

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання індивідуальних робіт
з дисциплін: «Вимірювальні перетворювачі»,
«Вимірювальні перетворювачі електронних систем»
для студентів денної та заочної форм навчання всіх спеціальностей**

Методичні вказівки до виконання індивідуальних робіт з дисциплін: «Вимірювальні перетворювачі», «Вимірювальні перетворювачі електронних систем» (для студентів денної та заочної форм навчання всіх спеціальностей) [Електронний ресурс] / уклад. О.В. Вовна, Е.А. Петелін, – Луцьк : ДонНТУ, 2023. – 23 с.

Методичні вказівки призначено для виконання індивідуальних робіт з дисциплін: «Вимірювальні перетворювачі», «Вимірювальні перетворювачі електронних систем», у них наведено варіанти індивідуальних завдань, основні теоретичні положення та типовий хід виконання досліджень щодо виконання індивідуальних розрахункових робіт, вимоги до змісту звіту, завдання для самоаналізу, а також перелік рекомендованої літератури.

Укладачі: Вовна О.В., д.т.н., проф., завідувач кафедри електронної техніки;
Петелін Е.А., к.т.н., доц., доцент кафедри електронної техніки.

Рецензент: Колларов О.Ю., доц., к.т.н., зав. каф. електричної інженерії.

Відповідальний за випуск: Вовна О.В., завідувач кафедри електронної техніки.

Затверджено навчально-методичним відділом ДонНТУ,
протокол № 4 від 31.01.2023 р.

Розглянуто на засіданні кафедри електронної техніки,
протокол № 7 від 19.01.2023 р.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
ЗАВДАННЯ № 1	7
РОЗРАХУНОК ТА ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ІНВЕРТУЮЧОГО ТА НЕІНВЕРТУЮЧОГО СУМАТОРА НА БАЗІ ОППС	7
ЗАВДАННЯ № 2	15
РОЗРАХУНОК ТА ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ІНТЕГРАТОРА ТА ДИФЕРЕНЦІАТОРА НА БАЗІ ОППС	15
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	23

ВСТУП

Індивідуальні роботи з дисциплін: «Вимірювальні перетворювачі», «Вимірювальні перетворювачі електронних систем» охоплюють основні питання зазначених курсів, а саме: розрахунок, проектування та моделювання схем і принципу роботи пристроїв функціонального перетворення аналогових сигналів на базі мікросхем операційних підсилювачів постійного струму (ОППС).

Метою викладання дисципліни є формування у студентів знань, вмінь і навиків кваліфікованого застосування сучасної компонентної бази задля побудови та дослідження структур і принципів дії вимірювальних перетворювачів аналогових сигналів. Дисципліна покликана навчити студентів застосуванню сучасних методів та засобів виконання технічних розрахунків, аналізу та синтезу щодо побудови вимірювальних перетворювачів електронних систем.

Методичні вказівки призначено для виконання індивідуальних розрахункових робіт з дисциплін: «Вимірювальні перетворювачі», «Вимірювальні перетворювачі електронних систем». У них наведено варіанти індивідуальних завдань, основні теоретичні положення та послідовність виконання індивідуальних розрахункових робіт, вимоги до змісту звіту, завдання для самоаналізу, а також перелік рекомендованої літератури.

Розрахункова робота складається з двох завдань. Вона оформлюється та подається на перевірку у формі пояснювальної записки на аркушах формату А4. Пояснювальна записка складається з: титульного аркушу, аркушу завдання на індивідуальну роботу згідно варіанту, вступу, основної частини, висновків та переліку посилань. Кількість розділів основної частини пояснювальної записки повинна відповідати кількості завдань до індивідуальної розрахункової роботи. Пояснювальну записку роботи слід оформлювати у відповідності до ДСТУ 3008:2015 «Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення». Електричні схеми, графіки і таблиці виконуються із застосуванням спеціального програмного забезпечення.

Варіант індивідуальної роботи (табл.1) відповідає номеру студента в журналі академічної групи. Вихідні дані до завдань вибираються з таблиць 2-5.

Знання та вміння, набуті студентами під час виконання індивідуальних розрахункових робіт із зазначених дисциплін, застосовуються при подальшому вивченні дисциплін професійної та практичної підготовки, а також при виконанні бакалаврської та магістерської випускної кваліфікаційної роботи.

Таблиця 1 – Варіанти індивідуальної роботи

Варіант	Вихідні дані		Варіант	Вихідні дані		Варіант	Вихідні дані	
	М	N		М	N		М	N
1	1	0	11	1	1	21	1	2
2	2	1	12	2	2	22	2	3
3	3	2	13	3	3	23	3	4
4	4	3	14	4	4	24	4	5
5	5	4	15	5	5	25	5	6
6	6	5	16	6	6	26	6	7
7	7	6	17	7	7	27	7	8
8	8	7	18	8	8	28	8	9
9	9	8	19	9	9	29	9	0
10	0	9	20	0	0	30	0	1

Таблиця 2 – Варіанти вихідних даних до завдання № 1

М	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Інвертуючий суматор										
Модель ОППС	AD 515	AD 542	AD 545	AD 645	AD 647	AD 741	AD 822	AD 827	AD 840	AD 844
Ku ₁	2,5	3	1	2	3,5	1,2	1	1,1	2,1	3
Ku ₂	3	1	3	2,5	2	2,5	2,5	1,5	1,3	2,5
Ku ₃	1	1,5	2	1,5	1,5	3	3	2,3	2	1,2
A	5	2	2,5	2	4,5	2	5	2,5	4	1,5
B	3	3	1,5	2,5	1,5	3,5	4	1,5	2,5	0,5
C	2	4	3	5	0,5	1,5	2,5	3,5	5	3
Діапазон зміни U ₁ , B	-5...5	-2...2	-3...3	-5...5	-2...2	-3...3	-5...5	-2...2	-3...3	-5...5
Діапазон зміни U ₂ , B	-2...2	-5...5	-2...2	-3...3	-5...5	-2...2	-3...3	-5...5	-2...2	-3...3
Діапазон зміни U ₃ , B	-3...3	-3...3	-5...5	-2...2	-3...3	-5...5	-2...2	-3...3	-5...5	-2...2

Таблиця 3 – Варіанти вихідних даних до завдання № 1

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Неінвертуючий суматор										
Модель ОППС	AD 840	AD 822	AD 542	AD 844	AD 545	AD 647	AD 827	AD 741	AD 645	AD 515
K_{u1}	2	3	1,5	1,2	2	1,5	2,3	3	1,5	1
K_{u2}	1,3	2,5	1	2,5	3	2	1,5	2,5	2,5	3
K_{u3}	2,1	1	3	3	1	3,5	1,1	1,2	2	2,5
A	2,5	4	3	0,5	1,5	1,5	1,5	3,5	2,5	3
B	4	5	2	1,5	2,5	4,5	2,5	2	2	5
C	5	2,5	4	3	3	0,5	3,5	1,5	5	2
Діапазон зміни U_1 , В	-5...5	-2...2	-3...3	-2...2	-5...5	-3...3	-3...3	-5...5	-2...2	-3...3
Діапазон зміни U_2 , В	-2...2	-3...3	-5...5	-3...3	-2...2	-5...5	-5...5	-2...2	-3...3	-2...2
Діапазон зміни U_3 , В	-3...3	-5...5	-2...2	-5...5	-3...3	-2...2	-2...2	-3...3	-5...5	-5...5

Таблиця 4 – Варіанти вихідних даних до завдання № 2

M	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Інтегратор										
Модель ОППС	LMV 791	LMV 792	LMV 793	LMV 794	LMV 796	LMV 821	LMV 822	LMV 824	LMV 831	LMV 832
Тип функції*	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Амплітуда, В	2	5	3	2,5	3,5	4	2,5	5	4,5	3
Частота, кГц	0,75	0,25	1	0,5	0,3	0,45	0,35	0,8	0,9	0,6
τ_1 , мс	1	1,5	2	1,5	1,5	3	3	2,3	2	1,2
$U_{вих}(0)$, В	0,5	0,2	0,25	0,1	0,4	0,2	0,25	0,5	0,4	0,2
*Примітка: 1 – косинусоїда; 2 – синусоїда										

Таблиця 5 – Варіанти вихідних даних до завдання № 2

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Диференціатор										
Модель ОППС	LMV 822	LMV 824	LMV 821	LMV 796	LMV 794	LMV 792	LMV 791	LMV 832	LMV 844	LMV 793
Тип функції*	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
Амплітуда, В	2,5	5	4	3,5	2,5	5	2	3	4,5	3
Частота, кГц	0,8	1	0,2	0,4	0,75	0,7	1	0,65	0,55	0,9
τ_d , мс	3	2,3	3	1,5	1,5	1,5	1	1,2	2	2
*Примітка: 1 – косинусоїда; 2 – синусоїда										

ЗАВДАННЯ № 1

РОЗРАХУНОК ТА ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ІНВЕРТУЮЧОГО ТА НЕІНВЕРТУЮЧОГО СУМАТОРА НА БАЗІ ОППС

Мета: засвоїти основні теоретичні положення та набути практичних навичок з методик розрахунку й методів дослідження лінійних схем аналогового перетворення сигналів.

Завдання: провести розрахунок та дослідження схем інвертуючого та неінвертуючого суматора побудованих із застосуванням мікросхем ОППС за наступним алгоритмом:

- розрахувати параметри елементів схем інвертуючого та неінвертуючого суматорів;
- побудувати графічні залежності вихідного сигналу від вхідних для вищезазначених схем перетворювачів аналогових сигналів за постійним і змінним струмом;
- створити та дослідити імітаційні моделі інвертуючого та неінвертуючого суматора в програмному середовищі схемотехнічного моделювання Multisim з пакету NI Circuit Design Suite;
- вивчити принцип дії інвертуючих та неінвертуючих суматорів шляхом отримання: осцилограм вхідних та вихідних сигналів, амплітудно-частотних (АЧХ) і фазо-частотних ФЧХ електронних пристроїв;
- виконати якісний та кількісний аналіз отриманих результатів розрахунків і моделювання.

Основні теоретичні відомості та хід виконання розрахунків і дослідження:

1. Розрахунок параметрів елементів схеми у даній роботі передбачає визначення номіналів резисторів, які повинні забезпечувати відповідний коефіцієнт посилення напруги для кожного із каналів суматорів.

Принципові схеми досліджуваних інвертуючого та неінвертуючого суматорів наведено на рисунках 1.1 і 1.2, відповідно.

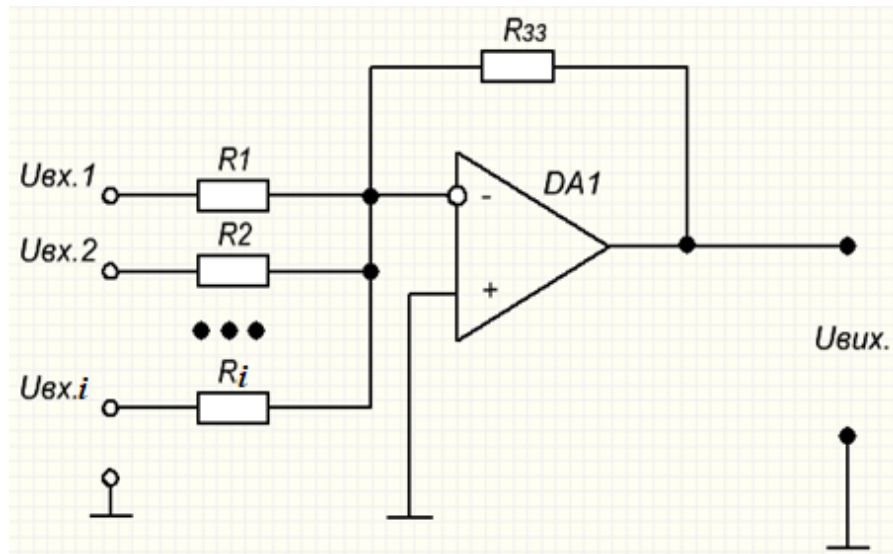


Рисунок 1.1 – Схема принципова інвертуючого суматора

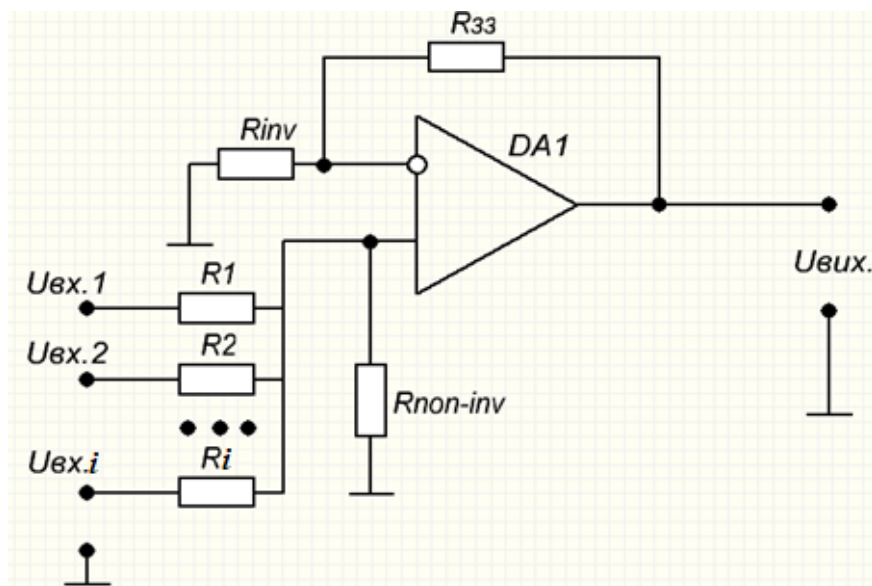


Рисунок 1.2 – Схема принципова неінвертуючого суматора

– Для схеми інвертуючого суматора коефіцієнти підсилення за кожним каналом розраховуються за формулою:

$$K_{U_i} = \frac{R_{зз}}{R_i}, \quad (1.1)$$

де R_{33} – номінал резистора, який включено в коло зворотного зв'язку;

R_i – вхідний опір i -го каналу.

Таким чином, залежність вихідної напруги від вхідних напруг описується формулою:

$$U_{\text{вих}} = - \left(\frac{R_{33}}{R_1} U_{\text{вх}_1} + \frac{R_{33}}{R_2} U_{\text{вх}_2} + \dots + \frac{R_{33}}{R_i} U_{\text{вх}_i} \right). \quad (1.2)$$

де $U_{\text{вх}_i}$ – вхідна напруга від дії i -го джерела.

– Для схеми неінвертуючого суматора коефіцієнти підсилення за кожним каналом розраховуються за формулою:

$$K_{U_i} = \frac{R_{\text{non-inv}}}{R_i}, \quad (1.3)$$

де i – номер каналу, до якого підключене джерело вхідної напруги ($i = 1 \dots n$).

У даній схемі обов'язковим є виконання наступної умови:

$$\frac{R_{33}}{R_{\text{inv}}} = \sum_{i=1}^n K_{U_i}. \quad (1.4)$$

Виходячи з цього залежність вихідної напруги від вхідних напруг описується формулою:

$$U_{\text{вих}} = \sum_{i=1}^n K_{U_i} U_{\text{вх}_i}. \quad (1.5)$$

де $U_{\text{вх}_i}$ – вхідна напруга від дії i -го джерела.

2. Побудова графічних залежностей для схем інвертуючого та неінвертуючого суматорів є однаковою і виконується у такий спосіб:

– за постійним струмом побудова виконується у відповідності до

допустимого діапазону зміни напруг вхідних джерел з урахуванням розрахованих вище номіналів резисторів схеми на підставі даних індивідуального завдання (див. рис. 1.3).

– за змінним струмом побудова виконується для номінальних даних вказаних у індивідуальному варіанті шляхом підстановки чисельних даних до виразів: $U_1(\omega t)=A \cdot \sin(\omega t)$, $U_1(\omega t)=B \cdot \sin(3\omega t)$, $U_1(\omega t)=C \cdot \sin(5\omega t)$. Частоту сигналу f прийняти рівною 200 Гц. Приклад характеристики за змінним струмом наведено на рисунку 1.4.

Під час побудови графічних залежностей рекомендовано використовувати ППП MathCad.

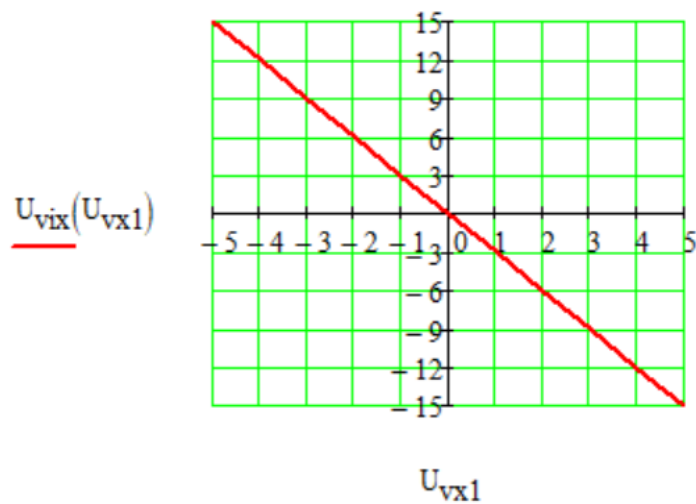


Рисунок 1.3 – Приклад характеристики за постійним струмом

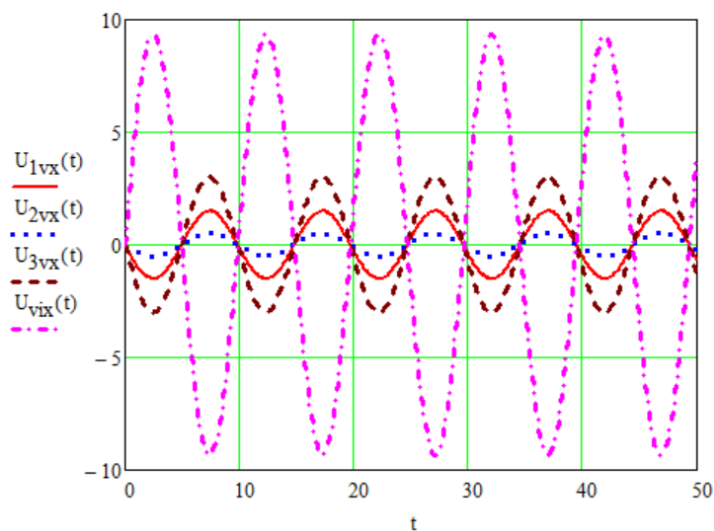


Рисунок 1.4 – Приклад характеристики за змінним струмом

На підставі отриманих результатів теоретичних розрахунків необхідно сформулювати вимоги до джерела живлення мікросхеми ОППС.

3. Побудова імітаційних моделей з подальшим їх дослідженням виконується в програмному середовищі схемотехнічного моделювання Multisim. Приклади реалізованих моделей інвертуючого та неінвертуючого суматорів з двома входами наведено на рисунках 1.5 і 1.6, відповідно.

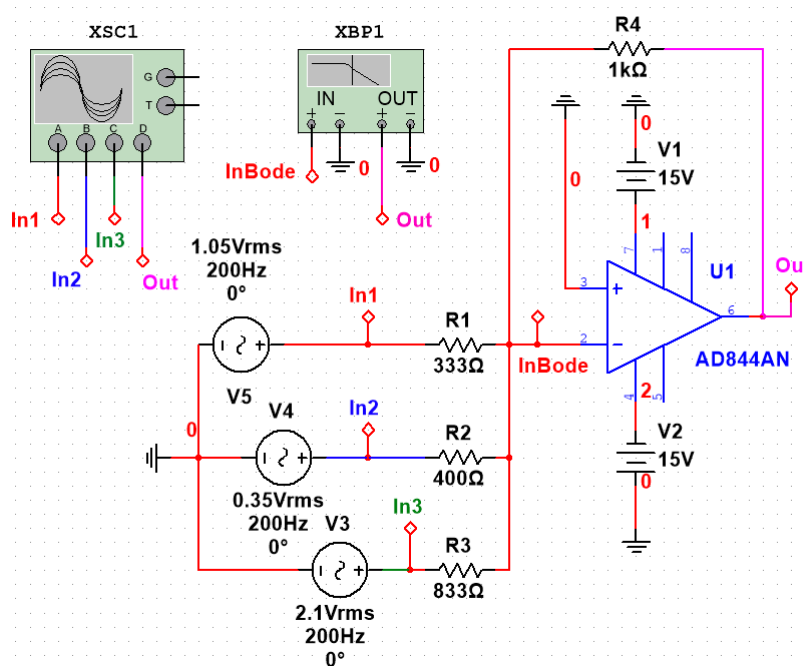


Рисунок 1.5 – Приклад імітаційної моделі інвертуючого суматора

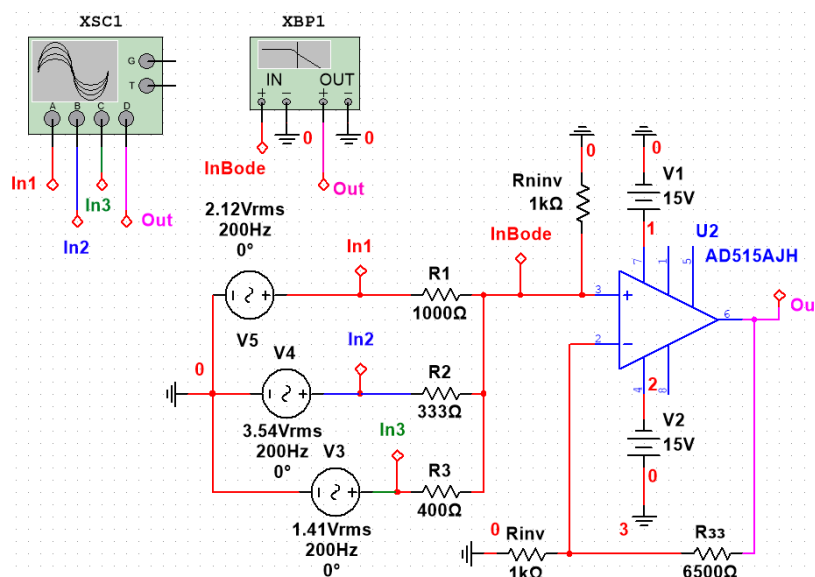


Рисунок 1.6 – Приклад імітаційної моделі неінвертуючого суматора

4. Для отримання осцилограм роботи реалізованих схем інвертуючого і неінвертуючого суматорів за змінним струмом використовується інструмент **Fuor chanell oscilloscope** (осцилограф з чотирма входами) з панелі інструментів. Зовнішній вигляд **Fuor chanell oscilloscope** у вікні схеми наведено на рисунку 1.7.

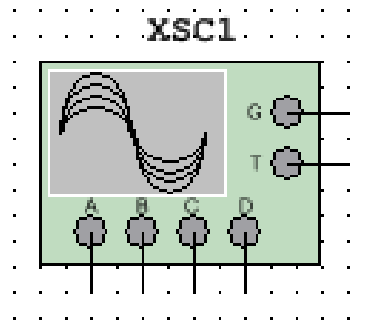


Рисунок 1.7 – Зовнішній вигляд інструменту Fuor chanell oscilloscope

Задля отримання АЧХ і ФЧХ схемних реалізацій електронних пристроїв використовується інструмент **Bode Plotter** з панелі інструментів, зовнішній вигляд якого, у вікні схеми, наведено на рисунку 1.8.

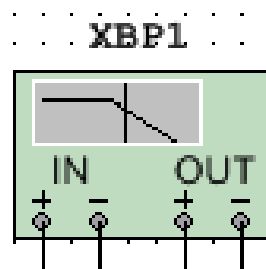
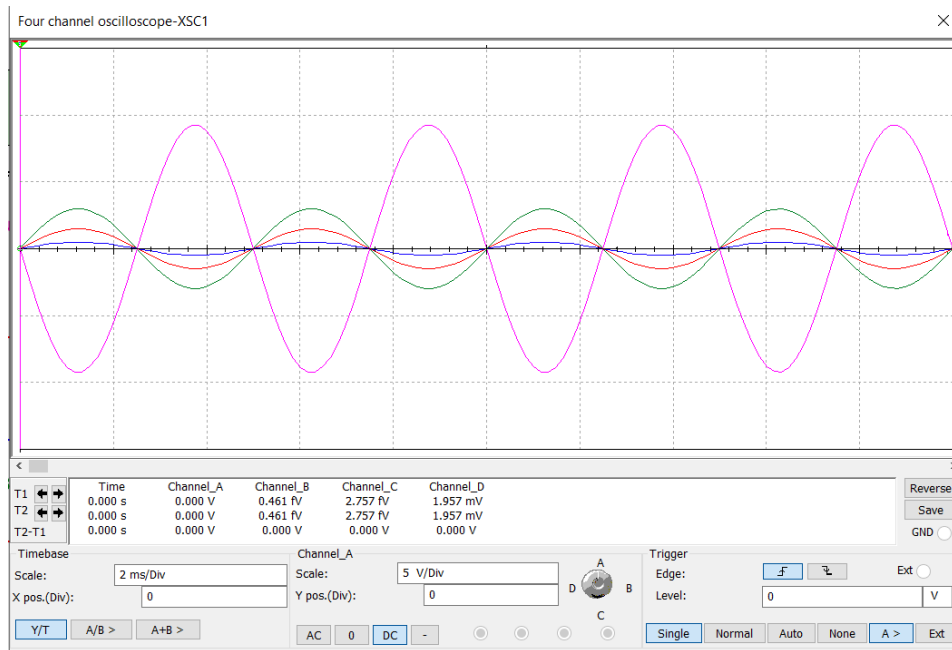


Рисунок 1.8 – Зовнішній вигляд інструменту Bode Plotter

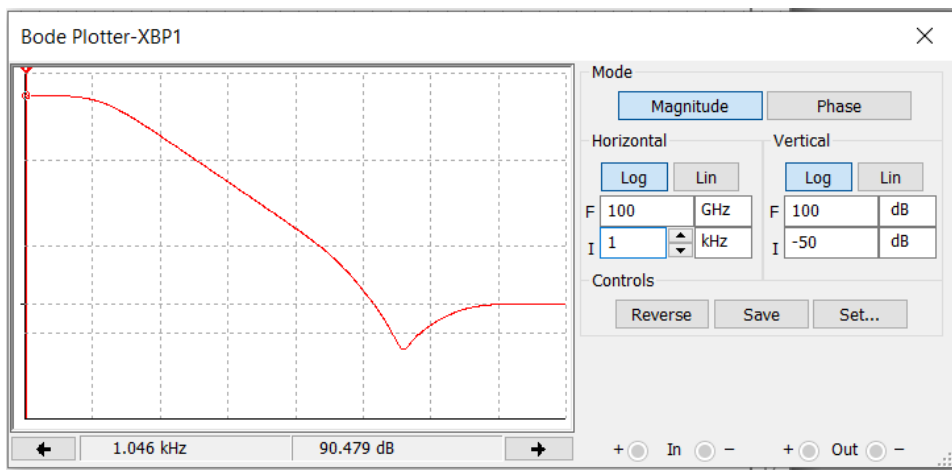
На підставі отриманих частотних характеристик каскадів необхідно оцінити їх граничні частоти смуги пропускання.

Типовий приклад результатів дослідження інвертуючого суматора на базі запропонованої методики наведено на рисунку 1.9, *а–в*.

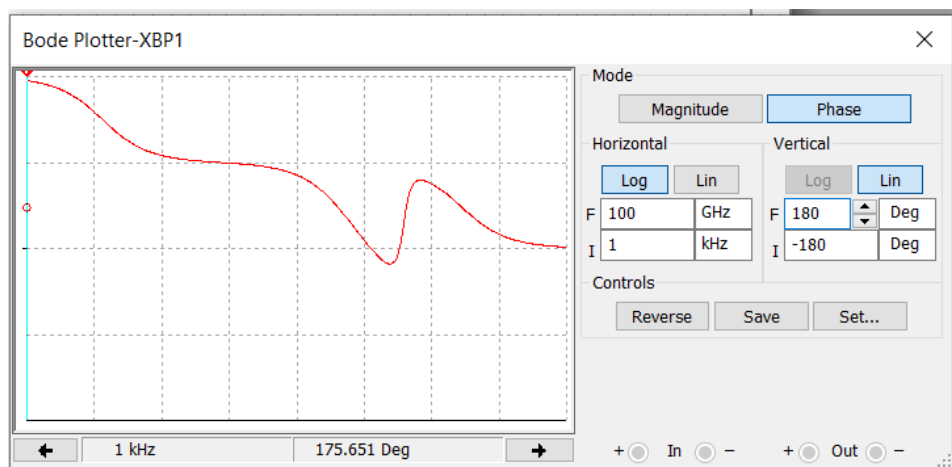
5. Останнім етапом досліджень є кількісний та якісний аналіз отриманих результатів, які включають порівняльну характеристику розрахунків та імітаційних випробувань реалізованих моделей.



а) Осцилограма



б) АЧХ



в) ФЧХ

Рисунок 1.9 – Приклади результатів досліджень інвертуючого суматора

Питання для самодіагностики:

1. Наведіть графічне зображення схеми інвертуючого суматора на базі ОППС.
2. Наведіть графічне зображення схеми неінвертуючого суматора на базі ОППС.
3. Запишіть рівняння для передавальної характеристики інвертуючого суматора на підставі законів Ома та Кірхгофа .
4. Запишіть рівняння для передавальної характеристики неінвертуючого суматора на підставі законів Ома та Кірхгофа .
5. Яка умова є обов'язковою під час реалізації неінвертуючого суматора на базі ОППС?
6. Що таке гранична частота смуги пропускання лінійного аналогового підсилювача?
7. Які характеристики перетворювачів аналогових сигналів дозволяє отримати віртуальний пристрій Bode Plotter?

Список рекомендованої літератури: [1 – 8].

ЗАВДАННЯ № 2

РОЗРАХУНОК ТА ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ІНТЕГРАТОРА ТА ДИФЕРЕНЦІАТОРА НА БАЗІ ОППС

Мета: засвоїти основні теоретичні положення та надбати практичні навички з методик розрахунку та методів дослідження схем перетворення аналогових сигналів на базі ОППС: інтегратора та диференціатора.

Завдання: виконати розрахунок і дослідження схем інтегратора та диференціатора на базі мікросхем ОППС за наступним алгоритмом:

- розрахувати параметри елементів схем інтегратора та диференціатора на базі мікросхем ОППС;
- побудувати графічні залежності вихідного сигналу від вхідного для вищезазначених схем перетворювачів аналогових сигналів за даними індивідуального варіанту;
- побудувати імітаційні моделі інтегратора та диференціатора на базі мікросхем ОППС в програмному середовищі схемотехнічного моделювання Multisim;
- вивчити принципи дії інтегратора та диференціатора на базі мікросхем ОППС шляхом отримання: осцилограм вхідних і вихідних сигналів, АЧХ і ФЧХ схемних реалізацій електронних пристроїв;
- провести якісний та кількісний аналіз отриманих результатів розрахунків і моделювання.

Основні теоретичні відомості та хід виконання розрахунків і дослідження:

1. Розрахунок параметрів елементів схем у даній роботі передбачає вибір номіналів пасивних елементів (R і C), які повинні забезпечувати відповідні значення постійних часу інтегрування (τ_I) та диференціювання (τ_D). Принципові

схеми досліджуваних схем перетворення аналогових сигналів на базі мікросхем ОППС, що інвертують та диференціюють, наведено на рисунках 2.1 і 2.2, відповідно.

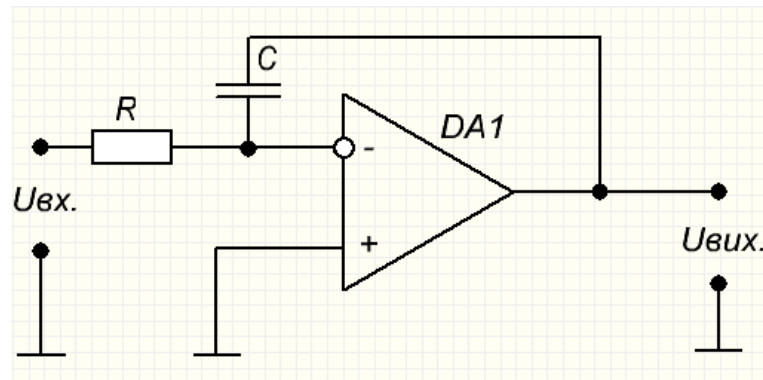


Рисунок 2.1 – Схема інтегратора на базі ОППС

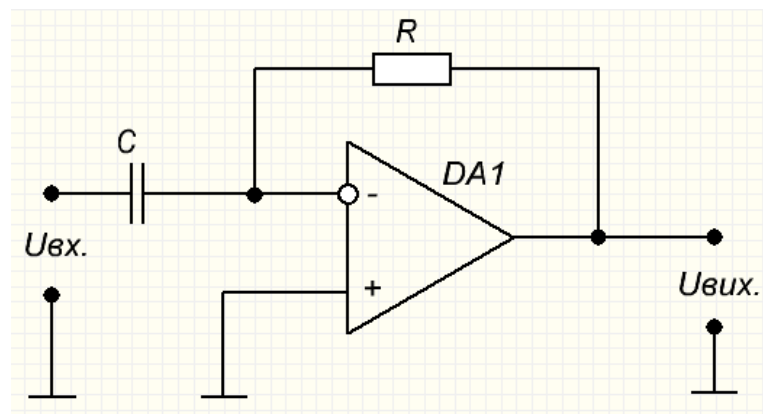


Рисунок 2.2 – Схема диференціатора на базі ОППС

– Для схеми інтегратора на базі ОППС вихідною є напруга на конденсаторі U_C . З урахуванням законів Ома та Кірхгофа для миттєвих значень струмів і напруг залежність між вхідною та вихідною напругою має наступний вигляд:

$$U_{\text{вих}}(t) = U_{\text{вих}}(0) - \frac{1}{RC} \int_0^t U_{\text{вх}}(t) dt, \quad (2.1)$$

де R, C – параметри пасивних елементів схеми;

$U_{\text{вих}}(0)$ – постійний член, який визначається початковими умовами інтегрування.

– Для схеми диференціатора на базі ОППС з урахуванням законів Ома та Кірхгофа для миттєвих значень струмів і напруг залежність між вхідною та вихідною напругою має наступний вигляд:

$$U_{\text{вих}}(t) = -RC \frac{dU_{\text{вх}}(t)}{dt}, \quad (2.2)$$

де R, C – параметри пасивних елементів схеми.

Для обох схем у формулах (2.1) і (2.2) добуток $R \cdot C$ називається постійною часу (τ). Для схем інтегратора та диференціатора розрахунок параметрів схеми та подальші дослідження виконуються за початкових умов, які задано в індивідуальному варіанті.

2. Побудувати графічні залежності вхідних та вихідних напруг для схем інтегратора і диференціатора для заданих у індивідуальних варіантах типів і параметрів вхідних сигналів.

Під час побудови графічних залежностей рекомендовано використовувати ППП MathCad. Приклади отриманих залежностей для схем інтегратора та диференціатора на базі ОППС наведено на рисунках 2.3 і 2.4, відповідно.

На підставі отриманих результатів теоретичних розрахунків необхідно поставити вимоги до джерела живлення мікросхеми ОППС.

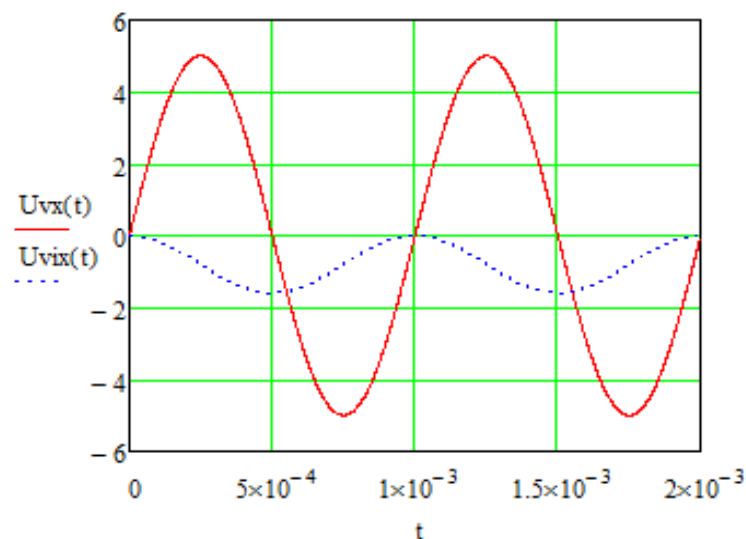


Рисунок 2.3 – Приклад характеристики перетворення інтегратора

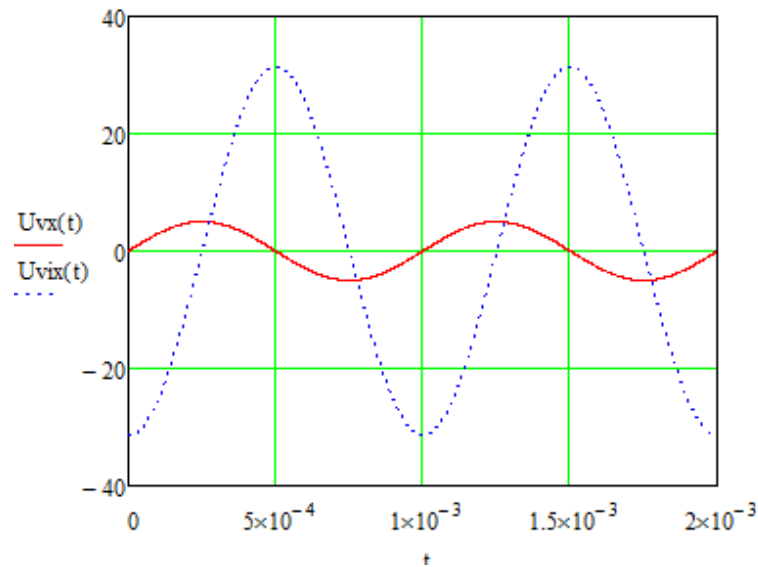


Рисунок 2.4 – Приклад характеристики перетворення диференціатора

3. Реалізація імітаційних моделей з подальшим їх дослідженням виконується в програмному середовищі схемотехнічного моделювання Multisim. Приклади реалізованих моделей інтегратора та диференціатора наведено на рисунках 2.5 і 2.6, відповідно.

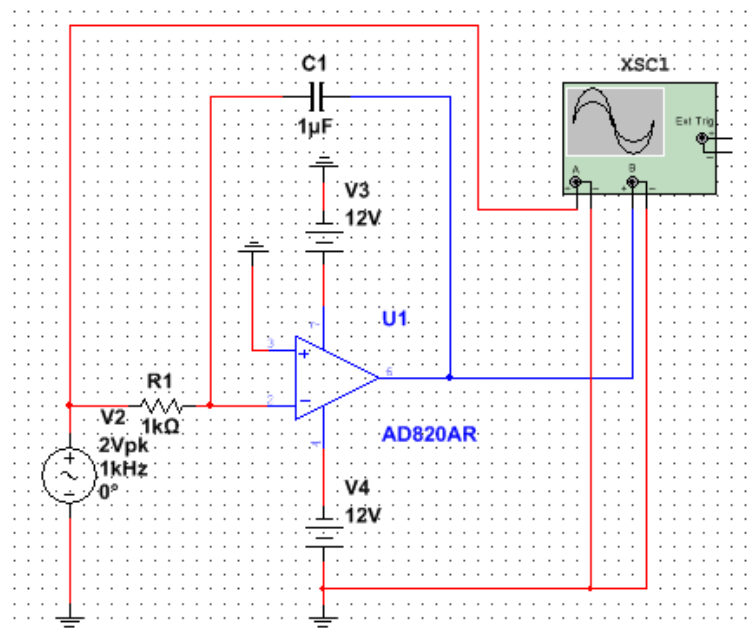


Рисунок 2.5 – Приклад імітаційної моделі інтегратора

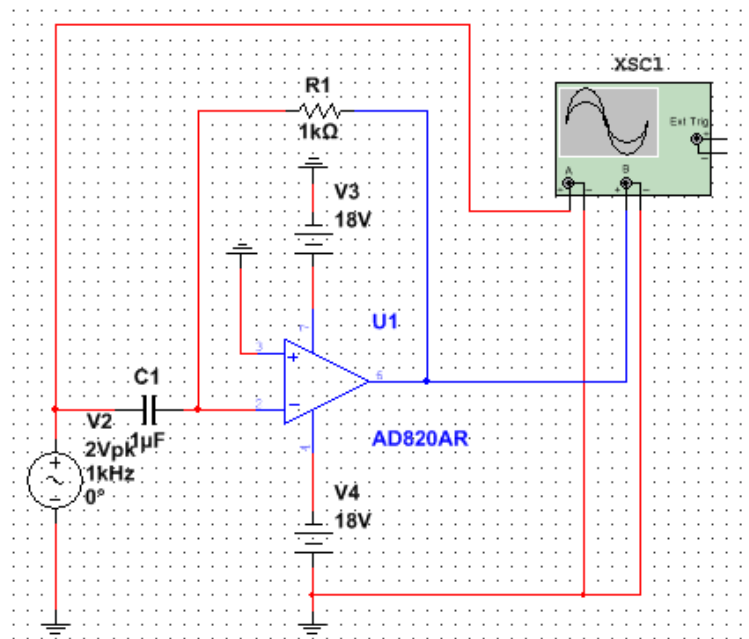


Рисунок 2.6 – Приклад імітаційної моделі диференціатора

4. Задля зняття осцилограм роботи реалізованих схем інтегратора та диференціатора використовується інструмент **Oscilloscope** (двоканальний осцилограф) з панелі інструментів. Зовнішній вигляд **Oscilloscope** у вікні схеми наведено на рисунку 2.7.

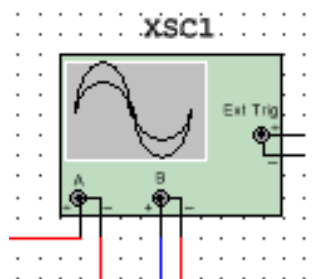
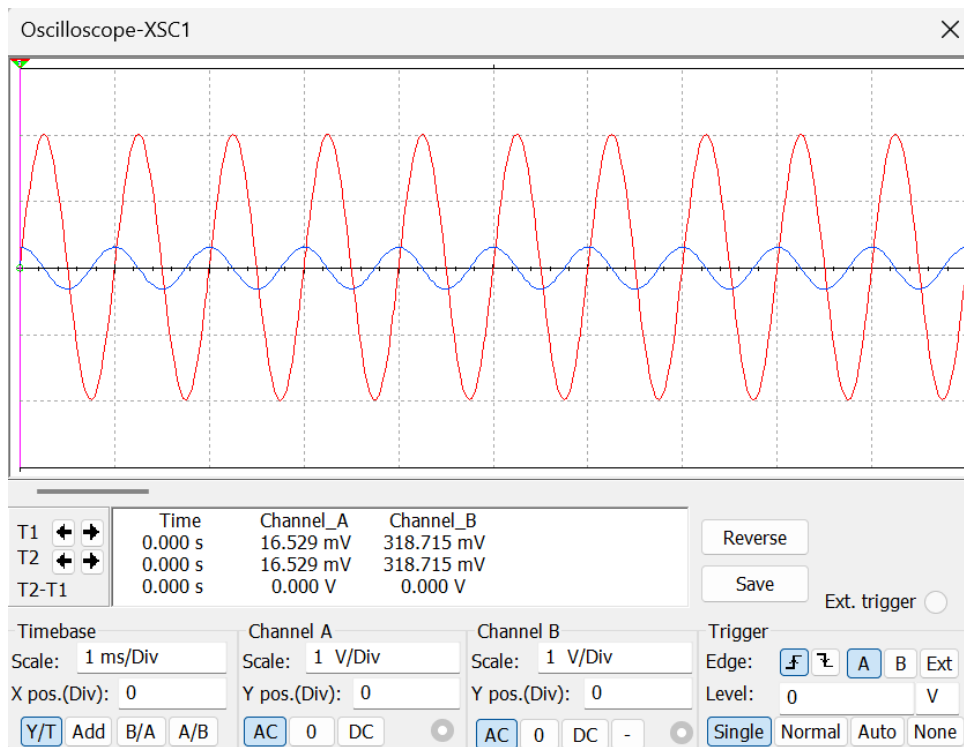


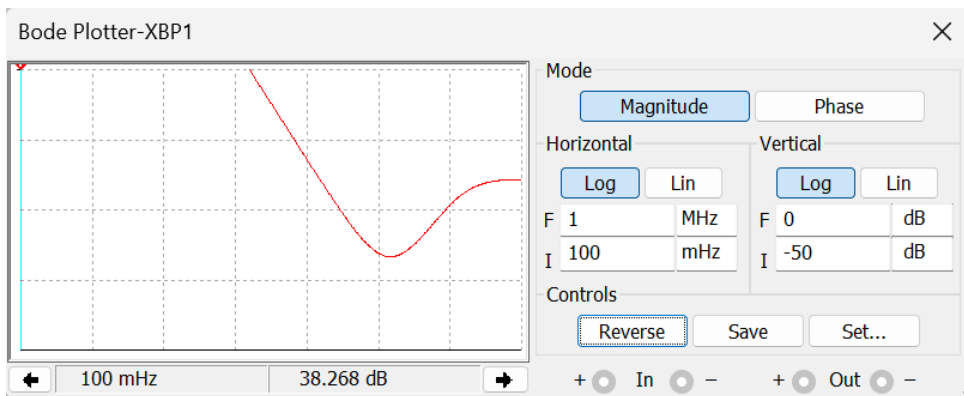
Рисунок 2.7 – Зовнішній вигляд моделі двоканального осцилографа

Задля отримання АЧХ і ФЧХ схемних реалізацій електронних пристроїв використовується інструмент **Bode Plotter**.

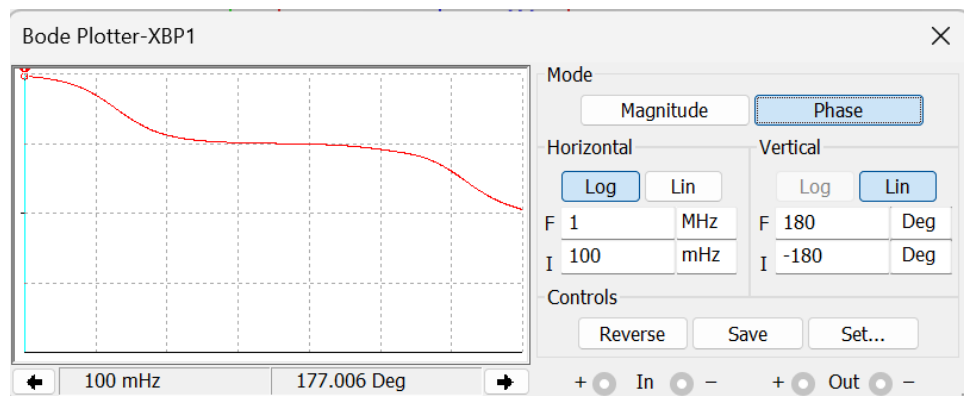
Типові приклади результатів дослідження інтегратора та диференціатора на базі запропонованої методики наведено на рисунках 2.9, а–в і 2.10, а–в.



а) Осцилограми роботи

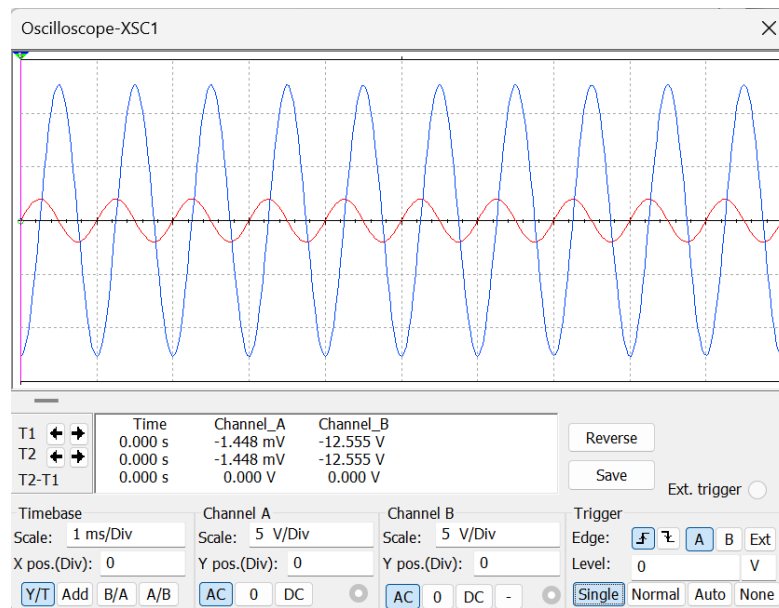


б) АЧХ

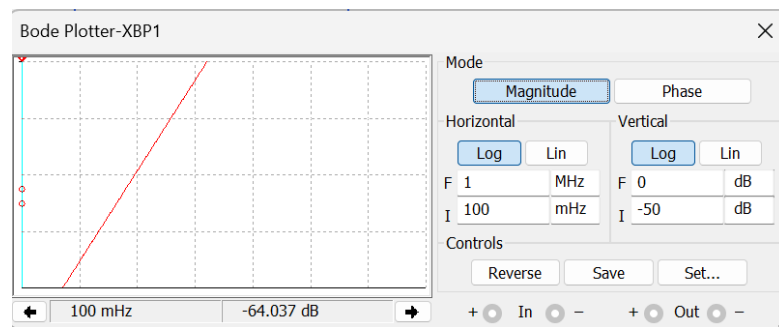


в) ФЧХ

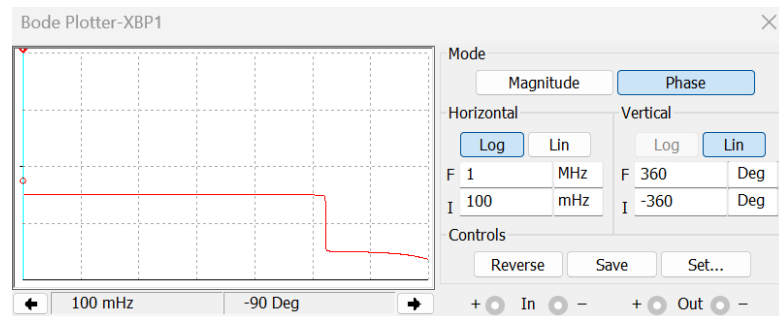
Рисунок 2.9 – Приклади результатів досліджень інтегратора



а) Осцилограми роботи



б) АЧХ



в) ФЧХ

Рисунок 2.10 – Приклади результатів досліджень диференціатора

На підставі отриманих частотних характеристик каскадів оцінити їх граничні частоти смуги пропускання.

5. Останнім етапом досліджень є якісний та кількісний аналіз отриманих результатів, які включають порівняльну характеристику розрахунків та імітаційних випробувань реалізованих моделей.

Питання для самодіагностики:

1. Наведіть графічне зображення схеми інтегратора на базі ОППС.
2. Наведіть графічне зображення схеми диференціатора на базі ОППС.
3. Запишіть рівняння для передавальної характеристики інтегратора на підставі законів Ома та Кірхгофа .
4. Запишіть рівняння для передавальної характеристики диференціатора на підставі законів Ома та Кірхгофа .
5. Які характеристики перетворювачів аналогових сигналів дозволяє отримати віртуальний інструмент Bode Plotter?
6. У чому полягають основні недоліки досліджених схемотехнічних реалізацій інтегратора та диференціатора на базі мікросхеми ОППС?

Список рекомендованої літератури: [1 – 8].

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Вимірювальні перетворювачі (сенсори): підручник / В. М. Ванько, Є. С. Поліщук, М. М. Дорожовець, В. О. Яцук, Ю. В. Яцук; за ред. Є. С. Поліщука та В. М. Ванька. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2015. – 584 с.
2. Бойко, В.І. Цифрова електроніка електронних систем / В.І. Бойко, В.Я. Жуйков, А.А. Зорі, та ін. – К.: Вища школа, 2010. – 426 с.
3. Пристрої аналогової електроніки : конспект лекцій / укладач В.В. Гриненко. – Суми : Сумський державний університет, 2015. – 272 с.
4. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисциплін: «Вимірювальні перетворювачі», «Вимірювальні перетворювачі електронних систем» (для студентів денної та заочної форм навчання всіх спеціальностей) / [Електронний ресурс] / укладач О.В. Вовна, Е.А. Петелін. – 2-ге вид., переробл. і доповн. – Луцьк: ДонНТУ, 2023. – 47 с.
5. Analog Device [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <http://www.analog.com> . – Назва з екрана.
6. National Semiconductor [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <http://www.ti.com> . – Назва з екрана.
7. ElectronicsHub [Електронний ресурс]: A Trusted Hub For Electronics Enthusiasts. – Режим доступу: <https://www.electronicshub.org/>. – Назва з екрана.
8. Методичні вказівки до виконання індивідуальних робіт з дисциплін: «Перетворювачі аналогових сигналів», «Функціональні перетворювачі пристроїв і систем», «Функціональна електроніка» (для студентів денної та заочної форм навчання всіх спеціальностей) [Електронний ресурс] / укладач І.С. Лактіонов, Г.А. Лактіонова, В.А. Лебедев. - Покровськ, 2020. - 22 с.