

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут інформатики та радіоелектроніки



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторної роботи

ДОСЛІДЖЕННЯ СПОТВОРЕНЬ ФОРМИ СИГНАЛУ
В ЛІНІЯХ ЗВ'ЯЗКУ ЦИФРОВИХ ПРИСТРОЇВ
з дисципліни
“ОСНОВИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ”

для студентів за професійним напрямком
0910 “Електронні апарати” спеціальності 8.091001
”Виробництво електронних засобів”
усіх форм навчання

2007

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи “Дослідження спотворень форми сигналу в лініях зв'язку цифрових пристроїв” з дисципліни “Основи електромагнітної сумісності” для студентів за професійним напрямком 0910 “Електронні апарати” спеціальності 8.091001 “Виробництво електронних засобів” усіх форм навчання. /Уклад. Шинкаренко Е. М - Запоріжжя: ЗНТУ, 2007, - 14 с.

Укладач: Шинкаренко Едуард Миколайович, ст. викладач

Рецензент: Петріщев Олексій Олександрович, к. т. н., доцент

Відповідальний за випуск Кришук Володимир Миколайович,
к.т.н., доцент

Затверджено
на засіданні кафедри КТВР
“ 5 “__06__2007 р.
Протокол №__8__

Лабораторна робота

**ДОСЛІДЖЕННЯ СПОТВОРЕНЬ ФОРМИ СИГНАЛУ В ЛІНІЯХ
ЗВ'ЯЗКУ ЦИФРОВИХ ПРИСТРОЇВ**

Мета роботи:

- дослідити вплив конструкції електричних ліній зв'язку на величину і характер спотворень імпульсного сигналу;
- дослідити вплив узгодження по входу і виходу електрично довгих ліній зв'язку на величину і характер спотворень імпульсного сигналу.

1 СТИСЛІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

У залежності від співвідношення часу зміни амплітуди сигналу (для імпульсного сигналу тривалості фронту τ_ϕ) і часу розповсюдження сигналу в лінії зв'язку ($t_{\text{Л}}$) електромонтажні лінії зв'язку поділяються на електрично довгі ($t_{\text{Л}} > 0.1\tau_\phi$) і електрично короткі ($t_{\text{Л}} \leq 0.1\tau_\phi$).

Однієї з причин спотворень сигналу при поширенні в електрично довгих лініях зв'язку є відбиття сигналу від неоднорідності лінії. Причинами неоднорідності можуть бути:

- неоднорідність діелектричної проникності матеріалу;
- неоднорідність геометричних розмірів лінії;
- наявність у складі однієї монтажною лінії ділянок різного конструктивно-технологічного виконання: друкованих провідників, перекручених пар об'ємних провідників ("свивок"), коаксіальних кабелів, рознімних з'єднань і т.д.;
- наявність розгалужень;
- відхилення хвильового опору лінії зв'язку $Z_{\text{Л}}$ від величини опорів, підключених до кінців лінії,

$$Z_{\text{Л}} = \sqrt{\frac{L_{\text{Л}}}{C_{\text{Л}}}}, \quad (1.1)$$

де $L_{\text{Л}}$ і $C_{\text{Л}}$ – індуктивність та ємність лінії зв'язку.

У випадку наявності неоднорідності виникає відбитий сигнал, амплітуда напруги якого $U_{\text{відб}}$ зв'язана з амплітудою напруги падаючого сигналу $U_{\text{пад}}$ співвідношенням:

$$U_{\text{відб}} = K_{\text{відб}} \cdot U_{\text{над}},$$

де $K_{\text{відб}}$ - коефіцієнт відбиття сигналу по напрузі, який визначається за формулою:

$$K_{\text{відб}} = \frac{Z_H - Z_L}{Z_H + Z_L}, \quad (1.2)$$

де Z_H - опір на кінці лінії зв'язку, у випадку активного характеру $Z_H = R_H$.

Відбиті сигнали складаються з падаючими, що може привести до збільшення тривалості перехідного процесу чи **до помилкового спрацювання елементів схеми**. З виразу (1.2) видно, що відбиття відсутнє ($K_{\text{відб}} = 0$), якщо дотримується рівність $Z_H = Z_L$. На практиці це досягається підключенням на кінці лінії активного опору, рівного по номіналу хвильовому опорі лінії. При цьому говорять, що лінія "узгоджена".

Крім амплітуди, відбитий сигнал характеризується також тривалістю, що дорівнює подвоєному часу поширення від початку лінії до неоднорідності. Час поширення сигналу по лінії зв'язку визначається за формулою:

$$t_L = \sqrt{L_L \cdot C_L}. \quad (1.3)$$

Коефіцієнт відбиття по напрузі у випадку неоднорідності лінії дорівнює:

$$K_{\text{відб}} = (Z_{L2} - Z_{L1}) / (Z_{L2} + Z_{L1}), \quad (1.4)$$

де Z_{L1}, Z_{L2} - хвильові опори сусідніх ділянок лінії зв'язку.

При підключенні до генератора напруги $U(t)$, що має внутрішній опір $Z_\Gamma = Z_L$, лінії з хвильовим опором Z_L (рис. 1.1) можливі три варіанти:

$$Z_L = R_H; \quad Z_L < R_H; \quad Z_L > R_H.$$

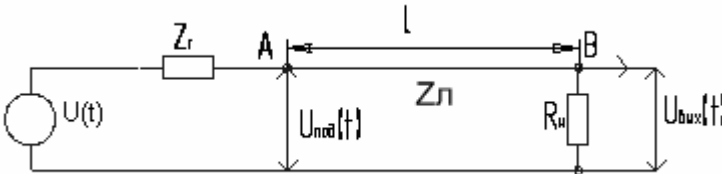


Рисунок 1.1 - Схема включення лінії зв'язку

Якщо на вхід лінії (точка А) подається перепад напруги амплітудою U , то при $Z_{\text{Л}} = R_{\text{Н}}$ відбиття від кінця лінії (точка В) не відбувається (лінія узгоджена) і форма сигналу на вході лінії не зміниться.

При $Z_{\text{Л}} \neq R_{\text{Н}}$ відбита від точки В хвиля через час $2 \cdot t_{\text{Л}}$ досягає точки А та форма сигналу спотворюється (рис. 1.2). Відповідно до (1.2) коефіцієнти відбиття по напрузі для кожного з варіантів рівні:

$$K_{\text{відб}} = 0; \quad K_{\text{відб}} > 0; \quad K_{\text{відб}} < 0.$$

Коефіцієнт відбиття по напрузі для досліджуваної лінії зв'язку відповідно до позначень, прийнятих на рис. 1.2, дорівнює:

$$K_{\text{відб}} = \frac{R_{\text{Н}} - Z_{\text{Л}}}{R_{\text{Н}} + Z_{\text{Л}}} = \frac{U_{\text{відб}}}{U_{\text{над}}} = \frac{b}{a}. \quad (1.5)$$

Величини b і a і знак $K_{\text{відб}}$ можна визначити за осцилограмою сигналу.

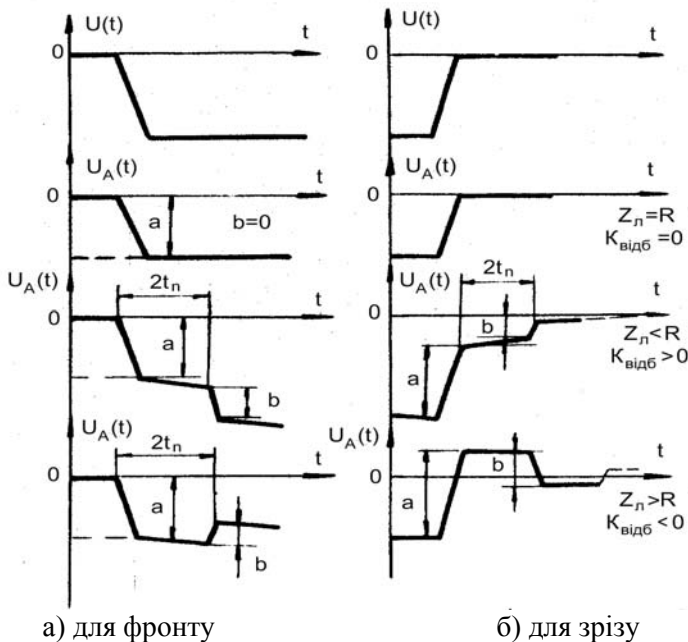


Рисунок 1.2 - Вигляд спотворень напруги імпульсного сигналу негативної полярності при різних співвідношеннях $Z_{\text{Л}}$ і $R_{\text{Н}}$

Відбита від кінця лінії хвиля напруги, досягши початку лінії або загасає, якщо $Z_{\text{Л}} = Z_r$, або знову відбивається, якщо $Z_{\text{Л}} \neq Z_r$. На рис. 1.3 схематично представлений процес проходження хвилі напруги в лінії довжиною L , якщо $Z_H \neq Z_{\text{Л}}$ і $Z_{\text{Л}} \neq Z_r$. Якщо напруга на виході генератора без навантаження $U(t)$, то на вході лінії зв'язку ця напруга перетвориться в напругу $U_{\text{пад}}(t)$ (рис. 1.1) відповідно до формули:

$$U_{\text{пао}}(t) = U(t) \frac{Z_{\text{Л}}}{Z_{\text{Л}} + Z_r}.$$

У свою чергу, цей стрибок напруги через час $t_{\text{Л}}$ досягає кінця лінії і відбивається від нього з коефіцієнтом відбиття:

$$K_{\text{відб1}} = \frac{Z_H - Z_{\text{Л}}}{Z_H + Z_{\text{Л}}}.$$

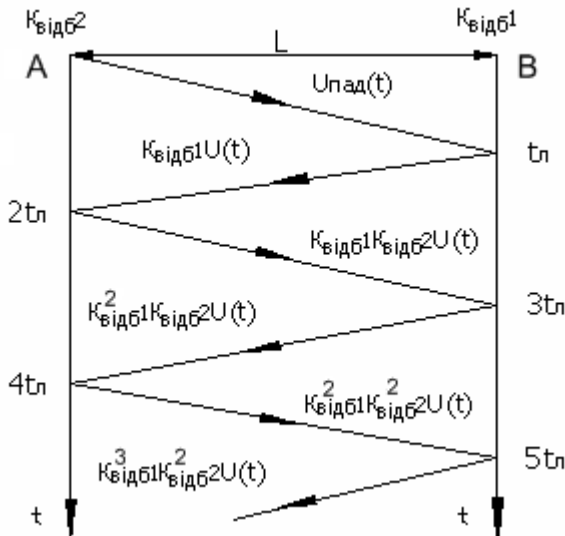


Рисунок 1.3 - Схема проходження прямої і відбитої хвиль напруги в електрично довгій лінії зв'язку

Відбита хвиля через час $t_{\text{Л}}$, дійшовши до входу лінії, відіб'ється від нього з коефіцієнтом відбиття:

$$K_{відб2} = \frac{Z_r - Z_{\text{Л}}}{Z_r + Z_{\text{Л}}}$$

Цей процес продовжитися до повного загасання відбитої хвилі унаслідок втрат у лінії зв'язку. Якщо опір генератора носить активний характер, то $Z_r = R_r$.

Для аналізу перехідних процесів у лінії зв'язку необхідно знати її хвильовий опір $Z_{\text{Л}}$. У додатку А наведені формули для розрахунку хвильового опору ліній зв'язку різної конфігурації. Для визначення хвильового опору полоскової лінії додатково можливо скористатися монограмою, що наведена у додатку Б. Крім того, $Z_{\text{Л}}$ може бути розраховане за формулою (1.1).

2 ОПИС ЛАБОРАТОРНОГО МАКЕТА

Лабораторний макет виконаний у виді контейнера з оргскла, усередині якого розміщено шість ліній зв'язку (під №№ 1-6) різної конструкції.

Геометричні розміри лінії дані в Додатку В. Лінії зв'язку закінчуються коаксіальними з'єднувачами, до яких можуть бути підключені опори, що узгоджують, комутуючі перемички чи трійникові розгалужувачі, що мають з'єднувачі для підключення пробника осцилографа. Опори, що узгоджують, змонтовані в корпусах коаксіальних з'єднувачів типу СР-50, на яких вигравірувані номінали опорів в омах.

До лабораторного макета додається набір приладів, що включає трійникові розгалужувачі, прохідник, узгоджуючі опори, перемички у виді відповідних частин з'єднань, кабель для приєднання.

3 ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

3.1 Ознайомитися з МВ до лабораторної роботи і літературою, що рекомендується.

3.2 Відповідно до номера варіанта визначити по таблиці номер однорідної лінії зв'язку, що підлягає дослідженню.

№ варіанта	1	2	3	4	5	6
№ однорідної лінії зв'язку	1	2	5	6	1	2

3.3 Розрахувати параметри $L_{\mathcal{L}}$, $C_{\mathcal{L}}$, $Z_{\mathcal{L}}$, $t_{\mathcal{L}}$, однорідної лінії за обраним варіантом, використовуючи формули додатка А. Результати розрахунків занести до табл. 5.1.

3.4 Розрахувати $Z_{\mathcal{L}}$ для кожної ділянки неоднорідної ліній (№3 і №4). Результати розрахунків занести до табл. 5.1.

4 ЛАБОРАТОРНЕ ЗАВДАННЯ

4.1 Провести виміри $C_{\mathcal{L}}$, $L_{\mathcal{L}}$ однорідної лінії зв'язку, що відповідає заданому варіанту.

4.2 Визначити залежність $K_{\text{відб}} = f(R_H)$ при $R_r = \infty$ для обраної однорідної лінії зв'язку; побудувати графік $K_{\text{відб}} = f(R_H)$ і за ним визначити $Z_{\mathcal{L}}$.

4.3 Дослідити вплив узгодження на характер відбиття сигналу. Замалювати осцилограми на початку і кінці обраної однорідної лінії зв'язку при:

$$\text{а) } R_H \approx \frac{1}{2} Z_{\mathcal{L}}; \quad R_H \approx Z_{\mathcal{L}}; \quad R_H \approx 2Z_{\mathcal{L}} \quad \text{при} \quad R_r = \infty$$

$$\text{б) } R_r \approx \frac{1}{2} Z_{\mathcal{L}}; \quad R_r \approx Z_{\mathcal{L}}; \quad R_r \approx 2Z_{\mathcal{L}} \quad \text{при} \quad R_H = \infty$$

4.4 Визначити час розповсюдження сигналу в лінію $t_{\mathcal{L}}$ за осцилограмою.

4.5 Дослідити проходження імпульсу по неоднорідних лініях зв'язку (№3 і №4), узгоджених на кінцях. Замалювати осцилограми на початку і в кінці неоднорідних ліній зв'язку при:

$$R_r = 75 \text{ Ом}; \quad R_H = 30 \text{ Ом} \quad \text{для лінії №3};$$

$$R_r = 75 \text{ Ом}; \quad R_H = 75 \text{ Ом} \quad \text{для лінії №4}.$$

5 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

5.1 Провести виміри $C_{\mathcal{L}}$, $L_{\mathcal{L}}$ однорідної лінії зв'язку, що відповідає заданому варіанту, для чого необхідно:

- вивчити порядок роботи з приладом Е12-1А;
- вимірити $C_{\mathcal{L}}$, $L_{\mathcal{L}}$ лінії зв'язку приладом Е12-1А; результати вимірювання занести в табл. 5.1;
- розрахувати $Z_{\mathcal{L}}$ за формулою (1.1), використовуючи отримані при вимірюванні дані; результати занести до табл. 5.1

5.2 Виконати п. 4.2:

- підключаючи різні опори R_H з набору узгоджуючих опорів, за осцилограмою визначити довжину відрізка а і b, з урахуванням знака b (рис. 1.2). Отримані дані занести в табл. 5.2 і розрахувати за ними коефіцієнт відбиття:

$$K_{\text{відб}}(R_H) = \frac{a}{b};$$

при розрахунку коефіцієнта відбиття необхідно враховувати його знак;

- побудувати графік $K_{\text{відб}} = f(R_H)$, врахувати знак $K_{\text{відб}}$;
- визначити $Z_{\mathcal{L}}$ за графіком $K_{\text{відб}} = f(R_H)$ з умови $Z_{\mathcal{L}} = Z_H$ при $K_{\text{відб}} = 0$; отримане значення $Z_{\mathcal{L}}$ занести в табл. 5.1.

5.3 Замалювати осцилограми для початку і кінця однорідної лінії зв'язку при:

$$R_H \approx \frac{1}{2} Z_{\mathcal{L}}; \quad R_H \approx Z_{\mathcal{L}}; \quad R_H \approx 2Z_{\mathcal{L}} \quad \text{при} \quad R_r = \infty$$

Таблиця 5.1 – Результати розрахунків та вимірювань параметрів ліній зв'язку

№ лінії зв'язку	$C_{Л}$, пФ		$L_{Л}$, мкГн		$t_{Л}$, нс		$Z_{Л}$, Ом		
	теор.	експ.	теор.	експ.	теор.	експ.	розр. по $C_{Л}$, $L_{Л}$ теор.	розр. по $C_{Л}$, $L_{Л}$ експ.	из графика $K_{відб} = f(R_H)$

Таблиця 5.2 – Результати досліджень $K_{відб} = f(R_H)$

R_H , Ом	24	30	43	61	75	80	100	130	270
а , см									
в , см									
$K_{відб}$									

6 ЗМІСТ ЗВІТУ

Звіт повинен містити:

- титульний лист;
- назву та мету роботи;
- результати розрахунків та експериментальні дані, зведені до табл. 5.1 та табл. 5.2;
- осцилограми згідно п. 4.3 та п. 4.5;
- висновки до роботи.

7 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

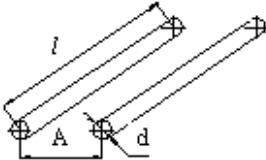
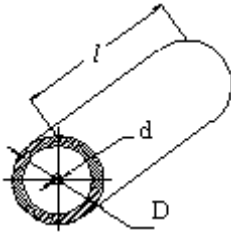
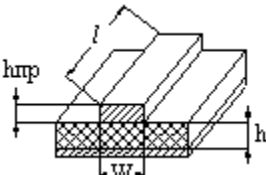
1. Які лінії зв'язку називаються довгими ?
2. Назвіть причину появи відбитих сигналів у лініях зв'язку та наслідок цього явища.
3. Чому дорівнює коефіцієнт відбиття $K_{відб}$?
4. Як визначається тривалість відбитого сигналу?
5. Пояснити діаграму проходження імпульсного сигналу по лініям зв'язку (рис. 1.3).
6. Поясніть вид осцилограми проходження імпульсу по однорідної лінії зв'язку при різних R_r і R_H .
7. Поясніть вид осцилограми проходження імпульсу по неоднорідним лініям зв'язку.
8. Поясніть залежність $K_{відб} = f(R_H)$

ЛІТЕРАТУРА

1. Ненашев А.П. Конструирование радиоэлектронных средств: Учеб. для радиотехн. спец. ВУЗов – М.: Высшая школа, 1990. – 432 с.
2. Ненашев А.П., Колядов Л.А. Особенности конструирования электромагнитных связей МЭА – МИЭТ, 1977.

Додаток А

Розрахункові формули параметрів ліній зв'язку

Тип лінії	Позначення параметрів	Розрахункова формула
Сусідні провідники (свивка)		$L_o = 0.4\mu(2.3\lg \frac{2A}{d} + 0.25) \left[\frac{\text{мкГн}}{\text{м}} \right]$ $C_o = 12.1 \frac{\varepsilon_{\text{эф}}}{\lg \frac{2A}{d}} \left[\frac{\text{нФ}}{\text{м}} \right]; \quad \varepsilon_{\text{эф}} = 0.8\varepsilon;$ $\mu = 1; \quad Z_{\text{Л}} = \frac{276}{\sqrt{\varepsilon}} \lg \frac{2A}{d} [\text{Ом}];$ $L_{\text{Л}} = L_o \cdot l; \quad C_{\text{Л}} = C_o \cdot l;$ $t_{\text{Л}} = \sqrt{L_{\text{Л}} C_{\text{Л}}} [\text{нс}]; \quad A, l, d [\text{м}]; \quad L [\text{мкГн}];$ $C [n\Phi].$
Коаксіальний кабель		$L_o = 0.46 \lg \frac{D}{d} \left[\frac{\text{мкГн}}{\text{м}} \right];$ $C_o = \frac{\varepsilon}{41.4 \lg \frac{D}{d}} \left[\frac{\text{нФ}}{\text{м}} \right]; \quad L_{\text{Л}} = L_o \cdot l;$ $C_{\text{Л}} = C_o \cdot l; \quad Z_{\text{Л}} = \frac{138}{\sqrt{\varepsilon}} \lg \frac{D}{d} [\text{Ом}];$ $D, l, d [\text{м}].$
Друкований провідник над екраном		$L_o = 0.46 \lg \frac{4h}{d_o} \left[\frac{\text{мкГн}}{\text{м}} \right]$ $C_o = \frac{24\varepsilon_{\text{эф}}}{\lg \frac{4h}{d_o}} \left[\frac{\text{нФ}}{\text{м}} \right]; \quad C_{\text{Л}} = C_o \cdot l;$ $L_{\text{Л}} = L_o \cdot l; \quad t_{\text{Л}} = \sqrt{L_{\text{Л}} C_{\text{Л}}} [\text{нс}]; \quad L [\text{мкГн}];$ $C [n\Phi]; \quad d_o = 0.67h_{\text{нр}} + 0.567W;$ $h, W, h_{\text{нр}}, l, d_o [\text{м}].$

Додаток Б

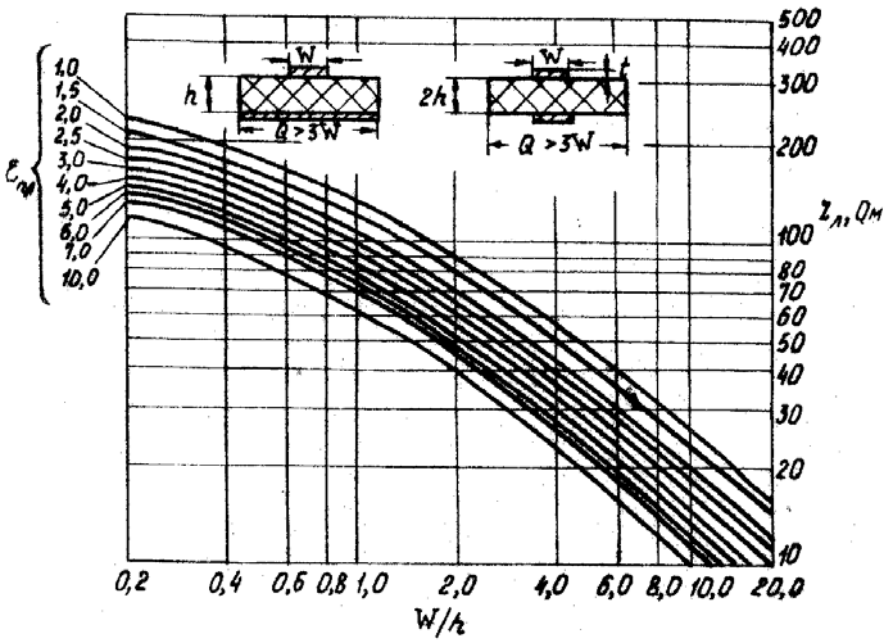
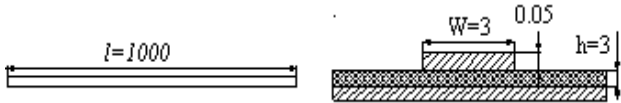
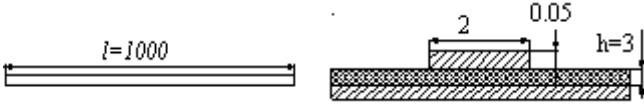
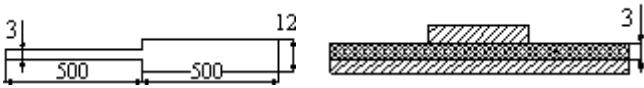
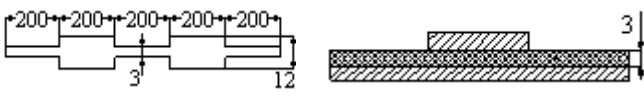
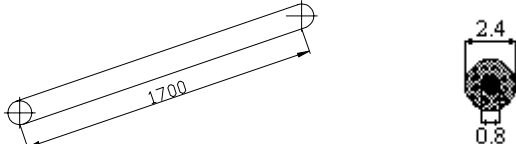
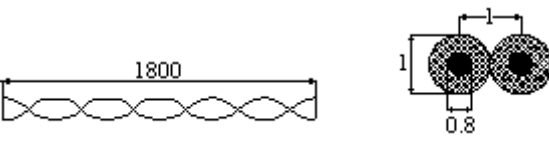


Рисунок Б.1 – Графіки залежності хвильового опору несиметричної смужкової лінії від W/h для різних E

Додаток В
Конструктивні параметри ліній зв'язку

№	Геометрія лінії	Діелектрик
1		Стекло- текстоліт $\varepsilon_{пл} = 5$ $\varepsilon_{эф} = \frac{\varepsilon + 1}{2}$
2		
3		
4		
5		Поліетилен $\varepsilon = 2,3$
6		Фторопласт $\varepsilon = 2,1$ $\varepsilon_{эф} = \frac{\varepsilon + 1}{2}$