

# ЛАБОРАТОРНА РОБОТА ТЕ17

## Дослідження ліній передачі інформації з витратами потужності.

### 17.1. Мета роботи

Метою роботи є дослідження ліній передачі інформації з витратами потужності як електричного ланцюга з розподіленими параметрами. Результатом засвоєння роботи повинно бути вміння розраховувати параметри ліній передачі інформації для різних режимів роботи.

### 17.2. Основні теоретичні положення

В попередніх роботах ми розглядали електричні лінії, в яких можна знехтувати струмами, що обумовлені ємністю між проводами і провідністю ізоляції (струмами витоку). При великих частотах і напругах, а також при значній довжині лінії, нехтувати їми неприпустимо.

Щоб врахувати змінювання струму і напруги по всій довжині лінії, треба вважати, що кожний, як завгодно малий елемент лінії має опір ( $R$ ) та індуктивність ( $L$ ). Для двопровідної лінії визначаємо ще й ємність між проводами ( $C$ ) та провідність ізоляції ( $G$ ). Таким чином, лінію можна розглядати як коло з розподіленими параметрами, яке містить множину з'єднаних в ланцюг нескінченно малих елементів, кожен з яких має опір, індуктивність, провідність, ємність. Таку лінію називають довгою лінією.

Будемо вважати, що опір, індуктивність, ємність і провідність рівномірно розподілені вздовж лінії (однорідна лінія). Такий тип ліній дуже розповсюджений і використовується для передачі інформації.

Лінія передачі інформації характеризується наступними параметрами:

- Волновий опір, який визначається як відношення амплітудного значення напруги к амплітудному значенню струму в бігучій електромагнітній волні:

$$Z_0 = U_m/I_m = \sqrt{L/C}. \quad (1)$$

- Коефіцієнт ослаблення сигналу  $\alpha$ , який характеризує зменшення амплітуди волни на одиницю довжини лінії:

$$\alpha \approx \frac{R}{2} \sqrt{C/L} + \frac{G}{2} \sqrt{L/C}. \quad (2)$$

- Коефіцієнт  $\beta$  (коефіцієнт фази), який дорівнює змінюванню фази на одиницю довжини лінії:

$$\beta \approx \omega \sqrt{L/C}. \quad (3)$$

Вищенаведені формули є приблизними і мають місце за такими умовами:  $\beta \ll \omega L$  та  $\alpha \ll \omega C$ . В іншому випадку враховується комплексний характер напруги:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{r + j\omega L}{g + j\omega C}}.$$

Зменшення амплітуди волни вздовж лінії обумовлюється втратами в лінії, а змінювання фази – швидкістю розповсюдження електромагнітних коливань. Довжина електромагнітної волни зв'язана з коефіцієнтом фази наступною формулою:

$$\lambda = 2\pi / \beta. \quad (4)$$

Коли електромагнітна волна пересувається від начала лінії до її кінця, вона називається прямою або падаючою волною. Швидкість пересування падаючої волни визначається як швидкість пересування точки, фаза коливань якої залишається постійною і дорівнює

$$v_\phi = \omega / \beta. \quad (5)$$

Через деякий час волна досягає кінця лінії, відбивається і пересувається в зворотному напрямку. Це зворотна або відбита волна і її фазова швидкість дорівнює  $v_\phi = -\omega / \beta$ .

Таким чином, миттєву напругу в лінії можна розглядати як суму двох волн, які пересуваються в протилежних напрямках, при цьому кожна волна згасає в напрямку руху.

Враховуючи формули (4) і (5), можна записати:

$$\beta = \omega / v_\phi = 2\pi f / v_\phi,$$

$$\lambda = v_\phi / f = v_\phi T$$

З вищенаведених формул можна зробити висновок, що за час, який дорівнює одному періоду, як пряма, так і зворотна волна пересувається на відстань, яка дорівнює довжині волни.

Лінія передачі інформації може працювати в двох режимах:

– Узгодженого навантаження (режим бігучої волни). Це характерно для лінії, на виході якої є активний опір  $Z$ , котрий дорівнює волновому опорі  $Z_0$ . За такою умовою, потужність, яка досягла кінця лінії, повністю поглинається, зворотна волна не створюється і коефіцієнт відбиття дорівнює нулю. Це дуже важливо для ліній зв'язку, оскільки зворотна волна створює ефект відлуння на початку лінії, а також витрачається потужність.

– Неузгодженого навантаження, коли на виході ввімкнули опір, який не дорівнює волновому опорі лінії ( $Z \neq Z_0$ ). Найбільш характерні випадки неузгодженого навантаження, коли лінія розімкнута ( $Z = \infty$ ) і коли лінія замкнута ( $Z = 0$ ).

За даними режиму холостого ходу та короткого замикання можна визначити хвильовий опір:

$$Z_0 = \sqrt{Z_X Z_K}.$$

Режим неузгодженого навантаження характеризується наявністю відбитої волни, втратами потужності в лінії і зменшенням амплітуди бігучої волни. Коефіцієнт відбиття в кінці лінії обчислюється за формулою:

$$p = (Z_{вих} - Z_o) / (Z_{вих} + Z_o) = (U_{вих} - Z_o I_{вих}) / (U_{вих} + Z_o I_{вих}).$$

Використовуючи цей коефіцієнт можна розрахувати амплітуди напруги і струму в різних режимах роботи лінії:

$$U_m = U_{відб.} (1 + p), \quad I_m = I_{відб.} (1 - p),$$

де  $U_m$  та  $I_m$  – амплітуди напруги і струму в кінці лінії,

$U_{відб.}$  та  $I_{відб.}$  – амплітуди напруги і струму відбитої волни.

### 17.3. Використання віртуальної лабораторії EWB для виконання роботи

Лінії передачі інформації представлені в EWB двома моделями: ідеальною двопровідною лінією без витрат потужності (Рис.17.1а) та двопровідною лінією з витратами потужності (Рис.17.1б).

В лабораторній роботі розглядається лінія з витратами потужності. Вона вибирається з бібліотеки базових компонентів (опція **Miscellaneous**). Після вибору необхідного компоненту задаємо її робочі параметри. Подвійне натискання лівої кнопки „миші” приводить до появи вікна **Lossy Transmission Line Model “Itline1”**. У вікні можна встановити відповідні до варіанту значення:

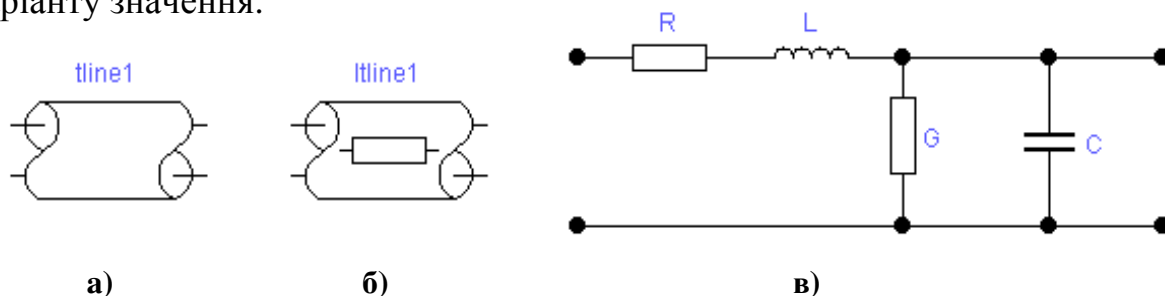


Рис. 17.1.

*Length of the Transmission Line (LEN)* – довжина лінії передачі інформації (м).

*Resistance per unit length (R)* – активний опір провідників лінії, віднесений до одиниці довжини, погонний опір (Ом/м).

*Inductance per unit length (L)* – індуктивність провідників лінії, віднесена до одиниці довжини лінії, погонна індуктивність (Гн/м).

*Capacitance per unit length (C)* – ємність між провідниками лінії, віднесена до одиниці довжини лінії, погонна ємність (Ф/м).

*Conductance per unit length (G)* – погонна провідність між провідниками лінії (См/м).

Математична модель лінії передачі інформації складається з набору однакових кілець, що містять опір, індуктивність, ємність. Схему одного кільця такої лінії можна побачити на рис.17.1в.

### 17.4. Порядок виконання роботи

17.4.1. Зібрати схему у відповідності до рис.17.2.

17.4.2. Провести дослідження лінії передачі інформації в режимі бігучої хвилі. Задати значення **LEN**, **R**, **L** згідно Вашого варіанту. Для того, щоб можна було зіставити результати моделювання з результатами обчислень, необхідно вибрати **C**, враховуючи наступне рівняння:

$$LC = 1/c^2 = 11,11 \cdot 10^{-18} \quad (6)$$

де  $c$  – швидкість розповсюдження е/м поля в лінії ( $3 \cdot 10^8$  м/с).

Доречно також забезпечити незалежність хвильового опору від частоти (умова невикривленої лінії):

$$L/R = C/G \quad (7)$$

Встановити розраховані параметри, включити схему і провести заміри амплітуд вхідної і вихідної напруг. Заміряти зсув фаз між вхідною і вихідною напругами.

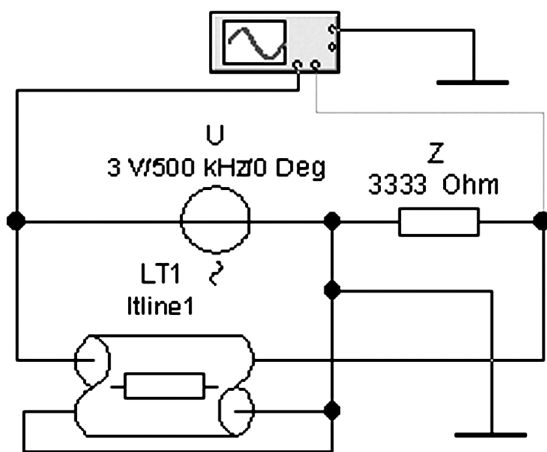


Рис. 17.2.

17.4.3. Провести дослід роботи схеми в режимі короткого замикання, тобто, при замкнутій лінії передачі ( $Z=0$ ). Для цього потрібно вилучити опір **Z** із схеми, зменшити до мінімуму витрати лінії передачі (зменшити значення **R** в 10000 разів, а значення **G** зменшити в 100000 разів). і змінити частоту вхідного сигналу так, щоб на довжині лінії **LEN** вкладалося ціле число довжин хвиль. Заміряти зсув фаз, амплітуди напруг та струму на вході та виході, а також амплітуди напруг та

струму відбитої волни. Порівняти з обчисленими значеннями.

17.4.4. Провести дослід в режимі холостого ходу, тобто при розімкнутій лінії ( $Z = \infty$ ). Заміряти зсув фаз, амплітуди напруг та струму на вході та виході, а також амплітуди напруг та струму відбитої волни. Порівняти з обчисленими значеннями.

17.4.5. Дослідити роботу схеми при збільшеній в 2 рази частоті вхідного сигналу. Пояснити отримані результати.

### 17.5. Вимоги до звіту

17.5.1. Привести результати розрахунку струму, напруги, зсуву фаз і постійної затухання в режимі бігучої хвилі.

17.5.2. Порівняти обчислені результати з результатами досліду.

17.5.3. Привести і пояснити результати досліду короткого замикання. Порівняти з обчисленими значеннями.

17.5.3. Привести і пояснити результати досліду холостого ходу. Порівняти з обчисленими значеннями.

17.5.4. Розрахувати коефіцієнт видбиття для кожного з режимів, що розглядаються. Пояснити отримані результати.

17.5.5. Розрахувати амплітуди напруг і струму для кожного з режимів, що розглядається. Порівняти із значеннями, що отримані в результаті дослідів.

17.7.6. Дати порівняльну характеристику роботи схеми при різних частотах.

### **17.6. Питання до атестації**

17.6.1. Що уявляє собою математична модель лінії зв'язку?

17.6.2. Дати визначення кола з розподіленими параметрами.

17.6.3. Пояснити принцип роботи схеми в режимі бігучої хвилі.

17.6.4. Дати пояснення роботи схеми в режимі узгодженої лінії і не узгодженої. Пов'язати з основами теорії чотирьохполосників.

17.6.5. Пояснити, від чого залежить величина вихідного сигналу.

17.6.6. Пояснити, від чого залежить зсув фаз між вхідними і вихідними значеннями струму та напруги.

17.6.7. Пояснити, від чого залежить коефіцієнт затухання лінії передачі інформації.

### **17.7. Задачі**

17.7.1. Визначити хвильовий опір однорідної лінії при частоті 1000 Гц, коефіцієнт розповсюдження і фазову швидкість по наступним параметрам:  $r=6,5$  Ом/км,  $L=2,29$  мГн/км,  $C=5,22$  нФ/км,  $g=0,5$  мкСм/км.

17.7.2. До лінії, що вказана в попередній задачі, приєднане активне навантаження з опором 200 Ом. Визначити коефіцієнт видбиття.

17.7.3. Вхідний опір лінії довжиною 200 км при частоті 800 Гц дорівнює: під час режиму холостого ходу – 747 Ом, при короткому замиканні – 516 Ом. Обчислити параметри лінії.

17.7.4. Вхідний опір лінії довжиною 50 км при частоті 800 Гц дорівнює: під час режиму холостого ходу – 328 Ом, при короткому замиканні – 1548 Ом. Обчислити параметри лінії.

17.7.5. Однорідна лінія має параметри:  $r=5$  Ом/км,  $C=5$  нФ/км,  $g=10$  мкСм/км. При якій індуктивності в лінії буде відсутнє викривлення.

17.7.6. Обчислити вхідний опір лінії без витрат потужності при короткому замиканні. Довжина лінії – 23 км, довжина волни – 50 м, хвильовий опір лінії дорівнює 505 Ом.

17.7.7. Хвильовий опір лінії без витрат потужності – 500 Ом. Визначити амплітуду струму на відстані 1 м від розімкнутого кінця лінії при частоті  $10^8$  Гц, якщо діюче значення напруги на розімкнутому кінці дорівнює 10 В.

17.7.8. Однорідна лінія довжиною 100 км, з первинними параметрами, що дорівнюють  $r = 10,4$  Ом/км,  $L = 3,67$  мГн/км,  $C = 8,35$  нФ/км,  $g = 0,8$  мкСм/км підключена до джерела живлення 100 В, частота дорівнює 1000 Гц, лінія навантажена активним опором 200 Ом. Визначити струми в початку та в кінці лінії, напругу в кінці лінії.

17.7.9. Обчислити вхідний опір лінії без витрат потужності при короткому замиканні. Довжина лінії – 35 км, довжина волни – 50 м, хвильовий опір лінії дорівнює 505 Ом.

17.7.10. Для лінії довжиною 38 км,  $C=5,12 \text{ нФ/км}$ ,  $L=884 \text{ мГн/км}$ ,  $r=38,4 \text{ Ом/км}$  при частоті 800 Гц визначити хвильовий опір, коефіцієнт згасання, фазову швидкість волни і довжину волни.

17.7.11. Параметри лінії при частоті 100 кГц –  $r=5 \text{ Ом/км}$ ,  $C=6,35 \text{ нФ/км}$ ,  $g=5 \text{ мкСм/км}$ ,  $L=2 \text{ мГн/км}$ . Визначити індуктивність, яку треба ввімкнути на кожний кілометр довжини, щоб лінія стала невикривленою. Визначити також хвильовий опір,  $\alpha$ ,  $\beta$ .

17.7.12. Невикривлена лінія з хвильовим опором 1675 Ом. На лінію навантажили опір, що дорівнює хвильовому. К початку лінії підвели напругу 10 В. Визначити струм на вхідних затискачах. Визначити потужність, що підведена до лінії і на навантаженні.

17.7.13. Лінія передачі інформації працює в режимі бігучої волни. Довжина лінії 100 м,  $r=1 \text{ Ом/м}$ ,  $L=11,11 \text{ мкГн/м}$ . Знайти хвильовий опір лінії, ємність між провідниками, провідність між провідниками.

17.7.14. Параметри лінії передачі інформації:  $r=3 \text{ Ом/км}$ ,  $C=6 \text{ нФ/км}$ ,  $g=0$ ,  $L=2 \text{ мГн/км}$ , при кутовій частоті  $\omega=2000 \text{ с}^{-1}$ . Визначити хвильовий опір, коефіцієнт згасання, коефіцієнт фази.

### 17.8. Додаток

Таблиця варіантів до схеми, яка приведена на рис. 17.2.

Номер варіанту	U, В	F, кГц	Параметри ЛТ1			$\lambda$ , м
			LEN, м	R, Ом	L, мкГн	
1	2	300	50	1	8	50
2	3	400	60	2	9	60
3	4	500	75	3	10	75
4	5	600	100	4	11	100
5	2	700	120	5	12	60
6	3	800	150	6	13	150
7	4	900	200	7	14	100
8	5	800	50	8	13	50
9	2	700	60	9	12	60
10	3	600	75	10	11	75
11	4	500	100	9	10	50
12	5	400	120	8	9	60
13	2	300	150	7	8	50
14	3	400	200	6	10	100
15	4	300	150	5	11	75