

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Сумський державний університет**  
Факультет електроніки та інформаційних технологій  
Кафедра електроніки і комп'ютерної техніки

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри ЕКТ

\_\_\_\_\_ Анатолій ОПАНАСЮК  
(підпис) (Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

\_\_\_\_\_ 2023 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**на здобуття освітнього ступеня «магістр»**  
зі спеціальності 171 «Електроніка»  
освітньо-професійної програми «Електронні системи та компоненти»  
на тему:

**АДАПТИВНА СИСТЕМА ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ**  
**НА ОСНОВІ КОДІВ БЕРГЕРА**

Здобувача групи ЕС.м-21 \_\_\_\_\_ Денисенка Олександра Миколайовича

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Керівник, професор, д.ф.-м.н.,  
професор Анатолій Опанасюк

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Консультант з техніко-економічної частини,  
доцент, к.е.н., доцент Олександр МАЦЕНКО

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Суми - 2023

# СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

---

Факультет електроніки та інформаційних технологій  
Кафедра електроніки і комп'ютерної техніки  
Напрямок підготовки 171 «Електроніка»  
Освітня програма Електронні системи та компоненти

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою Опанасюк А. С.

"\_\_" \_\_\_\_\_ 2023 р.

## ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра

Денисенка Олександра Миколайовича

1. Тема роботи Адаптивна система передачі інформації на основі кодів Бергера затверджена наказом по університету "06" листопада 2023 р. № 1233-VI.
2. Термін здачі студентом завершеної роботи 10 грудня 2023 р.
3. Вихідні дані до роботи Реалізувати два варіанти передавання даних в канал зв'язку з огляду на різний рівень помилок, визначити оптимальні параметри коду Бергера, забезпечити ефективний захист при збільшенні рівня завад, забезпечити для цифрових сигналів рівні логічного «нуля» не більше 0,4 В, «одиниці» не менше 2,4 В.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що належить розробити) 1) Огляд літератури та поставлення задачі роботи. 2) Науково-дослідна частина. 3) Розробка електронної системи з використанням отриманих результатів дослідження. 4) Техніко-економічна частина.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1) Схеми електричні структурні кодуючого та декодуючого пристроїв. 2) Схеми алгоритмів функціонування кодуючого та декодуючого пристроїв. 3) Схеми електрична функціональна. 4) Схеми електрична принципова.

6. Консультанти з кваліфікаційної роботи

Розділи	Консультанти	Завдання видав	Завдання прийняв
Техніко-економічна частина	Маценко О. М.		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

8. Керівник роботи \_\_\_\_\_

9. Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів дипломного проекту	Термін виконання етапів роботи	Примітки
1	Огляд літератури та постановка завдання проектування	06.11.23 - 13.11.23	
2	Науково-дослідна частина	14.11.23 - 21.11.23	
3	Розробка алгоритму функціонування та структурної схеми електронної системи	22.11.23 - 29.11.23	
4	Розробка функціональної схеми електронної системи	30.11.23 - 04.12.23	
5	Розробка схеми електричної принципової електронної системи	05.12.23 - 12.12.23	
6	Техніко-економічна частина	13.12.23 - 14.12.23	
8	Оформлення пояснювальної записки	15.12.23 - 16.12.23	
9	Оформлення графічного матеріалу	17.12.23 - 18.12.23	
10	Представлення роботи керівнику і отримання відгуку	19.12.23	
11	Представлення роботи кафедрі для отримання рецензії	19.12.23	

Студент \_\_\_\_\_

Керівник роботи \_\_\_\_\_

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 р.

## РЕФЕРАТ

Випускна робота містить: 85 с.; 35 рис.; 13 табл.; 33 джерела.

Графічна частина представлена структурними схемами приймального і передавального пристроїв системи передачі даних, блок-схемами алгоритму функціонування кодуючого та декодуючого пристроїв, функціональною та принциповою схемами передавального пристрою.

Дана робота присвячена розробці адаптивної системи передачі даних на основі кодів Бергера, яка в залежності від рівня завад в каналі зв'язку перебудовується і формує інформаційні пакети різної довжини.

У розділі «Огляд літератури і постановка задачі дослідження» було проведено аналіз літературних джерел, сформульована задача дослідження.

У розділі «Науково-дослідна частина» були проведені дослідження необхідної адаптивності кодів Бергера, обґрунтовано вибір даних кодів, проведено порівняльний аналіз з іншими поширеними кодами, обґрунтовано вибір довжини інформаційних пакетів, проведена оцінка завадостійкості коду Бергера.

Розділ «Розробка електронного пристрою на базі отриманих результатів дослідження» містить обґрунтування алгоритмів функціонування і структурних схем кодуючого та декодуючого пристроїв, розробку функціональної і принципової схем, вибір елементної бази.

«Економічна частина» включає в розрахунок повної собівартості та повної ціни кодуючого пристрою СПД.

# ЗМІСТ

Стор.

## Вступ

- 1 Огляд літератури і постановка задачі дослідження
- 1.1 Адаптивні системи
- 1.2 Класифікація систем передачі повідомлень зі зворотним зв'язком
- 1.3 Класифікація кодів, що застосовуються в системах передачі даних
- 1.4 Постановка завдання
- 2 Науково-дослідна частина
- 3 Розробка електронного пристрою на базі отриманих результатів досліджень
- 3.1 Обґрунтування алгоритму функціонування та структурної схеми пристрою, що проектується
- 3.2 Розробка схеми електричної функціональної пристрою, що проектується
- 3.3 Розробка і розрахунок принципів електричних вузлів і блоків пристрою
- 4 Техніко-економічна частина
- 4.1 Розрахунок повної собівартості пристрою
- 4.2 Визначення ціни пристрою

## Висновки

## Список використаних джерел

					<i>ЕлІТ.8.171.00.10.450 ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Денисенко О.</i>			<i>Адаптивна система передачі інформації на основі кодів Бауера. Пояснювальна записка.</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		<i>Опанасюк А.С.</i>					3	
<i>Н. Контр.</i>		<i>Гапич В.Н.</i>				<i>СумДУ, гр. ЕС.м-21</i>		
<i>Утверд.</i>		<i>Опанасюк А.С.</i>						

## ВСТУП

Задача створення новітніх технічних і програмних засобів зв'язку не полишає свого найголовнішого та найважливішого місця. Створення ефективних надійних та гнучких систем зв'язку – найголовніше завдання на сьогодні, яке стоїть перед вченими та «технарями». Під системою зв'язку або системою передачі та поширення інформації (так званими СПД) розуміється сукупність технічних і програмних засобів, які забезпечують передачу і розподіл сигналів даних від одних кінцевих пунктів до інших.

Сучасні системи зв'язку реалізують передачу даних, поданих передачі у вигляді двійкових послідовностей. Передача сигналів у цифровій формі має низку важливих і серйозних переваг у порівнянні з аналоговою: підвищення вірності передачі та обробки повідомлень, яке не залежить від схемних і технологічних рішень апаратури; інтеграція каналів електрозв'язку, джерел і одержувачів повідомлень, що дозволяє проектувати розвинені мережі зв'язку за рахунок уніфікації методів передачі, обробки і розподілу інформації за допомогою використання однотипних цифрових сигналів і множинного доступу до передавального середовища; можливість забезпечення скритності передачі шляхом кодової шифрування повідомлень; нечутливості цифрових каналів до ефекту накопичення спотворень при ретрансляції; розвиток систем супутникового зв'язку, що забезпечують ефективне використання дорогих комунікаційних ресурсів; гнучкість організації цифрових засобів передачі та обробки даних, яка припускає використання мікроЕОМ, мікросхем з великим ступенем інтеграції, цифрової комутації. Реалізація цифрових систем зв'язку на інтегральних логічних мікросхемах може створити гнучкі, універсальні, компактні, недорогі пристрої, що володіють заданими показниками вірності передачі повідомлень.

Розвиток обчислювальних мереж різко підвищило вимоги до швидкості і достовірності передачі великих обсягів цифрової інформації. Саме тому виникла проблема проектування засобів організації каналів передачі даних, що ефективно використовують пропускну здатність існуючих каналів електрозв'язку та базуються на сучасній технології цифрових інтегральних мікросхем.

Аналіз сучасного стану та розвитку систем бездротового зв'язку, таких як системи мобільного зв'язку першого покоління 1G, другого покоління 2G, третього покоління 3G, четвертого покоління 4G LTE-Advanced, п'ятого

					ЕЛІТ 8.171.00.10.450 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

покоління 5G, WiMax та WiFi, свідчить про необхідність застосування інформаційних технологій, які дозволяють ефективно передавати дані в режимі реального часу. В таких системах забезпечення заданого рівня достовірності передачі інформації здійснюється за рахунок використання інформаційних технологій адаптації та кодування. За умови підвищення рівня шумів, існуючі методи забезпечення достовірності інформації на основі коригуючих кодів не забезпечують заданих показників ефективності передачі інформації. При обмеженнях на параметри кодів, в системах з адаптацією, у випадку підвищення рівнів шумів до певного значення, забезпечення заданих характеристик достовірності інформації стає неможливим. Тому постає питання застосування спеціальних кодів та їх багаторівневої параметричної адаптації. При зворотному декодуванні даних виникає потреба в апріорних відомостях щодо функцій правдоподібності прийнятих даних з урахуванням процедури декодування алгоритмів, що засновані на ймовірнісному декодуванні, а саме для нелінійних кодів. Необхідно сформулювати оцінки невизначеності інформації при декодуванні, мінімізувати ці оцінки вибором правил рішення за допомогою методів параметричної адаптації та забезпечити достовірність передачі інформації.

Для успішного практичного впровадження адаптивного алгоритму роботи в реальні системи передачі даних, необхідно реалізувати його так, щоб це не вимагало втручання людини. Можна зробити висновок, що тільки комплексний підхід до боротьби з перешкодами забезпечить високу ефективність.

Випускна робота магістра «Адаптивна система передачі інформації на основі кодів Бергера» робить спробу застосування комплексного підходу до підвищення завадостійкості цифрових систем зв'язку.

					ЕЛІТ 8.171.00.10.450 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

# 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ І ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

## 1.1 Адаптивні системи

### 1.1.1 Поняття адаптації та загальна структура адаптивних систем.

Адаптація, пристосування (від середньовічного лат. *Adaptatio* - пристосування) - зміна живої істоти під впливом зовнішнього середовища і результат цієї зміни. У фізіології і медицині позначає також процес звикання.

Пристосування є безпосереднім, якщо воно викликано дією самих умов існування як таких, і непрямим, якщо те, що не пристосоване до даних умов, знищується шляхом відбору, а те, що пристосоване, «зберігається».

Пристосування є функціональним, якщо зміни життєдіяльності організму (внаслідок зміни умов існування) сприяють зміні форм існування; корелятивним, або обопільним, якщо два різних організму або органу пристосовуються один до одного; пасивним, якщо в організмі відбуваються зміни без його участі; активним, якщо пристосування має місце завдяки діяльності (вправ) організму; активістським (або об'єктивним), якщо середовище змінюється під впливом суб'єкта з метою його пристосування.

Адаптацію в широкому сенсі розуміють як пристосування системи до зміни умов [11]. Конкретизація визначення адаптації пов'язана з метою дослідження і конструювання.

Адаптація в кібернетиці - це накопичення і використання інформації для досягнення оптимального в деякому сенсі стану або поведінки системи при початковій невизначеності в зовнішніх умовах [11]. Адаптивною вважають систему, яка може пристосовуватися до змін внутрішніх і зовнішніх умов.

Адаптацією в технічних системах називають процес цілеспрямованої зміни параметрів, структури або властивостей системи на підставі інформації, отриманої в процесі виконання основних функцій, метою досягнення оптимального в тому чи іншому сенсі функціонування системи при початковій невизначеності і мінливих умовах. Сукупність конкретних систем, що використовують адаптивний підхід, відрізняється великою різноманітністю, так само як існують і різні форми прояву адаптації, які характеризуються зміною стану, структури, алгоритму функціонування. Але при цьому можна виділити ряд

					ЕЛІТ 8.171.00.10.450 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



загальних завдань, які неминуче з'являються, як тільки питання стосується адаптації [ 7 ].

Це, по-перше, завдання ідентифікації або розпізнавання характеристик об'єктів та доданих до них впливів, що обурюють. При цьому розрізняються:

- 1) завдання визначення структури і параметрів об'єкта;
- 2) завдання розпізнавання параметрів об'єкта при заданій структурі.

У найзагальнішому плані структура адаптивної системи представлена на рисунку 1.1 [ 6 ].

Вона являє собою замкнутий контур, що включає в себе: об'єкт управління, пристрій ідентифікації, вирішальний пристрій і пристрій управління.



Рисунок 1.1— Структурна схема адаптивної системи передачі інформації

Різноманітність і особливості інформаційних процесів багато в чому визначають мету адаптації в різних процесах контролю і управління. Відповідно до цього інформаційні процеси можна розділити на три групи:

- 1) первинний відбір і перетворення форми вихідної інформації;
- 2) збір, накопичення, обробка, зберігання і видача інформації;
- 3) передача інформації.

Адаптивними системами називають такі системи, в яких параметри регулятора змінюються слідом за зміною параметрів об'єкта, таким чином, щоб поведінка системи в цілому залишалася незмінною і відповідала бажаному:

$$\dot{x} = A(t) \cdot x + B(t) \cdot U, \quad (1.1)$$

$$\dot{x} = f(t, x, U). \quad (1.2)$$

На рисунку 1.2 [ 5 ] подано класифікацію адаптивних систем передачі інформації в АСУ, яка відображає основні закономірності постановки і вирішення проблем ідентифікації, рішення та управління для адаптивних систем передачі інформації.

**1.1.2 Принципи функціонування адаптивних систем.** За [ 5 ] адаптивні системи функціонують згідно наступним принципам.

1. Принцип необхідного різноманіття. Цей принцип стверджує, що різноманіття керуючої системи повинно бути не менше ніж різноманіття об'єкта керування. На відміну від адаптивних інші («неадаптивні») системи керування повинні для підтримки властивості керування об'єктом складатися з невеликої кількості елементів. Для адаптивних систем мається на увазі відсутність визначеного стаціонарного закону управління для елементів заданого класу. В процесі функціонування системи чим більше виявляється її різноманіття, тим в більшій мірі повинні відбуватися зміни її параметрів та структури.

2. Принцип дуального керування. Керуючий вплив носить двоїстий характер. З одного боку, вони покликані керувати об'єктом, з другого боку вслуговують для вивчення її властивостей та закономірностей для наступних керуючих впливів. Тобто, структура керуючих впливів повинна змінюватись у відповідності з змінами параметрів системи об'єкта керування.

3. Принцип зворотного зв'язку. За допомогою зворотного зв'язку відбувається зміна характеристик об'єкта, що керується, та формуються реакції, що є керуючими діями.

					ЕЛІТ 8.171.00.10.450 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

**1.1.3 Класифікація адаптивних систем.** На сьогодні існує декілька видів класів адаптивних систем. Це, в першу чергу, що пов'язано з ознаками, за якими здійснюється їх класифікація.

За характером змін в пристрої керування адаптивні системи поділяють на дві великі групи: самоналагоджувальні (змінюються тільки значення параметрів регулятора) та ті, що самоорганізуються (змінюється структура самого регулятора). В системах адаптації, що самоорганізуються, адаптація здійснюється шляхом вибору структури, тобто вибору коригуючої ланки або їх комбінацій з набору визначеної кількості ланок структури, що має здатність до змін, основного керуючого пристрою, а далі відбувається самоналаштування параметрів побудованої структури. Такі системи забезпечують необхідну якість керування при більш широких діапазонах змін властивостей об'єкта та зовнішніх умов ніж системи, що самоналагоджуються, але вони набагато складніші.

За способом вивчення об'єкта системи поділяються на пошукові та безпошукові. В першій групі найбільш відомі екстремальні системи, метою керування яких є підтримка системи в точці екстремума статичних характеристик об'єкта. В таких системах для визначення керуючих впливів, що забезпечують приближення до екстремуму, до керуючого сигналу додають пошуковий сигнал. Безпошукові адаптивні системи управління за способом одержання інформації для підстроювання параметрів регулятора поділяються на системи з еталонною моделлю (ЕМ) та ідентифікатором. Останні в літературі іноді називають системами з моделлю, що настроюється (НМ). Адаптивні системи з ЕМ мають в своєму складі динамічну модель системи, що володіє необхідною якістю.

Адаптивні системи з ідентифікатором поділяються за способом управління на прямий та непрямий. При непрямому адаптивному керуванні спочатку виконується оцінювання параметрів об'єкта, після чого на основі одержаних оцінок визначаються необхідні значення параметрів регулятора та виконується їх підстроювання. При прямому адаптивному керуванні завдяки врахуванню взаємозв'язку параметрів об'єкта та регулятора виконується безпосереднє оцінювання та підстроювання параметрів регулятора, чим виключається етап ідентифікації параметрів об'єкта.

За способом досягнення ефекту самоналаштування системи з моделлю поділяються на системи з сигнальною (пасивною) і параметричною (активною) адаптацією. У системах з сигнальною адаптацією ефект самоналаштування досягається без зміни параметрів керуючого пристрою за допомогою

					ЕЛІТ 8.171.00.10.450 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

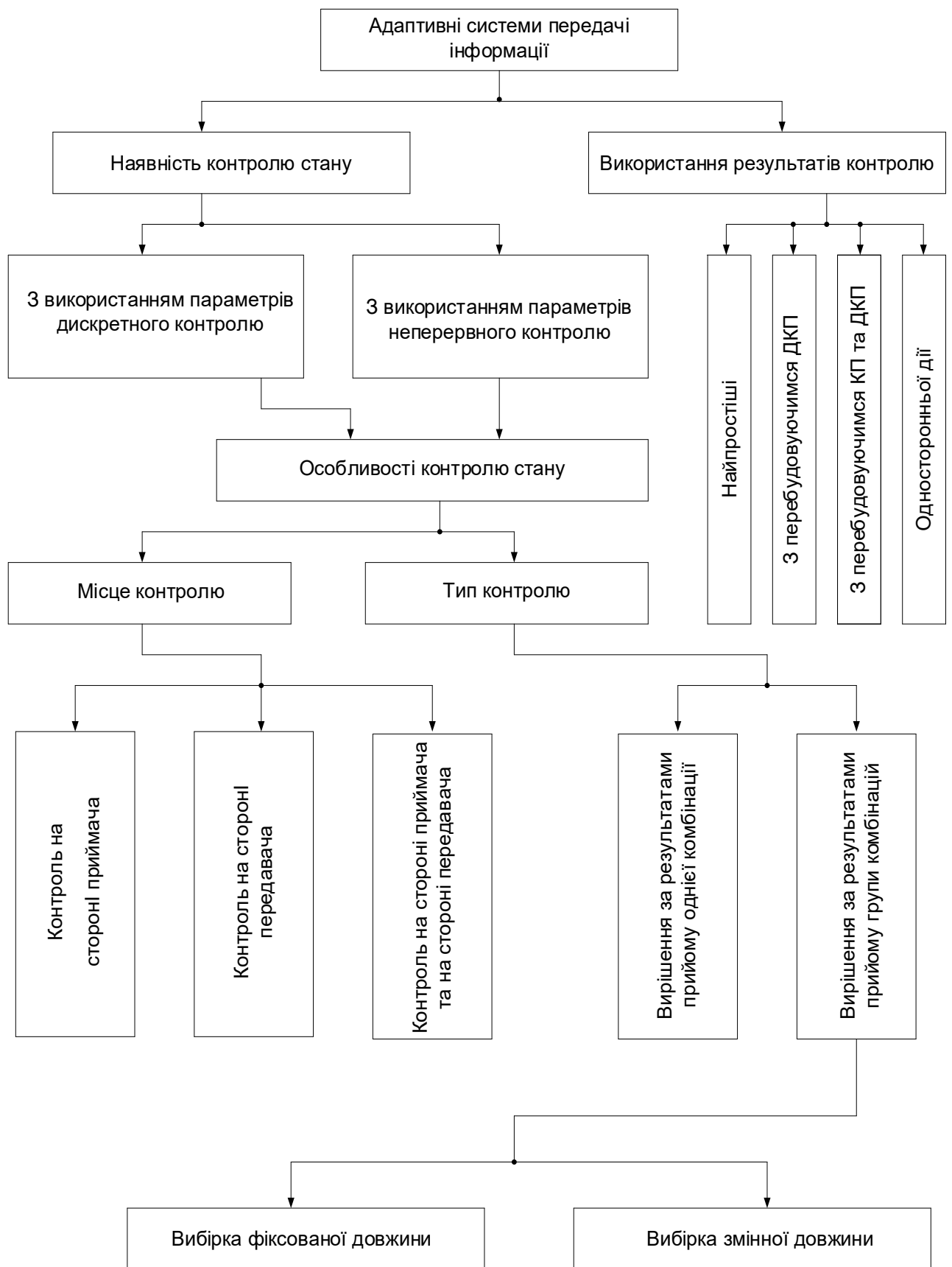


Рисунок 1.2 – Класифікація адаптивних систем передачі інформації

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

компенсуючих сигналів. Системи, що поєднують в собі обидва види адаптації, називають комбінованими.

В залежності від характеру електричних сигналів системи можуть бути: безперервними, з гармонійними сигналами і дискретні. Дискретні в свою чергу, можуть бути релейними, імпульсними або цифровими. На сьогодні широкого поширення набули цифрові системи управління, що володіють, перш за все високою точністю.

**1.1.4 Методи оптимізації, що застосовуються в СПД.** Об'єкти оптимізації можуть бути детермінованими або ймовірнісними, дискретними або неперервними. В якості прикладу неперервного об'єкта оптимізації можна привести процес передачі та прийому аналогового телевізійного сигналу. Прикладом дискретного об'єкта оптимізації може слугувати процес передачі та прийому цифрової інформації. Постає питання вибору кращих методів оптимізації для вирішення кожної конкретної задачі.

Класифікація методів оптимізації може бути проведена наступним чином:

- засновані на застосуванні класичних математичних методів;
- засновані на застосуванні динамічного програмування;
- засновані на застосуванні лінійного та нелінійного дискретного програмування;
- засновані на застосуванні принципу максимуму;
- засновані на градієнтних методах;
- методи оптимізації графів та граф-мереж;
- спеціальні методи оптимізації;
- методи оптимізації в умовах невизначеності.

Вибір класу методів оптимізації для вирішення кожної конкретної задачі залежить в основному від наступних факторів:

- від належності об'єкта оптимізації до того чи іншого класу;
- від способу задання критерія оптимізації;
- від складності реалізації моделі об'єкта.

Проте, слід зазначити, що вибір методу оптимізації є досить суб'єктивним.

Адаптивна передача, яка потребує точного оцінювання характеристик каналів у приймачі й надійного зворотного зв'язку між приймачем і передавачем, вперше була запропонована наприкінці 60-х років ХХ сторіччя [2]. Інтерес до даної теми був короточасним, в основному через апаратні обмеження й відсутність якісних методів оцінки каналів та систем, орієнтованих на двоточкові

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

радіолінії без зворотного зв'язку до передавача. Ці проблеми мають менший вплив у сучасних системах, у поєднанні зі значним попитом на спектрально-ефективний зв'язок. У свою чергу це підвищило інтерес до методів адаптивної модуляції. Основною ідеєю адаптивної передачі є підтримка постійного значення відношення сигнал/завада шляхом зміни рівня потужності [2], швидкості передачі символів [3], розміру решітки [4-6], швидкості та схеми кодування [7] або будь-якої комбінації цих параметрів [8-10]. Таким чином, без збільшення ймовірності помилки, ці схеми забезпечують досить високу середню спектральну ефективність в сприятливих умовах каналу і зниження пропускну здатності при погіршенні каналу. Адаптивні методи також використовуються для високошвидкісних модемів [11, 12], супутникових каналів [13-15] і для мінімізації спотворень або задоволення вимог до якості обслуговування (QoS) в бездротових застосуваннях [16, 17]. В роботі [18] представлений адаптивний алгоритм оптимізації значення відношення сигнал/завада, модуляції та кодових конструкцій при сталій швидкості кодування завадостійкого коду для систем 3GPP LTE. В залежності від значень функцій відображення з довідкової таблиці, отриманої в результаті моделювання, вибираються параметри модуляції, кодових конструкцій та значення сигнал/завада. При цьому розглядаються канали з білим гаусівським шумом. В роботі [19] представлений алгоритм адаптації швидкості кодування завадостійкого коду для Wi-Fi технологій. Алгоритм базується на оцінці мінімальної відстані між найближчими точками решітки. В залежності від значення змінюється швидкість кодування та регулюється мінімальна відстань між точками. В роботі [20] представлений алгоритм адаптації швидкості кодування та модуляції для мобільних систем зв'язку. В залежності від значення відношення сигнал/завада змінюється швидкість кодування та модуляція. При цьому також розглядаються канали з білим гаусівським шумом. Найбільш поширеними методами для адаптації є градієнтні методи. Ці методи ефективні в поєднанні з завадостійким кодуванням. Методами пошуку називають методи знаходження оптимального значення довільної функції  $Q$ , відносно якої немає повних даних. Якщо функція  $Q$ , яку необхідно оптимізуємо, відома не повністю або її вид невідомий зовсім та є можливість лише обчислити або виміряти значення функції в окремих точках, то процес знаходження її оптимального значення пов'язаний з експериментом, оскільки лише з його допомогою можна отримати більш конкретні дані про неї. Такого роду функції зустрічаються і в теоретичних дослідженнях, коли математичний вираз функції критерію

						ЕЛІТ 8.171.00.10.450 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			

оптимізації є досить складним розрахунок її значень можливий лише за допомогою використання потужних процесорів.

## 1.2 Класифікація систем передачі повідомлень зі зворотним зв'язком

В усіх промислово розвинених країнах велика увага приділяється розвитку техніки електричної доставки повідомлень від відправника (джерела) до одержувача і створення систем і мереж зв'язку, що представляють собою інформаційну інфраструктуру народного господарства. Для передачі повідомлень від джерела до одержувача, які можуть бути рознесені в просторі і (або) в часі, необхідне середовище, яке в змозі передавати сигнали будь-якої фізичної природи. Таким чином, загальна схема системи передачі інформації (СПІ) може бути представлена як «джерело повідомлень - середовище - одержувач повідомлень». Передавальним середовищем зазвичай є технічні засоби та фізичне середовище, які здатні сприймати повідомлення і перетворювати його в фізичний процес, який називають сигналом. Зворотне перетворення сигналу в повідомлення здійснюється на стороні одержувача технічними засобами. Перетворення повідомлень в сигнал і навпаки повинні проводитися без втрат інформації.

Найпростішою системою передавання даних є система без зворотного зв'язку. Структура такої системи наведена на рисунку 1.3.

Системи передачі без зворотного зв'язку використовують симплексний канал зв'язку і підрозділяються на системи передачі простим кодом, системи з кодом, що виправляє помилки, і системи з повторенням передачі інформації.

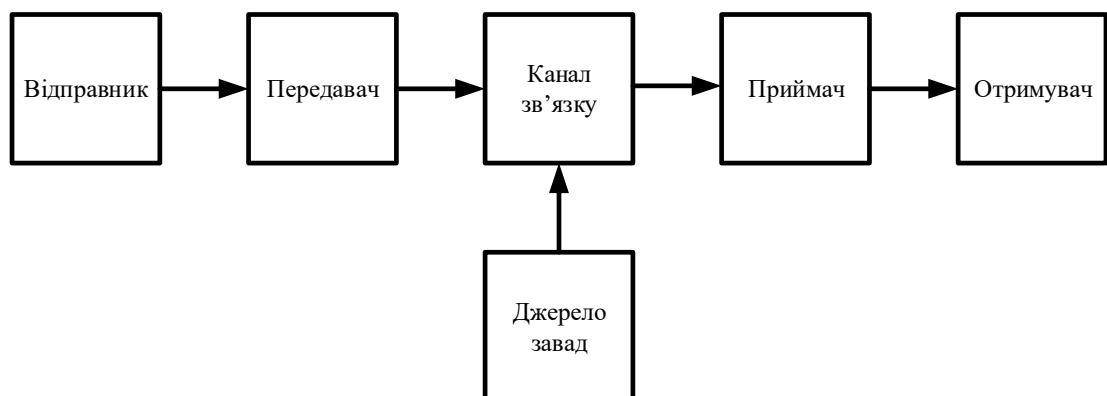


Рисунок 1.3 – Блок-схема системи передачі інформації

Перевагою систем передачі інформації без зворотного зв'язку є значне зменшення апаратних витрат та більш висока швидкість передачі даних від відправника до одержувача інформації.

Системи передачі інформації без зворотного зв'язку доцільно застосовувати в тих випадках, коли немає можливості побудови каналів зворотного зв'язку, або в системах, де застосування зворотного зв'язку є недоцільним.

Недоліком систем передачі інформації без зворотного зв'язку є необхідність застосування завадостійких кодів з великою надлишковістю, що призводить до зменшення швидкості передавання даних.

Доцільніше застосовувати системи передавання даних з зворотним зв'язком.

У системах зі зворотним зв'язком передавач з приймачем з'єднані прямим і зворотним каналами електрозв'язку, причому передавач при введенні надмірності і виборі необхідного режиму роботи використовує інформацію про стан прямого каналу, що отримується з зворотного каналу.

У системах з ЗЗ є можливість отримувати по зворотному каналу електрозв'язку інформацію про конкретний характер помилок на кожному окремому відрізку повідомлення і в міру його передачі змінювати надмірність, яка додається до коду, і режим прийому сигналів. В результаті такого методу передачі сигналів даних можна істотно підвищити вірність обміну даними при більшій середній швидкості передачі або меншій затримці повідомлень.

Значний вигреш в системах зі зворотним зв'язком досягається при незалежності помилок в прямому і зворотному каналах і в разі використання зворотного каналу, що характеризується значно меншою ймовірністю помилкового прийому сигналів, ніж в прямому каналі. Побудова систем з ОС часто полегшується тим, що між двома пунктами, як правило, є двосторонній зв'язок.

Існує велика кількість способів побудови зворотного каналу, деякі з них можна розглянути на рисунку 1.4. У варіанті I зворотний зв'язок охоплює тільки лінію зв'язку. У варіантах II і III зворотний зв'язок підключений після вирішального пристрою. Варіант III відрізняється тим, що зворотний зв'язок охоплює всю систему.

					ЕЛІТ 8.171.00.10.450 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



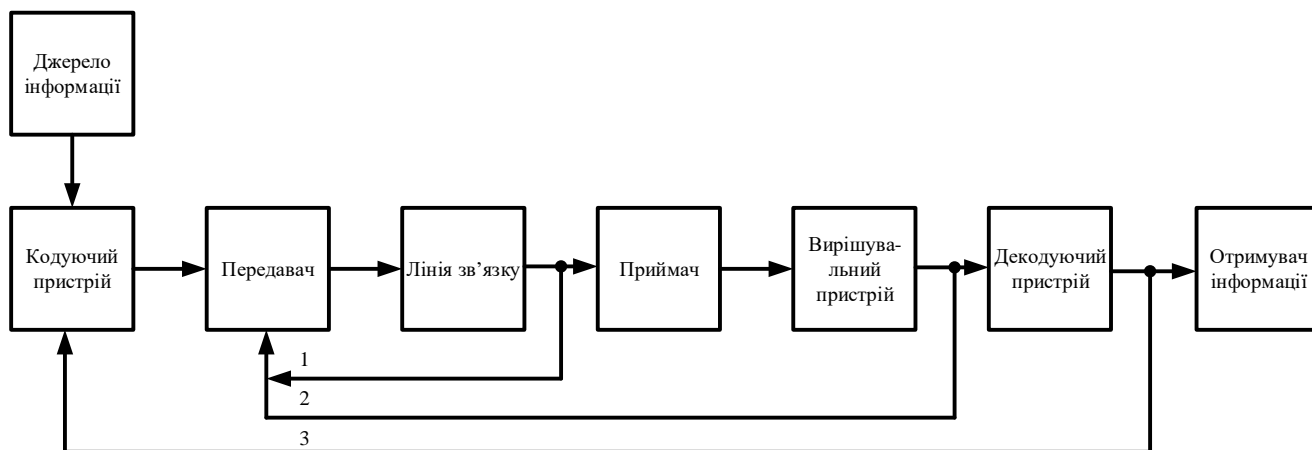


Рисунок 1.4– Способи побудови каналів зворотного зв'язку

Залежно від способу використання зворотного каналу системи зі зворотним зв'язком можуть бути розділені на два основних типи:

- системи з інформаційної зворотним зв'язком (системи з порівнянням);
- системи з вирішальним зворотним зв'язком (системи з перепитуванням).

Колектив авторів В.І. Васильєв, А.П. Буркін, В.А. Свириденко в навчальному посібнику «Системи зв'язку» пропонують таку класифікацію СПД і відзначають, що за алгоритмом роботи системи з СЗЗ діляться на наступні основні різновиди:

1. Системи з очікуванням сигналу зворотного зв'язку (СЗЗ-ОЧ).
2. Системи з послідовною передачею комбінацій (СЗЗ-ПП).
  - а) СЗЗ-ППзп - системи зі зміною порядку проходження комбінацій;
  - б) СЗЗ-ППбл - системи з блокуванням приймача на  $h$  комбінацій після виявлення помилкової комбінації і з повторенням при запиті блоку з  $h$  комбінацій;
  - в) СЗЗ-ППкз - системи з контролем заблокованих комбінацій;
3. Системи з тривалим нагромадженням правильно прийнятих комбінацій (СЗЗ-НК);
4. Системи з адресним перепитуванням (СЗЗ-АП).

Найпростішим різновидом систем з вирішальним зворотним зв'язком є системи ВЗЗ з очікуванням (ВЗЗ-ОЧ), блок-схема якої представлена на малюнку 1.5.

Кодова  $m$ -елементна комбінація від джерела повідомлення ДП через схему АБО запам'ятовується в накопичувачі Н1, кодується завадостійким кодом в КП і передається прямим каналом зв'язку (ПК). На цьому робота передавального

пристрою припиняється до прийому сигналу ЗЗ. З виходу ПК  $n$ -елементна комбінація може бути прийнята правильно з ймовірністю  $P_{np}(n)$ , з виявленою помилкою з ймовірністю  $P_{en}(n)$  і з невиявленою помилкою з ймовірністю  $P_{nn}(n)$ . Всі ці ймовірності визначаються вибраним кодом, методом декодування та якістю дискретного ПК. В залежності від результатів декодування вирішальний пристрій (ВП) приймає відповідне рішення. У разі правильного прийому або невиявленої помилки приймається рішення про видачу  $m$ -елементної комбінації з накопичувача Н2 через ключ Кл2 одержувачу (О) за допомогою блоку управління БУ2 і одночасно формується блоком ПФС сигнал підтвердження прийому, який передається зворотним каналом (ЗК).

У передавачі після дешифрації сигналу ЗЗ (УДС) блок управління БУ1 запитує чергову комбінацію від ДІ (ключ Кл1 при цьому закритий) і раніше записана Н1 комбінація замінюється новою комбінацією. У разі прийому комбінації з помилкою ВП приймає рішення про стирання комбінації в накопичувачі Н2, ключ Кл2 залишається закритим і одночасно БУ2 дає команду УФС на формування і передачу зворотним каналом сигналу запиту. Передавач, прийнявши сигнал запиту, за допомогою БУ1 відкриває Кл1, видає з накопичувача Н1 через Кл1 і схему АБО раніше передану комбінацію в кодуючий пристрій (КП) і далі посилає її в ПК. Одночасно ця комбінація знову запам'ятовується у накопичувачі Н1.

Системи з ВЗЗ-ОЧ мають досить велику ефективність за швидкістю передачі лише при  $n \geq t_{oc} / T_c$ . Однак з огляду на найбільшу порівняно з іншими системами простоти реалізації їм можна в певних ситуаціях віддати перевагу.

					ЕЛІТ 8.171.00.10.450 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

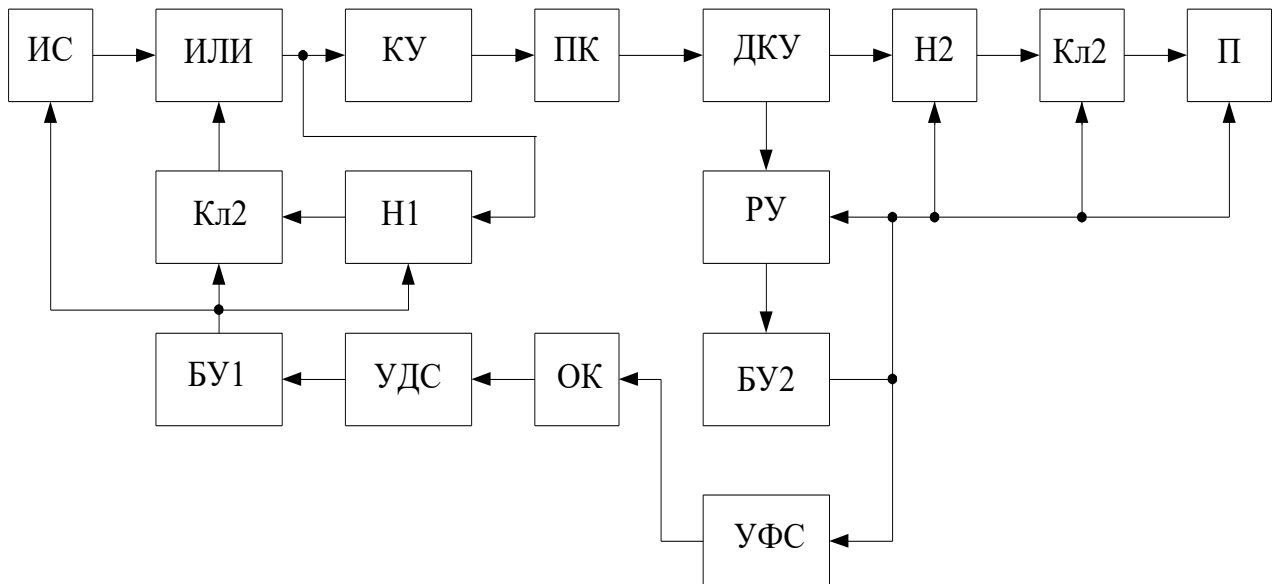


Рисунок 1.5 – Блок-схема системи зв'язку з В33-ОЧ

У системах з послідовною передачею інформації (В33-ПП) комбінації передаються безперервно, не очікуючи отримання сигналів зворотного зв'язку. Приймач стирає комбінації з виявленими помилками і дає сигнал запиту. Інші комбінації видаються одержувачу за часом їх надходження.

Зважаючи на те, що передавач повторює лише комбінації, для яких прийнятий сигнал запиту, що приймається із запізненням на  $h$  комбінацій, порядок проходження комбінацій, що видаються одержувачу, буде відрізнятися від порядку їх надходження від джерела повідомлень.

Алгоритм роботи системи з В33-ПП<sub>П</sub> дуже простий і відрізняється від алгоритму роботи системи з В33-ОЧ лише тим, що комбінації посилаються в прямий канал безперервно, без очікування сигналів ЗЗ. Однак передані комбінації зберігаються в накопичувачі ємністю  $h$  комбінацій ( $m \cdot h$  біт) до прийому сигналів ЗЗ. Якщо приймається сигнал підтвердження, то відповідна комбінація стирається, якщо приймається сигнал запиту, вона передається повторно і залишається в накопичувачі.

Для відновлення порядку проходження комбінацій можна використовувати спеціальні пристрої, які досить складні. Найбільшого поширення набули системи з блокуванням В33 - ПП<sub>Бл</sub>.

Кодові комбінації від ДІ безперервно кодуються і передаються у прямий канал з одночасним запам'ятовуванням в накопичувачі.

При запиті будь-якої комбінації на стороні, що передає, повинно бути відомо, яка комбінація запитується. Це можна визначити за часом надходження сигналу «Запит» зворотним каналом або під час перепитування має бути вказана адреса кодової комбінації, яку необхідно повторити. У зв'язку з цим розрізняють системи з часовим та адресним перепитуванням.

Імовірність затримки комбінації на заданий час у системах з ВЗЗ-ПП<sub>БЛ</sub> дещо вища, ніж у системах з ВЗЗ-ОЧ, за рахунок того, що кожна чергова комбінація може бути запрошена від ДІ тільки за умови правильного прийому  $h-1$  попередніх комбінацій. Однак у середньому під час передачі довгих повідомлень затримка у яких виявляється менше за рахунок втрат часу очікування сигналів ЗЗ у системах з ВЗЗ-ОЧ.

Більш високої завадостійкості передачі, особливо у разі групування помилок у прямому каналі електрозв'язку, можна досягти деякою видозміною логіки роботи системи: після виявлення помилки в комбінації приймач не блокує вирішальний пристрій на час прийому чергових  $h-1$  комбінацій (хоча одержувач блокується на час отримання цих комбінацій), а перевіряє їх на наявність помилок і при виявленні серед цих  $h-1$  комбінацій хоча б однієї помилки приймає рішення на стирання всіх  $h$  повторних комбінацій і передачу їх повторно. Комбінація видається одержувачу, якщо вона сама і не менше  $h-1$  попередніх її комбінацій не містять помилок, що виявляються. У більш загальному випадку можна реалізувати систему з ВЗЗ-ПП<sub>БЛ</sub>, в якій при прийомі комбінації з виявленою помилкою стираються  $h_{ПР}$  попередніх і  $h_{НАСТ}$  наступних за нею комбінацій. Таким чином, нестерта комбінація може бути видана одержувачу в тому випадку, якщо не будуть виявлені помилки в  $h_{ПР}$  раніше прийнятих і  $h_{НАСТ}$  прийнятих після даної комбінаціях.

Блок-схема системи з накопиченням правильно прийнятих комбінацій (ЗВВ-НК) наведена на рисунку 1.6. За сигналом з блоку управління БУ1 від джерела повідомлень видаються  $h$  комбінацій довжиною  $m$  символів, які кодуються в кодуєчому пристрої (КП) і послідовно передаються в прямий канал електрозв'язку (ПК). Одночасно ці  $h$  комбінацій запам'ятовуються у накопичувачі Н1, ємність якого дорівнює  $h*m$  біт. На приймальній стороні кожна з  $h$  комбінацій послідовно декодується в ДкП і  $m$  її інформаційних символів записуються в накопичувач Н2 до прийняття вирішальним пристроєм (ВП) рішення по даній комбінації. Якщо в комбінації помилки не виявляються, то сигналом з блоку

					ЕЛІТ 8.171.00.10.450 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

управління БУ2 вона через відкритий ключ Кл2 переписується у відповідний номеру цієї комбінації регістр НЗ, ємність якого дорівнює  $h \cdot m$  біт.

Якщо в комбінації виявляється помилка, то вона стирається, оскільки ключ Кл2 у цьому випадку виявляється закритим і відповідний регістр накопичувача НЗ залишається незаповненим. Після закінчення прийому всього блоку  $h$  комбінацій здійснюється контроль вмісту накопичувача НЗ. Якщо хоча б один з його регістрів виявляється незаповненим, блок управління БУ2 дає команду пристрою формування сигналу зворотного зв'язку (УФС) на передачу зворотним каналу (ЗК) сигналу запиту. Після прийому сигналу запиту з ЗК та його дешифрації відповідним пристроєм (ПДС) блок управління БУ1 відкриває ключ Кл1 і передає блок  $h$  комбінацій, що зберігаються в накопичувачі Н1, через схеми АБО і КУ в прямий канал (ПК). На приймальній стороні з блоку, що повторно передається та містить  $h$  комбінацій за допомогою БК2 вибираються лише ті комбінації, які відсутні в регістрах накопичувача НЗ, а інші стираються. Як і раніше, якщо в комбінаціях не виявляються помилки, вони через Кл2 записуються в регістри накопичувача НЗ у відповідні номери комбінацій, що аналізуються, інакше вони стираються.

Повторна передача блоку триває доти, доки у всі регістри накопичувача НЗ не будуть записані  $m$ -елементні кодові комбінації. За командою БУ2 весь блок з  $h$  комбінацій видається одержувачу інформації (О), а УФС передає зворотним каналом комбінацію підтвердження прийому блоку. Передавач, отримавши цю комбінацію, дешифрує її і за командою БУ1 запитує черговий блок  $h$  комбінацій від джерела повідомлень (ДП). Кодові комбінації, що зберігаються в накопичувачі Н1, при цьому стираються, оскільки ключ Кл1 залишається закритим. Новий блок комбінацій надсилається в прямий канал.

При передачі повідомлень з великою швидкістю телеграфування (з малими значеннями  $T_c$ ) і на великі відстані найчастіше використовують системи з ВЗЗ-ПП<sub>Бл</sub> - системи з блокуванням приймача після виявлення помилкових комбінацій, швидкість передачі інформації в яких різко зменшується при великих  $h$  з збільшенням ймовірності помилок, що виявляються  $P_{st}(n)$ , тому що при цьому різко збільшується кількість запитів блоків кодових комбінацій. З метою зменшення обсягу інформації, що передається повторно при запитах, було розроблено системи з адресним перепитом (ВЗЗ-АП). Алгоритм роботи таких систем аналогічний алгоритму роботи систем з ВЗЗ-НК, за винятком того, що зворотним каналом передається сигнал запиту, що вказує умовні номери (адреси)

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

забракованих приймачем комбінацій. Повторенню підлягають ті комбінації, адреси яких вказано у сигналі запиту, а не весь блок з  $h$  комбінацій, як в системах з ВЗЗ-НК. Це зменшує втрати часу на повторну передачу комбінацій і відповідно збільшує середню швидкість передачі повідомлень.

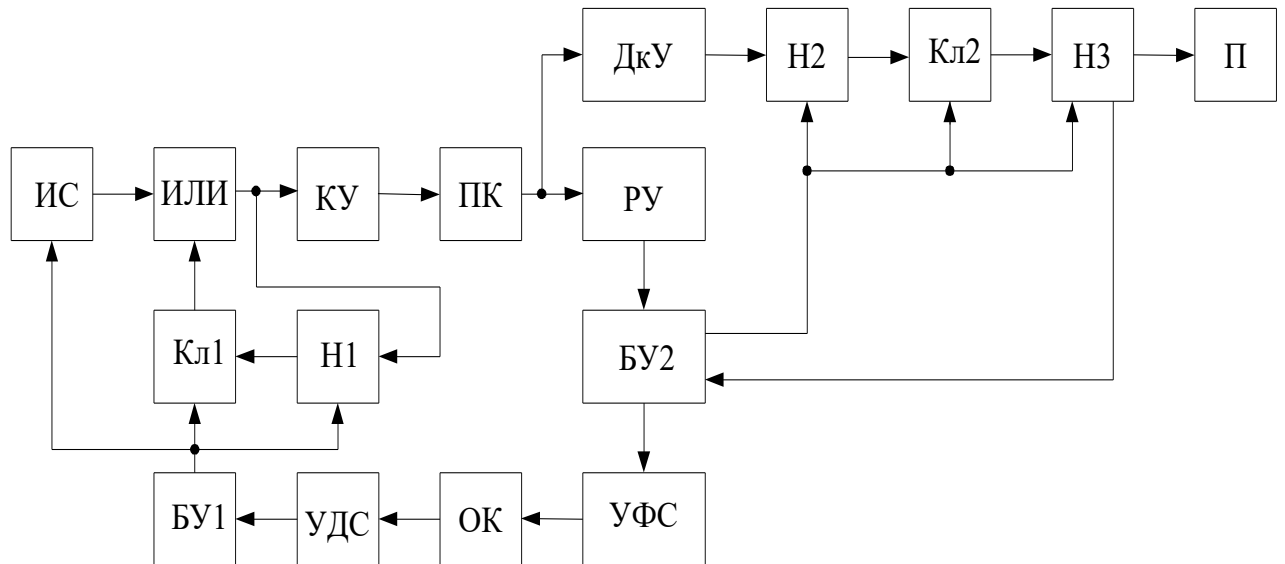


Рисунок 1.6 – Блок-схема системи з ВЗЗ-НК

На рисунку 1.7 наведено блок-схему найпростішої системи з ВЗЗ-АП. За сигналом від БУ1 блок з  $h$  комбінацій від ДІ через схему АБО кодується в КП і послідовно передається в прямий канал. Комбінації, що одночасно передаються, записуються в накопичувач Н1. Перед блоком комбінацій в прямий канал ПК від генератора синхрокоду (ГСК) посилається спеціальний сигнал початку передачі блоку комбінацій, що виконує функцію сигналу циклового фазування.

На приймальній стороні синхрокод селектується (ССК) та визначає момент початку прийому блоку кодівих комбінацій з ПК (приймач фазується за циклом). Декодуєчий пристрій (ДКП) перевіряє наявність помилок у кодівих комбінаціях, і вирішальний пристрій (ВП) приймає рішення про запис комбінації в накопичувач Н2 через БУ2 за відсутності помилок, що виявляються, або про стирання комбінації та запису її умовного номера в накопичувач адреси (НА) при виявленні в ній помилки.

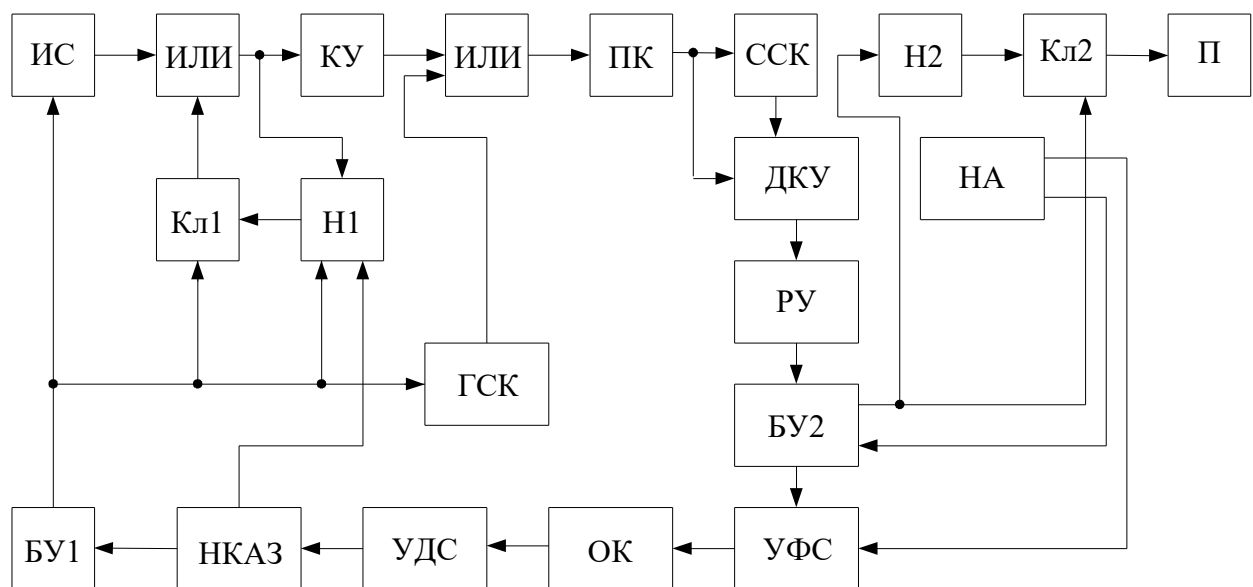


Рисунок 1.7 — Блок-схема системи з В33-АП

Після прийому всього блоку комбінацій за наявності в НА хоча б однієї адреси за командою БП2 відповідні адреси кодується в ПФС і зворотним каналом передається сигнал запиту. На передавальній стороні сигнал запиту дешифрується ПДС і записується в накопичувач адреси комбінацій, що запитуються (НКАЗ). Сигналом з БП1 відповідні комбінації зчитуються з Н1 через відкритий ключ Кл1 і після кодування передаються в ПК. Процедура запиту повторюється до тих пір, поки в накопичувачі адрес (НА) не буде записано жодної адреси, що відповідає запису в накопичувач Н2 ємністю в  $h \cdot m$  біт всіх комбінацій без виявлених помилок. Сигналом із БП2 весь блок  $h$  комбінацій зчитується з Н2 через відкритий ключ Кл2 до одержувача (О). При цьому ПФС формує сигнал підтвердження, прийнявши який передавач по команді БП1 передає синхрокод, а потім черговий блок комбінацій від ДС.

Необхідно відзначити, що існує велика різноманітність способів передачі адрес запитуваних комбінацій, їх кодування і повторної передачі запитуваних комбінацій. Всі вони відрізняються різним ступенем складності технічної реалізації, швидкістю передачі повідомлень та ймовірністю правильної реєстрації.

Недоліком систем з ЗВВ-АП є складніший, ніж у системах з ЗВВ-НК, алгоритм обробки повідомлень, що передаються прямим і зворотним каналами, і, як наслідок, велика складність технічної реалізації апаратури. Застосування

зазначених систем є доцільним на лініях великої протяжності і з високою ймовірністю помилкового прийому символу  $p_0$ .

У системах з інформаційним зворотним зв'язком (ІЗЗ) рішення про видачу комбінації (блоку комбінацій) одержувачу або про стирання та повторної передачі її приймає передавач системи на основі аналізу переданої комбінації та відомостей про отриману приймачем комбінацію, які передаються зворотним каналом. Блок-схема системи з ІЗЗ-ОЧ представлена на рисунку 1.8.

За запитом блоку управління (БУ) комбінації  $\bar{\alpha}_i$  від ДІ через ключ Кл і схему АБО передається в прямий канал електрозв'язку (ПК), одночасно записується на накопичувач Н1 і надходить у пристрій формування контрольної  $\bar{\beta}_i$  послідовності ФКП1. В якості цієї послідовності зазвичай використовують, як зазначалося вище, контрольні символи будь-якого надлишкового коду, або (при ретрансляційному ІЗЗ) використовують послідовність інформаційних символів переданого повідомлення, тобто.  $\bar{\beta}_i = \bar{\alpha}_i$ .

У другому випадку потреба у пристроях ФПК відпадає. На приймальній стороні безнадмірна комбінація повідомлення  $\bar{\alpha}_i$  записується в накопичувач Н2 і одночасно надходить у формувач ФКП2 контрольної послідовності  $\bar{\beta}_i$ , який аналогічний ФКП1 на стороні, що передає. Контрольна послідовність  $\bar{\beta}_i$  (квитанція) передається зворотним каналом і надходить на пристрій порівняння (ПП). При порівнянні контрольні послідовності  $\bar{\beta}_i$  і  $\bar{\alpha}_i$  збігаються, якщо не будуть спотворені ні повідомлення  $\bar{\alpha}_i$ , що передаються ПК, ні контрольна послідовність  $\bar{\beta}_i$ , що передається зворотним каналом. У цьому випадку за сигналом з БУ1 формувач службового сигналу рішення (ФР) посилає в ПК сигнал дозволу видачі повідомлення одержувачу і потім запитує від ДІ чергову комбінацію  $\bar{\alpha}_j$ , що також передається прямим каналом електрозв'язку. На приймальній стороні дешифратор сигналу рішення (ДР) зчитує повідомлення  $\bar{\alpha}_i$  з накопичувача Н2, видаючи його одержувачу (О). Одночасно з цим в накопичувач Н2 послідовно вводиться чергова комбінація повідомлення  $\bar{\alpha}_j$ .

						Лист
					ЕЛІТ 8.171.00.10.450 ПЗ	
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



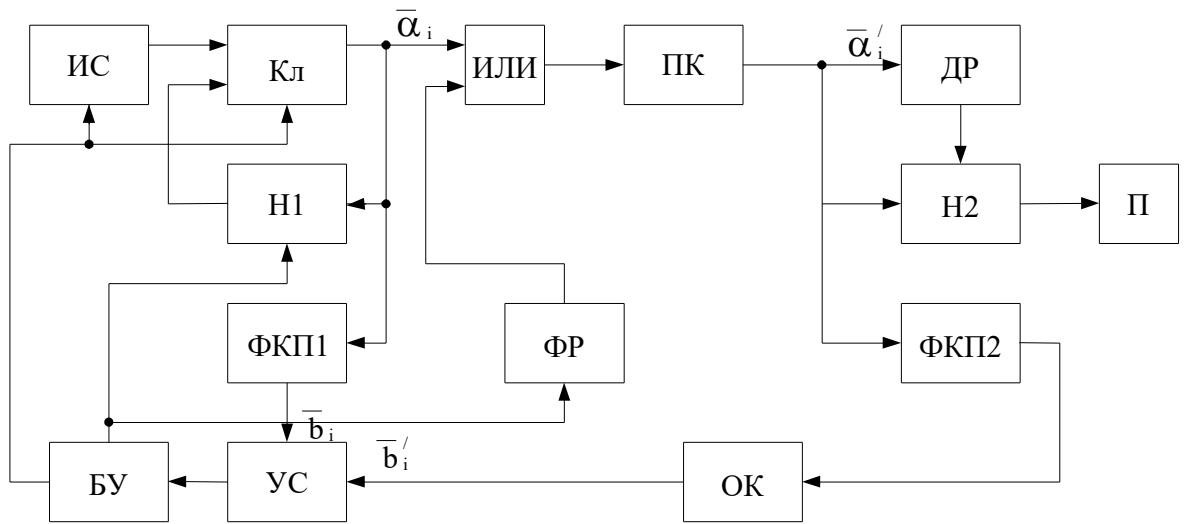


Рисунок 1.8 – Блок-схема системи зв'язку з ІЗЗ-ОЧ

Якщо контрольні послідовності, що порівнюються в передавачі, не співпадуть, тобто.  $\bar{\beta}_i \neq \bar{\beta}_i$ , то за сигналом з БУ формувач рішення (ФР) вибирає сигнал стирання раніше переданої комбінації  $\bar{\alpha}_i$ , який посиляє в ПК, а слідом за ним посиляється ця ж комбінація, що запитується з накопичувача Н1 і передається в ПК через ключ Кл і схему АБО. Після прийому та дешифрації блоком ДР сигналу рішення комбінація  $\bar{\alpha}_i$  з накопичувача Н2 виштовхується, не надходячи при цьому до одержувача. Цикл передачі повторюється.

Необхідно відзначити, що ефективність використання каналів електрозв'язку в системах ІЗЗ-ОЧ низька.

Одним із шляхів підвищення ефективності систем передачі є адаптація, яка застосовується з різною метою. Однією з перспективних є задача підтримки заданої вірності передачі інформації за умови максимальної швидкості передачі. „Адаптивні системи передачі інформації” можна визначити як системи, цілеспрямовано та найкраще з точки зору обраного критерію ефективності, що змінюють свої характеристики залежно від умов передачі в каналі зв'язку.

**1.2.1 Адаптивні СПД.** Більшість реальних каналів зв'язку є нестационарними. Стан і якість таких каналів змінюється у часі. У кожному стані канал може характеризуватися своєю величиною імовірності помилки  $p_{ном}$ . При відомій  $p_{ном}$ , для забезпечення заданої вірності передачі можна підібрати спосіб завадостійкого кодування. Однак,  $p_{ном}$  буде змінюватися. Як наслідок, виникає протиріччя:

- якщо вибрати код, виходячи із середньої величини  $p_{ном}$ , то задана вірність буде забезпечуватися не на всіх інтервалах стаціонарності;

- якщо вибрати код по найгіршому стану ( $p_{ном\ max}$ ), то на інших інтервалах внесена надмірність буде невиправдано великою, а швидкість передачі інформації  $R$  – малою.

Очевидно, що для найкращого використання каналу необхідно змінювати внесену надмірність (алгоритми кодування, декодування, сигнали і т. ін.) в залежності від стану каналу. Системи, в яких здійснюється процесі цілеспрямованої зміни параметрів або структури властивостей системи в залежності від умов передачі повідомлення, з метою досягнення оптимального функціонування, називаються *адаптивними*.

Для реалізації адаптивної системи необхідно забезпечити контроль за станом каналу. За результатами контролю приймається рішення на зміну параметрів СПД. При цьому, можуть контролюватися: спотворення форми сигналів, завадова обстановка в мережі електроживлення таї навколишньому просторі, коефіцієнт помилок і т. ін. За результатами контролю можуть змінюватися параметри, наприклад, що зазначені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 - Параметри СПД, що підлягають адаптації

№ п/п	Параметри, що підлягають адаптації	Місце адаптації
1	параметри сигналів (форма, рівень, ...)	на передачі
2	спосіб кодування (надмірність)	
3	попередні спотворення	
4	спосіб демодуляції (когерентний, некогерентний)	на прийомі
5	спосіб декодування (виправлення або виявлення помилок)	
6	... і інші.	

Адаптивні СПД припускають використання зворотного зв'язку (ЗЗ). В залежності від призначення ЗЗ, розрізняють системи:

- з інформаційним ЗЗ (ІЗЗ);
- з вирішальним ЗЗ (ВЗЗ).

Пристрій захисту від помилок забезпечує потрібний ступінь вірності передачі повідомлень шляхом виявлення та виправлення помилок, що з'являються в процесі передачі. Найбільш простими в реалізації є способи, що засновані на повторенні передачі повідомлень. При наявності між кінцевими пунктами одного каналу зв'язку повторення може бути тільки послідовним, а при наявності кількох каналів – повторення може бути рівнобіжним. Можливість знайти та виправити помилки з'являється завдяки надмірності переданої інформації. В АПД також широко застосовуються способи боротьби з помилками, засновані на використанні надлишкових кодів. У цьому випадку кодові комбінації містять більше число елементів у порівнянні з простими кодами.

### 1.3 Класифікація кодів, що застосовуються в системах передачі даних

При передачі каналами зв'язку завжди виникають помилки. Причини їх можуть бути різні, але результат видається один – дані спотворюються і не можуть бути використані на приймальній стороні для подальшого опрацювання. Як правило, можливість перекручування біта переданих даних на рівні фізичного каналу знаходиться в межах  $10^2 \dots 10^{-6}$ . У той же час із боку користувачів і багатьох прикладних процесів часто висовується вимога до можливості помилок у прийнятих даних не гірше  $10^{-6} \dots 10^{-12}$ . Боротьба з виникаючими помилками ведеться на різних рівнях.

В одному із способів на передавальній стороні передані дані кодується одним із відомих кодів із виправленням помилок. На приймальній стороні, відповідно, проводиться декодування прийнятої інформації і виправлення виявлених помилок. Можливість застосовуваного коду з виправленням помилок залежить від числа надлишкових бітів, що генеруються кодером. Якщо внесена надмірність невелика, тобто існує небезпека того, що прийняті дані будуть містити не знайдені помилки, це може призвести до помилок у роботі прикладного процесу. Якщо ж використовувати код із високою виправлювальною здатністю, то це приводить до низької швидкості передачі даних. Таким чином, знання теорії завадостійкого кодування дозволяє визначити оптимальні параметри завадостійкого коду в залежності від поставленої задачі.

Завадостійкі коди – один з найбільш ефективних засобів забезпечення високої вірності як при зберіганні, так і при передачі дискретної інформації.

					ЕЛІТ 8.171.00.10.450 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Створено спеціальну теорію завадостійкості кодування, що швидко розвивається останнім часом.

К. Шеннон сформулював теорему для випадку передачі дискретної інформації з каналу із завадами, яка стверджує, що ймовірність помилкового декодування прийнятих сигналів може бути забезпечена як завгодно малою шляхом вибору відповідного способу кодування сигналів.

Під завадостійкими кодами розуміють коди, що дозволяють виявляти або виправляти помилки, які виникають у результаті впливу завад.

Завадостійкість кодування забезпечується за рахунок введення надмірності в кодові комбінації, тобто за рахунок того, що не всі символи в кодових комбінаціях використовуються для передачі інформації.

Всі завадостійкі коди можна розділити на два основних класи: блокові і неперервні (рекуррентні або ланцюгові).

У блокових кодах кожному повідомленню (або елементу повідомлення) відповідає кодова комбінація (блок) із певної кількості сигналів. Блоки кодують і декодують окремо. Блокові коди можуть бути рівномірними, коли довжина кодових комбінацій  $n$  постійна, або нерівномірними, коли  $n$  мінлива.

Нерівномірні завадостійкі коди не одержали практичного застосування через складність їх технічної реалізації.

Як блокові, так і неперервні коди в залежності від методів внесення надмірності розділяються на роздільні і нероздільні. У роздільних кодах чітко розмежована роль окремих символів. Одні символи є інформаційними, інші є перевірними і служать для виявлення і виправлення помилок. Роздільні блокові коди називаються звичайно  $n$ -кодами, де  $n$  – довжина кодових комбінацій,  $k$  – число інформаційних символів у комбінаціях. Нероздільні коди не мають чіткого розділення кодової комбінації на інформаційні і перевірні символи. Цей клас кодів поки нечисленний. Роздільні блокові коди розділяються, у свою чергу, на несистематичні і систематичні.

Більшість відомих роздільних кодів складають систематичні коди. У цих кодів перевірні символи визначаються в результаті проведення лінійних операцій над певними інформаційними символами. Для випадку двійкових кодів кожний перевірний символ вибирається таким, щоб його сума за модулем два з певними інформаційними символами стала рівною нулю. Декодування зводиться до перевірки на парність певних груп символів. У результаті таких перевірок дається

					ЕЛІТ 8.171.00.10.450 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

інформація про наявність помилок, а в разі потреби - про позицію символів, де є помилки.

Для з'ясування ідеї завадостійкого кодування розглянемо двійковий код, що знайшов на практиці найбільш широке застосування. Нагадаємо, що двійковий код – це код із основою  $m = 2$ . Кількість розрядів  $n$  у кодовій комбінації прийнято називати довжиною або значністю коду. Символи кожного розряду можуть приймати значення 0 і 1. Кількість одиниць у кодовій комбінації називають вагою кодової комбінації і позначають  $w$ .

Ступінь відмінності будь-яких двох кодових комбінацій даного коду характеризується так званою відстанню між кодами  $d$ . Вона виражається числом позицій або символів, у яких комбінації відрізняються одна від одної, і визначається як вага суми за модулем два цих кодових комбінацій.

Помилки, внаслідок впливу завад, виявляються в тому, що в одному або декількох розрядах кодової комбінації нулі переходять в одиниці і, навпаки, одиниці переходять у нулі. В результаті створюється нова - помилкова кодова комбінація.

Якщо помилки відбуваються тільки в одному розряді кодової комбінації, то їх називають однократними. При наявності помилок у двох, трьох і т. д. розрядах помилки називають дворазовими, триразовими і т. д.

Експериментальні дослідження каналів зв'язку показали, що помилки символів при передачі по каналу зв'язку, як правило, групуються в пачки різної тривалості. Під пачкою помилок розуміють ділянку послідовності, що починається і закінчується помилково прийнятими символами. В середині пачки можуть бути і правильно прийняті елементи.

Для вказання місць у кодовій комбінації, де є перекручування символів, використовується вектор помилки  $e$ . Вектор помилки  $n$ -розрядного коду – це  $n$ -розрядна комбінація, одиниці в якій указують положення перекручених символів кодової комбінації.

Вага вектора помилки  $w_e$  характеризує кратність помилки. Сума за модулем два для перекрученої кодової комбінації і вектори помилки дають вихідну невикривлену комбінацію.

Як уже відзначалося, завадостійкість кодування забезпечується за рахунок внесення надмірності в кодові комбінації. Це значить, що з  $n$  символів кодової комбінації для передачі інформації використовується  $k < n$  символів. Отже, із загального числа  $N_o = 2^n$  можливих кодових комбінацій для передачі інформації

					ЕЛІТ 8.171.00.10.450 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

використовується тільки  $N = 2^k$  комбінацій. Відповідно до цього вся множина  $N_o = 2^n$  можливих кодових комбінацій поділяється на дві групи. У першу групу входить множина  $N = 2^k$  дозволених комбінацій, друга група містить у собі множину  $(N_o - N) = 2^n - 2^k$  заборонених комбінацій.

Якщо на стороні приймання встановлено, що прийнята комбінація відноситься до групи дозволених, то вважається, що сигнал прийшов без перекручувань. В іншому випадку робиться висновок, що прийнята комбінація перекручена. Однак це справедливо лише для таких перешкод, коли усунута можливість переходу одних дозволених комбінацій в інші.

У загальному плані завадостійке кодування можна розуміти як таке кодування повідомлень, при якому елементи пов'язані певною залежністю, що дозволяє при її порушенні вказати помилки та відновити інформацію.

**1.3.1 Код з постійною вагою** - несистематичний код, кожне слово якого має сталу кількість одиничних символів (постійна вага). Широке застосування на практиці отримав семиелементний код з вагою 3, кожна комбінація якого містить 3 одиниці і 4 нуля. Цей код використовується для передачі дискретних повідомлень по короткохвильовим каналах зв'язку і відомий як міжнародний телеграфний код №3 (**МТК 3**). Із загальної кількості комбінацій семіелементного коду  $N_n = 2^7 = 128$ , число дозволених становить  $N_p = 7! / 3! (7-3)! = 35$ . Коефіцієнт надмірності коду  $K_i = 1 - \log_2 35 / \log_2 128 = 0,26$ , а мінімальна кодова відстань  $d_{\min} = 2$ .

При прийомі кодових комбінацій проводиться підрахунок числа одиниць в кодовому слові, що дозволяє виявляти помилки непарної кратності. Застосування коду з постійним вагою доцільно в асиметричних каналах (наприклад, канали з АМн при неоптимальном порозі).

**1.3.2 Коди Бергера** або коди з підсумовуванням відносяться до розряду нелінійних кодів. Вони також призначені для використання в асиметричних каналах зв'язку.

Варіант кодування: в інформаційній частині кодової комбінації підраховується число одиниць, після чого формуються перевірочні елементи, що представляють запис цього числа в двійковій формі. Таким же чином формуються перевірочні елементи на приймальній стороні і порівнюються з прийнятими перевірочними. Мінімальна кодова відстань  $d_{\min} = 2$ . Підвищення достовірності за допомогою кодів Бергера дає приблизно такі ж результати, як використання коду

					ЕЛІТ 8.171.00.10.450 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

МТК-3, однак важливою перевагою коду Бергера є розділення кодових символів на інформаційні та перевірочні, що спрощує побудову кодується і декодер.

**1.3.3 Код з перевіркою на парність.** Незалежно від довжини кодової комбінації цей код має один елемент перевірки і позначається як  $(n, n-1)$  - код. Значення перевіркового елемента вибирається з умови отримання парного числа одиниць, тобто загальне число одиниць в будь-якому дозволеному кодовому слові парне. Цей код має  $d_{\min} = 2$  і виявляє всі помилки непарної кратності. Якщо в якості первинного використовується код МТК-2 ( $n = 5$ ), то  $n = 6$ ,  $r = 1$ . Коефіцієнт надмірності  $K_i = 0,17$ , що частково пояснює низьку ефективність коду. Існує також код з двома перевітками на парність. Незалежно від довжини кодової комбінації цей код має два перевірочних елемента, один з яких вибирається з умови парності всіх інформаційних розрядів, а другий - з умови парності всіх непарних (або парних) за номером інформаційних розрядів. Цей код виявляє частина помилок парної кратності - все суміжні, поруч розташовані помилки.

**1.3.4 Коди з повторенням** - Коди, в яких один заданий інформаційний символ повторюється  $n$  раз (зазвичай  $n$  непарне) і тому вважається низькошвидкісним. Код з повторенням має довжину  $n = nk$ , мінімальна кодова відстань  $d_{\min} = n$ . Надмірність коду дорівнює  $(n-1) / n$ . Код з повторенням характеризується досить високими виправляють властивостями при дії пакетів помилок. Так при  $n = 2$  завжди виправляються пакети помилок до  $n / 2$ . Недоліком кодів з повторенням є вельми висока надмірність. Навіть при дворазовому повторенні коефіцієнт надмірності дорівнює 0,5.

**1.3.5 Коди з можливістю виправлення помилок.** При проектуванні сучасних телекомунікаційних систем постає питання забезпечення надвисокої достовірності інформації, особливо при обміні комп'ютерними даними чи у спеціалізованих військових системах передачі. Як правило, це питання вирішується за допомогою використання завадостійких кодів та інших методів підвищення достовірності. Вибір застосування того чи іншого коду залежить від вимог, які пред'являються до системи. У свою чергу, ці вимоги формуються на основі ймовірності кількості помилок на один знак, яку повинна забезпечити система на своєму виході, швидкості передачі, технічної складності, надійності та вартості. Відомо, що найбільшу ймовірнісну ефективність забезпечує код у режимі виявлення помилок. Саме тому у системах із зворотним зв'язком такий режим найбільш доцільний, зокрема, варіанти використання кодів з виявленням помилок реалізовані в модемах V.34, V.90 (V.92) тощо. Щодо питання, який саме

						ЕЛІТ 8.171.00.10.450 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			

код вибрати в режимах виявлення помилок, то із усіх можливих варіантів сучасна практика надає перевагу циклічним кодам Боуза-Чоудхурі-Хоквінгема (БЧХ), які характеризуються простотою реалізації й високими коректувальними можливостями. При визначенні кратності помилок, які повинен виявляти код, слід орієнтуватися на найбільш ймовірні помилки або на задане значення ймовірності невиявлених помилок – на основі цих даних і визначаються кратності помилок, які підлягають виявленню. Відповідні данні можуть бути отримані на основі розрахунків з використанням певної математичної моделі каналу зв'язку, уточнені моделюванням тракту обробки і передачі сигналу та, за можливості, перевірені експериментально. Найпростіша система з виявленням помилок – це система з використанням кодів з перевіркою на парність. Додаючи один розряд з перевіркою на парність, система забезпечує виявлення 50% усіх помилок (непарної кратності) у кодовій комбінації. Такі коди найчастіше використовуються для внутрішньої діагностики апаратури (комп'ютерів), коли в результаті обробки сигналів пристроями апаратури можуть виникнути помилки. Якщо за результатами роботи якихось процесів переважають парні помилки, то слід використовувати коди з перевіркою на непарність. Ці коди також можуть використовуватись для кодування сигналів, що передаються каналами зв'язку, або для утворення більш складних кодів, зокрема матричних (ітеративних), які мають вищі коректувальні властивості. Коди з виправленням помилок застосовуються у системах, де зворотний зв'язок не передбачений, зокрема у системах далекого космічного зв'язку (міжпланетні станції) тощо. На практиці кратність виправлених помилок, як правило, не перевищує 3, що пов'язано з ускладненням декодуванням при довгих кодових комбінаціях  $n$ . Для виправлення однократних помилок найкращим вважається код Хеммінга при всіх довжинах кодових комбінацій  $n$ . Цей код відноситься до класу досконалих кодів, і ніякий інший код не може бути простішим у режимі виправлення однократної помилки. Для виправлення двократних помилок при довжині кодових комбінацій  $n \leq 24$  може бути використаний другий досконалий код, із двох відомих, – це код Голея, відомий у двох варіантах – (23, 11), (24, 12). Для інших значень  $n$  та інших кратностей помилок доцільно використовувати коди БЧХ, для яких детально розроблені таблиці, що дозволяють вибирати породжуючі поліноми  $g(x)$ , будувати коди, пристрої кодування і декодування. Для виправлення пакетів помилок застосовують коди Ріда-Соломона (РС-коди) та згорткові коди. Ці коди також використовуються для побудови каскадних кодів, застосування яких

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					



доцільно в каналах (лініях) зв'язку з високим рівнем завад, що досить актуально для ліній зв'язку військового призначення, які можуть піддаватися впливу засобів РЕБ противника. Як правило, каскадні коди складаються із двох ступенів кодування – спочатку одним кодом (зовнішнім), потім закодована послідовність розділяється на коротші послідовності, які кодуються другим кодом (внутрішнім). Внутрішній код виправляє помилки малої кратності ( $t = 1, 2, 3$ ) і виявляє частину помилок вищої кратності, а зовнішній код виправляє пакети помилок, що виявив внутрішній код, а також пакети, які він виявив за рахунок своїх можливостей. На практиці в якості зовнішнього коду використовують, як правило, код РідаСоломона, а в якості внутрішніх – БЧХ, згортковий, код Хеммінга. РС-коди і згорткові коди мають високоефективні, проте складні алгоритми декодування, зокрема при декодуванні згорткових кодів використовується алгоритм Вітербі, який є оптимальним, але складним у реалізації і потребує швидкісного процесора та порівняно великого об'єму пам'яті. Результатом симбіозу різних алгоритмів є турбокоди, які показують свою ефективність на лініях зв'язку з високим рівнем завад ( $p = 10^{-2} - 10^{-1}$ ) і дозволяють наблизити пропускну здатність за таких умов до границі Шеннона. Використання кодів з виявленням і виправленням помилок має місце при побудові каскадних кодів, а також при кодуванні цифрових сигналів у каналах середньої якості, де найбільш ймовірні помилки малої кратності ( $t = 1, 2$ ), а характер повідомлення має внутрішню надмірність, яка дозволяє зкоригувати помилки вищої кратності, наявність яких вкаже код. Така можливість була реалізована у системах пейджингового зв'язку. Код виправляв помилки малої кратності та виявляв помилки вищої кратності, що відображались у вигляді пропусків у словах та реченнях, а природна надмірність мови давала можливість абоненту відновлювати слова та речення.

В даний час відома велика кількість коригувальних кодів, що відрізняються як принципами побудови, так і основними характеристиками [ 11 ]. На рис. 1.9 наведена схема, яка пояснює класифікацію, проведену за способами побудови коригувальних кодів.

На рисунку 1.10 наведені основні характеристики кодів.

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

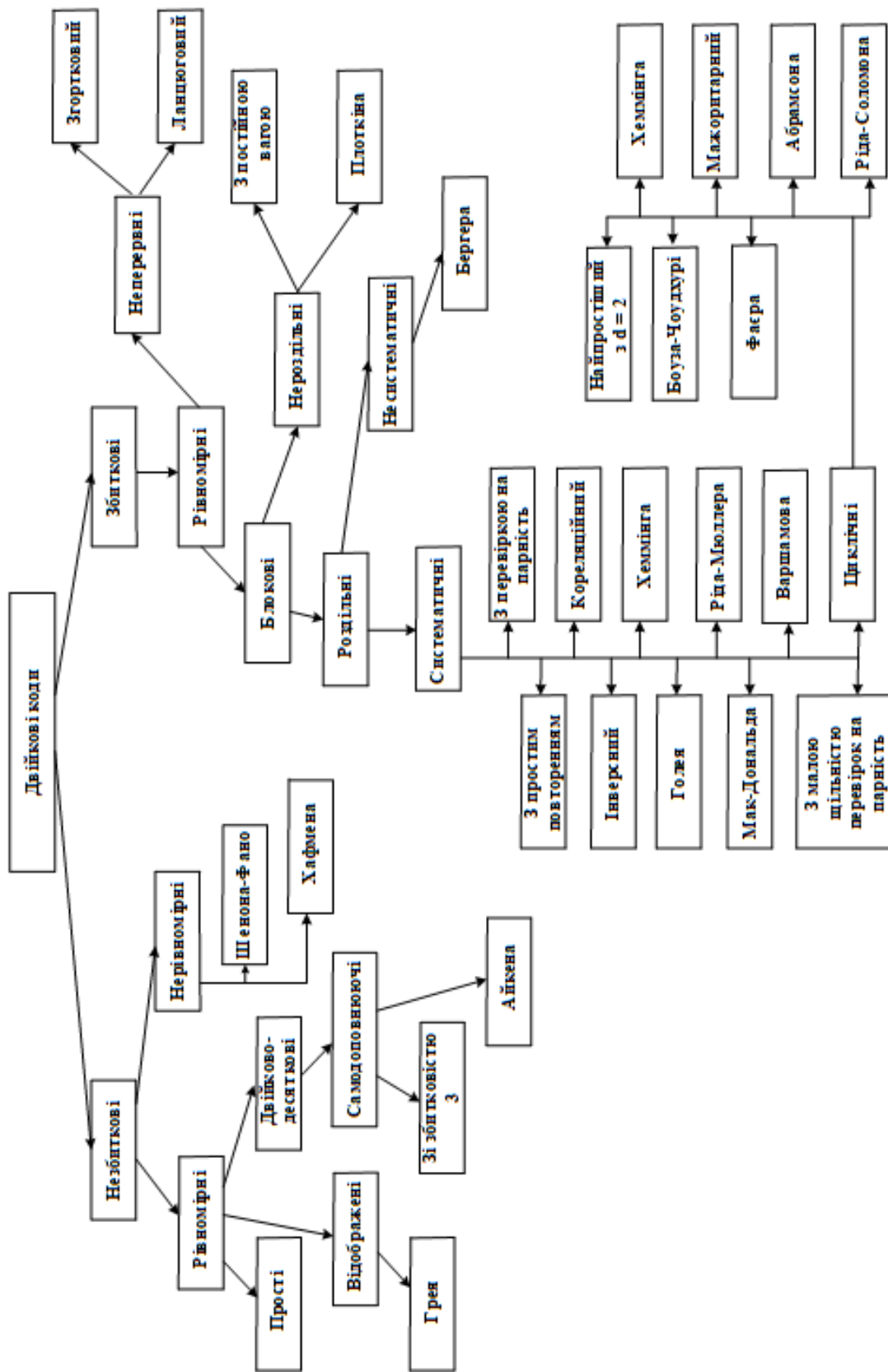


Рисунок 1.7 - Класифікація двійкових кодів

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

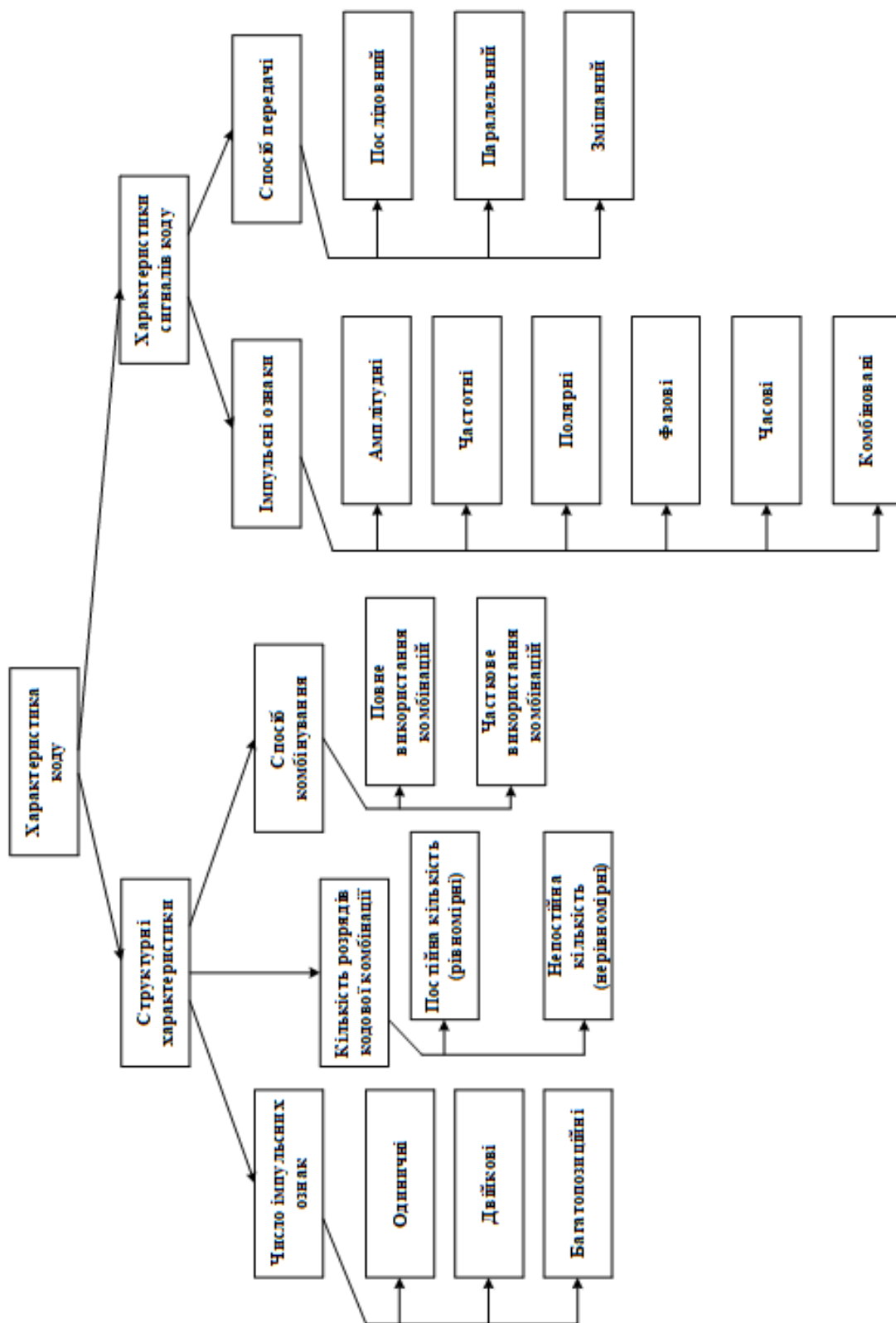


Рисунок 1.8 - Характеристики кодів

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

## 1.4 Постановка завдання

Випускна робота магістра «Адаптивна система передачі інформації на основі кодів Бергера» робить спробу застосування комплексного підходу до підвищення завадостійкості цифрових систем зв'язку.

**Таким чином мета роботи:** розробити адаптивну систему передачі даних, що працює на основі коду Бергера.

**Для вирішення цієї проблеми необхідно:**

- Проаналізувати завадостійкість коду Бергера;
- Визначити оптимальні параметри коду Бергера для забезпечення двох режимів роботи;
- Розробити алгоритм функціонування СПД, розробити схеми структурні кодуючого та декодуючого пристроїв СПД, функціональну та принципову схеми кодуючого пристрою;
- Визначити ціну кодуючого пристрою.

					ЕЛІТ 8.171.00.10.450 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## 2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

Для правильної передачі інформації використовують завадостійкі коди. Таким чином, основною характеристикою системи передачі даних є завадостійкість.

Завадостійкістю називається здатність системи здійснювати прийом інформації в умовах наявності перешкод в лінії зв'язку. Завадою називається стороннє збурення, що діє в системі і перешкоджає правильному прийому сигналів.

Для того щоб в прийнятому повідомленні можна було виявити помилку це повідомлення повинно володіти деякою надлишковою інформацією, що дозволить відрізнити помилковий код від правильного. Для того щоб спотворення будь-якого з символів повідомлення призвело до забороненої комбінації, необхідно в коді виділити комбінації, що відрізняються одна від одної в ряді символів, частину з цих комбінацій заборонити і тим самим ввести в код надлишковість.

Тому в системах, що повинні забезпечувати високу достовірність передавання даних, застосовують коди з значною надмірністю. До таких кодів належать лінійні розділові коди. Представником таких кодів є коди Бергера. Класичними кодами Бергера прийнято розуміти такі коди, які при передачі інформаційної частини пакета додатково формують і передають перевірочну частину, що формується як результат підрахунку кількості одиниць в інформаційній частині кодової комбінації. Інколи перевірочну частину формують як результат підрахунку кількості нульових розрядів. На сьогодні коди Бергера досить поширені, їх застосовують як такі, що організовані за традиційними алгоритмами, також застосовуються різні специфічні модифікації кодів Бергера.

Код Бергера [ 5 ] є найбільш поширеним з несистематичних кодів. У такому коді перевірочні елементи, які дописуються у кінці первинної кодової комбінації, - це інвертований запис двійкового числа, яким записується сума одиниць у кодовій комбінації  $k$ -елементного первинного коду, що кодується кодом Бергера. При цьому число перевірочних елементів визначається як  $r = \log_2(k+1)$ . При нецілому результаті значення  $r$  округляється до найближчого більшого цілого числа. Так, наприклад, при  $k = 8$ ,  $\log_2(8+1) = \log_2 9 = 3,16993$ , тобто  $r=4$ . Для виявлення помилки у декодері виконується операція підрахунку числа одиниць у інформаційній частині прийнятої кодової комбінації. Це число записується у

						ЕЛІТ 8.171.00.10.450 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			

двійковій формі, інвертується і порівнюється з перевіркою частиною прийнятої кодової комбінації. Їх незбіг вказує на наявність помилки. Код виявляє, головним чином, однократні помилки.

Розглянемо приклад побудови коду Бергера для довжини інформаційної частини, що дорівнює трьом, це розряди  $x_1, x_2, x_3$ . Таких комбінацій ми маємо вісім. В кожній комбінації підраховується кількість одиниць, результат, отриманий в двійковому коді, інвертується - так ми отримали першу перевірку частину – значення  $r_1$  та  $r_2$ . За таким правилом формуються кодові комбінації для першого режиму передачі інформації – при низькому рівні завад. Якщо ж рівень завад буде вищим необхідно застосувати ще один додатковий захист, доцільно застосувати контроль за парністю.

При декодуванні в прийнятій інформаційній частині кодової комбінації підраховується кількість одиниць і перевіряється це значення з отриманою перевіркою частиною кодової комбінації. При співпадінні значень вважається, що кодова комбінація прийнята вірно, в протилежному разі – виявлена помилка. Виправлення помилок в даній СПД здійснюється завдяки перепитуванню неправильно прийнятих кодових комбінацій.

Таблиця 2.1 – Формування коду Бергера для  $n=3$

№ п/п	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$\bar{r}_1$	$\bar{r}_2$	$r_1$	$r_2$	$f_{\oplus}$
0	0	0	0	0	0	1	1	0
1	0	0	1	0	1	1	0	0
2	0	1	0	0	1	1	0	0
3	0	1	1	1	0	0	1	1
4	1	0	0	0	1	1	0	0
5	1	0	1	1	0	0	1	1
6	1	1	0	1	0	0	1	1
7	1	1	1	1	1	0	0	1

де:  $x_1 \div x_3$  – інформаційні розряди кодової комбінації;

$r_1 \div r_2$  – перевірки розряди

$f_{\oplus}$  – додатковий контроль за парністю, отриманий за формулою:

$$f_{\oplus} = x_1 \oplus x_2 \oplus x_3 \oplus r_1 \oplus r_2.$$

Проаналізуємо надмірність кодів Бергера. Для підвищення завадостійкості кодів надмірність необхідна і її вводять штучно у вигляді додаткових  $r$  символів.

Якщо в коді всього  $n$  розрядів і  $k$  з них несуть інформаційне навантаження, то  $r = n - k$ .  
 $D_k = \frac{n-k}{k}$   
 $k$  характеризує абсолютну коригувальну надмірність, а величина

характеризує відносну коригувальну надмірність.

Розрахуємо і побудуємо графік залежності коригувальної здатності  $r$  від довжини кодової комбінації  $n$  для кодів Бергера.

Знаючи число інформаційних символів, можна визначити число перевірочних:

$$r = \lceil \log_2 k \rceil. \quad (2.1)$$

Таблиця 2.2 – Відносна надлишковість коду Бергера

$k$	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$r = \lceil \log_2 k \rceil$	2	2	3	3	3	3	4	4	4
$D_k = \frac{r}{k}$	1	0,(6)	0,75	0,6	0,5	0,429	0,5	0,444	0,4
$k$	11	12	13	14	15	16	17	18	19
$r = \lceil \log_2 k \rceil$	4	4	4	4	4	5	5	5	5
$D_k = \frac{r}{k}$	0,(36 3)	0,(3)	0,308	0,286	0,2(6)	0,3125	0,294	0,2(7)	0,263

Графік здатності коду до корегування представлений на рисунку 2.1.

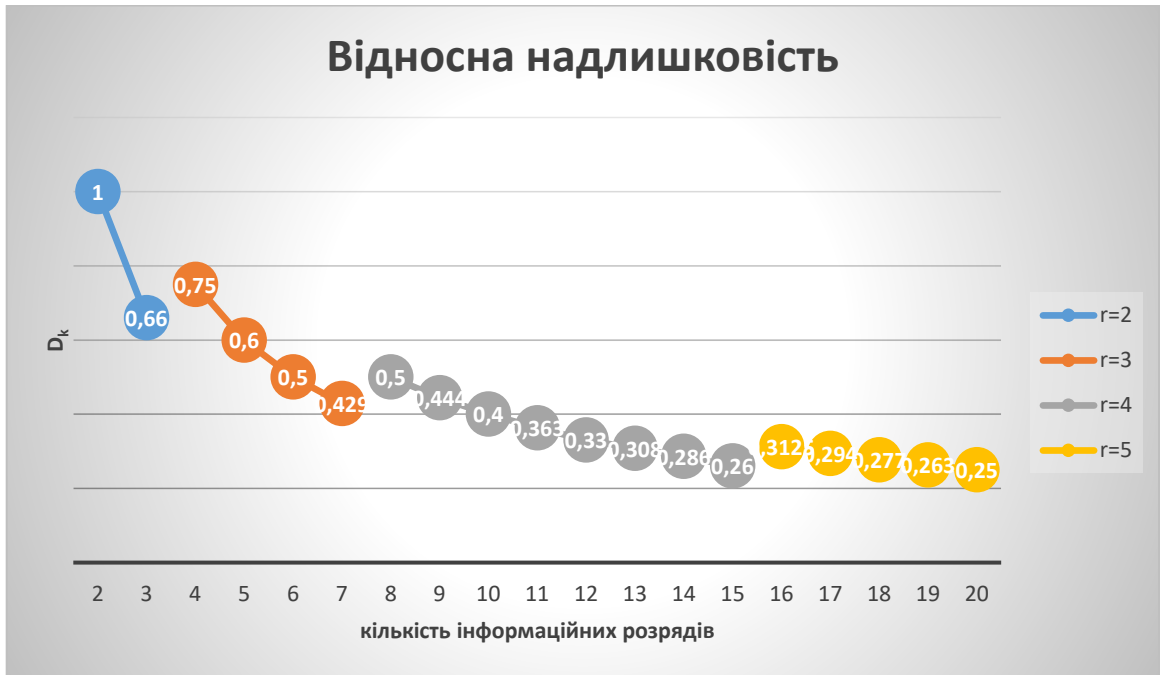


Рисунок 2.1 - Відносна коригувальна здатність кодів Бергера

Для більшої наочності результати обчислень представимо у вигляді діаграми:

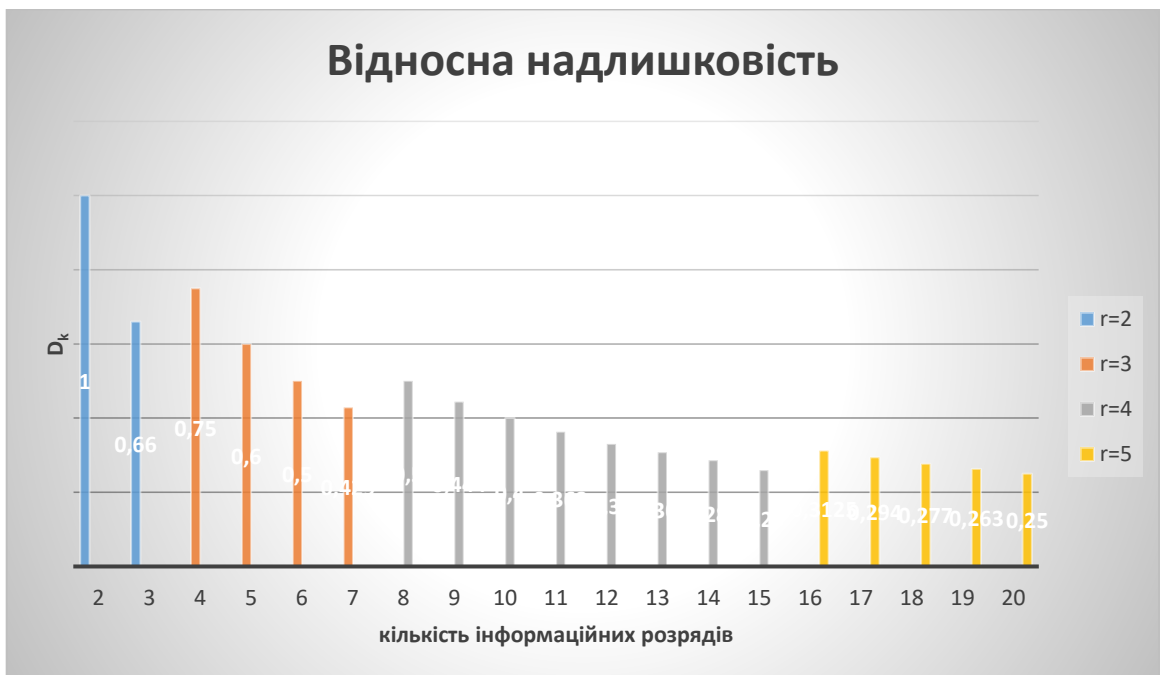


Рисунок 2.2 – Діаграма відносної коригувальної здатності кодів Бергера



Як видно з графіка залежності коригувальної здатності  $r$  від довжини кодової комбінації  $n$ , зі збільшенням довжини кодової комбінації відносна коригувальна здатність коду зменшується.

Інформаційна надмірність - зазвичай явище природне, закладена вона в первинному алфавіті. Коригувальна надмірність - явище штучне, закладена вона в кодах, представлених у вторинному алфавіті.

**Проведемо оцінку завадостійкості коду Бергера.** Визначимо частку помилок, яку будуть виявляти коди Бергера. Її можна вирахувати за формулою:

$$P = 1 - \frac{N_{\text{дозв}}}{N_{\text{можл}}} = \frac{N_{\text{можл}} - N_{\text{дозв}}}{N_{\text{можл}}}$$

Де:

$$N_{\text{дозв}} = 2^k$$

$$N_{\text{можл}} = 2^{k+r} = 2^{k+\lceil \log_2 k \rceil}$$

Відповідні значення наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Частка виявлених помилок кодом Бергера

№	Початкова розрядність коду $k$	Кількість контрольних розрядів $r = \lceil \log_2 k \rceil$	Довжина кодової комбінації коду Бергера $k + r = k + \lceil \log_2 k \rceil$	Кількість дозволених комбінацій $N_{\text{дозв}} = 2^k$	Кількість можливих комбінацій $N_{\text{можл}} = 2^{k+r} = 2^{k+\lceil \log_2 k \rceil}$	Доля виправлених помилок $P$
1	2	2	4	4	16	0,75
2	3	2	5	8	32	0,75
3	4	3	7	16	128	0,875
4	5	3	8	32	256	0,875
5	6	3	9	64	512	0,875
6	7	3	10	128	1024	0,875
7	8	4	12	256	4096	0,9375
8	9	4	13	512	8192	0,9375
9	10	4	14	1024	16384	0,9375

10	11	4	15	2048	32768	0,9375
11	12	4	16	4096	65536	0,9375
12	13	4	17	8192	131072	0,9375
13	14	4	18	16384	262144	0,9375
14	15	4	19	32768	524288	0,9375
15	16	5	21	65536	2097152	0,96875
16	17	5	22	131072	4194304	0,96875
17	18	5	23	262144	8288608	0,96875
18	19	5	24	524288	16777216	0,96875
19	20	5	25	1048576	33554432	0,96875

За таблицею побудуємо графік.



Рисунок 2.3 – Частка помилок, виявлених кодом Бергера

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Таблиця 2.4 – Частка виявлених помилок кодом Бергера з додатковим контролем за парністю

№	Початкова розрядність коду $k$	Кількість контрольних розрядів $r = \lceil \log_2 k \rceil$	Довжина кодової комбінації з додатковим контролем за парністю $k + r + 1 = k + \lceil \log_2 k \rceil + 1$	Кількість дозволених комбінацій $N_{\text{дозв}} = 2^k$	Кількість можливих комбінацій $N_{\text{можл}} = 2^{k+r+1} = 2^{k+\lceil \log_2 k \rceil + 1}$	Доля виправлених помилок $P$
1	2	2	5	4	32	0,875
2	3	2	6	8	64	0,875
3	4	3	8	16	256	0,9375
4	5	3	9	32	512	0,9375
5	6	3	10	64	1024	0,9375
6	7	3	11	128	2048	0,9375
7	8	4	13	256	8192	0,96875
8	9	4	14	512	16384	0,96875
9	10	4	15	1024	32768	0,96875
10	11	4	16	2048	65536	0,96875
11	12	4	17	4096	131072	0,96875
12	13	4	18	8192	262144	0,96875
13	14	4	19	16384	524288	0,96875
14	15	4	20	32768	1048576	0,96875
15	16	5	22	65536	4194304	0,984375
16	17	5	23	131072	8288608	0,984375
17	18	5	24	262144	16777216	0,984375
18	19	5	25	524288	33554432	0,984375
19	20	5	26	1048576	67108864	0,984375

За таблицею побудуємо графік.

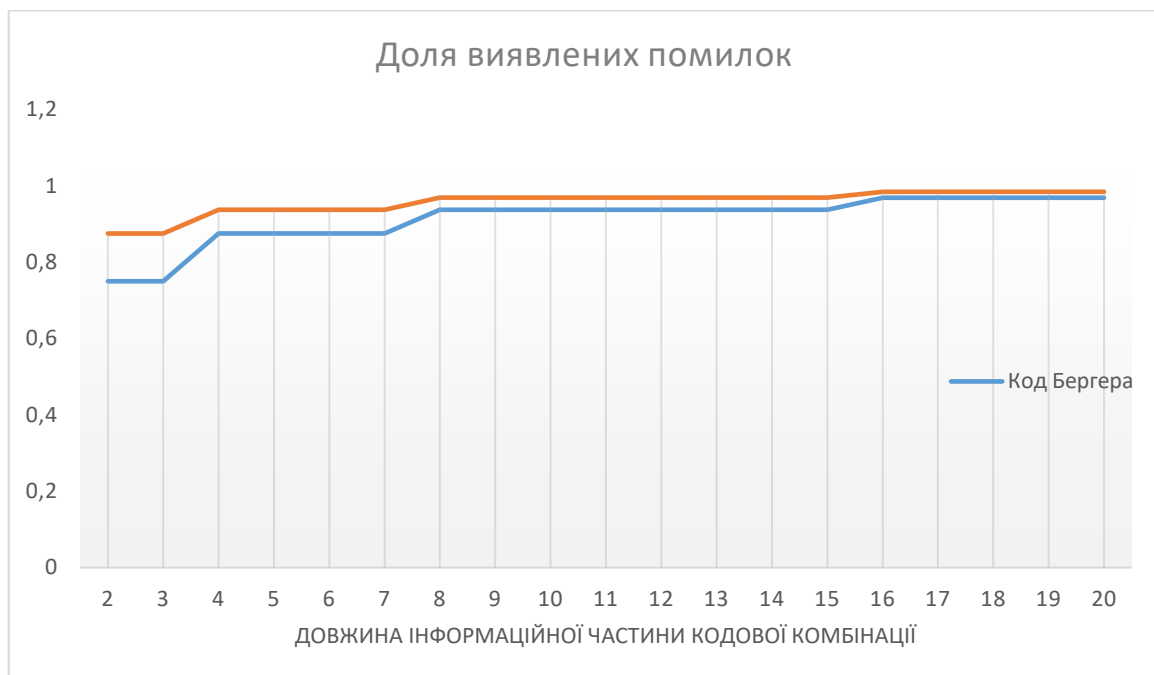


Рисунок 2.4 – Частка виявлених помилок кодом Бергера з додатковим контролем за парністю

Аналіз графіків дозволяє зробити наступний висновок – код Бергера є надзвичайно ефективним при виявленні помилок. Навіть при невеликій розрядності в початковій кодовій комбінації виявляється 75% помилок, при збільшенні розрядності спостерігається збільшення відсотка до 96%. Застосування додаткового захисту – формування розряду перевірки за парність призводить до покращення значення, відсоток виявлених помилок досягає 98%

## 3 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОННОГО ПРИСТРОЮ НА БАЗІ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 3.1 Обґрунтування алгоритму функціонування та структурної схеми пристрою, що проектується

Побудова системи кодування інформації включає в себе розробку структурної схеми і алгоритму роботи системи. При їх розробці в першу чергу необхідно враховувати такі важливі параметри роботи системи в цілому, як швидкодія, надійність, економічність, тому важливим є використання найбільш прийняттого варіанту побудови схеми.

Система кодування на основі кодів Бергера може бути використана в якості пристроїв кодування-декодування в адаптивних системах передачі інформації.

Розробку структурної схеми необхідно почати з розробки алгоритму функціонування системи. Алгоритм функціонування повинен за допомогою символів або словесного опису відображати процес прийому, обробки і формування вхідних, керуючих, інформаційних і вихідних сигналів. Схема алгоритму функціонування кодуючого пристрою системи передачі інформації з застосуванням кодів Бергера наведена на рисунку 3.1. Схема алгоритму функціонування декодуючого пристрою наведена на рисунку 3.3., а структурна схема – відповідно на рисунку 3.4.

Перед початком роботи всі блоки системи встановлюються в початковий стан. В реєстр зберігання записується кодова комбінація з джерела сигналів. Наступним кроком є формування перевіркової частини кодової комбінації за алгоритмом Бергера. При першому варіанті адаптації зразу виконується передача сформованої комбінації в канал зв'язку. Далі пристрій кодування переходить в режим очікування сигналу з зворотного каналу. Якщо комбінація була прийнята правильно зворотним каналом приходить сигнал запиту на передачу наступної кодової комбінації. Одночасно приходить сигнал вибору варіанту адаптації – необхідно збільшити чи зменшити надлишковість. Якщо при передачі виникла помилка з зворотного каналу приходить сигнал-вимога повторення попередньо прийнятої комбінації. Одночасно приходить сигнал вибору варіанту адаптації.

На основі розробленого алгоритму функціонування кодуючого пристрою була розроблена структурна схема пристрою кодування, наведена на рисунку 3.2.

					ЕЛІТ 8.171.00.10.450 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Перед початком роботи всі блоки системи встановлюються в початковий стан. На початку роботи пристрою вибирається режим кодування з мінімальною надлишковістю. В цьому режимі здійснюється передача в канал кодової комбінації, сформованої за алгоритмом Бергера, що складається з інформаційної та перевіркової частини. При цьому тригер вибору режиму кодування встановлено в одиничний стан, що дозволяє запис інформації в буферний регістр: в паралельному коді кодові комбінації записуються в регістри зберігання. З виходів регістру кодова комбінація надходить в пристрій формування перевірочних розрядів. Якщо канал зв'язку вільний, то здійснюється передача сформованої кодової послідовності. При цьому виконується паралельно-послідовне перетворення інформації, і передача повідомлення в канал зв'язку в послідовному коді.

На боці приймача тригер вибору режиму роботи також встановлено в одиничний стан, що дозволяє запис інформації, що надійшла на приймач, в перший регістр. Прийом здійснюється в послідовному коді. З виходу регістра кодова комбінація надходить на перший блок перевірки, де здійснюється перевірка і формується сигнал помилки, якщо виникла помилка. Правильно прийнята, (якщо помилка не відбулася) кодова комбінація записується в блок зберігання виправлених кодових комбінацій, а потім через селектор передається споживачеві інформації. Якщо кодова комбінація була прийнята з помилкою, то з виходу блоку перевірки кодових комбінацій і виправлення помилок на лічильник помилок надходить сигнал «помилка є». У блоці контролю каналу зв'язку аналізується стан лічильника помилок та приймається рішення про зміну режиму роботи системи. Пристрій для формування коду режиму роботи формує керуючий сигнал для зміни режиму роботи. Якщо рівень перешкод незначний, і помилок відбувається не більше ніж задано, то передача триває в тому ж режимі. Якщо ж рівень перешкод підвищився, і, як наслідок, збільшилася кількість помилок, то блоком контролю каналу зв'язку приймається рішення про збільшення надмірності та відбувається перехід на другий режим кодування. Формувач коду режиму передачі формує сигнал другого режиму роботи.

Цей сигнал передається зворотним каналом зв'язку в передавач і надходить на тригер вибору режиму кодування, скидаючи його в нульовий стан. Цим сигналом активується додатковий захист інформації – застосування ще однієї операції – додавання значень всіх розрядів за модулем два.

					ЕЛІТ 8.171.00.10.450 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

На приймальній стороні тригер вибору режиму роботи сигналом з виходу формувача коду режиму передачі також встановлений в нульовий стан. При цьому запис інформації відбувається другим каналом дешифрації. Одиничний сигнал з інверсного виходу тригера дозволяє запис довшої кодової комбінації в регістр 2. Прийом та запис здійснюється в послідовному коді. З виходу регістра прийнята кодова комбінація надходить одночасно на два блоки перевірки, де здійснюється перевірка за алгоритмом Бергера та виконується додавання отриманих розрядів за модулем два. Кодова комбінація вважається прийнятою правильно, якщо обидві перевірки формують сигнали правильного прийому. Правильно прийнята, (якщо помилка не відбулася) кодова комбінація записується до другого блоку зберігання виправлених кодових комбінацій, а потім через селектор передається споживачеві інформації. Якщо кодова комбінація була прийнята з помилкою, то з виходу блоку перевірки кодових комбінацій і виправлення помилок на лічильник помилок надходить сигнал «помилка є». У блоці контролю каналу зв'язку аналізується стан лічильника помилок і приймається рішення про режим роботи системи. Якщо рівень перешкод як і раніше високий, і помилок відбувається багато, то кодування інформації триває з застосуванням двох режимів захисту. Формувач коду режиму роботи підтверджує обраний режим передачі. Якщо ж помилок відбувається мало, тобто рівень перешкод знизився, то необхідно переходити на кодування інформації з меншою надмірністю. Тепер блоком контролю каналу зв'язку приймається рішення про зменшення надмірності і переході на перший режим кодування. Пристрій для формування коду режиму передачі формує сигнал першого режиму роботи. Цей сигнал передається зворотним каналом зв'язку в передавач, і надходить на тригер вибору режиму кодування, переводячи його знову в одиничний стан. На приймальній стороні аналогічний тригер тим же сигналом також встановлюється в одиничний стан. Схема знову готова для роботи в першому режимі.

					ЕЛІТ 8.171.00.10.450 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

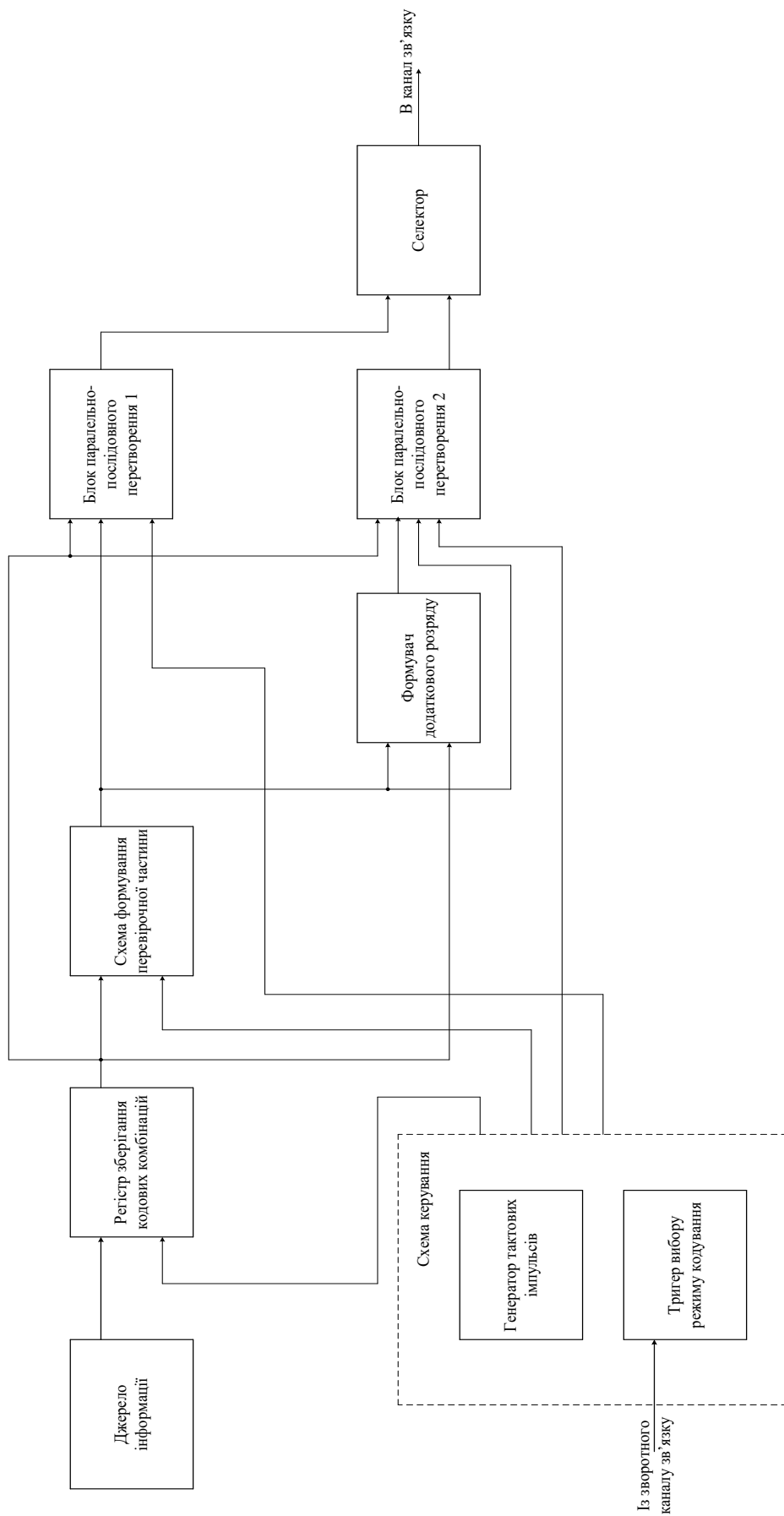


Рисунок 3.2 – Структурна схема кодуючого пристрою адаптивної СПД



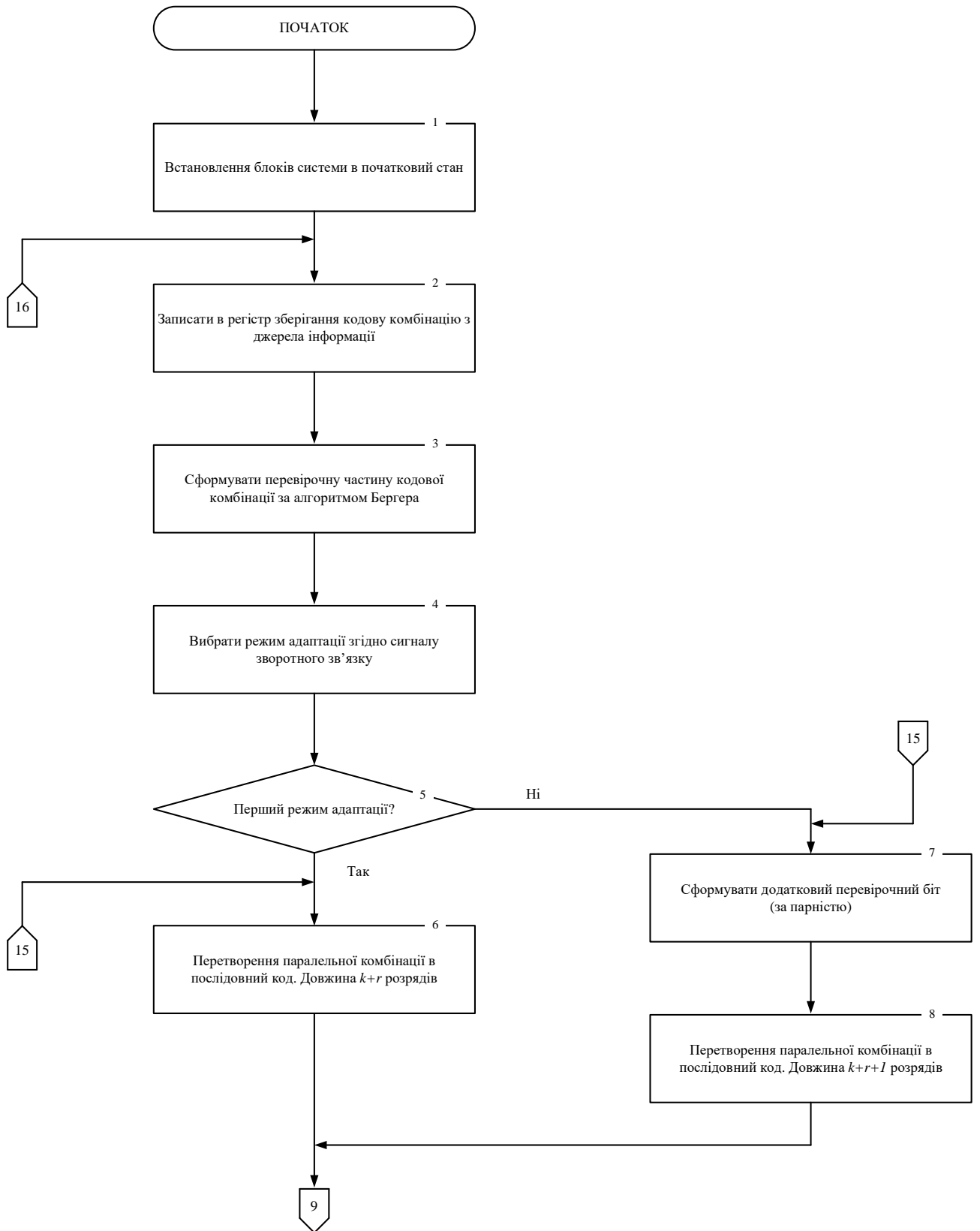
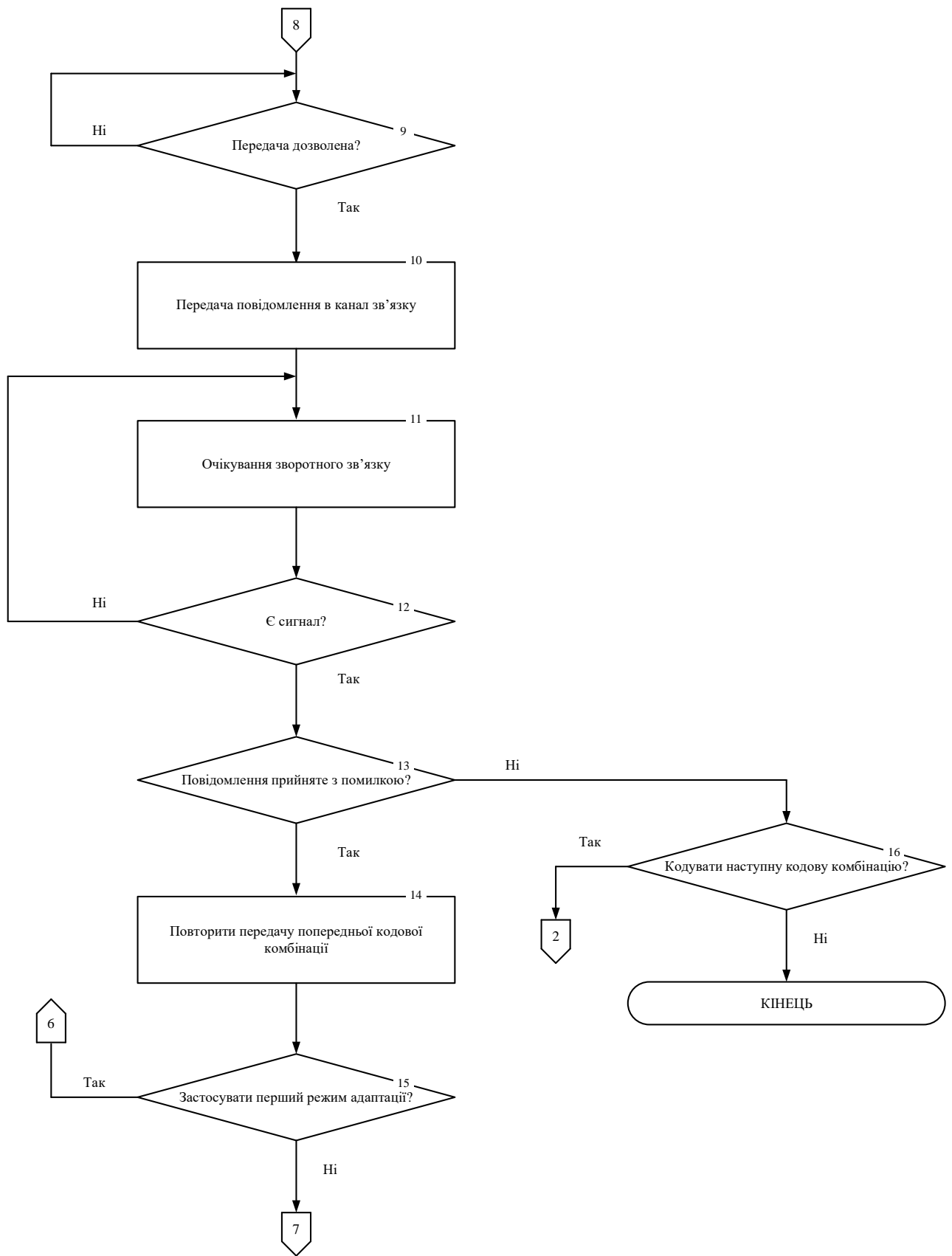


Рисунок 3.1 – Схема алгоритму функціонування кодуючого пристрою адаптивної СПД



Продовження рисунку 3.1 – Схема алгоритму функціонування кодуючого пристрою адаптивної СПД

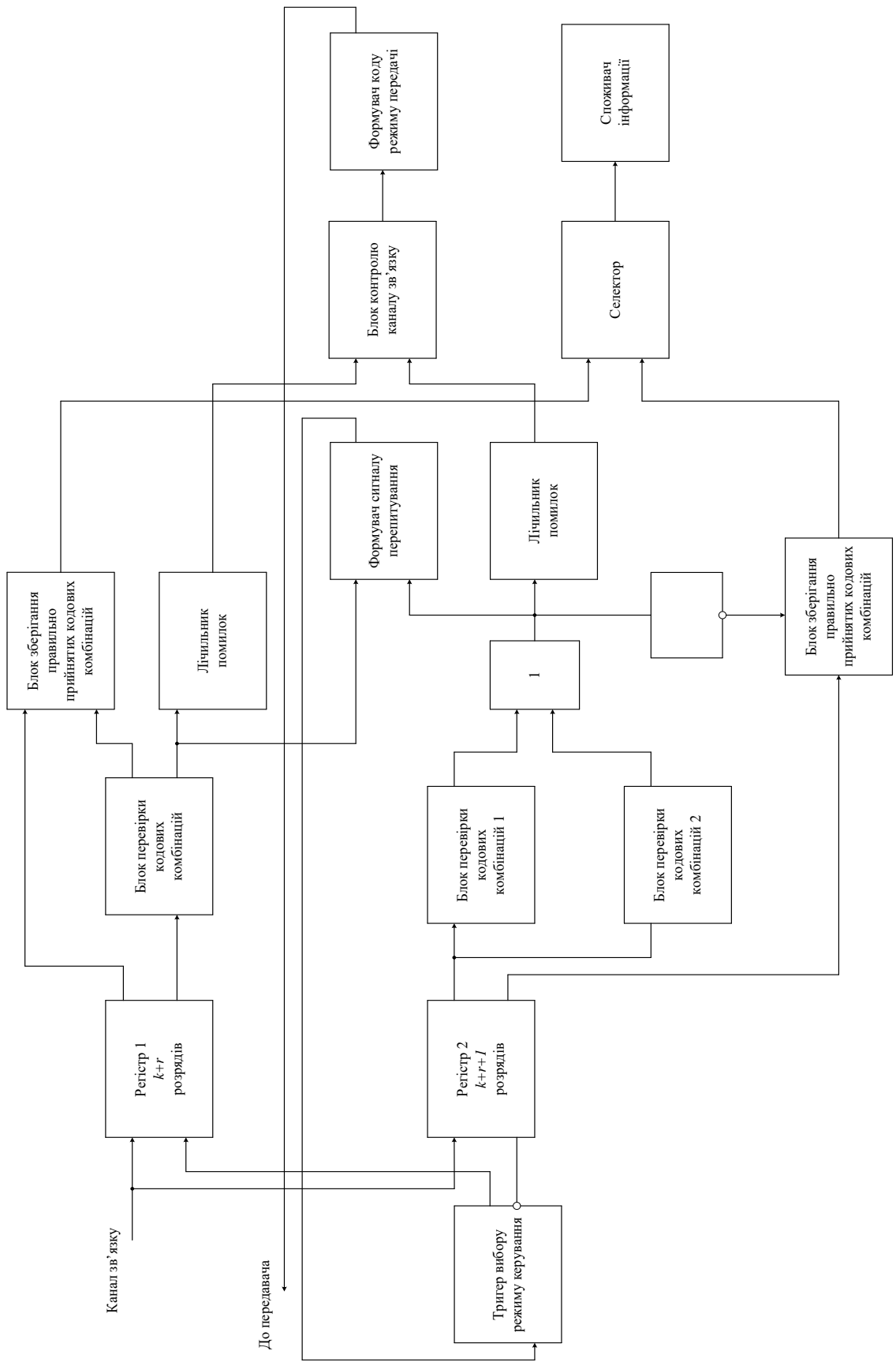


Рисунок 3.4 – Структурна схема декодуєчого пристрою адаптивної СПД

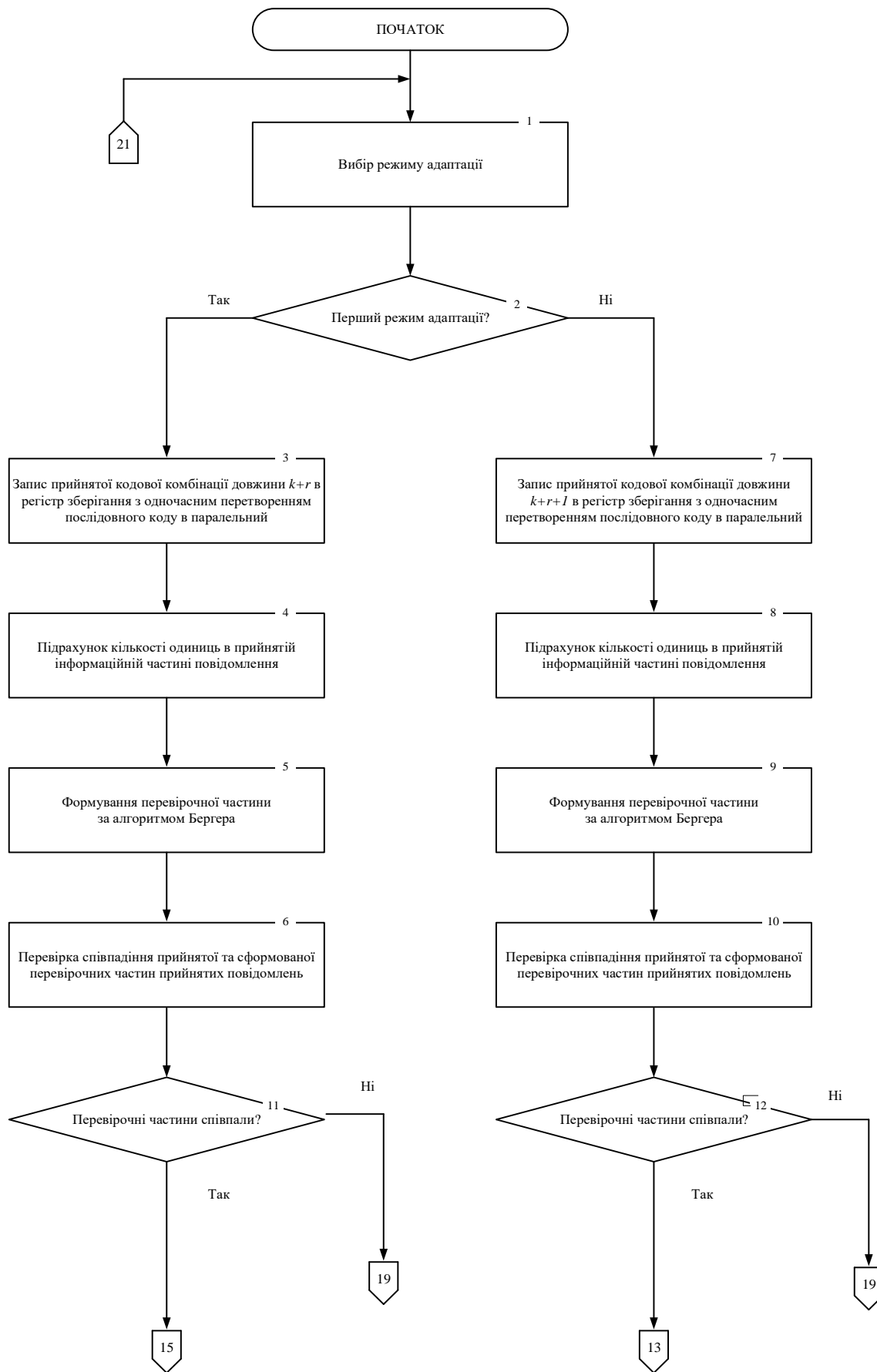
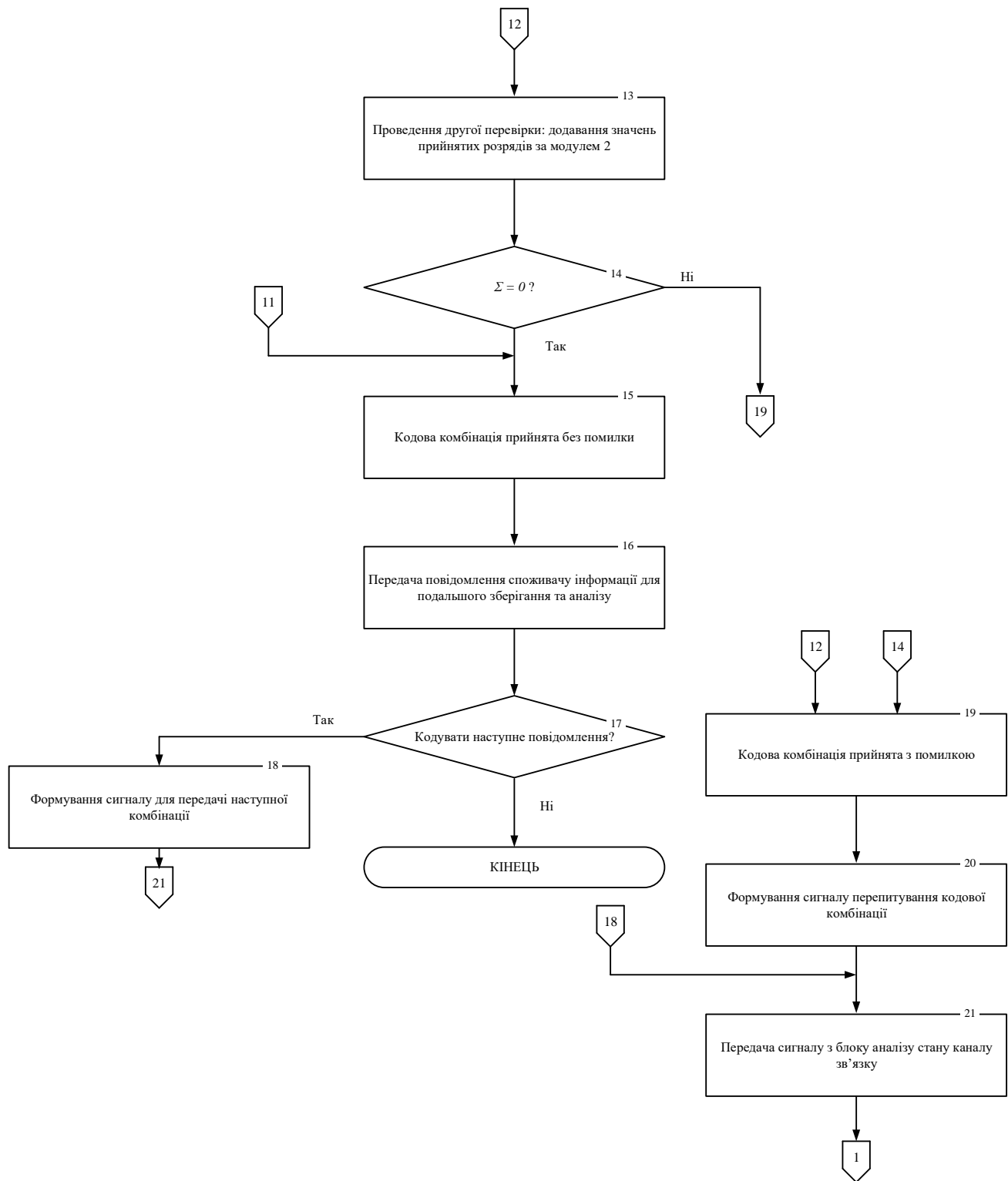


Рисунок 3.3 – Схема алгоритму функціонування декодуючого пристрою адаптивної СПД

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата



Продовження рисунку 3.3 – Схема алгоритму функціонування декодуючого пристрою адаптивної СПД

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

### 3.2 Розробка схеми електричної функціональної пристрою, що проектується

Деталізація структурної схеми призводить до побудови функціональної схеми, за якою можна більш докладно розглянути роботу пристрою.

Функціональна схеми кодууючого пристрою наведена на рисунку 3.5.

У початковому стані всі елементи встановлені в початковий стан, тригери і регістри знаходяться в «нулі».

За командою «пуск» керуючий тригер (тригер 1), а також тригер 2 (відповідає за вибір режиму адаптації) переводяться в одиничний стан. Одиничний стан керуючого тригера відповідає передачі даних з мінімальною надмірністю, тобто формуванню кодових комбінацій, що складаються лише з інформаційної частини і перевіркою, що організована за алгоритмом Бергера. В результаті аналізу кодів Бергера для реалізації в системі були вибрані восьмирозрядні кодові комбінації, відповідно їх можна організувати  $256=2^8$ . Це дозволяє кодувати два-чотири алфавіти букв, забезпечуючи окремо кодування великих та маленьких букв, цифри десяткового алфавіту, а також будь-які спеціальні символи.

Одиничний сигнал з прямого виходу керуючого тригера 1 дозволяє проходженню тактових імпульсів через схему співпадання 1 на кільцевий регістр, який є частиною блоку керування. Кільцевій лічильник побудований на одинадцяти D-тригерах, замкнених в кільце. Імпульси від генератора надходять на тактовий вхід кільцевого лічильника. З прямого виходу першого тригера сигнал подається на D-вхід другого тригера, з прямого виходу другого - на D-вхід третього і т.і. З прямого виходу одинадцятого тригера сигнал надходить на D-вхід першого тригера. Таким чином тригери замикаються в кільце. При включенні пристрою в перший тригер кільцевого лічильника записується одиниця, тактовий сигнал, що надходить на C-вхід, переписує цю одиницю з одного тригера в інший. Кільцевій лічильник синхронізує процес запису інформації і формування перевіркою частини кодової посилки.

Одиниця з першого виходу керуючого регістра-лічильника дозволяє запис в буферний регістр інформації з джерела сигналів. Одиничний імпульс з наступного тригера дозволяє переписати цю інформацію в паралельно-послідовний регістр, який є частиною блоку формування перевірок розрядів. Наступні вісім імпульсів з регістру-лічильника керують зсувом записаної в

					ЕЛІТ 8.171.00.10.450 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

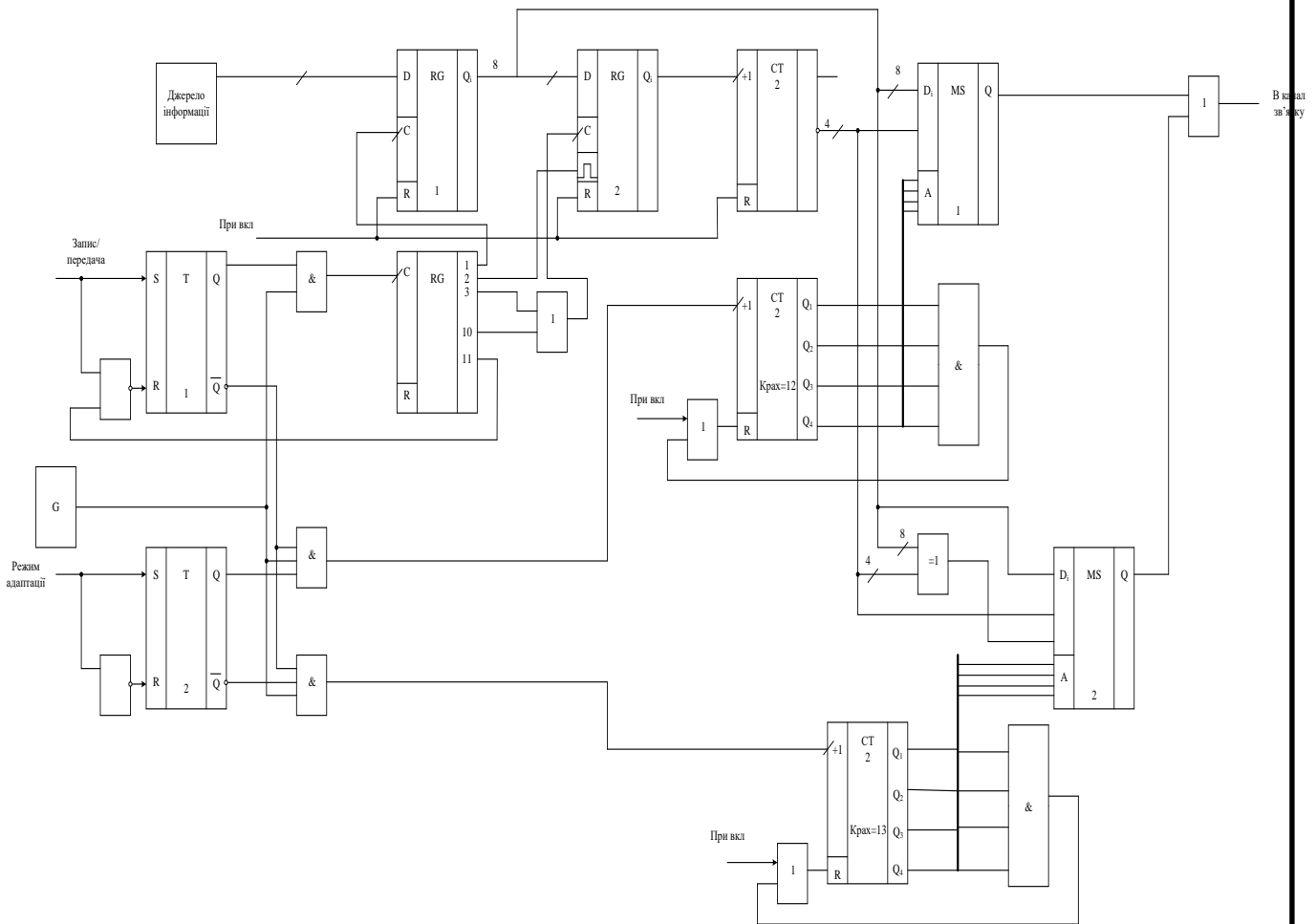


Рисунок 3.5 – Функціональна схема кодуючого пристрою адаптивної СПД

паралельному коді інформації. В послідовному коді ця інформація подається на лічильник, який підраховує кількість одиничних значень в інформаційній частині кодової комбінації. Таким чином маємо сформовану повну кодову комбінацію для передавання інформації споживачу для першого варіанта адаптації. Тепер вмикається тригер, що відповідає за передачу інформації в канал зв'язку. Одиничний сигнал дозволу подається на ключ, який передає імпульси на лічильник, керуючий роботою першого мультиплексора. На входах мультиплексора знаходяться дванадцять біт інформації з прямих виходів паралельного регістру, де зберігається інформаційна частина кодового слова (вісім біт інформації) та інверсних виходів лічильника, який підраховував кількість одиниць в інформаційній частині  $i$ , таким чином, сформував перевірочну частину. Лічильник, керуючий роботою мультиплексора, перебирає дванадцять кодових комбінацій, що подаються на адресні входи мультиплексора. На вході дозволу

мультиплектора також знаходиться дозволяючий сигнал. Таким чином здійснюється перетворення паралельної дванадцятирозрядної комбінації в послідовний код і одночасна побітна передача інформації в канал зв'язку. Лічильник, керуючий роботою мультиплектора, формує дванадцять адресів, є лічильником з заданим коефіцієнтом перерахунку і побудований за схемою дешифрації станів.

Лічильник послідовно перебирає кодові комбінації - від нульової до 11 - всього 12. Ці двійкові кодові комбінації надходять на адресні входи мультиплектора. Двійкова кодова комбінація, що подається на адресні входи мультиплектора, визначає номер інформаційного входу, який підключається до виходу мультиплектора. Інформація з відповідного інформаційного входу передається таким чином на єдиний вихід мультиплектора. На адресних входах кодові комбінації перебираються послідовно, і, також послідовно підключаються входи до виходу. Таким чином в канал зв'язку послідовно передаються дванадцять біт кодової послідовності. Передача в канал зв'язку здійснена. При появі кодової комбінації, що відповідає двійкового коду 12 відбувається скидання схеми лічильника з коефіцієнтом перерахунку 12 в початковий стан. Одночасно цей сигнал надходить на вхід установки тригера 2 в одиничний стан, переводячи його в режим управління записом наступного слова. Схема знову готова для формування і передачі 12- бітної кодової комбінації. Процес формування і передачі пакета з мінімальною надлишковістю повторюється до тих пір, поки по зворотному каналу зв'язку не буде отримано сигнал про зміну режиму роботи.

Таким чином сформована і передана кодова комбінація. Якщо кодова комбінація прийнята правильно, то сигналом зворотного зв'язку передається сигнал запиту на передачу наступної кодової комбінації. Якщо ж була виявлена помилка, що виникла в процесі передачі, то каналом зворотного зв'язку надійте сигнал повторення попередньої кодової комбінації. При цьому каналом зворотного зв'язку від приймача на передавач приходять і сигнал режиму адаптації. Якщо підрахованих блоком контролю якості каналу зв'язку помилок буде небагато, то знову працює перша лінія передачі інформації і з виходів паралельного регістра та лічильника видається та передається в канал зв'язку та сама комбінація. Якщо ж помилок виявилось вже забагато, блок контролю каналу зв'язку формує сигнал про зміну режиму адаптації, тобто про збільшення довжини кодової комбінації. При цьому буде формуватися додатковий сигнал захисту за правилом перевірки на парність. Тепер кодова комбінація буде мати

						Лист
					ЕЛІТ 8.171.00.10.450 ПЗ	
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



довжину тринадцять розрядів, і для її передачі в канал зв'язку буде застосовуватись другий канал передачі. Він організований так само як і перший, але керувати ним буде лічильник з коефіцієнтом перерахунку на тринадцять. На входи даних мультиплексора подаються сигнали з виходу регістра зберігання інформаційної частини, з інверсних виходів лічильника, де отримана перша перевірна частина кодового слова і з виходу схеми, побудованою за правилом додавання за модулем два.

Процес формування і передачі пакета даних з максимальною надлишковістю повторюється до тих пір, поки знову по зворотному каналу даних не прийде сигнал про зміну режиму роботи.

Якщо в результаті передачі кодових послідовностей рівень завад буде незначним, і помилок буде виявлятися небагато, то блок аналізу якості каналу зв'язку знову сформує сигнал про зміну параметрів передачі, тепер необхідно буде змінити режим на передавання кодових комбінацій з мінімальною надлишковістю. Знову буде працювати перша лінія для передачі кодових послідовностей.

На наступному етапі проводиться деталізація функціональної схеми, обґрунтування вибору елементів і розрахунок основних вузлів принципової схеми.

### **3.3 Розробка і розрахунок принципових електричних вузлів і блоків пристрою**

У випускній роботі виконаємо розробку принципової схеми передавального пристрою, який працює в двох режимах - передача інформації з мінімальною і максимальною надмірністю. При побудові адаптивної системи передачі виділимо такі основні блоки: формувачі кодів з вибраною розрядністю, перетворювач паралельного коду в послідовний, паралельні регістри для короткочасного збереження інформації, керуючі лічильники в схемі керування, схема керування кодуємим пристроєм, схеми формування перевірочних розрядів.

Практична реалізація кодера кодів Бергера повинна припускати оптимальний вибір реальних мікросхем.

**3.3.1 Вибір елементної бази.** Найголовнішим завданням при виборі елементної бази є обґрунтування вибору конкретної серії (або серій) інтегральних мікросхем, а також електрорадіоелементів, необхідних для

					ЕЛІТ 8.171.00.10.450 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

найефективнішої реалізації системи, що проектується.

Найголовнішими критеріями вибору серії (серій) ІМС є:

- наявність необхідних функціональних вузлів у вибраній серії ІМС;
- максимально мала потужність споживання;
- максимальна швидкодія вибраних елементів, виконання вимог по робочій частоті і умовам експлуатації;
- невисока вартість;
- можливість управляти необхідними елементами, наприклад, індикаторами без додаткових підсилень і перетворень вихідних сигналів і т.п.

Вибір елементної бази необхідно проводити в наступній послідовності:

- за функціональною схемою системи, що розробляється, формується список необхідних функціональних вузлів (в склад схеми можуть входити: лічильники, регістри, шифратори, перетворювачі коду тощо), аналізуються та їх параметри;
  - по довідниках цифрових мікросхем аналізуються серії ІМС, що містять всі або більшу частину необхідних функціональних вузлів. При відсутності деяких функціональних вузлів визначається можливість їх синтезу за допомогою інших елементів, що входять до складу серії;
  - на основі докладного аналізу визначається одна або декілька серій, що буде використана для побудови системи або пристрою.

При виборі дискретних елементів (індикаторів, електромагнітних реле і т.д.), які входять до складу системи, що проектується, необхідно використовувати такі елементи, які будуть керуватися сигналами з мікросхем або спеціальними мікросхемами сполучення, що входять до складу серій. В іншому випадку необхідно буде провести розрахунок схем сполучення на дискретних елементах.

Вибрані елементи радіо-електронної апаратури доцільно ілюструвати таблицями, графіками, тощо, наприклад:

- таблиця відповідності складу серій необхідним функціональним вузлам;
- можливість реалізації функціональних елементів на дискретних логічних елементах серії;
- таблиця характеристик обраних серій ІМС;
- таблиця характеристик необхідних дискретних елементів.

На підставі аналізу даних таблиць проводиться вибір елементної бази.

Під час розроблення цифрових пристроїв електронної техніки важливим завданням є вибір серій ЦС, які найповніше відповідають технічним вимогам, що

					ЕЛІТ 8.171.00.10.450 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ставляться до їх швидкодії, завадостійкості, навантажувальної здатності, енергоспоживання. Один із способів вибору серій полягає в порівнянні їх за характеристиками базових логічних елементів, які є основою схемотехніки серій ЦС. ТТЛ-, ТТЛШ-елементи характеризуються параметрами, що лежать у широкому діапазоні значень. Це дозволяє застосовувати ІС ТТЛ у пристроях різної швидкодії: високої, середньої і низької. Висока завадостійкість цих ЛЕ робить пристрої на їх основі більш стійкими щодо збоїв, спричинених дією завад. Тому ІС ТТЛ доцільно застосовувати в електронній техніці, яка працює з частотою перемикання 20 МГц (ТТЛ) і 50 МГц (ТТЛШ). 101 ЕЗЛ-елементи є найбільш швидкодійними з усіх існуючих ЦС, працюють при частоті перемикання, яка перевищує 100 МГц. Однак велика споживана потужність і низька завадостійкість обмежують їх застосування і зумовлюють необхідність ужиття спеціальних заходів їх захисту від наводок. ЦС ЕЗЛ-типу несумісні за напругою живлення і логічними рівнями з ЦС інших типів. Для усунення цього недоліку до складу серій входять допоміжні ІС (перетворювачі логічних рівнів). Логічні елементи на МОН-структурах з індукованим р-каналом мають підвищену завадостійкість, але низьку швидкодію і велике енергоспоживання. Для їх роботи потрібні високовольтні (до – 27 В) джерела живлення і високі рівні логічних сигналів. Тому ЛЕ МОН-типу несумісні з усіма розглянутими типами ЛЕ. Логічні елементи на КМОН-структурах істотно відрізняються за своїми властивостями від логічних елементів на МОН-структурах. Вони мають позитивну напругу живлення, споживають на кілька порядків меншу потужність, мають більшу швидкодію і завадостійкість. Функціональний склад серій на КМОН-структурах відрізняється різноманітністю, що дозволяє застосовувати ці серії для побудови будь-яких цифрових вузлів із тактовою частотою до 5 МГц. Логічні елементи з інжекційним живленням мають швидкодію на порядок нижчу від швидкодії ЕЗЛ-схем, але приблизно однакову з ТТЛ- і КМОН-елементами. Завадостійкість їх найменша серед усіх типів ЛЕ. Проте за малими рівнями споживаної потужності цей тип ЛЕ може бути порівняний лише з ЛЕ на КМОН-структурах. Не меншою перевагою ЦС з інжекційним живленням є те, що вони мають найбільшу серед усіх типів розглянутих схем щільність пакування, а тому найменші габарити. 102 Таким чином, для проектування та експлуатації електронних систем необхідним є всебічне урахування основних властивостей застосовуваної елементної бази з метою досягнення високих техніко-економічних показників.

						ЕЛІТ 8.171.00.10.450 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			

Інтегральні мікросхеми (ІМС) серії КР1533 призначені для організації швидкого обміну та обробки цифрової інформації, часового та електричного проходження сигналів в обчислювальних системах [1,2]. ІМС серії КР1533 дозволяють отримати мінімальне значення добутку швидкодії на потужність розсіяння в порівнянні з відомими серіями ТТЛмікросхем. У наведеній нижче таблиці подані порівняльні характеристики цифрових ІМС різних серій.

Таблиця 3.2 – Порівняльні характеристики цифрових ІМС

Параметр	К155	К134	К531	КР1530	КР1531	КР1533
Час затримки, нс	10	33	3	1,5	2,7	4
Потужність споживання мВт	10	10	20	22	4	1
Фактор якості, пДж	100	33	60	33	10,8	4

ІМС серії КР1533 мають функціональні аналоги в інших серіях і співпадають з ними відносно призначення виводів у корпусі. Це дозволяє виконувати повну заміну мікросхем серії К555, К533, К155, КР1531. Зарубіжний аналог – серія мікросхем SN74ALSxxxx фірми Texas Instruments (TI) США. Конструктивно мікросхеми серії КР1533 виконані в 14-, 16-, 20- та 24-виводних пластмасових корпусах типу 201, 14-1, 238, 16-1, 2140, 20-8, 2142, 24-2 відповідно. Мікросхеми мають стандартні ТТЛ вхідні/вихідні рівні сигналів. Напрацювання мікросхеми ~50000 годин. Вживані аббревіатури: ТТЛ – транзисторно-транзисторна логіка; Н – високий рівень напруги; L – низький рівень напруги; Z( $\tilde{N}$ ) - високоомний стан виходу мікросхеми.

**3.3.2 Вибір та обґрунтування вхідного регістра двійкового числа.** В якості регістру для запису і зберігання інформаційних розрядів кодового слова вибираємо тригерну збірку К 1533 ТМ8, що містить чотири D - тригера з паралельним керуванням. Цоколювка мікросхеми наведена на рисунку 3.6.

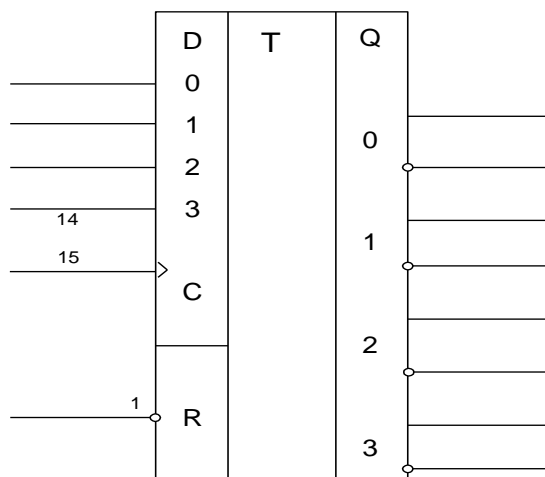


Рисунок 3.6 – Цоколювка мікросхеми К 1533 ТМ8

У реєстр сформоване двійкове число записується одночасно в паралельному коді, потім зберігається і обробляється також в паралельному коді, тому доцільно керувати всіма тригерами збірки одночасно. На рисунку 3.7 наведемо функціональну схему паралельного реєстра.

Перед початком роботи всього пристрою усі елементи пам'яті встановлюються в нульовий стан. Тому і буферний реєстр обнуляється подачею на вхід скидання керуючого сигналу. Потім на входах даних з виходів джерела інформації виставляється інформація, призначена для запису і передачі в канал зв'язку. З надходженням імпульсу «пуск» на тактовий вхід реєстра ця інформація записується в реєстр. Записане слово зберігається у реєстрі, поки на наступному кроці не треба буде записані наступні розряди кодового слова.

**3.3.3 Формувач перевірочних розрядів коду Бергера.** Інформаційна частина коду Бергера записується в реєстр зберігання. На наступному кроці необхідно сформувати перевірочні розряди. Як відомо, необхідно підрахувати кількість одиничних розрядів в інформаційній частині та проінвертувати її значення. Це формування доцільно розбити на два кроки – перетворити паралельний код в послідовний, вихідну послідовну послідовність бітів подати на лічильник для підрахунку та зберігання коду кількості одиничні значень. Інверсне значення можна знімати з інверсних виходів лічильника. Перетворення паралельного коду в послідовний можна виконати на основі паралельно-послідовного реєстра, схема якого приведена на рисунку 3.8.

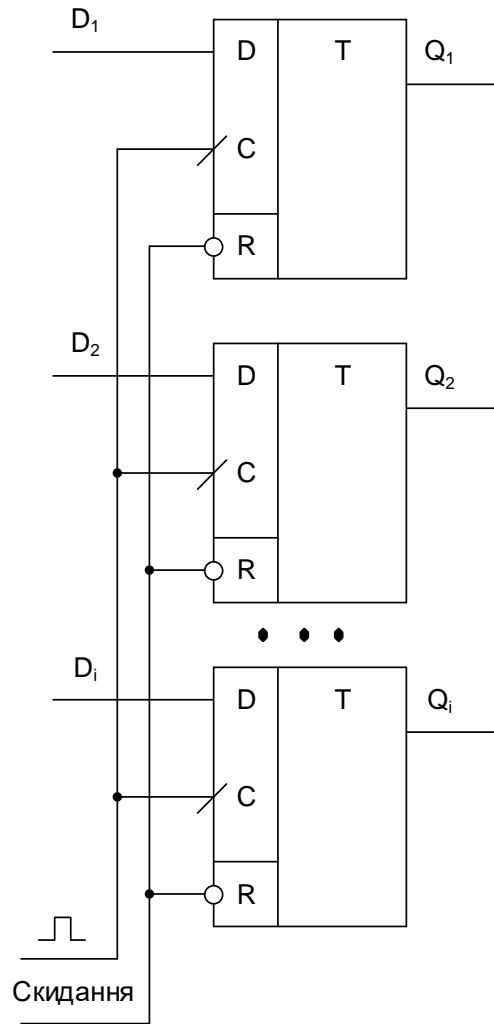


Рисунок 3.7 – Функціональна схема паралельного регістру зберігання

По приходу сигналу «запис», що надходить одночасно на всі схеми І-НІ на виходах цих схем з'являються сигнали, протилежні значенням даних, що подаються на другі входи схем І-НІ. Ці сигнали надходять на входи більш високого рівня пріоритету - входи установки тригерів в одиничний стан. Так як керування цих входів інверсне, при рівності одиниці сигналу даних на виході схеми І-НІ з'являється нульовий сигнал, який і переводить тригер в потрібне одиничний стан. Оскільки при включенні всі елементи пам'яті примусово були встановлені в нульовий стан, то розряди відповідні вхідним сигналам, рівним одиниці встановлюються в одиничний стан, а інші залишаються в нулі. Після запису паралельного вхідного коду проводиться зсув інформації, подачею на синхровхід сигналу «зсув». Одночасно на вхід D крайнього лівого розряду

подається нуль. При зсуві вправо на послідовному виході послідовно з'являтиметься двійкова кодова комбінація. Одночасно з кожним тактовим сигналом в регістр буде рухатись нульовий сигнал. Через  $n$  тактів (за кількістю розрядів вихідного числа) регістр заповниться нулями. Схема готова до прийому наступної двійкової кодової комбінації та формування інформаційної частини.

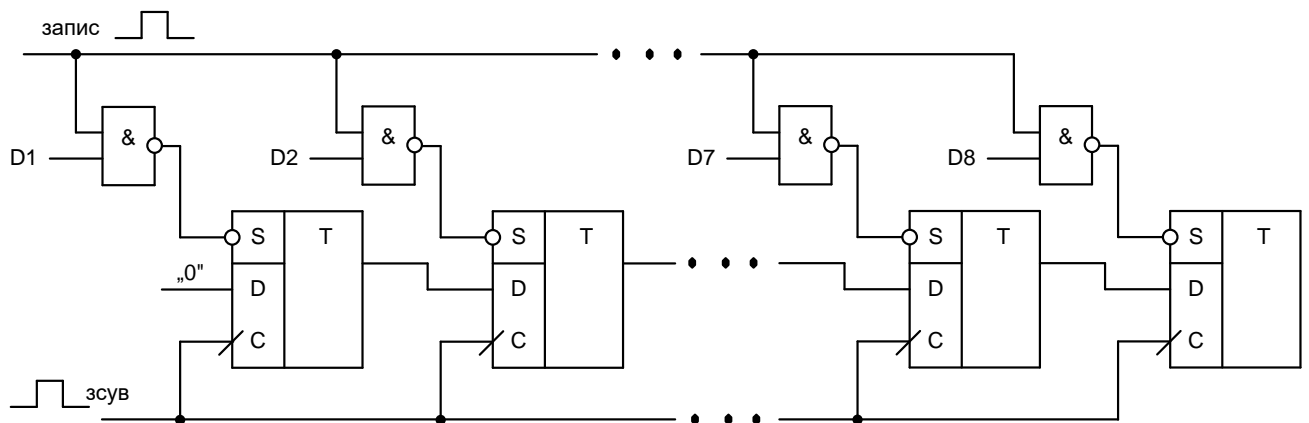


Рисунок 3.8 – Паралельно-послідовний регістр формувача перевірконої частини

### 3.3.4 Проектування перетворювача паралельного коду в послідовний.

Сформований код Бергера з заданою надлишковістю (згідно вибраного режиму передачі) необхідно передати у пристрій обробки та збереження інформації каналом зв'язку. Пристрій зберігання інформації знаходиться на значній відстані від передавача, тому паралельний код Бергера необхідно перетворити у послідовний код.

Для технічної реалізації перетворення паралельної кодової комбінації в послідовний код існує два основних способи. Перший спосіб передбачає застосування в якості перетворювача паралельної інформації в послідовний код паралельно-послідовний регістр, тобто регістр, інформація в який записується в паралельному коді, а видається в послідовному. Набагато частіше в якості паралельно-послідовних перетворювачів застосовують мультиплексори. Отже в адаптивній системі кодування в якості паралельно-послідовного перетворювача будемо застосовувати саме мультиплексор.

Мультиплексори (від англ. Multiplex - багаторазовий) – застосовують для комутації у бажаному порядку інформації, що поступає з декількох вхідних шин

на одну вихідну. За допомогою мультиплексора здійснюється часовий поділ інформації, що надходить з різних каналів. Кажуть, що мультиплексор виконує функцію безконтактного багатопозиційного перемикача.

Мультиплексори призначені для почергової передачі на один вихід одного з декількох вхідних сигналів, тобто для їх мультиплексування. Кількість мультиплексованих входів називається кількістю каналів мультиплексора, а кількість виходів називається числом розрядів мультиплексора. Наприклад, 2-канальний 4-розрядний мультиплексор має 4 виходи, на кожний з яких може передаватися один з двох вхідних сигналів. А 4-канальний 2-розрядний мультиплексор має 2 виходи, на кожний з яких може передаватися один з чотирьох вхідних сигналів. Число каналів мультиплексорів, що входять в стандартні серії, складає від 2 до 16, а число розрядів - від 1 до 4, причому чим більше каналів має мультиплексор, тим менше у нього розрядів.

Управління роботою мультиплексора (вибір номера каналу) здійснюється за допомогою вхідного коду адреси. Наприклад, для 4-канального мультиплексора необхідний 2-розрядний управляючий (адресний) код, а для 16-канального – 4-розрядний код. Розряди коду позначаються 1, 2, 4, 8 або A0, A1, A2, A3. Мультиплексори бувають з виходом 2С і з виходом 3С. Виходи мультиплексорів бувають прямими і інверсними. Вихід 3С дозволяє об'єднувати виходи мультиплексорів з виходами інших мікросхем, а також одержувати двонаправлені і мультиплексовані лінії. Деякі мікросхеми мультиплексорів мають вхід дозволу/заборони С (інше позначення - S), який при забороні встановлює на прямому виході нульовий рівень.

На малюнку 3.9 показано декілька мікросхем мультиплексорів з складу стандартних серій. У вітчизняних серіях мультиплексори мають код типу мікросхеми КП. На схемах мікросхеми мультиплексорів позначаються буквами MS.

					ЕЛІТ 8.171.00.10.450 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



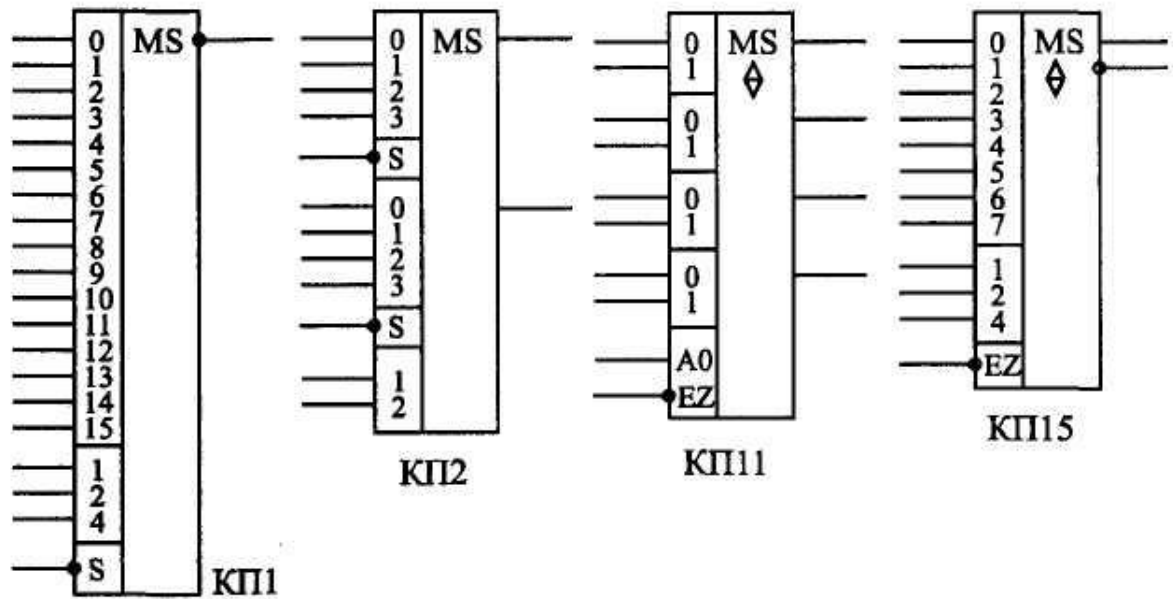


Рисунок 3.9 - Приклади мікросхем мультиплексорів

Коди Бергера, що сформовані з необхідною надлишковістю необхідно передати в канал зв'язку. Довжини сформованих комбінацій дорівнюють дванадцяти та тринадцяти, тому в якості комутаторів виберемо мультиплексор 16 в 1 К1533 КП1 (рисунок 3.10).

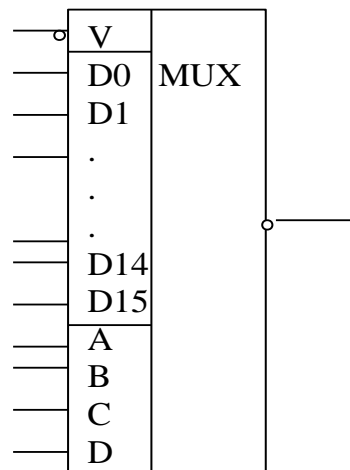


Рисунок 3.10 – Умовне позначення мікросхеми К1533 КП1

Він має 16 інформаційних входів ( $D_0 - D_{15}$ ) і чотири входи керування  $A, B, C, D$ , інверсний вхід дозволу  $V$  і один інверсний вихід  $F$ . Залежно від цифрової

комбінації на входах керування сигнали з вибраного інформаційного входу проходять в інвертованому вигляді на відповідний вихід мікросхеми. Перетворення інформації можливе, якщо на вході дозволу діє напруга низького рівня. У випадку високого рівня напруги на вході дозволу схема блокується і на виході мікросхеми виникає напруга високого рівня.

Логічна функція, що реалізується мікросхемою К1533 КП1, має наступний вигляд:

$$\bar{F} = \bar{V} (\overline{DCBA}x_0 \vee \overline{DCBA}x_1 \vee \dots \vee \overline{DCBA}x_{14} \vee \overline{DCBA}x_{15} )$$

Робота мультиплексора описується таблицею 3.4.

Таблиця 3.3 - Таблиця істинності мікросхеми К1533 КП1

V	D	C	B	A	D0	D1	D2	D13	D14	D15	$\bar{F}$
0	0	0	0	0	1/0	*	*	*	*	*	0/1
0	0	0	0	1	*	1/0	*	*	*	*	0/1
0	0	0	1	0	*	*	1/0	*	*	*	0/1
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
0	1	1	0	1	*	*	*	1/0	*	*	0/1
0	1	1	1	0	*	*	*	*	1/0	*	0/1
0	1	1	1	1	*	*	*	*	*	1/0	0/1
1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1

Дванадцяти або тринадцяти розрядні коди Бергера будемо подавати на інформаційні входи мультиплексора  $D_i$ , до адресних входів необхідно підключити виходи двійкового лічильника, який буде перебирати в порядку зростання адресні кодові комбінації. Оскільки інформаційними, в нашому випадку є лише дванадцять або тринадцять з шістнадцяти інформаційних шин, тому на адресні входи будемо подавати також лише ці адресні комбінації. Цю задачу можна вирішити за допомогою лічильника з необхідним коефіцієнтом перерахунку. Розглянемо побудову такого лічильника далі.

На рисунку 3.11 приведена часова діаграма роботи 4-ка-нального мультиплексора. Залежно від вхідного коду на вихід передається один з чотирьох вхідних сигналів. При забороні роботи на виході встановлюється нульовий сигнал незалежно від вхідних сигналів. Мультиплексор з шістнадцяттю каналами працює аналогічно.

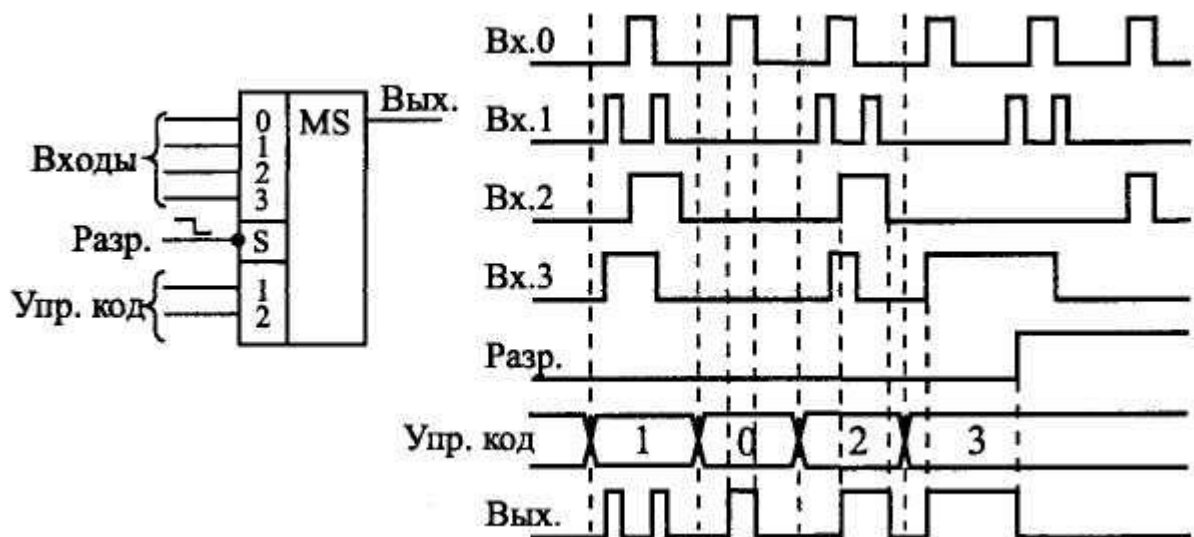


Рисунок 3.11 - Часова діаграма роботи 4-канального мультиплексора з дозволом

В кодуєчому пристрої організована передача в канал зв'язку кодів з мінімальною та максимальною надлишковстю. Паралельні коди для обох випадків виставлені на входах даних відповідних мультиплексорів, а виходи об'єднані через елемент АБО.

Дванадцятирозрядні (або тринадцятирозрядні) кодові комбінації необхідно виставити на інформаційних входах відповідних мультиплексорів, до адресних входів необхідно підключити виходи двійкових лічильників, які будуть перебирати в порядку зростання кодові комбінації, відповідні адресами (номерами інформаційних входів). Цю задачу вирішуємо за допомогою лічильника з заданим коефіцієнтом перерахунку.

Доцільним в даному випадку буде вибір методу побудови лічильника з заданим коефіцієнтом перерахунку з дешифрацією станів.

Структурна схема методу має вигляд, наведений на рисунку 3.12.

Переваги даного способу:

- Природна двійкова послідовність кодів від 0 до  $K-1$ ;
- Використання зазвичай наявного в лічильнику входу  $R$ .

У разі підсумовуючого лічильника досить зібрати на елементі І лише прямі виходи тих тригерів, які при коді кінця рахунку рівні 1. Число входів елемента І, таким чином, залежить від коду кінця рахунку.

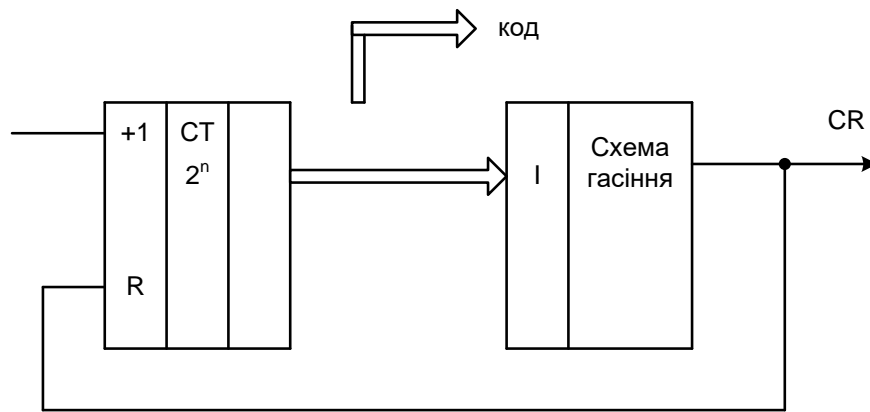


Рисунок 3.12 – Структурна схема лічильника з заданим коефіцієнтом та природним порядком рахунку

Схеми лічильників з коефіцієнтами перерахунку 12 та 13 відповідно наведені на рисунках 3.13 та 3.14.

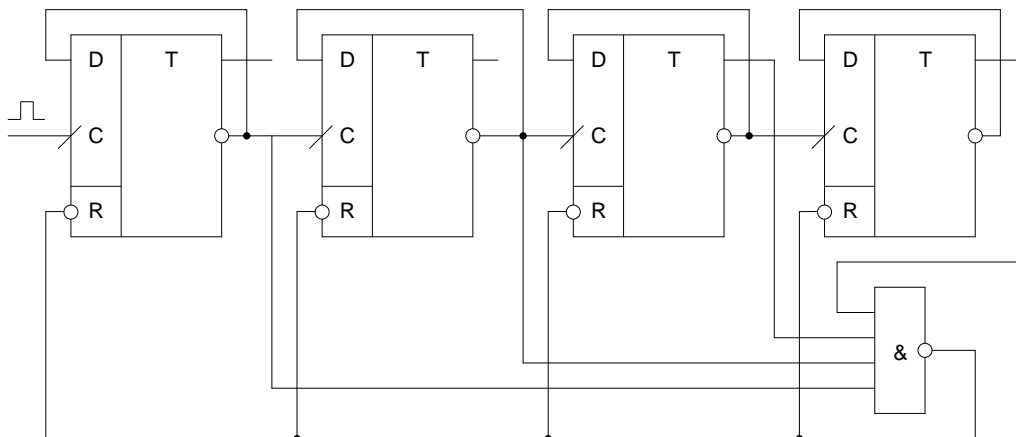


Рисунок 3.13- Схема лічильника з коефіцієнтом перерахунку 12

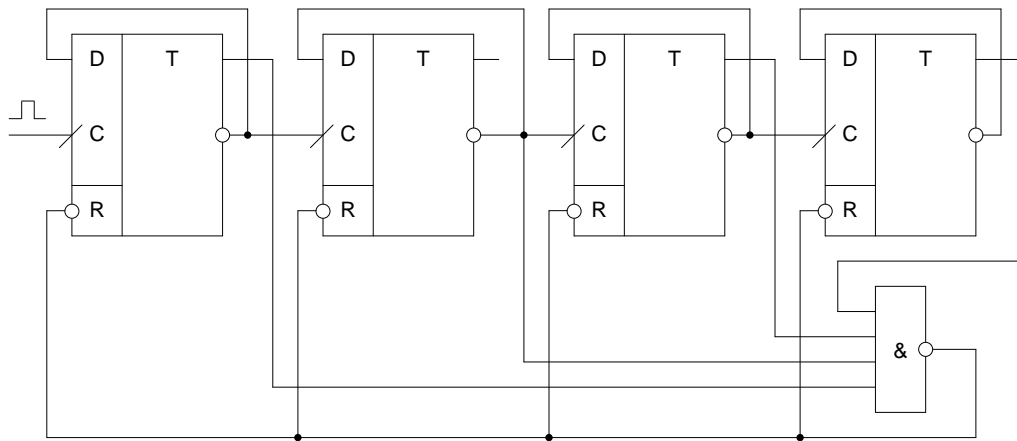


Рисунок 3.14 - Схема лічильника з коефіцієнтом перерахунку 13

Для побудови лічильників застосуємо найпоширенішу мікросхему – К1533 ТМ2 –(див. рис. 3.15) - подвійний динамічний *D* – тригер виконаний за схемою трьох тригерів із записом інформації по передньому фронту імпульсу. Це - цифрова інтегральна схема транзисторної логіки із діодами Шоттки серії ТТЛ.

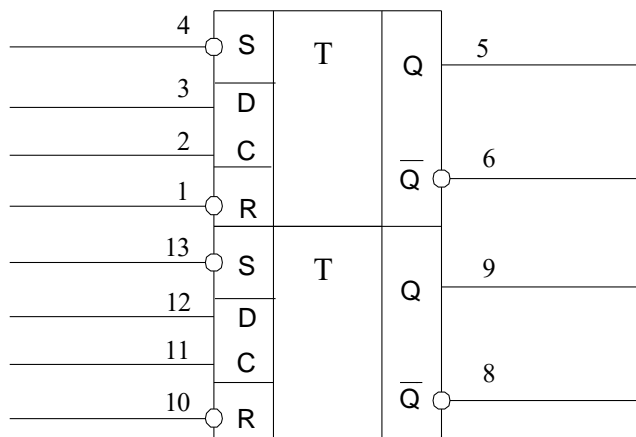


Рисунок 3.15 – Мікросхема КР 1533 ТМ2

Призначення виводів КР 1533 ТМ2:

- |                     |                      |
|---------------------|----------------------|
| 1 Вхід $\bar{R}$    | 8 Вихід $Q_2$        |
| 2 Вхід $D$          | 9 Вихід $Q_2$        |
| 3 Тактовий вхід $C$ | 10 Вхід $S$          |
| 4 Вхід $S$          | 11 Тактовий вхід $C$ |
| 5 Вихід $Q_1$       | 12 Вхід $D$          |
| 6 Вихід $\bar{Q}_1$ | 13 Вхід $\bar{R}$    |

Функціонування мікросхеми відбувається згідно таблиці 3.4:

Таблиця 3.4 – Таблиця функціонування КР 1533 ТМ2

Входи				Виходи	
S	R	C	D	Q	Q
L	H	X	X	H	L
H	L	X	X	L	H
L	L	X	X	H	H
H	H		H	H	L
H	H		L	L	H
H	H	L	X	Q <sub>0</sub>	Q <sub>0</sub>

Динамічні *D* – тригери призначені для роботи у вузлах та блоках радіоелектронної апаратури спеціального призначення.

Випускаються у прямокутному металоскляному корпусі для монтажу на друковану плату.

Маркування мікросхем та схема з'єднання електродів з висновками вказується на корпусі.

Містять 110 інтегральних елементів.

Корпус типу 401.14-5.

Технічні умови:

- БК0.347.364-02ТУ;
- БК0.347.364-02ТУ, ПО.070.052.

Зарубіжний аналог: SN54ALS74.

Основні технічні та експлуатаційні характеристики:

- Напряга живлення:  $5,0 \pm 10\%$ ;
- Струм споживання, не більше: 4 мА;
- Допустиме значення потенціалу статичної електрики: 200 В;
- Діапазон робочих температур:  $-60^\circ \text{C} \dots +125^\circ \text{C}$ .

Гарантійні зобов'язання:

Виробник гарантує відповідність якості мікросхем 1533ТМ2 вимогам технічних умов за умови дотримання споживачем умов і правил зберігання, монтажу та експлуатації встановлених ТУ.

Гарантійний термін для зберігання 25 років.

					ЕЛІТ 8.171.00.10.450 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Мінімальний термін зберігання обчислюється з дати виготовлення, а для мікросхем перевірки, що піддавалися, — з дати повторної перевірки.

Гарантійне напрацювання мікросхем:

- 100000 годин у режимах та умовах, що допускаються ТУ;
- 120000 годин у полегшеному режимі.

Гарантійне напрацювання обчислюється в межах гарантійного терміну зберігання.

Приклад запису умовного позначення при замовленні та в конструкторській документації:

- Мікросхема 1533ТМ2, 6К0.347.364-02 ТУ.

**3.3.5 Синтез схем формування перевірочних розрядів.** При функціонуванні кодуєчого пристрою в другому режимі адаптації додатково формується перевірочний розряд за правилом додавання за модулем два всіх розрядів кодової комбінації, побудованої за алгоритмом Бергера, як інформаційних, так і перевірочних за формулою:

$$f_{\oplus} = x_1 \oplus x_2 \oplus x_3 \oplus r_1 \oplus r_2.$$

В результаті аналізу характеристик коду Бергера були вибрані параметри: довжина інформаційної частини – 8 розрядів, відповідно перевірочна частина буде мати чотири розряди. Кодову комбінацію такої довжини сгорнути за модулем два, застосувавши наступні формули, і схеми відповідно будуть мати вигляд, наведений на рисунках 3.16 та 3.17. Суттєвого виграшу будь-яка схема не дає, тому при реалізації у вигляді принципової схеми використано перший варіант.

$$f_{\oplus} = \{[(x_1 \oplus x_2) \oplus (x_3 \oplus x_4)] \oplus [(x_5 \oplus x_6) \oplus (x_7 \oplus x_8)]\} \oplus \{(r_1 \oplus r_2) \oplus (r_3 \oplus r_4)\}$$

$$f_{\oplus} = \{[(x_1 \oplus x_2) \oplus (x_3 \oplus x_4)] \oplus (x_5 \oplus x_6)\} \oplus \{[(x_7 \oplus x_8) \oplus (r_1 \oplus r_2)] \oplus (r_3 \oplus r_4)\}$$

					ЕЛІТ 8.171.00.10.450 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

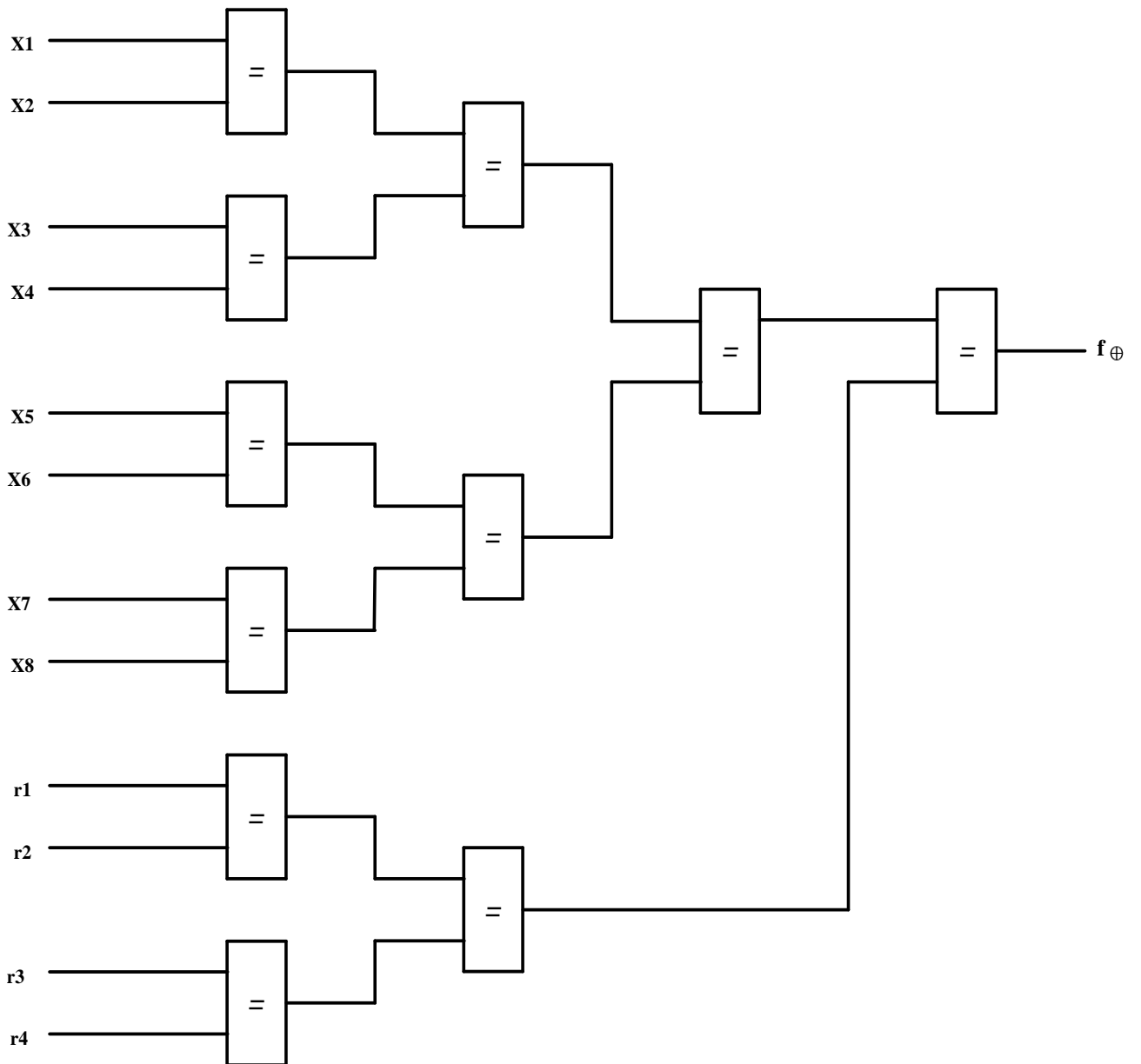


Рисунок 3.16 – Схема згортки для формування додаткового захисту за формулою 1



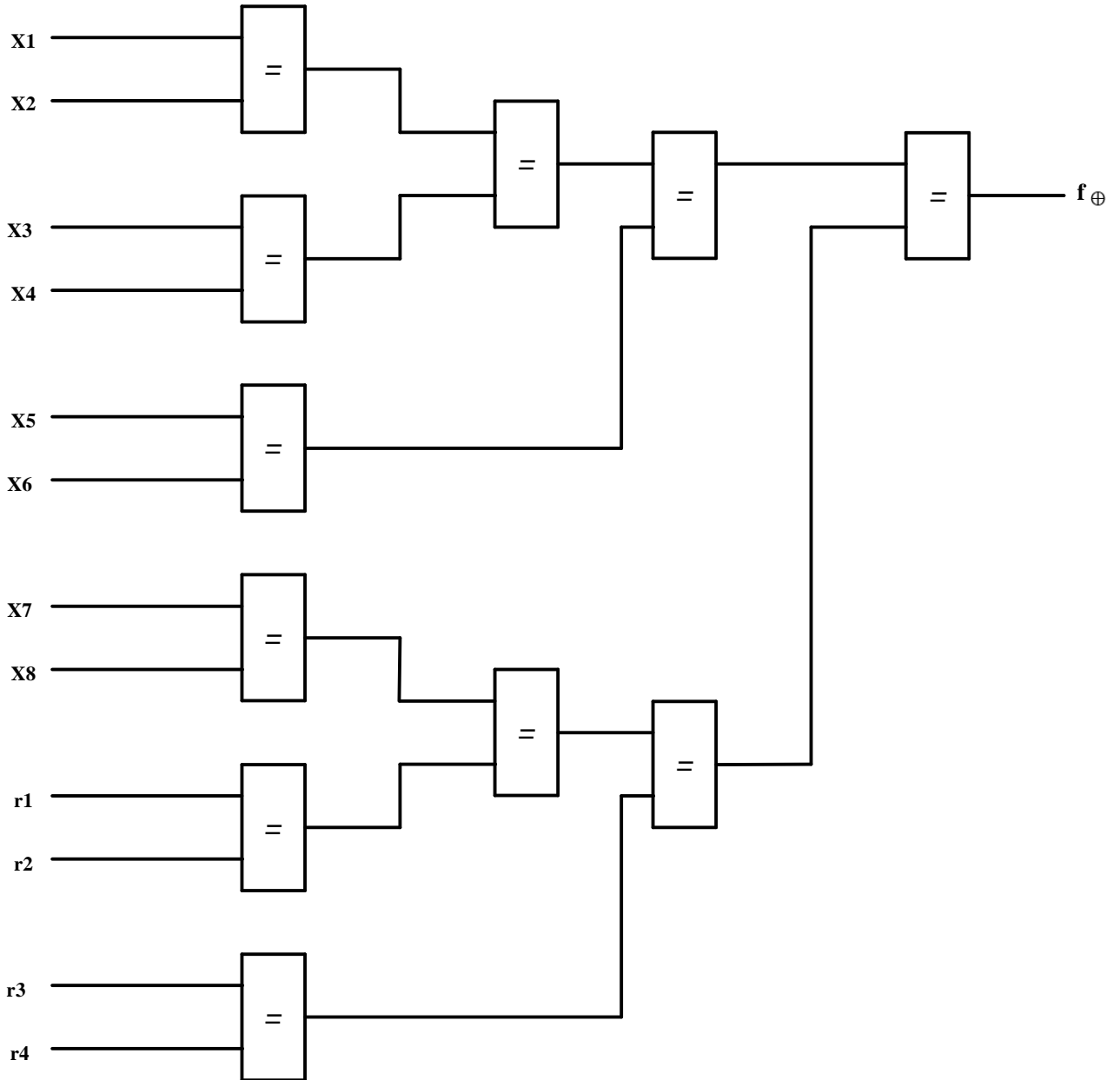


Рисунок 3.17 – Схема згортки для формування додаткового захисту за формулою 2

**3.3.6 Синтез схеми керування.** Схема керування необхідна, щоб узгодити роботу окремих вузлів пристрою. Схема керування включає в себе два керуючих тригера, тактовий генератор, схеми співпадіння.

При розгляданні роботи керуючого пристрою необхідно акцентувати увагу на наявність в схемі керування кільцевого лічильника, структурна схема якого наведена на рисунку 3.18, а часова діаграма, яка пояснює його роботу на рисунку 3.19.

Перед початком роботи в кільцевий лічильник необхідно записати логічну одиницю в один з розрядів. При включенні на вхід установки тригера в одиничний

стан надходить імпульс негативної полярності, що переводить перший тригер схеми в одиничний стан. Одночасно через інвертор надходить імпульс такої ж довжини, але протилежної полярності на вхід  $R$  першого тригера і на всі інші входи  $S$  інших тригерів. Таким чином, у лічильнику записана одиниця, при чому вона записана у старшому розряді. Імпульси керування, що надходять на тактовий вхід кільцевого лічильника переписують одиницю з однієї ступені в наступну. Цей зсув здійснюється по колу. На прямих виходах тригерів з'являються імпульси, довжина яких дорівнює періоду вхідних імпульсів.

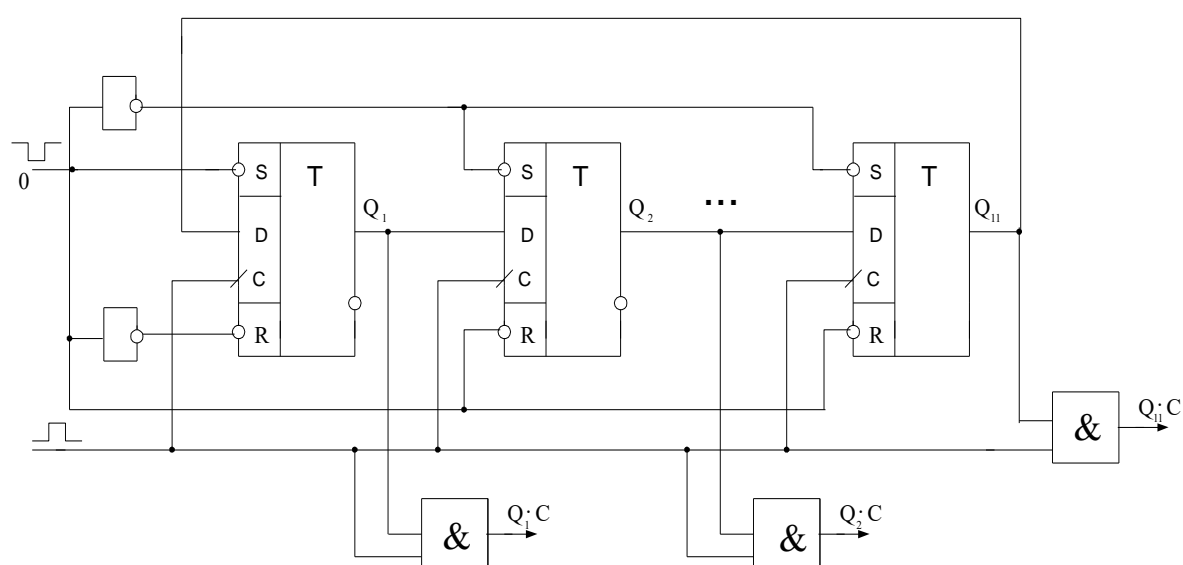


Рисунок 3.18 – Структура кільцевого лічильника керуючого пристрою

На виходах тригерів виникають сигнали тривалістю, що дорівнює періоду вхідних сигналів. Для формування імпульсів, що виникають в ті ж моменти часу, але мають тривалість, порівнянну з тривалістю імпульсів тактового генератора організовані додаткові схеми «І», на один з входів яких надходять імпульси з виходів тригерів, а на інші входи надходять імпульси з генератора. Кон'юнкція цих сигналів і дає імпульси заданої тривалості. Часова діаграма, що ілюструє цей процес, представлена на рисунку 3.20.

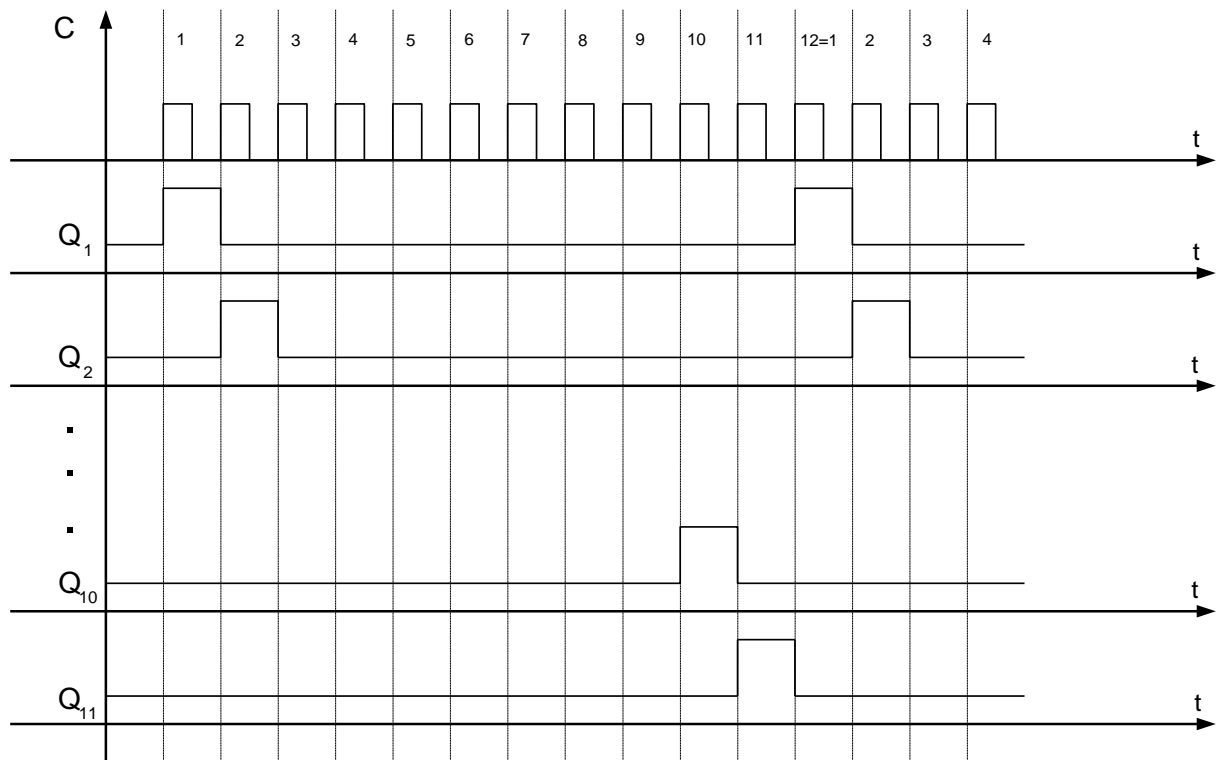


Рисунок 3.19 – Часова діаграма роботи кільцевого лічильника

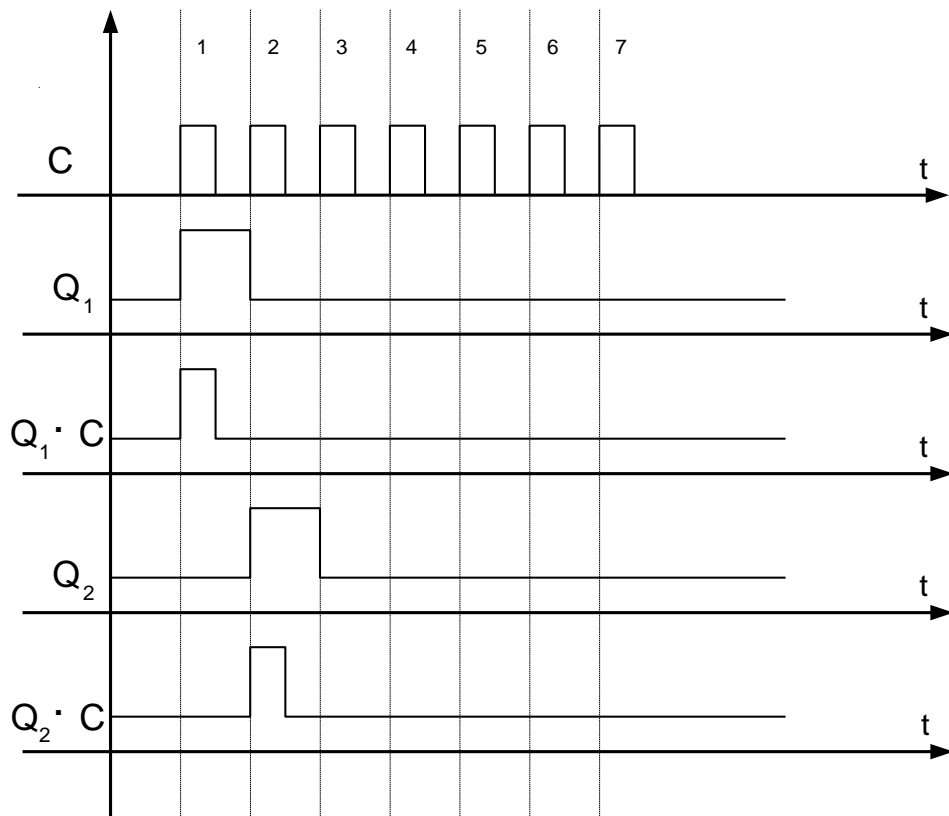


Рисунок 3.20 – Формування керуючих сигналів кільцевим лічильником

Крім того, блок керування повинен при вмиканні пристрою встановити всі елементи пам'яті в початковий стан. Це здійснюється за допомогою кнопки К1 (див. рис. 3.21).

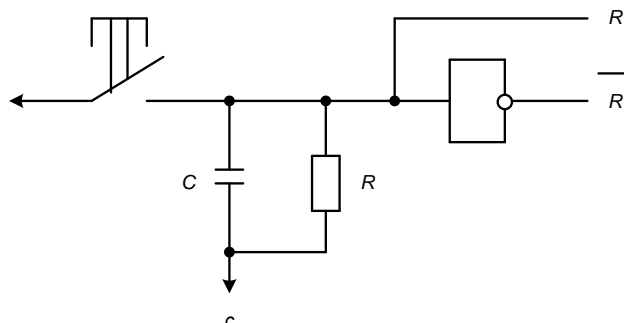


Рисунок 3.21 – Схема формування сигналів установки елементів з пам'яттю в нульовий стан

Принципова схема передавача реалізована на мікросхемах серії К 1533, вибір саме цієї серії мікросхем для синтезу пристрою обґрунтовано в пункті 3.3.1

Таким чином, проведений синтез схеми кодуючого пристрої, розроблена схема управління і вибрані основні елементи керуючого блоку.

## 4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 4.1 Розрахунок повної собівартості пристрою

Собівартість пристрою, що формує кодові комбінації за алгоритмом Бергера – це виражені в грошовій формі поточні витрати підприємства на його виробництво і збут. Витрати на виробництво пристрою формують виробничу собівартість, а витрати на виробництво і збут – повну собівартість. Розрахунок собівартості пристрою за статтями витрат називається калькуляцією.

Витрати, пов'язані з виробництвом і збутом реалізацією пристрою групуються за такими статтями:

1. Матеріали та комплектуючі.
2. Основна заробітна плата.
3. Додаткова заробітна плата.
4. Відрахування на соціальні заходи.
5. Витрати на утримання і експлуатацію устаткування.
6. Загальновиробничі витрати.
7. Адміністративні витрати.
8. Витрати на збут.

**4.1.1 Матеріали та комплектуючі.** Витрати на матеріали та комплектуючі вироби визначаються з ціни за одиницю матеріалу/комплектуючого та їх необхідної кількості.

Дані для розрахунку витрат на сировину та матеріали наведені в таблиці 4.1. Дані для розрахунку вартості комплектуючих наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.1 – Витрати на сировину та матеріали

Матеріал	Одиниця виміру	Норма витрати	Ціна за одиницю, грн.	Вартість, грн.
Склотекстоліт	м <sup>2</sup>	0,15	23,50	1,50
Припой	кг	0,1	504,00	50,40
Лак	кг	0,01	980,00	9,80
				<b>61,70</b>

Таблиця 4.2 – Розрахунок витрат на комплектуючі

Наименование элемента	Кількість, шт.	Ціна за од., грн.	Вартість, грн.
1	2	3	4
<b>Конденсатори</b>			
К50-63 25В*20мкФ ± 10%	3	4,50	13,50
КМ4 0,1мкФ ± 10%	30	0,50	15,00
<b>Мікросхеми</b>			
КР1533 КП1	2	9,00	18,00
КР1533 ТМ8	5	10,50	52,50
КР1533 ЛИ6	1	5,00	5,00
КР1533 ЛА1	1	5,00	5,00
КР1533 ЛА3	6	4,00	24,00
КР1533 ЛИ1	1	5,00	5,00
КР1533 ЛП5	3	9,50	28,50
КР1533 ТМ2	11	8,50	93,50
<b>Інші елементи</b>			
РВД-24	2	18,50	37,00
<b>Сумарні витрати</b>			<b>297,00</b>

**4.1.2 Витрати на основну заробітну плату ( $Z_o$ ):**

Основна заробітна плата визначається за формулою:

$$Z_o = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i, \quad (4.1)$$

де  $C_i$  – годинна тарифна ставка окремого спеціаліста, що задіяний у виробництві пристрою, грн/год;

$t_i$  – витрачений час робітником на виробництво і наладку пристрою, год;

$n$  – кількість працівників, задіяних у виробництві пристрою.

					ЕЛІТ 8.171.00.10.450 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Дані для розрахунку основної заробітної плати наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Розрахунок основної заробітної плати

№ п/п	Найменування технологічної операції	Середній розряд роботи	Трудомісткість на один виріб, ч	Годинна тарифна ставка, грн.
1	Механічна	2	0,3	45,00
2	Хімічна	2	0,5	43,00
3	Складальна	2	0,2	42,00
4	Монтажна	3	0,8	50,00
5	Регулювальна	4	1,5	65,00

Вирахуємо основну заробітну плату за формулою 4.1:

$$Z_o = 45,0 \cdot 0,3 + 43,0 \cdot 0,5 + 42,0 \cdot 0,2 + 50,0 \cdot 0,8 + 65,0 \cdot 1,5 = 173,34 \text{ (грн.)}$$

**4.1.3 Додаткова заробітна плата.** Вважаються преміальні доплати у розмірі 10 – 30% від основної заробітної плати. Визначимо 30%.

$$Z_d = 173,34 \cdot 30\% = 52,0 \text{ (грн.)} \quad (4.2)$$

**4.1.4 Відрахування на соціальні заходи** містять відрахування від суми основної і додаткової зарплати за встановленими ставками:

- на обов'язкове державне пенсійне страхування;
- на державне страхування від нещасних випадків;
- на обов'язкове державне соціальне страхування на випадок безробіття;
- у зв'язку з тимчасовою втратою працездатності і витратами, зумовленими народженням дитини і похованням.

Визначимо відрахування на соціальне страхування за формулою:

$$H_{зп} = (ЗП_o + ЗП_d) \cdot 36,9\% \quad (4.3)$$

где  $H_{зп}$  - отчисления на социальное страхование, грн.

$$H_{зп} = (173,34 + 52,0) \cdot 36,9\% = 83,15 \text{ (грн.)}$$

**4.1.5 Витрати на утримання і експлуатацію устаткування** складають від 120% до 150 % від основної заробітної плати. Виберемо 120%.

$$Z_{ce} = Z_o \cdot 120\%, \quad (4.4)$$

					ЕЛІТ 8.171.00.10.450 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

где  $Z_{ce}$  – витрати на утримання та експлуатацію устаткування

$$Z_{ce} = Z_o * 120\% = 173,34 * 1,20 = 208,01 \text{ (грн.)}$$

**4.1.6 Загальновиробничі витрати** являють собою витрати, пов'язані з управлінням підрозділом, витрати на службові відрядження співробітників підрозділу (цеху), амортизаційні відрахування від вартості основних фондів загальноцехового призначення і т.д. Визначаються в розмірі від 130% до 250% від основної зарплати. Вибираємо 150%.

$$P_{oz} = Z_o * 150\%, \quad (4.5)$$

где  $P_{oz}$  – загальновиробничі витрати:

$$P_{oz} = Z_o * 150\% = 173,34 * 1,5 = 260,01 \text{ (грн.)}$$

**4.1.7 Розрахунок виробничої собівартості.** Виходячи з розрахованих статей калькуляції розраховуємо виробничу собівартість пристрою:

$$СБ_{пр} = Z_{cm} + Z_{пи} + Z_o + Z_d + H_{зп} + Z_{ce} + P_{oz} \quad (4.6)$$

де  $СБ_{пр}$  – виробнича собівартість пристрою;

$Z_{cm}$  – витрати на матеріали;

$Z_{пи}$  – витрати на комплектуючі.

$$СБ_{пр} = 61,7 + 297,0 + 173,34 + 52,0 + 83,15 + 208,01 + 260,01 = 1135,21 \text{ (грн.)}$$

**4.1.8 Витрати на збут.** Включають витрати на рекламу та передреалізаційну підготовку пристрою. Орієнтовно ці витрати визначаються в розмірі від 5% до 10% від виробничої собівартості. Вибираємо 10%.

$$P_{cb} = СБ_{пр} * 10\%, \quad (4.7)$$

где  $P_{cb}$  – витрати на збут.

$$P_{cb} = СБ_{пр} * 10\% = 1135,21 * 0,1 = 113,52 \text{ (грн.)}$$

**4.1.9 Адміністративні витрати.** Можуть містити в собі:

- ✓ Витрати, пов'язані з управлінням підприємства;
- ✓ Витрати на службові відрядження адміністрації підприємства;
- ✓ Витрати на пожежну та сторожову охорону;
- ✓ Витрати, пов'язані з підготовкою (навчанням) і перепідготовкою кадрів;

					ЕЛІТ 8.171.00.10.450 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



- ✓ Витрати на перевезення працівників до місця роботи і назад;
- ✓ Витрати на сплату відсотків за фінансові кредити, а також відсотків за товарні і комерційні кредити; витрати, пов'язані зі сплатою відсотків за користування матеріальними цінностями, взятими в оренду (лізинг);
- ✓ Витрати, пов'язані з оплатою послуг комерційних банків і інших кредитно-фінансових установ;
- ✓ Податки, відрахування.

Адміністративні витрати визначаються в розмірі 140-200 % від основної зарплати. Візьмемо 200 %:

$$A_3 = Z_o * 200\% \quad (4.8)$$

где  $A_3$  – административные затраты

$$A_3 = 173,34 * 200\% = 346,68 \text{ (грн.)}$$

**4.1.10 Повна собівартість** являє собою суму виробничої собівартості виробу, витрат на збут та адміністративних витрат:

$$СБ_{\text{пол}} = СБ_{\text{пр}} + P_{\text{сб}} + A_3 \quad (4.9)$$

где  $СБ_{\text{пол}}$  – повна собівартість пристрою:

$$СБ_{\text{пол}} = 1135,21 + 113,52 + 346,68 = 1595,41 \text{ (грн.)}$$

Калькуляцію собівартості пристрою зведемо у таблицю 4.4.

Таблиця 4.4 – Собівартість пристрою за статтями калькуляції

№п/п	Стаття калькуляції	Сума, грн
1	2	3
1	Сировина та матеріали	61,7
2	Комплектуючі	297,0
3	Основна заробітна плата	173,34
1	2	3
4	Додаткова заробітна плата	52,0

5	Відрахування на соціальні заходи	83,15
6	Утримання та експлуатація устаткування	208,01
7	Загальновиробничі витрати	260,01
8	Виробнича собівартість	1135,21
9	Витрати на збут	113,52
10	Адміністративні витрати	346,68
11	Повна собівартість пристрою	1595,41

#### 4.2 Визначення ціни пристрою

В ринковій економіці існують різні методи ціноутворення: собівартість плюс прибуток, забезпечення фіксованого обсягу прибутку, залежно від рівня попиту та ін. Розрахунок оптової ціни пристрою проведемо за схемою «собівартість плюс прибуток»:

$$Ц_{\text{опт}} = СБ_{\text{пол}} + П \quad (4.10)$$

де  $СБ_{\text{пол}}$  - повна собівартість пристрою,

$П$  – величина прибутку.

Прибуток визначається виходячи з нормативу (показника) рентабельності виробництва продукції встановлюваного підприємством. Прибуток визначається з показника рентабельності продукції, приймається в розмірі до 35%.

Задаємося рентабельністю 30%, тоді оптова ціна пристрою визначається:

$$Ц_{\text{опт}} = СБ_{\text{пол}} * 130\%, \quad (4.11)$$

где  $Ц_{\text{опт}}$  – оптова ціна пристрою:

$$Ц_{\text{опт}} = 1595,41 * 130\% = 2074,03 \text{ (грн.)}$$

Відпускна ціна пристрою включає податок на додану вартість:

					ЕЛІТ 8.171.00.10.450 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$C_{\text{розд}} = C_{\text{опт}} * 1,2 \quad (4.12)$$

где 20% - ПДВ.

$$C_{\text{розд}} = 2074,03 * 1,2 = 2488,84 \text{ (грн.)}$$

Позитивні сторони даної методики полягають у її простоті, комплексній очевидності такої функції ціни як відшкодування витрат на виробництво і забезпечення прибутковості від створення та реалізації пристрою. Недолік даної методики полягає в тому, що вона не враховує ринкові фактори ціноутворення і насамперед попит. Однак в умовах ринкової економіки існують ситуації, коли підприємствам доцільно її застосовувати: в умовах відсутності конкуренції (монополії), при обмеженні рентабельності продукції з боку держави, виконанні одноразових замовлень, виготовленні оригінальної продукції.

Необхідно відзначити, що для встановлення реальної ціни яка б відповідала умовам існуючого ринку пристрою, необхідні відповідні маркетингові дослідження.

Таким чином, в техніко-економічній частині випускної кваліфікаційної роботи був виконаний розрахунок собівартості та ціни кодуєчого пристрою адаптивної системи передачі даних на основі коду Бергера.

					ЕЛІТ 8.171.00.10.450 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## ВИСНОВКИ

Побудова сучасних ефективних надійних та гнучких систем зв'язку, що забезпечують швидку передачу даних з максимальною достовірністю – на сьогодні залишається актуальною задачею. Новим аспектом в розвитку сучасних СПД є застосування адаптованих алгоритмів роботи. Це означає, що на практиці виявляється мало застосування одного завадостійкого кодування інформації. У реальних лініях зв'язку рівень перешкод не є постійною величиною, а безперервно змінюється в часі. В одних випадках, при малому рівні перешкод, необхідно підвищити швидкість передачі і знизити надмірність перешкодостійкого коду, а в інших, навпаки - підвищити надмірність перешкодостійкого коду, знизивши тим самим швидкість передачі повідомлень. Для успішного практичного впровадження адаптивного алгоритму роботи в реальні системи передачі даних, необхідно реалізувати його так, щоб це не вимагало втручання людини. Можна зробити висновок, що тільки комплексний підхід до боротьби з перешкодами забезпечить високу ефективність.

Саме в такому сенсі виконувалася випускна кваліфікаційна робота на тему «Адаптивна система передачі інформації на основі кодів Бергера».

Розроблена система передачі даних являє собою систему, яка в залежності від зовнішніх умов формує інформаційні пакети різної довжини - при незначних перешкоди - передається кодове слово довжини вісім, при високому рівні перешкод здійснюється додатковий захист інформації. У зв'язку з тим, що передача інформації повинна бути не тільки достовірною, але і швидкою, при зменшенні кількості перешкод в каналі зв'язку доцільно зменшувати надлишковість (тим самим збільшиться швидкість передачі повідомлень). Сигнал про зміну режиму передачі формує приймальня сторона.

Були розроблені схеми алгоритмів функціонування та структурні схеми кодуючого та декодуючого пристроїв, функціональна схема кодуючого пристрою а також розроблена і принципова схема кодуючого пристрою адаптивної системи передачі та обґрунтовано вибір елементів.

При побудові адаптивної СПД використовувалися мікросхеми ТТЛ-логіки серії 1533, які володіють достатньою швидкодією і завадостійкістю, і призначені для організації високошвидкісного обміну і обробки цифрової інформації. Крім того, в цій серії представлені всі необхідні функціональні вузли.

					ЕЛІТ 8.171.00.10.450 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

У техніко-економічній частині випускної роботи було проведено розрахунок повної собівартості, а також ціни виробу.

					ЕЛІТ 8.171.00.10.450 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1 Погребняк Л.М., Науменко М.І. Оцінка ефективності завадостійкого та просторового кодувань в нестационарних частотно-селективних каналах систем військового радіозв'язку // Збірник наукових праць ВІТІ – 2017. - № 4. – С.103-110.
- 2 Погребняк Л.М., Науменко М.І. Удосконалений метод просторово-часового блочного кодування для частотно-селективних каналів систем військового радіозв'язку // Збірник наукових праць ВІТІ – 2017. - № 1. – С.81-86.
- 3 R. Krishnamoorthy Forward Error Correction Code for MIMO-OFDM System in AWGN and Rayleigh Fading Channel / R. Krishnamoorthy, N.S.Pradeep // International Journal of Computer Application's – 2013 – vol. 69. – pp. 8-13.
- 4 A. Al-Dweik Robust MIMO-OFDM system for frequency selective mobile wireless channels / A. Al-Dweik, Sami Muhaidat, Fatma Kalbat // IEEE transaction on Vehicular Technology – 2014. – pp. 1-11.
- 5 Розробка уніфікованого пристрою завадостійкої передачі інформації у високошвидкісних каналах радіорелейного та супутникового зв'язку: звіт про науково-дослідну роботу (заключний): в 2 ч. / Міністерство освіти і науки України, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»; науковий керівник роботи Л.О. Уривський. – Київ, 2016. – 2 т.
- 6 Кушнір О.І. Аналіз методів завадостійкого кодування у цифрових системах зв'язку [Електронний ресурс] / О.І. Кушнір, О.І. Тимочко, О.В. Сєверінов // Системи обробки інформації. – 2007. – Вип. 9. – С. :63-65.
- 7 Пятін І.С. Моделювання цифрової системи зв'язку з завадостійким кодуванням [Електронний ресурс] / І.С. Пятін, В.В. Сергєєв // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2017. - № 6. – С. 89-91.
- 8 Гребенюк О. П. Застосування завадостійкого кодування в системах зв'язку і передачі даних комплексів радіомоніторингу для забезпечення достовірності інформаційного обміну / О.П. Гребенюк, В.Д. Меленський, В.І. Коріненко // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем. - 2015. - Вип. 11. - С. 44-50.

					ЕЛІТ 8.171.00.10.450 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- 9 V. M. Deundyak, Yu. V. Kosolapov, "On the Berger–Loidreau cryptosystem on the tensor product of codes", *J. Comp. Eng. Math.*, **5:2** (2018), 16–33
- 10 Теоретичні основи завадостійкого кодування: підручник для вищ. навч. закл. / П.Ф. Олексенко [та ін.]; за ред. В.Ф. Мачуліна; НАН України, Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є Лашкарьова, Мін-во освіти та науки України, НТУУ «КПІ» [та ін.]. – Київ: Наукова думка, 2010-2012. Ч.1.- 2010.- 192 с. Ч.2.- 2012.- 210 с.
- 11 Теоретичні основи завадостійкого кодування: у трьох частинах / П.Ф. Олексенко [та ін.]; за редакцією В.Ф. Мачуліна; Національна академія наук України, Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є Лашкарьова, Націо-нальний університет біоресурсів і природокористування України. – Київ: НУБіП України, 2013. Ч.3.- 360 с.
- 12 Clark, George C., Jr., and J. Bibb Cain. *Error-Correction Coding for Digital Communications*. New York: Plenum Press, 1981.
- 13 Lin, Shu, and Daniel J. Costello, Jr. «Error Control Coding: Fundamentals and Applications». Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1983.
- 14 Mackenzie, Dana. «Communication speed nears terminal velocity». *New Scientist* 187.2507 (9 июля 2005): 38-41.
- 15 Multinomial representation of majority logic coding Conference: Information Theory, 2005. ISIT 2005. Proceedings. International Symposium on J.B. Moore, K.T. Tan
- 16 Жураковський Ю.П., Полторак В.П. Теорія інформації і кодування: Підручник. – К.: Вища шк., 2001. – 255 с.: іл..
- 17 Економіка підприємства: Підручник/За заг. ред. д.е.н., проф. Л.Г. Мельника. – Суми: ВТД «Університетська книга», 2004. – 648 с.
- 18 «Типове положення з планування, обліку і калькулювання собівартості продукції (робіт, послуг) у промисловості». Затверджено КМ України від 26 квітня 1996 р. № 473//Бізнес. - №32-35
- 19 Должанський І. З., Загорна Т. О. Конкурентоспроможність підприємства: Навчальний посібник //К.: Центр навчальної літератури. – 2016. – Т. 384.
- 20 Лупак Р. Л., Васильців Т. Г. Конкурентоспроможність підприємства: навч. посіб //Львів: Видавництво ЛКА. – 2016.
- 21 Подлевський Б., Рикалюк Р. Теорія інформації. – ЛНУ, 2018. — 342 с
- 22 Бондаренко І.М., Глушко А.П., Меньков О.М. Коди та кодування. Навч. посібник. – Харків. ХІ ВПС, 2003. – 116с.

					ЕЛІТ 8.171.00.10.450 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- 23 Кодування сигналів в електронних системах. Частина 3. Способи кодування сигналів: Том 1. Натуральні, ефективні та лінійні коди [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 171 «Електроніка», освітньої програми «Електронні прилади та пристрої» / С.В. Денбновецький, І.В. Мельник, Л.Д. Писаренко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 6,32 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021.
- 24 Захарченко М.В. Системи передавання даних. Том 1. Завадостійке кодування: Підручник. –Одеса: «Фенікс», 2009. – 448 с.
- 25 Барсов В.І., Краснобаєв В.А., Барсов В.А. і ін. Теорія інформації та кодування/ Під загальною редакцією В.І. Барсова: Підручник для студентів ВНЗ – Х.: УПА, 2011. – 320 с.
- 26 Воробієнко П.П., Нікітюк Л.А., Резніченко П.І. Телекомунікаційні та інформаційні мережі: Підруч. для ВНЗ. – К.: Саммит-книга, 2010. – С. 62–94.
- 27 Cox R.V., Hagenauer J., Seshadri N., Sundberg C.-E.W. Subband speech coding and matched convolutional channel coding for mobile radio channels. IEEE Trans. Signal Proces. 1991. Vol. 39. P. 1717 – 1731.
- 28 Yun L.C., Messerschmitt D.G. Variable Quality of Service in CDMA systems by statistical power control. IEEE Intl. Commun. Conf. Rec. 1995. P. 713 – 719.
- 29 Goldsmith A.J., Chua S.G. Adaptive Coded Modulation for Fading Channels. IEEE Transactions on Commun. 1998. Vol. 46. P. 595 – 602.
- 30 Твердотільна електроніка : навчальний посібник / О. А. Борисенко, О. М. Кобяков, А. І. Новгородцев та ін. – Суми : Сумський державний університет, 2013. – 270 с.
- 31 Схемотехніка електронних систем : підручник : у 3 кн. Кн 1. Аналогова схемотехніка та імпульсні пристрої / В. І. Бойко, А. М. Гуржій, В. Я. Жуйков та ін. – К. : Вища школа, 2004. – 366 с.
- 32 Матвієнко М. П. Комп'ютерна схемотехніка : навчальний посібник / М. П. Матвієнко, В. П. Розен. – К. : Ліра – К, 2013. – 192 с.
- 33 Gho G.H., Kahn J.M. Rate-Adaptive Modulation and Coding for Optical Fiber Transmission Systems. Journal of Light Wave Technology. 2012. Vol. 30. P. 1818 – 1828.

					ЕЛІТ 8.171.00.10.450 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		