



DonSTU
Computer
Department



ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

по курсу

"ТЕОРИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО КОДИРОВАНИЯ" Department



DonSTU
Computer
Department

Аннотация

Лабораторная работа №1

- ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОДЕРА И ДЕКОДЕРА КОДА С ЧЕТНЫМ ЧИСЛОМ ЕДИНИЦ НА БАЗЕ ACTIVE-HDL

Лабораторная работа №2

- ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОДЕРА И ДЕКОДЕРА ГРУППОВОГО КОДА НА БАЗЕ ACTIVE-HDL

Лабораторная работа №3

- ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОДЕРА И ДЕКОДЕРА КОДА ХЭММИНГА НА БАЗЕ ACTIVE-HDL

Лабораторная работа №4

- ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОДЕРА И ДЕКОДЕРА ЦИКЛИЧЕСКОГО КОДА ХЭММИНГА НА БАЗЕ ACTIVE-HDL

Лабораторная работа №5

- ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОДЕРА И ДЕКОДЕРА КОДА БЧХ С ИСПРАВЛЕНИЕМ ДВУКРАТНЫХ ОШИБОК НА БАЗЕ ACTIVE-HDL

Лабораторная работа №6

- ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОДЕРА И ДЕКОДЕРА КОДА ФАЙРА, ИСПРАВЛЯЮЩЕГО ПАКЕТ ОШИБОК, НА БАЗЕ ACTIVE-HDL

Лабораторная работа №7

- ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОДЕРА И ДЕКОДЕРА ЦИКЛИЧЕСКОГО КОДА, ИСПРАВЛЯЮЩЕГО ПАКЕТ ОШИБОК, ПОСТРОЕННОГО С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА ПЕРЕМЕЖЕНИЯ, НА БАЗЕ ACTIVE-HDL

Лабораторная работа №8

- ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОДЕРА И ДЕКОДЕРА КОДА ИВАДАРИ,

ИСПРАВЛЯЮЩЕГО ПАКЕТЫ ОШИБОК, НА БАЗЕ ACTIVE-HDL

Литература

Приложение 1 – Пример оформления титульного листа (укр)

Приложение 2 – Пример оформления титульного листа (рус)

Приложение 3 – Порядок защиты лабораторных работ (укр)

Приложение 4 – Порядок защиты лабораторных работ (рус)

TEL. (062) 3010-07-58

3010-08-90

FAX. (062) 335-45-89

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

83000, Донецк,

ул.Артема, 58,

корпус 4, ауд. 4.14

кафедра „Компьютерная инженерия”

Дяченко О.Н.

Web design by Dyachenko Oleg

Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу “Теория и проектирование помехоустойчивых кодов для защиты информации в КС” (для студентов специальности 7.091501)/ Сост.: О.Н.Дяченко - Донецк: ДонНТУ, 2008. – HTML-формат (на электронном носии № 428, прот. № 3 від 05.03.08)

Рассматриваются вопросы разработки группового кода, кода Хэмминга, циклического кода Хэмминга, кода БЧХ, кода Файра, кодов, построенных с помощью метода перемежения, кода Ивadari и проектирования кодеров и декодеров на основе применения САПР «Active-HDL». Приведены порядок и примеры выполнения лабораторных работ.

Составитель: О.Н.Дяченко

Рецензент: С.В.Теплинский

Лабораторная работа № 1

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОДЕРА И ДЕКОДЕРА КОДА С ЧЕТНЫМ ЧИСЛОМ ЕДИНИЦ НА БАЗЕ ACTIVE-HDL

Задание: на базе средств Active-HDL разработать модель кодера и декодера для кода с четным числом единиц, обнаруживающего ошибки нечетной кратности, и выполнить их моделирование.

Варианты задания:

k - количество информационных символов;

n - длина кода;

p - количество проверочных символов.

k=4, n=5

Порядок выполнения работы

1. Разработать логическую схему кодера и декодера кода с четным числом единиц, обнаруживающего ошибки нечетной кратности (k=4, n=5)..
2. В Схемном Редакторе Active-HDL выполнить чертеж принципиальной схемы кодера и декодера кода с четным числом единиц, обнаруживающего ошибки нечетной кратности (k=4, n=5)..
3. Проверить принципиальную схему на наличие синтаксических и схемотехнических ошибок. Исправить обнаруженные ошибки.
4. В редакторе Временных Диаграмм выполнить моделирование схемы, имитирующей кодер, двоичный канал, декодер. В двоичном канале предусмотреть возможность имитации ошибок. Исследовать обнаруживающую способность декодера.

Содержание отчета

1. Титульный лист.
2. Задание.
3. Исходные данные.
4. Принципиальные схемы кодера и декодера кода с четным числом единиц, обнаруживающего ошибки нечетной кратности (k=4, n=5) с возможностью имитации ошибок. (демонстрируются на ЭВМ).
5. Временные диаграммы моделирования кодера и декодера кода с четным числом единиц, обнаруживающего ошибки нечетной кратности (k=4, n=5). в Редакторе Временных Диаграмм (демонстрируются на ЭВМ).

Контрольные вопросы

1. На какие типы разделяют помехоустойчивые коды? В чем заключается отличие между ними?
2. Что понимается под значностью и весом кодовой комбинации?
3. Как определяется расстояние между кодовыми комбинациями?
4. Какова связь корректирующей способности кода с кодовым расстоянием?
5. Что такое двоичный симметричный канал?
6. Приведите классификацию помехоустойчивых кодов.

Контрольный пример

Задание: на базе средств Active-HDL разработать модель кодера и декодера для кода с четным числом единиц, обнаруживающего ошибки нечетной кратности, и выполнить их моделирование.

Исходные данные

Количество информационных символов $k=4$.

Длина кода $n=5$.

Количество проверочных символов $p=n-k=1$.

Упрощенная модель передачи информации

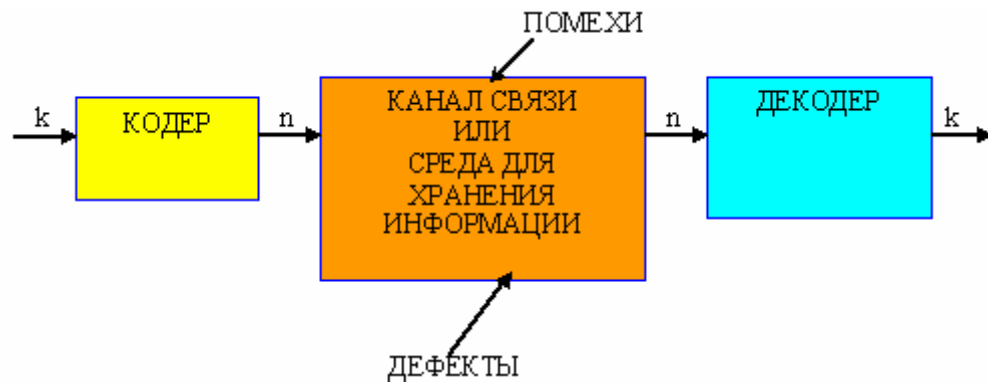


Рисунок 1.1 – Упрощенная модель передачи информации.

Код с четным числом единиц относится к блоковым кодам с обнаружением ошибок.

Код содержит лишь один избыточный символ. Выбирается избыточный символ таким образом, чтобы общее количество единиц в кодовой комбинации было четным. Проверка кодовой комбинации производится путем суммирования по модулю два всех ее символов. Позволяет обнаруживать все ошибки нечетной кратности.

Функциональная схема кодера и декодера

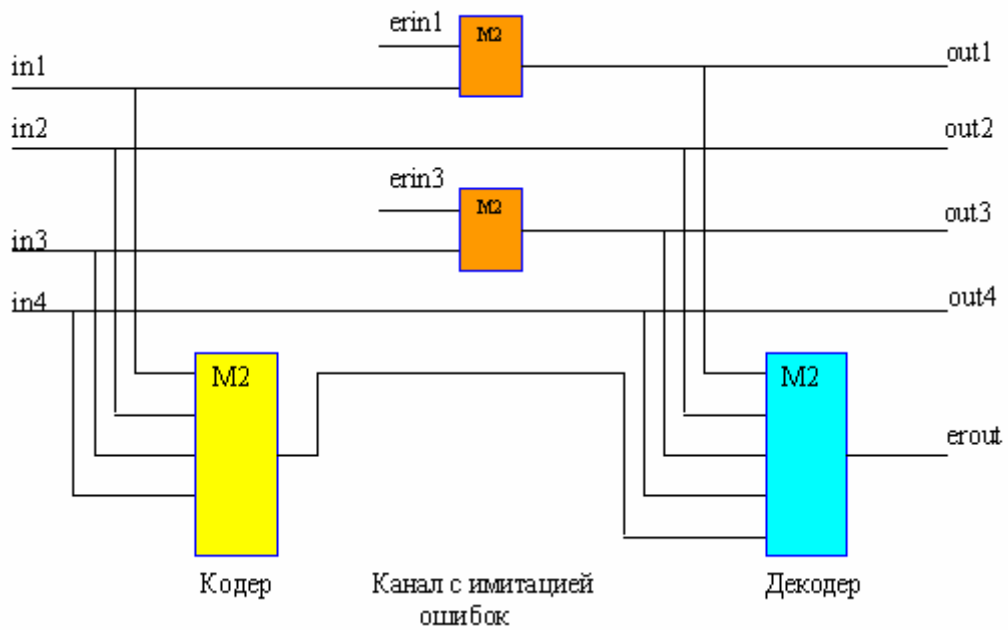


Рисунок 1.2 – Функциональная схема кодера и декодера кода с четным числом единиц.

in1-in4 – входные информационные символы;
out1-out4 - выходные информационные символы;
erin1, erin3 - входы задания ошибок в 1-м и 3-м символах кодового слова;
erout - выход ошибки.

Принципиальная схема кодера и декодера кода с четным числом единиц

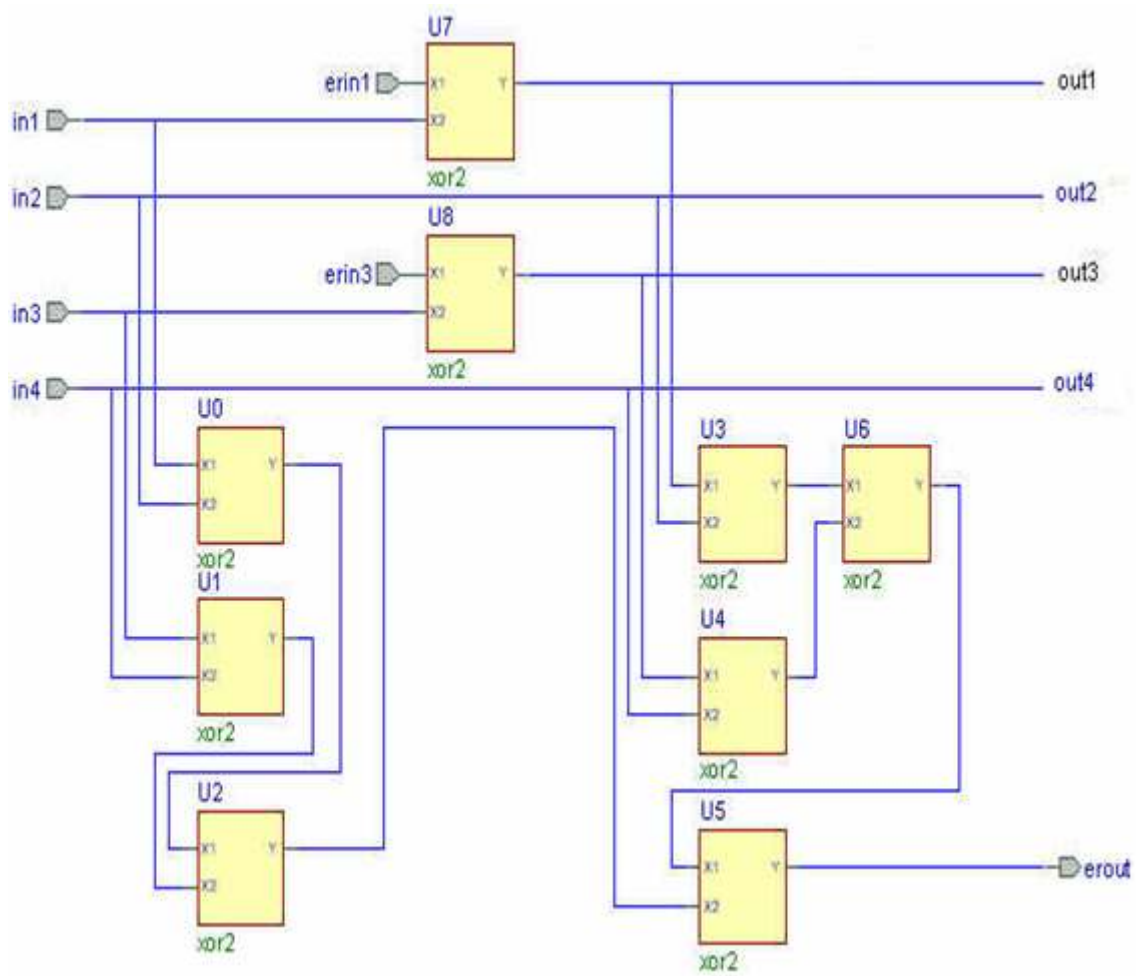


Рисунок 1.3 – Принципиальная схема кодера и декодера кода с четным числом единиц.

Моделирование кодера и декодера кода с четным числом единиц

Вариант 1

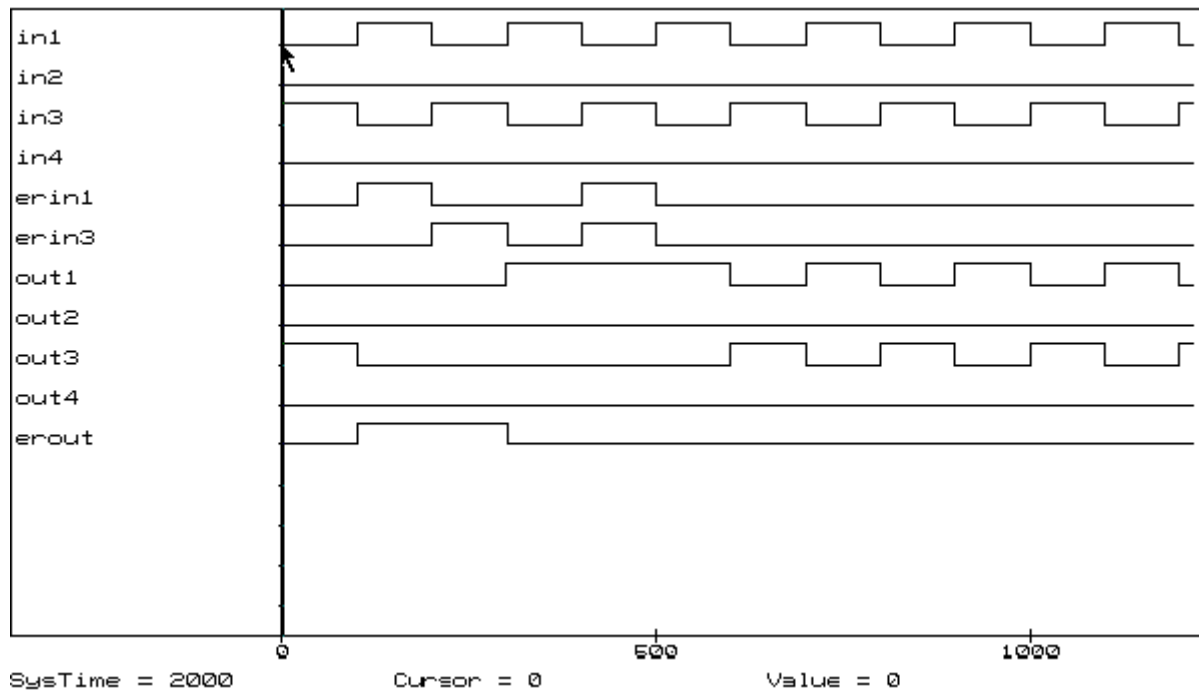


Рисунок 1.4 – Требования к временной диаграмме моделирования кодера и декодера кода с четным числом единиц (вариант 1).

Вариант 2

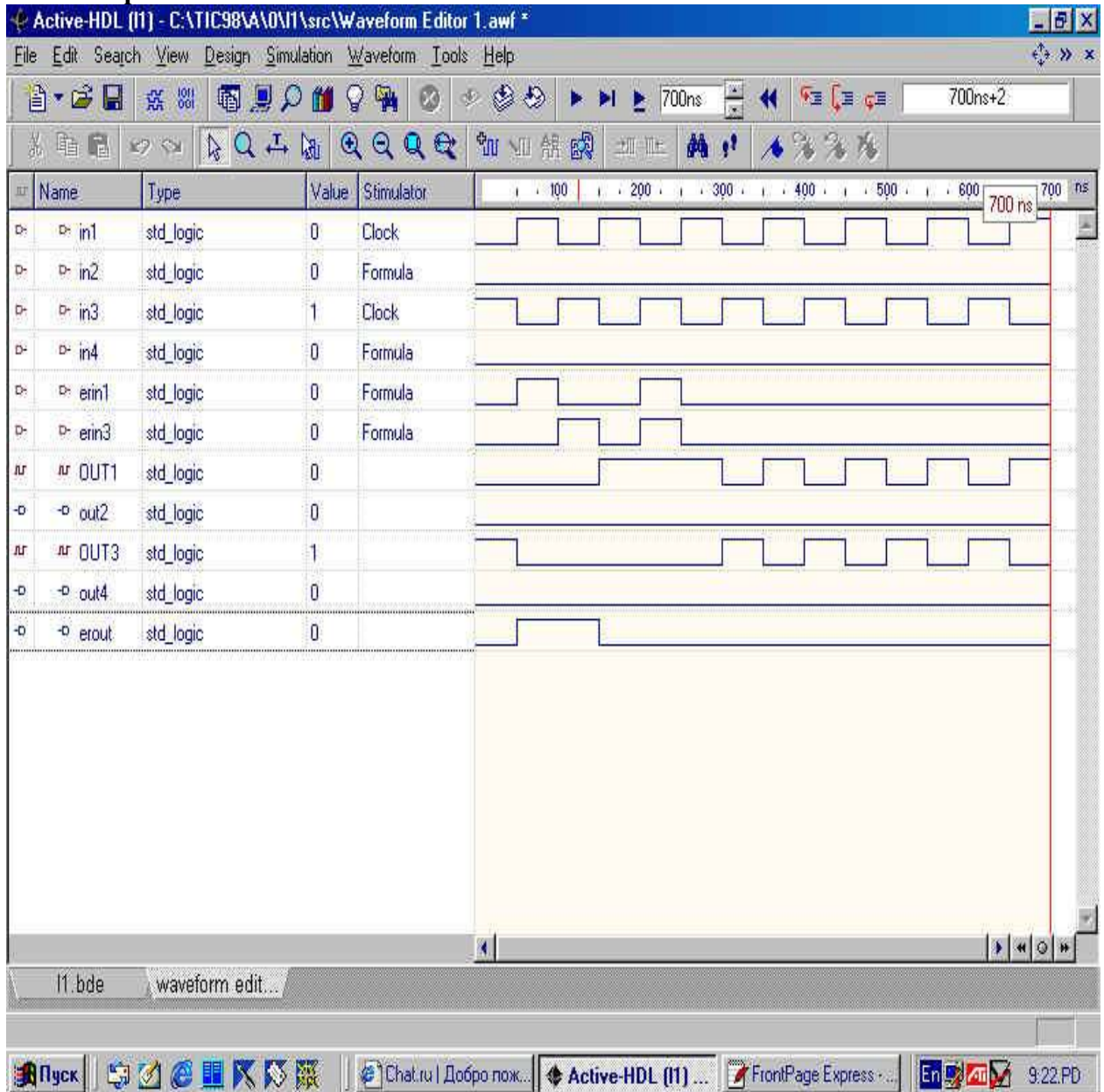


Рисунок 1.5 – Требования к временной диаграмме моделирования кодера и декодера кода с четным числом единиц (вариант 2).

Вариант 3

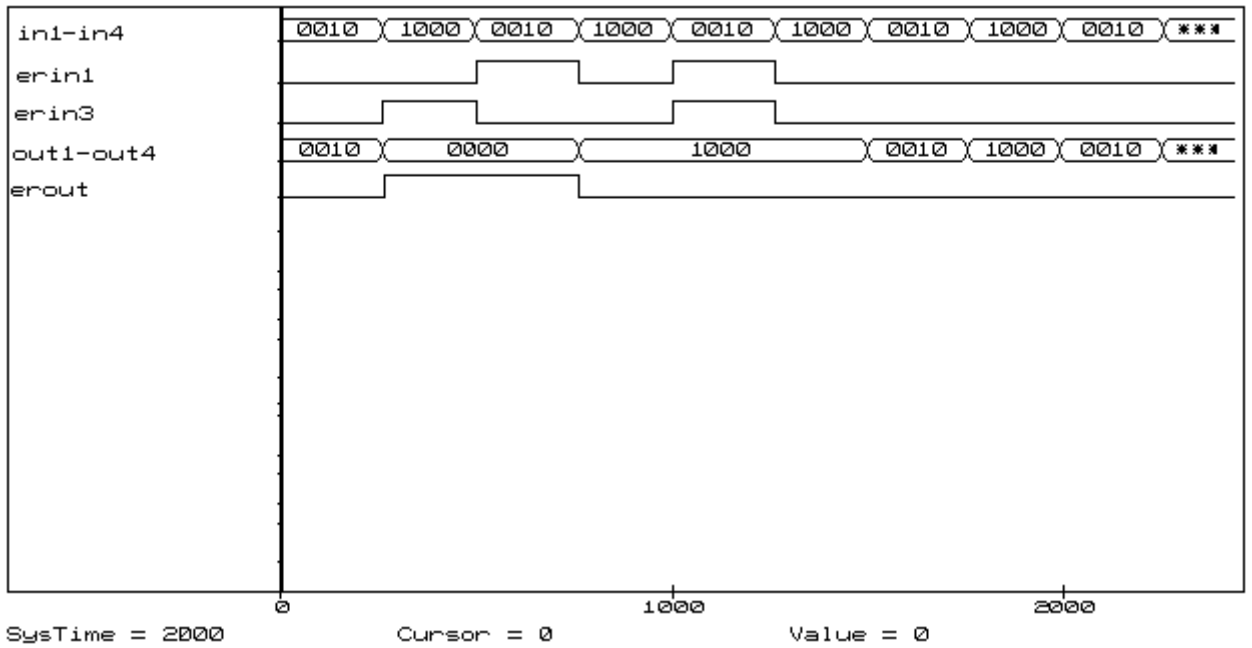


Рисунок 1.6 – Требования к временной диаграмме моделирования кодера и декодера кода с четным числом единиц (вариант 3).

Лабораторная работа № 2

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОДЕРА И ДЕКОДЕРА ГРУППОВОГО КОДА НА БАЗЕ ACTIVE-HDL

Задание: на базе средств Active-HDL разработать модель кодера и декодера для группового кода, исправляющего одиночную ошибку, и выполнить их моделирование.

Варианты задания:

- 1. Количество k информационных разрядов: $k = [(N+5) / 2]$, где квадратные скобки означают округление до ближайшего большего целого, N - номер по журналу.
- 2. Вариант А - групповой код оптимальный с точки зрения минимума корректирующих разрядов (N - нечетное). Вариант В - групповой код оптимальный с точки зрения минимума аппаратных затрат реализации кодера и декодера (N - четное).

Порядок выполнения работы

- 1. Определить минимальное количество контрольных разрядов. Построить производящую матрицу группового кода по варианту А или В.
- 2. Построить проверочную матрицу группового кода. Определить равенства для проверочных разрядов и равенства для определения разрядов синдрома.
- 3. Синтезировать кодер и декодер. Для исправления одиночной ошибки в декодере синтезировать дешифратор.
- 4. Разработать функциональные и принципиальные схемы кодера и декодера.
- 5. Составить и отладить программную модель.
- 6. Выполнить моделирование на ЭВМ схемы, имитирующей кодер, двоичный канал, декодер. В двоичном канале предусмотреть возможность имитации ошибок. Исследовать корректирующую способность декодера

Содержание отчета

- 1. Титульный лист.
- 2. Задание.
- 3. Исходные данные.
- 4. Производящая матрица группового кода.
- 5. Проверочная матрица группового кода.
- 6. Синтез декодера.
- 7. Функциональная схема кодера и декодера.
- 8. Принципиальные схемы кодера и декодера группового кода с возможностью имитации ошибок (демонстрируются на ЭВМ).
- 9. Временные диаграммы моделирования кодера и декодера группового кода в Редакторе Временных Диаграмм (демонстрируются на ЭВМ).

Контрольные вопросы

- 1. В чем заключается отличие между блоковыми и непрерывными кодами?
- 2. Что понимается под значностью и весом кодовой комбинации?
- 3. Как определяется расстояние между кодовыми комбинациями?
- 4. Какая связь корректирующей способности с кодовым расстоянием?
- 5. Как строится производящая матрица группового кода?
- 6. Какие условия построения проверочной подматрицы?
- 7. Какой алгоритм определения проверочных символов по информационным с помощью проверочной матрицы?
- 8. Как определяется состав контрольных равенств с помощью проверочной матрицы?

Контрольный пример (N=35)

Задание: на базе средств Active-HDL разработать модель кодера и декодера для группового кода, исправляющего одиночную ошибку, и выполнить их моделирование.

Исходные данные

Количество информационных символов кода: $k = [(N+5)/2] = 20$.
Вариант В – минимальные аппаратные затраты кодера и декодера.

Построение кода

- Определение минимального количества контрольных разрядов.

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

Для кода с минимальными аппаратными затратами кодера и декодера каждая строка проверочной подматрицы должна содержать 2 единицы (для кода, исправляющего одиночную ошибку), причем все строки должны быть разными.

Если выбрать $p=5$, получим 10 строк проверочной подматрицы с весом 2 и 10 строк с весом 3.

Если выбрать $p=7$, получим 20 строк с весом 2, т.е. $20 \cdot 2 = 40$ единиц в проверочной подматрице.

- Построение производящей матрицы $P_{(27,20)}$

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

- Построение проверочной матрицы

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

- Определение равенств для проверочных разрядов:

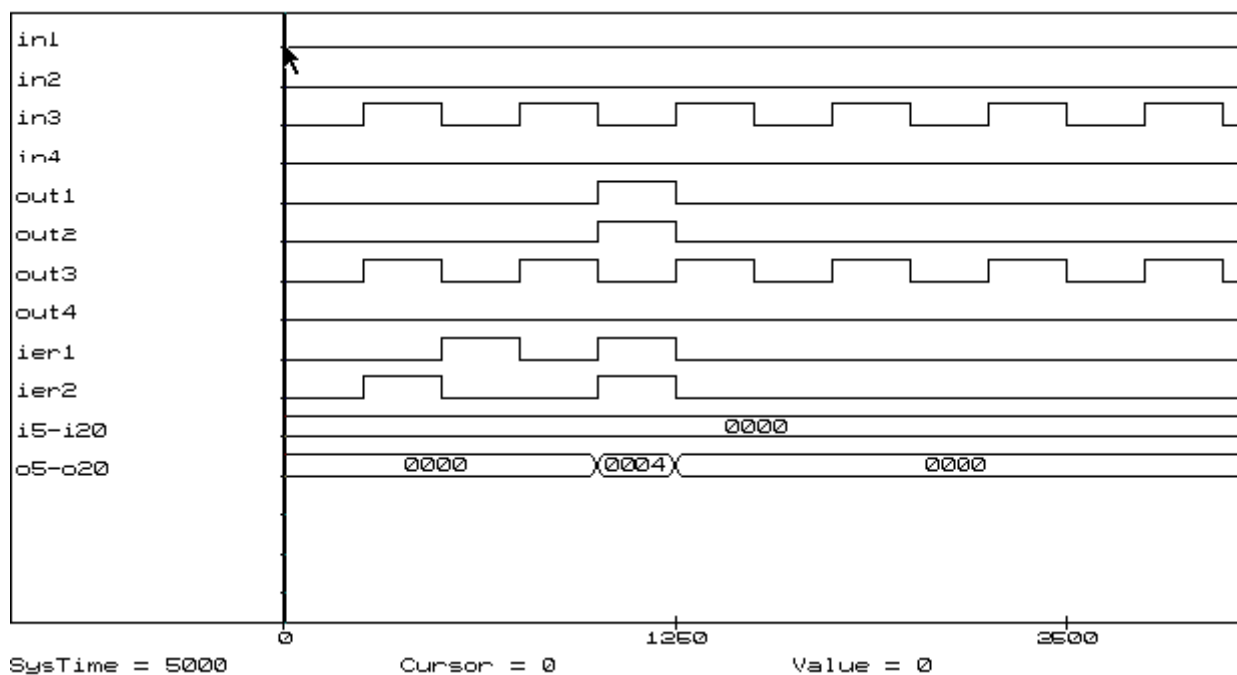
$$\begin{aligned} b_1 &= a_6 + a_{11} + a_{15} + a_{18} + a_{20} \\ b_2 &= a_5 + a_{10} + a_{14} + a_{17} + a_{19} \\ b_3 &= a_4 + a_9 + a_{13} + a_{16} + a_{19} + a_{20} \\ b_4 &= a_3 + a_8 + a_{12} + a_{16} + a_{17} + a_{18} \\ b_5 &= a_2 + a_7 + a_{12} + a_{13} + a_{14} + a_{15} \\ b_6 &= a_1 + a_7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

- Определение равенств для разрядов синдрома:

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

Принципиальная схема кодера и декодера В формате PDF

Моделирование кодера и декодера



Обозначение сигналов

in1, in2, in3, in4, i5-i20 – входы кодера (информационные символы);

out1, out2, out3, out4, o5-o20 – выходы декодера;

ier1, ier2 – входы имитации ошибок (имитируются 4 ситуации: без ошибок, два варианта одиночных исправляемых ошибок, двойная ошибка).

Лабораторная работа № 3

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОДЕРА И ДЕКОДЕРА КОДА ХЭММИНГА НА БАЗЕ ACTIVE-HDL

Задание: на базе средств Active-HDL разработать модель кодера и декодера для кодов Хэмминга, исправляющих одиночную ошибку и исправляющих одиночную и обнаруживающих двукратные ошибки, и выполнить их моделирование.

Варианты задания:

- 1. Длина кодового слова n кода Хэмминга

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

где N - номер по журналу.

- 2. Вариант А - код Хэмминга с исправлением одиночной ошибки и обнаружением двукратной (N - четное). Вариант В - код Хэмминга с исправлением одиночной ошибки (N - нечетное).

Порядок выполнения работы

- 1. Определить минимальное количество контрольных разрядов.
- 2. Построить проверочную матрицу кода Хэмминга по варианту А или В. Определить равенства для проверочных разрядов и равенства для определения разрядов синдрома.
- 3. Синтезировать кодер и декодер. Для исправления одиночной ошибки в декодере использовать стандартный дешифратор.
- 4. Разработать функциональные и принципиальные схемы кодера и декодера.
- 5. Составить и отладить программную модель.
- 6. Выполнить моделирование на ЭВМ схемы, имитирующей кодер, двоичный канал, декодер. В двоичном канале предусмотреть возможность имитации ошибок. Исследовать корректирующую способность декодера

Содержание отчета

- 1. Титульный лист.
- 2. Задание.
- 3. Исходные данные.
- 4. Проверочная матрица кода Хэмминга.
- 5. Функциональная схема кодера и декодера.
- 6. Принципиальные схемы кодера и декодера группового кода с возможностью имитации ошибок (демонстрируются на ЭВМ).
- 7. Временные диаграммы моделирования кодера и декодера группового кода в Редакторе Временных Диаграмм (демонстрируются на ЭВМ).

Контрольные вопросы

- 1. Что обусловило широкое распространение двоичных кодов?
- 2. Какой принцип построения кодов Хэмминга?
- 3. Каким образом составляются проверочные равенства кода Хэмминга?
- 4. Как строится проверочная матрица для кода Хэмминга с исправлением одиночной ошибки?
- 5. Как строится проверочная матрица для кода Хэмминга с исправлением одиночной и обнаружением двукратной ошибок?
- 6. Как определяется коэффициент избыточности кода?
- 7. Как определяются номера позиций контрольных разрядов в коде Хэмминга?
- 8. Какие существуют разновидности кодов Хэмминга? В чем их отличие?

Контрольный пример (N=5)

Задание: на базе средств Active-HDL разработать модель кодера и декодера для кодов Хэмминга, исправляющих одиночную ошибку и исправляющих одиночную и обнаруживающих двукратные ошибки, и выполнить их моделирование.

Исходные данные

Длина кода: $n = [(35-N)/2] = 20$.

Вариант В – код Хэмминга, исправляющий одиночную ошибку ($d_{\min}=3$).

Построение кода

- Определение минимального количества контрольных символов.

Длина кода $n = 20$.

Минимальное количество контрольных символов $p = \lceil \log_2(n+1) \rceil = 5$.

Количество информационных символов $k = n-p = 20-5 = 15$.

- Построение проверочной матрицы

Контрольные разряды : $b_1, b_2, b_4, b_8, b_{16}$. Позиции проверочных разрядов: 1-я, 2-я, 4-я, 8-я, 16-я.

Проверочная матрица:

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

- Определение равенств для проверочных разрядов:

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

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

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

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

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

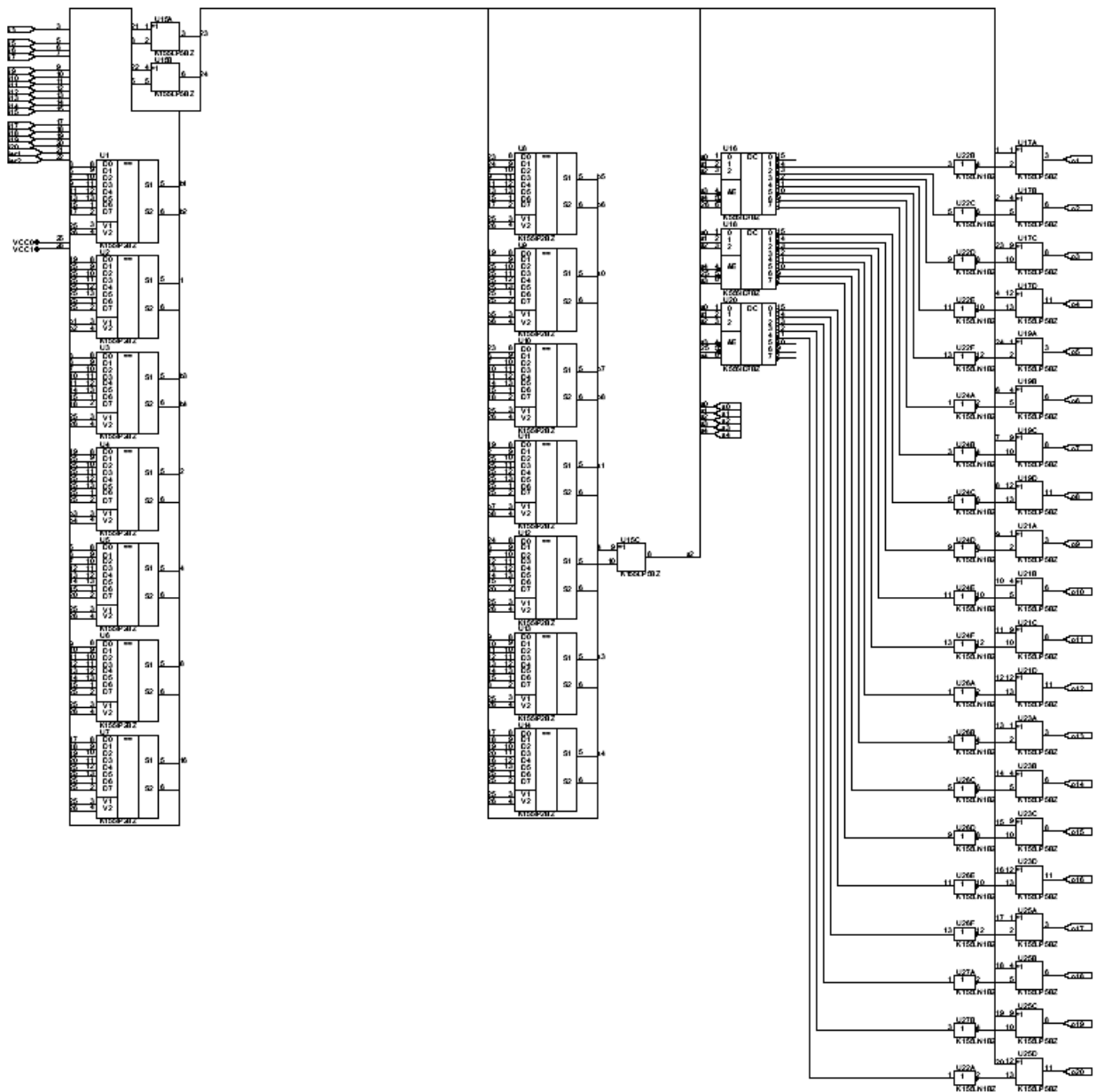
- Определение равенств для разрядов синдрома:

$$\begin{aligned}
 s_0 &= b_1 + a_3 + a_5 + a_7 + a_9 + a_{11} + a_{13} + a_{15} + a_{17} + a_{19}; \\
 s_1 &= b_2 + a_3 + a_6 + a_7 + a_{10} + a_{11} + a_{14} + a_{15} + a_{18} + a_{19}; \\
 s_2 &= b_4 + a_5 + a_6 + a_7 + a_{12} + a_{13} + a_{14} + a_{15} + a_{20}; \\
 s_3 &= b_8 + a_9 + a_{10} + a_{11} + a_{12} + a_{13} + a_{14} + a_{15}; \\
 s_4 &= b_{16} + a_{17} + a_{18} + a_{19} + a_{20}.
 \end{aligned}$$

Принципиальная схема кодера и декодера В формате PDF

Схема кодера, имитации ошибок и декодера (общий вид).

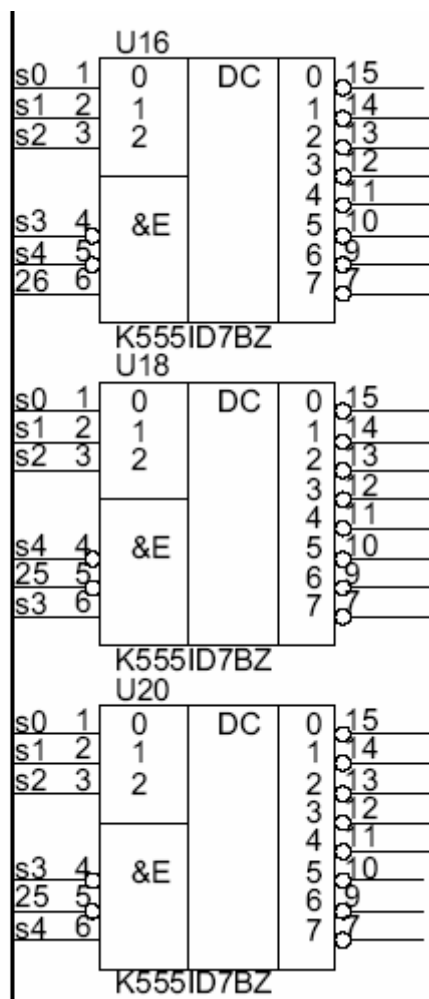
Имитация
ошибок



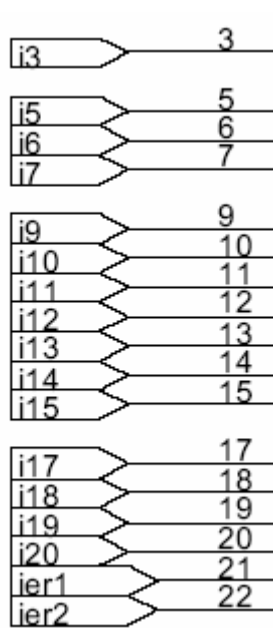
Кодер
Формирование b

Декодер
Формирование S Дешифратор и схема исправления

Дешифратор декодера кода Хэмминга (25 –логический 0, 26 –логическая 1).

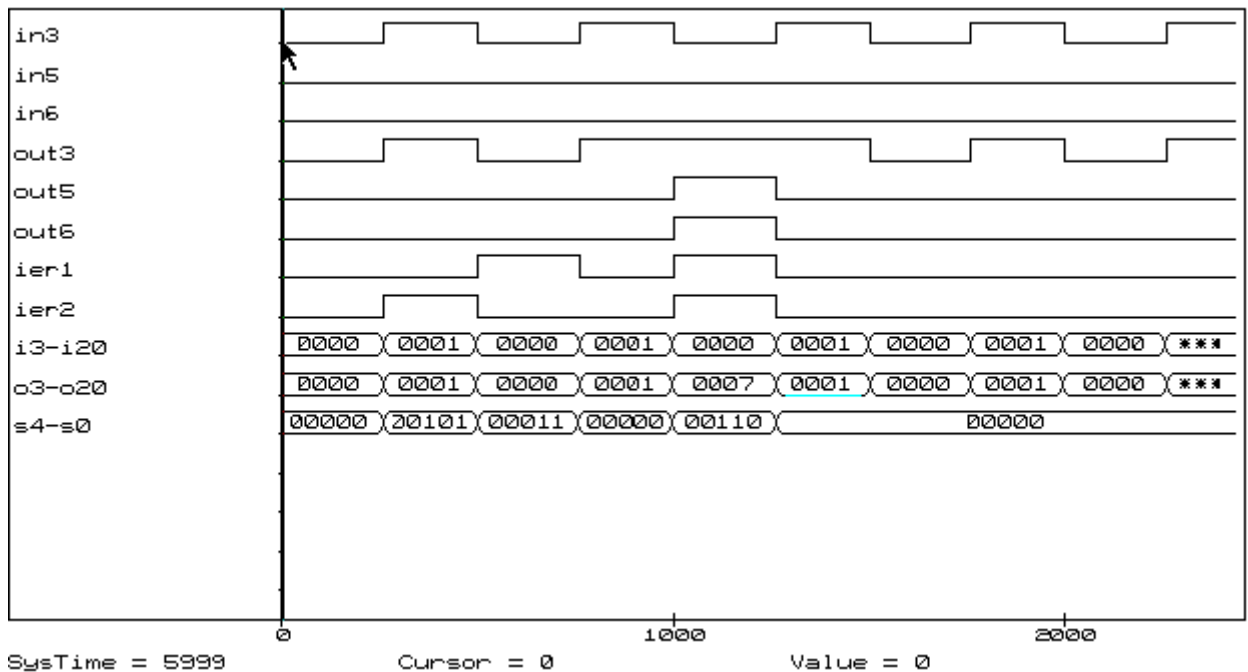


Входы кодера кода Хэмминга.



Моделирование кодера и декодера кода Хэмминга

Требования к временной диаграмме моделирования кодера и декодера



Обозначение сигналов

in3, in5, in6, i3-i20 – входы кодера (информационные символы);

out3, out5, out6, o3-o20 – выходы декодера;

ier1, ier2 – входы имитации ошибок (имитируются 4 ситуации: без ошибок, два варианта одиночных исправляемых ошибок, двойная ошибка):

s4-s0 – разряды синдрома.

Лабораторная работа № 4

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОДЕРА И ДЕКОДЕРА КОДА ХЭММИНГА НА БАЗЕ ACTIVE-HDL

Задание: на базе средств Active-HDL разработать модель кодера и декодера для циклических кодов Хэмминга, исправляющих одиночную ошибку, и выполнить их моделирование.

Варианты задания:

1. Количество k информационных разрядов кода Хэмминга

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

где N - номер по журналу.

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

Для вариантов А и В выбирается образующий полином $K(X)$ из таблицы; для вариантов С и D - полином $K'(X)$, двойственный полиному $K(X)$ из таблицы.

Для вариантов А и С - систематический код; для вариантов В и D - несистематический код.

Таблица 1 - Прimitives полиномы

Степень полинома	Полином в 8-ричной с/с
2	7
3	13
4	23
5	45
6	103

Пример определения полинома для 6-й степени:

полином в 8-ричной с/с: 103 ;

полином в 2-ичной с/с: 001 000 011 ;

полиномиальная форма представления: $X^6 + X + 1$.

Порядок выполнения работы

- 1. Определить минимальное количество контрольных разрядов. Выбрать образующий полином из таблицы.
- 2. В соответствии с заданным вариантом построить образующую матрицу циклического кода.
- 3. Синтезировать кодер и декодер на основе линейных переключательных схем.
- 4. Разработать функциональные и принципиальные схемы кодера и декодера.
- 5. Составить и отладить программную модель.
- 6. Выполнить моделирование на ЭВМ схемы, имитирующей кодер, двоичный канал, декодер. В двоичном канале предусмотреть возможность имитации ошибок. Исследовать корректирующие способности декодера.

Содержание отчета

- 1. Титульный лист.
- 2. Задание.
- 3. Исходные данные.
- 4. Определение минимального количества контрольных разрядов.
- 5. Выбор образующего полинома.
- 6. Образующая матрица циклического кода.
- 7. Функциональная схема кодера и декодера.
- 8. Принципиальные схемы кодера и декодера циклического кода с возможностью имитации ошибок (демонстрируются на ЭВМ).
- 9. Временные диаграммы моделирования кодера и декодера циклического кода в Редакторе Временных Диаграмм (демонстрируются на ЭВМ).

Контрольные вопросы

- 1. Чем обусловлено название циклических кодов?
- 2. Какие известны способы построения циклических кодов?
- 3. Каким образом выбирается образующий полином циклического кода?
- 4. Как строится проверочная матрица для циклического кода с исправлением одиночной ошибок?
- 5. Какова процедура обнаружения и исправления ошибки в циклических кодах с $d_{\min}=3$?
- 6. Что такое "декодер Меггитта"?
- 7. Что такое "укороченный циклический код"?
- 8. Как реализуется операция деления на полином с помощью линейной переключательной схемы?
- 9. Как выполняется умножение полиномов с помощью линейной переключательной схемы?
- 10. Как определить полином, двойственный заданному?
- 11. Что такое неприводимый полином?

Контрольный пример (N=35)

Задание: на базе средств Active-HDL разработать модель кодера и декодера для циклических кодов Хэмминга, исправляющих одиночную ошибку, и выполнить их моделирование.

Исходные данные

Количество информационных символов $k = \lfloor (N+1)/4 \rfloor = 9$.
Вариант С – систематический циклический код Хэмминга;
образующий полином - $K'(X)$, двойственный табличному $K(X)$.

Построение кода

- 1. Определение минимального количества контрольных разрядов:
 $p = \lceil \log_2\{(k+1)\} + \lceil \log_2(k+1) \rceil \rceil = 4$
(в этом случае квадратные скобки означают округление до ближайшего большего целого).
 $n = k + p = 9+4 = 13$.
- 2. Выбор образующего полинома. В таблице неприводимых полиномов примитивный полином степени четыре ($p=4$, следовательно, $\deg K(X)=4$) представлен в виде восьмеричной записи ненулевых коэффициентов и равен 23, т.е. 10011, или в полиномиальной форме записи $K(X) = X^4 + X + 1$. ($23_8 = 010\ 011_2 = 0*X^5 + 1*X^4 + 0*X^3 + 0*X^2 + 1*X^1 + 1*X^0 = X^4+X+1$).
- Для варианта С образующий полином $K'(X)$, двойственный полиному $K(X)$.
 $K'(X) = X^{\deg K(X)} * K(X^{-1}) = X^4 * (X^{-4} + X^{-1} + 1) = X^4 (X^{-4} + X^{-1} + 1) = X^4 + X^3 + 1$.
- 3. Построение образующей матрицы $P_{(n,k)} = I N_p$, где I – единичная матрица (информационная подматрица), N_p – проверочная подматрица.
Информационная подматрица (размер $k \times k$)

$$U_k = \begin{array}{c|cccc} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{array}$$

- Проверочная подматрица N_p состоит из остатков деления информационной строки, дополненной p нулями, на образующий полином.

Остаток для первой строки

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

Остаток для второй строки

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

После аналогичных вычислений получаем образующую матрицу:

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

Декодер

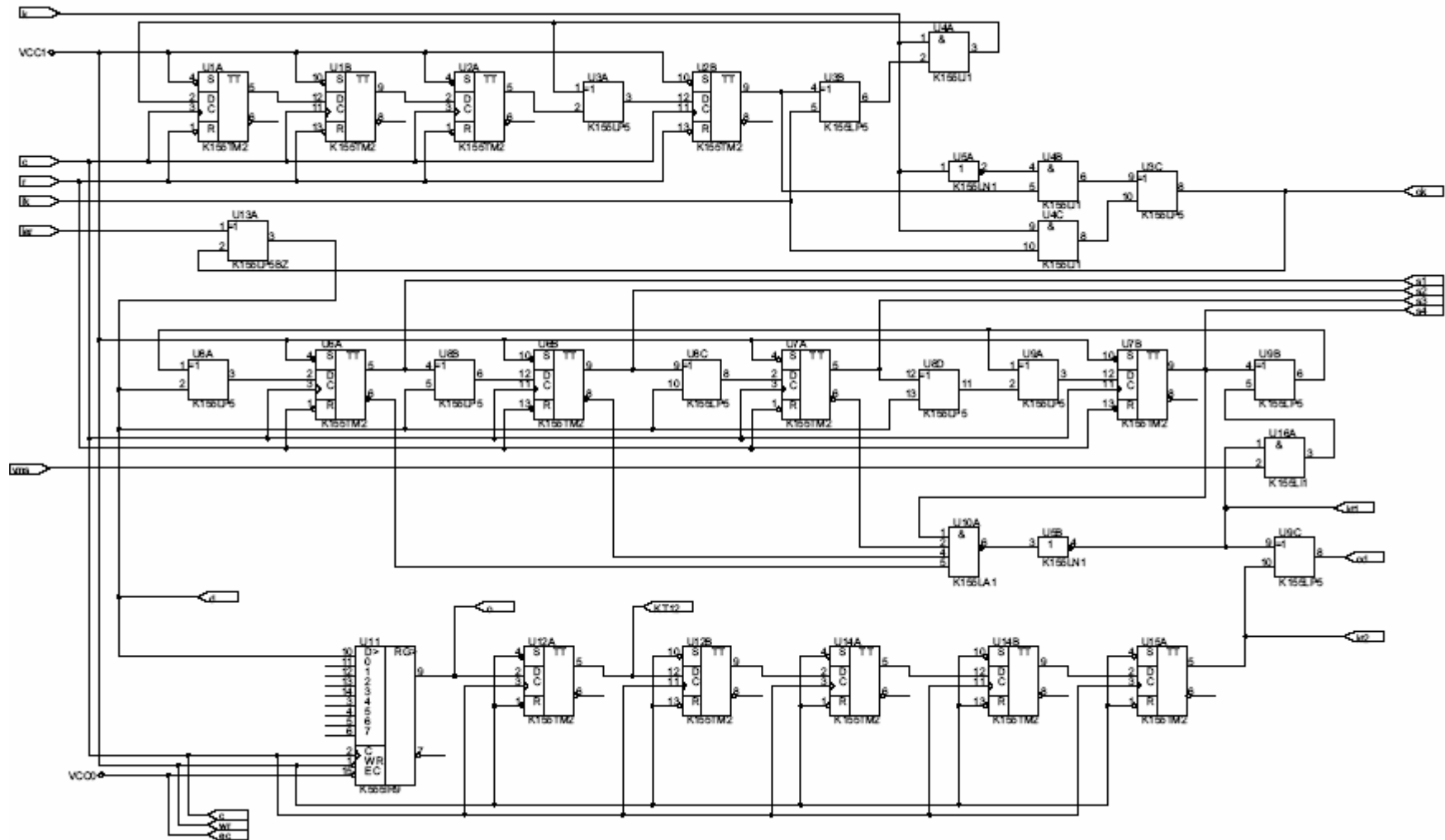
- Поскольку код (13, 9) является укороченным $(n-i, k-i)$ циклическим кодом, необходимо найти остаток от деления $X^{(n-k+i)}$ на образующий полином. Параметр укорачивания $i=2$, т.к. код (13, 9) получается путем укорачивания кода (15, 11) (параметры неукороченного кода Хэмминга $(2^p-1, 2^p-1-p)$); $n-k=p=4$, $n-k+i=4+2=6$.
- Определение остатка от деления $X^{n-k+i} = X^6$ на образующий полином:

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

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

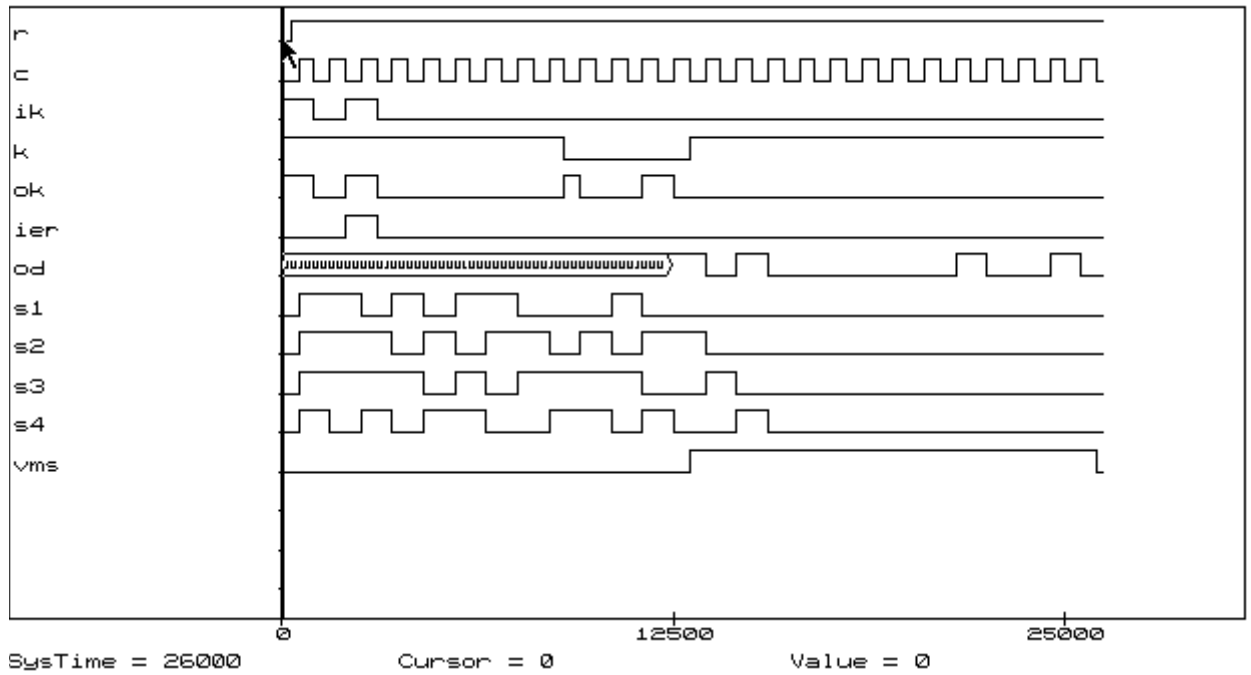
Принципиальная схема кодера и декодера

- 1) **В формате PDF**
- 2) **Кодер, имитация ошибок и декодер**

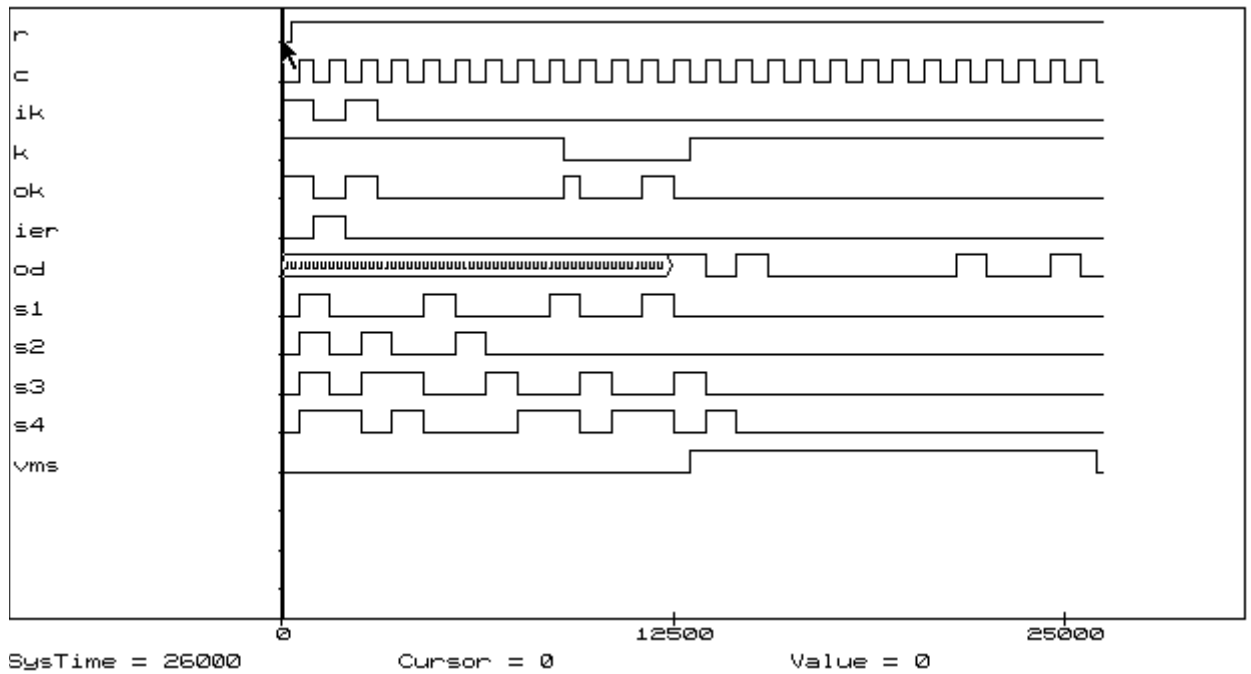


Моделирование кодера и декодера

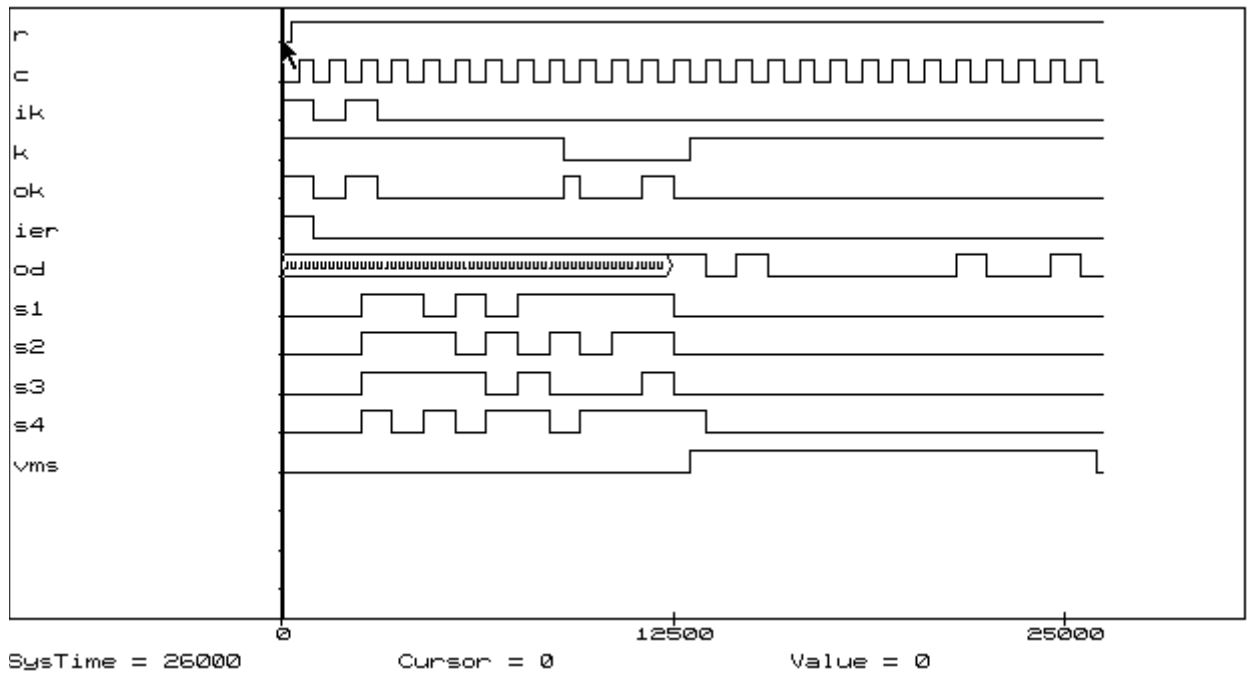
Имитация ошибки в 3-м информационном символе



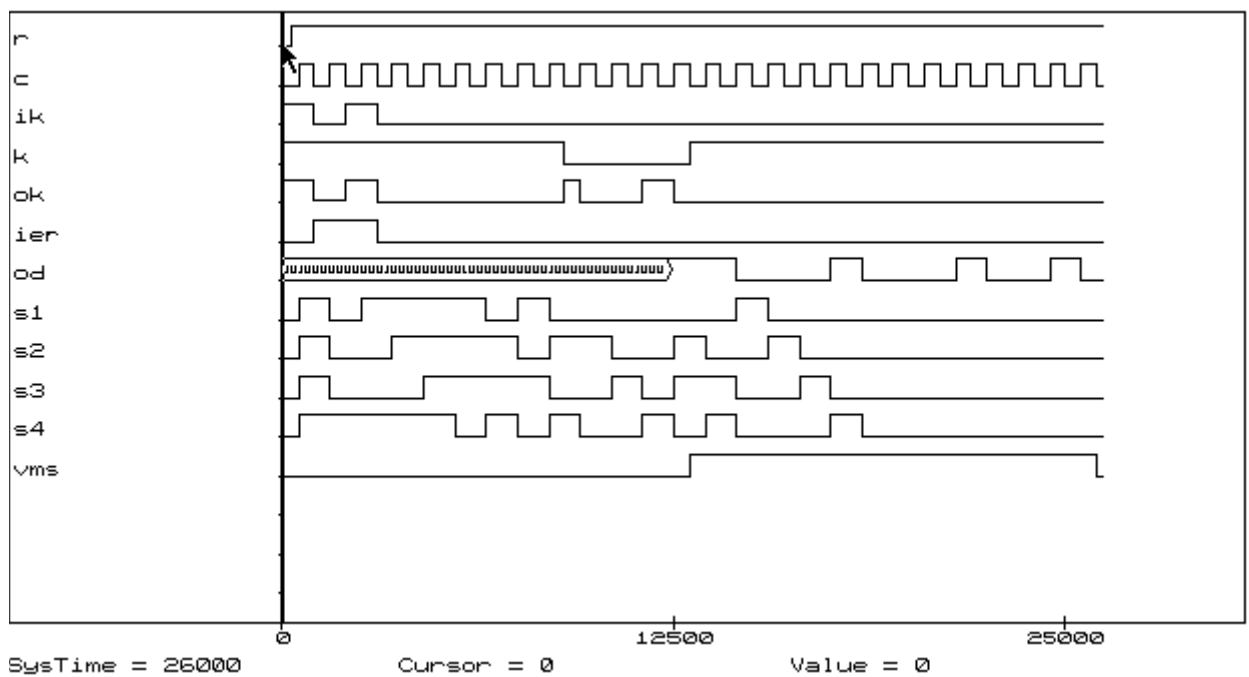
Имитация ошибки во 2-м информационном символе



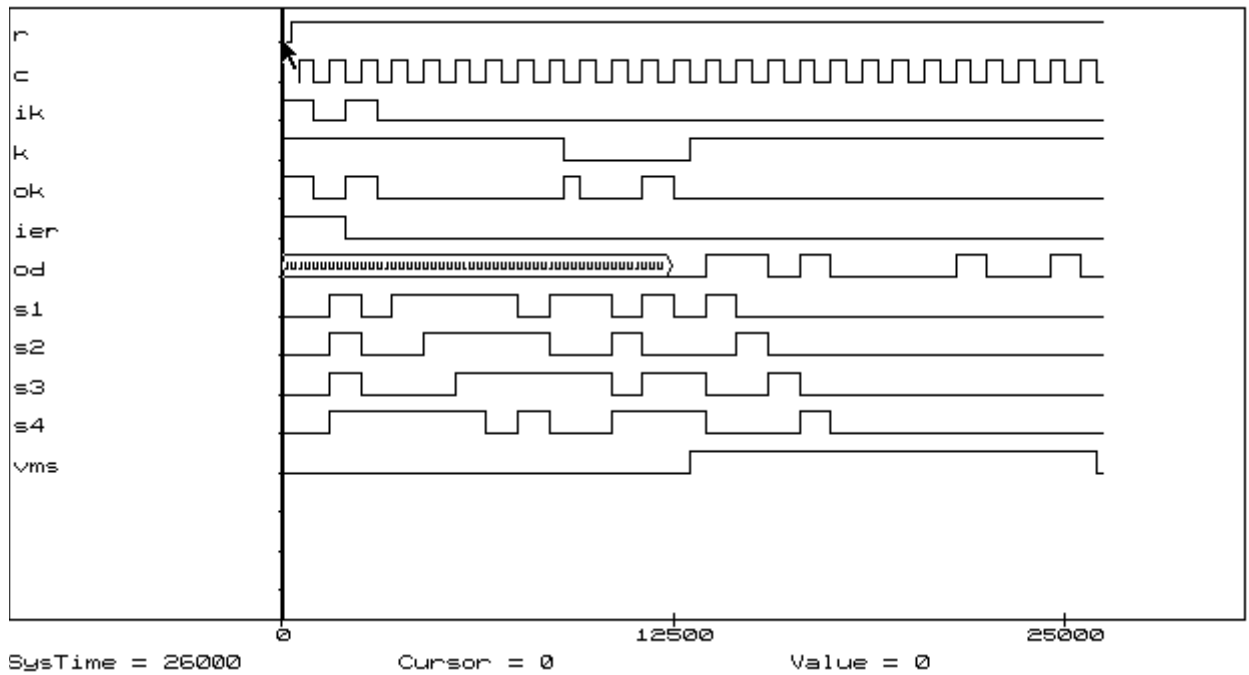
Имитация ошибки в 1-м информационном символе



Имитация двух ошибок во 2-м и 3-м информационных символах



Имитация двух ошибок в 1-м и 2-м информационных символах



Обозначение сигналов

- r – (reset) сигнал сброса;
- c – (clock) синхросигналы;
- ik – вход кодера;
- k – управление ключом;
- ok – выход кодера;
- ier – (input error) вход имитации ошибок;
- od – выход декодера;
- s1 – s4 – разряды синдрома;
- vms – сигнал разрешения модификации синдрома.

Лабораторная работа № 5

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОДЕРА И ДЕКОДЕРА КОДА БЧХ С ИСПРАВЛЕНИЕМ ДВУКРАТНЫХ ОШИБОК НА БАЗЕ ACTIVE-HDL

Задание: на базе средств Active-HDL разработать модель кодера и декодера для кодов БЧХ с исправлением двукратных ошибок, и выполнить их моделирование.

Варианты задания:

$$1. \quad N \bmod 4 = \begin{cases} 0 - \text{вариант А, } M_1(X), M_2(X); \\ 1 - \text{вариант В, } M_1'(X), M_2(X); \\ 2 - \text{вариант С, } M_1(X), M_2'(X); \\ 3 - \text{вариант D, } M_1'(X), M_2'(X). \end{cases}$$

- Минимальные образующие полиномы $M_1(X)=X^4 + X + 1$, $M_2(X)=X^4 + X^3 + X^2 + X + 1$
- Полиномы $M_1'(X)$, $M_2'(X)$ - минимальные полиномы, двойственные полиномам $M_1(X)$ и $M_2(X)$.

2. Полином ошибки $E(X)$:

$$E(X) = X^{14} + X^{(N \bmod 15)}$$

для всех N , для которых $N \bmod 15$ не равно 14. В случае $N \bmod 15 = 14$ $E(X) = X^{14}$.
где N - номер по журналу.

Порядок выполнения работы

- 1. В соответствии с вариантом определить образующий полином (15, 7)- кода БЧХ, исправляющего двукратные ошибки.
- 2. Построить образующую матрицу систематического (15, 7)-кода БЧХ.
- 3. Синтезировать кодер и декодер.
- 4. Разработать функциональные и принципиальные схемы кодера и декодера.
- 5. Составить и отладить программную модель.
- 6. Выполнить моделирование на ЭВМ схемы, имитирующей кодер, двоичный канал, декодер. В двоичном канале предусмотреть возможность имитации ошибок в кодовой комбинации с заданным по варианту полиномом ошибки $E(X)$. Исследовать корректирующую способность декодера.

Содержание отчета

- 1. Титульный лист.
- 2. Задание.
- 3. Исходные данные.
- 4. Определение образующего полинома.
- 5. Образующая матрица кода БЧХ.
- 6. Функциональная схема кодера и декодера.
- 7. Принципиальные схемы кодера и декодера (15, 7)- кода БЧХ с возможностью имитации ошибок (демонстрируются на ЭВМ).

- 8. Временные диаграммы моделирования кодера и декодера (15, 7)- кода БЧХ в Редакторе Временных Диаграмм (демонстрируются на ЭВМ).

Контрольные вопросы

- 1. Чем отличается построение кодов БЧХ от построения циклических кодов с $d=3$?
- 2. Как определяется образующий полином кода БЧХ?
- 3. Как строится образующая матрица кода БЧХ?
- 4. Что такое “полином ошибки”?
- 5. Какие разновидности декодеров Меггитта известны для кодов БЧХ?
- 6. Как построить код БЧХ для $n=15$, исправляющий 3, 4, 5, 6, 7 ошибок?
- 7. Каким образом производится кодирование кодов БЧХ?
- 8. Как определяется степень образующего полинома кода БЧХ?

Контрольный пример (N=35)

Задание: на базе средств Active-HDL разработать модель кодера и декодера для кодов БЧХ с исправлением двукратных ошибок, и выполнить их моделирование..

Исходные данные

$N=35$

$N \bmod 4 = 35 \bmod 4 = 3$

Вариант С.

Минимальные образующие полиномы $M_1(X)=X^4 + X + 1$, $M_2(X)=X^4 + X^3 + X^2 + X + 1$

Полином ошибки $E(X)=X^{14}+X^5$.

Систематический код.

Построение кода

- Определение образующего полинома (15, 7) - кода БЧХ. $M(X) = \text{НОК}(M_1(X), M_2(X)) = (X^4 + X^3 + 1)(X^4 + X^3 + X^2 + X + 1) = X^8 + X^7 + X^6 + X^5 + X^4 + X^7 + X^6 + X^5 + X^4 + X^3 + X^4 + X^3 + X^2 + X + 1 = X^8 + X^4 + X^2 + X + 1$.
- Образующая матрица (15, 7) - кода БЧХ.

$$P = \begin{vmatrix} 100 & 000 & 0 & 100 & 010 & 11 \\ 010 & 000 & 0 & 110 & 011 & 10 \\ 001 & 000 & 0 & 011 & 001 & 11 \\ 000 & 100 & 0 & 101 & 110 & 00 \\ 000 & 010 & 0 & 010 & 111 & 00 \\ 000 & 001 & 0 & 001 & 011 & 10 \\ 000 & 000 & 1 & 000 & 101 & 11 \end{vmatrix}$$

- Проверочная подматрица: строится систематический код, поэтому необходимо найти остатки от деления информационной строки дополненной p нулями, на образующий полином.

Остаток для первой строки

$$\begin{array}{r}
 100\ 000\ 000\ 0\ 000\ 00 \\
 \underline{100\ 010\ 111} \\
 10\ 111\ 0\ 000 \\
 \underline{10\ 001\ 0\ 111} \\
 110\ 0\ 111\ 00 \\
 \underline{100\ 0\ 101\ 11} \\
 10\ 0\ 010\ 11
 \end{array}$$

- Остаток для второй строки - 110 011 10
- Остаток для третьей строки- 011 001 11
- Проверочная матрица (15, 7) - кода БЧХ.

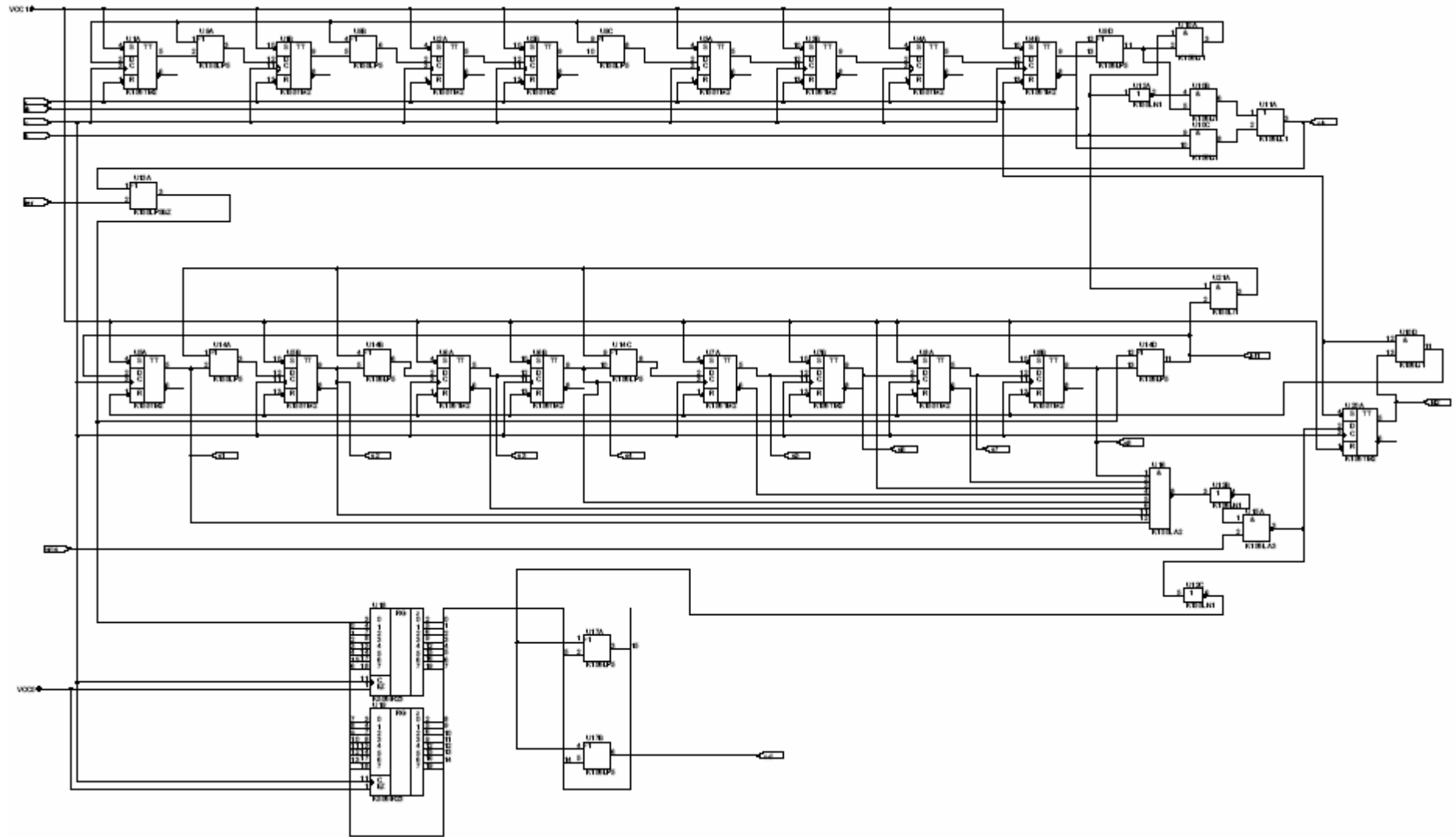
$$H = \begin{array}{c}
 \begin{array}{cccccccc}
 a_1 & a_2 & a_3 & a_4 & a_5 & a_6 & a_7 & b_1 & b_2 & b_3 & b_4 & b_5 & b_6 & b_7 & b_8
 \end{array} \\
 \begin{array}{cccccccccccccccc}
 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\
 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\
 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1
 \end{array}
 \end{array}$$

- Синдром полинома ошибки $E(X) = X^{14} + X^5$
- $S(X^{14} + X^5) = S(X^{14}) + S(X^5) = (101\ 010\ 11)$

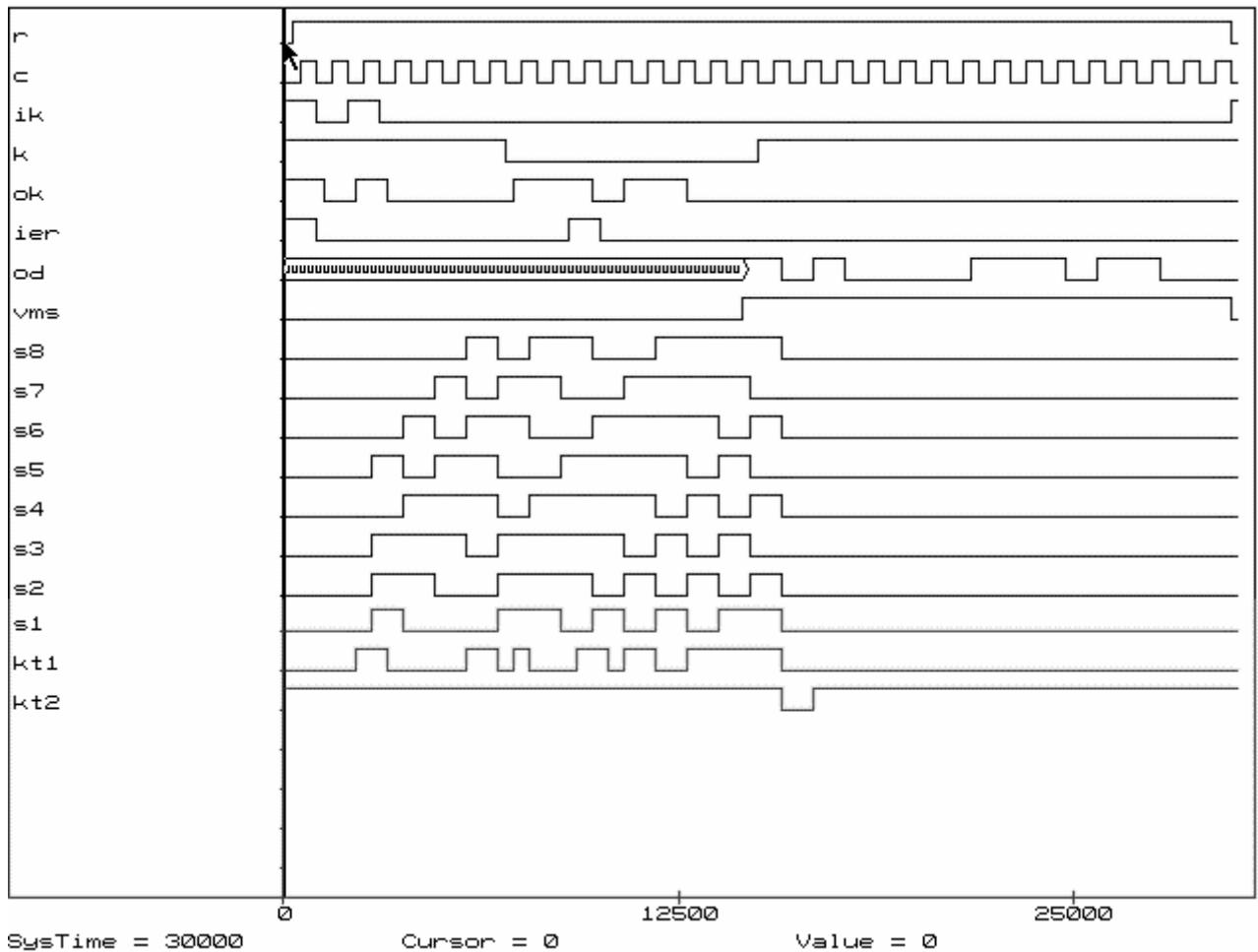
$$\begin{array}{r}
 1\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 1\ 1 \\
 + \\
 \underline{0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0} \\
 = \\
 1\ 0\ 1\ 0\ 1\ 0\ 1\ 1
 \end{array}$$

Принципиальная схема кодера и декодера

- 1) В формате PDF
- 2) Кодер, имитация ошибок и декодер



Моделирование кодера и декодера



Обозначение сигналов

- r – (reset) сигнал сброса;
- c – (clock) синхросигналы;
- ik – вход кодера;
- k – управление ключом;
- ok – выход кодера;
- ier – (input error) вход имитации ошибок;
- od – выход декодера;
- vms – сигнал разрешения модификации синдрома;
- s1 - s8 – разряды синдрома;
- kt1 - контрольная точка 1;
- kt2 - контрольная точка 2 (сброс генератора синдрома после исправления ошибок).

Лабораторная работа № 6

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОДЕРА И ДЕКОДЕРА КОДА ФАЙРА, ИСПРАВЛЯЮЩЕГО ПАКЕТ ОШИБОК, НА БАЗЕ ACTIVE-HDL

Задание: на базе средств Active-HDL разработать модель кодера и декодера для кода Файра, исправляющего пакет ошибок, и выполнить их моделирование.

Варианты задания:

- 1. Образующий полином:

$$g_1(X)=(X^7 + 1)(X^4 + X^3 + 1), N - \text{четное},$$

$$g_2(X)=(X^7 + 1)(X^4 + X + 1), N - \text{нечетное}.$$

- 2. Построить укороченный код Файра ($105 - i, 94 - i$), $i=83-[N/2]$, исправляющий одиночные пакеты ошибок с длиной пакета $t=4$ (в данном случае квадратные скобки означают округление до ближайшего большего целого). N - номер по журналу.

Порядок выполнения работы

- 1. В соответствии с вариантом определить образующий полином для укороченного кода Файра, исправляющего одиночный пакет ошибок.
- 2. Разработать функциональные и принципиальные схемы кодера и декодера.
- 3. Составить и отладить программную модель.
- 4. Выполнить моделирование на ЭВМ схемы, имитирующей кодер, двоичный канал, декодер. В двоичном канале предусмотреть возможность имитации пакета ошибок в кодовой комбинации. Исследовать корректирующую способность декодера.

Содержание отчета

- 1. Титульный лист.
- 2. Задание.
- 3. Исходные данные.
- 4. Определение образующего полинома, параметров укороченного кода Файра (n, k).
- 5. Определение остатка от деления полинома $X^{(n-k+i)}$ на образующий полином (с помощью моделирования на ЭВМ схемы кодера).
- 6. Функциональная схема кодера и декодера.
- 7. Принципиальные схемы кодера и декодера кода Файра с возможностью имитации пакета ошибок (демонстрируются на ЭВМ).
- 8. Временные диаграммы моделирования кодера и декодера кода Файра в Редакторе Временных Диаграмм (демонстрируются на ЭВМ).

Контрольные вопросы

- 1. Что такое "пакет ошибок"?
- 2. Что называется циклическим пакетом ошибок?
- 3. Сколько проверочных символов должен содержать линейный блочный код, исправляющий все пакеты ошибок длины t ?
- 4. Что называется кодом Файра?
- 5. Как определяется образующий полином для построения кода Файра?
- 6. Сколько проверочных символов содержит код Файра, исправляющий все пакеты ошибок длины t ?
- 7. Каким образом производится кодирование кодов Файра?

- 8. Нарисуйте схему обнаружения и коррекции пакетных ошибок длины t с помощью кода Файра?
- 9. Как образуются укороченные коды Файра?
- 10. В чем заключается особенность построения декодирующего устройства для укороченного кода Файра?

Контрольный пример (N=35)

Задание: на базе средств Active-HDL разработать модель кодера и декодера для кода Файра, исправляющего пакет ошибок, и выполнить их моделирование.

Исходные данные

$N=35$.

Порождающий полином $g_1(X)=(X^7 + 1)(X^4 + X^3 + 1)$,
параметр укорачивания $i = 83 - \lfloor N/2 \rfloor = 83 - 18 = 65$.

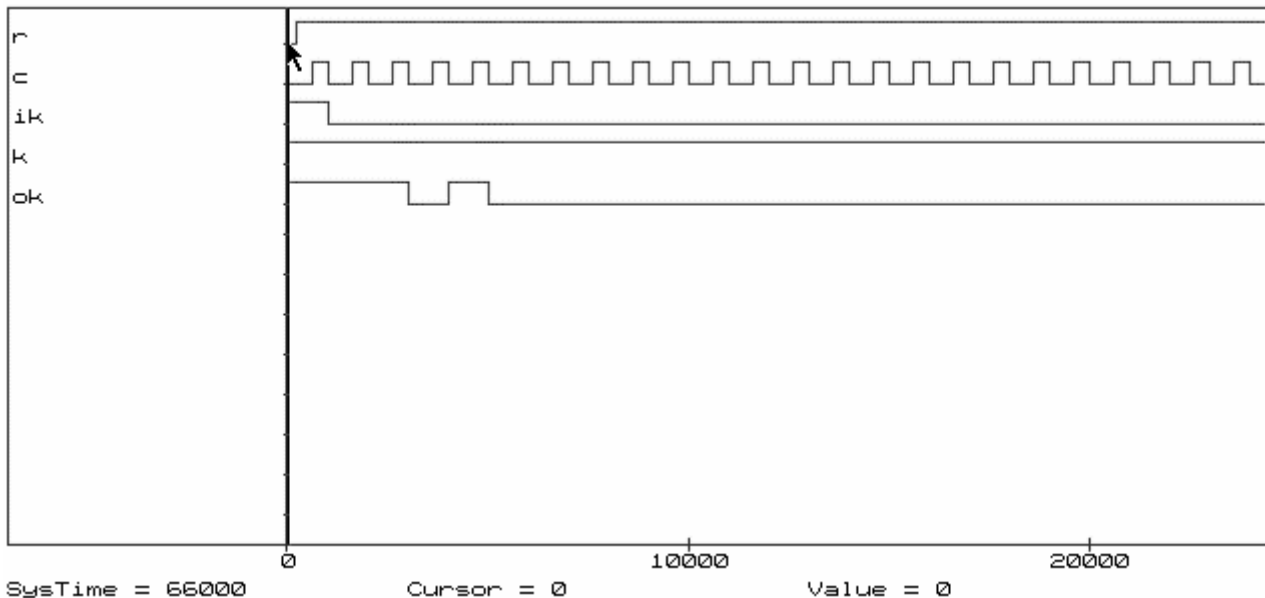
Определение порождающего полинома, параметров укороченного кода Файра (n, k).

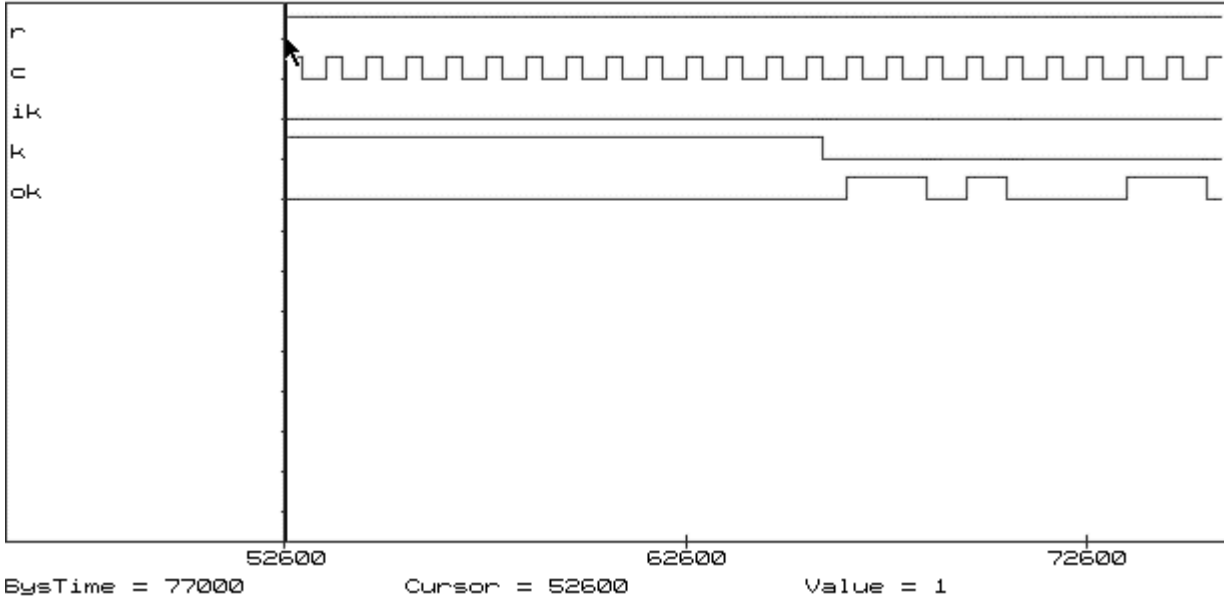
Укороченный код Файра (105-65,94-65), т.е. (40,29) код.
Порождающий полином $g_1(X)=X^{11} + X^{10} + X^7 + X^4 + X^3 + 1$,
длина исправляемого пакета ошибок $t=4$.

Определение остатка от деления полинома $X^{(n-k+i)}$ на образующий полином.

Поскольку код (40,29) укороченный, для декодера необходимо найти остаток от деления X^{n-k+i} на образующий полином. В данном случае $n-k=105-94=11$, $i=65$. Остаток от деления X^{11+65} на образующий полином определяем путем моделирования на ЭВМ кодера, подавая на его вход одну единицу и 65 нулей. Получили 01101000110, или в полиномиальной форме

$$R(X^{11+65}) = X^9 + X^8 + X^6 + X^2 + X.$$



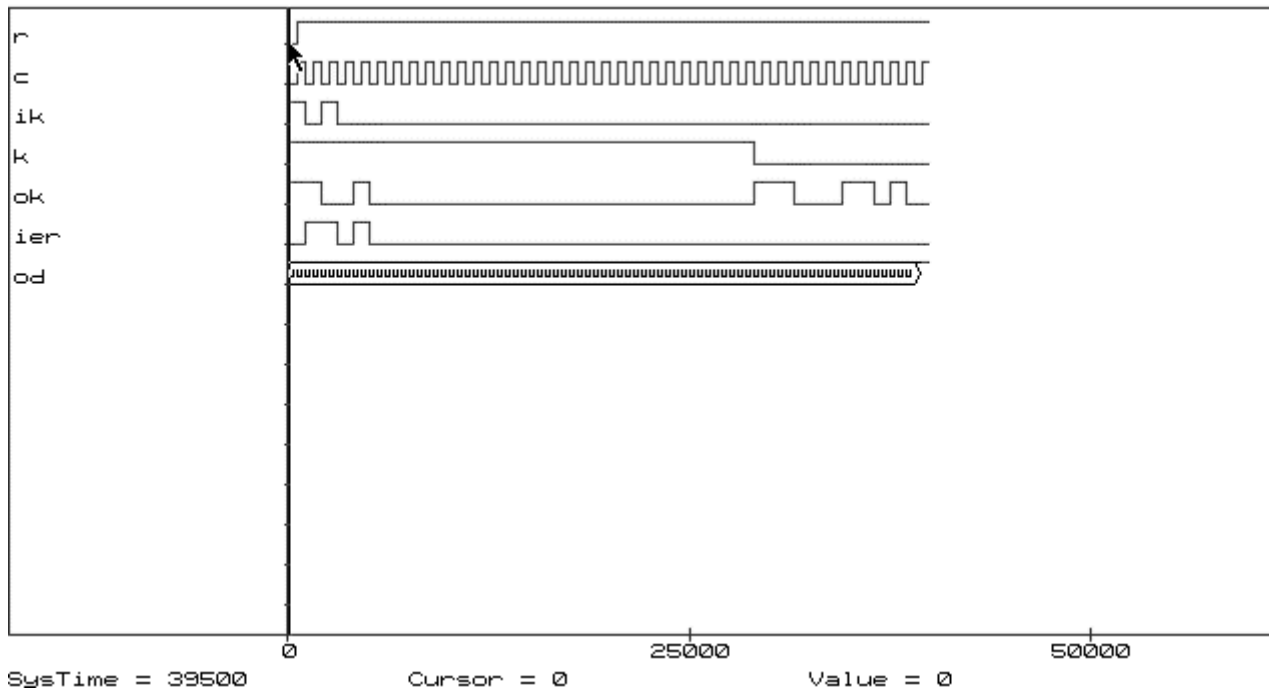


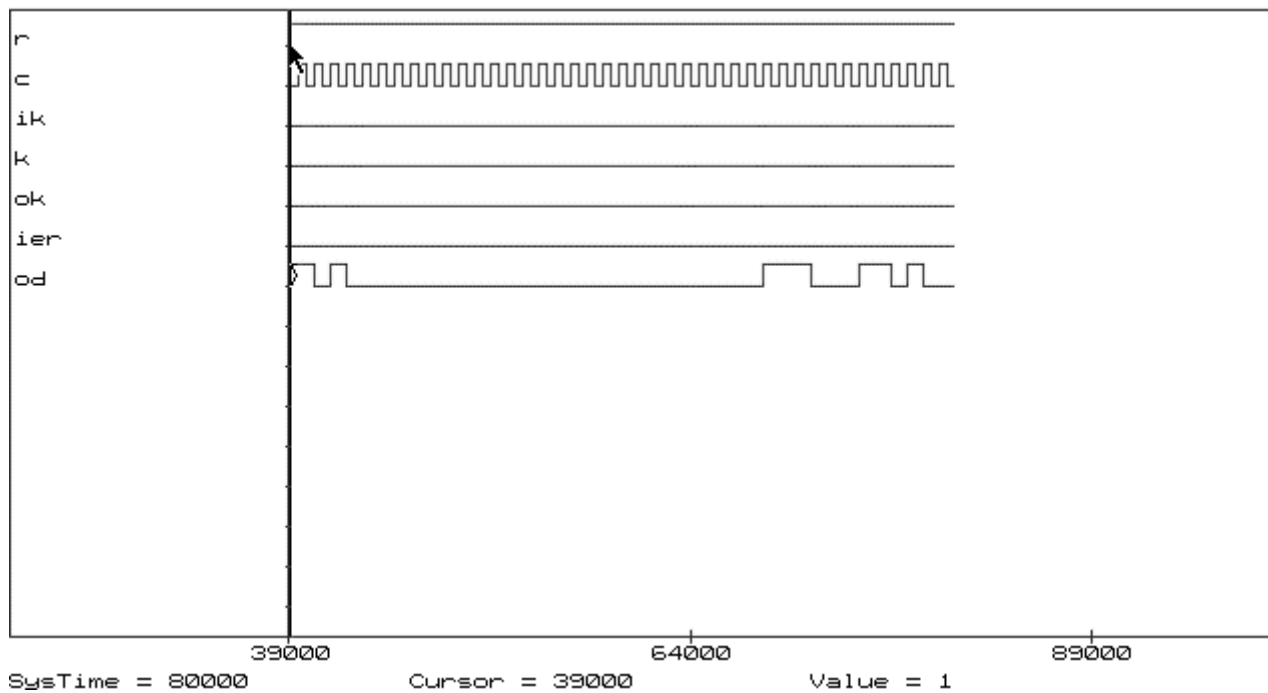
Проверить полученный результат (и вместе с тем кодер) можно с помощью программ деления полиномов POLY или DIV_POLY.

**Принципиальная схема кодера и декодера
В формате PDF**

Моделирование кодера и декодера

1-я страница

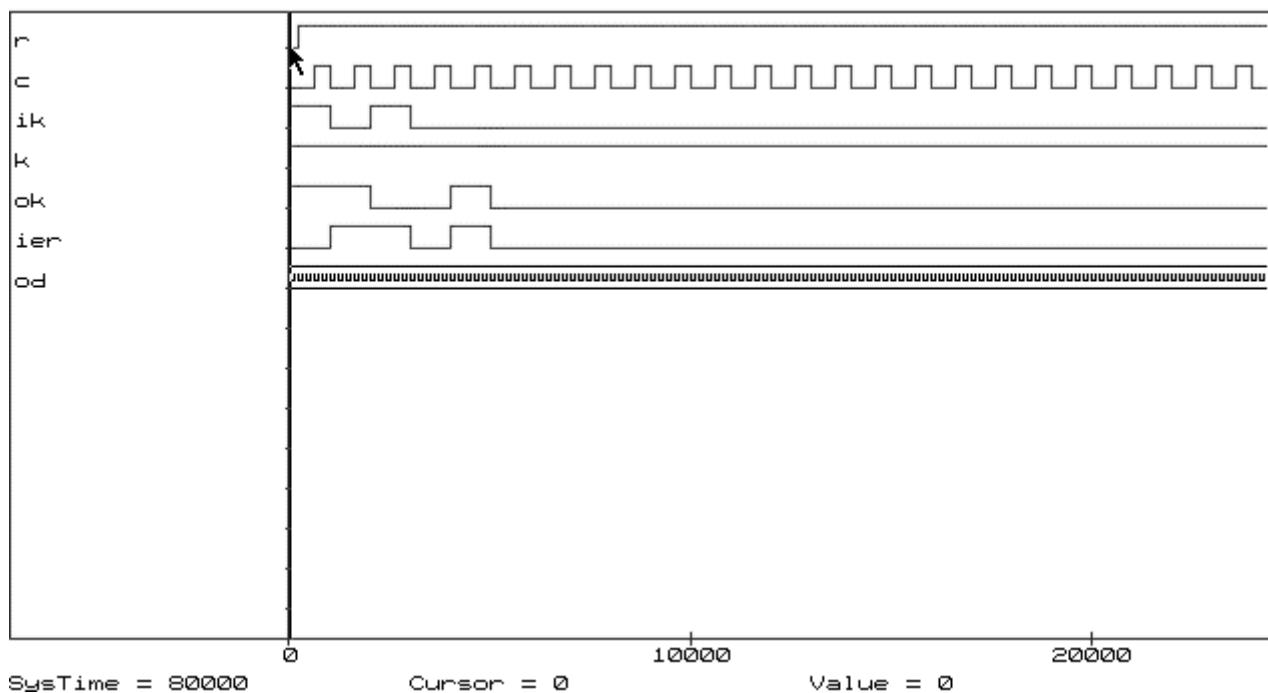




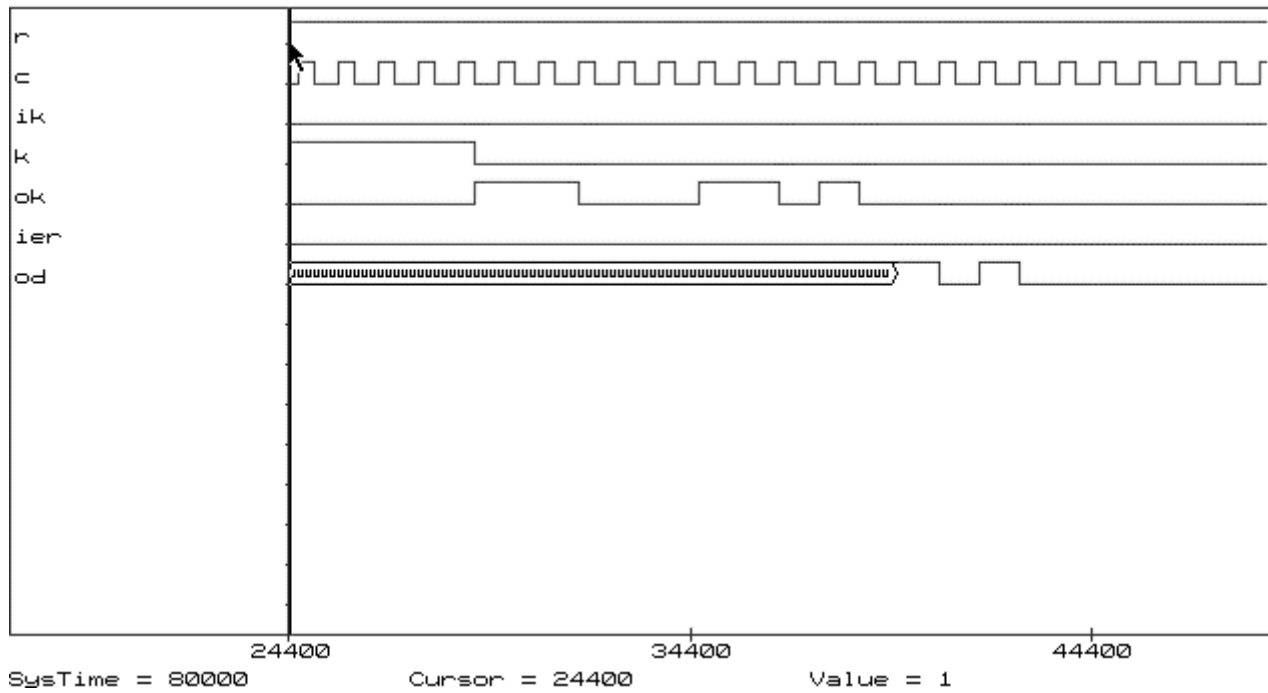
Обозначение сигналов

- r – (reset) сигнал сброса;
- c – (clock) синхросигналы;
- ik – вход кодера (информационная последовательность двоичных символов 101 и 26 нулей);
- k – управление ключом;
- ok – выход кодера;
- ier – (input error) вход имитации ошибок (пакет ошибок длиной 4 – 1101);
- od – выход декодера;

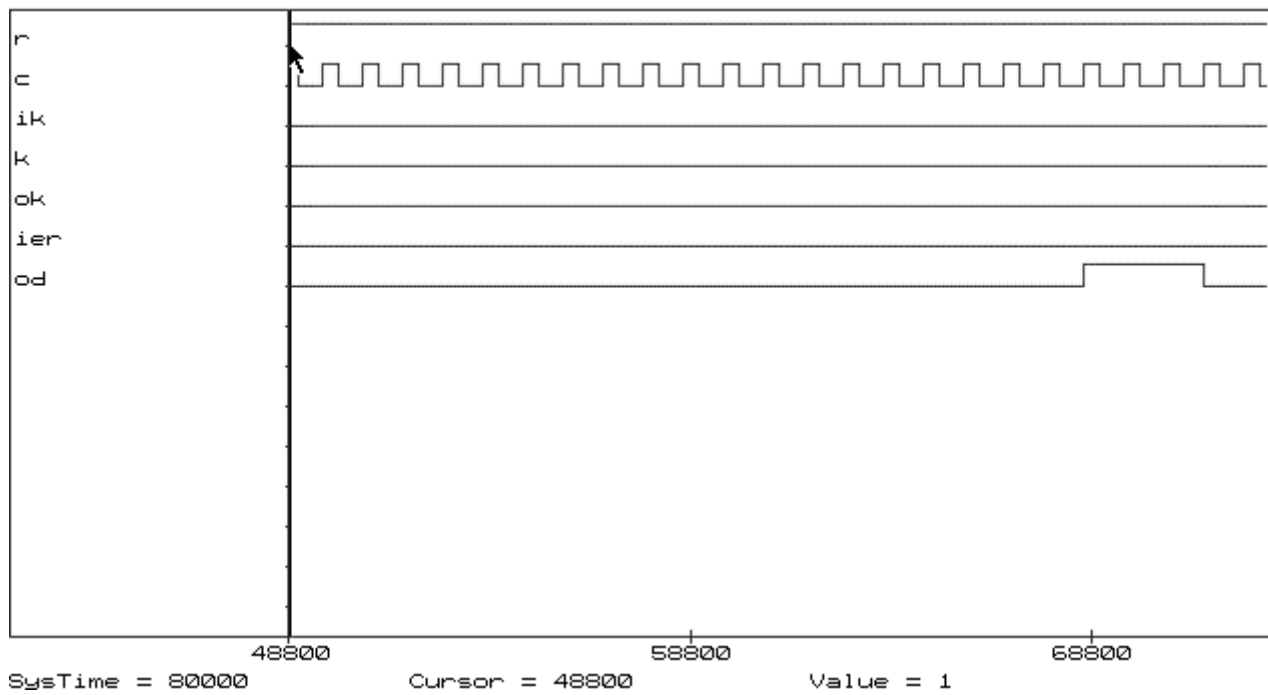
Подробнее

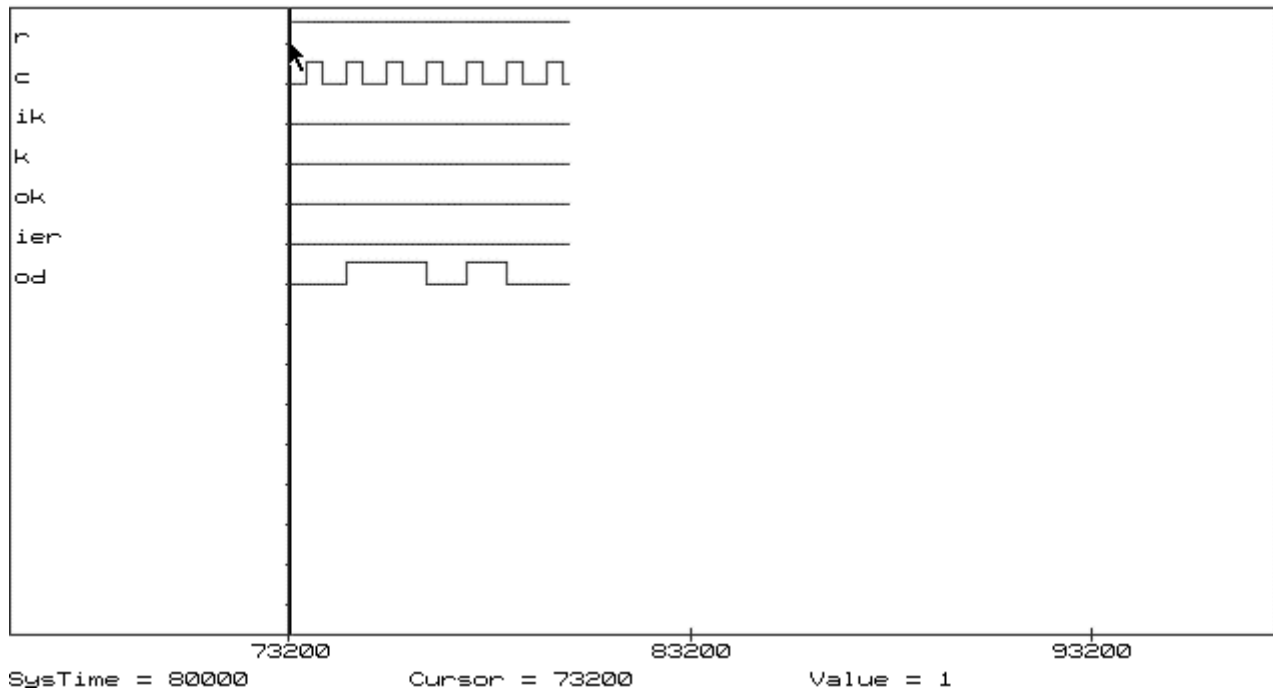


2-я страница (исправленные информационные символы)



3-я страница





Лабораторная работа № 7

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОДЕРА И ДЕКОДЕРА ЦИКЛИЧЕСКОГО КОДА, ИСПРАВЛЯЮЩЕГО ПАКЕТ ОШИБОК, ПОСТРОЕННОГО С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА ПЕРЕМЕЖЕНИЯ, НА БАЗЕ ACTIVE-HDL

Задание: на базе средств Active-HDL разработать модель кодера и декодера для циклического кода, исправляющего пакет ошибок, построенного с помощью метода перемежения, и выполнить их моделирование.

Варианты задания:

- 1. Образующий полином (31, 25)-кода

$$X^6 + X^5 + X^4 + 1, \text{ если } 2 \cdot 25 > N > 14.$$

Построить укороченный код ($2 \cdot 31 - N$, $2 \cdot 25 - N$), исправляющий одиночные пакеты ошибок с длиной пакета $t=4$.

- 2. Образующий полином (15, 9)-кода

$$X^6 + X^5 + X^4 + X^3 + 1, \text{ если } 5 < N < 15.$$

Построить укороченный код ($2 \cdot 15 - N$, $2 \cdot 9 - N$), исправляющий одиночные пакеты ошибок с длиной пакета $t=4$.

- 3. Образующий полином (7, 3) -кода

$$X^4 + X^3 + X^2 + 1, \text{ если } N < 6.$$

Построить укороченный код ($3 \cdot 7 - N$, $3 \cdot 3 - N$), исправляющий одиночные пакеты ошибок с длиной пакета $t=6$. N - номер варианта.

Порядок выполнения работы

- 1. В соответствии с вариантом определить образующий полином для циклического кода, исправляющего пакет ошибок, построенного с помощью метода перемежения.
- 2. Разработать функциональные и принципиальные схемы кодера и декодера.
- 3. Составить и отладить программную модель.
- 4. Выполнить моделирование на ЭВМ схемы, имитирующей кодер, двоичный канал, декодер. В двоичном канале предусмотреть возможность имитации пакета ошибок в кодовой комбинации. Исследовать корректирующую способность декодера.

Содержание отчета

- 1. Титульный лист.
- 2. Задание.
- 3. Исходные данные.
- 4. Определение образующего полинома, параметров циклического кода, исправляющего пакет ошибок, построенного с помощью метода перемежения.
- 5. Определение остатка от деления полинома $X^{(n-k+i)}$ на образующий полином (с помощью моделирования на ЭВМ схемы кодера).
- 6. Функциональная схема кодера и декодера.
- 7. Принципиальные схемы кодера и декодера с возможностью имитации пакета ошибок (демонстрируются на ЭВМ).

- 8. Временные диаграммы моделирования кодера и декодера в Редакторе Временных Диаграмм (демонстрируются на ЭВМ).

Контрольные вопросы

- 1. В чем заключается сущность метода перемежения кодов?
- 2. Как определить порождающий полином циклического кода, получающегося перемежением j копий другого циклического кода?
- 3. Нарисуйте схему обнаружения и коррекции пакетных ошибок длины 4 с помощью циклического (14, 6)-кода, построенного перемежением (7, 3)-кода с порождающим полиномом $X^4 + X^3 + X^2 + 1$.
- 4. Как образуются укороченные циклические коды?
- 5. В чем заключается особенность построения декодирующего устройства для укороченного циклического кода?

Контрольный пример (N=35)

Задание: на базе средств Active-HDL разработать модель кодера и декодера для циклического кода, исправляющего пакет ошибок, построенного с помощью метода перемежения, и выполнить их моделирование.

Исходные данные

$N=35$

Образующий полином (31,25) – кода $X^6 + X^5 + X^4 + 1$.

Построить укороченный код ($2*31-N, 2*25-N$), т.е. код (62-35,50-35) или (27,15) - код.

Определение образующего полинома, параметров укороченного циклического кода, исправляющего пакет ошибок, построенного с помощью метода перемежения

Образующий полином (62, 50) - кода:

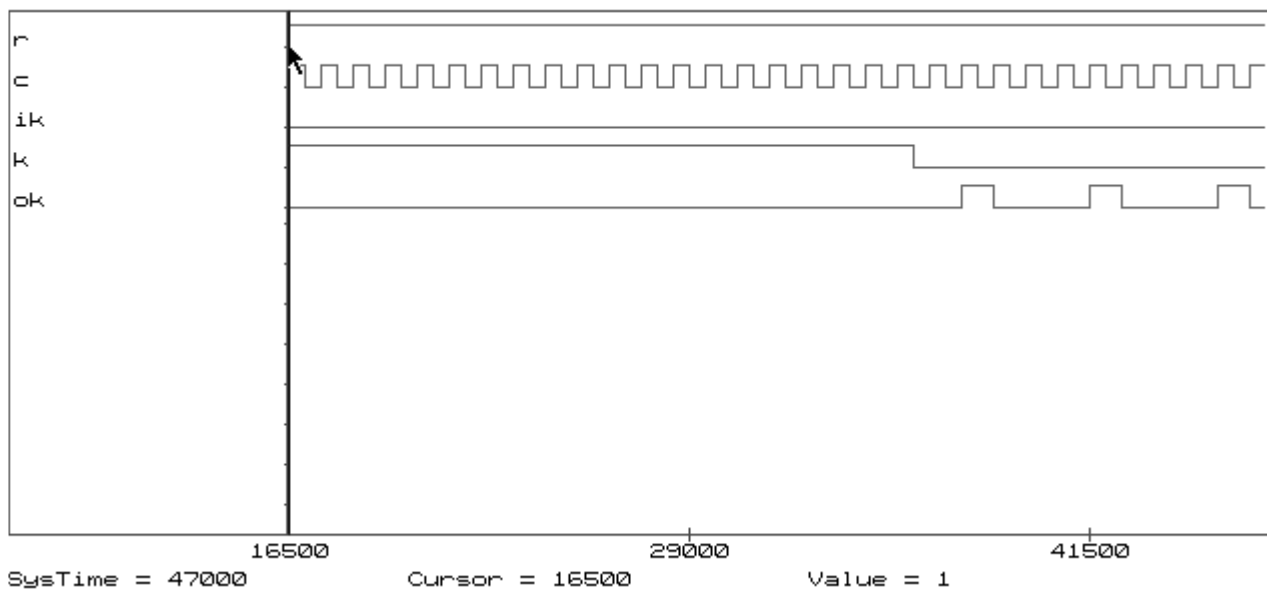
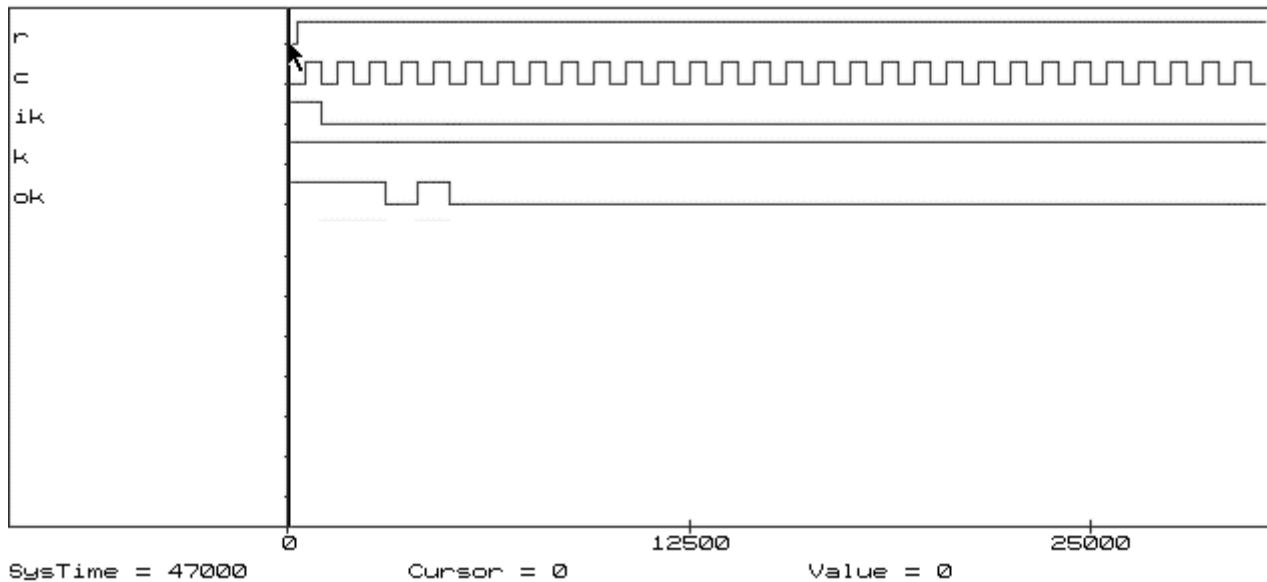
$$X^{2*6} + X^{2*5} + X^{2*4} + 1 = X^{12} + X^{10} + X^8 + 1$$

длина исправляемого пакета ошибок $t=4$.

Определение остатка от деления полинома $X^{(n-k+i)}$ на образующий полином.

Поскольку код (27, 15) укороченный, для декодера необходимо найти остаток от деления X^{n-k+i} на образующий полином. В данном случае $n-k=27-15=12$, $i=35$. Остаток от деления X^{12+35} на образующий полином определяем путем моделирования на ЭВМ кодера, подавая на его вход одну единицу и 35 нулей. Получаем 001000100010, или в полиномиальной форме

$$R(X^{12+35}) = X^9 + X^5 + X.$$

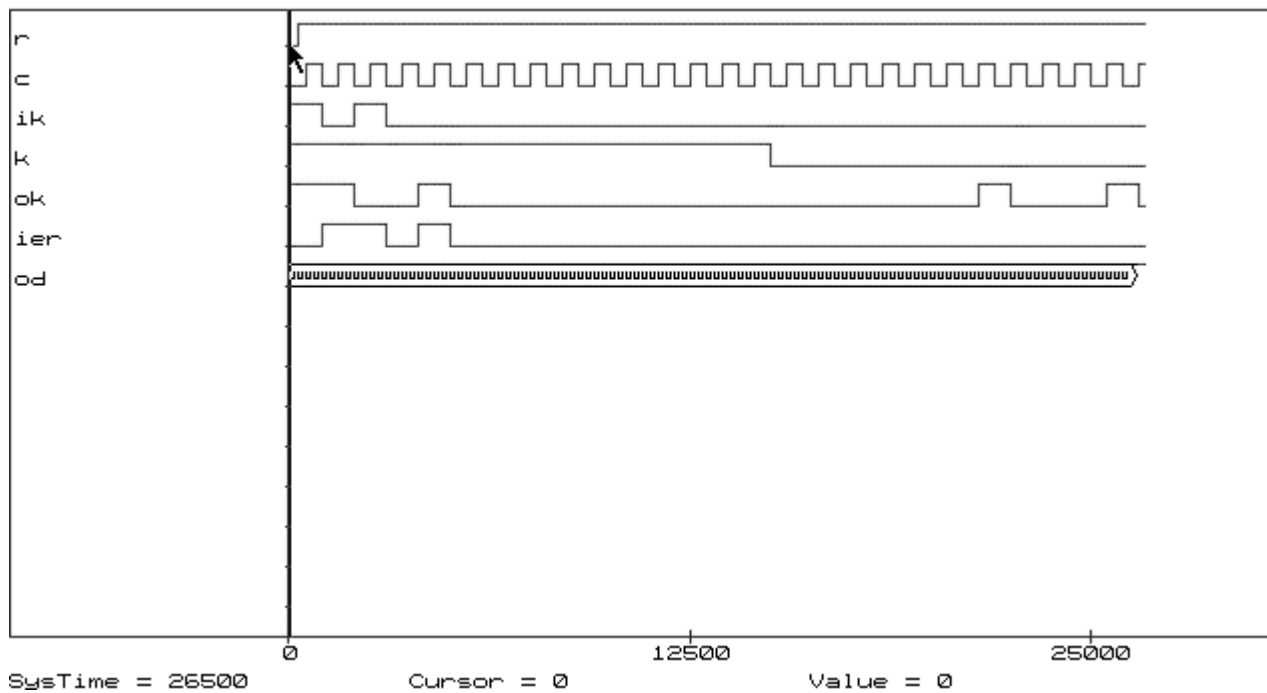


Проверить полученный результат (и вместе с тем кодер) можно с помощью программ деления полиномов `POLY` или `DIV_POLY`.

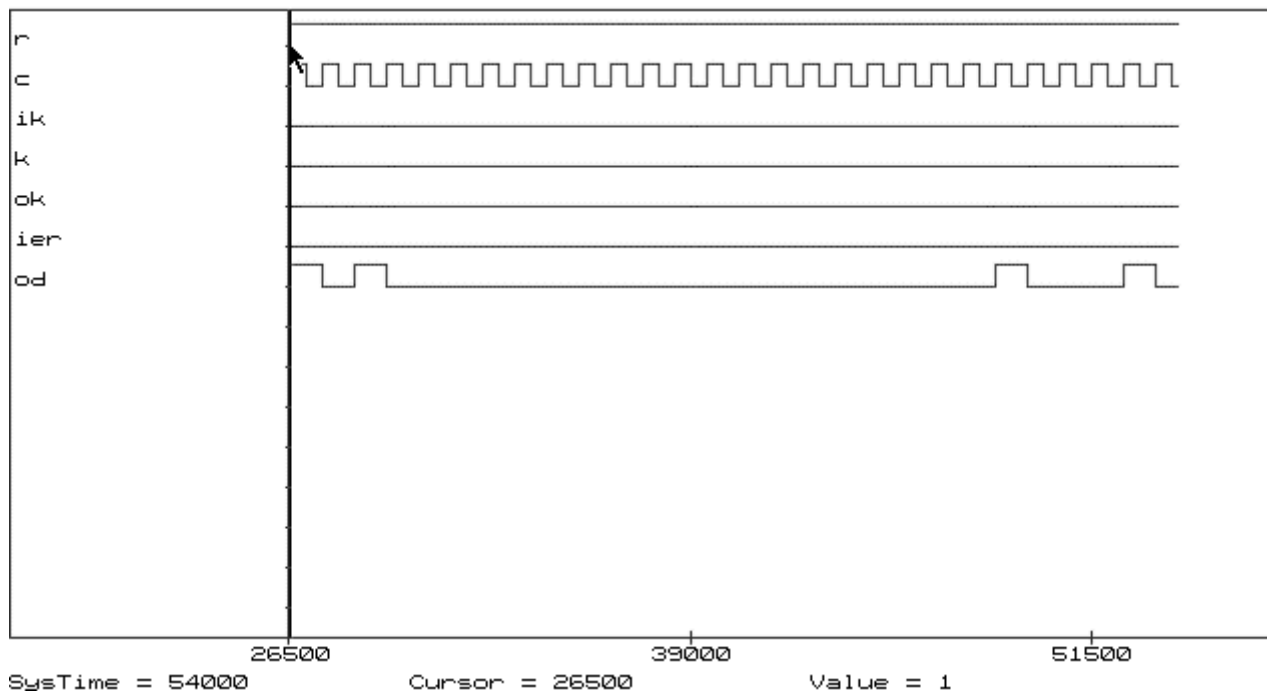
**Принципиальная схема кодера и декодера
В формате PDF**

Моделирование кодера и декодера

1-я страница



2-я страница



Обозначение сигналов

- r – (reset) сигнал сброса;
- c – (clock) синхросигналы;
- ik – вход кодера (информационная последовательность двоичных символов 101 и 12 нулей);
- k – управление ключом;
- ok – выход кодера;
- ier – (input error) вход имитации ошибок (пакет ошибок длиной 4 – 1101);
- od – выход декодера.

Лабораторная работа № 8

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОДЕРА И ДЕКОДЕРА КОДА ИВАДАРИ, ИСПРАВЛЯЮЩЕГО ПАКЕТЫ ОШИБОК, НА БАЗЕ ACTIVE-HDL

Задание: на базе средств Active-HDL разработать модель кодера и декодера для кода Ивадари, исправляющего пакеты ошибок, и выполнить их моделирование.

Варианты задания:

(22, 11)-код Ивадари ($\lambda=3$, $n_0=2$), исправляющий пакет ошибок длины 6.

Полином ошибки:

$$E(x) = x^5 + N,$$

где N - номер варианта в двоичной системе счисления, представленный в полиномиальной форме.

Порядок выполнения работы

- 1. Определить порождающую матрицу (22, 11)-кода Ивадари ($\lambda=3$, $n_0=2$), исправляющего пакет ошибок длины 6.
- 2. Определить синдромный полином.
- 3. Разработать функциональные и принципиальные схемы кодера и декодера.
- 4. Составить и отладить программную модель.
- 5. Выполнить моделирование на ЭВМ схемы, имитирующей кодер, двоичный канал, декодер. В двоичном канале предусмотреть возможность имитации пакета ошибок в кодовой комбинации. Исследовать корректирующую способность декодера.

Содержание отчета

- 1. Титульный лист.
- 2. Задание.
- 3. Исходные данные.
- 4. Определение параметров кода Ивадари.
- 5. Порождающая матрица кода Ивадари.
- 6. Синдромный полином.
- 7. Функциональная схема кодера и декодера.
- 8. Принципиальные схемы кодера и декодера с возможностью имитации пакета ошибок (демонстрируются на ЭВМ).
- 9. Временные диаграммы моделирования кодера и декодера в Редакторе Временных Диаграмм (демонстрируются на ЭВМ).

Контрольные вопросы

- 1. В чем состоит отличие между сверточными и блоковыми кодами?
- 2. Что называется длиной кодового ограничения?
- 3. Что называется информационной длиной слова k , кодовой длиной блока n ?
- 4. На какой длине кодового слова сохраняется влияние одного кадра информационных символов?
- 5. Что такое систематический древовидный код?
- 6. Какой древовидный код называется сверточным?
- 7. Что такое порождающая матрица из полиномов?
- 8. Как строится проверочная матрица кода Вайнера-Эша?
- 9. В чем состоит основное отличие между сверточными и блоковыми кодами, исправляющими пакет ошибок?

- 10. Какой код называется кодом Ивадари?
- 11. Как определяются порождающая и проверочная матрицы кода Ивадари?
- 12. Чему равна длина пакета ошибок, который способен исправлять декодер для кода Ивадари?
- 13. Что такое синдромный полином?

Контрольный пример (N=35)

Задание: на базе средств Active-HDL разработать модель кодера и декодера для кода Ивадари, исправляющего пакеты ошибок, и выполнить их моделирование.

Исходные данные

$$N=35$$

Конструктивный параметр кода Ивадари $\lambda=3$, кадр кодового слова $n_0=2$.

Определение параметров кода Ивадари

Сверточные коды принадлежат к классу древовидных. В отличие от блочных кодов, кодовое слово древовидного кода n_0 (кадр кодового слова) формируется в зависимости не только от самого информационного блока k_0 (информационного кадра), но также от m уже переданных информационных кадров. Величина $k=(m+1)k_0$ называется информационной длиной слова. Кодовая длина блока $n=(m+1)n_0$ – это длина кодового слова, на которой сохраняется влияние одного кадра информационных символов.

Пусть λ и n_0 – любые положительные числа. По определению кодом Ивадари называется исправляющий пакеты ошибок двоичный систематический сверточный код со следующей порождающей $((n_0 - 1) \times n_0)$ -матрицей из полиномов:

$$\mathbf{G}(x) = \begin{bmatrix} 1 & & & g_1(x) \\ & 1 & & g_2(x) \\ & & \ddots & \vdots \\ & & & 1 & g_{(n_0-1)}(x) \end{bmatrix}$$

где для матричных элементов $g_{in_0}(x)$ использовалось сокращенное обозначение $g_i(x)$ и

$$g_i(x) = x^{(\lambda+1)(2n_0-i)+i-3} + x^{(\lambda+1)(n_0-i)-1}, \quad i = 1, \dots, n_0 - 1.$$

Наибольшую степень, равную

$$(\lambda + 1)(2n_0 - 1) - 2$$

имеет полином $g_1(x)$. Таким образом, коды Ивадари являются сверточными $((m + 1)n_0, (m + 1)(n_0 - 1))$ - кодами, исправляющими пакеты ошибок длины не более λn_0 , с числом кадров $m=(\lambda + 1)(2n_0 - 1) - 2$.

В данном случае $m = (\lambda+1)(2n_0-1)-2 = 4(4-1)-2 = 12-2 = 10$; $(m+1)n_0 = 11*2 = 22$; $(m+1)(n_0-1)=11$.

Порождающая матрица кода Ивадари

Итак, требуется построить $(22,11)$ - код Ивадари.

Порождающая матрица имеет вид

$$G(x) = [1 \ g_1(x)],$$

где

$$g_1(x) = x^{(\lambda+1)(2n_0-1)+1-3} + x^{(\lambda+1)(n_0-1)-1} = x^{4*3+1-3} + x^{4-1} = x^{10} + x^3.$$

$$G(x) = [1 \ x^{10} + x^3]$$

Код исправляет пакеты ошибок длины не более $\lambda n_0 = 6$.

Синдромный полином

Поскольку $n_0 - k_0 = 1$, для кодов Ивадари получаем только один синдромный полином

$$s(x) = \sum_{i=0}^{n_0-1} g_i(x) e_i(x) + e_{n_0}(x) =$$

$$= e_{n_0}(x) + \sum_{i=0}^{n_0-1} [x^{(\lambda+1)(n_0-i)-1} + x^{(\lambda+1)(2n_0-i)+i-3}] e_i(x).$$

Если обозначить через $s_2(x)$ полином проверочных символов, через $s_1(x)$ полином информационных символов, тогда соответствующими полиномами ошибок будут полиномы $e_1(x)$ и $e_2(x)$, а синдромный полином равен

$$s(x) = e_2(x) + (x^3 + x^{10})e_1(x)$$

Для пакета ошибок, начинающегося в нулевом кадре,

$$e_2(x) = e_{20} + e_{21}x + e_{22}x^2,$$

$$e_1(x) = e_{10} + e_{11}x + e_{12}x^2 + e_{13}x^3.$$

Для определения и анализа синдромного полинома в данном случае необходимо рассмотреть четыре последовательных кадра кода Ивадари.

		Кадры						
		3-й		2-й		1-й		0-й
		Г	Г	Г	Г	Г	Г	
		↑	↓	↑	↓	↑	↓	
$e_1(x)$		e_{13}	↓	e_{12}	↓	e_{11}	↓	e_{10}
		↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑
$e_2(x)$		e_{23}	↓	e_{23}	↓	e_{21}	↓	e_{20}
		↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑
			└	└	└	└	└	└

Если пакет начинается в нулевом кадре, т.е. e_{10} или e_{20} не равны нулю, то $e_{23}=0$.

Если e_{10} не равен 0, то $e_{13} = 0$.

Рассмотрим коэффициенты $s(x)$ для двух случаев, в которых пакет начинается в e_{10} и e_{20} соответственно.

Синдромный полином

	s_{15}	s_{14}	s_{13}	s_{12}	s_{11}	s_{10}	s_9	s_8	s_7	s_6	s_5	s_4	s_3	s_2	s_1	s_0
--	----------	----------	----------	----------	----------	----------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

равен:

если пакет начинается в e_{10}

	s_{15}	s_{14}	s_{13}	s_{12}	s_{11}	s_{10}	s_9	s_8	s_7	s_6	s_5	s_4	s_3	s_2	s_1	s_0
...	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	2	2	2
				2	1	0					2	1	0	2	1	0

если пакет начинается в e_{20}

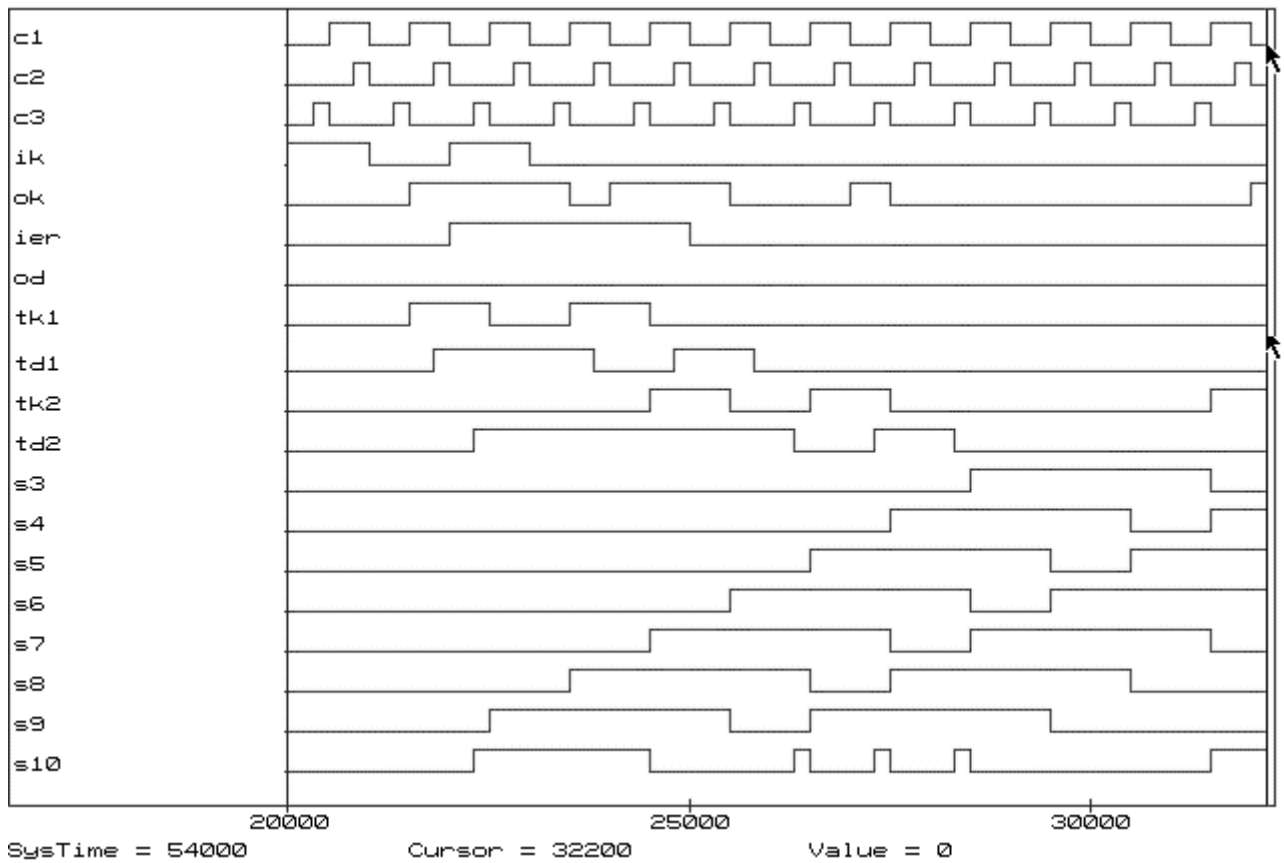
	s_{15}	s_{14}	s_{13}	s_{12}	s_{11}	s_{10}	s_9	s_8	s_7	s_6	s_5	s_4	s_3	s_2	s_1	s_0
...	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	2	2	2
			3	2	1					3	2	1		2	1	0

При построении декодера необходимо проверять равенство синдромных разрядов s_3 и s_{10} единицам. Если $s_3 \& s_{10} = 1$, то необходимо исправление.

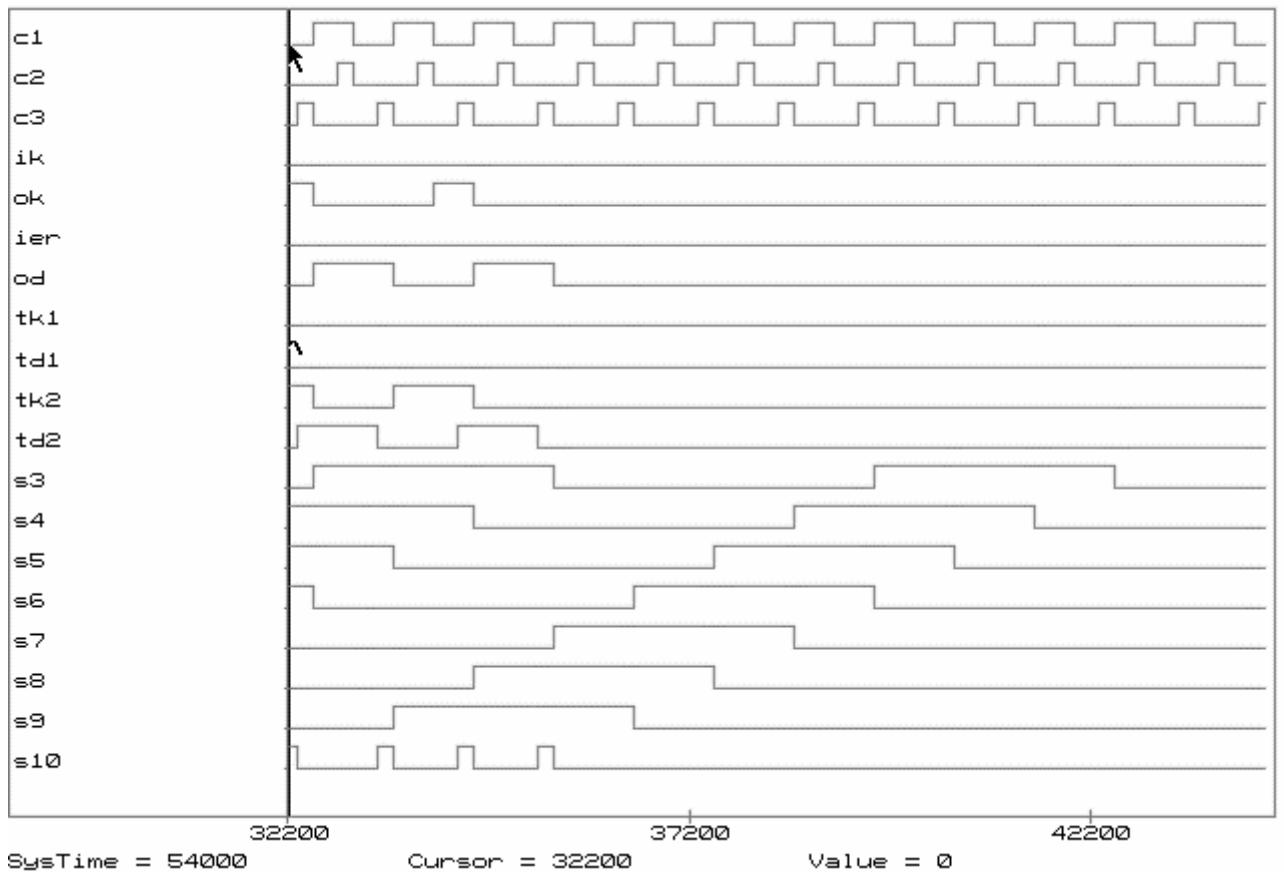
Принципиальная схема кодера и декодера
В формате PDF

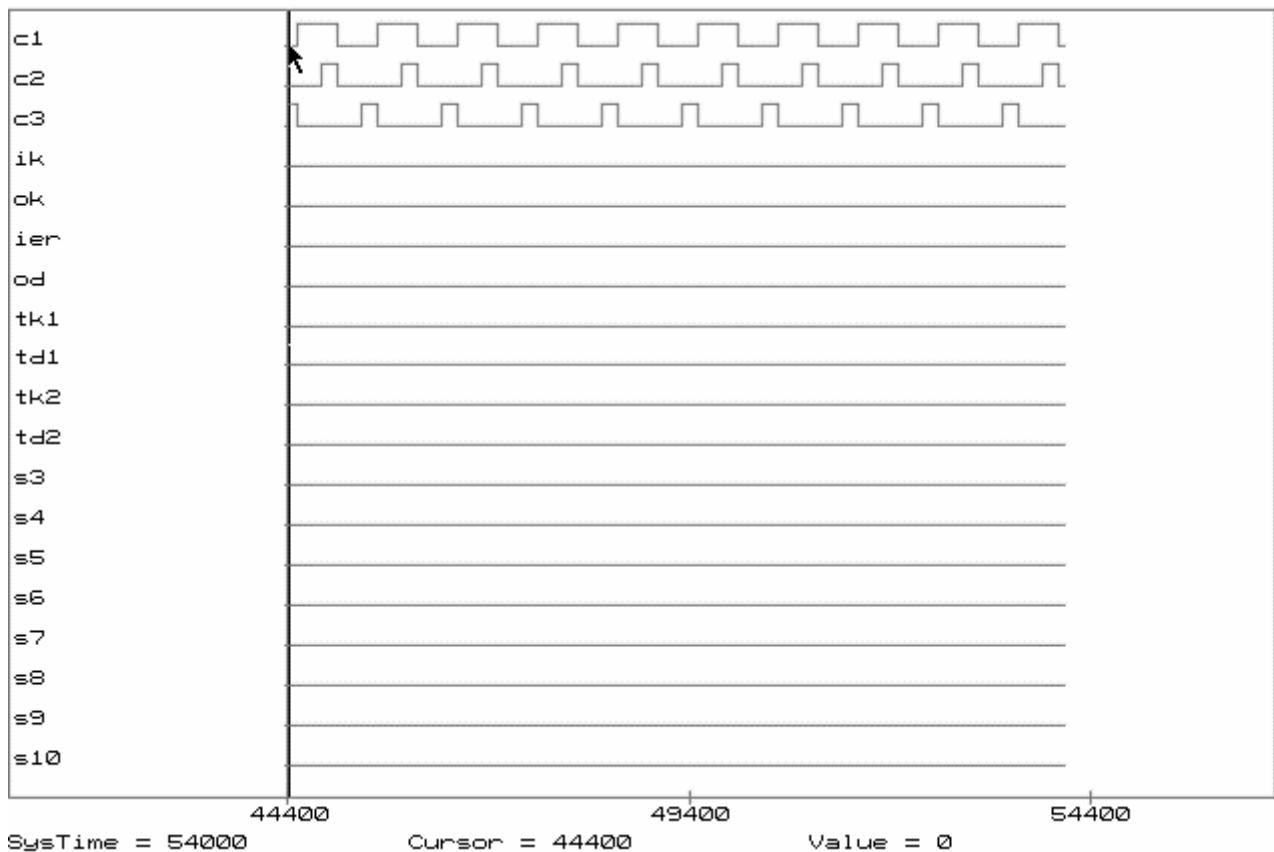
Моделирование кодера и декодера

1-я страница



2-я страница





Обозначение сигналов

VCC0, VCC1 – уровни 0 и 1 соответственно;

c1, c2, c3 – (clock) синхросигналы (c1 используется для преобразования параллельного кода в последовательный и наоборот, а также синхронизации триггера на выходе декодера; c2 – синхронизация регистра информационных символов $c_1(x)$; c3 - синхронизация регистр проверочных символов $c_2(x)$).

ik – вход кодера (информационная последовательность символов 101);

ok – выход кодера после имитации пакета ошибок;

ier – (input error) вход имитации ошибок (пакет ошибок длиной 6 – 111111);

od – выход декодера;

tk1, tk2 – контрольные точки кодера;

td1, td2 – контрольные точки декодера;

s3-s10 – разряды синдромного регистра с 3-го по 10-й.

Примечание: на временной диаграмме (см. страницу 2) одновременное значение s3=1 и s10=1 (а именно в этом случае выполняется исправление) происходит три раза – исправляются только информационные символы. Три ошибки из пакета ошибок длины 6 искажают информационные символы (именно эти символы декодер исправляет), остальные три ошибки искажают проверочные символы (декодер эти символы не исправляет, так как на выходе декодера используются только информационные символы).

$\Delta t = 100$ нс

Start time – 20000 нс

Время моделирования T = 54000нс.

Синхронизация

Период c1= 1000 нс, скважность 2.

Период c2= 1000 нс, скважность 4.

Период c3= 1000 нс, скважность 4.

ЛИТЕРАТУРА

Основная:

1. Richard E Blahut. Theory and Practice of Error Control codes/ Addison-Wesley Publishing Company, 1986.– 576 p.
2. Peterson W.W., Weldon E.J., Jr. Error-correcting codes.- 2nd ed.- Cambridge (Mass.): MIT Press., 1971.– 595 p.
3. Блейхут Р. Теория и практика кодов, контролирующих ошибки: Пер. с англ. - М.: Мир, 1986. - 576 с.: ил. (с. 61-81, 112-152, 154-184).
4. Питерсон У., Уэлдон Э. Коды, исправляющие ошибки. - М.: Мир, 1976. – 595 с.: ил. (pp. 134-138, 304-321, 251-273).
5. Кузьмин В. П., Кедрус В. А. Основы теории информации и кодирования. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1986. – 238 с. (с. 6-10, 70-74, 86-90, 93-101)
6. Цымбал В. П. Теория информации и кодирования: Учебник. - К.: Вища шк., 1992.-263 с.: ил. (с. 6-12, 12-22, 79-102, 184-198, 198-221)

Дополнительная:

7. Сидельников В.М. Теория кодирования. – М.: 2006. – 289 с.
8. Shu Lin, Daniel J. Costello. Error Control Coding.Fundamentals and Applications/ Prentice-Hall, 1983. - 617 p.
9. Michael Purser. Introduction to Error-Correcting Codes/ Artech House, 1995. - 133 p.
10. W. Carry Huffman, Vera Pless. Fundamentals of Error-Correcting Codes/ Cambridge University Press., 2003. - 662 p.
11. Robert H. Morelos-Zaragoza. The art of error correcting coding/ SONY Computer Science Laboratories, Inc. JAP, John Wiley & Sons, Ltd, 2002. – 219 p.
12. Todd K. Moon. Error Correction Coding. Mathematical Methods and Algorithms/ Wiley-Interscience, John Wiley & Sons, Inc., 2005. - 755 p.
13. Огнев И. В., Сарычев К. Ф. Надежность запоминающих устройств. - М.: Радио и связь, 1988. - 224 с.
14. Дяченко О.Н. Графический способ представления сверточных кодов// Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія “Інформатика, кібернетика і обчислювальна техніка” (ІКОТ-2007). Випуск 8 (120) - Донецьк: ДонНТУ, 2007. – С. 89-98.
15. Дяченко О.Н. Аппаратная реализация и корректирующие возможности кодов Рида-Соломона// Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія “Проблеми моделювання та автоматизації проектування динамічних систем” (МАП-2007). Випуск: 6 (127) - Донецьк: ДонНТУ. - 2007. – С.113-121.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ЗВІТ
з лабораторної роботи № __
з курсу
“Найменування дисципліни”
на тему “Найменування теми”

Виконав:
ст. гр. КС-ХХу
Іваненко І.І.
Перевірив:
Петренко П.П.

Донецьк-20ZZ

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ, МОЛОДЕЖИ И СПОРТА
УКРАИНЫ**

ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ОТЧЕТ
по лабораторной работе №__
по курсу
“Наименование дисциплины”
на тему “Наименование темы”

Выполнил:
ст. гр. КС-ХХу
Иваненко И.И.
Проверил:
Петренко П.П.

Донецк-20ZZ

ПОРЯДОК ЗАХИСТУ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Захист лабораторної роботи складається з двох частин.

- 1. Демонстрація результатів роботи на комп'ютері.**
- 2. Захист звіту з лабораторної роботи.**

Демонстрація результатів роботи на комп'ютері повинна бути з пояснюючими коментарями.

- 1. Найменування коду.**
- 2. Коригувальні здібності коду.**
- 3. Показати на схемі кодер, імітацію помилок (при цьому вказати в яких позиціях кодового слова імітуються помилки) і декодер.**
- 4. Особливості апаратної реалізації кодера і декодера.**
- 5. Показати на часовій діаграмі виявлення (або виправлення) помилок. Розглянути три ситуації:**
 - 1) варіант без імітації помилок;**
 - 2) варіант з імітацією помилок, які виправляються (або виявляються);**
 - 3) варіант з імітацією помилок, які перебільшують коригувальні здібності коду.**

Пояснити отримані результати.

ПОРЯДОК ЗАЩИТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

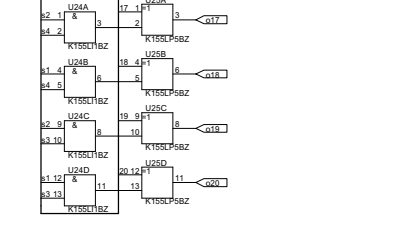
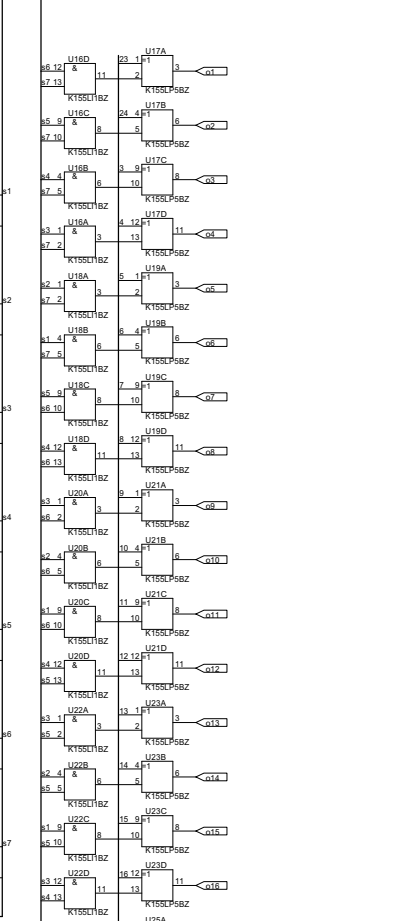
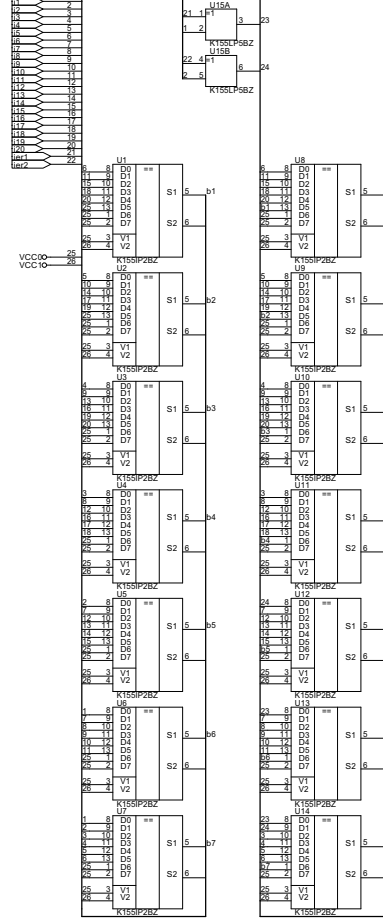
Защита лабораторной работы состоит из двух частей.

- 1. Демонстрация результатов работы на компьютере.**
- 2. Защита отчета по лабораторной работе.**

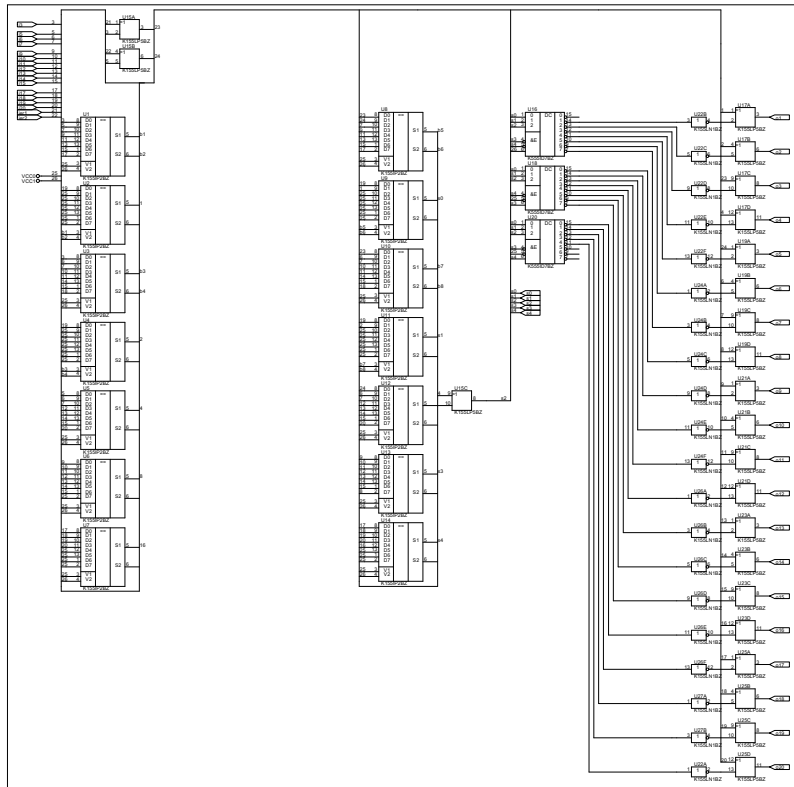
Демонстрация результатов работы на компьютере должна быть с поясняющими комментариями.

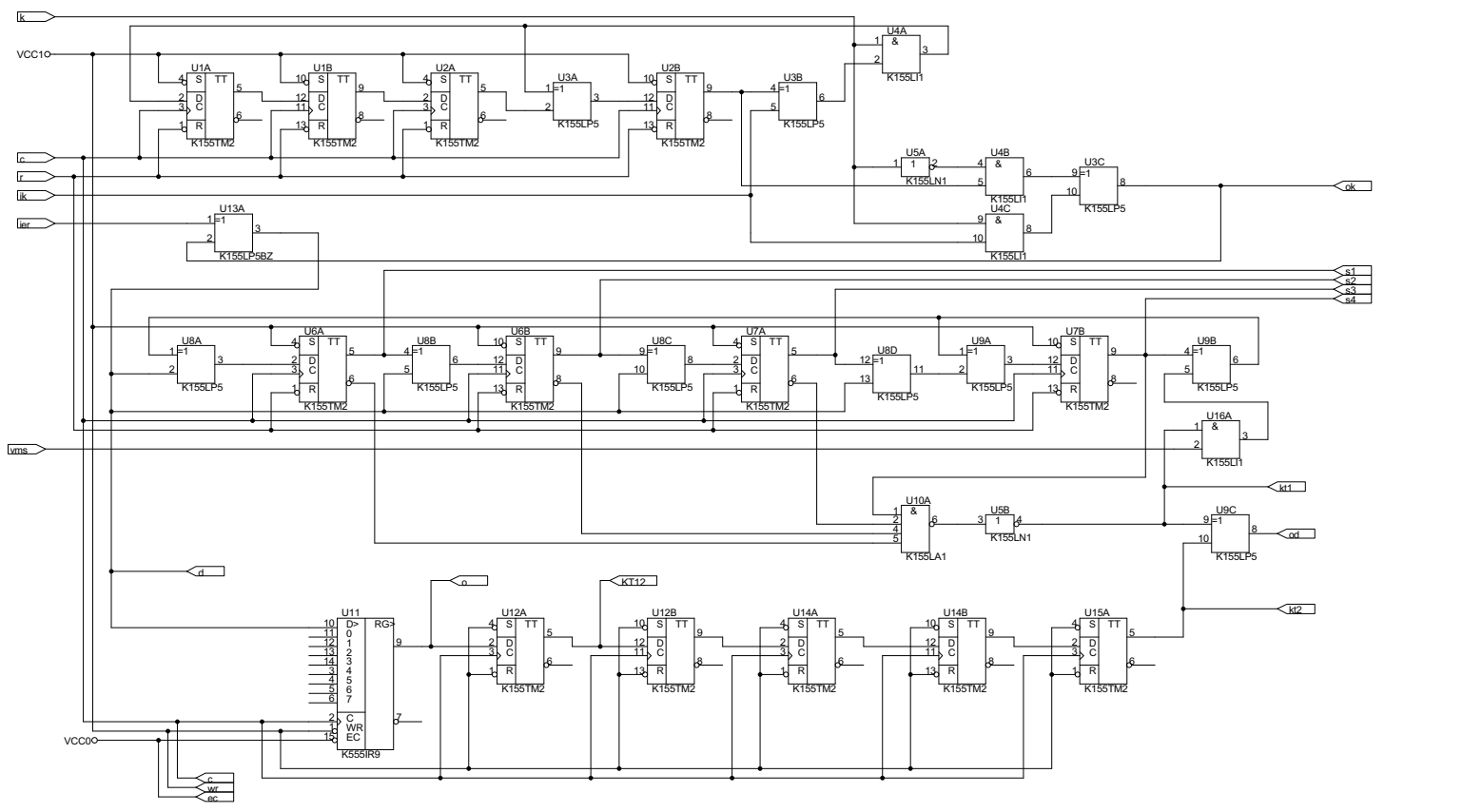
- 1. Наименование кода.**
- 2. Корректирующие способности кода.**
- 3. Показать на схеме кодер, имитацию ошибок (при этом указать в каких позициях кодового слова имитируются ошибки) и декодер.**
- 4. Особенности аппаратной реализации кодера и декодера.**
- 5. Показать на временной диаграмме обнаружение (или исправление) ошибок. Рассмотреть три ситуации:**
 - 1) вариант без имитации ошибок;**
 - 2) вариант с имитацией ошибок, которые исправляются (или обнаруживаются);**
 - 3) вариант с имитацией ошибок, которые превышают корректирующие способности кода.**

Пояснить полученные результаты.

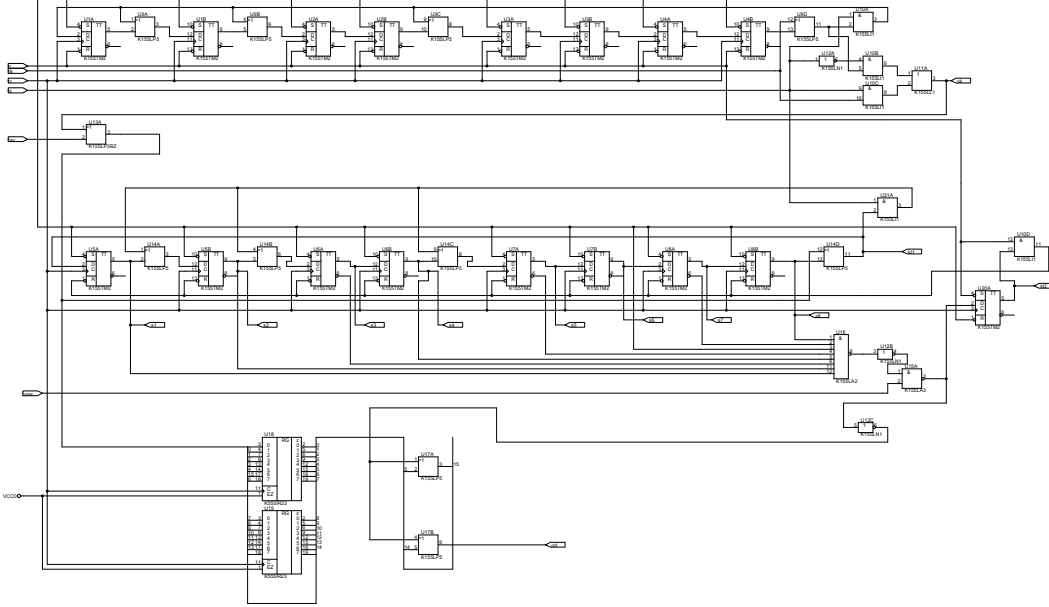


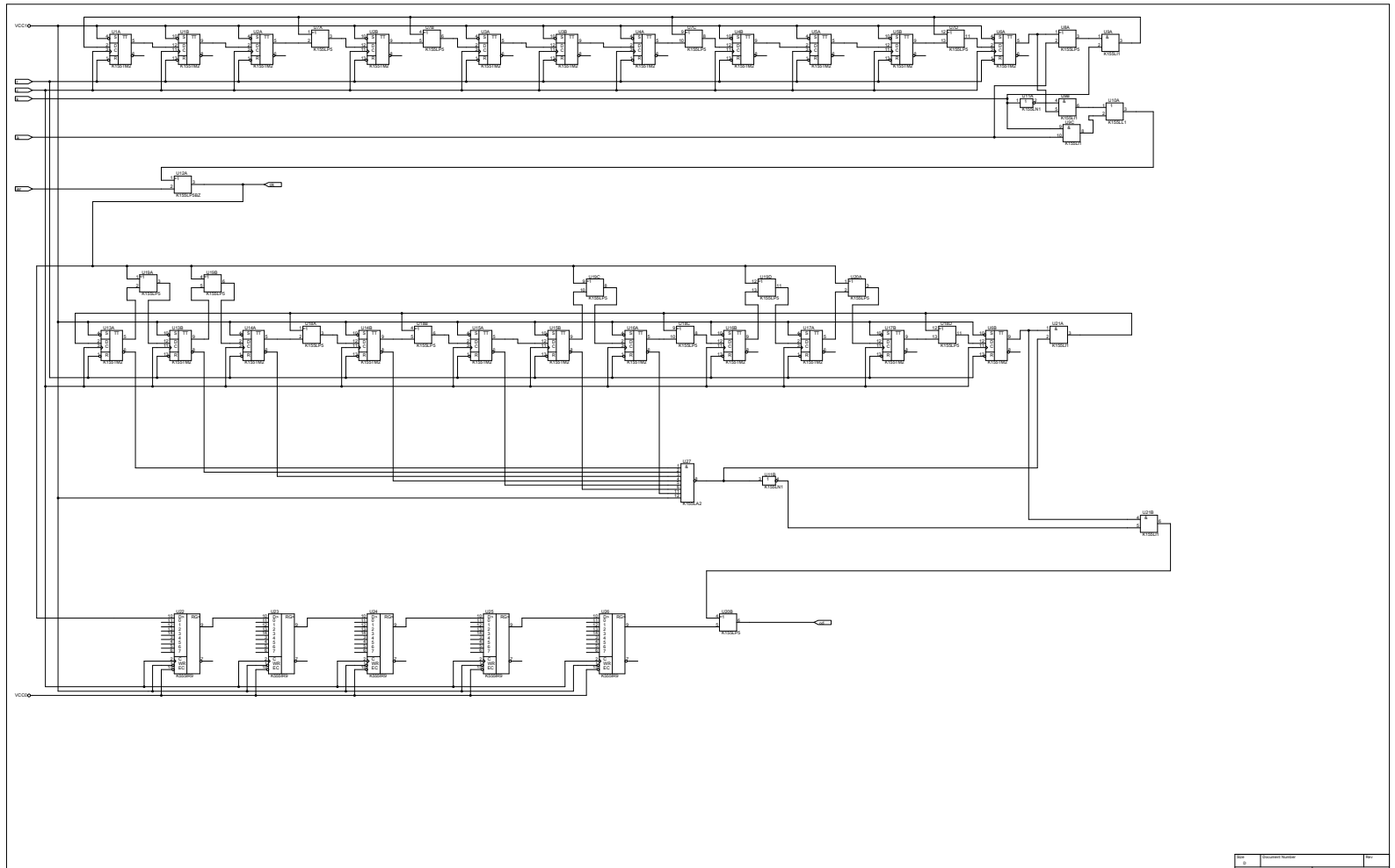
Size	Document Number	Rev
C		

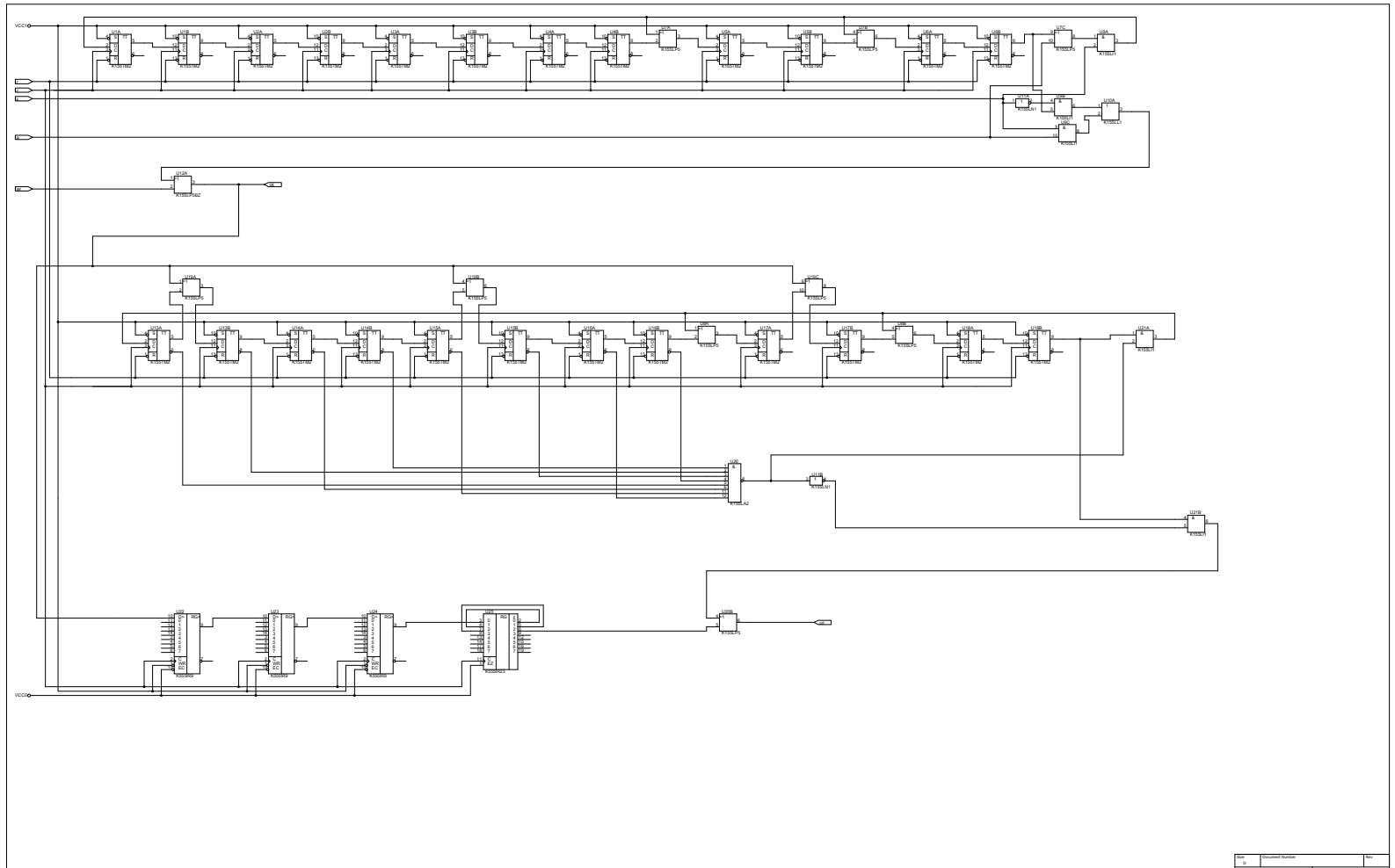


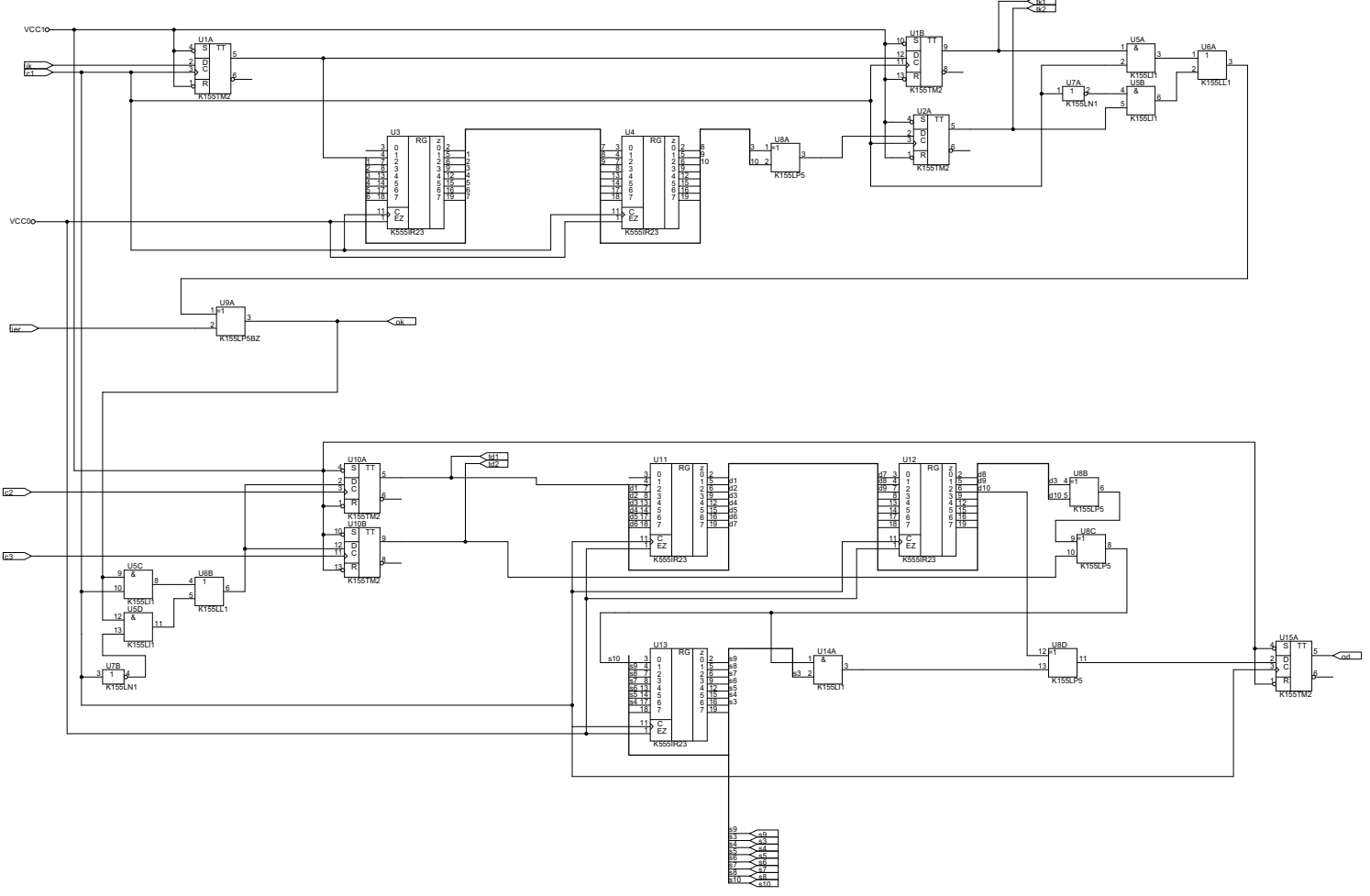


Size	Document Number	Rev
B		









Size	Document Number	Rev
C		