

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.

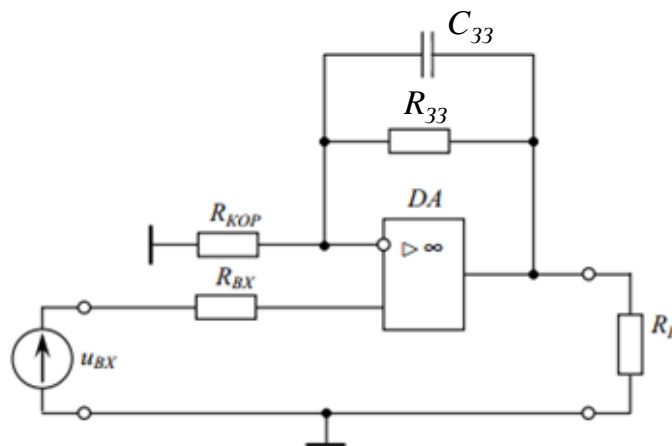


Рисунок 1.1. Схема активного фільтра нижніх частот

Передаточна функція активного фільтра нижніх частот показана на рис.

1.2.

Передаточна функція чотирьохполюсника, що ввімкнута 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

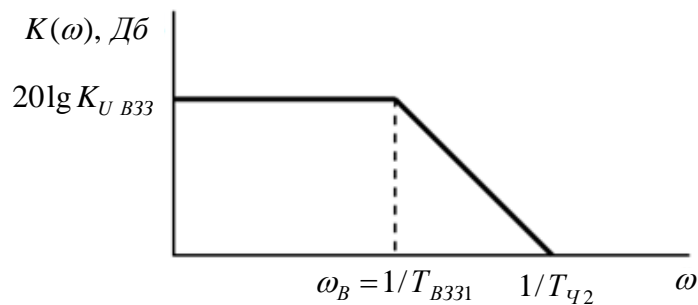


Рисунок 1.2. Передаточна функція активного фільтра нижніх частот

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

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 чотириполіусник.

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

1. Верхня колова частота смуги пропускання $\omega = 2\pi f_B = 2\pi \cdot 500 = \pi \cdot 10^3$.
2. 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 $R_{КОР} = 1$ кОм. Тоді $R_{33} = K_{U \text{ B33}} R_{КОР} = 100 \cdot 1000 = 100$ 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.

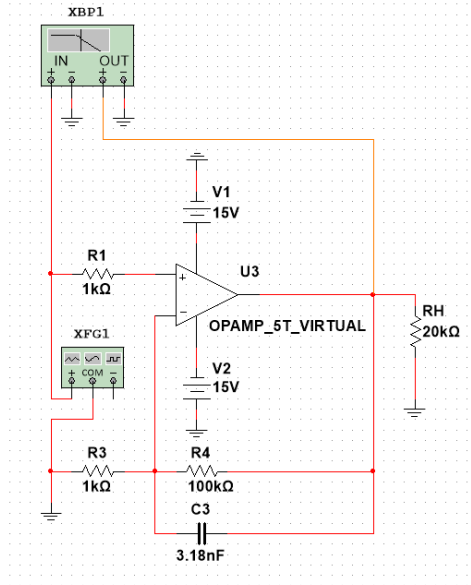


Рисунок 1.3. Схема активного фільтра нижніх частот

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.

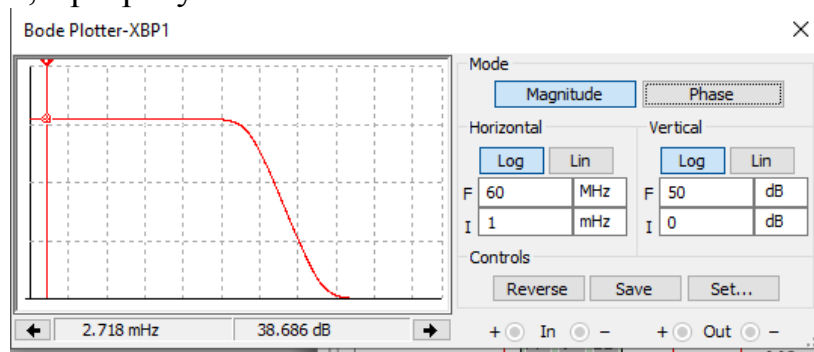


Рисунок 1.4. АЧХ розрахованого ФНЧ. Візрна лінія на нижніх частотах

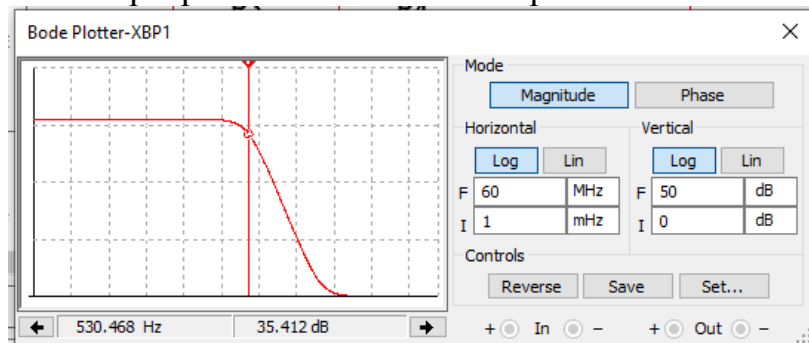


Рисунок 1.5. АЧХ модельованого ФНЧ. Візрна лінія на f_B

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.

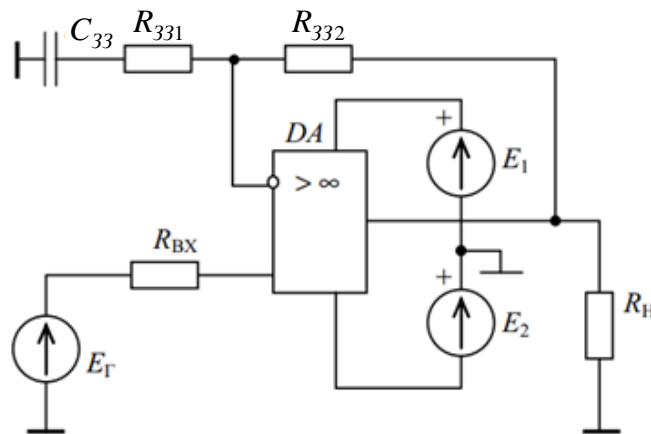


Рисунок 1.6. Схема активного фільтра верхніх частот

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:

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

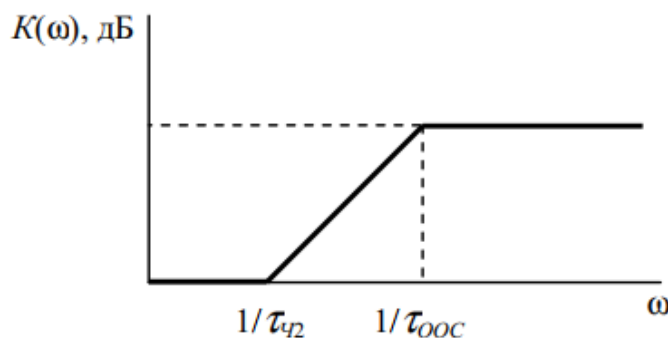


Рисунок 1.7. Передаточна функція активного фільтра верхніх частот

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 пропусення 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 пропусення 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 пропусення $\omega = 2\pi f_B = 2\pi \cdot 500 = \pi \cdot 10^3$.

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, показану 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

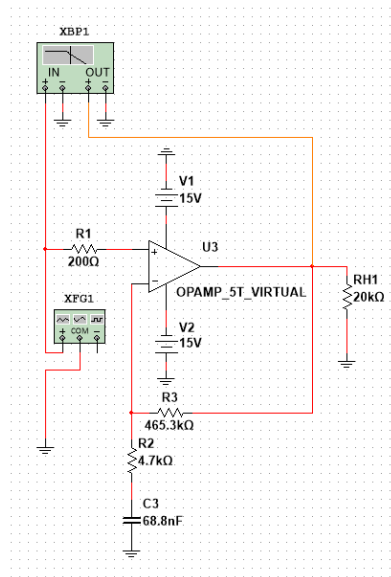


Рисунок 1.8. Схема активного фільтра верхніх частот

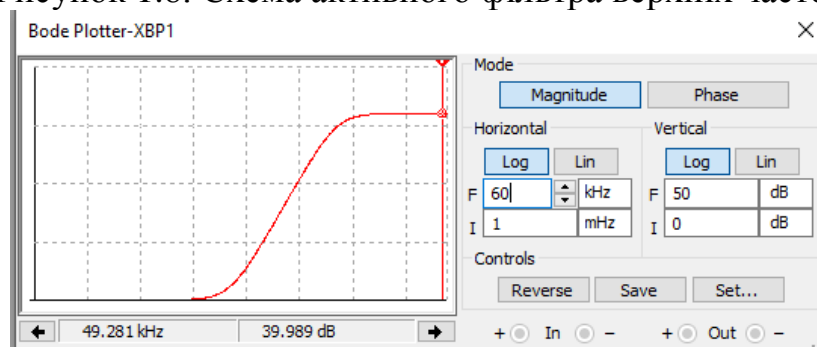


Рисунок 1.9. АЧХ активного ФВЧ. Візирна лінія на середній частоті

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

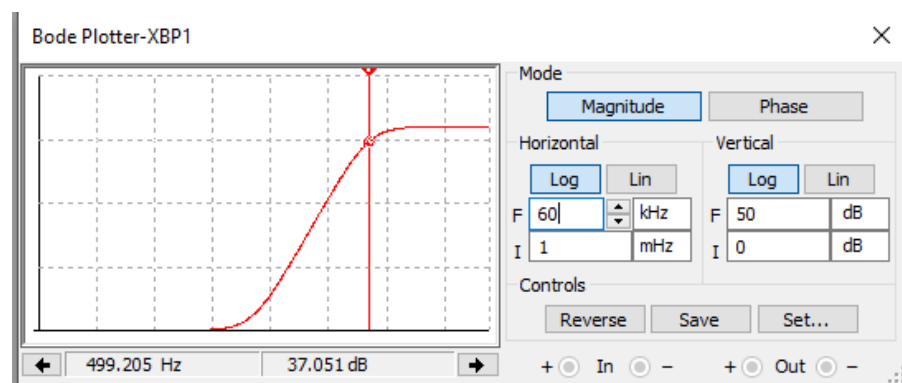


Рисунок 1.10. АЧХ активного ФВЧ. Візирна лінія на нижній частоті

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?