

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»

Інститут електроенергетики  
Факультет інформаційних технологій  
Кафедра безпеки інформації та телекомунікацій

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
кваліфікаційної роботи ступеня магістра

студента *Гриценка Віталія Леонідовича*

академічної групи *172м-19-1*

спеціальності *172 Телекомунікації та радіотехніка*

спеціалізації<sup>1</sup>

за освітньо-професійною програмою *Телекомунікації та радіотехніка*

на тему *Дослідження ефективності пристроїв лінійного кодування в  
системах зв'язку*

| Керівники              | Прізвище, ініціали        | Оцінка за шкалою |               | Підпис |
|------------------------|---------------------------|------------------|---------------|--------|
|                        |                           | рейтинговою      | інституційною |        |
| кваліфікаційної роботи | к.т.н., доц. Галушко О.М. |                  |               |        |
| розділів:              |                           |                  |               |        |
| спеціальний            | к.т.н., доц. Галушко О.М. |                  |               |        |
| економічний            | к.е.н., доц. Романюк Н.М. |                  |               |        |
| Рецензент              |                           |                  |               |        |
| Нормоконтролер         | к.т.н., доц. Галушко О.М. |                  |               |        |

Дніпро  
2020

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**  
завідувач кафедри  
безпеки інформації та телекомунікацій  
\_\_\_\_\_ д.т.н., проф. Корнієнко В.І.

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

**ЗАВДАННЯ  
на кваліфікаційну роботу  
ступеня магістра**

студенту Гриценку Віталієві Леонідовичу академічної групи 172М-19-1  
(прізвище ім'я по-батькові) (шифр)

спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка

за освітньо-професійною програмою Телекомунікації та радіотехніка

на тему Дослідження ефективності пристроїв лінійного кодування  
в системах зв'язку

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 22.10.2020 №880-с

| Розділ   | Зміст   | Термін виконання        |
|----------|---|-------------------------|
| Розділ 1 | Аналіз методів лінійного кодування та реалізації їх моделей.  | 01.09.2020 – 12.10.2020 |
| Розділ 2 | Удосконалення моделей пристроїв лінійного кодування; встановлення впливу завади у вигляді помилкового біту на процес декодування, аналіз здатності декодерів до виявлення такого типу завади та виявлення ефективності моделей пристроїв лінійного кодування. | 13.10.2020 – 24.11.2020 |
| Розділ 3 | Розрахунок витрат на моделювання і дослідження моделей пристроїв лінійного кодування.   | 25.11.2020 – 04.12.2020 |

Завдання видано \_\_\_\_\_

(підпис керівника)

Галушко О.М.  
(прізвище, ініціали)

Дата видачі: \_\_\_\_\_

Дата подання до екзаменаційної комісії: \_\_\_\_\_

Прийнято до виконання \_\_\_\_\_

(підпис студента)

Гриценко В.Л.  
(прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

**Пояснювальна записка:** 91 с., 60 рис., 4 табл., 4 додатки, 22 джерела.

**Об'єкт дослідження:** телекомунікаційні системи передачі.

**Предмет дослідження:** пристрої лінійного кодування.

**Мета кваліфікаційної роботи:** встановлення ефективності пристроїв лінійного кодування шляхом дослідженням їх моделей.

Для передачі по лінії зв'язку даних у цифровому форматі застосовують методи лінійного кодування та використовують різноманітні пристрої лінійних кодів. Ці пристрої мають свої переваги та недоліки, і обираються в залежності від необхідних умов передачі даних.

В першому розділі кваліфікаційної роботи магістра наведені основні поняття та визначення кодування, розглянуті методи лінійного кодування та описані існуючі моделі пристроїв, сформовані задачі магістерської роботи.

В другому розділі проведено удосконалення моделей пристроїв лінійного кодування, виконано аналіз роботи цих моделей, а також аналіз впливу на їх роботу завади у вигляді помилкового біту; здійснено моделювання впливу спотворення сигналу при його передачі, виконано порівняння ефективності моделей розглянутих пристроїв лінійного кодування.

В економічному розділі кваліфікаційної роботи розраховані трудомісткість та витрати на створення та дослідження моделей пристроїв лінійного кодування.

ЛІНІЙНЕ КОДУВАННЯ, ПРИСТРІЙ, КОДЕР, ДЕКОДЕР, ТИП, NRZ, RZ, АМІ, МАНЧЕСТЕРСЬКИЙ КОД, ЗАВАДОСТІЙКІСТЬ, ЕФЕКТИВНІСТЬ.

## РЕФЕРАТ

**Пояснительная записка:** 91 с., 60 рис., 4 табл., 4 приложения, 22 источника.

**Объект исследования:** телекоммуникационные системы передачи.

**Предмет исследования:** устройства линейного кодирования.

**Цель квалификационной работы:** установление эффективности устройств линейного кодирования путем исследования их моделей.

Для передачи по линии связи данных в цифровом формате применяются методы линейного кодирования и используются различные устройства линейных кодов. Эти устройства имеют свои преимущества и недостатки, и выбираются в зависимости от необходимых условий передачи данных.

В первом разделе квалификационной работы магистра приведены основные понятия и определения кодирования, рассмотрены методы линейного кодирования и описаны существующие модели устройств, сформулированы задачи магистерской работы.

Во втором разделе проведено усовершенствование моделей устройств линейного кодирования, выполнен анализ работы этих моделей, а также анализ влияния на их работу помехи в виде ложного бита; осуществлено моделирование влияния искажения сигнала при его передаче, выполнено сравнение эффективности моделей рассматриваемых устройств линейного кодирования.

В экономическом разделе квалификационной работы рассчитаны трудоемкость и затраты на создание и исследование моделей устройств линейного кодирования.

ЛИНЕЙНОЕ КОДИРОВАНИЕ, УСТРОЙСТВО, КОДЕРЫ, ДЕКОДЕРЫ, ТИП, NRZ, RZ, AMI, МАНЧЕСТЕРСКИЙ КОД, ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ.



## ABSTRACT

**Explanatory note:** 91 p., 60 fig., 4 tab., 4 appendices, 22 sources.

**Object of research:** telecommunications transmission systems.

**Subject of research:** line coding devices.

**Aim of the qualification work:** establishing the effectiveness of line coding devices by studying their models.

Line coding methods and various line code devices are used to transmit data in digital format over a communication line. These devices have their own advantages and disadvantages, and are selected depending on the required data transfer conditions.

In the first section of the master's qualification work, the basic concepts and definitions of coding are given, methods of line coding are considered and existing device models are described, the tasks of the master's work are formed.

In the second section, the improvement of the models of line coding devices, the work of these models is analyzed, as well the impact on their work interference in the form of a false bit is analyzed; the simulation of the influence of signal distortion during its transmission, the comparison of model efficiency of the considered devices line coding.

In the economic section of the qualification work, the complexity and costs of creating and researching models of line coding devices are calculated.

LINE CODING, DEVICE, ENCODERS, DECODERS, TYPE, NRZ, RZ, AMI, MANCHESTER CODE, NOISE IMMUNITY, EFFICIENCY.

## СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АМн – амплітудна маніпуляція;

АФМн – амплітудно-фазова маніпуляція;

АЦП – аналого-цифровий перетворювач;

ЕОМ – електронно-обчислювальна машина;

ІКМ – імпульсно-кодова модуляція;

ФМн – фазова маніпуляція;

ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач;

ЧМн – частотна маніпуляція;

ЧПІ – чергування послідовності імпульсів;

АМІ (Alternate Mark Inversion) – метод біполярного кодування з альтернативною інверсією;

AND – логічна операція «І»;

BRI (Basic Rate Interface) – доступ на основній швидкості;

CDDI (Copper Distributed Data Interface) – є реалізацією протоколу FDDI для витої пари;

FDDI (Fiber Distributed Data Interface) – розподілений волоконний інтерфейс даних;

F2F (Frequency/double Frequency) – термін, що використовується при біфазному кодуванні на картках с магнітними смугами;

GbE (Gigabit Ethernet) – термін, що описує технологію передачі Ethernet-кадрів зі швидкістю 1 Гб/с;

HDB3 (High density bipolar of order 3) – один з видів тривірневого лінійного кодування;

HDLC (High-Level Data Link Control) – біт-орієнтований протокол канального рівня мережевої моделі OSI;

HDSL (High Data Rate Digital Subscriber Line) – високошвидкісна цифрова абонентська лінія;

ISDN (Integrated Services Digital Network) – цифрова мережа з інтегрованими службами (послугами);

MLT-3 (Multi Level Transmission — 3) – один з видів трирівневого лінійного кодування;

NAND – логічна операція «І-НЕ»;

NOR – логічна операція виключне «АБО»;

NRZ (Non-Return-to-Zero) – кодування без повернення до нуля;

OSI (The Open Systems Interconnection model) – абстрактна мережева модель для комунікацій і розробки мережевих протоколів;

PCM (Pulse-code Modulation) – імпульсно-кодової модуляція;

RLL (Run Length Limited) – кодування з обмеженням довжини поля запису;

RZ (Return-to-Zero) – кодування з поверненням до нуля;

SDSL (Symmetric Digital Subscriber Line) – симетрична цифрова абонентська лінія;

TTL (Transistor-transistor logic) – транзисторно-транзисторна логіка;

xDSL (X Digital Subscriber Line) – сімейство технологій, для цифрової абонентської лінії;

XNOR – логічна операція виключне «АБО-НЕ»;

XOR – логічна операція виключне «АБО»;

2B1Q (2 Binary 1 Quaternary) – потенційний чотирьохрівневий код.

## ЗМІСТ

|   |    |
|---|----|
| ВСТУП.....  | 10 |
| 1 СТАН ПИТАННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ.....                                    | 12 |
| 1.1 Мета кодування. Основні поняття і визначення.....                     | 12 |
| 1.2 Історія появи цифрового кодування.....                                | 14 |
| 1.3 Лінійне кодування.....  | 15 |
| 1.4 Методи передачі дискретних даних на фізичному рівні.....              | 17 |
| 1.4.1 Аналогове кодування.....  | 17 |
| 1.4.2 Цифрове кодування.....  | 19 |
| 1.5 Швидкість передачі даних по лінії при лінійному кодуванні.....        | 21 |
| 1.6 Фізичне кодування.....  | 23 |
| 1.7 Логічне кодування.....  | 24 |
| 1.8 Методи цифрового лінійного кодування.....                             | 26 |
| 1.8.1 Системи з дворівневим кодуванням.....                               | 27 |
| 1.8.1.1 Кодування без повернення до нуля.....                             | 27 |
| 1.8.1.2 Біфазне кодування.....  | 31 |
| 1.8.1.3 Манчестерське кодування.....                                      | 31 |
| 1.8.2 Тринарне (трьохрівневе) кодування.....                              | 34 |
| 1.8.2.1 Код з поверненням до нуля.....                                    | 35 |
| 1.8.2.2 Multi Level Transmission 3 (MLT-3).....                           | 37 |
| 1.8.2.3 Гібридний троїчний код. Hybrid ternary code.....                  | 38 |
| 1.8.2.4 Біполярний код АМІ.....   | 38 |
| 1.8.2.5 Код HDB3.....   | 40 |
| 1.8.3 Тетрарне (чотирьохрівневе) кодування.....                           | 41 |
| 1.8.3.1 Код 2B1Q.....   | 41 |
| 1.8.4 Багаторівневі коди.....   | 42 |
| 1.9 Постановка задачі.....  | 43 |
| 1.10 Висновки.....  | 44 |
| 2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....   | 45 |
| 2.1 Моделювання та виявлення недоліків пристроїв лінійного кодування..... | 45 |

|   |    |
|---|----|
| 2.1.1 Уніполярний код без повернення до нуля .....                        | 45 |
| 2.1.2 Біполярний код без повернення до нуля.....                          | 47 |
| 2.1.3 Уніполярний код з поверненням до нуля .....                         | 49 |
| 2.1.4 Біполярний код з поверненням до нуля .....                          | 51 |
| 2.1.5. Манчестерське кодування .....                                      | 54 |
| 2.1.6 Кодування АМІ.....  | 58 |
| 2.2 Дослідження перешкодостійкості реалізованих пристроїв кодування ..... | 62 |
| 2.2.1 Дослідження моделей на помилковий біт в закодованому сигналі .....  | 62 |
| 2.2.2 Дослідження моделей на завадостійкість к спотворенням сигналу ..... | 66 |
| 2.2.2.1 Уніполярний код без повернення до нуля .....                      | 66 |
| 2.2.2.2 Біполярний код без повернення до нуля.....                        | 67 |
| 2.2.2.3 Уніполярний код з поверненням до нуля .....                       | 69 |
| 2.2.2.4 Біполярний код з поверненням до нуля .....                        | 70 |
| 2.2.2.5 Манчестерське кодування .....                                     | 72 |
| 2.2.2.6 Кодування АМІ.....  | 73 |
| 2.3 Порівняння ефективності роботи моделей лінійного кодування.....       | 75 |
| 2.4 Висновки .....  | 78 |
| 3 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ .....  | 79 |
| 3.1 Визначення трудомісткості дослідження моделей лінійного кодування..   | 79 |
| 3.2 Розрахунок витрат на дослідження моделей лінійного кодування.....     | 80 |
| 3.3 Висновки .....  | 84 |
| ВИСНОВКИ.....   | 85 |
| ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....  | 86 |
| ДОДАТОК А. Відомість матеріалів дипломної роботи.....                     | 88 |
| ДОДАТОК Б. Відгук керівника дипломної роботи .....                        | 89 |
| ДОДАТОК В. Відгук керівника економічного розділу.....                     | 90 |
| ДОДАТОК Г. Перелік документів на оптичному носії.....                     | 91 |

## ВСТУП

На сьогоднішній день цифрові пристрої знайшли широке застосування і використовуються повсюдно, починаючи від персональної, побутової техніки, закінчуючи високотехнологічними виробництвами і іншими галузями, в тому числі і телекомунікаційними системами.

У зв'язку вже досить давно закріпилося цифрове обладнання, яке дозволило значно збільшити число переданих каналів і даних в цілому. Сучасні пристрої передачі даних є складними системами, які дозволяють доставляти величезні обсяги інформації на тисячі кілометрів по мідним, оптичним або бездротовим лініям зв'язку. У цифрових пристроях передачі інформація обробляється та зберігається за допомогою двійкової послідовності або двійкового коду, що складається з «0» і «1». Процес перетворення з форми, зручної для безпосереднього використання інформації, в форму, зручну для передачі, зберігання або автоматичної переробки називається кодуванням інформації.

Кодування даних є одним з ключових процесів в системах передачі, обробки та зберігання інформації. Процес перетворення дискретних сигналів, в форму сигналу придатну для подальшої передачі по електричному, оптичному або радіоканалу зв'язку називають лінійним кодом.

Правильний вибір лінійного коду дозволяє підвищити достовірність передачі інформації, збільшити швидкість передачі або знизити вимоги до вибору кабелю. Наприклад, при різних кодах гранична швидкість передачі по одному і тому ж кабелю може відрізнятись в два рази. Від обраного коду безпосередньо залежить також складність мережної апаратури (вузли кодування і декодування коду).

При виборі методу лінійного кодування намагаються досягти цілей:

- забезпечити найменшу ширину спектра сигналу при заданій швидкості передачі інформації  $N$  біт/с. Мінімізувати величину постійної складової в спектрі лінійного сигналу;

- забезпечити можливість приймачу виділяти з цифрового потоку коливання тактової частоти і потім формувати з нього тактові імпульси при будь-якій статистиці бітового потоку на вході передавача. Іншими словами, приймач буде надійно підтримувати тактову синхронізацію до отриманого сигналу;
- бажано, щоб код був схильний розпізнавати помилки;
- володіти низькою вартістю реалізації.

Найбільш відомими лінійними кодами є коди без повернення до нуля, коди з поверненням до нуля, манчестерський, код з чергуванням імпульсів (AMI).

Метою даної роботи є дослідження ефективності моделей пристроїв найбільш відомих лінійних кодів.

## 1 СТАН ПИТАННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

### 1.1 Мета кодування. Основні поняття і визначення

Під кодуванням, в широкому сенсі, розуміють процес перетворення повідомлень в сигнал. Як при передачі, так і при зберіганні й обробці інформації значні переваги дає дискретна форма представлення сигналів. Тому в тих випадках, коли первинні сигнали інформаційних систем є безперервними, відбувається, як правило, попереднє перетворення їх в дискретні сигнали. У зв'язку з цим термін «кодування» відносять зазвичай до дискретних сигналів і під кодуванням, у вузькому сенсі слова, розуміють відображення дискретних повідомлень сигналами у вигляді певних сполучень символів. Сукупність правил, відповідно до яких виробляють ці операції, називають кодом [5].

Кодування переслідує кілька цілей. Перша з них полягає в тому, щоб надати повідомлення в такій системі символів, яка забезпечувала б простоту і надійність апаратної реалізації інформаційних пристроїв і їх необхідну ефективність. Друга мета кодування полягає в тому, щоб забезпечити найкраще узгодження властивостей джерела повідомлень з властивостями каналу зв'язку. Шляхом такого узгодження домагаються виграшу в часі передачі, тобто підвищення ефективності системи. Нарешті, при наявності перешкод, кодування може забезпечити досить високу достовірність передачі або обробки інформації.

Важливим аспектом є те, що кодування, яке забезпечує зміну структури сигналів, ні в якій мірі не повинно змінювати кількість інформації, що міститься в первісному повідомленні.

Елементарними сигналами, які представляють собою символи кодової комбінації технічних інформаційних систем, зазвичай служать поодинокі імпульси постійного струму (відео імпульси) або змінного струму (радіо імпульси). Елементарним сигналом може слугувати пауза між імпульсами або комбінація паузи і імпульсу і так далі. Ці сигнали повинні відрізнятися по якомусь одному або декільком параметрам часто званими кодовими ознаками.



В якості кодових ознак застосовуються такі параметри як величина, полярність, час (тривалість або фаза імпульсу), частота заповнення імпульсу, тощо.

За кількістю різних символів кодових комбінаціях розрізняють коди: поодинокі, двійкова, багатопозиційні. У одиничним кодів використовується однакові символи. Кодові комбінації відрізняються один від одного лише кількістю символів (імпульсів).

Одиничний код відрізняється своєю простотою. Однак внаслідок того, що він не рівномірний, перешкодозахищеність його низька. Крім того, при передачі великої кількості повідомлень відбувається зміна в широкіх межах довжини коду, що викликає певні незручності.

У зв'язку з вище викладеним, одиничний код практично не використовується для передачі інформації по каналу зв'язку, а використовується лише при проміжних перетвореннях сигналів на передавальній і приймальній сторонах.

Найбільшого поширення набули двійкові коди. Це пов'язано з наступним. Формування кодових сигналів і їх дешифрування проводиться за допомогою релейних пристроїв, здатних займати ряд стійких станів. Найпростішими релейними пристроями є пристрій з двома станами. До такого типу пристроїв належить більшість електронних, магнітних, електромагнітних та інших типів безконтактних реле. Крім того, слід також враховувати простоту зберігання інформації і виконання арифметичних і логічних операцій при двійковому кодуванні.

Багатопозиційні коди поки не знайшли широкого застосування в інформаційних системах.

По можливості виявлення і виправлення помилок розрізняють прості (примітивні) і коригувальні коди. У простих кодах помилка в прийомі хоча б одного елемента кодової комбінації призводить до неправильної реєстрації переданого повідомлення. Коригувальні коди дозволяють виявляти і усувати помилки в кодових комбінаціях [10].

## 1.2 Історія появи цифрового кодування

Ще в останні двадцять п'ять років ХХ-го століття на зміну аналоговим методам передачі повідомлень прийшли і почали широко впроваджуватися цифрові методи. Ця революція в області передачі сигналів була підготовлена в 30-х роках, коли були винайдені два виключно важливих для подальшого розвитку техніки зв'язку види перетворення аналогових сигналів в цифрову форму – імпульсно-кодова і дельта-модуляція.

Імпульсно-кодова модуляція вперше була розкрита у відносно незрозумілому патенті, опублікованому Полом М. Рейні (Paul M. Rainey) з Western Electric в 1921 році. У патенті описується метод передачі факсимільної інформації в закодованій формі по телеграфній лінії із застосуванням 5-розрядної ІКМ.

Патент Рейні ілюструє кілька важливих понять: квантування з використанням паралельного АЦП, передача послідовних даних, відновлення квантованих даних за допомогою ЦАП. Ці ідеї є основоположними для ІКМ. Однак його винахід не викликав особливого інтересу в той час і фактично був забутий інженерами компанії «Белл Систем». Його патент був виявлений через багато років, коли з'явилися інші патенти на винахід ІКМ.

У 1937 році одним з перших патентів, після винаходу Рейні, був патент Алекса Харлі Рівза. Патенти Рівза розкривають всі основні складові ІКМ: відліки, квантування, кодування дискретних відліків для послідовних, паралельних, фазо-модульованих й інших методів передачі. Щоб відновити оригінальний аналоговий сигнал, Рівз запропонував декодер на приймаючому кінці. Однак, незважаючи на значущість своєї роботи, після опублікування патентів Рівз направив свою увагу на передачу мови в короткохвильовому діапазоні з використанням імпульсно-амплітудної, широтно-імпульсної, імпульсно-позиційної модуляції, замість того щоб більш глибоко вивчити можливості ІКМ [13].

Відразу ж після цього пішли подібні патенти в Англії і США, в яких згадувався Рівз як винахідник.

Ці патенти всебічно розкривали такі теми:

- 1) основні принципи квантування і кодування;
- 2) вибір роздільної здатності, відповідного шуму і смуги пропускання передавального каналу;
- 3) передача сигналів в цифровій формі послідовно, паралельно і як модуляція несучих.

Під час Другої світової війни дослідженням ІКМ займалися інженери телефонної лабораторії Белла. Вони акцентували свою увагу на системі шифровки мови, заснованої на техніці ІКМ, однак більшість з розробок військового часу не були опубліковані й довгий час в період повоєнного часу, так як вони мали гриф секретності. Перша система з ІКМ була впроваджена на мережі США у 1962 році. Це була 24-канальна система T1 з семирозрядним кодуванням і з груповою швидкістю передачі 1,544 Мбіт/с. [12] З цього моменту і почався активний розвиток цифрових систем передачі у всьому світі.

### 1.3 Лінійне кодування

Цифрові сигнали передаються по різних лініях зв'язку – кабельним (електричним і волоконно-оптичним), радіорелейним і супутниковим. Залежно від використовуваного середовища поширення сигналам в лінії надають різний вигляд, при якому параметри сигналу в найбільшій мірі узгоджені з параметрами лінії зв'язку. Ця операція називається лінійним кодуванням, при якому символи «1» і «0» інформаційного сигналу замінюються цифровим сигналом, характеристики якого в більшій мірі відповідають параметрам лінії. Отриманий в результаті лінійного кодування цифровий сигнал називається лінійним кодом. В телефонному зв'язку цей сигнал часто іменується кодом каналу (line code) [1].

До лінійних кодів ставляться такі вимоги:

- однозначність декодування, тобто з лінійного цифрового сигналу повинна однозначно формуватися вихідна послідовність двійкових символів;

- в енергетичному спектрі лінійного цифрового сигналу повинні бути ослаблені низькочастотні й високочастотні складові;
- в лінійному цифровому сигналі повинна бути забезпечена висока щільність імпульсів, тобто число імпульсів, що визначають тактові інтервали, має бути значно більшим числа прогалів («нулів»).

Залежно від обраного середовища поширення застосовують різні лінійні коди. У радіорелейних і супутникових лініях, наприклад, використовують різні види фазової або частотної маніпуляції. У лініях зв'язку електричних кабелів поширена передача цифрових сигналів імпульсами постійного струму. При цьому сигнали в лінії можуть бути дворівневими і багаторівневими, з останніх найчастіше застосовуються трирівневі сигнали. Дворівневі сигнали можуть приймати в процесі кодування значення напруги «+» або «-», трирівневі сигнали приймають значення «+», «-» і «0»(пропуск). Лінійні коди цифрових волоконно-оптичних систем передачі представляють дворівневі сигнали, які беруть в процесі кодування значення «+» або «0» (пропуск) [4].

У зарубіжній англійській літературі практично завжди використовується термін «лінійне кодування» («line code» або «linear coding»), який не слід плутати з перешкодостійкими лінійними кодами [2]. Розглядаючи мережеву модель OSI, завдання перешкодостійкого лінійного кодування вирішується на каналному рівні. Лінійне кодування, в якому відбувається представлення дискретних сигналів для передачі на відстань по фізичному каналу зв'язку, відбувається на нижньому рівні мережевої моделі OSI – фізичному.

Також, до лінійного кодування застосовують такі терміни як маніпуляція сигналу, модуляція, імпульсно-кодова маніпуляція. Оскільки, в лінійному кодуванні відбувається представлення дискретних сигналів в фізичні (електричні або оптичні) сигнали, терміном, що описує суть кодування, є «фізичне кодування».

## 1.4 Методи передачі дискретних даних на фізичному рівні

Для перетворення кодового слова в електричний сигнал використовуються методи аналогового і цифрового кодування. Для передачі сигналу по вузько смуговим каналам, кодування здійснюється шляхом модуляції (маніпуляція) синусоїдального коливання. При цифровому кодуванні використовуються методи, засновані на маніпулюванні імпульсними сигналами.

### 1.4.1 Аналогове кодування

При аналоговому кодуванні використовуються всі три методи модуляції синусоїдального носія. Для подання на фізичному рівні двійкових символів модульований параметр носія повинен приймати лише два дискретних значення. У деяких випадках може використовуватися і більше, але обов'язкове дискретне число значень. Така дискретна модуляція називається маніпуляцією (shift keying) [1].

Основні типи сигналів, що виникають при аналоговому кодуванні послідовності двійкових символів, представлені на рис. 1.1. Тут кодуванню на фізичному рівні піддається один відлік значень сигналу, представлений восьмибітовим словом:  $10011101 = 128 + 16 + 8 + 4 + 1 = 153$ .

АМн – амплітудно-маніпульований сигнал. Тут двійковому нулю і двійковій одиниці відповідають два різних значення амплітуди синусоїдального носія (1 – велика амплітуда, 0 – мала або навіть нульова амплітуда). Амплітудна маніпуляція була винайдена свого часу для цілей бездротової телеграфії і зараз практично не застосовується.

ЧМН – частотно-маніпульований сигнал. У режимі двочастотної маніпуляції при передачі двійкової одиниці частота сигналу збільшується, при передачі двійкового нуля – зменшується. Використовується і при багаточастотній М-арній передачі послідовностей двійкових символів, причому число М вибирається рівним цілій степені двох (два, чотири, вісім і т.д.).

Сигнал на рис. 1.1 ЧМн відповідає частотній маніпуляції без розриву фази. При багаточастотній маніпуляції перехід від однієї частоти до іншої може супроводжуватися різкими змінами (розривами) фази.

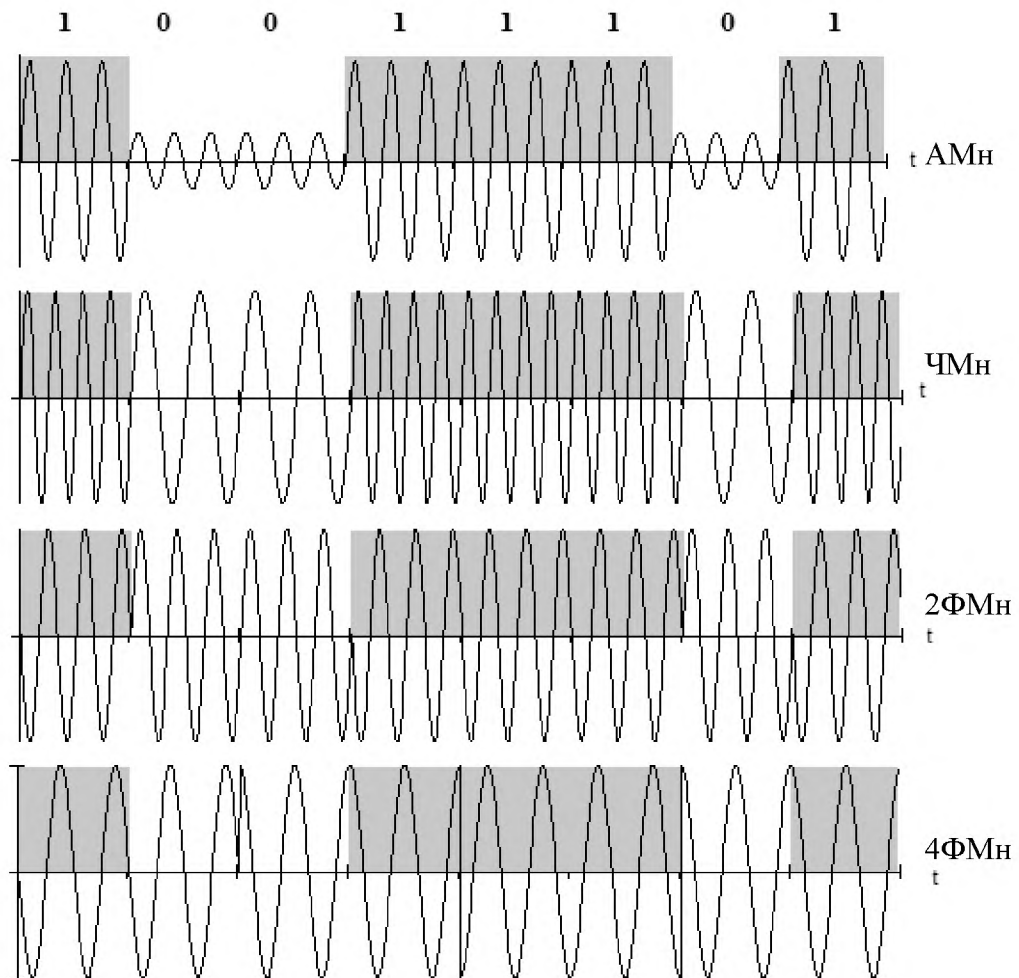


Рисунок 1.1 – Аналогове кодування сигналів

ФМн – фазоманіпульований сигнал при 2-арній (рис. 1.1 2ФМн) і при 4-арній (рис. 1.1 4ФМн) передачі інформації. Тут фрагменти синусоїдального сигналу, які відповідають різним двійковим символам або послідовностям символів, характеризуються двома, або відповідно чотирма, значеннями фази, рівними  $0$  і  $\pi$  або  $0, \pi/2, \pi$  і  $3\pi/2$ . При переході від одного символу до іншого або від однієї 2-арної послідовності символів до іншої, можливі розриви фази сигналу, як це і видно на графіках рис. 1.1. Фазова маніпуляція розроблялася спочатку в рамках програми освоєння далекого космосу. В даний час фазова

маніпуляція широко використовується в промислових, комерційних і військових системах передачі даних.

АФМн – амплітудно-фазова маніпуляція. АФМн відрізняється тим, що тут маніпуляції піддається як амплітуда, так і фаза сигналу. В результаті отримуємо сигнал, в якому в залежності від переданих бітів або подвійних, або потрійних бітів, можуть виникати одночасно як перепади амплітуд, так і фаз.

При відповідному підборі частот несучих, для різних вимірюваних величин, значення декількох величин можна передавати одночасно по одному широкосмугового каналу. Канал працює на кілька приймачів (демодуляторів), що підключаються через смугові фільтри, які вирізають відповідні частотні діапазони.

#### 1.4.2 Цифрове кодування

Цифрове кодування послідовностей бітів здійснюється за допомогою імпульсно-кодової модуляції (pulse-code modulation – PCM). В процесі PCM біти кодового слова представляються електричними імпульсами. Залежно від вимог, що пред'являються до сигналу PCM, використовуються різні модифікації потенційних та імпульсних кодів [17].

У потенційних кодах для представлення логічних одиниць і нулів використовуються тільки рівні потенціалу сигналу. Імпульсні коди дозволяють представити двійкові дані або імпульсами певної полярності, або частиною імпульсу – перепадом потенціалу певного напрямку.

Якість передачі даних, а саме: надійність і достовірність доставки, можливість виявлення та виправлення виникаючих помилок, вартість реалізації, – істотно залежить від обраного методу цифрового кодування, який, в свою чергу, значною мірою визначає пропускну здатність середовища передачі. У зв'язку з цим, для забезпечення якості передачі даних до методів цифрового кодування пред'являється ряд вимог:

- зменшення спектра сигналу при одній і тій же бітовій швидкості;

- підтримка синхронізації між передавачем і приймачем сигналів за рахунок наявності в переданих сигналах ознак, на основі яких реалізується самосинхронізація;
- відсутність постійної складової в сигналі, що зрушує спектр сигналу в область низьких частот;
- можливість виявлення помилок та їх виправлення;
- низька вартість реалізації методу кодування, що залежить від кількості рівнів сигналу.

Мінімізація спектра результуючого сигналу дозволяє, при заданій смузі пропускання каналу зв'язку, передавати більший обсяг даних за одиницю часу. Це може бути реалізовано, наприклад, за рахунок використання частотного мультиплексування шляхом організації кількох логічних каналів в одній і тій же лінії зв'язку, що і дозволяє збільшити швидкість передачі даних. Крім того, в спектрі сигналу має бути відсутня постійна складова, тобто відсутній постійний струм між передавачем і приймачем. Це обумовлено застосуванням в електричних лініях зв'язку трансформаторних схем для гальванічної розв'язки, що перешкоджає проходженню постійного струму. Спектр результуючого сигналу залежить від:

- методу кодування і модуляції;
- швидкості модуляції, що впливає на швидкість передачі даних;
- складу переданих даних.

Для синхронізації передавача і приймача сигналів з метою визначення моменту зчитування в приймачі значення чергового бітового інтервалу застосовуються спеціальні методи кодування, що мають здатність самосинхронізуватися. У цих методах синхронізація приймача з передавачем виконується на основі ознаки, в якості якої служить будь-який різкий перепад сигналу, званий фронтом сигналу. Вимога відсутності постійної складової в сигналі обумовлена необхідністю підтримки синхронізації приймача з передавачем. Крім того бажано, щоб нижня частота сигналу, що передається відрізнялася від нуля. Це дозволяє зменшити спектр сигналу, а також не



перешкоджає проходженню постійного струму в електричних лініях зв'язку при наявності трансформаторних схем гальванічної розв'язки. Бажаним, але необов'язковим вимогам, які ставляться до методів цифрового кодування, є можливість виявлення помилок і, в ідеалі, їх виправлення. Це дозволяє заощадити час, оскільки помилка виявляється на фізичному рівні. При цьому помилковий кадр відкидається до завершення повного прийому в буфер.

Вартість реалізації методу цифрового кодування пов'язана з кількістю рівнів сигналу, причому чим більше рівнів сигналу, тим потужніша потрібна приймально-передавальна апаратура, отже, більш дорога. Вимоги до методів цифрового кодування є суперечливими. При цьому кожен з методів цифрового кодування в порівнянні з іншими має свої конкретні переваги і недоліки.

### 1.5 Швидкість передачі даних по лінії при лінійному кодуванні

Розрізняють бодову (модуляційну) та інформаційну швидкість. Бодова швидкість вимірюється в бодах, тобто числом змін дискретного сигналу в одиницю часу, а інформаційна – числом бітів інформації, переданих в одиницю часу. Саме бодова швидкість визначається смугою пропускання лінії [9].

Якщо на бодовому інтервалі (в циклі змін сигналу) передається  $N$  біт, то число градацій модульованого параметра несучої протягом циклу дорівнює  $2N$ . Наприклад, при числі градацій 16 і швидкості 1200 бод одному боду відповідає 4 біт/с й інформаційна швидкість складе 4800 біт/с.

$$N = \frac{1}{\tau_0} \quad (1.1)$$

$\tau_0$  – бітовий інтервал (час передачі одного біта).

Чим більше частота несучого сигналу, що передається (фундаментальної частоти сигналу), тим більше інформації в одиницю часу передається по лінії і тим вище пропускна здатність лінії при обраному способі фізичного кодування. Однак, зі збільшенням частоти несучого сигналу збільшується і ширина

спектру цього сигналу. При цьому сигнал буде спотворюватися за рахунок дисперсії. Фізичні характеристики каналу обмежують швидкість передачі даних. Фундаментальна межа максимальної швидкості передачі даних  $C$  в каналі з обмеженою смугою частот  $W$  встановив Х. Найквіст:

$$C=2F \log_2 M \quad (1.2)$$

де  $M$  – число дискретних рівнів кодування сигналів;

$F$  – ширина смуги пропускання в Гц.

Верхня межа швидкості передачі даних в каналі з шумом визначається теоремою Шеннона:

$$C=F \log_2 \left(1 + \frac{S}{N}\right) \quad (1.3)$$

$F$  – ширина смуги пропускання каналу в Гц;

$S$  – потужність сигналу в Вт;

$N$  – потужність шуму в Вт.

Сигнал у вигляді імпульсної послідовності має нескінченний спектр. Основна енергія сигналу зосереджена в діапазоні частот від нуля до частоти  $f = 1/t_0$  (перша пелюстка енергетичного спектра сигналу), де  $t_0$  – бодовий інтервал, тобто тривалість одиничного імпульсу лінійного сигналу [16].

Теоретично, відповідно до межі Найквіста, максимально допустима швидкість зміни значень дискретного сигналу при передачі послідовності прямокутних імпульсів по каналу зв'язку, еквівалентом якого є ідеальний ФНЧ з прямокутною АЧХ і лінійною ФЧХ та з частотою зрізу  $f_{гр}$ , дорівнює формулі 1.3:

$$B_{max} = 2f_{гр} \quad (1.3)$$

Зазначене обмеження пов'язане з наявністю перехідних процесів на виході ФНЧ, при цьому час наростання/спаду фронту сигналу визначається за формулою 1.4:

$$t_n = \frac{1}{2f_{гр}} \quad (1.4)$$

При максимально допустимій швидкості передачі сигналу  $t_0 = t_n$ . Якщо інтервал  $t_0 < t_n$ , відбувається неприпустиме спотворення форми сигналу на виході каналу і, як наслідок, помилки при прийомі. Таким чином, швидкість передачі інформації  $N$  (Біт/с) залежить від швидкості передачі сигналу  $B$  (Бод) і обраного методу кодування сигналу на фізичному рівні.

## 1.6 Фізичне кодування

Нижнім рівнем в ієрархії кодування є фізичне кодування, яке визначає число дискретних рівнів сигналу (амплітуди напруги, амплітуди струму, амплітуди яскравості) [14].

Фізичне кодування розглядає кодування тільки на самому нижчому рівні ієрархії кодування – на фізичному рівні і не розглядає більш високі рівні в ієрархії кодування, до яких відносяться логічне кодування різних рівнів.

З точки зору фізичного кодування, цифровий сигнал може мати два, три, чотири, п'ять і так далі рівнів амплітуди напруги, амплітуди струму, амплітуди світла.

У деяких випадках фізичне кодування вирішує проблеми:

- Ємнісного опору – наростання в дротовому каналі зв'язку постійної складової (паразитної ємності), яка перешкоджає функціональності електрообладнання;
- Порушення щільності проходження одиничних імпульсів – при передачі послідовності логічних нулів або одиниць порушується синхронізація передавача і приймача.

## 1.7 Логічне кодування

Логічне кодування виконується передавачем до фізичного кодування, розглянутого вище, засобами каналного або фізичного рівня. На етапі логічного кодування борються з недоліками методів фізичного цифрового кодування – відсутності синхронізації, наявності постійної складової. Таким чином, спочатку за допомогою засобів логічного кодування формуються виправлені послідовності даних, які потім за допомогою методів фізичного кодування передаються по лініях зв'язку [6].

Логічне кодування передбачає заміну біт вихідної інформаційної послідовності – новою послідовністю біт, що несе ту ж інформацію, але володіє, крім цього, додатковими властивостями. Наприклад, можливістю для приймальної сторони виявляти помилки в прийнятих даних або надійно підтримувати синхронізацію з вхідним сигналом.

Розрізняють два методи логічного кодування:

- надлишкові коди;
- скремблювання.

Надмірність логічного кодування дозволяє полегшити вирішення завдань фізичного кодування - виключити «незручні» бітові послідовності, наприклад довгі ланцюжки 0 або 1, збільшити кодову відстань, поліпшити спектральні характеристики фізичного сигналу і передавати спеціальні службові сигнали.

Логічний код 4В/5В замінює початкові групи (слова) довжиною 4 біта словами довжиною 5 біт. В результаті, загальна кількість можливих бітових комбінацій більше, ніж для початкових груп. У кодову таблицю включають 16 кодових слів, які не містять більше двох нулів підряд, і використовують їх для передачі даних. Код гарантує, що при будь-якому поєднанні кодових слів, на лінії не можуть зустрітися більше трьох нулів підряд.

Решта комбінацій коду використовується для передачі службових сигналів (синхронізація передачі, початок блоку даних, кінець блоку даних, управління передачею). Невикористані кодові слова можуть бути задіяні

приймачем для виявлення помилок в потоці даних. Ціна за отримані переваги такого способу кодування даних – зниження швидкості передачі корисної інформації на 25%.

Є також коди і з трьома станами сигналу, наприклад, в коді 8В/6Т для кодування 8-ми біт вихідної інформації використовуються кодові слова з 6 елементів, кожен з яких може приймати одне з трьох значень.

У коді 8В/10В кожен 8 біт вихідної послідовності замінюється десятьма бітами кодового слова. При цьому на 256 вихідних комбінацій доводиться 1024 результуючі комбінації. При заміні, відповідно до кодової таблиці, дотримуються таких правил:

- жодна результуюча комбінація не повинна мати більше 4-х однакових біт поспіль;
- жодна результуюча комбінація не повинна містити більше шести нулів або одиниць.

Всі розглянуті надлишкові коди застосовуються в мережах Ethernet, які знайшли найширше розповсюдження. Так, код 4В/5В використовується в стандартах 100Base-TX/FX, а код 8В/6Т – в стандарті 100Base-T4, який в даний час практично вже не використовується. Код 8В/10В використовується в стандарті 1000Base-X, код 64/66 в стандарті 10 GbE (коли в якості середовища передачі даних використовується оптоволокно).

Здійснюють логічне кодування мережеві адаптери. Оскільки, використання таблиці перекодування є дуже простою операцією, метод логічного кодування надлишковими кодами не ускладнює функціональні вимоги до цього устаткування.

Скремблювання є "перемішування" вихідної послідовності даних таким чином, щоб ймовірність появи одиниць і нулів на лінії ставала близькою 0.5. Пристрої (або програмні модулі), що виконують таку операцію, називаються скремблерами (scramble – звалище, безладна зборка).

Скремблер в передавачі виконує перетворення структури вихідного цифрового потоку. Дескремблер в приймальнику відновлює вихідну

послідовність біт. Практично єдиною операцією, що використовується в скремблерах і дескремблерах, є XOR – "побітове виключне АБО" (додавання по модулю 2) [15].

Логічне кодування перетворює потік біт сформованого кадру MAC-рівня в послідовність символів, що підлягають фізичному кодуванню для передачі по лінії зв'язку. У найпростішому випадку це кодування відсутнє (його можна вважати і прозорим), тоді кожен біт вхідного потоку відображається відповідним бітом вихідного.

У сукупності фізичне кодування і логічне кодування утворюють систему кодування низького рівня [14].

### 1.8 Методи цифрового лінійного кодування

Базова класифікація лінійних кодів є 4 групи сигналів ІКМ:

1. Без повернення до нуля.
2. З поверненням до нуля.
3. Фазове кодування.
4. Багаторівневе кодування [2].

Оскільки, існують різні варіанти багаторівневого кодування, докладніша класифікація систем лінійного кодування проводиться в залежності від кількості рівнів напруги, які використовуються для формування сигналів.

Можна виділити наступні основні види систем лінійного кодування в залежності від кількості рівнів напруги, які використовуються для формування сигналів.

1. Бінарне (дворівневе) кодування.
2. Тернарне (трирівневе) кодування.
3. Тетрарне (чотирьохрівневе) кодування.
4. Кодування з великим числом рівнів.

### 1.8.1 Системи з дворівневим кодуванням

У разі бінарного кодування використовується цифровий сигнал, який має два можливих рівня напруги. Як правило, це позитивний сигнал  $+U$  і негативний сигнал  $-U$ , де  $U$  – рівень напруги, який повинен знаходитися в певних межах. Наприклад, в біполярному лінійному коді NRZ, що використовується в інтерфейсі RS-232, рівень напруги  $U$  повинен знаходитися в межах  $+5 \dots +12$  В для передачі «0» і  $-5 \dots -12$  В для передачі «1».

#### 1.8.1.1 Кодування без повернення до нуля

Кодування без повернення до нуля (Non-Return-to-Zero, NRZ) або потенційне кодування є найпростішим випадком дворівневого кодування. Розрізняють декілька варіантів кодування NRZ:

- Unipolar NRZ Level (Уніполярне NRZ);
- Bipolar NRZ Level (Біполярне NRZ);
- NRZ Space;
- NRZ Inverted (NRZI).

Схеми кодування всіх методів NRZ представлена на рис. 1.2.

В уніполярному коді без повернення до нуля виділяють прямий NRZ, в якому «1» представляється напругою  $+U_B$ , а «0»  $-0B$ , і зворотний NRZ, де «0» напругою  $+U_B$ , а «1»  $-0$  В. До головної переваги NRZ відноситься його проста реалізація.

Найбільший недолік коду NRZ – це можливість втрати синхронізації приймачем під час прийому занадто довгих блоків інформації. Приймач може прив'язувати момент початку прийому тільки до першого (стартового) біту пакета, а протягом прийому пакета він змушений користуватися тільки внутрішнім тактовим генератором (внутрішнім годинником). Наприклад, якщо передається послідовність нулів або послідовність одиниць, то приймач може визначити, де проходять межі бітових інтервалів, тільки по внутрішнім годинниках. І якщо годинник приймача розходиться з годинником передавача,

то часове зрушення до кінця прийому пакета може перевищити тривалість одного або навіть декількох біт. В результаті відбудеться втрата переданих даних. Так, при довжині пакета в 10000 біт допустима розбіжність годин складе не більше 0.01% навіть при ідеальній передачі форми сигналу по кабелю.

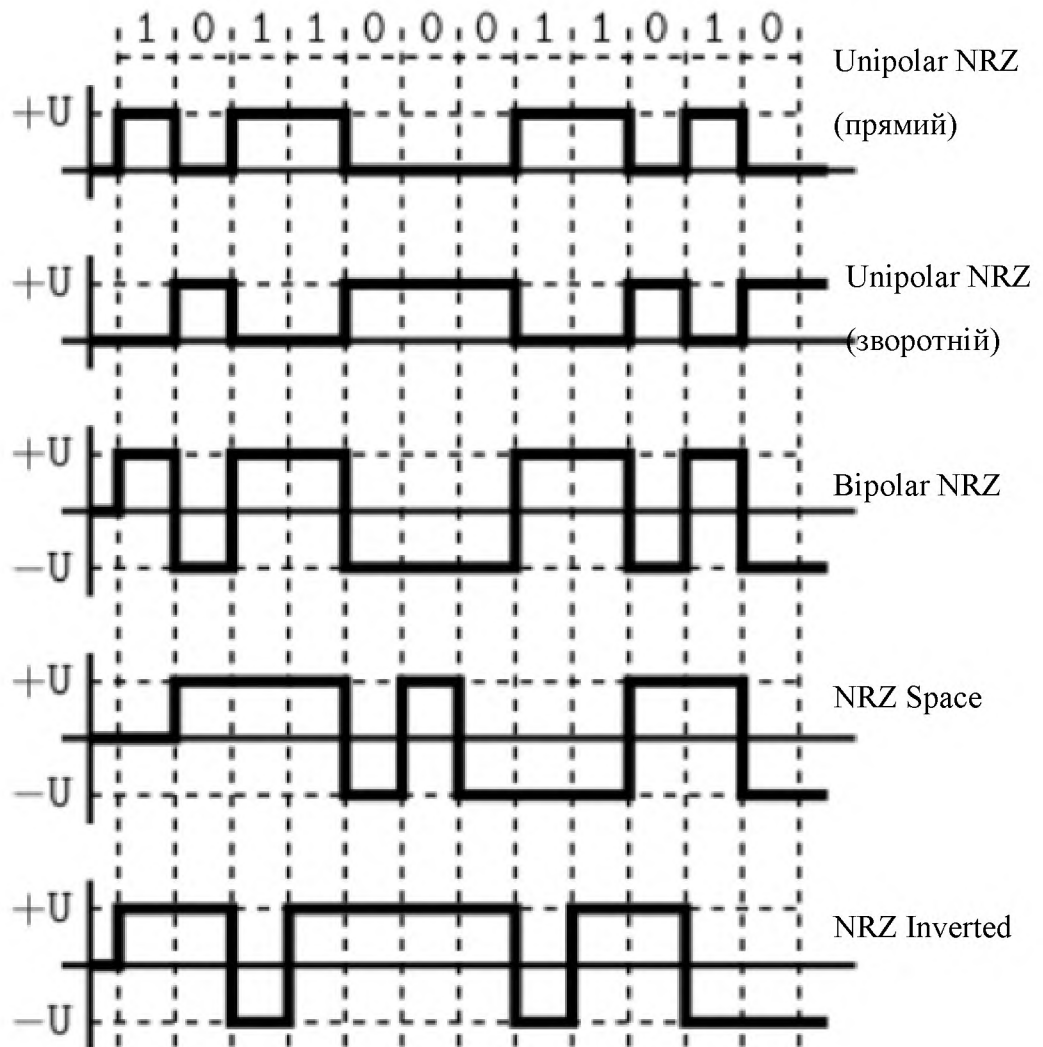


Рисунок 1.2 – Кодування без повернення до нуля

Щоб уникнути втрати синхронізації, можна було б ввести другу лінію зв'язку для синхросигналу. Але при цьому необхідна кількість кабелю, число приймачів і передавачів збільшується в два рази. При великій довжині мережі і значній кількості абонентів це невигідно. У зв'язку з цим код NRZ використовується тільки для передачі короткими пакетами (зазвичай до 1 Кбіт).

Інший недолік NRZ полягає в тому, що він може забезпечити обмін тільки повідомленнями фіксованою, заздалегідь обговореною довжини, оскільки



по прийнятій інформації приймач не може визначити, чи йде ще передача або вже закінчилася. Для синхронізації початку прийому пакета використовується стартовий службовий біт, чий рівень відрізняється від пасивного стану лінії зв'язку (наприклад, пасивний стан лінії за відсутності передачі – 0, стартовий біт – 1). Закінчується прийом після відліку приймачем заданої кількості біт послідовності.

Найбільш відоме застосування коду NRZ – це стандарт RS232C. Передача інформації в ньому ведеться байтами (8 біт), супроводжуються стартовими і стоповими бітами.

Модель кодера та декодера для реалізації уніполярного NRZ коду зображена на рис 1.3 [18-19].

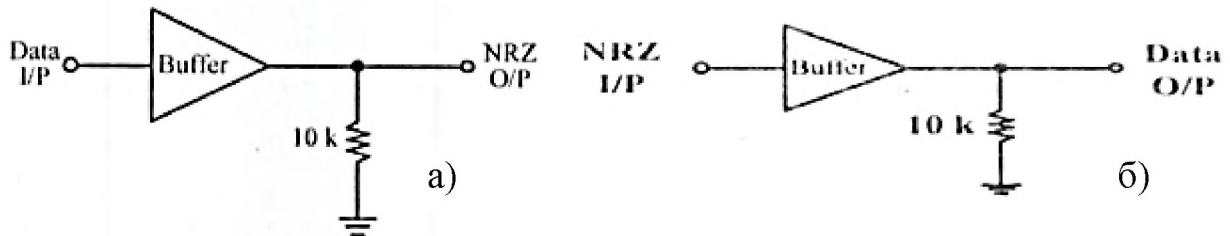


Рисунок 1.3 – Кодер (а) та декодер (б) уніполярного NRZ

Данна модель є доволі простою в реалізації. Кодер та декодер мають однакову схему, і складаються лише з буфера даних та резистора номіналом 10 кОм.

У варіанті біполярного NRZ кодування «0» представляється напругою  $-U$  В, а «1» –  $+U$  В.

Моделі кодера та декодера для біполярного кодування NRZ зображені на рис. 1.4. Головним компонентом схеми кодера є компаратор, який має два джерела живлення  $-5$ В та  $+5$ В. На не інвертуючий вхід компаратора подаються вхідні данні, на інвертуючий – підключено джерело живлення  $+5$ В, що проходить через резистор опором 300 Ом, та паралельно з'єднані між собою резистор та конденсатор номіналами 4.7 кОм та 10 нФ. Декодер моделі складається з діоду, що з негативної напруги робить нульову. [18-19].

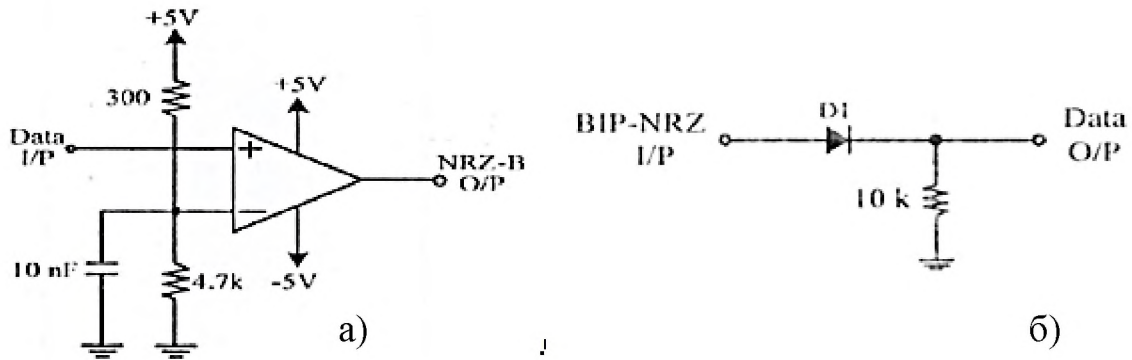


Рисунок 1.4 – Кодер (а) та декодер (б) біполярного NRZ

У коді NRZ Space при передачі «1» рівень сигналу не змінюється, «0» кодується зміною рівня сигналу. Така схема зі зміною рівня сигналу на «нулі» використовується, наприклад, в біт-орієнтованому протоколі HDLC і протоколі USB. В обох цих протоколах, щоб уникнути тривалих тимчасових інтервалів без зміни рівня сигналу, використовується вставка «нульового» біта. У протоколі HDLC «нульовий» біт вставляється після кожних п'яти послідовних «1» (за винятком роздільник кадрів «01111110», що додатково дозволяє однозначно виділяти роздільник на прийомі), а в USB – після кожних шести «1». Така процедура отримала назву біт-стаффінг.

NRZ Inverted (NRZI) зворотна система NRZ Space. «1» кодується зміною рівня сигналу, при передачі «0» рівень не змінюється. Для того, щоб позбутися від довгих послідовностей «нулів», використовується спільно з RLL-кодуванням при записі даних на магнітний або оптичний диск.

RLL кодування (Run Length Limited) – кодування з обмеженням довжини поля запису. Цей метод кодування розглядає групи з декількох біт, замість розгляду одного біта в один проміжок часу. Ідея кодування полягає в тому, щоб змішувати тактові зміни полярності і зміни полярності даних, щоб допустити більш щільний запис на поверхню магнітної пластини. RLL визначається двома параметрами: run length і run limit. Слово «run» відноситься до послідовності записуваної інформації без зміни полярності. Run length– це мінімальна довжина між двома змінами полярності. Run limit– це максимальна довжина без

зміни полярності. Конкретна схема кодування пишеться як RLL (x, y) або x, y RLL, де x = run length, а y = run limit [3].

#### 1.8.1.2 Біфазне кодування

При біфазному кодуванні «1» кодується перепадом сигналу в середині такту, а «0» – тактом без перепаду. При цьому полярність першого полутаку «1» протилежна полярності поступаючого «0». Полярність «0» протилежна полярності попереднього «0» або полярності другого полутаку попередньої «1».

Біфазне кодування (Biphase mark coding – BMC) використовується в інтерфейсі S/PDIF, використовуються для поширення цифрового аудіосигналу, а також у багатьох картах з магнітною смугою – в цьому випадку кодування частіше називають F2F (frequency/double frequency). Принцип кодування описаний в стандарті ISO/IEC 7811. Також цей спосіб кодування використовувався в флоппі-дисках одиночної щільності.

#### 1.8.1.3 Манчестерське кодування

Такий вид кодування також називають фазовим кодуванням. Назва кодування виникла з університету Манчестера, де таке кодування було вперше використано для зберігання даних на магнітному барабані комп'ютера Манчестерський Марк I. Кожен такт ділиться на дві частини. Інформація кодується перепадами потенціалу в середині кожного такту. «1» кодується перепадом від низького рівня сигналу до високого, а «0» – зворотним перепадом (за стандартом IEEE 802.3). Існує також манчестерський код по Д.Є. Томасу, в якому кодування відбувається навпаки [7].

Манчестерське кодування застосовується:

- в технології Ethernet (IEEE 802.3). Так, наприклад, код манчестер-2 застосовується в стандартах мережевих протоколах Ethernet, Token Ring, MIL-STD-1553B (ГОСТ 52070-2003), MIL-STD-1760 і багатьох інших;

- в технології 10BASE-T;
- в протоколах управління різними пристроями по інфрачервоному каналу;
- у RFID-мітках.

Манчестерське, в декількох варіантах, та біфазне кодування зображено на рис. 1.5.

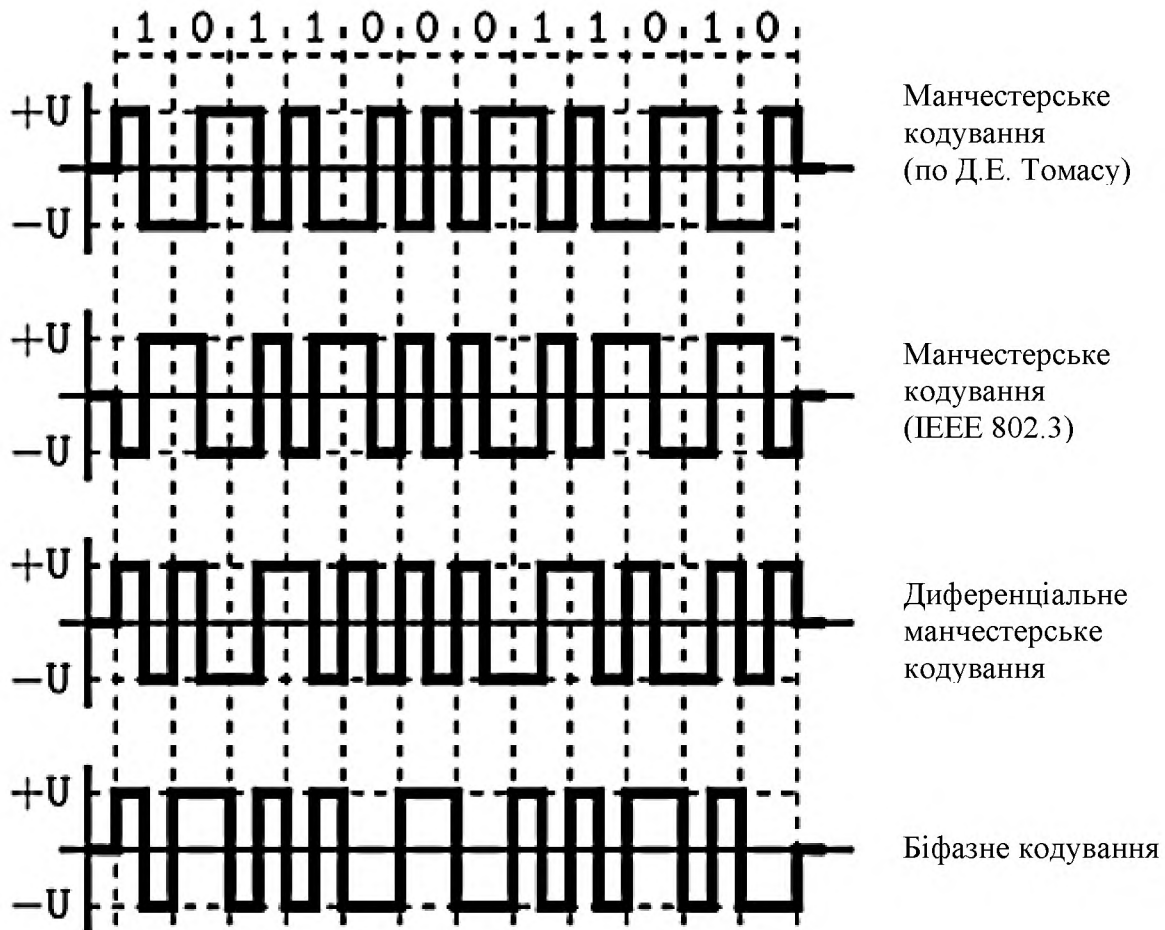


Рисунок 1.5 – Манчестерське та біфазне кодування

На початку кожного такту може відбуватися службовий перепад сигналу, якщо потрібно представити кілька одиниць або нулів підряд. Так як сигнал змінюється принаймні один раз за такт передачі одного біта даних, то манчестерський код володіє хорошими самосинхронізуючими властивостями. У манчестерського коду немає постійної складової (змінюється кожен такт), а основна гармоніка в гіршому випадку (при передачі послідовності одиниць або нулів) має частоту  $N$  Гц, а в кращому випадку (при передачі одиниць, що



чергуються, і нулів) –  $N/2$  Гц, як і у NRZ. В середньому ширина спектра при манчестерському кодуванні в два рази ширша, ніж для NRZ кодування.

Окремо виділяють диференціальне манчестерське кодування. У цьому варіанті кодування при передачі «0» напрям перепаду не змінюється, а при передачі «1» напрям перепаду змінюється на протилежний.

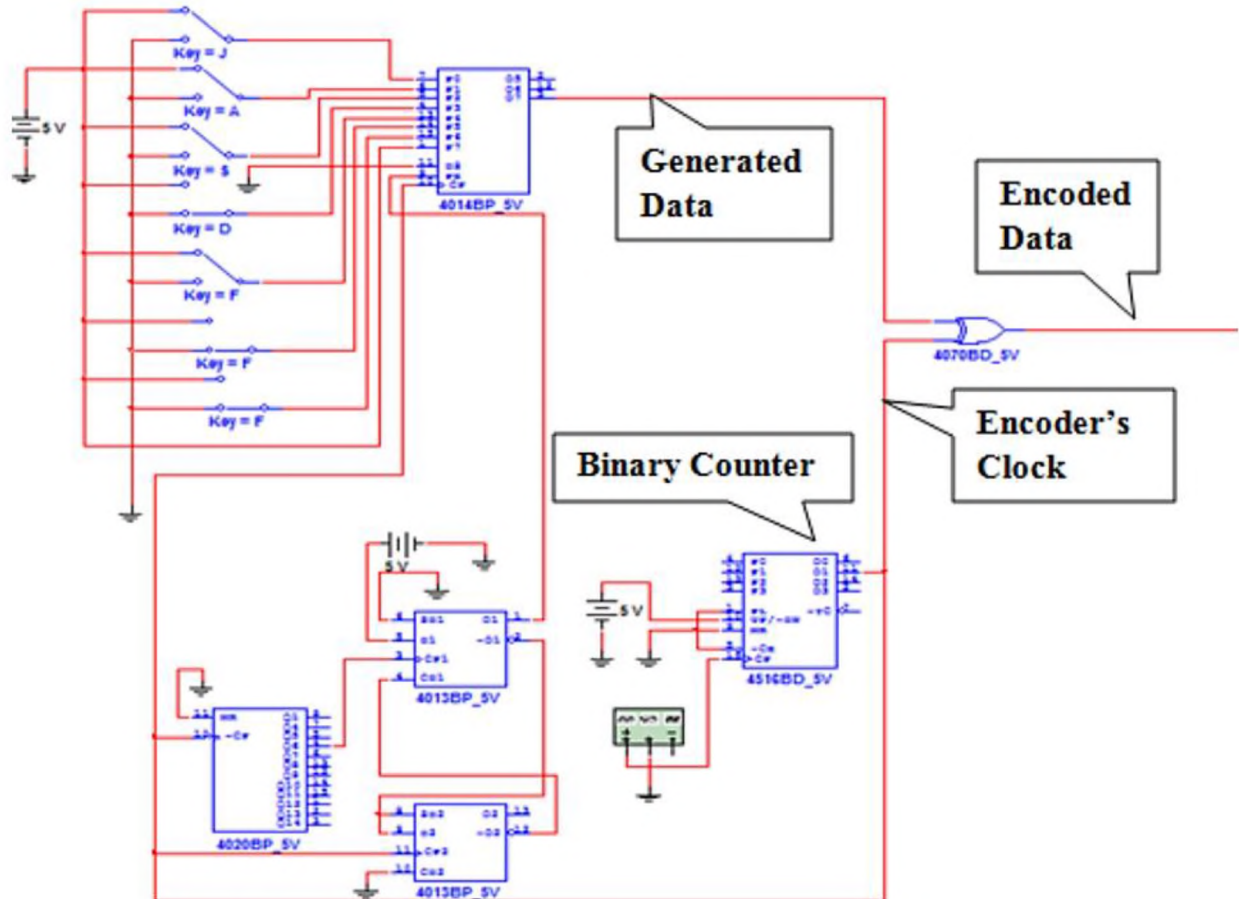


Рисунок 1.6 – Кодер манчестерського кодування

Кодер манчестерського кодування зображено на рис. 1.6. Для задання двійкової послідовності в даній моделі використовуються перемикачі, суть їх роботи доволі проста: замкнений контакт утворює одиницю, розімкнений – слугує нулем. Сигнали с перемикачів об'єднуються в єдину послідовність за допомогою 8-ми бітного статичного регістра зсуву и далі поступають на вхід логічного елемента XOR. Для завдання тактового сигналу використовується функціональний генератор та двійковий лічильник. Сигнал з виходу лічильника поступає на інший вхід елемента XOR, а також на регістр зсуву для завдання

частоти передачі генерованих даних. На виході елементу XOR утворюється послідовність закодована манчестерським кодом [21].

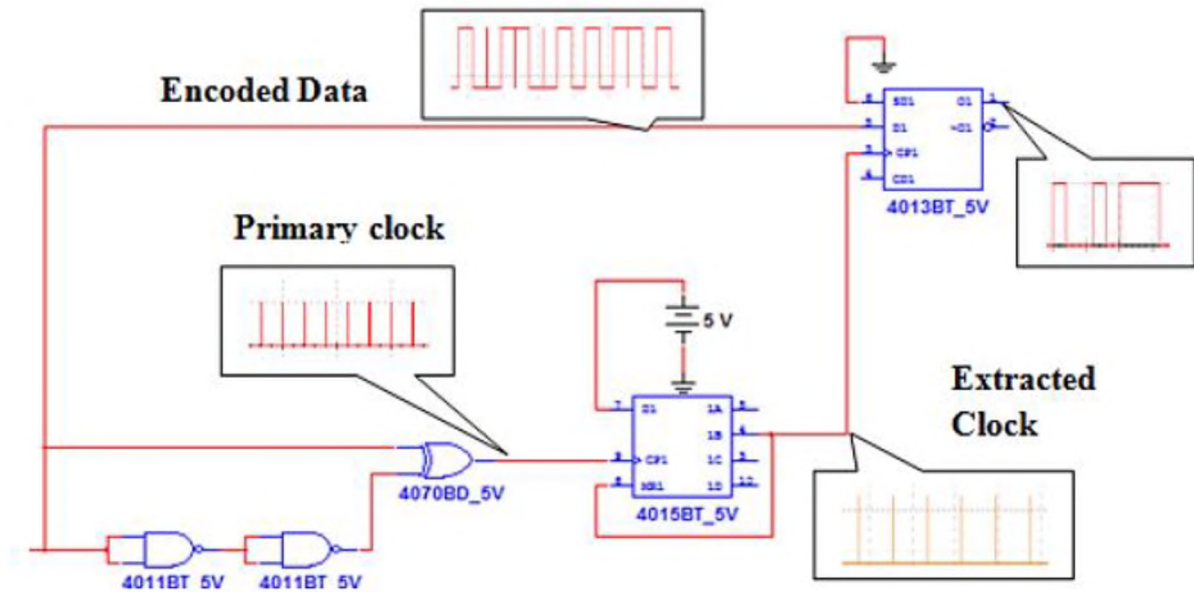


Рисунок 1.7 – Декодер манчестерського кодування

Декодер моделі, представлений на рис. 1.7, складається з логічного елементу XOR на один вхід якого закодовані данні передаються напрями, а на інший з невеликою затримкою, яка утворюється за допомогою двох послідовно з'єднаних між собою елемента NAND. В результаті отримуємо короткий імпульс, який можна використовувати, як годинник. Далі цей сигнал потрапляє на статичний 4-ьох бітний регістр зсуву, на виході якого отримуємо тактовий імпульс. Останнім компонентом декодера є D-тригер, на один вхідний порт якого подається закодована послідовність, а на інший тактовий імпульс [20].

### 1.8.2 Тринарне (трьохрівневе) кодування

У тринарному кодуванні використовується цифровий сигнал, який має три можливих рівні напруги: позитивний сигнал  $+U$ , негативний сигнал  $-U$ , де  $U$  – рівень напруги, який повинен знаходитися в певних межах, і «нульовий» сигнал  $0V$ .

### 1.8.2.1 Код з поверненням до нуля

У коді Return to Zero (RZ) після значущого рівня сигналу в першій половині переданого біта інформації відбувається повернення до нульового рівня (рис. 1.8). Перехід до нього відбувається в середині біта. Логічному нулю при цьому відповідає негативний імпульс, логічній одиниці – позитивний. Таким чином, код є квазітроїчним. Тут на 1 біт доводиться 2 зміни рівня напруги, тому для швидкості в 10 Мбіт/с потрібно пропускна здатність в 10 МГц [3].

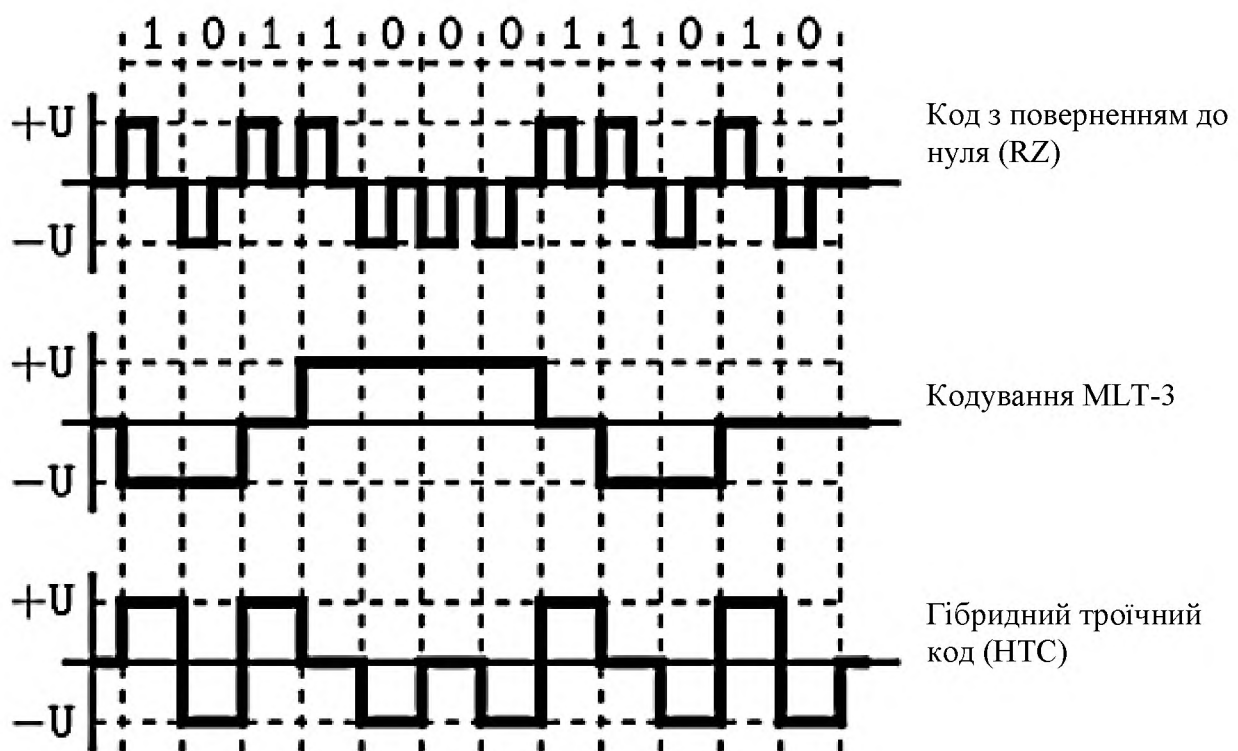


Рисунок 1.8 – Коди RZ, MLT-3, HTC

У центрі бітового інтервалу завжди є перехід сигналу (позитивний або негативний), отже, з цього коду приймач легко може виділити синхроімпульс (строб). Можлива тимчасова прив'язка не тільки до початку пакета, як у випадку коду NRZ, а й до кожного окремого біту, тому втрата синхронізації не відбудеться при будь-якій довжині пакета. Тобто діє той же принцип самосинхронізації, що і в манчестерському коді.

Інша важлива перевага коду RZ – проста тимчасова прив'язка прийому, як до початку послідовності, так і до її кінця. Приймач просто повинен аналізувати, є зміна рівня сигналу протягом бітового інтервалу чи ні.

Перший бітовий інтервал без зміни рівня сигналу відповідає закінченню прийнятої послідовності біт. Тому в коді RZ можна використовувати передачу послідовностями змінної довжини. Код RZ застосовується не тільки в мережах на основі електричного кабелю, а й в оптоволоконних мережах. Оскільки в них не існує позитивних і негативних рівнів сигналу, використовуються три рівні: відсутність світла, "середнє" світло, "сильне" світло. Це зручно – коли немає передачі інформації, світло все одно присутнє, що дозволяє легко визначити цілісність оптоволоконної лінії зв'язку без додаткових заходів.

Окремо потрібно виділити уніполярне RZ кодування, адже воно відноситься до двохрівневого кодування. Його відмінність від уніполярного NRZ кодування полягає в тому, що імпульс одиниці передається лише половину часу, інша половина – це нульовий сигнал.

Моделі кодерів уніполярного та біполярного кодування RZ представлені на рис. 1.9 [18-19].

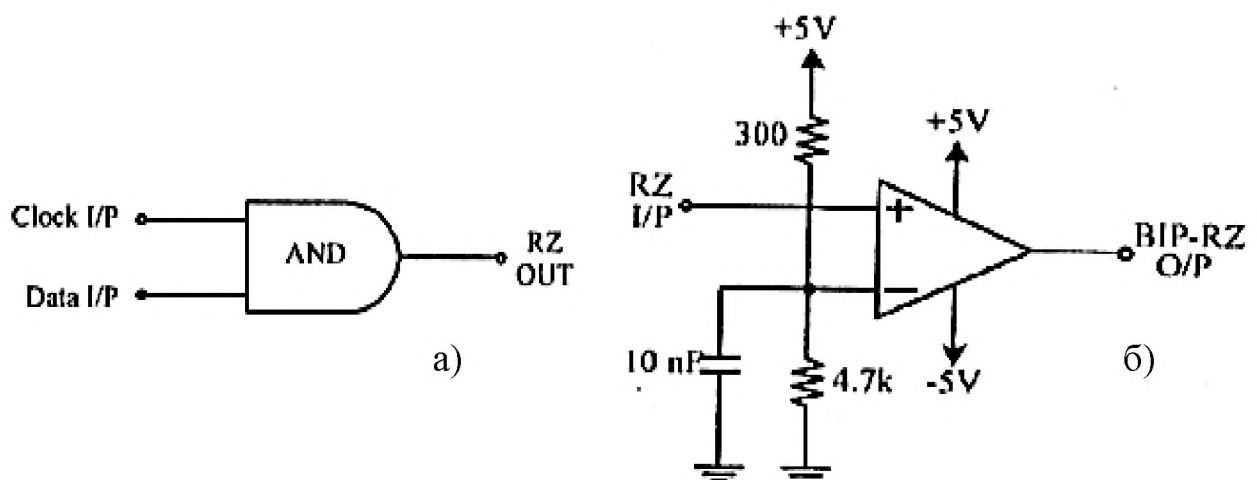


Рисунок 1.9 – а) Кодер уніполярного RZ; б) Кодер біполярного RZ

Схема даних моделей примітивна. Для уніполярного кодування застосовується логічний елемент AND, на один вхід якого подається сигнал, що



потрібно закодувати, на інший тактовий сигнал. На виході отримуємо уніполярний код з поверненням до нуля. Для біполярного кодування, необхідно додати ще компаратор, який застосовується також для біполярного NRZ кодування і детально описаний в пункті 1.8.1.1.

Модель декодера коду RZ зображена на рис. 1.10 [19].

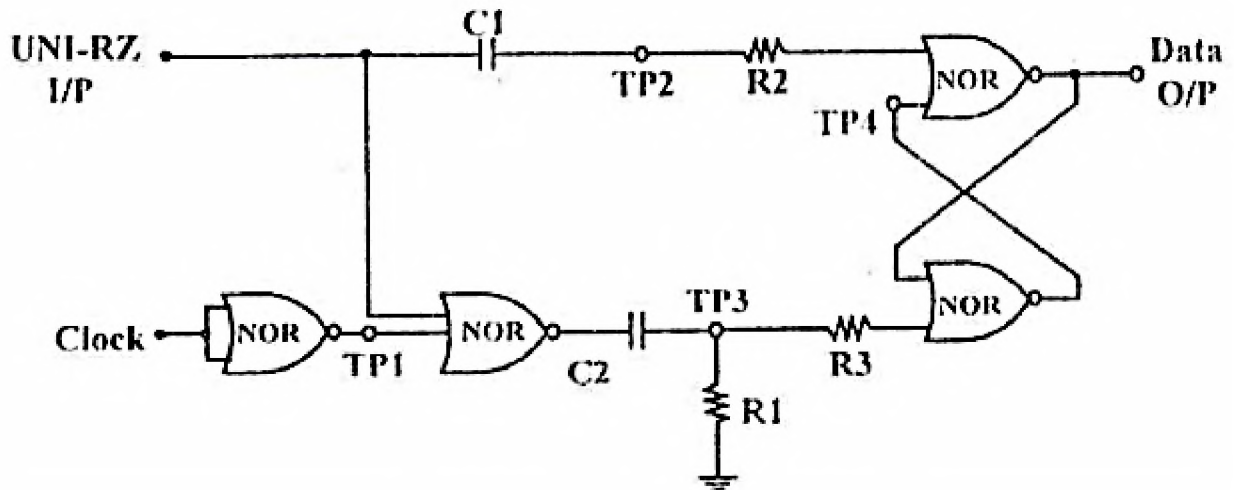


Рисунок 1.10 – Декодер коду RZ

Основою моделі декодера уніполярного коду RZ є RS тригер. На вхід S подається закодований сигнал, на вхід R – тактовий сигнал, який попередньо інвертований та об'єднаний з сигналом закодованим за допомогою логічної операції «виключне АБО». Модель для біполярного RZ кодування має аналогічний вигляд, але потрібно додати на початку схеми діод, який усуває негативну напругу сигналу.

### 1.8.2.2 Multi Level Transmission 3 (MLT-3)

Код MLT-3 схожий з кодом NRZI, але на відміну від нього має три рівні сигналу. У MLT-3 циклічно перебираються рівні напруг  $-U$ ,  $0$ ,  $+U$ . Зміна рівня відповідає передачі сигналу 1 біт, при передачі 0 біт рівень не змінюється. Як і в разі NRZI, код MLT-3 має кодову ефективність, рівну 1 біт/бод, при цьому для повернення в попередній стан потрібно чотири переходи (бода):  $U \rightarrow 0$ ,  $0 \rightarrow +U$ ,  $+U \rightarrow 0$ ,  $0 \rightarrow -U$ . У зв'язку з цим реальна частота зменшується до чверті

бода. Передача таким сигналом більше підходить для мідних ліній. Вперше код MLT-3 був запропонований компанією Crescendo Communications для використання в технології CDDI (FDDI по мідному кабелю) [3].

### 1.8.2. Гібридний троїчний код. Hybrid ternary code

Гібридний трійчастий код об'єднує принципи кодування без повернення до нуля (NRZ Level) і кодування з поверненням до нуля (RZ). У гібридному троїчному коді є три рівня представлення сигналу: позитивний  $+U$ , нульовий  $0$  і негативний  $-U$ . Ці три рівня представлені трьома станами. Код може перебувати в будь-якому з цих трьох станів. Перехід до наступного стану залежить від значення вхідного біта і поточного стану на виході кодера. Саму процедуру кодування можна звести до таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 Кодування гібридного трійчастого коду

| Вхідний біт | Попередній рівень на виході | Рівень на виході кодера |
|-------------|-----------------------------|-------------------------|
| 0           | $+U$                        | $-U$                    |
|             | $0$                         |                         |
|             | $-U$                        | $0$                     |
| 1           | $+U$                        | $+U$                    |
|             | $0$                         |                         |
|             | $-U$                        | $0$                     |

Словами процедуру кодування можна описати трьома постулатами:

- Якщо на вході «1», то кодер подає на вихід  $+U$ ; якщо «0», то  $-U$ .
- Якщо при цьому сигнал на виході буде повторювати попередній стан, то на вихід натомість подається  $0$ .
- Спочатку, до приходу на вхід першого біта, кодер знаходиться в нульовому стані.

### 1.8.2.4 Біполярний код АМІ

Код АМІ (Alternate Mark Inversion) використовує такі уявлення бітів (рис.1.12):

- «0» –  $0\text{ В}$ ;

- «1» – по черзі -U або +U В.

Код АМІ володіє хорошими синхронізуючими властивостями при передачі серій одиниць і порівняно простий в реалізації. Недоліком коду є обмеження на щільність нулів в потоці даних, оскільки довгі послідовності нулів ведуть до втрати синхронізації. Використовується в телефонії рівня передачі даних, коли застосовуються потоки мультиплексування.

Крім того, код АМІ послужив основою для цілого ряду систем лінійного кодування, які отримали загальну назву «модифіковані АМІ-коди» (Modified АМІ code). Ці коди в основному застосовуються в технології PDH американського стандарту T<sub>x</sub> і європейського стандарту E<sub>x</sub>.

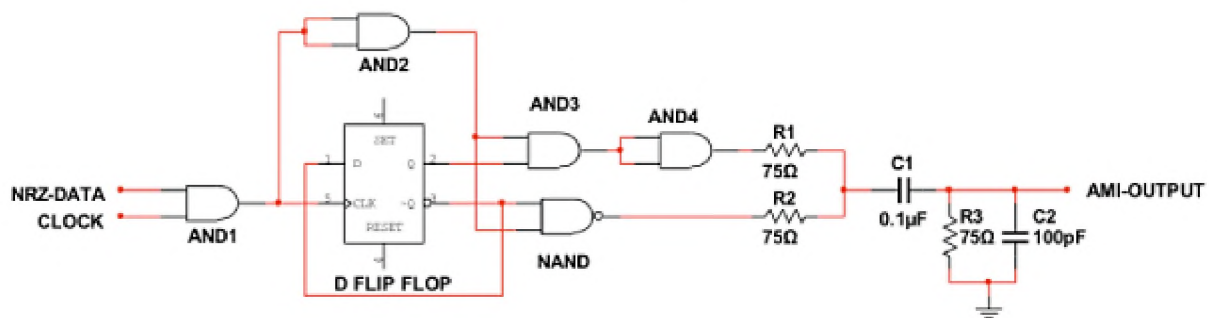


Рисунок 1.11 – Кодер АМІ

Основою роботи пристрою кодування, представленого на рис. 1.11, є кілька елементів AND, елемент NAND і D-тригер. На входи елемента AND1, які являють собою логічне «І», подаються вхідні дані і тактовий сигнал, тим самим генеруючи сигнал RZ. Потім цей сигнал синхронізується D-тригером. Після, сигнал RZ, проходячи через елемент AND2, змішується з вихідними сигналами «Q» і «НЕ-Q» D-тригера, що по черзі розділяють імпульси на дві лінії, пов'язані з виходами елементів AND3 і NAND4. Логічний елемент AND2 необхідний, щоб забезпечити таку ж затримку сигналу, як в D-тригері. Елемент NAND4 використовується на другій лінії для отримання інвертованого сигналу.

Оскільки затримка сигналу в вентилі NAND більше, ніж в AND, на виході AND3 включений додатковий елемент AND4, що компенсує ці відмінності. Послідовно з виходами схем AND4 і NAND4 включені резистори 75 Ом, що

утворюють дільник напруги. Коли на обох виходах встановлюються високі рівні, напруга на виході дільника також має високий рівень. Якщо рівні напруг протилежні, на виході подільника буде половина високого рівня. Коли ж напруга низького рівня буде на обох виходах, напруга на виході дільника стане близькою до нуля. Таким чином, в загальній точці резисторів R1 і R2 ми можемо спостерігати позитивні і негативні імпульси, зрушені на деякий постійний рівень [21].

Далі цей сигнал проходить через конденсатор C1, який видаляє з нього постійну складову, і в результаті на виході ми отримуємо біполярний сигнал з нульовим постійним рівнем.

#### 1.8.2.5 Код HDB3

Код HDB3 (high density bipolar of order 3) використовується на всіх рівнях європейського стандарту PDH, починаючи з E1.

Основний принцип HDB3, як і інших «модифікованих АМІ-кодів», полягає в заміні послідовностей нулів на службові комбінації, щоб виправити вказаний вище недолік коду АМІ, пов'язаний з втратою синхронізації [3].

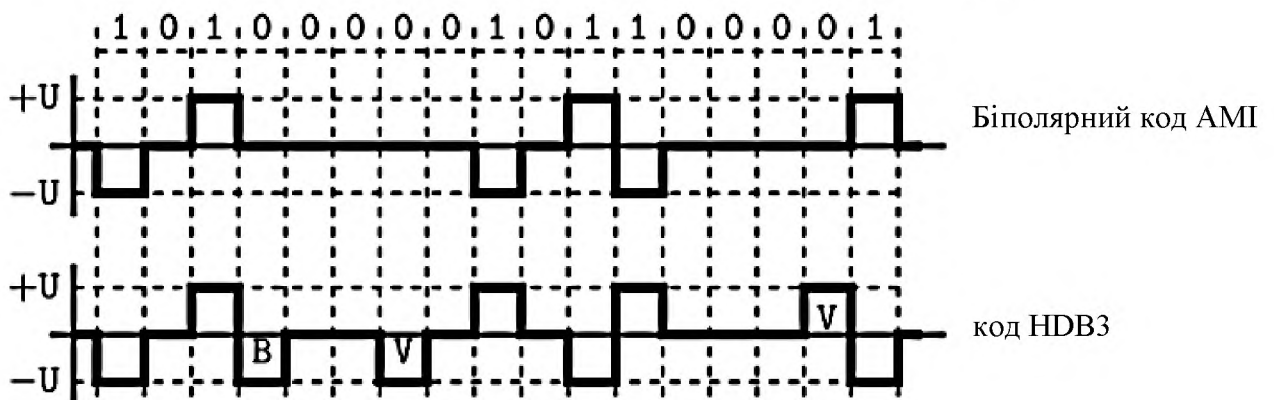


Рисунок 1.12 – Код АМІ та HDB3

У кодї HDB3 здійснюється заміна послідовностей з чотирьох підряд нулів (рис. 1.12). Використовується наступне правило: якщо перед блоком з чотирьох нулів вихідний код містив непарне число одиниць, то комбінація 0000 замінюється на службовий код 000V, а якщо парне – то B00V. Відлік кількості

одиниць проводиться з початку передачі вихідного коду і починається заново після кожного сигналу V:

- V – сигнал забороненої полярності, тобто сигнал тієї ж полярності, що і попередня йому одиниця.
- В – сигнал правильної полярності, тобто сигнал полярності, зворотній попередньої йому одиниці.

### 1.8.3 Тетрарне (чотирьохрівневе) кодування

У разі тетрарного кодування використовуються чотири рівні сигналу. Серед подібних алгоритмів лінійного кодування можна виділити алгоритм 2B1Q.

#### 1.8.3.1 Код 2B1Q

Лінійне кодування 2B1Q (2 Binary 1 Quandary) було розроблено для використання в якості фізичного рівня в точці сполучення U BRI інтерфейсу мереж ISDN. Алгоритм 2B1Q є один з варіантів реалізації амплітудно-імпульсної модуляції з чотирма рівнями вихідної напруги без повернення до нульового рівня. Код 2B1Q передає за один період інтервал відразу два біта даних. Кожній можливій парі у відповідність ставиться свій рівень з чотирьох рівнів здібності (рис. 1.13).

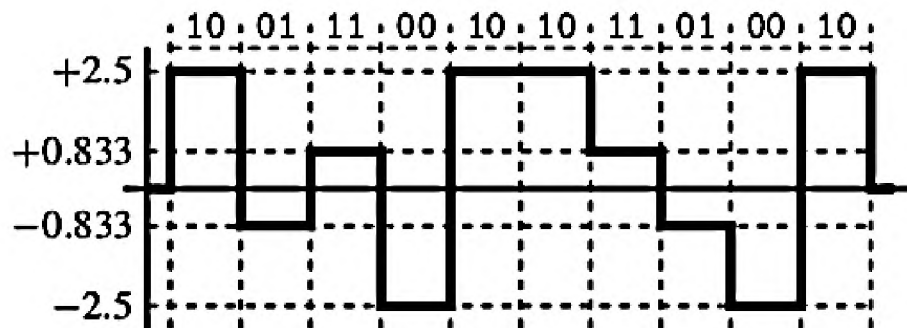


Рисунок 1.13 – Код 2B1Q

Інформаційна швидкість коду 2B1Q в два рази перевищує символівну.



Отже, модуляційна схема 2B1Q забезпечує постійну величину спектральної ефективності модульованого сигналу 2 біта/Гц. Реалізація цього методу вимагає більш потужного передавача і більш складного приймача, який повинен розрізняти чотири рівні.

Крім мереж ISDN алгоритм лінійного кодування 2B1Q знайшов досить широке застосування в пристроях xDSL з симетричними швидкостями передачі даних – HDSL і SDSL.

#### 1.8.4 Багаторівневі коди

У тих випадках, коли смуга лінійного тракту обмежена, але необхідно збільшити швидкість передачі інформації, можна збільшити число рівнів. У багаторівневій системі швидкість передачі двійкових сигналів розраховується за формулою:

$$C = \frac{\log_2 L}{T} \quad (1.5)$$

де  $L$  – число рівнів, з яких можна зробити вибір в кожному тактовому інтервалі.

На рис. 1.14 показаний приклад восьмирівневого сигналу, при якому досягається передача трьох бітів на тактовий інтервал (тобто трьох бітів на бод).

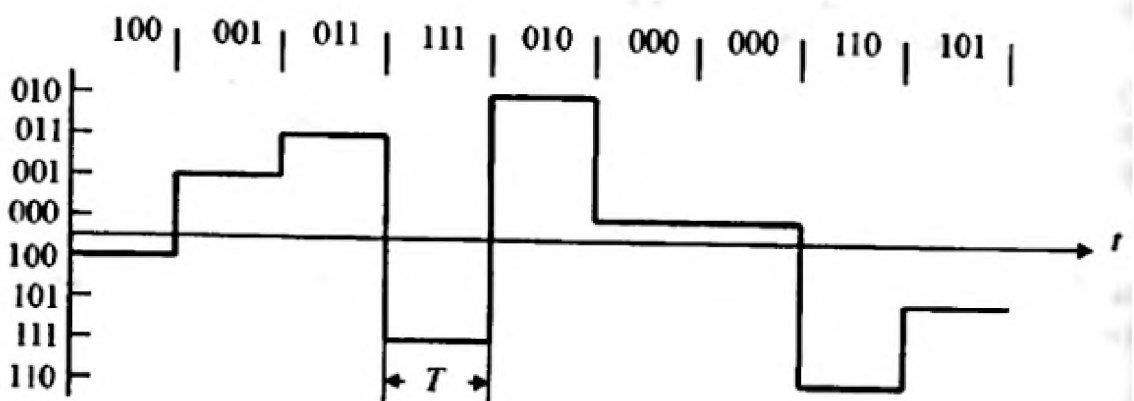


Рисунок 1.14 – Восьмирівневий сигнал

Системи з передачею багаторівневих сигналів забезпечують більш високу швидкість передачі двійкових символів в межах заданої смуги, але вимагають істотного збільшення відношення сигнал-шум при заданій ймовірності помилок. Якщо передача багаторівневих сигналів використовувалася б в провідній лінії, то для досягнення необхідної ймовірності помилок було потрібно зменшити довжину ділянки регенерації. У той же час, чим ближче регенератори розташовані один до одного, тим менше загасання і, отже, може бути збільшена швидкість передачі і двійкового сигналу. Таким чином, в провідній лінії обмежувачим фактором по суті є загасання, а не смуга. Звідси випливає, що способи передачі багаторівневих сигналів найбільш привабливі для радіосистем або передачі цифрової інформації з аналогової телефонної мережі, де неприпустимо перевищення заданої смуги і в системах абонентського доступу – останньої милі [8].

### 1.9 Постановка задачі

Завдання дипломного проекту, які необхідно вирішити:

1. Провести удосконалення моделей пристроїв лінійного кодування шляхом усунення недоліків в існуючих реалізаціях;
2. Виконати перевірку правильності роботи удосконалених моделей на підставі аналізу осцилограм;
3. Створити модель завади у вигляді помилкового біта в закодованому сигналі та перевірити здатність його виявлення;
4. Реалізувати модель з навмисним внесенням спотворень до закодованого сигналу;
5. Порівняти властивості реалізованих моделей пристроїв декодування з метою оцінки їх ефективності..

## 1.10 Висновки

У першому розділі представлено поняття та визначення кодування, наведені вимоги, які пред'являються до методів цифрового лінійного кодування та доцільність їх використання.

Розглянуто реалізації моделей схем відомих кодерів та декодерів для здійснення операцій лінійного кодування, сформульовано задачі кваліфікаційної роботи магістра.



## 2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

У дипломній роботі для дослідження були обрані моделі пристроїв лінійних кодів: уніполярного й біполярного NRZ та RZ, манчестерський, AMI. Дані коди найбільш поширені серед лінійних кодів і представляють кожен з чотирьох груп базової класифікації сигналів ІКМ.

Для реалізації моделей пристроїв лінійного кодування було обрано програмне забезпечення NI Multisim версії 14.2.

Multisim – засіб розробки і моделювання електронних схем. NI Multisim дозволяє створити схему, використовуючи велику бібліотеку компонентів, і емулювати поведінку інтегральної схеми за допомогою стандартного промислового симулятора SPICE.

### 2.1 Моделювання та виявлення недоліків пристроїв лінійного кодування

#### 2.1.1 Уніполярний код без повернення до нуля

Уніполярний код без повернення до нуля є найпростішою схемою кодування. Ширина імпульсу та інтервали між імпульсами мають однаковий час. Використовується пряма схема кодування, коли при передачі біта «1» імпульс представлений позитивною напругою сигналу, а при передачі біта "0" – нульовою. Схема моделі пристроїв кодування та декодування уніполярного коду NRZ представлена на рис. 2.1.

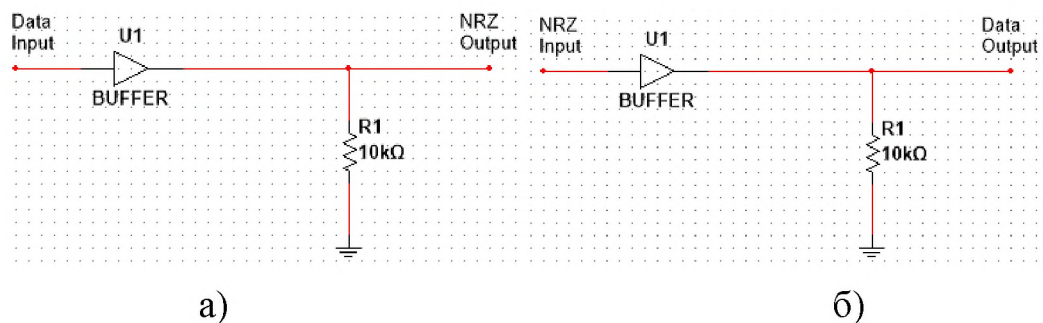


Рисунок 2.1 – а) Кодер уніполярного NRZ, б) Декодер уніполярного NRZ

Дана модель реалізована на основі матеріалу наведеного в пункті 1.8.1.1 даної роботи і є повністю працездатною. Моделі кодера і декодера мають

однакову схему, в якій використано тільки компонент «BUFFER». Він є логічним елементом і його суть роботи – це створення копії вхідного сигналу. Згідно таблиці істинності даного елемента: якщо вхід «1», то і вихід «1», якщо вхід «0», то і вихід «0». Як результат, маємо схожі між собою осцилограми роботи пристрою. Модель пристрою коду NRZ представлена на рис. 2.2, осцилограма сигналу кодованих даних – на рис. 2.3.

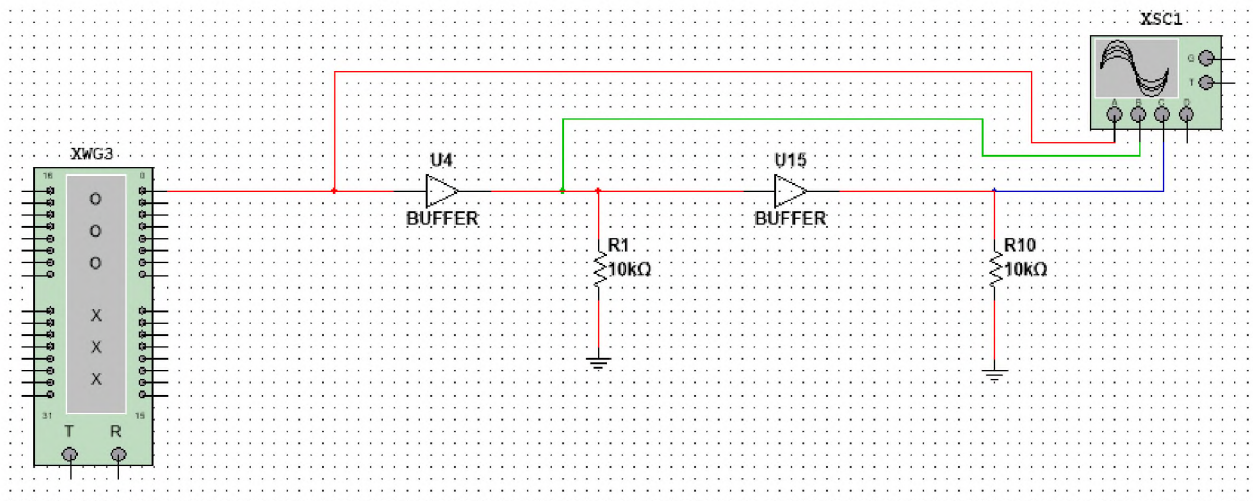


Рисунок 2.2 – Модель пристрою уніполярного коду NRZ

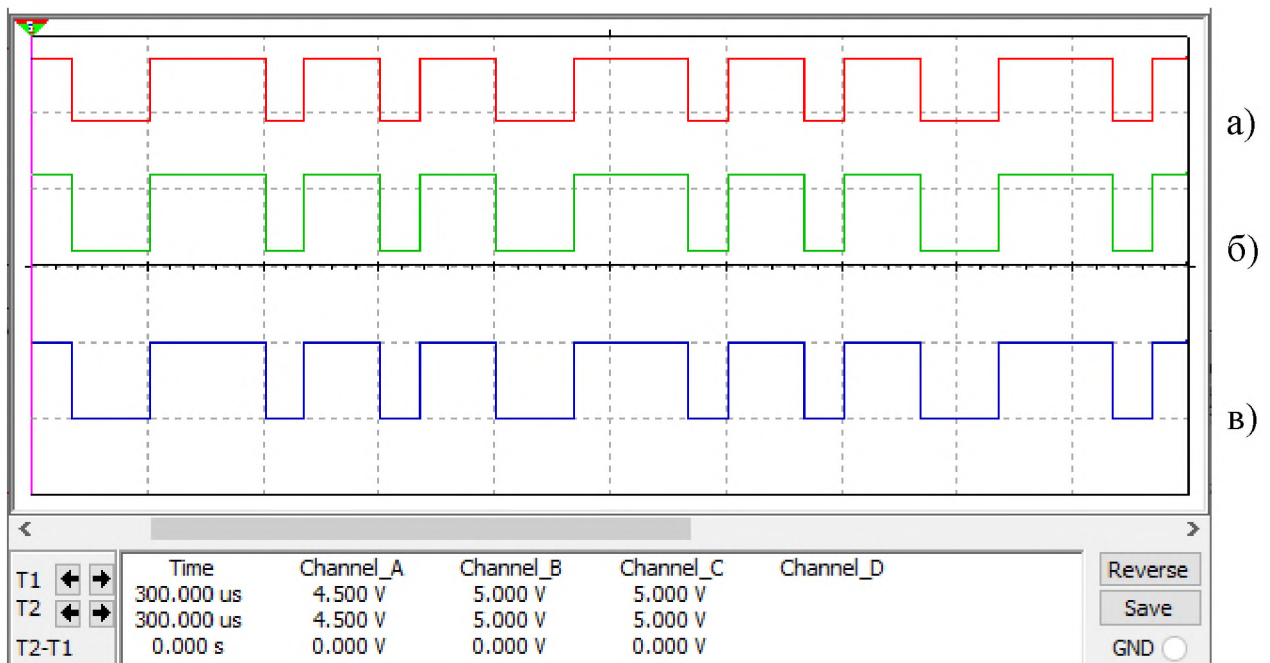


Рисунок 2.3 – Осцилограма роботи моделі уніполярного коду NRZ, а) вхідний сигнал, б) кодований сигнал, в) декодований сигнал

## 2.1.2 Біполярний код без повернення до нуля

Біполярний код без повернення до нуля відрізняється від уніполярного тільки амплітудою сигналу.

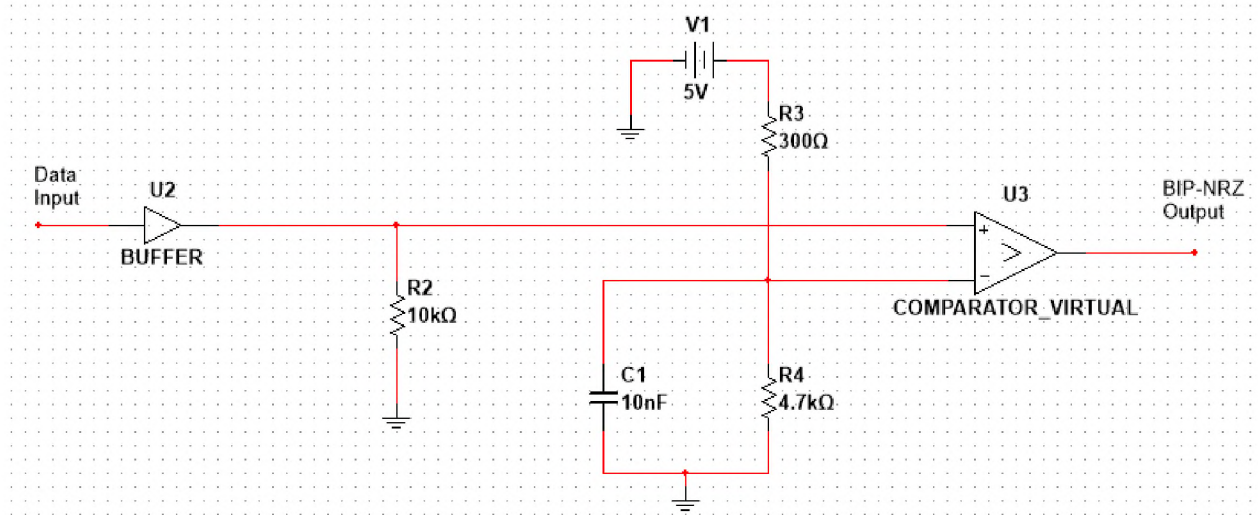


Рисунок 2.4 – Кодер біполярного NRZ

При передачі «одиниці», сигнал також має позитивну напругу сигналу, однак при передачі «нуля» напруга стає не нулем, а негативною. Схема кодуючого і декодуючого пристрою представлена на рис. 2.4 і рис.2. 5.

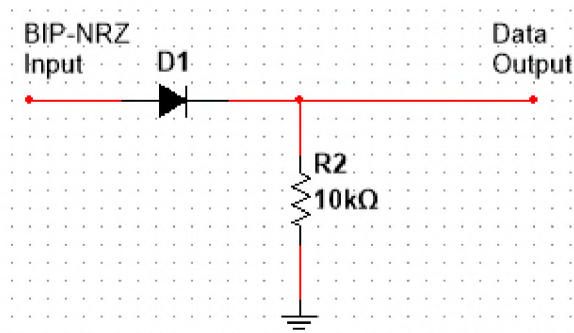


Рисунок 2.5 – Декодер біполярного NRZ

У даній моделі кодуючого пристрою крім компонента «BUFFER» для реалізації як позитивної, так і негативної напруги, доданий компонент «COMPARATOR\_VIRTUAL». Даний елемент являє собою «ідеальний» компаратор, який збільшує амплітуду сигналу від -5В до +5В.

Декодер виконано на основі діода D1, роль якого – це прибрати негативну напругу вхідного закодованого сигналу.



Дана модель є зовсім невеликим ускладненням схеми уніполярного кодування, тому в реалізації також досить проста. Проте, схема моделі наведена в пункті 1.8.1.1 не має елементу «BUFFER», без якого дана модель не працює.

Повна схема моделі наведена на рис. 2.6.

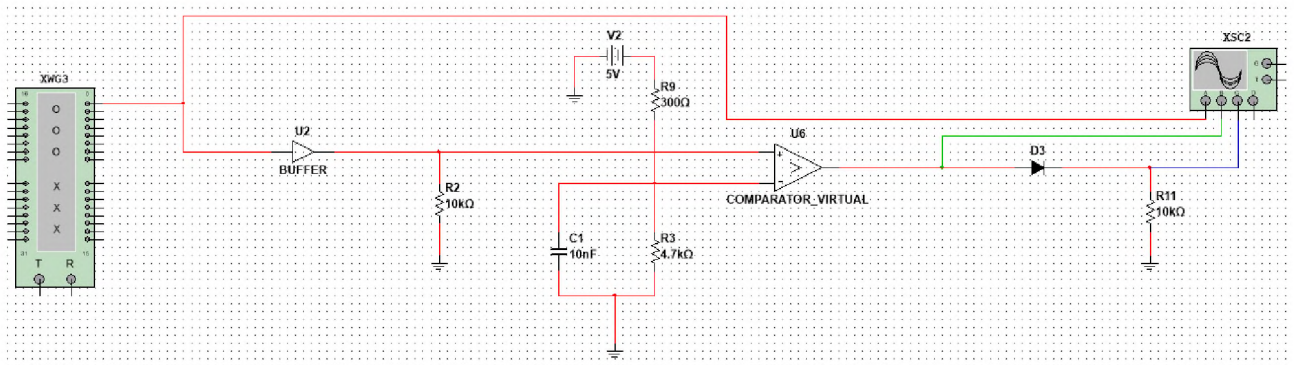


Рисунок 2.6 – Модель пристрою біполярного коду NRZ

Осцилограма роботи реалізованої моделі представлена на рис. 2.7.

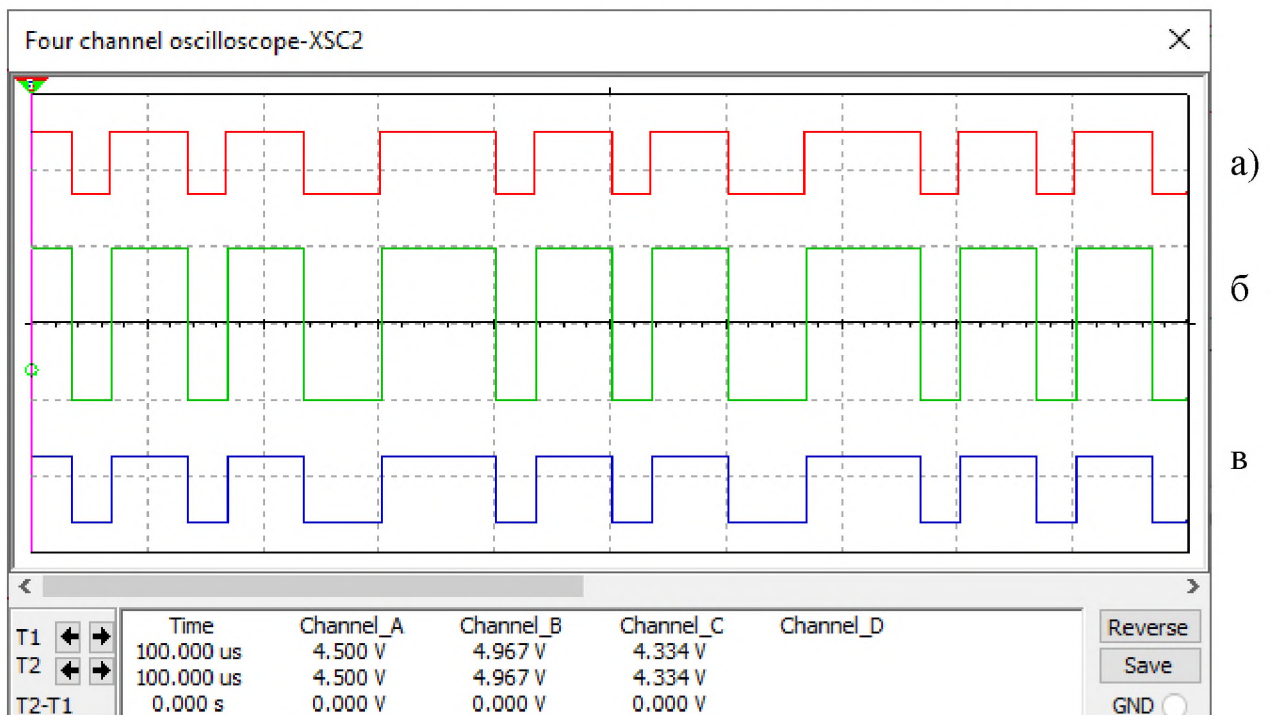


Рисунок 2.7 – Осцилограма роботи моделі біполярного коду NRZ, а) вхідний сигнал, б) кодований сигнал, в) декодований сигнал

### 2.1.3 Уніполярний код з поверненням до нуля

Уніполярний код з поверненням до нуля є сигнал, який займає половину часу при передачі біта «1» і решту часу займає 0. При передачі біта «0» рівень сигналу теж нульовий. Схема кодуючого і декодуючого пристрою представлена на рис. 2.8 і рис. 2.9.

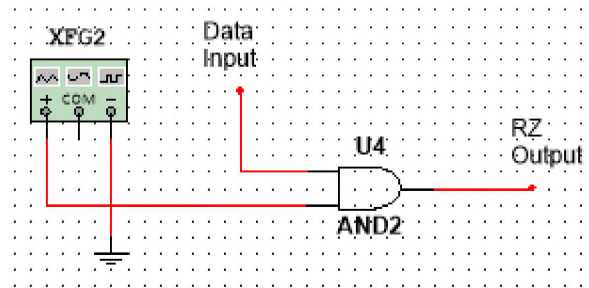


Рисунок 2.8 – Кодер уніполярного RZ

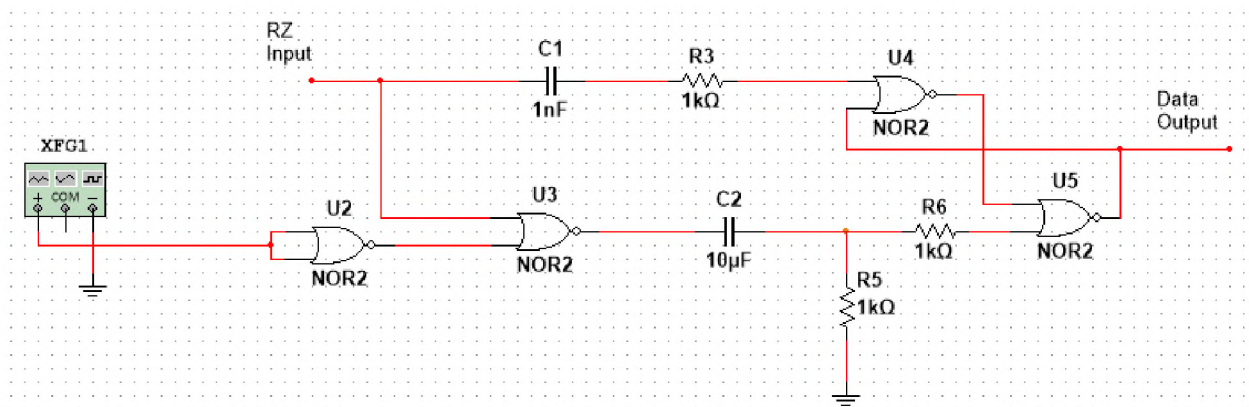


Рисунок 2.9 – Декодер уніполярного RZ

Схема пристрою кодування виконана на основі компонента «AND2». Даний елемент є логічним «І» на один вхід якого подаються дані, а на другий вхід тактовий сигнал. В результаті виконання цієї логічної операції на виході маємо сигнал, який займає половину часу передавального одиничного імпульсу.

Вихід пристрою декодування – це RS тригер виконаний на базі елементів «NOR2» (АБО-НЕ) і двох резисторів R3 і R6. Тактовий сигнал, що подається з генератора XFG1, інвертується елементом NOR2. Потім знову інвертується разом з уніполярним сигналом RZ елементом NOR2. Після цього сигнал

проходить через диференціюючий ланцюг виконаний на основі елементів C2 і R5 і подається на вхід «R» тригера RS. На вхід S подається уніполярний сигнал, який попередньо проходить через конденсатор C1. Нарешті, посилюючи сигнал уніполярний RZ і тактовий сигнал в тригер RS, на виході декодера отримуємо вихідний сигнал.

Реалізація моделі проведена на основі матеріалу описаного в пункті 1.8.2.1. До моделі кодування був доданий, у якості вхідного тактового сигналу, тільки функціональний генератор. У декодері, крім функціонального генератора, були самостійно підібрані номінали резисторів і конденсаторів, які були відсутні в джерелах матеріалу. Також, в схемі, наведеній на рис 1.7, виходом декодера є вихідний сигнал з елемента XOR еквівалентного компоненту U4 реалізованої схеми, що в результаті дає вихідний сигнал інвертований по відношенню до початкового сигналу. Тому для правильної роботи моделі, виходом декодуючого пристрою є компонент U5, що є також елементом XOR тригера RS, проте він не інвертує сигнал. Повна схема моделі пристрою уніполярного коду з поверненням до нуля наведена на рис. 2.11. Результати роботи моделі представлені на рис. 2.10.

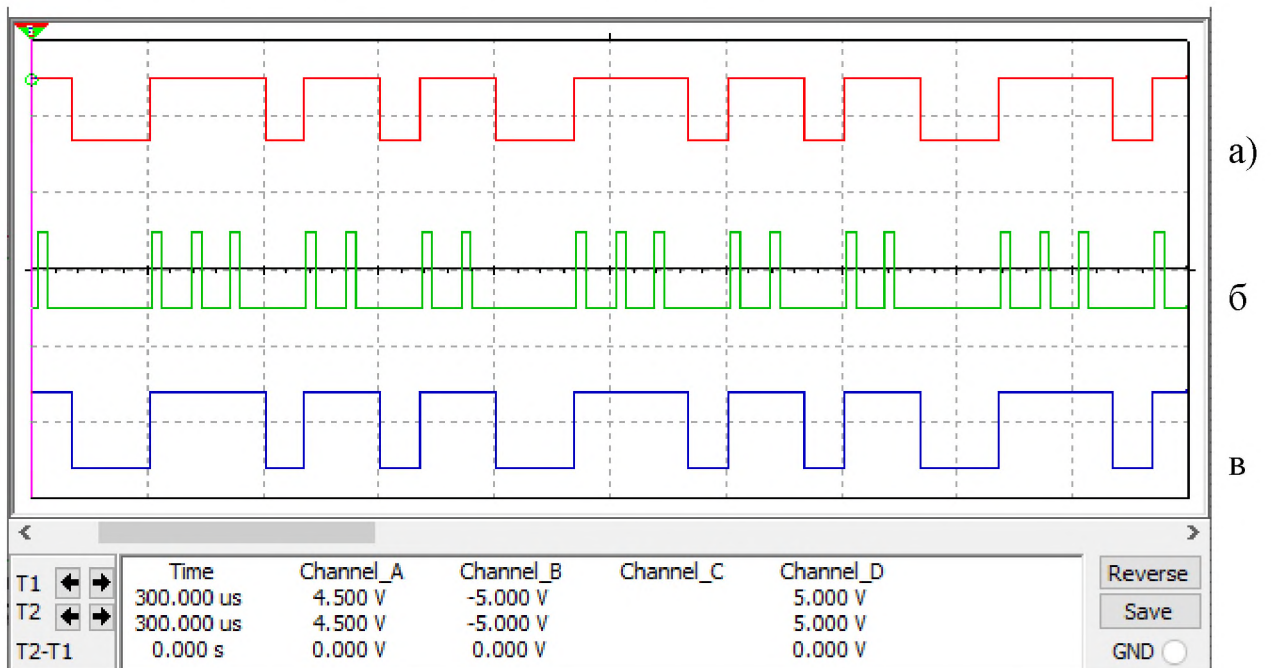


Рисунок 2.10 – Осцилограма роботи моделі уніполярного коду RZ, а) вхідний сигнал, б) кодований сигнал, в) декодований сигнал



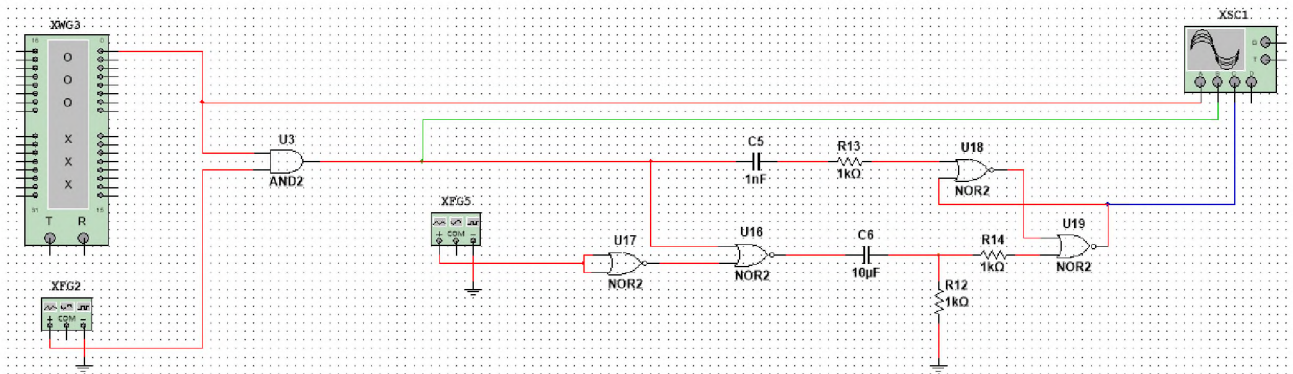


Рисунок 2.11 – Модель пристрою уніполярного коду RZ

#### 2.1.4 Біполярний код з поверненням до нуля

Схема кодування біполярного коду RZ схожа на схему уніполярного RZ. Загальна схема формування сигналу відбувається за наступним правилом: код є трьохрівневим, при якому забезпечується повернення до нульового рівня після передачі значного інтервалу. Інформаційний перехід здійснюється в початковому значному інтервалі, повернення до нульового рівня – в середньому значущому інтервалі, далі рівень є нульовим до кінця значущого інтервалу. Повернення до нуля забезпечує синхронізацію тактової частоти формування сигналів передатчика з тактовою частотою приймача.

Проте модель, що представлена на рис. 2.14, працює трохи за іншою схемою. Коли передається біт «1», сигнал половину часу імпульсу має позитивну напругу, а іншу половину від'ємну напругу. Коли біт даних дорівнює "0", амплітуда сигналу бітового часу представляється як від'ємний рівень напруги.

Така схема має перевагу з точки зору простоти реалізації, проте значним недоліком є втрата синхронізації тактової частоти. Модель кодера та декодера пристрою кодування біполярного RZ коду наведена на рис. 2.12 та рис. 2.13.

Модель пристрою кодування складається з частини моделі кодування пристрою біполярного коду без повернення до нуля (NRZ) та уніполярного RZ, і описана у пункті 1.8.2.1.

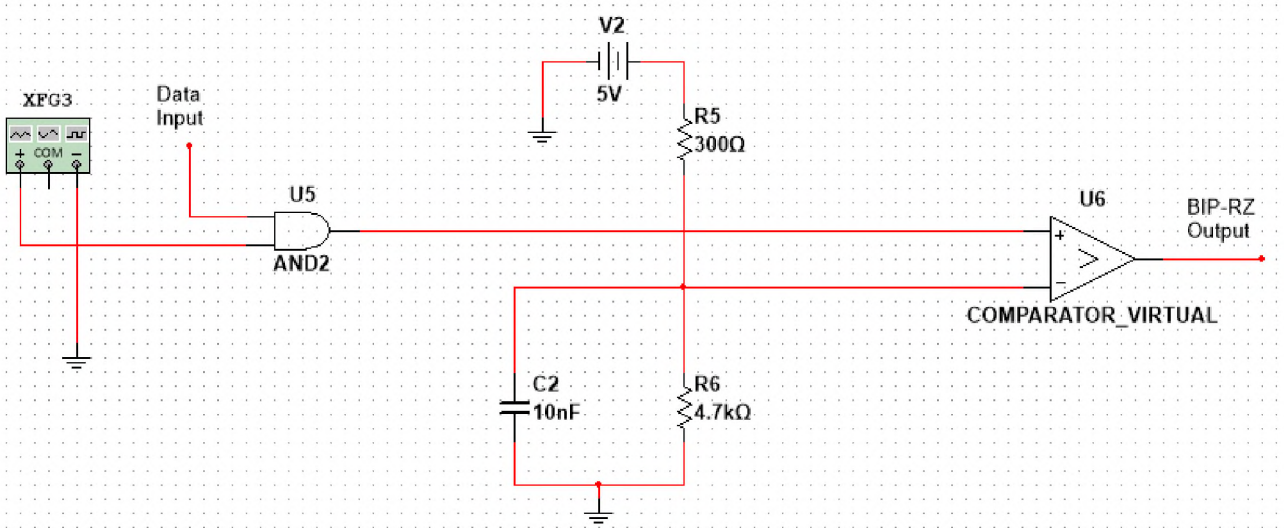


Рисунок 2.12 – Кодер біполярного RZ

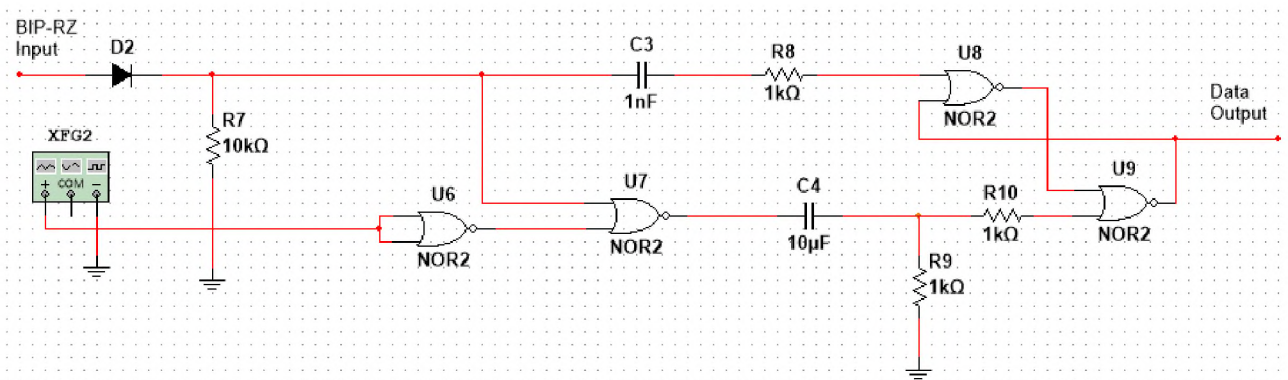


Рисунок 2.13 – Декодер біполярного RZ

Пристрій декодування аналогічний з схемою декодера уніполярного RZ. Для зміни з від'ємної напруги на нульову використовується діод D2. Таким чином ми отримуємо уніполярний RZ код, для декодування якого використовується схема наведена та описана у пунктах 1.8.2.1 та 2.1.3 даної роботи.

Повна схема моделювання пристрою кодування біполярного RZ приведена на рис. 2.14.



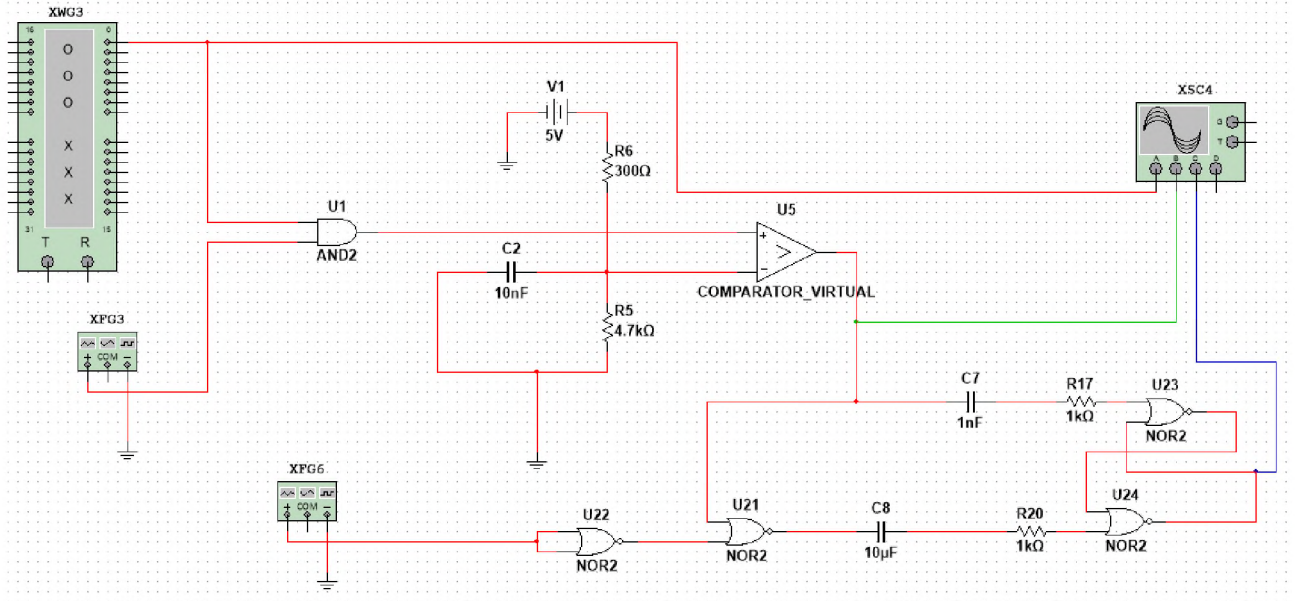


Рисунок 2.14 – Модель пристрою біполярного коду RZ

Осцилограма роботи моделі наведена на рис. 2.15.

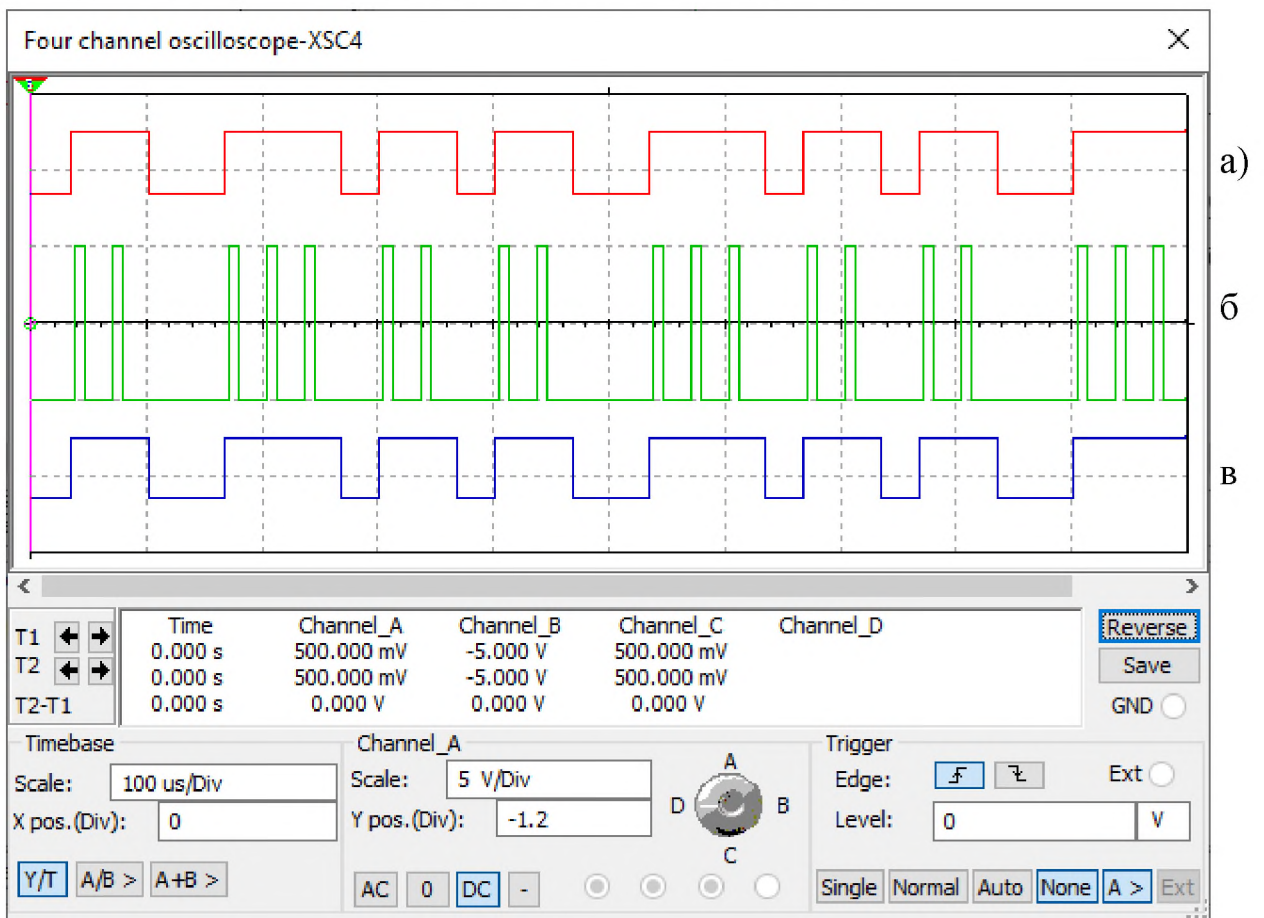


Рисунок 2.15 – Осцилограма роботи моделі біполярного коду RZ, а) вхідний сигнал, б) кодований сигнал, в) декодований сигнал

### 2.1.5. Манчестерське кодування

Манчестерське кодування також відоме як фазове кодування. Для кодування одиниць і нулів використовується перепад потенціалу, тобто фронт імпульсу. При манчестерському кодуванні кожен такт ділиться на дві частини. Інформація кодується перепадами потенціалу, що відбуваються в середині кожного такту. Одиниця кодується перепадом від низького рівня сигналу до високого, а нуль – зворотним перепадом. Так як сигнал змінюється, принаймні, один раз за такт передачі одного біта даних, то манчестерський код володіє хорошими самосинхронізуючими властивостями.

На рисунках 2.16 (а, б) наведена реалізована модель манчестерського кодування, згідно матеріалів наведених у пункті 1.8.1.3. Осцилограма роботи моделі зображена на рис. 2.17

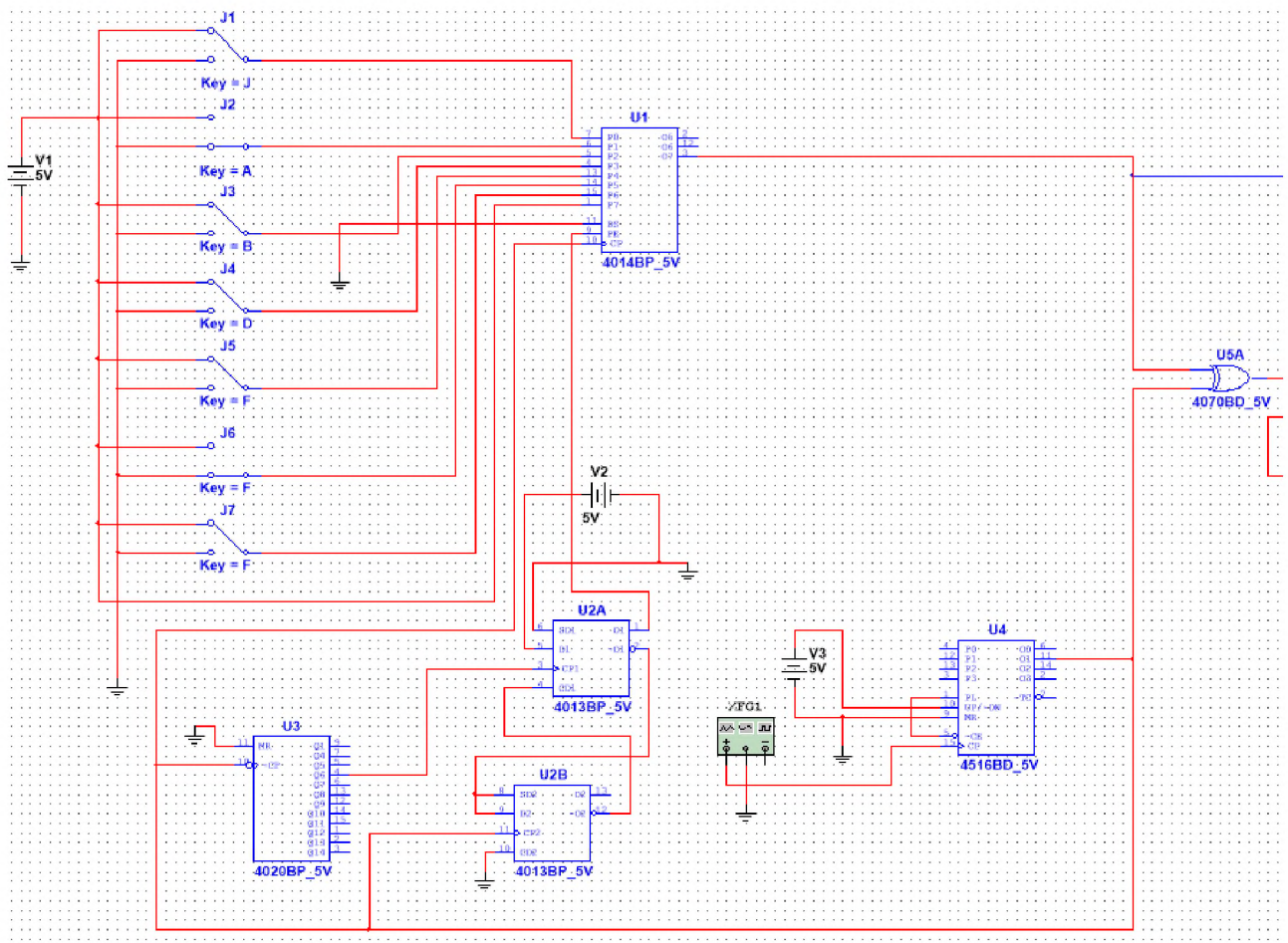


Рисунок 2.16 (а) – Перша частина моделі пристрою манчестерського коду



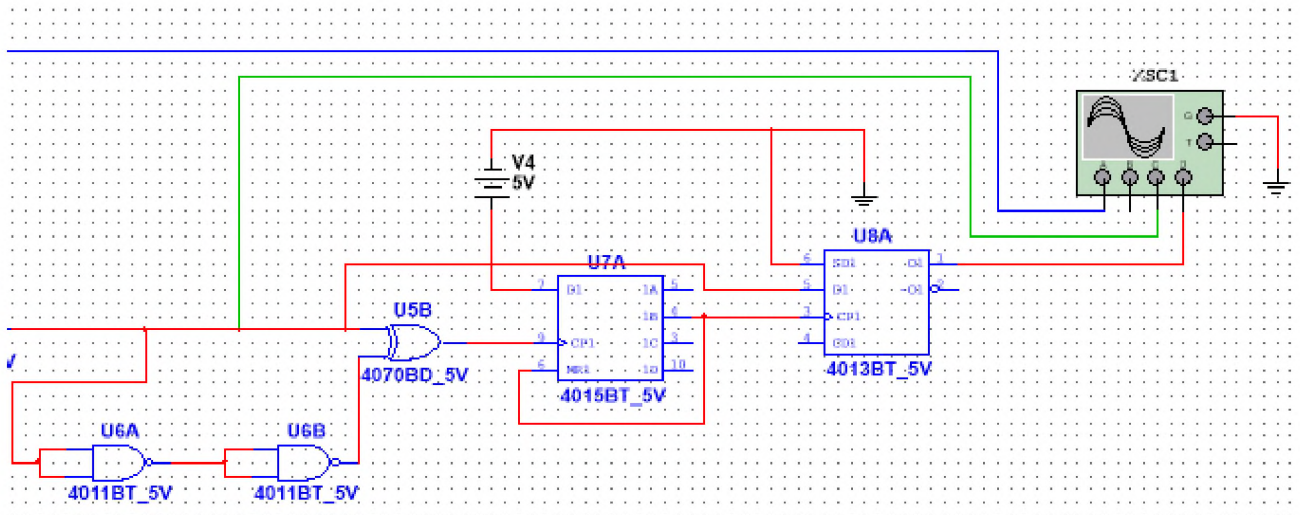


Рисунок 2.16 (б) – Друга частина моделі пристрою манчестерського коду

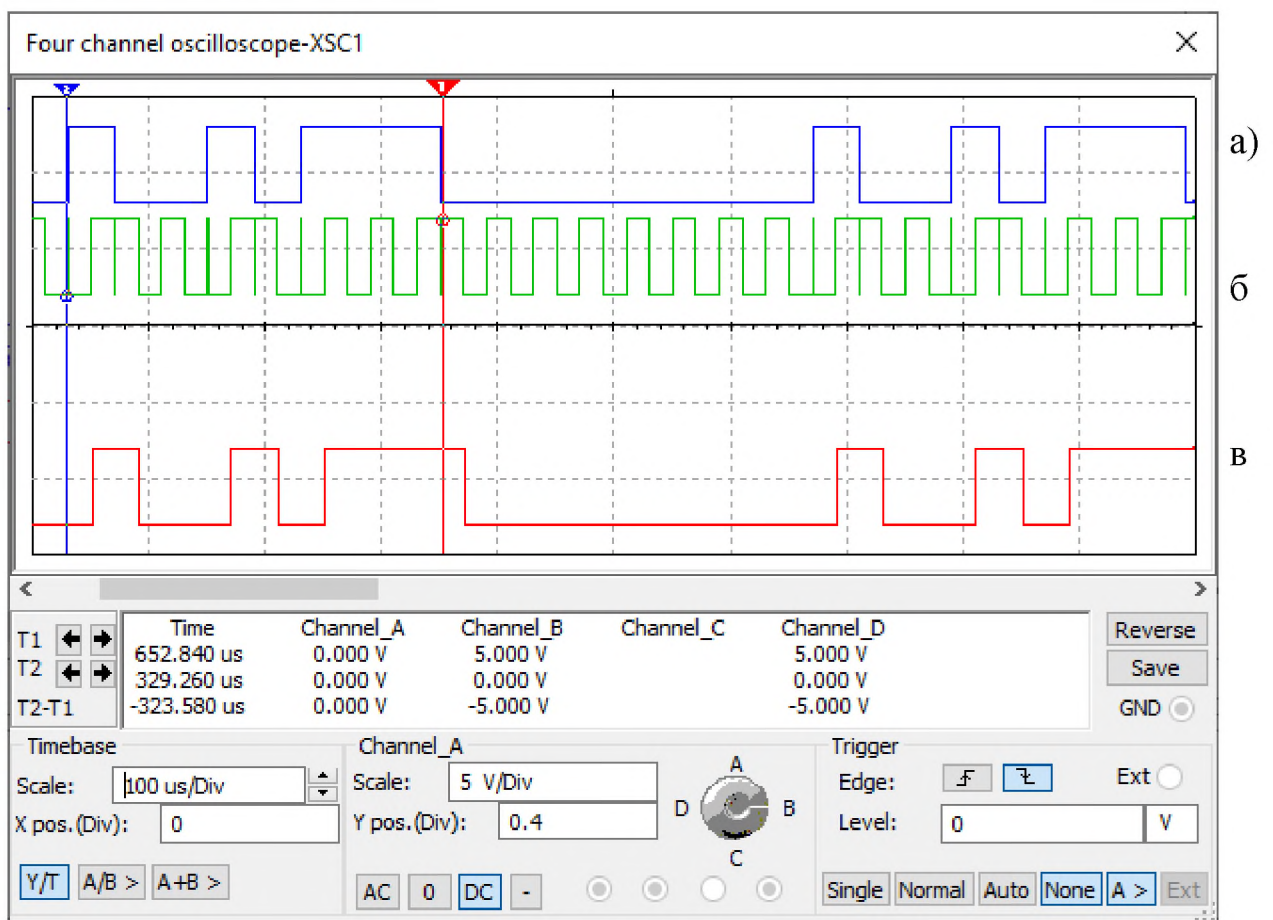


Рисунок 2.17 – Осцилограма роботи моделі манчестерського коду, а) вхідний сигнал, б) кодований сигнал, в) декодований сигнал

Дана модель має ряд особливостей та недоліків роботи. По-перше, модель має обмеження в передачі даних. У даному випадку передається лише 8 біт

інформації, наступні 8 тактів для передачі є захисними. Максимальну кількість, що можна передати застосувавши дану схему – це 16 біт.

По-друге, згідно осцилограми рис. 2.17 початкові данні та данні декодера не співпадають, за часом, декодування даних відбувається, але з затримкою.

Наступним недоліком моделі є те, що максимальна тактова частота цієї моделі складає 3МГц, тому що коротка бітова тривалість в результаті затримки між даними і тактовою частотою кодера буде збільшуватися в ширину, якщо тактова частота передавача перевищує 3 МГц; отже, це призведе до того, що декодер не зможе правильно інтерпретувати отримані дані.

Для усунення вище зазначених недоліків була створена нова модель манчестерського коду, що представлена на рис. 2.18.

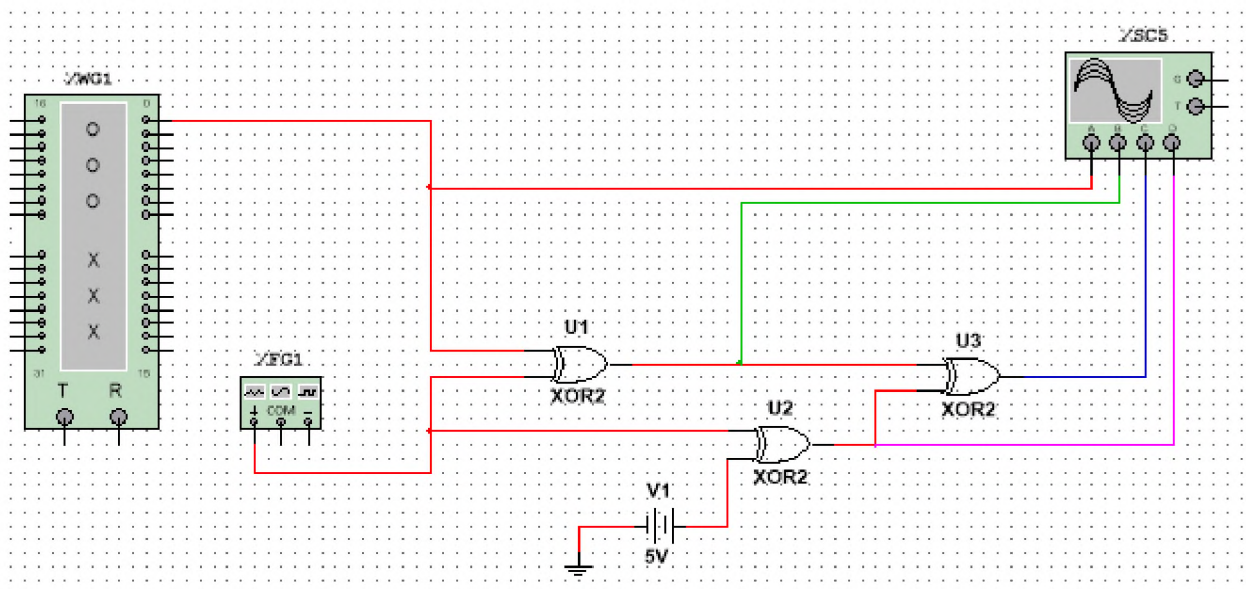


Рисунок 2.18 – Покращена модель манчестерського коду

В даній моделі кодер складається лише трьох компонентів. Замість перемикачів та статичного 8-ми бітного регістру зсуву, які імітували двійкову послідовність, було введено «Генератор слова». Попередня модель передавала максимум лише 16 біт і далі данні циклічно передавались. Завдяки «генератору слів» можна генерувати данні розміром 8192 біт. Тактовий імпульс задається лише функціональним генератором. В попередній моделі після 8 біт інформації, наступні 8 тактових імпульсів була пауза. Ця пауза створювалася за допомогою



двох D-тригерів та двійкового лічильника. Необхідність цих елементів в новій моделі відпала, тому вони були спрощені.

Тактовий сигнал та сигнал з даними, що надходять с генератора слів поступають на входи логічного елементу XNOR, і в результаті операції «виключне АБО» з інверсією отримуємо закодовану послідовність манчестерським кодом – рис. 2.19 б. Недоліком моделі кодування є те що, при перепаді напруги початкового сигналу, утворюються миттєві хибні перепади у закодованому сигналі.

Декодування для даної моделі складається лише з двох елементів XOR, функціонального генератора, та джерела живлення постійного струму 5В. Хибні миттєві перепади в закодованій послідовності ігноруються декодером і сигнал відтворюється правильно.

Результати роботи покращеної моделі зображені на рис. 2.19.

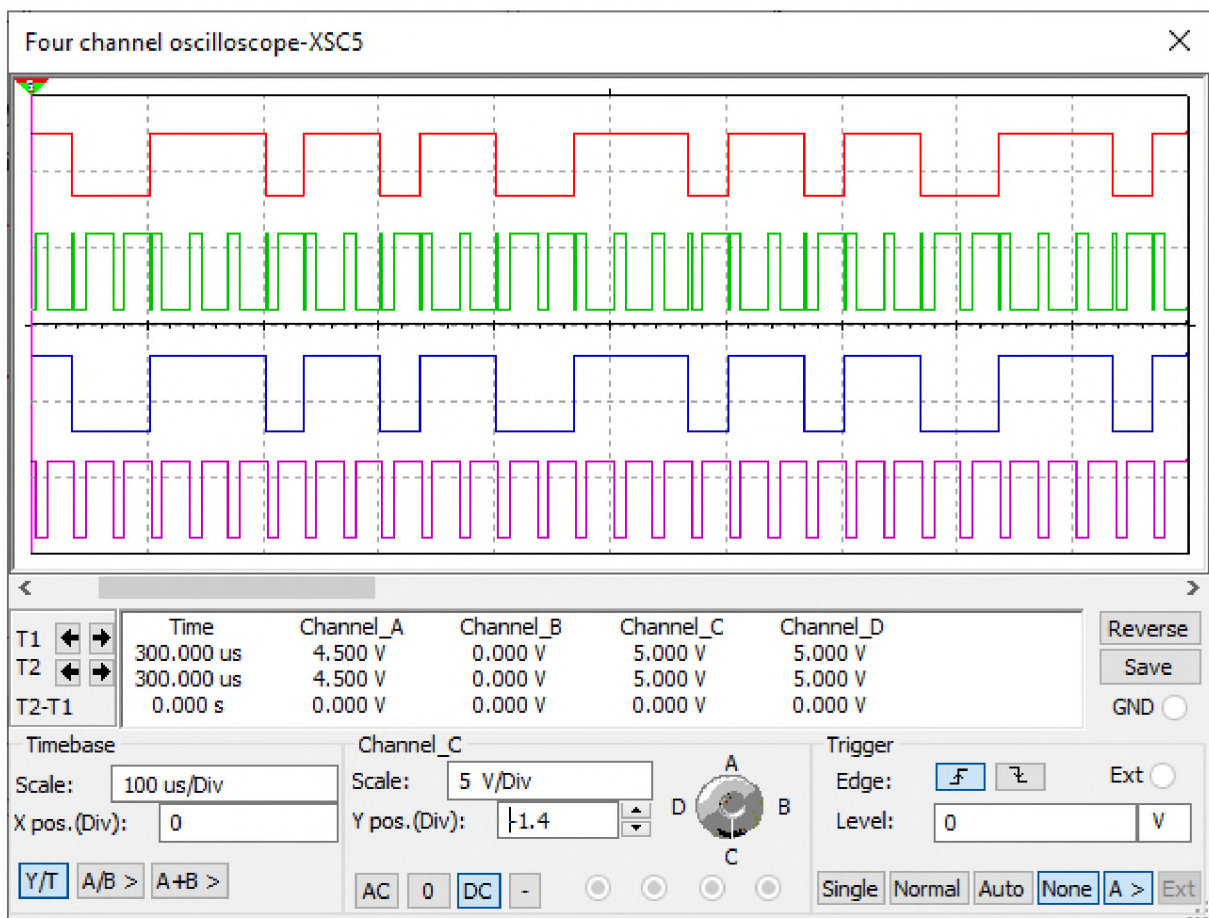


Рисунок 2.19 – Осцилограма роботи покращеної моделі манчестерського коду, а) вхідний сигнал, б) кодований сигнал, в) декодований сигнал

## 2.1.6 Кодування АМІ

Найбільш складна реалізація кодування АМІ або ЧПІ (чергування полярності імпульсів). АМІ – є трирівневим кодом, у якому, під час вступу на вхід кодера логічної одиниці здійснюється зміна потенціалу або на верхній, або на нижній рівень, в залежності від попереднього рівня, на якому передавалася логічна одиниця. Згідно матеріалів наведених у пункті 1.8.2.4, було реалізовано модель кодера АМІ, що представлена на рис. 2.20.

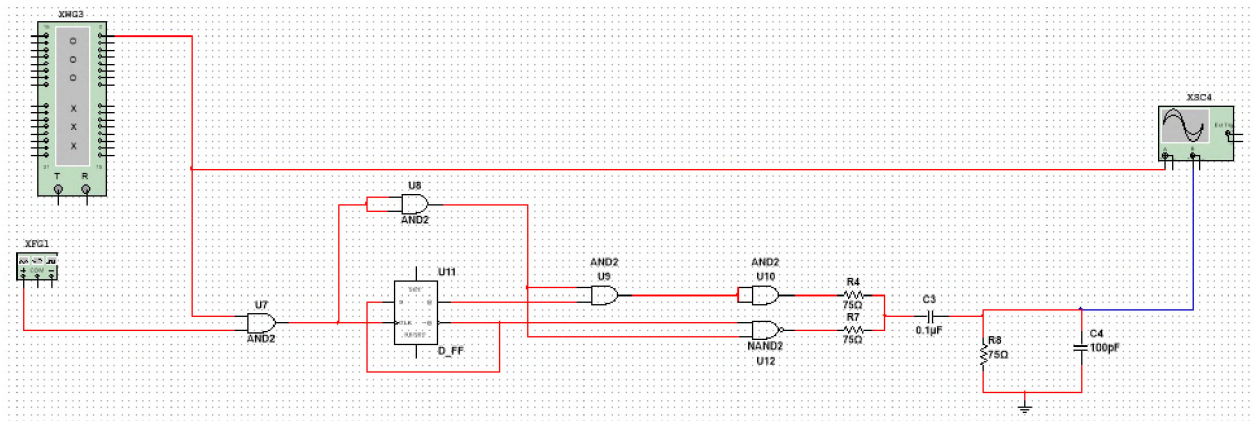


Рисунок 2.20 – Кодер АМІ

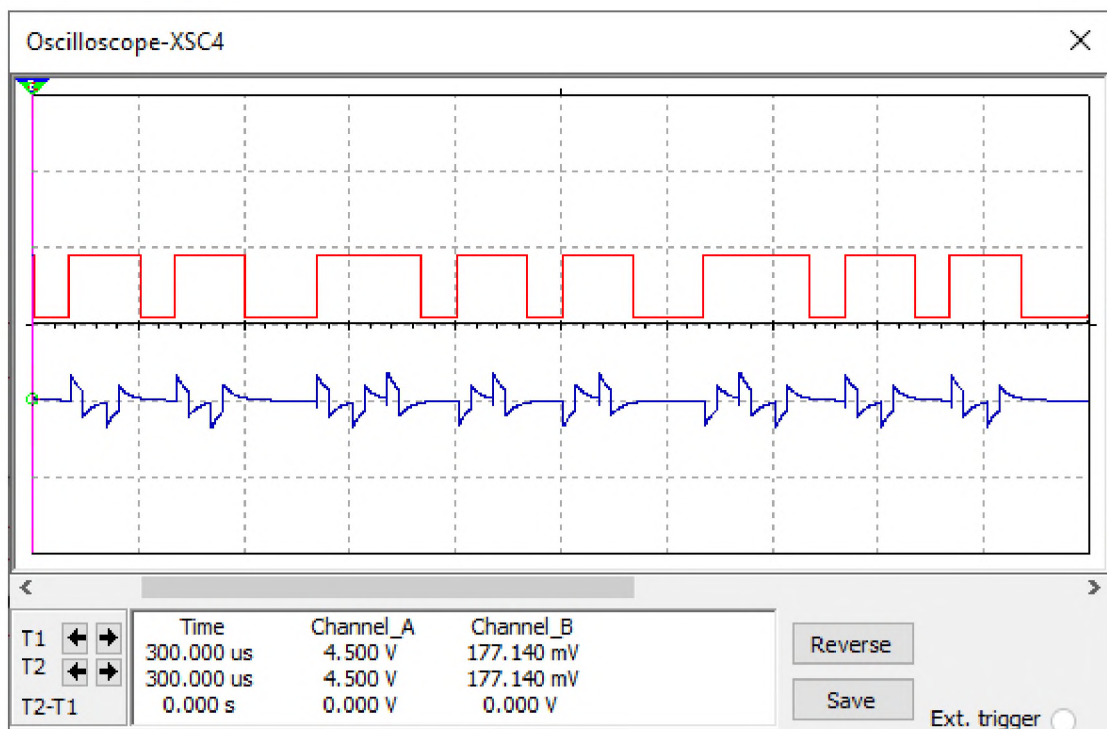


Рисунок. 2.21 – Осцилограма роботи кодера АМІ



Згідно осцилограми роботи моделі наведеною на рис. 2.21 можна побачити, що реалізований кодер працює не правильно. Причиною не правильною роботи являється не вірно підібрані номінали резистора та конденсатора які складають ланцюг RC. Для правильної роботи пристрою було покращено схему наведену в літературі. Схема покращеної моделі кодера АМІ наведена на рис. 2.22.

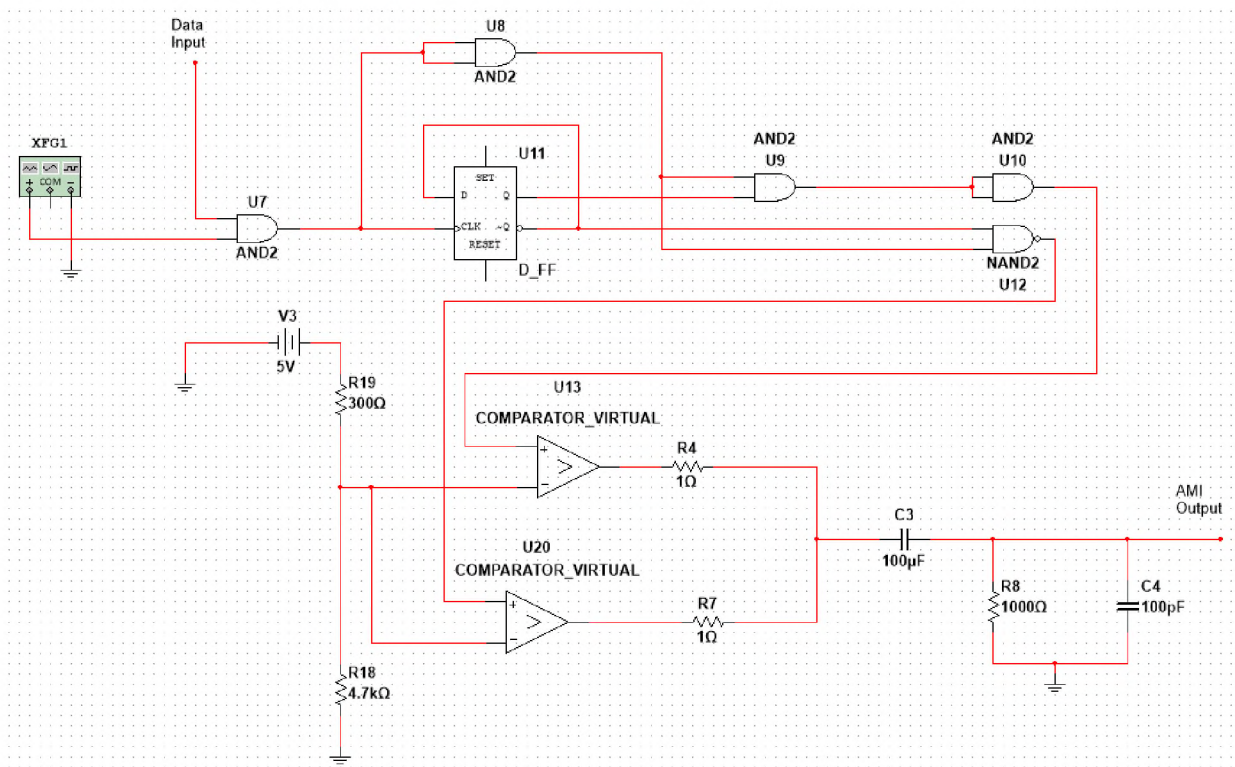


Рисунок 2.22 – Покращена модель кодера АМІ

Номінали резистора і конденсатора, складові RC-ланцюжка, були підібрані такими, щоб конденсатор не встигав заряджатися та розряджатися повністю до приходу наступного лівого або правого фронту імпульсу, інакше на виході вийдуть дуже короткі за часом викиди, що збігаються по фазі з фронтами імпульсів сигналу RZ. Також були зменшені опори резисторів дільника напруги до 15 Ом. Ще одним недоліком попередньої схеми було те, що, оскільки у схемі використовується TTL логіка, сигнал завжди обмежений 5В, відповідно на виході сигнал стає -2.5В і + 2.5 В. Для напруги на виході логічних елементів мінус 5В та +5В використовуються два компаратора, що підсилюють напругу сигналу.

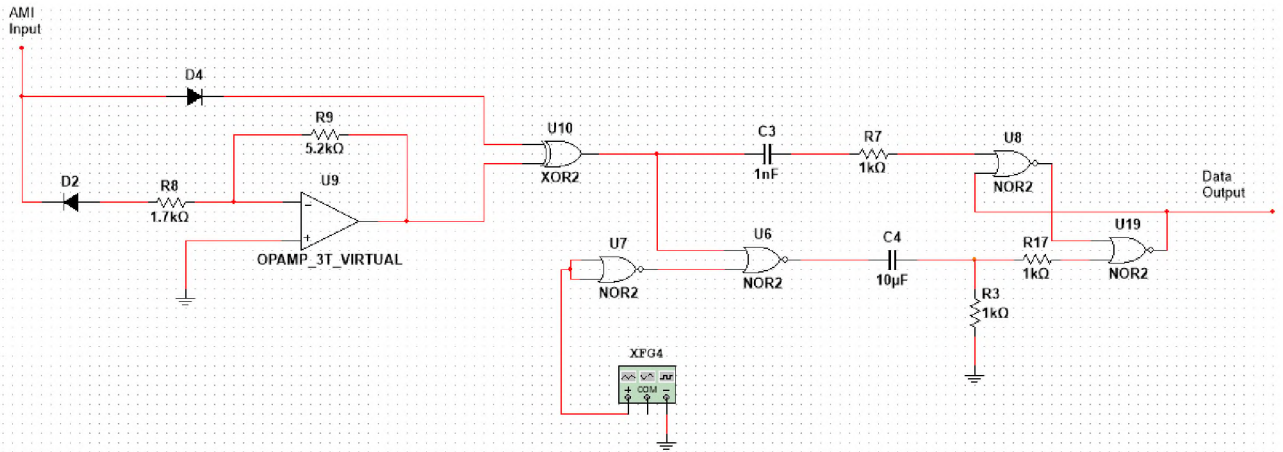


Рис. 2.23 – Декодер АМІ

Модель пристрою декодування (рис. 2.23) являє собою інвертуючий підсилювач і декодер RZ. Сигнал АМІ розділяється на позитивний і негативний сигнал за допомогою діодів D3 і D4. Сигнал з негативним напругою потрапляє на інвертуючий підсилювач який, з негативного сигналу робить його позитивним. Цей сигнал подається разом з позитивним сигналом на елемент XOR де відбувається логічна операція НЕ-АБО. Далі код являє собою звичайний код виду RZ, декодер якого описаний в пунктах 1.8.2.1.

Повна модель пристрою коду АМІ приведена на рис. 2.24 (а, б).

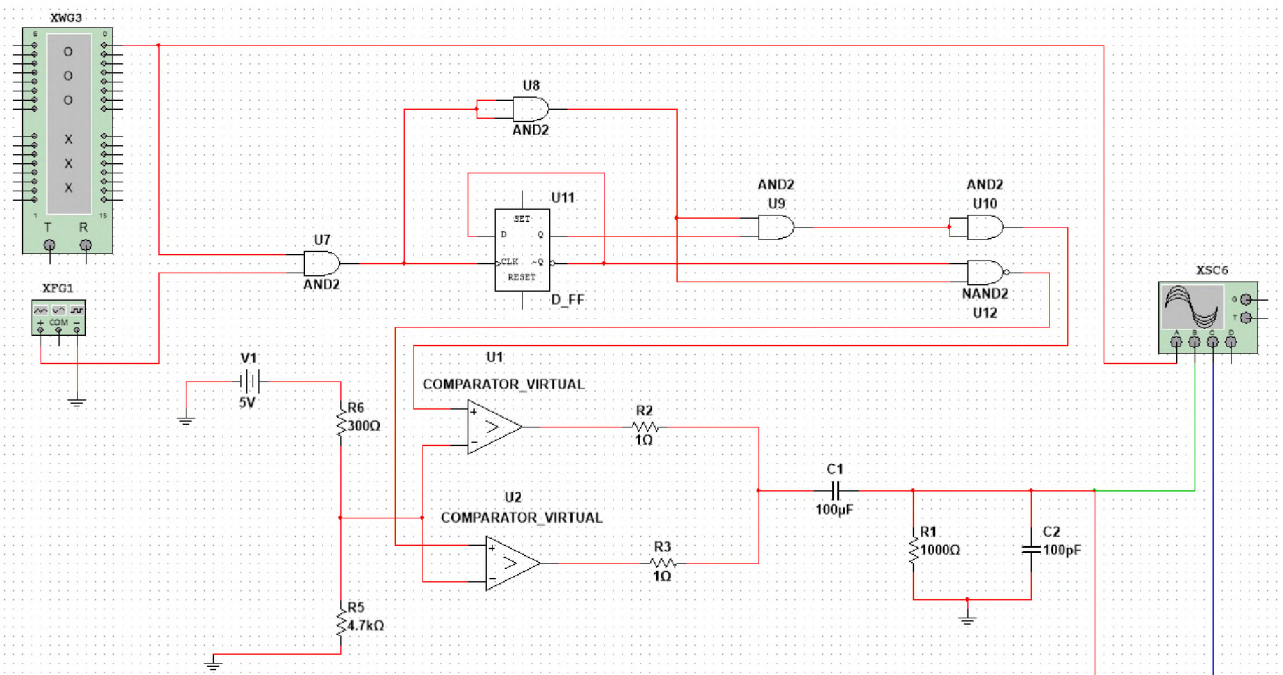


Рисунок 2.24 (а) – Перша частина моделі пристрою коду АМІ



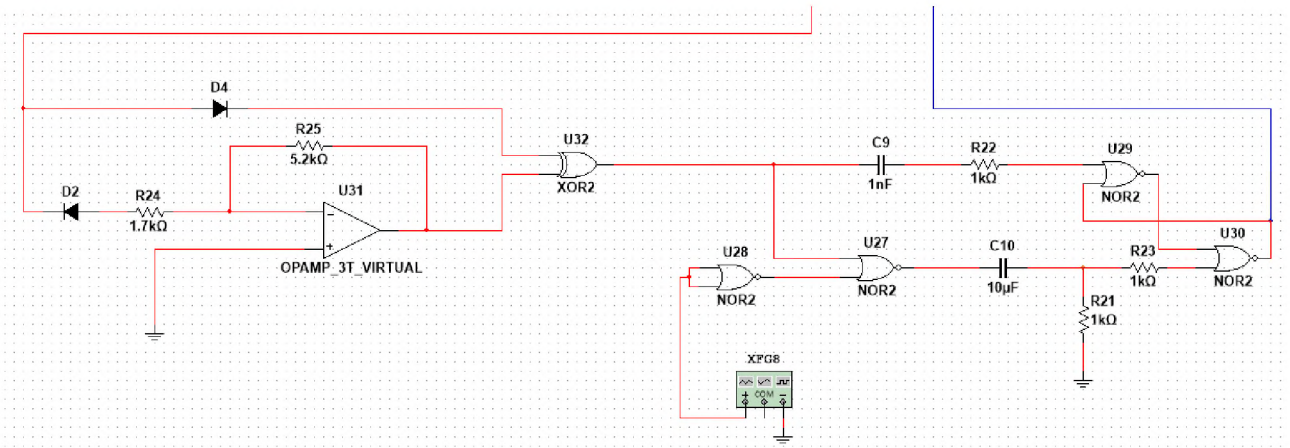


Рисунок 2.24 (а) – Друга частина моделі пристрою коду АМІ

Результати роботи моделі представлені на рис. 2.25.

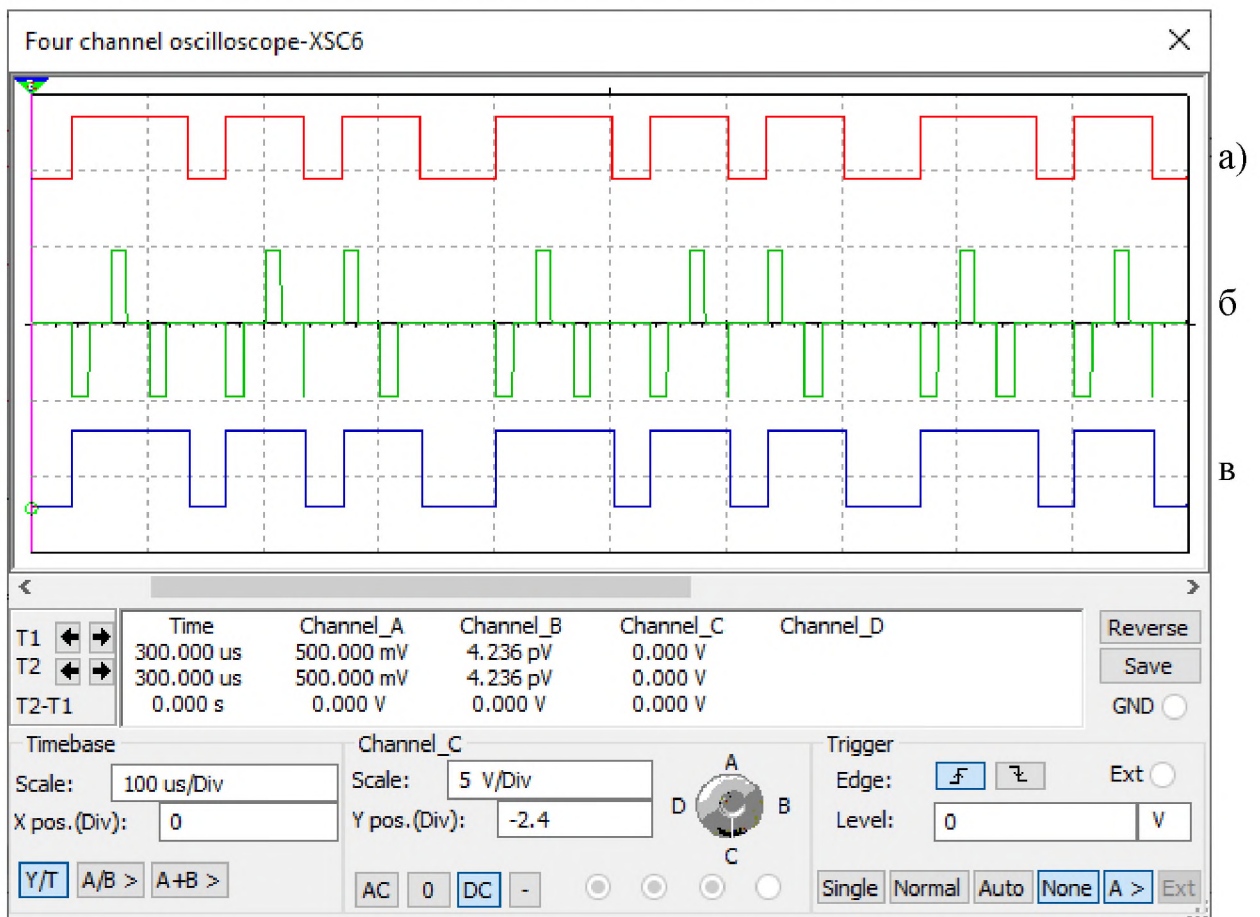


Рисунок 2.25 – Осцилограма роботи моделі коду АМІ, а) вхідний сигнал, б) кодований сигнал, в) декодований сигнал

## 2.2 Дослідження перешкодостійкості реалізованих пристроїв кодування

Канали зв'язку, по яких передається вимірювальна інформація, на практиці ніколи не бувають ідеальними. У них можуть завжди бути присутнім перешкоди. Відмінність лише в рівні перешкод і в їх спектральному складі. Перешкоди в каналах зв'язку утворюються з різних причин, але результат впливу їх на передану інформацію завжди один – інформація спотворюється.

Важливим параметром, що характеризує якість передачі цифрового лінійного сигналу є його перешкодостійкість.

Перешкодостійкістю називається здатність системи здійснювати прийом інформації в умовах наявності перешкод в лінії зв'язку.

### 2.2.1 Дослідження моделей на помилковий біт в закодованому сигналі

Для дослідження якості передачі сигналу розглянутих лінійних кодів була розроблена модель, яка додає помилковий біт в кодований сигнал. Модель представлена на рис. 2.26.

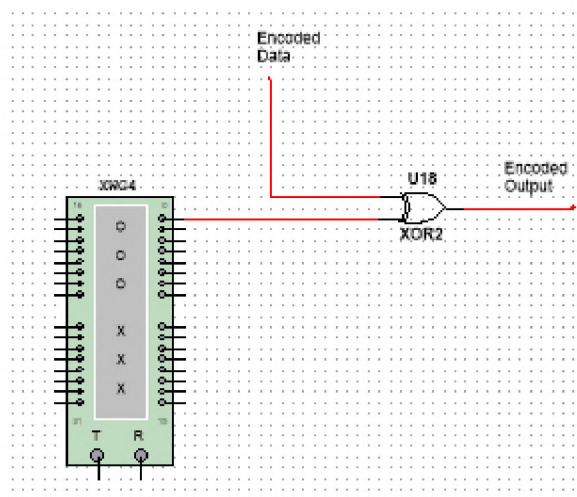


Рис 2.26 – Схема моделі для впровадження помилкового біта

Дана модель являє собою досить просту схему, яка дозволяє імітувати помилку біта в закодованому сигналі в середовищі Multisim 14.2. Вона складається з Генератора слів XWG4 і логічного елемента XOR2, що представляє собою логічну операцію виключне «АБО». На один вхід вентиля

XOR2 подається сигнал з уже закодованими даними одного з досліджуваних лінійних кодів, на другий вхід подається двійкова послідовність з такою ж частотою, що і закодовані дані. Результат виконання логічної операції XOR буде дорівнювати 1 (одиниці), якщо один з бітів а або б дорівнює 1 (одиниці), у всіх інших випадках, результат дорівнює 0 (нулю). Таким чином, задаючи послідовність в генераторі слів [0 0 0 0 0 1 0 0] і об'єднуючи його з закодованими даними, за допомогою операції виключне «АБО», отримуємо на виході шостий біт з помилкою, за умови що в закодованій послідовності в цей час передається теж біт одиниця. Осцилограми роботи моделі з помилковим бітом представлені на рис. 2.27-2.32.

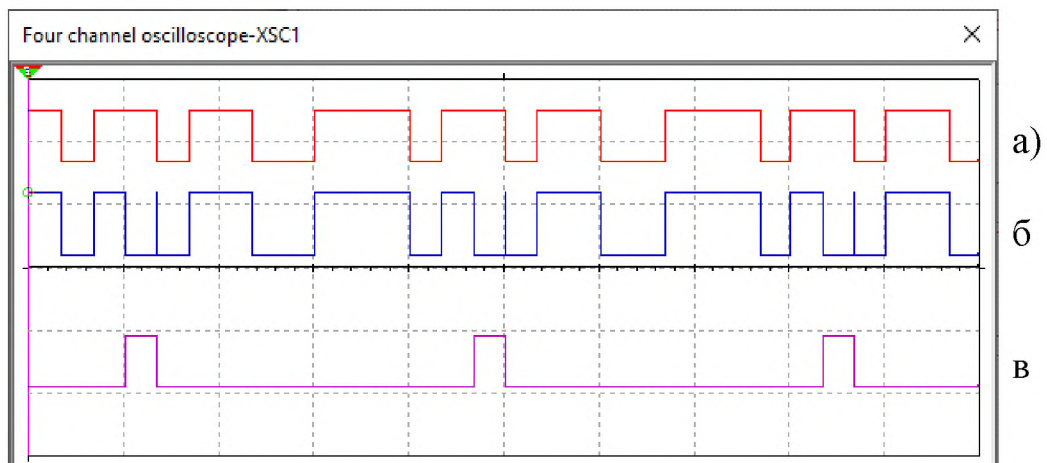


Рисунок 2.27 – Уніполярний код NRZ, а) вхідний сигнал  
б) вихідний сигнал в) сигнал помилкового біта

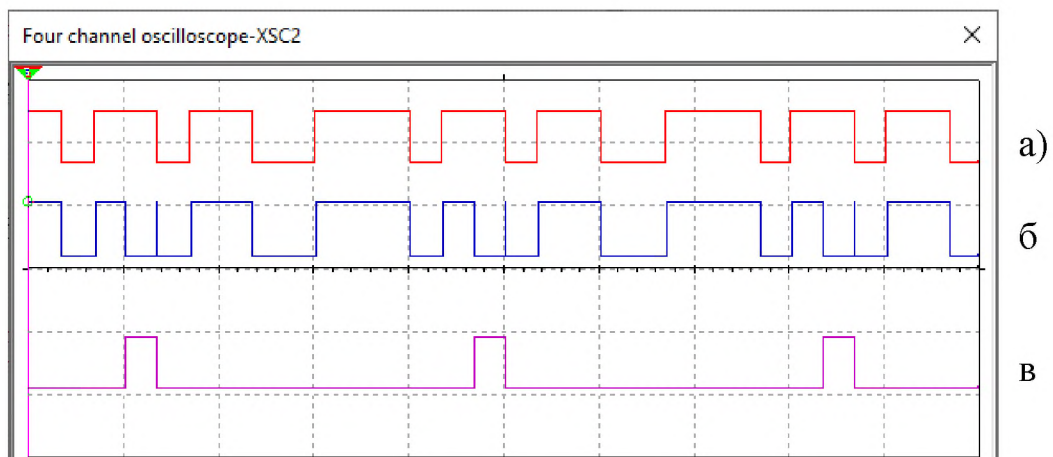


Рисунок 2.28 – Біполярний код NRZ, а) вхідний сигнал  
б) вихідний сигнал в) сигнал помилкового біта



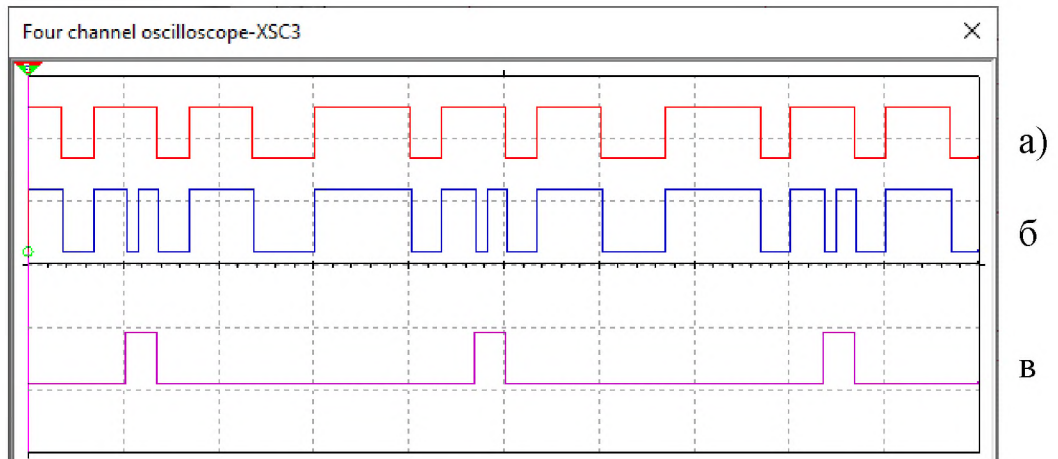


Рисунок 2.29 – Уніполярний код RZ, а) вхідний сигнал  
б) вихідний сигнал в) сигнал помилкового біта

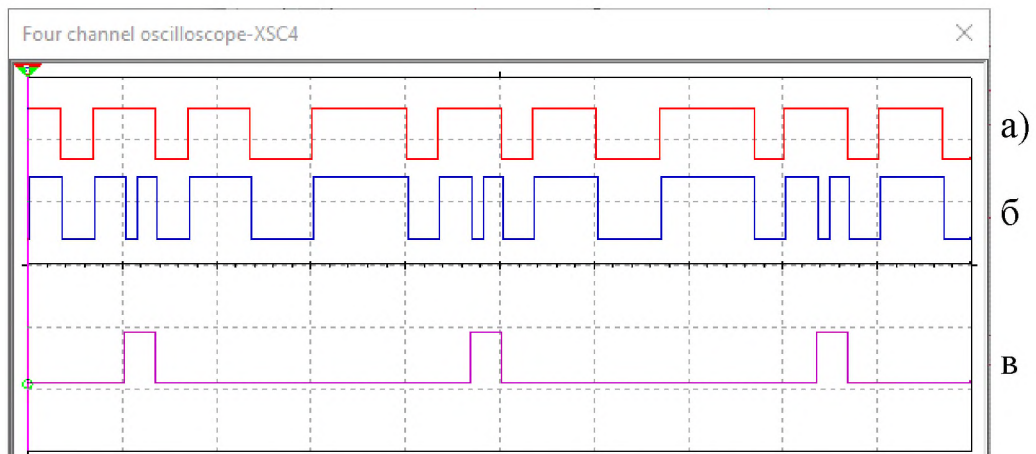


Рисунок 2.30 – Біполярний код NRZ, а) вхідний сигнал  
б) вихідний сигнал в) сигнал помилкового біта

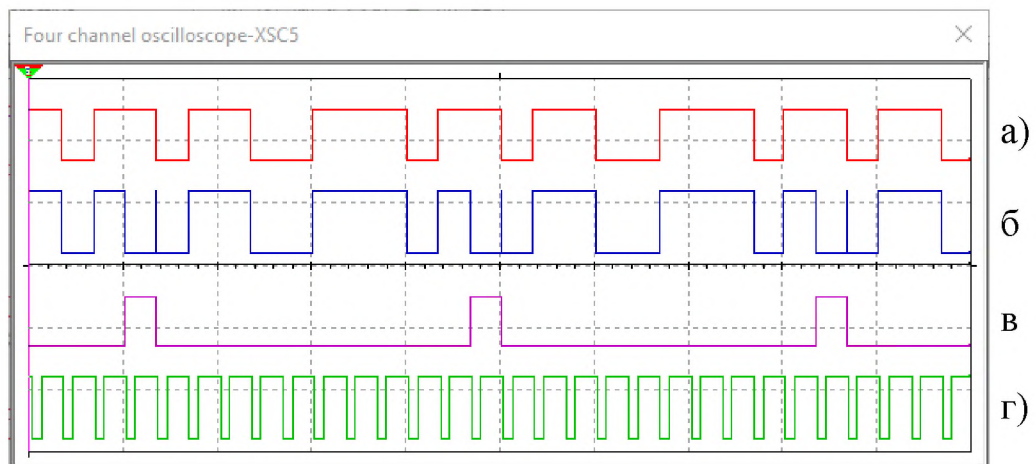


Рисунок 2.31 – Манчестерський код, а) вхідний сигнал  
б) вихідний сигнал в) сигнал помилкового біта г) тактовий імпульс

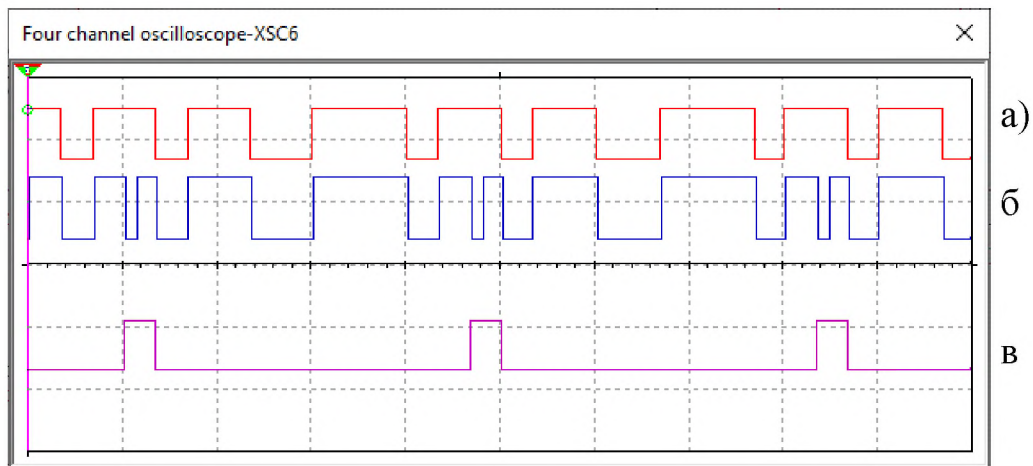


Рисунок 2.32 – Код АМІ, а) вхідний сигнал  
б) вихідний сигнал в) сигнал помилкового біта

З осцилограм наведених на рисунках 2.27 – 2.32 можна побачити, що кожен пристрій кодування не виправляє помилки біта при передачі. У випадку з кодуваннями типу NRZ (поляричним та біполяричним) та манчестерським кодуванням повністю біт втрачається, тобто переданий біт «1» весь час імпульсу розпізнається як «0». Моделі коду RZ (поляричного та біполяричного) та АМІ також розпізнають як біт «0» проте лише короткий період часу передачі імпульсу, інший період – декодер правильно відновлює переданий сигнал.

З отриманих результатів можна зробити висновок, що усі розглянуті моделі пристроїв лінійного кодування чутливі до помилки біта. Незначна відмінність реакції на помилковий біт моделей NRZ та манчестерського коду, пов'язана з тим, що при кодуванні «одиниця» кодується напругою впродовж всього часу передачі імпульсу, на відмінно від інших розглянутих моделей пристроїв кодування, де кодований імпульс займає лише половину такту. Для отримання задовільних результатів розпізнавання помилкового біта необхідна впровадження методи логічного кодування та ускладнювати реалізацію моделей.

## 2.2.2 Дослідження моделей на завадостійкість к спотворенням сигналу

У даній роботі для дослідження завадостійкості пристроїв лінійних кодів к спотворенням були доопрацьовані моделі пристроїв описаних в пункті 2.1. Для досягнення навмисного спотворення форми сигналу на виході пристроїв кодування був доданий інтегруючий (RC) ланцюг. Інтегруючі ланцюги пропускають постійну складову сигналу, відсікаючи високі частоти, тобто є фільтрами нижніх частот. При цьому чим вище постійна часу, тим нижче частота зрізу. Інтегруючими властивостями володіє кабель з пари проводів, оскільки будь-який провід є резистором, володіючи власним опором, а пара проводів, що йдуть поруч, ще й утворюють конденсатор, нехай і з малою ємністю. При проходженні сигналів по такому кабелю, їх високочастотна складова може втрачатися, причому тим сильніше, чим більше довжина кабелю [22]. Для витої пари категорії 5 активний опір не повинен перевищувати 9.4 Ом на 100 м, а значення ємності – 5.6 нФ на 100 м [13].

Для параметрів інтегруючого ланцюга, взято номінали резистору 94 Ом та конденсатора 56 нФ, які співвідносні з параметрами витої пари категорії 5 протяжністю 1 км.

### 2.2.2.1 Уніполярний код без повернення до нуля

Модель для уніполярного коду NRZ, в якій імітується передача сигналу через фізичний канал зв'язку, шляхом спотворення форми сигналу на виході кодера представлена на рис. 2.33.

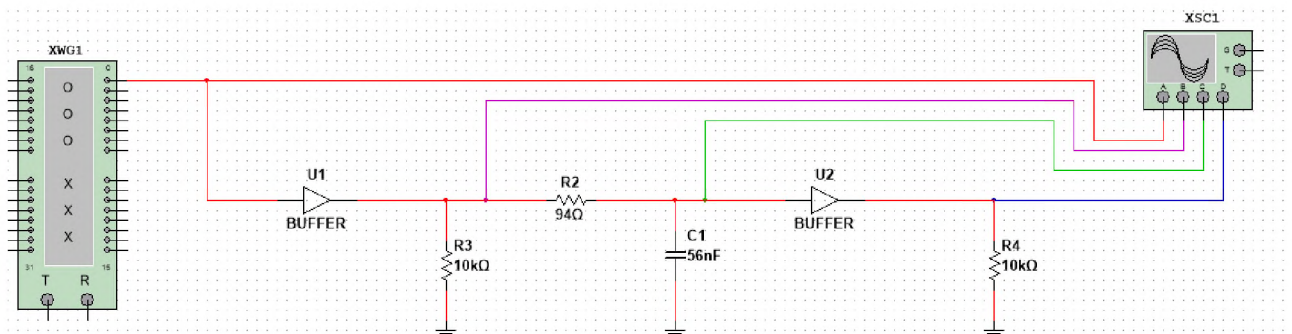


Рисунок 2.33 – Модель пристрою уніполярного кодування NRZ з спотворенням закодованого сигналу



Осцилограма роботи моделі, з масштабом 5В в клітці, зображена на рис. 2.34.

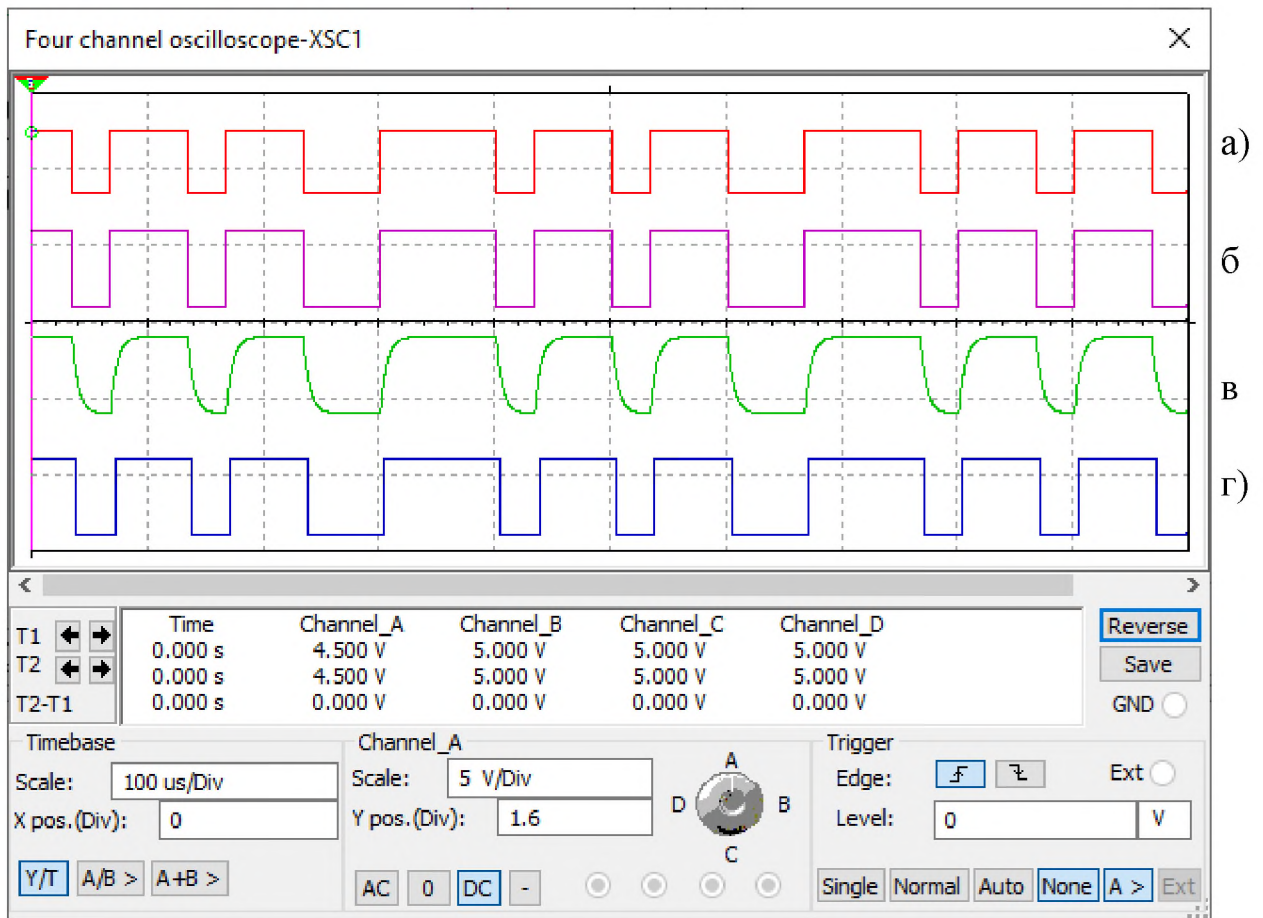


Рисунок 2.34 – Осцилограма роботи моделі уніполярного коду NRZ, а) вхідний сигнал, б) кодований сигнал, в) спотворений сигнал г) декодований сигнал

На рис. 2.34 в, видно як змінилася форма сигналу після проходження через інтегруючий ланцюг. Форма сигналу має подібності з прямокутними імпульсами, проте при перепадах рівня сигналу спостерігається згладжування.

Незважаючи на спотворення форми сигналу, осцилограма на виході декодера показує, що пристрій декодування розпізнає закодовану послідовність в зміненому сигналі, і абсолютно точно відновлює сигнал.

### 2.2.2.2 Біполярний код без повернення до нуля

Модель біполярного коду без повернення до нуля з спотворенням закодованого сигналу представлено на рис. 2.35.

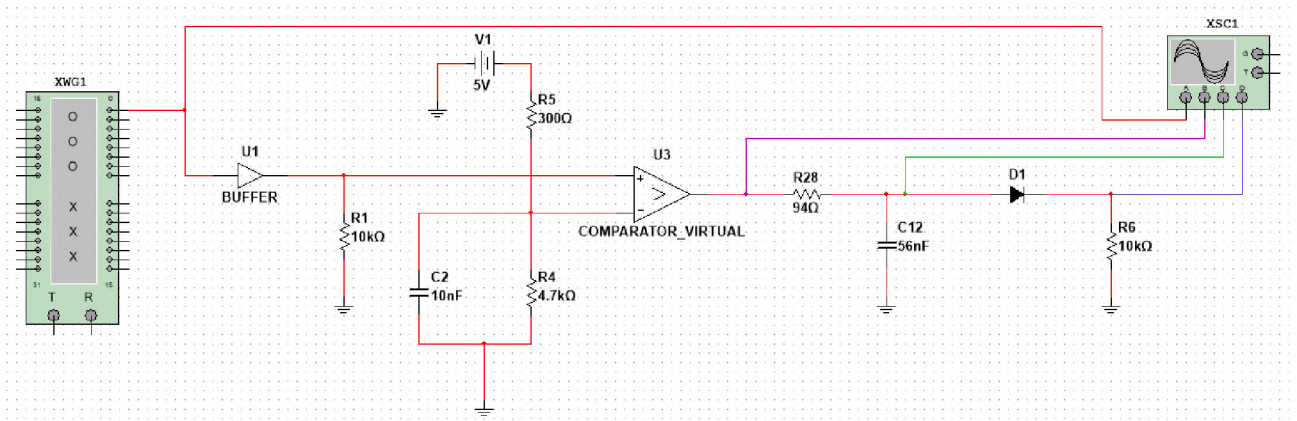


Рисунок 2.35 – Модель пристрою біполярного кодування NRZ з спотворенням закодованого сигналу

Результати роботи моделі наведені на осцилограмі, з масштабом 10В к клітці, рис. 2.36.

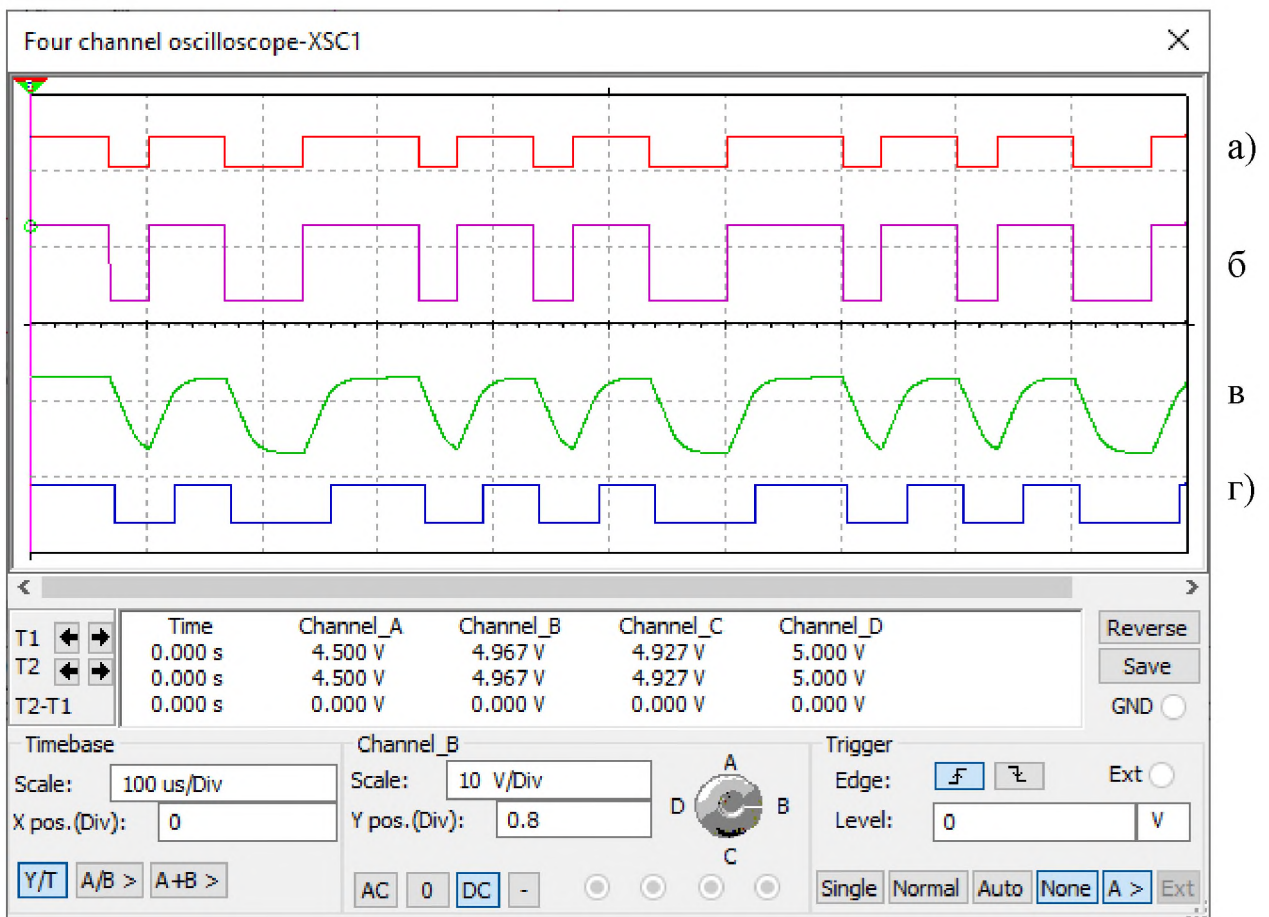


Рисунок 2.36 – Осцилограма роботи моделі біполярного коду NRZ, а) вхідний сигнал, б) кодований сигнал, в) спотворений сигнал г) декодований сигнал



Згідно осцилограми роботи моделі зображеної на рис. 2.36 можна побачити, що площа імпульсу в декодованому сигналі менша ніж, у вхідному. При проходженні через RC ланцюг збільшилась ширина імпульсу біполярного коду NRZ. Діод на декодері забезпечує спад до напруги початкового сигналу, проте оскільки сигнал вже не має прямокутної форми, відбувається затримка в декодуванні на фронті імпульсу.

### 2.2.2.3 Уніполярний код з поверненням до нуля

Модель уніполярного коду з поверненням до нуля з спотвореннями закодованого сигналу представлена на рис. 2.37. Результати роботи моделі представлені на на рис. 2.38

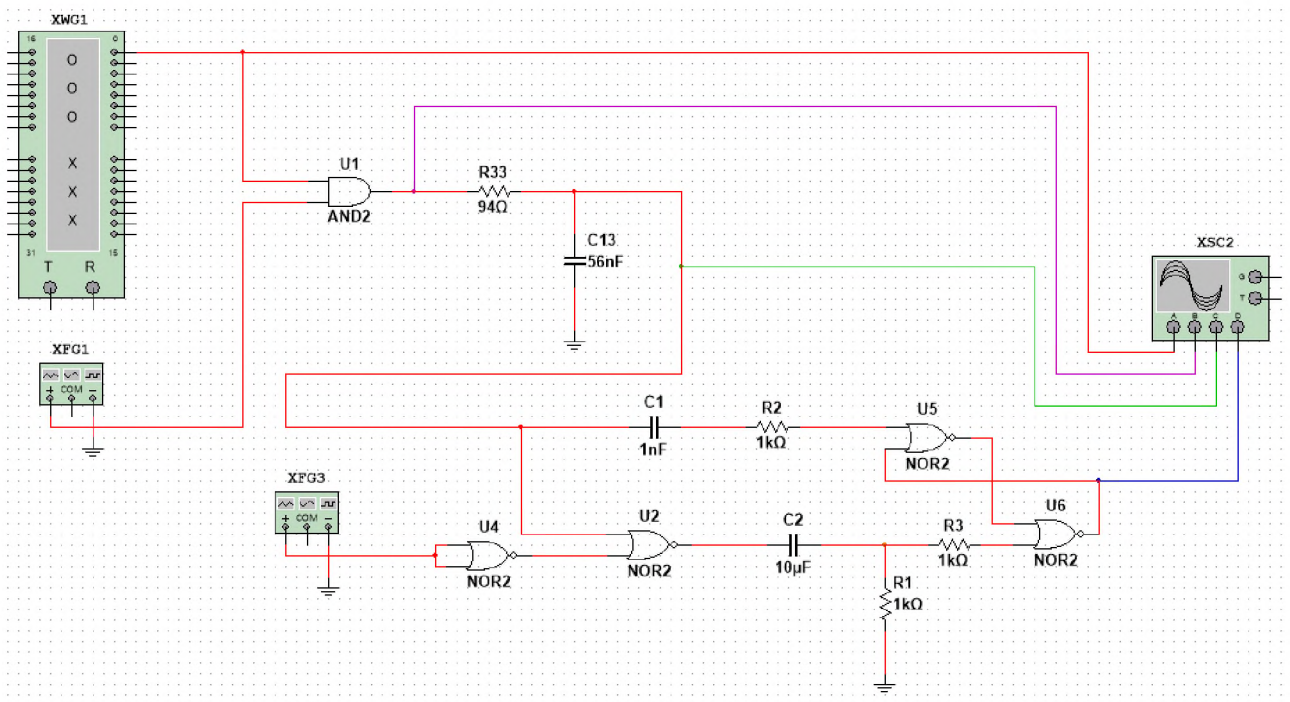


Рисунок 2.37 – Модель пристрою уніполярного кодування RZ з спотворенням закодованого сигналу

На осцилограмі зображеній на рисунку 2.38 (в) можна побачити, як змінилася форма закодованого сигналу після проходження через RC ланцюг. Форма сигналу вже не схожа на прямокутну як у коді NRZ. Це пов'язано з тим, що тривалість імпульсу при передачі «одиниці» в коді RZ вдвічі менша, і

конденсатор після досягнення напруги  $U_0$  починає відразу розряджатися. В результаті отримуємо в декодованій послідовності миттєві перепади сигналу до нуля та назад у декодованому сигналі при передачі підряд двох та більше «одиниць». Не дивлячись на це, форма сигналу декодованого сигналу аналогічна початковому сигналу.

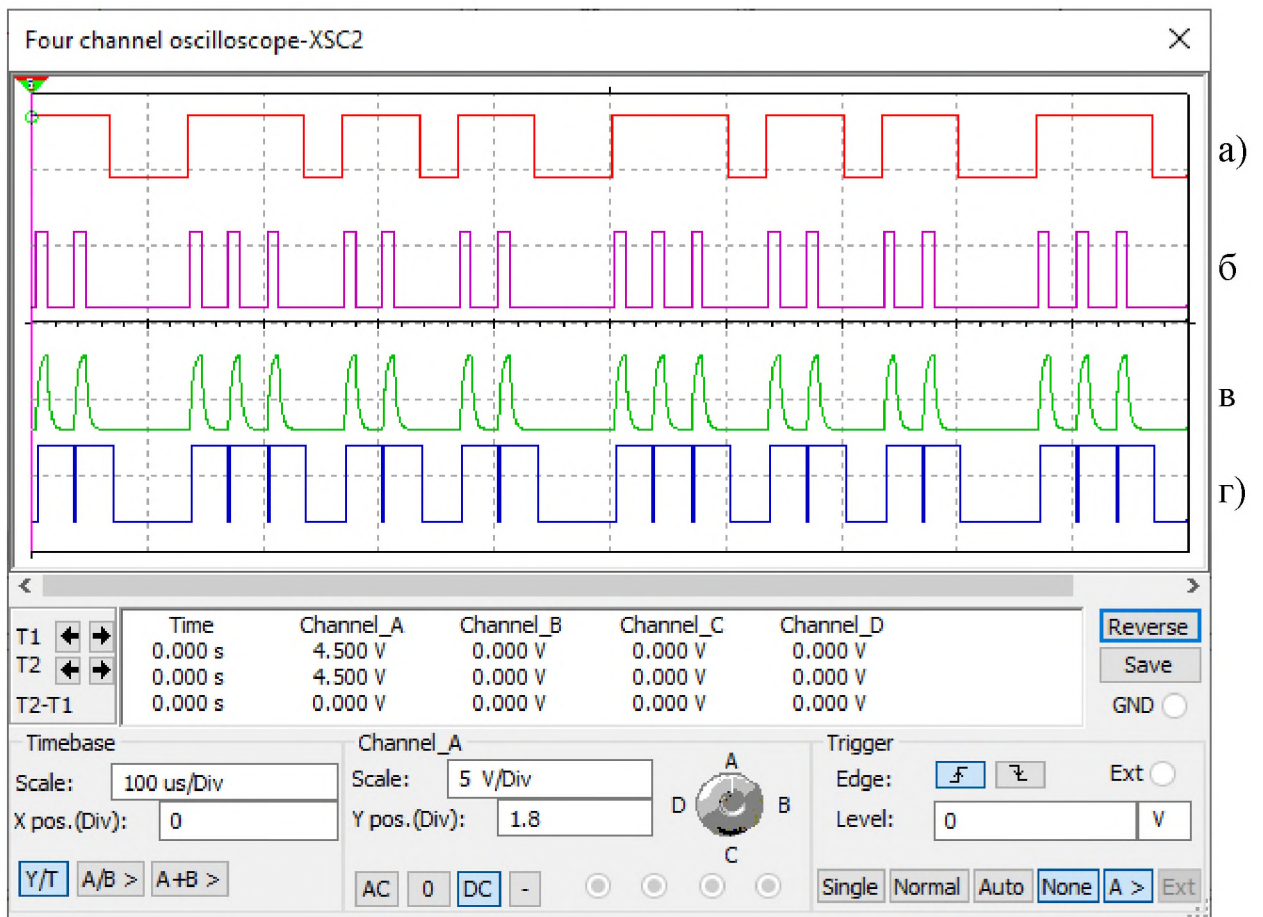


Рисунок 2.38 – Осцилограма роботи моделі уніполярного коду RZ, а) вхідний сигнал, б) кодований сигнал, в) спотворений сигнал г) декодований сигнал

#### 2.2.2.4 Біполярний код з поверненням до нуля

Модель біполярного коду з повернення до нуля з спотворенням закодованого сигналу представлено на рис. 2.39. Осцилограма роботи моделі з інтегруючим ланцюгом в масштабі 10В в клітці зображена на рис. 2.40.



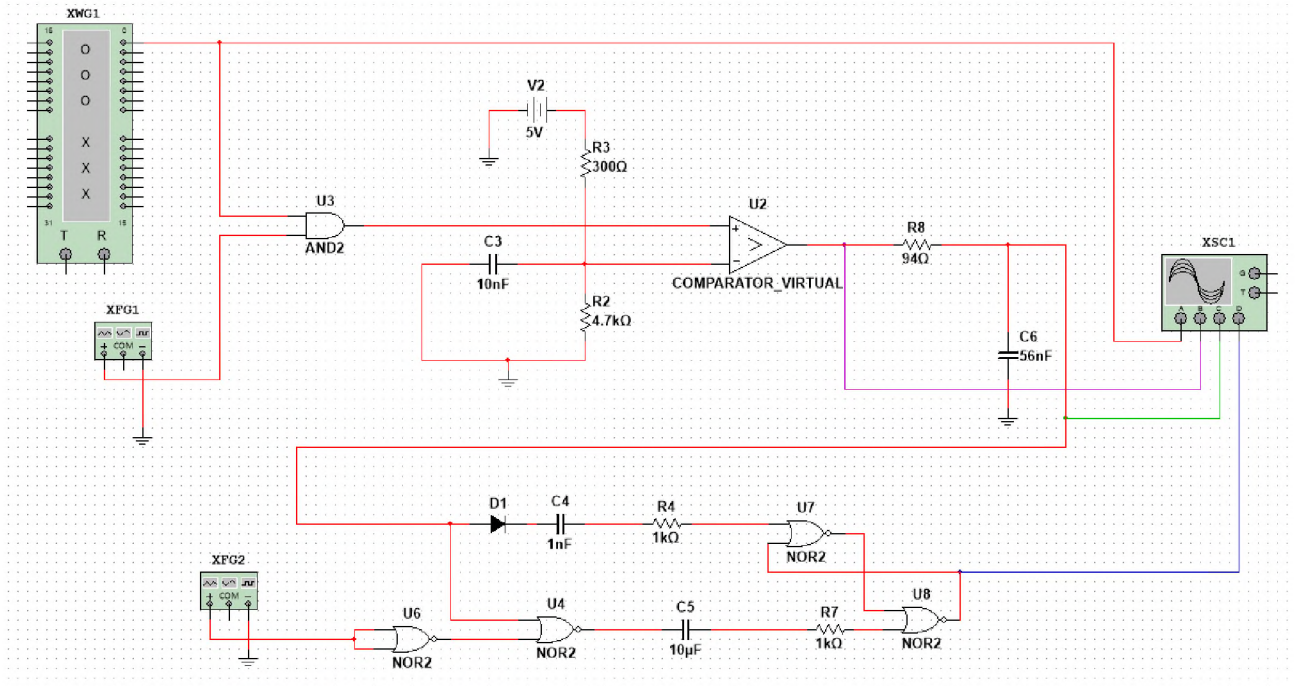


Рисунок 2.39 – Модель пристрою біполярного кодування RZ з спотворенням закодованого сигналу

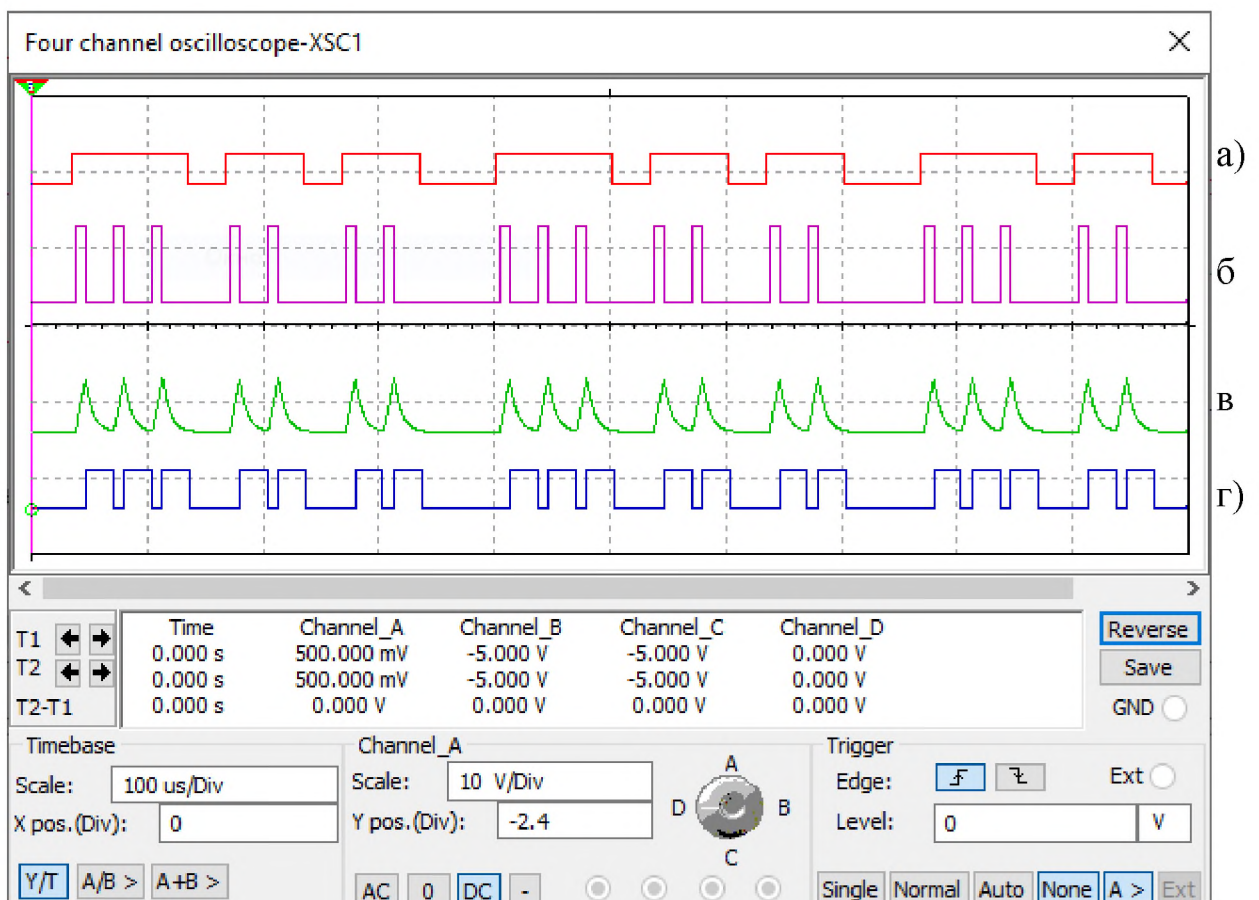


Рисунок 2.40 – Осцилограма роботи моделі біполярного коду RZ, а) вхідний сигнал, б) кодований сигнал, в) спотворений сигнал г) декодований сигнал

На осцилограмі зображеній на рис. 2.40 (в) можна побачити, що при проходженні біполярного імпульсу RZ через інтегруючий ланцюг, сигнал більше схожий на пиловидний. На відмінно від уніполярного RZ сигнал має гострі вершини, при проходженні через RC ланцюга з такими самими параметрами. Це пов'язано з тим, що конденсатор не встигає заряджатися до свого максимально рівня  $U_0$  і починає розряджатися раніше. Таким чином амплітуда кодованого сигналу зменшується, а форма сигналу стає схожа на пиловидну.

Декодер моделі не може абсолютно точно розпізнати закодовану послідовність, і в сигналі зображеному на рис. 2.40 (г) можна побачити, що присутні короткочасні перепади з «одиниці» до «нуля» при передачі імпульсу.

### 2.2.2.5 Манчестерське кодування

Модель манчестерського коду з спотворенням закодованого сигналу представлено на рис. 2.41. Осцилограма роботи моделі зображено на рис. 2.42.

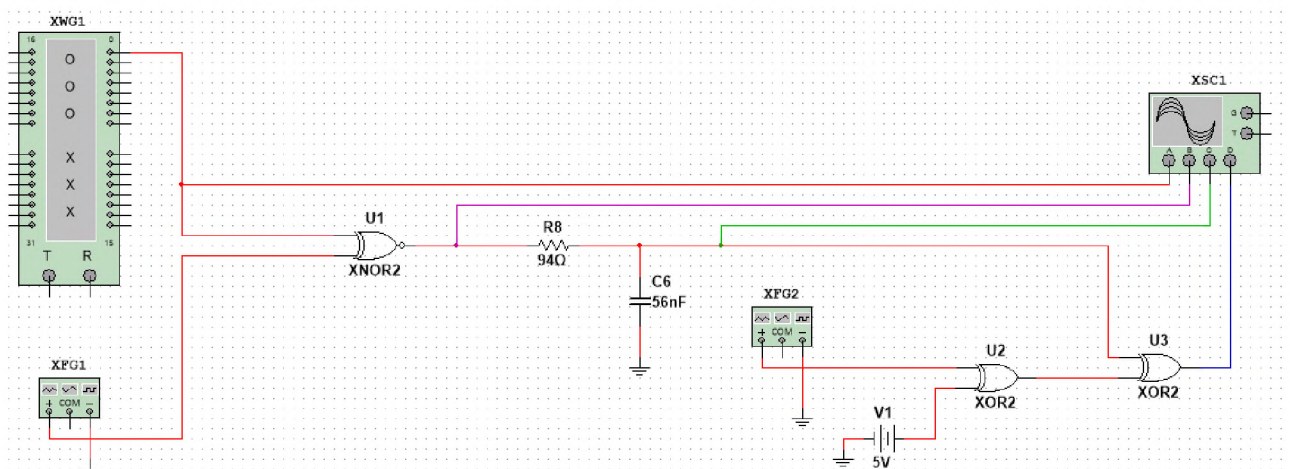


Рисунок 2.41 – Модель пристрою манчестерського коду з спотворенням закодованого сигналу

На осцилограмі зображеній на рисунку 2.42 (в) можна побачити, як змінилася форма манчестерського сигналу після проходження через RC ланцюг. Недоліки моделі кодування, а саме хибні миттєві перепади напруги, відтворюються також і в сигналі з спотворенням. Проте, якщо в моделі без внесення спотворень, хибні миттєві перепади напруги ігноруються при



декодуванні, то в даному випадку вони відображаються на осцилограмі роботи декодера, рис.2.42 (г).

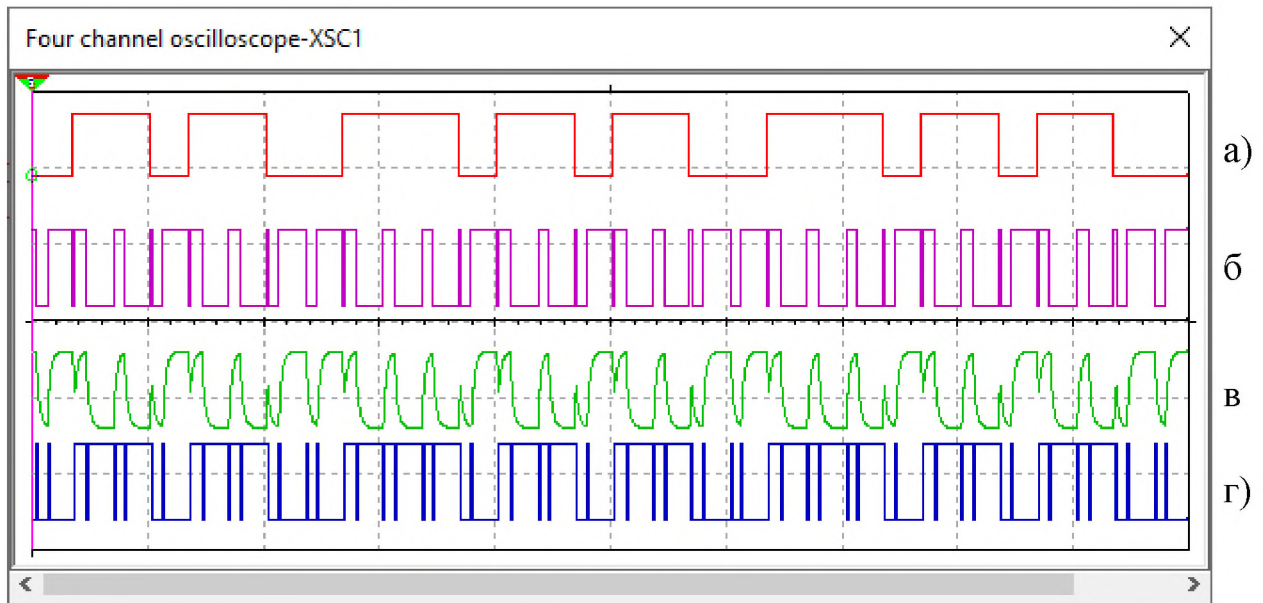


Рисунок 2.42 – Осцилограма роботи моделі манчестерського коду, а) вхідний сигнал, б) кодований сигнал, в) спотворений сигнал г) декодований сигнал

### 2.2.2.6 Кодування АМІ

Модель коду АМІ з повернення до нуля з спотворенням закодованого сигналу представлено на рис. 2.43 (а,б).

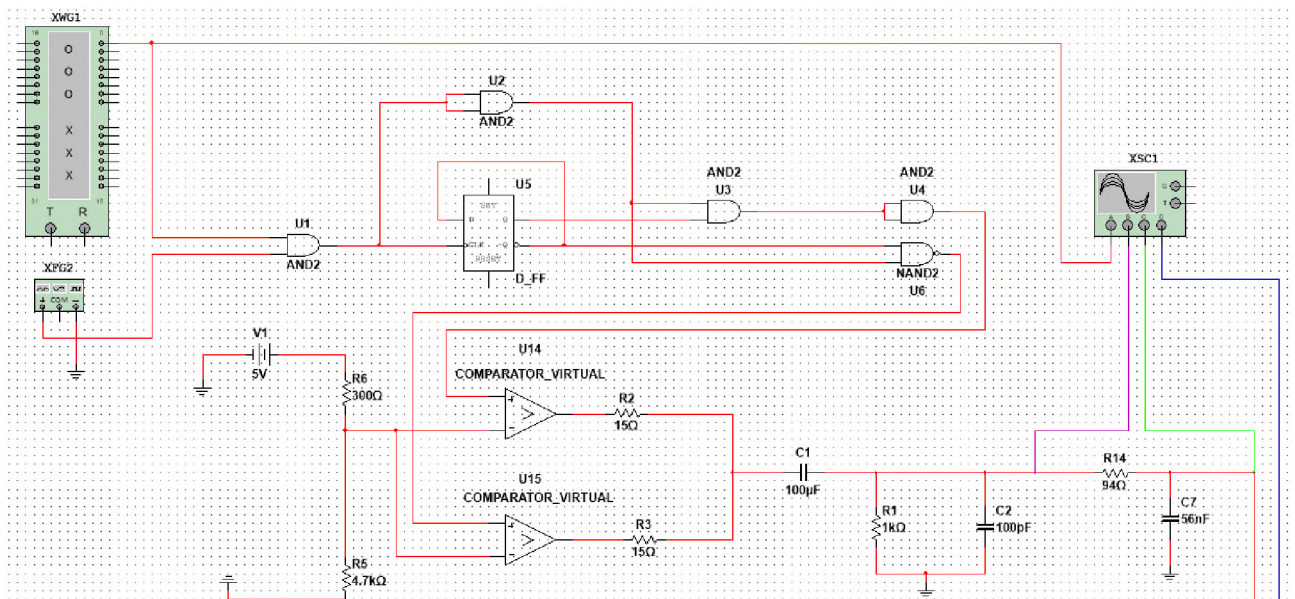


Рисунок 2.43 (а) – Перша частина моделі пристрою кодування АМІ з спотворенням закодованого сигналу

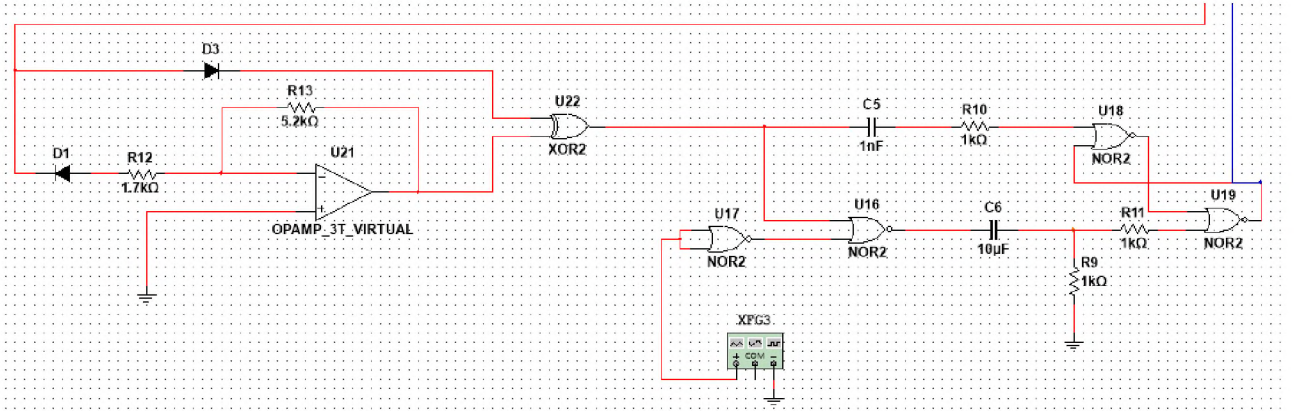


Рисунок 2.43 (б) – Друга частина моделі пристрою кодування АМІ з спотворенням закодованого сигналу

Осцилограма роботи моделі з інтегруючим ланцюгом, в масштабі 10 В в клітці, зображена на рис. 2.44.

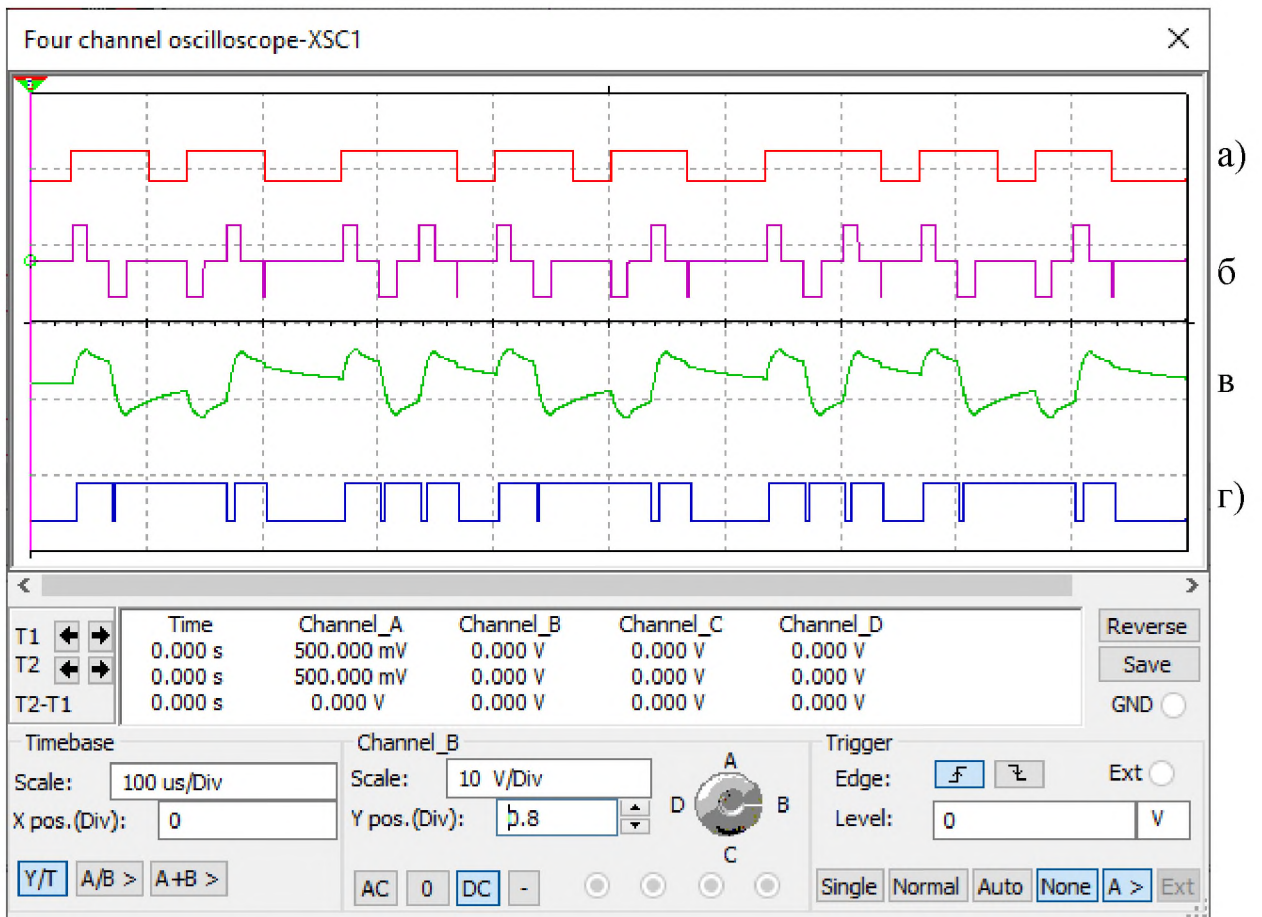


Рисунок 2.44 – Осцилограма роботи моделі коду АМІ, а) вхідний сигнал, б) кодований сигнал, в) спотворений сигнал г) декодований сигнал

На рис. 2.44 можна побачити, що при проходженні сигналу закодованого методом АМІ через інтегруючий ланцюг, форма сигналу значно змінюється. Декодер моделі не може правильно розпізнати закодовану послідовність, в результаті чого декодований сигнал зовсім відрізняється від початкового.

### 2.3 Порівняння ефективності роботи моделей лінійного кодування

Згідно досліджень проведених у пунктах 2.1 та 2.2 дипломної роботи можна зробити декілька висновків, щодо ефективності роботи розглянутих моделей пристроїв лінійного кодування.

Усі реалізовані моделі є працездатними, проте не позбавлені недоліків роботи.

Порівнюючи моделі кодерів та їх осцилограми роботи можна зробити висновки що, для моделей пристроїв кодування біполярного коду з поверненням до нуля, манчестерського та коду з чергуванням послідовності імпульсів (АМІ) осцилограми роботи кодерів мають незначні недоліки. Хоча пристрої декодування для зазначених кодів здатні точно відновити сигнал з закодованої послідовності, осцилограмами, які наведені у розділі 1 даної роботи і являються еталонними, відрізняються від отриманих в результаті моделювання. Так, для біполярного кодування RZ, при передачі біта «0» сигнал кодується не нульовим рівнем напруги, а негативним. Тому можна сказати, що це видозмінене біполярне кодування RZ. У манчестерському коді на отриманій осцилограмі моделі проявляються миттєві хибні перепади напруги, які утворюються при зміні вхідного сигналу з «1» на «0» та навпаки. У сигналі з кодера АМІ недоліки проявляються лише при негативній напрузі сигналу, і не постійно. Цей недолік полягає в тому, що сигнал замість імпульсу, тривалістю половину часу передачі «одиниці», дає лише миттєвий перепад напруги і знов повертається до нуля. Як вже було сказано, на роботу пристроїв декодування це не впливає. Однією з можливих причин недоліків, у випадках манчестерського кодування та АМІ, є недосконалість середовища моделювання

Multisim 14.2 та її компонентної бази. Що стосується роботи моделей пристроїв кодування інших розглянутих кодів, то в них недоліків не виявлено.

З точки зору громіздкості та складності реалізації кодерів, то найбільш простими є пристрої кодування NRZ, RZ та манчестерське. Кодери біполярних кодів RZ та NRZ, є невеликим ускладненням відповідних уніполярних моделей кодерів, і також є доволі простими в реалізації. Найбільш складним є кодер АМІ, який складається з декількох логічних елементів, тригера, а також резисторів та конденсаторів.

При дослідженні моделей на чутливість до помилкового біта, були виявлені дві можливі ситуації поведінки декодерів: коли біт був помилковий на протязі всього часу тривалості імпульсу, і на протязі частини часу. Перша ситуація спостерігалася у моделей NRZ та манчестерського коду та пов'язана з тим, що при кодуванні «одиниця» кодується напругою впродовж всього часу передачі імпульсу, на відмінно від інших розглянутих моделей пристроїв кодування, де кодований імпульс займає лише половину часу імпульсу.

З отриманих результатів можна зробити висновок, що усі розглянуті моделі декодерів чутливі до помилок, проте коди RZ та АМІ можуть виявляти помилки. Можливим усуненням цих недоліків є впровадження логічного кодування та ускладнення моделей пристроїв.

З дослідження проведеного у пункті 2.2.2 даної дипломної роботи, можна зробити такі висновки щодо завадостійкості моделей декодерів до спотворень, які можуть утворюватися в каналах зв'язку:

- найкраща завадостійкість до спотворень сигналу у моделі пристроїв коду NRZ;
- найгірша завадостійкість у коду АМІ;
- задовільні результати показали моделі інших кодів;

Однією з важливих причин гарної завадостійкості моделей NRZ полягає в самому кодуванні без повернення до нуля. «1» та «0» кодуються відповідними рівнями напруги на всю тривалість часу імпульсу.



До можливих причин відносно поганих результатів кодів крім NRZ, можна віднести недосконалість середовища моделювання Multisim 14, недоліки самих лінійних кодів, та зазначені вище недоліки кодерів для деяких моделей.

З точки зору громіздкості та складності реалізації, найбільш простими є моделі декодерів NRZ та манчестерського коду, найбільш складний – кодер АМІ.

Таблиця 2.1 Порівняльна характеристика моделей пристроїв лінійного кодування

| Модель лінійного коду | Характеристика        |                 |                           |                                  |
|-----------------------|-----------------------|-----------------|---------------------------|----------------------------------|
|                       | Складність реалізації | Недоліки кодеру | Здатність виявити помилку | Відновлення спотвореного сигналу |
| Уніполярний NRZ       | Проста                | Не виявлено     | Не виявляє                | Повністю відновлює               |
| Біполярний NRZ        | Проста                | Не виявлено     | Не виявляє                | Відновлює не в повному обсязі    |
| Уніполярний RZ        | Складна               | Не виявлено     | Виявляє                   | Повністю відновлює               |
| Біполярний RZ         | Складна               | Незначні        | Виявляє                   | Відновлює не в повному обсязі    |
| Манчестерський        | Проста                | Незначні        | Не виявляє                | Повністю відновлює               |
| АМІ                   | Найскладніша          | Незначні        | Виявляє                   | Не відновлює                     |

Згідно досліджень та підсумків наведених в таблиці 2.1 можна зробити висновок, що з точки зору здатності виявляти помилковий біт в закодованій послідовності ефективними є моделі уніполярного RZ, біполярного RZ, та коду з чергуванням послідовності імпульсів (АМІ). Інші моделі не здатні розпізнавати помилковий біт в сигналі. З точки зору здатності декодувати сигнал, в якому присутні спотворення, найефективнішою є модель уніполярного коду NRZ, що здатна повністю відновити сигнал, та у декодованому сигналі якої відсутні недоліки. Не ефективна модель виявилася для коду АМІ, яка не може відновити сигнал правильної послідовності. Для інших моделей ефективність до відновлення даних з спотвореного сигналу

можна вважати задовільною, проте можливо покращити ефективність усунувши недоліки, що були зазначені для кожної моделі.

## 2.4 Висновки

В другому розділі дипломної роботи були реалізовані моделі пристроїв лінійного кодування за допомогою програми NI Multisim 14.2 та її внутрішній базі даних компонентів. До реалізації були обрані найбільш відомі лінійні коди та їх моделі, що описані у першому розділі даної дипломної роботи. При реалізації були виявлені недоліки моделей, такі як неправильна робота, громіздкість реалізації, відсутність деяких компонентів та схеми декодера АМІ.

Наведено покращені моделі пристроїв лінійного кодування у яких було виявлено недоліки з оцінкою роботи по осцилограмам сигналу. Досліджена поведінка обраних пристроїв декодування на помилковий біт у закодованій послідовності та проаналізована здатність декодерів до завадостійкості. На основі дослідження були зроблені висновки щодо ефективності з точки зору надійності передачі розглянутих пристроїв лінійного кодування.

### 3 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

В даному розділі проводяться економічні розрахунки затрат на дослідження ефективності моделей пристроїв лінійного кодування.

У економічному розділі наведено:

- розрахунок трудомісткості дослідження;
- розрахунок витрат на дослідження;
- висновки.

#### 3.1 Визначення трудомісткості дослідження моделей лінійного кодування

Трудомісткість – показник, який характеризує витрати робочого часу на виробництво будь-якої споживчої вартості або на виконання конкретної технологічної операції.

Трудомісткість дослідження моделей пристроїв лінійного кодування можливо розрахувати за формулою (3.1).

$$t = t_0 + t_m + t_{\text{п}} + t_3 + t_{\text{ан}} + t_{\text{д}}, \text{ годин} \quad (3.1)$$

де  $t_0$  – витрати праці на підготовку і опис поставленого завдання;

$t_m$  – витрати праці на моделювання пристроїв лінійного кодування;

$t_{\text{п}}$  – витрати праці на удосконалення моделей пристроїв лінійного кодування;

$t_3$  – витрати праці на розробку моделі, що дозволяє дослідити завадостійкість;

$t_{\text{ан}}$  – витрати праці на аналіз та оцінку результатів проведеного дослідження;

$t_{\text{д}}$  – витрати праці на підготовку документації та детальний опис запропонованого технічного рішення.

У таблиці 3.1 зведені данні тривалості процесів, що мали місце при дослідженні моделей пристроїв лінійного кодування.

Таблиця 3.1 – Тривалість робочих процесів при дослідженні моделей пристроїв лінійного кодування

| Назва робочого процесу  | Тривалість, год. |
|---|------------------|
| Витрати праці на підготовку і опис поставленого завдання                                      | 7                |
| Витрати праці на моделювання пристроїв лінійного кодування                                    | 40               |
| Витрати праці на покращення моделей пристроїв лінійного кодування                             | 48               |
| Витрати праці на розробку моделі, що дозволяє дослідити завадостійкість                       | 15               |
| Витрати праці на аналіз та оцінку результатів дослідження                                     | 30               |
| Витрати праці на підготовку документації та детальний опис запропонованого технічного рішення | 24               |

Отже, загальна трудомісткість за формулою 3.1:

$$t = 7 + 40 + 48 + 15 + 30 + 24 = 165 \text{ годин}$$

### 3.2 Розрахунок витрат на дослідження моделей лінійного кодування

Витрати на дослідження моделей пристроїв лінійного кодування включають витрати на заробітну плату інженера телекомунікацій і вартість машинного часу.

Заробітна плата – це винагорода, яку за трудовим договором власник або уповноважений ним орган виплачує працівнику за виконану роботу. Розмір заробітної плати залежить від складності та умов виконуваної роботи, професійно-ділових якостей працівника, результатів його праці та господарської діяльності підприємства в цілому. Заробітна плата інженера телекомунікацій визначається за формулою 3.2:

$$Z_{зп} = t \times C_{зп}, \text{ грн} \quad (3.2)$$

де  $t$  – загальна трудомісткість розробки, яка розраховується за формулою 3.1, годин;

$C_{зп}$  – середня годинна заробітна плата інженера телекомунікацій (основна і додаткова) з урахуванням єдиного соціального внеску, грн/год.

Середня заробітна плата інженера телекомунікацій на 01.12.2020 р. складає 8540 грн. Отже, заробітна плата інженера телекомунікацій з урахуванням премій (30%) і можливих надбавок (10%) складає 11956 грн.

Таким чином, річний фонд заробітної плати – 143472 грн. Єдиний соціальний внесок складає 36%, тобто 51649,92 грн.

Річний фонд заробітної плати включає: фонд денної зарплати; оплату відпусток; оплату часу, витраченого на виконання держобов'язків; виплати відрядженим на інші підприємства; оплату за вислугу років та ін. Разом, річний фонд заробітної плати з урахуванням відрахувань на соціальні потреби склав 195121,92 грн.

Номінальний річний фонд часу роботи одного робітника визначається відніманням з повного календарного фонду часу за рік неробочих (вихідних і святкових) днів, відпустки. Він є максимально можливим часом, протягом якого могла б вироблятися робота при встановленому режимі, якби не було жодних втрат робочого часу.

Визначимо номінальний річний фонд робочого часу за формулою 3.3, при цьому прийнявши середню тривалість робочого дня рівної 8 годинам:

$$F_H = (T_K - T_{св} - T_{вих} - T_{від}) \times 8, \text{ ГОДИН} \quad (3.3)$$

Де  $T_K$  – кількість календарних днів у році,  $T_K = 365$  днів;

$T_{св}$  – кількість святкових днів у році,  $T_{св} = 10$  днів;

$T_{вих}$  – кількість вихідних днів у році,  $T_{св} = 104$  днів;

$T_{від}$  – календарна тривалість відпустки,  $T_{від} = 23$  дні.

Отже, річний фонд часу за формулою 3.3 дорівнює:

$$F_{\text{н}} = (365 - 10 - 104 - 23) \cdot 8 = 1824 \text{ години}$$

Середня годинна заробітна плата інженера телекомунікацій визначається співвідношенням 3.4, яке має вигляд:

$$C_{\text{зп}} = \frac{\text{ФЗП}_{\text{сп}}}{F_{\text{н}}}, \text{ грн} \quad (3.4)$$

$\text{ФЗП}_{\text{сп}}$  – річний фонд заробітної плати з урахуванням відрахувань на соціальні потреби, грн;

$F_{\text{н}}$  – річний фонд робочого часу, год.

Отже, середня годинна заробітна плата інженера телекомунікацій за формулою 3.4 дорівнює:

$$C_{\text{зп}} = \frac{195121,92}{1824} = 106,97 \text{ грн}$$

Таким чином, витрати на оплату праці розробника, за формулою 3.2, отримаємо:

$$Z_{\text{зп}} = 165 \times 106,97 = 17650,05 \text{ грн}$$

Розрахунок вартості машинного часу, необхідного для розробки на ЕОМ включає витрати на програмне та апаратне забезпечення і витрати за електроенергію, здійснюється по формулі 3.5:

$$Z_{\text{мч}} = C_{\text{о}} + C_{\text{ел}}, \text{ грн} \quad (3.5)$$

де  $C_{\text{о}}$  – витрати на обладнання, грн;

$C_{\text{ел}}$  – витрати на електроенергію, грн.

Для розрахунку вартості машинного часу необхідно знати вартість складових ЕОМ та ПЗ на момент їх придбання і введення в експлуатацію, та вартість споживаної електроенергії. Відповідні дані представлені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Вартість необхідного програмного та апаратного забезпечення

| Найменування                            | Вартість, грн |
|---|---------------|
| Персональний комп'ютер                  | 9400,00       |
| Монітор                                 | 1970,00       |
| Комплект клавіатура та комп'ютерна миша | 800,00        |
| Операційна система Windows 10           | 3420,00       |
| Multisim 14.2 Education                 | 22000,00      |
| Разом:                                  | 37590,00      |

Витрати на електроенергію залежать від часу роботи на ЕОМ та собівартості машино-години роботи ЕОМ і розраховується за формулою 3.6:

$$C_{\text{ел}} = C_{\text{мч}} \times t, \text{ грн} \quad (3.6)$$

де  $C_{\text{мч}}$  – собівартість машино-годин роботи ЕОМ, грн;

$t$  – час роботи ЕОМ, год.

Собівартість машино-годин роботи ЕОМ визначається за формулою 3.7:

$$C_{\text{мч}} = W \times \Pi_{\text{ел}}, \text{ грн} \quad (3.7)$$

де  $W$  – потужність ЕОМ, = 0,5 кВт/год;

$\Pi_{\text{ел}}$  – вартість 1 кВт·год електроенергії. Станом на 1.12.19 за обсяг, спожитий понад 100 кВт·год, ціна електроенергії на місяць складає 1,68 грн.

$$C_{\text{ел}} = 0,5 \times 1,68 \times 165 = 138,60 \text{ грн}$$

Враховуючи вартість програмного й апаратного забезпечення та витрати на електроенергію отримаємо вартість машинного часу:



$$Z_{\text{мч}} = 138,60 + 37590,00 = 37728,60 \text{ грн}$$

Отже, витрати на дослідження моделей пристроїв лінійного кодування розраховуються за формулою 3.8:

$$V_{\text{роз}} = Z_{\text{мч}} + Z_{\text{зп}}, \text{ грн} \quad (3.7)$$

де  $Z_{\text{мч}}$  – вартість машинного часу, необхідного для розробки на ЕОМ, грн;  
 $Z_{\text{зп}}$  – заробітна плата інженера телекомунікацій, грн.

$$V_{\text{роз}} = 37728,60 + 17650,05 = 55378,65 \text{ грн}$$

### 3.3 Висновки

В економічному розділі розраховані трудомісткість дослідження ефективності моделей пристроїв лінійного кодування, заробітна плата інженера телекомунікацій, капітальні затрати. Загальні капітальні витрати становлять 55378,65 грн, трудомісткість дослідження ефективності моделей пристроїв лінійного кодування – 165 годин.

## ВИСНОВКИ

У магістерській кваліфікаційній роботі було досліджено ефективність моделей пристроїв лінійного кодування.

У першому розділі магістерської роботи були розглянуті методи цифрового кодування даних, наведена класифікація лінійних кодів та їх переваги й недоліки, описані моделі пристроїв найбільш відомих лінійних кодів, сформульовані задачі кваліфікаційної роботи.

У другому розділі виконано удосконалення моделей, описаних у першому розділі пристроїв лінійного кодування, проаналізована їх робота та вплив на їх роботу завади у вигляді помилкового біта. Здійснено моделювання впливу спотворення сигналу при його передачі та виконано порівняння ефективності з точки зору надійності передачі цифрових послідовностей для удосконалених моделей розглянутих пристроїв лінійного кодування.

В економічному розділі кваліфікаційної роботи розраховані трудомісткість та витрати на удосконалення та дослідження моделей пристроїв лінійного кодування. Загальні капітальні витрати становлять 55378,65 грн, трудомісткість дослідження ефективності моделей пристроїв лінійного кодування склала 165 годин.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Аналоговое кодирование (Электрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <https://studfile.net/preview/1752841/page:3/> - Загол. з екрана.
2. Бернард Скляр. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 2-е, испр.: Пер. с англ. – М: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 113-121 с.
3. Многофункциональный синтез СПД (Электрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL:[http://opds.spbsut.ru/data/\\_uploaded/mu/vlss16\\_mfsspd\\_lectons/mfsspd\\_lec\\_03\\_linear\\_coding.pdf](http://opds.spbsut.ru/data/_uploaded/mu/vlss16_mfsspd_lectons/mfsspd_lec_03_linear_coding.pdf) - Загол. з екрана.
4. Линейное кодирование в ЦСП (Электрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <https://studfile.net/preview/4326754/page:44/> - Загол. з екрана.
5. Литвинская О.С. Основы теории передачи информации (Электрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: [https://bstudy.net/678666/informatika/kodirovanie\\_signalov#733](https://bstudy.net/678666/informatika/kodirovanie_signalov#733) - Загол. з екрана.
6. Логическое кодирование. Физическое кодирование. Виды кодов (Электрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <https://studfile.net/preview/4404526/page:3/> - Загол. з екрана.
7. Манчестерское кодирование (Электрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Манчестерское\\_кодирование](https://ru.wikipedia.org/wiki/Манчестерское_кодирование) - Загол. з екрана.
8. Мережин Н.И., Линейный тракт цифровых систем передачи по электрическим кабелям / Цифровые телефонные системы передачи данных: Электронное учебное пособие. - Таганрог, 2008.
9. Норенков И.П., Трудоношин В.А. Телекоммуникационные технологии и сети. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Москва 1999.
10. Основы теории информации и кодирования / И.В. Кузьмин, В.А. Кедрус – 2-е изд., перераб. И доп. – К. Вища шк. Головное изд-во, 1986.
11. Основные электромагнитные характеристики кабельных систем (Электрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <https://infopedia.su/17x5664.html> - Загол. з екрана.

12. Плезиохронные и синхронные цифровые иерархии / Электронный учебно-методический комплекс ТМ и ОЦВОСП (ЦСП) / Спосіб доступу: URL: [http://biik.ru/uchebnik/cvosp\\_csp/page2.html](http://biik.ru/uchebnik/cvosp_csp/page2.html) - Загол. з екрана.
13. Уолт Кестер. Аналого-цифровое преобразование. Москва: Техносфера, 2007 – 12-25 с.
14. Физическое кодирование (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Физическое\\_кодирование/](https://ru.wikipedia.org/wiki/Физическое_кодирование/) - Загол. з екрана.
15. Физическое и логическое кодирование данных (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: [http://pdst.narod.ru/\\_20\\_el\\_uch/ost\\_wpd\\_01/part04.html](http://pdst.narod.ru/_20_el_uch/ost_wpd_01/part04.html) - Загол. з екрана.
16. Физическое и логическое кодирование при передаче данных (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <https://studfile.net/preview/4673282/> - Загол. з екрана.
17. Цифровое кодирование (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <https://studfile.net/preview/1752841/page:4/> - Загол. з екрана.
18. Eng. Mohammed K. Abu Foul. Line Code Decoder - Islamic University of Gaza (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: [http://site.iugaza.edu.ps/mnasser/files/2017/10/lab4\\_line-code-decoder1.pdf](http://site.iugaza.edu.ps/mnasser/files/2017/10/lab4_line-code-decoder1.pdf) - Загол. з екрана.
19. Eng. Mohammed K. Abu Foul. Line Code Encoder - Islamic University of Gaza (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <http://site.iugaza.edu.ps/mabufoul/files/2010/09/Experiment-1.pdf> - Загол. з екрана.
20. Nabil Naas. A New Hardware Implementation of Manchester Line Coding. Conference: 5th the Libyan Arab International Conference on Electrical and Electronic Engineering (LAICEEE), At: Tripoli, Libya, 2010.
21. Ramachandra Mutagi. NRZ to AMI converter uses single supply /EDN – 2015 (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <https://www.edn.com/nrz-to-ami-converter-uses-single-supply/> - Загол. з екрана.
22. RC-цепь (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/RC-цепь/> - Загол. з екрана.

## ДОДАТОК А. Відомість матеріалів дипломної роботи

| <b>№</b>            | <b>Формат</b> | <b>Найменування</b>                | <b>Кількість<br/>листів</b> | <b>Примітки</b> |
|---------------------|---------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------|
| <i>Документація</i> |               |                                    |                             |                 |
| 1                   | A4            | Реферат                            | 3                           |                 |
| 2                   | A4            | Список умовних скорочень           | 2                           |                 |
| 3                   | A4            | Зміст                              | 2                           |                 |
| 4                   | A4            | Вступ                              | 2                           |                 |
| 5                   | A4            | Стан питання.<br>Постановка задачі | 33                          |                 |
| 6                   | A4            | Спеціальна частина                 | 34                          |                 |
| 7                   | A4            | Економічний розділ                 | 6                           |                 |
| 8                   | A4            | Висновки                           | 1                           |                 |
| 9                   | A4            | Перелік посилань                   | 2                           |                 |
| 10                  | A4            | Додаток А                          | 1                           |                 |
| 11                  | A4            | Додаток Б                          | 1                           |                 |
| 12                  | A4            | Додаток В                          | 1                           |                 |
| 13                  | A4            | Додаток Г                          | 1                           |                 |







## ДОДАТОК Г. Перелік документів на оптичному носії

1 Пояснювальна записка Грищенко В.Л.pdf

2 Презентація.ppt