



Міністерство освіти і науки України  
Національно технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»

## **Лабораторна робота №51**

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ОДНОРІДНОЇ ДОВГОЇ ЛІНІЇ БЕЗ ВТРАТ**

Виконав: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Перевірив: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Київ**

## Лабораторна робота № 51

### ДОСЛІДЖЕННЯ ОДНОРІДНОЇ ДОВГОЇ ЛІНІЇ БЕЗ ВТРАТ

#### Мета роботи

У процесі виконання роботи студенти повинні ознайомитися:

- 1) з хвильовими процесами в однорідних довгих лініях без втрат у сталих синусоїдних режимах;
- 2) з розподілом уздовж лінії миттєвих і діючих значень струмів і напруг у режимах н.х., к.з., а також при навантаженні на реактивний та активний опори;
- 3) з режимом узгодженого навантаження;

#### Підготовка до роботи

При підготовці до роботи необхідно вивчити рекомендовану літературу, ознайомитися з методичними вказівками, описом лабораторної установки, робочим завданням, підготувати протокол звіту та відповіді на наступні питання:

- а) Як визначити первинні та вторинні параметри довгої лінії без втрат?
- б) Записати рівняння довгої однорідної лінії без втрат у сталих режимах при синусоїдній входній напрузі.
- в) Коли спостерігаються стоячі хвилі в лінії?
- г) Записати рівняння стоячих хвиль у режимах н.х. та к.з..
- д) Чим характеризуються стоячі хвилі?
- е) Який характер мають входні опори довгої лінії без втрат у режимах н.х., к.з. і чисто реактивного навантаження?
- ж) З якою метою і як використовуються відрізки довгої лінії без втрат?
- з) При яких навантаженнях спостерігається режим мішаних хвиль і що для нього характерно?
- и) Який режим називається режимом узгодженого навантаження і чим він характеризується?
- к) Як на практиці узгоджуються лінія та навантаження?

#### Опис лабораторної установки

Лабораторний макет для експериментального дослідження процесів складається з високочастотного генератора, однорідної лінії, вимірювального пристрою, набору ємнісних і резистивних елементів навантажень, а також закоротки для здійснення режиму к.з.. Генератор високочастотних коливань, що виробляє синусоїдну напругу стабільної частоти, за допомогою витка зв'язку підключений до досліджуваної повітряної двопровідної лінії. Поруч із лінією укріплена лінійка, призначена для виміру відстані між кінцем лінії і точкою, у якій розміщується вимірювальний пристрій. Вимірювальний пристрій являє собою коливальний контур з вентильним елементом, підключений до мікроамперметра, покази якого пропорційні діючому значенню напруги в тій точці лінії, у якій він перебуває. Вимірювальний пристрій переміщується уздовж лінії за допомогою блоку.

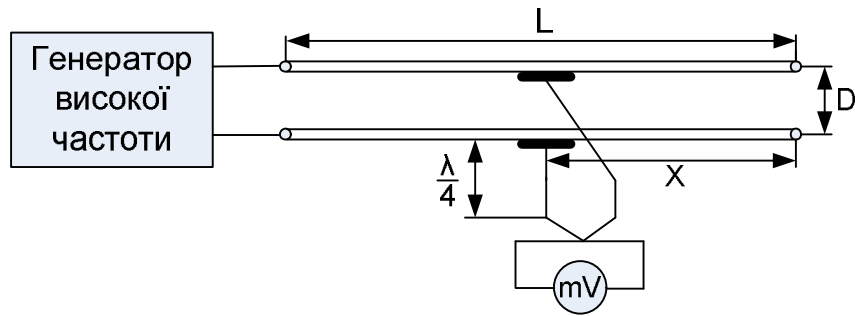


Рис.53.1

### Порядок виконання роботи

1. Виміряти геометричні розміри лінії: довжину  $l$ , відстань між проводами  $D$ , діаметр проводів  $d$ .

2. Увімкнути генератор високої частоти (рис.53.1) і за допомогою вимірювального пристрою зняти розподіл напруги уздовж лінії:

- а) розімкненої на кінці;
- б) короткозамкненої лінії;

3. Підключити в кінці лінії наступні види навантаження і зняти розподіл напруги уздовж лінії:

- а) активний опір, що дорівнює хвильовому опору лінії  $Z_{xв}$ ;
- б) активний опір, що не дорівнює хвильовому опору лінії;
- в) конденсатор невідомої ємності.

Виміри слід проводити, рухаючись від кінця лінії до її початку через кожні 5 см, фіксуючи при цьому положення вузлів і пучностей (мінімумів і максимумів) у проміжних точках.

4. Отримані результати вимірів занести в таблицю 53.1

### Обробка результатів дослідів

1. Через геометричні розміри лінії обчислити погонні індуктивність та ємність ( $L_0, C_0$ ) та хвильовий опір ( $Z_{xв}$ ) лінії.

2. За координатами вузлів напруги визначити довжину електромагнітної хвилі  $\lambda$ , з огляду на те, що відстань між двома сусідніми вузлами відповідає  $\lambda/2$ . Після цього розрахувати частоту сигналу  $\omega$  в лінії та її коефіцієнт фази  $\beta$ .

3. За даними дослідів пп. 2-3 побудувати графіки розподілу діючих значень напруг уздовж лінії  $U=f(x)$ .

4. За даними дослідів п. 2 побудувати графіки розподілу миттєвих значень напруг уздовж лінії  $u(x,t)$  при  $t=0, T/4, T/2, 3T/4, \dots$ , вважаючи початкову фазу напруги на кінці лінії рівною нулю в режимі н.х. і початкову фазу струму на кінці лінії в режимі к.з. також рівною нулю.

5. За даними дослідів п. 3.в. визначити ємність конденсатора, включеного на кінці лінії.

6. За даними досліду п. 3.б. визначити підключений до лінії активний опір, а також коефіцієнти біжучої хвилі  $K_{б.х.}$  і стоячої хвилі  $K_{с.х.}$
7. Визначити параметри узгоджувального чверть хвильового трансформатора для узгодження лінії, що досліджується з активним навантаженням, яке не дорівнює хвильовому опору (п.3.б).
8. Зробіть висновки по роботі.

Таблиця 53.1

$X$ (см)	$U_{HX}$	$U_{Kз.}$	$U_c$	$U_{R1}$	$U_{R2}$
0					
5					
10					
15					
20					
25					
30					
35					
40					
45					
50					
55					
60					
65					
70					
75					
80					
85					
90					
95					
100					
105					
110					
115					
120					
125					
130					
135					
140					
145					
150					
155					
160					

## Методичні вказівки

Лінію, у якій відсутні втрати енергії, називають ідеальною лінією, або лінією без втрат. Для коротких високочастотних ліній справедливе співвідношення  $R_0 \ll \omega L_0$  й  $G_0 \ll \omega C_0$ . Тому часто розглядають такі двопровідні та коаксіальні лінії, як лінії без втрат. Лінію без втрат варто розглядати як ідеалізацію дійсної лінії. Така ідеалізація не вносить помітних кількісних похибок і дозволяє більш характерно виявити якісні особливості виникаючих процесів.

Основні параметри ідеальної лінії, при умові, що  $R_0=0$  і  $G_0=0$ :

Хвильовий опір:

$$\underline{z}_{xв} = \sqrt{\frac{R_0 + j\omega L_0}{G_0 + j\omega C_0}} = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}}. \quad (53.1)$$

Хвильовий опір лінії без втрат - активний й не залежить від частоти.

Стала поширення:  $\underline{\gamma} = \sqrt{(R_0 + j\omega L_0)(G_0 + j\omega C_0)} = j\omega\sqrt{L_0 C_0} = j\beta$ . (53.2)

Отже в лінії без втрат коефіцієнт згасання  $\alpha=0$ , а коефіцієнт фази  $\beta = \omega\sqrt{L_0 C_0}$ .

Таким чином, вторинні параметри лінії - хвильовий опір і стала поширення - залежать від погонних (на одиницю довжини) індуктивності і ємності. За умови, що відстань між проводами  $D$  набагато більше радіусу проводу  $r$ , індуктивність та ємність на одиницю довжини відповідно визначають за формулами:

$$L_0 = \frac{\mu_0 \mu_r}{\pi} \ln \frac{D}{r}; \quad C_0 = \frac{\pi \varepsilon_0 \varepsilon_r}{\ln \frac{D}{r}}, \quad (53.3)$$

де  $\mu_0$  та  $\varepsilon_0$  відповідно магнітна та діелектрична проникності порожнечі;

$\mu_0 = 10^{-7} \text{ Гн/м}$ ;  $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$ . а  $\mu_r$  та  $\varepsilon_r$  - відносні магнітна та діелектрична проникності оточуючого середовища.

Фазова швидкість лінії:  $v = \frac{\lambda}{T} = \frac{\omega}{\beta} = \frac{\omega}{\omega\sqrt{L_0 C_0}} = \frac{1}{\sqrt{L_0 C_0}} = c \frac{1}{\sqrt{\mu_r \varepsilon_r}}$ . (53.4)

Фазова швидкість хвилі в лінії без втрат не залежить від частоти. Для повітряних ліній  $\varepsilon_r = \mu_r = 1$ , тому фазова швидкість збігається із швидкістю світла  $c$ . Для кабельних ліній  $\mu_r = 1$ ,  $\varepsilon_r > 1$ , тому  $v < c$ .

$$\text{Довжина хвилі} \quad \lambda = \frac{2\pi}{\beta} = \frac{2\pi}{\omega\sqrt{L_0 C_0}} = \frac{c}{f} \cdot \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_r \mu_r}}. \quad (53.5)$$

Лінія без втрат - окремий випадок лінії, що не спотворює форму сигналу, який поширюється уздовж лінії.

Рівняння ідеальної лінії виходять із рівнянь реальної лінії, записаних у комплексній формі з використанням гіперболічних функцій і з урахуванням, що  $\underline{\gamma} = j\beta$ :

$$\begin{aligned} \dot{U}(x) &= \dot{U}_2 \operatorname{ch} \gamma x + I_2 \underline{z}_{xg} \operatorname{sh} \gamma x = \dot{U}_2 \cos \beta x + j I_2 \underline{z}_{xg} \sin \beta x ; \\ \dot{I}(x) &= \frac{\dot{U}_2}{\underline{z}_{xg}} \operatorname{sh} \gamma x + I_2 \operatorname{ch} \gamma x = j \frac{\dot{U}_2}{\underline{z}_{xg}} \sin \beta x + I_2 \cos \beta x . \end{aligned} \quad (53.6)$$

Тут координата  $x$  відраховується від кінця лінії.

Вхідний опір відрізка лінії, навантаженої на опір  $\underline{Z}_2$  щодо розглянутої точки з координатою  $x$ :

$$\underline{z}(x) = \frac{\dot{U}(x)}{\dot{I}(x)} = \underline{z}_{xg} \frac{\underline{z}_2 + j \underline{z}_{xg} \operatorname{tg} \frac{2\pi}{\lambda} x}{j \underline{z}_2 \operatorname{tg} \frac{2\pi}{\lambda} x + \underline{z}_{xg}} .$$

Напругу  $\dot{U}_1$ , силу струму  $\dot{I}_1$  на вході лінії, а також вхідний опір  $\underline{Z}_{вх}$  отримують із наведених виразів (53.6) підстановкою  $x=l$ . Ці вирази є основними для аналізу сталих процесів у різних режимах роботи ідеальної лінії.

**Стоячі хвилі в лінії.** У режимах н.х., к.з. і чисто реактивного навантаження спостерігаються стоячі хвилі. Вони виникають як результат накладання двох зустрічних незгасаючих хвиль, що рухаються із однаковою швидкістю та мають однакові амплітуди. Розглянемо процес їхнього формування у зазначених режимах.

При н.х. ( $\underline{z}_2 = \infty$ ,  $\dot{I}_2 = 0$ ) рівняння лінії (53.6) набувають вигляду (53.7):

$$\dot{U}(x) = \dot{U}_2 \cos \beta x ; \quad \dot{I}(x) = j \frac{\dot{U}_2}{\underline{z}_{xg}} \sin \beta x . \quad (53.7)$$

Розподіл миттєвих значень напруги та струму при  $\psi_{U_2} = 0$ , (тобто  $\dot{U}_2 = U_2$ ) описується рівняннями (53.8), які являють собою рівняння стоячих хвиль.

$$u(x) = \sqrt{2} U_2 \cos \beta x \cdot \sin \omega t ; \quad i(x) = \frac{U_2}{\underline{z}_{xg}} \sin \beta x \cdot \cos \omega t . \quad (53.8)$$

Рівняння (53.8) показують, що в точках, де  $\cos \beta x = 0$ , у будь-який момент часу напруга дорівнює нулю, а в точках, для яких  $\cos \beta x = 1$ , вона завжди максимальна. Струм в будь-який момент часу дорівнює нулю в точках для яких  $\sin \beta x = 0$ , і завжди максимальний в точках, де  $\sin \beta x = 1$ . Струм випереджає по фазі напругу на  $90^\circ$  (коли знаки  $\sin \beta x$  та  $\cos \beta x$  однакові) і відстає по фазі на  $90^\circ$  від напруги, коли знаки  $\sin \beta x$  та  $\cos \beta x$  протилежні. На рис.2 демонструється зміна миттєвих значень напруги для різних моментів часу в режимі стоячих хвиль при н.х. рис.2а та при к.з. рис 2б. Тут продемонстровано, що переміщення хвиль уздовж лінії відсутнє а відбувається тільки зміна у часі амплітуди напруги (струму). У вузлах напруга (струм) стоячої хвилі весь час дорівнює нулю.

Останні рівняння приводяться до вигляду (53.9):

$$u(x,t) = \sqrt{2} \frac{U_2}{2} \sin(\omega t + \beta x) + \sqrt{2} \frac{U_2}{2} \sin(\omega t - \beta x);$$

$$i(x,t) = \sqrt{2} \frac{U_2}{2Z_{x\phi}} \sin(\omega t + \beta x) - \sqrt{2} \frac{U_2}{2Z_{x\phi}} \sin(\omega t - \beta x).$$
(53.9)

Перші доданки являють собою прямі хвилі, що поширюються зі швидкістю  $V$  від початку до кінця лінії, а другі доданки – зворотні хвилі, що поширюються з тією ж швидкістю у зворотному напрямку. Отже

$$u(x,t) = u_\phi(x,t) + u_\psi(x,t); \quad i(x,t) = i_\phi(x,t) - i_\psi(x,t);$$
(53.10)

Графіки розподілу миттєвих значень напруги в різні моменти часу в режимах неробочого ходу а), та короткого замикання б).

$$u_{HX}(x,t) = \sqrt{2}U_2 \cos \beta x \cdot \sin \omega t ; \quad u_{K3}(x,t) = \sqrt{2}I_2 z_{x\phi} \cdot \sin \beta x \cdot \cos \omega t .$$

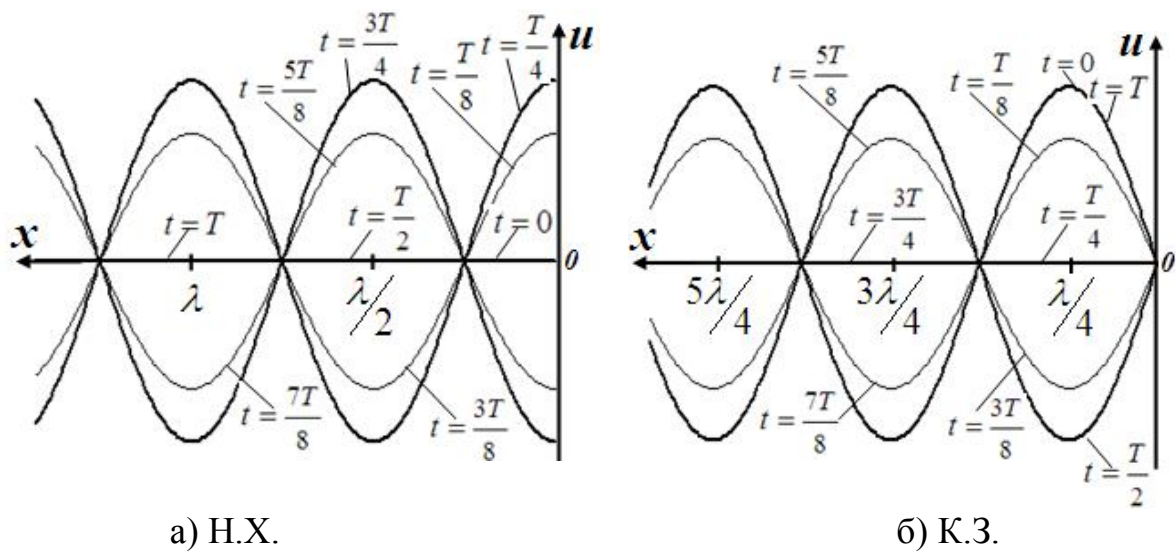


Рис.53.2

При н.х. (Рис.53.2а) наприкінці лінії та у точках, що знаходяться від кінця на відстанях  $x = \frac{k\pi}{\beta} = k \frac{\lambda}{2}$ , ( $k$  – число півхвиль, які вкладаються у відстані  $x$ ) спостерігаються максимуми напруги, які називаються пучностями, і нулі струму, які називаються вузлами. На відстанях від кінця лінії  $x = \frac{(2k+1)\pi}{2\beta} = (2k+1) \frac{\lambda}{4}$  спостерігаються вузли напруги й пучності струму. Вузли і пучності напруги та струму нерухомі. Найближчий вузол струму розташований від найближчих вузлів напруги на відстанях, що дорівнюють чверті довжини хвилі  $\frac{\lambda}{4}$ , тобто вузли струму збігаються з пучностями напруги і навпаки.

Аналогічна картина спостерігається і в режимі короткого замикання, але вузли і пучності в цьому режимі зсуваються вбік генератора на відстань  $\frac{\lambda}{4}$ . Рівняння цих хвиль приведені в таблиці 53.2.

На рис.53.4 показані графіки розподілу діючих значень напруги та

струму уздовж лінії, а також модуля вхідного комплексного опору залежно від відстані до кінця лінії в режимах н.х. (рис.53.4а) та к.з. (рис.53.4б) Вони побудовані відповідно до виразів, наведених в таблиці 53.2.

Таблиця 53.2

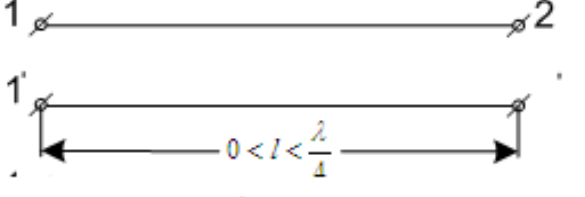
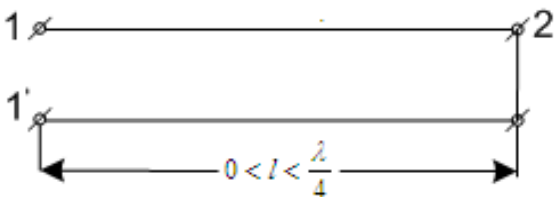
Лінія в кінці розімкнена, $I_2 = 0$	Лінія в кінці замкнена, $U_2 = 0$
 <p style="text-align: center;">а) Н.Х.</p>	 <p style="text-align: center;">б) К.З.</p>
<p>Рівняння розподілу діючих значень напруги і струму, та вхідного опору в режимах:</p>	
<p style="text-align: center;">а) Н.Х.</p> $U(x) = U_2  \cos \beta x ;$ $I(x) = \frac{U_2}{Z_{xв}}  \sin \beta x ;$ $Z_x = Z_{xв} \operatorname{ctg} \frac{2\pi}{\lambda} x.$	<p style="text-align: center;">б) К.З.</p> $U(x) = I_2 Z_{xв} \cdot  \sin \beta x ;$ $I(x) = I_2 \cdot  \cos \beta x ;$ $Z_k = j Z_{xв} \cdot \operatorname{tg} \frac{2\pi}{\lambda} x$

Рис. 53.3

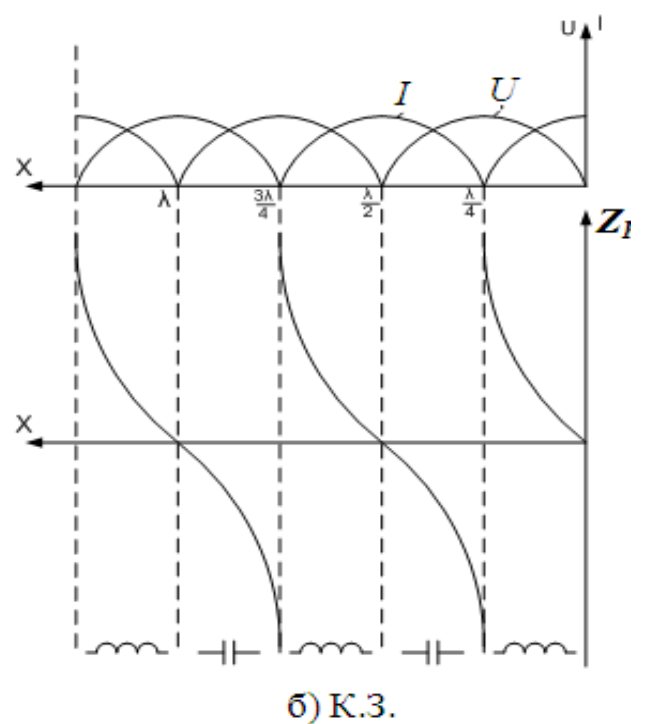
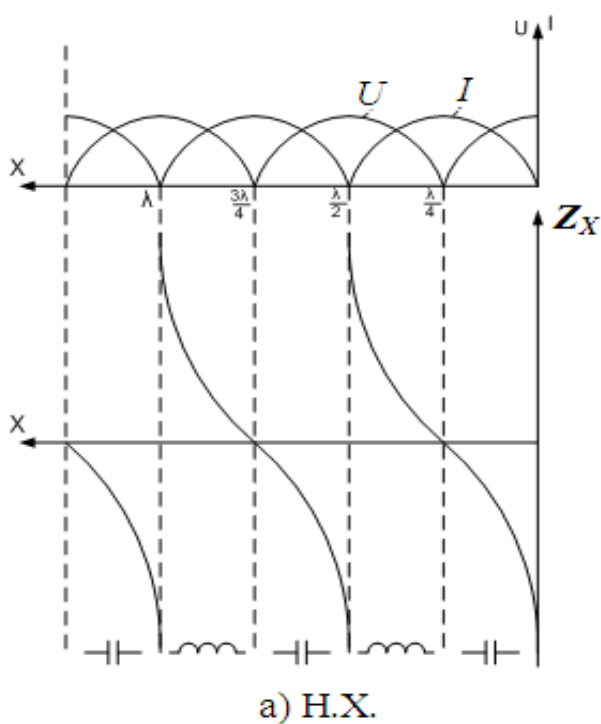




Рис.53.4. Графіки розподілу діючих значень напруги і струму та модуля відножного опору в режимах неробочого ходу а), та короткого замикання б).

У режимах н.х. і к.з. (Рис.53.4) вхідний опір відрізків лінії відповідної довжини на фіксованій частоті живлення може бути індуктивним або ємнісним. Як видно із графіків, лінія без втрат довжиною  $0 < l < \frac{\lambda}{4}$  в режимі н.х. (рис.53.4а) має чисто ємнісний опір, а в режимі к.з. (рис.53.4б). - чисто індуктивний.

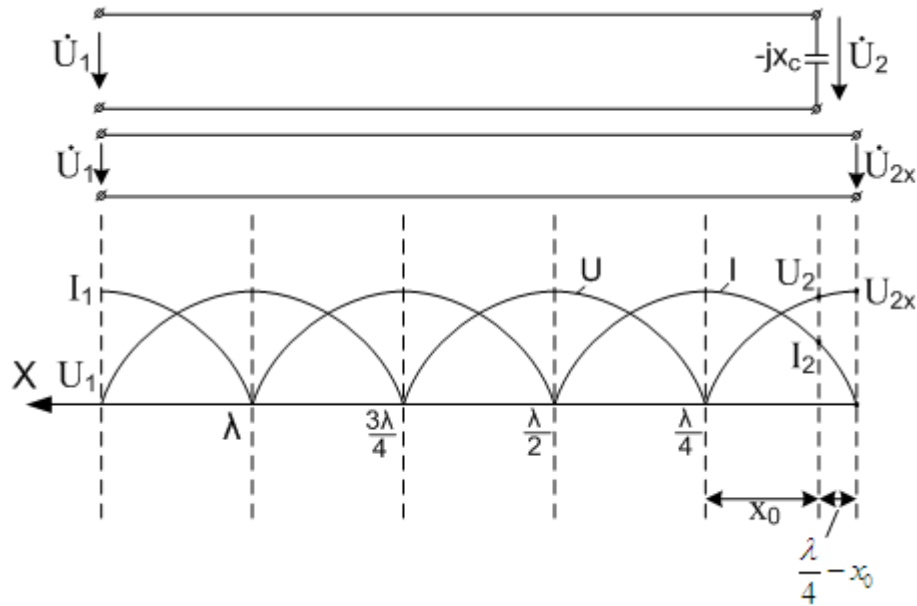


Рис. 53.5

При навантаженні лінії на чисто реактивний опір також спостерігається режим стоячих хвиль, тільки наприкінці лінії при цьому немає ні вузла, ні пучності напруги або струму. Найпростіший доказ цього положення показаний на рис. 53.5. Тобто елемент навантаження із зосередженими параметрами ( $Z_2 = -jX_c$ ) можна замінити відрізком довгої лінії з тим самим вхідним опором. Цей реактивний опір знайдемо із співвідношення:

$$X_C = Z_{xв} \cdot \operatorname{ctg} \frac{2\pi}{\lambda} \left( \frac{\lambda}{4} - x_0 \right),$$

де  $x_0$  – відстань від кінця лінії до найближчого вузла напруги.

Опір конденсатора можна обчислити і по іншому. Запишемо рівняння лінії:

$$\dot{U}(x_0) = \dot{U}_2 \cos(\beta x_0) + jZ_{xв} \dot{I}_2 \sin(\beta x_0) = 0, \text{ звідки } Z_2 = -jX_C = \frac{\dot{U}_2}{\dot{I}_2} = -jZ_{xв} \operatorname{tg}(\beta x_0)$$

Підбиваючи підсумок розглянутим режимам, відзначимо, що рух енергії від генератора до навантаження при наявності стоячих хвиль відсутній. ККД в цих режимах дорівнює нулю.

На ділянках лінії відбувається коливання енергії між електричним і

магнітним полями. Енергія, зосереджена в магнітному полі за чверть періоду перетворюється на чверть хвильовому відрізьку лінії в енергію електричного поля. В наступні чверть періоду відбувається зворотне перетворення електричної енергії в магнітну і далі процес повторюється.

В ідеальній лінії, навантаженій на активно-реактивний опір або на активний опір, який не дорівнює хвильовому встановлюється режим мішаних хвиль.

При активному навантаженні  $\dot{U}_2 = \dot{I}_2 R_2$  і після введення коефіцієнта, що характеризує співвідношення між хвильовим опором лінії та опором навантаження  $m = \frac{z_{x_0}}{R_2}$ , рівняння лінії без втрат приймуть наступний вигляд:

$$\begin{aligned} \dot{U}(x) &= \dot{U}_2 (\cos \beta x + jm \cdot \sin \beta x); \\ \dot{I}(x) &= \frac{\dot{U}_2}{z_{x_0}} (m \cdot \cos \beta x + j \sin \beta x). \end{aligned} \quad (53.11)$$

Виконуючи перетворення й переходячи до миттєвих значень напруги й сили струму, отримуємо

$$\begin{aligned} u(x) &= \sqrt{2} U_2 \sin(\omega t + \beta x) + \sqrt{2} U_2 (m - 1) \sin \beta x \cdot \cos \omega t; \\ i(x) &= \sqrt{2} \frac{U_2}{z_{x_0}} \sin(\omega t + \beta x) + \sqrt{2} \frac{U_2}{z_{x_0}} (m - 1) \cos \beta x \cdot \sin \omega t. \end{aligned} \quad (53.12)$$

У цих виразах напруга й струм представлені сумами двох доданків. Перший з них - незгасаюча хвиля, яка поширюється від початку до кінця лінії, а друга – стояча хвиля. Отже, мішана хвиля це результат накладання біжучої та стоячої хвиль.

Закон зміни діючих значень напруги і струму як функції координати  $x$  описується рівняннями (53.13):

$$U(x) = U_2 \sqrt{\cos^2 \beta x + m^2 \sin^2 \beta x}; \quad I(x) = \frac{U_2}{z_{x_0}} \sqrt{m^2 \cos^2 \beta x + \sin^2 \beta x}; \quad (53.13)$$

У точках лінії  $x = k \frac{\lambda}{2}$  ( $0, \frac{\lambda}{2}, \frac{3\lambda}{2}, \frac{5\lambda}{2}, \dots$ );

$$\sin \beta x = 0; \cos \beta x = 1; U = U_2; I = \frac{U_2}{z_{x_0}} m = \frac{U_2}{R_2} = I_2$$

У точках лінії  $x = (2k + 1) \frac{\lambda}{4}$  ( $\frac{\lambda}{4}, \frac{3\lambda}{4}, \frac{5\lambda}{4}, \dots$ );

$$\sin \beta x = 1; \cos \beta x = 0; U = U_2 m; I = \frac{U_2}{z_{x_0}} = \frac{U_2}{m R_2} = \frac{I_2}{m}.$$

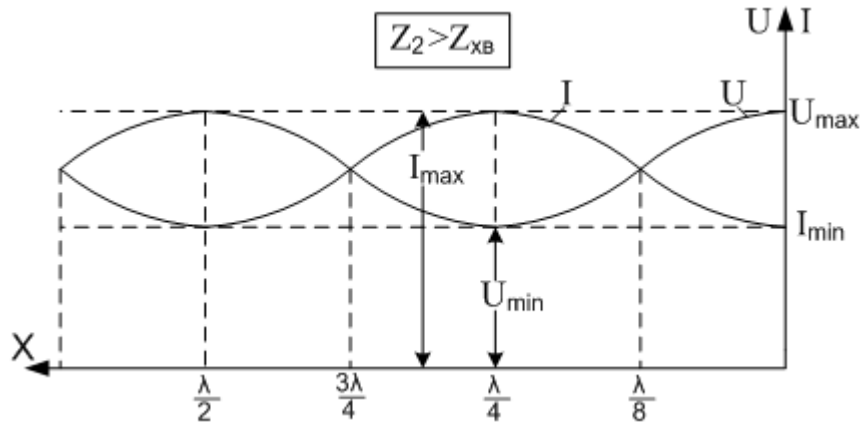


Рис. 53.6

На рис.53.6 показані графіки зміни діючих значень напруги і струму уздовж лінії для  $m < 1$  (режим відносно  $Z_{XB}$  ближче до н.х.). Якщо  $m > 1$  (режим відносно  $Z_{XB}$  ближче до режиму к.з.), графіки напруги й струму поміняються місцями. Чим більше  $m$  відрізняється від одиниці в ту або іншу сторону, тим різкіше проявляються стоячі хвилі. При  $m = 0$  (н.х.) і  $m = \infty$  (к.з.) у лінії спостерігаються тільки стоячі хвилі. Чим ближче  $m$  до одиниці, тим значніше позначаються біжучі хвилі. Стоячі хвилі відсутні при  $m = 1$  або  $R_2 = Z_{XB}$ , тобто коли лінія узгоджена з навантаженням графіки зміни діючих значень  $U(x)$  і  $I(x)$  – прямі лінії

Для характеристики ступеня узгодження лінії з навантаженням користуються коефіцієнтом біжучої хвилі (завжди менше одиниці)

$$K_{\text{бх}} = \frac{U_{\text{min}}}{U_{\text{max}}} = \frac{I_{\text{min}}}{I_{\text{max}}}; \text{ зворотна величина – коефіцієнт стоячої хвилі } K_{\text{сх}} = \frac{1}{K_{\text{бх}}}$$

Графіки рис.53.6 можна використати для визначення опору навантаження  $R_2$  через діючі значення  $U_{\text{max}} = Z_{XB} I_{\text{max}}$  та  $U_{\text{min}} = Z_{XB} I_{\text{min}}$ .

Згідно графіка рис.53.6,  $R_2 = \frac{U_{\text{max}}}{I_{\text{min}}} = Z_{XB} \frac{U_{\text{max}}}{U_{\text{min}}} = Z_{XB} \cdot K_{\text{сх}}$ . Тобто в цьому

випадку  $R_2 > Z_{XB}$ .

В іншій ситуації, коли в кінці лінії буде мінімум напруги та максимум струму  $R_2 = \frac{U_{\text{min}}}{I_{\text{max}}} = Z_{XB} \frac{U_{\text{min}}}{U_{\text{max}}} = Z_{XB} \cdot K_{\text{бх}}$  і в цьому випадку маємо  $R_2 < Z_{XB}$ .

Якщо навантаження лінії активно-реактивне, то в лінії також спостерігаються мішані хвилі, тільки максимумами і мінімумами будуть зміщені.

Режим узгодженого навантаження ( $R_2 = Z_{XB}$ ) представляє великий практичний інтерес у високочастотних фідерних лініях і в лініях дротового зв'язку. Рівняння для діючих і миттєвих значень напруги й струму в цьому випадку, як наслідок з виразів (53.1) і (53.2), при  $m = 1$  наступні:

$$U(x) = U_2 e^{-j\beta x}; i(x) = \frac{U_2}{Z_B} e^{-j\beta x}; u(x) = \sqrt{2} U_2 \cdot \sin(\omega t + \beta x);$$

$$i(x) = \sqrt{2} \frac{U_2}{Z_{XB}} \cdot \sin(\omega t + \beta x).$$

З останніх рівнянь видно, що в цьому режимі в лінії існують тільки

біжучі (падаючі) хвилі. Відсутність відбитих хвиль призводить до того, що потужність, що віддається генератором в узгоджену лінію, повністю споживається навантаженням. Важливою позитивною властивістю такого режиму є також те, що генератор, що живить лінію, працює на сталий активний опір, який не залежить від довжини лінії й частоти. Незалежність амплітуд напруги й сили струму від частоти забезпечує відсутність спотворень, внесених лінією при передачі сигналів. Крім того, у реальній узгодженій лінії відсутні втрати за рахунок відбитої хвилі, тому узгоджена лінія має мінімальні втрати.

На практиці опором навантаження може виявитися будь-який активний або комплексний опір, що не задовольняє умові узгодження. Для забезпечення режиму біжучих хвиль в основній лінії, навантаженої на активний опір, який не дорівнює хвильовому використовують чверть хвильовий трансформатор. На рис.53.7 показана схема, по якій здійснюється узгодження основної лінії з хвильовим опором  $Z_{XB}$  і активним опором навантаження  $Z_2 = R_2$  ( $R_2 \neq Z_{XB}$ ). Узгоджувальний пристрій, являє собою відрізок лінії довжиною  $\frac{\lambda}{4}$ , хвильовий опір якого відрізняється від  $Z_{XB}$ . Він вмикається між лінією та навантаженням у вигляді чверть хвильової вставки і називається чверть хвильовим трансформатором. Його хвильовий опір розраховують за формулою  $Z_T = \sqrt{R_2 Z_{XB}}$ .

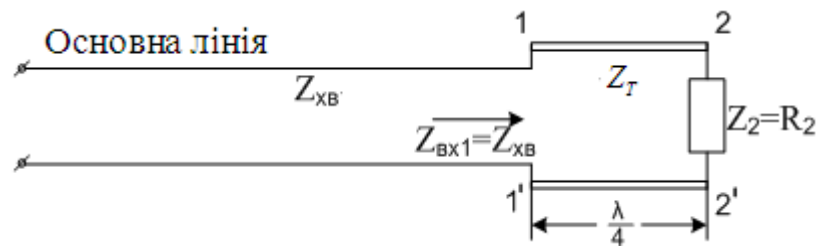


Рис.53.7

На невеликій ділянці допоміжної лінії довжиною  $\frac{\lambda}{4}$  існують мішані хвилі, а в основній лінії тільки падаючі. [1, 3, 5, с.538-548]

### Питання для самостійної роботи

1. Чи можливо на вході лінії нульове діюче значення напруги або струму в режимах стоячих і змішаних хвиль?
2. Як зміниться розподіл діючих значень напруги і струму уздовж лінії в розглянутих випадках при зміні частоти напруги живлення?
3. Як використовуються замкнені та розімкнені на кінці відрізки лінії.
4. Що таке чверть хвильовий трансформатор, та з якою метою його використовують.

### Література

1. Бойко В.С., Бойко В.В., Видолоб Ю.Ф. Теоретичні основи електротехніки: Підручник: У 3 т. Видавництво «Політехніка», 2004. – Т.1: Усталені режими лінійних електричних кіл із зосередженими параметрами. – 272 с.: іл. Т.1: Усталені режими лінійних електричних кіл із зосередженими параметрами. – 272 с.: іл.
2. Паначевний Б.І., Свергун Ю.Ф. Загальна електротехніка: Підручник. 2-ге вид. – К.: Каравела, 2007. – 296 с.
4. Нэйман Л.Р., Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники. - Л.: Энергоиздат, 1981, т.2. - 415 с.
5. Зевеке Г.В., Ионкин П.А., Нетушил А.В., Страхов С.В. Основы теории цепей. - М.: Энергия, 1975, - 752 с.