

## 20. Рекурентний код

Неперервними (рекурентними) називаються коди, що подаються неперервною послідовністю кодових елементів без поділу на окремі комбінації. Неperервні коди відрізняються від блокових кодів структурою. У блоковому коді  $n$  символів коду, які формуються за допомогою кодера у будь-який визначений час, залежать тільки від  $k$  інформаційних символів, що поступили на його вхід протягом того ж самого відрізка часу. У рекурентному коді блок з  $n$  символів, які формуються у кодері у будь-який обраний відрізок часу, залежить не тільки від  $k$  інформаційних символів, що поступили на його вхід протягом цього ж відрізка часу, але і від інформаційних символів, що поступили протягом  $(K - 1)$  попередніх інтервалів. Параметр  $K$  має назву довжини кодового обмеження. Рекурентні коди дають суттєвий ефект при захисті інформації, яка передається по каналах, де можливе виникнення помилок великої кратності та пачок помилок. Найпростіше ці коди реалізуються при надмірності  $R_{\text{над}} = 1 - a/l = 0,5$ , де  $a$  – кількість інформаційних елементів;  $l$  – довжина ділянки послідовності елементів, що передаються. Від блокових рекурентні коди відрізняються тим, що дають змогу кодувати інформаційну послідовність неперервно, не поділяючи її на блоки фіксованої довжини  $n$  з  $k$  інформаційними та  $g$  перевірними елементами. Такі коди ще називаються ланцюговими. В них при передачі кожний перевірний елемент формується додаванням за модулем 2 двох інформаційних елементів, відстань між якими дорівнює кроку додавання  $t_{\text{кр}} = k - i$ :

$$\begin{aligned} a_i \oplus a_k &= b_{i,k}; & a_{i+1} \oplus a_{k+1} &= b_{i+1,k+1}; \\ a_k \oplus a_{k+t_{\text{кр}}} &= b_{k,k+t_{\text{кр}}}; & a_{k+1} \oplus a_{k+1+t_{\text{кр}}} &= b_{k+1,k+1+t_{\text{кр}}}; \dots \end{aligned}$$

Кількість перевірних елементів, сформованих за час  $T$ , дорівнює кількості інформаційних елементів, які надійшли за той самий час. Ці елементи передаються через один ( $a, b, a, b, a, b, \dots$ ). На приймальному боці вони розділяються й реєструються незалежно. Із прийнятої послідовності інформаційних елементів формуються контрольні елементи  $b_i''$  за тим самим алгоритмом, що й елементи  $b_i'$  при кодуванні. При цьому кожний контрольний елемент  $b_i''$  порівнюється із прийнятим перевірним елементом  $b_i'$ . Якщо спотворень не було, то  $b_i' = b_i''$  (перевірний елемент збігається із відповідним контрольним). Наявність двох незбігів контрольних і перевірних елементів, зсунутих один відносно одного на  $t_{\text{кр}}$  елементів, свідчить про спотворення інформаційного елемента, спільного для обох перевірних елементів, і його значення необхідно змінити на протилежне. При спотворенні тільки перевірного елемента й правильному прийманні інформаційних елементів  $a_i'$  та  $a_k'$  буде тільки один незбіг контрольних і перевірних елементів, що вказує на помилкове приймання перевірного елемента, і ніяких виправлень роботи не потрібно. З принципу виправлення помилок у ланцюговому коді випливає, що правильне виправлення помилок можливе тільки у тому разі, коли два елемента з трьох, охоплені перевіркою, прийняті правильно. Кодер двійкового ланцюгового коду містить  $kK$ -розрядний регістр і  $n$  суматорів за модулем 2. Узагальнена структурна схема кодера ланцюгового коду наведена на рис. 3.5.

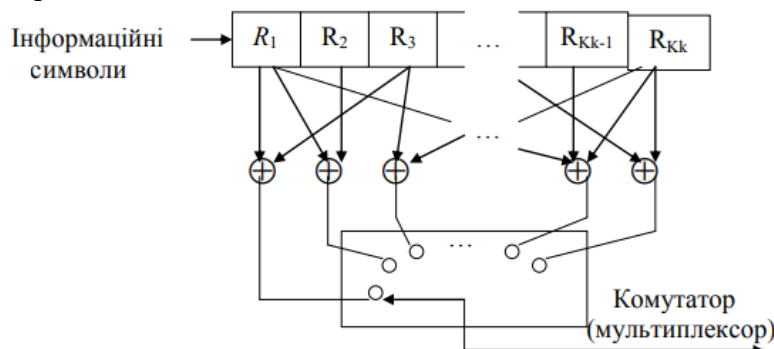


Рис. 3.5

Інформаційні символи поступають на вхід регістру, а символи коду формуються на виході комутатора. Комутатор послідовно протягом відрізка часу, який дорівнює тривалості інформаційного символу, з'єднує виходи суматорів за модулем 2 з виходом кодера. Коректувальна здатність ланцюгового коду залежить від кроку додавання  $t_{кр}$ . Якщо кожний перевірний елемент перед передачею в канал затримати на час  $T_z$  і пачки помилок, розташовані поруч, розділити захисним інтервалом  $A$ , який не містить спотворених елементів ( $A = 6t_{кр} + 1$ ;  $T_z = 3(t_{кр} + 1)t_e$ , де  $t_e$  – тривалість одного елемента), то ланцюговий код може виправити пачку помилок завдовжки  $2t_{кр}$ . Зміною довжини кроку  $t_{кр}$  коректувальну здатність коду можна узгоджувати з характеристиками каналу зв'язку, зменшуючи чи збільшуючи допустиму частість помилок.