

Національний технічний університет України  
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"  
Факультет Електроніки  
Кафедра мікроелектроніки

ЗВІТ  
Про виконання розрахункової роботи №2  
з дисципліни: «Теорія поля»

Виконавець:  
Студент 3-го курсу

\_\_\_\_\_

(підпис)

А. С. Мнацаканов

Перевірила:

\_\_\_\_\_

(підпис)

Т. А. Саурова

## ЗАВДАННЯ

**1.** Для коаксіального кабеля з діелектричним заповненням, діаметрами провідників  $D$  і  $d$ , довжиною  $l$ , збудженого на частоті  $f$ , навантаженого на опір  $Z_H$ , розрахувати КСХ, коефіцієнт відбивання і вхідний опір. Побудувати графіки розподілу амплітуд струму і напруги вздовж кабеля.

**2.** Розрахувати місце підключення та величину реактивності (наприклад, довжину шлейфа), необхідної для узгодження лінії з даним навантаженням.

вар. №	4
$\varepsilon$ (поліетилен)	2.2
$f$ , ГГц	1
$D$ , мм	7.3
$d$ , мм	1.2
$l$ , см	100
$Z_H$ , Ом	50-i50

## РОЗРАХУНКИ

Оскільки, на низьких частотах немає особливих проблем об'єднання електронних компонентів у кола за допомогою звичайних провідників, але на високих частотах, коли довжина провідників стає співмірною з довжиною хвилі сигналу, через скінченність часу розповсюдження електромагнітного збудження потенціал у різних точках вздовж провідника буде різним. За цих умов стають невірними закони Ома та Кірхгофа, на яких заснована теорія кіл, і точний аналіз процесів тут можливий тільки на основі теорії поля. Тому припускаємо що погонна провідність та погонний опір є незначним ( $r_0 \ll \omega L_0$ ,  $g_0 \ll \omega C_0$ ) і ми маємо справу з лінією без втрат.

Спочатку знайдемо всі параметри які потрібні для розрахунку значення хвильового опору:

$$\dot{Z}_0 = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}}, \quad (1)$$

де  $L_0$  – погонна індуктивність та  $C_0$  – погонна ємність.

$$L_0 = \frac{\mu\mu_0 \cdot \ln \frac{D}{d}}{2\pi}, \quad (2)$$

де  $D$  та  $d$  – зовнішній та внутрішній діаметр відповідно;  $\mu$  – магнітна проникність середовища;  $\mu_0$  – магнітна стала.

$$C_0 = \frac{2\pi\epsilon\epsilon_0}{\ln \cdot \frac{D}{d}}, \quad (3)$$

де  $\epsilon_0$  – діелектрична стала;  $\epsilon$  – діелектрична проникність середовища.

Підставляючи отримаємо:

$$\dot{Z}_0 = \sqrt{\frac{\frac{\mu\mu_0 \cdot \ln \frac{D}{d}}{2\pi}}{\frac{2\pi\epsilon\epsilon_0}{\ln \cdot \frac{D}{d}}}} = \sqrt{\frac{\mu\mu_0 \cdot \ln \frac{D}{d}}{2\pi} \cdot \frac{\ln \cdot \frac{D}{d}}{2\pi\epsilon\epsilon_0}} = \frac{\ln \frac{D}{d}}{2\pi} \sqrt{\frac{\mu\mu_0}{\epsilon\epsilon_0}}, \quad (4)$$

оскільки поліетилен є діелектриком, то  $\mu = 1$  та знаючи що  $\sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 120\pi$ , тоді

$$\dot{Z}_0 = \frac{\ln \frac{D}{d}}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{1}{\epsilon}} \cdot 120\pi = 73.0382 \approx 73 \text{ Ом} \quad (5)$$

Як я вже казав ми припускаємо що  $r_0 = 0, g_0 = 0$ , тобто маємо ідеальний діелектрик і лінію без втрат, тому можна вивести формулу для розрахунку хвильового числа (характеризує зміну фази хвилі на одиницю довжини):

$$V_\Phi = \frac{\omega}{k} = \frac{1}{\sqrt{L_0 C_0}} \Rightarrow k = \omega \sqrt{L_0 C_0}, \quad (6)$$

де  $\omega = 2\pi f$  – кругова частота часових коливань, що показує зміну фази за одиницю часу.

$$k = 2\pi f \cdot \sqrt{\frac{\mu\mu_0 \cdot \ln \frac{D}{d}}{2\pi} \cdot \frac{2\pi\epsilon\epsilon_0}{\ln \cdot \frac{D}{d}}} = \mu 2\pi f \sqrt{\mu_0 \epsilon_0 \epsilon} \quad (7)$$

$$k = \frac{2\pi f \sqrt{\epsilon}}{c} = 31 \text{ м}^{-1}, \text{ врахувавши що } \mu = 1 \text{ та } \sqrt{\mu_0 \epsilon_0} = \frac{1}{c} \quad (8)$$

Доведемо що наша лінія дійсно є довгою

$$\lambda = \frac{2\pi}{k} = \frac{2 \cdot 3.14}{31} = 0.2 \text{ м} \Rightarrow \lambda < l$$

Наступним кроком розрахуємо коефіцієнт відбивання  $\dot{\rho}^1$ :

$$\dot{\rho} = \frac{\dot{Z}_H - \dot{Z}_0}{\dot{Z}_H + \dot{Z}_0} = \frac{50 - i50 - 73}{50 - i50 + 73} = \frac{-23 - i50}{123 - i50} = \frac{55 \cdot e^{i \arctan\left(\frac{50}{23}\right)}}{132.7 \cdot e^{i \arctan\left(-\frac{50}{123}\right)}} = 0.41 \cdot e^{i \cdot 77} = 0.41 \cdot e^{i \cdot 1.5} \quad (9)$$

$$\text{КСХ} = \frac{1 + |\dot{\rho}|}{1 - |\dot{\rho}|} = \frac{1 + |0.41|}{1 - |0.41|} = 2.38 \quad (10)$$

Для розрахунків розподілу амплітуд струму та напруги вздовж кабеля, використаємо нормування:

$$V_m(x) = V_m^+ |1 + |\dot{\rho}| \cdot e^{-i(2kx - \varphi_0)}| \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \frac{V_m(x)}{V_m^+} &= |1 + |\dot{\rho}| \cdot e^{-i(2kx - \varphi_0)}| = |1 + |\dot{\rho}| \cdot \cos(2kx - \varphi_0)| - |\dot{\rho}| \cdot i \cdot \sin(2kx - \varphi_0)| = \\ &= \sqrt{(1 + 0.41 \cdot \cos(62x - 1.5))^2 - (0.41 \cdot i \cdot \sin(62x - 1.5))^2} = \\ &= \sqrt{1 + 0.82 \cdot \cos(62x - 1.5) + 0.1681} \end{aligned}$$

$$^1 \dot{\rho} = |\dot{\rho}| \cdot e^{i\varphi_0} \Rightarrow \varphi_0 = 1.5$$

$$I_m(x) = I_m^+ |1 - |\dot{\rho}| \cdot e^{-i(2kx - \varphi_0)}| \quad (12)$$

$$I_m(x) = I_m^+ |1 + |\dot{\rho}| \cdot e^{-i(2kx - \varphi_0)}|$$

$$\begin{aligned} \frac{I_m(x)}{V_m^+} &= |1 - |\dot{\rho}| \cdot e^{-i(2kx - \varphi_0)}| = |1 - |\dot{\rho}| \cdot \cos(2kx - \varphi_0)| - |\dot{\rho}| \cdot i \cdot \sin(2kx - \varphi_0)| = \\ &= \sqrt{(1 - 0.41 \cdot \cos(62x - 1.5))^2 - (0.41 \cdot i \cdot \sin(62x - 1.5))^2} = \\ &= \sqrt{1 - 0.82 \cdot \cos(62x - 1.5) + 0.1681} \end{aligned}$$

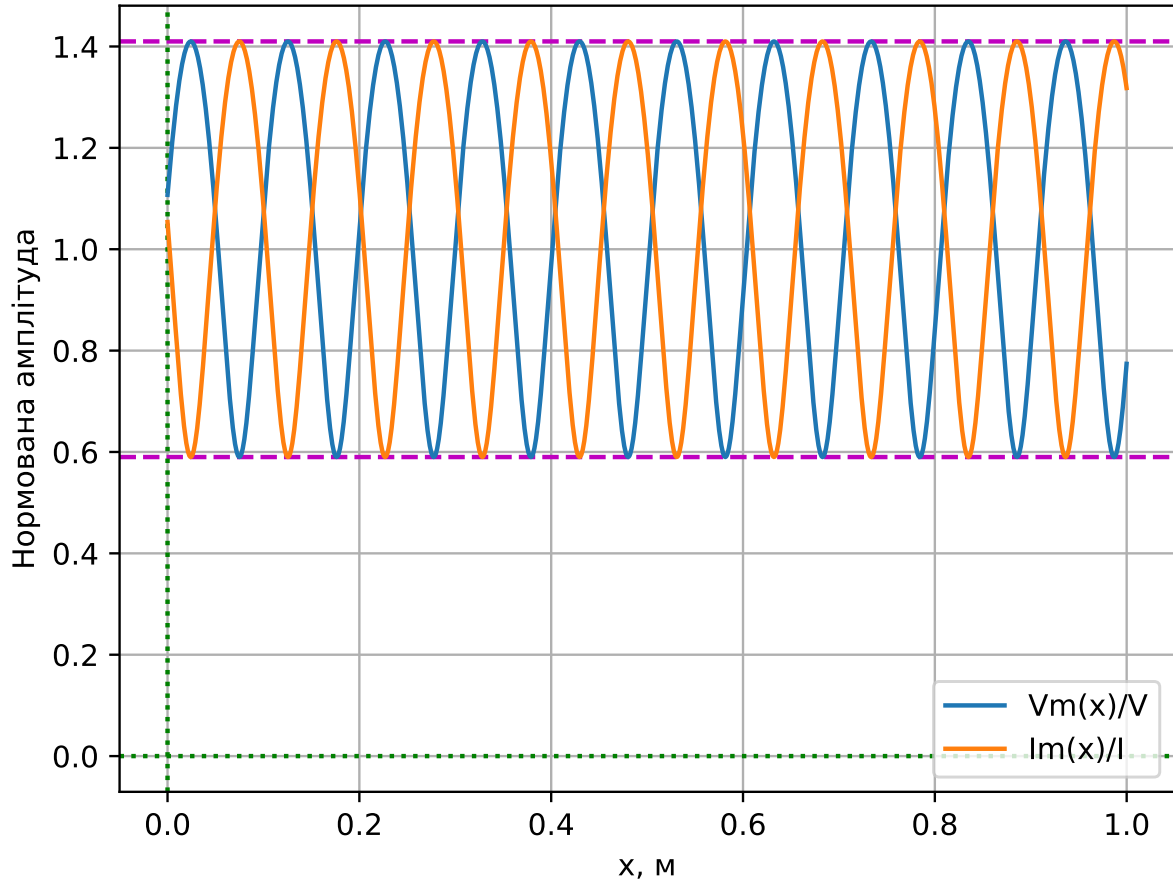


Рис. 1: Розподіл амплітуд напруги та струму вздовж напруги.

У випадку за нерівності опорів навантаження і хвильового опору, як в данному випадку  $\dot{Z}_H \neq \dot{Z}_0$ , в лінії встановлюється режим змішаних хвиль, який можна розглядати як суперпозицію режимів біжучої і чисто стоячої хвилі. Тому опір вздовж лінії буде змінюватися відповідно за законом:

$$\dot{Z}(x) = \dot{Z}_0 \frac{\dot{Z}_H + i \cdot \dot{Z}_0 \cdot \operatorname{tg}(kx)}{\dot{Z}_0 + i \cdot \dot{Z}_H \cdot \operatorname{tg}(kx)} \quad (13)$$

Нехай початок координат буде у місці підключення навантаження. Тоді  $\dot{Z}(x) = \dot{Z}(l) = \dot{Z}_{\text{BX}}$ , тому

$$\dot{Z}_{\text{BX}} = Z_0 \cdot \frac{\dot{Z}_H + i \cdot \dot{Z}_0 \cdot tg(kl)}{\dot{Z}_0 + i \cdot \dot{Z}_H \cdot tg(kl)} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \dot{Z}_{\text{BX}} &= 73 \cdot \frac{50 - 50i + i \cdot 73 \cdot tg(31 \cdot 1)}{73 + i \cdot (50 - 50i) \cdot tg(31 \cdot 1)} = 73 \cdot \frac{50 - 50i + 0.6i}{73 + (50 - 50i) \cdot 0.6i} = \\ &= 73 \cdot \frac{50 - 17i}{73 + (50 - 50i) \cdot 0.6i} = 73 \cdot \frac{50 - 17i}{103 + 30i} = \frac{3650 - 1241i}{103 + 30i} = 32.6 - 9.5i \end{aligned}$$

Рис. 2: Косокутна проекція потенціального рельєфу  $U(x,y)$ .

Наступним кроком я графічно зобразив вектори напруженості електричного поля в нашому польовому транзисторі (рис. ??). Дивлячись на цей рисунок можна чітко побачити що електричне поле яке прямує із стоку до затвору набагато сильніше ніж те що йде йому на зустріч, про що свідчать довжини стрілок.

Останнім кроком я побудував косокутку проекцію потенціального рельєфу  $U(x, y) = -eV(x, y)$  рис. 3

Рис. 3: Косокутна проекція потенціального рельєфу  $U(x, y) = -eV(x, y)$ .



Висновок: