

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

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ БАКАЛАВРА  
НА ТЕМУ:

**МІКРОКОНТРОЛЕРНИЙ ПРИСТРІЙ ОБМІНУ  
ДАНИМИ**

Завідувач кафедру електроніки  
і комп'ютерної техніки

\_\_\_\_\_ А.С. Опанасюк

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ І.А. Кулик

Виконав студент гр. ЕСз-51с

\_\_\_\_\_ С.П. Мартиненко

## РЕФЕРАТ

В кваліфікаційній роботі бакалавра був спроектований мікроконтролерний пристрій обміну даними приймальної апаратури передачі даних. Розроблений пристрій застосовує вирішальний зворотний зв'язок в комбінації контролем по парності двійкових одиниць всього інформаційного пакету. Мікроконтролерний пристрій забезпечує виявлення та виправлення пакетів від однієї до шести помилок, надійну синхронізацію та фазування по циклу передавача та приймача системи передачі даних, має досить низьку кодову надмірність та високу ефективність швидкість передачі інформації.

В кваліфікаційній роботі бакалавра зроблений детальний огляд типів каналів міжмодульного обміну, способів виявлення та корегування помилок. Розроблена модель використаного каналу зв'язку та проведені необхідні розрахунки швидкості передачі, надмірності передаваних даних, ймовірностей появи помилкових одиничних елементів та пакетів помилок. Синтезовані докладні алгоритм функціонування та структурна схема мікроконтролерного пристрою обміну, ефективна принципова схема проектованого пристрою.

Для виконання випускної роботи використано 10 літературних джерел. Область застосування даного пристрою – системи передачі даних із зворотним зв'язком для забезпечення надійної передачі повідомлень по каналах тональної частоти.

Кваліфікаційна робота бакалавра містить 51 сторінок тексту, 4 таблиць і 8 рисунків.

## ЗМІСТ

Список умовних скорочень .....	4
Введення .....	5
1 Огляд літератури та постановка завдання проектування .....	6
1.1 Канали обміну даними .....	6
1.2 Способи виявлення і корегування помилок при передачі .....	11
1.3 Постановка завдання проектування .....	13
2 Вибір і обґрунтування структури мікроконтролерного пристрою обміну даними .....	15
2.1 Вибір способу захисту інформації .....	15
2.2 Розробка формату повідомлень .....	18
2.2.1 Розробка моделі каналу зв'язку .....	18
2.2.2 Знаходження параметрів повідомлення в каналі зв'язку..	23
2.2.3 Розробка формату повідомлень в каналі зворотного зв'язку .....	32
2.2.4 Синтез алгоритму роботи мікроконтролерного пристрою обміну даними .....	33
2.2.5 Розробка структурної схеми мікроконтролерного пристрою обміну даними .....	35
3 Розробка принципової схеми мікроконтролерного пристрою обміну даними .....	37
3.1 Загальний опис мікроконтролера .....	37
3.2 Синтез принципової схеми мікроконтролерного пристрою обміну даними .....	43
4 Синтез програмного забезпечення мікроконтролерного пристрою обміну даними .....	46
Висновок .....	49
Список літератури .....	50
Додаток .....	51

ЦЗДВН 6.05080202.064 ПЗ				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
Разраб.		Мартиненко С.П.		
Провер.		Кулик І.А.		
Н. контр.		Кулик І.А.		
Утв.		Опанасюк А.С.		
Мікроконтролерний пристрій обміну даними. Пояснювальна записка			Лит.	Лист
				3
			СумДУ ЕСз-51с	
			Листов 51	

## СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

МП – мікропроцесор

МК – мікроконтролер

ЗЗ – зворотний зв'язок

ВЗЗ – вирішальний зворотний зв'язок

ІЗЗ – інформаційний зворотний зв'язок

КЗЗ – комбінований зворотний зв'язок

СПД – система передачі даних

ТТЛ – транзисторно-транзисторна логіка

ТТЛШ – транзисторно-транзисторна логіка с діодами Шотки

					ЦЗДВН 6.05080202.064 ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВВЕДЕННЯ

У рішенні такого завдання як передача інформації між різними кінцевими пристроями ключову роль відіграє апаратура передачі даних як на передавальній, так і на приймальній сторонах. Істотне значення при цьому приділяється пристроям захисту від помилок, що дозволяють

- забезпечити спільне функціонування вузлів каналоутворюючого обладнання;
- забезпечити економне представлення даних, які передаються, та їх захист від помилок в каналі зв'язку;
- спростити процедури обміну інформацією систем і пристроїв із кінцевим устаткуванням даних джерела та користувача даних.

Побудова ефективних пристроїв обміну даними можливо на основі програмно-керованих великих інтегральних схем: мікропроцесорів або мікроконтролерів, програмувальних паралельних інтерфейсах, послідовних універсальних синхронно-асинхронних приймопередавачах тощо.

Використання мікропроцесорів (МП) і мікроконтролерів (МК) у структурі пристроїв обміну даними має ряд істотних достоїнств, основними з яких є наступні:

- 1) пристрої обміну даними на основі МП або МК мають значно більшу гнучкість (логіка функціонування, комутація й інформаційний обмін майже повністю визначається програмою, збереженої в пам'яті, що спрощує зміну характеристик введення-виведення);
- 2) пристрої обміну даними на основі МП або МК мають меншу вартість (МП або МК замінюють більше 75-200 корпусів інтегральних схем малого й середнього ступенів інтеграції, менше з'єднань, друкованих плат і т.д.);
- 3) час розробки пристроїв обміну даними на основі МП або МК значно менше за рахунок простоти внесення змін і модифікації їх характеристик;
- 4) надійність мікропроцесорних або мікроконтролерних пристроїв обміну даними більше надійності подібних пристроїв із "жорсткою" структурою через різке скорочення кількості міжз'єднань.

					ЦЗДВН 6.05080202.064 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ПРОЕКТУВАННЯ

## 1.1 Канали обміну даними

Класифікація каналів обміну даними, призначених для сполучення різних модулів інформаційних вимірювальних і керуючих систем, повинна враховувати наступні характеристики (рисунок 1):

- функціональне призначення;
- тип зв'язків підсистеми обміну;
- організацію керування передачею інформації;
- принцип передачі інформації;
- режим організації передачі;
- спосіб подання і розподілу сигналів;
- тип фізичного середовища та пропускну здатність [1, 2].

По функціональному призначенню канали міжмодульного обміну підрозділяються на міжприладні канали зосереджених обчислювальних систем; внутрішньо системні канали зосереджених і розподілених обчислювальних систем і канали міжсистемних зв'язків.

Можна виділити дві групи характеристик, що стосуються безпосередньо каналів міжмодульного обміну: фізичного та канального рівнів.

Характеристики фізичного рівня являють собою сукупність параметрів безпосередньо фізичного середовища передачі даних і перетворювачів, що забезпечують роботу середовища передачі. До них ставляться [1, 2]:

- 1) число підключаємих до каналу прийомопередавачів модулів;
- 2) тип носія середовища передачі даних (кабель із крученими парами, коаксіальний кабель, світловід);
- 3) швидкість передачі сигналів у каналі;
- 4) параметри сигналів на входах і виходах прийомопередавачів перетворювачів, вході й виході каналу;
- 5) припустима ймовірність помилки при прийманні сигналу;
- 6) максимальна довжина складових частин передавального середовища (сегментів, шлейфових і радіальних відгалужувачів і т.д.), що з'єднують модулі;

					ЦЗДВН 6.05080202.064 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

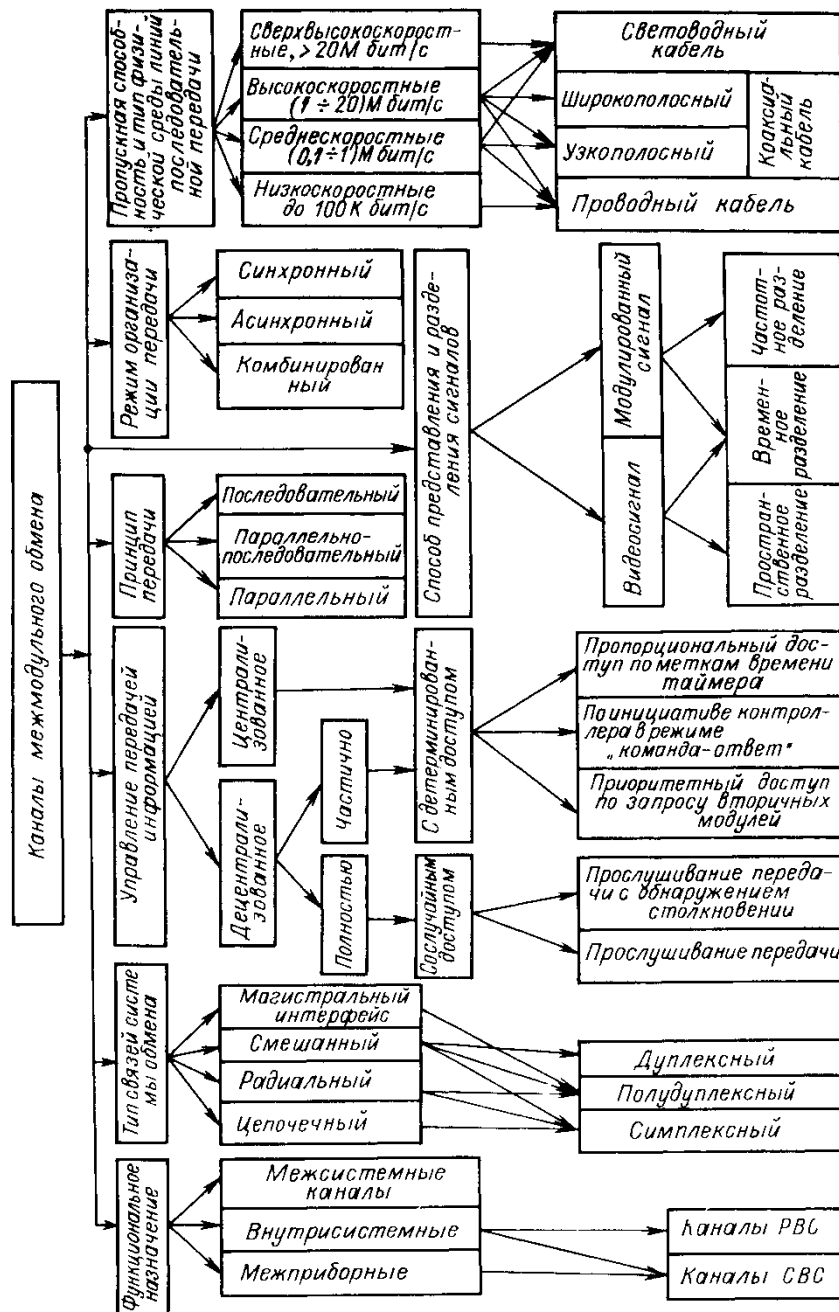


Рисунок 1 – Класифікація каналів міжмодульного обміну інформацією

- 7) припустиме число ретрансляторів у каналі;
- 8) максимальний час затримки поширення сигналів через канал;
- 9) габаритні розміри й конструктивно-технологічні характеристики прийомопередаючих вузлів і елементів стикування складових частин передавального середовища.

Варто розрізнити два поняття швидкості передачі: перша з них – фізична швидкість передачі по каналі, що визначається числом бітів, переданих у

секунду по конкретному каналі; друга – швидкість, іменована наскрізною, яка характеризується числом бітів, переданих у секунду між парою точок інтерфейсу системи (наприклад, між абонентами). Ця швидкість є головною, тому що вона визначає передачу даних по системі обміну і може бути значно менше фізичної швидкості передачі по каналі.

Характеристики каналного рівня представляють інформаційні параметри каналу й включають [1, 2]:

- 1) структуру інформаційного повідомлення;
- 2) спосіб адресації до модулів і число формованих адрес повідомлень;
- 3) спосіб керування обміном і порядок установаження логічних зв'язків між модулями;
- 4) спосіб виявлення помилок і їхню нейтралізацію.

Тип зв'язків підсистеми обміну визначається топологією зв'язків і режимом обміну по лініях зв'язку. По топології зв'язків розрізняють чотири основних структури інтерфейсів каналів: радіальну, ланцюжкову, магістральну й змішану, що представляє собою комбінацію перших трьох структур. Радіальний інтерфейс відповідає топології зв'язку "зірка" (або однієї з її різновидів – "дерево"), ланцюжкова – топології "кільце", магістральний – топології "шина" (рисунок 2).

Розрізняють наступні режими обміну інформацією: симплексний, напівдуплексний, дуплексний і мультиплексний. У симплексному режимі можлива передача лише одного модуля (наприклад, у топології "кільце"). У напівдуплексному кожній з модулів може почати передачу, якщо лінія зв'язку при цьому виявляється вільною (наприклад, у топології "зірка"). Для випадку зв'язку двох модулів у дуплексному режимі кожний модуль може передавати інформацію в будь-який момент часу (наприклад, у топології "точка-точка"). При зв'язку декількох модулів у мультиплексному режимі ("шина") у кожний момент часу зв'язок може бути здійснена між одним модулем – джерелом інформації й одним або декількома модулями – приймачами по загальному каналу передачі зі структурою зв'язку "багатоточка". Канали симплексного, напівдуплексного й дуплексного режиму передачі мають структуру "точка-точка". Узагальнені характеристики підсистем обміну з різними типами зв'язків наведені в таблиці 1 [1, 2].

					ЦЗДВН 6.05080202.064 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8



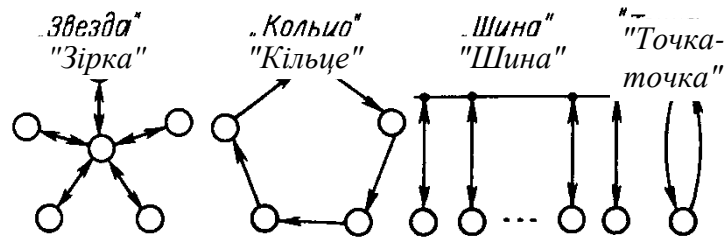


Рисунок 2 – Топологія зв'язків

Керування передачею інформації в каналах підрозділяється в залежності:

- від розміщення керуючих модулів (контролерів) на централізоване й децентралізоване (розподілене);
- від дисципліни доступу до каналу на канали з випадковим доступом і канали з детермінованим доступом.

Таблиця 1 – Узагальнені характеристики інтерфейсів

Топологія підсистеми обміну	Тип інтерфейсу	Структура ліній зв'язку, режими обміну	Здатність до розширення	Затримки в передачі повідомлень	Вплив відмов модулів на надійність
"зірка" ("дерево")	радіальний	"точка-точка": симплексний, дуплексний, напівдуплексний	середня (висока)	середні (великі)	середній (великий)
"кільце"	ланцюжковий	"точка-точка", симплексний	висока	великі	великий
"шина"	магістральний	"багатоточка", напівдуплексний	висока	малі	малий

Централізоване управління виробляється від одного контролера, а децентралізоване – від декількох. Децентралізація може бути повною (всі модулі є потенційними контролерами) або частковою. При децентралізованому управлінні з випадковим доступом всі модулі – потенційні контролери і можуть виходити на передачу в канал у будь-який час. Така ситуація приводить до появи конфліктів за захоплення загального каналу і можливості накладення двох і більше передач. Для зменшення імовірності накладень модулі перед видачою повідомлення прослуховують канал і починають видачу тільки при відсутності передачі від інших модулів у каналі (режим прослуховування передачі). Подальше зменшення перекручувань

можливо в режимі прослуховування передачі з виявленням зіткнень, при наявності яких передача повторюється.

Детермінований метод доступу виключає зіткнення за рахунок централізації керування в одному контролері в даний момент. Відсутність зіткнень і розміщення засобів керування в одному модулі робить детермінований метод доступу кращим для організації передач у системах автоматичного керування. Однак використання одного центрального контролера обмежує надійність, живучість і життєстійкість систем. Для подолання цього недоліку організують керування передачею інформації згідно методу детермінованого доступу на розподілених контролерах, а самі потенційні контролери одержують керування по методу випадкового доступу із прослуховуванням передачі при наявності тривалості паузи в передачі по шині більше деякого граничного значення.

Централізоване або частково децентралізоване керування з детермінованим доступом залежно від джерела ініціалізації передачі повідомлення діляться на три дисципліни:

- по мітках часу опорного таймера;
- з ініціативи контролера в режимі "команда-відповідь";
- по запиту від вторинних модулів.

Керування по запиту вторинних модулів (пріоритетний доступ) використовується в зосереджених обчислювальних системах і усередині-приладових інтерфейсах, оскільки для запитів необхідна окрема шина. Керування в режимі "команда-відповідь" ініціалізується контролером, що активізує вторинні модулі на прийом або передачу командними повідомленнями. При цьому передані й прийняті повідомлення формуються індивідуально вторинними модулями. Цей метод найбільш широко використовується в системах автоматичного керування. Керування по мітках часу від опорного таймера (пропорційний доступ) призначає модуль-джерело й модуль-приймач синхронно за часом.

За принципом передачі інформації інтерфейси діляться на паралельні, послідовні й паралельно-послідовні. Паралельна передача використовується в зосереджених обчислювальних системах. У розподілених обчислювальних системах переважно використовується послідовна, іноді паралельно-послідовна передача.

					<b>ЦЗДВН 6.05080202.064 ПЗ</b>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		10

По режиму організації передачі розрізняють інтерфейси: із синхронною передачею даних (з постійною прив'язкою моменту зчитування даних приймачем до тактових або синхронізуючих імпульсів); з асинхронною передачею (момент зчитування даних приймачем визначається по сигналах оповіщення або запуску від передавача; по закінченню пересилання приймач видає передавачу сигнал про закінчення циклу передачі); комбінована передача із двох режимів. У каналах міжмодульного обміну використовується переважно передача з асинхронною організацією, при якій автоматично підтримується оптимальне співвідношення між швидкістю передачі даних і часом проходження (затримкою) сигналу.

## 1.2 Способи виявлення і корегування помилок при передачі

Основним способом підвищення вірності передачі дискретних повідомлень є введення в передану послідовність надмірності з метою виявлення й виправлення помилок у прийнятій інформації. Всі пристрої виявлення й виправлення помилок (далі, пристрій захисту від помилок) діляться на дві групи: симплексні (без зворотного зв'язку) і дуплексні зі зворотним зв'язком) [3, 4, 5].

У симплексних (однобічних) пристроях захисту від помилок підвищення вірності може бути досягнуто трьома способами: шляхом багаторазового повторення символів; одночасною передачею однієї й тієї ж інформації з декількох паралельних каналів; застосуванням кодів, що виправляють помилки.

Багаторазове повторення є найбільш простим способом підвищення вірності, що полягає в тому, що передавач посилає в канал непарне число раз ту саму інформацію, а на прийомній стороні відбувається порівняння між собою однойменних кодових комбінацій (або однойменних двійкових розрядів). Споживачеві видається той символ (або біт), що був прийнятий більше число разів (мажоритарний метод). Однак при виборі такого способу захисту варто мати на увазі, що надмірність інформації росте пропорційно кількості повторень тих самих символів, аналогічно збільшуються й витрати часу на передачу масиву.

					ЦЗДВН 6.05080202.064 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Спосіб одночасної передачі по декількох каналах по завадостійкості еквівалентний способу багаторазової передачі. Він передбачає наявність непарної кількості каналів, по яких передаються ті самі кодові послідовності. На прийомі використовується мажоритарний прийом. Основна вимога таких систем: наявність паралельних каналів з незалежними помилками. Для забезпечення цієї вимоги канали зв'язки повинні бути рознесені географічно або, принаймні, вибиратися в різних лініях зв'язку. Недоліком способу одночасної передачі є різке підвищення вартості СПД за рахунок використання для передачі повідомлень від одного джерела декількох каналів.

Найбільшою ефективністю в симплексних СПД володіє спосіб захисту від помилок, заснований на використанні кодів з виправленням помилок. У таких системах переданий блок крім інформаційних елементів, отриманих від джерела інформації, містить і перевіірочні біти, які формуються пристроєм, що кодує, на підставі інформаційних розрядів за певними правилами. На прийомній стороні декодер по тим ж правилам здійснює аналогічні перевірки, при яких ураховуються й перевіірочні елементи. У результаті перевірки визначається номер позиції в прийнятому блоці, значення якої необхідно в процесі виправлення проінвертувати [3, 4, 5].

Імовірність помилкового прийому символу залежить не тільки від імовірності помилки в дискретному каналі, але й від застосовуваного коду.

В односторонніх СПД при виборі коригувального коду для пристроїв захисту від помилок доводиться розраховувати на гірший стан каналу, тобто надмірність у таких системах є постійною, незалежно від того, є помилки в каналі чи ні. У початкових умовах гірший стан каналу буде відносно рідко, його пропускна здатність використовується дуже неефективно. Другим недоліком систем з виправленням помилок є різке зростання складності апаратури зі збільшенням кількості помилок, що виправляються. Істотне зниження апаратних витрат може бути отримане за рахунок застосування в якості пристроїв, що кодують і декодують, мікропроцесорів.

До дуплексної групи пристроїв захисту від помилок ставляться пристрої, у яких підвищення вірності переданої інформації досягається за рахунок введення зворотного зв'язку. Вони у свою чергу діляться на системи з вирішальним (ВЗЗ), інформаційним (ІЗЗ) і комбінованим (КЗЗ) зворотним зв'язком. Сутність підвищення вірності в цих системах полягає в тому, що при

					<b>ЦЗДВН 6.05080202.064 ПЗ</b>	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виявленні викривлень у переданому повідомленні відбувається запит блоку, у якому один або декілька неправильно прийнятих знаків. У системах з ВЗЗ передані дані кодується надлишковими кодами, що дозволяють виявляти одиночні помилки або пачки (групи) помилок. Рішення про необхідність повторення блоку інформації, у якому виявлена помилка, приймається приймачем на підставі аналізу послідовності, що надійшла. У випадку виявлення в прийнятому блоці помилок він стирається і по каналу зворотного зв'язку (ЗЗ) приймальня станція посилає сигнал "Запит", на підставі якого передавач повторно видає цей же блок. При безпомилковому прийомі блоку дані надходять споживачеві, а по каналі ЗЗ передається сигнал "Підтвердження".

В пристроях захисту від помилок з ІЗЗ немає необхідності вводити надмірність у передані дані. Двійкова послідовність, зафіксована приймачем, запам'ятовується й потім по каналі ЗЗ передається вся або у вигляді вкороченої кодової комбінації, що містить певні ознаки всієї послідовності, на передавальну сторону. Отримана по каналу ЗЗ інформація аналізується передавальною станцією, що за результатами аналізу ухвалює рішення щодо передачі наступного блоку або про повторення помилково прийнятого. Це рішення повідомляється на прийомну сторону й на його підставі отримана інформація видається споживачеві або стирається.

Пристрої захисту від помилок з КЗЗ являють собою сполучення інформаційного й вирішального ЗЗ. У них рішення про необхідність повторної передачі може прийматися як на передавальній, так і на приймальній сторонах, а по каналу зворотного зв'язку можуть передаватися інформаційні елементи або сигнали "Запит" і "Підтвердження".

### 1.3 Постановка завдання проектування

За результатами аналізу питань, що стосується організації обміну даними, і літературного огляду можна зробити наступні висновки:

- вирішальний зворотний зв'язок в комбінації з кодовим методом захисту даних є досить ефективним, що дозволяє істотно знизити часові витрати при перезапитах помилково прийнятих інформаційних пакетів;

					ЦЗДВН 6.05080202.064 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- перспективним напрямком у розвитку пристроїв захисту від помилок є використання мікроконтролерної техніки, впровадження якої дозволяє забезпечити універсальність пристроїв, зменшити апаратні витрати при реалізації вузлів, що кодують і декодують, підвищити адаптованість до рівня завад у каналі зв'язку.

Таким чином, проєктований пристрій повинний мати наступні функціональні можливості:

- виявлення й виправлення пакета довільної довжини із однієї до шести помилок;
- забезпечення фазування по циклу при прийманні інформаційного пакета.

Вимоги до технічних характеристик пристрою обміну даними формулюються наступним чином:

- контроль й виправлення пакетних помилок від 1 до 6 помилок;
- ймовірність викривлення одиночного символу  $\leq 10^{-3}$ ;
- ймовірність появи пакету помилок  $\leq 5 \cdot 10^{-4}$ ;
- забезпечення фазування по циклу розподільників передавача і приймача;
- час входження у фазу  $\leq 10^{-2}$  с;
- завадостійке кодування з виявленням до 6 помилок;
- ефективна швидкість передачі даних  $(0,90-0,95) \cdot 4800$  біт/с.

					ЦЗДВН 6.05080202.064 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

## 2 ВИБІР І ОБҐРУНТУВАННЯ СТРУКТУРИ МІКРОКОНТРОЛЕРНОГО ПРИСТРОЮ ОБМІНУ ДАНИМИ

### 2.1 Вибір способу захисту інформації

У процесі передачі даних вони зазнають різні викривлення, які можуть привести в цифрових каналах зв'язку до помилок, що полягають в інверсії переданих символів двійкового алфавіту. Викривлення в передані дані можуть внести шуми приймально-передавальної апаратури, перешкоди, що впливають на сигнал у каналах зв'язку, неякісне живлення апаратури зв'язку, несправність останньої і т.д.

Існує безліч способів захисту переданих даних від помилок. Їхнє застосування залежить від вимог до вірогідності інформації, яка задається одержувачем і залежить від стратегічної важливості інформації й тих небезпек, якими загрожує її викривлення, а також від типу каналу зв'язку [3, 5]. Перший критерій характеризується імовірністю виникнення помилки, що є невиявленою, тобто помилка, котра, з'явившись в процесі передачі даних, була видана споживачу за правдиву. Цей параметр може мінятися в дуже широких межах. Так, для текстової інформації, яка надалі призначена для сприйняття людиною, його можна вибрати відносно великою, оскільки людей у процесі читання може одфільтровуватися більше число помилок за допомогою свідомого фільтра. У системах збору інформації на ядерних об'єктах, призначених для інформаційного забезпечення системи автоматичного керування, цей параметр повинен мати мінімальне значення, оскільки від об'єктивності одержуваною системою інформації залежить життя багатьох людей, а здатність ЕОМ відрізнити невірну інформацію від вірної мала. Таким чином, даний параметр може відрізнитися в мільйони раз у різних системах передачі даних. Тип каналу зв'язку залежить від структури організації зв'язків між приймачем та передавачем і в загальному випадку може бути двох видів: канал із симплексною передачею даних і канал з дуплексною передачею даних [3, 5]. Перший тип каналу характеризується однобічною передачею даних виду передавач-приймач і застосовується, як правило, у системах з одним передавачем і безліччю приймачів. Другий – двосторонньою передачею даних виду передавач-приймач-передавач і використовується переважно в системах з невеликою кількістю одержувачів інформації. У таких каналах стає

					<b>ЦЗДВН 6.05080202.064 ПЗ</b>	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

можливим організувати зворотний зв'язок між приймачем і передавачем, що суттєво полегшує завдання захисту переданої інформації від викривлень. Якщо в симлексних каналах приймач змушений самостійно знаходити й виправляти помилки в прийнятій інформації, те, навпаки, у дуплексних каналах практично завжди є можливість одержання достовірної інформації за рахунок її багаторазового повторення. Дуплексні канали діляться на два види – канали з інформаційним зворотним зв'язком ІЗЗ і канали з вирішальною зворотним зв'язком ВЗЗ. У першому випадку розв'язок про наявність або відсутність викривлень ухвалює передавальна сторона на підставі інформації, отриманої при аналізі повного інформаційного пакета або його унікальних ознак, які були повернуті прийомною стороною. У другому випадку розв'язок про вірогідність прийнятої інформації ухвалює прийомна сторона, яка повертає передавачу ознака про наявність або відсутність помилок. У випадку виявлення помилок у прийнятому повідомленні обоє види систем організації зворотному зв'язку здійснюють повторну передачу блоку інформації, де було виявлене викривлення. Канали з ІЗЗ забезпечують трохи більшу вірогідність переданої інформації, чим канали з ВЗЗ, оскільки в останніх імовірність пропуску помилки визначається параметрами коригувального коду. Однак, їхнім слабким місцем є низька швидкість передачі даних і більша затримка видачі повідомлення споживачеві, а також високі вимоги до прямого й зворотного каналів зв'язку. При високому рівні перешкод такі канали схильні до "зависання", тобто передача даних може взагалі припинитися. Ці недоліки практично відсутні в каналів з ВЗЗ, які працюють подібно симлексним, однак у випадку неможливості виправлення виниклих помилок перекручена інформація може бути передана повторно. Вимоги до зворотного каналу невеликі, оскільки по ньому передається всього лише два види повідомлень – "Запит/Підтвердження", які можуть бути такими, що ймовірність їх переходу друг у друга практично зведена до нуля. Недоліком каналів з ВЗЗ можна вважати ускладнення приймально-передавальної апаратури за рахунок необхідності застосування завадостійкого кодування, а також високі вимоги до коригувальної здатності, що й виявляє, коду, застосовуваного для захисту від перешкод, що вимагає ретельного узгодження з характеристиками каналу зв'язку. Тим часом, канали з ІЗЗ знаходять усе менше застосування в цей час, що пов'язане з їхньою економічною неефективністю через успішний розвиток

					<b>ЦЗДВН 6.05080202.064 ПЗ</b>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		16



коригувальних кодів і засобів їх обробки, а також необхідності організації рівноцінного прямого зворотного каналу, що в загальному випадку знижує ефективність використання каналу зв'язку як мінімум удвічі. Останній фактор виявляється часто вирішальним, якщо згадати про сучасні швидкості передачі інформації (одиниці-десятки гігабит) і вартості організації лінії зв'язку для таких каналів. Застосування мікропроцесорів у складі кодерів і декодерів дозволяє різко скоротити апаратні витрати при розробці пристроїв захисту від помилок, а також підвищити їхню надійність, постачити безліччю додаткових функцій, будувати адаптивні системи.

Особливий клас систем для виявлення помилок становлять системи, що працюють у напівдуплексному режимі. Їхній алгоритм роботи може відповідати дуплексним каналам з ВЗЗ або ІЗЗ за винятком того, що фізично зворотний канал зв'язку не організовується. Прямий канал є одночасно й зворотним, сигнал по якому передається в режимі тимчасового мультиплексування. Тобто передавач і приймач на підставі деякої домовленості "знають" що в теперішній момент часу передача ведеться в прямому напрямку або у зворотному. Перевагою подібних систем захисту від помилок є відсутність необхідності організації зворотного каналу у фізичному середовищі, а також той факт, що значно спрощуються процеси відновлення єдиного каналу після серйозної помилки, оскільки відсутня необхідність установлення правильних фазових співвідношень для двох каналів, що різко скорочує апаратні витрати в реалізації модемних пристроїв. До переваг напівдуплексних методів організації зворотного зв'язку можна віднести й те, що при її використанні якість зворотного зв'язку абсолютно відповідає якості прямого, що значно полегшує імовірнісні розрахунки для переданих сигналів у тому або іншому напрямку [3, 5].

Недоліком подібних систем є більша в порівнянні з повнодуплексними каналами надмірність переданих повідомлень і більший час затримки видачі повідомлення, що пов'язане з часовим мультиплексуванням каналу.

Невисока швидкість передачі інформації, яку необхідно забезпечити, виходячи із завдання на кваліфікаційну роботу бакалавра, у принципі, залишає широке поле для вибору способу захисту від помилок. При цьому визначальними критеріями для цього вибору є необхідна продуктивність СПД у цілому, максимальна надмірність у переданих даних, яка ухвалюється рівної

					ЦЗДВН 6.05080202.064 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

10%, необхідна ймовірність помилкової реєстрації кодової комбінації при заданій імовірності виникнення характерної помилки в каналі. Необхідною умовою правильного вибору способу захисту від помилок є також мінімальні апаратні витрати на реалізацію пристрою захисту від помилок (ПЗП) при збереженні максимальної надійності функціонування останнього.

Виходячи з перерахованих вище факторів, найбільше доцільно зупинитися на моделі пристрою захисту від помилок з використанням вирішального зворотного зв'язку. Застосування сучасної елементної бази дозволяє забезпечити кодування завадостійким кодом у реальному часі й для набагато більш високих швидкостей передачі інформації, чому та, яка задана в завданні. У якості апаратної реалізації ПЗП доцільніше всього вибрати мікропроцесорний пристрій, який при мінімальних апаратних витратах дозволить здійснити кодування інформації, зберігання інформаційного блоку в пам'яті з наступної повторною передачею в канал зв'язку.

## 2.2 Розробка формату повідомлень

### 2.2.1 Розробка моделі каналу зв'язку.

У даному підрозділі будуть розглянуті питання, пов'язані з пошуком математичної моделі, яка б задовільно описувала наявний фізичний канал зв'язку з метою знаходження основних розрахункових значень, пов'язаних з оптимальною адаптацією розроблювального мікроконтролерного пристрою обміну даними під конкретні умови передачі.

Ціль даного підрозділу – знаходження ймовірностей появи в каналі зв'язку помилок різного роду, знаходження середнього тимчасового інтервалу між помилками, що необхідно для побудови оптимального алгоритму роботи мікроконтролерного пристрою обміну й способу кодування переданих повідомлень.

Основним критерієм вибору тієї або іншої моделі каналу зв'язку є фактор близькості результатів, одержуваних за допомогою моделі, і реальних характеристик каналу зв'язку, одержуваних у процесі випробувальних передач. Обрана математична модель каналу зв'язку дозволяє статистично описати канал з певною ймовірністю збігу результатів з реальністю. Результати розрахунків, зроблених згідно з обраною моделлю,

					ЦЗДВН 6.05080202.064 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

використовуються при знаходженні таких важливих характеристик СПД, як фактична швидкість передачі даних, імовірність невиявленої помилки, затримки при виконанні тієї або іншої операції. Стає ясно, чому так важливо правильно вибрати модель, що описує канал зв'язку. Адже з урахуванням вищевказаних даних будується оптимальний алгоритм роботи пристрою захисту від помилок. При невірній обраній моделі реальні характеристики пристрою будуть значно відрізнятися від розрахункових, причому, як правило, у гіршу сторону.

Існує цілий ряд моделей, що описують реальні канали зв'язку. Однак основними з них є моделі каналів з незалежними помилками й моделі каналів з пам'яттю. Для переходу до вибору тієї або іншої моделі необхідно з'ясувати, які з наявних даних, здатні допомогти правильному вибору моделі, що задовільно описує наявний канал зв'язку. Насамперед, це характер помилок – у конкретному випадку характер помилок – пакетні викривлення. По-друге, це ймовірність викривлення одиночного символу – величина, вимірювана експериментально, й характеризує відношення кількості перекручених символів до загальної кількості переданих [3]:

$$P_o = n_v/n_{\text{п}}, \quad (1)$$

де  $n_v$  – кількість перекручених символів за час спостереження;

$n_{\text{п}}$  – загальна кількість символів, переданих по каналу зв'язку за час спостереження.

Третьою необхідною для правильного вибору моделі каналу величиною є мінімальний інтервал між помилками.

Найпоширенішими для опису каналів зв'язку є моделі каналу без пам'яті й моделі каналу з пам'яттю. Часто використовуваною моделлю опису каналів без пам'яті є модель із незалежним розподілом помилок. Ця модель у нашому випадку незастосовна, оскільки із завдання на проект відомо, що розподіл помилок у каналі зв'язку має пакетний характер. Це дає підставу припустити, що канал не може бути описаний як канал, у якому в наявності так званий "білий" аддитивний шум – вплив, що характеризується рівномірною щільністю ймовірності. У подібних каналах пакетування помилок хоча й можливо, але вкрай мало ймовірно. Правда, у рамках подібної моделі пакети можна розглядати, пов'язаними з появою деякої флуктуації в розподілі функції

					ЦЗДВН 6.05080202.064 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

ймовірності. Якщо ж подібні флуктуації повторюються досить часто, то такий канал уже не може бути описаний вищевказаною моделлю.

Для опису каналів з пакетними викривленнями також використовуються канали з незалежним розподілом, але вже пакетів помилок. У рамках цих моделей поява пакета певної довжини не пов'язане з довжиною попереднього й наступного пакета.

У моделях каналу з пам'яттю кожна подія має певну перехідну ймовірність, тому для повного його завдання необхідно мати деякі статистичні дані про переданий сигнал. Якщо поширити модель каналу з пам'яттю на ймовірності пакетного викривлення двійкових символів, то довжина пакета визначається математичним очікуванням на найбільш імовірну довжину пакета помилок, тобто іншими словами є найбільша ймовірність появи пакета певної довжини. Ця ймовірність визначається суцільно факторами, що залежать від фізичного процесу, що впливає на якість передачі.

Слід зазначити, що для більшості технологічних процесів можна допустити швидкий спад імовірності появи блоків помилок певної довжини, яка більше або менше найбільш імовірного. Наприклад, у випадку перешкоди, викликуваної перехідними процесами при комутації великого навантаження на постійному струмі, тривалість перехідного процесу є величиною добре передбачуваною й залежить від характеру навантаження, що комутується. У випадку комутації по змінному струму, тривалість перехідного процесу залежить уже не тільки від характеру навантаження, але й від моменту комутації. Це фактор дасть деяку кореляцію математичного очікування тривалості збурення, що впливає. Ще гірше піддаються математичному опису природні процеси, що збурюють. Так, наприклад, удар блискавки може дати пакет помилок зовсім різноманітної тривалості з максимальною ймовірністю тривалості, рівної від 0,01 до 1-2 с.

Таким чином, при знаходженні ймовірності появи пакета тієї або іншої довжини завжди корисно знати про характер процесу, що збурює. Оскільки в завданні процес, що збурює, не визначений, для простоти можна вважати, що ймовірність виникнення помилки тієї або іншої довжини не залежить від того, якої довжини була попередня помилка і якої довжини буде наступна, тобто прийти до моделі каналу з незалежним характером пакетів помилок. У рамках загального опису згідно із цією моделлю можна припустити, що

					ЦЗДВН 6.05080202.064 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ймовірності появи помилок довжиною від 1 до 6 біт рівні між собою. Побічно може вказати ймовірність викривлення двійкового символу  $P_0$ , а також мінімальний інтервал між помилками  $T$ .

Допустимо, що в каналі помилки розподілені з рівною щільністю, тобто виконується співвідношення:

$$P_n = P(6) = P(5) = P(4) = P(3) = P(2) = P(1) = 1/6 = 0,167, \quad (2)$$

де  $P_n$  – імовірність появи пакета певної довжини.

Для підтвердження правильності вибору моделі необхідно зробити ряд розрахунків у її рамках, які повинні дати результати, відповідні до завдання на кваліфікаційну роботу.

Насамперед, необхідно перевірити, виходить чи ні при виконанні цієї моделі ймовірність викривлення одиночного символу близької до отриманої в завданні на кваліфікаційну роботу. Оскільки вищевказана ймовірність – величина статистична, то для її розрахунків згідно із прийнятою моделлю необхідно побрати проміжок часу досить великий для виключення впливу різного роду флуктуацій у розподілі функції ймовірності появи пакета певної довжини.

Для прикладу можна побрати інтервал часу, рівний 1000 секунд. За цей час буде передана кількість символів, яка визначається вираженням [3]:

$$n_n = t \cdot V, \quad (3)$$

де  $t$  – час передачі повідомлення;

$V$  – технічна швидкість передачі.

Таким чином, за 1000 секунд буде передана кількість символів, обчислене у наступному вираженні:

$$n_n = 1000 \text{ с} \cdot 4800 \text{ біт/с} = 4800000 \text{ біт}. \quad (4)$$

Кількість перекручених символів знаходиться з умови рівної ймовірності пакетів довжини від 1 до 6 біт, а також з умови, що пакети помилок впливають із інтервалом не менш 1 с. Таким чином, за 1000 с буде прийнято не більш 1000 пакетів помилок. Загальна кількість перекручених символів, прийнятих протягом 1000 с буде визначатися вираженням:

$$n_b = 1000 \cdot \sum_{n=1}^6 n P_n, \quad (5)$$

					ЦЗДВН 6.05080202.064 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $P_n$  – імовірність появи пакета певної довжини згідно (2).

У результаті обчислення згідно (5) приходимо до числового значення кількості перекручених символів у каналі зв'язку в розглянутий період часу:

$$n_b = 1000 \cdot \sum_{n=1}^6 0,167 \cdot n = 3507 \text{ символів.} \quad (6)$$

Визначаємо згідно (1) розрахункове значення ймовірності викривлення одиночного символу в рамках обраної моделі:

$$P_o = 3507 \text{ біт} / 4800000 \text{ біт} = 7,3 \cdot 10^{-4}. \quad (7)$$

Як видно з отриманого результату, модель із незалежним характером пакетів прекрасно описує наявний канал зв'язку. Різниця між отриманим у результаті розрахунків, виходячи з обраної моделі каналу зв'язку, значенням імовірності викривлення одиночного символу й заданим значенням не перевищує 5%.

Це дає можливість трохи уточнити середній інтервал між помилками, що необхідно для визначення реальної швидкості передачі інформації СПД. Для знаходження даної величини необхідно довідатися про кількість помилкових пакетів, пришедших за інтервал часу 1000 с для забезпечення заданої ймовірності викривлення одиночного символу.

Аналізуючи формулу (7), стає очевидним, що це значення менше раніше прийнятого значення в 1000 пакетів помилок на величину, обумовлену вираженням:

$$1000 / n_{пр} = 7,3 \cdot 10^{-4} / 7 \cdot 10^{-4}, \quad (8)$$

де  $n_{пр}$  – реальна кількість пакетів помилок, що виникли в каналі за час 1000 с.

Зробивши обчислення згідно (8), знаходимо, що реальна кількість помилкових пакетів, пришедших за 1000 с рівно 960. Тоді середній час  $T_c$  між пакетами помилок буде рівно:

$$T_c = 1000 / 960 = 1,042 \text{ с.} \quad (9)$$

Знаючи кількість пакетів у певний проміжок часу, а також технічну швидкість передачі інформації у каналі зв'язку, легко знайти ймовірність появи пакета тієї або іншої довжини.

Імовірність появи пакета довільної довжини (від 1 до 6) визначається вираженням:

					ЦЗДВН 6.05080202.064 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

$$P_{\pi} = n_{\text{пр}} / n_{\pi}. \quad (10)$$

Таким чином, ймовірність появи пакета помилок довільної довжини рівна:

$$P_{\pi} = 960 / 4800000 = 2 \cdot 10^{-4}. \quad (11)$$

Оскільки ймовірності появи пакетів помилок довжиною від 1 до 6 біт рівні між собою й становлять 16,7% від загального числа для пакетів помилок конкретної довжини, розрахунки ймовірності появи пакета помилок довжиною від 1 до 6 біт проводиться згідно з вираженням:

$$P_{\pi}(1) = P_{\pi}(2) = P_{\pi}(3) = P_{\pi}(4) = P_{\pi}(5) = P_{\pi}(6) = P_{\pi} \times 0,167 = 3,34 \cdot 10^{-5}. \quad (12)$$

Вираження (9), (11), (12) являють собою розв'язок завдання, поставленої на початку даного підрозділу.

Слід зазначити, що в проміжках між пакетами помилок протягом часу, як мінімум 1 с, мікроконтролерний пристрій обміну даними працює в режимі відсутності викривлень у каналі зв'язку (ймовірність викривлення одиночного символу рівна 0), що може бути враховане в алгоритмі роботи пристрою. По закінченні 1 с після появи останнього пакета помилок, ймовірність викривлення зростає й досягає максимального значення згідно отриманого результату у вираженні (9) через 0,042 с після цього моменту й потім практично залишається незмінної до появи наступного пакета помилок.

### 2.2.2 Знаходження параметрів повідомлення в каналі зв'язку.

У процесі розробки мікроконтролерного пристрою обміну даними необхідно забезпечити виконання умов забезпечення необхідної завадостійкості 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.

При розробці формату повідомлення для пристрою захисту від помилок, побудованого на основі мікропроцесора (МП) або мікроконтролера (МК), на формат повідомлення також впливають довжина слова використовуваних ВІС, їх швидкодія, виду завадостійкого кодування й кратність повідомлення.

Типовий формат повідомлення (рисунок 3) містить у собі символи початку й кінця блоку, номер блоку, інформаційні й перевіірочні елементи, а також спеціальну послідовність, яка служить для здійснення процесу фазирования по циклу [3].

					ЦЗДВН 6.05080202.064 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

<b>Начало</b>	<b>Фазирующая</b>	<b>Номер блока</b>	<b>Информация</b>	<b>Конец</b>
Початок повідомлення	Фазуюча комбінація	Номер блоку	Інформація	Кінець повідомлення

Рисунок 3 – Типовий формат повідомлення в СПД

Для розпізнавання початку й кінця блоку в нього можуть бути введені комбінації НТ і КТ. Ці комбінації для коду, використовуваного для передачі даних, мають стандартні значення:

НТ – 0000010, КТ – 0000011.

У багатьох практичних випадках знаки НТ і КТ уводять до складу інформації, формованої відправником, і немає необхідності синтезувати їх у СПД. Тоді ознакою початку блоку може бути комбінація НБ (номер блоку), а приймання номера наступного блоку свідчить про закінчення попереднього.

Для зменшення надмірності, внесеною службовою інформацією в передане повідомлення, стандартні символи початку й кінця блоку в складі інформаційного пакета розроблювальної СПД на основі мікроконтролерного пристрою обміну даними використовуватися не буде.

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 черговість їх введення. При цьому необов'язково робити наскрізну нумерацію блоків усього переданого масиву. Кількість номерів повинна бути на одиницю більше числа повторюваних блоків при виявленні помилок.

В пристроях захисту від помилок, побудованих на базі МП, виникає проблема передачі слів не кратних довжині слова використовуваного МП ВІС. Так, передача номера блоку "2" приведе до необхідності передачі комбінації 00000010.

У цих випадках доцільно застосувати для нумерації блоків спосіб рахунку, заснований на циклічному зрушенні одиничного біта вліво, враховуючи надзвичайну простоту реалізації подібної операції за допомогою МП. Загалом кажучи, можна взагалі відмовитися від кодування номера блоку в силу розширених можливостей мікропроцесорів при обробці даних. Номер блоку можна замінити заголовком, у якому передавати інформацію про тип пакета (новий пакет або повторний пакет). При цьому інші 7 біт байта



заголовка можна використовувати для передачі службової інформації згідно прийнятого алгоритму роботи пристроїв захисту від помилок.

Для підвищення завадостійкості переданих повідомлень і виключення неправильних вставок блоків через перекручену ознаку номера блоку доцільно включити ознаку номера інформаційного блоку до складу захищеної завадостійким або кодом, що виявляють перешкоди, частини переданого повідомлення.

Фазування по циклу необхідно для визначення початку блоку інформації (циклу) у прийнятій послідовності цифрових сигналів, що зовсім необхідно для правильного декодування повідомлення. Фазування по циклу являє собою процес примусового встановлення певного фазового співвідношення між розподільниками на передавальній і приймальній сторонах апаратури передачі даних, при якій перший переданий у канал зв'язку біт направляється в перше гніздо 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 частину апаратури передачі даних на початку передачі, або протягом усього сеансу зв'язку. Способи фазування по циклах можна розділити на дві групи [3, 4].

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

Маркерні (з безперервною синхронізацією), при яких протягом усього сеансу зв'язку в канал зв'язку разом з інформаційними сигналами передаються спеціальні кодові комбінації (маркери), використовувані для фазування апаратури передачі даних по циклу.

Також розрізняють синхронні й стартостопні способи фазування. У синхронних – цикли фіксованої довжини впливають безупинно один за одним, у зв'язку із чим їх початок і кінець у приймачі, що є зфазованим, заздалегідь відомі. При стартостопному – цикл може починатися в довільний момент часу, а довжина його бути довільною. У проміжках між видачою блоків передавальний і прийомний розподільники перебувають на режимі

					<b>ЦЗДВН 6.05080202.064 ПЗ</b>	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

"Стоп". Запуск їх відбувається під дією команди "Старт", подаваної перед початком блоку в канал зв'язку. Ця команда може бути представлена як окремим сигналом, так і кодовою комбінацією. При виборі режиму роботи СПД необхідно враховувати параметри кінцевого устаткування даних, а саме як часто потрібно здійснювати передачу даних. При необхідності передавати дані цільним потоком величезна перевага по внесеній надмірності в передані повідомлення має синхронний метод. Оскільки в завданні на кваліфікаційну роботу не застережена умова про характер завантаження СПД, можна вважати, що дані передаються безупинно, а у випадку їх відсутності по СПД передається службова інформація, яка інтерпретується кінцевим устаткуванням одержувача як відсутність нової інформації. Наприклад, у випадку відсутності необхідності в передачі даних кінцеве устаткування передавача може передавати в лінію зв'язку послідовність завершення виду 00000011, яка сприймається СПД як інформація, що передається. При виконанні цієї умови різко спрощуються алгоритми захисту даних від помилок у каналі зв'язку, падає надмірність у переданому повідомленні. Слід зазначити, що більшість реальних СПД у паузах між передачею реальної інформації передають службові сигнали, які служать для підтримки апаратури передачі даних і каналу зв'язку в робочому стані. Для простоти можна вважати, що інформація в період простою кінцевого устаткування передавача, вноситься самим обладнанням передавача і інтерпретується пристроєм захисту від помилок як корисна.

Найбільше просто скорегувати фазу прийомного розподільника шляхом видачі в канал зв'язку повідомлення виду 10000000. У випадку неузгодженості в роботі прийомного розподільника на прийомній стороні, на вході пристрою захисту від помилок ця комбінація може бути перетворена до виду, показаного в таблиці 2. Звідси видно, що пристрій захисту приймача, одержавши тестову кодову комбінацію, формує сигнал зсуву в бітах фази прийомних розподільників щодо передавальних розподільників.

Прийнятий метод кодування повідомлення повинен забезпечувати мінімальну надмірність при максимальній здатності, що виявляє. В пристроях захисту від помилок, що працюють за принципом ВЗЗ немає необхідності застосовувати коригувальні коди в силу того, що при виявленні помилки її виправлення полягає в повторній передачі цього ж пакета.

					<b>ЦЗДВН 6.05080202.064 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Для виявлення помилок найбільш простим кодом є код з контролем по парності [4, 5]. Цей код формується порозрядним підсумовуванням по модулю 2 комбінації, що захищається, з метою забезпечення завжди парної кількості одиниць. У стандартній інтерпретації цей код дозволяє виявити будь-яку помилку непарної кратності. Оскільки в каналі зв'язку на сигнал діють пакетні викривлення, необхідно застосувати код з контролем по парності таким чином, щоб контрольна сума підраховувалася для комбінації, у якій може бути перекручений максимум один розряд. Це досягається тим, що контрольна сума охоплює не кожний переданий байт, у якому можливе викривлення максимальної довжини, а весь пакет у цілому порозрядно. Таким чином, при довжині контрольної суми в 1 байт на кожний її розряд потрапить не більш 1 помилки.

Час входження у фазу при використанні зазначеного алгоритму рівно в середньому часі передачі 4 байт інформації до каналу зв'язку й визначається вираженням:

$$T_{\phi} = 32 / 4800 = 6,67 \cdot 10^{-3} \text{ с.} \quad (13)$$

Імовірність неправильного фазування по циклу при використанні даного алгоритму цілком залежить від якості зворотного каналу.

Таблиця 2 – Здійснення фазування по циклу

Наявність фази	Прийнята комбінація	Корегувальне значення
ТАК	10000000	00000000
НІ	01000000	00000001
НІ	00100000	00000010
НІ	00010000	00000011
НІ	00001000	00000100
НІ	00000100	00000101
НІ	00000010	00000110
НІ	00000001	00000111

Особливістю застосування завадостійкого кодування в системах з ВЗЗ є відсутність необхідності виправлення помилок на прийомній стороні за рахунок можливості одержання правильної інформації шляхом повторної передачі. Одним з найбільш простих кодів, що виявляють помилки є код з контролем по парності. Простота алгоритму кодування й декодування цим кодом, а також виняткова швидкодія пристроїв, що здійснюють контроль згідно цього алгоритму, принесли цьому коду надзвичайну популярність у сучасній техніці [3, 5].

Код з контролем по парності утворюється шляхом додавання до переданої інформації, що полягає з  $k$  інформаційних символів ненадлишкового коду, одного контрольного біта так, щоб загальна кількість одиниць у переданій комбінації було парним [3, 5].

Ознакою помилки при прийманні кодових комбінацій є непарна кількість одиниць. При парній кількості одиниць споживачеві видається інформація, а контрольний біт відкидається.

У стандартному виді код з контролем по парності здатний виявити будь-яку помилку непарної кратності в прийнятій комбінації. Помилки парної кратності не виявляються кодом, виходячи з його структури.

Цей недолік не дає можливості застосувати код з контролем по парності для кодування в проектованому мікроконтролерному пристрою обміну даними через те, що в каналі зв'язку за умовою можуть відбутися помилки кратністю 2, 4, 6, які будуть не виявлені кодом. Однак шляхом нескладної модифікації способу кодування контролем по парності можна добитися виявлення пакетів помилок будь-якої кратності. Це досягається тим, що контрольна сума розраховується не для кожної окремо взятої комбінації, а для всього пакета в цілому, як це показано на рисунку 4. Стрілками на рисунку 2 показана черговість видачі комбінацій у канал зв'язку.

Як видно з рисунка, код з контролем по парності, побудований за принципом кодування всього пакета, здатний виявити будь-який пакет помилок, кратністю не більш довжини контрольної суми.

Інформація	Напря́м кодува́ння	1	0	1	1	1	0	0	0	→
		0	0	0	1	1	0	0	0	→
		0	0	0	0	0	0	0	0	→
		1	0	1	1	1	0	0	0	→
		0	0	0	0	0	0	0	0	→
		0	0	0	1	1	0	0	0	→
		0	0	0	1	1	0	0	0	→
		0	0	0	0	0	0	0	0	→
		1	0	1	1	1	0	0	0	→
		Контрольна сума	1	0	1	0	0	0	0	→

Рисунок 4 – Кодування в розроблювальному мікроконтролерному пристрої обміну даними

Дійсно, при будь-якому пакеті помилок кратністю менш довжини контрольної суми спотвориться не більш одного елемента в стовпці, що буде однозначно виявлене кодом.

Із завдання на кваліфікаційну роботу відомо, що в каналі зв'язку не можуть відбуватися помилки кратністю більш 6. Це означає, що довжина контрольної суми повинна бути більше або рівна 6. Виходячи з використання в складі пристрою мікропроцесора, що має байтну організацію даних, доцільніше всього зупинитися на довжині контрольної суми, рівної 8.

Довжина кодованого пакета при даному алгоритмі не повинна перевищувати кількість біт, видаваної СПД протягом 1 с, тобто 4800 біт, оскільки через 1 с після появи пакета помилок у каналі зв'язку можлива поява другого пакета помилок, який не буде виявлений.

Більш докладно питання знаходження довжини кодованого пакета буде розглянутий далі.

Передача повідомлень від відправника до одержувача звичайно здійснюється поблочно. Блок може містити десятки й сотні символів (кодових комбінацій). Збільшення довжини блоку веде до збільшення числа

перевірочних елементів  $r$ , але це число зростає значно повільніше довжини блоку. Тому, якщо необхідно забезпечити максимально ефективну швидкість передачі даних необхідно збільшувати довжину блоку. Однак збільшення довжини блоку приведе до збільшення часу повторної передачі при наявності помилки. Тому при знаходженні оптимальної довжини блоку необхідно скористатися графіком функції  $V_{\text{еф}} = F(n_6)$  при заданих значеннях  $R_{\text{по}}$ ,  $r$  і  $n_{\text{сл}}$ . Прийнятною ефективною швидкістю вважається  $V_{\text{еф}} = (0,90-0,95) \cdot V$  біт/с.

Для підвищення ефективності передачі даних метод кодування вибирається 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.

Підвищення ефективної швидкості передачі даних – одна з найважливіших характеристик розроблювача СПД.

Для блокових роздільних кодів, при яких кодування й декодування здійснюється незалежно для кожного блоку, надмірність  $R$  визначають по формулі [3, 4]:

$$R = r / n_6, \quad (14)$$

де  $r$  – число перевірочних елементів;

$n_6$  – загальне число елементів у блоці.

Ефективна швидкість передачі інформації  $V_{\text{еф}}$  при цьому рівна [3, 4]:

$$V_{\text{еф}} = V(1 - R), \quad (15)$$

де  $V$  – швидкість передачі інформації, біт/с.

У реальних СПД ефективна швидкість буде менше за рахунок передачі в каналі додаткової службової інформації, що полягає з  $n_{\text{сл}}$  біт, тобто:

$$V_{\text{еф}} = V(1 - (r + n_{\text{сл}})/n_6). \quad (16)$$

У системах зі зворотним зв'язком ефективна швидкість ще більш знижується за рахунок повторної передачі перекручених блоків. У цьому випадку ефективна швидкість передачі визначається по формулі [3, 4]:

$$V_{\text{еф}} = V(1 - n_{\text{пб}}/N_6)(1 - (r + n_{\text{сл}})/n_6), \quad (17)$$

де  $N_6$  – загальне число переданих блоків за сеанс зв'язку;

					<b>ЦЗДВН 6.05080202.064 ПЗ</b>	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$N_{пб}$  – число повторно переданих блоків, що залежить від функції розподілу помилок в інтервалі часу передачі повідомлення й від довжини блоку.

Необхідно також урахувати, що в проміжках між помилками канал зв'язку вважається безпомилковим. У цьому випадку надмірність у передані повідомлення можна не вводити.

Прийmemo, що після виявлення й виправлення помилки буде відбуватися передача без уведення надмірності протягом 0,97 с.

Для зниження вимог до обсягу оперативної пам'яті проектованого мікроконтролерного пристрою на передавальній і приймальній сторонах прийmemo довжину кодованого інформаційного блоку, рівну 16 байт.

Кількість службових елементів у блоці рівно 24 біт, отже надмірність закодованого повідомлення згідно (14) рівна:

$$R = 3/18 = 0,167. \quad (18)$$

Для знаходження середньої ефективної швидкості в каналі зв'язку здійснимо розрахунок для інтервалу часу 1000 с.

За цей час згідно (4) по каналу зв'язку буде передано 4800000 біт інформації.

Закодована інформація буде передаватися протягом часу:

$$1000 \cdot (1,042 - 0,97) = 72. \quad (19)$$

За цей час будуть передаватися закодовані й повторні повідомлення. Кількість повторних повідомлень за цей час рівно 960. Кількість надлишкових біт, внесених ними рівно:

$$N_1 = 960 \cdot 19 \cdot 8 = 145920 \text{ біт}. \quad (20)$$

Кількість закодованих повідомлень, отриманих на прийомній стороні без викривлень за цей час рівно:

$$n = 72 / (4800 \cdot 8 \cdot 19) - 960 = 1314 \text{ блоків}. \quad (21)$$

Надлишкова кількість біт, внесене цими блоками за 1000 с, визначається вираженням:

$$N_2 = 1314 \cdot 3 \cdot 8 = 31536 \text{ біт}. \quad (22)$$

Загальна кількість надлишкових біт за 1000 с рівно:

$$N = N_1 + N_2 = 31536 + 145920 = 177456 \text{ біт}. \quad (23)$$

Середня надмірність у переданих повідомленнях за 1000 с визначається вираженням (24):

$$R = 177456 / 4800000 = 0,037. \quad (24)$$

Таким чином, середня ефективна швидкість у каналі зв'язку в інтервалі часу 1000 с рівна:

$$V_{\text{эф}} = (1 - R) \cdot V = (1 - 0,037) \cdot 4800 = 4622,4 \text{ біт/с}. \quad (25)$$

Це становить 0,963 від технічної швидкості, що відповідає завданню на кваліфікаційну роботу.

### **2.2.3 Розробка формату повідомлень в каналі зворотного зв'язку.**

У каналі зворотного зв'язку передаються повідомлення, що управляють роботою передавача в силу тієї обставини, що прийнята модель захисту від помилок у каналі зв'язку – вирішальний зворотний зв'язок. Вище вже приводився опис одного з таких повідомлень – повідомлення підтвердження фазування по циклу. Оскільки пристрій захисту від помилок реалізований з використанням МК, довжина будь-якого повідомлення в каналі зворотного зв'язку повинна бути кратна 8. Крім підтвердження фазування по циклу, по зворотному каналу також повинні передаватися повідомлення запиту на повторну передачу й підтвердження правильності приймання.

Оскільки справедливо наступне твердження – запит на повторну передачу = неправильне приймання, можна цілком обійтися одним сигналом, наприклад аналогічного із сигналом підтвердження фазування, оскільки він був обраний з урахуванням стійкості до фазових викривлень.

Таким чином, по каналу зворотного зв'язку передається тільки сигнал підтвердження правильності приймання виду, наприклад 10010111, що є загальним як для процесу фазування, так і для приймання інформаційних пакетів. Слід урахувати той факт, що сигнал підтвердження правильності приймання аналізується передавачем однозначно, і у випадку викривлення сигналу в каналі зворотного зв'язку, буде повторно переданий правильно прийнятий раніше пакет. Це невиправдано призводить до зниження швидкості передачі інформації, але надійно забезпечує відсутність інформаційних втрат.

**2.2.4 Синтез алгоритму роботи мікроконтролерного пристрою обміну даними.**

					<b>ЦЗДВН 6.05080202.064 ПЗ</b>	Арх.
						32
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата		



Алгоритм роботи мікроконтролерного пристрою обміну даними на приймальній стороні складений з урахуванням забезпечення мінімальних часових витрат на передачу сигналу й максимальної ефективної швидкості передачі сигналу.

Алгоритм роботи мікроконтролерного пристрою обміну даними виглядає наступним чином:

1. Після включення або виконання операції системного скидання пристрій переходить у режим пошуку фазуючої комбінації.
2. Після виявлення комбінації з одним одиничним бітом мікроконтролерний пристрій виконує підрахунок коригувального значення.
3. Далі згідно зі знайденим значенням корекції пристрій робить підстроювання фази прийомного регістру.
4. Після виконання операції підстроювання мікроконтролерний пристрій робить повторне читання байта із прямого каналу.
5. При збігу положення одиничного біта із заданим, пристрій переходить до виконання пункту 6, інакше – 1.
6. Далі здійснюється читання наступного байта із прямого каналу, яким повинна бути знову фазуюча комбінація.
7. Після підтвердження правильності фазування шляхом читання чергової фазуючої комбінації, мікроконтролерний пристрій відправляє запит на передачу даних і очікує одержання першого байта інформаційного пакета.
8. У випадку невиконання пунктів 6 і 7 відбувається повернення до пункту 1.
9. Далі мікроконтролерний пристрій здійснює побайтове приймання даних із прямого каналу з одночасним підрахунком контрольної суми.
10. Після завершення приймання пакета даних відбувається порівняння знайденої контрольної суми із прийнятої з каналу зв'язку.
11. У випадку збігу контрольних сум відбувається видача повідомлення в канал зворотного зв'язку із запитом на передачу наступного пакета даних і перехід до пункту 13.
12. А якщо ні, то у зворотний канал не видається ніяка інформація.
13. Відбувається аналіз заголовка пакета на предмет наявності помилкової вставки раніше правильно прийнятого пакета.

					ЦЗДВН 6.05080202.064 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

14. Якщо вставка була виявлена, то відбувається перехід до пункту 9, інакше – до пункту 15.

15. Видається сигнал готовності пристроя для кінцевого устаткування даних і по запиту на видачу даних від останнього – побайтова видача даних кінцевому обладнанню споживача.

16. Якщо отриманий раніше пакет є повторним пакетом і прийнятий вірно, то відбувається читання наступного байта й пошук комбінації переходу в режим передачі без уведення надмірності, інакше – перехід до пункту 22.

17. У випадку виявлення комбінації переходу відбувається перехід до пункту 18, інакше – 9.

18. Мікроконтролерний пристрій ухвалює комбінацію із прямого каналу й відразу ж видає сигнал готовності до передачі даних для кінцевого устаткування даних.

19. До моменту введення наступного байта даних байт, що є поточним, повинен бути зчитаний з пристрою.

20. Одночасно відбувається підрахунок кількості прийнятих байт для виявлення моменту закінчення приймання без введення надмірності.

21. Якщо цей момент наступив, то мікроконтролерний пристрій завершує приймання по методу без введення надмірності й переходить до виконання пункту 9.

22. Після виявлення більш двох повторних пакетів пристрій не видає у зворотний канал ніякої інформації й переходить у режим фазування.

23. Після завершення фазування здійснюється перехід до пункту 16.

### **2.2.5 Розробка структурної схеми мікроконтролерного пристрою обміну даними.**

Структурна схема приймальні частини пристрою захисту від помилок – мікроконтролерного пристрою обміну даними – зображено на рисунку 5 і складається з наступних блоків: блоку інтерфейсу з апаратурою передачі даних, перетворювача послідовного коду в паралельний, декодера, оперативного запам'ятовувального пристрою, блоку фазування, блоку інтерфейсу з кінцевим устаткуванням даних, блоку керування, перетворювача паралельного коду в послідовний і блоку інтерфейсу з апаратурою передачі сигналів зворотного каналу.

					ЦЗДВН 6.05080202.064 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дані з каналу зв'язку детектуються апаратурою передачі даних, де виділяються синхроімпульси й інформаційні сигнали. Ці сигнали надходять на інтерфейсний блок між апаратурою передачі даних і пристроєм захисту від помилок. Цей вузол необхідний для здійснення зв'язку між апаратурою передачі даних і мікроконтролерним пристроєм обміну даними. Далі дані попадають на перетворювач із послідовного коду в паралельний, до якого підключений блок фазування по циклу, необхідне для установки початкової фази перетворювача. Далі дані декодуються в декодері й записуються в оперативний запам'ятовувальний пристрій. Після одержання пакета блок керування ухвалює розв'язок або про видачу даних через інтерфейс із кінцевим устаткуванням даних з оперативним запам'ятовувальним пристроєм й надсилає запит на передачу наступного пакета даних, або – про стирання пакета й видачі запиту на повторну передачу.

Для зв'язку блоку керування зі зворотним каналом служать перетворювач із паралельного коду в послідовний і інтерфейс із АПД зворотного каналу.

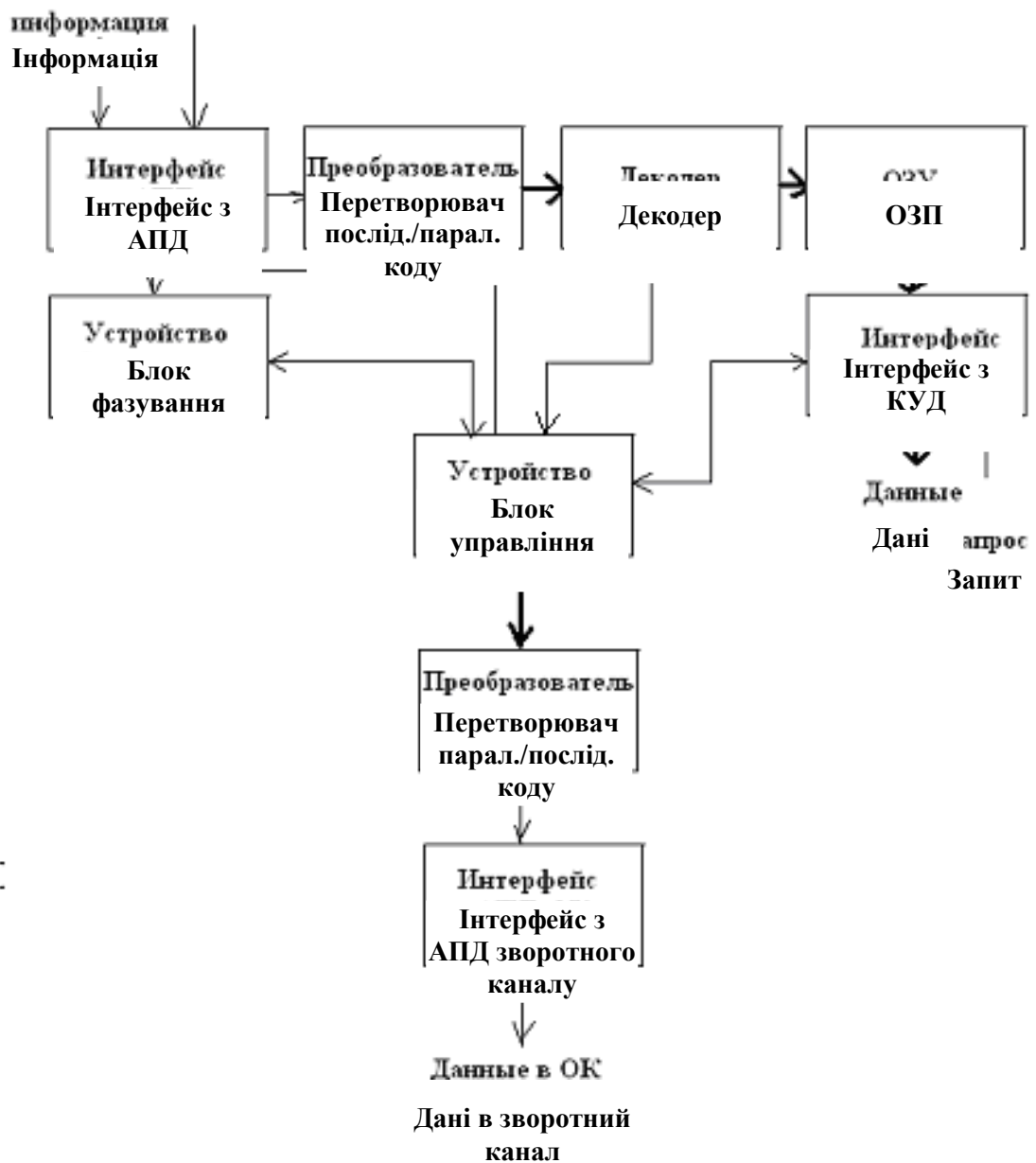


Рисунок 5 – Структурна схема мікроконтролерного пристрою обміну даними

## 3 РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ МІКРОКОНТРОЛЕРНОГО ПРИСТРОЮ ОБМІНУ ДАНИМИ

### 3.1 Загальний опис мікроконтролера

Однокристална 8-розрядна мікроЕОМ Intel 8051A (далі по тексту МК) виготовляється по n-МДП технології й випускається в 40-контактному корпусі (рисунок 6). У складі кристала (рисунок 7) утримується операційний вузол, репрограмувальний пристрій постійної пам'яті (ROM) зі стиранням ультрафіолетовим випромінюванням обсягом 4 Кбайт, що зручно при розробці дрібносерійних пристроїв, а також для зміни керуючої програми, і оперативний запам'ятовувальний пристрій (RAM) ємністю 128 байт, що є достатнім обсягом для більшості практичних застосувань, а також вузол керування й синхронізації й вузол сполучення із зовнішніми пристроями. При необхідності оперативна пам'ять даних може бути розширена до 64 Кбайт шляхом застосування зовнішніх мікросхем статичного ОЗП [6, 7].

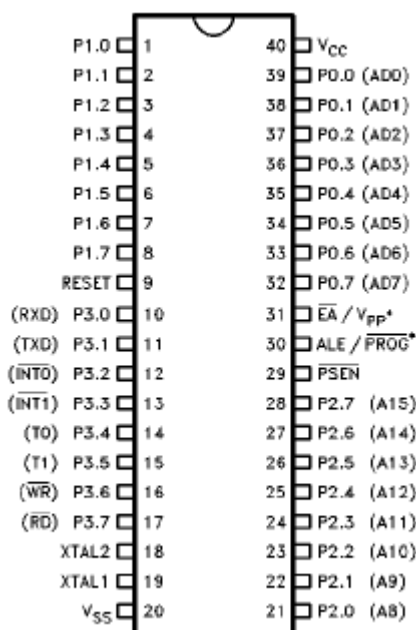


Рисунок 6 – Розведення виводів МК

МК виконує арифметичні й логічні операції над двійковими й двоїчно-десятковими числами, а також операції з окремими бітами. Система команд

складається з 44% однобайтових, 41% двухбайтових і 15% трехбайтових команд. При частоті тактового генератора 12 МГц 58% усіх команд виконується за 1 мкс, 40% – за 2 мкс. Операції множення й ділення виконуються за 4 мкс [6, 7].

До складу операційного вузла входять арифметико-логічний пристрій, регістр акумулятор АСС, буферні регістри тимчасового зберігання операндів TMP1 і TMP2, регістр ознак PSW, регістр спеціального призначення В, що бере участь в операціях множення й ділення і схема десяткової корекції СДК. Регістри АСС, В и PSW доступні для програміста й можуть бути використані як звичайні комірки пам'яті внутрішнього ОЗП.

8-розрядне АЛУ (ALU) виконує арифметичні операції додавання, вирахування, множення, ділення, логічні операції І, АБО, інвертування, операції зрушення вліво й вправо. Важливою особливістю АЛУ МК є можливість операцій з окремими бітами.

Формування ознак проводиться при виконанні арифметичних і логічних операцій, а також деяких операцій побітової обробки. У таблиці 3 наведена структура регістру ознак МК.

Таблиця 3 – Структура регістру ознак PSW МК

<b>C</b>	<b>AC</b>	<b>F0</b>	<b>RS1</b>	<b>RS0</b>	<b>OV</b>	<b>1</b>	<b>P</b>
----------	-----------	-----------	------------	------------	-----------	----------	----------

Старший сьомий розряд призначений для зберігання ознаки переносу С. Вміст розряду може бути змінене при виконанні арифметичних і логічних операцій, а також програмно.

АС – ознака проміжного переносу із третього розряду в четвертий при виконанні операцій додавання й вирахування.

П'ятий розряд являє собою ознаку користувача. Його можна встановлювати й скидати програмно.

Розряди 4 і 3 служать для вибору банку регістрів загального призначення (РОН). Установка номера банку проводиться відповідно до таблиці 4 [6, 7].

У другому розряді записується ознака арифметичного переповнення OV. Перший розряд не використовується – у ньому постійно перебуває одиниця. Нульовий розряд використовується для запису ознаки парності P.

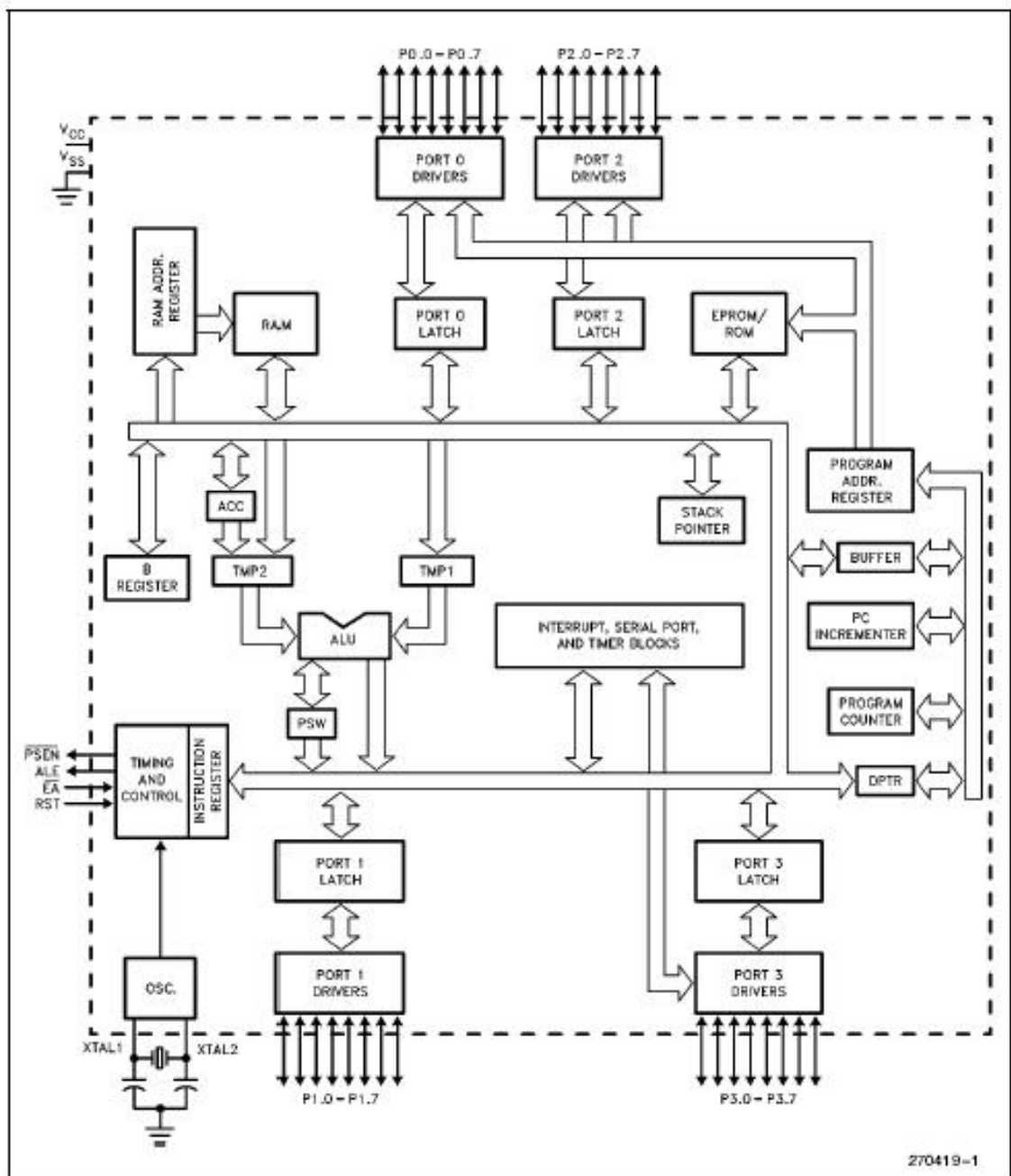


Рисунок 7 – Структурна схема МК

Регістри спеціального призначення МК мають фіксовані адреси, що забезпечує можливість звертання до них як до внутрішніх гнізд ОЗП. Функціонально внутрішні регістри спеціального призначення можуть бути розділені на наступні групи:

- арифметичні регістри: ACC – акумулятор, B – регістр множення/ділення, PSW – регістр ознак;
- регістри-Показчики: SP – показчик стека, DPTR – 16-розрядний регістр-показчик пам'яті;

- реєстри керування системою переривання: IP – реєстр керування пріоритетом переривання, IE – реєстр дозволу/заборони запитів переривання;

Таблиця 4 – Вибір номера банку реєстрів загального призначення

RS1	RS0	Номер банку	Адреса реєстрів
0	0	0	00h - 07h
0	1	1	08h - 0Fh
1	0	2	10h-17h
1	1	3	18h - 1Fh

- таймери/лічильники й реєстри керування ними: TH0 – старший байт таймера/лічильника 0, TL0 – молодший байт таймера/лічильника 0, TH1 – старший байт таймера/лічильника 1, TL1 – молодший байт таймера/лічильника 1, TCON – реєстр керування таймерами/лічильниками, TMOD – реєстр режимів таймерів/лічильників.
- порти введення/виводу: P0 – порт 0, P1 – порт 1, P2 – порт 2, P3 – порт 3.
- реєстри керування послідовним введенням/виводом: SBUF – буферний реєстр прийомопередавача, SCON – реєстр керування прийомопередавача, PCON – реєстр керування потужністю.

Для реєстрів спеціального призначення, адреси яких кратні восьми, допускається пряма адресація до кожного біта даного реєстру. Деякі комірки пам'яті внутрішнього ОЗП також допускають адресацію до кожного біта.

Програми користувача записуються в пам'ять, звичайно починаючи з адреси 0002Bh, тому що початкові адреси резервуються для обробки сигналу "Скидання" (RST) і обслуговування кожного з п'яти джерел переривання.



Простір адрес внутрішньої пам'яті даних складається з адрес внутрішнього ОЗП 00h-7Fh (128 байт) і адрес двадцяти регістрів спеціального призначення, розміщених у діапазоні 80h-0F0h [6, 7].

Внутрішня пам'ять даних використовується також для організації стека. 8-розрядний показчик стека SP служить для зберігання адреси останнього байта, записаного в стек. При заповненні стека адреса збільшується на одиницю, при зчитуванні – зменшується на одиницю. Початковий стан показчика стека SP після скидання відповідає значенню 07h і може досягати максимального значення 7Fh. Програмна зміна вмісту показчика стека дає можливість переміщати стек у будь-яку область адресного простору 00h-7Fh внутрішньої пам'яті даних.

У вузол керування й синхронізації внутрішній генератор, регістр команд і пристрій керування. До зовнішніх виводу X1 і X2 МК підключається кварцовий резонатор для стабілізації тактової частоти сигналів синхронізації. Пристрій керування на основі сигналів синхронізації формує машинний цикл фіксованої тривалості, рівний 12 періодам частоти внутрішнього генератора.

На пристрій керування МК подається також сигнал скидання RST, службовець для установки МК у вихідний стан. На вхід RST необхідно подавати високий рівень протягом двох машинних циклів (не менш 24 тактів синхронізації). Сигнал RST набудовує порти P0-P3 на введення, регістр SP установлює в стан 07h, а інші регістри спеціального призначення – у нуль.

Вузол сполучення із зовнішніми пристроями містить чотири восьмирозрядних порти введення/виведення. Кожна лінія портів може бути незалежно настроєна на введення або виведення.

Двонапрямний порт P0 може служити для передачі інформації із шини даних, що зв'язує МК із іншими пристроями мікропроцесорної системи.

Квазідвонапрямні порти P1, P2, P3 служать для обміну даними із зовнішніми пристроями.

Квазідвонапрямний порт P3 – багатофункціональний. Його лінії використовуються для введення/виводу наступних сигналів [6, 7]:

- P3.0 – RXD послідовне введення (приймач);
- P3.1 – TXD послідовний вивід (передавач);
- P3.2 –  $\overline{INT0}$  вхід зовнішнього переривання від джерела 0;
- P3.3 –  $\overline{INT1}$  вхід зовнішнього переривання від джерела 1;

- P3.4 – T0 вхід таймера/лічильника 0;
- P3.5 – T1 вхід таймера/лічильника 1;
- P3.6 –  $\overline{WR}$  вихід сигналу записи в зовнішній запам'ятовувальний пристрій даних;
- P3.7 –  $\overline{RD}$  вихід сигналу читання із зовнішнього запам'ятовувального пристрою даних.

Особливістю схемотехнічної реалізації при побудові портів введення/виведення МК є використання статично замкнених вихідних схем, що приводить до необхідності стежити за станом порту при виконанні операцій введення в порт. Операція введення в лінію порту можлива тільки за умови, якщо у відповідний розряд попередньо була записана одиниця. Необхідно відзначити, що для настроювання порту P0 на роботу як порт введення/виведення, необхідно кожний розряд порту з'єднати із джерелом живлення через резистор опором приблизно 50 кОм.

Навантажувальна здатність кожного виводу порту P0 – два входи елементів ТТЛ. Навантажувальна здатність портів P1-P3 – один вхід елемента ТТЛ.

Система команд МК складається з 111 базових команд. Їхні машинні коди можуть бути записано за допомогою одного, двох або трьох байтів.

Усі команди можуть бути розділені на чотири групи:

- 1) команди передачі даних;
- 2) команди обробки даних;
- 3) команди передачі керування;
- 4) команди для виконання операцій з окремими бітами.

Остання група команд являє собою особливий клас команд, як правило, відсутній в універсальних мікропроцесорах. Можливість оперування з бітами визначається тим, що в МК є спеціальний механізм, що одержав назву в літературі "логічний процесор".

Повний опис команд МК можна знайти у відповідній літературі. Слід тільки зазначити, що МК Intel 8051A має дуже зручну для програміста систему команд, яка була спеціально оптимізована для завдань керування.

У МК можуть бути оброблені сигнали від п'яти джерел переривання: два по переповненню вбудованих таймерів/лічильників, два від зовнішніх джерел переривання й один по стану послідовного порту. Переривання від кожного із

					ЦЗДВН 6.05080202.064 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зазначених джерел можуть бути незалежно друг від друга дозволені або заборонені, причому кожному джерелу може бути привласнений відповідний пріоритет. Джерело з більш високим пріоритетом може перервати програму обслуговування переривання з більш низьким пріоритетом.

### 3.2 Синтез принципової схеми мікроконтролерного пристрою обміну даними

На підставі структурної схеми, показаної на рисунку 5, будується принципова схема мікроконтролерного пристрою обміну даними на приймальній стороні. Принципова схема проектованого пристрою наведена на рисунку 8.

Мікроконтролер DD2 містить у собі наступні структурні блоки, показані на структурній схемі (рисунок 7):

- блок керування;
- ОЗП;
- декодер;
- перетворювач паралельного коду в послідовний для зворотного каналу;
- інтерфейс із апаратурою передачі даних зворотного каналу;
- частина інтерфейсу для кінцевого устаткування даних.

На DD5.3 і DD6.1, а також лічильнику 0 МК реалізована схема пристрою фазування по циклу. Послідовно-паралельний регістр DD2 являє собою перетворювач коду [8, 9]. Вхідним портом для читання даних з каналу зв'язку є квазідвонапрямний порт P1.

					ЦЗДВН 6.05080202.064 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

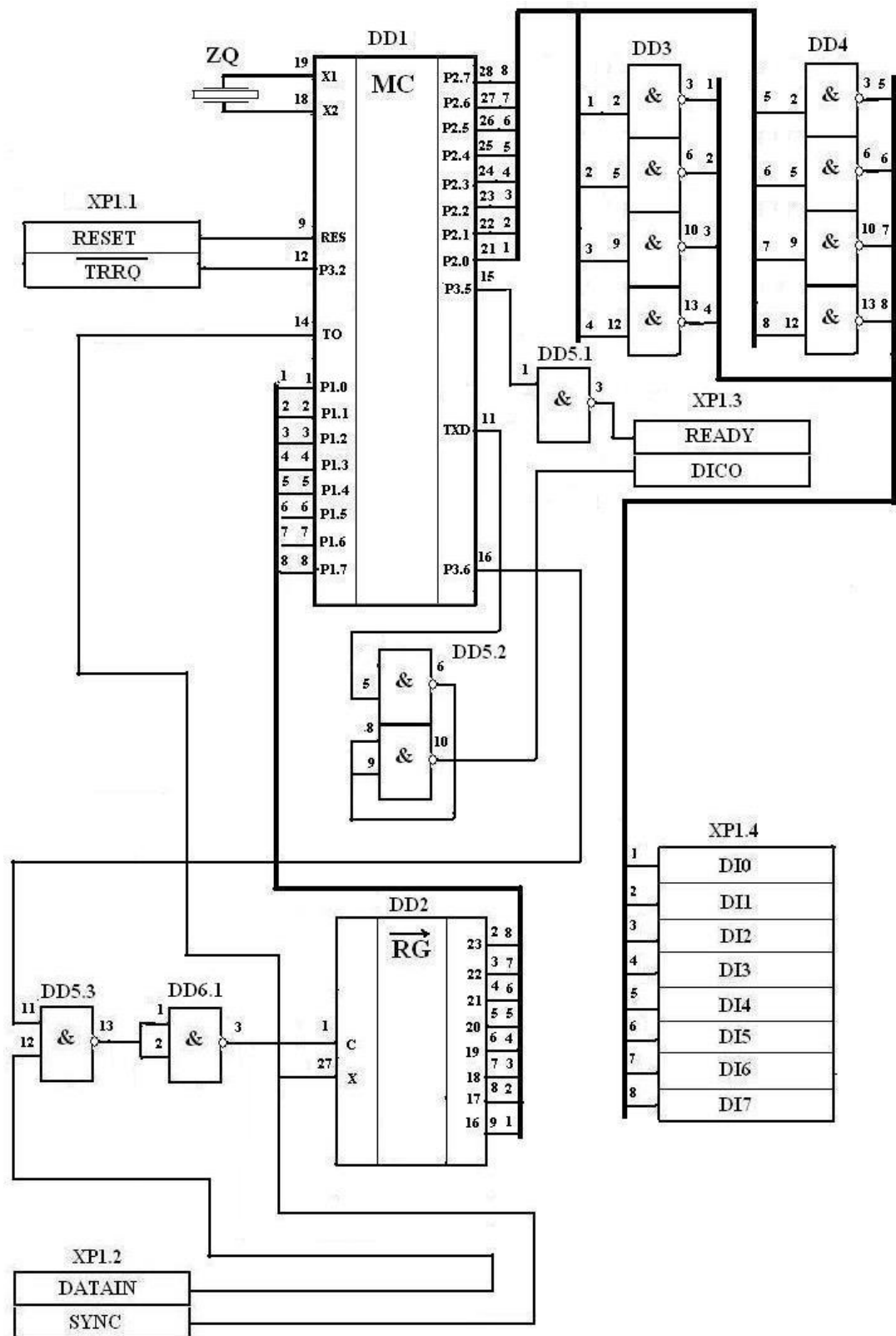


Рисунок 8 – Принципова схема мікроконтролерного пристрою обміну даними

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЦЗДВН 6.05080202.064 ПЗ

Арк.

44

Для видачі сигналу у зворотний канал служить вбудований послідовний порт МК, що працює в старт-стопному режимі із застосуванням контролю по парності.

Елементи DD3-D5.2 служать для підвищення навантажувальної здатності мікроконтролерного пристрою обміну даними й доповнюють інтерфейс зв'язку з кінцевим устаткуванням даних [8, 9]. Один вхід кожного із цих елементів пов'язаний з відповідним входом МК, а другий вільний. При цьому на вільному вході присутній рівень логічної одиниці.

Слід ураховувати, що дані, видавані з ОЗП, повинні бути попередньо інвертовані.

Призначення ліній уведення/виведення:

- P1 – уведення інформації з каналу зв'язку;
- P2 – видача даних для кінцевого устаткування даних;
- P3.2 – запит на видачу даних від кінцевого устаткування даних;
- T0 – вхід рахунку синхроімпульсів;
- TXD – вихід послідовного порту у зворотний канал.

Усі елементи схеми сумісні по рівнях з елементами ТТЛ [8, 9].

					<b>ЦЗДВН 6.05080202.064 ПЗ</b>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		45

## 4 СИНТЕЗ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІКРОКОНТРОЛЕРНОГО ПРИСТРОЮ ОБМІНУ ДАНИМИ

При проектуванні програмного забезпечення для мікроконтролерного пристрою обміну даними зручно скористатися розбивкою основної програми на ряд підпрограм. Далі наведений текст підпрограм, що утворюють керуючу програму проектованого пристрою.

**Програма MAIN.** Це керуюча програма мікроконтролерного пристрою обміну даними. Вона виконує початкову установку мікроконтролера. Головна функція даної програми – виконання синтезованого алгоритму роботи пристрою.

```
;призначення регістрів, використовуваних в MAIN
;R0 - покажчик на пам'ять
;R3 - контрольна сума
;R4 - лічильник збійних пакетів
;R5 - поточний номер пакета
;R6 - лічильник пакетів у режимі 2
;R7 - прийнятий байт у режимі 2
MAIN:
MOV TMOD,00100110B      ;настроювання режимів таймера/лічильника
MOV TH0,F8H             ;завантаження лічильника
MOV TH1,D7H             ;завантаження таймера
MOV SCON,11001000B     ;настроювання порту
STB TR0                 ;запуск лічильника
LABEL_0:                ;мітка 0
ACALL PHASE             ;виклик підпрограми фазирования по циклу
JB R4.1,MODE_2         ;перехід у режим 2
LABEL_1:                ;мітка 1
CLR A                   ;очищення акумулятора
MOV R6,A                ;очищення лічильників пакетів у режимі 2
MOV A,R4                ;читання лічильника збійних пакетів
```

					<b>ЦЗДВН 6.05080202.064 ПЗ</b>	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

XRL A,00000010           ;було два збійні пакети?

JZ LABEL_0               ;так - перехід на мітку 0

ACALL DATAINPUT        ;немає - виклик підпрограми читання із
каналу

MOV R0,31H              ;запис покажчика на прийняту із каналу суму

MOV A,@R0               ;читання контрольної суми в акумулятор

XRL A,R3                ;пакет прийнятий вірно?

JZ LABEL_2               ;так - перехід на мітку 2

INC R4                  ;немає - інкремент лічильника помилкових
пакетів

JMP LABEL_1             ;перехід на мітку 1

LABEL_2:                 ;мітка 2

ACALL SEROUT            ;виклик підпрограми видачі запиту

MOV C,R4.0              ;перевірка вступу вірного пакета

JC MODE_2               ;помилка була - перехід у режим 2

CLR A                   ;очищення акумулятора

MOV R4,A                ;очищення лічильника помилкових пакетів

MOV R0,20H              ;запис в акумулятор покажчика

MOV A,@R0               ;читання номера пакета в акумулятор

XRL A,R5                ;пакет помилково повторний?

JZ LABEL_1              ;так - читання нового пакета

ACALL DATAOUT          ;немає - видача пакета споживачеві

MOV R0,20H              ;запис в акумулятор покажчика на номер

MOV A,@R0               ;читання номера пакета в акумулятор

MOV R5,A                ;збереження поточного номера пакета

JMP LABEL_1             ;продовження читання пакетів із КС

MODE_2:                 ;мітка початку підпрограми роботи в режимі 2

CLR A                   ;очищення акумулятора

MOV R4,A                ;очищення лічильника помилкових пакетів

ACALL FDIN              ;виклик підпрограми читання даних у режимі 2

MOV A,R7                ;читання байта з R7 в A

XRL 11111111B          ;є підтвердження режиму 2

```

					<b>ЦЗДВН 6.05080202.064 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

```

JNZ LABEL_1           ; немає - перехід у звичайний режим
LOOP1:                ; початок роботи в режимі 2

MOV A,R6              ; читання лічильника прийнятих четвірок байт
XRL A,90H             ; порівняння з максимальним числом
JZ LABEL_1           ; завершення режиму 2
ACALL FDIN            ; виклик підпрограми читання байта із КС
ACALL FDOUT          ; виклик підпрограми видачі даних
ACALL FDIN            ; виклик підпрограми читання байта із КС
ACALL FDOUT          ; виклик підпрограми видачі даних
ACALL FDIN            ; виклик підпрограми читання байта із КС
ACALL FDOUT          ; виклик підпрограми видачі даних
ACALL FDIN            ; виклик підпрограми читання байта із КС
ACALL FDOUT          ; виклик підпрограми видачі даних
INC R6                ; інкремент лічильника четвірок байт
JMP LOOP1             ; продовження приймання

```

					<b>ЦЗДВН 6.05080202.064 ПЗ</b>	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## ВИСНОВОК

В кваліфікаційній роботі бакалавра були розглянуті питання, пов'язані з проектуванням пристрою захисту від помилок на базі мікроконтролера – мікроконтролерного пристрою обміну даними.

Алгоритм функціонування та структурна схема проектованого пристрою на приймальній стороні побудовані за принципом застосування вирішального зворотного зв'язку з урахуванням забезпечення мінімальних часових витрат на передачу сигналу й максимальної ефективної швидкості передачі сигналу. Основними блоками мікроконтролерного пристрою є перетворювачі паралельного коду в послідовний й навпаки, декодер і інтерфейсні блоки спряження з кінцевим устаткуванням даних та апаратурою передачі даних.

Основні функціональні можливості та характеристики отриманого мікроконтролерного пристрою обміну даними є наступні:

- застосування вирішального зворотного зв'язку;
- контроль й виправлення пакетних помилок від 1 до 6 помилок;
- мінімальний термін появи пакету помилок 1 с;
- ймовірність викривлення одиночного символу  $\leq 7,3 \cdot 10^{-4}$ ;
- ймовірність появи пакету помилок  $\leq 2 \cdot 10^{-4}$ ;
- синхронний спосіб фазування;
- час входження у фазу  $\leq 6,67 \cdot 10^{-3}$ ;
- завадостійке кодування кодом з контролем по парності;
- виявлення будь-якого пакету помилок, кратністю не більш довжини контрольної суми;
- надмірність закодованого повідомлення 0,167;
- ефективна швидкість передачі даних 4622 біт/с.

Елементна база проектованого пристрою – мікроконтролер фірми Intel 8051A, мікросхеми ТТЛШ-логіки SN74ALS. Ємність оперативної пам'яті пристрою для організації буферів приймання даних та передачі командних сигналів складає 128 байт, ємність постійної пам'яті для зберігання програмного забезпечення – 4 Кбайт.

					ЦЗДВН 6.05080202.064 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Хвоц С.Т. Организация мультиплексных каналов последовательной передачи данных / С.Т. Хвоц, В.В. Дорошенко, В.В. Горовой. – Л.: Машиностроение, 1989. – 271 с.
- [2] Хвоц С.Т. Мультиплексные каналы межмодульного обмена корабельных систем / С.Т. Хвоц, В.В. Дорошенко, С.В. Бочкарев и др. – Петербург: Румб, 2014. – 151 с.
- [3] Чернега В.С. Расчет и проектирование технических средств обмена и передачи информации: учеб. пособие для вузов / В.С. Чернега, В.А. Василенко, В.Н. Бондарев. – М.: Высш. шк., 1990. – 224 с.
- [4] Кожевников В.Л. Теорія інформації та кодування: навчальний посібник / В.Л. Кожевников, А.В. Кожевников. – Д.: Національний гірничий університет, 2013. – 108 с.
- [5] Declercq David. Channel Coding: Theory, Algorithms, and Applications / David Declercq, Marc Fossorier, Ezio Biglieri. – London, United Kingdom: Elsevier science & technology, 2016. – 690 p.
- [6] Микушин А.В. Цифровые устройства и микропроцессоры: учеб. пособие / А.В. Микушин, А.М. Сажнев, В.И. Сединин. – СПб.: БХВ-Петербург, 2013. – 832 с.
- [7] Рябенький В.М. Цифрова схемотехніка: навчальний посібник / В.М. Рябенький, В.Я. Жуйков, В.Д. Гулий. – Львів: Новий Світ-2000, 2017. – 736 с.
- [8] Платт Чарльз. Энциклопедия электронных компонентов. Том 2. Тиристоры. Аналоговые и цифровые микросхемы. Светодиоды. ЖК-дисплеи. Источники звука / Чарльз Платт, Фредерик Янссон. – СПб: BHV, 2016. – 368 с.
- [9] <http://www.diagram.com.ua/library/handbooks-ic/> Справочники по зарубежным микросхемам и транзисторам (Сторінка оновлена 2019 р.).

					ЦЗДВН 6.05080202.064 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50