругу підсилювача і записати дані до табл. 2.2. Вхідні сигнали 1, 2 і вихідний сигнал вимірюються мультиметром на контрольних точках 3, 4 і 5 відповідно.

7. Установити змінну плату з другим ОП, повторити вимірювання, заповнити другу таблицю.

8. Провести моделювання в програмі *Multisim*, заміряти похибки, порівняти з розрахунковими значеннями. При моделюванні слід застосовувати вхідні напруги, виміряні під час експерименту, модель має бути складена з реальних компонентів, резистори використовувати з точністю 1 %. Заповнити таблиці за результатами дослідження. Зробити висновки.

Таблиця 2.2. Результати роботи для одного підсилювача

Дослідження	Вхідні напруги		Вихідні напруги $U_{\text{вих}}$		
	$U_{\text{вх1}}$	$U_{\text{вх2}}$	Розрахунок	Проба	Модель
Нульовий сигнал $t =$					
Нульовий сигнал нагрівання $t =$					
Синфазний сигнал 1					
Синфазний сигнал 2					
Синфазний сигнал 3					

Зміст звіту

Звіт по роботі має містити титульний аркуш, назву і мету роботи, короткі теоретичні відомості, результати розрахунку параметрів і похибок пристрою. Експериментальна частина лабораторної роботи має містити опис процесу вимірювань, скріншоти з результатами моделювання та поясненнями. Усі результати повинні бути зведені до таблиці. Висновки по роботі.

Контрольні питання

1. Пояснити будову та принцип дії ОП.
2. Які основні джерела похибки ОП?
3. Пояснити порядок розрахунку диференціального підсилювача на ОП.

Лабораторна робота № 2

БАГАТОВХОДОВИЙ СУМАТОР-ВІДНІМАЧ

Мета роботи: дослідити методику розрахунку й роботу багатовходового суматора-віднімача.

Зміст домашньої підготовки

1. Вивчити методику розрахунку і властивості багатовходового суматора-віднімача, схема якого наведена на рис. 2.2.
2. Розрахувати суматор-віднімач згідно з індивідуальним завданням з табл. 2.3.

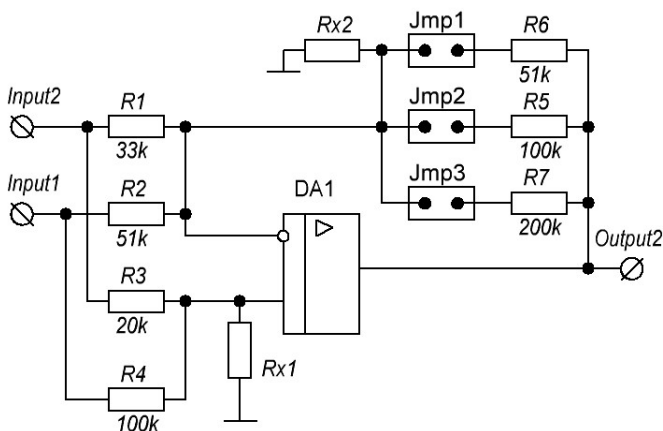


Рис. 2.2. Багатовходовий суматор-віднімач

Таблиця 2.3. Варіанти завдань лабораторної роботи № 2

	Функція, яку виконує суматор-віднімач	Резистор R_{33}
1	$U_{\text{вих}} = -1,5U_1 - 1U_2 + 2,5U_3 + 0,5U_4$	51 кОм
2	$U_{\text{вих}} = -3U_1 - 2U_2 + 5U_3 + 1U_4$	100 кОм
3	$U_{\text{вих}} = -6U_1 - 4U_2 + 10U_3 + 2U_4$	200 кОм

Хід роботи

1. Установити змінний модуль з суматором-віднімачем у демонстраційну плату.
2. Підключити за допомогою джампера на змінному модулі потрібний резистор зворотного зв'язку.
3. Підключити за необхідністю відсутній додатковий резистор, R_{x1} – з набору змінних компонентів 1, R_{x2} – з набору змінних компонентів 2.
4. Підключити на входи *Input1* і *Input2* сигнали з джерел напруги 1 і 2 відповідно, для цього встановити перемикач *Input1* у положення 4, а перемикач *Input2* – у положення 5.
5. Під'єднати мультиметр до виходу пристрою (контрольна точка 5).
6. За допомогою джерел напруги 1 і 2 домогтися напруги на виході близько – 2 В, значення напруги 1 і 2 мають бути ненульовими.
7. Виміряти і записати в табл. 2.4 значення напруг джерел 1, 2 і напруги на виході (контрольні точки 3, 4, 5).
8. Виконати пункти 6 і 7 для значення вихідної напруги – 1 В, 0 В, 1 В і 2 В.
9. Скласти математичну модель у програмі Multisim багатовходового суматора-віднімача. Провести експеримент з математичною моделлю, результати записати в табл. 2.4.
10. Аналітично розрахувати вихідну напругу за формулою з табл. 2.3, результати записати в табл. 2.4. Зробити висновки.

Таблиця 2.4. Результати дослідження суматора-віднімача

	Вхідні напруги		Вхідні напруги		
	$U_{вх1}$	$U_{вх2}$	Проба	Модель	Розрахунок
1					
2					
3					
4					
5					

Зміст звіту

Звіт по роботі має містити титульний аркуш, назву і мету роботи, опис методики розрахунку багатовходового суматора-віднімача, результати розрахунку. Експериментальна частина лабораторної роботи має містити опис процесу вимірювань, скріншоти з результатами моделювання та поясненнями. Усі результати повинні бути внесені до таблиці. Висновки по роботі.

Контрольні питання

1. Пояснити методику розрахунку багатовходового суматора-віднімача.
2. З використанням методики розрахунку багатовходового суматора-віднімача розрахувати диференціальний підсилювач.
3. З використанням методики розрахунку багатовходового суматора-віднімача розрахувати неінвертуючий підсилювач.

Лабораторна робота № 3 **ВИМІРЮВАЛЬНИЙ ВИПРЯМЛЯЧ**

Мета роботи: дослідити методику розрахунку, властивості й роботу вимірювального випрямляча.

Зміст домашньої підготовки

1. Вивчити методику розрахунку і властивості вимірювального випрямляча, схема якого наведена на рис. 2.3.
2. Розрахувати опір резистора R_x .

Хід роботи

1. Установити змінний модуль з вимірювальним випрямлячем у демонстраційну плату.

2. Підключити відсутній резистор R_{x1} з набору змінних компонентів.

3. Підключити на вихід *Output1* осцилограф, за допомогою перемикача *Output1* обрати підключення генератора (друге положення).

4. Органами керування генератора встановити потрібний тестовий сигнал згідно з індивідуальним завданням з табл. 2.5.

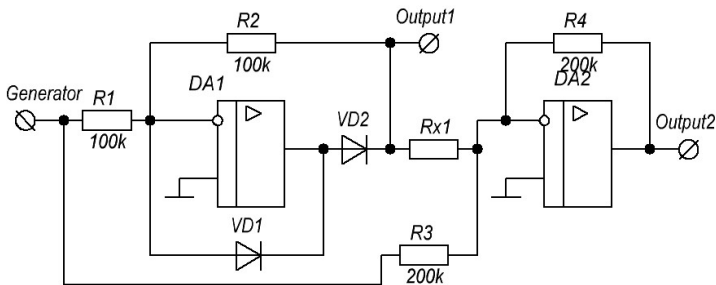


Рис. 2.3. Вимірювальний випрямляч

Таблиця 2.5. Варіанти завдань лабораторної роботи № 3

	Тип вхідного сигналу	Частота, Гц	Амплітуда, В
1	Синусоїдальна	500	4,0
2	Трикутна	1200	3,0
3	Синусоїдальна	700	3,5
4	Трикутна	1000	2,0
5	Синусоїдальна	400	2,5

5. За допомогою перемикача *Output1* обрати підключення контрольної точки 1 (перше положення). За допомогою осцилографа виміряти частоту й амплітуду сигналу, зробити скріншот форми сигналу.

6. Підключити осцилограф на вихід *Output2*, виміряти частоту й амплітуду сигналу, зробити скріншот форми сигналу. Дати пояснення.

7. За допомогою перемикача *Output1* підключити вихід *Output1* до генератора (див. п. 3).

8. За допомогою осцилографа зняти залежність амплітуди вихідного сигналу від амплітуди вхідного сигналу. Для цього перемикаєти осцилограф між виходами *Output1* і *Output2* або використовувати осцилограф у двоканальному режимі. Заповнити табл. 2.6.

Таблиця 2.6. Результати дослідження випрямляча

	Вхідна напруга, В	Вихідна напруга, В		
		Проба	Модель	Діод
1	0			
2	0,4			
3	0,6			
4	1,0			
5	2,0			
6	3,0			

9. Скласти схему вимірювального випрямляча в програмі *Multisim*, дослідити роботу моделі, заповнити колонку «Модель» у табл. 2.6.

10. Скласти схему діодного випрямляча в програмі *Multisim*, дослідити роботу моделі, заповнити колонку «Діод» у табл. 2.6.

11. Виміряти і записати в табл. 2.4 значення напруг джерел 1, 2 і напруги на виході (контрольні точки 3, 4, 5).

12. Зробити висновки.

Зміст звіту

Звіт по роботі має містити титульний аркуш, назву і мету роботи, опис методики розрахунку вимірювального випрямляча, результати розрахунку. Експериментальна частина лабораторної роботи має містити опис процесу вимірювань, скріншоти з результатами моделювання та поясненнями. Усі результати повинні бути зведені в таблицю. Висновки по роботі.

Контрольні питання

1. Пояснити методику розрахунку вимірювального випрямляча.
2. Пояснити роботу вимірювального випрямляча.
3. Намалювати часові діаграми напруги у схемі вимірювального випрямляча при синусоїдальному сигналі на вході.
4. Намалювати часові діаграми напруги у схемі вимірювального випрямляча при трикутному сигналі на вході.
5. У чому переваги вимірювального випрямляча?

Лабораторна робота № 4

АКТИВНІ ФІЛЬТРИ НИЖНІХ ЧАСТОТ

Мета роботи: дослідити методику розрахунку активних фільтрів другого порядку, типи фільтрів, роботу фільтрів у частотній та часовій областях.

Зміст домашньої підготовки

1. Вивчити типи активних фільтрів.
2. Вивчити схемні реалізації активних фільтрів, вивчити особливості схеми Салена–Кі, яка наведена на рис. 2.4.

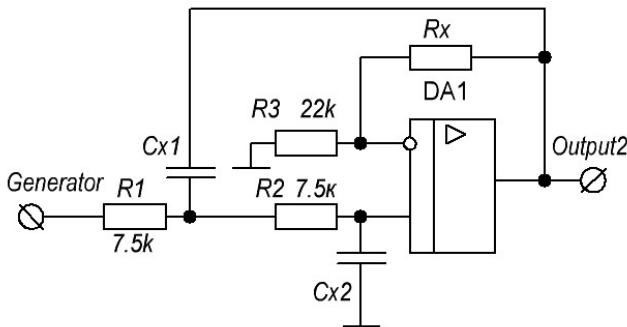


Рис. 2.4. Активний фільтр нижніх частот

3. Розрахувати активний фільтр другого порядку нижніх частот на основі схеми Салена–Кі згідно з індивідуальним завданням з табл. 2.7. Обирати $R1 = R2 = 7,5 \text{ кОм}$, $R3 = 22 \text{ кОм}$, $Cx1 = Cx2$.

Таблиця 2.7. Варіанти завдань лабораторної роботи № 4

	Тип фільтра	Частота зрізу, Гц	Коефіцієнт підсилення
1	З критичним затуханням	620	1
2	Бесселя	350	1,268
3	Баттерворта	450	1,586
4	Чебишева	250	2,234
5	Чебишева	530	2,234

Хід роботи

1. Установити змінний модуль з активним фільтром у демонстраційну плату.

2. Підключити необхідні конденсатори, $Cx1$ – з набору змінних компонентів 1, $Cx2$ – з набору змінних компонентів 2.

3. Підключити на вихід *Output1* осцилограф, за допомогою перемикача *Output1* обрати підключення генератора (друге положення).

4. Органами керування генератора встановити тестовий сигнал синусоїдальної форми амплітудою $1 \dots 2 \text{ В}$.

5. Підключити осцилограф на вивід *Output2*. Змінюючи частоту сигналу, зняти амплітудно-частотну характеристику, заповнити табл. 2.8. Потрібно зробити виміри при зміні частоти не менше, ніж на декаду вниз та вгору від частоти зрізу.

Таблиця 2.8. Залежність вихідної напруги від частоти

	Частота, Гц	Вихідна напруга, В	Коефіцієнт підсилення, дБ

6. Дослідити явище придушення вищих гармонік у наступному порядку: установити частоту сигналу, яка дорівнює частоті зрізу. Установити прямокутну і трикутну форми сигналу, зробити скріншоти вихідного сигналу фільтра.

7. Дослідити перехідний процес у фільтрі за допомогою сигналу прямокутної форми в наступному порядку: підключити на вихід *Output1* осцилограф. Органами керування генератора встановити тестовий сигнал прямокутної форми амплітудою 1...2 В.

8. Підключити другий канал осцилографа до виходу *Output2*. Вивчити зображення перехідного процесу, зробити скріншот.

9. Скласти модель активного фільтра нижніх частот у програмі *Multisim*. Виконати аналіз перехідного процесу, зробити скріншот.

10. Виконати аналіз амплітудно-частотної характеристики, зробити скріншот.

11. Синтезувати активний фільтр, відповідно до завдання, за допомогою програми *FilteLab2* або інструмента програми *Multisim* (меню *Tools – Circuits Wizards – Filter Wizard*). Порівняти синтезований фільтр із розробленим.

12. Зробити висновки.

Зміст звіту

Звіт по роботі має містити титульний аркуш, назву і мету роботи, короткі теоретичні відомості щодо типів активних фільтрів, результати розрахунку активного фільтра. Експериментальна частина лабораторної роботи має містити опис процесу вимірювань, скріншоти з результатами моделювання та поясненнями, таблицю з даними про залежність вихідної напруги від частоти активного фільтра. Висновки по роботі.

Контрольні питання

1. Пояснити різницю між амплітудно-частотними характеристиками різних типів активних фільтрів.
2. Пояснити різницю між перехідними характеристиками різних типів активних фільтрів.
3. Пояснити методику розрахунку активних фільтрів.
4. Пояснити критерії вибору типу активного фільтра.
5. У чому переваги активних фільтрів?

Лабораторна робота № 5 АКТИВНІ СМУГОВІ ФІЛЬТРИ

Мета роботи: дослідити методику розрахунку активних смугових фільтрів, роботу фільтрів у частотній області.

Зміст домашньої підготовки

1. Вивчити способи перетворення фільтрів нижніх частот у смугові та фільтри високих частот.
2. Вивчити схемну реалізацію активного смугового фільтра, вивчити особливості схеми Рауха, яка наведена на рис. 2.5.

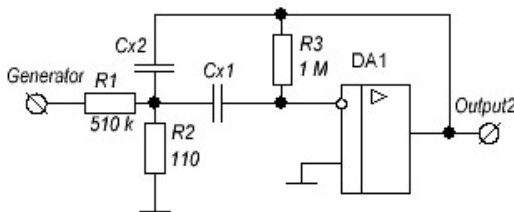


Рис. 2.5. Активний смуговий фільтр

3. Розрахувати активний смуговий фільтр другого порядку на основі схеми Рауха згідно з індивідуальним завданням

з табл. 2.9. Обирати $R1 = 510 \text{ кОм}$, $R2 = 100 \text{ Ом}$, $R3 = 1 \text{ МОм}$, $Cx1 = Cx2$.

4. Розрахувати добротність і ширину смуги пропускання фільтра.

Таблиця 2.9. Варіанти завдань лабораторної роботи № 5

	Сигнал для дослідження	Частота зрізу, Гц	Коефіцієнт підсилення
1	Прямокутний	220	1
2	Прямокутний	320	1
3	Трикутний	470	1
4	Прямокутний	700	1
5	Трикутний	1500	1

Хід роботи

1. Установити змінний модуль з активним фільтром у демонстраційну плату.

2. Підключити необхідні конденсатори, $Cx1$ – з набору змінних компонентів 1, $Cx2$ – з набору змінних компонентів 2. У деяких завданнях передбачено паралельне з'єднання конденсаторів.

3. Підключити на вихід *Output1* осцилограф, за допомогою перемикача *Output1* обрати підключення генератора (друге положення).

4. Органами керування генератора встановити тестовий сигнал синусоїдальної форми амплітудою $1 \dots 2 \text{ В}$.

5. Підключити осцилограф на вихід *Output2*. Змінюючи частоту сигналу, зняти амплітудно-частотну характеристику, заповнити таблицю 2.10. Потрібно зробити виміри при зміні частоти не менше, ніж на декаду вниз та вгору від частоти зрізу.

6. За допомогою вимірювання амплітуди сигналу визначити верхню і нижню частоти зрізу. Порівняти смугу пропускання з розрахованим значенням.

Таблиця 2.10. Залежність вихідної напруги від частоти

	Частота, Гц	Вихідна напруга, В	Коефіцієнт підсилення, дБ

7. Переключити генератор на прямокутний або трикутний режим згідно із завданням. Визначити амплітуду основної гармоніки за допомогою осцилографа. Зменшити частоту генератора в три і п'ять разів і визначити амплітуди третьої і п'ятої гармонік сигналу. Заповнити табл. 2.11.

Таблиця 2.11. Залежність вихідної напруги від частоти

	Частота, Гц	Вихідна напруга, В проба	Вихідна напруга, В модель

8. Скласти модель активного фільтра нижніх частот у програмі *Multisim*. Виконати аналіз амплітудно-частотної характеристики, зробити скріншот.

9. По АЧХ визначити ширину смуги фільтра, порівняти з розрахованим значенням.

10. За допомогою *Function Generator* та інструменту *Simulate-Analysis-Fourier Analysis* визначити амплітуди першої, третьої і п'ятої гармонік відповідного сигналу згідно із завданням, доповнити табл. 2.11.

11. Зробити висновки.

Зміст звіту

Звіт по роботі має містити титульний аркуш, назву і мету роботи, короткі теоретичні відомості щодо смугових активних

фільтрів, результати розрахунку активного фільтра. Експериментальна частина лабораторної роботи має містити опис процесу вимірювань, скріншоти з результатами моделювання та поясненнями, таблиці з даними про залежність вихідної напруги від частоти активного фільтра, висновки по роботі.

Контрольні питання

1. Пояснити перетворення фільтрів низьких частот у смугові.
2. Пояснити фізичний сенс параметрів смугового фільтра: коефіцієнт підсилення, добротність, ширину смуги, частоту зрізу.
3. Пояснити методику розрахунку активних фільтрів.
4. Пояснити гармонійний склад сигналу трикутної або прямокутної форми.
5. У чому переваги активних фільтрів?

Лабораторна робота № 6 **ІНТЕГРАЛЬНИЙ ТАЙМЕР**

Мета роботи: дослідити роботу інтегрального таймера в режимі мультивібратора.

Зміст домашньої підготовки

1. Вивчити будову і принцип дії інтегрального таймера 555.
2. Вивчити особливості роботи інтегрального таймера 555 у режимі мультивібратора, схема якого наведена на рис. 2.6.
3. Розрахувати схему мультивібратора згідно з індивідуальним завданням з табл. 2.12. Резистор R_1 установлений на модулі і має опір 5,1 кОм, конденсатор C_{x1} і резистор R_{x2} обираються з наборів змінних компонентів. Розрахувати два варіанти комбінацій опору та ємності, які є в наявності в набо-

рах змінних компонентів, і уточнити отриману частоту коливань, розрахувати тривалість імпульсу й паузи вихідних коливань таймера. Результати занести до табл. 2.13.

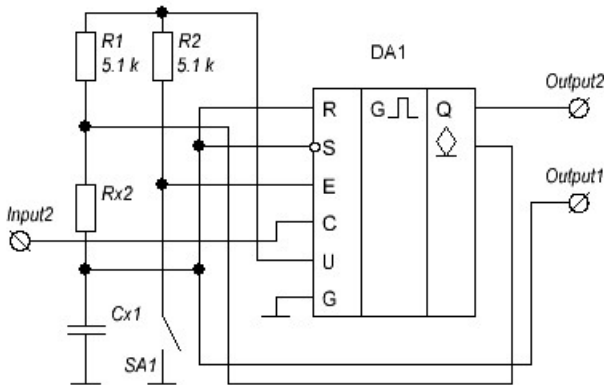


Рис. 2.6. Мультивібратор на таймері 555

Таблиця 2.12. Варіанти завдань лабораторної роботи № 6

Варіант	1	2	3	4	5
Частота, Гц	2000	4300	9300	430	320

Таблиця 2.13. Параметри сигналу мультивібратора

	Опір Rx2	Ємність Cx1	Частота	Імпульс	Пауза
Розрахунок					
Проба					
Модель					

4. Вивчити роботу мультівібратора при подачі на вхід керуючої напруги. Розрахувати залежність частоти від керуючої напруги, напруга живлення 12 В, результати занести до табл. 2.14.

Таблиця 2.14. Залежність частоти від керуючої напруги

	Вхідна керуюча напруга, В	Частота вихідного сигналу, В		
		Проба	Модель	Діод
1	1			
2	2			
3	3			
4	4			
5	5			

Хід роботи

1. Установити змінний модуль з мультівібратором у демонстраційну плату.

2. Підключити необхідні конденсатори, $Cx1$ – з набору змінних компонентів 1, $Rx2$ – з набору змінних компонентів 2.

3. Підключити на вихід *Output1* осцилограф, за допомогою перемикача *Output1* обрати підключення вихідного сигналу (перше положення), підключити на вихід *Output2* другий канал осцилографа. На виході *Output1* будемо спостерігати напругу на конденсаторі $Cx1$, на виході *Output2* – основний сигнал мультівібратора.

4. Переконатися, що в перемикачі *Input2* не встановлені джампери. Увімкнути демонстраційну плату, виміряти за допомогою осцилографа частоту, тривалість імпульсу і паузи, занести отримані дані до табл. 2.13, зробити скріншот, вимкнути демонстраційну плату.

5. Установити компоненти $Cx1$, $Rx2$ для другого варіанта і виконати дії згідно з пунктом 4.

6. Підключити на вхід *Input2* сигнал з джерел напруги 1 або 2, для цього встановити перемикач *Input2* в положення 4 або 5.

7. Увімкнути демонстраційну плату, за допомогою відповідного джерела напруги дослідити залежність частоти вихідного сигналу від керуючої напруги, результати занести до табл. 2.14. Частоту вимірювати за допомогою осцилографа, під'єднаного до виходу *Output2*, керуючу напругу вимірювати мультиметром на контрольних точках.

8. Скласти модель таймера в програмі *Multisim*. Виконати дослідження моделі аналогічно пунктам 4, 5, 7. Зробити скріншоти, заповнити табл. 2.13, 2.14.

Зміст звіту

Звіт по роботі має містити титульний аркуш, назву і мету роботи, короткі теоретичні відомості щодо будови і принципу дії інтегрального таймера 555, результати розрахунку компонентів і параметрів сигналу. Експериментальна частина лабораторної роботи має містити опис процесу вимірювань, скріншоти з результатами моделювання та поясненнями, таблиці з даними, висновки по роботі.

Контрольні питання

1. Пояснити будову інтегрального таймера 555.
2. Пояснити принцип дії інтегрального таймера 555 у режимі одновібратора.
3. Пояснити принцип дії інтегрального таймера 555 у режимі мултивібратора.
4. Пояснити вплив керуючої напруги на роботу інтегрального таймера 555 у режимі мултивібратора.
5. У чому переваги інтегрального таймера 555?

Лабораторна робота № 7

ГЕНЕРАТОР СИНУСОЇДАЛЬНОГО СИГНАЛУ

Мета роботи: дослідити роботу генератора синусоїдального сигналу на основі коливальної ланки та способи стабілізації амплітуди вихідного сигналу.

Зміст домашньої підготовки

1. Вивчити загальну структуру генераторів синусоїдального сигналу, принцип дії та умови збудження.
2. Вивчити особливості побудови RC генераторів на ОП і способи стабілізації амплітуди сигналу.
3. Вивчити властивості моста Віна, принцип дії RC генератора з мостом Віна.

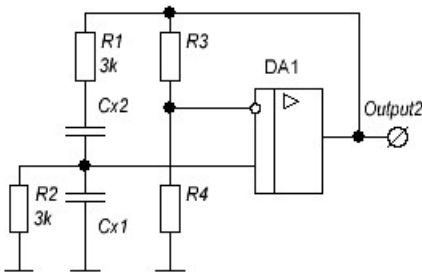


Рис. 2.7. Генератор синусоїдального сигналу

Розрахувати параметри компонентів схеми, яка наведена на рис 2.7. Опори резисторів задані $R1 = R2 = 3 \text{ кОм}$, ємності конденсаторів $Cx1$ і $Cx2$ розрахувати відповідно до варіанта індивідуального завдання з табл. 2.15.

Таблиця 2.15. Варіанти завдань лабораторної роботи № 7

Варіант	1	2	3	4	5
Частота, Гц	2000	4300	9300	430	320

4. Сформулювати умови появи коливань та стабілізації амплітуди коливань. Розробити коло $R3R4$ в трьох варіантах: без стабілізації, стабілізація за допомогою металевого термо-

резистора замість R_4 , стабілізація за допомогою резисторно-діодного кола замість R_3 .

5. Вивчити інструмент для вимірювання гармонічних спотворень *Distortion analyzer*.

Хід роботи

1. Установити змінний модуль з генератором зі стабілізацією з металевим терморезистором у демонстраційну плату.

2. Підключити осцилограф на вихід *Output2*.

3. Увімкнути живлення демонстраційної плати, на екрані осцилографа спостерігати синусоїдальні коливання, виміряти амплітуду й частоту, зробити скріншот. Результат занести до табл. 2.16.

4. Налаштувати одноразовий режим розгортки осцилографа. Вимикаючи і вмикаючи демонстраційну плату, дослідити процес появи і зростання коливань до усталеного стану, зробити скріншот.

5. Виконати пункти 2, 3, 4 з генератором зі стабілізацією за допомогою резисторно-діодного кола.

6. Скласти моделі генератора в програмі *Multisim* зі стабілізацією за допомогою резисторно-діодного кола та без стабілізації.

7. Виконати дослідження моделі аналогічно пунктам 3, 4, 5 і виміряти нелінійні спотворення в обох варіантах. Зробити скріншоти, заповнити табл. 2.16.

8. Виміряти гармонічні спотворення за допомогою *Distortion analyzer*, результати занести до табл. 2.16.

9. Дати пояснення щодо процесу виникнення і стабілізації коливань при дослідженні моделей та реальних схем.

Таблиця 2.16. Результати дослідження генератора

	Тип стабілізації	Частота, Гц	Амплітуда, В	Спотворення
Проба	Терморезистором			
	Діодами			
Модель	Діодами			
	Без стабілізації			

Зміст звіту

Звіт по роботі має містити титульний аркуш, назву і мету роботи, короткі теоретичні відомості про RC генератори синусоїдального сигналу на ОП, умови збудження і способи стабілізації амплітуди коливань, результати розрахунку компонентів принципової схеми. Експериментальна частина лабораторної роботи має містити опис процесу вимірювань, скріншоти з результатами моделювання та поясненнями, таблиці з даними, висновки по роботі.

Контрольні питання

1. Пояснити принцип дії та загальний склад генераторів синусоїдального сигналу на основі коливальної ланки.
2. Пояснити умови збудження генераторів та способи стабілізації амплітуди. У чому полягає необхідність стабілізації амплітуди?
3. Пояснити властивості моста Віна, надати його амплітудну та фазову частотні характеристики.
4. У чому полягають переваги й недоліки стабілізації амплітуди за допомогою металевого терморезистора?
5. Як впливають ємності конденсаторів моста Віна на частоту генератора?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. **Колонтаєвський, Ю. П.** Електроніка і мікросхемотехніка [Текст] : підручник / за ред. А. Г. Соскова. – К. : Каравела, 2009. – 416 с.
2. Електроніка та мікросхемотехніка [Текст] / С. О. Квітка, В. Ф. Яковлев, О. В. Нікітіна ; за заг. ред. проф. В. Ф. Яковлева. – Суми, 2012. – 350 с.
3. **Гутников, В. С.** Интегральная электроника в измерительных устройствах [Текст] / В. С. Гутников. – Л. : Энергоатомиздат, 1988. – 304 с.
4. **Костенко, Д. В.** Методичні вказівки до самостійної роботи з дисципліни «Електроніка та мікросхемотехніка» [Текст] / Д. В. Костенко. – Миколаїв, НУК, 2005. – 33 с.
5. Моделювання пристроїв обробки аналогових сигналів [Текст] : навч. посіб. / В. М. Рябенський, В. М. Співак. – Миколаїв, НУК, 2018. – 364 с.

ДОДАТОК

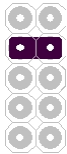
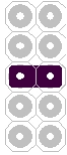
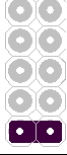
Таблиця Д.1. Призначення джамперів демонстраційної плати

Перемикач <i>Attenuator</i>		Вихідна напруга генератора 1:1
		Вихідна напруга генератора 1:10
		Вихідна напруга генератора 1:100
Перемикач <i>Mode</i>		Синусоїдальна форма напруги
		Трикутна форма напруги
		Прямокутна форма напруги
Перемикач <i>Band</i>		Частота генератора – десятки кілогерц
		Частота генератора – одиниці кілогерц
		Частота генератора – сотні герц

Продовж. табл. Д.1

		Частота генератора – десятки герц
Перемикач <i>Output1</i>		Сигнал Вихід 1
		Сигнал генератора
		Сигнал датчика температури
		Сигнал джерела напруги 1
		Сигнал джерела напруги 2
Перемикачі <i>Input1</i> та <i>Input2</i>		0 В

Продовж. табл. Д.1

		Сигнал генератора
		Сигнал датчика температури
		Сигнал джерела напруги 1
		Сигнал джерела напруги 2
Атенюатор напруг		Напруга 0...0,5 В
		Напруга 1 – 0...5 В Напруга 2 – 0...0,5 В
		Напруга 1 – 0...0,5 В Напруга 2 – 0...5 В
		Напруга 0...5 В
Комутатор реостата		Обрив кола
		Використання реостата

Продовж. табл. Д.1

		Коротке замикання
		Коротке замикання

ЗМІСТ

Вступ	3
1. Лабораторне обладнання	4
2. Лабораторні роботи	12
Лабораторна робота № 1. Диференціальний підсилювач	12
Лабораторна робота № 2. Багатовходовий суматор-віднімач	15
Лабораторна робота № 3. Вимірювальний випрямляч	17
Лабораторна робота № 4. Активні фільтри нижніх частот	20
Лабораторна робота № 5. Активні смугові фільтри	23
Лабораторна робота № 6. Інтегральний таймер	26
Лабораторна робота № 7. Генератор синусоїдального сигналу	30
Список літератури	33
Додаток	34

ДЛЯ ЗАДАТОК

Навчальне видання

КОСТЕНКО Дмитро Валерійович
ТРИБУЛЬКЕВИЧ Сергій Леонідович
ГРУДІНІНА Ганна Сергіївна

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторних робіт з дисципліни
«ЕЛЕКТРОНІКА ТА МІКРОСХЕМОТЕХНІКА»

У двох частинах

Частина 2

Редактор *О. Г. Костенко*
Комп'ютерне верстання *В. В. Москаленко*
Коректор *М. О. Паненко*

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 2,3. Тираж 100 прим. Вид. № 15. Зам. № 0706-48.

Видавець і виготівник Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

просп. Героїв України, 9, м. Миколаїв, 54025

E-mail : publishing@nuos.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6402 від 19.09.2018 р.