

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
КАФЕДРА АВТОМАТИКИ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ВИКОНАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНИХ РОБІТ
З ДИСЦИПЛІНИ: «ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРО-ЗВ'ЯЗКУ»
ДЛЯ СТУДЕНТІВ ДЕННОЇ ТА ЗАОЧНОЇ ФОРМ НАВЧАННЯ
ВСІХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ
ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ «БАКАЛАВР»

Луцьк
2023

Методичні вказівки до виконання індивідуальних робіт з дисципліни «Теорія електро-зв'язку» (для студентів денної та заочної форм навчання всіх спеціальностей освітнього ступеня «бакалавр») / [Уклад. Д.О. Жуковська]. – Луцьк: ДонНТУ, 2023. – 16 с.

Методичні вказівки складені відповідно до робочих програм, розроблених для навчальних планів підготовки інженера в технічних галузях. Розглядаються сучасні методи частотного аналізу полігармонійних сигналів цифровими засобами, перетворення детермінованих та випадкових сигналів під час проходження їх через лінійні та безінерційні нелінійні ланки каналів зв'язку, процеси перетворення сигналів у дискретних каналах зв'язку, реалізованих з урахуванням безперервного ЧМ каналу. Методичні вказівки націлені на виконання навчально-дослідних робіт студентів під час практикуму.

Укладачі: _____ Жуковська Д.О., асист. каф. автоматики та телекомунікацій
(підпис)

Рецензент: _____ Воропаєва А.О., к.т.н., доц., доцент кафедри
(підпис) інформаційно-телекомунікаційних
технологій та систем Івано-Франківського
національного технічного університету
нафти та газу

Відповідальний за випуск: _____ Поцєпаєв В.В., к.т.н., доц., в.о. завідувача
кафедри автоматики та телекомунікацій

Затверджено навчально-методичним відділом ДонНТУ,
протокол № ____ від _____

Розглянуто на засіданні кафедри автоматики та телекомунікацій,
протокол № 15 від 07.06.2023р.

Донецький національний технічний університет, 2023

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1. ЗАВДАННЯ № 1. Розрахунок параметрів АЦП та ЦАП, інформаційних характеристик джерела повідомлень та первинних сигналів, завадостійкості демодулятора	6
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	16

ВСТУП

Індивідуальна розрахункова робота з дисципліни «Теорія електро-зв'язку» охоплюють основні питання зазначеного курсу, а саме: розвиток у студентів навичок приймати самостійно технічні рішення під час створення систем зв'язку, оцінки їхніх характеристик та технічних показників. Зокрема, цьому сприяє порівняльний характер оцінок показників різних версій побудови системи для тих самих джерел повідомлень.

Метою викладання дисципліни є формування у студентів знань, вмінь і навиків кваліфікованого застосування сучасних методів передачі повідомлень, видів модуляції та характеристики сигналів, що при цьому застосовуються, і способи їх оптимальної обробки.

Методичні вказівки призначено для виконання індивідуальних робіт з дисципліни «Теорія електро-зв'язку», у них наведено варіанти індивідуальних завдань, основні теоретичні положення та типовий хід виконання досліджень щодо виконання індивідуальних розрахункових робіт, вимоги до змісту звіту, завдання для самоаналізу, а також перелік рекомендованої літератури.

Розрахункова робота складається з одного завдання. Вона оформлюється та здається у вигляді зброшурованої пояснювальної записки на листах формату А4. Пояснювальна записка має містити: титульний лист, завдання на роботу згідно індивідуального варіанту, вступ, основну частину, висновки та перелік посилань. Кількість розділів основної частини пояснювальної записки має відповідати кількості завдань до індивідуальної роботи. Пояснювальну записку роботи слід оформлювати коректно. Схеми, графіки і таблиці (за наявності) слід виконувати із застосуванням спеціалізованого програмного забезпечення.

Варіанти завдань обираються відповідно до номеру варіанта із таблиці 1.

У табл. 1 наведено вихідні дані:

1. Джерело повідомлень задане первинним сигналом $b(t)$ з нульовим середнім значенням та наступними параметрами:

- щільністю ймовірності миттєвих значень $p(b)$ - нормальним розподілом (НР), двустороннім експоненційним розподілом (ДЕР), або рівномірним розподілом на інтервалі $(-b_{\max}, b_{\max})$ (РР);

- середньою потужністю сигналу P_b ;
- коефіцієнтом амплітуди K_a ;
- максимальною частотою спектру $F_{\max}$.

2. Допустиме відношення сигнал/шум на вході одержувача $\rho_{\text{вх}}$.

3. ІКМ перетворення безперервного сигналу в цифровий проводиться з використанням рівномірного квантування, відношення сигнал/шум квантування $\rho_{кв}$.

4. Метод модуляції гармонійного передавача.

5. Метод прийому: когерентний чи некогерентний.

6. Енергетичний виграш кодування (ЕВК).

У табл. 1 наведено вихідні дані:

7. Джерело повідомлень задане первинним сигналом $b(t)$ з нульовим середнім значенням та наступними параметрами:

- щільністю ймовірності миттєвих значень $p(b)$ - нормальним розподілом (НР), двустороннім експоненційним розподілом (ДЕР), або рівномірним розподілом на інтервалі $(-b_{\max}, b_{\max})$ (РР);

- середньою потужністю сигналу P_b ;

- коефіцієнтом амплітуди K_a ;

- максимальною частотою спектру $F_{\max}$.

8. Допустиме відношення сигнал/шум на вході одержувача $\rho_{вх}$.

9. ІКМ перетворення безперервного сигналу в цифровий проводиться з використанням рівномірного квантування, відношення сигнал/шум квантування $\rho_{кв}$.

10. Метод модуляції гармонійного передавача.

11. Метод прийому: когерентний чи некогерентний.

12. Енергетичний виграш кодування (ЕВК).

Таблиця 1 – Варіанти завдань до завдань

Номер вар.	Джерело повідомлень				$\rho_{вх}$, дБ	$\rho_{кв}$, дБ	Метод модуляції	Спосіб прийому	ЕВК, дБ
	Розподіл	P_b , Вт	K_a	$F_{\max}$, кГц					
Ц-01	ДЕР	1.2	4.5	12	31	34	АМ-2	когер	1.6
Ц-02	РР	2.5	4.5	2.4	38	41	ЧМ-2	неког	1.5
Ц-03	НР	0.1	7.0	6.5	42	45	ЧМ-2	когер	1.2
Ц-04	ДЕР	0.3	3.5	8.0	42	45	АМ-2	когер	2.8
Ц-05	РР	0.5	3.5	2.4	44	47	АМ-2	когер	2.6
Ц-06	НР	0.7	6.0	2.7	40	43	ЧМ-2	неког	2.0
Ц-07	ДЕР	0.9	4.5	3.5	37	40	ЧМ-4	когер	2.2
Ц-08	РР	1.2	4.5	5.0	50	53	АМ-4	когер	3.0
Ц-09	НР	1.5	3.5	2.5	39	42	ЧМ-2	неког	1.5
Ц-10	ДЕР	1.8	5.5	12	36	39	ЧМ-4	неког	1.7

Знання та вміння, що отримані студентами під час виконання індивідуальних розрахункових робіт із наведеної дисципліни, використовуються задля подальшого вивчення дисциплін циклів професійної та практичної підготовки, а також під час виконання бакалаврських та магістерських кваліфікаційних робіт.

ЗАВДАННЯ № 1

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ АЦП ТА ЦАП, ІНФОРМАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЖЕРЕЛА ПОВІДОМЛЕНЬ ТА ПЕРВИННИХ СИГНАЛІВ, ЗАВАДОСТІЙКОСТІ ДЕМОДУЛЯТОРА

Мета роботи: розвиток у студентів навичок приймати самостійно технічні рішення під час створення систем зв'язку, оцінки їхніх характеристик та технічних показників. Зокрема, цьому сприяє порівняльний характер оцінок показників різних версій побудови системи для тих самих джерел повідомлень.

Завдання:

Повідомлення безперервного джерела передається каналом зв'язку методом ІКМ. У каналі зв'язку з постійними параметрами та адитивним білим гаусовим шумом використовується завадостійке кодування та модуляція гармонійного передавача.

1. Структурна схема ЦСП. Зобразити структурну схему цифрової системи передачі безперервних повідомлень. Пояснити призначення кожного блоку, дати визначення основних параметрів, що характеризують кожний блок. Розробити структурну схему модулятора та демодулятора. Здійснити моделювання роботи модулятора та демодулятора на основі пакета System View. Навести часові діаграми роботи модулятора та демодулятора. Дати опис роботи модулятора та демодулятора на основі запропонованих структурних схем, моделей пакета та часових діаграм.

2. Розрахунок параметрів АЦП та ЦАП. Скласти та описати структурні схеми АЦП і ЦАП, визначити частоту дискретизації та інтервал дискретизації, число рівнів квантування та тривалість двійкового символу, розрахувати відношення сигнал/шум квантування та припустиму ймовірність помилки символу на вході ЦАП.

3. Розрахунок інформаційних характеристик джерела повідомлень та первинних сигналів. Для заданих статистичних характеристик джерела безперервних повідомлень та якості відтворення повідомлення на вході одержувача зробити розрахунок епсілон-ентропії, надмірності та продуктивності джерела. Пояснити причини надмірності джерела.

4. Розрахунок завадостійкості демодулятора. Для заданих виду модуляції та способу прийому розрахувати та побудувати графік залежності ймовірності помилки двійкового символу на виході демодулятора від відношення сигнал/шум; визначити необхідні відносини сигнал/шум при яких забезпечується припустима ймовірність помилки символу на вході ЦАП.

5. Зробити загальні висновки по індивідуальній роботі роботи.

Теоретичні відомості. У розрахунковій роботі необхідно навести опис структурної схеми системи електрозв'язку, принципу дії та особливостей роботи окремих блоків для заданого виду повідомлення та способу передачі (кодування та модуляції). При описі необхідно дати визначення основних параметрів, що характеризують кожен із блоків.

Структурна схема цифрової системи передачі безперервних повідомлень наведено на рис.1. Оскільки в системі передачі використовується завадостійке кодування, то між АЦП і модулятором включений кодер коригуючого коду, а між демодулятором і ЦАП – декодер коригуючого коду.

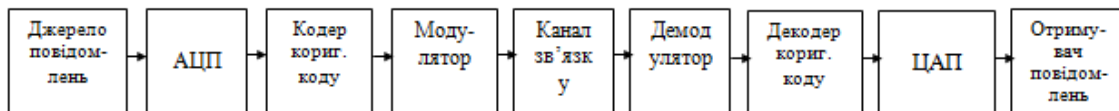


Рисунок 1 – Структурна схема системи передачі повідомлень

Передбачається, що кодування ведеться рівномірним кодом, у якому, на відміну від нерівномірного коду, простіші у реалізації кодер і декодер.

Тривалість двійкового символу на виході кодера визначається:

$$T_{\sigma} = 1/B. \quad (1.1)$$

Значність коду визначається за умови, що число можливих комбінацій не менше обсягу алфавіту джерела:

$$2^n \geq M_a \quad \text{або} \quad n \geq \log_2 M_a. \quad (1.2)$$

Оскільки інші вимоги до коду не пред'являються, то значення коду вибирається як мінімальне ціле число, при якому виконуються нерівність (1.2).

Час передачі одного знака:

$$T_{zn} = nT_{\sigma} \quad (1.3)$$

Допустима ймовірність помилки біта на вході декодера визначається за умови, що помилки символів у каналі зв'язку (вихід кодера – вхід декодера) незалежні: $P_{zn} = 1 - (1 - p_{\sigma}^n)$. При $P_{zn} \leq 1, P_{zn} \approx np_{\sigma}$.

Звідси:

$$p_{\sigma} = P_{zn} / n \quad (1.4)$$

У складі цифрового каналу передбачені пристрої для перетворення безперервного повідомлення в цифрову форму – аналогово-цифровий перетворювач на стороні, що передає, і пристрій перетворення цифрового сигналу в безперервний – ЦАП на приймальній стороні. Структурні схеми АЦП і ЦАП наведено на рис.2.

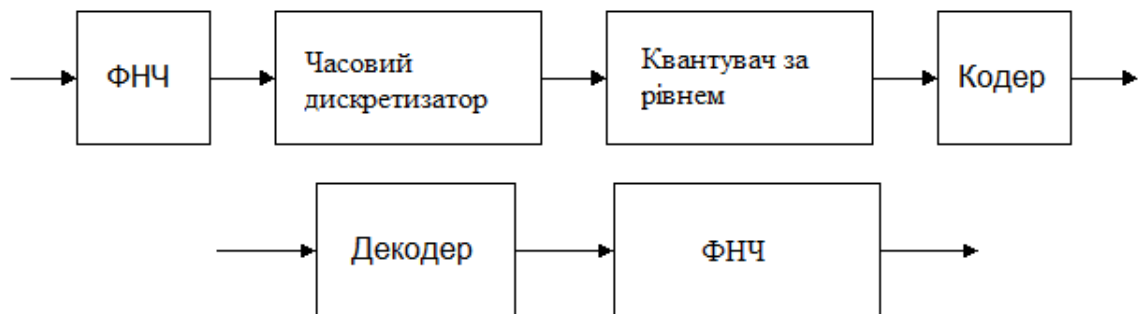


Рисунок 2 – Структурна схема АЦП і ЦАП

Вхідний ФНЧ у схемі АЦП необхідний для обмеження спектру первинного сигналу. Це пов'язано з тим, що у більшості первинних сигналів спектр є повільно спадною функцією, і величина $F_{\max}$ не є частота, вище якої спектр дорівнює нулю, а є граничною частотою смуги, яку необхідно передати з умови досягнення заданої якості відтворення первинного сигналу ($F_{\max}$ визначається необхідною розбірливістю мови, чіткістю зображення тощо).

На приймальній стороні лінії зв'язку послідовність імпульсів після демодуляції та регенерації у приймачі надходить на цифро-аналоговий перетворювач ЦАП, призначення якого полягає у зворотному перетворенні (відновленні) безперервного повідомлення щодо прийнятої послідовності кодових комбінацій. До складу ЦАП входять декодуючий пристрій, призначений для перетворення кодових комбінацій в квантовану послідовність звітів, і згладжувальний фільтр, що відновлює безперервне повідомлення за квантованим значенням.

Інтервал дискретизації T_d за часом вибирається з урахуванням теореми Котельникова. Зворотна величина T_d – частота дискретизації $f_d = 1/T_d$ вибирається з умови:

$$f_d \geq 2F_{\max} . \quad (1.5)$$

Збільшення частоти дискретизації дозволяє спростити вхідний фільтр АЦП, що обмежує спектр первинного сигналу, і вихідний (інтерполюючий) ЦАП ФНЧ, що відновлює безперервний сигнал за відліками. Але збільшення частоти дискретизації призводить до зменшення тривалості двійкових сигналів на виході АЦП, що вимагає

небажаного розширення смуги частот каналу зв'язку передачі цих символів. Зазвичай параметри вхідного ФНЧ АЦП та вихідного ФНЧ ЦАП вибирають однаковими.

Перешкодостійкість системи передачі безперервних повідомлень визначається величиною:

$$\rho_{\text{вих}} = P_b / \sigma_{\varepsilon}^2, \quad (1.6)$$

де P_b – середня потужність первинного сигналу;

σ_{ε}^2 – середня потужність перешкоди на виході системи передачі.

У системі цифрової передачі методом ІКМ потужність перешкоди на виході ЦАП визначається:

$$\sigma_{\varepsilon}^2 = \bar{\varepsilon}_{\text{кв}}^2 + \bar{\varepsilon}_{\text{хи}}^2, \quad (1.7)$$

де $\bar{\varepsilon}_{\text{кв}}^2$ – середня потужність шуму квантування;

$\bar{\varepsilon}_{\text{хи}}^2$ – середня потужність шумів хибних імпульсів.

Якщо задано відношення сигнал/шум квантування $\rho_{\text{кв}}$, то:

$$\bar{\varepsilon}_{\text{кв}}^2 = P_b / \rho_{\text{кв}}. \quad (1.8)$$

Якщо ж $\rho_{\text{кв}}$ не задано, а задано $\rho_{\text{вих}}$, то вважають, що:

$$\bar{\varepsilon}_{\text{кв}}^2 = \bar{\varepsilon}_{\text{хи}}^2 = 0,5\sigma_{\varepsilon}^2 \quad (1.9)$$

При проведенні розрахунків за формулами (1.6) та (1.8) задані в децибелах відношення сигнал/перешкода необхідно подати в разях:

$$\rho = 10^{0,1\rho[\text{дБ}]}. \quad (1.10)$$

Потужність шуму квантування виражається через величину кроку квантування Δb :

$$\bar{\varepsilon}_{\text{кв}}^2 = (\Delta b)^2 / 12. \quad (1.11)$$

Крок квантування залежить від кількості рівнів квантування L :

$$\Delta b = (b_{\text{max}} - b_{\text{min}}) / L \quad (1.12)$$

Тут передбачається, що первинний сигнал $b(t)$, що підлягає перетворенню на цифровий сигнал, приймає значення від $b_{\min}$ до $b_{\max}$ і інтервал $(b_{\min}, b_{\max})$ підлягає квантуванню. У сигналів із середнім значенням рівним нулю $b_{\min} = -b_{\max}$. Якщо значення $b_{\max}$ не задано, воно визначається за допомогою співвідношення:

$$b_{\max} = K_a \sqrt{P_b}, \quad (1.13)$$

де K_a – коефіцієнт амплітуди (позначається Π і називається пік-фактором). Він характеризує перевищення максимальним (амплітудним) значенням сигналу його середньоквадратичного значення, що дорівнює кореню із середньої потужності сигналу.

На основі співвідношень (1.11) і (1.12) мінімально можлива кількість рівнів квантування визначається:

$$L_{\min} = \frac{b_{\max} - b_{\min}}{\sqrt{12\varepsilon_{\kappa\theta}^2}}. \quad (1.14)$$

Значення двійкового коду АЦП:

$$n = \log_2 L \quad (1.15)$$

є ціле число. Тому кількість рівнів квантування L вибирається як такий цілий ступінь числа 2, при якій:

$$L \geq L_{\min} \quad (1.16)$$

Після вибору величини L необхідно розрахувати відношення сигнал/шум квантування :

$$\rho_{\kappa\theta} = 3L^2 / K_a^2 \quad (1.17)$$

Для визначення допустимої ймовірності помилки двійкового символу на вході ЦАП p_σ необхідно заздалегідь визначити допустиму величину потужності шуму хибних імпульсів на основі співвідношення (1.7):

$$\bar{\varepsilon}_{xi}^2 = \sigma_\varepsilon^2 - \bar{\varepsilon}_{\kappa\theta}^2, \quad (1.18)$$

де $\bar{\varepsilon}_{\kappa\theta}^2$ – потужність шуму квантування, що визначається співвідношеннями (1.11) і (1.12) при обраному числі рівнів квантування

L. Далі скористаємося співвідношенням, що пов'язує ε_{xi}^2 і ймовірність помилки біта на вході ЦАП p_σ :

$$\bar{\varepsilon}_{xi}^2 = p_\sigma (\Delta b)^2 \sum_{i=1}^n 2^{2(i-1)} \quad (1.19)$$

Розмір кроку квантування визначається формулою (1.12). Співвідношення (1.19) дозволяє розрахувати припустиму ймовірність помилки символу p_σ на вході ЦАП.

Тривалість двійкового символу на виході АЦП визначається:

$$T_\sigma = T_D / n \quad (1.20)$$

Розрахунок інформаційних характеристик джерела повідомлень та первинних сигналів. Для заданих статистичних характеристик джерела безперервних повідомлень та якості відтворення повідомлення на вході одержувача зробити розрахунок епсілон-ентропії $H_\varepsilon(B)$, надмірності χ та продуктивності джерела R_δ . Пояснити причини надмірності джерела. Сформулювати вимоги до пропускної спроможності каналу зв'язку. Визначити ентропію квантованих відліків в АЦП $H_{\kappa\delta}(B)$ та продуктивність джерела цифрового повідомлення $R_{\delta,\kappa\delta}$. Порівняти R_δ та $R_{\delta,\kappa\delta}$.

Епсілон-ентропія визначає кількість суттєвої інформації в одному відліку безперервного повідомлення та є мірою інформативності (непередбачуваності) безперервного джерела:

$$H_\varepsilon(B) = \min I(B, \hat{B}) = h(B) - \max h(B / \hat{B}), \quad (1.21)$$

де $h(B)$ – диференціальна ентропія;

$h(B / \hat{B})$ – умовна ентропія.

Повідомлення безперервного джерела перетворюється на первинний аналоговий сигнал $b(t)$ зазвичай без втрати інформації, тому розрахунки інформаційних характеристик джерела проводяться для первинного сигналу.

Диференціальна ентропія сигналу залежить від виду розподілу ймовірностей $p(b)$ та дисперсії сигналу σ_b^2 , і відповідні розрахункові формули для її обчислень наведені в табл. 2. У сигналів із середнім значенням рівним нулю $\sigma_b^2 = F_b$.

Таблиця 2 – Диференційна ентропія для деяких законів розподілу випадкових величин

Розподіл імовірності	Диференційна ентропія, біт/відлік
Нормальний розподіл $p(b) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_b} \exp\left(-\frac{b^2}{2\sigma_b^2}\right)$	$\log_2(\sigma_b \sqrt{2\pi e})$
Двосторонній експоненційний розподіл $p(b) = \frac{1}{\sqrt{2}\sigma_b} \exp\left(-\frac{\sqrt{2} b }{\sigma_b}\right)$	$\log_2(\sigma_b \sqrt{2}e)$
Рівномірний розподіл $p(b) = \begin{cases} 0,5/b_{\max}, & b \leq b_{\max}, \\ 0, & b > b_{\max} \end{cases}$	$\log_2(\sigma_b 2\sqrt{3})$

Коефіцієнт надмірності джерела χ , що характеризує недовикористання джерела, показує яка частка максимально можливої ентропії не використовується джерелом. χ визначається як:

$$\chi = \frac{H_{\varepsilon \max}(B) - H_{\varepsilon}(B)}{H_{\varepsilon \max}(B)}. \quad (1.22)$$

Елсілон-продуктивність називають швидкість створення інформації при заданому критерії вірності. Для джерела безперервних повідомлень, обмежених смугою $F_{\max}$, згідно з теоремою Котельникова крок дискретизації $\Delta t = 1/v = 1/(2F_{\max})$, тобто необхідна кількість відліків за секунду дорівнює $2/F_{\max}$. Якщо спектр повідомлення у смузі $F_{\max}$ рівномірний, ці відліки некорелировані, а гаусівського джерела і незалежні. В цьому випадку:

$$R_u = H'_{\varepsilon}(B) = 2F_{\max} H_{\varepsilon}(B) \text{ біт/с.} \quad (1.23)$$

Квантований сигнал є дискретним за рівнем і його ентропія $H_{\kappa\theta}(B)$ обчислюється за формулою:

$$H_{\kappa\theta}(B) = \sum_{i=1}^n P(b_i) \log \frac{1}{P(b_i)}, \quad (1.24)$$

(вважають, що в АЦП відліки незалежні). Імовірності квантованих значень сигналу, що входять до цієї формули, можна визначити:

$$P(b_i) = p(b_i)\Delta b = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_b} \exp\left(-\frac{b^2}{2\sigma_b^2}\right) \cdot \Delta b, \quad (1.25)$$

де b_i – квантоване значення сигналу на i -му рівні квантування;

$p(b)$ – щільність ймовірності сигналу;

Δb – крок квантування, який визначається за формулою (16).

Розрахунки ентропії квантованого сигналу зручно виконати за допомогою пакета Microsoft Excel на ЕОМ.

Деякі джерела передають повідомлення з фіксованою швидкістю, витрачаючи в середньому T на кожне повідомлення. Продуктивністю (в біт на секунду) такого джерела $H'(B)$ називається сумарна ентропія повідомлень, переданих за одиницю часу:

$$R_{ц,кв} = H'(B) = \frac{1}{T_{\sigma}} H_{кв}(B) \text{ біт/с.} \quad (1.26)$$

Різницю між отриманими значеннями R_{σ} і $R_{кв}$ ($R_{\sigma} > R_{кв}$) можна пояснити тим, що код на виході АЦП має деяку надмірність. Ця надмірність пов'язана із застосуванням двійкового коду, через який число рівнів квантування сигналу визначається формулою $L = 2^n$ і перевищує необхідне, а також тим, що будь-який кодер повинен мати більшу продуктивність ніж джерело повідомлення, щоб встигати його обробляти.

Перешкодостійкість демодулятора сигналу дискретної модуляції визначають ймовірністю помилки сигналу $P_{ном}$ чи ймовірністю помилки двійкового символу P . Можливості помилки $P_{ном}$ і P залежать від виду модуляції, способу прийому, відношення енергії сигналу до питомої потужності перешкоди та характеристик каналу зв'язку.

У табл. 3 наведені формули, що визначають ймовірність помилки двійкового символу при передачі багатопозиційних сигналів по каналу гауссовського зв'язку з постійними параметрами.

Таблиця 3 – Вероятности ошибки для различных способов приёма модулированных сигналов

Спосіб прийому	Вид модуляції	Ймовірність помилки двійкового коду
Когерентний	ФМ-4	$p = 0,5[1 - \Phi(h\sqrt{2})]$
	ОФМ-4	$p = 1 - \Phi^2(h\sqrt{2})$
	КАМ-16	$p = 0,25[1 - \Phi^2(0,9h)]$
Некогерентний	ЧМ-М	$p = 0,25(M - 1)\exp(-0,5h^2 \log_2 M); M > 2$

де $\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x \exp(-t^2/2) dt$ – функція Крампа.

Скористаємося формулою апроксимації функції Крампа:

$$\Phi(x) = 1 - 1,3 \exp(-0,44(x + 0,75)^2). \quad (1.27)$$

Для заданого виду модуляції та способу прийому необхідно розрахувати та побудувати графік залежності $p = f(h^2)$. При побудові графіка масштаб для p має бути логарифмічним, а для значень h^2 , виражених децибелах ($h^2[\text{дБ}] = 10 \lg h^2$), – лінійний. При розрахунках h^2 збільшують з кроком дБ від 2 дБ доти, доки p не виявиться менше значення p_σ . Приклад залежності, що розраховується дано на рис. 3 – крива $p = f(h^2)$.

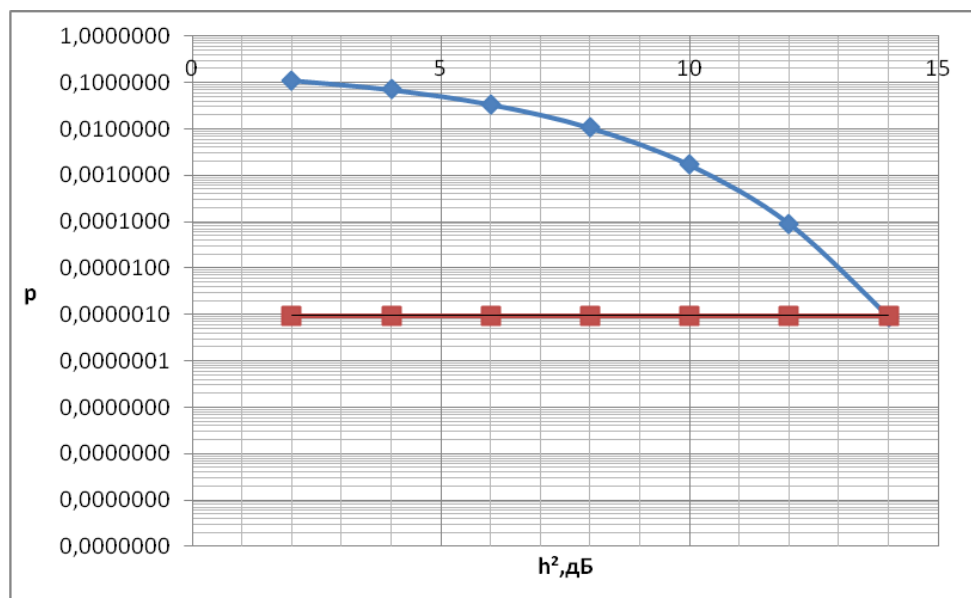


Рисунок 3 – Ймовірність помилки біта від відношення сигнал/шум на вході демодулятора $p = f(h^2)$

Якщо каналі зв'язку не використовується перешкодостійке кодування, то припустима ймовірність помилки символу на виході демодулятора дорівнює значенню p_σ , знайденому під час розрахунку параметрів ЦАП чи декодера простого коду. Визначте потрібне відношення сигнал/шум для системи передачі без кодування $h_{\sigma 1}^2$, при якому $p = p_\sigma$. Показати на графіку значення p_σ та $h_{\sigma 1}^2$. Розрахувати потрібне при цьому відношення P/N на вході демодулятора:

$$(P_s / N_0)_1 = h_{\sigma 1}^2 / T_{\sigma}. \quad (1.28)$$

У разі модуляції АМ-2, при якій один із сигналів дорівнює нулю, а сигнали рівноймовірні, відношення сигнал/шум визначається:

$$(P_s / N_0)_1 = 0,5h_{\sigma 1}^2 / T_{\sigma} \quad (1.29)$$

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Структурну схему цифрової системи передачі безперервних повідомлень.
3. Розрахунок параметрів АЦП та ЦАП. Структурні схеми АЦП і ЦАП.
4. Розрахунок інформаційних характеристик джерела повідомлень та первинних сигналів.
5. Розрахунок завадостійкості демодулятора.
6. Висновки за результатами виконання індивідуальної роботи.

Контрольні питання

1. Викладіть коротко перелік виконаних розрахунків.
2. Вкажіть, чи відповідають виконані розрахунки вихідним даним та завданням, а якщо ні, то які розрахунки і чому не відповідають завданню.
3. Сформулюйте пропозиції щодо покращення використання ресурсів системи.
4. Вкажіть переваги та недоліки розглянутих варіантів передачі.
5. Яку систему краще використовувати в реальній системі зв'язку і чому?

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ: [1] – [11].

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Конспект лекцій Теорія електричних кіл та сигналів. Теорія сигналів / О. М. Кобяков, І. Є. Бражник – Суми: Сумський державний університет, 2017. – 126 с.
2. Теорія електричного зв'язку: навч. посібник / Гусєв О.Ю., Конахович Г.Ф., Корнієнко В.І. – Магнолія 2006, 2021. – 364 с.
3. Климаш, М.М. Телекомунікаційні системи передавання інформації : навч. посіб. / М.М. Климаш, Р.С. Колодій. – Львів : вид-во Львівської політехніки, 2018. – 632 с.
4. Бондаренко І.М., Медведєв В.К. Системи радіозв'язку. Кн.1. Системи електрозв'язку: Навч. посібник. – Харків.: ХІ ВПС, 2002. – 181 с.
- 5 Навчальний посібник: Наритник Т. М., Почерняєв В. М., Повхліб В. С. Цифрові радіорелейні та тропосферні лінії зв'язку (основи розрахунку). Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2019. – 164с.
6. Лошаков В.А, Наритник Т.Н., Шостко І.С., Сабурова С.О., Ощепков М.Ю., Півнюк О.В. Системи и стандарты цифрового телевидения Навч.посібник. – Харків.: ХНУРЕ. – 2014. 638с.
7. Розробка інформаційних ресурсів та систем: підручник. У 2 т. / Л.С.Глоба (Том 2: «Несуперечність і реплікація», «Відмовостійкість», «Захист інформації», «Розподілені системи об'єктів», «Розподілені файлові системи», «Розподілені системи документів», «Розподілені системи узгодження», «Пошукові системи»), – К.: НТУУ "КПІ", 2015. Т.2. – 376 с.
8. М.Л. Бірюков, В.В. Максимов, Н.Р. Тріска «Цифрові системи передавання в електрозв'язку. Аналого-цифрове та цифро-аналогове перетворення сигналів». Навчально-методичний посібник. Київ. НТУУ «КПІ» 2010. с.122.
9. Брагін А.С., Вульпе О.А. "Передавальні та приймальні пристрої систем радіозв'язку". Навчальний посібник. – ІВЦ "Політехніка" 2009, – 130с.
10. Лебедев О.М., Ладик О.І., Прищепа Т.О. "Дослідження функціональних властивостей аналогових і цифрових пристроїв". Методичні вказівки. – Київ: НТУУ "КПІ" 2009 - 30с.
11. Иващенко П. В., Баско Ю.П. Расчёт и оптимизация характеристик систем электросвязи./Методические указания по выполнению курсовой работы по дисциплине «Теория электрической связи». – Одесса, Украинская государственная академия связи, 1995.