

Лабораторна робота 4

Мета роботи: визначити частоту зрізу пасивного LR-фільтра високих

Приладдя: графіки осцилограм вхідного і вихідного сигналів, отримані за

Теоретичні відомості

Розглянемо пасивний аналоговий фільтр, що містить один реактивний компонент – котушку індуктивності. RL-фільтр – електрична схема, яка містить послідовно з'єднані резистор з опором R та індуктор з індуктивністю L (рисунок 4.1). Якщо вихідна напруга $V_{\text{вих}}$ знімається з резистора, отримаємо фільтр низьких частот (рисунок 4.1а), якщо з котушки індуктивності – високих частот (рисунок 4.1б).

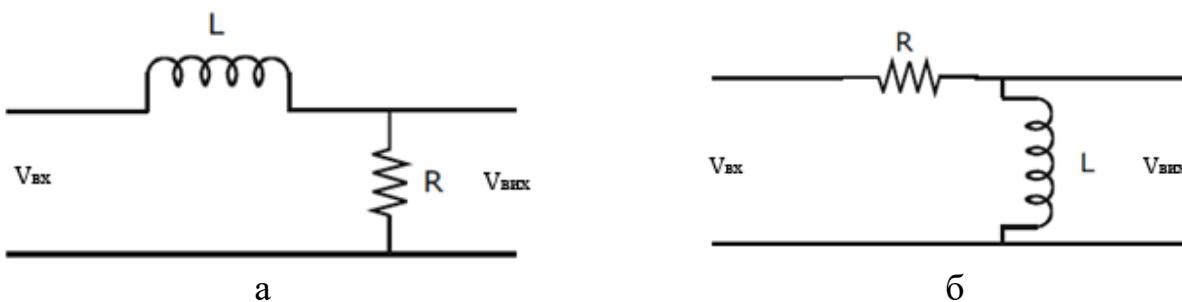


Рисунок 4.1 – RL-фільтр: низьких (а), високих (б) частот

Принцип роботи RL-фільтра базується на залежності реактивного опору котушки індуктивності від частоти змінного струму:

$$X_L = \omega L, \quad (4.1)$$

де X_L – реактивний опір котушки; ω – циклічна частота змінного струму; L – індуктивність котушки. Чим більша частота змінного струму, тим більший реактивний опір індуктора. Отже, для низьких частот він малий, для високих – великий.

Якщо котушка індуктивності підключена між джерелом і виходом, як на рисунку 4.1а, вона забезпечує проходження низькочастотних складових сигналу до виходу і затримку, відповідно, високочастотних складових. Маємо фільтр низьких частот. Частота зрізу при цьому визначається поєднанням значень опору та індуктивності за формулою

$$\omega_c = \frac{R}{L}. \quad (4.2)$$

Якщо котушка індуктивності підключена паралельно до зовнішнього навантаження, як на рисунку 4.1б, всі коливання низьких частот спрямовуються на землю, а на виході при цьому маємо коротке замикання (або дуже низький опір). Отже, напруга, виміряна на виході, майже нульова при низьких частотах. Високочастотні коливання подаються на вихід. Таким чином, маємо фільтр високих частот. Його частота зрізу також визначається за формулою (4.2).

Розглянемо RL-фільтр високих частот. Нехай напруга вхідного сигналу змінюється за законом:

$$u_{\text{вх}} = U_1 \sin \omega t, \quad (4.3)$$

де U_1 – амплітудне значення напруги; ω – циклічна частота напруги. Напруга на виході (знімається з котушки) дається виразом

$$u_{\text{вих}} = U_2 \sin(\omega t + \alpha), \quad (4.4)$$

де α – деякий зсув фаз.

Повний опір послідовно з'єднаних резистора R і котушки L в колі змінного струму визначається з формулою

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}.$$

Використовуючи вираз (4.1), запишемо

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}. \quad (4.5)$$

Із закону Ома для кола змінного струму з резистором і котушкою:

$$I = \frac{U_1}{Z}, \quad (4.6)$$

де I – амплітудне значення сили струму. Із закону Ома для ділянки кола з котушкою:

$$U_2 = IX_L. \quad (4.7)$$

Підставляючи (4.1), (4.5) і (4.6) в (4.7), отримаємо

$$U_2 = \frac{U_1}{\sqrt{1 + \left(\frac{R}{\omega L}\right)^2}}. \quad (4.8)$$

Формула (4.8) виражає амплітуду напруги на виході через амплітуду напруги на вході. Із співвідношення $R/\omega L = 1$ можна виразити циклічну частоту зрізу (4.2). Враховуючи (4.2), вираз (4.8) набуде вигляду

$$U_2 = \frac{U_1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega_c}{\omega}\right)^2}}. \quad (4.9)$$

Якщо циклічна частота гармонічного сигналу набагато менша за циклічну частоту зрізу LR-фільтра високих частот ($\omega \ll \omega_c$), то сигнал суттєво послаблюється ($U_2 \ll U_1$). Якщо ж циклічна частота сигналу набагато більша за циклічну частоту зрізу ($\omega \gg \omega_c$), то сигнал проходить через фільтр практично без змін ($U_2 \approx U_1$).

З виразу (4.9) отримаємо формулу для частоти зрізу:

$$\omega_c = \omega \sqrt{\left(\frac{U_1}{U_2}\right)^2 - 1}. \quad (4.10)$$

Виразимо циклічну частоту ω через період коливань T :

$$\omega = \frac{2\pi}{T}. \quad (4.11)$$

Підставимо (4.11) в (4.10), отримаємо розрахункову формулу для частоти зрізу:

$$\omega_c = \frac{2\pi}{T} \sqrt{\left(\frac{U_1}{U_2}\right)^2 - 1}. \quad (4.12)$$

Значення T , U_1 , U_2 визначаються з графіків осцилограм.

Важлива відмітити, якщо співвідношення між амплітудами напруг вхідного і вихідного сигналу таке, що його квадрат набагато більший за одиницю, тобто $(U_1/U_2)^2 \gg 1$, то одиницею під коренем можна знехтувати. При цьому розрахункова формула суттєво спрощується і набуває вигляду

$$\omega_c = \frac{2\pi}{T} \cdot \frac{U_1}{U_2}. \quad (4.13)$$

На практиці для розрахунку частоти зрізу пасивного LR-фільтра високих частот можна застосовувати формулу (4.13) з прийнятною похибкою, якщо $(U_1/U_2)^2 \gtrsim 10$.

Хід виконання роботи

1. За графіком вхідного сигналу визначте три значення T_1 , T_2 , T_3 періоду коливань. Запишіть їх в таблицю 4.1. Знайдіть середнє значення періоду коливань за формулою

$$T_{\text{сер}} = \frac{T_1 + T_2 + T_3}{3}.$$

Запишіть його в таблицю 4.1.

2. Обчисліть абсолютні похибки для T_i (i приймає значення 1, 2, 3) за формулою

$$\Delta T_i = |T_i - T_{\text{сер}}|.$$

Запишіть їх в таблицю 4.1.

3. Розрахуйте випадкову похибку обчислення періоду коливань:

$$\Delta T_{\text{сер}} = \frac{\Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3}{3}.$$

Запишіть її в таблицю 4.1 і 4.2.

4. За інструментальну похибку $\Delta T_{\text{інс}}$ вимірювання періоду коливань прийміть половину ціни поділки шкали часу. Запишіть її в таблицю 4.2.

Таблиця 4.1

№	Період коливань T , с	Похибка ΔT_i , с
1		
2		
3		
Середнє		

5. За графіком вхідного сигналу визначте амплітудне значення напруги U_1 . За інструментальну похибку ΔU_1 прийміть половину ціни поділки шкали вхідної напруги. Запишіть їх в таблицю 4.2.

6. За графіком вихідного сигналу визначте амплітудне значення напруги U_2 (перехідний процес не розглядати). За інструментальну похибку ΔU_2 прийміть половину ціни поділки шкали вихідної напруги. Запишіть їх в таблицю 4.2.

7. За формулою (4.12) або (4.13) обчисліть частоту зрізу ω_c (замість T підставляйте $T_{\text{сер}}$).

Таблиця 4.2

$\Delta T_{\text{сер}}$, с	$\Delta T_{\text{інс}}$, с	ΔT , с	U_1 , В	ΔU_1 , В	U_2 , В	ΔU_2 , В

8. Похибку вимірювання $\Delta\omega_c$ розрахуйте за формулою

$$\Delta\omega_c = \omega_c \left(\frac{\Delta T}{T} + \frac{\Delta U_1}{U_1} + \frac{\Delta U_2}{U_2} \right).$$

В якості похибки ΔT вимірювання періоду необхідно взяти значення більшої з похибок $\Delta T_{\text{інс}}$ і $\Delta T_{\text{сер}}$. Замість T підставляйте $T_{\text{сер}}$.

9. За формулою (4.2) розрахуйте теоретичне значення $\omega_{c,\text{теор}}$ частоти зрізу.

10. Запишіть висновок, подавши результати розрахунків частоти зрізу у вигляді $\omega_{c,\text{експ}} = \omega_c \pm \Delta\omega_c$. Порівняйте з теоретичним значенням $\omega_{c,\text{теор}}$.

Література

1. Izadian A. Fundamentals of Modern Electric Circuit Analysis and Filter Synthesis: A Transfer Function Approach. – Cham : Springer, 2019. – 521 p.
2. Dimopoulos H. G. Analog Electronic Filters: Theory, Design and Synthesis. – Dordrecht : Springer, 2012. – 592 p.
3. Коробов Є. А. Моделювання фізичних процесів в електронних LR-фільтрах : робота на здобуття кваліфікаційного рівня магістра; спец.: 171 – електроніка / Є. А. Коробов; наук. керівник А. М. Вітренко – Суми : СумДУ, 2019. – 28 с. – URL : https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/76628/1/Korobov%20harmonic_signal.pdf (дата звернення : 24.11.2021).