

Практичне заняття №1  
**Вхідні опори фідерів антен**

**Мета заняття:** розв'язування задач на основні параметри фідерних ліній антен.

**Основні питання заняття:**

1. Коефіцієнти відбиття та стоячої хвилі.
2. Нормовані опори та провідності.
3. Вхідні опори та провідності фідерів.

**Короткі теоретичні відомості**

Вхідний опір лінії передачі (ЛП) (фідера) з неоднорідністю (навантаженням) визначають як співвідношення еквівалентної напруги до еквівалентного струму у даному перерізі:

$$\dot{Z}'_{in}(z) = \frac{\dot{U}(z)}{\dot{I}(z)} = W \frac{1 + \dot{R}(z)}{1 - \dot{R}(z)}. \quad (2.1)$$

З точки зору нормованих значень цих напруг і струмів у розгляд вводять також нормований (до хвилевого) опір:

$$\dot{Z}'_{in} = \frac{\dot{Z}'_{in}}{W}. \quad (2.2)$$

Тогда (3.1) перепишеться:

$$\dot{Z}'_{in}(z) = \frac{1 + \dot{R}(z)}{1 - \dot{R}(z)}. \quad (2.3)$$

При  $z = 0 \Rightarrow \dot{Z}'_{in}(0) = \dot{Z}'_l$ , тобто вхідний опір дорівнює опору неоднорідності (навантаження):

$$\dot{Z}'_l = \dot{Z}'_{in}(0) = \frac{1 + \dot{R}_l}{1 - \dot{R}_l}, \quad Y'_l = \frac{1 - \dot{R}_l}{1 + \dot{R}_l}, \quad (2.4)$$

де нормована провідність:

$$\dot{Y}' = \frac{1}{\dot{Z}'} = \frac{W}{\dot{Z}} = \left[ Y_w = \frac{1}{W}, Y = \frac{1}{\dot{Z}} \right] = \frac{Y}{Y_w} = Y \cdot W \quad (2.5)$$

Серія «корисних формул»:

$$\begin{aligned} \dot{R}(z) &= \frac{\dot{Z}'_{in}(z) - 1}{\dot{Z}'_{in}(z) + 1}; \quad \dot{R}_l = \frac{\dot{Z}'_l - 1}{\dot{Z}'_l + 1}; \\ \dot{R}(z) &= \frac{1 - \dot{Y}'_{in}(z)}{1 + \dot{Y}'_{in}(z)}; \quad \dot{R}_l = \frac{1 - \dot{Y}'_l}{1 + \dot{Y}'_l}. \end{aligned} \quad (2.6)$$

Максимальне значення модуля напруги в ЛПІ без втрат  $U_{\max} = |\dot{U}^+| + |\dot{U}^-|$ , а мінімальне, відношення яких називають **коефіцієнт стоячої хвилі напруги (КСХН) (Voltage Standing Wave Ratio, VSWR)**:

$$K_{cmv} = \frac{U_{\max}}{U_{\min}} = \frac{|\dot{U}^+| + |\dot{U}^-|}{|\dot{U}^+| - |\dot{U}^-|} = \frac{1 + |\dot{R}|}{1 - |\dot{R}|}. \quad (2.7)$$

Якщо відрізок ЛПІ довільної довжини  $z_0$  (рисунок 2.1)

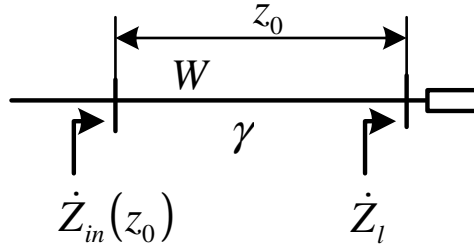


Рисунок 2.1 – Відрізок лінії передачі довжиною  $z_0$ ,

навантажений на опір  $\dot{Z}'_l$

навантажено на навантаження з опором  $\dot{Z}'_l$ , то вхідний опір ЛПІ у точці  $z_0$  дорівнює (якщо враховують втрати у ЛПІ):

$$\dot{Z}_{in}(z_0) = W \frac{\dot{Z}_l + Wth\gamma z_0}{W + \dot{Z}_l th\gamma z_0}, \quad (2.8)$$

де  $\gamma = \beta - i\alpha$  – стала поширення;  $\beta = 2\pi/\Lambda$  – коефіцієнт фази;  $\alpha$  – стала затухання;  $\Lambda$  – довжина хвилі у ЛП.

У термінах нормованих опорів:

$$\dot{Z}'_{in}(z_0) = \frac{\dot{Z}'_l + th\gamma z_0}{1 + \dot{Z}'_l th\gamma z_0}. \quad (2.9)$$

Якщо втрати у ЛП відсутні:

$$\dot{Z}_{in}(z_0) = W \frac{\dot{Z}_l + iWtg\beta z_0}{W + i\dot{Z}_l tg\beta z_0}, \quad (2.10)$$

$$\dot{Z}'_{in}(z_0) = \frac{\dot{Z}'_l + itg\beta z_0}{1 + i\dot{Z}'_l tg\beta z_0}. \quad (2.11)$$

Аналогічно для провідностей:

$$\dot{Y}_{in}(z_0) = W \frac{\dot{Y}_l + iWtg\beta z_0}{W + i\dot{Y}_l tg\beta z_0}, \quad (2.12)$$

$$\dot{Y}'_{in}(z_0) = \frac{\dot{Y}'_l + itg\beta z_0}{1 + i\dot{Y}'_l tg\beta z_0}. \quad (2.13)$$

### **Приклади розв'язку задач.**

**Задача 1.** Якщо значення КСХН дорівнює 1,6, то чому дорівнює модуль коефіцієнта відбиття при цьому?

**Розв'язок.** Використовуючи (2.7), маємо:

$$|\dot{R}| = \frac{K_{cm} - 1}{K_{cm} + 1} = \frac{1,6 - 1}{1,6 + 1} = 0,2308 \approx 0,23.$$

**Задача 2.** Опір навантаження  $\dot{Z}_l = 30 + i45 \text{ Ом}$ , хвилевий опір ЛП при этом дорівнює 75 Ом. Яке значення нормованого опору та провідності цього навантаження?

**Розв'язок.** Нормований опір

$$\dot{Z}'_l = \frac{\dot{Z}_l}{W} = \frac{30 + i45 \text{ Ом}}{75 \text{ Ом}} = 0,4 + i0,6.$$

Нормована провідність

$$Y'_l = \frac{1}{\dot{Z}'_l} = \frac{1}{0,4 + i0,6} = 0,77 - i1,15.$$

**Задача 3.** Нормований опір навантаження  $\dot{Z}'_l = 0,8 - i0,3$ , хвилевий опір ЛПІ 50 Ом. Яке значення ненормованого опору та провідності цього навантаження?

**Розв'язок.**

$$\dot{Z}_l = \dot{Z}'_l \cdot W = (0,8 - i0,3) \cdot 50 \text{ Ом} = 40 - i15 \text{ Ом},$$

$$Y'_l = \frac{1}{\dot{Z}'_l} = \frac{1}{0,8 - i0,3} = 1,1 + i0,4.$$

З (3.5) маємо:

$$\dot{Y} = \frac{\dot{Y}'_l}{W} = \frac{1,1 + i0,4}{50 \text{ Ом}} = 0,022 + i0,0082 \text{ См}.$$

**Задача 4.** Відрізок ЛПІ довжиною  $0,7\lambda$  навантажено на антену з вхідним нормованим опором  $\dot{Z}'_A = 0,5 - i1,8$ . Який вхідний опір цього відрізка буде при цьому?

**Розв'язок.** Оскільки про втрати ЛПІ нічого не сказано, то вважатимемо, що вони відсутні. Тоді, використовуючи (2.11), отримаємо:

$$\beta_{z_0} = \frac{2\pi}{\Lambda} z_0 = \frac{2\pi}{\Lambda} \cdot 0,7\Lambda = 1,4\pi$$

$$\dot{Z}'_{in}(0,7\Lambda) = \frac{\dot{Z}'_l + itg\beta_{z_0}}{1 + i\dot{Z}'_l tg\beta_{z_0}} = \frac{0,5 - i1,8 + itg1,4\pi}{1 + i(0,5 - i1,8)tg1,4\pi} = 0,116 + i0,168.$$

**Задача 5.** Відрізок ЛП довжиною  $0,7\Lambda$  навантажено на антену з вхідним опором  $\dot{Z}'_A = 255 - i240 \text{ Ом}$ , хвилевий опір ЛП дорівнює  $50 \text{ Ом}$ . Який вхідна провідність цього відрізка буде при цьому?

**Розв'язок.** Спочатку пронормуємо опір антени:

$$\dot{Z}'_A = \frac{225 - i240 \text{ Ом}}{50 \text{ Ом}} = 4,5 - i4,8 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \dot{Y}'_A = \frac{1}{\dot{Z}'_A} = \frac{1}{5,1 - i4,8} = 0,104 + i0,0979.$$

Оскільки про втрати ЛП нічого не сказано, то вважатимемо, що вони відсутні. Тоді, використовуючи (2.13), отримаємо:

$$\beta_{z_0} = \frac{2\pi}{\Lambda} z_0 = \frac{2\pi}{\Lambda} \cdot 0,17\Lambda = 0,34\pi$$

$$\dot{Y}'_{in}(0,17\Lambda) = \frac{\dot{Y}'_l + itg\beta_{z_0}}{1 + i\dot{Y}'_l tg\beta_{z_0}} = \frac{0,104 + i0,0979 + itg0,34\pi}{1 + i(0,104 + i0,0979)tg0,34\pi} = 0,67 + i2,26$$

або

$$\dot{Z}'_{in}(0,7\Lambda) = \frac{\dot{Z}'_l + itg\beta_{z_0}}{1 + i\dot{Z}'_l tg\beta_{z_0}} = \frac{4,5 - i4,8 + itg0,34\pi}{1 + i(4,5 - i4,8)tg0,34\pi} = 0,12 - i0,41.$$

$$\dot{Y}'_{in}(0,17\Lambda) = \frac{1}{\dot{Z}'_{in}(0,7\Lambda)} = \frac{1}{0,12 - i0,41} = 0,67 + i2,26.$$

## Хід заняття

**Задача 1.** Вхідний опір антени  $\dot{Z}_A$ , хвилевий опір її фідера при цьому дорівнює  $W$  (таблиця 2.1). Яке значення її нормованого опору та провідності? **Кожен вибирає лише один варіант.**

Таблиця 2.1

Номер варіанта	$\dot{Z}_A$ , Ом	$W$ , Ом
1	2	3
1	$10 - i40$	50
2	$5 + i14$	75
3	$17 - i4$	50
4	$25 + i24$	75
5	$250 + i140$	50
6	$14 + i400$	75
7	$350 + i4$	50
8	$5 - i140$	75
9	$105 + i104$	50
10	$450 - i240$	75
11	$50 + i14$	50
12	$70 + i100$	75
13	$70 - i100$	50
14	$50 + i14$	75
15	$50 - i75$	50
16	$3 + i15$	75

17	$10 - i4$	50
----	-----------	----

Продовження таблиці 2.1

1	2	3
18	$300 + i4,5$	75
19	$10 - i120$	50
20	$3 + i4,5$	75
21	$3 - i4,5$	50
22	$50 + i14$	75
23	$20 - i75$	50
24	$52 + i438$	75
25	$59 - i10$	50
26	$19 + i20$	75
27	$65 - i75$	50
28	$19 + i49$	75
29	$13 - i5$	50
30	$14 + i5$	75
31	$50 + i200$	50
32	$50 + i14$	75
33	$70 + i100$	50
34	$59 - i10$	75
35	$25 + i24$	50
36	$15 - i14$	75
37	$20 + i75$	50
38	$75 + i140$	75
39	$19 + i20$	50

40	$70 + i100$	50
----	-------------	----

**Задача 2.** Використовуючи значення нормованого опору з задачі 1, розрахувати КСХН, модуль та фазу коефіцієнта відбиття у фідері цієї антени.

**Задача 3.** Використовуючи значення нормованого опору з задачі 1, розрахувати нормований опір цього фідера, якщо його довжина становить  $z_0$  (таблиця 2.2).

**Кожен вибирає лише один варіант.**

Таблиця 2.2

Номер варіанта	$z_0$
1	2
1	0,1 $\Lambda$
2	0,27 $\Lambda$
3	0,35 $\Lambda$
4	0,2 $\Lambda$
5	0,4 $\Lambda$
6	0,15 $\Lambda$
7	0,17 $\Lambda$
8	0,22 $\Lambda$
9	0,18 $\Lambda$
10	0,3 $\Lambda$
11	0,34 $\Lambda$
12	0,14 $\Lambda$
13	0,32 $\Lambda$
14	0,11 $\Lambda$
15	0,07 $\Lambda$
16	0,1 $\Lambda$



17	0,27Λ
18	0,35Λ

Продовження таблиці 2.2

1	2
19	0,2Λ
20	0,4Λ
21	0,15Λ
22	0,17Λ
23	0,22Λ
24	0,18Λ
25	0,3Λ
26	0,34Λ
27	0,14Λ
28	0,32Λ
29	0,11Λ
30	0,17Λ
31	0,22Λ
32	0,18Λ
33	0,3Λ
34	0,34Λ
35	0,14Λ
36	0,2Λ
37	0,4Λ
38	0,15Λ
39	0,17Λ
40	0,34Λ