Фізика 11

Урок 39 Активний, ємнісний та індуктивний опори в колі змінного струму

Мета уроку:

Навчальна: Продовжити формувати знання про змінний струм, активний та реактивний опори, повний опір кола; продовжити формування навичок і умінь розв'язувати якісні, кількісні фізичні задачі.

Розвивальна. Розвивати пізнавальні навички учнів; вміння аналізувати навчальний матеріал, умову задачі, хід розв'язання задач; вміння стисло і грамотно висловлювати свої міркування та обґрунтовувати їхню правильність.

Виховна. Виховувати уважність, зібраність, спостережливість.

Тип уроку: комбінований.

Наочність і обладнання: навчальна презентація, комп'ютер, підручник.

Хід уроку

I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ ЕТАП

II. АКТУАЛІЗАЦІЯ ОПОРНИХ ЗНАНЬ ТА ВМІНЬ

Миттєві значення напруги та сили змінного струму безперервно змінюються – періодично перетворюються на нуль, періодично досягають максимуму.

Чому ж тоді ми кажемо, наприклад: «Сила струму в спіралі електричної лампи 0,27 А», «Напруга на нагрівальному елементі праски 220 В»?

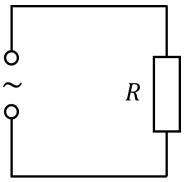
III. ВИВЧЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Активний опір

Вивчаючи постійний струм, ви дізналися, що всі провідники (за винятком надпровідників) мають *електричний опір*. Провідники чинять опір і змінному струмові, однак у колах змінного струму існують різні види опорів: *активні опори* і *реактивні опори.*

Елемент електричного кола має активний опір R R, якщо під час проходження в цьому елементі струму частина електричної енергії витрачається на нагрівання: $Q = I^2Rt$
$Q = I^2Rt$

Будь-який елемент електричного кола як постійного, так і змінного струму (з'єднувальні проводи, нагрівальні елементи, обмотки двигунів, генераторів тощо) має активний опір (ми називаємо його просто опір).



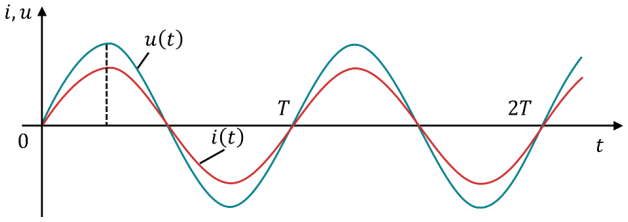
Нехай електричне коло складається зі з'єднувальних проводів; навантаження з малою індуктивністю і значним активним опором R R; джерела змінного струму, напруга на виході якого змінюється за гармонічним законом:

$$u(t) = U_{\max}\sin\omega t$$

Згідно із законом Ома сила струму в колі теж змінюється гармонічно:

$$i(t) = \frac{u(t)}{R} = \frac{U_{\max}\sin\omega t}{R} = I_{\max}\sin\omega t \qquad I_{\max} = \frac{U_{\max}}{R}$$

В елементах електричного кола, що мають тільки активний опір, коливання сили струму і напруги збігаються за фазою. Сила струму і напруга одночасно досягають максимальних значень і одночасно стають рівними нулю.

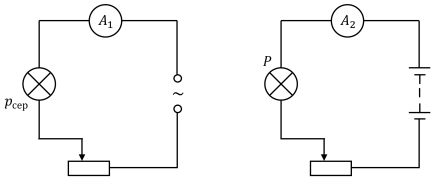


2. Діючі значення сили струму і напруги

Проблемне питання

• Яке значення сили струму або напруги прийняли для характеристики цього струму?

Оцінювати дію змінного струму за миттєвим значенням сили струму незручно – це значення безперервно змінюється. Не можна для цього використати й середнє значення, оскільки середнє за період значення сили струму дорівнює нулю. Дію змінного струму прийнято оцінювати за *діючим (ефективним) значенням сили струму.*



Припустимо, що ми маємо дві однакові лампи опором R кожна. Одну з ламп приєднали до джерела постійного струму, другу – до джерела змінного струму. Пересуваючи повзунок реостата, слід домогтися, щоб яскравість світіння обох ламп була однаковою. Це означає, що середнє значення потужності змінного струму дорівнює потужності постійного струму: $p_{\text{сер}} = P$.

Діюче значення сили змінного струму $I_{\text{д}}$ дорівнює силі такого постійного струму I, за якого в тому самому активному опорі виділяється потужність P, що дорівнює середній потужності $p_{\text{сер}}$ змінного струму: якщо $I_{\text{д}} = I$, то $p_{\text{сер}} = P$.

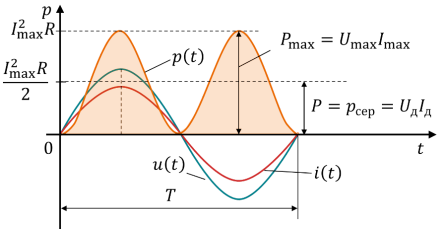
Потужність постійного струму, яку споживає лампа активним опором R, можна обчислити за формулою: $P = I^2R$.

Знайдемо середнє значення потужності змінного струму. На нескінченно малому інтервалі часу силу струму можна вважати незмінною, тому миттєву потужність також можна обчислити за формулою: $p = i^2R$

$i = I_{\max}\sin\omega t$ – миттєве значення сили струму. Звідси:

$$p = I_{\max}^2R\sin^2\omega t = I_{\max}^2R\frac{1-\cos 2\omega t}{2} = \frac{I_{\max}^2R}{2} - \frac{I_{\max}^2R}{2}\cos 2\omega t$$

Із графіка залежності миттєвої потужності змінного струму від часу бачимо, що середнє за період значення потужності дорівнює:



$$p_{\text{сер}} = \frac{I_{\max}^2R}{2} \qquad P = p_{\text{сер}} \qquad I^2R = \frac{I_{\max}^2R}{2}$$

$$P = p_{\text{сер}} \qquad I^2R = \frac{I_{\max}^2R}{2}$$

Діюче значення сили змінного струму дорівнює: $I_{\text{д}} = I = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}}$

Діюче значення змінної напруги дорівнює: $U_{\text{д}} = U = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}}$

На практиці для характеристики параметрів змінного струму використовують саме діючі значення сили струму і напруги. Наприклад, коли кажуть, що напруга в мережі змінного струму становить 220 В, а сила струму в колі – 25 А, це означає, що діюче значення напруги в мережі – 220 В, а діюче значення сили струму – 25 А. Амперметри і вольтметри змінного струму вимірюють саме діючі значення сили струму і напруги.

3. Реактивний опір у колі змінного струму

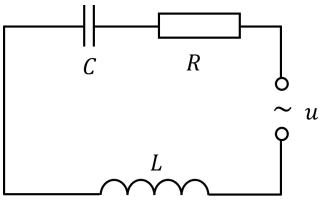
Реактивний опір – це додатковий опір струмові, що чинять конденсатор і котушка індуктивності, введені в коло змінного струму.

Цей опір називають реактивним, оскільки на його долання не витрачається енергія джерела живлення. Чверть періоду котушка або конденсатор забирають енергію від джерела, наступну чверть періоду вони повертають енергію джерелу.

Види реактивного опору	
Індуктивний опір провідника X_L – фізична величина, яка характеризує опір провідника електричному струмові, викликаний дією ЕРС самоіндукції: $X_L = \omega L$ ω – циклічна частота змінного струму; L – індуктивність провідника.	**Ємнісний опір** X_C – фізична величина, яка характеризує здатність конденсатора протидіяти змінному струмові: $X_C = \frac{1}{\omega C}$ ω – циклічна частота змінного струму; C – ємність конденсатора.

Повний опір кола, яке містить активний, індуктивний і ємнісний опори, обчислюють за формулою:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$



$\omega L - \frac{1}{\omega C}$ $\omega L - \frac{1}{\omega C}$ **– реактивний опір.**

IV. ЗАКРІПЛЕННЯ НОВИХ ЗНАНЬ І ВМІНЬ

1. На яку напругу треба розрахувати ізолятори лінії електропередачі, якщо її діюче значення становить 430 кВ?

Дано:

$U_д = 430$ кВ $= 430 \cdot 10^3$ В

$U_{max} - ?$

Розв'язання

$$U_д = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}} \quad => \quad U_{max} = \sqrt{2}U_д$$

$$[U_{max}] = \text{В} \qquad U_{max} = \sqrt{2} \cdot 430 \cdot 10^3 \approx 608 \cdot 10^3 \text{ (В)}$$

Відповідь: $U_{max} \approx 608$ кВ. $U_{max} \approx 608$ кВ.

2. Миттєве значення сили струму при фазі π/6 дорівнює 6 А. Визначте амплітудне й діюче значення сили струму, якщо в момент початку спостереження сила струму дорівнює нулю.

Дано:

$\varphi = \frac{\pi}{6}$

$i = 6$ А

$I_{max} - ?$

$I_д - ?$

Розв'язання

$$i = I_{max} \sin\varphi \quad => \quad I_{max} = \frac{i}{\sin\varphi}$$

$$[I_{max}] = \text{А} \qquad I_{max} = \frac{6}{\sin\frac{\pi}{6}} = 12 \text{ (А)}$$

$$I_д = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} \qquad [I_д] = \text{А} \qquad I_д = \frac{12}{\sqrt{2}} \approx 8{,}5 \text{ (А)}$$

Відповідь: $I_{max} = 12$А; $I_д \approx 8{,}5$ А. $I_{max} = 12$А; $I_д \approx 8{,}5$ А.

3. Електропіч із опором 20 Ом живиться від генератора змінного струму. За який час виділиться кількість теплоти 4 МДж, якщо амплітудне значення сили струму 8 А?

Дано:

$R = 20$ Ом

$Q = 4$ МДж $= 4 \cdot 10^6$ Дж

$I_{max} = 8$ А

$t - ?$

Розв'язання

$$Q = I_д^2 R t \qquad I_д = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}}$$

$$Q = \frac{I_{max}^2 R t}{2} \quad => \quad t = \frac{2Q}{I_{max}^2 R}$$

$$[t] = \frac{\text{Дж}}{\text{А}^2 \cdot \frac{\text{В}}{\text{А}}} = \frac{\text{В} \cdot \text{А} \cdot \text{с}}{\text{А} \cdot \text{В}} = \text{с} \qquad t = \frac{2 \cdot 4 \cdot 10^6}{8^2 \cdot 20} = 6250 \text{ (с)}$$

Відповідь: $t = 6250$ с ≈ 104 хв. $t = 6250$ с ≈ 104 хв.

4. Визначте індуктивний опір соленоїда з індуктивністю 35 мГн, що ввімкнений у коло змінного струму із частотою: а) 50 Гц; б) 60 Гц; в) 800 Гц. Як залежить індуктивний опір провідника від частоти змінного струму?

Дано:	***Розв'язання***
$L = 35$ мГн $= 35 \cdot 10^{-3}$Гн $\nu_1 = 50$ Гц $\nu_2 = 60$ Гц $\nu_3 = 800$ Гц	$X_L = \omega L = 2\pi\nu L$ $X_{L1} = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 50 \cdot 35 \cdot 10^{-3} \approx 11$ (Ом) $X_{L2} = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 60 \cdot 35 \cdot 10^{-3} \approx 13{,}2$ (Ом) $X_{L3} = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 800 \cdot 35 \cdot 10^{-3} \approx 175{,}8$ (Ом)
$X_{L1} - ?$ $X_{L2} - ?$ $X_{L3} - ?$	***Відповідь:*** $X_{L1} \approx 11$ Ом; $X_{L2} \approx 13{,}2$ Ом; $X_{L3} \approx 175{,}8$ Ом; $X_{L1} \approx 11$ Ом; $X_{L2} \approx 13{,}2$ Ом; $X_{L3} \approx 175{,}8$ Ом; індуктивний опір конденсатора прямо пропорційний частоті змінного струму.

5. Визначте опір конденсатора ємністю 150 мкФ, на який подана змінна напруга частотою: а) 50 Гц; б) 60 Гц; в) 1 кГц. Як залежить ємнісний опір конденсатора від частоти змінного струму?

Дано:	***Розв'язання***
$C = 150$ мкФ $= 150 \cdot 10^{-6}$ Ф $\nu_1 = 50$ Гц $\nu_2 = 60$ Гц $\nu_3 = 1$ кГц $= 1000$ Гц	$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi\nu C}$ $[X_C] = \frac{1}{\text{Гц} \cdot \text{Ф}} = \frac{1}{\frac{1}{\text{с}} \cdot \frac{\text{Кл}}{\text{В}}} = \frac{1}{\frac{1}{\text{с}} \cdot \frac{\text{А} \cdot \text{с}}{\text{В}}} = \frac{\text{В}}{\text{А}} = \text{Ом}$
$X_{C1} - ?$ $X_{C2} - ?$ $X_{C3} - ?$	$X_{C1} = \frac{1}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 50 \cdot 150 \cdot 10^{-6}} \approx 21{,}2$ (Ом) $X_{C2} = \frac{1}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 60 \cdot 150 \cdot 10^{-6}} \approx 17{,}7$ (Ом) $X_{C3} = \frac{1}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 1000 \cdot 150 \cdot 10^{-6}} \approx 1{,}06$ (Ом) ***Відповідь:*** $X_{C1} \approx 21{,}2$ Ом; $X_{C2} \approx 17{,}7$ Ом; $X_{C3} \approx 1{,}06$ Ом; $X_{C1} \approx 21{,}2$ Ом; $X_{C2} \approx 17{,}7$ Ом; $X_{C3} \approx 1{,}06$ Ом; ємнісний опір конденсатора обернено пропорційний частоті змінного струму.

6. Який опір ділянки кола змінного струму із частотою 500 Гц, що складається з послідовно з'єднаних резистора з активним опором 15 Ом і котушки індуктивністю 50 мГн?

Дано:	***Розв'язання***
$\nu = 500$ Гц $R = 15$ Ом $L = 50$ мГн $= 50 \cdot 10^{-3}$ Гн	$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ $\quad X_L = \omega L = 2\pi\nu L$ $\quad X_C = 0$ $Z = \sqrt{R^2 + (2\pi\nu L)^2}$
$Z - ?$	$[Z] = \sqrt{\text{Ом}^2 + (\text{Гц} \cdot \text{Гн})^2} = \sqrt{\text{Ом}^2 + \left(\frac{1}{\text{с}} \cdot \frac{\text{В}}{\text{А/с}}\right)^2} = \text{Ом}$ $Z = \sqrt{15^2 + (2 \cdot 3{,}14 \cdot 500 \cdot 50 \cdot 10^{-3})^2} \approx 158$ (Ом) ***Відповідь:*** $Z \approx 158$ Ом $Z \approx 158$ Ом.

V. ПІДБИТТЯ ПІДСУМКІВ УРОКУ

Бесіда за питаннями

1. Які основні види опорів існують у колах змінного струму? Наведіть їх означення.

2. Як пов'язані сила струму і напруга в колі з активним опором?

3. Що називають діючим значенням сили струму?

4. Як розрахувати діючі значення сили струму й напруги?
5. Наведіть формулу для розрахунку індуктивного опору. Від яких чинників він залежить?
6. Дайте означення ємнісного опору. Від яких чинників він залежить?
7. Чому дорівнює повний опір кола?

VI. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ
Опрацювати § 20, Вправа № 20 (1-3)

Додаткові задачі

1. Чи можна лампочку, яка розрахована на максимальну напругу 240 В, вмикати в мережу змінного струму з напругою 220 В?

Дано:

$U_{л.max} = 240$ В

$U_д = 220$ В

$U_{max} - ?$

Розв'язання

$$U_д = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}} \quad => \quad U_{max} = \sqrt{2}U_д$$

$$[U_{max}] = В \qquad U_{max} = \sqrt{2} \cdot 220 \approx 311\ (В)$$

$U_{max} > U_{л.max}$

Відповідь: $U_{max} > U_{л.max}$ $U_{max} > U_{л.max}$; ні, бо максимальна напруга в цій мережі сягає 311 В.

2. Написати рівняння, що виражають залежність напруги й сили струму від часу для електроплитки опором 50 Ом, ввімкненої в мережу змінного струму, що має частоту 50 Гц і напругу 220 В.

Дано:

$R = 50$ Ом

$\nu = 50$ Гц

$U_д = 220$ В

$u = u(t) - ?$

$i = i(t) - ?$

Розв'язання

$$U_д = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}} \quad => \quad U_{max} = \sqrt{2}U_д$$

$$[U_{max}] = В \qquad U_{max} = \sqrt{2} \cdot 220 \approx 311\ (В)$$

$$I_{max} = \frac{U_{max}}{R} \qquad [I_{max}] = \frac{В}{Ом} = \frac{В}{\frac{В}{А}} = А$$

$$[I_{max}] = \frac{311}{50} \approx 6{,}2\ (А)$$

$$\omega = 2\pi\nu \qquad [\omega] = Гц = с^{-1} \qquad \omega = 2\pi \cdot 50 = 100\pi\ (с^{-1})$$

$$u(t) = U_{max}\cos(\omega t + \varphi_0)$$

$$u = 311\cos 100\pi t$$

$$i(t) = I_{max}\cos(\omega t + \varphi_0)$$

$$i = 6{,}2\cos 100\pi t$$

Відповідь: $u = 311\cos 100\pi t$; $i = 6{,}2\cos 100\pi t$

$u = 311\cos 100\pi t$; $i = 6{,}2\cos 100\pi t$.

3. Який опір має конденсатор ємністю 4 мкФ у колах з частотою змінного струму 50 і 400 Гц?

Дано:

$C = 4$ мкФ

$= 4 \cdot 10^{-6}$ Ф

$\nu_1 = 50$ Гц

$\nu_2 = 400$ Гц

$X_{C1} - ?$

$X_{C2} - ?$

Розв'язання

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi\nu C}$$

$$[X_C] = \frac{1}{\text{Гц} \cdot \text{Ф}} = \frac{1}{\frac{1}{\text{с}} \cdot \frac{\text{Кл}}{\text{В}}} = \frac{1}{\frac{1}{\text{с}} \cdot \frac{\text{А} \cdot \text{с}}{\text{В}}} = \frac{\text{В}}{\text{А}} = \text{Ом}$$

$$X_{C1} = \frac{1}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 50 \cdot 4 \cdot 10^{-6}} \approx 796{,}2 \text{ (Ом)}$$

$$X_{C2} = \frac{1}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 400 \cdot 4 \cdot 10^{-6}} \approx 99{,}5 \text{ (Ом)}$$

$X_{C1} \approx 0{,}8$ кОм; $X_{C2} \approx 0{,}1$ кОм

Відповідь:

$X_{C1} \approx 0{,}8$ кОм; $X_{C2} \approx 0{,}1$ кОм.

4. Який індуктивний опір провідника, індуктивність якого 0,2 Гн, при частоті струму 50 Гц? 400 Гц?

Дано:

$L = 0{,}2$ Гн

$\nu_1 = 50$ Гц

$\nu_2 = 400$ Гц

$X_{L1} - ?$

$X_{L2} - ?$

Розв'язання

$$X_L = \omega L = 2\pi\nu L$$

$$[X_L] = \text{Гц} \cdot \text{Гн} = \frac{1}{\text{с}} \cdot \frac{\text{В}}{\text{А/с}} = \frac{\text{В}}{\text{А}} = \text{Ом}$$

$$X_{L1} = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 50 \cdot 0{,}2 = 62{,}8 \text{ (Ом)}$$

$$X_{L2} = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 400 \cdot 0{,}2 = 502{,}4 \text{ (Ом)}$$

Відповідь: $X_{L1} = 62{,}8$; $X_{L2} = 502{,}4$ Ом

$X_{L1} = 62{,}8$; $X_{L2} = 502{,}4$ Ом.

5. При якій частоті змінного струму індуктивний опір провідника з індуктивністю 0,2 Гн дорівнює 200 Ом?

Дано:

$L = 0{,}2$ Гн

$X_L = 200$ Ом

$\nu - ?$

Розв'язання

$$X_L = \omega L = 2\pi\nu L \quad => \quad \nu = \frac{X_L}{2\pi L}$$

$$[\nu] = \frac{\text{Ом}}{\text{Гн}} = \frac{\frac{\text{В}}{\text{А}}}{\frac{\text{В}}{\text{А/с}}} = \frac{1}{\text{с}} = \text{Гц}$$

$$\nu = \frac{200}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}2} \approx 159{,}2 \text{ (Гц)}$$

Відповідь: $\nu \approx 159{,}2$ Гц $\nu \approx 159{,}2$ Гц.

6. Конденсатор у ланцюзі змінного струму із частотою 2 кГц має опір 15 Ом. Яка ємність цього конденсатора?

Дано:

$\nu = 2$ кГц

$= 2 \cdot 10^3$ Гц

$X_C = 15$ Ом

$C - ?$

Розв'язання

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi\nu C} \quad => \quad C = \frac{1}{2\pi\nu X_C}$$

$$[C] = \frac{1}{\text{Гц} \cdot \text{Ом}} = \frac{1}{\frac{1}{\text{с}} \cdot \frac{\text{В}}{\text{А}}} = \frac{1}{\frac{\text{В}}{\text{Кл}}} = \frac{\text{Кл}}{\text{В}} = \text{Ф}$$

$$C = \frac{1}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 2 \cdot 10^3 \cdot 15} \approx 5{,}3 \cdot 10^{-6}\ (\text{Ф})$$

Відповідь: $C \approx 5{,}3$ мкФ $C \approx 5{,}3$ мкФ.

7. До резистора з опором 108 Ом послідовно приєднали конденсатор ємністю 40 мкФ. Визначте опір цієї ділянки, якщо її підключити до мережі змінного струму стандартної частоти.

Дано:

$R = 108$ Ом

$C = 40$ мкФ

$= 40 \cdot 10^{-6}$ Ф

$\nu = 50$ Гц

$Z - ?$

Розв'язання

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \qquad X_L = 0 \qquad X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi\nu C}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{2\pi\nu C}\right)^2}$$

$$[Z] = \sqrt{\text{Ом}^2 + \left(\frac{1}{\text{Гц} \cdot \text{Ф}}\right)^2} = \sqrt{\text{Ом}^2 + \left(\frac{1}{\frac{1}{\text{с}} \cdot \frac{\text{А} \cdot \text{с}}{\text{В}}}\right)^2} = \text{Ом}$$

$$Z = \sqrt{108^2 + \left(\frac{1}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 50 \cdot 40 \cdot 10^{-6}}\right)^2} \approx 134\ (\text{Ом})$$

Відповідь: $Z \approx 134$ Ом $Z \approx 134$ Ом.

8. Визначте опір ділянки кола змінного струму із частотою 1 кГц, що складається з послідовно з'єднаних конденсатора ємністю 0,1 мкФ і котушки індуктивністю 0,5 Гн.

Дано:

$\nu = 1$ кГц

$= 1 \cdot 10^3$ Гц

$C = 0{,}1$ мкФ

$= 1 \cdot 10^{-7}$ Ф

$L = 0{,}5$ Гн

$Z - ?$

Розв'язання

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$R = 0 \qquad X_L = \omega L = 2\pi\nu L \qquad X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi\nu C}$$

$$Z = \sqrt{\left(2\pi\nu L - \frac{1}{2\pi\nu C}\right)^2} = 2\pi\nu L - \frac{1}{2\pi\nu C}$$

$$[Z] = \text{Гц} \cdot \text{Гн} - \frac{1}{\text{Гц} \cdot \text{Ф}} = \frac{1}{\text{с}} \cdot \frac{\text{В}}{\frac{\text{А}}{\text{с}}} - \frac{1}{\frac{1}{\text{с}} \cdot \frac{\text{А} \cdot \text{с}}{\text{В}}} = \text{Ом}$$

$$Z = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 1 \cdot 10^3 \cdot 0{,}5 - \frac{1}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 1 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^{-7}} = 3140 - 1592$$

Відповідь: $Z \approx 1{,}55$ кОм $Z \approx 1{,}55$ кОм.