

КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

На правах рукопису

ДЯЧЕНКО Олена Борисівна

СИНТЕЗ КОДЕКІВ КАНАЛЬНИХ КОДІВ ЦИФРОВОГО МАГНІТНОГО ЗАПІСУ
АКУСТИЧНИХ СИГНАЛІВ

Спеціальність 05.09.08 - Електроакустика та звукотехніка

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на пошукання вченого ступеню кандидата
технічних наук

Київ 1993

Київський політехнічний інститут
НА

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Київському політехнічному інституті та
НДІ електромеханічних приладів, м. Київ

Науковий керівник - доктор технічних наук,
професор Геранін В. О.

Офіційні опоненти - доктор технічних наук,
професор Савченко Ю. Г.

ЛННБ України ім. В. Стефаника



00810507 (L)

кандидат технічних наук,
доцент Шижкін О. В.

Ведуча установа - Київський НДІ "Марс"

Захист відбудеться "23" 05 1994 р. в 15 год. на засіданні
Спеціалізованої Ради К 068.14.19 при Київському політехнічному
інституті за адресою 252056, Київ-56, пр. Перемоги, 37.

З дисертацією можна ознайомитися в науковій бібліотеці Київського
політехнічного інституту.

Відгук на автореферат у 2-х екземплярах, завіреним печаткою,
просимо надсилати на адресу інституту.

Автореферат розіслано "21" 04 1994 г.

Учений секретар
ЛННБ ім. В. Стефаника
Спеціалізованої ради
ЛННБ України
канд. техн. наук, доцент

И. А. Крижанівський

Актуальність теми. Останнім часом, у зв'язку із значним зростанням швидкості передачі та обробки інформації, перед спеціалістами з фаху цифрового магнітного запису акустичних сигналів гостро постала проблема підвищення щільності запису при заданій імовірності відтворення. При цьому мається на увазі поверхнева щільність запису інформації, яка дорівнює добутку поздовжньої щільності (число двоїчних розрядів на одиницю довжини доріжки) на поперечну (число інформаційних доріжок на одиницю ширини носія).

Традиційно, підвищення щільності запису досягається двома шляхами: 1) удосконаленням технології виготовлення магнітних головок та носіїв (підвищенням фізичної щільності запису); 2) удосконаленням техніки обробки сигналу: запису, відтворення, корекції, кодування (підвищення інформаційної щільності запису).

Дисертаційна робота прислуговується розвитку другого шляху, а саме синтезу кодеків (кодерів та декодерів) перспективних сьогодні каналних кодів.

Провідні фірми-виробники апаратури ЦМЗ : IBM, Bell & Howell, AMPEX, Sony та інші, тільки за рахунок використання складних перспективних каналних кодів, таких як HDM-1, Міллер-квадрат, ЗРМ, отримали реальне підвищення поздовжньої щільності запису на 50%, яка сягає сьогодні, за даними закордонних джерел , 4 000 біт/мм, та реальне підвищення поперечної щільності запису на 30%, яка сягає сьогодні 90 доріжок/мм. Таким чином, поверхнева щільність для деяких найновіших зразків апаратури ЦМЗ сягає сотень тисяч біт/кв.мм.

Однак, закордонні автори, коли говорять про вигравш у щільності запису завдяки застосуванню того чи іншого каналного коду , не наводять структурних схем кодеків, відомості про які, по-всьому, є секретом фірм.

Щоб розробляти засоби ЦМЗ, які б відповідали сучасним міжнародним стандартам, необхідно, насамперед, вміти синтезувати кодеки перспективних каналних кодів.

Сьогодні це робиться емпіричним шляхом, оскільки ні методи синтезу, що відомі з теорії кінцевих цифрових автоматів, ні те, що зроблено в цьому напрямку в теорії каналного кодування, не дає інженеру-розробнику універсального, тобто інваріантного відносно форми задання коду, методу синтезу кодеків каналних кодів ЦМЗ.

Мета роботи. Розробити універсальний інженерний метод синтезу кодеків (кодерів та декодерів) каналних кодів ЦМЗ. Зробити це на основі класичного методу синтезу цифрових автоматів.

На захист вноситься:

1. Процедура складання регулярних виразів (РВ) кодування.
2. Процедура складання РВ декодування.
3. Використання автоматів затримки під час синтезу декодера каналного коду на етапі детермінізації імовірного декодера.
4. Автомати затримки.
5. Автомати-перетворювачі форм кодеків каналних кодів.
6. Алгоритм розрахунку коефіцієнта самосинхронізації каналного коду.

Наукова новизна. В дисертаційній роботі розв'язано ряд нових задач.

1. Розроблено процедуру синтезу регулярних виразів (РВ) кодування - вихідного пункту класичного методу синтезу автоматів по РВ.
2. Розроблено процедуру синтезу (РВ) декодування.
3. Синтезовано службові автомати-перетворювачі форм кодеків каналних кодів ЦМЗ, застосування яких необхідно під час розрахунку спектрів та коефіцієнтів самосинхронізації, - чи не найважливіших характеристик, що враховуються на етапі попереднього вибору каналного коду.
4. Синтезовано службові автомати затримки, які використовуються під час синтезу декодера каналного коду шляхом обернення кодера.
5. Розроблено алгоритм розрахунку коефіцієнта самосинхронізації будь-якого, в тому числі і складного перспективного, коду. Алгоритм враховує імовірносний характер кодуваної послідовності.
6. Введено поняття повного декодера, такого, який максимальнсно реалізує здатність коду виявляти помилки в каналі.

Практична значимість. Розроблено універсальний, тобто інваріантний відносно форми задання коду, інженерний метод синтезу кодеків каналних кодів ЦМЗ. Метод дозволяє:

синтезувати гарантовано мінімальний кодер та гарантовано повний, тобто такий, що відслідковує всі заборонені комбінації символів в кодуваній послідовності, декодер, як у вигляді абстрактних кінцевих автоматів, так і у вигляді їх функціональних схем;

обгрунтовано, виходячи з технічного завдання, мінімізувати деко-

дер, тобто знайти компроміс між зниженням складності його апаратурної реалізації та втратою здатності декодера виявляти помилки в каналі;

у 5-8 разів скоротити термін розробки системи каналного кодування-декодування для апаратури ЦМЗ.

Інформація про абстрактний кінцевий автомат-кодер, який синтезовано згідно з розробленим методом, дає інженерові-розробнику основні дані для розрахунку спектрів та коефіцієнтів самосинхронізації кодів, що, дозволяє йому більш обгрунтовано підійти до розв'язання проблеми попереднього вибору каналного коду.

Розроблений метод може використовуватися в суміжних галузях, де використовується каналне кодування, а саме у відеозапису, оптичній звукозапису, системах зв'язку.

Реалізація роботи: основні наукові результати роботи впроваджені в НДІ електромеханічних приладів та ЦКБ "Маяк" (обидва м. Київ). Акти впровадження приведені в додатку до дисертації.

Апробація роботи: основні результати роботи доповідалися та обговорювалися на чотирьох всесоюзних конференціях (Київ, 1986-1991, Пенза, 1987) та Всесоюзному семінарі, присвяченому пам'яті В. Г. Кольцова (1991).

Робота в цілому доповідалася на засіданні наукового семінару кафедри акустики та акустoeлектроніки Київського політехнічного інституту, та на засіданні науково-технічної ради київського НДІ електромеханічних приладів (м. Київ).

Публікації: за основними результатами дисертаційної роботи опубліковано 11 праць.

Структура та об'єм роботи : робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновку, списку використаних джерел та семи додатків.

Дисертація містить 103 сторінки основного тексту, 29 малюнків, 23 таблиці, додатки на 88 сторінках.

Зміст роботи:

У вступі обгрунтовано актуальність роботи, сформульовано її мету, наведено коротку анотацію всіх розділів роботи.

У першому розділі наведено огляд літературних джерел, з проблеми синтезу кодеків каналних кодів. На сьогодні відомо близько 50 різних каналних кодів. Перспективними можна назвати 10 з них. З різних літературних джерел відомі, як мінімум, сім способів задання

каналних кодів. Застосуванню відомого із теорії кінцевих автоматів методу синтезу автоматів по РВ в теорії каналного кодування перешкоджає існуючий розрив між кодом та РВ, що його описує.

Кодеки кодів, які задаються кінцевою таблицею відповідності, або задання яких зводиться до такої таблиці, можна синтезувати методом, відомим з праць В. І. Михайлова, О. І. Драліна, Б. М. Ракова. Відомостей про кодекси кодів, які задаються будь-яким іншим способом, ні у вітчизняних, ні у закордонних джерелах немає.

У 1980 р. була опублікована праця В. І. Михайлова, О. І. Драліна, Б. М. Ракова, у якій приводяться правила "наведення мосту" між кодом у вигляді кінцевої таблиці відповідності (сталого або перемінного довжини) та РВ кодування. Таким чином, було запропоновано інженерний метод синтезу вказаних каналних кодів. Автори синтезували кодекси кодів Шишкіна та коду (2,7). Основною цінністю методу є його бездоганна теоретична обґрунтованість та можливість застосування як для синтезу кодерів, так і для синтезу декодерів.

У 1984 р. у праці Г. М. Розорінова та Б. С. Оболюшко було запропоновано метод синтезу кодерів каналних кодів, в основу якого покладено побудову направленої графа станів кодувального автомата згідно з логікою алгоритму кодування. Були одержані кодери кодів ФМ, ОФМ, коду Міллера, коду Міллер-квадрат. Декодери не розглядалися.

У 1987 р. ці ж автори синтезували кодери та декодери кодів (2,7) та (2,8) в синонімах до котрих наводились аббревіатури НДМ-2 та НДМ-1. Однак останні, хоча і відносяться до кодів з d, k - параметрами (2,7) та (2,8) відповідно, проте не є аналогами кодів, наведених у вищезазначених авторів. Це зауваження робиться тому, що код НДМ-1, у версії його автора Т. Дої, зазначено у Міжнародному стандарті DASH на цифровий магнітний запис звуку.

Основний недолік вказаного методу - його значна евристичність. Доречі, автори не створили кодексу жодного коду із складним алгоритмом кодування (Нуль-модуляція, НДМ-1, Міллер-квадрат).

У 1986 р. В. І. Куля спробував застосувати результат - праць В. І. Михайлова, О. І. Драліна, Б. М. Ракова для синтезу кодексу коду НДМ-1. Як показало тестування синтезованих кодера та декодера, ця спроба не увінчалась успіхом через неможливість задати цей код кінцевою таблицею відповідності.

Однак, у цьому ж 1986 р. В. І. Куля разом з О. А. Бобарчуком опублі-

кували працю, де було синтезовано працездатний кодер коду НДМ-1 методом розшифрування "чорного ящика".

Нажаль, і цей метод не можна назвати універсальним методом синтезу кодерів каналних кодів, бо основна в методі, так звана функція виходів, яка є програмним аналогом коду, синтезувалася евристичним шляхом. Синтез декодера не розглядався.

Таким чином, сьогодні методом синтезу кодеків каналних кодів ЦМЗ охоплено 60% кодів, та й то тільки ті, які вдається задати кінцевою таблицею відповідності. Однак, до таких не відносяться найбільш перспективні коди, які не лише знайшли широке застосування в закордонній апаратурі ЦМЗ, але й прийняті в міжнародних стандартах.

У другому розділі розвита відомий метод синтезу цифрових автоматів по РВ, в аспекті синтезу кодерів каналних кодів ЦМЗ, а також синтезу службових автоматів затримки та перетворювачів форм кодеків каналних кодів. Приведено універсальну процедуру розрахунку коефіцієнта самосинхронізації коду з урахуванням імовірнісного характеру кодуваної послідовності. При цьому, кажучи універсальний, маємо на увазі його інваріантність відносно форми задання коду.

Відправним пунктом класичного методу синтезу автомата є множина РВ, що описує те чи інше алфавітне відображення (код). Однак, складання таких виразів - задача на сьогодні до кінця не вирішена ні в теорії автоматів, ні, тим більше, в теорії каналного кодування. Становище погіршується ще й тим, що коди, як окремий випадок алфавітного відображення, можуть мати різну по об'єму, аж до нескінченної, область означення, що призводить до різноманітності форм їх задання. Ця різноманітність форм задання каналних кодів поглиблює розрив між кодом та його РВ.

"Мостом" між кодом та РВ кодування пропонується назвати так званий алгебраїчний словесний опис, такий, що в ньому чітко відособлюються операції в алгебрі подій (тому що РВ - це формули у вищезгаданій алгебрі).

Синтез кодера складається з двох етапів:
абстрактний синтез кодера, результат якого - кодер у вигляді абстрактного кінцевого автомата;
структурний синтез кодера, результат якого - функціональна схема кодера.

Можливість подання кода у вигляді кінцевого автомата Мілі чи

Мура та визначення алгебраїчного словесного опису як "мосту" між кодом у будь-якій формі задання та РВ кодування, дозволяє запропонувати раціональну покрокову послідовність їх абстрактного синтезу (див. рис. 1).

Абстрактний синтез кодерів каналних кодів має виключно важливе значення, оскільки його можливо застосовувати для синтезу так званих службових автоматів: автоматів-перетворювачів форм кодеків каналних кодів та автоматів затримки. Окрім того, його результат - абстрактний автомат-кодер є базою, на якій будуються наступні етапи проектування.

1. Структурний синтез кодера.

2. Розрахунок спектрів та коефіцієнтів самосинхронізації кодів. Коефіцієнт самосинхронізації визначається як середнє число перепадів струму запису в межах одного такту синхросигналу. Він враховує імовірносну структуру кодованої послідовності і відображає реальну міру її рівня самосинхронізації. Пропонується коефіцієнт самосинхронізації розраховувати за формулою:

$$K = (1/2n) \sum_{i=1}^{10} l_i p_i,$$

де $p_i = 1 \dots 10$ - елементи вектора-рядка матриці фінальних імовірностей П переходів із одного стану в інший автомата-кодера Мура,

l_i - кількість ОДИНИЦЬ в кодованому слові, що відповідає i -му стану автомата Мура,

10 - загальна кількість станів автомата-кодера Мура,

n - розмірність кодового слова.

Розрахунок коефіцієнта самосинхронізації автоматизовано завдяки розробленому пакету прикладних програм.

До переваг такого методу розрахунку коефіцієнта самосинхронізації слід віднести його універсальність, тобто інваріантність відносно форми задання коду, а тому і можливість його застосування для будь-яких, в тому числі й складних перспективних кодів. Універсальність забезпечується тим, що в основу розрахунку покладено найбільш узагальнене автоматне представлення кодів. Для окремих кодів, які можливо задати кінцевою таблицею відповідності, та кодів Фібоначчі, результати розрахунків для рівноймовірних вхідних символів

співпадають з тими, що отримали М. Моєнклі, О. П. Стахов, Ю. П. Орлович, Ю. О. Сторожук.

3. Синтез декодерів каналних кодів, метод якого розроблено в третьому розділі роботи.

Синтезу декодерів приділена особлива увага, оскільки, по-перше, - це найменш вивчена частина проблеми і, по-друге, саме структура декодера вказала шлях використання надмірності каналного коду для виявлення помилок в каналі.

Синтез декодерів каналних кодів, як і синтез кодерів, складається з двох етапів:

абстрактний синтез декодера, результат якого - декодер у вигляді кінцевого абстрактного автомата;

структурний синтез декодера, результат якого - функціональна схема декодера.

Розроблено два методи синтезу декодерів каналних кодів: синтез шляхом обернення кодера та синтез декодера по РВ декодування.

Перший метод, хоч і потребує в тричі більшої розрахункової роботи для простих кодів, та в п'ятеро разів більшої розрахункової роботи для складних кодів, являє собою наочну процедуру детермінізації імовірносних автоматів взагалі з використанням так званого автомата-затримки. Актуальність цієї задачі зумовлена тим, що іноді в літературі зустрічається інформація про автомат-кодер виключно у вигляді імовірносного автомата.

У другому методі синтезу декодерів каналних кодів застосовується вже відомий метод синтезу автоматів по РВ, який було використано на етапі синтезу кодерів. Його реалізація у 5-8 разів знижує витрати робочого часу, потрібного для синтезу декодера, порівняно з першим. Окрім того, і це вважається головним, логіка методу дозволяє зробити висновок, що одержаний таким чином декодер є найбільш повним, тобто таким, що відслідковує всі заборонені для даного коду комбінації кодованих символів. Цей висновок став відправним пунктом вивчення таких здавалося б нехарактерних для каналних кодів можливостей, як здатність виявляти помилки в каналі.

З теорії кінцевих автоматів відомо як побудувати обернений автомат. В результаті отримуємо, як правило, недетермінований (імовірносний) автомат, реалізувати який у вигляді фізичного пристрою не

можливо. Ця недетермінованість виявляється у неоднозначності переходу автомата по одній і тій же вхідній літері.

Неоднозначності переходу можна уникнути, якщо затримати вихідні літери відносно вхідних. Це пояснюється тим, що інформації про один кодований символ не достатньо для однозначного "прийняття рішення" про перехід автомата-декодера в той чи інший стан. Необхідно мати інформацію про наступні вхідні символи.

Процедура введення затримки описана А. А. Курмітом. Однак, через значну алгоритмічну складність, вона не застосовується в інженерній практиці. Замість процедури А. А. Курміта пропонується в значній мірі простіша процедура детермінізації імовірносних автоматів із застосуванням службового автомата затримки. Час її розрахунку вдвічі менший для простих та вп'ятеро для складних кодів, ніж час розрахунку процедури А. А. Курміта. Матриця суміжності детермінованого автомата-декодера, отриманого в результаті каскадного з'єднання автомата затримки та імовірносного декодера, є суперпозиція матриць суміжності автоматів, що каскадно з'єднуються.

Отже, можливість подання і декодерів каналних кодів у вигляді абстрактних кінцевих автоматів та використання службового автомата затримки на етапі детермінізації імовірносного декодера дозволяє запропонувати раціональну покрокову послідовність синтезу декодерів каналних кодів шляхом обернення кодерів (див. рис. 2).

Розроблений метод дозволяє, маючи інформацію про автомат-кодер, синтезувати декодер у вигляді абстрактного автомата та довести його до функціональної схеми. Однак, логіка методу не дає відповіді на питання, який же декодер отримано, наскільки "безболісно" можна його мінімізувати та яку ціну "платити" за мінімальність. Подібні питання обов'язково виникають на етапі синтезу декодерів, бо саме вони (декодери) отримуються у вигляді частково визначених автоматів, а мінімізація таких автоматів - питання ще до кінця не вирішене в аспекті теорії каналного кодування.

Проблему мінімізації декодерів вирішує альтернативний до попереднього метод синтезу декодерів каналних кодів по РВ декодування.

Як і у випадку синтезу кодерів, під час синтезу декодерів основне ускладнення полягає саме у синтезі РВ. До речі, якщо в першому випадку ускладнення виникає через різноманітність форм задання каналних кодів, то в другому - через те, що РВ повинні відображати

кодовану послідовність визначеної кодом конфігурації. В роботі встановлено, що вся інформація про кодовану послідовність міститься у графоїді автомата-кодера, ребра якого навантажені лише вихідними для кодера символами. У зв'язку з цим виникає можливість відразу побудувати граф РВ декодування, по якому відомим з теорії кінцевих автоматів та уже застосованим на етапі синтезу кодерів методом, синтезувати сумісну таблицю переходів-виходів декодера, а потім і його функціональну схему. В роботі докладно викладено правила побудови графа РВ декодування. Доведено, що отриманий таким методом декодер є найбільш повним, тобто він відслідковує всі заборонені для даного коду комбінації кодованих символів, а значить реалізує потенційно закладену в надлишковому коді можливість виявляти помилки в каналі.

Зміст четвертого розділу дисертаційної роботи складає реалізація машинного експерименту з метою:

1. Порівняння характерних каналних кодів між собою по критерію імовірності невиявлення повним декодером помилки, що є в каналі.

2. Тестування синтезованих розробленим методом кодеків каналних кодів. Дійсно, тільки конкретне порівняння між ускладненням кодека та отриманим від цього вирашем, може стати вирішальним для остаточного вибору каналного коду.

Окрім того, синтезовані кодеки перед тим, як реалізувати їх "у метали", треба піддати тестовій перевірці на працездатність. Це тим важливіше, що синтез не можливо до кінця формалізувати. Найменша похибка, і РВ кодування не будуть адекватними заданному кодові. Саме така помилка допущена в праці В. І. Кулі, що присвячена синтезу кодера коду НДМ-1.

В дисертаційній роботі проведено машинне моделювання каналу передачі даних з використанням приводящих моделей нерешкоджаючих факторів, що найчастіше зустрічаються у закордонній та вітчизняній літературі. Вбачається доцільним саме таке моделювання в силу його мобільності до зміни цілого ряду параметрів каналу. А це тягне за собою високу ефективність дослідної частини дисертаційної роботи на предмет підвищення обґрунтованості вибору каналного коду.

При досліджуванні використовувалися дві приводящі моделі помилок: незалежні та пакетні.

В роботі:

джерело інформації реалізовано у вигляді генератора псевдови-

падкової послідовності з рівноімовірним розподілом НУЛІВ та ОДИНИЦЬ; канал з помилками представлено двома модифікаціями джерела помилок - незалежні помилки та пакетні помилки;

спосіб вводу помилок в кодовану послідовність - сума по модулю два вихідних символів джерела помилок та кодованої послідовності;

кодер та декодер реалізуються у вигляді абстрактного кінцевого автомата;

досліджуються повні декодери різних каналних кодів;

детектор помилок порівнює декодовану послідовність із вхідною інформацією. У випадку неспівпадання формується ознака числа неспівпадань. Одночасно підраховується загальна кількість випробувань.

З використанням такої моделі каналу було проведено тестування синтезованих кодеків каналних кодів та оцінка імовірності виявлення помилки в каналі декодерами трьох характерних каналних кодів. Основний висновок із вищеописаних досліджень : ускладнення апаратурної реалізації кодеків складних перспективних каналних кодів (Міллер-квадрат, HDM-1) призводить до зниження як мінімум на порядок імовірності виявлення помилки в каналі порівняно з простими каналними кодами (див. рис. 3, 4).

Основні результати роботи:

1. Розроблено процедуру синтезу РВ кодування та декодування каналних кодів ЦМЗ.

2. На основі цього розроблено універсальний інженерний метод синтезу кодеків каналних кодів ЦМЗ, який дозволяє по будь-якій формі задання коду синтезувати і абстрактний кінцевий автомат-кодек, і його функціональну схему.

3. Синтезовано службові автомати: перетворювачі форм кодеків каналних кодів та автомати затримки.

4. Розроблено два методи синтезу декодерів каналних кодів. Перший з них - це обернення кодера та наступна детермінізація імовірного декодера. Другий - це синтез декодера по РВ декодування. Доведено, що обидва методи дають один і той же результат - повний декодер, який максимально реалізує потенційно закладену в каналному коді можливість виявляти помилки в каналі. Другий метод потребує у 5-8 разів менших витрат робочого часу для синтезу декодера. Однак перший метод дає в руки інженера апарат для детермінізації імовірносних автоматів. Цей факт має важливе значення, тому що, по-перше, рідко, але

зустрічаються такі коди, декодери яких отримуються детермінованими вже в результаті процедури обернення, і, по-друге, в літературі зустрічається задання каналного коду у вигляді його імовірносного автомата-кодера.

5. Ведено поняття повного декодера, з яким пов'язаний потенціальний максимум імовірності виявлення помилки в каналі кодеком каналного коду. Тобто доведено, що каналному кодові можна відвести традиційно нехарактерну для нього функцію - виявлення помилки в каналі.

6. Розроблено банк кодеків перспективних каналних кодів та їх функціональних схем.

7. Доведено, що такі каналні коди, як Міллер-квадрат, НДМ-1, Нуль-модуляція ціною збільшення складності апаратурної реалізації їх кодеків дають зниження на порядок імовірності виявлення помилки в умовах як незалежних, так і пакетних помилок у каналі.

8. Враховуючи, що вищезазвані коди є високоефективними, тобто для них характерна відсутність або незначна постійна складова в спектрі, висока інформативність одного перепаду намагніченості носія, високий коефіцієнт самосинхронізації та його інваріантність відносно імовірності появи ОДИНИЦІ у вхідній інформаційній послідовності, саме ці коди перспективні для застосування в апаратурі ЦМЗ акустичних сигналів завтрашнього дня.

Результати роботи відображені в таких публікаціях:

1. Геранін В. О., Бобарчук О. А., Жила М. І., Дяченко О. В. Про регулярний підхід до синтезу структурних схем кодерів каналних кодів. // Техніка засобів зв'язку. - Сер. Загальнотехнічна. - 1986. - Вип. 8. - С. 1-8. (російською мовою).

2. Геранін В. О., Жила М. І., Смірнов Ю. М., Дяченко О. В. Регулярний метод синтезу кодеків каналних кодів ЦМЗ // Там же. - 1987. - Вип. 2. - С. 37-44. (російською мовою).

3. Смірнов Ю. М., Геранін В. О., Бобарчук О. А., Дяченко О. В. Аналіз варіантів каналного коду Міллер-квадрат. // Збірник тезисів 12 НТК "Методи та засоби запису та відтворення сигналів в системах передачі та обробки інформації. - М: ЦООНТІ "Екос". - 1989. (російською мовою).

4. Геранін В. О., Смірнов Ю. М., Бобарчук О. А., Дяченко О. В. Спі-

вставлення трьох варіантів каналного коду Міллер-квадрат. // Техніка засобів зв'язку . - Сер. Загальнотехнічна. - 1989. - Вип. 4. - С. 10-20. (російською мовою).

5. Чехлай І. О., Бобарчук О. А., Дяченко О. В. Розрахунок коефіцієнта самосинхронізації каналного коду ЦМЗ при будь-яких імовірностях інформаційних символів. // Там же. - 1989. - Вип. 4. - С. 3-9. (російською мовою).

6. Геранін В. О., Смірнов Ю. М., Бобарчук О. А., Дяченко О. В. Регулярний абстрактний синтез кодека каналного коду Міллер-квадрат (версія фірми "Bell & Howell"). Там же - 1989. - С. 7. - С. 20-32. (російською мовою).

7. Геранін В. О., Смірнов Ю. М., Бобарчук А. О., Дяченко О. В., Богданов М. Г. Автомати-перетворювачі форм кодеків каналних кодів // Вісник КПІ. Електроакустика та звукотехніка. - 1990. - Вип. 14. - С. 3-14. (російською мовою).

8. Геранін В. О., Смірнов Ю. М., Бобарчук О. А., Дяченко О. В. та ін. Службові автомати у системах каналного кодування цифрової інформації. - Київ: КПІ. 1990. (російською мовою).

9. Геранін В. О., Смірнов Ю. М., Бобарчук О. А., Дяченко О. В. Декодер кода Міллер-квадрат // Акустика та ультразвукова техніка. - Вип. 26. - 1991. - С. 105-113. (російською мовою).

10. Геранін В. О., Смірнов Ю. М., Бобарчук О. А., Дяченко О. В. Синтез кодека кода Міллер-квадрат (версія фірми "Bell & Howell") // Акустика та ультразвукова техніка. - 1991. - Вип. 26. - С. 113-121. (російською мовою).

11. Геранін В. О., Смірнов Ю. М., Бобарчук О. А., Дяченко О. В., Богданов М. Г. Автомати затримки в задачах каналного кодування. // Вісник КПІ. Електроакустика та звукотехніка. - 1992. - Вип. 15. - С. 6-27. (російською мовою).

ПОСЛІДОВНІСТЬ СИНТЕЗУ КОДЕРІВ КАНАЛЬНИХ КОДІВ ЦМЗ



Рис. 1.

ПОСЛІДОВНІСТЬ СИНТЕЗУ ДЕКОДЕРІВ КАНАЛЬНИХ КОДІВ



Рис. 2.

462892

ЗАЛЕЖНІСТЬ ІМОВІРНІСТІ НЕВИЯВ.
ПОМИЛОК В КАНАЛІ ВІД ІМОВІРНІСТІ
В КАНАЛ

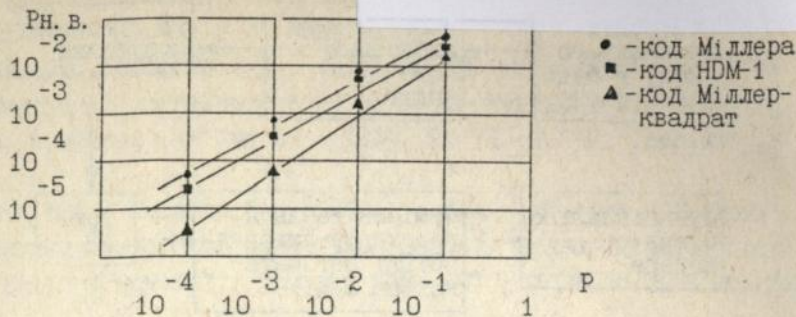


Рис. 4.

ЗАЛЕЖНІСТЬ ІМОВІРНІСТІ НЕВИЯВЛЕННЯ ПОВНИМ ДЕКОДЕРОМ
ПОМИЛОК В КАНАЛІ ВІД ІМОВІРНІСТІ P1 ПЕРЕХОДУ ІЗ "ПОГАНОВОГО" СТАНУ
У "ХОРОШИЙ" В МОДЕЛІ ПОМИЛОК ГІЛЬБЕРТА

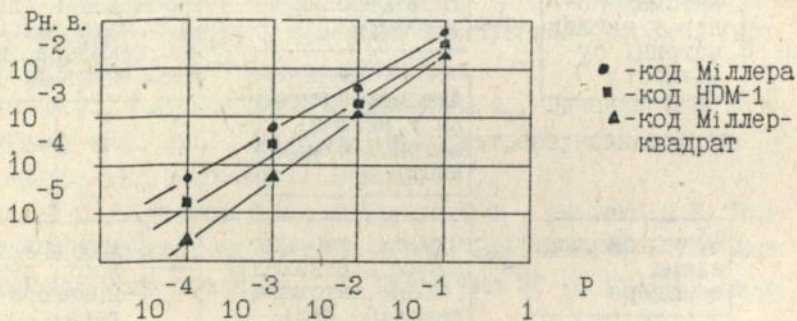


Рис. 5