

## 9. РОЗРОБКА ФОРМАТУ ПОВІДОМЛЕННЯ, АЛГОРИТМУ ФУНКЦІОНУВАННЯ І СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ПЗП

- 9.1 Ефективна швидкість передачі.
- 9.2 Формат повідомлення.
- 9.3 Алгоритми роботи ПЗП.
- 9.4 Структурні схеми ПЗП.

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

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

де  $k$  – кількість інформаційних елементів;  
 $n_{\sigma}$  – загальне число елементів у блоці;  
 $r$  – число перевірочних елементів.

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

$$V_{\text{эф}} = \frac{n_{\sigma} - r}{n_{\sigma} \tau_o} = V \left( 1 - \frac{r}{n_{\sigma}} \right) = V(1 - R), \quad (2)$$

де  $V$  – швидкість передачі, біт/с, чисельно рівна для двійкових систем швидкості модуляції  $B = 1/\tau_o$ .

У реальних СПД ефективна швидкість буде менше за рахунок передачі в каналі, крім  $r$  перевірочних елементів, додаткової службової інформації, що складається з  $n_{\text{сл}}$  біт, тобто

$$V_{\text{эф}} = \frac{n_{\sigma} - r - n_{\text{сл}}}{n_{\sigma} \tau_o} = V \left( 1 - \frac{r + n_{\text{сл}}}{n_{\sigma}} \right). \quad (3)$$

У системах зі ЗЗ ефективна швидкість ще більше знижується за рахунок повторної передачі спотворених блоків. У цьому випадку  $V_{эф}$  визначається по формулі

$$V_{эф} = V \left( 1 - \frac{N_{n\bar{o}}}{N_{\bar{o}}} \right) \left( 1 - \frac{r + n_{cl}}{n_{\bar{o}}} \right), \quad (3)$$

де  $N_{\bar{o}}$  – загальне число переданих блоків за сеанс зв'язку;

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

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

$$N_{n\bar{o}} = \frac{N_{\bar{o}} P_o n_{\bar{o}}}{1 - P_o n_{\bar{o}}}. \quad (4)$$

Величина  $N_{\bar{o}}$  являє собою верхню границю числа повторно переданих блоків. **Отже, оцінка нижньої границі ефективної швидкості може бути отримана на основі (4) з урахуванням (3):**

$$V_{эф \min} = V \left( 1 - \frac{P_o n_{\bar{o}}}{1 - P_o n_{\bar{o}}} \right) \left( 1 - \frac{r + n_{cl}}{n_{\bar{o}}} \right). \quad (5)$$

Як видно з (10), ефективна швидкість залежить від значення ймовірності  $P_o$  помилкового прийому по одиничних елементах, кількості перевірочних  $r$  і службових  $n_{cl}$  біт і від довжини блоку  $n_{\bar{o}}$  (залежність від  $n_{\bar{o}}$  нелінійна). *Задаючись рядом значень  $n_{\bar{o}}$  при фіксованих  $P_o$ ,  $r$  і  $n_{cl}$ , можна побудувати графік залежності  $V_{эф}$  від  $n_{\bar{o}}$  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. Тоді як формулу для розрахунку ефективної швидкості СПД із вирішальним ЗЗ можна бути взята (5), замінивши в ній відповідно ймовірність помилкового прийому елемента  $P_o$  на ймовірність появи пачки помилок  $P_{no}$ . *Оптимальна довжина блоку може бути знайдена шляхом побудови залежності  $V_{эф} = \psi(n_o)$  при заданих значеннях  $P_{no}$ ,  $r$  і  $n_{cl}$ .*

Для підвищення ефективності передачі даних метод кодування варто вибирати таким чином, щоб **задана завадостійкість** забезпечувалася **при мінімальному числі перевірочних елементів  $r$** , те ж саме стосується і **службових знаків**. Величина  $r$  залежить від використовуваного коду, що вибирається виходячи з необхідної ймовірності  $P_{кк}$  помилкового прийому кодової комбінації й характеру помилок у дискретному каналі.

Передача повідомлень від відправника до одержувача за звичаєм здійснюється поблочно. Блок може містити десятки й сотні символів (кодових комбінацій). Збільшення довжини блоку веде до підвищення числа перевірочних елементів  $r$ , однак  $r$  збільшується значно повільніше  $n_o$ . Тому, якщо необхідно забезпечити максимальну ефективну швидкість передачі інформації, то потрібно збільшувати довжину блоку. Оптимальна величина блоку визначається із графіка залежності  $V = \psi(n_o)$  при фіксованих  $P_o$ ,  $n_{cl}$  і  $r$  (це збільшення довжини блоку приводить до збільшення затримки видачі інформації одержувачеві й ускладнює апаратну реалізацію СПД).

На практиці рекомендується використати інформаційні блоки довжиною  $k$  біт, обрані з ряду 120, 240, 480, 960 біт. **Прийнятною ефективною швидкістю вважається  $V_{эф} = (0,9 \div 0,95) \cdot V$ , біт/с.**

З метою запобігання втрати блоку або вставки (повторно переданого того самого блоку) кожному блоку при передачі

варто привласнювати певний порядковий номер НБ, а на прийомній стороні контролювати дотримання черговості їхнього надходження. 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  $n_N$ , виділених для кодування номерів блоків.

Окрім НБ у блок можуть бути введені комбінації, що позначають початок НТ і кінець КТ блоку, що складаються з  $n_n$  і  $n_k$  біт відповідно. Ці комбінації для коду, використовуюваного для передачі даних, мають стандартні значення: НТ – 0000010 і КТ – 0000011. У багатьох практичних випадках знаки НТ і КТ вводять до складу інформації, формованої відправником, і немає необхідності формувати їх у СПД. Тоді ознакою початку блоку може бути комбінація НБ, а прийом номера наступного блоку свідчить про закінчення попереднього.

До складу службових символів блоку може входити фазуюча кодова комбінація (ФК), що складається з  $l$  одиничних елементів, що служить для забезпечення синхронного перемикавання передавальних і прийомного розподільників. Таким чином, формат блоку повідомлення каналі зв'язку має вигляд, показаний на рисунку 1. Кількість службових біт  $n_{сл}$  дорівнює сумі

$$n_{сл} = n_n + n_k + l + n_N. \quad (11)$$

**Приклад 1.** Розрахувати оптимальну довжину блоку повідомлення, якщо помилки на виході дискретного каналу незалежні й з'являються з імовірністю  $P_o = 1 \cdot 10^{-4}$ , а формат повідомлення має наступні параметри:  $l = 8$ ;  $n_N = 4$ ;  $r = 12$ ;  $n_n = n_k = 0$ .

**Рішення.** Скориставшись (10), побудуємо графік залежності відносної ефективної швидкості  $V_{эф}/V$  від довжини блоку  $n_\sigma$ . Задаючи значення  $n_\sigma$  від 100 до 800 із кроком 100,

обчислимо  $V_{эф}/V$ . Графік залежності представлений на рисунку 2, з якого видно, що максимальна швидкість передачі даних одержувачеві має місце при  $n_σ = 450$ . Вибираємо стандартну довжину блоку  $n_σ = 480 + 12 + 4 + 8 = 504$  біт.

**Приклад завершений.**

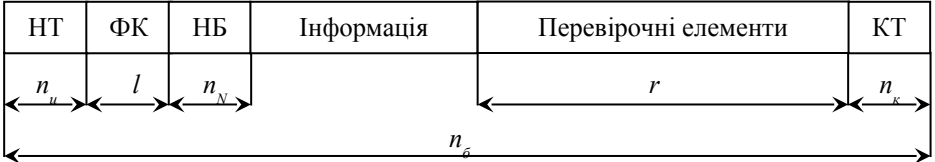


Рисунок 1 – Типовий формат блоку повідомлень

Складання алгоритму функціонування є одним з найважливіших завдань проектування ПЗП. У процесі виконання курсового проекту це завдання поряд з побудовою часових діаграм представляє для студентів основні труднощі. 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 їхнього 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 крайовим устаткуванням даних (КУД) і передачі даних по КЗ.

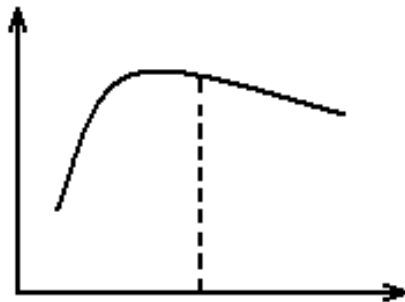


Рисунок 2 – Залежність відносної ефективної швидкості від довжини блоку

Для полегшення цього завдання приведемо **перелік основних функцій, які є типовими для всіх типів ПЗП: 1) початкова установка блоків ПЗП; 2) прийом, перетворення й контроль інформації, що надходить від джерела на передавальній стороні, і видача її споживачеві на приймальній; 3) обмін керуючими сигналами між (ППС) відправником і споживачем (КУД); 4) генерування тактових імпульсів і синхронізація (у випадку роботи без ППС); 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 їхнього надходження 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 прийом їх із заданою вірністю; 10) підрахунок кількості переданих підряд тих самих блоків; 11) формування сигналів аварійної ситуації і їхня індикація; 12) індикація стану апаратури.**

При відображенні стану апаратури доцільно передбачити наступні можливі ситуації: включення живлення АПД; підключення ППС до лінії; виклик; передача/прийом; очікування; немає несучої; помилка периферійного пристрою; помилка нумерації блоків; 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 при програмної реалізації – відповідні підпрограми. Наприклад, для реалізації першої функції потрібний блок початкової установки пристрою, що формує імпульс установки всіх інших блоків у вихідний стан (скидання в нульовий стан або запис в елементи пам'яті певної кодової комбінації, що повинна

видаватися із блоку на початку роботи). Звичайно початкова установка апаратури відбувається через 1-2 с після ввімкнення живлення або при перемиканні режимів роботи.

Для реалізації другої функції в структурну схему передавальної частини необхідно ввести блок прийому й перетворення повідомлення, що повинен забезпечити короточасне зберігання поступаючих 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 прийому й перетворення доцільно здійснювати контроль введеної інформації на пара/непара. У прийомній частині ПЗП блок перетворення й видачі виконує зворотнє перетворення інформації, що надходить до споживача, а також може здійснювати контроль виведених символів на пара/непара. Для керування роботою КУД обидва ці блоки повинні формувати відповідні імпульси, що здійснюють синхронізацію введення/виведення інформації (запит чергового біта або байта, зупинку джерела при виведенні даних з буферного накопичувача, якщо буде потреба повторної передачі блоку).

Таким чином, з урахуванням певних функцій, які повинен виконувати ПЗП і заданої послідовності передачі необхідних кодових комбінацій у канал (формату блоку), складається укрупнений алгоритм роботи й детальна структурна схема ПЗП. На рисунках 3, 4 наведені блок-схеми укрупненого алгоритму передавальної й приймальної частин АПД із вирішальним 33 і безмаркерним способом групового фазування. У цьому алгоритмі враховані основні функції ПЗП, перераховані вище.

На підставі розробленого алгоритму складається структурна схема ПЗП, що являє собою сукупність основних блоків, що реалізують задані функції, і зв'язки між ними. Зв'язки вказуються тільки між тими блоками, які безпосередньо взаємодіють у процесі роботи ПЗП. Структурну схему варто

розробляти по можливості докладніше, що істотно полегшить завдання побудови електричної функціональної схеми.

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

Приклад структурної схеми ПЗП для реалізації алгоритму (див. рисунки 3, 4) показаний на рисунках 5 і 6. ПЗП складається з передавальної (рисунок 5) і приймальної (рисунок 6) частин. **Передавальна частина містить наступні блоки: перевірки й перетворення інформації (БПП); буферний накопичувач (БН); датчик номера блоку (ДНБ); датчик службових комбінацій (ДСК); кодер; формувачі сигналів обміну з КУД і ППС ( $\Phi\text{CO}_1$  і  $\Phi\text{CO}_2$ ); початкові установки (БПУ); пристрій керування ( $\text{ПК}_{\text{пл}}$ ); формувач тактових імпульсів (ФТІ); аварійної сигналізації й індикації (БАСІ); лічильник числа повторних запитів (ЛПЗ); аналізатор зворотного каналу зв'язку (АЗКЗ).**

До складу прийомної частини входять блоки: реєстр службових комбінацій (РгСК); декодер (ДК); вхідний реєстр (ВхРг); формувач сигналів зворотного зв'язку (ФСЗЗ); дешифратор службових комбінацій (ДшСК); буферний накопичувач (БН); перетворення й видачі інформації (БПВІ); формувач тактових імпульсів (ФТІ); пристрій керування ( $\text{ПК}_{\text{зм}}$ ); початкової установки (БПУ); формувачі сигналів обміну з КУД і УПС ( $\Phi\text{CO}_1$  і  $\Phi\text{CO}_2$ ); циклового фазування (БЦФ); аварійної сигналізації й індикації (БАСІ).



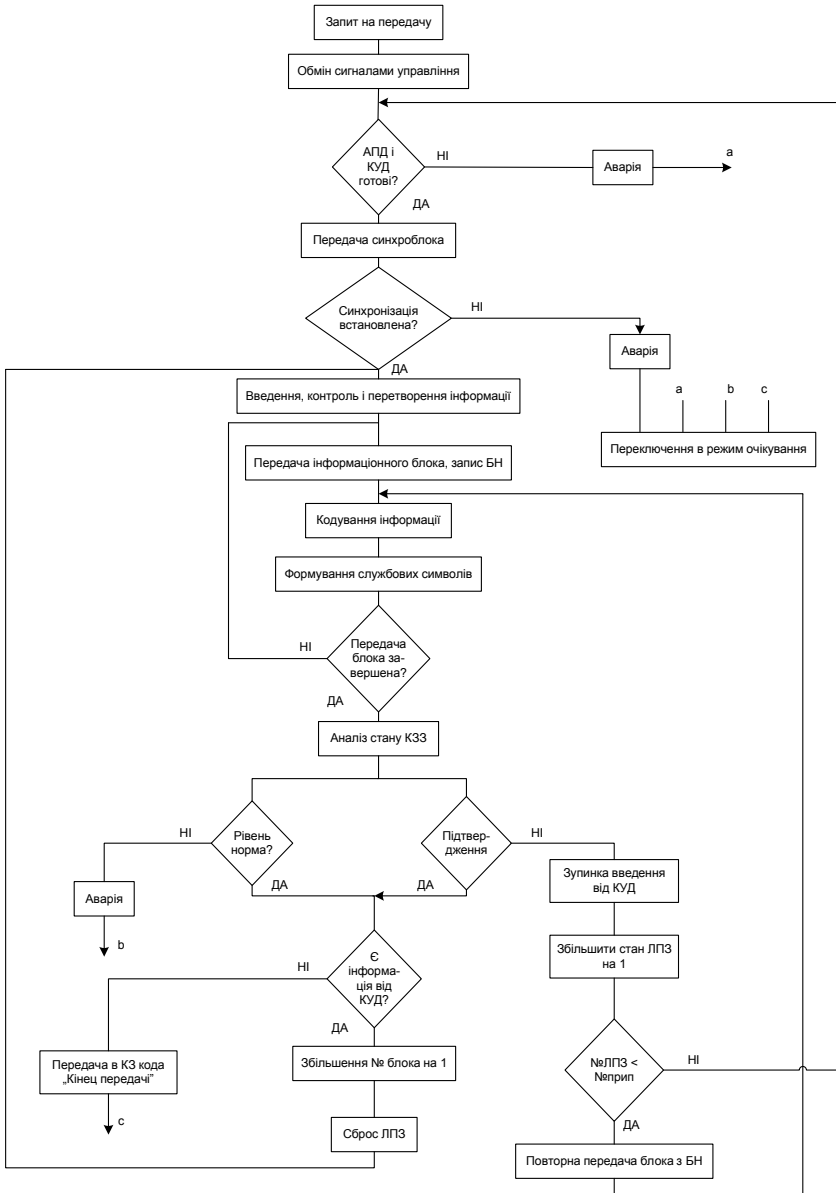


Рисунок 3 – Укрупнений алгоритм передавальної частини АПД

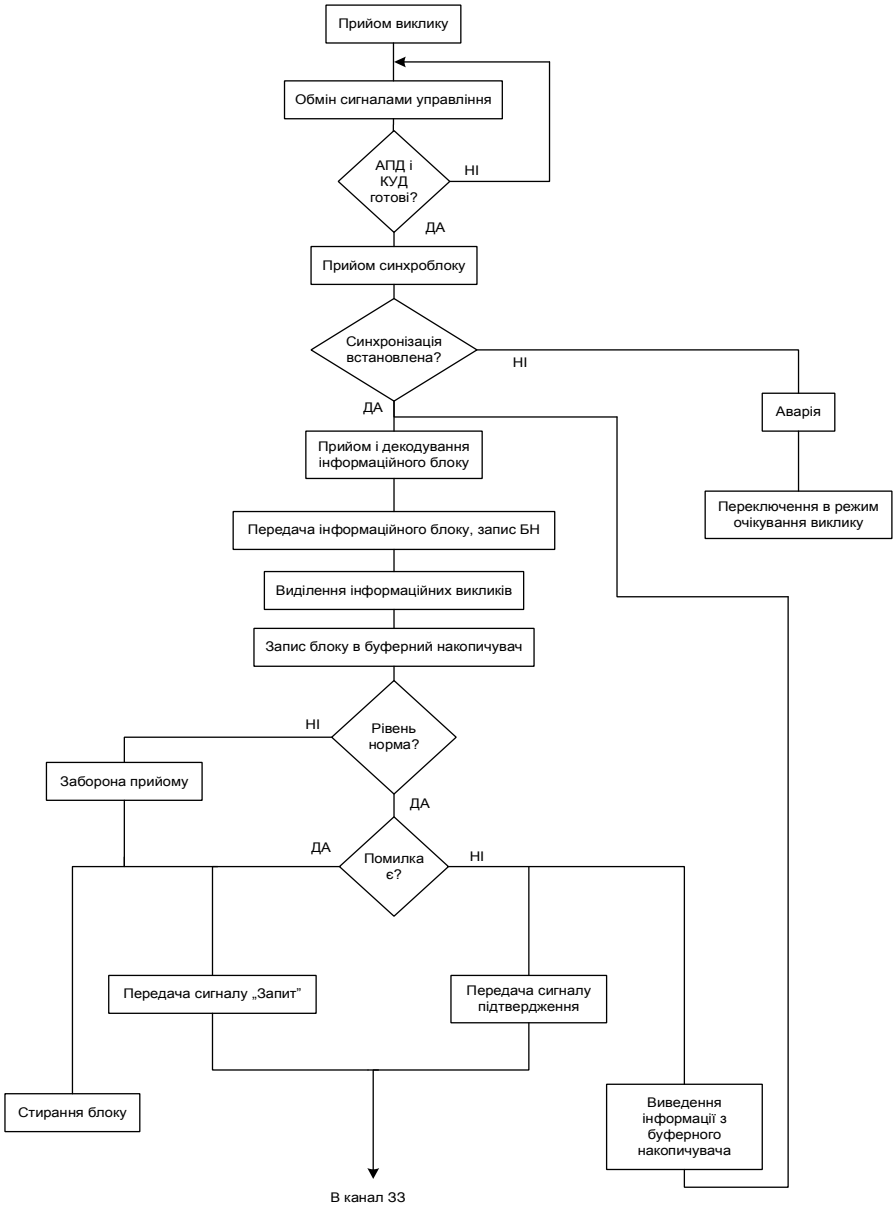


Рисунок 4 – Укрупнений алгоритм приймальної частини АПД

Основним блоком ПЗП є пристрій керування (ПК), що управляє роботою всіх інших блоків. Керуючі впливи на виході ПК виробляються на основі аналізу вхідних сигналів і залежать від режиму роботи ПЗП й тимчасової позиції в межах синхронізуючого або інформаційного блоку. ПК являє собою керуючий автомат, виконаний на основі твердої або програмованої логіки; ПК із твердою логікою звичайно будуються на основі розподільників імпульсів, а програмовані - на основі мікропроцесорної техніки. Перемикання ПК відбувається під дією тактових імпульсів, формованих ФТІ, які можуть бути використані для синхронізації УПС. У ФТІ також передбачається можливість синхронізації від тактових імпульсів УПС.

ПЗП працює в такий спосіб. У вихідному стані обидві частини ПЗП перебувають у стані очікування виклику. При надходженні запиту на передачу від джерела інформації ПЗП обмінюється керуючими сигналами з КУД і ППС відповідно до технічних вимог на стандартний стик [4]. Для вироблення необхідних сигналів обміну використовуються відповідні формувачі ФСО<sub>1</sub> і ФСО<sub>2</sub>. За допомогою ППС передавальної частини в канал виклику посиляється сигнал виклику, після прийому якого лінія зв'язку віддаленої АПД перемикається з пристроєм автоматичного виклику на вхід ППС. Якщо АПД або КУД не готові до процесу передачі даних, то включається сигналізація "Аварія АПД" або "Аварія КУД", а апаратура перемикається знову в режим очікування виклику. При готовності АПД і КУД передавач ПЗП посиляє в канал синхросигнали, які використовуються для фазування по циклу ПК<sub>пм</sub>. Фазуюча послідовність формується в передавачі датчиком ДСК, потім передається в канал зв'язку і після прийому фіксується в РгСК. Сигнал реєстрації виявлення фазуючої (маркерної) комбінації виробляється ДшСК і надходить у БЦФ, що формує відповідні керуючі впливи, що зміщають по фазі ПК<sub>пм</sub> доти, поки воно не буде перемикатися синфазно з ПК<sub>пд</sub>. Цей момент фіксується ДшСК, що забороняє подальший зсув фази ПК<sub>пм</sub>, а також виробляє сигнал підтвердження прийому

синхроблока й за допомогою ФСЗЗ передає його в канал зворотного зв'язку. Наприкінці кожного циклу роботи ПК<sub>пд</sub> опитує АЗКЗ і у випадку виявлення сигналу підтвердження перемикає АПД із режиму фазування в режим передачі даних. Якщо протягом заданого числа циклів (наприклад, 5) фазування не досягнуто, то включається аварійна сигналізація "Немає фази" і АПД перемикається в режим очікування виклику.

Після завершення процесу групового фазування ФСО<sub>1</sub> передавача генерує сигнал запиту даних від КУД відправника повідомлення. Під дією керуючих сигналів ПК<sub>пд</sub> до інформаційної послідовності, що надходить із КУД і перетвореної в послідовний код у БППП, на відповідних тимчасових позиціях додаються кодові комбінації номера блоку, формовані датчиком ДНБ, а також інші службові символи (наприклад, початок і кінець блоку), зчитувані із ДСК. Дані, передані в дискретний канал зв'язку, кодуються завадостійким кодом. Сформовані кодером перевіірочні елементи додаються до інформаційних і службових символів наприкінці блоку. Надійшовши від КУД інформаційна послідовність одночасно з передачею в канал зв'язку записується в буферний накопичувач БН. Причому його ємність залежить від типу й алгоритму роботи ПЗП, а також від часу розповсюдження сигналів по каналу зв'язку. Аналогічним чином формуються наступні блоки. Наприкінці кожного блоку ПК<sub>пд</sub> опитує стан аналізатора зворотного каналу зв'язку й у випадку наявності сигналу "Підтвердження" здійснює подальшу передачу наступних блоків або при наявності сигналу "Запит" припиняє уведення інформації й видає повторно із БН блок, у якому виявлена помилка. ЛПЗ контролює кількість повторних запитів того самого блоку й при досягненні більше встановленого числа перемикає ПЗП в режим циклового фазування.

На прийомній стороні за допомогою ПК<sub>пм</sub> відбувається поділ службових і інформаційних елементів. Перші записуються в РгСК, а другі – у вхідний регістр ВхРг. ДшСК перевіряє черговість і правильність надходження службових комбінацій і інформує про цьому ПК<sub>пм</sub>. Одночасно ДК здійснює декодування

прийнятого повідомлення. Інформаційні елементи в міру заповнення ВхРг перезаписуються в БН. По завершенню прийому блоку інформації ПК<sub>пм</sub> на підставі даних про правильність прийому службових символів і відсутності помилок у прийнятому блоці, а також при наявності дозволяючого сигналу з детектора рівня несучої дозволяється видача інформації КУД-одержувачу. У блоці БПВІ здійснюється перетворення прийнятої послідовності в необхідний формат і узгодження за рівнем з рівнями КУД. Одночасно ПК<sub>пм</sub> виробляє сигнал "Підтвердження", що формується ФСЗЗ і надходить у зворотний канал зв'язку. Якщо ж при прийомі блоку порушена хоча б одна із прийнятих умов (спотворені комбінації початку й кінця блоку, номер прийнятого блоку не відповідає встановленій черговості) або в процесі декодування виявлена помилка, то відбувається стирання прийнятого блоку, а у зворотний канал зв'язку передається сигнал "Запит".

Блоки аварійної сигналізації й індикації ПЗП забезпечують сигналізацію передбачених аварійних ситуацій і їхню індикацію, а також індикацію режимів роботи ПЗП. Вихідні сигнали цього блоку використовуються для інформування оператора або ЕОМ. Спрощена часова діаграма передавальної частини ПЗП наведена на рисунку 7.

На наступному етапі проектування окремі блоки алгоритму функціонування деталізуються й формується докладна блок-схема алгоритму для всіх режимів роботи ПЗП. У цьому алгоритмі вказуються конкретні кроки, необхідні для виконання необхідних функцій відповідними блоками, а також визначаються керуючі й інформаційні сигнали на входах і виходах блоків, основні функціональні вузли, призначені для реалізації необхідних операцій, розраховуються необхідні часові співвідношення. Другий етап проектування закінчується детальною схемою алгоритму, електричною функціональною схемою, технічним описом і часовою діаграмою.

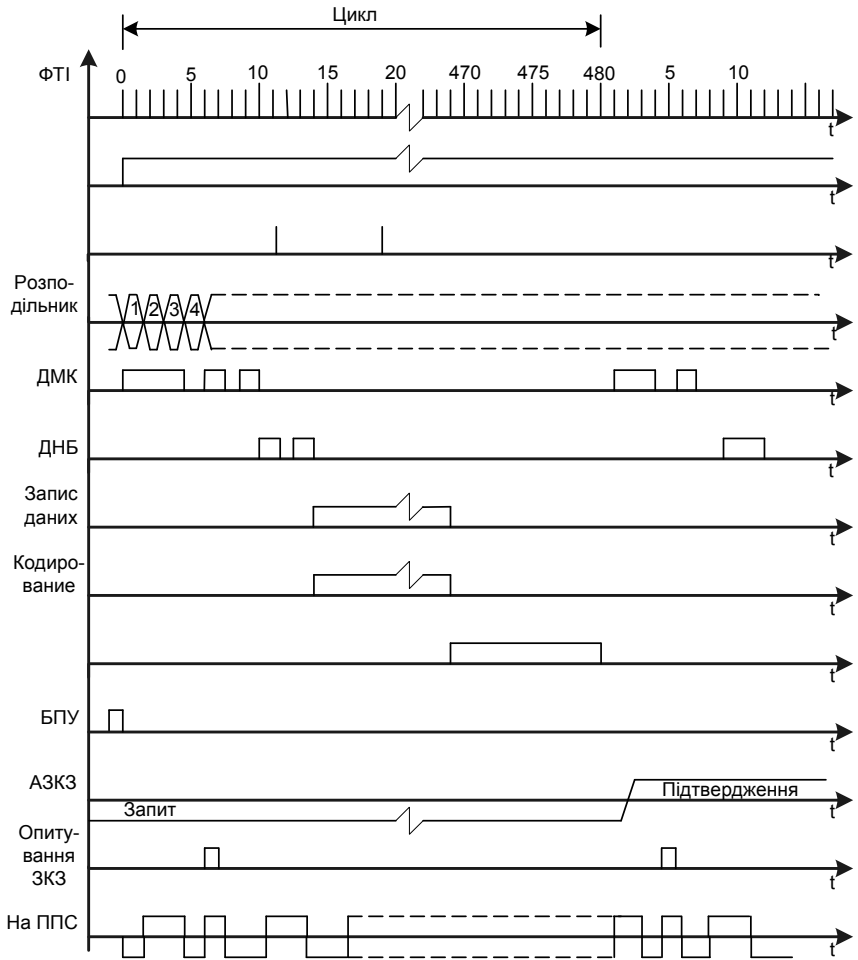


Рисунок 7 – Часова діаграма передавальної частини ПЗП

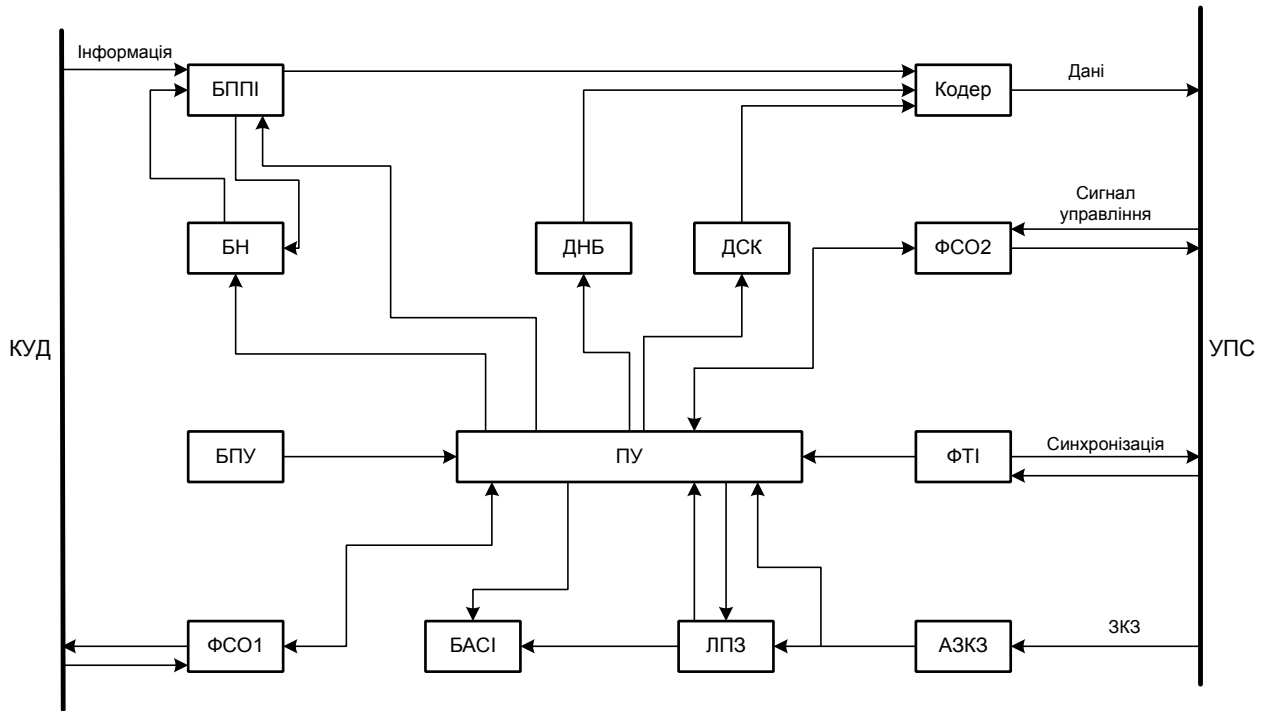


Рисунок 5 – Пристрій захисту від помилок передавальної частини

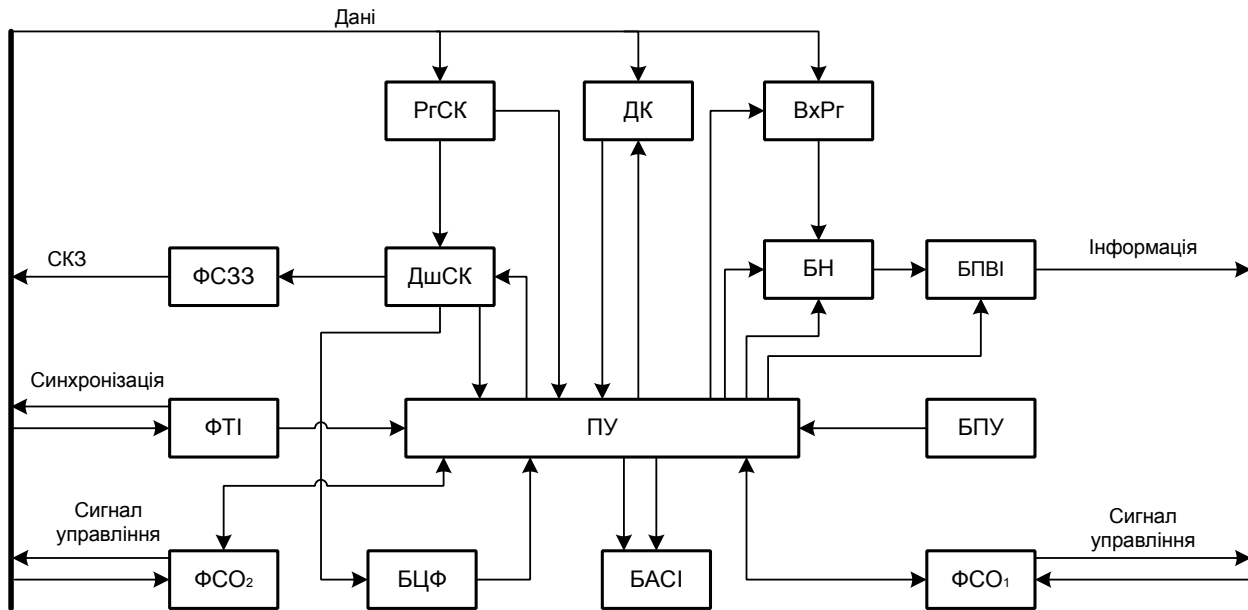


Рисунок 6 – Пристрій захисту від помилок прийомної частини