



DonSTU
Computer
Department



ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ З КУРСУ

"ТЕОРІЯ ПЕРЕШКОДОСТІЙКОГО КОДУВАННЯ"



DonSTU
Computer
Department

Анотація

Анотація до методичних вказівок

Перелік

Перелік лабораторних робіт

Лабораторна робота №1

**ПРОЕКТУВАННЯ КОДЕРА І ДЕКОДЕРА КОДУ З ПАРНИМ ЧИСЛОМ ОДИНИЦЬ на базі
ACTIVE-HDL**

Лабораторна робота №2

ПРОЕКТУВАННЯ КОДЕРА І ДЕКОДЕРА ГРУПОВОГО КОДУ на базі ACTIVE-HDL

Лабораторна робота №3

ПРОЕКТУВАННЯ КОДЕРА І ДЕКОДЕРА КОДУ ХЕММІНГА на базі ACTIVE-HDL

Лабораторна робота №4

**ПРОЕКТУВАННЯ КОДЕРА І ДЕКОДЕРА ЦИКЛІЧНОГО КОДУ ХЕММІНГА на базі ACTIVE-
HDL**

Література

TEL. (062) 301-07-58

301-08-90

FAX. (062) 335-45-89

<mailto:do@cs.dgtu.donetsk.ua>

83000, Донецьк

вул. Артема 58

корпус 4, ауд. 4.14

[кафедра "Комп'ютерна інженерія"](#)

Web design by Dyachenko Oleg

УДК 681.3

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу «Теорія перешкодостійкого кодування»/ (для студентів спеціальності 7.091501)/ Скл.: О.М.Дяченко. - Донецьк: ДонНТУ, 2007. – HTML-формат (на електронному носії №18, прот. №7 від 20.06.07)

Розглядаються питання розробки групового коду, коду Хеммінга і циклічного коду Хеммінга і проектування кодерів і декодерів на основі застосування САПР «ACTIVE-HDL». Наведено порядок виконання і приклади виконання лабораторних робіт.

Укладач: О.М.Дяченко

Рецензент: С.В.Теплинський

ПЕРЕЛІК

лабораторних робіт з курсу

"ТЕОРІЯ ПЕРЕШКОДОСТІЙКОГО КОДУВАННЯ "

1. Проектування кодера і декодера коду з парним числом одиниць на базі ACTIVE-HDL *(6 годин)*.
2. Проектування кодера і декодера групового коду на базі ACTIVE-HDL *(4 години)*.
3. Проектування кодера і декодера коду Хеммінга на базі ACTIVE-HDL *(2 години)*.
4. Проектування кодера і декодера циклічного коду Хеммінга на базі ACTIVE-HDL *(4 годин)*.

Лабораторна робота № 1

ПРОЕКТУВАННЯ КОДЕРА Й ДЕКОДЕРА КОДУ З ПАРНИМ ЧИСЛОМ ОДИНИЦЬ НА БАЗІ ACTIVE-HDL

Завдання: на базі засобів Active-HDL розробити модель кодера й декодера для коду з парним числом одиниць, що виявляє помилки непарної кратності, і виконати їхнє моделювання.

Варіанти завдання:

k - кількість інформаційних символів;

n - довжина коду;

p - кількість перевірочних символів.

k=4, n=5

Порядок виконання роботи

1. Розробити логічну схему кодера й декодера коду з парним числом одиниць, що виявляє помилки непарної кратності (k=4, n=5)..
2. У Схемному Редакторі Active-HDL виконати креслення принципової схеми кодера й декодера коду з парним числом одиниць, що виявляє помилки непарної кратності (k=4, n=5)..
3. Перевірити принципову схему на наявність синтаксичних і схемотехнічних помилок. Виправити виявлені помилки.
4. У редакторі Часових Діаграм виконати моделювання схеми, що імітує кодер, двійковий канал, декодер. У двійковому каналі передбачити можливість імітації помилок. Дослідити здатність декодера виявляти помилки,.

Зміст звіту

1. Титульний аркуш.
2. Завдання.
3. Вихідні дані.
4. Принципові схеми кодера й декодера коду з парним числом одиниць, що виявляє помилки непарної кратності (k=4, n=5) з можливістю імітації помилок. (демонструються на ЕОМ).
5. Часові діаграми моделювання кодера й декодера коду з парним числом одиниць, що виявляє помилки непарної кратності (k=4, n=5). у Редакторі Часових Діаграм (демонструються на ЕОМ).

Контрольні питання

1. На які типи розділяють перешкодостійкі коди? У чому полягає відмінність між ними?
2. Що розуміється під вагою кодової комбінації?
3. Як визначається відстань між кодовими комбінаціями?
4. Який зв'язок коригувальної здатності коду з кодовою відстанню?
5. Що таке двійковий симетричний канал?
6. Наведіть класифікацію перешкодостійких кодів.

Контрольний приклад

Завдання: на базі засобів Active-HDL розробити модель кодера й декодера для коду з парним числом одиниць, що виявляє помилки непарної кратності, і виконати їхнє моделювання.

Вихідні дані

Кількість інформаційних символів $k=4$.

Довжина коду $n=5$.

Кількість перевірючих символів $r= n-k=1$.

Спрощена модель передачі інформації



Рисунок 1.1 - Спрощена модель передачі інформації.

Код з парним числом одиниць належить до блокових кодів з виявленням помилок.

Код містить лише один надлишковий символ. Вибирається надлишковий символ таким чином, щоб загальна кількість одиниць у кодовій комбінації була парним. Перевірка кодової комбінації виконується шляхом підсумовування по модулю два всіх її символів. Код дозволяє виявляти всі помилки непарної кратності.

Функціональна схема кодера й декодера

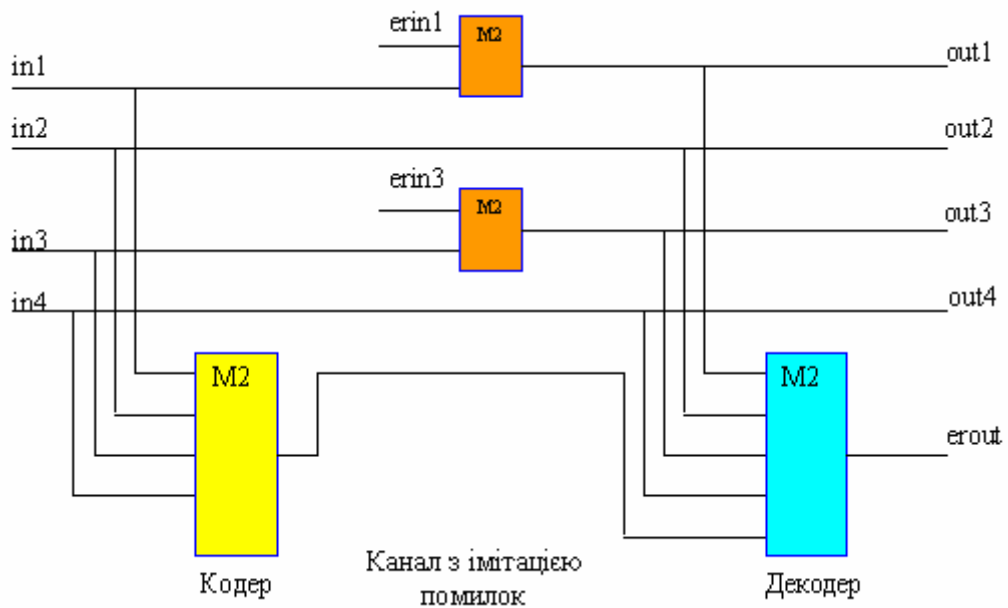


Рисунок 1.2 - Функціональна схема кодера й декодера коду з парним числом одиниць.

- in 1-in4** - вхідні інформаційні символи;
- out 1-out4** - вихідні інформаційні символи;
- erin1, erin3** - входи завдання помилок в 1-му і 3-му символах кодового слова;
- erout** - вихід помилки.

Принципова схема кодера й декодера

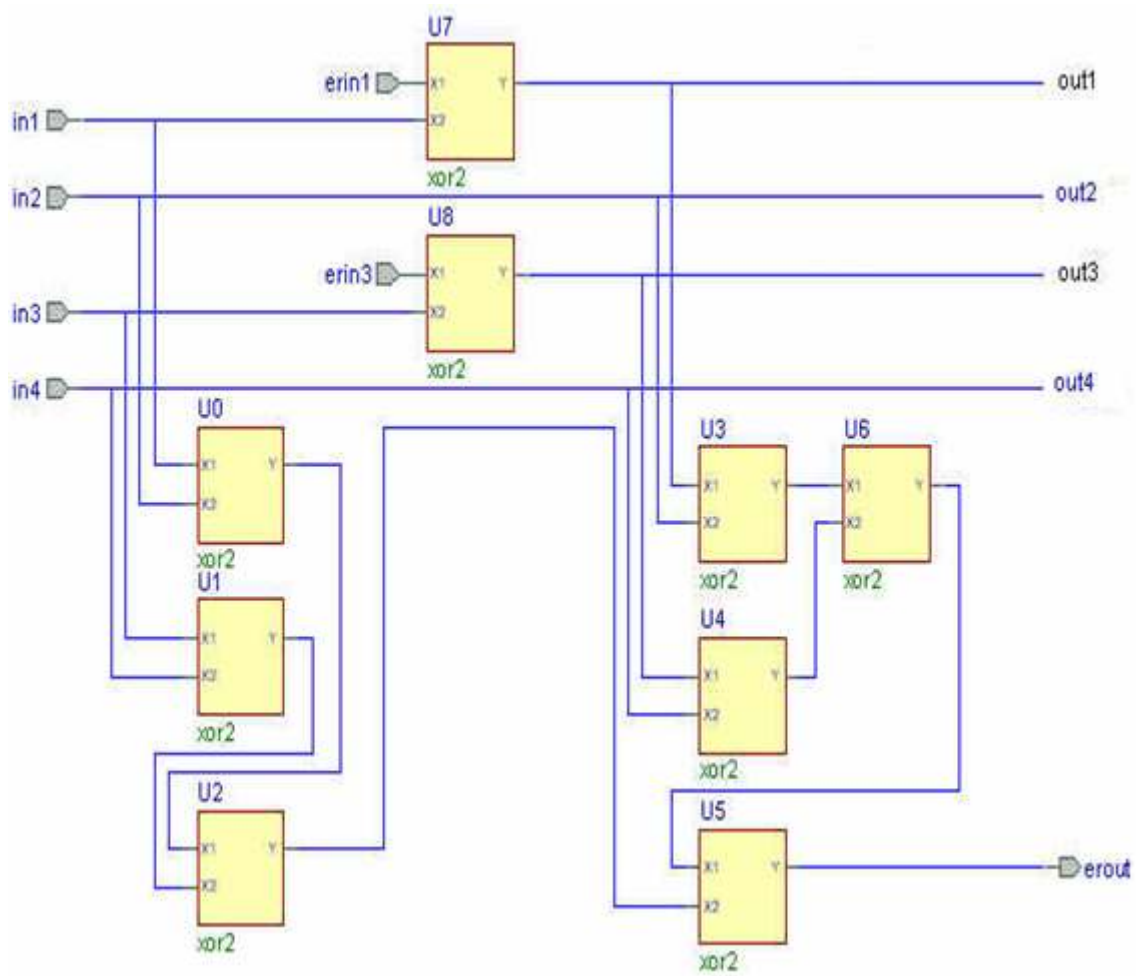


Рисунок 1.3 - Принципова схема кодера й декодера коду з парним числом одиниць.

Моделювання кодера й декодера кода

Варіант 1

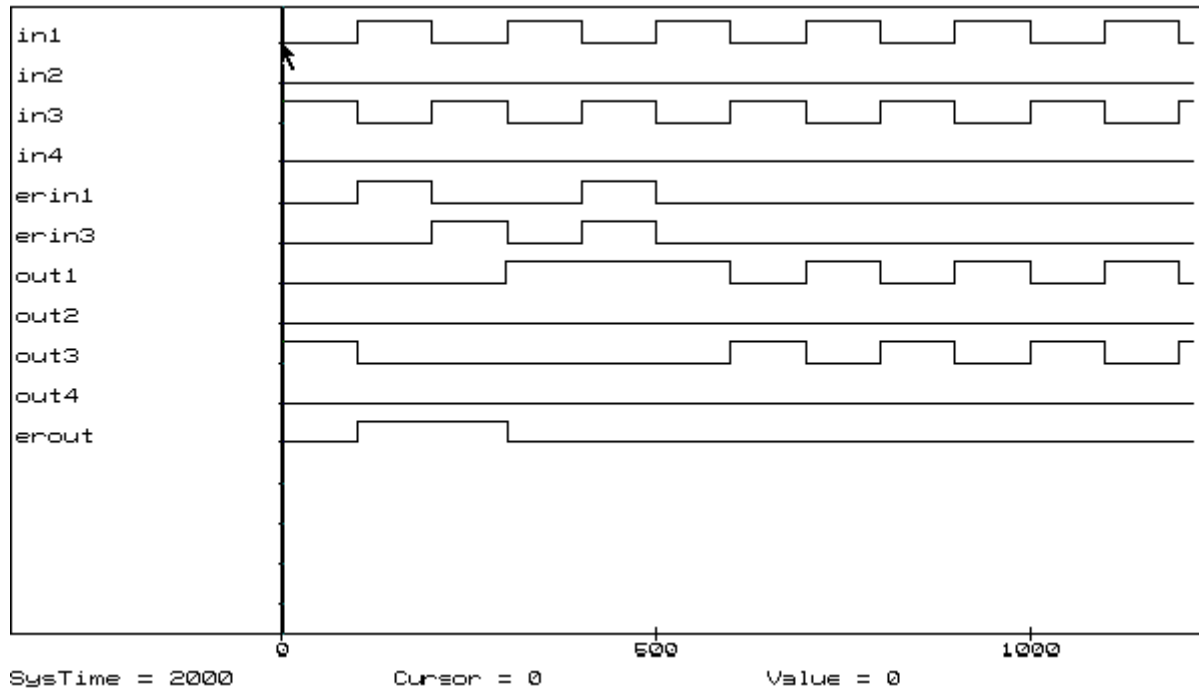


Рисунок 1.4 - Вимоги до часової діаграми моделювання кодера й декодера коду з парним числом одиниць (варіант 1).

Варіант 2

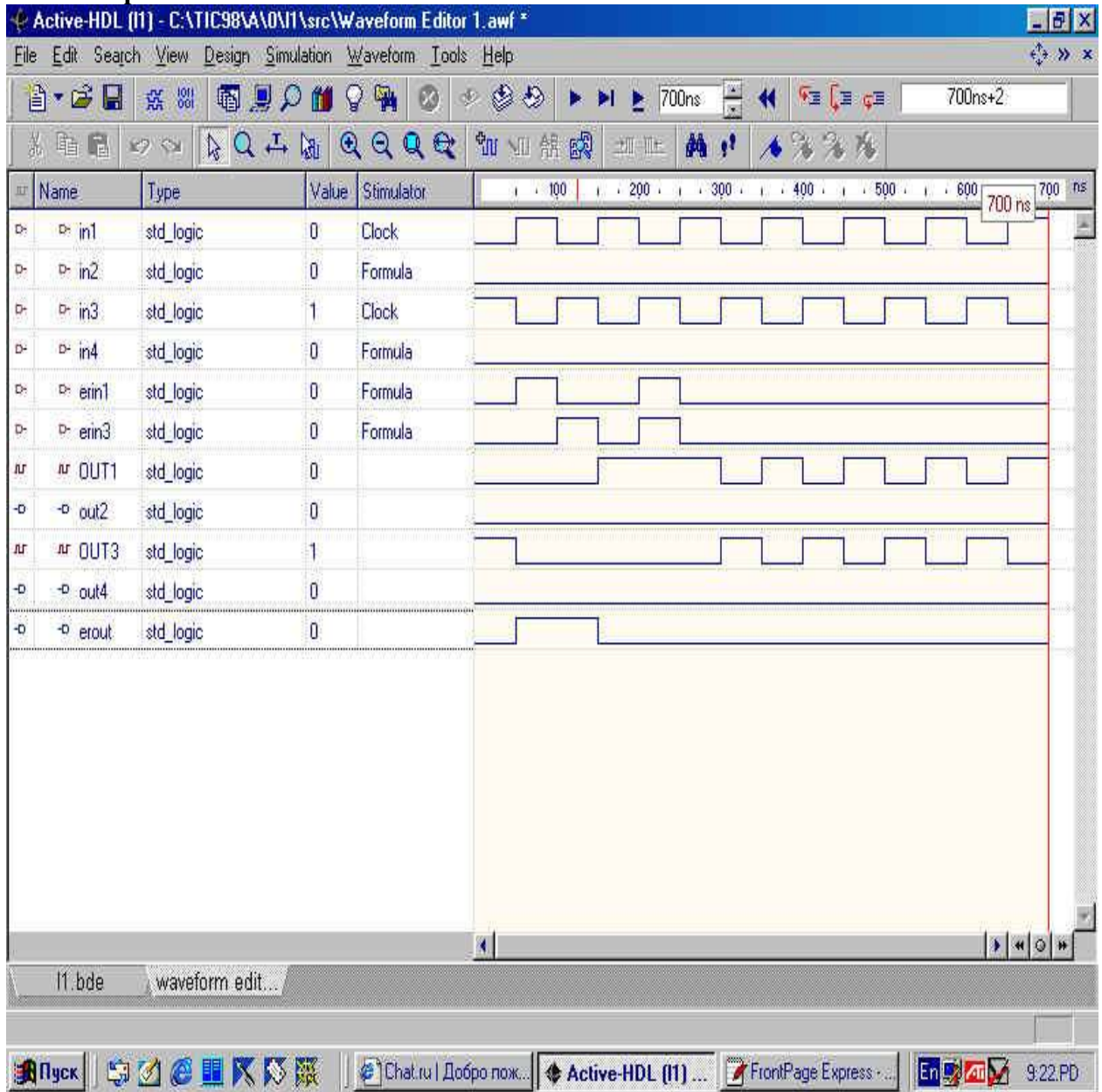


Рисунок 1.5 - Вимоги до часової діаграми моделювання кодера й декодера коду з парним числом одиниць (варіант 2).

Варіант 3

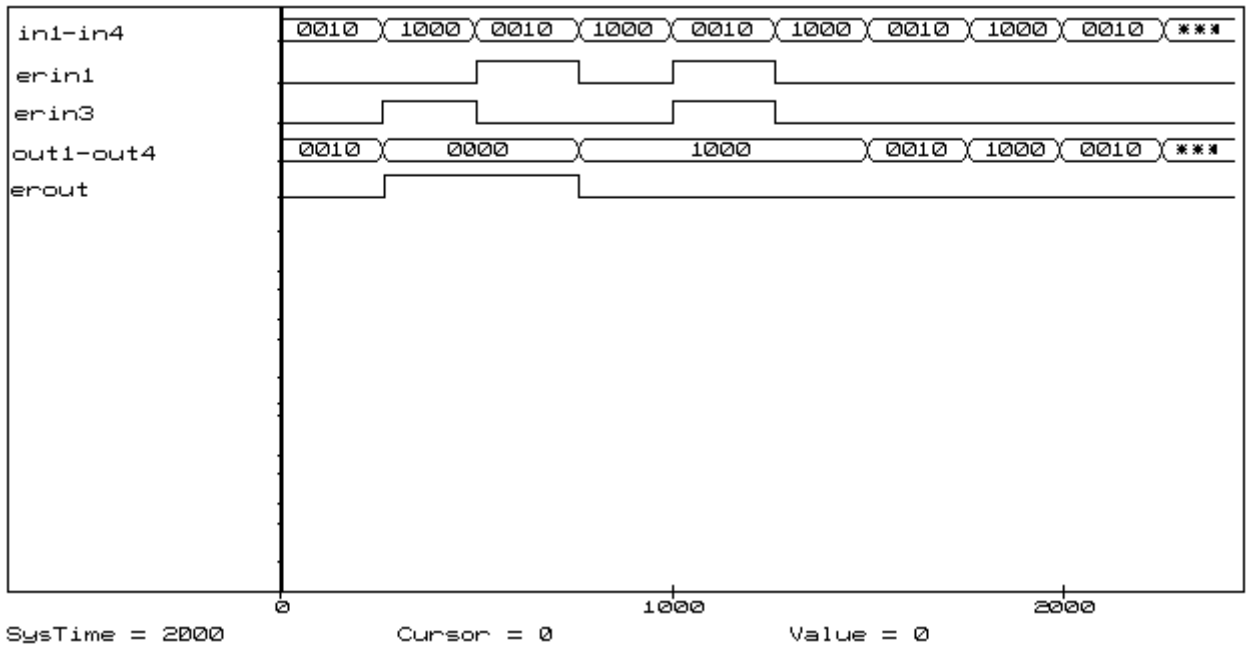


Рисунок 1.6 - Вимоги до часової діаграми моделювання кодера й декодера коду з парним числом одиниць (варіант 3).

Лабораторна робота № 2

ПРОЕКТУВАННЯ КОДЕРА Й ДЕКОДЕРА ГРУПОВОГО КОДУ НА БАЗІ ACTIVE-HDL

Завдання: на базі засобів Active-HDL розробити модель кодера й декодера для групового коду, що виправляє одиночну помилку, і виконати їхнє моделювання.

Варіанти завдання:

- 1. Кількість k інформаційних розрядів: $k = \lfloor (N+5) / 2 \rfloor$, де квадратні дужки означають округлення до найближчого більшого цілого, N – номер варіанта.
- 2. Варіант А - груповий код оптимальний з погляду мінімуму коригувальних розрядів (N - непарне). Варіант В - груповий код оптимальний з погляду мінімуму апаратних витрат реалізації кодера й декодера (N - парне).

Порядок виконання роботи

- 1. Визначити мінімальну кількість перевірочних розрядів. Побудувати породжувальну матрицю групового коду за варіантом А або В.
- 2. Побудувати перевірочну матрицю групового коду. Визначити рівності для перевірочних розрядів і рівності для визначення розрядів синдрому.
- 3. Синтезувати кодер і декодер. Для виправлення одиночної помилки в декодері синтезувати дешифратор.
- 4. Розробити функціональні й принципові схеми кодера й декодера.
- 5. Скласти й налагодити програмну модель.
- 6. Виконати моделювання на ЕОМ схеми, що імітує кодер, двійковий канал, декодер. У двійковому каналі передбачити можливість імітації помилок. Дослідити коригувальну здатність декодера

Зміст звіту

- 1. Титульний аркуш.
- 2. Завдання.
- 3. Вихідні дані.
- 4. Породжувальна матриця групового коду.
- 5. Перевірочна матриця групового коду.
- 6. Синтез декодера.
- 7. Функціональна схема кодера й декодера.
- 8. Принципові схеми кодера й декодера групового коду з можливістю імітації помилок (демонструються на ЕОМ).
- 9. Часові діаграми моделювання кодера й декодера групового коду в Редакторі Часових Діаграм (демонструються на ЕОМ).

Контрольні питання

- 1. У чому полягає відмінність між блоковими й безперервними кодами?
- 2. Що розуміється під вагою кодової комбінації?
- 3. Як визначається відстань між кодовими комбінаціями?
- 4. Який зв'язок коригувальної здатності з кодовою відстанню?
- 5. Як будується породжувальна матриця групового коду?
- 6. Які умови побудови перевірконої підматриці?
- 7. Який алгоритм визначення перевірочних символів за допомогою перевірконої матриці?
- 8. Як визначається склад перевірочних рівностей за допомогою перевірконої матриці?

Контрольний приклад (N=35)

Завдання: на базі засобів Active-HDL розробити модель кодера й декодера для групового коду, що виправляє одиночну помилку, і виконати їхнє моделювання.

Вихідні дані

Кількість інформаційних символів коду: $k = [(N+5)/2] = 20$.
Варіант В - мінімальні апаратні витрати кодера й декодера.

Побудова коду

- Визначення мінімальної кількості контрольних розрядів.

$$k = 20,$$
$$p \geq [\log_2 \{(k+1) + [\log_2(k+1)]\}] = 5.$$

Для коду з мінімальними апаратними витратами кодера й декодера кожний рядок перевірконої підматриці повинен містити 2 одиниці (для коду, що виправляє одиночну помилку), причому всі рядки повинні бути різними.

Якщо вибрати $p=5$, одержимо 10 рядків перевірконої підматриці з вагою 2 і 10 рядків з вагою 3.

Якщо вибрати $p=7$, одержимо 20 рядків з вагою 2, тобто $20 \cdot 2 = 40$ одиниць у перевірконій підматриці.

- Побудова породжувальної матриці $P_{(27,20)}$

$$P_{(27,20)} = \begin{pmatrix} 100 & 000 & 000 & 0 & 000 & 000 & 000 & 0 & 000 & 001 & 1 \\ 010 & 000 & 000 & 0 & 000 & 000 & 000 & 0 & 000 & 010 & 1 \\ 001 & 000 & 000 & 0 & 000 & 000 & 000 & 0 & 000 & 100 & 1 \\ 000 & 100 & 000 & 0 & 000 & 000 & 000 & 0 & 001 & 000 & 1 \\ 000 & 010 & 000 & 0 & 000 & 000 & 000 & 0 & 010 & 000 & 1 \\ 000 & 001 & 000 & 0 & 000 & 000 & 000 & 0 & 100 & 000 & 1 \\ 000 & 000 & 100 & 0 & 000 & 000 & 000 & 0 & 000 & 011 & 0 \\ 000 & 000 & 010 & 0 & 000 & 000 & 000 & 0 & 000 & 101 & 0 \\ 000 & 000 & 001 & 0 & 000 & 000 & 000 & 0 & 001 & 001 & 0 \\ 000 & 000 & 000 & 1 & 000 & 000 & 000 & 0 & 010 & 001 & 0 \\ 000 & 000 & 000 & 0 & 100 & 000 & 000 & 0 & 100 & 001 & 0 \\ 000 & 000 & 000 & 0 & 010 & 000 & 000 & 0 & 000 & 110 & 0 \\ 000 & 000 & 000 & 0 & 001 & 000 & 000 & 0 & 001 & 010 & 0 \\ 000 & 000 & 000 & 0 & 000 & 100 & 000 & 0 & 010 & 010 & 0 \\ 000 & 000 & 000 & 0 & 000 & 010 & 000 & 0 & 100 & 010 & 0 \\ 000 & 000 & 000 & 0 & 000 & 001 & 000 & 0 & 001 & 100 & 0 \\ 000 & 000 & 000 & 0 & 000 & 000 & 100 & 0 & 010 & 100 & 0 \\ 000 & 000 & 000 & 0 & 000 & 000 & 010 & 0 & 100 & 100 & 0 \\ 000 & 000 & 000 & 0 & 000 & 000 & 001 & 0 & 011 & 000 & 0 \\ 000 & 000 & 000 & 0 & 000 & 000 & 000 & 1 & 101 & 000 & 0 \end{pmatrix}$$

- Побудова перевірконої матриці

$$H = \begin{pmatrix} a_1 a_2 a_3 & a_4 a_5 a_6 & a_7 a_8 a_9 & a_{10} & a_{11} a_{12} a_{13} & a_{14} a_{15} a_{16} & a_{17} a_{18} a_{19} & a_{20} & b_1 b_2 b_3 & b_4 b_5 b_6 & b_7 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

- Визначення рівностей для перевірочних розрядів:

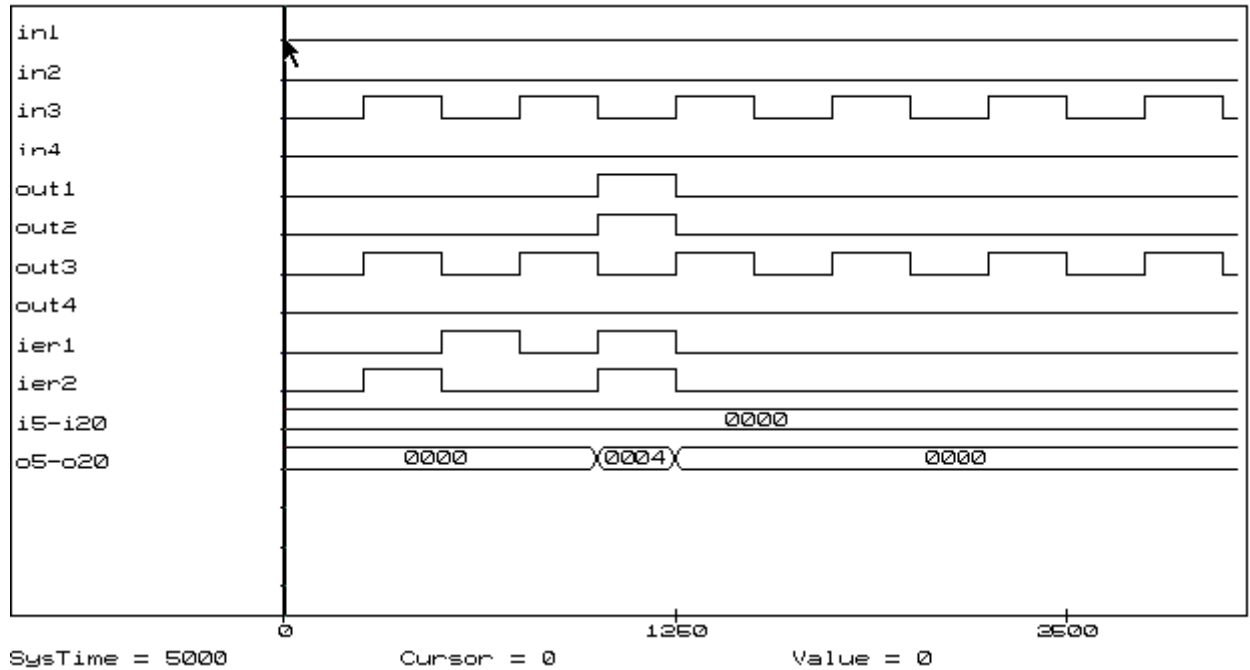
$$\begin{aligned} b_1 &= a_6 + a_{11} + a_{15} + a_{18} + a_{20} \\ b_2 &= a_5 + a_{10} + a_{14} + a_{17} + a_{19} \\ b_3 &= a_4 + a_9 + a_{13} + a_{16} + a_{19} + a_{20} \\ b_4 &= a_3 + a_8 + a_{12} + a_{16} + a_{17} + a_{18} \\ b_5 &= a_2 + a_7 + a_{12} + a_{13} + a_{14} + a_{15} \\ b_6 &= a_1 + a_7 + a_8 + a_9 + a_{10} + a_{11} \\ b_7 &= a_1 + a_3 + a_2 + a_4 + a_5 + a_6 \end{aligned}$$

- Визначення рівностей для розрядів синдрому:

$$\begin{aligned} s_1 &= b_1 + a_6 + a_{11} + a_{15} + a_{18} + a_{20} \\ s_2 &= b_2 + a_5 + a_{10} + a_{14} + a_{17} + a_{19} \\ s_3 &= b_3 + a_4 + a_9 + a_{13} + a_{16} + a_{19} + a_{20} \\ s_4 &= b_4 + a_3 + a_8 + a_{12} + a_{16} + a_{17} + a_{18} \\ s_5 &= b_5 + a_2 + a_7 + a_{12} + a_{13} + a_{14} + a_{15} \\ s_6 &= b_6 + a_1 + a_7 + a_8 + a_9 + a_{10} + a_{11} \\ s_7 &= b_7 + a_1 + a_3 + a_2 + a_4 + a_5 + a_6 \end{aligned}$$

Принципова схема кодера й декодера У форматі PDF

Моделювання кодера й декодера



Позначення сигналів

in1, in2, in3, in4, i5-i20 - входи кодера (інформаційні символи);

out1, out2, out3, out4, o5-o20 - виходи декодера;

ier1, ier2 - входи імітації помилок (імітуються 4 ситуації: без помилок, два варіанта
одиначних помилок, що виправляються, подвійна помилка).

Лабораторна робота № 3

ПРОЕКТУВАННЯ КОДЕРА Й ДЕКОДЕРА КОДУ ХЕММІНГА НА БАЗІ ACTIVE-HDL

Завдання: на базі засобів Active-HDL розробити модель кодера й декодера для кодів Хеммінга, що виправляють одиночну помилку й виправляють одиночну і виявляють двократні помилки, і виконати їхнє моделювання.

Варіанти завдання:

- 1. Довжина кодового слова n коду Хеммінга

$$n = [(35 - N) / 2],$$

де N - номер варіанта.

- 2. Варіант А - код Хеммінга з виправленням одиночної помилки й виявленням двократної (N - парне). Варіант В - код Хеммінга з виправленням одиночної помилки (N - непарне).

Порядок виконання роботи

- 1. Визначити мінімальну кількість контрольних розрядів.
- 2. Побудувати перевірочну матрицю коду Хеммінга за варіантом А або В. Визначити рівності для перевірочних розрядів і рівності для визначення розрядів синдрому.
- 3. Синтезувати кодер і декодер. Для виправлення одиночної помилки в декодері використати стандартний дешифратор.
- 4. Розробити функціональні й принципові схеми кодера й декодера.
- 5. Скласти й налагодити програмну модель.
- 6. Виконати моделювання на ЕОМ схеми, що імітує кодер, двійковий канал, декодер. У двійковому каналі передбачити можливість імітації помилок. Дослідити коригувальну здатність декодера

Зміст звіту

- 1. Титульний аркуш.
- 2. Завдання.
- 3. Вихідні дані.
- 4. Перевірочна матриця коду Хеммінга.
- 5. Функціональна схема кодера й декодера.
- 6. Принципові схеми кодера й декодера групового коду з можливістю імітації помилок (демонструються на ЕОМ).
- 7. Часові діаграми моделювання кодера й декодера групового коду в Редакторі Часових Діаграм (демонструються на ЕОМ).

Контрольні питання

- 1. Що обумовило широке розповсюдження двійкових кодів?
- 2. Який принцип побудови кодів Хеммінга?
- 3. Як складаються перевіірочні рівності коду Хеммінга?
- 4. Як будується перевіірочна матриця для коду Хеммінга з виправленням одиночної помилки?
- 5. Як будується перевіірочна матриця для коду Хеммінга з виправленням одиночної й виявленням двократної помилок?
- 6. Як визначається коефіцієнт надлишковості коду?
- 7. Як визначаються номери позицій контрольних розрядів у кодї Хеммінга?
- 8. Які існують різновиди кодів Хеммінга? У чому їхня відмінність?

Контрольний приклад (N=5)

Завдання: на базі засобів Active-HDL розробити модель кодера й декодера для кодів Хеммінга, що виправляють одиночну помилку й виправляють одиночну і виявляють двократні помилки, і виконати їхнє моделювання.

Вихідні дані

Довжина коду: $n = [(35-N)/2] = 20$.

Варіант В - код Хеммінга, що виправляє одиночну помилку ($d_{\min}=3$).

Побудова коду

- Визначення мінімальної кількості контрольних символів.

Довжина коду $n = 20$.

Мінімальна кількість перевіірочних символів $p = [\log_2(n+1)] = 5$.

Кількість інформаційних символів $k = n-p = 20-5 = 15$.

- Побудова перевіірочної матриці

Контрольні розряди : $b_1, b_2, b_4, b_8, b_{16}$. Позиції перевіірочних розрядів: 1-а, 2-а, 4-а, 8-а, 16-а.

Перевіірочна матриця:

$$H = \begin{array}{c} \begin{array}{cccccccccccccccccccc} b_1 & b_2 & a_3 & b_4 & a_5 & a_6 & a_7 & b_8 & a_9 & a_{10} & a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} & b_{16} & a_{17} & a_{18} & a_{19} & a_{20} \end{array} \\ \left| \begin{array}{cccccccccccccccccccc} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{array} \right| \end{array}$$

- Визначення рівностей для перевіірочних розрядів:

$$b_1 = a_3 + a_5 + a_7 + a_9 + a_{11} + a_{13} + a_{15} + a_{17} + a_{19};$$

$$b_2 = a_3 + a_6 + a_7 + a_{10} + a_{11} + a_{14} + a_{15} + a_{18} + a_{19};$$

$$b_4 = a_5 + a_6 + a_7 + a_{12} + a_{13} + a_{14} + a_{15} + a_{20};$$

$$b_8 = a_9 + a_{10} + a_{11} + a_{12} + a_{13} + a_{14} + a_{15};$$

$$b_{16} = a_{17} + a_{18} + a_{19} + a_{20}.$$

- Визначення рівностей для розрядів синдрому:

$$s_0 = b_1 + a_3 + a_5 + a_7 + a_9 + a_{11} + a_{13} + a_{15} + a_{17} + a_{19};$$

$$s_1 = b_2 + a_3 + a_6 + a_7 + a_{10} + a_{11} + a_{14} + a_{15} + a_{18} + a_{19};$$

$$s_2 = b_4 + a_5 + a_6 + a_7 + a_{12} + a_{13} + a_{14} + a_{15} + a_{20};$$

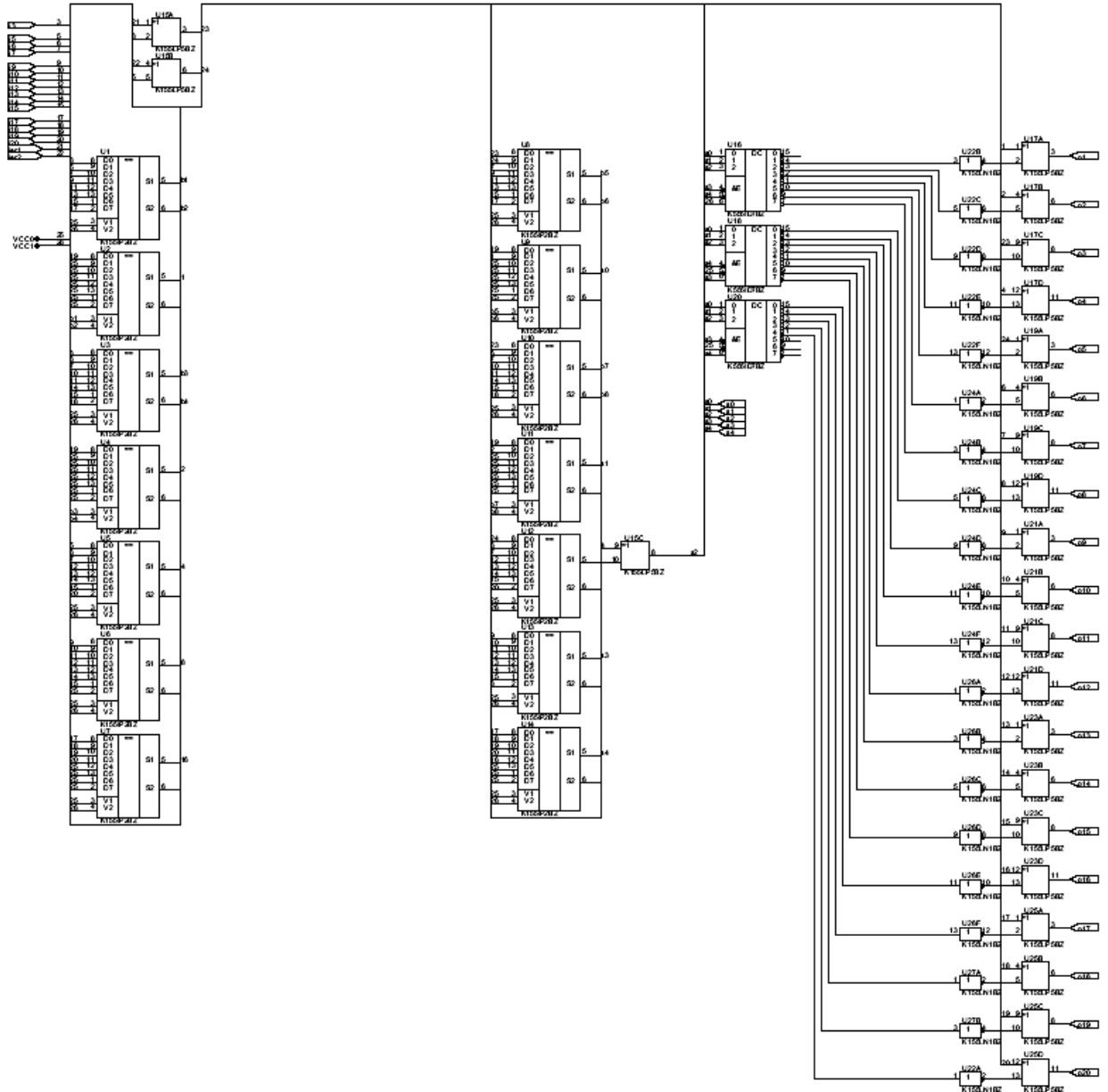
$$s_3 = b_8 + a_9 + a_{10} + a_{11} + a_{12} + a_{13} + a_{14} + a_{15};$$

$$s_4 = b_{16} + a_{17} + a_{18} + a_{19} + a_{20}.$$

Принципова схема кодера й декодера У форматі PDF

Схема кодера, імітації помилок і декодера (загальний вид).

Імітація
помилок

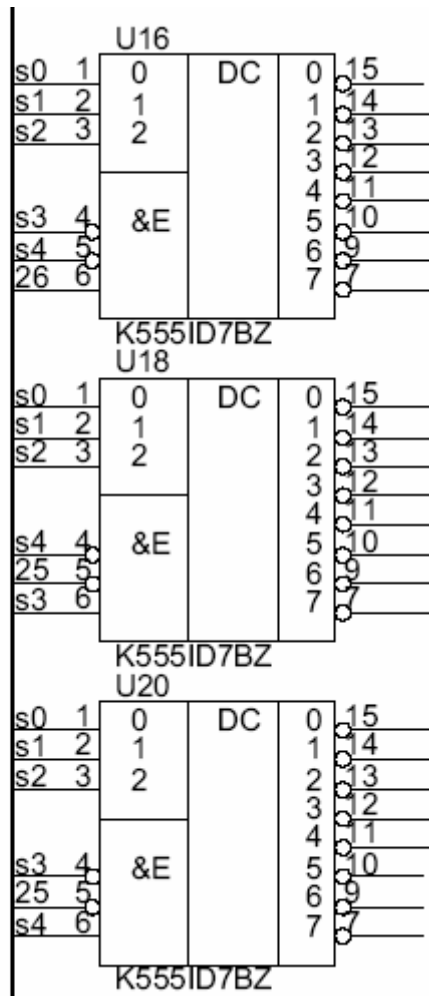


Кодер
Формування b

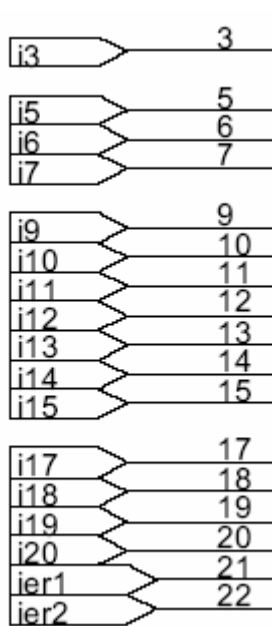
Декодер
Формування S

Декодер
Дешифратор і схема виправлення

Дешифратор декодера коду Хеммінга (25 - логічний 0, 26 - логічна 1).

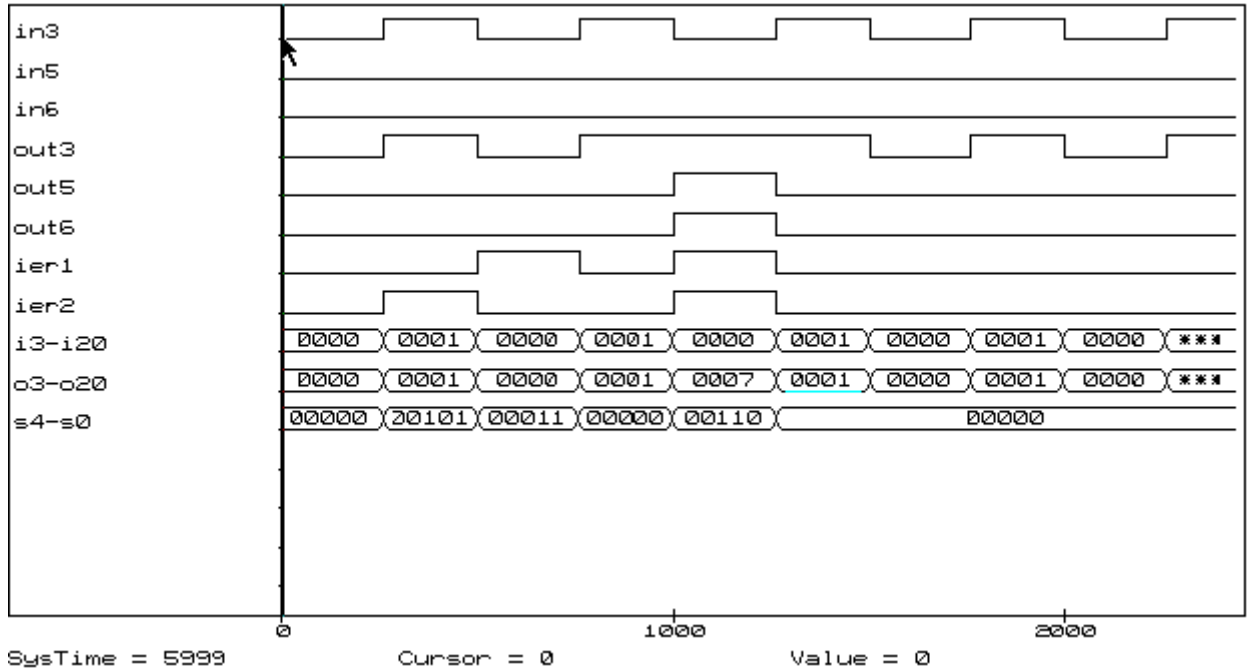


Входи кодера коду Хеммінга.



Моделювання кодера й декодера коду Хеммінга

Вимоги до часової діаграми моделювання кодера й декодера



Позначення сигналів

in3, in5, in6, i3-i20 - входи кодера (інформаційні символи);

out3, out5, out6, o3-o20 - виходи декодера;

ier1, ier2 - входи імітації помилок (імітуються 4 ситуації: без помилок, два варіанта
одиначних помилок, що виправляються, двократна помилка):

s4-s0 - розряди синдрому.

Лабораторна робота № 4

ПРОЕКТУВАННЯ КОДЕРА Й ДЕКОДЕРА КОДУ ХЕММІНГА НА БАЗІ ACTIVE-HDL

Завдання: на базі засобів Active-HDL розробити модель кодера й декодера для циклічних кодів Хеммінга, що виправляють одиночну помилку, й виконати їхнє моделювання.

Варіанти завдання:

1. Кількість k інформаційних розрядів коду Хеммінга

$$k = \lfloor (N + 1) / 4 \rfloor,$$

де N - номер варіанта.

$$2. N \bmod 4 = \begin{cases} 0 - \text{варіант А;} \\ 1 - \text{варіант В;} \\ 2 - \text{варіант С;} \\ 3 - \text{варіант D.} \end{cases}$$

Для варіантів А і В вибирається породжувальний поліном $K(X)$ з таблиці; для варіантів С і D - поліном $K'(X)$, двоїстий поліному $K(X)$ з таблиці.

Для варіантів А і С - систематичний код; для варіантів В і D - несистематичний код.

Таблиця 1 - Примітивні поліноми

Ступінь полінома	Поліном в 8-ричній системі числення
2	7
3	13
4	23
5	45
6	103

Приклад визначення полінома для 6-го степеня:
поліном в восьмиричній системі числення: 103 ;
поліном в двійковій системі числення: 001 000 011 ;
поліноміальна форма представлення: $X^6 + X + 1$.

Порядок виконання роботи

- 1. Визначити мінімальну кількість перевірочних розрядів. Вибрати породжувальний поліном з таблиці.
- 2. Відповідно до заданого варіанта побудувати породжувальну матрицю циклічного коду.
- 3. Синтезувати кодер і декодер на основі лінійних перемикальних схем.
- 4. Розробити функціональні й принципові схеми кодера й декодера.
- 5. Скласти й налагодити програмну модель.
- 6. Виконати моделювання на ЕОМ схеми, що імітує кодер, двійковий канал, декодер. У двійковому каналі передбачити можливість імітації помилок. Дослідити коригувальні здатності декодера.

Зміст звіту

- 1. Титульний аркуш.
- 2. Завдання.
- 3. Вихідні дані.
- 4. Визначення мінімальної кількості контрольних розрядів.
- 5. Вибір породжувального полінома.
- 6. Породжувальна матриця циклічного коду.
- 7. Функціональна схема кодера й декодера.
- 8. Принципові схеми кодера й декодера циклічного коду з можливістю імітації помилок (демонструються на ЕОМ).
- 9. Часові діаграми моделювання кодера й декодера циклічного коду в Редакторі Часових Діаграм (демонструються на ЕОМ).

Контрольні питання

- 1. Чим обумовлена назва циклічних кодів?
- 2. Які відомі способи побудови циклічних кодів?
- 3. Як вибирається породжувальний поліном циклічного коду?
- 4. Як будується перевірочна матриця для циклічного коду з виправленням одиночної помилки?
- 5. Яка процедура виявлення й виправлення помилки в циклічних кодах з $d_{\min}=3$?
- 6. Що таке "декодер Меггітта"?
- 7. Що таке "укорочений циклічний код"?
- 8. Як реалізується операція ділення на поліном за допомогою лінійної перемикальної схеми?
- 9. Як виконується множення поліномів за допомогою лінійної перемикальної схеми?
- 10. Як визначити поліном, двоїстий заданому?
- 11. Що таке "незвідний поліном"?

Контрольний приклад (N=35)

Завдання: на базі засобів Active-HDL розробити модель кодера й декодера для циклічних кодів Хеммінга, що виправляють одиночну помилку, й виконати їхнє моделювання.

Вихідні дані

Кількість інформаційних символів $k = \lfloor (N+1)/4 \rfloor = 9$.

Варіант С - систематичний циклічний код Хеммінга;

породжувальний поліном - $K'(X)$, двоїстий табличному $K(X)$.

Побудова коду

- 1. Визначення мінімальної кількості контрольних розрядів:
 $p = \lceil \log_2 \{ (k+1) + \lceil \log_2(k+1) \rceil \} \rceil = 4$
(у цьому випадку квадратні дужки означають округлення до найближчого більшого цілого).
 $n = k + p = 9 + 4 = 13$.
- 2. Вибір породжувального полінома. У таблиці незвідних примітивних поліномів, поліном ступеня чотири ($p=4$, отже, $\deg K(X)=4$) представлений у вигляді восьмеричного запису ненульових коефіцієнтів, дорівнює 23, тобто 10011, або в поліноміальній формі запису $K(X) = X^4 + X + 1$. ($23_8 = 010\ 011_2 = 0 \cdot X^5 + 1 \cdot X^4 + 0 \cdot X^3 + 0 \cdot X^2 + 1 \cdot X^1 + 1 \cdot X^0 = X^4 + X + 1$).
- Для варіанта С породжувальний поліном $K'(X)$, двоїстий поліному $K(X)$.
 $K'(X) = X^{\deg(K)} * K(X^{-1}) = X^4 * (X^{-4} + X^{-1} + 1) = X^4 * (X^{-4} + X^{-1} + 1) = X^4 + X^3 + 1$.
- 3. Побудова породжувальної матриці $P_{(n,k)} = I H_p$, де I – одинична матриця (інформаційна підматриця), H_p – перевірна підматриця.
Інформаційна підматриця (розмір $k \times k$)

$$U_k = \begin{vmatrix} 100 & 000 & 000 \\ 010 & 000 & 000 \\ 001 & 000 & 000 \\ 000 & 100 & 000 \\ 000 & 010 & 000 \\ 000 & 001 & 000 \\ 000 & 000 & 100 \\ 000 & 000 & 010 \\ 000 & 000 & 001 \end{vmatrix}$$

- Перевірна підматриця H_p складається із залишків ділення інформаційного рядка, доповненого p нулями, на породжувальний поліном.

Залишок від першого рядка, доповненого р нулями

$$\begin{array}{r}
 100\ 000\ 000\ 0000 \quad | \quad 11001 \\
 \underline{110\ 01} \\
 100\ 10 \\
 \underline{110\ 01} \\
 10\ 110 \\
 \underline{11\ 001} \\
 1\ 111\ 0 \\
 \underline{1\ 100\ 1} \\
 11\ 100 \\
 \underline{11\ 001} \\
 1\ 010\ 0 \\
 \underline{1\ 100\ 1} \\
 110\ 10 \\
 \underline{110\ 01} \\
 00\ 11
 \end{array}$$

Залишок від другого рядка, доповненого р нулями

$$\begin{array}{r}
 100\ 000\ 000\ 000 \quad | \quad 11001 \\
 \underline{110\ 01} \\
 100\ 10 \\
 \underline{110\ 01} \\
 10\ 110 \\
 \underline{11\ 001} \\
 1\ 111\ 0 \\
 \underline{1\ 100\ 1} \\
 11\ 100 \\
 \underline{11\ 001} \\
 1\ 010\ 0 \\
 \underline{1\ 100\ 1} \\
 110\ 1
 \end{array}$$

Після аналогічних обчислень отримуємо породжувальну матрицю:

$$P_{(13,9)} = \begin{array}{c}
 a_1\ a_2\ a_3\ a_4\ a_5\ a_6\ a_7\ a_8\ a_9\ b_1\ b_2\ b_3\ b_4 \\
 \left| \begin{array}{cccccccccccc}
 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\
 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\
 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1
 \end{array} \right|
 \end{array}$$

Декодер

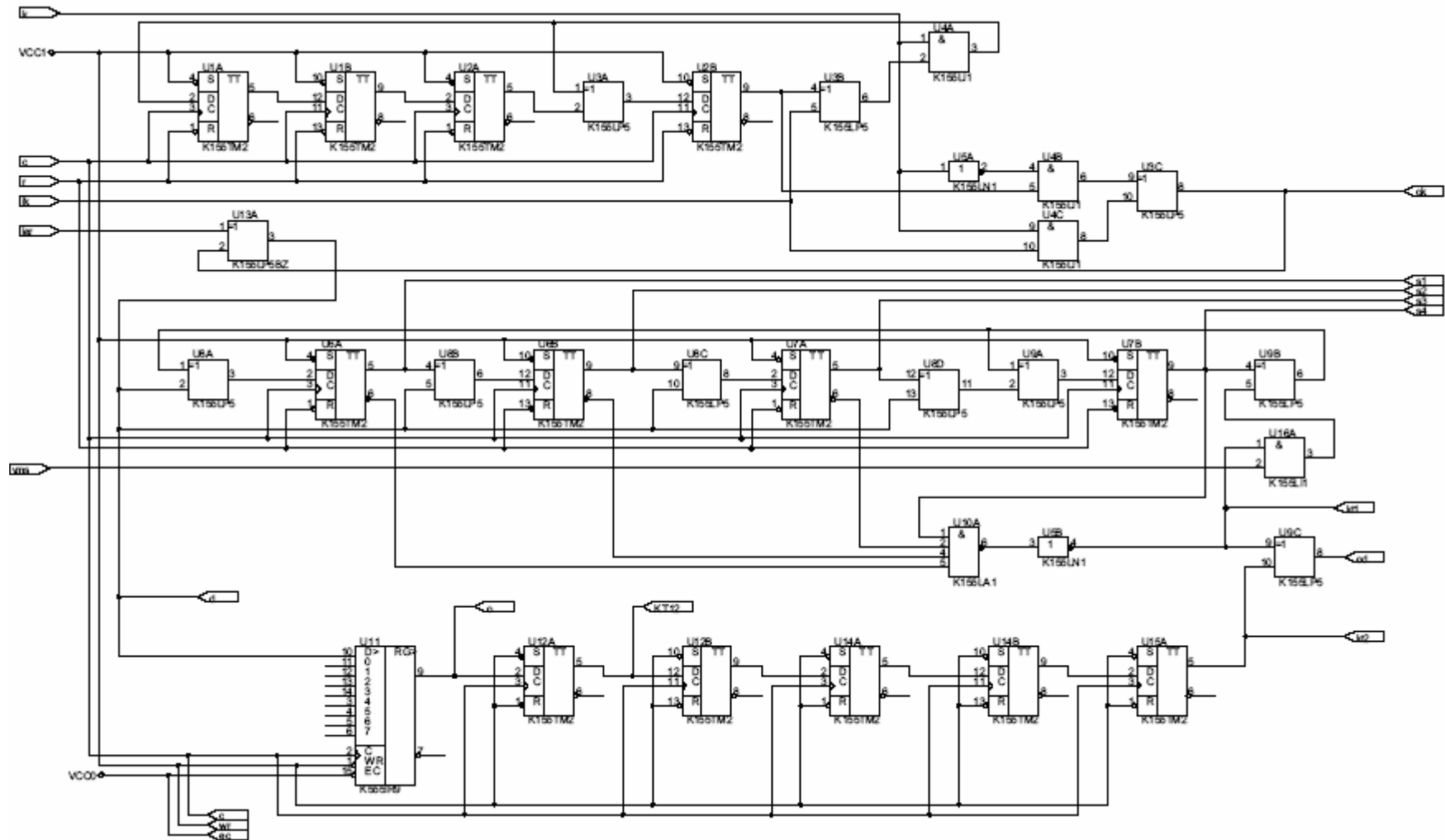
- Оскільки код (13, 9) є вкороченим ($n-i, k-i$) циклічним кодом, необхідно знайти залишок від ділення полінома $X^{(n-k+i)}$ на породжувальний поліном. Параметр укорочування $i=2$, тому що код (13, 9) утворюється шляхом укорочування коду (15, 11) (параметри повного коду Хеммінга ($2^p - 1, 2^p - 1 - p$)); $n-k=p=4$, $n-k+i=4+2=6$.
- Визначення залишку від ділення $X^{n-k+i} = X^6$ на породжувальний поліном:

$$R(X^6) = X^3 + X^2 + X + 1$$

$$\begin{array}{r|l} X^6 & X^4 + X^3 + 1 \\ X^6 + X^5 + X^2 & \hline X^5 + X^2 & \\ X^5 + X^4 + X & \hline X^4 + X^2 + X & \\ X^4 + X^3 + 1 & \hline X^3 + X^2 + X + 1 & \end{array}$$

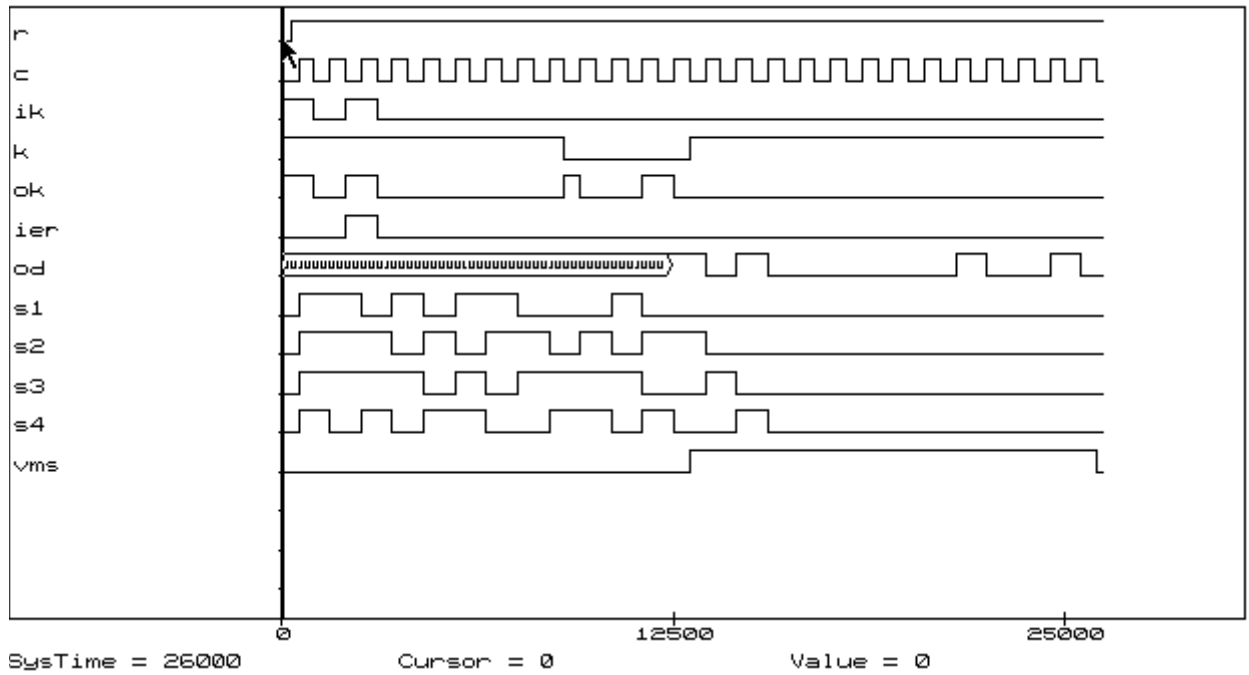
Принципова схема кодера й декодера

- 1) У форматі PDF
- 2) Кодер, імітація помилок і декодер

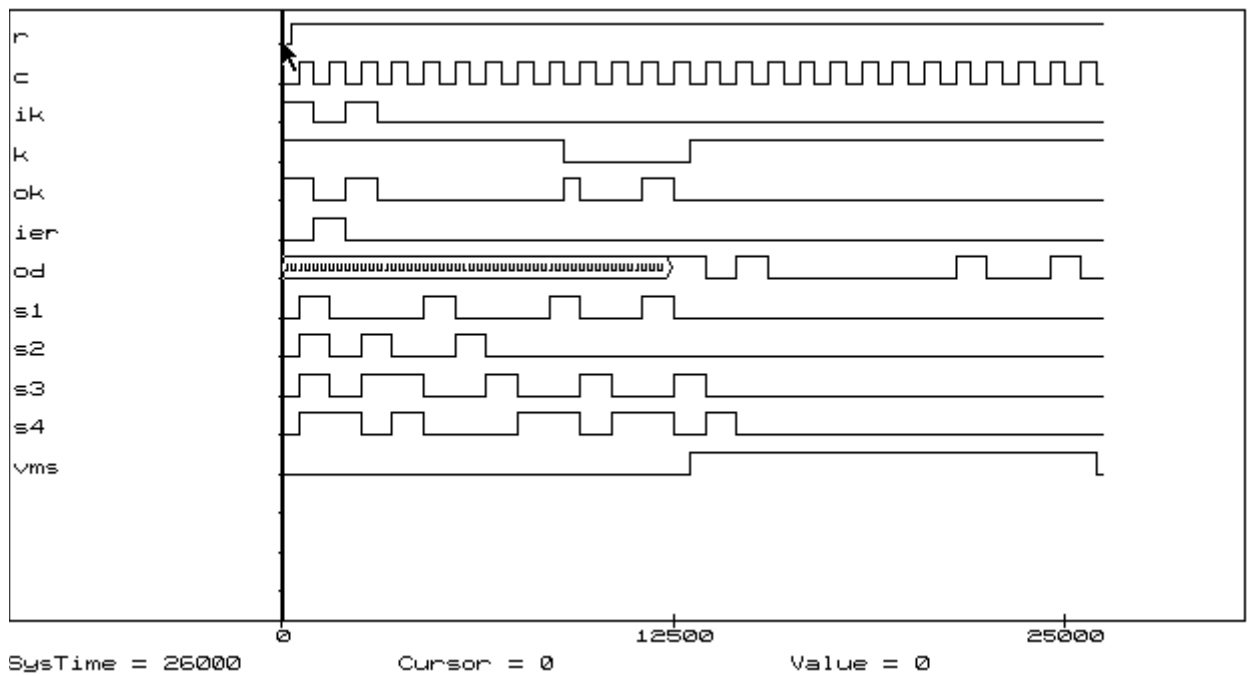


Моделювання кодера й декодера

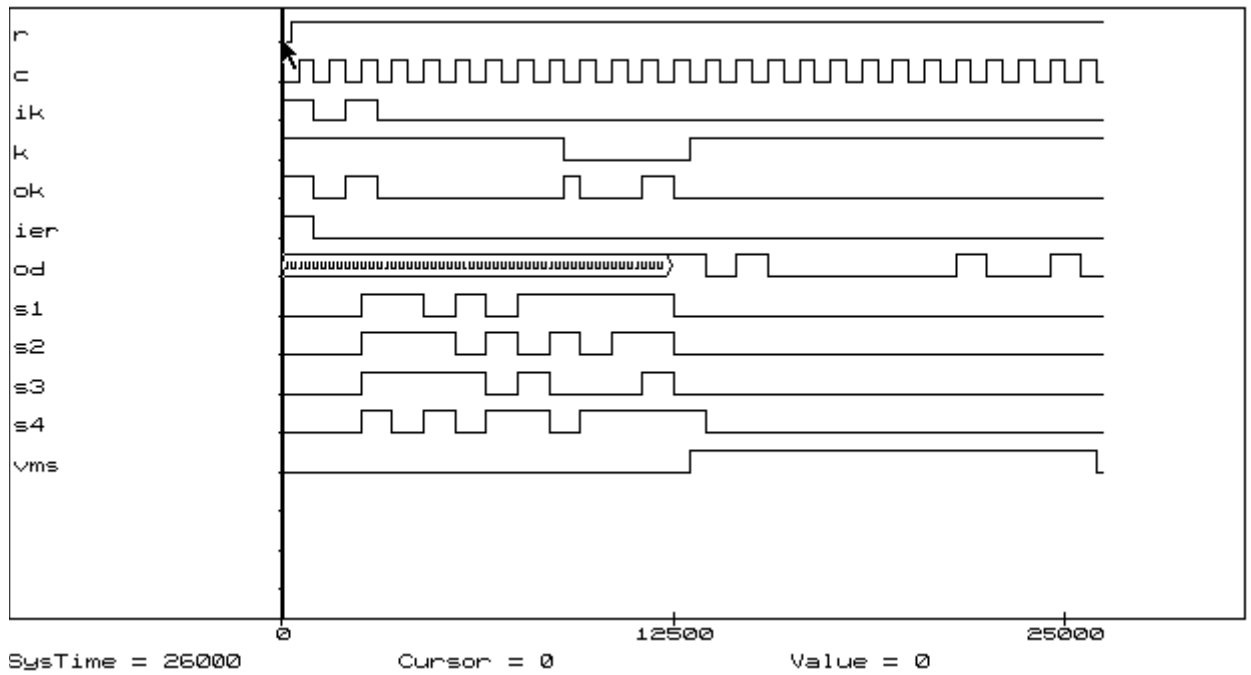
Імітація помилки в 3-му інформаційному символі



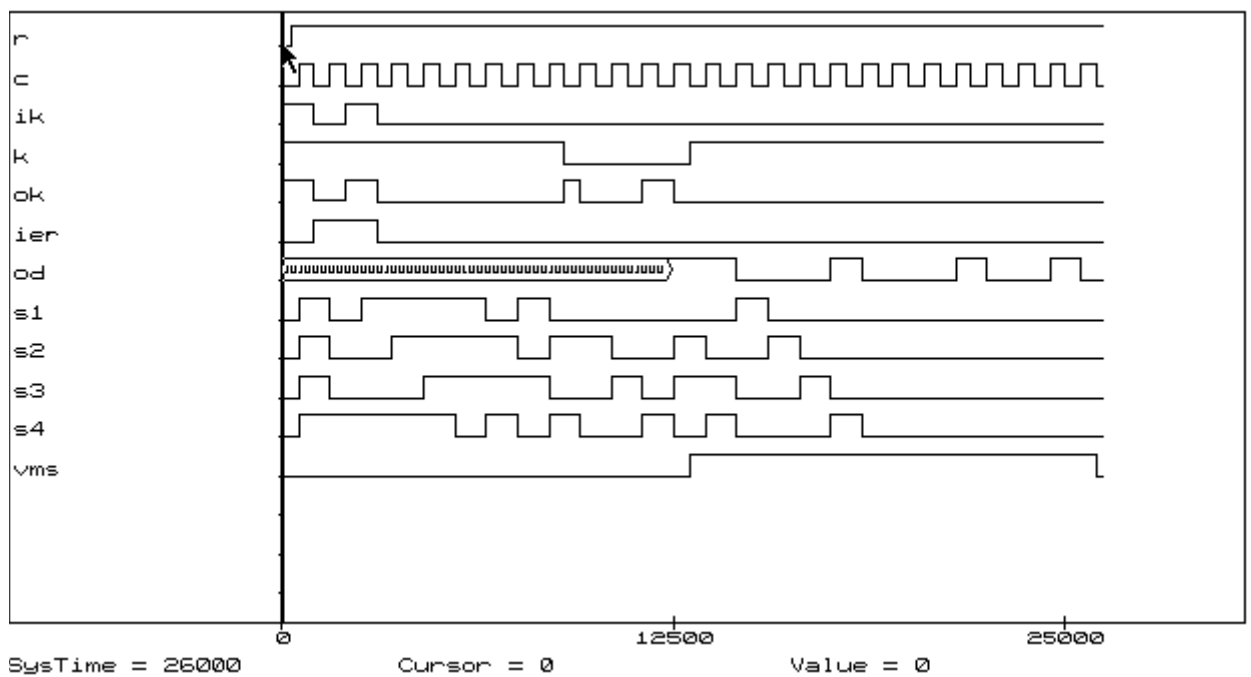
Імітація помилки в 2-му інформаційному символі



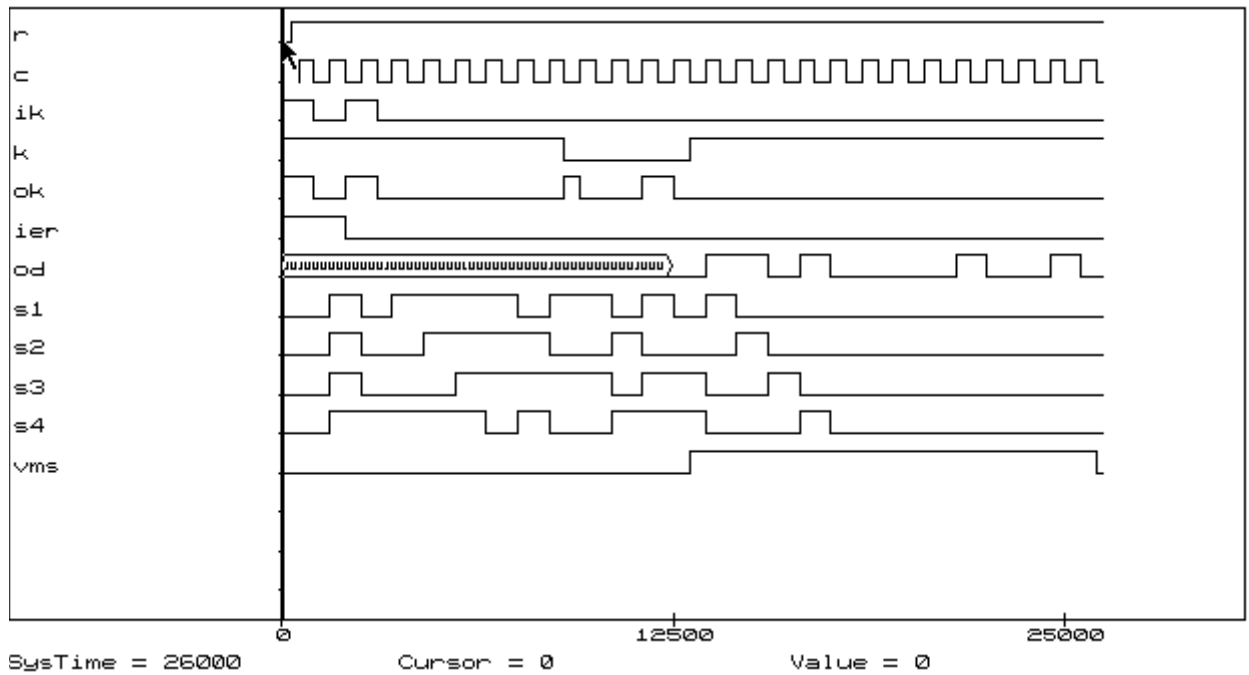
Імітація помилки в 1-му інформаційному символі



Імітація двох помилок в 2-му і 3-му інформаційних символах



Імітація двох помилок в 1-му і 2-му інформаційних символах



Позначення сигналів

- r - (reset) сигнал скидання;
- c - (clock) синхросигнали;
- ik - вхід кодера;
- k - керування ключем;
- ok - вихід кодера;
- ier - (input error) вхід імітації помилок;
- od - вихід декодера;
- s1 - s4 - розряди синдрому;
- vms - сигнал дозволу модифікації синдрому.

ЛІТЕРАТУРА

Основна:

1. Кузьмин В. П., Кедрус В. А. Основы теории информации и кодирования. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1986. – 238 с. (стор. 6-10, 70-74, 86-90, 93-101)
2. Цымбал В. П. Теория информации и кодирования: Учебник. - К.: Вища шк., 1992.-263 с.: ил. (стор. 6-12, 12-22, 79-102, 184-198, 198-221)
3. Питерсон У., Уэлдон Э. Коды, исправляющие ошибки. - М.: Мир, 1976. – 595 с.: ил. (стор. 134-138, 304-321, 251-273)
4. Блейхут Р. Теория и практика кодов, контролирующих ошибки: Пер. с англ. - М.: Мир, 1986. - 576 с.: ил. (стор.61-81, 112-152, 154-184)
5. Огнев И. В., Сарычев К. Ф. Надежность запоминающих устройств. - М.: Радио и связь, 1988. - 224 с.

Додаткова:

6. Шевкопляс Б. В. Микропроцессорные структуры. Инженерные решения. - М.: Радио и связь, 1986. - 264 с.: ил.
7. Горшков В. Н. Надежность оперативных запоминающих устройств ЭВМ. - Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние. 1987. – 68 с.: ил.
8. Щербаков Н. С. Достоверность работы цифровых устройств. - М.: Машиностроение, 1989. - 224 с.: ил.
9. Каган Б. М. Электронные вычислительные машины и системы: Учебное пособие для вузов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 552 с.: ил.
10. Микропроцессоры: В 3 кн. Кн. 2: Средства сопряжения. Контролирующие и информационно-управляющие системы: Учеб. для технических вузов/ В. Д. Вернер, Н. В. Воробьев, А. В. Горячев и др.: Под ред. Л. Н. Преснухина. - Мн.: Высш. шк., 1987.- 303 с.: ил.