

Затверджено науково-методичною
радою ЖДТУ
протокол від «__» _____ 20__ р.
№__

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
для проведення практичних занять

з навчальної дисципліни
«ЕЛЕКТРОЗВ'ЯЗОК»

для студентів освітнього рівня «БАКАЛАВР»
денної та заочної форм навчання
спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
освітньо-професійна програма «Телекомунікації та радіотехніка»
факультет інформаційно-комп'ютерних технологій
кафедра біомедичної інженерії та телекомунікацій

Розглянуто і рекомендовано
на засіданні кафедри біомедичної
інженерії та телекомунікацій
протокол від «28» серпня 2018 р.
№ 1

Розробник: старший викладач кафедри біомедичної інженерії та
телекомунікацій Бенедицький В.Б.

ЗМІСТ

Практичне заняття 1. Математичні моделі часового представлення неперервних випадкових сигналів.....	3
Практичне заняття 2. Спектральна і автокореляційна характеристики неперервних випадкових сигналів.....	6
Практичне заняття 3. Розрахунок інформаційних параметрів джерел дискретних повідомлень.....	10
Практичне заняття 4. Проектування завадостійкого циклічного коду та перевірка його властивостей.....	16
Практичне заняття 5. Перенесення інформаційного сигналу в частотний діапазон, призначений для його передавання.....	19
Практичне заняття 6. Дискретизація та відновлення неперервних сигналів.....	22
Практичне заняття 7. Розрахунок пропускної здатності дискретних каналів зв'язку.....	26
Практичне заняття 8. Проходження випадкових сигналів через канали зв'язку з нелінійною амплітудною характеристикою.....	28

Практичне заняття 1

Математичні моделі часового представлення неперервних
випадкових сигналів

1. Постановка задачі

1.1. Необхідно розрахувати і побудувати характеристики ймовірнісної математичної моделі часового представлення гармонічного сигналу $s(t)$, початкова фаза якого є випадковою величиною, значення якої рівномірно розподілені на інтервалі від $-\pi$ до $+\pi$:

$$s(t) = U_m \cos(\omega t + \varphi),$$

де U_m і ω – амплітуда і частота, які мають постійне значення; φ – початкова фаза. Значення параметрів U_m і ω згідно з варіантом задає табл.1.

Таблиця 1

Параметри досліджуваних випадкових сигналів $s(t)$ і $\xi(t)$ та значення величин U_m, U_1, U_2 , для завдань п. 1.1-1.4

Варіант	$U_m, \text{В}$	$f, \text{кГц}$	$m, \text{В}$	$\sigma, \text{В}$	$U_{\text{пор}}, \text{В}$	$U_1, \text{В}$	$U_2, \text{В}$
1	2,8	10,0	+0,8	1,6	-1,0	+0,8	+1,2
2	1,2	6,5	-1,2	0,6	+0,2	0	-0,6
3	1,8	1,5	+1,8	0,9	-0,5	+1,5	+1,8
4	2,6	2,4	+0,6	1,2	-1,0	+0,8	+1,5
5	1,0	3,0	-1,0	2,0	+3,0	+1,5	+2,5
6	2,2	5,5	+0,2	0,4	+0,8	-0,2	-0,6
7	1,5	6,0	-1,5	0,75	-0,5	-1,5	+0,75
8	2,3	8,2	+0,3	0,6	+0,5	+0,3	+2,1
9	1,9	7,4	-1,9	0,95	-1,0	-0,5	-1,0
10	1,4	2,8	+1,4	0,7	+2,0	-0,7	0
11	2,1	2,0	-0,1	0,2	+0,1	-0,3	+0,1
12	2,8	4,2	-0,8	1,6	+2,4	-4,0	+2,4

ЖДТУ	Міністерство освіти і науки України Житомирський державний технологічний університет						
-------------	---	--	--	--	--	--	--

13	2,0	5,0	0	1,0	+2,0	-3,0	+3,0
14	1,1	1,8	+1,1	0,55	-0,3	0	+2,2
15	2,5	1,4	+0,5	1,0	+0,5	-2,5	-3,0

1.2. Визначить середнє значення, середню потужність і середню потужність відхилення відносно середнього значення випадкового сигналу заданого в п. 1.1.

1.3. Необхідно розрахувати і побудувати характеристики ймовірнісної математичної моделі часового представлення флуктуаційної завади $\xi(t)$. Для флуктуаційної завади є справедливим нормальний закон розподілу і є відомі параметри: середнє значення m та ефективна напруга σ , значення яких згідно з варіантом задає табл.1.

1.4. Для випадкового сигналу, заданого в п. 1.3, користуючись характеристиками ймовірнісної математичної моделі, необхідно визначити:

а) ймовірність того, що випадковий сигнал не перевищує заданий пороговий рівень $U_{\text{пор}}$;

б) ймовірність того, що випадковий сигнал перевищує заданий пороговий рівень $U_{\text{пор}}$;

в) ймовірність того, що випадковий сигнал перебуває в заданих межах $U_1 < \xi < U_2$;

г) ймовірність того, що випадковий сигнал перебуває поза межами інтервалу напруг від U_1 до U_2 .

Значення величин $U_{\text{пор}}$, U_1 і U_2 наведені в табл.1.

2. Рекомендації до формування методики розв'язання задачі

2.1. Функція для щільності (густини) розподілу ймовірностей появи значень неперервного випадкового сигналу $s(t)$ типу гармонічний сигнал, у якого початкова фаза, рівномірно розподілена випадкова величина, є відомою і з методикою її одержання можна ознайомитись в [3] або [4].

$$p(s) = \begin{cases} \frac{1}{\pi \cdot \sqrt{u_m^2 - s^2}}, & |s| \leq u_m \\ 0, & |s| > u_m \end{cases}.$$

2.2. Другу характеристику закону розподілу сигналу $s(t)$, саме функцію розподілу, знаходимо за визначенням

$$F(s) = \int_{-\infty}^u p(s) \cdot ds = \int_{-\infty}^u \frac{1}{\pi \cdot \sqrt{u_m^2 - s^2}} ds.$$

2.3. Знаходимо параметри неперервного випадкового сигналу $s(t)$, для чого потрібно застосувати відомі з теорії ймовірностей формули:

$$s_{\text{сер}} = \bar{s}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} s \cdot p(s, t) \cdot ds$$

$$P_{\text{сер}} = \overline{s^2(t)} = \int_{-\infty}^{\infty} s^2 \cdot p(s, t) \cdot ds$$

$$P_{\text{сер.відх.}} = D[s] = \overline{s^2(t)} - \bar{s}^2(t)$$

2.4. Для неперервного випадкового сигналу $\xi(t)$ формулу для щільності (густини) розподілу ймовірностей появи його значень вибираємо на підставі умови про те, що він є нормальним; отже, необхідно використати функцію Гаусса:

$$p(\xi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(\xi - \bar{\xi})^2}{2\sigma^2}\right)$$

де $\bar{\xi}$ – середнє значення неперервного випадкового сигналу $\xi(t)$;

σ^2 – дисперсія неперервного випадкового сигналу $\xi(t)$;

2.5. Спосіб знаходження функції розподілу для випадкового сигналу $\xi(t)$ Ви знайдете в посібнику [3] на с. 117.

Контрольні запитання для формування висновків до роботи

1. Як визначається ймовірність того, що випадковий сигнал перебуває в заданих межах від U_1 до U_2 , якщо є відомою:

а) функція розподілу? б) густина розподілу ймовірностей?

2. Як визначається ймовірність того, що випадковий сигнал не перевищує заданий пороговий рівень, якщо є відомою:

а) функція розподілу? б) густина розподілу ймовірностей?

3. Як визначається ймовірність того, що випадковий сигнал перевищує заданий пороговий рівень, якщо є відомою:

а) функція розподілу? б) густина розподілу ймовірностей?

4. Чому під час визначення середнього значення і середньої потужності для гармонічного коливання з випадковим рівномірним розподіленим значенням початкової фази шляхом усереднення однієї реалізації в часі Ви обмежували границі інтегрування?

Практичне заняття 2

Спектральна і автокореляційна характеристики неперервних випадкових сигналів

1. Постановка задачі

Експериментально були зняті спектральні характеристики для 8-ми стаціонарних неперервних випадкових сигналів. Ці характеристики апроксимовані відповідними математичними функціями $G(\omega)$, які наведені в табл.2.

Таблиця 2

**Математичні моделі частотного представлення
заданих сигналів**

Варіанти	Функції $G(\omega)$, якими апроксимовані спектральні характеристики неперервних випадкових сигналів	α
1 і 9	$\frac{\alpha^2 \cdot G_0}{\alpha^2 + \omega^2}$, де $G_0 = 1 \text{Вт/Гц}$	10^3
2 і 10	$\frac{\alpha^2 \cdot G_0}{\alpha^2 + (\omega_0 - \omega)^2}$, де $\omega_0 = 10^3 \alpha$; $G_0 = 1 \text{Вт/Гц}$	$5 \cdot 10^5$
3 і 11	$G_0 \cdot \exp\left(-\frac{\omega^2}{\alpha^2}\right)$, де $G_0 = 1 \text{Вт/Гц}$	10^2
4 і 12	$G_0 \cdot \exp\left(-\frac{(\omega - \omega_0)^2}{\alpha^2}\right)$, де $\omega_0 = 10^3 \alpha$; $G_0 = 1 \text{Вт/Гц}$	10^2
5 і 13	$G(\omega) = \begin{cases} G_0, & 0 \leq \omega \leq \alpha \\ 0, & \omega > \alpha \end{cases}$, де $G_0 = 1 \text{Вт/Гц}$	10^2
6 і 14	$G(\omega) = \begin{cases} G_0, & \omega - \omega_0 \leq \alpha \\ 0, & \omega - \omega_0 > \alpha \end{cases}$ де $\omega_0 = 10^3 \alpha$; $G_0 = 1 \text{Вт/Гц}$	10^6
7 і 15	$G(\omega) = \begin{cases} G_0 \cdot \frac{\omega}{\alpha}, & 0 \leq \omega \leq \alpha \\ 0, & \omega > \alpha \end{cases}$, де $G_0 = 1 \text{Вт/Гц}$	$5 \cdot 10^4$
8 і 16	$G(\omega) = \begin{cases} G_0 \cdot \frac{\omega - \omega_0}{\alpha}, & \omega_0 \leq \omega \leq \omega_0 + \alpha \\ 0, & \omega < \omega_0 \end{cases}$, де $\omega_0 = 10^3 \alpha$; $G_0 = 1 \text{Вт/Гц}$	$5 \cdot 10^2$

1.1. Необхідно розрахувати і подати у вигляді графіка задану у Вашому варіанті (див. табл.2) спектральну характеристику неперервного випадкового сигналу.

1.2. Використовуючи спектральну характеристику заданого сигналу, визначить ширину його спектра та середнє значення потужності.

1.3. Необхідно розрахувати і подати у вигляді графіка автокореляційну характеристику $B(\tau)$ заданого сигналу.

1.4. Використовуючи автокореляційну характеристику заданого сигналу, визначить його інтервал кореляції та середнє значення потужності.

2. Рекомендації до формування методики розв'язання задачі

2.1 Для визначення ширини спектра сигналу, у разі, коли спектральна характеристика не є обмеженою, потрібно застосувати формулу

$$\Delta f_{\text{еф}} = \frac{\int_0^{\infty} G(\omega) \cdot d\omega}{G_{\text{макс}}},$$

де $G_{\text{макс}}$ – максимальне значення спектральної характеристики.

2.2. Для розрахунку автокореляційної характеристики заданого випадкового сигналу потрібно застосувати формулу (2.43а) з підручника [Теория передачи сигналов / А.Г. Зюко, Д.Д. Кловский, М.В. Назаров, Л.М. Финк. – М.: Радио и связь, 1986], яку Ви знайдете на с. 40.

$$B(\tau) = 2 \int_0^{\infty} G(f) \cos(2\pi f\tau) df.$$

Цю формулу потрібно застосувати у варіантах з низькочастотними сигналами ($\omega_0 = 0$). Для високочастотних сигналів ($\omega_0 \gg \alpha$) автокореляційна характеристика визначається за огинаючою і має вигляд

$$B(\tau) = B_0(\tau) \cos(2\pi f\tau),$$

де $B_0(\tau)$ – огинаюча автокореляційної характеристики

$$B_0(\tau) = 2 \int_0^{\infty} G_{\text{н.ч.}}(f) \cos(2\pi f\tau) df,$$

де $G_{\text{н.ч.}}(f) = G(f - f_0)$.

Для переходу від $G(f)$ до $G_{\text{н.ч.}}(f)$ необхідно різницю частот $(\omega - \omega_0) = 2\pi(f - f_0)$ у виразі для $G(f)$ замінити на частоту $\omega = 2\pi f$, тобто якщо

$$G(f) = G_0 \cos[2\pi(f - f_0)\tau], \text{ то } G_{\text{н.ч.}}(f) = G_0 \cos(2\pi f\tau).$$

2.3. Для визначення інтервалу кореляції потрібно застосувати формулу

$$\tau_k = \frac{\int_0^{\infty} B_0(\tau) d\tau}{B_0(0)}$$

де B_0 – огибаюча автокореляційної характеристики сигналу.

Величину τ_k можна визначити з графіка автокореляційної характеристики (АКХ), як часовий інтервал, коли кореляція між сусідніми значеннями сигналу вже відсутня. Тобто, коли існує точка $B(\tau) = 0$.

Контрольні запитання для формування висновків до роботи

1. Як ви обґрунтували вибір меж інтегрування під час визначення АКХ заданого сигналу?
2. Які параметри сигналу можна визначити з АКХ випадкового сигналу?
3. Як можна визначити АКХ випадкового сигналу, якщо Ви експериментально виміряли його спектральну густину потужності?

4. Чи існує залежність між параметрами неперервного випадкового сигналу «ширина спектра» та «інтервал кореляції»? Якщо є, то якою є ця залежність?

Практичне заняття 3.

Розрахунок інформаційних параметрів джерел дискретних повідомлень.

1. Постановка задач

Задача 1. Джерело інформації формує незалежні повідомлення. Алфавіт джерела A складається з m повідомлень, тривалість яких є однаковою і дорівнює τ (мсек). Поява будь-якого повідомлення не залежить від того, які повідомлення були на виході джерела у попередні моменти часу.

Визначить ентропію джерела повідомлень $H(A)$ і його продуктивність R_d , якщо відомі ймовірності появи окремих повідомлень $- P(A_k), k = 1, 2, \dots, m$.

Вкажіть, як треба змінити параметри джерела, щоб ентропія досягла максимального значення.

Вхідні дані для розрахунків згідно з варіантом необхідно вибрати з табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Параметри джерел повідомлень

Варіант	m	τ , мсек	$P(a_1)$	$P(a_2)$	$P(a_3)$	$P(a_4)$
1	5	1	0.2	0.1	0.2	0.3
2	4	2	0.1	0.2	0.3	-
3	3	3	0.4	0.3	-	-
4	5	4	0.5	0.1	0.1	0.1
5	4	5	0.6	0.2	0.1	-
6	3	6	0.4	0.2	-	-
7	5	7	0.3	0.2	0.2	0.1

8	4	8	0.2	0.2	0.2	-
9	3	9	0.1	0.3	-	-
10	5	10	0.2	0.4	0.2	0.05
11	4	11	0.4	0.3	0.1	-
12	3	12	0.5	0.1	-	-
13	5	13	0.3	0.2	0.2	0.05
14	4	14	0.4	0.3	0.1	-
15	3	15	0.1	0.4	-	-
16	5	16	0.2	0.5	0.1	0.05
17	4	17	0.3	0.6	0.05	-
18	3	18	0.5	0.1	-	-
19	5	19	0.3	0.1	0.1	0.2
20	4	20	0.1	0.2	0.4	-

Задача 2. На виході джерела повідомлення pojawiaються парами. До того ж перше повідомлення є незалежним, а поява другого повідомлення залежить від того, яким було перше повідомлення. Для визначення значень безумовних ймовірностей появи на першій позиції повідомлень $a^{(1)}$ і $b^{(1)}$ виберіть з табл. 3.1 $P(a_1)$ Вашого варіанта. Годі $P(a^{(1)}) = P(a_1)$, а $P(b^{(1)}) = 1 - P(a_1)$. Дослідіть характер зміни ентропії і надлишковості джерела повідомлень з переходом від режиму формування незалежних повідомлень (коефіцієнт кореляції між сусідніми повідомленнями дорівнює 0) до режиму, коли між сусідніми повідомленнями існує залежність (статистичний зв'язок), причому ймовірність появи наступного повідомлення залежить від появи тільки одного попереднього повідомлення. Розгляньте два випадки:

а) Ймовірність того, що наступним появиться повідомлення $a^{(2)}$ за умови, що попереднім було повідомлення $a^{(1)}$ дорівнює ймовірності того, що наступним появиться повідомлення $b^{(2)}$ за умови, що попереднім було повідомлення $b^{(1)}$, тобто $P(a^{(2)} | a^{(1)}) = P(b^{(2)} | b^{(1)})$. І ймовірність того, що наступним появиться повідомлення $a^{(2)}$ за умови, що попереднім було повідомлення $b^{(1)}$ дорівнює ймовірності того, що

наступним появиться повідомлення $b^{(2)}$ за мови що попереднім було повідомлення $a^{(1)}$, тобто $P(a^{(2)} | b^{(1)}) = P(b^{(2)} | a^{(1)})$.

Вхідні дані для розрахунків згідно з варіантом необхідно вибрати з табл.3.2.

Таблиця 3.2

**Значення умовних ймовірностей появи повідомлень
на виході джерела**

Варіант	$P(a^{(2)} a^{(1)}) = P(b^{(2)} b^{(1)})$	$P(a^{(2)} b^{(1)}) = P(b^{(2)} a^{(1)})$
1	0,7	0,3
2	0,2	0,8
3	0,9	0,1
4	0,3	0,7
5	0,6	0,4
6	0,8	0,2
7	0,4	0,6
8	0,1	0,9
9	0,75	0,25
10	0,15	0,85
11	0,95	0,05
12	0,35	0,65
13	0,55	0,45
14	0,85	0,15
15	0,65	0,35

б) Ймовірність того, що наступним появиться повідомлення $a^{(2)}$ за умови, що попереднім було повідомлення $a^{(1)}$ не дорівнює ймовірності того, що наступним появиться повідомлення $b^{(2)}$ за умови, що попереднім було повідомлення $b^{(1)}$, тобто $P(a^{(2)} | a^{(1)}) \neq P(b^{(2)} | b^{(1)})$.
І ймовірність того, що наступним появиться повідомлення $a^{(2)}$ за умови, що попереднім було повідомлення $b^{(1)}$ не дорівнює ймовірності того, що

наступним появиться повідомлення $b^{(2)}$ за мови що попереднім було повідомлення $a^{(1)}$, тобто $P(a^{(2)} | b^{(1)}) \neq P(b^{(2)} | a^{(1)})$.

Вхідні дані для розрахунків згідно з варіантом необхідно вибрати з табл.3.3.

Таблиця 3.3

**Значення умовних ймовірностей появи повідомлень
на виході джерела**

Варіант	$P(a^{(2)} a^{(1)})$	$P(b^{(2)} a^{(1)})$	$P(b^{(2)} b^{(1)})$	$P(a^{(2)} b^{(1)})$
1	0,7	0,3	0,1	0,9
2	0,9	0,1	0,3	0,7
3	0,2	0,8	0,75	0,25
4	0,6	0,4	0,15	0,85
5	0,8	0,2	0,65	0,35
6	0,4	0,6	0,95	0,05
7	0,1	0,9	0,85	0,15
8	0,3	0,7	0,55	0,45
9	0,75	0,25	0,9	0,1
10	0,15	0,85	0,4	0,6
11	0,95	0,05	0,8	0,2
12	0,35	0,65	0,65	0,35
13	0,55	0,45	0,45	0,55
14	0,85	0,15	0,15	0,85
15	0,65	0,35	0,35	0,65

**2. Практичні поради для формування відповідей на поставлені
запитання і методик розв'язування поставлених вище задач можна
знайти:**

1. Волочій Б.Ю. Передавання сигналів у інформаційних системах : навч. посібник, Ч.1. – Л. : Львівська політехніка, 2005. – с. 107 – 123

2. Мандзій, Б. А., Желяк Р.І. Основи теорії сигналів : підручник. – Львів : Ініціатива, 2008. – с 150 – 156.

3. Зюко А.Г., Кловский Д.Д., Назаров М.В., Финк Л.М. Теория передачи сигналов : Учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Радио и связь, 1986. – с.101 –106.

3. Рекомендації до формування методик розв'язання задач

3.1. Розв'язуючи задачу 1, невідомі значення $P(a_m)$ визначте з умови, що повідомлення джерела повідомлень становлять повну групу подій.

$$P(a_1) + P(a_2) + \dots + P(a_m) = 1$$

$$P(a_i) = 1 - \sum_{k=1}^{m-1} P(a_k)$$

Знайти ентропію джерела $H(A)$, максимальне значення ентропії $H_{max}(A)$ та продуктивність R_d джерела повідомлень. Ентропію джерела обчислюють за формулою

$$H(A) = \sum_{k=1}^m P(a_k) \log_2 \frac{1}{P(a_k)}.$$

Виконуючи розрахунки функції $\log_2 X$, можемо застосувати формулу

$$\log_2 X = \frac{\lg X}{\lg 2} = 3,32 \lg X$$

Щоб ентропія була максимальною, потрібно, щоб усі повідомлення джерела мали однакову ймовірність появи:

$$P(a_1) = P(a_2) = \dots = P(a_m)$$

Продуктивність джерела визначається так:

$$R_d = \frac{H(A)}{T},$$

де T – тривалість повідомлення.

Знайти надлишковість джерела повідомлень

$$\rho = 1 - \frac{H(A)}{H_{\max}(A)}.$$

3.2. Виконуючи задачу 2, ймовірності появи на другій позиції повідомлень $a^{(2)}$ і $b^{(2)}$ визначайте за формулою повної ймовірності для залежних повідомлень

$$P(a^{(2)}) = P(a^{(1)})P(a^{(2)} | a^{(1)}) + P(b^{(1)})P(a^{(2)} | b^{(1)}),$$

і відповідно

$$P(b^{(2)}) = P(a^{(1)})P(b^{(2)} | a^{(1)}) + P(b^{(1)})P(b^{(2)} | b^{(1)}).$$

Для випадку «а» розрахунок ймовірностей появи на другій позиції повідомлень $a^{(2)}$ і $b^{(2)}$ виконайте крім даних свого варіанта і для двох сусідніх варіантів. Метою такого розрахунку є оцінювання характеру їх зміни.

Для оцінювання характеру зміни ентропії і надлишковості джерела у випадках «а» і «б», обчисліть реальну ентропію і надлишковість за умови, що поява повідомлень на другій позиції є незалежною.

4. Контрольні запитання для формування висновків до роботи

1. Як змінити параметри джерела, щоб його ентропія досягла максимального значення?

2. Як визначити ймовірність появи m -го повідомлення джерела, коли є відомі ймовірності появи всіх повідомлень від 1 до $m-1$?

3. Що означає фраза «алфавіт джерела повідомлень складається з m символів»?

4. Які особливості на розв'язання задачі накладає умова «всі символи алфавіту незалежні один від одного»?

5. Які вхідні дані необхідні для розрахунку продуктивності джерела повідомлень?

6. Яка розмірність ентропії?

Практичне заняття 4

Проектування завадостійкого циклічного коду та перевірка його властивостей.

1. Постановка задачі

Вам необхідно сформувати дозволені кодові комбінації циклічного коду для заданих двох повідомлень, поданих кодovими комбінаціями простою коду, які забезпечують можливість виправляти однократну помилку.

Перевірте можливості сформованих дозволених кодових комбінацій щодо виявлення та виправлення помилок.

Вхідні дані згідно з варіантом необхідно вибрати з табл. 4.

Таблиця 4

Кодові комбінації простого коду

Варіант	Повідомлення 1	Повідомлення 2
1	10001	00110
2	10101	00001
3	11000	10000
4	10111	10101
5	11111	01010

ЖДТУ	Міністерство освіти і науки України Житомирський державний технологічний університет	
-------------	---	--

6	11110	00010
7	11011	00011
8	01111	10100
9	01100	11000
10	00001	11100
11	10000	10001
12	10010	10011
13	10100	00111
14	11100	10110
15	00100	11001

У всіх варіантах однієї групи необхідно використати один породжуючий поліном:

для групи TP-13 $P(x) = x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$

для групи TP-14 $P(x) = x^5 + x^2 + 1$

для групи TP-15 $P(x) = x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$

для групи TP-16 $P(x) = x^5 + x^3 + 1$

2. Практичні поради для формування відповідей на поставлені запитання і методик розв'язання наведених вище задач можна знайти:

1.Волочій Б. Ю. Передавання сигналів у інформаційних системах : навч. посібник, Ч.1. – Л. : Львівська політехніка, 2005. – с. 124–147.

2.Панфілов І.П., Дирда В.Ю., Капацін А.В. Теорія електричного зв'язку. – К.: Техніка, 1998. – с. 12–16, 287–299.

3.Кузьмин І.В., Кедрус В.А. Основы теории информации и кодирования : учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Вища школа, 1986. – с. 70–114.

4.Цымбал В.П. Теория информации и кодирования.Учебник.4-е изд., перераб. и доп.— К. : Вища шк., 1992–с. 79–102, 198–214.

5. Кодирование информации (двоичные коды):Справочник Березюк Н. Т., Андрущенко А. Г., Мошицкий С. С. и др. Харьков, издательское объединение "Вища школа", 1978, 252 с.

3. Рекомендації до формування методик розв'язання задач

Формуючи дозволена кодову комбінацію циклічного коду, задану кодову комбінацію простого коду зображаємо математичною моделлю у вигляді полінома $G(x)$. Наприклад, кодовій комбінації 10110 відповідає поліном $G(x) = x^4 + x^2 + x$.

Для визначення кількості перевірочних розрядів скористайтесь тим, що в постановці задачі є заданим породжуючий поліном.

Переміщення заданої кодової комбінації простого коду на позиції інформаційних розрядів дозволеної кодової комбінації здійснюється формуванням добутку $x^r G(x)$.

Математичну модель перевірконої частини дозволеної кодової комбінації знаходимо у вигляді залишку від ділення добутку $x^r G(x)$ на породжуючий поліном $P(x)$.

Тепер математичну модель дозволеної кодової комбінації можна подати поліномом $F(x) = x^r G(x) + R(x)$, де $R(x)$ – математична модель перевірконої частини.

Отримана так математична модель дозволеної кодової комбінації однозначно визначає відповідну кодову комбінацію.

Перевіряти можливості спроектованою Вами циклічного коду щодо виправлення помилок необхідно в такому порядку:

а) для обох повідомлень сформуєте множину заборонених кодових комбінацій, які виникають внаслідок однократної помилки;

б) для кожної забороненої кодової комбінації запишіть математичну модель $H_i(x)$;

в) знайдіть залишки від ділення поліномів $H_i(x)$ на породжуючий поліном $P(x)$;

г) результати дослідження подайте у вигляді впорядкованої таблиці і після її аналізу зробіть висновки про можливості циклічного коду щодо виправлення помилок.

Для розуміння такої постановки задачі необхідно опрацювати матеріал за підручником: Зюко А.Г., Кловський Д.Д., Назаров М.В., Фінк Л.М. Теорія передачі сигналів : Учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Радио и связь, 1986. – 304с.

4. Контрольні запитання для формування висновків

1. Чи можна поліном $P(x) = x^7 + x^6 + x$ використати як породжуючий під час формування циклічного коду?
2. Яка умова визначає максимальний степінь породжуючого полінома для циклічного коду заданої довжини?
3. Яка кодова комбінація називається забороненою?
4. Як визначити кількість помилок, які може виправити циклічний код, якщо його мінімальна кодова відстань $d_{min} = 4$?
5. Чому код називається циклічним?
6. Чи відповідає мінімальна кодова відстань між визначеними Вами дозволеними кодовими комбінаціями умові виправлення однократної помилки в кодовій комбінації?
7. На основі чого Ви бачите можливість виправляти однократну помилку у спроектованому Вами завадостійкому циклічному коді?
8. Яку позитивну ознаку має процедура виправлення помилок у спроектованому Вами завадостійкому циклічному коді?

Практичне заняття 5.

Перенесення інформаційного сигналу в частотний діапазон, призначений для його передавання.

1. Постановка задачі

Через канал зв'язку треба передати цифровий сигнал з тривалістю $t_{ц.с} = 8$ мсек, який представляє кодову комбінацію 10111011.

Оцініть:

- 1) ефективну ширину спектра цього цифрового сигналу;

2) як поміняється значення ефективної ширини спектра цього цифрового сигналу у разі збільшення його тривалості в два рази.

Вхідні дані індивідуальних завдань наведені в табл.5.

Через **канал зв'язку** треба передати цифровий радіосигнал з **відносно-фазовою маніпуляцією** (ВФМ_Н) з такими параметрами: частота сигналу переносника $f_{п} = 2,7$ МГц, тривалість радіосигналу $\tau_{ц,с} = 8$ мсек, радіосигнал представляє кодову комбінацію 10111011.

Оцініть:

3) ефективну ширину спектра цього цифрового радіосигналу;

4) як поміняється значення ефективної ширини спектра цього цифрового радіосигналу у разі збільшення його тривалості в два рази.

Вхідні дані індивідуальних завдань наведені в табл.5.

Через **канал зв'язку** треба передати цифровий радіосигнал з **амплітудною маніпуляцією** (АМ_Н) з такими параметрами: частота сигналу переносника $f_{п} = 2,7$ МГц, тривалість радіосигналу $\tau_{ц,с} = 8$ мсек, радіосигнал представляє кодову комбінацію 10111011.

Оцініть:

5) ефективну ширину спектра цього цифрового радіосигналу;

6) як поміняється значення ефективної ширини спектра цього цифрового радіосигналу у разі збільшення його тривалості в два рази.

Вхідні дані індивідуальних завдань наведені в табл.5.

Через **канал зв'язку** треба передати цифровий радіосигнал з **частотною маніпуляцією** (ЧМ_Н), який має такі параметри: частота сигналу переносника $f_{п1} = 50$ МГц і, $f_{п0} = 55$ МГц тривалість радіосигналу $\tau_{ц,с} = 16$ мсек, радіосигнал представляє кодову комбінацію 10111011.

Оцініть:

7) ефективну ширину спектра цього цифрового радіосигналу;

8) як поміняється значення ефективної ширини спектра цього цифрового радіосигналу у разі збільшення його тривалості в два рази.

9) чи правильно вибрані частоти сигналів переносників для обох варіантів тривалостей радіосигналу.

Вхідні дані індивідуальних завдань наведені в табл. 5.

Таблиця. 5.

Вхідні дані індивідуальних завдань

Варіант	Тривалість цифрового сигналу, мсек	Кодова комбінація	Частота сигналу переносника $f_{п1}$,	Частота сигналу переносника $f_{п2}$
1	32	1011101000111100	100 МГц	120 МГц
2	4	10010101	60 МГц	65 МГц
3	25	10110	40 МГц	44 МГц
4	36	001001110101	27 МГц	30 МГц
5	16	1011101000111100	900 МГц	910 МГц
6	40	10010101	14 МГц	15 МГц
7	50	10110	3 МГц	3,5 МГц
8	1,2	001001110101	0,8 МГц	0,83 МГц
9	48	1011101000111100	35 МГц	36 МГц
10	8	10010101	1,2 МГц	1,3 МГц
11	30	10110	110 МГц	107 МГц
12	48	001001110101	1800 МГц	1820 МГц
13	1,6	1011101000111100	71 МГц	72,5 МГц
14	0,16	10010101	9 МГц	10,5 МГц
15	60	10110	900 МГц	905 МГц

2 Практичні поради для формування відповідей на поставлені запитання і методики розв'язання наведених вище задач

Прочитайте розділ 1, а також підрозділи 2.4 і 5.3 підручника: Волочій Б.Ю. Передавання сигналів у інформаційних системах. Частина 1. –Львів: Вид-во Над. ун-ту "Львівська політехніка", 2005.

Практичне заняття 6.

Дискретизація та відновлення неперервних сигналів.

1. Постановка задачі

Необхідно визначити величину інтервалу рівномірної дискретизації для заданого сигналу (див. рис. 1).

Вхідні дані згідно з варіантом необхідно вибрати з табл. 6.

Таблиця 6

Параметри вхідних сигналів

Варіант	Форма сигналу	U_m , В	τ , мксек	T , мксек	F , кГц
1	1	1	130	600	
2	2	2			10
3	3	3			28
4	1	4	150	650	
5	2	5			35
6	3	6			45
7	1	7	140	550	
8	2	8			50
9	3	9			65
10	1	10	160	300	
11	2	11			70
12	3	12			85
13	1	13	180	420	
14	2	14			90
15	3	15			100

Примітка: Для сигналів 2 і 3 в таблиці задані параметри гармонічного сигналу, з якого ці сигнали сформовані. Форма сигналів наведена на рис. 1.

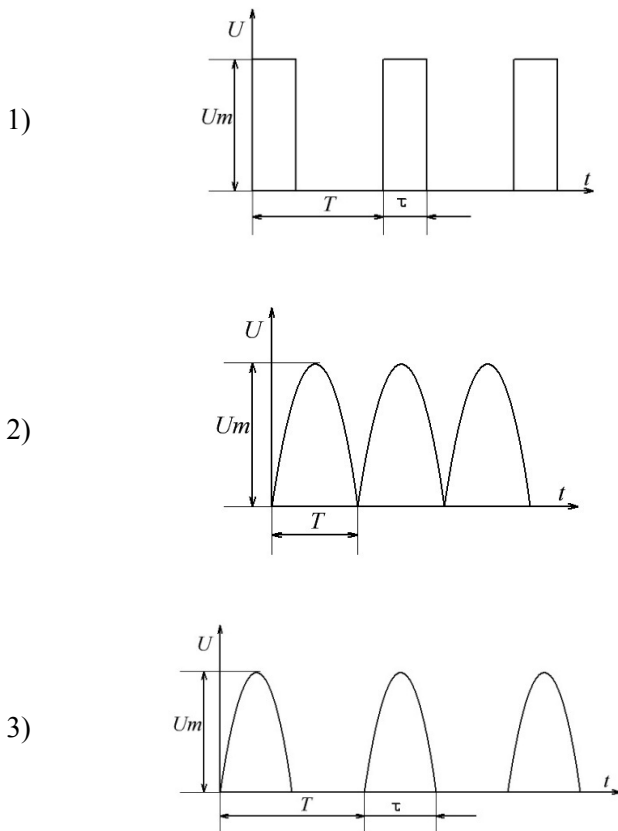


Рис. 1 Форма вхідних сигналів

2. Практичні поради для формування методики розв'язання поставленої задачі

Прочитайте підрозділи 1.2 і 2.4 підручника: Волочій Б.Ю. Передавання сигналів у інформаційних системах. Част. 1. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту "Львівська політехніка", 2005.

Використайте розділи 2 і 5 підручника: Мандзій Б.А., Желяк Р.І. Основи теорії сигналів. – Львів: НВП "Новий тезаурус", 2001.

Для розуміння такої постановки задачі необхідно опрацювати матеріал за підручником: Зюко А.Г., Кловский Д.Д., Назаров М.В., Финк Л.М. Теория передачи сигналов. – М.: Радио и связь. 1986.-С. 64-69.

3. Рекомендації до формування методики розв'язування задачі

1. Побувати часову математичну модель для заданого сигналу $s(t)$.

2. Сформувати умову для визначення ефективної ширини спектра заданого сигналу в такому вигляді:

$$0.9 \cdot P_c \leq P_0 + P_1 + P_2 + \dots + P_n,$$

де $P_0, P_1, P_2, \dots, P_n$ – потужність складових спектра сигналу $s(t)$; n – номер гармоніки, за якої умова виконується.

3. Визначити середнє значення потужності сигналу:

$$P_c = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} s^2(t) dt.$$

4. Знайти значення амплітуд та потужності складових спектра сигналу.

$$U_0 = \frac{a_0}{2};$$

$$U_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2};$$

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} s(t) dt;$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} s(t) \cdot \cos(\omega_1 n t) dt;$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} s(t) \cdot \sin(\omega_1 n t) dt;$$

$$P_0 = U_0^2;$$

$$P_n = \left(\frac{U_n}{\sqrt{2}} \right)^2 = \frac{U_n^2}{2}; n = 1, 2, \dots$$

5. Перевірити виконання умови, сформульованої у пункті 2, і визначити верхню частоту спектра сигналу F_B .

6. Визначити інтервал дискретизації.

$$\Delta t = \frac{1}{2 \cdot F_B}.$$

7. Здійснити перевірку достовірності отриманого результату.

4. Контрольні запитання для формування висновків до роботи

1. Який зміст вкладено в поняття "ширина спектра сигналу"?

2. Які характерні особливості спектральних характеристик детермінованих періодичних сигналів?

3. Яка різниця між поняттями "ширина спектра сигналу" і "ефективна ширина спектра сигналу"?

4. Чому потужність постійної складової сигналу визначається $P_0 = U_0^2$, а потужність гармонік $P_n = \frac{U_n^2}{2}$?

5. Як ви визначали частоту першої гармоніки в спектрі заданого сигналу?

6. Яким способом Ви здійснили перевірку достовірності одержаного результату?

Практичне заняття 7

Розрахунок пропускної здатності дискретних каналів зв'язку

1. Постановка задачі

Для джерела повідомлень заданого в задачі практичного заняття 3 знайти пропускну здатність каналу зв'язку, якщо відомий час передавання одного біта інформації. Розраховувати за умови, що цей канал зв'язку без завад. Здійснити кодування символів x_i , і розрахувати реальне значення швидкості передавання інформації. Порівняти одержані результати і зробити висновки. Варіанти завдань наведено в табл. 7.

Таблиця 7

Варіанти завдань

Номер варіанта	Тривалість передавання одного біта інформації, Т, сек
1	2
2	3
3	4
4	5
5	6
6	7
7	8
8	9
9	10
10	12
11	11
12	15
13	13
14	14
15	16

2. Рекомендації до методики розв'язування цієї задачі

1. Знайти ентропію та максимальну ентропію джерела повідомлень:

$$H(X), H_{max}(X).$$

2. Знайти швидкість B та максимальну швидкість B_{max} передавання інформації. Швидкість передавання інформації джерелом повідомлень визначається як

$$B = H(X)/T, \text{ (біт/сек)}$$

де $H(X)$ – ентропія джерела повідомлень; T – середня тривалість одного повідомлення.

3. Знайти пропускну здатність каналу зв'язку. Найбільша можлива швидкість передавання інформації для цього каналу називається його пропускну здатністю. Її вимірюють у біт/сек $C = B_{max}$, (біт/сек).

4. Середня кількість інформації, яку передає канал за одиницю часу, називається швидкість передавання інформації Швидкість введення інформації в канал (потік інформації) не повинен перевищувати пропускну здатність каналу, інакше частину інформації буде втрачено.

5. У каналі без завад кожному вхідному символу x_i відповідатиме певний символ на виході y_i . Отже, середня кількість інформації, яка на виході каналу дорівнюватиме ентропії символів на виході,

$$I(Y) = H(Y),$$

а пропускну здатність каналу без завад визначатиметься, як

$$C = \left\{ \frac{H(Y)}{T} \right\}_{max}, \text{ (біт/сек)}.$$

6. Здійснити нерівномірне кодування символів та розрахувати досягнуту швидкість введення інформації. Як очевидно з виразу значення C буде максимальне за зменшення середнього часу передавання одного символу і збільшення величини ентропії символів y_i . Якщо мінімальна тривалість передавання T є відомою величиною, яку можна розрахувати і яка залежить від параметрів конкретного каналу, то інший спосіб збільшення пропускну здатності каналу – це кодування вхідних символів для збільшення величини $H(X)$. Це досягається нерівномірним кодуванням, коли символ з більшою ймовірністю кодується меншою

кількістю біт, і навпаки символ з меншою ймовірністю кодується більшою кількістю біт.

3. Контрольні запитання для формування висновків до роботи

1. Що таке канал зв'язку?
2. У чому полягає теорема Шеннона?
3. Чому збільшення пропускної здатності каналу зв'язку за рахунок зменшення тривалості імпульсу має обмеження?
4. Як зміниться пропускна здатність каналу зв'язку без завад, якщо до сигналу додається адитивна завада?
5. Від яких параметрів залежить пропускна здатність каналу зв'язку.

Практичне заняття 8

Проходження випадкових сигналів через канали зв'язку з нелінійною амплітудною характеристикою.

1. Постановка задачі

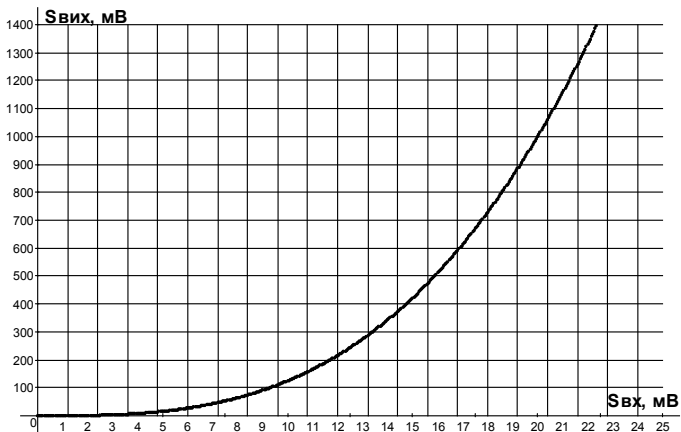
На вході каналу зв'язку з нелінійною амплітудною характеристикою діє випадковий сигнал $s(t)$ з нормальним (гауссовим) законом розподілу $p(s)$ з параметрами: середнє значення сигналу (постійна складова) U_s (мВ), значення ефективної напруги σ_s (мВ). Знайти густину розподілу ймовірностей появи значень випадкового сигналу на виході каналу зв'язку і побудувати її графік за умови, що в каналі відсутні завади. Знайти параметри U_s та σ_s вихідного сигналу.

Варіанти завдань наведено в табл. 8.

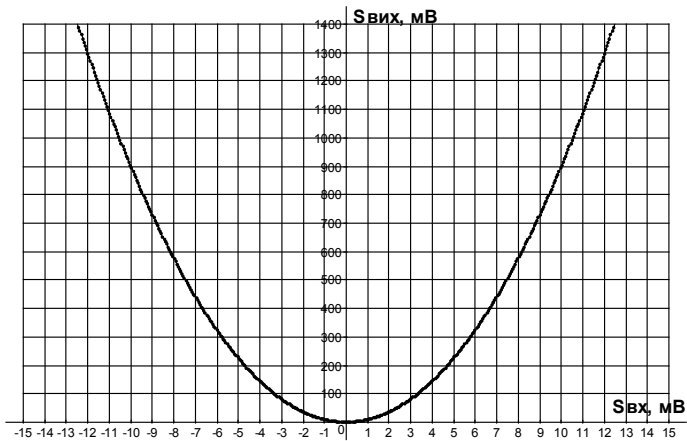
Таблиця 8

Варіанти завдань

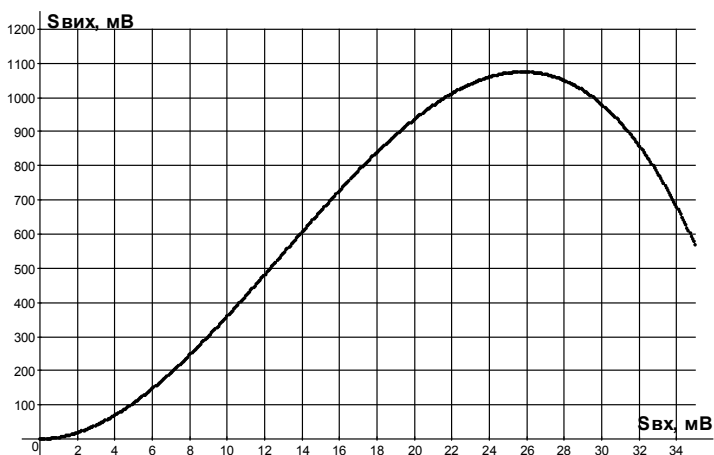
Варіант	U_s , мВ	σ_s , мВ	Амплітудна характеристика
1	6	2	Рис.2,а
2	-3	4	Рис.2,б
3	2	6	Рис.2,в
4	0	8	Рис.2,а
5	7	12	Рис.2,б
6	-4	15	Рис.2,в
7	-1	9	Рис.2,а
8	9	1	Рис.2,б
9	1	10	Рис.2,в
10	4	11	Рис.2,а
11	-8	7	Рис.2,б
12	-5	3	Рис.2,в
13	8	5	Рис.2,а
14	-6	13	Рис.2,б
15	-9	14	Рис.2,в



а)



б)



в)

Рис.2. Амплітудна характеристика каналу зв'язку

2. Рекомендації до методики розв'язання задачі

1. Записати вираз для математичної моделі сигналу.
2. Визначити функцію, якою можна апроксимувати амплітудну характеристику.
3. Знайти загальний вигляд густини розподілу ймовірності появи сигналу на виході каналу зв'язку

$$p(s_{\text{вих}}) = \delta(0) \cdot P_1 + \frac{p(s_{\text{вх}})}{\left| \frac{dy}{dx} \right|},$$

$$\text{де } P_1 = \int_{-\infty}^U P(s) \cdot ds; \quad \frac{dy}{dx} = \frac{dU_{\text{вих}}}{dU_{\text{вх}}}.$$

4. Контрольні запитання для формування висновків до роботи

1. Який канал зв'язку називається лінійним?
2. Який канал зв'язку називається нелінійним?
3. Чи забезпечується умова нормування для закону розподілу випадкового сигналу на виході нелінійного каналу зв'язку? Поясніть чому?
4. Який канал зв'язку називається безінерційним?
5. Які зміни потрібно очікувати в характеристиці "спектральна густина потужності випадкового сигналу" після його проходження через нелінійний канал зв'язку?

Література до практичних занять

Основна література

1. Волочій Б.Ю. Передавання сигналів у інформаційних системах Част. 1. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту "Львівська політехніка", 2005.
2. Зюко А.Г., Кловский Д.Д., Назаров М.В., Финк Л.М. Теория передачи сигналов. – М.: Радио и связь. 1986.
3. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. – М: Высш. шк., 1988.
4. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы.– М.: Высш. шк., 1986.

Додаткова література

1. Омельченко В.О., Санніков В.Г. Теорія електричного зв'язку. Част. 1. – К.: ІСДО, 1994. Част. 2. – К.: ІСДО, 1995. Част. 3. – К.: ІЗИН, 1997.
2. Омельченко В.О., Безрук В.М., Драган Я.П., Колесніков О.О., Омельченко А.В. Імовірнісні моделі випадкових сигналів та полів у прикладах і задачах: Навч. посібник / За ред. В.О. Омельченка. – К.: ІСДО, 1996.
3. Кловский Д.Д., Шилкин В.А. Теория злектрической связи. Сб.

задач и упражнений: Учебное пособие. – М.: Радио и связь, 1990.

4. Мандзій Б.А., Желяк Р.І. Основи теорії сигналів. – Львів: Ініціатива, 2008.

5. Панфілов І.П., Дирда В.Ю., Капацін А.В. Теорія електричного зв'язку, – К.: Техніка, 1998.

6. Волощук Ю.І. Сигнали та процеси у радіотехніці. Част. 1. – Харків, Нац. ун-т радіоелектроніки, 2003.

7. Андреев В.С. Теория нелинейных электрических цепей. – М.: Радио и связь, 1982.

8. Кузьмин И.В., Кедрус В.А. Основы теории информации и кодирования. – К.: Вища школа, 1986.

9. Игнатов В.А. Теория информации и передачи сигналов. – М.: Радио и связь, 1991.

10. Цімбал В.П. Теория информации и кодирования. – К.: Вища школа, 1992.