

## 8 ХАРАКТЕРИСТИКА І ВИБІР СПОСОБІВ ЗАХИСТУ ВІД ПОМИЛОК

- 8.1 Класифікація пристроїв захисту від помилок (ПЗП).
- 8.2 Споби захисту для симплексних ПЗП.
- 8.3 Споби захисту для дуплексних ПЗП.
- 8.4 Основні характеристики ПЗП.
- 8.5 Практичні рекомендації при проектуванні ПЗП.

Основним способом підвищення правильності передачі дискретних повідомлень є **введення в передачу послідовність надмірності** з метою виявлення й виправлення помилок у прийнятій інформації. Всі ПЗП діляться на дві групи: **симплексні (без зворотного зв'язку) і дуплексні (зі зворотним зв'язком)**.

**У симплексних (однобічних) ПЗП** підвищення вірності може бути досягнуто трьома способами: 1) шляхом багаторазового повторення символів; 2) одночасною передачею однієї й тієї ж інформації по декільком паралельним каналам; 3) застосуванням кодів, що виправляють помилки.

**Багаторазове повторення** є найбільш простим способом підвищення вірності, яке 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 зростають і витрати часу на передачу масиву**.

Імовірність помилкового прийому символу  $P_{\text{кк}}$ , що складається з  $n_{\text{к}}$ -розрядної комбінації, при трикратному повторенні й посимвольному порівнянні не перевищує величини, обумовленої формулою

$$P_{\text{кк}} \approx 3n_{\text{к}}^2 P_o, \quad (1)$$

де  $P_o$  – імовірність помилкового прийому одиничного елемента. При п'ятикратному повторенні  $n_{\text{к}}$ -елементної комбінації ця ймовірність дорівнює

$$P_{\text{кк}} \approx 10n_{\text{к}}^2 P_o^3. \quad (2)$$

При поразрядному порівнянні прийнятих символів, що складаються з  $n_{\text{к}}$  біт, імовірність помилкової реєстрації кодової комбінації при трикратному й п'ятикратному повторенні відповідно дорівнює

$$P_{\text{кк}} \approx 3n_{\text{к}} P_o^2, \quad (3)$$

$$P_{\text{кк}} \approx 10n_{\text{к}} P_o^3. \quad (4)$$

Формули (3) і (4) справедливі при незалежних помилках у дискретному каналі. При пакетуванні помилок імовірність ураження сусідніх символів, а тим більше біт, висока, що може привести до значного зниження завадостійкості. Для усунення цього явища варто зробити **декореляцію помилок**, збільшуючи інтервал між повторюваними символами (бітами), тобто **варто повторювати не окремі символи блоку, а їх групи або весь блок**. Такий алгоритм передачі приводить до ускладнення апаратури і збільшенню часової затримки між передачею даних від джерела й одержанням їх споживачем, що не завжди можна допустити в реальних системах обміну інформацією.

**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'язку повинні бути рознесені географічно або принаймні вибиратися в різних лініях зв'язку. Недоліком способу одночасної передачі є **різке підвищення вартості систем передачі даних** за рахунок використання для передачі повідомлень від одного джерела декількох каналів.

**Найбільшу ефективність** в симплексних СПД має спосіб захисту від помилок, заснований на **використанні кодів з**

**виправленням помилок.** У таких системах переданий блок крім інформаційних одиничних елементів, отриманих від джерела інформації, містить і перевірочні біти, які формуються кодуємим пристроєм на підставі інформаційних розрядів за певними правилами. На прийомній стороні декодером по тим же правилам здійснюються аналогічні перевірки, при яких ураховуються й перевірочні елементи. У результаті перевірки визначається номер позиції в прийнятому блоці, значення якої необхідно в процесі виправлення проінвертувати. *Імовірність помилкового прийому символу залежить не тільки від імовірності помилки в дискретному каналі, але й від застосовуваного коду.*

В однобічних СПД при виборі коригувального коду для ПЗП 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 апаратурних витрат може бути отримане за рахунок застосування в якості кодуєчих та декодуєчих пристроїв мікропроцесорів.

**До дуплексної групи ПЗП** відносяться 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 виявленні спотворень у переданому повідомленні відбувається запит блоку, у якому один або декілька неправильно прийнятих знаків. **У системах з ВЗЗ передані дані кодуються 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) приймальна станція посилає сигнал "Запит", на підставі якого передавач повторно видає

цей же блок. При безпомилковому прийомі блоку дані надходять споживачеві, а по каналу ЗЗ передається сигнал "Підтвердження".

*В ПЗП з ІЗЗ немає необхідності вводити надмірність у дані, які передаються.* Двійкова послідовність, зафіксована приймачем, запам'ятовується й потім по каналу 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.

*ПЗП 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".

У процесі проектування ПЗП повинні бути розглянуті наступні параметри:

- 1) імовірність помилкової реєстрації знака  $P_{кк}$  ;
- 2) швидкість передачі дискретної інформації  $V$  ;
- 3) припустимий час затримки видачі повідомлення споживачеві  $t_z$  ;
- 4) час готовності до передачі (час фазування по циклу)  $t_\phi$  ;
- 5) імовірність помилкового запуску прийомного пристрою  $P_{нф}$  ;
- 6) імовірність помилкової реєстрації одиничного елемента  $P_o$  ;
- 7) характер групування помилок;
- 8) тип каналу зв'язку (симплексний або дуплексний).

Крім цих даних можуть бути введені обмеження на параметри, що визначають експлуатаційні показники ПЗП, зокрема на застосовувану елементну базу, споживану потужність, габаритні розміри, надійність і т.д.

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

*При наявності симплексних каналів зв'язку підвищення вірності може бути досягнуто тільки за рахунок застосування кодів з виправленням помилок або багаторазового повторення.* Одночасна передача однієї і тієї ж інформації з декількох каналів застосовується досить рідко. Якщо помилки в дискретному каналі незалежні, тобто ймовірність групування їх у пачки мала, то необхідна завадостійкість порівняно легко може бути досягнута при використанні кодів, що виправляють одиночні помилки, наприклад, коду Хеммінга. При групуванні помилок у пачки невеликої кратності їхнє виправлення може бути забезпечене за рахунок застосування кодів Файра. Зі збільшенням довжини пачки (п'ять і більше помилок) кодуєчі та декодуєчі пристрої виходять дуже громіздкими, а для їхнього декодування за допомогою мікропроцесора потрібен значний час. У цьому випадку доцільно використати багаторазове повторення блоку інформації. Причому довжина блоку повинна бути не менше тривалості пачки помилок. Багаторазове повторення блоків приводить до збільшення затримки видачі повідомлення споживачеві. Тому необхідно стежити за тим, щоб час затримки не перевищував припустимої величини.

При наявності дуплексних каналів зв'язку в більшості випадків доцільно використовувати ПЗП із ЗЗ. *Пристрої з інформаційним ЗЗ дозволяють виявляти помилки практично будь-якої кратності, але до каналу зворотного зв'язку пред'являються такі ж вимоги, як і до прямого.* Тому ПЗП із ІЗЗ найбільш ефективно можуть бути використані при швидкості передачі 300/200 біт/с, тому що пристрої перетворення сигналів (ППС) для такої швидкості утворюють у смузі каналу тональної частоти (ТЧ) два ідентичних двонаправлених дискретних канали. Якщо передача даних повинна здійснюватися на швидкості 600 біт/с або вище, то ефективність використання каналу

зв'язку ПЗП з ІЗЗ знижується і у цьому випадку для підвищення завадостійкості передачі символів варто застосовувати ПЗП з ВЗЗ.

При зниженні якості каналу зв'язку в системах із ЗЗ час затримки повідомлення різко збільшується, а в найгіршому разі видача інформації споживачеві може взагалі припинитися. Щоб не допустити цього, на каналах низької якості доцільно сполучати методи підвищення вірності передачі інформації. Наприклад, при гарному стані каналу ПЗП працює з ЗЗ, а при його погіршенні переходить у режим однобічної передачі з виправленням помилок.

**Приклад 1.** Вибрати спосіб захисту від помилок, що забезпечує вірність передачі по байтах  $P_{\text{кк}} \leq 1 \cdot 10^{-6}$  при передачі даних по симплексному дводротовому телефонному каналу зв'язку зі швидкістю 1200 біт/с за умови, що помилки на виході дискретного каналу групуються в пачки довжиною не більше 12 біт, а мінімальний інтервал між пачками становить 3 с. Ймовірність помилок по елементах на виході дискретного каналу  $P_o \leq 1 \cdot 10^{-4}$ .

**Рішення.** Для виправлення помилок кратністю 12 найбільше доцільно в цьому випадку застосувати спосіб багаторазової передачі інформації. Так як пачка помилок може вразити 3 байти, то повторювати треба не менш трьох знаків. При трикратному повторенні й по елементному порівнянні ймовірність помилки реєстрації знака дорівнює (3):

$$P_{\text{кк}} \approx 3n_{\text{к}} P_o^2 \approx 3 \cdot 8(1 \cdot 10^{-4})^2 = 0,24 \cdot 10^{-6} < 1 \cdot 10^{-6}.$$

Максимальна затримка видачі інформації споживачеві при трикратному повторенні складе

$$t_s = 24 \cdot \tau_o = \frac{24}{1200} \approx 2 \cdot 10^{-2} \text{ с},$$

або 20 мс, що цілком прийнятно для практичних потреб. **Приклад завершений.**

# ПРОЦЕС ВИБОРУ СПОСОБА ЗАХИСТУ ДАНИХ ВІД ПОМИЛОК

