

**УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

МЕХАНІКО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

для виконання практичних занять

з освітніх компонент

«ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ»

та *«ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ*

ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ»

Розділ

Резонанс напруг. Послідовний коливальний контур

Харків – 2026

Методичні вказівки розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки 22 грудня 2025 р., протокол № 6.

Рекомендовано для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня спеціальностей G7 «Автоматика та комп'ютерно-інтегровані технології» (освітня програма «Автоматика, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка») та J7 «Залізничний транспорт» (освітня програма «Організація контролю систем керування рухом поїздів») факультету «Інформаційно-керуючі системи та технології» всіх форм здобуття освіти.

Укладач

доц. М. Г. Давиденко

Рецензент

проф. О. М. Ананьєва

ЗМІСТ

Вступ	4
1 Основні теоретичні відомості	6
2 Розрахункова частина	15
2.1 Інженерне обґрунтування розрахункових співвідношень	15
2.2 Завдання на розрахунок	21
3 Експериментальна частина	22
4 Зміст звіту	25
5 Питання для самоперевірки	25
Список літератури	27

ВСТУП

З точки зору компактності технічних засобів систем автоматики доцільно використовувати одну і ту саму з'єднувальну лінію (кабель, рейкова лінія) для одночасної передачі сигналів кількох джерел. Однак при цьому постає питання, як утворити такі сигнали, заздалегідь знаючи, що на кінці лінії їх треба буде відокремити, щоб скерувати кожен до свого отримувача. Поширеним способом розв'язання цієї задачі є передавання сигналу від кожного джерела в своєму індивідуальному діапазоні частот, що відділений від кожного з своїх «сусідів» певним вільним від сигналів частотним проміжком. Цей спосіб називають частотним розділенням каналів. За його використання відокремлення кожного конкретного сигналу на приймальному кінці здійснюється спеціальним вузлом, що пропускає на свій вихід струми тільки того діапазону частот, в якому розташовано цей конкретний сигнал. Таку властивість називають **частотною вибірністю**, а цей спеціальний вузол і електричне коло, що його реалізує, називають частотним електричним фільтром. Найпростішим електричним колом, яке має властивість частотної вибірності (при більшій за нуль частоті нижнього кінця заданого діапазону частот) є **послідовний коливальний контур** – коло, утворене послідовним з'єднанням котушки індуктивності та конденсатора (рисунок 0.1). Враховуючи ненульовий опір проводу, яким намотано реальну котушку індуктивності та, меншою мірою, теплові втрати в конденсаторі та в з'єднувальних провідниках, у схему слід також включити ще й резистор (рисунок 0.2).



Рисунок 0.1

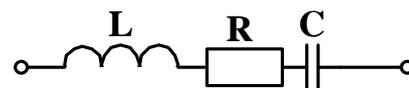


Рисунок 0.2

Остання схема з достатньою для великої більшості практичних випадків точністю відображає властивості реального послідовного коливального контуру як при його використанні в якості окремого вузла пристрою, так і при його використанні в якості частини більш складних вузлів автоматики та зв'язку. Отже, розрахунок послідовного коливального контуру являє собою поширену і невід'ємну складову розроблення й експлуатації вузлів, пристроїв і систем, в основу роботи яких покладене явище частотної вибірності.

Метою виконання навчальних розрахунків у ході практичних занять є закріплення та поглиблення навичок з математичного описання числових характеристик струмів, напруг та параметрів послідовних коливальних контурів. У результаті опрацювання завдань цієї роботи її виконавець знатиме методику обчислення співвідношень між струмами, напругами та параметрами відповідних електричних кіл, визначення впливу на них опору джерела сигналу та способу підключення навантаження. Він також умітиме поширювати набуті теоретичні знання та прийоми розрахунку на притаманні практичним потребам електричні кола більш складного вигляду.

Виконані завдання оформлюють у вигляді звітів.

Звіт має бути складений з таких компонентів:

- титульний аркуш;
- принципова електрична схема кола, яке підлягає розрахунку, та вихідні числові дані до розрахунку згідно з номером варіанта, виданим викладачем-керівником цієї роботи;
- опис ходу розрахунку включно з письмовим поясненням виконуваних дій, з розрахунковими формулами як у загальному вигляді («в літерах»), так і після підстановки до них відповідних числових даних;
- графічні побудови згідно з вимогами завдання.

Звіт слід оформити згідно з нормативними вимогами, наведеними в навчальному посібнику [1].

1 ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Розглянемо дію на досліджуваній коливальний контур реального джерела синусоїдної напруги, миттєве значення якої визначене виразом

$$e_r = \sqrt{2} \cdot E_r \cdot \sin(2\pi f t + \varphi_E), \quad (1.1)$$

де E_r – діюче значення цієї ЕРС (назвемо її ЕРС генератора);

φ_E – початкова фаза ЕРС;

f – частота, вимірювана в герцах.

Вважатимемо, що внутрішній опір R_r цього джерела чисто активний. Тоді схема кола, утвореного послідовно включеними генератором і коливальним контуром, має вигляд, показаний на рисунку 1.1.

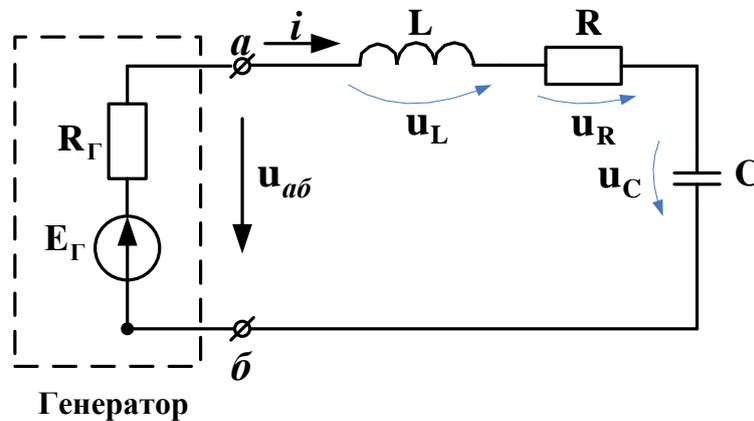


Рисунок 1.1

Розглядатимемо виключно випадок, в якому параметри всіх елементів цього кола не залежать від струму та напруги. Як відомо, таке коло називають лінійним. При синусоїдній ЕРС e_r струм i в ньому та всі напруги на його елементах також синусоїдні; зокрема, синусоїдною є

вхідна напруга контуру u_{ab} та струм i крізь цей контур. Теоретичне обґрунтування основних співвідношень між напругами і струмами послідовного коливального контуру та їх залежностей від величин індуктивності L , ємності C та активного опору R наведене в підручниках [2, 3] та навчальних посібниках [4-6], і зацікавлений читач за необхідності може звернутися до них.

Спочатку розглянемо залежність величини комплексного опору послідовного коливального контуру від частоти (вплив генератора поки що не враховуватимемо, тобто розглядатимемо опір тільки ділянки кола, розташованої правіше точок $a-b$ на схемі). Як відомо з літератури [2-4], цей опір є таким:

$$\underline{Z}_k = R + j \left(2\pi f L - \frac{1}{2\pi f C} \right). \quad (1.2)$$

Цей опір стає чисто активним за умови рівності нулю своєї реактивної складової (тобто уявної частини). Це має місце, коли

$$2\pi f L = \frac{1}{2\pi f C}.$$

За заданих величин L та C така рівність має місце на частоті

$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}. \quad (1.3)$$

Цю частоту називають **частотою резонансу**. А режим роботи послідовного коливального контуру, при якому опір цього контуру є чисто активним, називають **резонансом напруг**.

Модуль комплексного опору послідовного коливального контуру отримав назву повного опору або імпедансу. За формулою (1.2), він дорівнює

$$|\underline{Z}_k| = \sqrt{R^2 + \left(2\pi f L - \frac{1}{2\pi f C}\right)^2}. \quad (1.4)$$

Графік залежності повного опору послідовного коливального контуру від частоти ескізно показаний на рисунку 1.2 нижньою суцільною лінією.

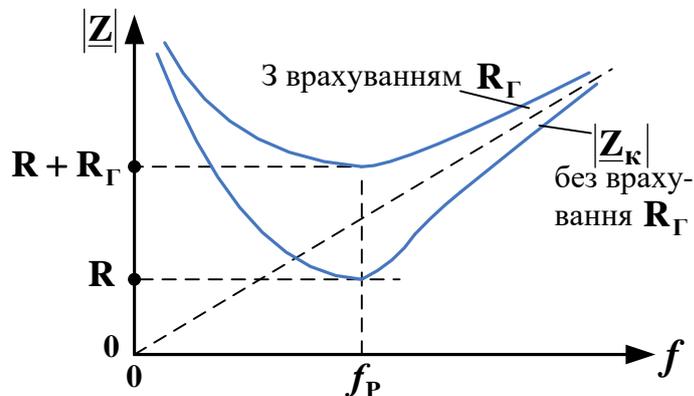


Рисунок 1.2

Для розуміння частотно-вибірних властивостей реальних пристроїв корисно уявляти собі, як залежить від частоти діюче значення I струму крізь контур, за умови незалежної від частоти величини діючого значення ЕРС генератора E_G . Для послідовної схеми (рисунок 1.1) комплекс діючого значення струму, за законом Ома, є таким:

$$\underline{I} = \frac{\underline{E}_G}{R_G + R + j \left(2\pi f L - \frac{1}{2\pi f C}\right)}, \quad (1.5)$$

що можна скорочено записати як

$$\underline{I} = \underline{E}_r / \underline{Z}, \quad (1.6)$$

де комплексний опір

$$\underline{Z} = \mathbf{R}_r + \mathbf{R} + j \left(2\pi f L - \frac{1}{2\pi f C} \right) = \mathbf{R}_r + \underline{Z}_k \quad (1.7)$$

включає до себе й опір генератора \mathbf{R}_r . Тому для практичних розрахунків виявляється потрібним новий опір, що враховує цей опір генератора:

$$|\underline{Z}| = |\mathbf{R}_r + \underline{Z}_k| = \sqrt{(\mathbf{R}_r + \mathbf{R})^2 + \left(2\pi f L - \frac{1}{2\pi f C} \right)^2}. \quad (1.8)$$

Графік залежності модуля цього нового опору від частоти показаний на рисунку 1.2 верхньою суцільною лінією. Поміж іншого, рисунок ілюструє той факт, що **на частоті резонансу повний опір послідовного коливального контуру сягає свого мінімуму.**

Різниця (зсув) фаз між *напругою* на будь-якому комплексному опорі і *струмом* крізь цей опір – це аргумент цього комплексного опору $\varphi = \varphi_U - \varphi_I$. Тому з виразу (1.7) випливає така формула для зсуву фаз між ЕРС генератора і струмом контуру:

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{2\pi f L - \frac{1}{2\pi f C}}{\mathbf{R}_r + \mathbf{R}}. \quad (1.9)$$

Коли $f < f_p$ (нагадаємо, що величина f_p визначена співвідношенням (1.3)), то опір ємності більший за опір індуктивності і, згідно з (1.9), маємо, що $\varphi < 0$. Від'ємна величина зсуву фаз між напругою та струмом притаманна ємнісному елементу кола, тому кажуть, що в цьому випадку опір контуру має **ємнісний характер**.

Коли $f > f_p$, то, навпаки, опір індуктивності більший за опір ємності і маємо $\varphi > 0$. Додатна величина зсуву фаз між напругою та струмом притаманна індуктивному елементу кола, тому кажуть, що опір контуру має **індуктивний характер**.

Графік залежності $\varphi(f)$ наведений на рисунку 1.3.

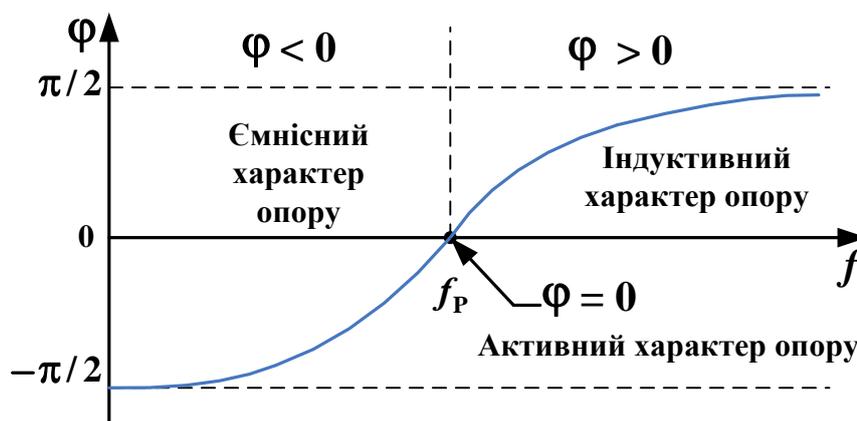


Рисунок 1.3

Оскільки, як відмічено вище, на частоті резонансу повний опір послідовного коливального контуру сягає свого мінімуму, то діюче значення струму $I = |\underline{I}|$, згідно з формулою (1.6), при незмінній величині діючого значення ЕРС сягає свого максимуму. Згідно з (1.5), діюче значення струму через послідовно з'єднані генератор і коливальний контур є таким:

$$I(f) = \frac{E_r}{|Z|} = \frac{E_r}{\sqrt{(R_\Gamma + R)^2 + \left(2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}\right)^2}} \quad (1.10)$$

Звідси при $f = f_p = 1 / (2\pi\sqrt{LC})$ згадана **максимальна величина струму** при резонансі напруг дорівнює

$$I_P = \frac{E_r}{R_\Gamma + R} \quad (1.11)$$

Поділивши (1.10) на (1.11), отримаємо так званий нормований струм $n(f)$, вираз для якого можна привести до вигляду

$$n(f) = \frac{1}{\sqrt{1 + Q^2 \left(\frac{f}{f_P} - \frac{f_P}{f}\right)^2}}, \quad (1.12)$$

де величина $Q = \sqrt{\frac{L}{C}} / (R_\Gamma + R)$ має назву добротності послідовного коливального контуру. Її вплив на частотні залежності нормованого струму для кількох контурів, що мають одну й ту саму частоту резонансу f_p , але різні добротності, наведені на рисунку 1.4. Бачимо, що із зростанням добротності криві $n(f)$ стають все більш сконцентрованими біля частоти резонансу. Як наслідок, при зростанні добротності струми з частотами, віддаленими від частоти резонансу, все гірше проходять крізь послідовний коливальний контур. **Смугою пропускання** послідовного коливального контуру називають діапазон частот, в межах якого струм перевищує рівень, що дорівнює $1/\sqrt{2} \approx 0,707$ від максимальної своєї

величини. На рисунку 1.4 показано смугу пропускання шириною Δf_1 для контуру з добротністю Q_1 ; з цього ж рисунку очевидно, що із зростанням добротності ширина Δf смуги пропускання зменшується. Ця ширина пов'язана з частотою резонансу та добротністю послідовного коливального контуру співвідношенням

$$\Delta f = f_0 / Q. \quad (1.13)$$

Перехід від нормованого струму до звичайного здійснюється шляхом перемноження виразів (1.12) та (1.11):

$$I(f) = \frac{E_{\Gamma}}{R_{\Gamma} + R} \cdot n(f). \quad (1.14)$$

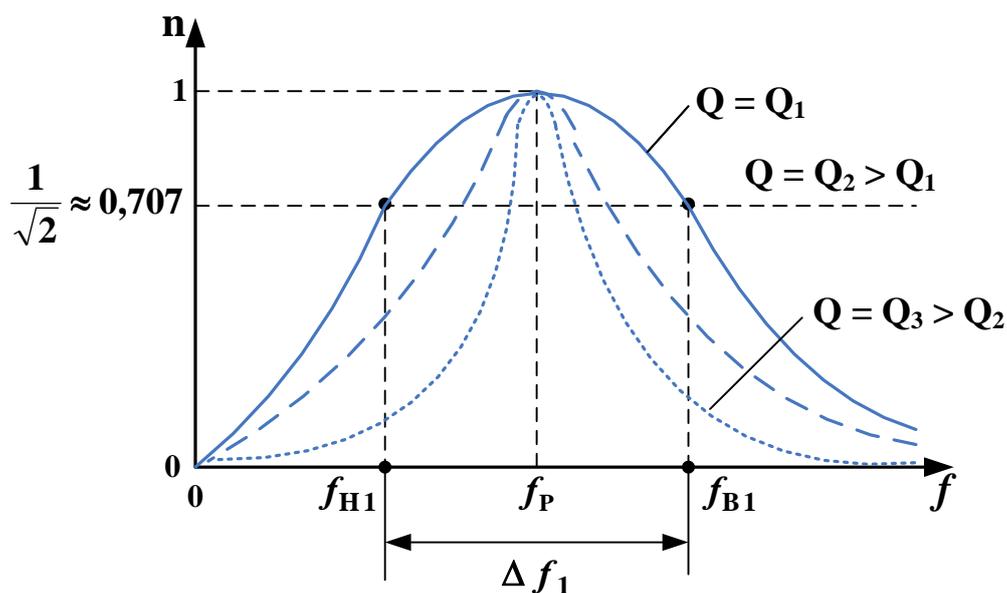


Рисунок 1.4

На практиці струми сигналів вельми слабкі, тому використання сенсорів струму для безпосереднього користування резонансними кривими струму, показаними на рисунку 1.4, є серйозно складним. Технічно набагато простіше скористатися тим, що перемноження за законом Ома

цих кривих на криві частотних залежностей опорів конденсатора або котушки теж призводить до резонансних піків поблизу частоти резонансу. Для подальшого підсилення та виділення корисного сигналу використовують напругу u_C , зняту з конденсатора (рисунок 1.5, а) або напругу u_L , зняту з котушки послідовного коливального контуру (рисунок 1.5, б). Позначимо діючі значення цих напруг відповідно як U_C та U_L . Вважатимемо вхідний опір наступного за контуром підсилювача настільки великим, що він не впливає на параметри кіл, складених за обома схемами. За теорією роботи послідовного коливального контуру, за цих умов на частоті f_P резонансу діє рівність $U_C = U_L = Q \cdot E_{\Gamma}$, тобто напруги на конденсаторі та на котушці однакові та в Q разів відрізняються від ЕРС джерела сигналу. Зазвичай в техніці автоматики та зв'язку $Q \gg 1$. Тому при резонансі величини напруг на конденсаторі та на котушці в багато разів перевищують вхідну напругу, а резонанс у послідовному коливальному контурі отримав назву резонансу напруг.

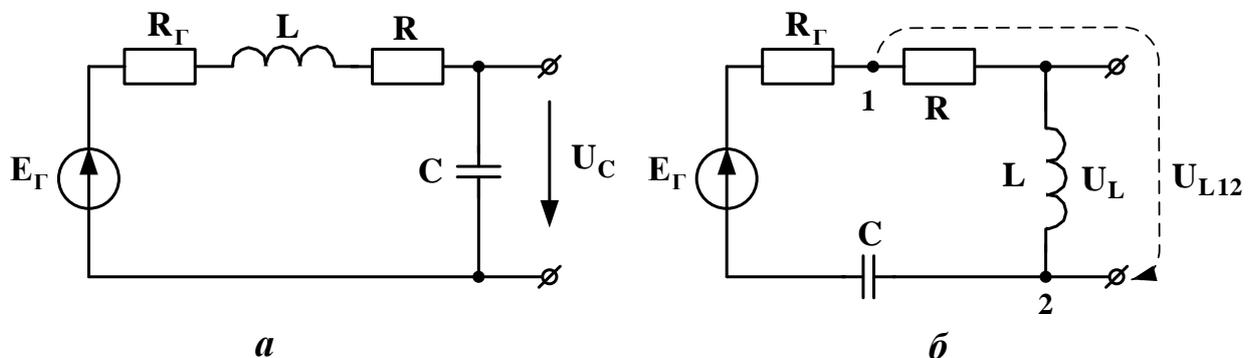


Рисунок 1.5

Введемо для обох поданих на рисунку 1.5 схем коефіцієнти передачі контуру за напругою. Це величини, які показують, у скільки разів контур підсилює вхідну ЕРС:

$$K_C(f) = \frac{U_C(f)}{E_{\Gamma}} = n(f) \cdot Q \cdot \frac{f_P}{f}. \quad (1.15)$$

для рисунку 1.5, а та

$$K_L(f) = \frac{U_L(f)}{E_{\Gamma}} = n(f) \cdot Q \cdot \frac{f}{f_P} \quad (1.16)$$

для рисунку 1.5, б. Остання формула є наближеною, оскільки U_L є напругою на ідеальній котушці, а зняти напругу з *ідеальної* котушки неможливо; на практиці можна зняти тільки напругу U_{L12} на реальній котушці, яка суміщує в собі індуктивність L та опір R проводу, яким намотано цю котушку (рисунок 1.5, б). Тому формулою (1.16) можна користуватись тільки при великих добротностях ($Q > 10$) і за додаткової умови $R \ll R_{\Gamma}$.

Побудовані за формулами (1.15) та (1.16) графіки частотних залежностей обох коефіцієнтів передачі наведено на рисунку 1.6.

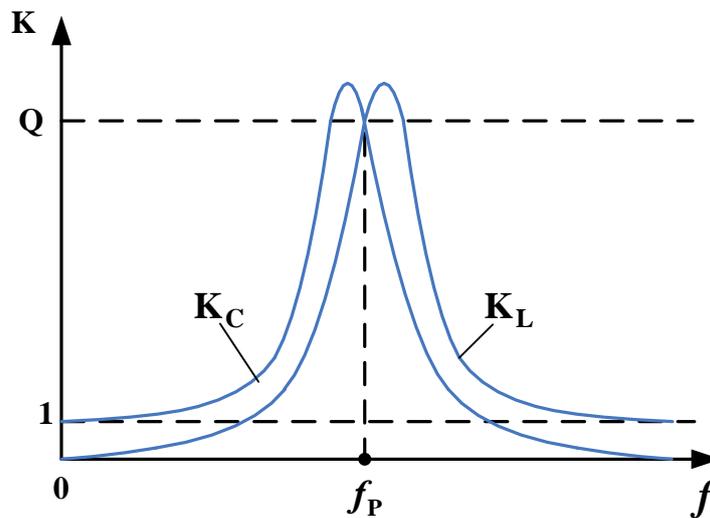


Рисунок 1.6

Відмітимо, що на частоті резонансу обидва коефіцієнти передачі дорівнюють Q , однак ця величина не є максимальною. Коефіцієнт $K_C(f)$ сягає максимуму на частоті, меншій за f_P , а коефіцієнт $K_L(f)$ сягає такого ж

максимуму на частоті, більшій за f_p . За великих числових значень добротності Q (орієнтовно більше за 10) частоти розташування цих максимумів практично дорівнюють резонансній частоті f_p послідовного коливального контуру, а величини максимумів практично дорівнюють Q . Нагадаємо, що величина добротності обчислюється за формулою

$$Q = \frac{\sqrt{L/C}}{R_{\Gamma} + R}. \quad (1.17)$$

З наведеної формули випливає, що внутрішній опір генератора зменшує добротність послідовного коливального контуру, тобто погіршує його частотно-вибірні властивості. Генератор з достатньо великим внутрішнім опором може звести ці властивості нанівець.

2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

2.1 Інженерне обґрунтування розрахункових співвідношень

В інженерній практиці для вимірювання частотної залежності коефіцієнта передачі певного пристрою використовують спеціальний прилад – вимірювач частотних характеристик (в англійській літературі його прийнято називати “Bode plotter”). Далі за текстом він буде скорочено позначатися ВЧХ. Він забезпечує розрахунок і вивід на екран графіка частотної залежності відношення величини вихідної (*output*) напруги пристрою до величини його вхідної (*input*) напруги. Цю залежність називають амплітудно-частотною характеристикою пристрою. За фізичним сенсом вона є частотною залежністю його коефіцієнту передачі. Деякі моделі ВЧХ мають також режим вимірювання різниці фаз між вихідною та

вхідною напругами. Ці два режими можна використати для вимірювання частотної залежності повного опору послідовного коливального контуру та частотної залежності зсуву фаз між напругою на контурі та струмом крізь нього.

Схема побудованої на базі ВЧХ вимірювальної установки, призначеної для зняття частотних залежностей повного опору $|Z|$ та зсуву фаз ϕ послідовного коливального контуру, наведена на рисунку 2.1. При вимірюванні частотної залежності коефіцієнту передачі ВЧХ працює в режимі «*Magnitude*», при цьому він виводить на свій екран графік залежності

$$p(f) = 20 \lg \frac{U_{\text{ВИХ}}(f)}{U_{\text{ВХ}}(f)}. \quad (2.1)$$

Одиницею вимірювання величини $p(f)$ є децибел (скорочене позначення Дб).

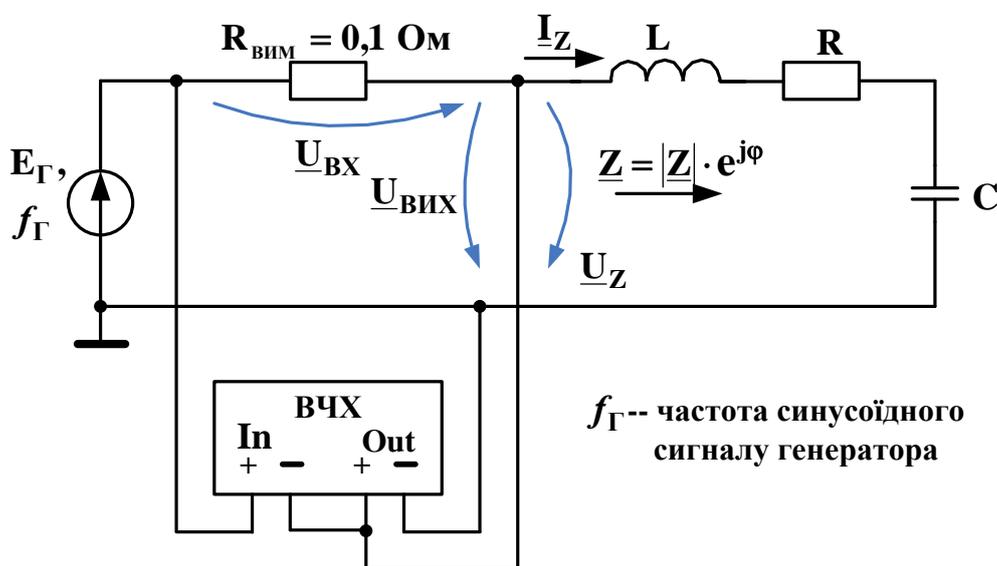


Рисунок 2.1 – Установка для зняття залежності $Z_K(f)$

За законом Ома в колі, схему якого зображено на рисунку 2.1, маємо $U_{\text{вих}}(f) = I_Z(f) \cdot |Z_K(f)|$ та $U_{\text{вих}}(f) = I_Z(f) \cdot R_{\text{вим}}$. Підставивши праві частини цих виразів для напруг в формулу (2.1), отримаємо

$$p(f) = 20 \lg \frac{I_Z(f) \cdot |Z_K(f)|}{I_Z(f) \cdot R_{\text{вим}}} = 20 \lg \frac{|Z_K(f)|}{R_{\text{вим}}} = 20 \lg |Z_K(f)| - 20 \lg R_{\text{вим}}. \quad (2.2)$$

Резистор $R_{\text{вим}}$ штучно введений до схеми з такою метою. Відомо, що струм крізь резистор співпадає за фазою з напругою на цьому резисторі. Отже, напруга на $R_{\text{вим}}$ співпадає за фазою із струмом I_Z крізь цей резистор і може бути використана при вимірюванні зсуву фаз між напругою на коливальному контурі та струмом крізь нього. Такий резистор називають вимірювальним; його величина має бути набагато меншою ніж величина R активного опору контуру, щоб не впливати суттєво на добротність контуру. В нашій установці $R_{\text{вим}} = 0,1 \text{ Ом}$. Підстановка цієї величини до формули (2.2) дає такий вираз:

$$p(f) = 20 \lg |Z_K(f)| + 20.$$

Розв'язавши це рівняння відносно повного опору контуру, отримаємо, що

$$|Z_K(f)| = 10^{0,05p(f)-1}. \quad (2.3)$$

Коли ВЧХ працює в режимі «Phase», він виводить на свій екран графік частотної залежності зсуву фаз $\varphi(f)$ між своїми вихідною (на парі затискачів *Out*) та вхідною (на парі затискачів *In*) напругами:

$$\varphi(f) = \varphi_{U_{\text{вих}}}(f) - \varphi_{U_{\text{вх}}}(f). \quad (2.4)$$

Оскільки $\underline{U}_{\text{вих}}$ – це напруга \underline{U}_Z на опорі \underline{Z} контуру, а $\underline{U}_{\text{вх}}$ – це напруга на резисторі $\mathbf{R}_{\text{вим}}$ (яка співпадає за фазою із струмом \underline{I}_Z , що протікає крізь контур), то після заміни позначення “Вих” на “Z”, а позначення “Вх” на “ \underline{I}_Z ” вираз (2.4) набуде такого вигляду:

$$\varphi(f) = \varphi_{UZ}(f) - \varphi_{IZ}(f). \quad (2.5)$$

Отже, $\varphi(f)$ є частотною залежністю зсуву фаз між напругою на контурі та струмом крізь нього.

Криву частотної залежності модуля струму I_Z можна побудувати по точках за законом Ома $I_Z(f) = E / |\underline{Z}(f)|$, розраховуючи $|\underline{Z}(f)|$ на кожній частоті за формулою (2.3) по числових значеннях величини $p(f)$, вимірянних при встановленій на вході ЕРС джерела живлення E . Втім, використання ВЧХ дає змогу одразу вивести цю криву на екран з точністю до постійного множника E і миттєво побачити, як впливають на неї зміни параметрів кола. Для цього слід скласти вимірювальну установку за схемою, наведеною на рисунку 2.2. Слід одразу перевести ВЧХ в режим «*Magnitude*». В цьому режимі він виведе на свій екран графік залежності, заданий формулою (2.1). Однак тепер в нас $U_{\text{вх}}(f) = E_{\Gamma} = \text{const}$, а $U_{\text{вих}}(f) = I_Z(f) \cdot \mathbf{R}_{\text{вим}}$, тому формула, яка описує графік на екрані, набуває такого вигляду:

$$p(f) = 20 \lg \frac{I_Z(f) \cdot \mathbf{R}_{\text{вим}}}{E_{\Gamma}} = 20 \lg I_Z(f) + 20 \lg \frac{\mathbf{R}_{\text{вим}}}{E_{\Gamma}}.$$

Розв'язавши цю рівність відносно струму, отримаємо:

$$I_Z(f) = \frac{E_{\Gamma}}{\mathbf{R}_{\text{вим}}} \cdot 10^{0,05P(f)}. \quad (2.6)$$

Оскільки $10^{0,05 \cdot p(f)}$ – монотонна функція від $p(f)$, то графік $p(f)$, спостережений на екрані, однозначно відображає поведінку струму.

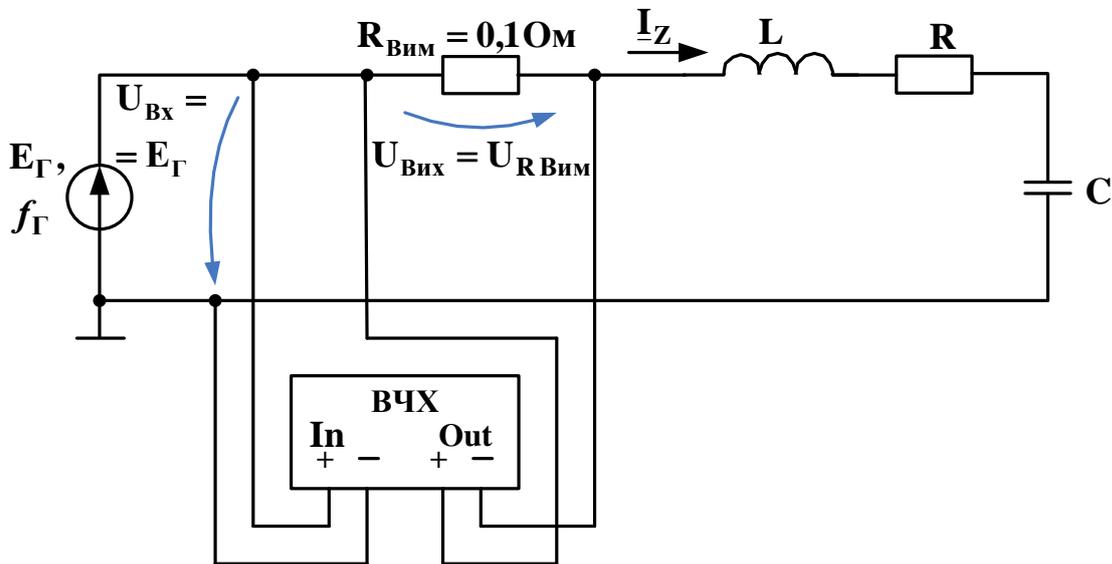


Рисунок 2.2– Установка для зняття залежності $I(f)$

Для побудови частотної залежності коефіцієнта передачі контуру $K_C(f)$ при знятті вихідної напруги з конденсатора слід скласти вимірювальну установку за схемою, наведеною на рисунку 2.3, при цьому ВЧХ треба перевести в режим «*Magnitude*». Таку установку неможливо скласти при реальних вимірюваннях, бо фізично неможливо всередині генератора підключитися між R_G та E_G , бо вони конструктивно нероздільні. Однак при комп'ютерному моделюванні це можливо, оскільки воно використовує суто математичні розрахунки на базі законів Кірхгофа, при яких доступною для підключення є будь-яка точка кола. Графік на екрані відтворюватиме таку залежність:

$$p_C(f) = 20 \lg \frac{U_C(f)}{E_G} = 20 \lg K_C(f). \quad (2.7)$$

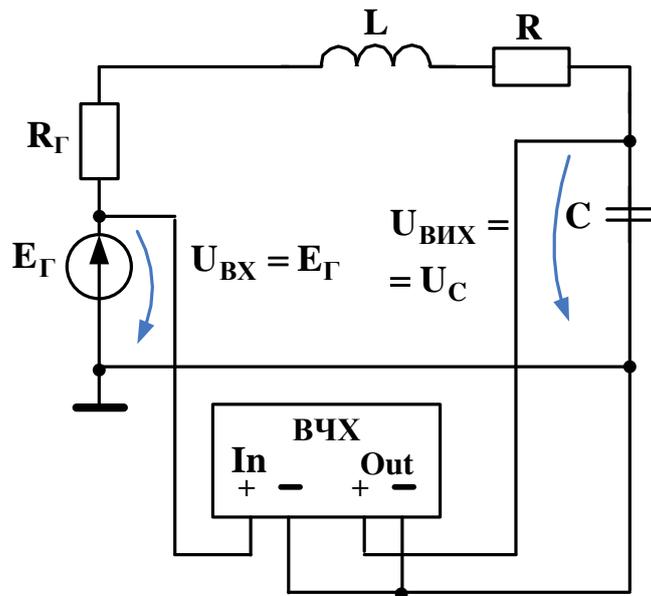


Рисунок 2.3 – Установа для зняття залежності $K_C(f)$

Звідси отримуємо, що

$$K_C(f) = 10^{0,05P_C(f)}. \quad (2.8)$$

Аналогічно будують залежність $K_L(f)$, користуючись вимірювальною установкою, складеною відповідно до рисунку 2.4.

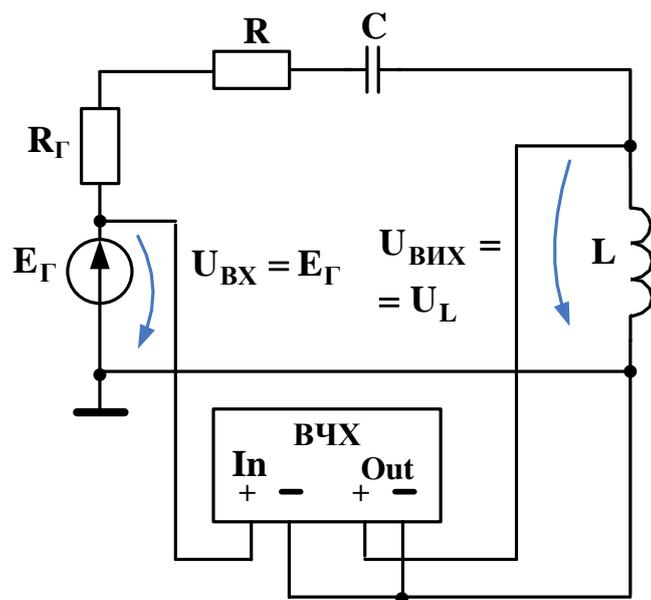


Рисунок 2.4 – Установа для зняття залежності $K_L(f)$

В цій установці графік на екрані відтворюватиме залежність

$$P_L(f) = 20 \lg \frac{U_L(f)}{E_T} = 20 \lg K_L(f), \quad (2.9)$$

звідки отримуємо, що

$$K_L(f) = 10^{0,05 P_L(f)}. \quad (2.10)$$

2.2 Завдання на розрахунок

2.2.1 Вивчіть теоретичні відомості щодо послідовного коливального контуру, використовуючи доступну літературу з цієї тематики; розділ 1 цих методичних вказівок та опис вимірювальної установки.

2.2.2 Користуючись даними свого варіанта, взятими з таблиці 2.1 варіантів вихідних даних, обчислити величину резонансної частоти f_p досліджуваного послідовного коливального контуру, а також три значення добротності Q відповідно до трьох числових значень опору R контуру, наведених в колонці «для рисунку 2.1, рисунку 2.2» таблиці 2.1. Занести вихідні дані та обчислені величини f_p та Q до верхніх рядків таблиці 3.1 і таблиці 3.2. **Висота цих таблиць має бути розрахована на 10 рядків вимірювань.**

2.2.3 Користуючись даними свого варіанта, взятими з таблиці 2.1, обчислити три значення добротності Q відповідно до трьох числових значень опору R_T генератора (для рисунку 2.3, рисунку 2.4). Занести вихідні дані, величину f_p (обчислену згідно з п. 2.2.2) та обчислені величини Q до таблиці 3.3 (для вимірювання K_c) і таблиці 3.4 (для вимірювання K_L). **Висота цих таблиць має бути розрахована на 10 рядків вимірювань.**

Таблиця 2.1 – Вихідні дані до розрахунку

Номер варіанта	L, мГн	C, пФ	R, Ом	R, Ом	R _Г , Ом	
			для рисунку 2.1, рисунку 2.2	для рисунку 2.3, рисунку 2.4	для рисунку 2.3, рисунку 2.4	
1	0,01	157,5	10	1	15	E _Г =1,55 В f _Г – довільна порядку 1 МГц
			50		75	
			100		200	
2	0,08	315	20	2	30	
			100		100	
			200		200	
3	0,0133	210	8	1,2	20	
			16		50	
			80		135	
4	0,015	40	15	1	15	
			60		75	
			180		300	
5	0,1	62	20	2	30	
			120		135	
			500		600	
6	0,017	52	20	1,5	30	
			100		150	
			200		300	

Довідка: 1 мГн = 10⁻³ Гн, 1 пФ = 10⁻¹² Ф.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Використовуючи комп'ютерне моделююче середовище (наприклад Multisim) скласти вимірювальну установку відповідно до рисунку 2.1 та своїх вихідних даних.

Таблиця 3.1 – Результати вимірювання $Z_K(f)$ та $\varphi(f)$

Варіант №.....; L =мГн; C =пФ; f _p =МГц											
f, МГц	R = Ом; Q = ...			f, МГц	R = Ом; Q = ...			f, МГц	R = Ом; Q = ...		
	p, дБ	Z _к , кОм	φ ^o		p, дБ	Z _к , кОм	φ ^o		p, дБ	Z _к , кОм	φ ^o

Таблиця 3.2 – Результати вимірювання $I_Z(f)$

Варіант №.....; L =мГн; C =пФ; $f_p = \dots$ МГц; $E_T = \dots$ В								
f , МГц	R = Ом; Q = ...		f , МГц	R = Ом; Q = ...		f , МГц	R = Ом; Q = ...	
	p , дБ	I_Z , мА		p , дБ	I_Z , мА		p , дБ	I_Z , мА

Таблиця 3.3 – Результати вимірювання $K_C(f)$

Варіант №.....; L =мГн; C =пФ; $f_p = \dots$ МГц								
f , МГц	R _T = Ом; Q = ...		f , МГц	R _T = Ом; Q = ...		f , МГц	R _T = Ом; Q = ...	
	p , дБ	K_C ,		p , дБ	K_C ,		p , дБ	K_C ,

Таблиця 3.4– Результати вимірювання $K_L(f)$

Варіант №.....; L =мГн; C =пФ; $f_p = \dots$ МГц								
f , МГц	R _T = Ом; Q = ...		f , МГц	R _T = Ом; Q = ...		f , МГц	R _T = Ом; Q = ...	
	p , дБ	K_L ,		p , дБ	K_L ,		p , дБ	K_L ,

3.2 Перевести ВЧХ в режим «*Magnitude*».

3.3 Для десятих частот, які лежать в діапазоні орієнтовно від $0,5 f_p$ до $2 f_p$ виміряти величини p для кожного з трьох числових значень опору R . Виміряні величини p слід заносити у відповідні рядки таблиці 3.1.

3.4 Перевести ВЧХ в режим «*Phase*».

3.5 Вибравши ті самі частоти, що й в п. 3.3, виміряти величину ϕ аргументу комплексного опору коливального контуру для кожного з трьох числових значень опору R . Виміряні величини ϕ слід заносити у відповідні рядки таблиці 3.1 .

3.6 Скласти вимірювальну установку відповідно до рисунку 2.2 та своїх вихідних даних. Перевести ВЧХ в режим «*Magnitude*».

3.7 Вибравши ті самі частоти, що й в п. 3.3, виміряти величини p для кожного з трьох значень опору R . Виміряні величини p слід заносити у відповідні рядки таблиці 3.2.

3.8 Скласти вимірювальну установку відповідно до рисунку 2.3 та своїх вихідних даних. Перевести ВЧХ у режим «*Magnitude*».

3.9 Вибравши діапазон частот аналогічно п. 3.3, виміряти величини p для кожного з трьох значень опору R_{Γ} . Виміряні величини p слід заносити у відповідні рядки таблиці 3.3.

3.10 Скласти вимірювальну установку відповідно до рисунку 2.4 та своїх вихідних даних. Перевести ВЧХ у режим «*Magnitude*».

3.11 Вибравши діапазон частот аналогічно п. 3.3, виміряти величини p для кожного з трьох значень опору R_{Γ} . Виміряні величини p слід заносити у відповідні рядки таблиці 3.4.

3.12 Опрацювання результатів експериментів

3.12.1 Заповнити всі три колонки $|Z_K|$ таблиці 3.1, виконуючи обчислення за формулою (2.3).

3.12.2 Заповнити всі три колонки I_z таблиці 3.2, виконуючи обчислення за формулою (2.6).

3.12.3 Заповнити всі три колонки K_C таблиці 3.3, виконуючи обчислення за формулою (2.8).

3.12.4 Заповнити всі три колонки K_L таблиці 3.4, виконуючи обчислення за формулою (2.10).

3.12.5 Побудувати графіки залежностей $|Z_K|(f)$, $\varphi(f)$, $I_z(f)$, $K_C(f)$ та $K_L(f)$ для трьох досліджених величин Q кожен (тобто слід накреслити п'ять графіків, кожен з яких складається з трьох кривих).

3.12.6 Проаналізувавши побудовані графіки, зробити письмові висновки про те, як впливають величини R та R_{Γ} на «гостроту» (або «крутість» для $\varphi(f)$) цих графіків поблизу частоти f_p , а також про вплив цих опорів на зсув максимумів або мінімумів цих графіків вздовж осі частот.

4 ЗМІСТ ЗВІТУ

Вимоги щодо змісту та оформлення звіту з розрахункової частини наведені в розділі «Вступ».

У звіті з експериментальної частини цієї роботи необхідно представити:

- а) мету роботи;
- б) результати виконання розрахункової частини відповідно до п. 2.2;
- в) результати експериментів відповідно до п. 3;
- г) аналіз результатів експериментів і зроблені висновки відповідно до п. 3.12 .

5 ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

Ці питання призначені виключно для самоконтролю в ході підготовки до поточної лабораторної роботи. Як самі питання, так і відповіді до них не мають бути внесені до звіту з цієї або якоїсь іншої роботи.

Перевірте себе

- 1 Накресліть схему послідовного коливального контуру.
- 2 Що таке резонанс напруг?
- 3 Які умови досягнення резонансу напруг?
- 4 Як обчислити частоту резонансу та добротність послідовного коливального контуру, якщо відомі параметри його елементів (**R, L, C**)?
- 5 Як змінюється з частотою повний опір послідовного коливального контуру?

- 6 Як змінюється з частотою струм крізь послідовний коливальний контур при його живленні від ідеального джерела напруги?
- 7 Накресліть резонансні криві.
- 8 Що таке коефіцієнти підсилення $K_C(f)$ та $K_L(f)$?
- 9 Як, згідно з теорією, добротність контуру впливає на резонансні криві?
- 10 Як внутрішній опір джерела сигналу впливає на добротність послідовного коливального контуру?
- 11 Для чого призначений вимірювач частотних характеристик (ВЧХ)?
- 12 Яке призначення кожного з елементів використаних вимірювальних установок?
- 13 Що таке ідеальне та реальне джерела напруги?
- 14 Сформулюйте закон Ома та обидва закони Кірхгофа для **кіль синусоїдного струму**.
- 15 Що таке вузол, вітка, контур?
- 16 Що таке амплітуда, діюче значення, частота, кутова частота та початкова фаза синусоїдного струму (напруги, ЕРС)?
- 17 Які формули для частотної залежності реактивного опору ідеальної котушки індуктивності? Ідеального конденсатора?
- 18 Що таке комплексний опір послідовного коливального контуру? Активний опір? Реактивний опір?
- 19 Що таке повний опір послідовного коливального контуру?
- 20 Чи залежить від частоти активний опір послідовного коливального контуру (вважати, що поверхневий ефект відсутній)?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 Студентська навчальна звітність. Текстова частина (пояснювальна записка). Загальні вимоги до побудови, викладення та оформлення: метод. посіб. з додержання вимог нормоконтролю в студ. навч. звітності / Л. М. Козар, Є. В. Коновалов, А. О. Лапко та ін. Харків: УкрДУЗТ, 2014. 46 с. / <http://lib/kart.edu.ua/handle/123456789/3454>.

2 Теорія електричних і магнітних кіл / С. В. Панченко, О. М. Ананьєва, М. М. Бабаєв та ін. Харків: УкрДУЗТ, 2020. 246 с. <http://lib/kart.edu.ua/handle/123456789/5408>.

3 Електротехніка та електромеханіка систем залізничної автоматики / М. М. Бабаєв, М. Г. Давиденко, Г. І. Загарій та ін. Харків: УкрДАЗТ, 2011. 608 с.

4 Fiore J.M. AC Electrical Circuit Analysis. A Practical Approach / Mohawk Valley Community College / <https://www2.mvcc.edu>jfiore>.

5 HimaBindu V., Madhuri V.V.S., Chandrashekar D. Basic electrical engineering / Gokaraju Rangaraju Institute of Engineering and Technology / <https://www.griet.ac.in/nodes/BEEE.pdf>.

6 Series Resonance in a Series RLC Resonant Circuit / Basic Electronics Tutorials / <https://www.electronics-tutorials.ws/accircuits/series-resonance.html>.

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
для виконання практичних занять
з освітніх компонент
«ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ»
та *«ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ
ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ»*

Розділ
Резонанс напруг. Послідовний коливальний контур

Відповідальний за випуск Давиденко М. Г.

Редактор Ібрагімова Н. В.

Підписано до друку 16.01.2026 р.
Умовн. друк. арк. 1,75. Тираж . Замовлення № .
Видавець та виготовлювач Український державний університет
залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха,7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6100 від 21.03.2018 р.