

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК6- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 1

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Державного університету
«Житомирська політехніка»
Протокол № 4
від 15 серпня 2024 р.

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ для проведення лабораторних робіт з навчальної дисципліни «ПРОЕКТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ» (частина 1)

для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «магістр»
спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка»
освітньо-професійна програма «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані
технології та робототехніка»
факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки
кафедра метрології та інформаційно-вимірювальної техніки

Рекомендовано на засіданні
кафедри метрології та
інформаційно-вимірювальної
техніки
27 лютого 2024 р., протокол № 2

Розробники: д.т.н., професор, завідувач кафедри метрології та інформаційно-вимірювальної техніки ПОДЧАШИНСЬКИЙ Юрій, доцент кафедри метрології та інформаційно-вимірювальної техніки ЧЕПЮК Ларіна, асистент кафедри метрології та інформаційно-вимірювальної техніки ВОРОНОВА Тетяна

Житомир 2024

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК6- 2024
	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 64 / 2</i>

Методичні рекомендації до лабораторних робіт з дисципліни «Проектування комп'ютеризованих систем управління технологічними процесами» (частина 1) для студентів спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»/ Укладачі Ю.О.Подчашинський, Т.С. Воронова, Л.О. Чепюк. – Житомир: ДУ «Житомирська політехніка», 2024. – 64 с.

Укладачі: Ю.О.Подчашинський, Т.С. Воронова, Л.О. Чепюк

Рецензенти:

д.т.н., доцент, професор кафедри робототехніки, електроенергетики та автоматизації ім. проф. Б.Б. Самотокіна Кирилович В.А.

к.т.н., доцент, доцент кафедри робототехніки, електроенергетики та автоматизації ім. проф. Б.Б. Самотокіна Гуменюк А.А.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК6- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 3

ЗМІСТ

Лабораторна робота № 1	
Синтез та аналіз аналогової електричної схеми системи управління у програмі Multisim	4
Лабораторна робота № 2	
Синтез та аналіз цифрової електричної схеми системи управління у програмі Multisim	11
Лабораторна робота № 3	
Дослідження можливостей інтегрованого середовища Microcap для моделювання і аналізу електричних схем системи управління	18
Лабораторна робота № 4	
Синтез та аналіз аналогової електричної схеми системи управління у програмі Microcap	34
Лабораторна робота № 5	
Синтез та аналіз цифрової електричної схеми системи управління у програмі Microcap	36
Лабораторна робота № 6	
Багатоваріантний аналіз електронних схем систем управління у програмі Microcap, ч.1	37
Лабораторна робота № 7	
Багатоваріантний аналіз електронних схем систем управління у програмі Microcap, ч.2	40
Лабораторна робота № 8	
Статистичний аналіз електронних схем систем управління у програмі Microcap	42
Додатки	48

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК6- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 4

Лабораторна робота № 1 СИНТЕЗ ТА АНАЛІЗ АНАЛОГОВОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ У ПРОГРАМІ MULTISIM

Мета роботи: Навчитися виконувати настройку і аналіз електричної аналогової схеми, використовуючи програму Multisim. Оволодіти навиками по експериментальному визначенню параметрів електричної аналогової схеми.

Навчитися розраховувати активний низькочастотний і високочастотний фільтри, побудовані на основі операційного підсилювача. Дослідити амплітудно-частотні характеристики розрахованих фільтрів.

1.1. Виконання роботи

Завдання 1. Дослідження фільтра нижніх частот

Схема активного фільтра нижніх частот наведено на рис. 1.1.

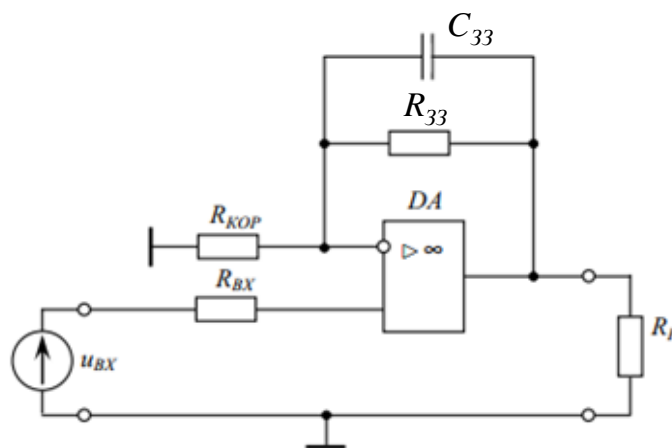


Рисунок 1.1. Схема активного фільтра нижніх частот

Передаточна функція активного фільтра нижніх частот показана на рис.

1.2.

Передаточна функція чотирьохполюсника, що ввімкнений в коло від'ємного зворотного зв'язку (ВЗЗ) операційного підсилювача (ОП) має вигляд:

$$W(p) = \frac{K_u(1 + \tau_1 p)}{(1 + \tau_2 p)},$$

де

$$K_u = \frac{R_{KOP}}{R_{KOP} + R_{33}}, \quad \tau_1 = R_{33} C_{33}, \quad \tau_2 = \frac{R_{KOP} R_{33} C_{33}}{R_{KOP} + R_{33}}.$$

Передаточна функція ОП з передаточною функцією $W_u(p)$ в колі ООС:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК6- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 5

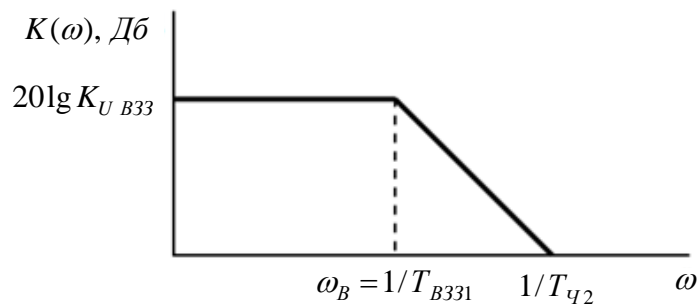


Рисунок 1.2. Передаточна функція активного фільтра нижніх частот

Згідно отриманим виразам можна зробити висновок, що смуга пропускання даного фільтра залежить від коефіцієнта підсилення самого ОП і знаходиться у діапазоні частот $0 \leq \omega \leq \frac{1}{\tau_{\text{взз1}}}$.

При необхідності отримання фільтра с більшим нахилом логарифмічної амплітудно-частотної характеристики (ЛАЧХ) після частоти зрізу (40, 60 і більше дБ/дек) можна використовувати або каскадне вмикання декількох аналогічних фільтрів, або в колі зворотного зв'язку використовувати більш складний чотириполюсник.

1. Спроекувати активний фільтр нижніх частот з коефіцієнтом передачі K_U і верхньою частотою f_B . Коефіцієнт підсилення самого операційного підсилювача рівний K_{U0} . ОП має постійну часу $\tau_{\text{оп}}$.

2. Використовуючи програму Multisim, перевірити вірність виконаних розрахунків. Для всіх варіантів при перевірці напруга живлення операційного підсилювача $E_{\text{ж}} (V1, V2) = \pm 15 \text{ В}$, $u_{\text{вх}} = 50 \text{ мВ}$, $R_{\text{вх}} (R_1) = 200 \text{ Ом}$, $R_{\text{н}} (R_{\text{н}}) = 20 \text{ кОм}$. Інші параметри згідно варіанту наведено в табл. 1.1.

1.2. Приклад розрахунку фільтра нижніх частот

Спроекувати активний фільтр нижніх частот з коефіцієнтом передачі $K_U = 100$ і верхньою частотою $f_B = 500 \text{ Гц}$. Коефіцієнт підсилення самого операційного підсилювача рівний $K_{U0} = 200\,000$. ОП має постійну часу $\tau = 0,03 \text{ с}$.

Розв'язок

- Верхня колова частота смуги пропускання $\omega = 2\pi f_B = 2\pi \cdot 500 = \pi \cdot 10^3$.
- Для визначення коефіцієнта передачі кола ВЗЗ по постійному струму скористаємося формулою

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК6- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 6

$$K_{U \text{ B33}} = \frac{K_{U0}}{1 + K_q K_{U0}}, K_q = \frac{K_{U0} - K_{U \text{ B33}}}{K_{U0} K_{U \text{ B33}}} = \frac{200000 - 100}{200000 \cdot 100} = 0,009995.$$

3. Потрібна постійна часу

$$\tau_{оос2} = \frac{1}{\omega_g} = \frac{1}{1000\pi} = 3,18 \cdot 10^{-4}$$

4. Для схеми фільтра, що розраховується, маємо $\tau_1 > \tau_2$,

$$K_{U0} K_q = 200\,000 \cdot 0,009995 = 1999 \gg 1.$$

Тоді з достатньою точністю можна вважати, що $\tau_{B332} \approx \tau_1 = R_{33} C_{33}$

Прийmemo $R_{KOP} = 1$ кОм. Тоді $R_{33} = K_{U \text{ B33}} R_{KOP} = 100 \cdot 1000 = 100$ кОм;

$$C_{OC} = \frac{\tau_{оос2}}{R_{OC}} = \frac{3,18 \cdot 10^{-4}}{100 \cdot 10^3} = 3,18 \text{ нФ}.$$

Таблиця 1.1 – Параметри для розрахунку фільтра нижніх частот на ОП

Варіант	K_U	f_B , Гц	K_{U0}	τ , c^{-3}
1	55	200	100 000	0,2
2	60	250	150 000	0,25
3	65	300	200 000	0,3
4	70	350	250 000	0,35
5	75	400	100 000	0,2
6	80	450	150 000	0,25
7	85	500	200 000	0,3
8	90	550	250 000	0,35
9	95	600	100 000	0,2
10	100	650	150 000	0,25
11	105	700	200 000	0,3
12	110	750	250 000	0,35

Перевірка правильності рішення:

1. Запускаємо програму Multisim. Складаємо схему дослідження, показану на рис. 1.3.

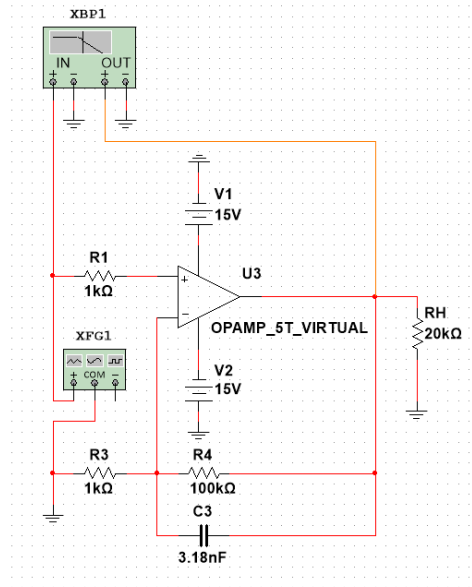


Рисунок 1.3. Схема активного фільтра нижніх частот

2. Встановлюємо розраховані значення параметрів.

3. Перевіряємо (рис. 1.4) значення коефіцієнта передачі фільтра на нульовій частоті (або близькою до неї). Порівнюємо значення, отримане за допомогою програми Multisim, з заданим значенням K_{UB33} .

4. Перевіряємо (рис.1. 5) значення коефіцієнта передачі на рівні 0,707 от значення на нульовій частоті Порівнюємо значення, отримане за допомогою програми Multisim, з розрахунковим значенням.

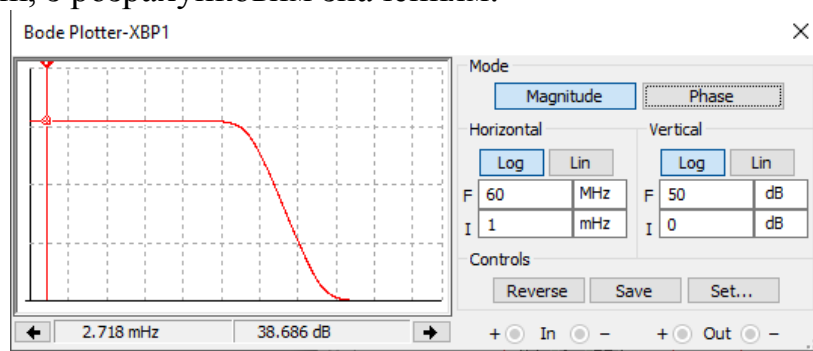


Рисунок 1.4. АЧХ розрахованого ФНЧ. Візрна лінія на нижніх частотах

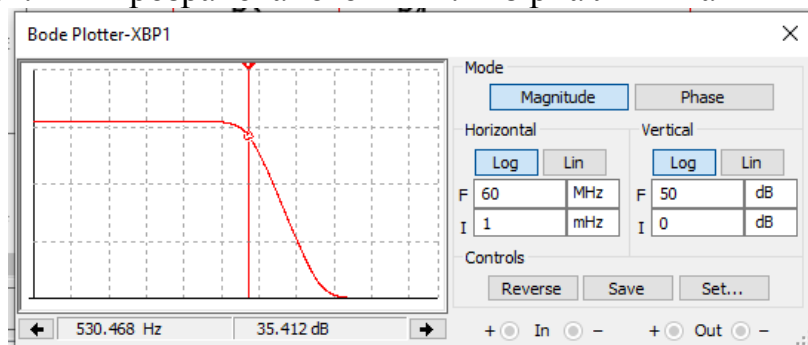


Рисунок 1.5. АЧХ модельованого ФНЧ. Візрна лінія на f_B

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК6- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 8

По АЧХ рис. 1.4 можна зробити висновок, що розрахований коефіцієнт підсилення на нижніх частотах (100 разів) відповідає заданому (100 разів або 40 дБ).

З рис. 1.5 видно, що верхня частота фільтра на рівні 0,707 від рівня на нульовій частоті (530 Гц) приблизно відповідає заданій частоті (500 Гц).

З отриманих результатів перевірки можна зробити висновок, що розрахунок фільтра виконано вірно.

Завдання 2. Дослідження фільтра верхніх частот

Схема активного фільтра верхніх частот показана на рис. 1.6.

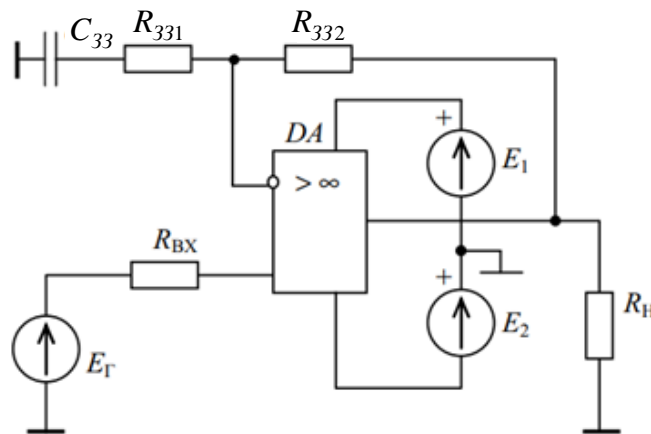


Рисунок 1.6. Схема активного фільтра верхніх частот

Передаточна функція активного фільтра верхніх частот має вигляд, що наведено на рис. 1.7.

Передаточна функція чотирьох полюсника, що ввімкнутий в коло від'ємного зворотного зв'язку (ВЗЗ) операційного підсилювача (ОП) має вигляд:

$$W_{ОП \text{ ВЗЗ}}(p) = \frac{K_{U0}}{1 + W_{\phi}(p)K_{U0}} = \frac{K_{U \text{ ВЗЗ}}(1 + \tau_2 p)}{(\tau_2 + \tau_1 K_{U0})p + 1} = \frac{K_{U \text{ ВЗЗ}}(1 + \tau_2 p)}{1 + \tau_{ВЗЗ} p}$$

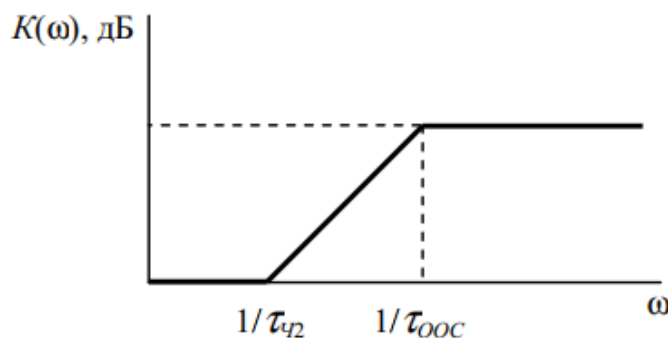


Рисунок 1.7. Передаточна функція активного фільтра верхніх частот

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК6- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 9

$$\tau_1 = R_{332}C_{33}, \quad \tau_2 = (R_{331} + R_{332})C_{33}, \quad K_{U \text{ B33}} = \frac{K_{U0}}{1 + K_{U0}}, \quad \tau_{B33} = \frac{\tau_2 + \tau_1 K_{U0}}{(1 + K_{U0})}.$$

Першою на передаточній функції (рис. 7) починається асимптота з нахилом +20 дБ/дек, оскільки $\tau_2 \gg \tau_{B33}$.

До частоти $\omega = \frac{1}{\tau_2}$ коефіцієнт передачі даного фільтра практично дорівнює одиниці. Після цієї частоти починається асимптота з нахилом +20 дБ/дек, яка закінчується на частоті $\omega = \frac{1}{\tau_{OOC}}$. Смуга пропущення знаходиться у діапазоні

$$\frac{1}{\tau_{B33}} < \omega < \frac{1 + \frac{K_{U0}R_{332}}{R_{331} + R_{332}}}{\tau_{OP}}.$$

Коефіцієнт передачі в смузі пропущення високочастотного фільтра дорівнює $K_{B33} = 1 + \frac{R_{331}}{R_{332}}$.

1. Спроекувати активний фільтр високої частоти (рис. 1.6) з коефіцієнтом передачі K_U і нижньою частотою f_H . Коефіцієнт підсилення самого операційного підсилювача рівний K_{U0} . ОП має постійну часу τ_{OP} .

2. Використовуючи програму Multisim, перевірити вірність виконаних розрахунків. Для всіх варіантів при перевірці напруга живлення операційного підсилювача $E_1 (V1) = E_2 (V2) = 15 \text{ В}$, $E_T = 50 \text{ мВ}$, $R_{BX} (R1) = 200 \text{ Ом}$, $R_H (RH) = 20 \text{ кОм}$. Інші параметри згідно варіанту наведено в табл. 1.2.

1.3. Приклад розрахунку фільтра верхніх частот

Спроекувати активний фільтр верхніх частот з коефіцієнтом передачі $K_U = 100$ і нижньою частотою $f_B = 500 \text{ Гц}$. Коефіцієнт підсилення самого операційного підсилювача рівний $K_{U0} = 200\,000$. ОП має постійну часу $\tau = 0,03 \text{ с}$.

Розв'язок

1. Верхня колова частота смуги пропущення $\omega = 2\pi f_B = 2\pi \cdot 500 = \pi \cdot 10^3$.

2. Коефіцієнт передачі кола В33 на верхній частоті

$$B_{OC} = \frac{R_{332}}{R_{331} + R_{332}} = \frac{(K_{U0} - K_U)}{K_{U0} \cdot K_U} = \frac{200000 - 100}{200000 \cdot 100} = 9,995 \cdot 10^{-3}.$$

3. Враховуючи, що $K_{U0} \gg 1$, і, не зважаючи на те, що $\tau_1 < \tau_2$, можна вважати, що $\tau_{B33} \approx \tau_1$.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК6- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 10

4. Прийmemo $R_{332} = 4,7$ кОм. Тоді

$$C_{33} = \frac{1}{R_{332} \omega_H} = \frac{1}{4,7 \cdot 10^3 \cdot \pi \cdot 10^3} = 0,0688 \text{ мкФ}.$$

Таблиця 1.2 – Параметри для розрахунку фільтра верхніх частот на ОП

Варіант	K_U	F_H , Гц	K_{U0}	τ , c^{-3}
1	55	200	100 000	0,2
2	60	250	150 000	0,25
3	65	300	200 000	0,3
4	70	350	250 000	0,35
5	75	400	100 000	0,2
6	80	450	150 000	0,25
7	85	500	200 000	0,3
8	90	550	250 000	0,35
9	95	600	100 000	0,2
10	100	650	150 000	0,25
11	105	700	200 000	0,3
12	110	750	250 000	0,35

5. Визначимо опір резистора R_{331} за формулою $K_{B33} = 1 + \frac{R_{331}}{R_{332}} \rightarrow$

$$R_{331} = \frac{K_{B33} - 1}{R_{332}} = (100 - 1) \cdot 4,7 = 465,3 \text{ кОм}.$$

Перевірка правильності рішення:

1. Запускаємо програму Multisim. Складаємо схему дослідження, показано на рис. 1.8.

Для цього:

- встановити візирну лінію характерографа на середню частоту для перевірки відповідності розрахованого і заданого коефіцієнтів підсилення (рис. 1.9);

- встановити візирну лінію характерографа по рівню мінус 3 дБ для визначення нижньої граничної частоти (f_H) (рис. 1.10);

- встановити візирну лінію характерографа по рівню мінус 3 дБ для визначення верхньої граничної частоти (f_B).

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК6- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 11

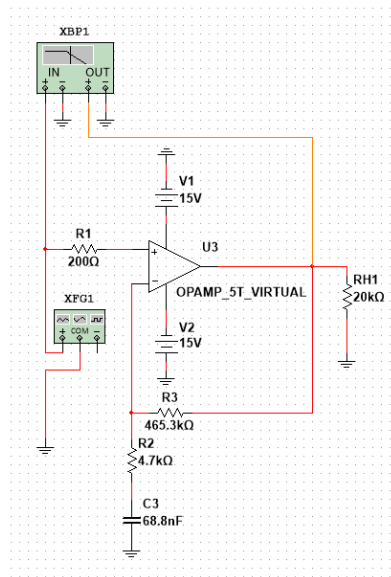


Рисунок 1.8. Схема активного фільтра верхніх частот

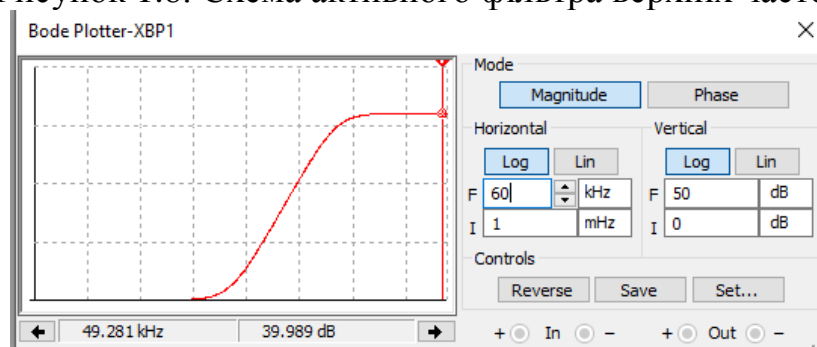


Рисунок 1.9. АЧХ активного ФВЧ. Візирна лінія на середній частоті

По АЧХ рис. 9 можна зробити висновок, що на середній частоті розрахований коефіцієнт підсилення (100 разів) відповідає заданому (100 разів або 40 дБ).

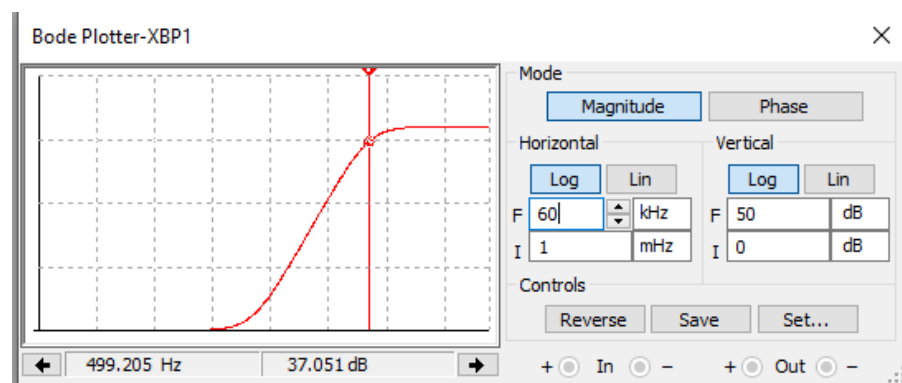


Рисунок 1.10. АЧХ активного ФВЧ. Візирна лінія на нижній частоті

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК6- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 12

З рис. 1.10 видно, що нижня частота фільтра на рівні мінус 3 дБ (484 Гц) приблизно відповідає заданій частоті (500 Гц).

З отриманих результатів перевірки можна зробити висновок, що розрахунок фільтра виконано вірно.

1.4. Зміст звіту

1. Найменування і мета роботи.
2. Схеми фільтрів нижніх і верхніх частот.
3. Початкові дані індивідуального варіанту.
4. Розрахунок схем фільтрів нижніх і верхніх частот по початковим даним індивідуального варіанту.
5. Схеми досліджень фільтрів нижніх і верхніх частот у програмі Multisim.
6. Результати визначення характеристик схем.
7. Висновки по роботі.

1.5. Контрольні питання

1. Що називається активним фільтром?
2. Які основні параметри активного фільтра?
3. Як в програмі Multisim виконати зміну номіналів елементів схеми?
4. Як в програмі Multisim задати тип операційного підсилювача?
5. Як підключити віртуальні прилади до схеми?
6. Як виконати визначення АЧХ і ФЧХ схеми?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК6- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 13

Лабораторна робота № 2

СИНТЕЗ ТА АНАЛІЗ ЦИФРОВОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ У ПРОГРАМІ MULTISIM

Мета роботи: Навчитися виконувати синтез логічної схеми, виконувати настройку і аналіз логічної схеми, використовуючи програму Multisim. Оволодіти навиками по експериментальному визначенню параметрів логічної схеми.

2.1. Теоретичні відомості. Синтез та аналіз цифрових схем у програмі Multisim

Аналіз цифрових схем виконується подібно до аналізу аналогових схем. Для формування цифрових сигналів на входах схеми використовується цифровий генератор, для дослідження сигналів в вузлах і на виході схеми – логічний аналізатор.

Синтез цифрових логічних схем виконується за допомогою логічного перетворювача (рис. 2.1).

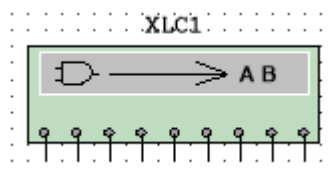


Рисунок 2.1. Логічний перетворювач

Синтез цифрових логічних схем розглянемо на прикладі схеми для обчислення логічної функції трьох змінних, яка задана таблицею істинності.

Послідовність синтезу схеми:

1. Відкрийте у програмі Multisim вікно нової схеми.
2. Введіть в схему логічний перетворювач з вікна “Instruments” (Вимірювальні прилади) панелі бібліотек елементів. Розгорніть передню панель логічного перетворювача в окремому вікні.

3. Введіть у логічний перетворювач таблицю істинності (рис. 2.2). Для цього виконайте короткочасне натиснення лівої кнопки миші на контактах логічного перетворювача, що відповідають трьом молодшим логічним змінним (F, G, H). В результаті у вікні під контактами з'являться 8 комбінацій з “0” і “1”, що відповідають можливим значенням трьох логічних змінних. Задайте праворуч від цих значень значення логічної функції (“0”, “1” або “x”).

4. Перетворіть таблицю істинності в логічний вираз у досконалій диз'юнктивній нормальній формі натисненням 2-ї згори кнопки на передній панелі логічного перетворювача (рис. 2.3).

5. Виконайте мінімізацію логічного виразу натисненням 3-ї згори кнопки на передній панелі логічного перетворювача (рис. 2.4).

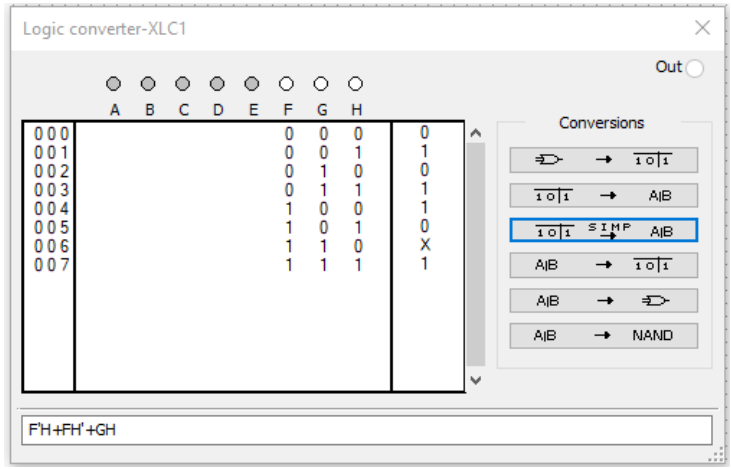


Рисунок 2.4. Логічний перетворювач (мінімізація логічного виразу)

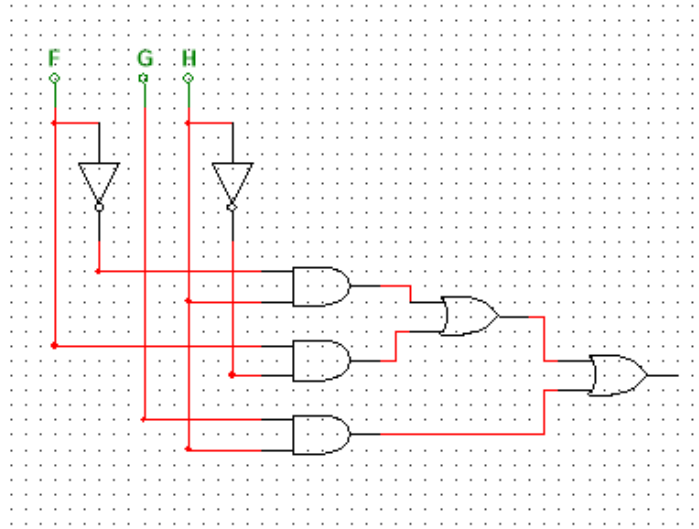


Рисунок 2.5. Синтезована схема

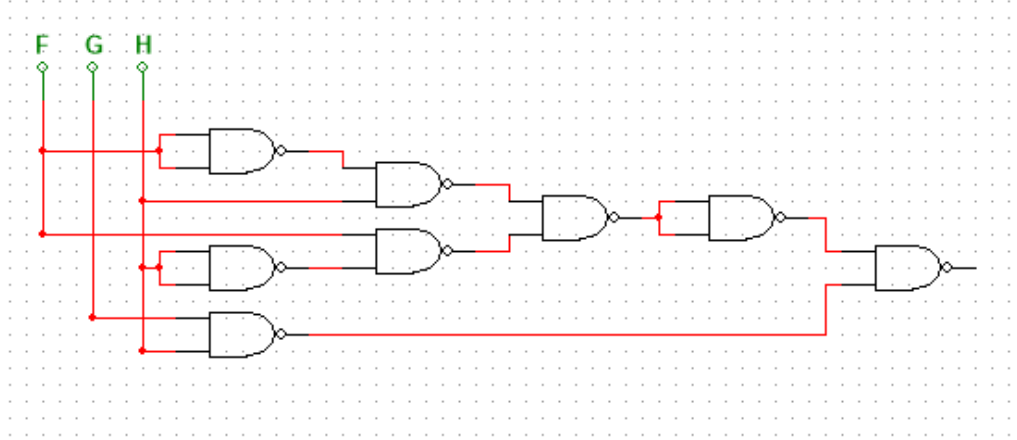


Рисунок 2.6. Синтезована схема в базисі І-НІ

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК6- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 16

2.2. Виконання роботи

1. Виконати синтез електричної принципової схеми блоку обчислення логічної функції $F(X_1, X_2, X_3, X_4)$ (табл. 2.1.) в програмі Multisim. Для синтезу схеми використовуйте Логічний перетворювач.

Таблиця 2.1.

Вар.	Номер набору логічних змінних															
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	*	0	0
2	1	0	*	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1
3	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1
4	1	1	*	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0
5	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0
6	0	1	*	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1
7	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1
8	0	0	1	1	1	1	*	1	1	0	0	0	1	0	0	0
9	1	1	1	0	0	1	*	1	1	1	1	0	0	0	0	0
10	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0
11	1	0	0	0	0	1	*	0	1	1	0	0	0	1	1	1
12	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
13	1	0	0	1	1	0	*	1	1	*	0	0	1	0	0	1
14	1	0	0	1	1	0	0	1	1	*	1	0	1	0	1	1
15	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1
16	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0
17	0	1	0	1	1	0	1	0	1	*	1	0	1	0	1	0
18	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1
19	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0
20	0	*	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0
21	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1
22	1	1	*	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1
23	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0
24	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1
25	0	1	1	*	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0
26	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0
27	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	*	1	0	0
28	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0
29	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1
30	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	*	1	0	1

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК6- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 17

2. Виконати перевірку правильності функціонування схеми шляхом подачі на її вхід від цифрового генератора тестового набору логічних змінних і вимірювання логічним аналізатором вхідних та вихідної логічних змінних.

3. Реалізувати схему блоку обчислення логічної функції на мікросхемах серії 74LS (аналог К555) і повторити п. п. 2.

2.3. Зміст звіту

1. Найменування і мета роботи.
2. Початкові дані індивідуального варіанту.
3. Аналіз початкових даних.
4. Схема електрична принципова блоку обчислення логічної функції.
5. Результати вимірювання параметрів схеми (згідно п. п. 2 - 4 розділу “Виконання роботи”).
6. Висновки по роботі.

2.4. Контрольні запитання

1. Що називається логічною схемою?
2. Які основні методи перевірки дієздатності логічних схем?
3. Як в програмі Multisim виконати з'єднання елементів схеми?
4. Як в програмі Multisim задати тип логічного елемента?
5. Як підключити цифровий генератор до схеми?
6. Як підключити логічний аналізатор до схеми?
7. Як виконати синтез логічної схеми по заданому виразу логічної функції?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК6- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 18

Лабораторна робота № 3

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ІНТЕГРОВАНОГО СЕРЕДОВИЩА MICROCAP ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ І АНАЛІЗУ ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

Мета роботи:

- навчитися створювати креслення схем, що складаються з пасивних елементів, і проводити їх дослідження в середовищі програми Micro-cap;
- освоїти проведення досліджень в імпульсному режимі;
- навчитися виводити графіки перехідних процесів;
- навчитися визначати параметри перехідних процесів.

3.1. Теоретичні відомості

3.1.1. Формування креслення схеми

Викликаємо програму **Microcap (MC)**. Запуск програми розглянуто у додатку А.

Схема малюється робочому полі основного вікна (вікна редактора схем), що виникає після запуску програми **MC** чи результаті створення нового файлу (меню **File-New**, клавіші **Ctrl+N**) (рис.3.1).

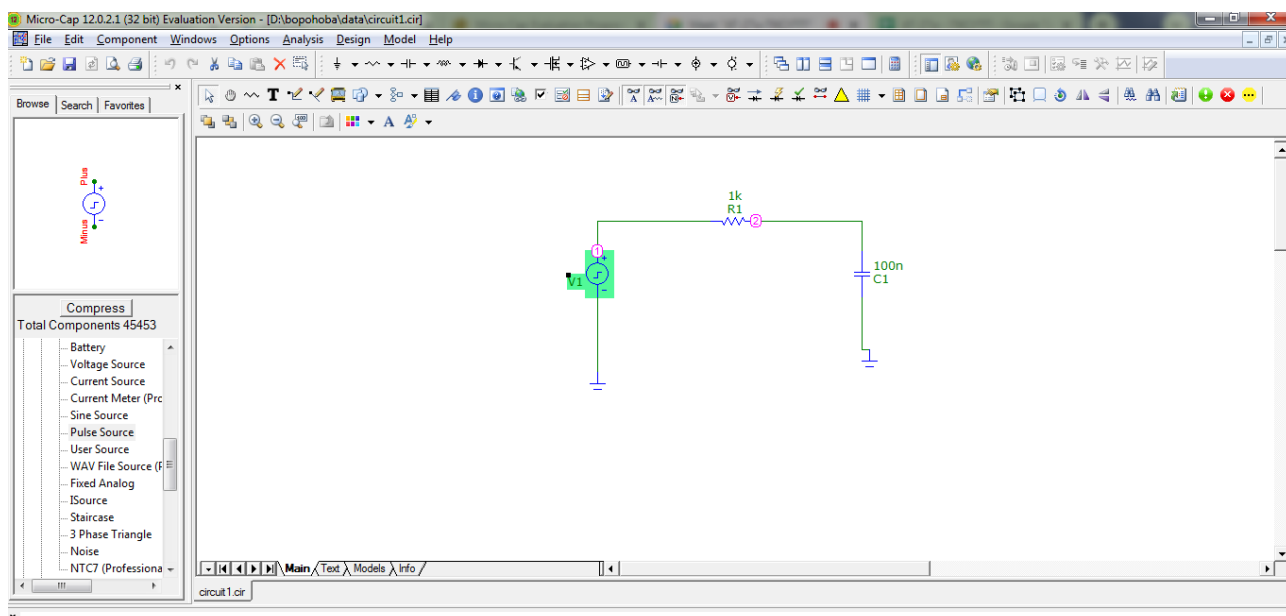



Рисунок 3.1

Для полегшення розташування елементів рекомендується відобразити на екрані координатну сітку, яку можна отримати, поставивши команду **View-Grid** меню **Option**.



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК6- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 19

Пояснення: Щоб вибрати (задати) меню, піктограму, команду тощо, необхідно навести курсор на зображенні команди, піктограми (кнопки) та натиснути ліву клавішу мишки (ЛКМ). Наприклад, створити координатну сітку можна в результаті наступних дій:

- * Розмістити курсор на слові **Option** лінійки головного меню;
- * Натиснути ЛКМ, що призведе до появи на екрані каскадного меню;
- * Навести курсор на слово **View**;
- * натиснути ЛКМ, що призведе до появи на екрані додаткового меню (підменю)), в якому є слово **Grid**;
- * Розмістити курсор на цьому слові і натиснути ЛКМ.

Піктограма  команди **View-Grid** перебуває у лінійці інструментів, тобто. в одному з двох рядів кнопок інструментів вгорі екрана дисплея (кнопки команд, що найчастіше використовуються) і для створення координатної сітки достатньо розмістити курсор на ній і натиснути ЛКМ. Повторне натискання на піктограму призведе до зникнення сітки.

Виведення на екран елементів схеми (піктограми лінійки інструментів та команди меню **Component**, головного меню вгорі екрана).

Резистор та конденсатор мають піктограми ( ) на лінійці інструментів або вибираються з меню **Component**, розділ **Analog Primitive**, підрозділ **Passive Components** (послідовне натискання ЛКМ при розташуванні курсору на зазначених словах у виникаючих, що розгортаються підменю). Остаточний вибір елемента схеми виходить після натискання кнопки при розміщенні курсора на найменуванні відповідного елемента - це слова **Resistor** чи **Capacitor**. Після цього курсор при його переміщенні по робочому полю набуває зображення обраного елемента, яке не змінюється до вибору іншого елемента (команди). Наприклад, зображення курсора у вигляді резистора буде збережено доти, доки не буде здійснено перемикання на зображення конденсатора. Обраний елемент розміщується на екрані в місці знаходження курсора в результаті натискання ЛКМ. Якщо місцезнаходження було вибрано невдало, то натиснуту кнопку миші *не треба відпускати, поки переміщенням курсору компонент не буде розміщений у потрібному місці екрана*. Також, до відпускання кнопки обраний компонент може бути повернутий на 90° проти годинникової стрілки натисканням правої кнопки мишки. В результаті трьох послідовних клацань відбувається поворот на 270° в один бік, а при продовженні клацань - напрям повороту змінюється на протилежне. **Фіксація** розташування елемента на екрані відбувається внаслідок відпустки лівої кнопки. Як подібний поворот та переміщення можна буде виконати після відпускання кнопки миші, буде описано далі.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК6- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 20

Після введення елемента на екрані з'являється діалогове вікно атрибутів. Для найпростіших компонентів (резистори та конденсатори) воно має мінімальний набір: позиційне позначення – **PART** та номінальне значення параметра – **Value** (опір резистора або ємність конденсатора). У цьому позиційне позначення присвоюється програмою самостійно. Позначення складається із символу імені компонента (**R** - для резистора та **C** - для конденсатора) та цифри порядкового номера, яка є черговою цифрою натурального ряду (1, 2, 3, тощо). Зазвичай вказується лише номінал параметра елемента у графі **Value** (у цьому рядку вже знаходиться курсор).

Позначення номіналу елемента необхідно проводити на основі правил подання чисел у **МС**, які наведені у таблиці 3.1.

Зображення "землі" знаходяться з піктограми і або за послідовністю команд: **Component-Analog Primitive-Connectors-Ground**. Дії оператора при виведенні зображення землі такі самі, як і при виведенні резистора та конденсатора.

Таблиця 3.1

10^{-15}	10^{-12}	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	10^3	10^5	10^9	10^{12}
фемпто	піко	нано	мікро	мілі	кіло	мега	гіга	тера
F/f	P/p	N/n	U/u	M/m	K/k	MEG/ meg	G/g	T/t

Джерело прямокутного імпульсного сигналу знаходиться послідовністю команд: **Component Analog Primitive-Waveform Sources-Pulse source**. Розміщення зображення джерела на екрані такі самі, як і під час виведення резистора і конденсатора. Після його введення на екран з'являється діалогове вікно атрибутів, яке подібне до вікна атрибутів для найпростіших компонентів (резистори та конденсатори). У ньому має мінімальний набір атрибутів: **Name**, у вікні навпроти якого записано слово **MODEL**, і навіть **Value**, у вікні якого розташовується позиційний курсор (рис.3.2).

Пояснюється це тим, що у програмі **МС** все елементи мають свої моделі, зокрема є модель джерела прямокутного імпульсного сигналу. Необхідно вибрати курсором миші одну з моделей джерела з набору, наведеного в правому виділеному вікні вікна атрибутів.

Потрібно клацнути мишею на моделі **IMPULS** (або **PULS**). Вибране слово з'явиться у вікні **Value** та у нижньому вікні у вигляді рядка **MODEL = IMPULS**. Рядком вище буде наведено позиційне позначення **PART = V1** (літера **V** присвоюється всім незалежним джерелам напруги). На рисунку 3.2 наведено вікно атрибутів імпульсного джерела сигналів моделі **PULS**.

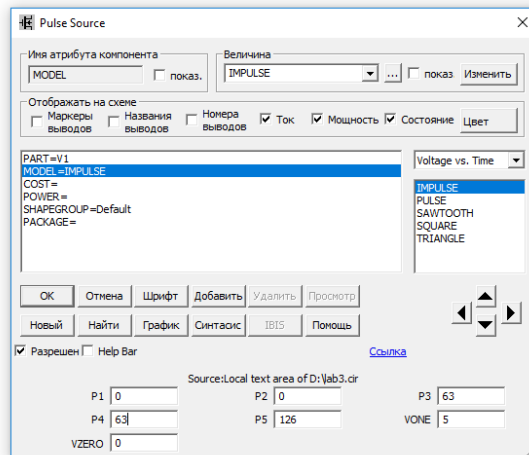
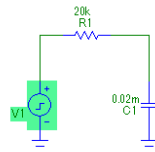


Рисунок 3.2, а

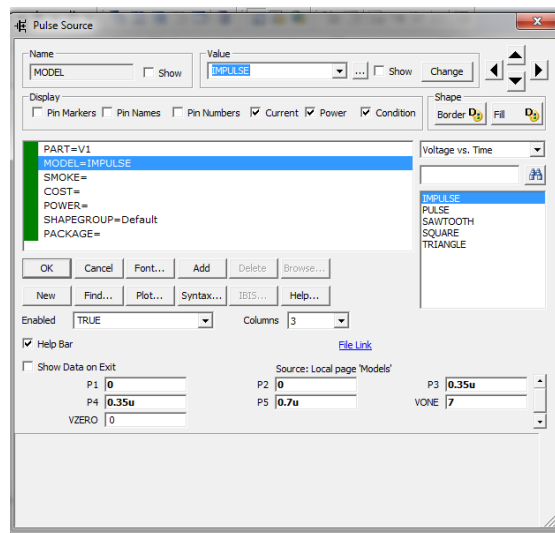


Рисунок 3.2, б

На рисунку 3.3, показано форму періодичного імпульсного сигналу, з позначеннями параметрів, що використовуються при завданні моделі. Розшифровка цих позначень та їх розмірність (використовувані одиниці виміру) дано у таблиці 3.2.

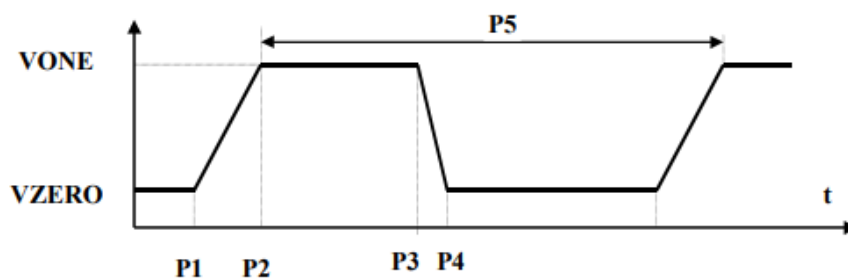


Рисунок 3.3

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК6- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 22

Таблиця 3.2

Позначення	Параметр	Розмірність	Значення за замовченням
VZERO	Початкове значення	В	0
VONE	Максимальне значення	В	5
P1	Початок переднього фронту (підйом)	с	10^{-7}
P2	Кінець переднього фронту, підйому (початок вершини імпульсу)	с	$1,1 \cdot 10^{-7}$
P3	Кінець вершини імпульсу (початок заднього фронту, зрізу)	с	$5 \cdot 10^{-7}$
P4	Кінець заднього фронту (зрізу)	с	$5,1 \cdot 10^{-7}$
P5	Період повторення	с	10^{-6}

У нижній частині вікна атрибутів є параметри імпульсних послідовностей, що виробляються. При першому введенні в схему імпульсного джерела в них проставлено значення, що відповідають "Значення за замовчуванням". При використанні моделі **IMPULS** – частота 1 МГц (прийнята за умовчанням), амплітуда – 10^9 В, п'єдестал – 0 В. Імпульси починають дію відразу після запуску ($P1 = 0$), тривалість вершини імпульсів дорівнює 1000 пікосекунд (10^{-9} с). Імпульси прямокутні ($P2 = P1$; $P4 = P3$).

У моделі імпульсного сигналу **PULS** виробляється періодичний сигнал також із частотою 1 МГц ($f = 1/P5 = 1/10^{-6} = 1$ МГц), амплітудою 5 В з початковим рівнем (підставою, п'єдесталом) 0 В, тривалістю переднього та заднього фронтів 10^{-8} сек.. Починатиметься перший імпульс буде через 0,1 мкс після включення генератора.

Наведені величини необхідно або прийняти (кнопка **OK** або клавіша **Enter**), або уточнити, а потім прийняти (можна зробити уточнення відповідно до однієї форми імпульсного сигналу). Завдання значень параметрів сигналу необхідно проводити на основі правил подання чисел у МС, які наведені у таблиці 3.1.

Коригування схеми. При створенні складних схем виведені на екран елементи часто не утворюють необхідну схему. Зазвичай їх необхідно перемістити, повернути, утворити з'єднання тощо. Для цього необхідно перейти в режим "Вибір режиму", клацнувши мишкою на піктограмі (або натиснувши клавіші **Ctrl+E**, або вибравши команди **Option-Mode-Select**), курсор набуває вигляду стрілки з піктограми.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК6- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 23

Поєднати курсор із зображенням об'єкта, клацнути ЛКМ й, не відпускаючи клавіші, здійснити буксирування в потрібне місце екрану. Об'єктом може бути не тільки пасивний або активний елемент, але і його текстові написи (атрибути), наприклад, умовне позначення (виділений об'єкт міститься в кольоровому полі). Тому можна "відбуксувати" позначення на велику відстань щодо розташування елемента (наприклад, рис.3.4).

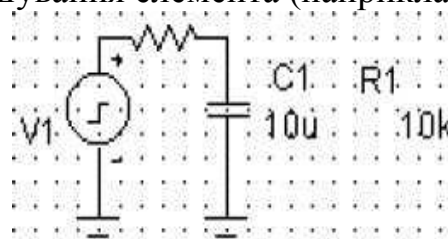


Рисунок 3.4. Приклад результату переміщення текстових написів резистора

При натисканні стрілкою на елементі в кольорову зону полягає не тільки елемент, але і його атрибути, як би вони далеко не розташовувалися. Під час переміщення їхнє взаємне становище не змінюється. Після переміщення можна здійснити дискретні повороти зображення на 90° , 180° , 270° за допомогою правої клавіші миші при лівій натиснутій. Повороти здійснюються без зміни положення написів. При виділенні елемента стають активними піктограми (), за допомогою яких також можна робити окремі повороти елемента E та його атрибутів .

Ці операції (переміщення та повороти), а також повороти навколо осей (горизонтальної та вертикальної) можна здійснити, уклавши зображення об'єкта/об'єктів у ящик. Для цього необхідно клацнути мишкою на будь-якому вільному місці екрану і не відпускаючи ЛКМ протягнути курсор по екрану. На екрані з'явиться зображення у вигляді чорної рамки. Всі зображення об'єктів, що потрапили в поле прямокутника (навіть частково, наприклад, частина виведення резистора) будуть вважатися поміщеними в ящик і з ними можна проводити переміщення. Відмінність в порівнянні з поворотом, описаним вище, полягає в тому, що одночасно із зображенням об'єкта змінюється положення та написів, як би далеко вони не були б віддалені від об'єкта/об'єктів в результаті попередніх переміщень.




Примітка: Виділивши об'єкт (клацнувши на його зображенні або уклавши в "скриньку") можна:

- стерти його без занесення (піктограма , клавіша **Delete**, команда **Edit - Clear**) або із занесенням у буфер обміну (піктограма , **Ctrl+X**; **Edit - Cut**)

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК6- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 24

- просто скопіювати (піктограма , **Ctrl + C**; **Edit-Copy**).

Створення з'єднань. Режим введення провідників із прямокутним вигином включається клацанням миші по піктограмі (команди **Options-Mode-Wire**, клавіші **Ctrl+W**). Початок провідника відзначається клацанням миші на виведенні компонента. Не відпускаючи **ЛКМ**, провідник наносять на креслення. Якщо курсор рухається горизонтально чи вертикалі, то прокладається прямолінійний провідник. Якщо він рухається під кутом, утворюється один вигин під кутом 90°. Відпускання клавіші фіксує закінчення лінії.

На рис.3.5 наведено результат з'єднання конденсаторів **C1** та **C2**, які розмістили не на одному рівні. При з'єднанні верхніх вузлів була використана піктограма , а нижніх -  (утворення лівої частини сходинки) і  (формування нижньої горизонтальної частини з'єднання).

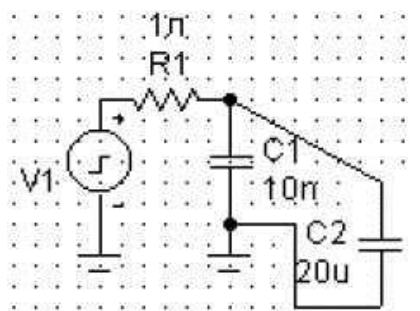


Рисунок 3.5. Проведення з'єднань

З'єднання, що не сподобалося, можна відразу ж після нанесення стерти, натиснувши клавішу **Delete**. Якщо стерти з'єднання стало необхідно після виконання інших операцій, необхідно перейти в режим вибору і виконати описані вище дії (див. примітку попереднього пункту). При цьому стирання з'єднань, що мають вигин у 90°, часто виконується в два прийоми: спочатку пропадає одна частина, на яку був поміщений курсор (наприклад, горизонтальна), а потім друга (після наведення на неї курсору).

Розшифрування «гарячих клавіш» наведено у таблиці 3.3.

3.1.2. Дослідження перехідних показників схеми.

Попередньо, натиснувши піктограму “ (команда **Option - View - Note Numbers**), забезпечте введення номерів вузлів (з'єднань елементів). Необхідно пам'ятати, що послідовність номерів визначається послідовністю введення

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК6- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 25

елементів. Наприклад, якщо при створенні креслення першим на екран був поміщений конденсатор, точка його з'єднання з резистором матиме номер 1. Точки заземлення не нумеруються. Приклад показаний на рисунку 3.6.

Таблиця 3.3. Функціональні клавіші Microcap

F1	виклик меню допомоги Help
F2	початок моделювання після вибору одного з видів аналізу в меню Run
F3	вихід з режимів AC , DC або Transient Analysis і повернення в вікно схем Schematic Editor . У вікні схем натискання клавіші F3 повторює пошук об'єкту
F4	відображення вікна графіків результатів аналізу (наприклад, якщо було відкрито вікно текстового вихідного файлу)
Ctrl+F4	закриття активного вікна
F5	відображення текстового вихідного файлу у вікні Numeric Output
F6	повернення до вихідного масштабу в обраному вікні графіків
Ctrl+F6	циклічне перемикавання відкритих вікон
F7	перемикавання в режим Scale масштабування фрагмента графіка на весь екран
F8	перемикавання в режим електронного курсору Cursor вимірювання координат графіків
F9	очищення вікна графіків в режимі Probe і виклик вікна завдання параметрів Analysis Limits в режимі аналізу характеристик
Ctrl+F9	видалення всіх графіків
F10	відкриття вікна Properties (властивості)
F11	відкриття вікна зміни параметрів Parameter Stepping (в режимі Transient Analysis)
F12	виклик редактора змінних стану State Variables Editor (в режимі Transient Analysis)

Перейдіть у режим аналізу перехідних процесів, вибираючи у меню **Analysis** аналіз виду **Transient Analysis** (команда **Analysis-Transient Analysis**, клавіші **Alt+1**). Після переходу на цей режим програма МС самостійно перевіряє правильність складання схеми. За наявності помилок виводиться інформаційне повідомлення, у якому вказано виявлені помилки. За відсутності помилок відкривається вікно завдання параметрів моделювання **Transient Analysis Limits**. Приклад показаний на рисунку 3.7.

Опануйте роботу в режимі **Transient Analysis**, використовуючи таку послідовність:

- уточніть найменування вузлів у вікнах **Y Expression** відповідно до отриманих номерів вузлів;
- визначте часовий інтервал горизонтальної розгортки графіків **Time Range**. Надалі активізуйте вікно опцій **Auto Scale Range**, надаючи програмі самостійно встановлювати масштаб по осі ординат;
- створіть два графіки, вказавши у вікні **P** цифру 2 замість 1. Виберіть будь-який колір із запропонованих клацанням на колірній піктограмі, розташованій ліворуч від вікон виведення напруги певного вузла;
- запусіть процес моделювання, натиснувши команду **Run** (клавіша F2, піктограм \wedge);

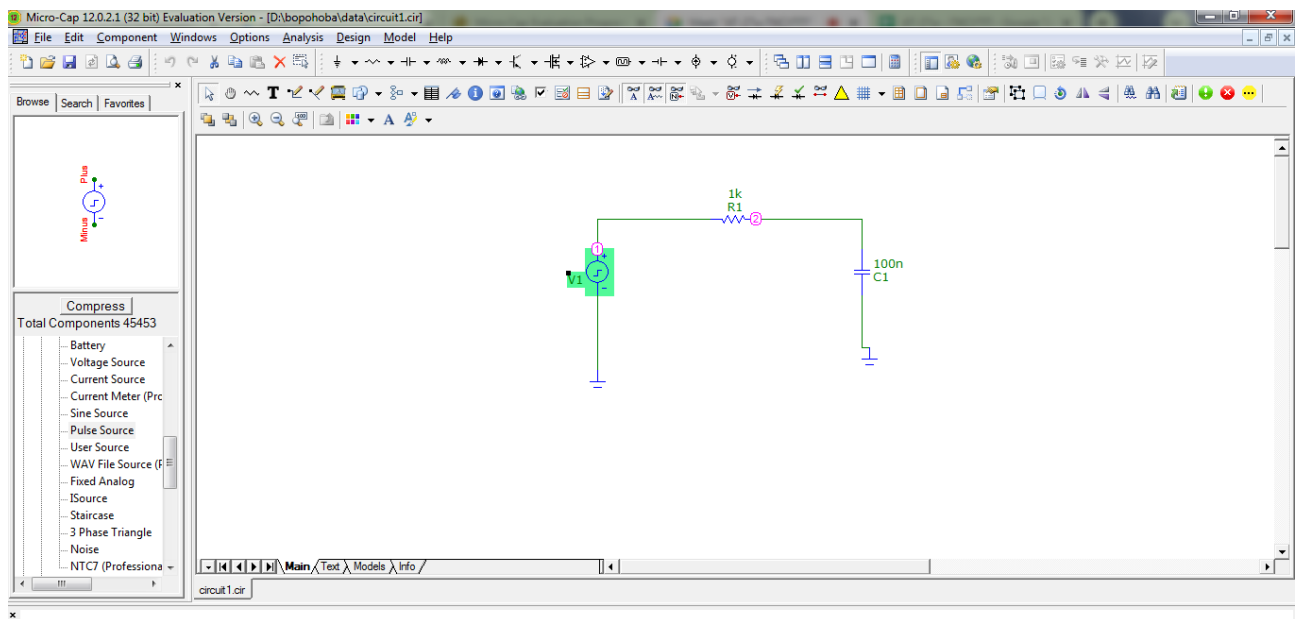


Рисунок 3.6.

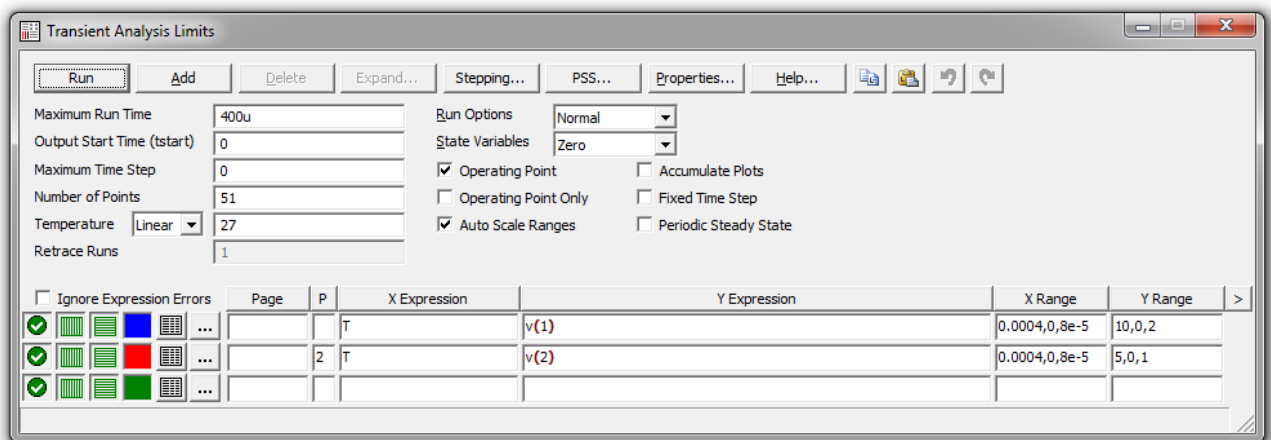


Рисунок 3.7.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК6- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 27

- введіть графік напруги на конденсаторі, вказавши у вікні **Y Expression** запис **V(1,2)** або **V(2,1)**. Переконайтеся за результатами моделювання (команда **Run**), що зміна послідовності цифр призводить до зміни полярності напруги, що виводиться. Найбільш зручно це зробити, розмістивши ці криві на одному графіку, використовуючи різні кольори кривих. Ви можете створити для цих залежностей окреме вікно, клацнувши на команді **Add**. Непотрібні вікна забираються клацанням на команді **Delete**, виділивши рядок, який слід видалити;

- послідовно кілька разів поміняйте тривалість аналізу (вікно **Time Range**) і досягайте того, щоб максимально були добре помітні хід цікавих для Вас залежностей, залишаючи при цьому тільки одну з них (непотрібні графіки прибрати - команда **Delete**). Для наочності, використовуючи діапазон зміни величини ординат, встановіть прийнятний масштаб;


- вимкніть опції **Auto Scale Range** і вкажіть у вікні **Y Range** дві цифри, перша з яких відповідає максимальному, а друга, що написана через кому, мінімальному значенню змінної по осі **Y**. Якщо мінімальне значення (друга цифра) дорівнює нулю, його можна опустити


Примітка.


1. Якщо у вікні **Y Expression** вікна завдання параметрів моделювання стоїть запис з одним числом у дужках (наприклад, **V(1)**), то на графіках буде показано напругу у вказаному вузлі щодо землі. Щоб зобразити різницю потенціалів між двома вузлами, необхідно в дужках через кому вказати номери вузлів (наприклад, **V(1,2)**)

2. Якщо після входження в режим аналізу (**Alt+I**) та побудови хоча б одного графіка необхідно змінити режим аналізу - виклик вікна завдання режимів (вікно **Transient Analysis Limits**) можна здійснити натисканням клавіші **F9** з наступним внесенням змін. Повернутися у вікно схеми – натисніть клавішу **F3** або закрийте вікно (кнопка X).

Засвойте вимірювання координат графіків у режимі **Transient Analysis**, використовуючи такі піктограми:

 - знаходження максимумів і мінімумів із зазначенням їх значень і пожежень по осі **X** ;




 - вказівка координат фіксованої точки ;

 - відображення відстані по осі **X** між двома точками ;

 – розтяжка виділеного діапазону по осі **X** (клавіша **F7**);

 - додавання горизонтальної розмірної лінії;

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК6- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 28

-  - пошук точки на графіку, що відповідає заданому значенню горизонтальної координати;
-  - пошук точки на графіку, що відповідає заданому значенню вертикальної координати.
-  - вказівка координат маркера, що переміщується за вибраним графіком рухом курсора.

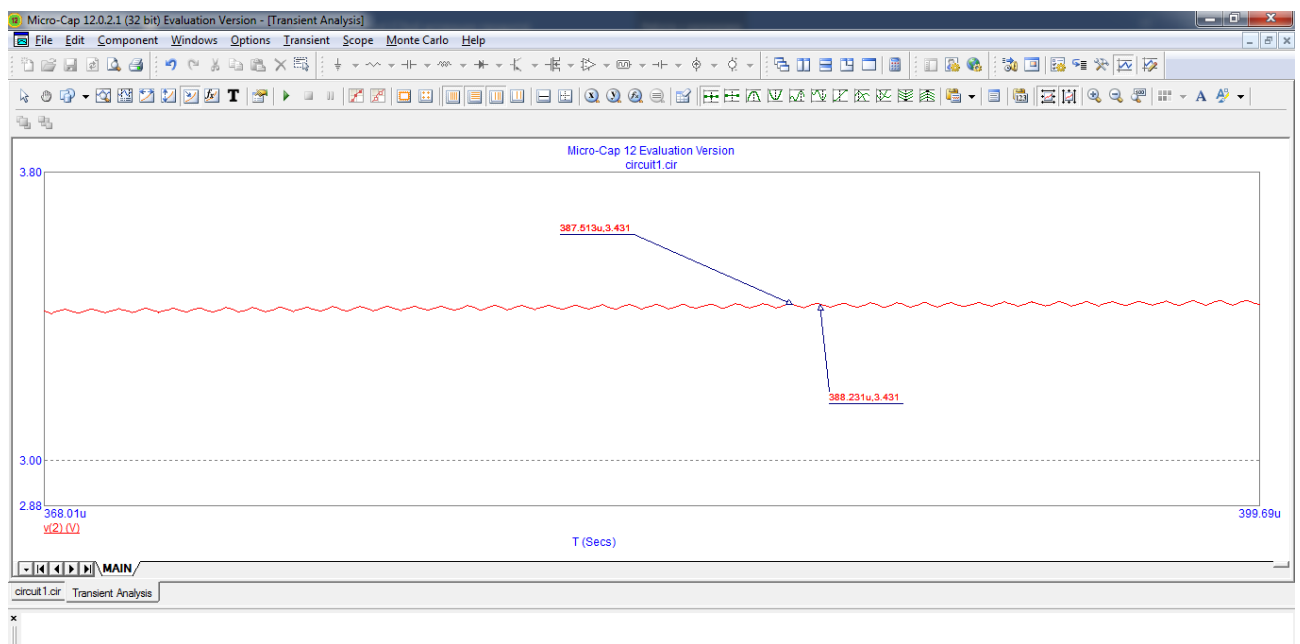
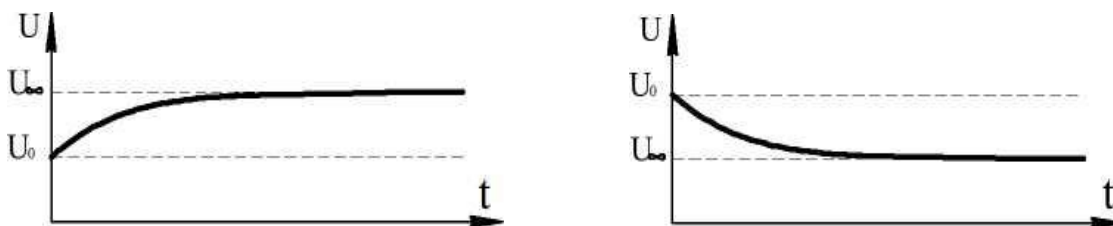


Рисунок 3.8. Приклад введення позначень

3.1.3. Пояснення до визначення характеристик процесів перезаряджання.

Експоненційна функція може бути двох видів: «наростаючою» (рисунок 3.9,а) та «спадаючою» (рисунок 3.9,б)



а)

б)

Рисунок 3.9 Приклади експоненційних функцій.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК6- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 29

Наростання напруги згідно з експоненційною функцією описується виразом:

$$u(t) = U_0 + \Delta U_1 \left(1 - e^{-t/\tau}\right) \quad (3.1)$$

А спад:

$$u(t) = \Delta U_2 e^{-t/\tau}, \quad (3.2)$$

де $u(t)$ – зміна від часу вимірювальної напруги;

t – час;

τ – стала часу експоненти;

ΔU - - перепад вимірюваної величини (напруги), причому

$$\Delta U_1 = U_\infty - U_0, \quad \Delta U_2 = U_0 - U_\infty, \quad (3.3)$$

де U_0 – напруга при $t = 0$ (початкове значення);

U_∞ - напруга при $t = \infty$ (кінцеве значення)

Практичне визначення значення U ж провадиться наступним чином:

- Завданням часового інтервалу горизонтальної розгортки графіків **Time Range** (рисунок 3.7), домогтися отримання режиму (див. малюнки 3.10 та 3.11).

- Виміряти по осі U в однакових точках двох останніх імпульсів. Якщо різниця між показаннями не перевищує 1%, то за U ж приймається останнє з цих значень (із округленням до третього знака після коми).

- Якщо різниця перевищує 1%, потрібно збільшити часовий інтервал горизонтальної розгортки та повторити попередній пункт.

Якщо відомі ΔU та значення вимірюваної величини в певний момент часу t_i , то постійна часу τ може бути знайдена з одного з виразів (3.4) - при «наростаючому» експоненті і (3.5) - при «спадаючою» :

$$\tau = \frac{-t_1}{\ln\left(1 - \frac{u(t_1) - U_0}{U_\infty - U_0}\right)} \quad (3.4)$$

$$\tau = \frac{-t_1}{\ln\left(\frac{u(t_1) - U_\infty}{U_0 - U_\infty}\right)} \quad (3.5)$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК6- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 30

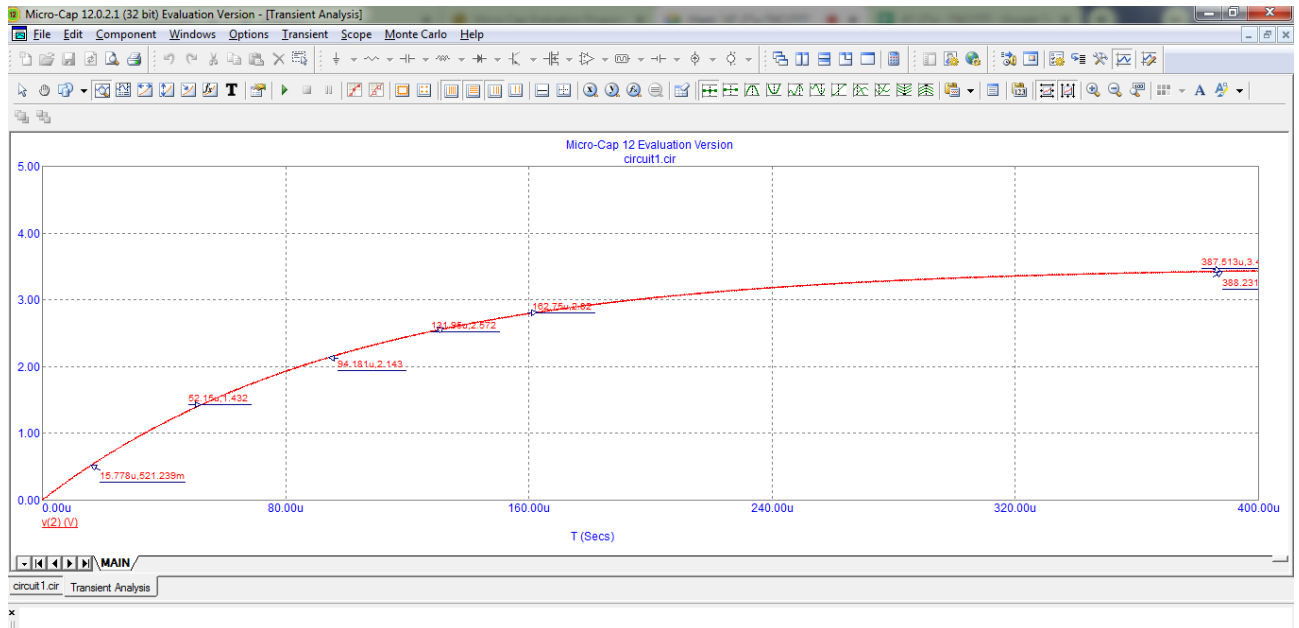


Рисунок 3.10

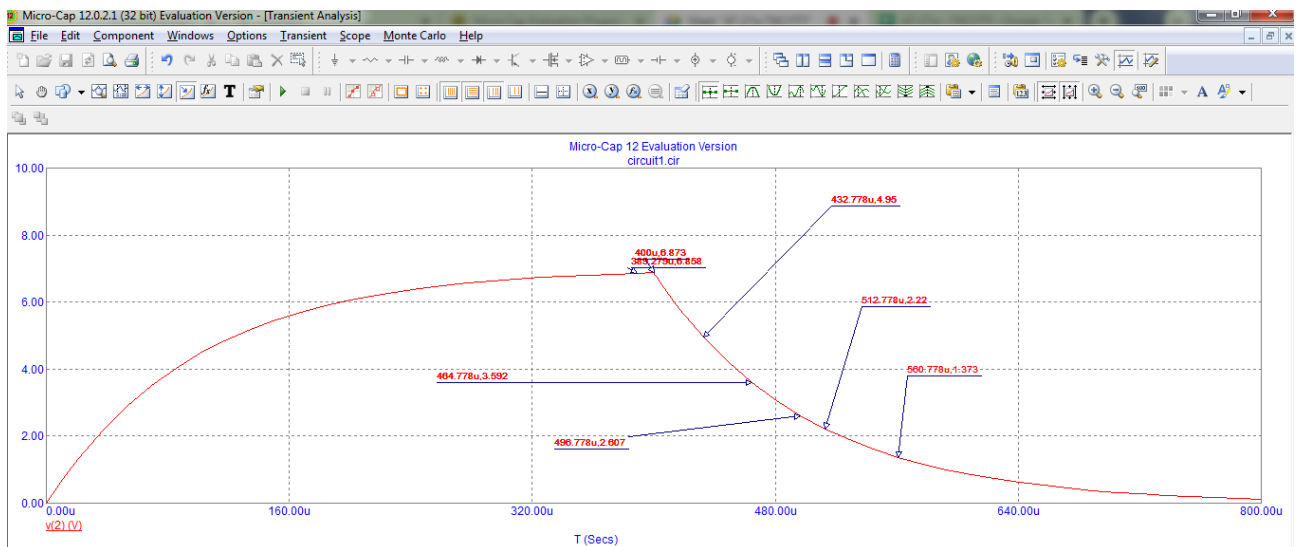


Рисунок 3.11

3.2 Виконання роботи

1. Намалювати на новоствореному робочому полі ланцюг, який зображений на рис. 3.12, з параметрами (атрибутами) елементів що наведені у табл. 3.4 (номер варіанту згідно зі списком у журналі групи).
 2. Освоїти методи завдання імпульсного режиму роботи та отримання перехідних характеристик.
 3. Змінюючи тривалість часу аналізу, отримати зображення усталеного режиму заряду ємності конденсатора.
- Вважаючи, що криві, що зображують зміну напруги, описуються експоненціальною функцією, визначити показник експоненти за графіками

зміни напруги на конденсаторі. Приклад наростаючої експоненти на рисунку 3.12.
4.

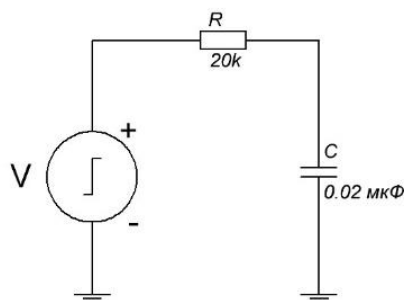


Рисунок 3.12

Таблиця 3.4.

Варіанти	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Опір резистора, кОм	15	10	20	15	3	5	30	1	1	1
Емність конденсатора, мкФ	0,001	0,01	0,01	0,02	0,001	0,04	0,01	0,1	0,1	0,1
Частота імпульсів, МГц	5	1	0,2	0,25	8	0,5	0,25	1	4	1,5
Амплітуда імпульсів, В	10	5	5	4	5	5	10	10	3	7
Варіанти	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Опір резистора, кОм	15	2	20	15	3	2	10	2	7	12
Емність конденсатора, мкФ	0,001	0,01	0,04	0,02	0,033	0,02	0,02	0,05	0,7	0,08
Частота імпульсів, МГц	5	5	0,1	0,2	1	2	0,5	1	3	0,6
Амплітуда імпульсів, В	10	10	10	4	4	4	4	4	4	4
Варіанти	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Опір резистора, кОм	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Емність конденсатора, мкФ	0,03	0,0	0,9	0,8	0,7	0,5	0,0	0,0	0,9	0,2
Частота імпульсів, МГц	1	2	3	4	5	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Амплітуда імпульсів, В	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Варіанти	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Опір резистора, кОм	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Емність конденсатора, мкФ	0,05	0,3	0,0	0,0	0,7	0,6	0,0	0,1	0,7	0,5
Частота імпульсів, МГц	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,5	1,8	2	2,5	3
Амплітуда імпульсів, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

У вихідній імпульсній послідовності:

- напруга п'єдесталу дорівнює 0 В;
- форма імпульсу - меандр (тривалість імпульсу дорівнює тривалості паузи);
- тривалість фронтів дорівнює нулю.

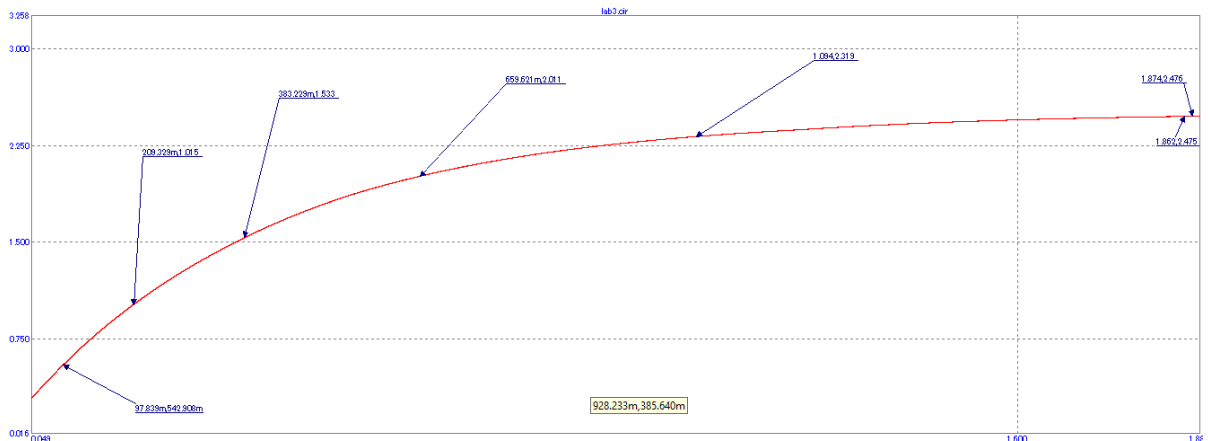


Рисунок 3.12

5. Внести у таблицю результатів та розрахувати практичне значення сталої RC-ланцюга для графіка зарядки конденсатора (приклад - табл.3.4). При розрахунку використовуйте не менше п'яти експериментальних значення функції.

Таблиця 3.4

Наименование / Номера отсчетов	1	2	3	4	5
1. Время (t_i), мкс	4,66	6,52	9,52	12,54	17,58
2. Величина напряжения (u_i), В	0,99	1,265	1,61	1,85	2,12
3. Относительное изменение напряжения ($u_i / \Delta U$)	0,47	0,52	0,663	0,761	0,872
$(1 - u_i / \Delta U)$	0,53	0,48	0,337	0,239	0,128
$\ln(1 - u_i / \Delta U)$	-0,635	-0,653	-1,09	-1,43	-2,06
τ , мкс	7,74	10	8,73	8,77	8,53
τ_{cp} , мкс	8,75				

6. Змінюючи тривалість часу аналізу, частоту і тривалість імпульсу, отримати зображення процесу розряду конденсатора за час одного імпульсу. Приклад спадаючої експоненти на рисунку 3.13 .

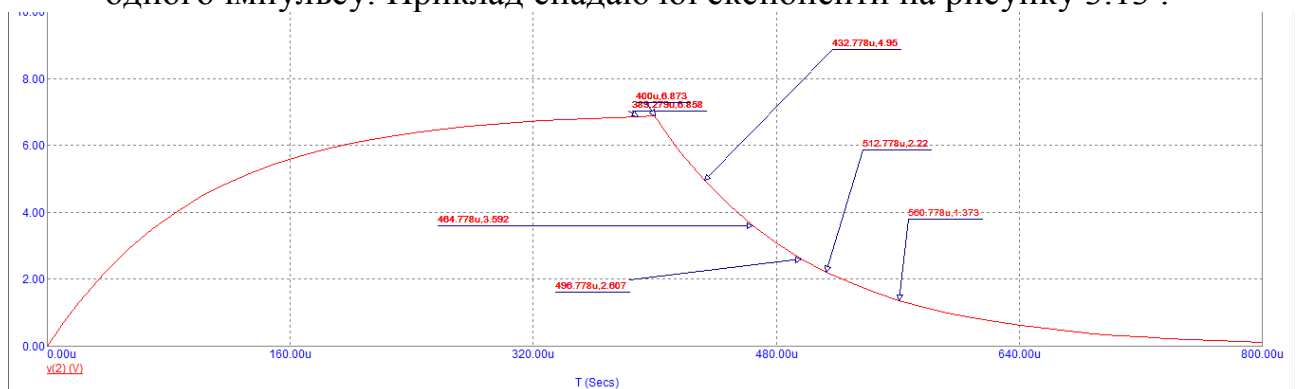


Рисунок 3.13

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК6- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 33

7. Визначити показник спадаючої експоненти аналогічно п.5.
8. Розрахувати теоретичне значення сталої RC-ланцюга $\tau_{\text{теор}} = R \cdot C$ та порівняти його значення з отриманими практичним шляхом.
9. Зняти графіки напруг на елементах схеми при різних параметрах ланцюгів і джерела сигналу (згідно вказівок викладача).
10. Зробити висновки по роботі і оформити звіт.

3.3 Контрольні питання

1. Для чого призначена система Мігросар?
2. Які основні можливості системи Мігросар?
3. Як відкрити новий файл, або завантажити старий?
4. Як зберегти файл? Як надати йому нове ім'я?
5. Які способи уведення схемних компонентів Вам відомі? Покажіть, як це робиться на практиці.
6. Як надати конкретні значення параметрам (атрибутам) компонентів?
7. Як змінити (відредагувати) схему й атрибути окремих компонентів?
8. Як об'єднати окремі схеми або їхні фрагменти в нову загальну схему?
9. Як вивести на екран і виключити номери вузлів, позиційні позначення й імена компонентів, супровідні тексти?
10. Як змінити колір графіків

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК6- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 34

Лабораторна робота № 4

СИНТЕЗ ТА АНАЛІЗ АНАЛОГОВОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ У ПРОГРАМІ MICROCAP

Мета роботи:

- Навчитися виконувати настройку і аналіз електричної аналогової схеми, використовуючи програму Мігросар;
- оволодіти навиками по експериментальному визначенню параметрів електричної аналогової схеми.

4.1 Виконання роботи

1. В програмі Мігросар зпроектувати схему активного фільтра (таблиця варіантів - табл. 4.1).
2. Визначити характеристики схеми (значення постійної напруги в вузлах схеми, АЧХ і ФЧХ, перехідна характеристика) (приклад – додаток Б).

4.2. Зміст звіту

1. Найменування і мета роботи.
2. Початкові дані індивідуального варіанту.
3. Розрахунок схеми активного фільтра по початковим даним індивідуального варіанту.
4. Схема електрична принципова активного фільтра.
5. Результати визначення характеристик схеми.
6. Зробити висновки по роботі.

4.3. Контрольні питання

1. Що називається активним фільтром?
2. Які основні параметри активного фільтра?
3. Як в програмі Мігросар виконати зміну номіналів елементів схеми?
4. Як в програмі Мігросар задати тип операційного підсилювача?
5. Як підключити осцилограф до схеми?
6. Як виконати визначення АЧХ і ФЧХ схеми?
7. Як визначити вплив температури на характеристики схеми?
8. Як визначити вплив розбіжності номіналів резисторів і ємностей $\pm 20\%$ на характеристики схеми?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК6- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 64 / 35

Таблиця 4.1

Варіант	Тип фільтра	Порядок фільтра	Частота зрізу, КГц
1	ФНЧ	2	100
2	ФВЧ	2	150
3	ПФ	1	20, 50
4	ФНЧ	2	80
5	ФВЧ	2	170
6	ПФ	1	50, 70
7	ФНЧ	2	60
8	ФВЧ	2	190
9	ПФ	1	60, 80
10	ФНЧ	2	60
11	ФВЧ	2	200
12	ПФ	1	80, 100
13	ФНЧ	2	40
14	ФВЧ	2	220
15	ПФ	1	100, 120
16	ФНЧ	2	120
17	ФВЧ	2	240
18	ПФ	1	120, 140
19	ФНЧ	2	140
20	ФВЧ	2	250
21	ПФ	1	120, 200
22	ФНЧ	2	200
23	ФВЧ	2	80
24	ПФ	1	12, 50
25	ФНЧ	2	200
26	ФВЧ	2	50
27	ПФ	1	20, 100
28	ФНЧ	2	180
29	ФВЧ	2	40
30	ПФ	1	40, 100

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 112 / 36

Лабораторна робота № 5

СИНТЕЗ ТА АНАЛІЗ ЦИФРОВОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ У ПРОГРАМІ MICROCAP

Мета роботи:

- навчитися виконувати синтез логічної схеми, виконувати настройку і аналіз логічної схеми, використовуючи програму Microcap;
- Оволодіти навиками по експериментальному визначенню параметрів логічної схеми.

5.1 Виконання роботи

1. Виконати синтез електричної принципової схеми блоку обчислення логічної функції $F(X1, X2, X3, X4)$ (табл. 2.1.) в програмі **Microcap**. Для синтезу схеми використовуйте **Логічний перетворювач**.
2. Виконати перевірку правильності функціонування схеми шляхом подачі на її вхід від цифрового генератора тестового набору логічних змінних і вимірювання логічним аналізатором вхідних та вихідної логічних змінних.
3. Реалізувати схему блоку обчислення логічної функції на мікросхемах серії 74LS (аналог K555) і повторити п. п. 2. Зразок – додаток В.

5.2. Зміст звіту

1. Найменування і мета роботи.
2. Початкові дані індивідуального варіанту.
3. Аналіз початкових даних.
4. Схема електрична принципова блоку обчислення логічної функції.
5. Результати вимірювання параметрів схеми (згідно п. п. 2 - 4 розділу “Виконання роботи”).
6. Висновки по роботі.

5.3. Контрольні запитання

1. Що називається логічною схемою?
2. Які основні методи перевірки дієздатності логічних схем?
3. Як в програмі MicroCAP виконати з'єднання елементів схеми?
4. Як в програмі MicroCAP задати тип логічного елемента?
5. Як підключити цифровий генератор до схеми?
6. Як підключити логічний аналізатор до схеми?
7. Як виконати синтез логічної схеми по заданому виразу логічної функції?
8. Як надрукувати результати вимірювань для електричної схеми?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 112 / 37

Лабораторна робота № 6 БАГАТОВАРІАНТНИЙ АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОННИХ СХЕМ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ У ПРОГРАМІ MICROCAP

Мета роботи: Придбання практичних навичок по багатоваріантному аналізу схеми, тобто дослідження впливу розбіжності параметрів елементів на характеристики схеми.

6.1 Теоретичні відомості

В програмі Microcap можливе виконання багатоваріантного аналізу схеми, тобто дослідження впливу розбіжності параметрів елементів на характеристики схеми. Одночасно можна виконувати тільки багатоваріантний або статистичний аналіз.

При багатоваріантному аналізі виконується зміна деякого параметра одного із елементів схеми в заданих межах із заданим кроком. Для кожного значення цього параметра виконується аналіз перехідних процесів або розрахунок АЧХ і ФЧХ. На графіках будується набір функцій, що відповідають різним значенням даного параметра.

Меню **Transient** або AC містить команду Stepping, яка задає величину розбіжності деякого параметра. При виконанні команди **Stepping** відкривається діалогове вікно

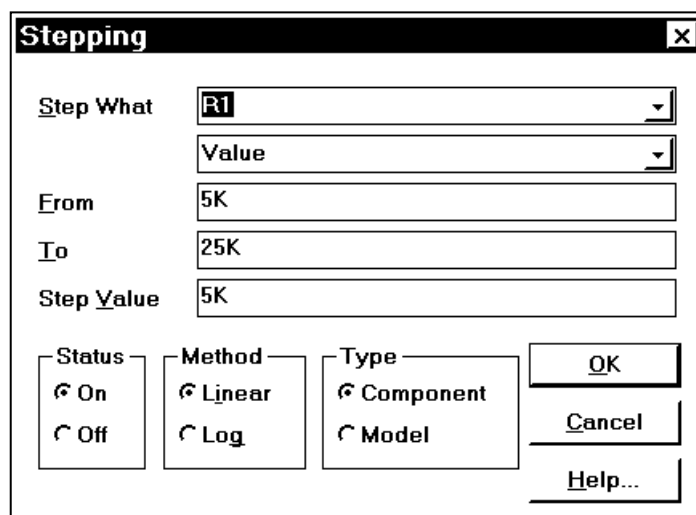


Рисунок 6.1. Задання розбіжності параметра елемента схеми

Можна задавати розбіжність наступних параметрів:

1. Розбіжність параметра простого елемента. Задається опцією

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 112 / 38

Stepping–Type–Component. Наприклад, це може бути розбіжність значення опору резистора. В даному випадку змінюється тільки параметр одного елемента схеми.

2. Розбіжність параметра моделі деякого складного елемента, що описується даною моделлю. Задається опцією **Stepping–Type–Component**. Наприклад, це може бути розбіжність коефіцієнта підсилення біполярного транзистора по току в схемі із загальним емітером. В даному випадку змінюється параметр моделі тільки для одного елемента схеми.

3. Розбіжність параметра деякої моделі багатьох елементів схеми. Задається опцією **Stepping–Type–Model**. Наприклад, це може бути розбіжність об'ємного опору для моделі діода. В даному випадку змінюються параметри моделі для всіх елементів схеми, що описані за допомогою цієї моделі.

Зауважимо, що для схеми, яка містить один біполярний транзистор, розбіжність коефіцієнта підсилення по току в схемі із загальним емітером для цього транзистора можна задати відповідно до варіанта 2 або 3.

Вікно **Stepping** містить наступні рядки:

- **Step What** – ім'я елемента і його параметр, що має розбіжність, або ім'я моделі елемента і її параметр, що має розбіжність;
- **From** – початкове значення параметра;
- **To** – кінцеве значення параметра;
- **Step Value** – величина шага зміни параметра;
- **Status** – вмикає / вимикає виконання багатоваріантного аналізу;
- **Method** – метод зміни параметра (лінійна або логарифмічна шкала);
- **Type** – дослідження розбіжності параметрів елементів (Component) або розбіжності параметрів моделей елементів (Model).

Параметри та результати розрахунків та інші приклади багатоваріантного аналізу наведено в розділі 15.

6.2 Виконання роботи

*** Oramp (операційний підсилювач)

```
.MODEL $GENERIC OPA (GBW=2.5MEG IBIAS=30p IOFF=3p ROUTAC=50
ROUTDC=75 SRN=5MEG
+ SRP=5MEG VOFF=2m)
```

*** Input signal

```
.MODEL IMPULSE PUL (P1=5e-7 P2=5e-7 P3=1e-6 P4=1e-6 P5=1e-6 VZERO=-5)
```

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 112 / 39

Лабораторна робота № 7 БАГАТОВАРІАНТНИЙ АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОННИХ СХЕМ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ У ПРОГРАМІ MICROCAP, ч.2

Мета роботи: Придбання практичних навичок по багатоваріантному аналізу схеми, тобто дослідження впливу розбіжності параметрів елементів на характеристики схеми.

7.1 Теоретичні відомості

Результат дослідження впливу розбіжності опору резистора R1 на перехідні процеси в схемі активного фільтра наведено на рис. 7.1.

Результат дослідження впливу розбіжності опору резистора R1 на АЧХ і ФЧХ схеми активного фільтра наведено на рис. 7.2.

Інші приклади багатоваріантного аналізу наведено в додатку Г.

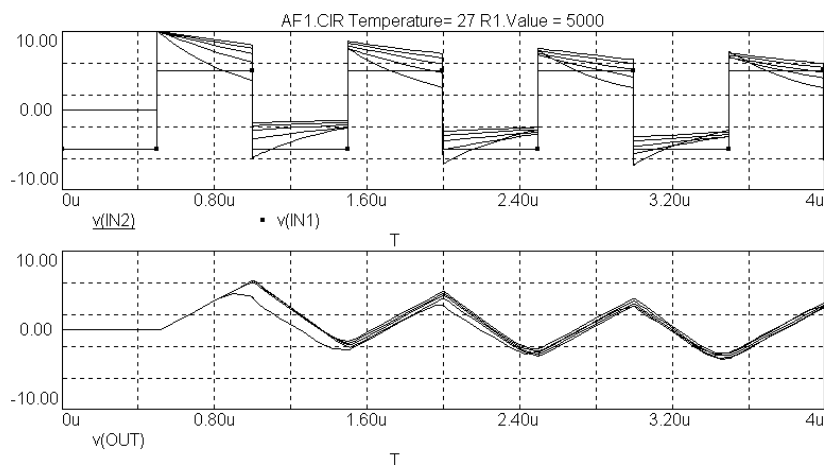


Рис. 7.1. Вплив розбіжності параметра елемента на перехідні процеси в схемі активного фільтра

7.2 Виконання роботи

1. Виконати дослідження впливу розбіжності опорів резисторів і ємностей конденсаторів $\pm 5\%$, а також розбіжності коефіцієнта підсилення по рівням в схемі в межах мінімальних значень на АЧХ і ФЧХ операційного підсилювача.

Схема показує передаточні характеристики на постійному струмі, частотні і перехідні характеристики моделі ОП трьох рівней (LEVELs). Для вводу у лінійний режим зменшимо значення Voff (електро-рушійна сила зміщення нуля), IBIAS(вхідний струм), IOFF(різниця вхідних струмів) до мінімуму.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 112 / 40

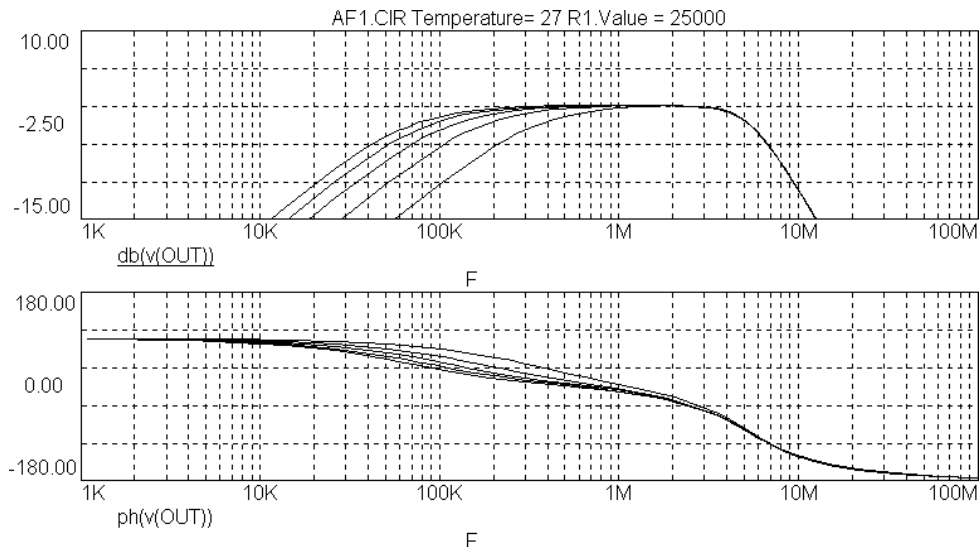


Рис. 7.2. Вплив розбіжності параметра елемента на АЧХ і ФЧХ схеми активного фільтра

Також задамо для резисторів R1, R2, R3, R4, R5 модель RES1, для конденсатора C1 – модель CAP1, і змінимо опис моделей елементів у вікні текстового опису схеми наступним чином:

*** Ораmp (операційний підсилювач)

```
.MODEL $GENERIC OPA
(GBW=2.5MEG IBIAS=100f IOFF=1f ROUTAC=50 ROUTDC=75
SRN=5MEG + SRP=5MEG VOFF=1n)
```

*** Input signal

```
.MODEL IMPULSE PUL
(P1=5e-7 P2=5e-7 P3=1e-6 P4=1e-6 P5=1e-6 VZERO=-5)
```

*** Resistors and capacitors

```
.MODEL CAP1 CAP (C=1 LOT=5%)
.MODEL RES1 RES (R=1 LOT=5%)
```


Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 112 / 41

Лабораторна робота № 8

СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОННИХ СХЕМ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ У ПРОГРАМІ MICROCAP

Мета роботи: придбання практичних навичок по статичному аналізу електронних схем за методом Монте-Карло.

8.1 Теоретичні відомості

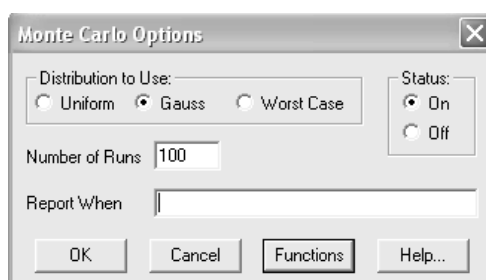
Статистичний аналіз - це багаторазовий аналіз, при цьому для кожного однократного аналізу всі компоненти здобувають випадкові відхилення від номіналів відповідно до відомого закону розподілу. Статистичний аналіз, по суті, моделює процес серійного виготовлення схем, з огляду при цьому на технологічний розкид атрибутів компонентів.

Статистичний аналіз проводиться для того, щоб задовго до початку серійного виробництва визначити, наскільки прийнятна конкретна схема з відомим розкидом і законом розподілу атрибутів компонентів.

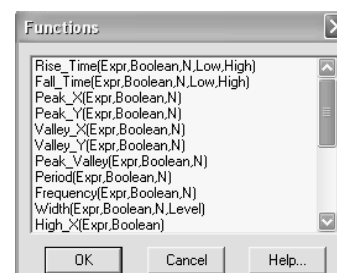
Статистичний аналіз застосуємо до кожного з розглянутих вище основних режимів аналізу: DC, AC й Transient. Найбільш наочним і важливим представляється використання статистичного аналізу стосовно до режиму AC. Саме на прикладі цього режиму буде йти наступний виклад.

Роботу, як звичайно, варто почати з уведення схеми із вказівкою величини розкиду для кожного атрибута компонентів, тобто необхідно для кожного компонента додатково ввести величину розкиду атрибута (звичайно виражається у відсотках) і для всієї сукупності компонентів увести закон розподілу.

У діалоговому вікні Monte Carlo Options (рис. 8.1, а), що відкривається по команді Monte Carlo Options, указується кількість статистичних випробувань Number of Runs (не більше 30 000) і характер закону розподілу випадкових параметрів:



а)



б)

Рисунок 8.1 - Діалогове вікно Monte Carlo Options (а) і вікно завдання функцій(б)

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 112 / 42

Uniform рівномірний розподіл;
Gauss — розподіл Гауса;
Worst Case — найгірший випадок.

Для пробних спроб можна порекомендувати 10...20 випробувань, для остаточних розрахунків 100...200.

У вікні **Global Settings** задається відношення розкиду випадкових параметрів до середньквдратичного відхилення *SD*. На рядку **Report When** указується умова, при виконанні якої виводиться попереджуваче повідомлення в текстовий файл результатів моделювання, яке має розширення імені *.OUT. Ім'я функції, що вказує на цьому рядку, може бути обране в списку доступних функцій, що відкриваються натисканням на клавішу **Function**. Перед виконанням розрахунків по методу Монте-Карло варто поставити перемикач Status у положення On.

Розподіл параметрів, що мають випадковий розкид, виконується за допомогою ключових слів LOT й/або DEV. Для розрахунку розкиду значень параметрів, що мають розкид LOT й DEV, використовуються різні датчики випадкових чисел. У свою чергу параметри, що мають ознаку DEV, одержують незалежні випадкові значення, а маючи ознаку LOT - корельовані випадкові значення в межах параметрів одного елемента. Ключові слова LOT й DEV містяться після номінального значення параметра й мають формат: [LOT=<розкид>[%]][DEV=<розкид>[%]]

Указується або абсолютне, або відносне значення розкиду у відсотках (в останньому випадку треба ввести знак %). Розкид параметрів компонентів указується в директиві .MODEL за допомогою ключових слів LOT й DEV, наприклад: .

```
model VIN SIN (F= 10kHz A= 10m LOT= 10% DC=0 PH=0 RS= 1)
.model KT316B NPN (IS=2.8f LOT=5% BF=75 LOT=5% DEV=20%).
```


Для уведення величини розкиду використовується директива .MODEL. Для складних компонентів й, можливо, для частини простих така директива вже існує. Залишається лише ввести в неї додаткові відомості. Якщо ж для якихось компонентів директива .MODEL відсутня, то необхідно клацнути курсором по кнопці **I** й потім клацнути курсором із супровідною його буквою I по конкретному компоненту, У вікні атрибутів, що відкрилося, у рядку

.MODEL вводиться ім'я моделі, а у вікні тексту з'являється "заготівля" директиви .MODEL.

Допустимо, що в режимах Transient, AC або DC аналізується деяка функція ланцюга $y=f(x)$, де x — незалежна перемінна (час, частота, вхідна постійна напруга або струм), y — залежна перемінна (вузловий потенціал, вхідний опір і т.п.). Для кожної реалізації процесу $y(x)$ розраховується глобальна характеристика F (the collection function), наприклад максимальне значення реалізації $F=\max\{y(x)\}$,

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 112 / 43

Назва характеристики F уводиться, на рядку Report When або вибирається з вікна Functions, що відкривається натисканням на клавішу Functions.

Після установки параметрів починають моделювання вибором пункту Run у меню моделювання обраного типу або натисканням F2. Реалізації характеристики ланцюга $y(x)$ виводяться на екран дисплея у вигляді сімейства графіків. Статистична обробка результатів моделювання відбувається по команді Monte Carlo>Histograms/Add Histograms, та дублюється натисканням на піктограму . Її результати представляються у вигляді гістограми, зразковий вид якої показаний на рис.8.2.

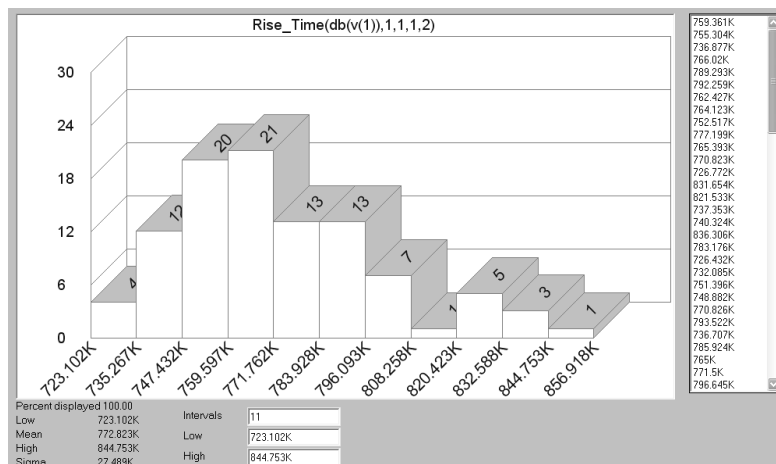


Рисунок 8.2 - Вікно побудови гістограм

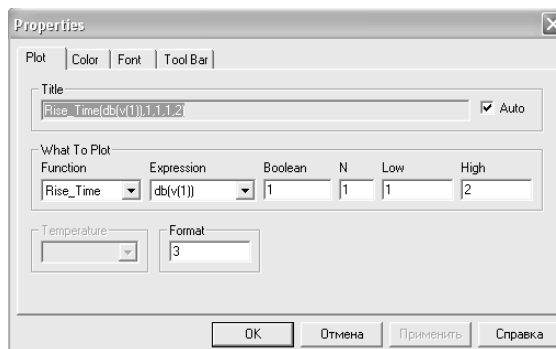
Гістограма - це діаграма; по осі абсцис відкладається вихідний параметр схеми; інтервал, на якому розміщуються всі реалізації параметра, ділиться на N ділянок, кожна з яких є підставою прямокутника; по осі ординат відкладається абсолютна або відносна кількість влучень чергових реалізацій вихідного параметра на дану ділянку осі абсцис. Іншими словами, гістограма - це дискретний закруглений закон розподілу вихідного параметра.

Подвійний щиклик курсором миші, розташованому у вікні гістограм, відкриває діалогове вікно завдання параметрів Properties (зкладка Plot), рис. Це ж вікно відкривається на початку виконання команди Add Histograms У ньому в рядку Function указується ім'я аналізованої функції F, а в рядку Expression - ім'я характеристики ланцюга.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 112 / 44

На графіку гістограми по горизонтальній осі відкладаються значення харак- теристики F, по вертикалі - імовірності у відсотках.

Значення характеристики F у всіх реалізаціях виведені у вікні в правій части- ні екрана. Нижче його наведене вікно, у якому можна задати кількість інтер- валів розбивки області визначення аналізованої характеристики F (intervals) і значення її границь (Low, High).



Рисунк 8.3 - Вікно конфігурування гістограм

У нижній частині екрана ліворуч міститься наступна статистична інформація: Low - мінімальне значення характеристики;

Mean - її середнє значення; High - максимальне значення;

Sigma - середньоквадратичне відхилення випадкової величини F.

Результати статистичної обробки заносяться також у текстовий файл після вибору підкоманди Monte Carlo >Histograms/Statistics. Текстова інформація розміщається у файлах, що мають те ж ім'я, що й ім'я схеми, і розширення імені АМС, DМС, ТМС залежно від виду аналізу. У них містяться результати статистичної обробки, як показано на рис..

8.2. Виконання роботи

1. Уведіть схему для АС аналізу.
2. В описі компонентів уведіть величину розкиду атрибутів.
3. Проведіть АС аналіз уведеної схеми й переконаєтеся в нормальній роботі режиму АС. Перед цим організуйте вивід на екран 2-3 найбільш показових залежностей.
4. Зробіть необхідні установки у вікні Monte Carlo Options, указавши, зокрема, кількість випробувань.
5. Знову проведіть АС аналіз. Зверніть увагу на характер кривих для всіх доступних законів розподілу. Сформулюйте висновки.
6. Реалізуйте режим побудови гістограм. Використайте функції

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 112 / 45

гістограм High.

7. Повторіть П.6 для меншого діапазону по осі X; для функції гістограми Low; для іншої залежності; для інших значень числа розбивок гістограми.

8. За бажанням можна спробувати використати інші функції гістограми, використовуючи Help.

9. Захистіть роботу, продемонструвавши вміння працювати в режимі статистичного аналізу й дайте відповіді на контрольні питання.

10. значає сам користувач. Виклик панелей можливий по команді Option / Component Palettes /1:1 ... або двохклавішною командою Ctrl+N, де N- номер вікна від 1 до 9.

Після уведення зображення компонента відкривається так назване діалогове вікно атрибутів (параметрів). Для компонентів R, L, C (і деяких інших) звичайно досить увести відповідне значення опору, індуктивності, ємності (панель Value). Введені значення дублюється в рядку VALUE. При уведенні можна використати суфікси MEG (мега), K (кіло), M (мілі), U (мікро), N (нано), P (піко).

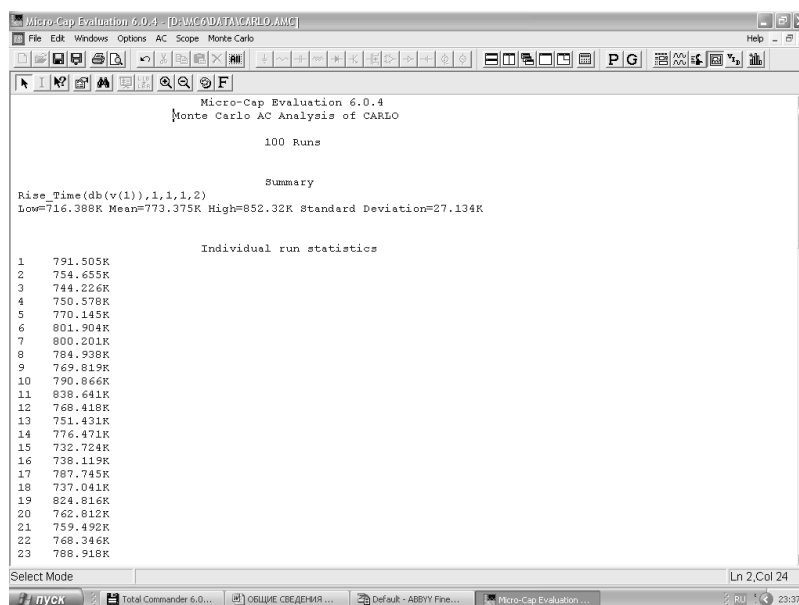


Рисунок 8.4 - Вивід результатів статистичної обробки в текстовому виді

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 112 / 46


8.3. Контрольні запитання

2. Що таке статистичний аналіз?
3. Як підготувати опис різних компонентів до статистичного аналізу?
4. Як установити закон розподілу й число випробувань?
5. Яку інформацію можна одержати в результаті статистичного аналізу?
6. Які закони розподілу реалізуються в середовищі Microcap ?
7. Що таке гірший випадок?
8. Що таке гістограма? Для яких параметрів вона реалізується?
9. Як використовується інформація, отримана в результаті статистично- го аналізу?
10. Які переваги й недоліки Ви вбачаєте в реалізації статистичного аналізу в середовищі Microcap?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 112 / 47

Додаток А

Вказівки до використання Мігосар

Запуск пакету Мігосар виконується запуском виконуваного файлу з розширенням ехе або клацанням миші по піктограмі , яка створюється на робочому столі при установці. При запуску відкривається вікно (графічний редактор) (рис.А.1), в якому відображається схема електричного кола, яке моделюється (зкладка Main).

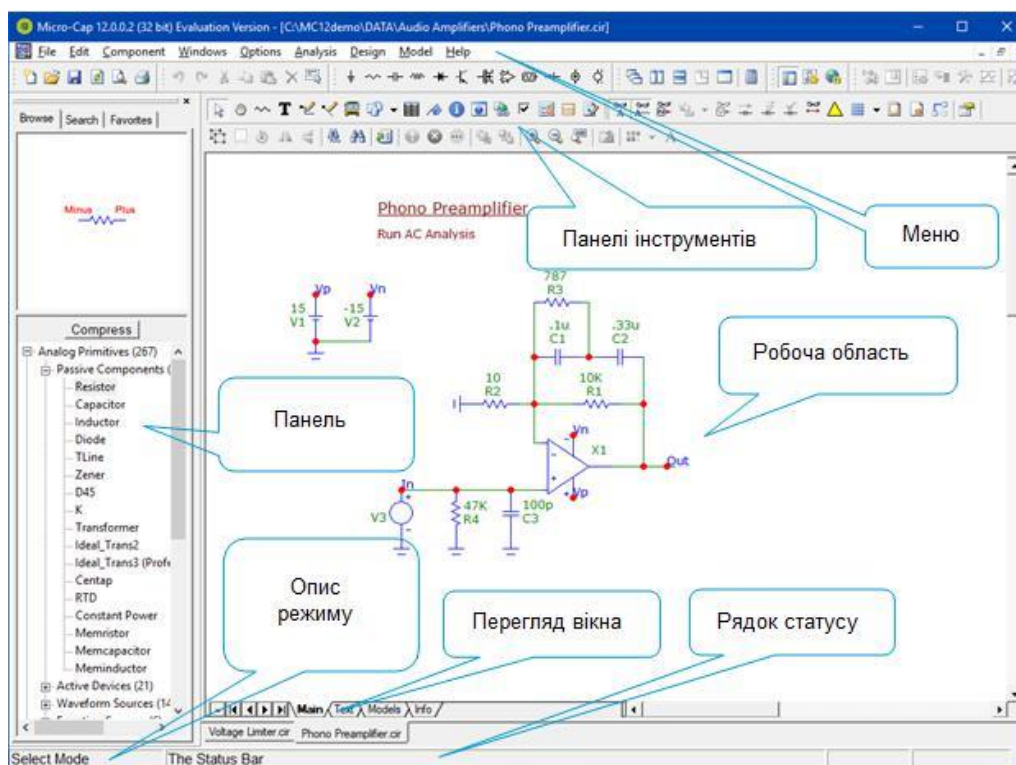



Рисунок А.1 - Вікно програми Мігосар 12

В Мігосар використовується багатовіконний інтерфейс з меню, які спадають та розгортаються.

Меню системних команд

Меню обраної курсором команди розгортається вниз. Розглянемо основні команди.

Меню File. В меню **File** в першу чергу необхідні такі команди:

New (, Ctrl+N) – дозволяє створити новий файл допустимого Мігосар типу. Для створення нової схеми необхідно виконати команду **File – New** і в меню, яке відкривається, обрати пункт **Schematic File (.cir)** (файл схеми);

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 112 / 48

Open (📁, Ctrl+O) – дозволяє відкрити для редагування або аналізу схемний файл. Команда викликає діалогове вікно відкриття файлу, за допомогою якого можна відкрити схемний (.cir, .mac, .ckt) або бібліотечний файл (.lib, .lbr) та ін.;

Save (💾, Ctrl+S) – дозволяє зберегти схемний файл з активного вікна за іменем та шляхом, вказаним в рядку заголовка;

Save as – дозволяє зберегти схемний файл з активного вікна під іншим іменем (ім'я вказується у вікні, яке відкривається).

Меню **Edit** (редагування). Серед найчастіше використовуваних команд:

Undo (↶, Ctrl+Z) – відміна останньої команди редагування (відкат назад);

Redo (↷, Ctrl+Y) – виконання останньої відміненої команди (відкат вперед);

Cut (✂, Ctrl+X) – видалення обраного об'єкту та копіювання його в буфер обміну;

Copy (📄, Ctrl+C) – копіювання обраного об'єкту в буфер обміну;

Paste (📄, Ctrl+V) – копіювання вмісту буферу обміну в поточне вікно на місце, на яке вказує курсор.

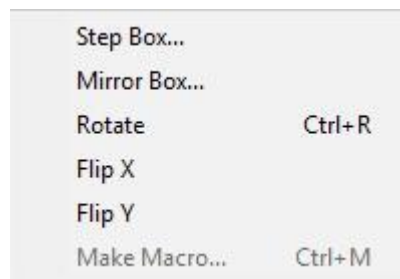


Рисунок А.2

Команда **Box** підменю **Edit** – редагування об'єктів, виділених прямокутною рамкою (встановлюється

мишею в режимі 🖱). Команда Box викликає діалогове вікно з командами:

Step Box 📏 - дозволяє копіювати блок вказане число разів;

Mirror Box 🪞 - створює зеркально відображений фрагмент;

Rotate 🔄 - обертає проти годинникової стрілки на 90°;

Flip Y 📏 - зеркально відображає блок відносно вертикальної осі; **Flip**

X 📏 - зеркально відображає блок відносно горизонтальної осі.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 112 / 49

Меню Component. Це підменю підтримує роботу з ієрархічними каталогами бібліотек аналогових та цифрових компонентів. Воно має систему ієрархічних меню, які відкриваються при наведенні на них курсору миші. Меню має декілька розділів.

Розділ **Analog Primitives** містяться такі підрозділи:

Passive Components (пасивні компоненти). В розділі містяться резистори (Resistor), конденсатори (Capacitor), котушки індуктивності (Inductor), діоди (Diode), довгі лінії (TLine), стабілітрони (Zener), діоди, повернуті на 45° (D45), трансформатори (Transformer), навантаження постійної потужності (Constant Power).

Active Devices (активні пристрої). В розділі знаходяться активні компоненти: біполярні транзистори npn та pnp типів, МДН транзистори з каналами n та p типів (NMOS, PMOS), МДН транзистори з індукованим каналом n та p типів (DNMOS, DPMOS), польові транзистори з керуючим p-n переходом з каналом n та p типів (NJFET, PJFET), операційні підсилювачі (OPAMP), арсенід-галієві польові транзистори (GaAsFET), біполярні транзистори з ізолюваним затвором (IGBT).

Waveform Sources (джерела сигналів). Розділ містить джерело постійної напруги (battery), незалежні джерела напруги та струму складної форми, які залежать від часу (Voltage Source, Current Source); джерело синусоїдальної напруги (Sin Source), джерело імпульсного сигналу (Pulse Source), джерело постійного струму (Isource), джерело напруги, яке залежить від часу, що програмується користувачем у вигляді таблиці (User Source) та ін.

Function Sources (функціональні джерела). Розділ містить функціональне джерело напруги (NFV), функціональне джерело струму (NFI), залежні джерела, що задаються таблицею напруги від струму (NTVofI), струму від струму (NTIofI), струму від напруги (NTIofV), напруги від напруги (NTVofV).

Джерела NFV та NFI описуються довільною функціональною залежністю від напруг та струмі схеми.

В розділі **Analog Library** представлені моделі різноманітних аналогових компонентів.

В розділі **Digital Library** містяться бібліотеки моделей цифрових компонентів з різною технологією виготовлення.

В локалізованих версіях Мігосар додані розділи з локальними аналоговими та цифровими компонентами.

Меню Windows. Меню містить команди роботи з вікнами. Вікна можна розташовувати каскадом, по вертикалі або горизонталі, масштабувати, викликати вбудований калькулятор, виводити перелік бібліотек, перелічених в файлі каталозі NOM.lib та ін.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 112 / 50

Меню Options. Меню містить команди для вибору режиму редагування та задання різних параметрів програми Мігросар.

За замовчуванням в програмі Мігросар встановлено американський стандарт (Main) умовних графічних зображень (УГЗ) компонентів. Однак можливо встановлення європейського стандарту (Euro), в якому УГЗ компонентів ближче до вітчизняних стандартів. Вибір стандарту, який буде використовуватися в даній схемі, здійснюється у вікні властивостей для нових схем (шлях до вікна: меню Options – Default Properties For New Circuits) (рис. А.3).

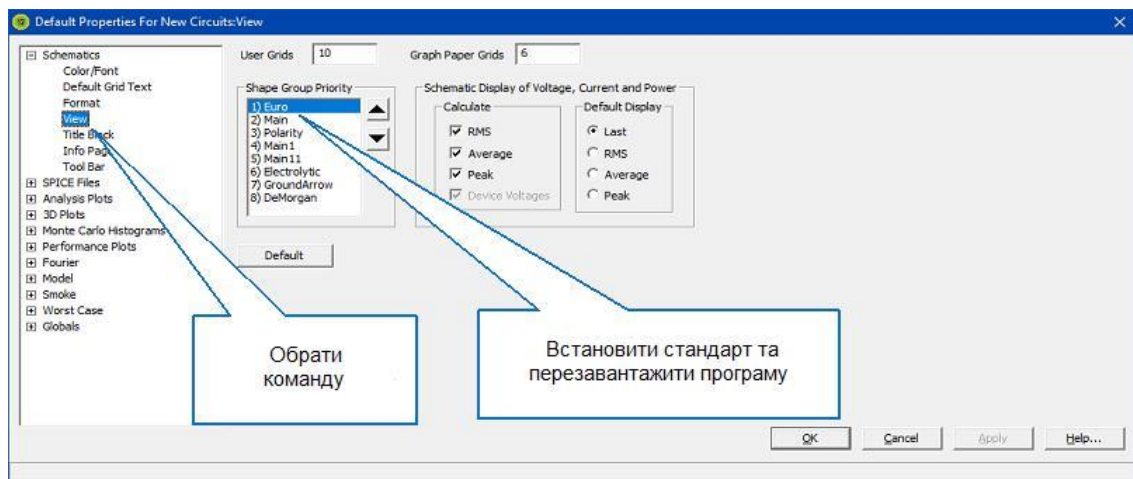


Рисунок А.3. - Вибір стандартів УГЗ у вікні Default Properties For New Circuits

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 112 / 51

Додаток Б

Приклад виконання схем лабораторної роботи 4

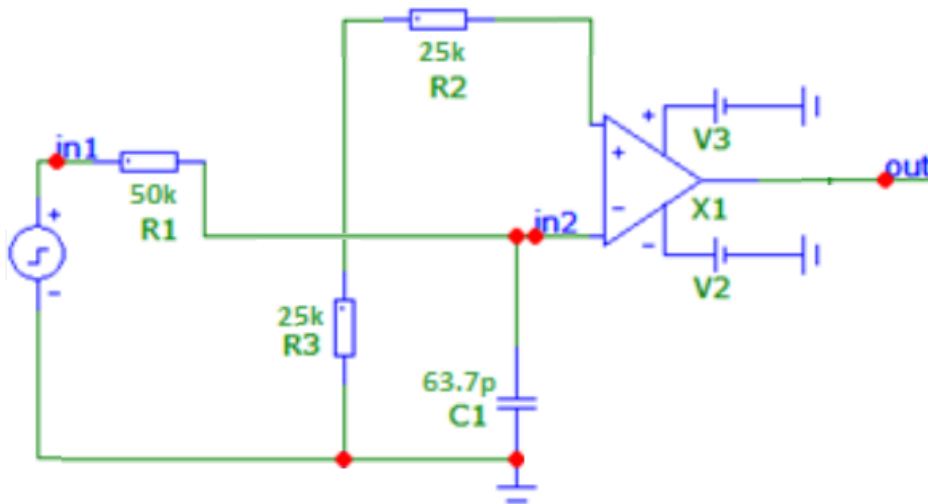


Рисунок Б.1. Досліджувана схема ФНЧ

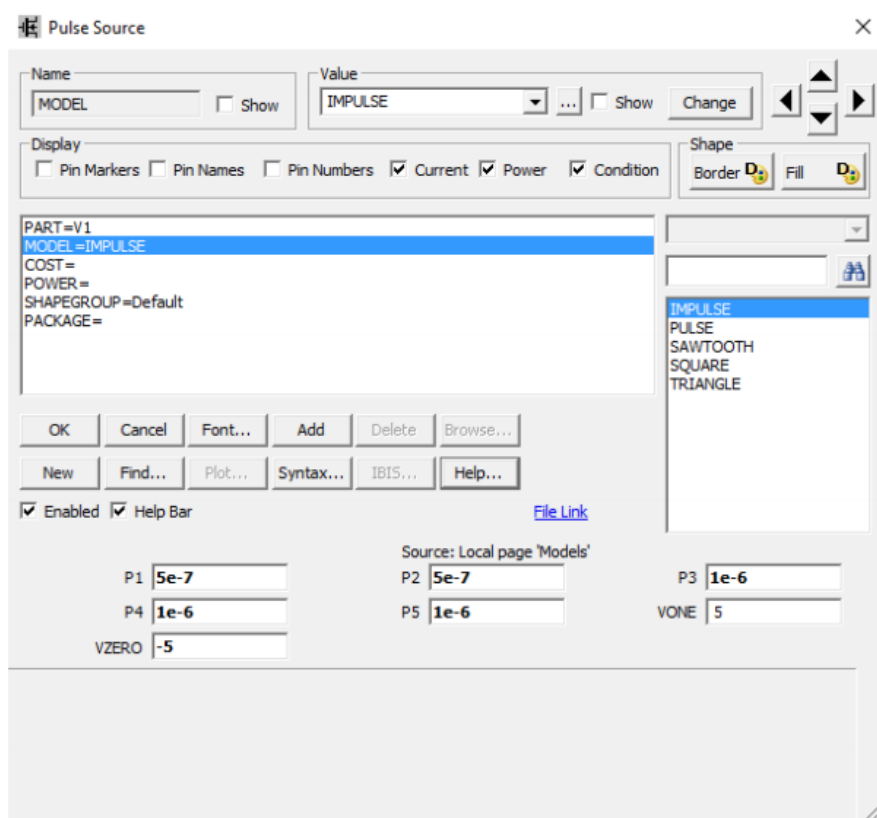


Рисунок Б.2. Операційний підсилювач

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 112 / 52

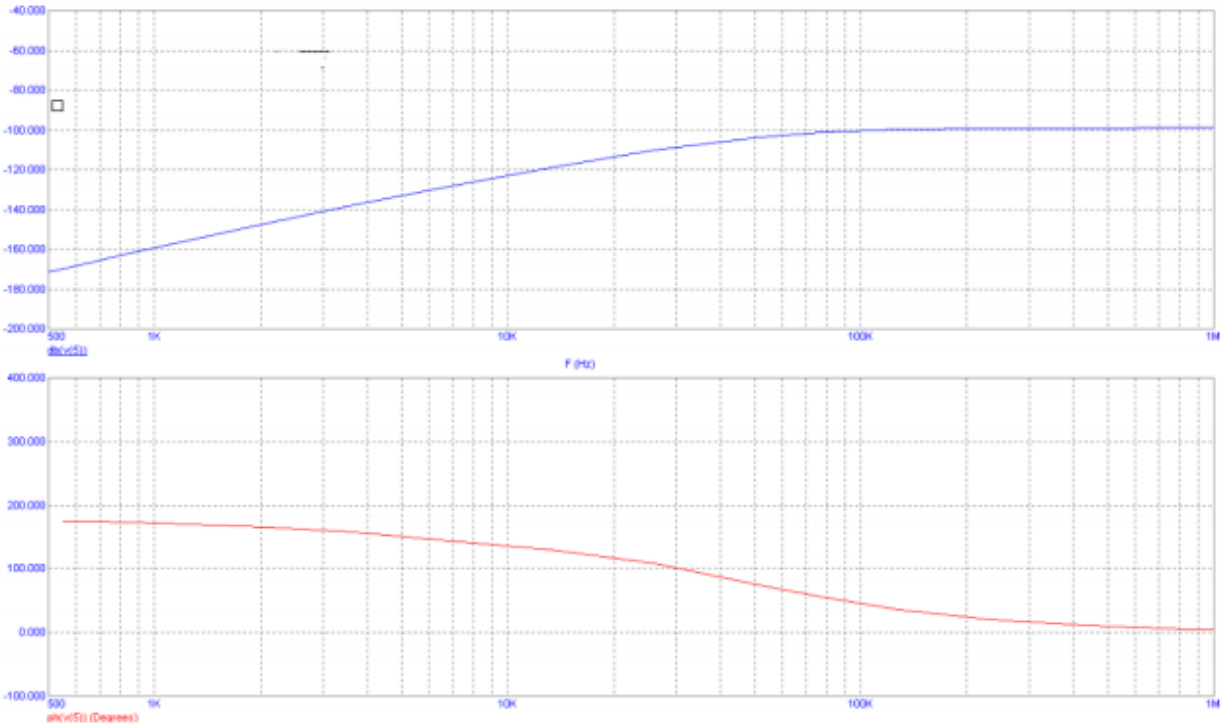


Рисунок Б.3. АЧХ і ФЧХ фільтра

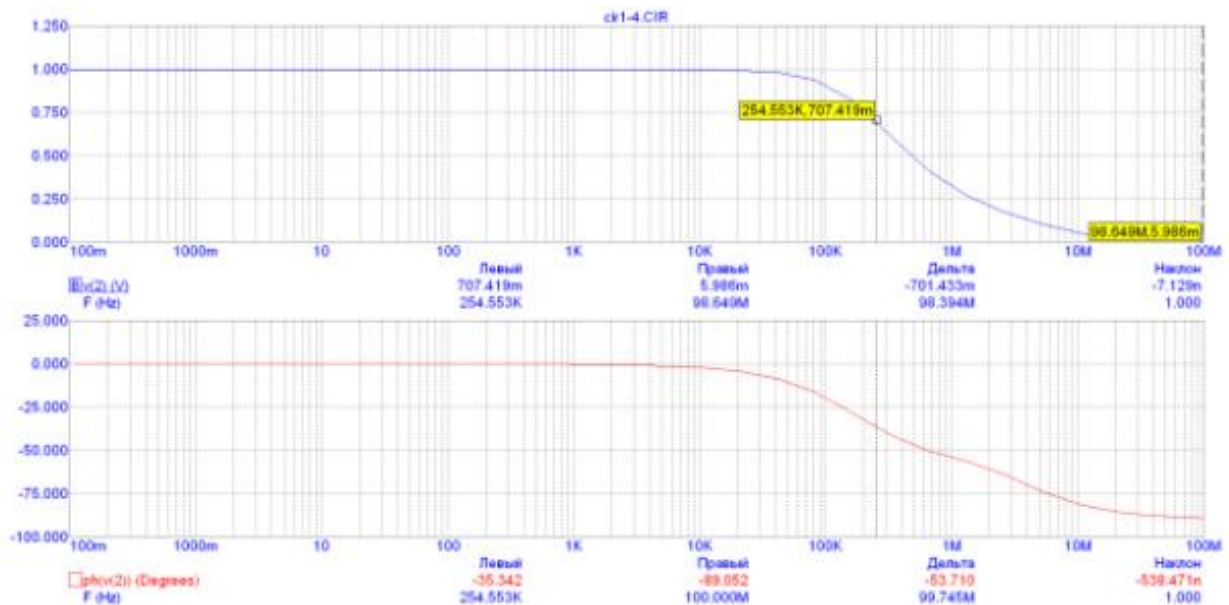


Рисунок Б.4. Перехідна характеристика ФНЧ

Додаток В

Приклад виконання схем лабораторної роботи 5

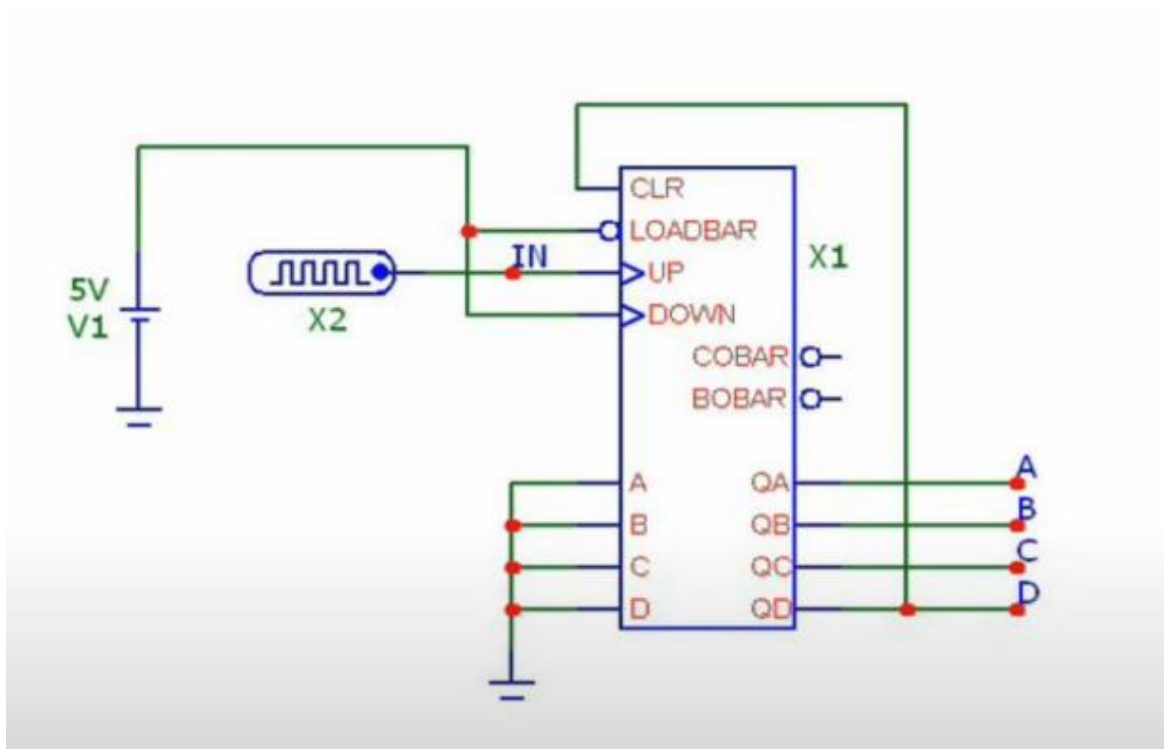


Рисунок В.1 Схема блоку обчислювання логічної функції

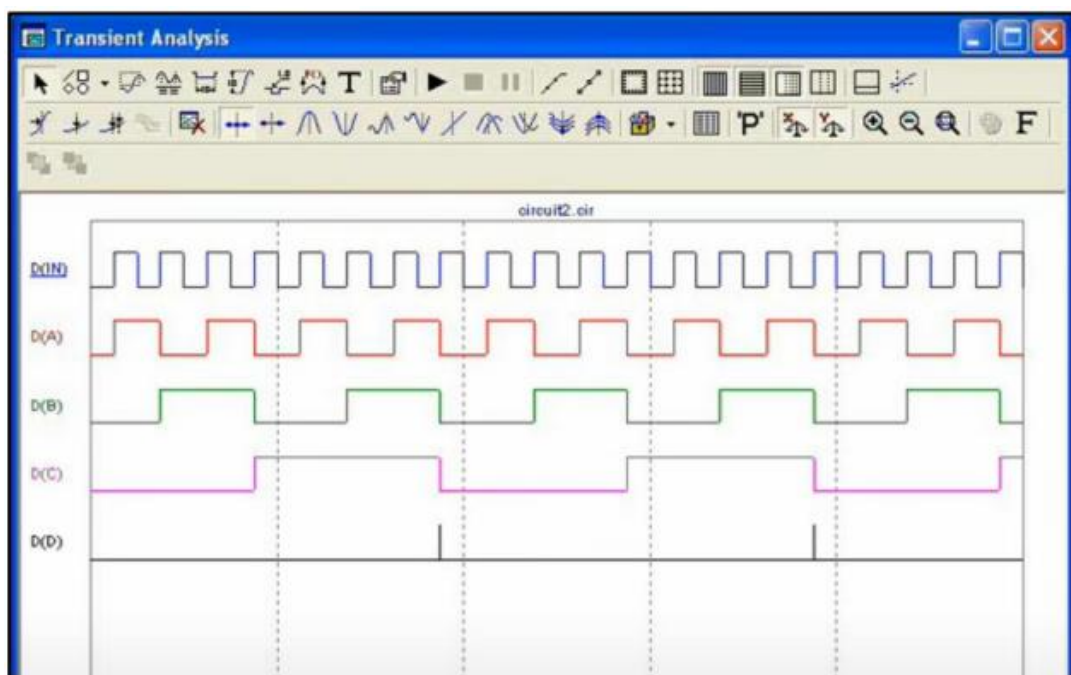


Рисунок В.2 Графіки аналізу схеми.

Додаток Г

Приклад виконання схем лабораторних робіт 6,7

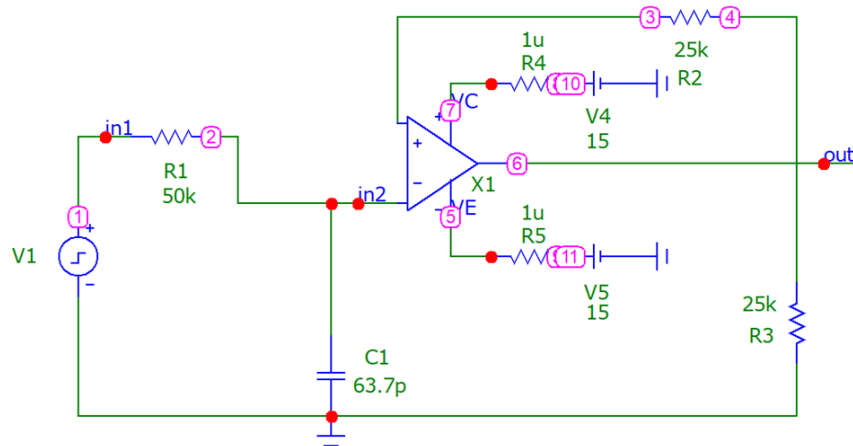


Рисунок Г.1. Досліджувана схема полосового фільтру ПФ

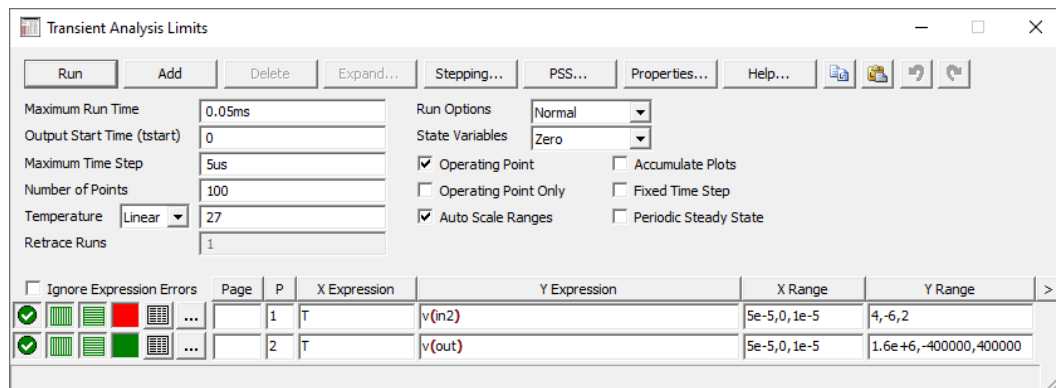


Рисунок Г.2. Параметри аналізу перехідних процесів

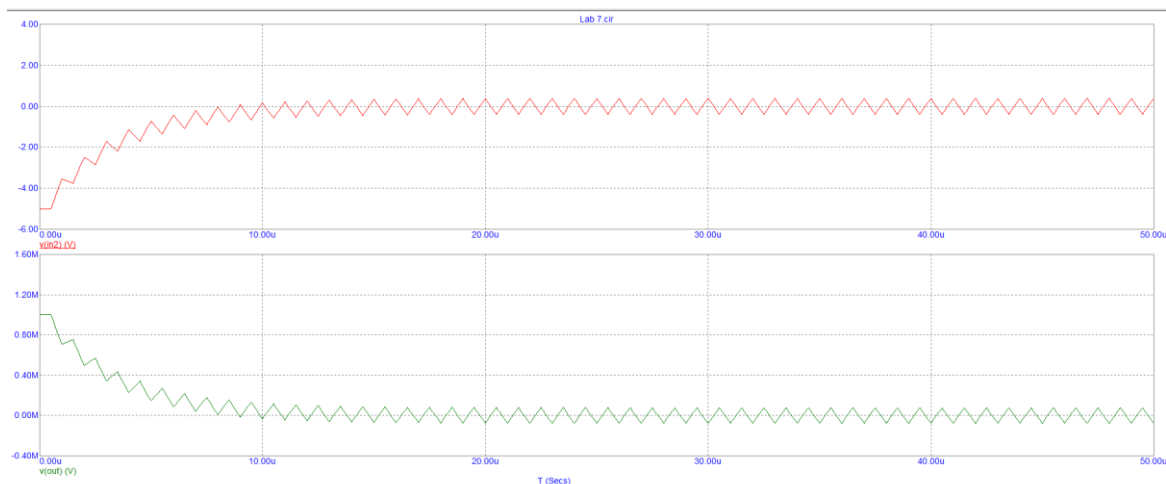


Рисунок Г.3. Результати аналізу перехідних процесів

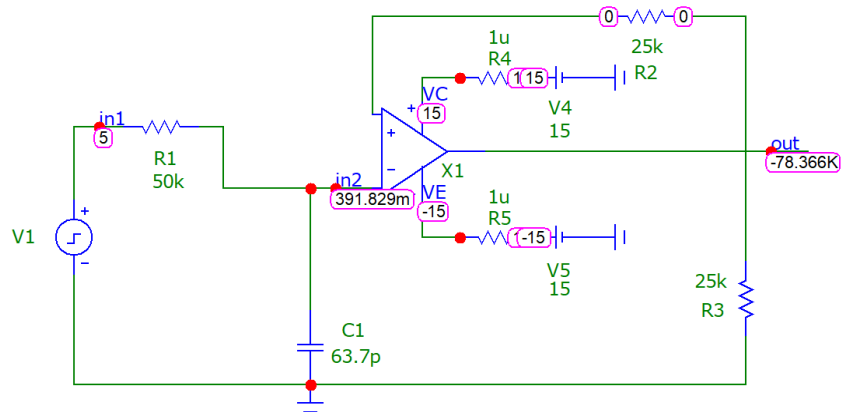


Рисунок Г.4. Режим схеми по постійному струму

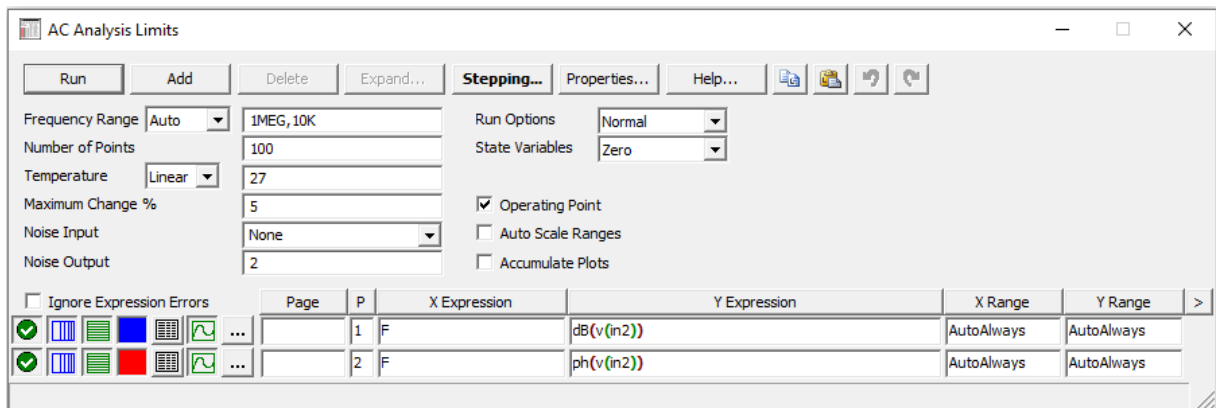


Рисунок Г.5. Параметри розрахунку АЧХ і ФЧХ

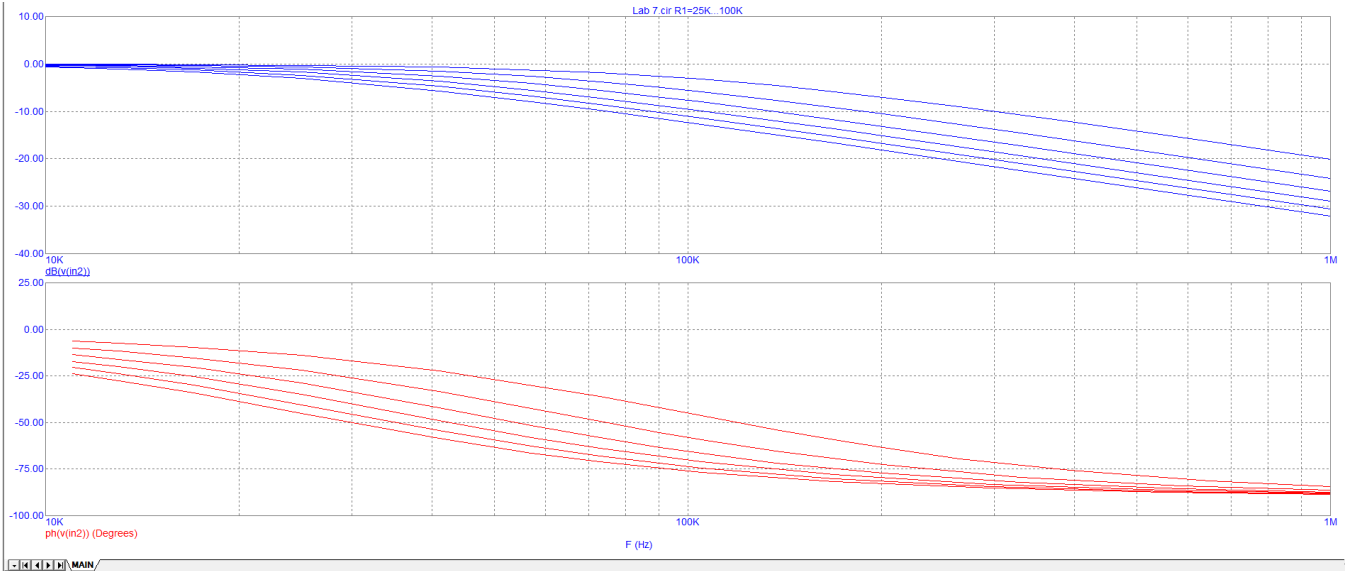


Рисунок Г.6. Результати розрахунку АЧХ і ФЧХ

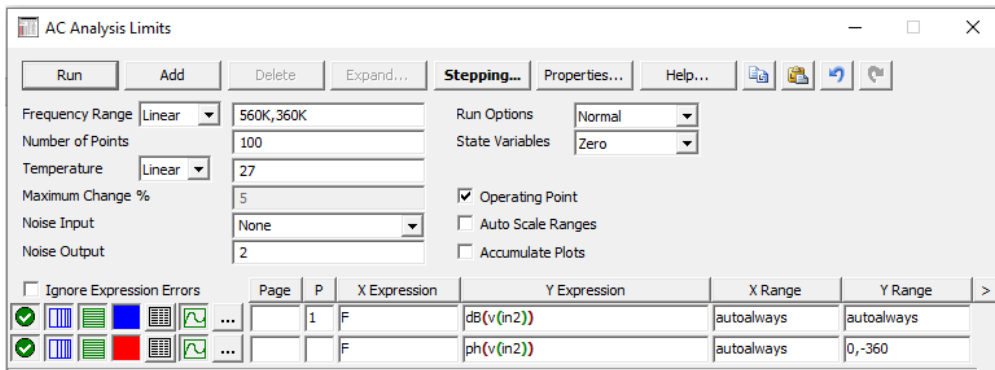
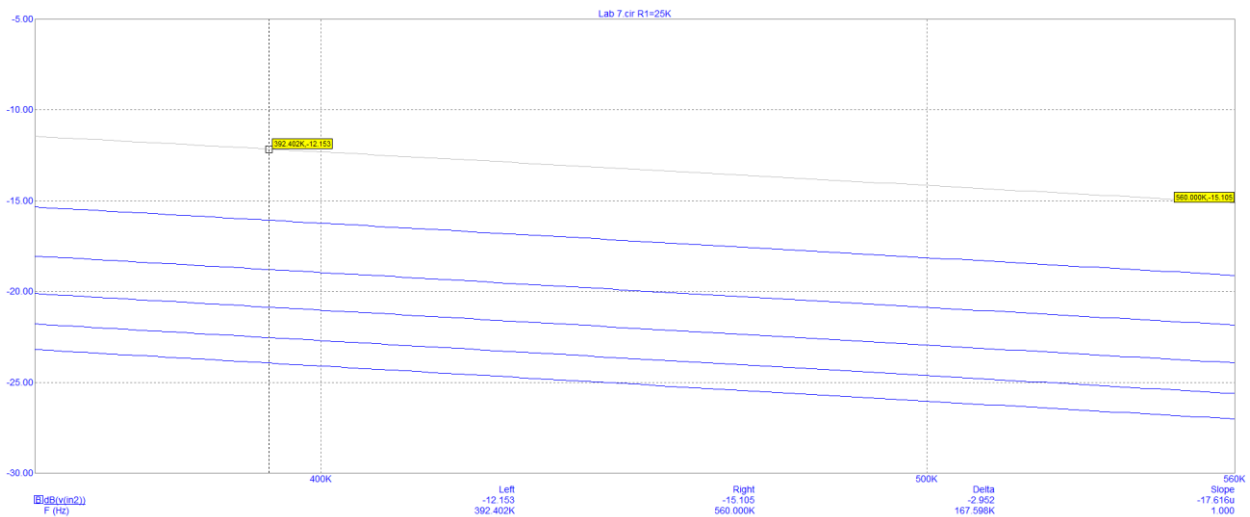


Рисунок Г.7. Параметри розрахунку АЧХ і ФЧХ
(дослідження полоси пропускання операційного підсилювача)



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 112 / 57

Рисунок Г.8. Результати розрахунку АЧХ і ФЧХ
(дослідження полоси перепускання операційного підсилювача)

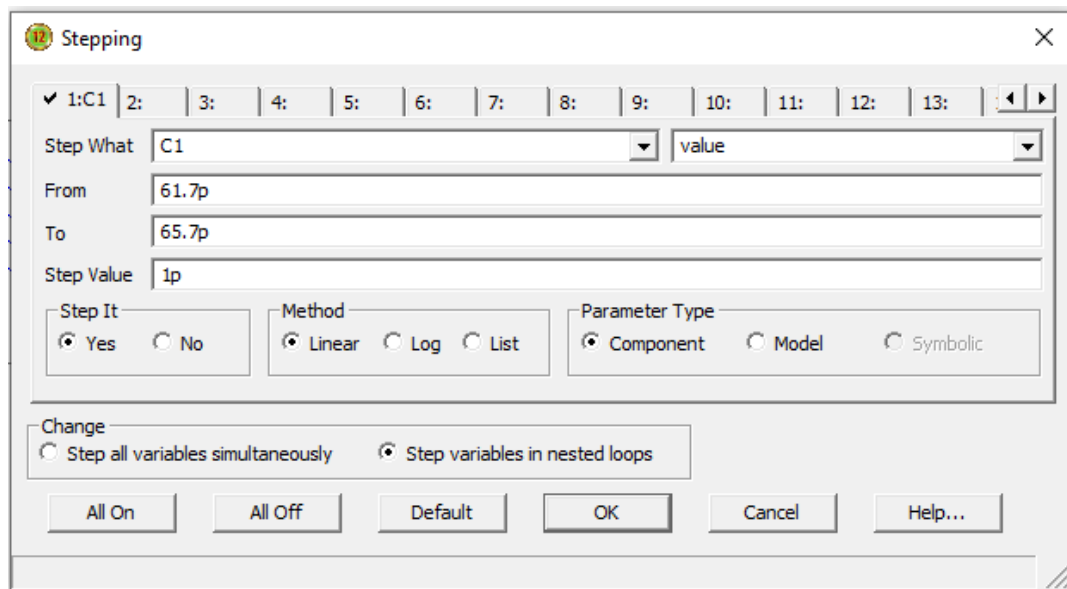


Рисунок Г.9. Параметри багатоваріантного розрахунку АЧХ і ФЧХ
(дослідження впливу розбіжності ємності конденсатора С1 на АЧХ операційного підсилювача)

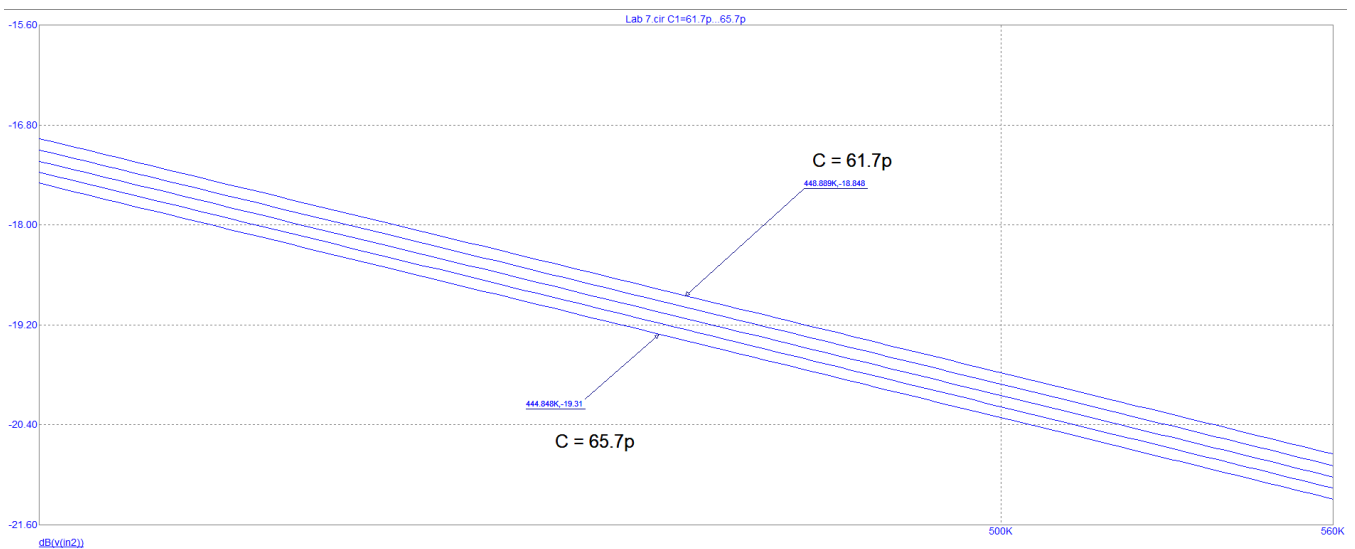


Рисунок Г.10. Результати багатоваріантного розрахунку АЧХ і ФЧХ
(дослідження впливу розбіжності ємності конденсатора С1 на АЧХ операційного підсилювача)

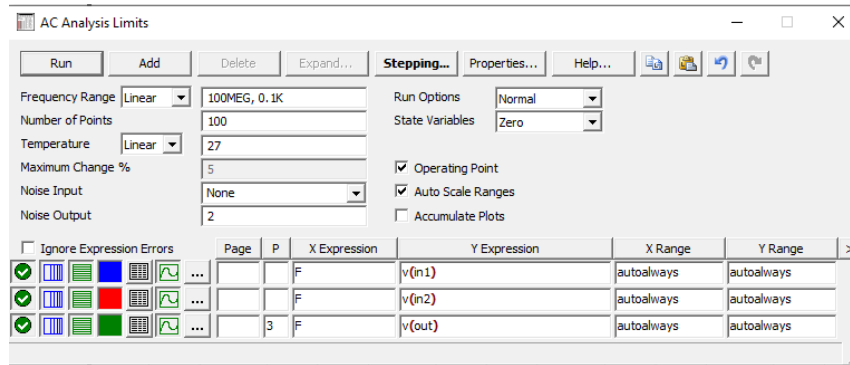


Рисунок Г.11. Параметри багатоваріантного розрахунку АЧХ і ФЧХ (дослідження впливу розбіжності коефіцієнта підсилення по рівням на АЧХ ОП)

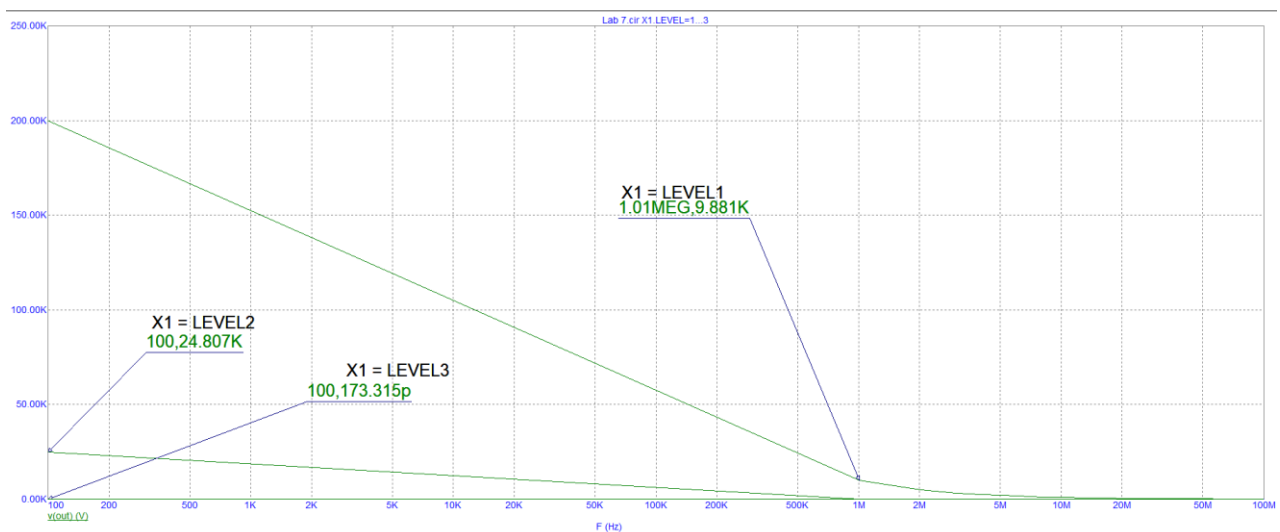


Рисунок Г.12. Результати багатоваріантного розрахунку АЧХ і ФЧХ (дослідження впливу розбіжності коеф-та підсилення по рівням на АЧХ ОП)

Додаток Д

Приклад виконання схем лабораторної роботи 8

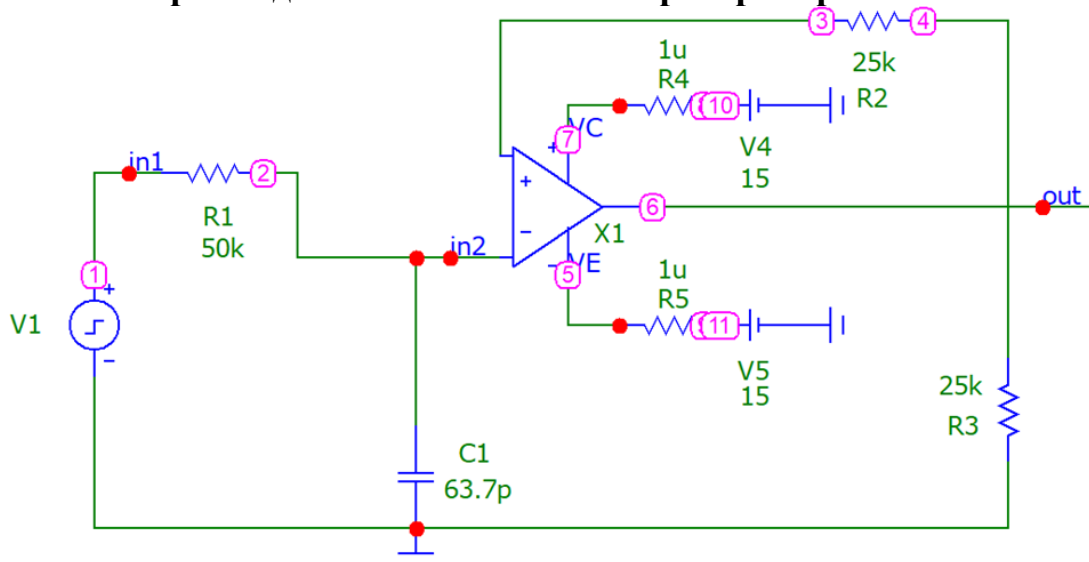


Рисунок Д.1. Досліджувана схема ПФ

2. Проведемо АС аналіз уведеної схеми й переконаємося в нормальній роботі режиму АС. Організуємо вивід на екран двох найбільш показових залежностей (рис.б.2).

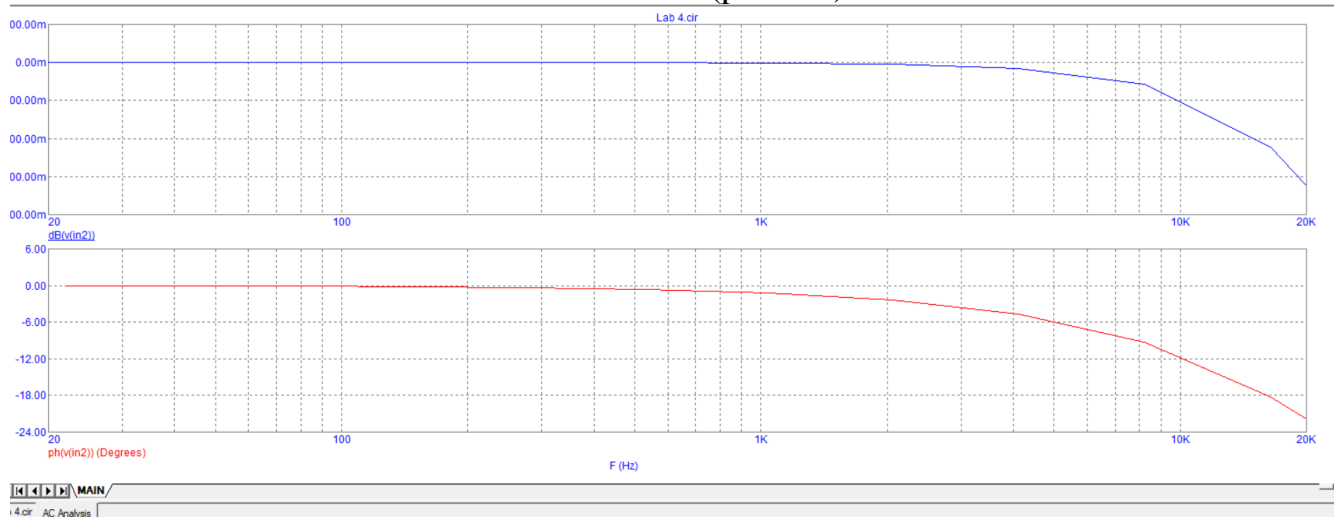


Рисунок Д2. АС аналіз схеми з розподілом LOT та DEV

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 112 / 60

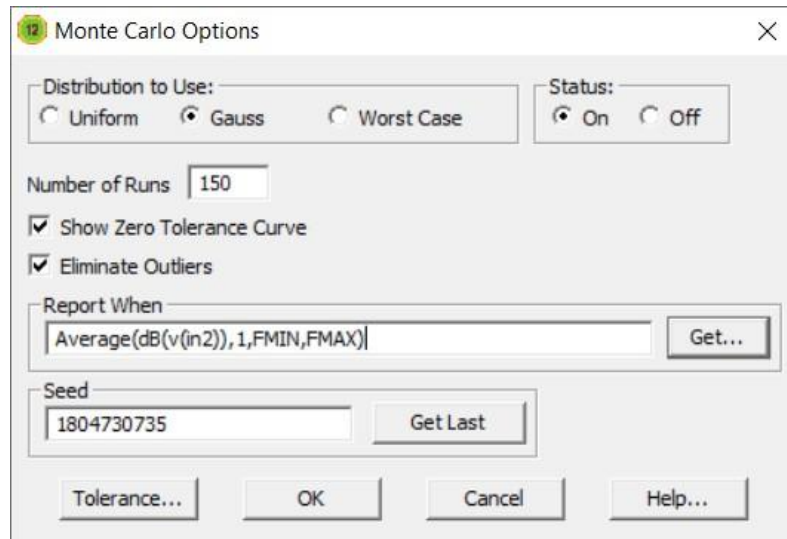


Рисунок Д.3. Параметри Monte Carlo Options

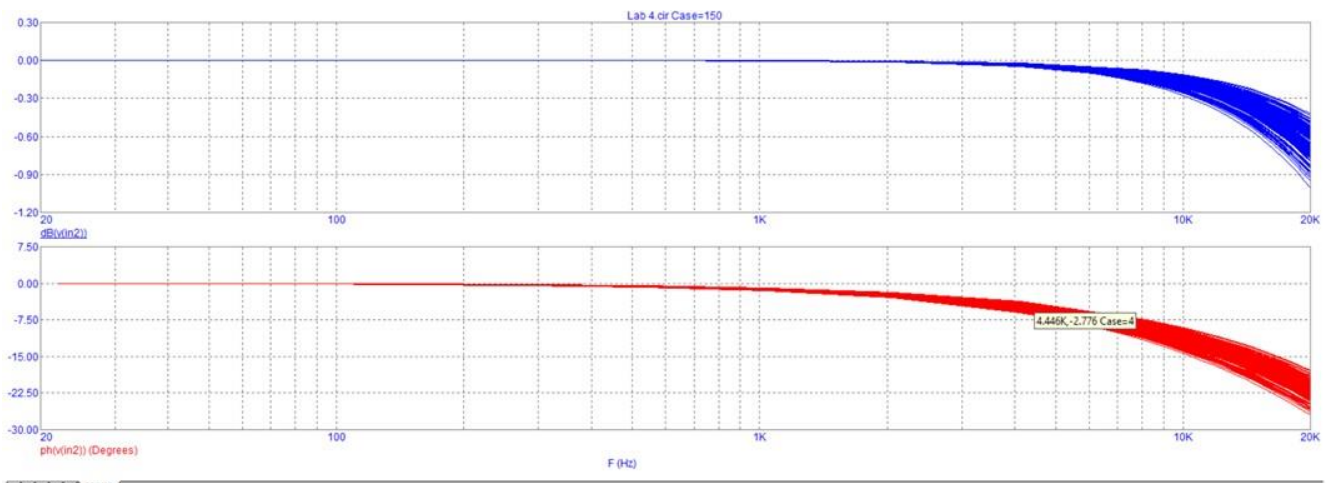


Рисунок Д.4. АС аналіз схеми з розподілом Гауса

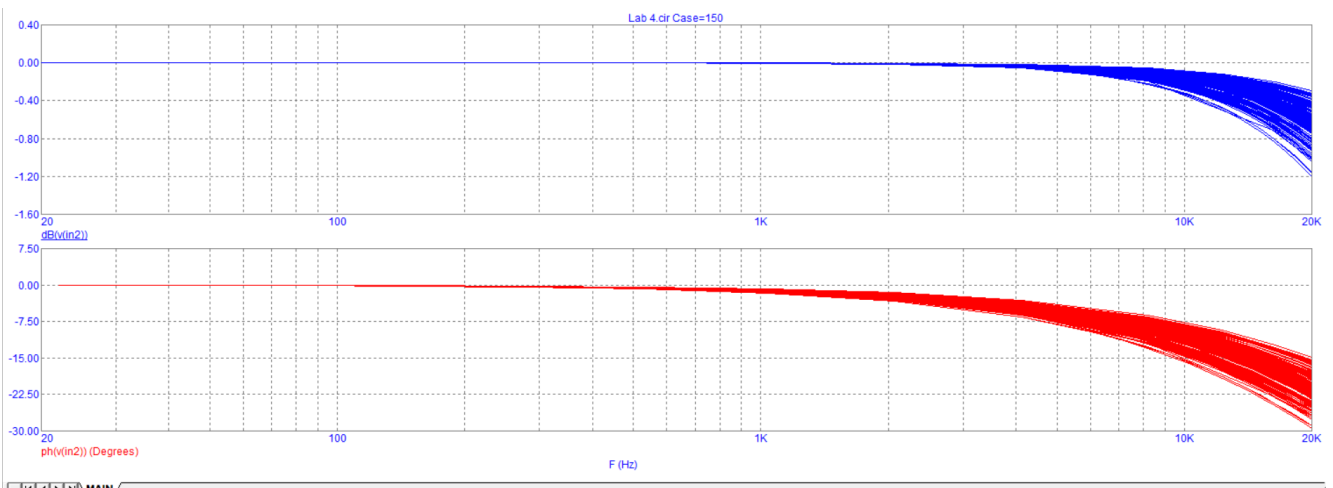


Рисунок Д.5. АС аналіз схеми з розподілом Uniform

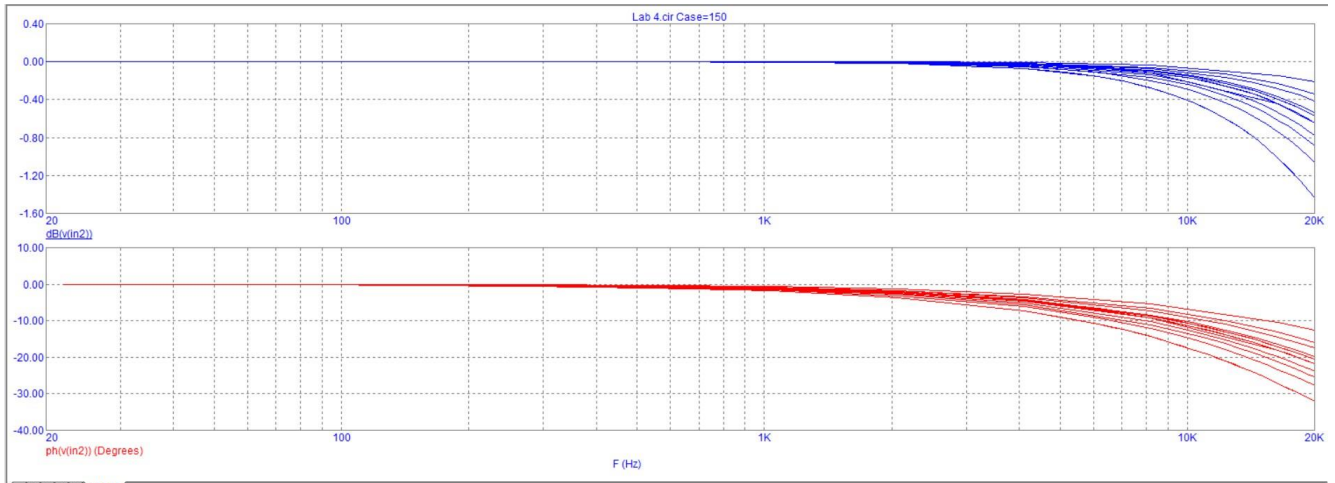


Рисунок Д.6. АС аналіз схеми з розподілом Worst Case

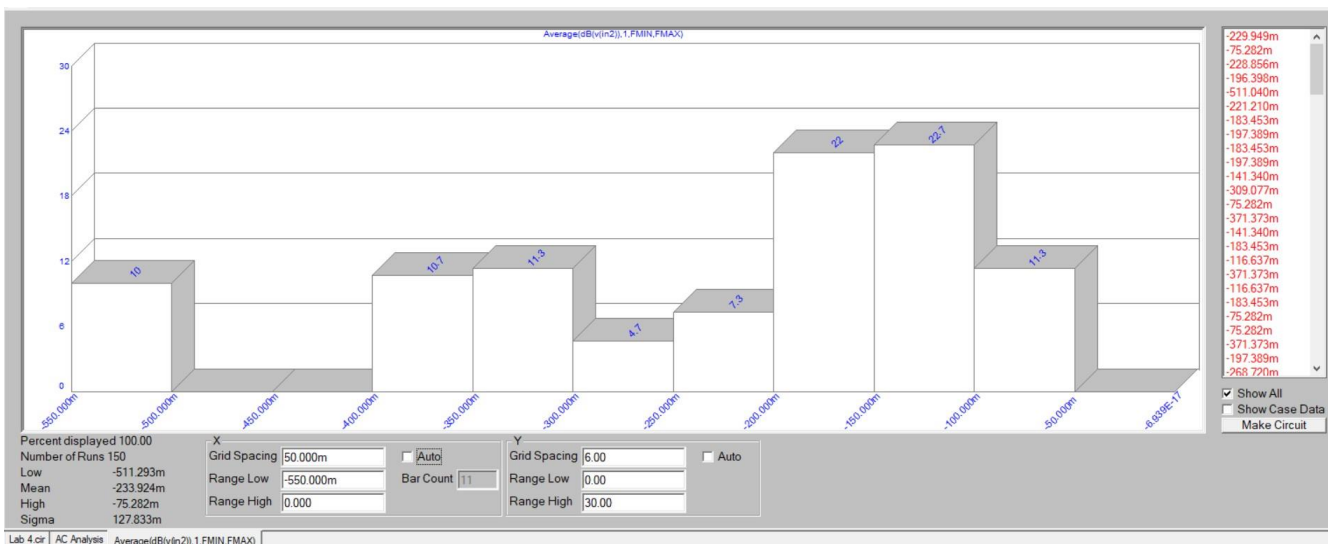


Рисунок Д.7. Вікно побудови гістограм Average

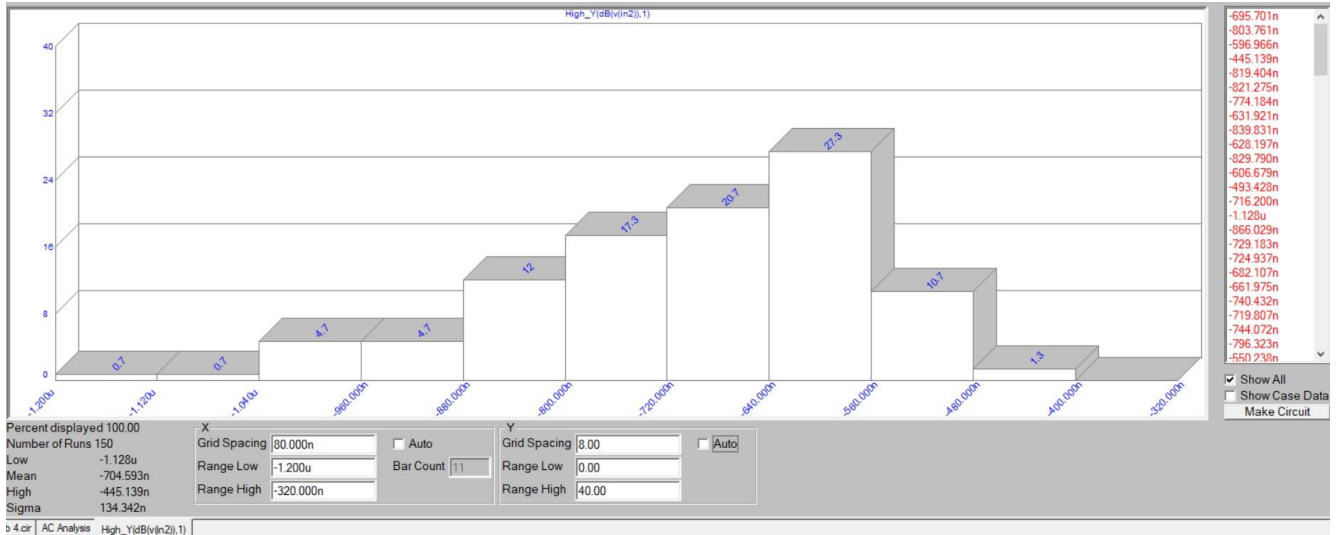


Рисунок Д.8. Вікно побудови гістограм High Y

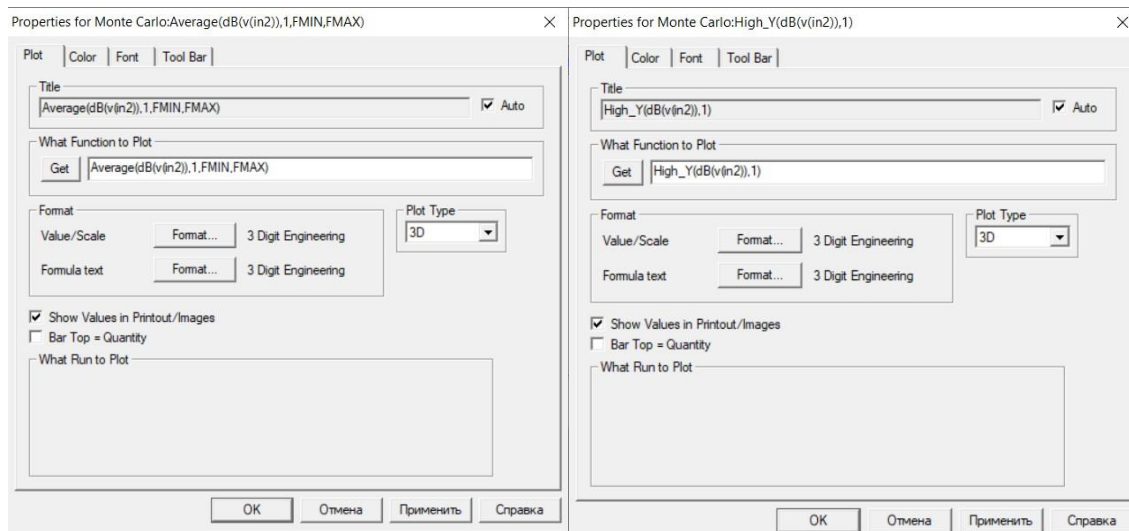


Рисунок Д.9. Параметри заданих функцій Average, High Y

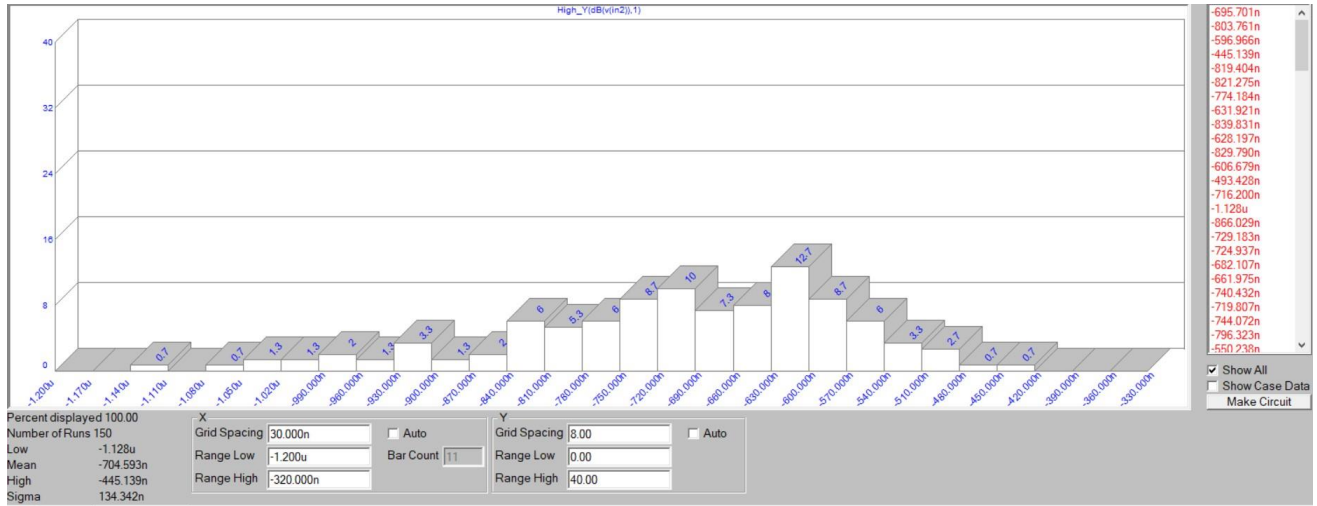


Рисунок Д.10. Параметри функції High Y для меншого діапазону по осі X

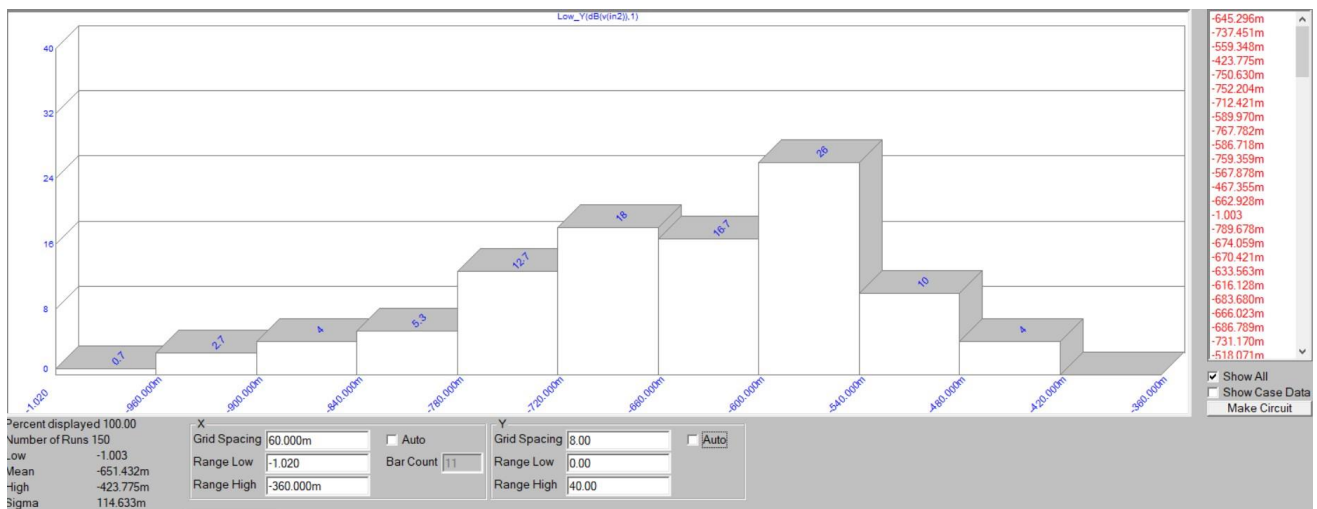


Рисунок Д.11. Параметри функції Low Y

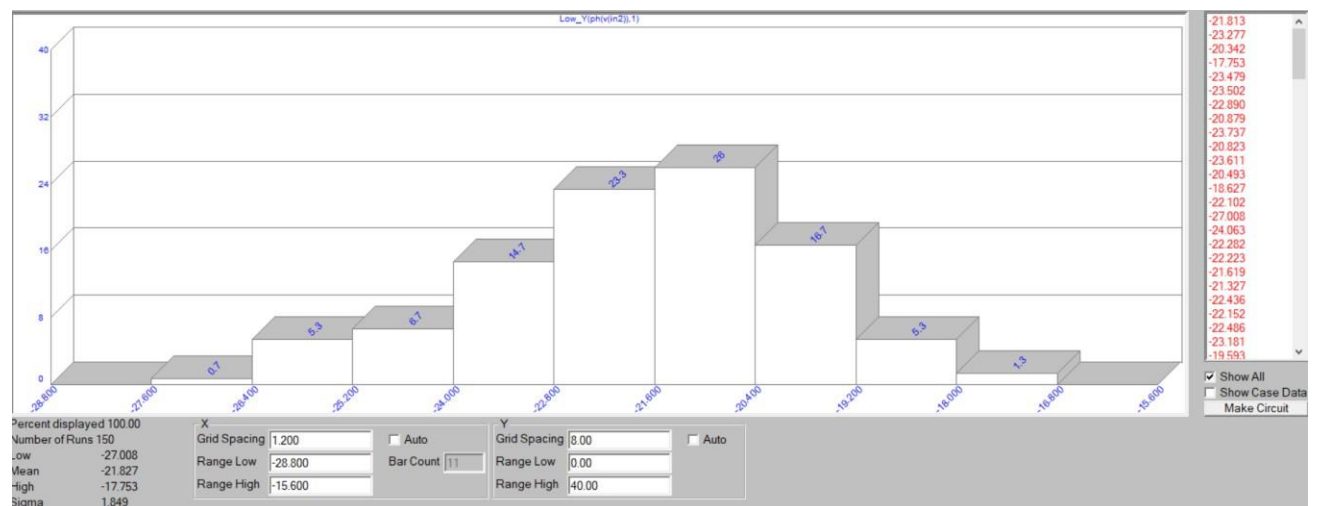


Рисунок Д.12. Параметри функції Low Y для залежності rho

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.02/174.00.1/М/ОК9- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 112 / 64

```

Micro-Cap 12.2.0.5 (64 bit)

Monte Carlo AC Analysis of Lab 4
28.12.2022 17:56:50
150 Runs

Summary
High_Y(dB(v(in2)),1)
Low=-1.128u Mean=-704.593n High=-445.139n Standard Deviation=134.342n

Individual run statistics
1 -695.701n Case=1
2 -803.761n Case=2
3 -596.966n Case=3
4 -445.139n Case=4
5 -819.404n Case=5
6 -821.275n Case=6
7 -774.184n Case=7
8 -631.921n Case=8
9 -839.831n Case=9
10 -628.197n Case=10
11 -829.790n Case=11
12 -606.679n Case=12
13 -493.428n Case=13
14 -716.200n Case=14
15 -1.128u Case=15
16 -866.029n Case=16
17 -729.183n Case=17
18 -724.937n Case=18
19 -682.107n Case=19

```

Рисунок Д.13. Виведення результатів статистичної обробки в текстовому виді