

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
Кафедра електроніки і комп'ютерної техніки

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ БАКАЛАВРА  
НА ТЕМУ:

**ПРИСТРІЙ ЗАХИСТУ ВІД ПОМИЛОК НА ОСНОВІ  
КОДУ ХЕМІНГА**

Завідувач кафедрою електроніки  
і комп'ютерної техніки

\_\_\_\_\_ А.С. Опанасюк

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ І.А. Кулик

Студент гр. ЕСдн-51п

\_\_\_\_\_ О.С. Междорожній

Суми 2020

## РЕФЕРАТ

В кваліфікаційній роботі бакалавра був спроектований пристрій захисту від помилок на основі коду Хемінга передавальної частини системи передачі даних. Проектований пристрій працює за комбінованим режимом обміну даними, який полягає в тому, що у випадку незалежних одинарних помилок у каналі зв'язку їх виявлення та корегування здійснюється завадостійким кодом Хемінга, у разі їх більшої кількості та групування використовується зворотний канал у тому ж середовищі, що і прямий канал, із вирішальним зворотним зв'язком.

У кваліфікаційній роботі бакалавра зроблений огляд основних характеристик систем зв'язку та найбільш поширені методи підвищення вірності передачі даних. Були розроблені структурна схема, алгоритм функціонування та принципові схеми важливих блоків проектованого пристрою: блоків фазування по циклу, кодування на основі коду Хемінга, управління, формування номеру блоку. Проведені необхідні розрахунки для формату повідомлення, ймовірностей помилкового фазування при прийомі пакета та пропуску маркерної комбінації.

Для кваліфікаційної роботи бакалавра використано 8 літературних джерел. Область застосування даного пристрою – системи передачі даних із зворотним зв'язком для надійної передачі повідомлень в умовах появи незалежних одинарних помилок, схильних до групування в каналі зв'язку.

Кваліфікаційна робота бакалавра містить 47 сторінок тексту, 2 таблиці і 12 рисунків.

## ЗМІСТ

Список умовних скорочень .....	4
Введення .....	5
1 Огляд літератури та постановка завдання проектування .....	6
1.1 Основні характеристики системи передачі даних .....	6
1.2 Способи підвищення вірності передачі даних .....	7
1.3 Постановка завдання проектування .....	10
2 Розробка структурної схеми та алгоритму роботи проектowanego пристрою .....	12
2.1 Вибір способу захисту від помилок .....	12
2.2 Розробка формату повідомлення .....	14
2.3 Вибір завадостійкого коду .....	19
2.4 Вибір способу фазування по циклу .....	21
2.5 Синтез алгоритму функціонування проектowanego пристрою .....	28
2.6 Розробка структурної схеми проекowanego пристрою .....	32
3 Розробка принципів схем блоків проектowanego пристрою .....	35
3.1 Вибір елементної бази .....	35
3.2 Розробка принципової схеми блоку фазування по циклу .....	37
3.3 Розробка принципової схеми блоку кодування на основі коду Хемінга .....	38
3.4 Розробка принципової схеми блоку управління .....	40
3.5 Розробка принципової схеми блоку формувача номера блоку .....	41
3.6 Розробка принципової схеми генератора імпульсів .....	42
Висновок .....	44
Список літератури .....	46
Додаток .....	47

				<b>ЦЗДВН 6.05080202.804 ПЗ</b>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>				
<i>Разраб.</i>		Междорожній О.С.		<b>Пристрій захисту від помилок на основі коду Хемінга. Пояснювальна записка</b>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		Кулик І.А.				3	47
<i>Н. контр.</i>		Кулик І.А.			<b>СумДУ ЕСдн-51п</b>		
<i>Утв.</i>		Опанасюк А.С.					

## СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АПД – апаратура передачі даних

КУД – кінцеве устаткування даних

ПЗП – пристрій захисту від помилок

ПФЦ – пристрій фазування по циклу

СПД – система передачі даних

ФК – фазуюча комбінація

					ЦЗДВН 6.05080202.804 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		4

## ВВЕДЕННЯ

Передача інформації в цей час здійснюється переважно в цифровій формі. Подібна передача повідомлень володіє рядом переваг у порівнянні з аналоговою: підвищення точності передачі й обробки сигналів, що 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 й розподілу інформації за допомогою використання однотипних цифрових сигналів і множинного доступу до передавального середовища; можливість забезпечення скритності передачі шляхом кодової шифрації повідомлень; нечутливість цифрових каналів до ефекту нагромадження скривлень сигналів при ретрансляціях; розвиток систем зв'язку, що забезпечують ефективно використання дорогих комунікаційних ресурсів; гнучкість організації цифрових засобів передачі й обробки даних, що допускає використання мікроЕОМ, мікросхем з великим ступенем інтеграції.

Одним з найважливіших завдань при побудові апаратури передачі і захисту від помилок є забезпечення завадозахищеності даних. Це завдання набуває особливого значення при передачі даних по каналах зв'язку в умовах підвищеного рівня перешкод, наприклад в умовах виробництва поблизу джерел електромагнітного випромінювання.

Одним з шляхів рішення вказаної задачі є використання завадостійких помилковиявляючих і виправляючих кодів.

					ЦЗДВН 6.05080202.804 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

# 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ПРОЕКТУВАННЯ

## 1.1 Основні характеристики системи передачі даних

Основними характеристиками, що визначають якість і ефективність передачі даних, являються швидкість і вірність передачі. Важливим показником є складність апаратної реалізації, що визначає її вартість [1].

Швидкість передачі інформації  $V$  дорівнює кількості інформації, що передається по КЗ за одиницю часу, біт/сек [1]:

$$V = \frac{\log_2 m_c}{\tau_0},$$

де  $m_c$  – кількість позицій сигналу;

$\tau_0$  – тривалість одиничного елемента сигналу.

Для двопозиційних сигналів на основі попередньої формули [1]:

$$V = \frac{1}{\tau_0}.$$

Величина  $1/\tau_0$  визначає кількість елементів, що передаються по каналам зв'язку в секунду, і носить назву швидкості модуляції  $B$  (Бод). Таким чином, для двійкових систем швидкості передачі інформації і модуляції співпадають. Застосування багатопозиційних сигналів дозволяє при одній і тій же швидкості модуляції підвищити в порівнянні з двопозиційними системами швидкість передачі.

Вірність передачі даних кількісно оцінюється вірогідністю помилкового прийому одиничних елементів  $P_0$  і кодової комбінації  $P_{KK}$ , які визначаються таким чином [1]:

$$P_0 = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n_{\text{пм}}}{n}, \quad P_{KK} = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{N_{\text{пм}}}{N},$$

де  $n_{\text{пм}}$ ,  $N_{\text{пм}}$  – кількість помилково прийнятих одиничних елементів і кодових комбінацій відповідно;

$n$ ,  $N$  – кількість переданих одиничних елементів і кодових комбінацій відповідно.

У зв'язку з обмеженим числом  $n$  і  $N$  на практиці замість вірогідності  $P_0$  і  $P_{\text{КК}}$  використовують коефіцієнти помилок по елементах  $K_0$  і по кодових комбінаціях  $K_{\text{КК}}$ :

$$K_0 = \frac{n_{\text{ПМ}}}{n}, \quad K_{\text{КК}} = \frac{N_{\text{ПМ}}}{N}.$$

Для телефонних каналів коефіцієнт  $K_0$  нормується рекомендацією МККТТ V53. Його величина залежить від типу каналу і швидкості модуляції.

Коефіцієнт помилки по кодових комбінаціях  $K_{\text{КК}}$  незалежно від типу каналу і швидкості передачі має бути не більше  $10^{-6}$ .

Існують наступні підходи до боротьби з перешкодами [2]:

- використання підземних каналів зв'язку, які менше залежать від зовнішніх умов і мають стабільні параметри;
- використання зворотного каналу в дуплексному режимі, вирішального або інформаційного зворотного зв'язку;
- використання надмірних завадостійких кодів, здатних коригувати помилки на приймальному кінці.

Останні два підходи характеризуються застосуванням завадостійких кодів, що дозволяють виявляти і виправляти помилки, що виникають при перетвореннях або передачі інформації.

## 1.2 Способи підвищення вірності передачі даних

Інформація в кабельних локальних мережах передається в закодованому виді, тобто кожному біту переданої інформації відповідає свій набір рівнів електричних сигналів у мережному кабелі. Модуляція високочастотних сигналів застосовується в основному в безкабельних мережах, у радіоканалах. У кабельних мережах передача йде без модуляції або, як ще говорять, в основній смузі частот.

Правильний вибір коду дозволяє підвищити вірогідність передачі інформації, збільшити швидкість передачі або знизити вимоги до вибору кабелю. Наприклад, при різних кодах гранична швидкість передачі по тому самому кабелі може відрізнятись у два рази. Від обраного коду прямо залежить також складність мережної апаратури (вузли кодування й

					ЦЗДВН 6.05080202.804 ПЗ	Лист
						7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

декодування коду). Код повинен в ідеалі забезпечувати гарну синхронізацію прийому, низький рівень помилок, роботу з будь-якою довжиною переданих інформаційних послідовностей.

Завдання підвищення вірогідності переданих даних вирішується шляхом застосування спеціальних методів, їхня загальна класифікація представлена на рисунку 1.

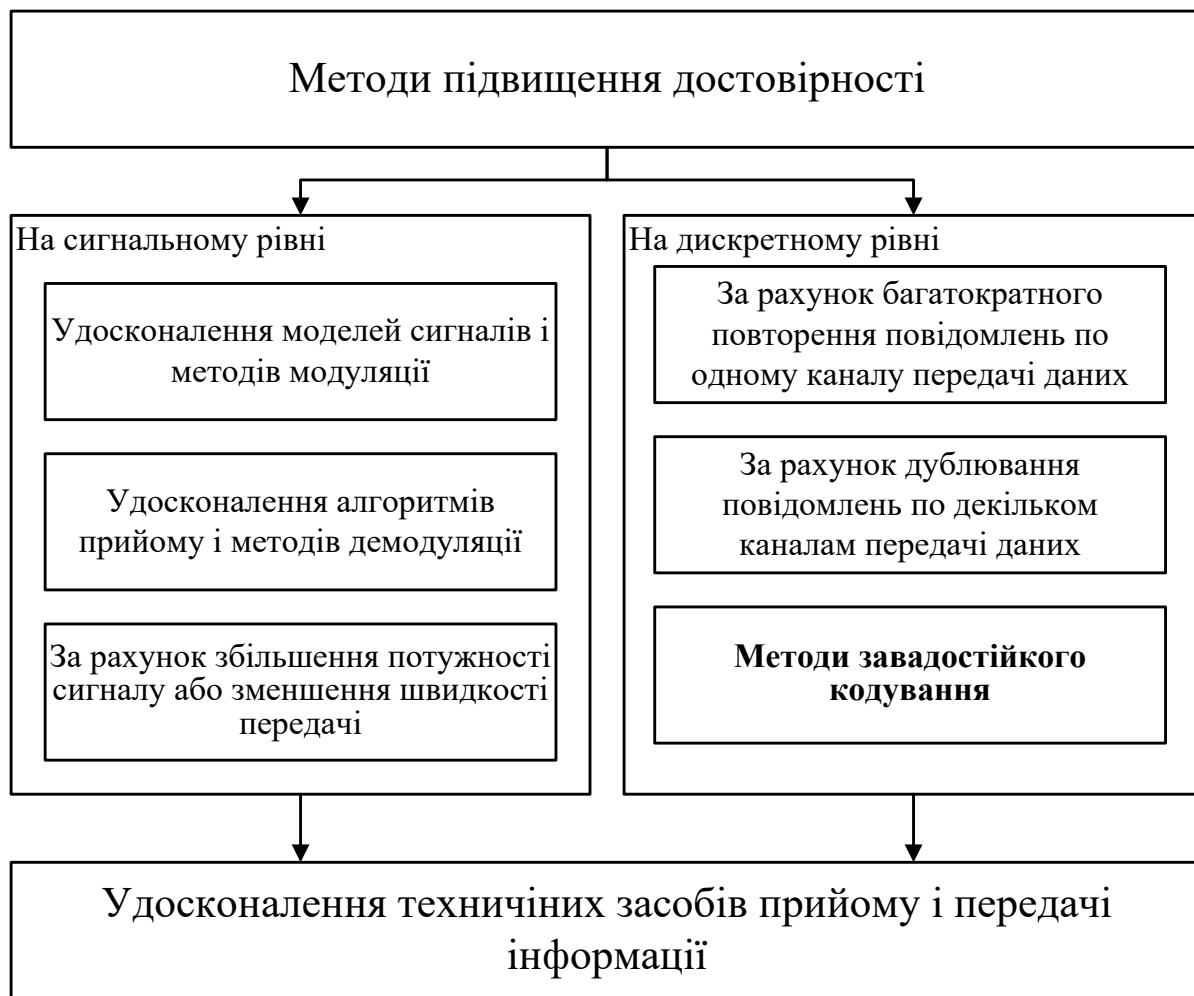


Рисунок 1 – Методи підвищення вірогідності повідомлень

Передача інформації між двома досить віддаленими пристроями вимагає подання її у вигляді послідовного потоку бітів, характеристики якого залежать від особливостей конкретної системи. Фізичною основою такої системи є лінія зв'язку, що звичайно виконується у вигляді крученої пари проводів, коаксіального кабелю або оптичного світловоду. Залежно від відстані дані, передані по лінії, можуть однократно або багаторазово



піддаватися ретрансляції з метою відновлення амплітуди та часових характеристик.

Алгоритми роботи передавача, ретранслятора і приймача визначаються обраним кодом, призначеним для передачі по лінії, або лінійним кодом.

Форми цифрових сигналів, призначених для передачі по лінії зв'язку, одержали найменування лінійних кодів. Лінійні коди застосовуються для передачі даних без модуляції в первинній смузі частот, що починається з нуля [3].

На вибір коду впливає, по-перше, нелінійність модуляційної характеристики й температурна залежність випромінюваної оптичної потужності лазера, які приводять до необхідності використання дворівневих кодів.

По-друге, вид енергетичного спектра, що повинен мати мінімальний зміст низькочастотних і високочастотних компонент. Енергетичний спектр містить безперервну й дискретну частини. Безперервна частина енергетичного спектра цифрового сигналу залежить від інформаційного сигналу й типу коду. Для того щоб цифровий сигнал не спотворювався в підсилювачі змінного струму фотоприймача, бажано мати низькочастотну складову безперервної частини енергетичного спектра подавленою. У протилежному випадку для реалізації оптимального прийому перед вирішальним пристроєм регенератора потрібне введення додаткового пристрою, призначеного для відновлення низькочастотної складової, що ускладнює встаткування лінійного тракту. Існує ще одна причина для зменшення низькочастотної складової сигналу – оптична потужність, випромінювана напівпровідниковим лазером, залежить від навколишньої температури і може бути легко стабілізована за допомогою негативного зворотного зв'язку за середнім значенням випромінюваної потужності тільки в тому випадку, коли відсутня низькочастотна частина спектра, що змінюється в часі. Інакше в ланцюг негативного зворотного зв'язку необхідно вводити спеціальні пристрої, що компенсують ці зміни.

По-третє, вибіру коду необхідно проводити з урахуванням наявності змісту інформації про тактовий синхросигнал в лінійному сигналі. У приймачі ця інформація використовується для відновлення фази й частоти синхронізуючого коливання, необхідного для керування ухваленням рішення

					ЦЗДВН 6.05080202.804 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

в пороговому пристрої. Здійснити синхронізацію тим простіше, чим більше число переходів логічного рівня в цифровому сигналі. Кращим з погляду відновлення тактової частоти й простоти реалізації схеми виділення синхронізуючої інформації, є сигнал, що має в енергетичному спектрі дискретну складову на тактовій частоті.

По-четверте, код не повинен мати яких-небудь обмежень на передане повідомлення й забезпечувати однозначну передачу будь-якої послідовності нулів і одиниць.

В-п'ятих, код повинен забезпечувати можливість виявлення й виправлення помилок. Основною величиною, що характеризує якість зв'язку, є частковість появи помилок або коефіцієнт помилок, обумовлений відношенням середньої кількості неправильно прийнятих посилок до їхнього загального числа. Контроль якості зв'язку необхідно робити, не перериваючи роботу лінії. Ця вимога припускає використання коду, що є надмірним, тоді досить фіксувати порушення правил формування коду, що б контролювати якість зв'язку.

Крім перерахованих вище вимог на вибір коду впливає простота реалізації, низьке споживання енергії й мала вартість устаткування лінійного тракту [4].

### 1.3 Постановка завдання проектування

Проектований пристрій захисту від помилок призначений для забезпечення вірності інформації, що передається, на заданому рівні виявлених та відкорегованих помилок в інформаційних повідомленнях. При цьому слід враховувати, пристрій, який розроблюється, працює у складі передавальної частини апаратури передачі даних.

Умови використання пристрою захисту від помилок наступні:

- застосований телефонний канал зв'язку, тобто смуга пропускання 300-3400 Гц;
- незалежні помилки в каналі зв'язку, як правило, одинарні;
- можливість використання зворотного зв'язку в тому середовищі, що і прямий канал зв'язку.

					ЦЗДВН 6.05080202.804 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

В процесі проектування пристрою захисту від помилок необхідно витримувати мінімальний обсяг витрат при виконанні поставлених вимог. Для проектування заданого пристрою захисту від помилок передавача на основі коду Хемінга формулюються наступні технічні вимоги:

- виявлення усіх однократних та двократних помилок;
- корегування усіх однократних помилок;
- технічна швидкість передачі даних менше або дорівнює 2400 біт/с;
- формування інформаційних пакетів;
- фазування по циклах передавача та приймача;
- імовірність помилкового фазування менше або дорівнює  $2,4 \cdot 10^{-5}$ .

					ЦЗДВН 6.05080202.804 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

## 2 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ТА АЛГОРИТМУ РОБОТИ ПРОЕКТОВАНОГО ПРИСТРОЮ

### 2.1 Вибір способу захисту від помилок

Основним способом підвищення вірності передачі дискретних повідомлень є введення в передану послідовність надмірності з метою виявлення й виправлення помилок у прийнятій інформації. Усі пристрої захисту від помилок (ПЗП) діляться на дві групи: симплексні (без зворотного зв'язку) і дуплексні (зі зворотним зв'язком) [1, 2].

У симплексні (однобічних) ПЗП підвищення вірності може бути досягнуто трьома способами: шляхом багаторазового повторення символів; одночасною передачею однієї й тієї ж інформації по декільком паралельним каналам; застосуванням кодів, що виправляють помилки.

До дуплексної групи ПЗП ставляться пристрої, у яких підвищення вірності переданої інформації досягається за рахунок уведення зворотного зв'язку. Вони, у свою чергу, діляться на системи з вирішальним, інформаційним і комбінованим зворотним зв'язком. Сутність підвищення вірності в цих системах полягає в тому, що при виявленні викривлень у переданому повідомленні відбувається запит блоку, у якому один або більше неправильно прийнятих знаків. У системах з вирішальним зворотним зв'язком передані дані кодуються надлишковими кодами, що дозволяють виявити одиночні помилки або пачки (групи) помилок. Розв'язок про необхідність повторення блоку інформації, у якому виявлена помилка, ухвалюється приймачем на підставі зробленого аналізу послідовності. У випадку виявлення в прийнятому блоці помилок він стирається й по каналу зворотного зв'язку приймальня станція посилає сигнал "Запит", на підставі якого передавач повторно видає цей же блок. При безпомилковому прийманні блоку дані надходять споживачеві, а по каналу зворотного зв'язку передається сигнал "Підтвердження".

В ПЗП з інформаційним зворотним зв'язком немає необхідності вводити надмірність у передані дані. Двійкова послідовність, зафіксована приймачем, запам'ятовується й потім по каналу зворотного зв'язку передається вся або у вигляді вкороченої кодової комбінації, що містить певні ознаки всієї послідовності, на передавальну сторону. Отримана по

					ЦЗДВН 6.05080202.804 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

каналу зворотного зв'язку інформація аналізується передавальною станцією, яка за результатами аналізу ухвалює рішення щодо передачі наступного блоку або про повторення помилково прийнятого. Цей розв'язок повідомляється на прийомну сторону й на його підставі отримана інформація видається споживачеві або стирається.

ПЗП з комбінованим зворотним зв'язком являють собою комбінацію пристроїв з інформаційним й вирішальним зворотним зв'язком. У них розв'язок про необхідність повторної передачі може ухвалюватися як на передавальній, так і на приймальній сторонах, а по каналу зворотного зв'язку можуть передаватися інформаційні елементи або сигнали "Запит" і "Підтвердження".

Однієї з головних завдань проектування ПЗП є вибір способу захисту від помилок, який при мінімальних витратах забезпечить виконання поставлених вимог. Під витратами мається на увазі не тільки вартість апаратури, але й необхідні смуга частот (необхідне число каналів зв'язки), час на передачу повідомлення, а також вартість обслуговування пристрою в процесі експлуатації [1, 2].

При наявності дуплексних каналів зв'язку в більшості випадків доцільно використовувати ПЗП із зворотним зв'язком. Пристрої з інформаційним зворотним зв'язком дозволяють виявляти помилки практично будь-якої кратності, але до каналу зворотного зв'язку пред'являються такі ж вимоги, як і до прямого. Тому ПЗП з інформаційним зворотним зв'язком найбільше ефективно можуть бути використані при швидкості передачі 300/200 біт/с, тому що пристрої перетворення сигналів (ППС) для такої швидкості утворюють у смузі каналу тональної частоти два ідентичних двонапрямних дискретних канала. Якщо передача даних повинна здійснюватися на швидкості 600 біт/с і вище, те ефективність використання каналу зв'язку ПЗП з інформаційним зворотним зв'язком знижується й у цьому випадку для підвищення завадостійкості передачі символів слід застосовувати ПЗП з вирішальним зворотним зв'язком.

При зниженні якості каналу зв'язку в системах із зворотним зв'язком час затримки повідомлення різко збільшується, а в найгіршому разі видача інформації споживачеві може взагалі припинитися. Щоб не допустити цього, на каналах низької якості доцільно сполучати методи підвищення вірності

передачі інформації. Наприклад, при гарному стані каналу ПЗП працює із зворотним зв'язком, а при його погіршенні переходить у режим однобічної передачі з виправленням помилок.

Виходячи із усього вище викладеного можна зробити вивід, що для даного завдання ефективно використовувати канал зв'язку ПЗП з вирішальним зворотним зв'язком, тому що передача даних повинна здійснюватися на швидкості 2400 біт/с. Тому що в каналі зв'язку не відбувається групування помилок, те найбільш ефективним способом захисту є використання кодів з виявленням і виправленням помилок.

## 2.2 Розробка формату повідомлення

У процесі розробки СПД необхідно ПЗП спроектувати так, щоб забезпечити необхідну завадостійкість при максимальній ефективній швидкості передачі даних. Завадостійкість і ефективна швидкість залежать від надмірності переданих повідомлень, причому зі збільшенням надмірності завадостійкість підвищується, а ефективна швидкість падає.

Для блокових роздільних кодів, при яких кодування й декодування здійснюються незалежно для кожної кодової комбінації (блоку), надмірність  $R$  визначається по формулі [1, 5]:

$$R = 1 - \frac{k}{n_6} = \frac{r}{n_6}, \quad (1)$$

де  $k$  – кількість інформаційних елементів;

$n_6$  – загальна кількість елементів в блоці;

$r$  – число перевірочних елементів.

Ефективна швидкість передачі інформації  $V_{\text{еф}}$  при цьому дорівнює:

$$V_{\text{еф}} = \frac{n_6 - r}{n_6 \tau_0} = V \left( 1 - \frac{r}{n_6} \right) = V(1 - R), \quad (2)$$

де  $V$  – швидкість передачі, біт/с, чисельно дорівнює для дворівневих систем швидкості модуляції;

$$V = \frac{1}{\tau_0}. \quad (3)$$

					ЦЗДВН 6.05080202.804 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

У реальних СПД ефективна швидкість буде менше за рахунок передачі в каналі, крім перевірючих елементів, додаткової службової інформації, що полягає з  $n_{\text{сл}}$  біт, тобто з урахуванням (1), (2) та (3):

$$V_{\text{еф}} = \frac{n_{\text{б}} - r - n_{\text{сл}}}{n_{\text{б}} \tau_0} = V \left( 1 - \frac{r + n_{\text{сл}}}{n_{\text{б}}} \right).$$

У системах зі зворотним зв'язком ефективна швидкість ще більше знижується за рахунок повторної передачі перекручених блоків. У цьому випадку  $V_{\text{еф}}$  визначається по формулі:

$$V_{\text{еф}} = V \left( 1 - \frac{N_{\text{пб}}}{N_{\text{б}}} \right) \left( 1 - \frac{r + n_{\text{сл}}}{n_{\text{б}}} \right), \quad (4)$$

де  $N_{\text{б}}$  – загальна кількість переданих блоків за час сеансу зв'язку;

$N_{\text{пб}}$  – число повторно переданих блоків, що залежить від функції розподілу помилок в інтервалі часу передачі повідомлення й від довжини блоку, тобто  $N_{\text{пб}} = f [P_o(t), n_{\text{б}}]$  [1, 2].

Припустимо, що помилки на інтервалі часу розподілені рівномірно, а часовий інтервал між помилками в середньому перевищує довжину блоку, тоді число повторно переданих блоків визначимо [1, 5] по формулі:

$$N_{\text{пб}} = \frac{N_{\text{б}} P_o n_{\text{б}}}{1 - P_o n_{\text{б}}}. \quad (5)$$

Величина  $N_{\text{б}}$  являє собою верхню границю числа повторно переданих блоків. Отже, оцінка нижньої границі ефективної швидкості може бути отримана на основі (4) з обліком (5):

$$V_{\text{еф min}} = V \left( 1 - \frac{P_o n_{\text{б}}}{1 - P_o n_{\text{б}}} \right) \left( 1 - \frac{r + n_{\text{сл}}}{n_{\text{б}}} \right). \quad (6)$$

Як видно з (6), ефективна швидкість залежить від значення ймовірності помилкового приймання одиничних елементів  $P_o$ , кількості перевірючих  $r$  і службових  $n_{\text{сл}}$  біт і від довжини блоку  $n_{\text{б}}$  (залежність від  $n_{\text{б}}$  нелінійна). Задаючись рядом значень  $n_{\text{б}}$  при фіксованих  $P_o$ ,  $r$  і  $n_{\text{сл}}$  можна побудувати графік залежності  $V_{\text{еф}}$  від  $n_{\text{б}}$  і знайти оптимальне значення довжини блоку.

Наявність у каналі зв'язку пачки помилок теж приводить до зниження ефективної швидкості передачі. Припустимо, що потік помилок у дискретному каналі описується розповсюдженою моделлю Беннета-Фройліха, при якій пачки є незалежними подіями, а також, що кожний пакет

викликає повторну передачу тільки одного блоку повідомлення й інтервал між пачками помилок у середньому перевищує довжину блоку. Оптимальна довжина блоку може бути знайдена шляхом побудови залежності  $V_{\text{эф}} = \varphi(n_6)$  при заданих значеннях  $P_{\text{по}}$ ,  $r$  і  $n_{\text{сл}}$ .

Для підвищення ефективності передачі даних метод кодування слід вибирати таким чином, щоб задана завадостійкість забезпечувалася при мінімальному числі перевірочних елементів  $r$ , те ж ставиться й до службових знаків. Величина  $r$  залежить від використовуваного коду, який вибирається виходячи з необхідної ймовірності помилкового приймання кодової комбінації  $P_{\text{кк}}$  і характеру помилок у дискретному каналі.

Передача повідомлень від відправника до одержувача звичайно здійснюється поблочно. Блок може містити десятки й сотні символів (кодкових комбінації). Збільшення довжини блоку веде до підвищення числа перевірочних елементів  $r$ , однак  $r$  збільшується значно повільніше  $n_6$ . Тому, якщо необхідно забезпечити максимальну ефективну швидкість передачі інформації, те потрібно збільшувати довжину блоку. Оптимальна величина блоку визначається із графіка залежності  $V_{\text{эф}} = \varphi(n_6)$  при фіксованих  $P_{\text{о}}$ ,  $n_{\text{сл}}$  і  $r$  (це збільшення довжини блоку приводить до збільшення затримки видачі інформації одержувачеві й ускладнює апаратну реалізацію СПД).

На практиці рекомендується використовувати інформаційні блоки довжиною  $k$  біт, обираєні з ряду 120, 240, 480, 960 біт . Прийнятною ефективною швидкістю вважається  $V_{\text{эф}} = (0,90 \div 0,95)V$ , біт/с.

З метою запобігання втрати блоку або вставки (повторно переданого того самого блоку) кожному блоку при передачі слід привласнювати певний порядковий номер НБ, а на прийомній стороні контролювати дотримання черговості їх вступу. При цьому необов'язково робити наскрізну нумерацію блоків для всього переданого масиву. Кількість номерів повинна бути на одиницю більше числа повторюваних блоків при виявленні помилок, тобто досить через певний цикл (3-6 блоків) циклічно повторювати ці номери. Наприклад: № 1, № 2, № 3, № 4, № 1, № 2 і т.д. Це дозволить зменшити число елементів  $pn$ , виділюваних для кодування номерів блоків.

Крім НБ у блок можуть бути введені комбінації, що позначають початок НТ і кінець КТ блоку, що полягають із  $n_{\text{н}}$  і  $n_{\text{к}}$  біт відповідно. Ці комбінації для коду, використовуваного для передачі даних, мають



стандартні значення: НТ – 0000010 і КТ – 0000011. У багатьох практичних випадках знаки НТ і КТ уводять до складу інформації, формованої відправником, і немає необхідності формувати їх у СПД. Тоді ознакою початку блоку може бути комбінація НБ, а приймання номера наступного блоку свідчить про закінчення попереднього.

До складу службових символів блоку може входити фазуюча кодова комбінація (ФК), що полягає з  $L$  одиничних елементів, яка служить для забезпечення синхронного перемикання передавального й прийомного розподільників. Таким чином, формат блоку повідомлення в каналі зв'язку має вигляд, показаний на рисунку 2. Кількість службових біт  $n_{сл}$  дорівнює сумі  $n_{сл} = n_n + n_k + L + np$ .

Виходячи із усього вище викладеного, приймемо наступні твердження:

а) ознакою початку блоку є комбінація НБ, а приймання номера наступного блоку свідчить про закінчення попереднього;

б) кількість номерів блоків повинне бути на одиницю більше числа повторюваних блоків при виявленні помилок, що дозволить зменшити число елементів  $np$ , виділюваних для кодування номерів блоків;

в) кількість перевірочних розрядів  $r \geq 8$  (виходячи із принципів побудови коду Хемінга).

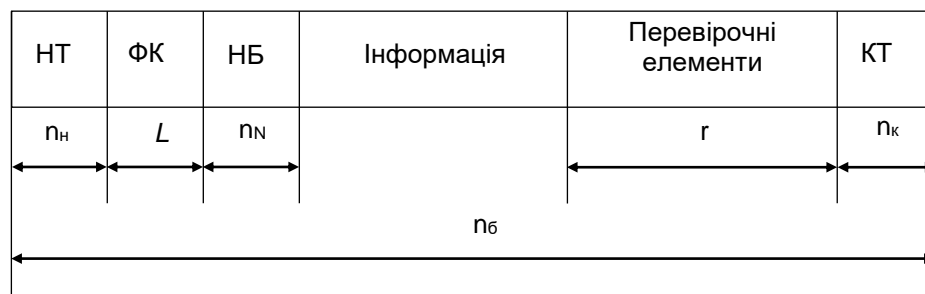


Рисунок 2 – Типовий формат блоку повідомлення

Отже,  $n_{сл} = L + np$ , при цьому приймемо  $np$  рівним 4 бітам.

У якості формули для розрахунків ефективної швидкості СПД із вирішальної зворотним зв'язком оберемо (6), замінивши в ній відповідно ймовірність помилкового приймання елемента  $P_0$  на ймовірність появи пачки

помилки  $P_{\text{по}}$ . Оптимальна довжина блоку може бути знайдена шляхом побудови залежності  $V_{\text{еф}}/V = \varphi(n_{\text{б}})$  при заданих значеннях  $P_{\text{по}}$ ,  $r$  і  $n_{\text{сл}}$ .

Задаючись рядом значень  $n_{\text{б}} = 50, 150, 300$ , а також значеннями  $n_{\text{сл}} = 28$ , і фіксованому  $r = 9$ , одержимо графіки залежності  $V_{\text{еф}}/V = \varphi(n_{\text{б}})$ , з яких і знайдемо оптимальне значення довжини блоку. Тому що код Хемминга виправляє помилки, розрахункова формула буде мати вигляд:

$$\frac{V_{\text{еф min}}}{V} = \left(1 - \frac{r + n_{\text{сл}}}{n_{\text{б}}}\right) = \left(1 - \frac{9 + 28}{n_{\text{б}}}\right).$$

Результати розрахунків зведемо в таблицю й побудуємо графіки  $V_{\text{еф}}/V = \varphi(n_{\text{б}})$  (см. рисунок 3).

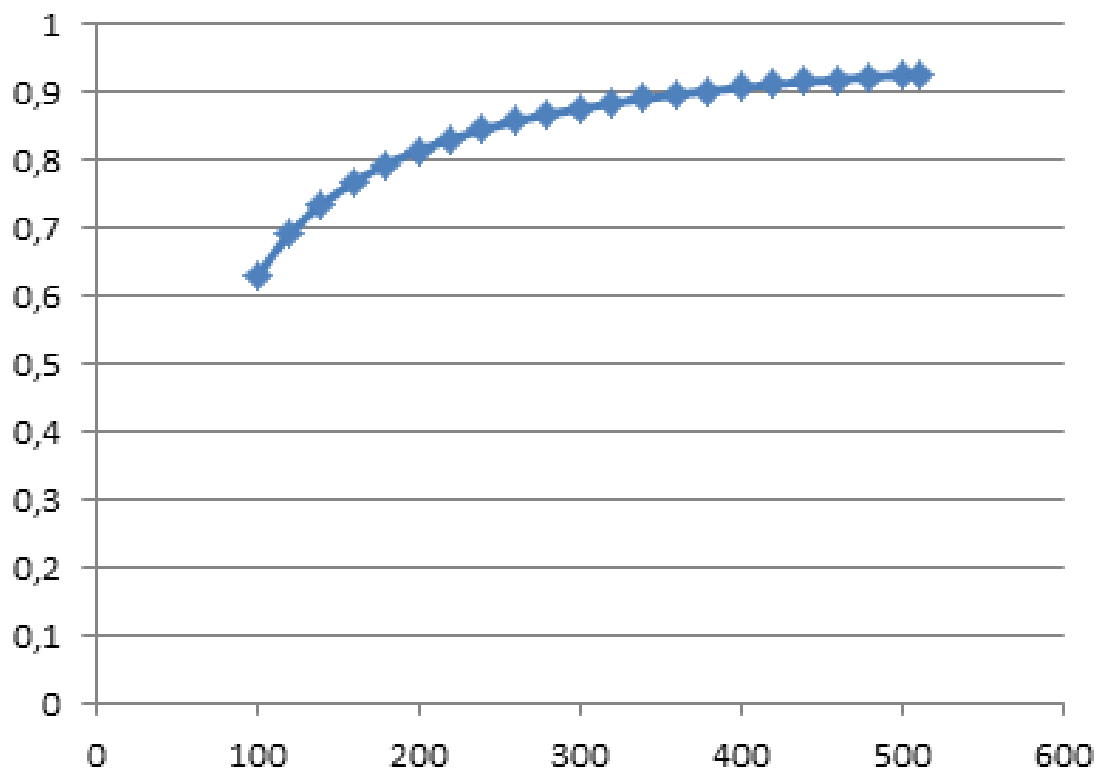


Рисунок 3 – Графік залежності  $V_{\text{еф}}/V = \varphi(n_{\text{б}})$

З рисунка 3 можна побачити, що максимум функції  $V_{\text{еф}}/V = \varphi(n_{\text{б}})$  буде спостерігатися при  $n_{\text{б}} = 388$ . Отже оптимальне значення довжини блоку рівно  $n_{\text{б}} = 388$ .

## 2.3 Вибір завадостійкого коду

Вибираючи завадостійкий код, насамперед, необхідно враховувати його коригувальну здатність, яка залежить від кодової відстані  $d$ , чисельно рівної мінімальному числу елементів, якими відрізняється будь-яка кодова комбінація від іншої. У загальному випадку

$$d = t_b + t_k + 1,$$

де  $t_b$  й  $t_k$  – числа помилок, що виявляються та ті, що й виправляються, відповідно, причому обов'язково  $t_k \geq t_b$ .

Якщо код тільки виявляє помилки, то

$$d = t_b + 1,$$

а у випадку тільки виправлення помилок

$$d = 2t_b + 1.$$

Кількість перевірочних елементів  $r$  коригувального коду залежить від виду коду, а число інформаційних елементів

$$k = n - r,$$

де  $n$  – довжина двійкової послідовності, кодированої завадостійким кодом. Відношення  $r$  до  $n$  називають коефіцієнтом надмірності коду.

У нашому випадку, коли код виправляє одиночні помилки й виявляє будь-яку кількість помилок:

$$d = 2t_b + 1 = 2 + 1 = 3.$$

Код Хемінга – один з найбільш ефективних кодів, що дозволяють виправляти одиночні помилки [2, 6]. Кодова відстань  $d = 3$ . Код утворюється шляхом доповнення інформаційної частини переданого блоку, що полягає з  $k$  біт,  $r$  перевірочними елементами, причому в інформаційну частину при кодуванні можна включати й службові символи (номер, початок і кінець блоку), за винятком маркерних комбінацій, які доцільно розташовувати на початку блоку. При виборі довжини переданого блоку  $n$  й кількості перевірочних елементів  $r$  слід керуватися нерівністю  $2^r \geq n + 1$ . Враховуючи, що  $r = n - k$ , нерівність запишеться у вигляді

$$2^k \leq \frac{2^n}{n + 1},$$

де  $n$  й  $k$  – цілі числа. Нерівність є вихідною для визначення довжини кодової комбінації по заданому числу  $k$ .

					ЦЗДВН 6.05080202.804 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

Зробимо перетворення формули:

$$k \leq n - \log_2(n + 1),$$

$$V_{\text{еф}} = V \left( 1 - \frac{r}{n\sigma} \right) \geq 0,9.$$

Для знаходження  $n$  і  $k$  повинні виконуватися умови цих двох формул.  
Будуємо графіки дозволених значень:

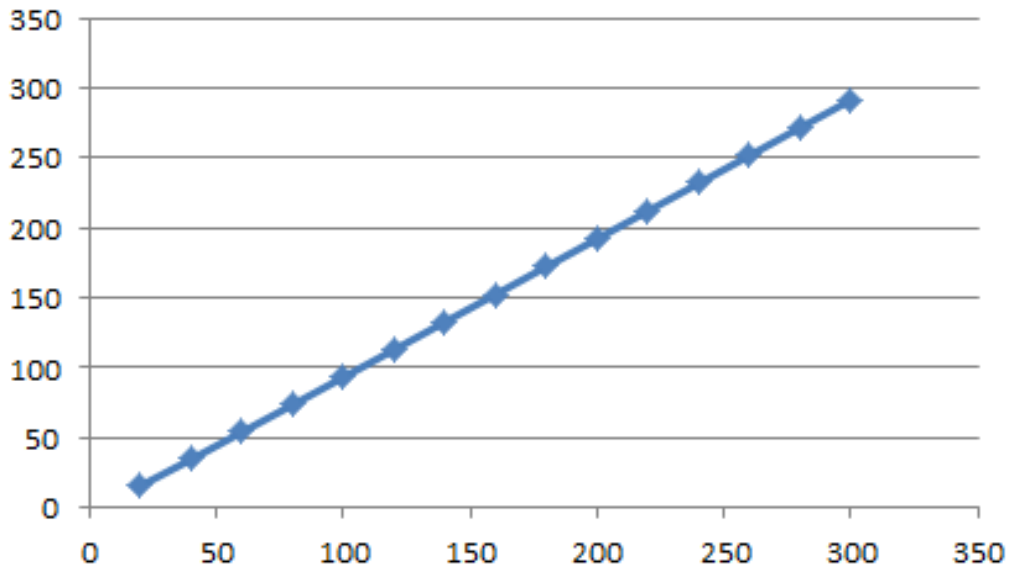


Рисунок 4 – Графік залежності  $k \leq n - \log_2(n + 1)$

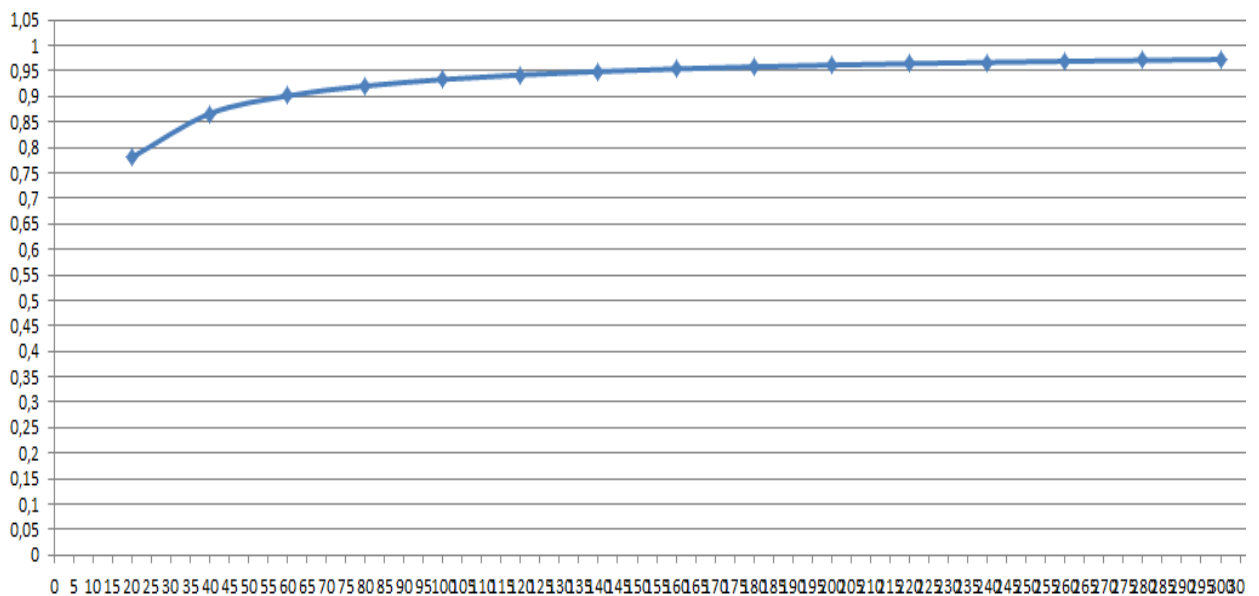


Рисунок 5 – Графік залежності  $V_{\text{еф}} = V(1 - r/n\sigma)$

Із графіків 4 і 5 вибираємо значення  $n = 73$ ,  $k = 64$  та  $r = 9$ .

Перший перевірочний елемент  $\Pi_1$  коду Хемінга утворюється підсумовуванням по модулю 2 усіх непарних біт блоку, починаючи з першого [2, 6]:

$$\Pi_1 = a_1 + a_3 + a_5 + a_7 + \dots$$

Результат перевірки  $\Pi_2$  визначає другий розряд перевірочної комбінації (синдрому помилки). Він обчислюється підсумовуванням тих біт блоку, номери яких відповідають  $n$ -розрядним двійковим числам, що мають одиницю в другому розряді, тобто

$$\Pi_2 = a_2 + a_3 + a_6 + a_7 + a_{10} + a_{11} + \dots$$

Третя перевірка  $\Pi_3$  охоплює розряди, номери яких відповідають  $n$ -розрядним числам, що мають одиницю в третьому розряді. Аналогічно враховують розряди, охоплені четвертою, п'ятою, і т.д. перевітками:

$$\Pi_3 = a_4 + a_5 + a_6 + a_7 + a_{12} + a_{13} + \dots$$

$$\Pi_4 = a_8 + a_9 + a_{10} + a_{11} + a_{12} + a_{13} + \dots$$

$$\Pi_5 = a_{16} + a_{17} + a_{18} + a_{19} + a_{20} + \dots$$

Місце розташування перевірочних елементів не має значення, їх можна розміщати перед, після й чергуючи з інформаційними символами. Якщо їх розташувати на місцях кратних ступеня 2, тобто на позиціях 1, 2, 4, 8 і т.д., то код двійкового числа, утвореного перевірочними елементами, на прийомній стороні буде вказувати номер розряду, у якому відбулася помилка.

## 2.4 Вибір способу фазування по циклу

Пристрої фазування по циклу (ПФЦ) служать для визначення початку блоку інформації (циклу) у прийнятій послідовності цифрових сигналів, що необхідно для правильного декодування повідомлення. Фазування по циклах являє собою процес примусового встановлення певного фазового співвідношення між розподільниками на передавальній і приймальній сторонах АПД, при якому перший, переданий у канал зв'язку, біт направляється в першу комірку прийомного регістру, другий – у другу і т.д. Для здійснення процесу фазування на прийомній стороні необхідно мати відомості про фазу передавального розподільника. На відміну від поелементної синхронізації ці відомості необхідно посилати на прийомну

					ЦЗДВН 6.05080202.804 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

частину АПД на початку передачі, або протягом усього сеансу зв'язку. Способи фазування по циклах можна розділити на дві групи [5].

Безмаркерні (з одноразовим запуском), при яких під час передачі інформації фазуючі сигнали (маркери) не передаються, а фазування здійснюється за рахунок видачі в канал спеціальної фазуючої послідовності перед початком передачі повідомлення й у паузах між передачею окремих блоків інформації.

Маркерні (з безперервною синхронізацією), при яких протягом усього сеансу зв'язку по каналу разом з інформаційними сигналами передаються спеціальні кодові комбінації (маркери), використовувані для фазування АПД по циклу [5].

Також розрізняють синхронні й стартозастопні способи фазування. У синхронних – цикли фіксованої довжини впливають безупинно один за одним, у зв'язку із чим їх початок і кінець у зфазованному приймачі заздалегідь відомі. При стартозастопному – цикл може початися в довільний момент часу, а довжина його – бути довільною. У проміжках між видачею блоків передавальний і прийомний розподільники перебувають на "Стопі". Запуск їх відбувається під дією команди "Старт", подаваної перед початком блоку в канал зв'язку. Команда "Старт" може бути представлена окремим сигналом або кодовою комбінацією.

Безмаркерне фазування реалізується декількома способами [5]:

1) встановлення необхідної початкової фази здійснюється шляхом передачі пускових (фазуючих) комбінацій. У системах обміну інформацією зі зворотним зв'язком переданий синхроблок, що складається зі спеціальної фазуючої комбінації й доповнений сигналами типу "крапка", які призначені для швидкого встановлення синхронізації по елементах, передається на прийомну станцію доти, поки по зворотному каналу не буде отримане підтвердження встановлення початкової фази прийомного розподільника;

2) фазування з адресно-пусковими комбінаціями. Такий спосіб застосовується в системах обміну інформацією, коли той самий канал використовується для передачі даних декількома споживачами, що мають різні адреси. Фазуючий блок при цьому способі доповнюється адресною комбінацією, причому до структури адресної частини пред'являються такі ж високі вимоги по завадостійкості, як і до пускових комбінацій.

Маркерні ПФЦ (з безперервною передачею фазуючих сигналів) залежно від виду маркерної комбінації реалізуються різними способами:

1) пристрої з явно вираженою фазуючою комбінацією, сумісної з інформаційними символами, що входять у блок. Під сумісністю розуміється можливість появи в інформаційному блоці групи символів, що збігаються з маркерною комбінацією, причому при збоях циклової фази маркери можуть виділятися з інформаційної послідовності, що приведе до неправильного фазування;

2) пристрої з явно вираженої фазуючою комбінацією, не сумісної з інформаційною послідовністю. Такі ПФЦ називають пристроями із синхронізуючим префіксом. Кодова комбінація маркера (префікса) вибирається такою, яка не зустрічається в інформаційній послідовності, у тому числі при зрушенні її на будь-яке число розрядів. У системах, що використовують цей спосіб фазування, в інформаційний блок слід включати додаткові елементи, що виключають появу в ньому маркерних комбінацій;

3) використання для циклового фазування надлишкової інформації, що вводить для підвищення вірності передачі. У таких ПФЦ при порушеннях синфазності перемикання розподільників різко збільшується кількість помилок, що виявляються. Різницю між імовірністю помилок при синфазній роботі й реальною частотою помилок можна використовувати для здійснення фазування по циклах.

Незалежно від способу фазування будь-яка схема ПФЦ повинна містити блок введення в передану послідовність маркерної комбінації на передавальній стороні й блок виділення цієї комбінації в приймачі.

Побудова ПФЦ залежить від багатьох факторів: кількості біт і структури маркера, способів розміщення й передачі фазуючих комбінацій у блоці, способів їх селекції й ін. У той же час, ПФЦ повинні бути простими й надійними в роботі, забезпечувати малий час фазування перед початком передачі інформаційних повідомлень і після перерв зв'язку, мати високу завадостійкість, що виключає встановлення неправильної фази, незначно знижувати пропускну здатність за рахунок уведення фазуючої інформації.

Пошук явно вираженої маркерної комбінації для різних способів може проводитися шляхом безперервного аналізу всієї введеної інформації доти не виявляться фазуючі ознаки, або методом однократної перевірки за кожний

цикл у певний момент часу групи символів, які передбачаються фазуючими. У першому випадку пристрій фазування впливає на прийомний розподільник тільки після виявлення маркера й установлює цей розподільник у вихідний стан, а в другому – здійснює додаткове зрушення розподільника на один крок убік випередження або відставання після завершення кожного циклу. Якщо в першому випадку маркер може бути виявлений за один цикл, то для виявлення його за другим способом може знадобитися  $n_6$  циклів, де  $n_6$  – кількість одиничних елементів, переданих у блоці, тобто час фазування в системах з безперервним аналізом маркера менше, чим у системах з однократною перевіркою [5].

Пристрою з безперервним аналізом доцільно застосовувати при безмаркерних способах фазування, тому що при цьому легко забезпечується несумісність маркерної комбінації з іншими символами, переданими в синхроблоці. У системах маркерні способи, що використовують, більш прийнятним є пошук фазуючої комбінації шляхом однократної перевірки протягом циклу. А якщо ні, то в передану інформацію вводяться додаткові елементи, що забезпечують несумісність переданих даних з маркерною комбінацією, що приводить до підвищення надмірності, зниженню ефективної швидкості передачі інформації й збільшенню складності апаратури.

При маркерному способі маркерна комбінація може розташовуватися в інформаційному блоці (на початку або наприкінці), або передаватися по одному біту за цикл. У першому випадку АПД буде мати малий час входження у фазу при зниженій ефективній швидкості передачі даних за рахунок введення надлишкових фазуючих символів. У другому випадку цей час зростає приблизно в  $L$  раз, де  $L$  – кількість біт у маркерній комбінації, а ефективна швидкість передачі буде трохи вище. При довжині переданого блоку менш 100 біт більш вигідним є застосування другого способу, а при використанні блоків великої довжини  $n_6 > 100$  можна рекомендувати перший спосіб, тому що зниження ефективної швидкості в цьому випадку незначно, а технічна реалізація його більш проста.

Основними параметрами ПФЦ є час фазування  $t_{\phi}$ , імовірність неправильного фазирования  $P_{\text{лф}}$  і ймовірність пропуску  $P_{\text{пр}}$ , тобто ймовірність того, що перекручена фазуюча комбінація не буде виявлена. Пристрої фазування необхідно проектувати таким чином, щоб  $t_{\phi}$ ,  $P_{\text{лф}}$  і  $P_{\text{пр}}$  були



мінімальними [5].

Час входження у фазу залежить від типу ПФЦ і від імовірності помилки одиничного елемента в дискретному каналі  $P_0$ . При  $P_0 \leq 1 \cdot 10^{-4}$  ймовірність помилки практично не впливає на  $t_{\phi}$ .

Імовірності неправильного фазування  $P_{\text{лф}}$  і пропуску маркерної комбінації  $P_{\text{пр}}$  визначаються довжиною й структурою маркера.

У процесі проектування пристроїв фазування по циклах необхідно враховувати наступне [5]:

1) спосіб фазування (маркерний або безмаркерний, синхронний або стартоstopний);

2) застосування спеціальної фазуючої кодової комбінації або використання синхронізуючих властивостей застосовуваного для підвищення вірогідності коду;

3) розташування маркерної комбінації на початку (кінці) блоку або використання  $L$  циклів для поразрядної передачі кожного біта  $L$ -розрядного маркера;

4) кількість розрядів в маркерній комбінації і її структуру.

Якщо в процесі телеобробки даних не пред'являється твердих вимог до вірності передачі ( $P_{\text{кк}} \leq 10^{-6}$ ), а інформація від джерела поступає нерегулярно, невеликими масивами, блоками різної довжини, по будь-яким причинам не представляється концентрація цієї інформації на передавальній стороні, то найбільш доцільним є використання старт-стопного методу фазування. У цьому випадку середня довжина блоку й вид фазуючої комбінації визначаються з умов забезпечення затребованої завадастійкості.

У більшості систем передачі дискретної інформації вигідно застосовувати синхронні маркерні й безмаркерні способи фазування. У дуплексних і напівдуплексних СПД при передачі невеликих масивів інформації, у діалоговому режимі роботи абонентів, при наявності пауз між переданими повідомленнями, а також у системах даних по виділених каналах, коли не потрібен безперервний контроль за процесом фазування по циклах, доцільне застосування безмаркерного способу, який забезпечує більш високу ефективну швидкість передачі інформації.

При безперервній передачі повідомлень або передачі більших масивів інформації в результаті різних впливів, що збурюють, здатних порушити

					ЦЗДВН 6.05080202.804 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

синфазний режим роботи системи, необхідно забезпечити систематичний контроль над станом фазуючих пристроїв безперервною передачею в канал маркерних комбінацій. У таких випадках слід застосовувати маркерний спосіб фазування.

Якщо помилки в дискретному каналі мають незалежний характер, то маркерну комбінацію для більш простої апаратурної реалізації для маркерних і безмаркерних способів доцільно розташовувати на початку або наприкінці блоку. При групуванні помилок у каналі в пакети, що приводить до збільшення ймовірності викривлення фазуючої комбінації, маркер слід розподіляти порозрядно рівномірно по всьому блоку, причому інтервал між маркерними бітами повинен бути не менш максимальної тривалості пакета помилок. Якщо службова інформація в блоці перевищує 10%, має сенс L-розрядну фазуючу комбінацію передавати за L циклів по одному біту в блоці. У процесі розрахунків конкретних ПФЦ доводиться ухвалювати компромісні розв'язки, що враховують час фазування по циклах і прийнятне значення надмірності переданої інформації.

При виборі маркерної комбінації слід мати на увазі, що її довжина впливає на ймовірності неправильного фазування  $R_{лф}$  і пропуску  $R_{пр}$ . Ймовірність  $R_{лф}$  залежить від числа одиничних елементів, що входять у блок. Ймовірність неправильного виділення маркера з інформаційної послідовності визначається тільки його довжиною й числом інформаційних елементів, включаючи надлишкові, у переданому блоці інформації, а ймовірність неправильної реєстрації фазирующей комбінації на перетинанні маркерних і інформаційних елементів блоку залежить від структури маркерної кодової комбінації. Для зменшення ймовірності неправильного виділення маркера при виборі його структури необхідно враховувати те, що [5]:

1) структура маркерної комбінації не повинна бути однорідною, що наприклад полягає тільки з одних одиниць;

2) розряди початку й кінця її повинні бути різними. Наприклад, маркер виду 1011110 недоцільно застосовувати, він має однакові комбінації (на початку й кінці його 10);

3) структура фазуючої комбінації не повинна бути строго регулярною, наприклад виду 11110000, тому що викривлення навіть одного розряду може привести до утвору неправильної маркерної комбінації, утвореною частиною

її розрядів, що полягає з  $(L-1)$  біт і одного розряду двійкової послідовності, що входить до складу блоку. Довжину маркерної комбінації доцільно брати кратної байту або напівбайту;

З урахуванням цих рекомендацій будемо застосовувати синхронний спосіб фазування по циклах. Тому що проєктований ПЗП може використовуватися при безперервній передачі повідомлень або передачі більших масивів інформації, то необхідно забезпечити систематичний контроль над станом фазирующего пристрою безперервною передачею в канал маркерних комбінацій. Тобто будемо застосовувати маркерний спосіб фазування. Тому що в завданні не зазначений характер групування помилок (незалежні помилки) й мінімальний інтервал між пакетами помилок рівний 4 с, те маркерну комбінацію доцільно розташовувати на початку або наприкінці блоку. Тому будемо розташовувати її на початку блоку.

З урахуванням цих рекомендацій і вибору відповідної довжини маркера можна забезпечити прийнятне значення ймовірності неправильного фазування при однократному прийманні маркерної комбінації  $P_{лф}$ , яка визначається формулою [5]:

$$P_{лф} = \frac{n - L + 1 - (2^L - 1) \cdot \left[ 1 - \left( 1 - \frac{1}{2^{-L}} \right)^{n-L+1} \right]}{n + L},$$

де  $n$  – число розрядів у інформаційному блоці, за винятком фазирующей комбінації, тобто  $n = n_6 - L$ ;

$L$  – кількість біт у маркерній комбінації.

Тоді

$$P_{лф} = \frac{n_6 - 2L + 1 - (2^L - 1) \cdot \left[ 1 - \left( 1 - \frac{1}{2^{-L}} \right)^{n_6 - 2L + 1} \right]}{n_6}. \quad (7)$$

Ймовірність пропуску маркерної комбінації  $P_{пр}$  дорівнює ймовірності того, що в переключеній фазирующей послідовності більш за  $s$  розрядів прийняті невірно й вона буде визнана нефазовою [5]:

$$P_{пр} = \sum_{i=s+1}^l C_l^i P_o^i (1 - P_o)^{l-i}, \quad (8)$$

де  $P_o$  – ймовірність помилкової реєстрації одиничних елементів у

дискретному каналі.

Задаючись рядом значень  $L = 1, 2, 3, \dots$ , при відомих  $P_{\text{лф зад}} = 2,4 \cdot 10^{-5}$  и  $n_6 = 388$  відповідно до (7) отримаємо ряд значень для імовірності ложного фазування при однократному прийомі маркерної комбінації  $P_{\text{лф}}$ , з яких знайдемо оптимальне значення довжини маркерної комбінації:

$$P_{\text{лф}} = \frac{388 - 2 \cdot 24 + 1 - (2^{24} - 1) \cdot \left[ 1 - \left( 1 - \frac{1}{2^{24}} \right)^{388 - 2 \cdot 24 + 1} \right]}{388} \approx 8,96 \cdot 10^{-6} < 2,4 \cdot 10^{-5}.$$

Тому що довжина фазуючої комбінації повинна бути кратною байту або напівбайту, то ухвалюємо її рівної  $L = 24$  біта.

Тоді ймовірність пропуску маркерної комбінації  $P_{\text{пр}}$ , рівна:

$$P_{\text{пр}} = \sum_{i=1+1}^{24} C_{24}^i P_o^i (1 - P_o)^{24-i} = \sum_{i=2}^{24} C_{24}^i P_o^i (1 - P_o)^{24-i} \approx 0,006413.$$

Отже, обраний синхронний маркерний спосіб фазування по циклу із застосуванням маркерної комбінації довжиною  $L = 24$  біт, причому вона розташовується на початку блоку. З урахуванням усіх рекомендацій і вибору довжини маркера маркерна комбінація буде мати вигляд: 1001 1101 0011 0100 1000 1011.

## 2.5 Синтез алгоритму функціонування проектованого пристрою

Складання алгоритму функціонування є однієї з найважливіших завдань проектування ПЗП. Якщо реалізація ПЗП передбачається апаратно, то розробку алгоритму функціонування доцільно робити паралельно з розробкою структурної схеми пристрою захисту від помилок. Алгоритм визначає основні функції пристрою й послідовність їх виконання, а структурна схема являє собою його технічну реалізацію. При визначенні основних функцій ПЗП вони будуть перераховані в загальному виді й перелік їх буде неповним, тому що дуже складно відразу передбачити всі можливі режими роботи й ситуації, що виникають у процесі обміну інформацією з кінцевим обладнанням даних (КУД) і передачі даних по каналу зв'язку Для

полегшення цього завдання приведемо перелік основних функцій, які є типовими для всіх типів ПЗП:

- 1) початкова установка блоків ПЗП (обнуління елементів);
- 2) приймання, перетворення й контроль інформації, що надходить від джерела на передавальній стороні, і видача її споживачеві на приймальній;
- 3) обмін керуючими сигналами між відправником (КУД) і споживачем – пристроєм перетворення сигналів (ППС);
- 4) генерування тактових імпульсів і синхронізація (у випадку роботи без пристрою перетворення сигналів),
- 5) групове фазування (по циклах);
- 6) формування службових символів початку й кінця блоку, номера блоку, "Підтвердження", "Запит", "Стирання" і ін.;
- 7) підрахунок числа біт у блоці, формування номерів блоків при передачі й перевірка відповідності черговості їх вступу на прийомній стороні;
- 8) кодування й декодування повідомлень;
- 9) формування інформаційних блоків і зберігання їх у буферних накопичувачах передавача й приймача до ухвалення рішення про приймання їх із заданою вірністю;
- 10) підрахунок кількості переданих підряд тих самих блоків;
- 11) формування сигналів аварійної ситуації і їх індикація;
- 12) індикація стану апаратури.

При відображенні стану апаратури доцільно індицирувати наступні можливі ситуації: включення живлення АПД; підключення пристрою перетворення сигналів до лінії; виклик; передача/приймання; очікування; немає несучої; помилка периферійного пристрою; помилка нумерації; немає фази.

Залежно від конкретного типу пристрою перелік функцій може бути доповнений і розширений, а також можливе виключення частини функцій. Очевидно, що для реалізації цих функцій в ПЗП з "жорсткою логікою" повинні перебувати відповідні блоки, а в програмувальному – відповідні підпрограми. Наприклад, для реалізації першої функції потрібний блок початкової установки пристрою, який формує імпульс установки всіх інших блоків у вихідний стан (скидання в нульовий стан або запис в елементи пам'яті певної кодової комбінації, яка повинна видаватися із блоку на початку роботи). Звичайно початкова установка апаратури проводиться через

1-2 с після включення живлення або при перемиканні режимів роботи.

Для реалізації другої функції в структурну схему передавальної частини необхідно ввести блок приймання й перетворення повідомлення, що вводиться, який повинен забезпечити короткочасне зберігання введених кодових комбінацій (байтів) і перетворення їх у відповідну форму (найчастіше в послідовний код). У цьому блоці може відбуватися також узгодження рівнів сигналів, що надходять із КУД, з рівнями ПЗП. При введенні даних з електромеханічних пристроїв (фотозчитувач, електрична друкарська машинка), у яких передбачений захист за принципом пара/непара, у блоці приймання й перетворення доцільно здійснювати контроль інформації, що вводиться, на пара/непара. У прийомній частини ПЗП блок перетворення й видачі виконує зворотне перетворення інформації, що надходить до споживача, а також може здійснювати контроль виведених символів на пара/непара. Для керування роботою КУД обоє ці блоку повинні формувати відповідні імпульси, що здійснюють синхронізацію введення/виводу інформації (запит чергового біта або байта, останов джерела при виводі даних з буферного накопичувача якщо буде потреба повторної передачі блоку).

Таким чином, з урахуванням певних функцій, які повинне виконувати пристрій захисту від помилок до заданої послідовності передачі необхідних кодових комбінацій у канал (формату блоку), складається алгоритм функціонування ПЗП.

Виділимо перелік основних функцій передавача ПЗП для нашого завдання:

- 1) початкова установка блоків ПЗП;
- 2) приймання, перетворення й контроль інформації, що надходить від джерела на передавальній стороні;
- 3) обмін керуючими сигналами з відправником – КУД;
- 4) групове фазування (по циклах);
- 5) формування номера блоку при передачі;
- 6) передача інформаційної послідовності;
- 7) кодування повідомлень.

На підставі отриманих функцій складемо алгоритм роботи ПЗП. На початку роботи необхідно зробити установку всіх блоків у нульовий стан, або записати в елементи пам'яті певні кодові комбінації, які повинні

видаватися із блоку на початку роботи. Далі необхідно встановити, чи готове джерело інформації (КУД), і якщо ні, те очікувати сигналу готовності від нього. Якщо джерело інформації готове, то можна починати передачу даних. Наше повідомлення складається з чотирьох частин: фазуючої комбінації (ФК), номера блоку (НБ), інформаційних біт і перевірочних розрядів. Тому для передачі повідомлення необхідно реалізувати чотири стадії: передачу фазуючої комбінації, номера блоку, інформаційних біт і перевірочних символів.

На рисунку 6 наведена блок-схема алгоритму функціонування передавальної частини ПЗП з вирішальною зворотним зв'язком і маркерним способом групового фазування. У цьому алгоритмі враховані основні функції ПЗП перераховані вище.

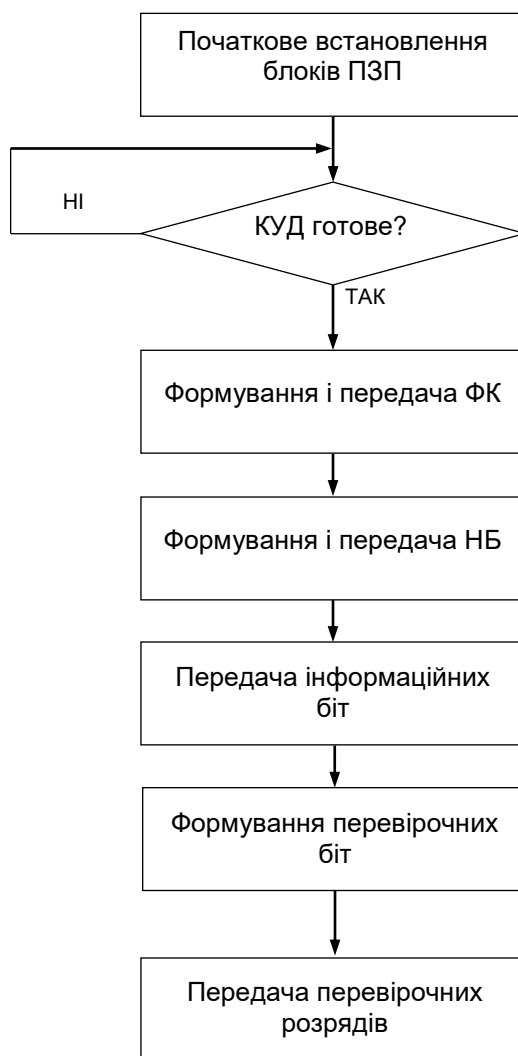


Рисунок 6 – Алгоритм функціонування ПЗП передавальної частини

## 2.6 Розробка структурної схеми проектного пристрою

На підставі розробленого алгоритму складається структурна схема проектного ПЗП, яка являє собою сукупність основних блоків, що реалізують задані функції, і зв'язків між ними. Зв'язки вказуються тільки між тими блоками, які безпосередньо взаємодіють у процесі роботи пристрою захисту від помилок. Структурну схему слід розробляти по можливості докладніше, що суттєво полегшить завдання побудови електричної принципової схеми.

Подальшим етапом проектування є технічний опис структурної схеми пристрою. У технічному описі вказується состав і призначення блоків, зображених на структурній схемі, а також описуються їхні функції й взаємодія у всіх режимах роботи ПЗП.

Структурна схема передавальної частини проектного ПЗП для реалізації алгоритму, наведеного вище (рисунок 6), показана на рисунку 7. Передавальна частина пристрою захисту від помилок містить наступні блоки:

- 1) блок затримки (БН);
- 2) формувач номера блоку (ФНБ);
- 3) блок фазування по циклу (БФЦ);
- 4) кодер;
- 5) пристрій управління (ПУ);
- 6) генератор тактових імпульсів (ГТІ).

Основним блоком ПЗП є пристрій управління (ПУ), який управляє роботою всіх інших блоків. Керуючі впливи на виході ПУ виробляються на основі аналізу вхідних сигналів і залежать від режиму роботи ПЗП й часової позиції в межах синхронізуючого або інформаційного блоку. ПУ являє собою керуючий автомат, виконаний на основі "жорсткої" або програмувальної логіки. ПУ із "жорсткою" логікою звичайно будуються на основі розподільників імпульсів, а програмувальні – на основі мікропроцесорної техніки. Перемикання ПУ відбувається під дією тактових імпульсів, формованих ГТІ, які можуть бути використані для синхронізації ППС. У ГТІ також передбачається можливість синхронізації від тактових імпульсів ППС.





лінії затримки залежить від типу й алгоритму роботи проектованого ПЗП, а також від часу поширення сигналів по каналу зв'язку. Дані, передані в дискретний канал зв'язку, кодуються завадостійким кодом Хемінга. Сформовані кодером перевірочні елементи додаються до інформаційних і службових символів наприкінці блоку. Аналогічним образом формуються наступні блоки. Сформовані кодові комбінації по черзі передаються в канал зв'язку за допомогою блоку передачі.

					ЦЗДВН 6.05080202.804 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34



$I_{\text{вх}}^1$  – вхідний струм логічної одиниці;

$I_{\text{вих max}}^0$  – максимальний вихідний струм логічного нуля;

$I_{\text{вих max}}^1$  – максимальний вихідний струм логічної одиниці;

$U_{\text{вих}}^0$  – максимальне значення вихідної напруги, відповідне до рівня логічного нуля, при якому забезпечується нормальна робота наступних інтегральних мікросхем (ІС);

$U_{\text{вих}}^1$  – мінімальне значення вихідної напруги, відповідне до рівня логічної одиниці, при якому забезпечується нормальна робота наступних ІС;

$K_{\text{роз}}$  – коефіцієнт розгалуження по виходу визначає число входів елементів даної серії, яке може бути без порушення працездатності підключене до виходу попереднього логічного елемента;

$t_{\text{зат}}^{0/1}$  – час затримки переходу ІС зі стану логічного нуля в стан логічної одиниці;

$t_{\text{зат}}^{1/0}$  – час затримки переходу ІС зі стану логічної одиниці в стан логічного нуля;

$P_{\text{пот}}$  – потужність, споживана базовим логічним елементом від джерела живлення;

$U_{\text{зав}}$  – максимально припустиме значення статичної перешкоди.

$f_{\text{max}}$  – максимальна частота перемикування.

Висока швидкодія в комбінації з низькою споживаною потужністю й великою навантажувальною здатністю, широкий набір логічних і інтерфейсних мікросхем серії SN74ALS дозволяють створювати обчислювальні пристрої цифрової автоматики з якісно новими характеристиками й високими техніко-економічними показниками.

Істотною особливістю серії SN74ALS є наявність інтерфейсних і буферних мікросхем, що володіють підвищеною навантажувальною здатністю по виходу в стані високого й низького рівня й меншої, у порівнянні із серією SN74LS, потужністю споживання при практично порівнянному швидкодії. У порівнянні з відомими серіями ТТЛ-мікросхем, вона має мінімальне значення добутку швидкодії на потужність, що розсіюється.

У проектуваному ПЗП із серії SN74ALS використовуються двійкові лічильники, універсальні чотирьох- і восьмирозрядні зрушувальні регістри, селектор-мультиплексор, тригери, логічні елементи "Виключне АБО" і інші логічні елементи.

### 3.2 Розробка принципової схеми блоку фазування по циклу

Для реалізації блоку формування фазуючої комбінації (вона має довжину в 24 біта) будемо використовувати 3 восьмирозрядних реверсивних регістри, підключених послідовно, завівши зворотний зв'язок з виходу останнього на вхід першого, що забезпечить циклічний перехід фазуючої комбінації в цих трьох регістрах (рисунок 7). Під час початкової установки блоків ПЗП подамо логічні одиниці на ті паралельні входи цих регістрів, які відповідають одиницям нашої фазуючої комбінації, а входи, на яких повинний бути нуль, залишимо вільними. Таким чином, фазуюча комбінація буде занесена в регістри після включення живлення й буде втримуватися там протягом усього сеансу зв'язку, лише циклічно переходячи сама в себе.

У якості реверсивного будемо використовувати регістр SN74ALS166. Він реалізує чотири режими роботи, а саме: зберігання восьмирозрядного коду, зрушення коду вліво, зрушення коду вправо, паралельне введення й вивід коду. Режими роботи задаються двохранрядним кодом, що подається на входи керування S0 і S1. Режими роботи регістру при певних значеннях сигналів на входах S0 і S1 позначено в таблиці 2 [7, 8].

Паралельне введення інформації із входів D1-D8 відбувається синхронно по фронту тактового імпульсу на вході С. При цьому на інверсний вхід R повинен бути поданий логічний нуль, а стан входів VR і VL – довільний.

Таблиця 2 – Режими роботи регістра SN74ALS198

S0	S1	Режим
0	0	Зберігання восьмирозрядного коду
0	1	Зрушення коду вліво
1	0	Зрушення коду вправо
1	1	Паралельний ввід та вивід коду

Зрушення інформації, що надходить у вигляді послідовного коду на вхід VR або VL, також відбувається під дією фронтів тактових імпульсів. Стану входів D, а також одного з VR або VL (залежно від напрямку зрушення), можуть бути довільними.



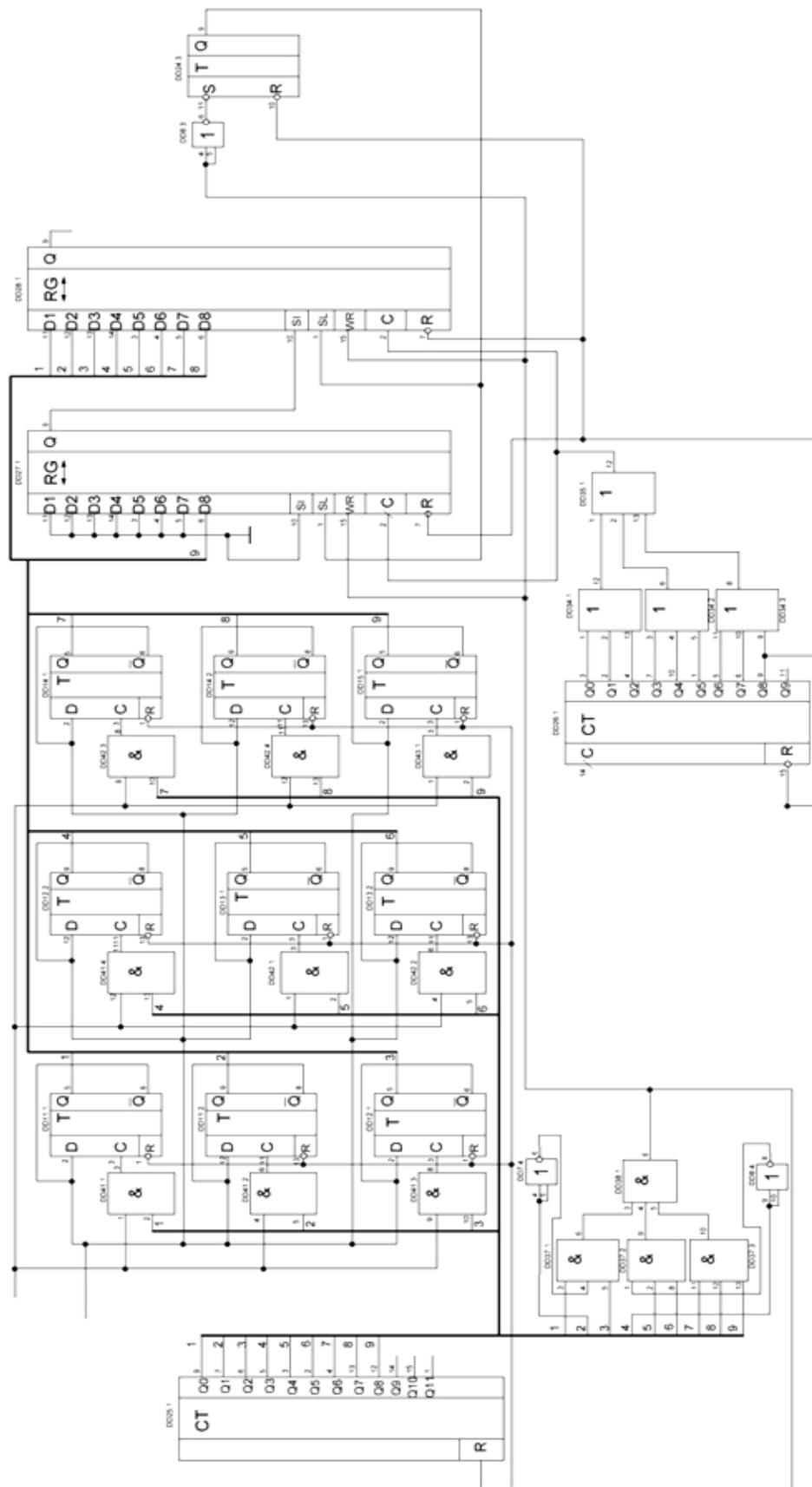


Рисунок 9 – Принципова схема блока кодування на основі коду Хемінга

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

### 3.4 Розробка принципової схеми блоку управління

З алгоритму роботи проектованого пристрою видно, що робочий цикл можна розділити на 3 частини:

- 1) передача фазуючої комбінації;
- 2) передача номера блоку;
- 3) передача інформаційних і перевірочних біт.

Дані операції будуть повторюватися циклічно протягом усього сеансу зв'язку після установки з'єднання й перевірки готовності апаратури до передачі даних.

Виходячи зі сказаного вище, можна зробити вивід, що в цьому випадку блок управління можна побудувати на основі тактового розподільника імпульсів. Цей метод придатний для синтезу схем, що працюють у режимах повторюваних циклів, характерних для схем керування приводами подач агрегатних верстатів і іншими подібними механізмами із цикловим керуванням.

Схема автоматичного керування будується на основі схеми тактового розподільника імпульсів, що представляє собою ряд з'єднаних одна з іншою схем пам'яті, кількість яких приймається рівною числу тактів роботи схеми.

Початок роботи кожного з схем пам'яті задається зміною якого-небудь вхідного сигналу. Звичайно в якості схем пам'яті вибираються тригери того або іншого типу. По кожному такту спрацьовує тільки одна пам'ять, а всі інші перебувають у нульовому стані. Перед початком роботи схема управління повинна бути виведена у вихідний стан, при якому одна зі схем пам'яті буде встановлена в одиничне, а інші будуть наведені в нульовий стан.

На рисунку 10 наведена схема управління на тактовому розподільнику імпульсів, побудованої для розв'язку завдання керування проектованого ПЗП. Він організований на RS-тригерах, схемах І-НЕ й АБО-НЕ.

Визначимо призначення сигналів  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ ,  $x_4$  і  $x_5$ :

- 1)  $x_1$  – початкова установка;
- 2)  $x_2$  – сигнал передачі фазирующей комбінації;
- 3)  $x_3$  – сигнал передачі номера блоку.
- 4)  $x_4$  – сигнал закінчення передачі інформації.
- 5)  $x_5$  – сигнал передачі перевіркової частини.



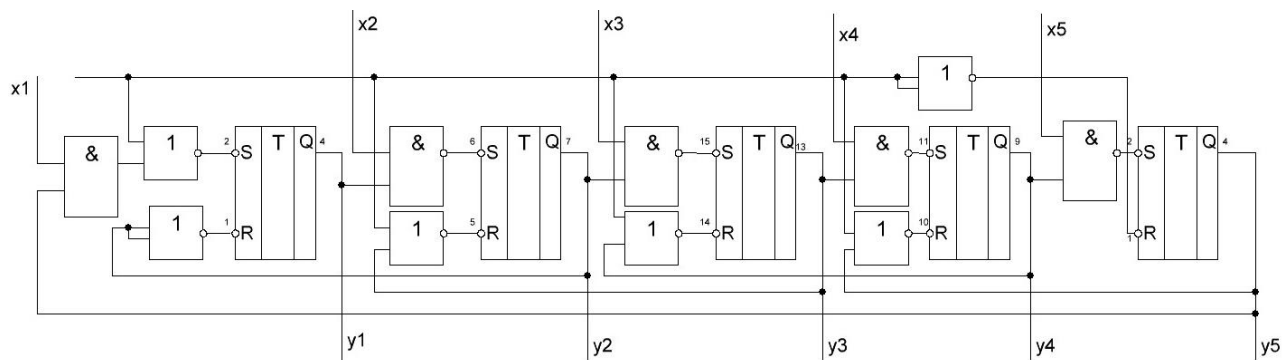


Рисунок 10 – Принципова схема блока управління

RS-тригери будемо реалізовувати на мікросхемах SN74ALS279, у яких є інверсні входи установки тригера відповідно в нульове й одиничне стани – R і S. Установка тригера в необхідний стан здійснюється подачею логічного нуля на вхід R або S. У якості елементів І-НЕ й АБО-НЕ будемо використовувати відповідно SN74ALS00 і SN74ALS02, SN74ALS32 [7, 8].

### 3.5 Розробка принципової схеми блоку формувача номера блоку

Формувач номера блоку досить легко реалізується за допомогою чотирьохрозрядного двійкового лічильника й чотирьохрозрядного зрушувального регістру (рисунок 10). Причому подавати імпульс на синхровход С лічильника й вхід керування режимом L регістру будемо декілько раніше, чим зчитувати комбінацію номера блоку з регістру, наприклад, при включенні в одиничний стан першого керуючого тригера, відповідального за включення формувача фазуючої комбінації.

На рисунку 11 на основі RS-тригера, двох інверторів і логічного елемента І побудований аналізатор зворотного каналу зв'язку, який при вступі на його вхід сигналу перезапиту, забороняє збільшення на 1 номерів блоку. Обнуління тригера відбувається по приходу на його інверсний вхід R сигналу x3, який сигналізує про закінчення циклу передачі блоку.



Тоді, прийнявши  $V_{\text{эф}} = 0,9 \cdot V = 0,9 \cdot 2400 = 2160$  Гц, отримаємо  $f_{\Gamma} \geq 2160$  Гц. Приймаючи  $f_{\Gamma} = 2160$  Гц и  $C = 0,1$  мкФ  $\pm 10\%$ , визначимо номінал резистора R згідно (9):

$$R = \frac{1}{3f_{\Gamma}C} = \frac{1}{3 \cdot 2160 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6}} \approx 1,54 \text{ кОм.}$$

Прийmemo значення з номінального ряду  $R = 1,5 \text{ кОм} \pm 5\%$ .

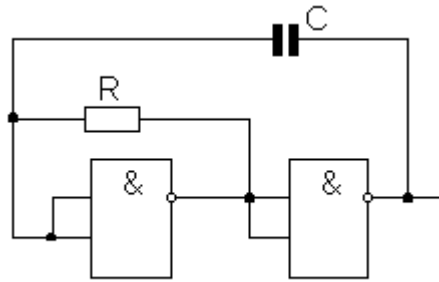


Рисунок 12 – Принципова схема генератора тактових імпульсів

## ВИСНОВОК

Одним з найбільш важливих вимог, яке ставляться до систем передачі інформації, є забезпечення високої вірогідності прийнятих повідомлень. Імовірність неправильного повідомлення в системах зв'язку, як правило, не повинна перевищувати  $P = 10^{-6} \div 10^{-9}$ . Імовірність помилкового приймання одиничного елемента в дискретних каналах рідко буває менше  $P_0 = 10^{-3} \div 10^{-4}$ . Тому для підвищення вірогідності прийнятих повідомлень звичайно застосовують спеціальні заходи, що знижують рівень помилок до припустимого рівня. У цьому випадку використовується завадостійке кодування інформації за допомогою помилковиявляючих та корегувальних кодів. Для проектованого пристрою для забезпечення затребованої вірності повідомлень використовується завадостійкий код Хемінга.

Об'єктом розробки є пристрій захисту від помилок передавача системи передачі даних. Розроблений пристрій відноситься до апаратури передачі даних системи зв'язку й використовується для забезпечення захисту від помилок дискретної інформації, переданої по каналах зв'язку.

Умови застосування розробленого пристрою захисту від помилок передавальної частини наступні:

- канал тональної частоти;
- смуга пропускання каналу зв'язку 300-3400 Гц;
- наявність зворотного каналу у тому ж фізичному середовищі;
- виникнення переважно незалежних помилок в каналі зв'язку.

Основними технічними характеристиками проектованого пристрою захисту від помилок є наступні:

- спосіб захисту комбінований – застосування помилковиявляючого/ корегувального коду та вирішального зворотного зв'язку;
- виявлення усіх однократних та двократних помилок, корегування усіх однократних помилок;
- технічна швидкість передачі даних – 2400 біт/с;
- ефективна швидкість передачі даних – 2160 біт/с;
- довжина інформаційного пакету – 388;
- імовірність помилкового фазування  $8,96 \cdot 10^{-6}$ ;
- імовірність пропускання маркерної комбінації –  $6,41 \cdot 10^{-3}$ .

					ЦЗДВН 6.05080202.804 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

Отриманий пристрій захисту від помилок може входити до складу мікропроцесорних систем збору, обробки й передачі даних, які застосовують телефонні канали зв'язку.

					ЦЗДВН 6.05080202.804 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Жураковський Ю. П. Теорія інформації та кодування: підручник / Ю.П. Жураковський, В. П. Полторак. – К.: Вища шк., 2001. – 255 с.
2. Кожевников В.Л. Теорія інформації та кодування: навчальний посібник / В.Л. Кожевников, А.В. Кожевников. – Д.: Національний гірничий університет, 2011. – 108 с.
3. Парк Дж. Передача данных в системах контроля и управления: практическое руководство / Дж. Парк, С. Маккей, Э. Райт; [перевод с англ. В.В. Савельева]. – М.: ООО "Группа ИДТ", 2013. – 480 с.
4. Белоус А. И. Биполярные микросхемы для интерфейсов систем автоматического управления. – Л.: Машиностроение, 2010. – 272 с.
5. Чернега В.С., Василенко В.А., Бондарев В.Н. Расчет и проектирование технических средств обмена и передачи информации: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1990. – 224 с.
6. Moon, Todd K. (2015). Error Correction Coding. New Jersey: John Wiley & Sons. ISBN 978-0-471-64800-0.
7. <http://www.texnic.ru/data/ims-sprav.htm>. Справочник микросхем. Подборка справочной документации на отечественные и зарубежные, цифровые и аналоговые микросхемам (оновлено 2019 р.).
8. Платт Чарльз. Энциклопедия электронных компонентов. Том 2. Тиристоры. Аналоговые и цифровые микросхемы. Светодиоды. ЖК-дисплеи. Источники звука / Чарльз Платт, Фредерик Янссон. – СПб: ВНУ, 2016. – 368 с.