

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОНІКИ І КОМП'ЮТЕРНОЇ ТЕХНІКИ

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ
РОБОТИ БАКАЛАВРА

на тему

“Телекомунікаційний пристрій передачі даних на основі коду «Манчестер-2»”

Завідувач кафедри ЕКТ

А.С. Опанасюк

Керівник роботи

І.А. Кулик

Студент групи ТК-91

А.О. Абрамян

Суми 2023

РЕФЕРАТ

Даний документ є пояснювальною запискою до кваліфікаційної роботи бакалавра на тему «Телекомунікаційний пристрій передачі даних на основі коду Манчестер-II»

В кваліфікаційній роботі бакалавра був спроектований телекомунікаційний пристрій передачі даних на основі коду Манчестер-II. Пристрій працює на передавальній частині системи передачі даних та виконує кодування повідомлень методом Манчестер-II. Область застосування пристрою – лінійне кодування інформації перед передачею у канал зв'язку.

Для кваліфікаційної роботи бакалавра було використано 16 літературних джерел. Документ містить: 49 сторінок тексту, 18 рисунків, 5 таблиць і 2 додатки.

Графічний матеріал у кількості: 2 блок-схема алгоритму роботи, 1 електрична структурна схема, 8 електрична функціональна схема, 1 електрична принципова схема.

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

СПІ – система передачі інформації;

КЗ – канал зв'язку;

ІКМ – імпульсно-кодova модуляція;

СПД – система передачі інформації;

КУД – кінцеве устаткування даних;

АКД – апаратура каналу даних;

ПС – пристрої спряження;

ПУ – пристрій керування;

ПЗП – пристрій захисту від помилок;

ППС – пристрій перетворення сигналів;

ЛЗ – лінія зв'язку;

ГН – тактовий генератор;

БН – буферний пристрій накопичення;

БППІ – блок перевірки та перетворення інформації;

БФІЗ – блок формування імпульсів зсуву;

БЛМ – блок лінійної модуляції/кодування.

					<i>ЕЛІТ 6.172.00.02.008 ПЗ</i>	Лист
						4
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Розвиток телекомунікацій тісно пов'язаний із розвитком засобів зв'язку. Технологічні основи нинішніх систем телекомунікацій було закладено ще у позаминулому столітті.

У 1832 році, П.Л. Шиллінг створив перший електромагнітний телеграф. Для створення телеграфного коду, що давав би змогу здійснювати одноразову передачу кожної букви за найменшої кількості робочих знаків, було використано принцип китайських гексаграм, які складаються з шести ліній двох типів – неперервних і переривчастих. Винайдення й удосконалення системи радіозв'язку призвели до появи радіотелеграфу, радіомовлення і радіотелефону. Розвиток тодішніх систем передачі інформації був досить стрімким і вже у 1901 відстань радіопередачі була подовжена аж до 150 км [1].

Людство та технології знаходяться у постійному розвитку та з плином часу, кількість інформації, яку потрібно було передавати на ще більші відстані зростала. З появою перших комп'ютерів розвиток телекомунікацій перейшов на новий рівень.

Зростання вимог до якості роботи систем передавання інформації, збільшення обсягу обробки інформації та ускладнення об'єктів керування призвело до того, що засобами аналогової техніки і неперервної автоматики не можна було розв'язати багато практичних задач. Це стало поштовхом до розробки нових видів пристроїв та систем передачі інформації (СП), якими стали цифрові СП. Впровадження в техніку цифрових систем, пояснюється тим, що вони порівняно з аналоговими, мають значно більші обчислювальні можливості. У цифрових системах, виконаних на базі мікроелектроніки, при невеликих розмірах можна використовувати більш складні алгоритми обробки сигналів.

Обмін інформацією по фізичним каналам передачі даних відбувається за допомогою відповідних сигналів. По мідним кабелям передача відбувається за допомогою електричних сигналів, а передача по оптоволоконному кабелю – за допомогою світла. Але, для того щоб передати інформацію таким способом, її необхідно попередньо перетворити у відповідний вид сигналу, тобто - закодувати.

Існує безліч способів кодування даних і вибір одного чи іншого способу залежить від ряду факторів, таких як: вартість обладнання, необхідна швидкість, характеристика каналу зв'язку та ін.. Одним з таких способів є лінійне кодування [2].

					<i>ЕЛІТ 6.172.00.02.008 ПЗ</i>	Лист
						5
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Лінійні або каналні коди використовуються у цифрових системах передачі для вторинного кодування повідомлень при їх передачі по лініях зв'язку. Необхідність у цьому виникає при передачі повідомлень по провідним лініям з метою збільшення завадостійкості передачі, а також полегшення одержання синхросигналів з переданого потоку, для стабільної роботи передавача та приймача у системі передачі даних.

Лінійних кодів налічується досить багато, але практика показує, що у реальних системах застосовувати можна лише частину від усіх існуючих. Але лінійне кодування все ще залишається одним з основних способів передачі сигналів, та застосовується у багатьох системах та стандартах зв'язку. Простота реалізації пристроїв кодування та декодування робить лінійні коди дуже практичними та широковикористовуваними.

У даній роботі буде розглянуто та проаналізовано більшість основних типів лінійних кодів. Будуть розглянуті плюси та мінуси кожного коду та обґрунтування обраного типу кодування яке буде застосоване для проектування телекомунікаційного пристрою передавання даних. Основним принципом вибору коду є забезпечення максимальної швидкодії при мінімальних вартості та енергоспоживанню системи.

					<i>ЕЛІТ 6.172.00.02.008 ПЗ</i>	Лист
						6
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ПРОЕКТУВАННЯ

1.1 Сутність лінійного кодування

Основною задачею кодування є оптимізація процесу передачі інформації. Принцип кодування досить простий – це перетворення вхідного коду у вихідний код, для подальшого передавання у канал зв'язку. Інформація передається по каналу зв'язку (КЗ) у вигляді сигналів.

Для того, щоб сигнали були зрозумілі нам, їх необхідно скласти по правилу, яке фіксоване протягом усього часу передачі даного повідомлення. Правило (алгоритм), яке зіставляє кожному повідомленню відповідну комбінацію різноманітних символів або сигналів називається кодом, а процес перетворення повідомлення в комбінацію різноманітних символів або відповідних їх сигналів – кодуванням.

Послідовність символів, яка у процесі кодування присвоюється кожному із багатьох переданих повідомлень, називається кодовим словом.

Сигнал – це фізичний процес, який відображає повідомлення. Використовується напруга, струм. Напруженість електромагнітного поля. Саме ці параметри в електричних сигналах є інформаційними аналогічно інформаційним параметрам повідомлень. Інформаційними параметрами називають параметри, у зміні яких закладені відповідні повідомлення [2].

Розрізняють аналоговий та цифровий сигнали.

Неперервним або аналоговим, називається сигнал, у якого кожна його точка у системі координат має вплив на стан інформаційного повідомлення. Графічно, аналогові сигнали представляють у вигляді синусоїди. В середині одного циклу додатна амплітуда зображується рівній від'ємній амплітуді, але це відбувається доти, доки сигнал не почав втрачати свою силу за рахунок затухання. Ці сигнали зазвичай використовуються для аудіо та відео зв'язку.

З цього можна зробити висновок, що циклом називають відрізок між двома рівнозначними точками сусідніх хвиль, які рухаються в одному напрямку, тобто цикл складається з одного коливання додатної амплітуди та одного коливання від'ємної амплітуди.

Цифровий або дискретний сигнал у свою чергу складається з окремих імпульсів. У ньому має значення тільки наявність або відсутність імпульсу і в деяких випадках, - форма переднього і заднього фронту імпульсу. У такому

					<i>ЕЛІТ 6.172.00.02.008 ПЗ</i>	Лист
						7
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

випадку роль відіграє тільки амплітуда імпульсів, а не фактичні рівні напруги для їх формування [3].

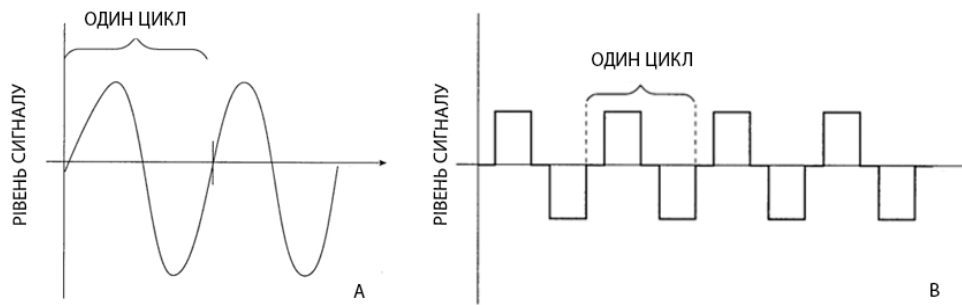


Рисунок 1.1. – Аналоговий сигнал. а) аналоговий сигнал; б) цифровий сигнал

Для передачі інформаційного сигналу по КЗ потрібно виконувати перетворення цього сигналу з аналогового у цифровий і навпаки, цей процес називається імпульсно-ковою модуляцією/демодуляцією .

Імпульсно-кодова модуляція (ІКМ) є найбільш поширеним методом цифрового перетворення аналогових сигналів. При ІКМ відбувається дискретизація у часі переданого сигналу. При цифровій передачі відбуваються амплітудне квантування переданого сигналу. Таким чином, при ІКМ відбуваються три види перетворень: дискретизація у часі вихідного сигналу, квантування амплітуд дискретних відліків сигналу і кодування відповідних квантованим значенням відліків.

Через те, що імпульсно-кодова модуляція має широкий спектр частот, це призводить до виникнення перешкод у сусідніх лініях, що може призвести до різних проблем при передачі по КЗ. Тому для передачі цифрових сигналів по КЗ використовуються лінійні коди.

Лінійні коди – це коди, які застосовують у цифрових системах передачі для вторинного кодування повідомлень при їх передачі по КЗ. Передаються постійним струмом по провідним лініям з метою збільшення завадостійкості передачі, а також полегшення одержання синхросигналів з інформаційного потоку, що передається, для стабільної і синхронної роботи передавального і приймального пристроїв системи передачі даних [4].

Лінійний код представляє собою цифровий сигнал, який буде передаватися за допомогою дискретної послідовності сигналу, який є оптимально

налаштованим для конкретних властивостей фізичного каналу та приймальних пристроїв.

1.2 Основні принципи роботи системи передачі даних

Системи передачі даних (СПД) використовуються для спілкування та обміну даними між кінцевими абонентами. Є багато видів СПД, якщо взяти найпростіший випадок то СПД буде складатися з наступних компонентів:

- Кінцевого обладнання даних у точці А;
- Інтерфейсу між кінцевим обладнанням даних і апаратурою каналу даних;
- Апаратури каналу даних у точці А;
- Каналу зв'язку між точками А і Б;
- Інтерфейсу апаратури каналу даних;
- Кінцевого обладнання в точці Б.

На рисунку 1.2. можна побачити загальну модель СПД

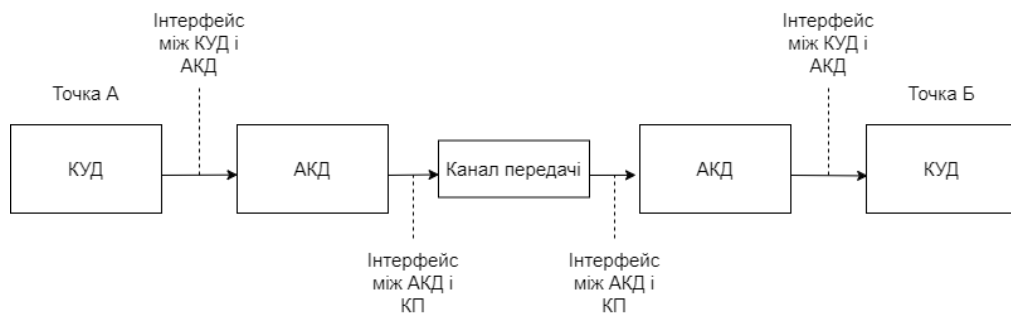


Рисунок 1.2. – узагальнена модель СПД

Кінцеве устаткування даних (КУД) – це поняття, яке використовується для опису пристрою користувача, воно може бути джерелом інформації, її отримувачем або тим та іншим одночасно.

Апаратура каналу даних (АКД) – це пристрої для забезпечення передачі інформації.

Канал передачі або канал зв'язку – середовище для передачі даних.

Канали передачі можуть відрізнятися за типами сигналів, що передаються:

- Аналогові;
- Цифрові.

За режимами використання:

- Комутовані – канали у яких фізичне з'єднання між абонентами створюється, лише на час передачі інформації.

- Виділені – канали створюються та існують протягом певного часу незалежно від того чи передається по ним інформація.

Також канали передачі даних можна поділити за напрямками передачі інформації:

- Симплексні канали, можуть забезпечити передавання даних лише в одному напрямку;
- Напівдуплексні канали дають змогу передавати інформацію по чергово, в обох напрямках.
- Дуплексні канали передають інформацію одночасно у обох напрямках.

За способом передачі даних канали можуть бути:

- Асинхронні – канали у яких кожний символ даних пересилається окремо і помічається стартовими та стоповими бітами;
- Синхронні – канали у яких передача даних синхронізована і завдяки цьому забезпечується висока швидкість передачі даних.

За типом середовища канали можуть бути кабельними (коаксіальні, оптоволоконні) або бездротовими (Wifi, радіо, супутниковий зв'язок).

До кабельних, відносяться усі типи ліній, в яких сигнали поширюються, вздовж спеціального, неперервно спрямовуючого середовища. В найпростішому випадку кабельна лінія зв'язку є фізичним колом, створеним парою провідників, по яким проходить електричний сигнал. Кабелями називають провідні лінії, які створені провідниками, які мають ізоляційне покриття і розташовані у спеціальних захисних оболонках [3].

Для того, щоб передати повідомлення у певному середовищі, його потрібно перетворити на електричний сигнал. На приймальній стороні у свою чергу необхідно перетворити електричний сигнал у повідомлення та передати отримувачу. Для реалізації цих кроків СПД повинна мати відповідні технічні пристрої, які в сукупності з середовищем поширення створюють систему передачі даних.

На рисунку 1.3 показана узагальнена структурна схема СПД.

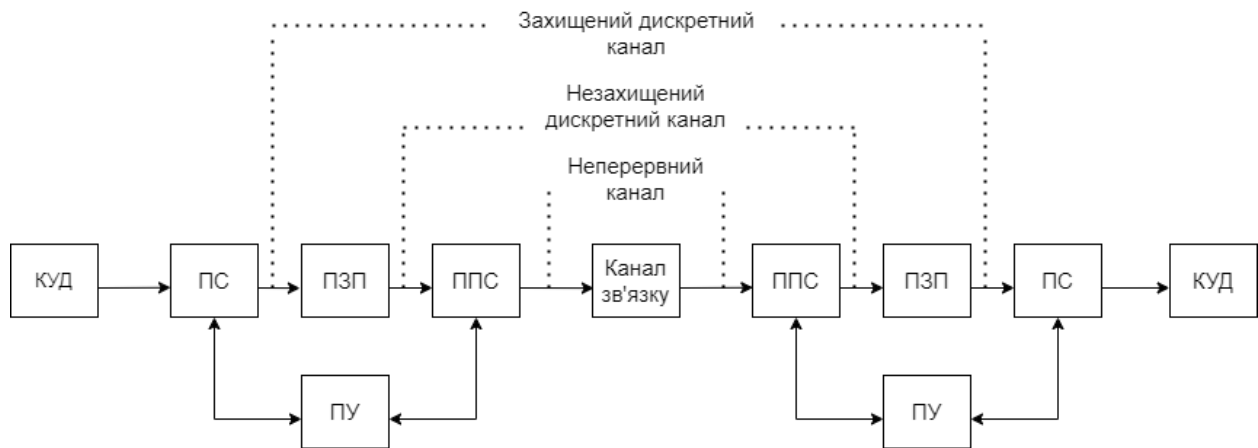


Рисунок 1.3. – узагальнена структурна схема СПД

ПС – пристрої спряження; ПЗП – пристрої захисту від помилок; ППС – пристрої перетворення сигналів; ПУ – пристрої управління і каналу зв'язку. ПС забезпечують обмін інформаційними та керуючими сигналами між КУД та АКД.

КУД формує один із видів повідомлень. Первинне повідомлення з виходу КУД надходить на ПЗП.

За допомогою ПЗП відбувається завадостійке кодування/декодування даних. Первинний закодований сигнал, який виходить з ПЗП, не має таких параметрів і характеристик, щоб його можна було передавати по КЗ на значні відстані. ППС здійснює перетворення сигналів даних у форму, зручну для передачі по каналу зв'язку. Пара ППС передавача і приймача служить для узгодження параметрів сигналу з відповідними параметрами КЗ з метою протидії перешкодам. У сучасних СПД може бути передбачено злиття модема та кодека для комплексного вирішення задачі оптимального перетворення повідомлень в сигналів і навпаки.

ППС можуть виконувати пряме і умовне перетворення. Пряме перетворення означає зміну інформаційних параметрів повідомлення і сигналу за одним законом. При умовному перетворенні зв'язок між інформаційними параметрами повідомлення – не прямий. Для реалізації умовного перетворення використовуються коди, які перетворюють кожен знак повідомлення у відповідну комбінацію електричних імпульсів.

Взаємодія складових частин СПД забезпечується імпульсами, які виробляє блок ПУ.

1.3 Постановка задачі проектування

Мета дипломної роботи – опанування методами та навичками розрахунку основних функціональних вузлів пристрою передачі даних в канал зв'язку з використанням коду манчестер 2.

На основі проведеного огляду технічної літератури та документації, присвяченої дослідженню властивостей лінійних кодів, розробці кодуєчих та декодуєчих пристроїв на базі лінійного кодування, аналізу їх характеристик визначається наступна постановка завдання на проектування.

Проектований телекомунікаційний пристрій передачі даних, основною функцією якого є виконання лінійного кодування, повинен мати наступні функціональні можливості та технічні характеристики:

- застосування лінійного коду «Манчестер-II» для передачі інформації;
- забезпечення перевірки двійкових послідовностей, які передаються, на парність або непарність;
- висока швидкодія при формуванні сигналів коду «Манчестер-II»;
- спряження з швидкісними каналами зв'язку;
- кількість розрядів кодованих послідовностей від 2 до 16 розрядів;
- частота синхронізації роботи телекомунікаційного пристрою до 24 МГц;
- частота роботи каналу зв'язку не менше 12 МГц;
- вихідна напруга низького рівня менше 0,4 В;
- вихідна напруга високого рівня більше 4 В.

					<i>ЕЛІТ 6.172.00.02.008 ПЗ</i>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		12

2 НАУКОВО ДОСЛІДНИЦЬКА РОБОТА

2.1 Аналіз кодів лінійної модуляції

Для передачі по КЗ інформаційний сигнал перетворюється на спеціальний цифровий двійковий сигнал, який має параметри – узгоджені з характеристиками використовуваних систем і мають відповідати наступним вимогам.

1. Цифрова послідовність, яка передається по лінії зв'язку, повинна забезпечувати можливість виділення синхросигналу на кожному лінійному регенераторі.

2. Необхідно забезпечити можливість постійного контролю вірності передачі інформації по лінії зв'язку.

3. В енергетичному спектрі лінійного сигналу не повинна бути постійна складова (постійний струм між приймачем та передавачем), а низькочастотні складові повинні бути незначними. Це дозволяє реалізовувати дистанційне живлення лінійних регенераторів по фізичним каналам, які використовуються для передачі лінійного сигналу, а також зменшити міжсимвольні перешкоди в регенераторі, які виникають через пригнічення низькочастотних складових. Скорочення смуги частот, необхідної для передачі лінійного сигналу, дозволяє збільшити довжину регенераційної ділянки.

4. Використовувані коди не повинні вносити помилки в сигнал, що передається .

Також, окрім вище перерахованих вимог, на вибір методу побудови лінійного сигналу впливає оптимальне споживання енергії, вартість обладнання для лінії зв'язку та простота реалізації системи передачі [4].

1) NRZ

Найбільш простою формою цифрової модуляції є використання додатної напруги для представлення 1 і негативної напруги для представлення 0. Для оптичного волокна, наявність світла може представляти 1, а відсутність світла може представляти 0. Ця схема називається NRZ (Non-Return-to-Zero) (рис.2.1, а).

Після надсилання сигнал NRZ поширюється по дроту. На іншому кінці, приймач перетворює його в біти, відбираючи сигнал через рівні проміжки часу.

Цей сигнал не буде виглядати точно так, як надісланий сигнал. Він буде послаблений і спотворюється каналом і шумом на приймачі. Щоб декодувати біти, приймач відображає зразки сигналу на найближчі символи. Для NRZ буде

					<i>ЕЛІТ 6.172.00.02.008 ПЗ</i>	Лист
						13
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

прийнято додатне значення напруги, щоб вказати, що надіслано 1, і від'ємне значення напруги щоб вказати, що надіслано 0.

NRZ є хорошою відправною точкою для наших досліджень, оскільки він простий, але сам по собі рідко використовується на практиці. Більш складні схеми можуть перетворювати біти в сигнали які краще відповідають інженерним міркуванням [5].

Код NRZ має свої недоліки та переваги.

До недоліків можна віднести те, що середня потужність, яка виділяється на резисторі навантаження R , є рівною $A^2/2R$, де A – амплітуда імпульсу. Ця величина у два рази перевищує потужність ніж при біполярному кодуванні. Також, через те, що код NRZ є уніполярним, у ньому присутня постійна складова і багато низькочастотних компонентів у спектрі, що робить проблемним передавання довгої послідовності одиниць. Це перешкоджає передачі через трансформатори та конденсатори.

Також до недоліків можна віднести погану самосинхронізацію. Якщо внутрішній такт приймача і передавач розходяться, то приймач не спроможний точно визначити границі бітових інтервалів, особливо сильно це помітно при передаванні дуже довгих послідовностей нулів та одиниць. Коли ми маємо короткі імпульси внутрішній такт з обох боків працює без перебоїв. Але якщо ми подаємо, наприклад, тисячу нулів або одиниць, приймач навряд чи зможе точно визначити де закінчується ця комбінація, можлива похибка на декілька тактів, що призводить до розсинхронізації [7].

Ще одним недоліком є фіксована довжина повідомлень, тобто коли початок прийому відбувається з отриманням спеціального стартового біта, а кінець передачі відбувається після приймання заданого числа біт, які підраховуються приймачем. Зрозуміло що, це накладає певні обмеження на лінійний тракт.

Також даний метод має проблему у вигляді відсутності можливостей для вчасного знаходження та реєстрації помилок. Це означає, що навіть одиночні помилки можуть спричинити порушення прийому повідомлення.

До переваг коду NRZ можна віднести простоту реалізації та мінімально необхідну, порівняно з іншими кодами, пропускну здатність лінії.

Також слід відзначити NRZ-біполярний код (рис 2.1, б). З назви зрозуміло, що ця варіація коду має вже два рівні напруги - додатній та від'ємний. Завдяки цьому він володіє кращими енергетичними характеристиками ніж попередній код. Одиниця представлена додатнім рівнем напруги, а нуль – від'ємним.

					<i>ЕЛІТ 6.172.00.02.008 ПЗ</i>	Лист
						14
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

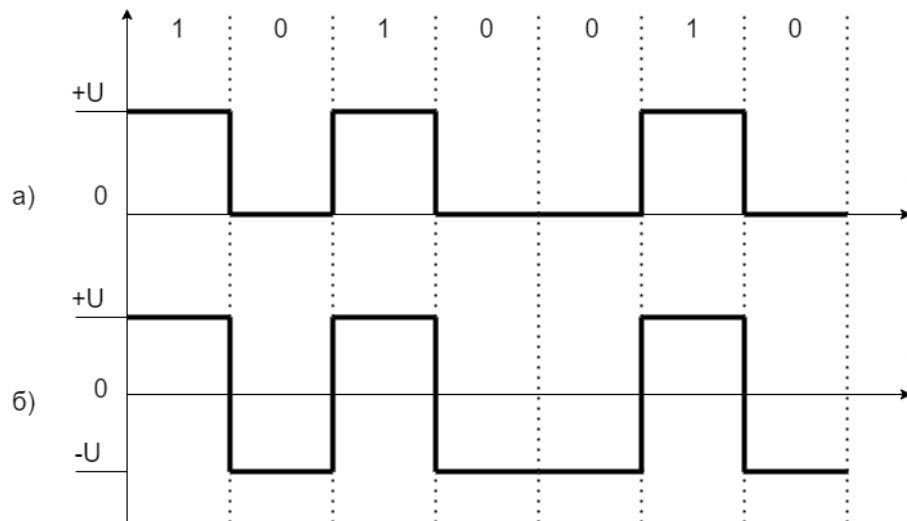


Рисунок 2.1. – а) NRZ; б) NRZ біполярний

Середня потужність дорівнює $A^2/4R$, що є половиною від середньої потужності звичайного NRZ. Це, частково, вирішує одну з проблем наведених у попередньому коді, але все ще залишаються інші недоліки, які роблять цей метод не придатним для використання у ЛЗ з трансформаторами [7].

2) RZ

RZ – код або код з поверненням до нуля. Трирівневий код, отримав таку назву через те, що має, відповідно, три рівні потенціалу. У цьому сигналі нулю закодованих даних відповідає додатній імпульс, а одиниці – від’ємний. Третій рівень потенціалу (нульовий), використовується для самосинхронізації коду.

В середині кожного бітового інтервалу завжди здійснюється перехід сигналу з додатного або від’ємного на нульовий рівень. Через це приймач завжди здатний виділити кожний окремий біт коду, з цього можна зробити висновок, що самосинхронізація не порушиться при будь-якій довжині пакету.

Переходи сигналу у кожному біті дають можливість апаратурі, без проблем виділити початок та кінець передачі пакету – перший бітовий інтервал без зміни рівня сигналу означає кінець переданої послідовності. Через це у коді RZ можна використовувати передачу послідовностями змінної довжини.

Також існує уніполярний RZ, він відрізняється тим, логічній одиниці відповідає не від’ємний імпульс, а нульовий. На рисунку 2.3 наведена часова діаграма коду RZ [6].

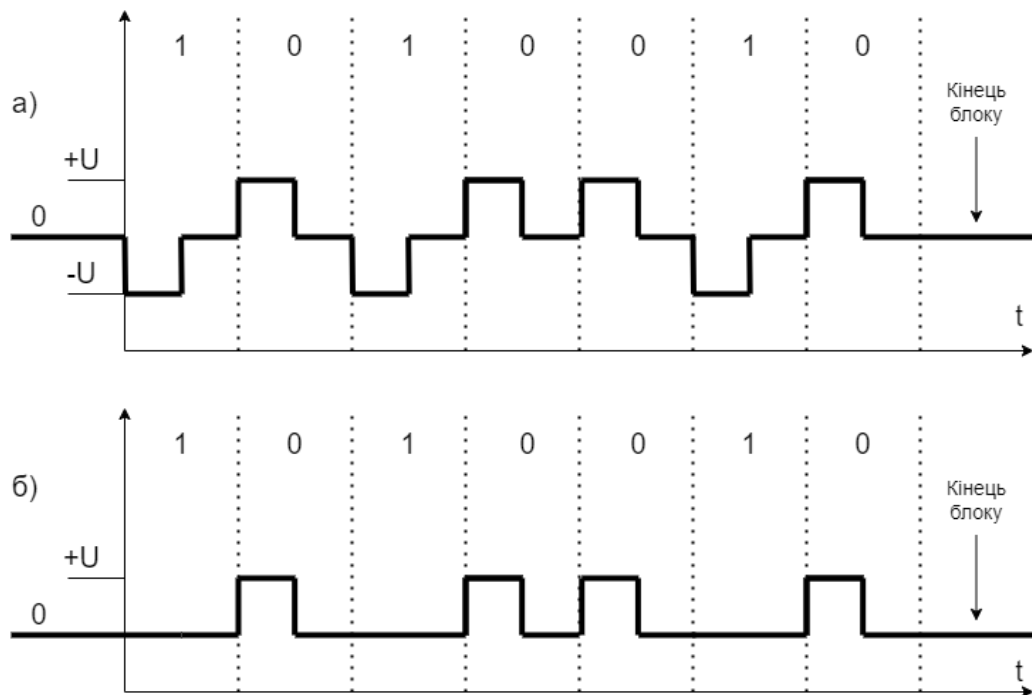


Рисунок 2.2. – Часова діаграма коду RZ. а) біполярний RZ, б) уніполярний RZ

До недоліків біполярного RZ можна віднести майже вдвічі більшу смугу пропускання ніж у NRZ, це пов'язано у першу чергу з тим, що код з поверненням до нуля має три енергетичних рівні сигналу, та постійна зміна рівня сигналу у кожному біті збільшує затрати енергії для передачі.

Також через трирівневе кодування існує необхідність в ускладненні апаратури на передавальній та приймальній сторонах, що може сказатися на відмовостійкості та загальної вартості системи.

Серед явних плюсів цього коду можна виділити здатність до самосинхронізації.

Застосування коду RZ можливо у мережах, які використовують не тільки електричні кабелі як спосіб передачі, але і оптоволоконні. При цьому рівням електричного потенціалу в передачі даних по оптоволокну відповідає яскравість світла.

Порівняємо смуги пропускання NRZ та RZ кодів.

Візьмемо мережевий сигнал, який буде випромінюватися передавачем, у вигляді прямокутної хвилі. Якщо він буде мати форму NRZ, то тривалість імпульсу сигналу буде дорівнювати тривалості одного біта. Відповідно, для швидкості передачі даних R і тривалості імпульсу T маємо наступне співвідношення:

$$T = \frac{1}{R} \quad (2.1)$$

Наприклад, якщо тривалість імпульсу сигналу 1 мкс, то швидкість передачі даних для сигналу NRZ буде відповідно до (2.1):

$$1 * 10^{-6} = 1/R$$

$$R = 1000000 \text{ біт/с або } 1 \text{ Мбіт/с.}$$

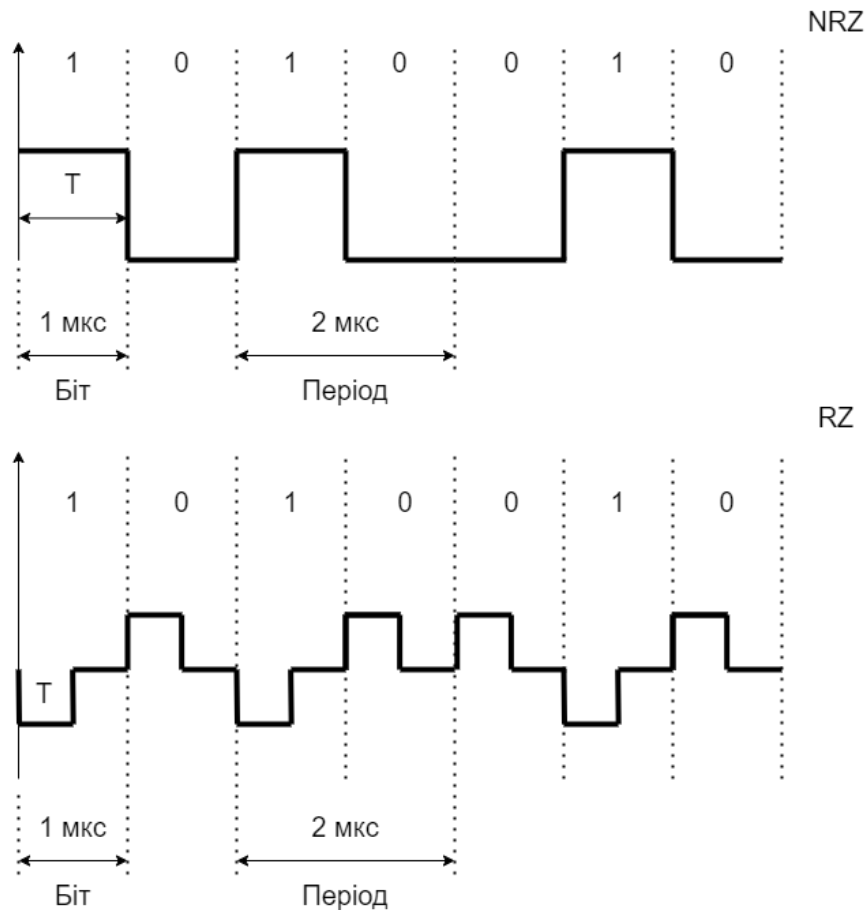


Рисунок 2.3. – Тривалість імпульсів NRZ і RZ

Але для визначення меж часової характеристики системи зв'язку, часто застосовують правило, згідно якому допускається найгірший варіант (найповільніший час відгуку системи). Це означає зростання вихідного імпульсу до 90% або більше від значення амплітуди вхідного сигналу за час, рівний 70% періоду вхідного імпульсу. Тобто час зростання системи зв'язку повинен бути не більше 70% тривалості вхідного імпульсу.

$$T_r = 0,7 * T \quad (2.2)$$

Де T_r – час зростання системи.

Після цього допустимий час зростання стає максимально допустимою часовою характеристикою системи зв'язку. Для нашого попереднього прикладу максимальна часова характеристика системи зв'язку дорівнює відповідно до (2.2):

$$0,7 * 1\text{мкс} = 0,7\text{ мкс}.$$

Тоді часова характеристика 0,7 мкс є мінімально необхідною для передачі сигналу по системі зв'язку зі швидкістю 1Мбіт/с. Для визначення пропускної здатності візьмемо 1 період сигналу:

$$1/(2*0,7\text{мкс}) = 714\text{ КГц}.$$

Для визначення смуги пропускання RZ коду, використаємо той самий метод. Але варто взяти до уваги, що у цьому випадку тривалість імпульсу складає половину від тривалості імпульсу NRZ тому маємо наступний запис [8]:

$$T_r = \frac{(0,7*T)}{2} = 0,35T.$$

$$0,35*1\text{мкс} = 3,5 * 10^{-7}\text{ с}.$$

$$1/(3,5 * 10^{-7})*2 = 1,43 * 10^6\text{ Гц або }1,43\text{ МГц}.$$

Як бачимо, метод RZ насправді потребує більшої смуги пропускання.

Дослідивши ширину смуги пропускання NRZ та RZ кодів, можемо подивитися на зображення графіків спектральної щільності потужності цих двох сигналів (рисунок 2.4).

Зі збільшенням частоти, збільшується ширина спектру сигналу або ще можна сказати, що чим коротший цифровий імпульс тим ширший спектр. Як ми бачимо із попереднього розрахунку, через те, що частота зміни сигналу при передачі однакових кодових повідомлень буде більша у коду RZ, його спектр майже у двічі ширший ніж у коду NRZ при однакових швидкостях передачі інформації, це також можна побачити по ширині пропускної здатності лінії.

Так як зі збільшенням частоти, спектр сигналу також збільшується, може статися невідповідність між шириною спектру сигналу і смугою пропускання лінії. Це призведе до викривлення сигналів і помилок у розпізнаванні інформації, що у свою чергу буде означати, що швидкість передачі інформації буде меншою ніж розрахована [9].

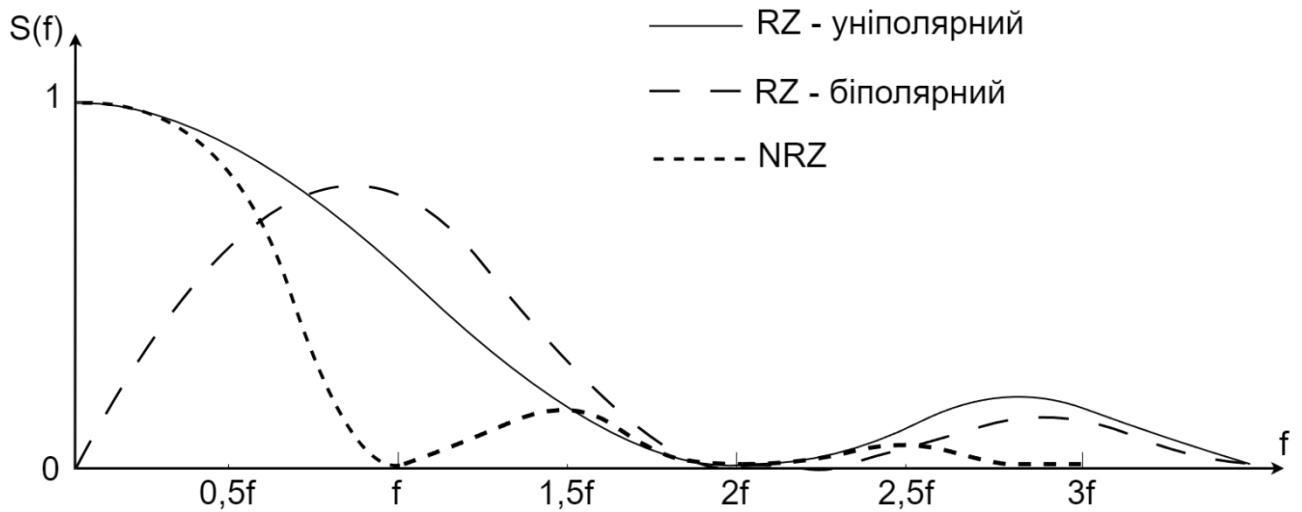


Рисунок 2.4. – Спектральна щільність сигналів NRZ і RZ

Також можна побачити, що при досить непоганому вигляді графіку спектральної щільності у NRZ і RZ уніполярних кодів присутня постійна складова сигналу.

3) АМІ

Код з полярністю імпульсів що чергується - Alternate Mark Inversion (АМІ) – це біполярний код, один з рідновидності трійкових кодів. Одиниці кодуються зміною додатніх та від’ємних імпульсів, а нулі – відсутністю імпульса. Тому при передачі довгої послідовності одиниць синхронізація втрачатися не буде. Постійної складової у сигналі АМІ немає. На рисунку 2.5 представлена часова діаграма коду АМІ.

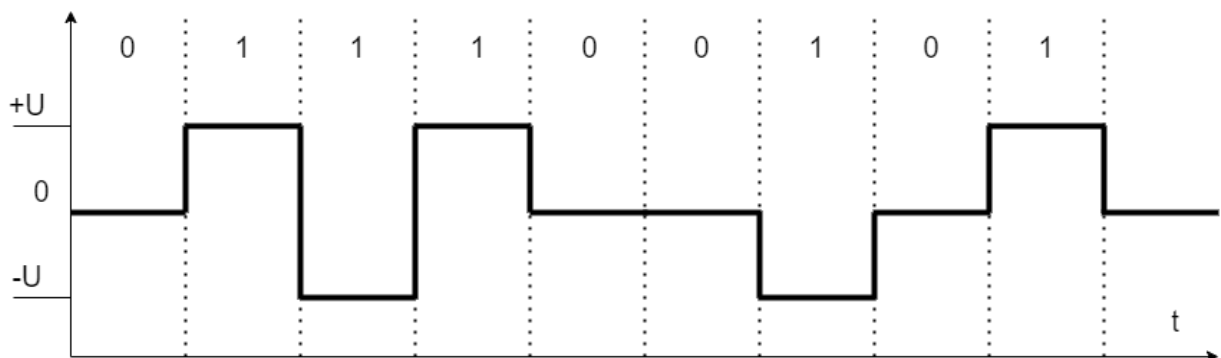


Рисунок 2.5. – Часова діаграма коду АМІ

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

Як видно із часової діаграми, при передачі використовуються три рівні сигналу +1, 0, -1. Полярності одиниць змінюються, що дозволяє здійснювати контроль правильності передачі послідовності. При одиничній помилці у каналі, наприклад, зникнення однієї одиниці, відбувається порушення чергування полярностей.

Явним недоліком можна назвати втрату синхронізації при передачі довгої послідовності нулів. Так як нулі кодуються відсутністю імпульсів, довга послідовність нулів може порушити синхронізацію між приймачем та передавачем, адже фронти за якими можна було б визначити кінець або початок комбінації, у нульових бітах – відсутні [9].

Тому для того, щоб синхронізувати генератори, у цьому коді застосовують алгоритм, який дозволяє збільшити щільність одиниць.

Його суть у тому, що, якщо передано N нулів підряд, то на передавальній стороні додається одиниця. Для того, щоб на приймальній стороні при декодуванні не сприймалась зайва одиниця, на приймальній стороні передається сигнал про вставку. Цей сигнал являє собою порушення полярності і це дозволяє прибрати додану одиницю.

Також із мінусів можна виділити, необхідність у більшій потужності передавача, через наявність трьох рівнів кодування.

До плюсів цього методу можна віднести, наявність часткової синхронізації та відносно просту реалізацію.

Також спектр щільності потужності досить вузький та не має постійної складової.

4)HDB-3

Для покращення характеристик біполярного АМІ коду існують методи, які можуть, представляти із себе навіть самостійні модифікації на основі АМІ коду. Одним з цих методів є -High-Density Bipolar 3-Zeros або HDB-3. Так, як він є модифікацією АМІ-коду, то має три рівні, основний принцип кодування такий самий як і у АМІ.

Основна відмінність – це наявність певного алгоритму, який при наявності у потоці даних чотирьох нульових бітів, змінює послідовність на 000V, де полярність біта V така сама, як і у попереднього одиничного імпульсу.

У першому випадку перед послідовністю із нулів стоїть непарна кількість одиниць. Тоді останній нуль замінюється одиницею з порушенням біполярності.

					<i>ЕЛІТ 6.172.00.02.008 ПЗ</i>	Лист
						20
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

У другому випадку замість першого нуля передається одиниця, порушуючи чергування. Приклад наведений на рисунку 2.6.

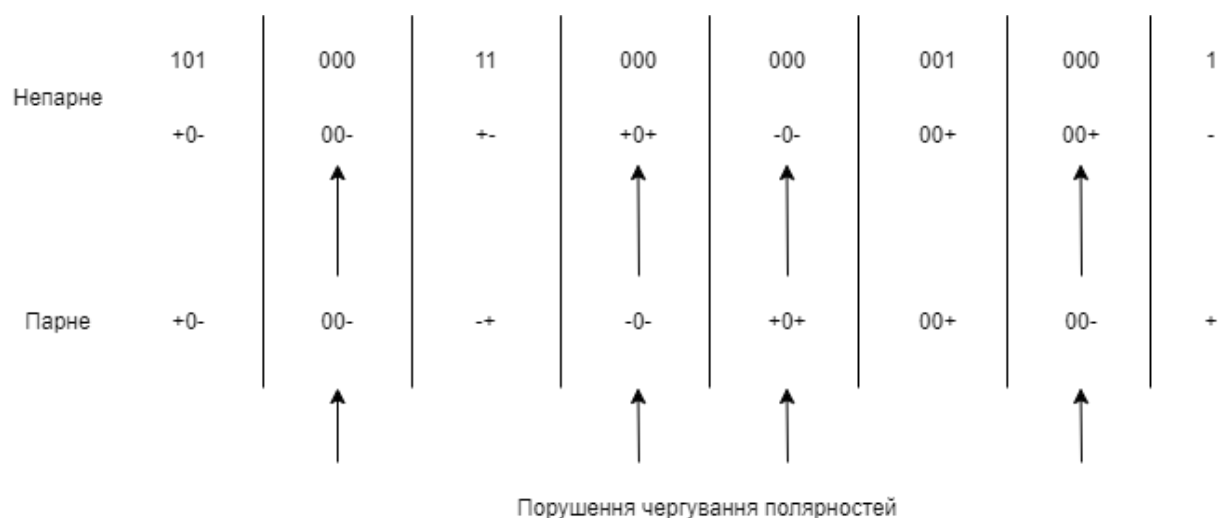


Рисунок 2.6. – Приклад заміни послідовностей із трьох нулів

Серед переваг цього методу кодування можна одразу відмітити покращену синхронізацію, адже тепер код завжди позначає послідовність із нулів одиничним імпульсом. Також у сигналі відсутня постійна складова.

5)B8ZS

Код Bipolar with 8-zeros Substitution або B8ZS. Ще один метод розроблений на основі коду АМІ. Код B8ZS також є тривірневим, тільки на відміну від HDB-3 він виправляє тільки послідовності із восьми нулів.

Для цього він після трьох нулів замість п'яти нулів, що залишилися вставляє п'ять цифр: $V-1^*-0-V-1^*$. Де V – це сигнал одиниці, яка заборонена для даного такту полярності, тобто сигнал, який не змінює полярність попередньої одиниці, 1^* – є сигналом одиниці правильної полярності, і в початковому коді у цьому такті була не одиниця а нуль.

У цьому алгоритмі приймач спостерігає два викривлення у восьми тактах. Шанс того, що це сталося через перешкоди на лінії досить малий, тому приймач вважає дану комбінацію кодуванням восьми нулів і при прийомі вставляє їх у прийняте повідомлення. Також, у цьому коді, постійна складова відсутня як при прийманні одиниць, так і нулів [9].

Спектри цих сигналів, при передачі неперервної послідовності чергуючихся між собою нулів та одиниць, будуть мати частоту основної гармоніки спектру щільності потужності цих сигналів, у два рази меншу ніж у NRZ.

7)2B1Q

Метод лінійного кодування 2B1Q (2 Binary 1 Quandary). Код формується відповідно до поступаючих на вхід кодувального пристрою двох бітів. У відповідність до кожної отриманої кодової послідовності ставиться один з чотирьох рівнів кодової напруги як показано у таблиці 2.1. Таким чином, закодоване повідомлення виглядає як послідовність із чотирьох можливих рівнів сигналу. Часова діаграма коду приведена на рисунку 2.9.

Таблиця 2.1. – Двійкові значення, відповідні рівням напруги у методі 2B1Q

Двійкове значення	Напруга (В)
10	+3
11	+1
01	-1
00	-3

При використанні методу 2B1Q досягається передача двох бітів за один тактовий інтервал Т. Відповідно, у цьому випадку швидкість передачі, яка вимірюється у бітах в секунду (біт/с), стає більшою у два рази за символну (бод/с).

Код 2B1Q спочатку використовувався у мережах ISDN для передавання потоку 144 кбіт/с, а потім його почали застосовувати для передачі більш швидкісних потоків.

Метод 2B1Q для максимальної швидкості передбачає використання до трьох пар мідного кабелю, по кожній з пар передається частина потоку з вище вказаними швидкостями. Найбільша відстань передачі досягається при використанні трьох пар відповідно (4 км по жилі 0,4 мм).

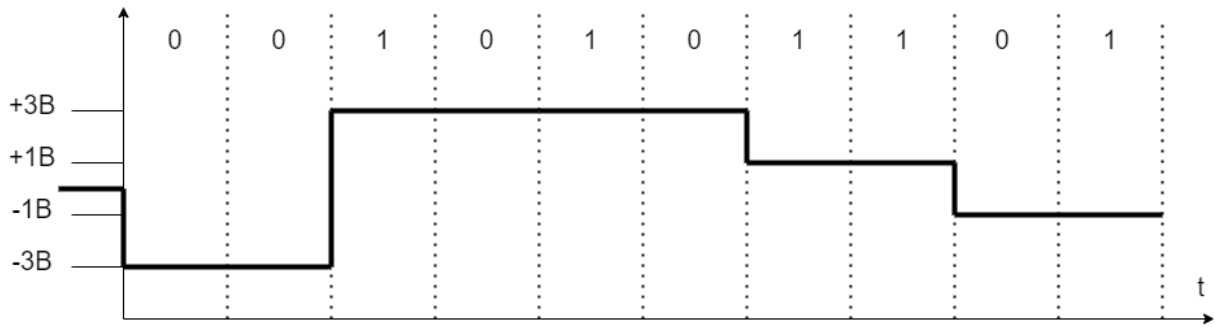


Рисунок 2.9. – Часова діаграма коду 2B1Q

Спектр лінійного сигналу симетричний та достатньо високочастотний, також у сигналі присутні низькочастотні і постійна складові. Наявність великого розкиду частот у спектрі сигналу 2B1Q, створює необхідність вирішення проблем, пов'язаних з груповим часом затримки. Мікропроцесорна обробка допомагає вирішити цю проблему за рахунок суттєвого ускладнення алгоритму обробки сигналу [10].

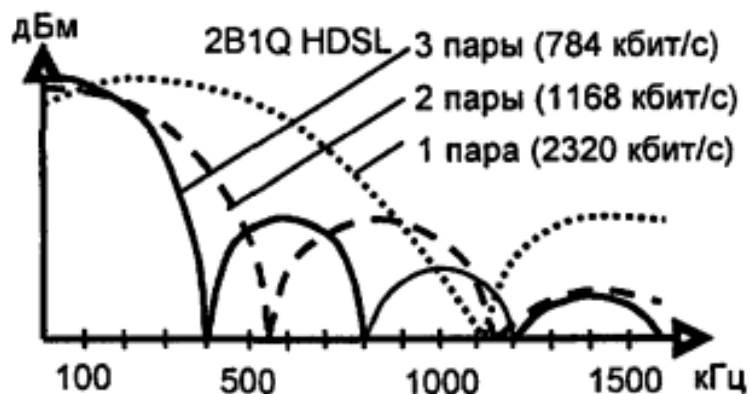


Рисунок 2.10 – Спектр лінійного сигналу коду 2B1Q

З синхронізацією приймача з передавачем також є певні проблеми. Так як кодування сигналу відбувається відповідно до комбінації двійкових символів, то при такому кодуванні необхідно намагатися виключати довгі послідовності бітів з однаковими комбінаціями, що може призвести до постійного рівня сигналу, що у свою чергу може призвести до розсинхронізації.

Виходячи з цього, зрозуміло, що метод 2B1Q не може самостійно забезпечити контроль за поступаючими кодовими комбінаціями, тому існує необхідність у попередній обробці вхідного коду, задля нормалізації вірогідності появи різних пар бітів.

Також до недоліків можна віднести досить складну реалізацію приймача та передавача, через необхідність підтримувати аж чотири рівні сигналу.

9) Манчестер II

Код Манчестер-II. Біполярний код, де для кодування символів використовується перепад потенціалів, тобто фронт імпульсу (рисунок 2.11). Одиниця кодується, від'ємним перепадом сигналу у середині кожного біту, а нуль – додатнім перепадом. На границях бітових інтервалів може бути перепад, для того щоб відобразити наступний біт у середині бітового інтервалу.

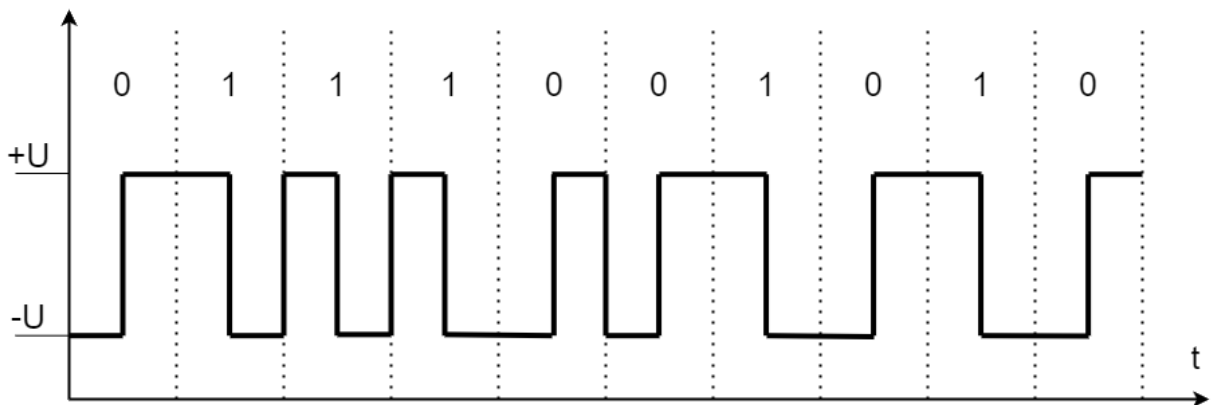


Рисунок 2.11. – часова діаграма коду Манчестер-II

За допомогою коду Манчестер – II, вирішується багато проблем, які були розглянуті у попередніх прикладах методів кодування. Постійної складової у коді Манчестер не має, адже цей код біполярний, та число додатних та від'ємних імпульсів майже рівне на будь-якому відрізку часу. Підлаштування приймача або ретранслятора виконується при передаванні кожного біта, тому цей код повністю самосинхронізований.

Наявність тільки двох рівнів сигналу дозволяє, порівняно з методами багаторівневого кодування, легше розпізнавати сигнали, що значно спрощує конструкцію апаратури у системі передачі, що призводить до кращої відмовостійкості та перешкодозахищеності.

Присутній механізм виявлення помилок. Ознакою помилки може стати «заморожування сигналу» на одному з рівнів, на час, який перевищує час передачі одного біта, так як незалежно від переданого коду, сигнал завжди коливається. З цього випливає головний недолік коду Манчестер-II, а саме коливання сигналу у кожному біті призводять до необхідності подвоєння пропускної здатності каналу і апаратури [7].

Ця проблема подібна до проблеми, яка була наявна у кодї RZ, у якому також перепади сигналу у середині бітового інтервалу, вимагали подвоєння пропускної здатності КЗ. Але позитивною відмінністю від кодування RZ є те, що при передаванні використовуються два рівні сигналу, імпульси яких виконують повну амплітуду коливань від $-U$ до U .

У RZ у свою чергу, існує ще нульовий рівень який обмежує амплітуду коливання від 0 до U або $-U$, це призводить до ризику появи постійної складової при передаванні довгих послідовностей нулів та одиниць, та наявність трьох рівнів сигналу ускладнює технічну реалізацію.

На рисунку 2.12 зображений спектр сигналу Манчестер-II.

Основна гармоніка спектральної щільності потужності коду Манчестер-II у випадку передачі тільки послідовності одиниць або нулів, у половину більша ніж у кодів AMI та NRZ і подібна до коду RZ . Але якщо передавати послідовність з одиниць та нулів, спектр сигналу буде рівним до кодів AMI та NRZ [9].

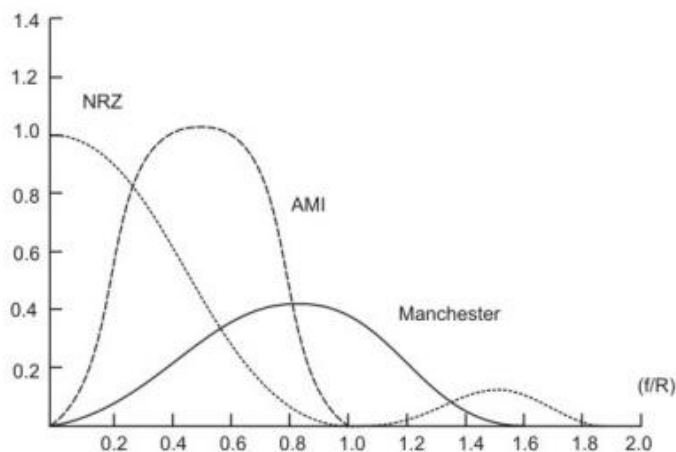


Рисунок 2.12. – Спектр сигналів Манчестер-II, NRZ, AMI

Кодування Манчестер-II застосовують у мідних та оптоволоконних мережах передачі даних. Також цей метод кодування застосовується у протоколі локальних мереж Ethernet 10 Мбіт/с.

У військовому стандарті міністерства оборони США MIL-STD-1553B усе кодування виконується Манчестерським кодом. Одна шина 1553 складається з екранованої витої пари з опором 70 – 85 Ом на частоті 1 МГц або коаксіальним кабелем, центральний контакт якого використовується для передавання сигналу закодованого кодом Манчестер-II.

У стандарті 1553 кодуються три типи слів (рисунок 2.13): Команда, дані, стан справ.

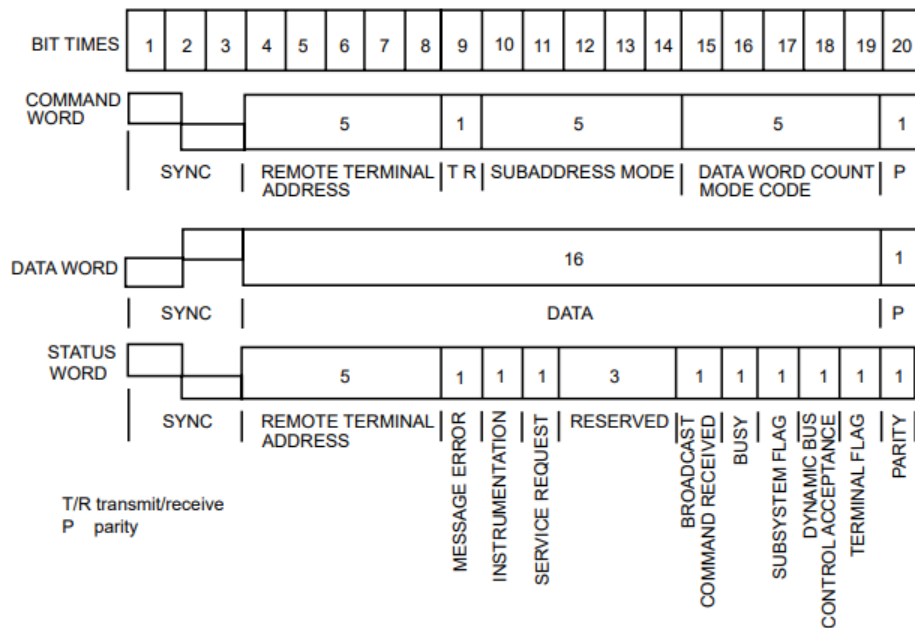


Рисунок 2.13. – Форми кодових слів MIL-STD-1553В

Кожний тип слова має окремий формат у рамках загальної структури . Але усі слова мають довжину 20 біт, а перші три біти представляють собою поле синхронізації, яке дозволяє декодувальному пристрою повторно синхронізуватися на початку кожного кодового слова. Наступні 16 біт складають інформацію у форматі, який залежить від типу кодового слова.

Саме через це метод Манчестерського кодування використовується у цьому стандарті , адже форма хвилі дозволяє легко провести синхронізацію та виділення окремих повідомлень. Також сигнал симетричний відносно нуля, що дозволяє користуватися трансформаторним зв'язком [11].

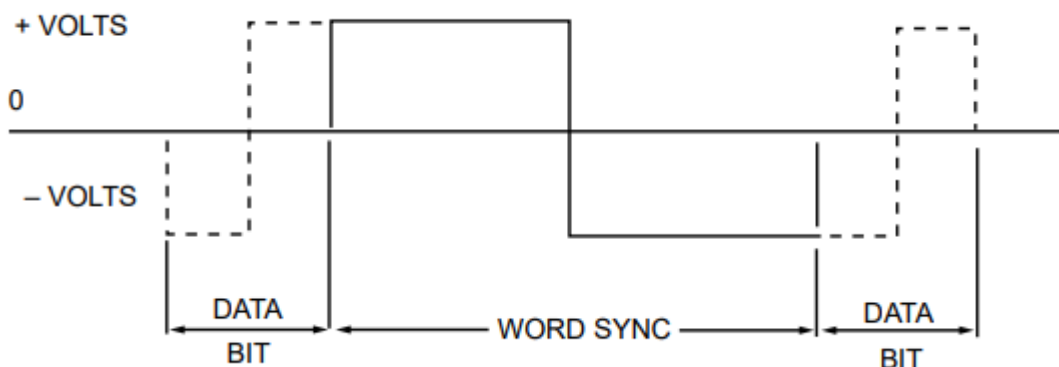


Рисунок 2.14. – Форма сигналу синхронізації кодових слів MIL-STD 1553В

Форма синхросигналу буде виглядати як на рисунку 2.14. Ширина повинна дорівнювати трьом бітам, перша половина яких має додатній імпульс, а друга половина – від’ємний. Якщо наступний, після синхросигналу, біт є логічним нулем, то остання половина синхросигналу буде мати ширину двох тактових частот для манчестерського кодування.

2.2 Висновки по аналізу лінійних кодів

У попередньому розділі було проведено аналіз властивостей методів лінійного кодування для передачі повідомлень по КЗ. Для порівняння наведемо часові діаграми усіх розглянутих кодів на рисунку 2.15.

1. Коди NRZ – це найпростіші коди, які використовують додатній імпульс для позначення одиничного біта і від’ємний для нульового. Уніполярний NRZ код має недоліки у вигляді постійної складової та велику частину низькочастотних компонентів у спектрі сигналу, а також відсутність самосинхронізації.

Біполярний NRZ код має дещо кращі характеристики, але все ще має недолік у вигляді постійної складової та відсутності самосинхронізації. Слід зазначити що обидва коди мають досить непоганий спектр щільності потужності, за винятком наявності постійної складової.

2. Коди AMI. Найпростіший код AMI – це біполярний трирівневий код. Нуль кодується відсутністю імпульсу, а одиниця чергування від’ємних та додатніх імпульсів. Має властивості самосинхронізації при передаванні довгої послідовності одиниць, а також відсутність постійної складової дозволяє використовувати трансформатори для передавання сигналу.

Все змінюється при передаванні довгої послідовності нулів, синхронізація втрачається адже сигнал не змінює свою амплітуду.

					<i>ЕЛІТ 6.172.00.02.008 ПЗ</i>	Лист
						28
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

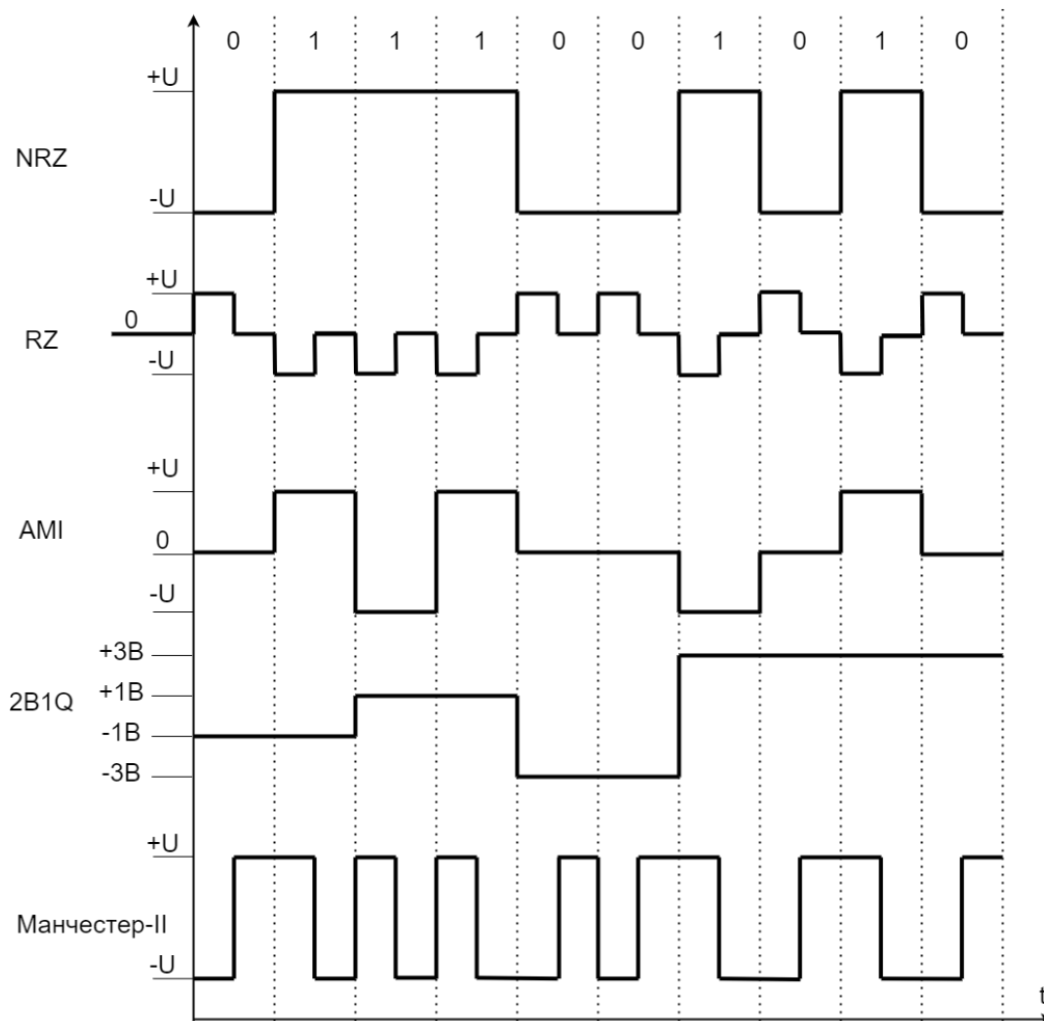


Рисунок 2.15. – Часові діаграми лінійних кодів

Коди HDB-3 та B8ZS є модифікацією коду AMI. Основний принцип їх роботи такий самий. Відмінність полягає у використанні спеціальних алгоритмів, які покращують роботу AMI методу.

Тут при передаванні одиниць нічого не змінюється, а коли починає передаватися послідовність нулів, вони помічаються спеціальними символами після певної кількості нульових бітів (HDB-3 – три, B8ZS – вісім). Спектр сигналу AMI вузьчий ніж у NRZ, що є плюсом, але наявність трьох рівнів ускладнює процес технічної реалізації.

3.RZ код. Може бути біполярним та уніполярним. RZ – це трирівневий код, основна відмінність від попередніх кодів полягає у тому, що тривалість сигналу складає пів біту. З цього можна зробити висновок, що біполярний RZ самосинхронізується. Але наявність перепаду у середині біту, потребує удвічі більшої смуги пропускання, що робить спектр сигналу вдвічі ширшим від NRZ, а трирівневе кодування ускладнює технічну реалізацію.

Уніполярний RZ код має два рівні сигналу, але при передаванні довгої послідовності нулів синхронізація втрачається адже, замість зміни рівня, нуль представляється просто відсутністю зміни амплітуди сигналу.

4. 2B1Q кодування. Це метод чотирьохрівневого кодування. Особливістю цього методу є те, що він кодує два інформаційних біти одним рівнем сигналу, що робить передачу вдвічі швидшою. Але цей метод не здатний до самосинхронізації, при довгій передачі однакових пар бітів рівень сигналу буде незмінний, що означає що код потребує попередньої обробки. Також з цієї причини у сигналі може бути присутня постійна та низькочастотні складові. У спектрі сигналу присутній досить великий розкид частот.

5. Манчестер – II. Як і RZ код, Манчестерський має перехід у середині кожного біту, що дозволяє виділяти синхросигнал при передаванні будь-якої кодової послідовності. Це також призводить до необхідності збільшення пропускної здатності лінії, але на відміну від RZ-коду він має два рівні напруги, що спрощує технічну реалізацію.

Спектр сигналу Манчестерського коду не має постійної складової. При незмінній передачі нулів або одиниць, його спектр буде ширший ніж у NRZ та AMI коду і подібний до RZ, але при передаванні по чергово нулів та одиниць, його спектр звужується до величини спектру NRZ.

Після проведення аналізу властивостей методів лінійного кодування, для побудови телекомунікаційного пристрою передавання даних був обраний код Манчестер – II.

3 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ РОБОТИ ТА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ПРИБРОЮ

3.1 Побудова алгоритму роботи та структурної схеми пристрою

Спочатку система перебуває у стані очікування. Коли у систему поступає запит на передачу повідомлення, Пристрій керування (ПК) починає початкове налаштування блоків системи. Пристрій обмінюється керуючими сигналами з КУД та іншими компонентами системи. Якщо КУД або АКД не готові до передачі даних виникає помилка, та пристрій повертається у режим очікування запиту. Сигнали обміну між КУД та АКД виробляються блоком формування сигналів обміну (ФСО).

Після того блоки у системі налаштовані, а пристрої синхронізовані починається завантаження даних у буферний регістр накопичування (БН), який виконує функцію зберігання даних до моменту коли вони будуть передані до наступного блоку. Після цього вмикається тактовий генератор (ГН), який буде забезпечувати роботу блоку перевірки та перетворення інформації (БППІ) та інших блоків. Одразу з БН, дані у вигляді паралельного коду будуть поступати на БППІ який є блоком паралельно-послідовного перетворення. У цьому блоці відбувається перетворення коду з паралельного у послідовний, це потрібно для подальшого кодування інформації.

Після того як перетворення інформації завершено ГН відправляє імпульс зсуву на вхід БППІ, який дозволяє надходження наступного блоку даних, які до цього містилися у БН для їх подальшого перетворення. Функцію формування цього імпульсу виконує блок формування імпульсів зсуву (БФІЗ).

Далі відбувається формування повідомлення. Дані проходять через блок завадостійкого кодування, у якому до інформаційної частини повідомлення додаються службові розряди, такі як: початок та кінець блоку, перевіірочні елементи та ін. Далі блок повідомлення передається до БН, після якого одразу йде до блоку лінійної модуляції (БЛМ).

У БЛМ повідомлення кодується за допомогою коду Манчестер-ІІ та передається у КЗ.

Блок-схему алгоритму роботи телекомунікаційного пристрою наведено на рисунку 3.1.

					<i>ЕЛІТ 6.172.00.02.008 ПЗ</i>	Лист
						31
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

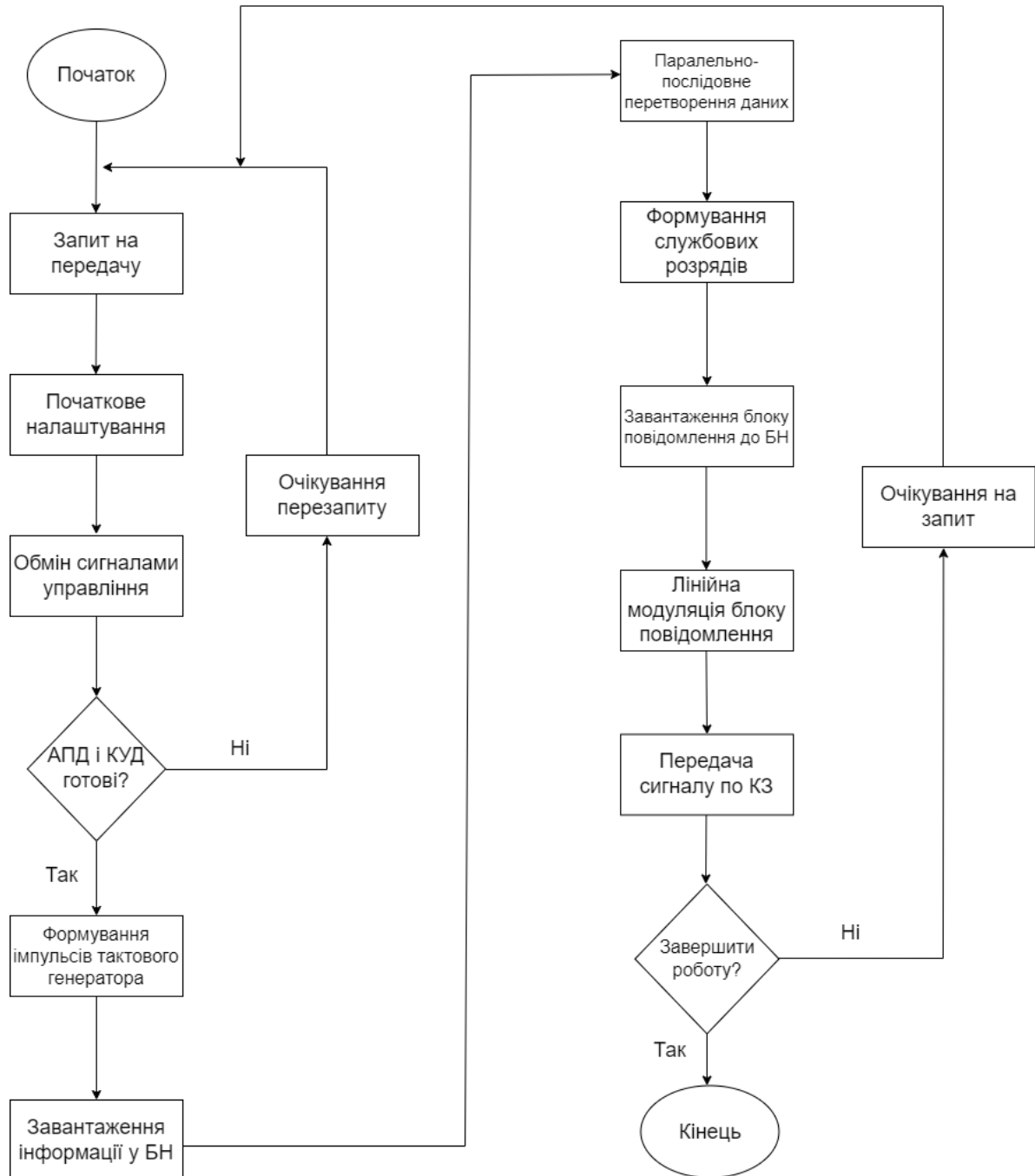


Рисунок 3.1. – Алгоритм роботи пристрою

На підставі розробленого алгоритму складається структурна схема пристрою, що являє собою сукупність основних блоків, що реалізують задані функції, і зв'язки між ними. Зв'язки вказуються тільки між тими блоками, які безпосередньо взаємодіють у процесі роботи пристрою.

До структурної схеми зображеній на рисунку 3.2 будуть входити наступні блоки.

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

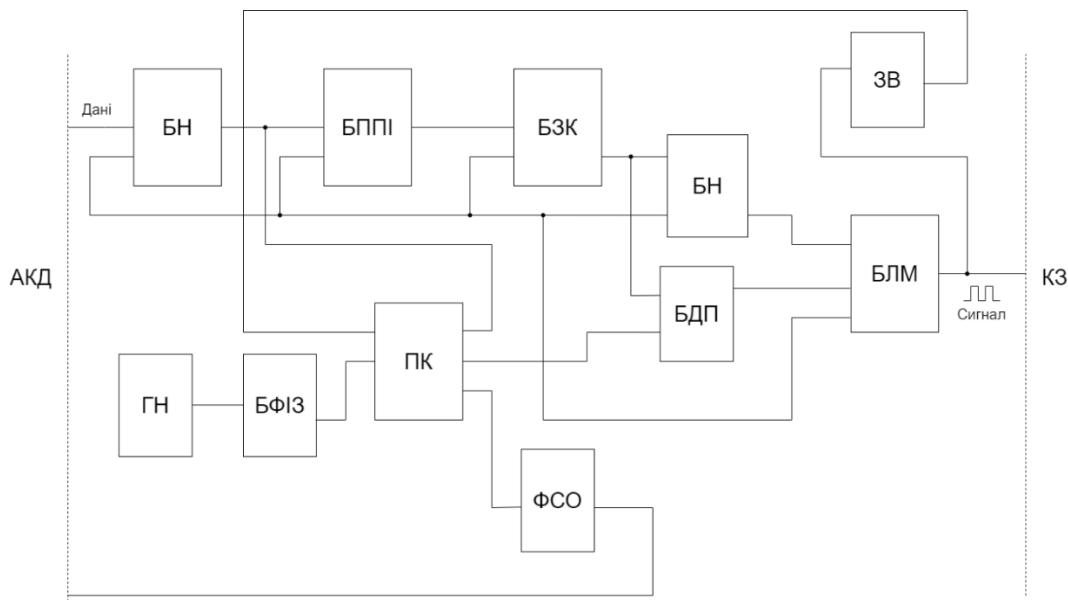


Рисунок 3.2. – Структурна схема пристрою

Структурна схема:

- Блок пристрою керування (ПК);
- Блок формування сигналів обміну з КУД і АКД (ФСО);
- Блок тактового генератору (ГН);
- Блок формування імпульсів зсуву (БФІЗ);
- Блок буферного регістру (БН);
- Блок паралельно-последовного перетворювача (БППІ);
- Блок завадостійкого кодування (БЗК);
- Блок дозволу передачі кодового повідомлення (БДП);
- Блок лінійної модуляції (БЛМ);
- Блок зворотного зв'язку (ЗВ).

Основними характеристиками, які визначають якість і ефективність передавання даних, є надійність, швидкість і вірність передачі даних. Також важливим показником є складність апаратної реалізації та її вартість. Але не буває такого, щоб система була ідеально збалансованою. Зазвичай при проектуванні апаратури деякі характеристики та функції занижують або виключають взагалі, заради покращення більш важливих показників.

Розглянемо більш детально роботу блоку лінійної модуляції (БЛМ), який використовує код Манчестер-II. Алгоритм роботи БЛМ зображений на рисунку 3.3.

Спочатку відбувається завантаження блоку повідомлення до пристрою. Далі відбувається перетворення цього повідомлення у сигнал NRZ та виділення

тактового сигналу С. Сигнал коду «Манчестер-II» може бути отриманий сумуванням по модулю два сигналів NRZ та С. У результаті чого принцип роботи шифрувального пристрою манчестерського коду досить простий.

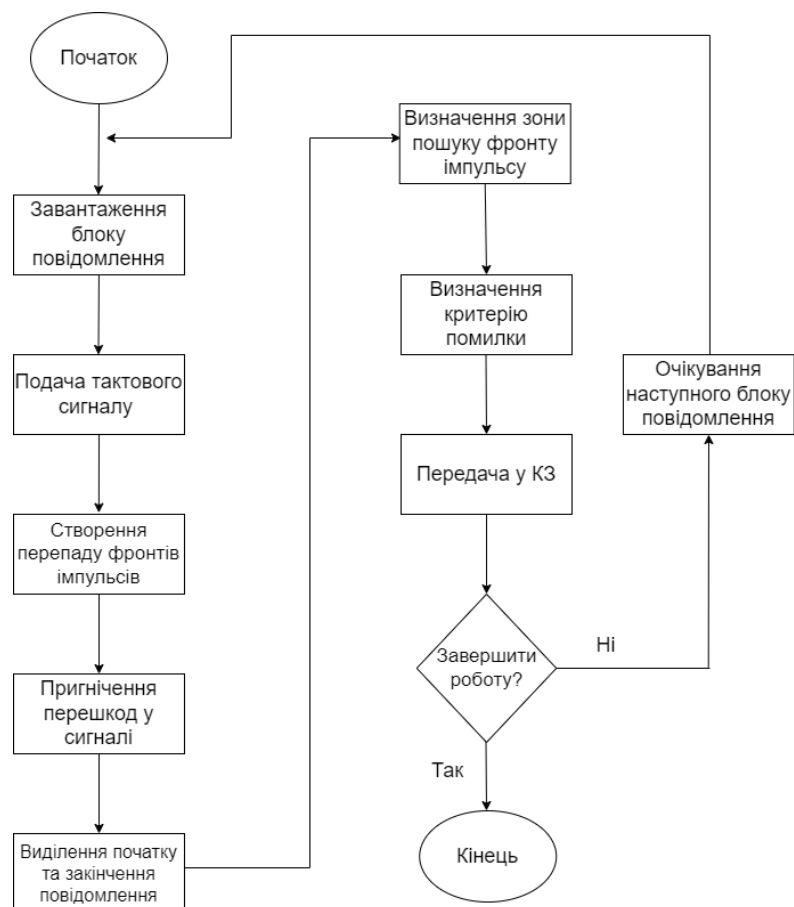


Рисунок 3.3. – алгоритм роботи БЛМ

Далі відбувається пригнічення перешкод у сигналі за допомогою відповідної схеми. Вона працює по принципу очищення результуючого сигналу «Манчестер-II» від короткострокових імпульсів, які виникають через зміщення фронтів сигналу С відповідно до фронтів сигналу NRZ.

Після цього у сигналі починається виділення початку та закінчення повідомлення. Це відбувається шляхом штучного затягування стартових імпульсів на півтора періода, щоб приймальний пристрій розцінив це як початок або кінець повідомлення. Після цього формується критерій помилки повідомлення, який визначається як наявність постійного рівня сигналу протягом часу, перевищуючого один період тактової частоти з урахуванням штучного затягування стартових імпульсів.

Тепер сигнал готовий до передачі у КЗ. Далі пристрій завершує свою роботу або переходить у режим очікування наступного блоку повідомлення.

4. РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ ПРОЕКТОВАНОГО ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОГО ПРИСТРОЮ

4.1 Блок буферних регістрів

Регістри – це пристрої, що здійснюють прийом, зберігання та видачу двійкових чисел. У регістрах інформація зберігається не довго, зазвичай, декілька тактів. Основним запам'ятовуючим елементом регістру є тригери. Регістри можуть бути паралельними, послідовними та універсальними.

Схема структури регістру, який дозволяє запис інформації у паралельному вигляді зображена на рисунку 4.1.

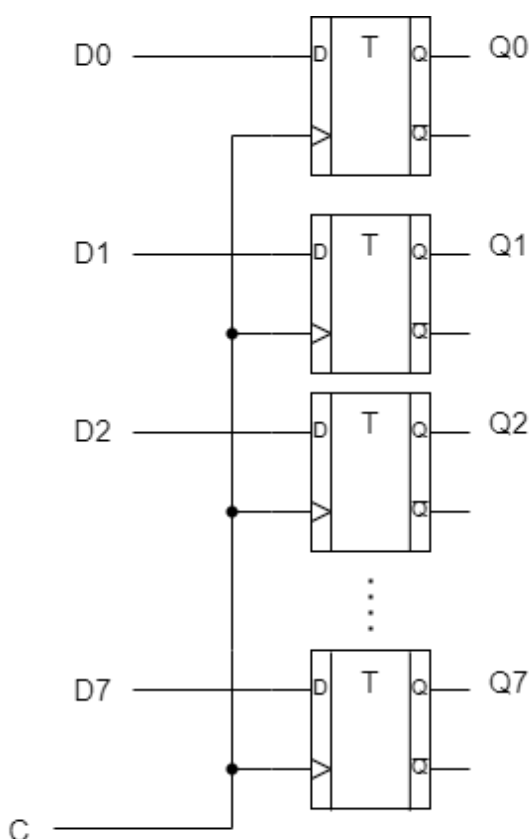


Рисунок 4.1. – Структура паралельного регістру

В паралельних регістрах, кожен з тригерів має свій власний інформаційний вхід (D) і вихід (Q). Цей регістр має вісім розрядів, тобто може запам'ятовувати один байт інформації.

Також у схемі буде використовуватись зсувний регістр, для зберігання послідовного коду перед передачею до БЛМ. Структура зсувного регістру зображена на рис. 4.2.

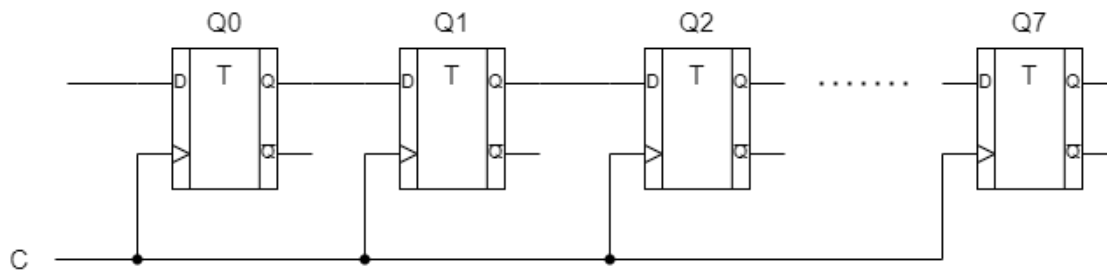


Рисунок 4.2. – Структура зсувного регістру

Даний зсувний регістр буде лінією затримки подачі інформації, яка послідовно записується з тригера в тригер. Дані регістри будуть спрацьовувати по фронту управляючого сигналу С.

4.2 Блок паралельно-послідовного перетворювача

Блок ППІ, буде виконаний на основі послідовного регістру, доповненого відповідною логікою. У паралельно-послідовному регістрі вхідні дані будуть записуватися паралельно до усіх розрядів, а на виході інформація буде зчитуватися у послідовній формі. Структуру блоку ППІ зображено на рис. 4.3.

Як ми бачимо, інформація завантажується до кожного регістру через входи (Dn) і зберігається до того моменту, поки на вхід (SHIFT) не подається сигнал зсуву інформації.

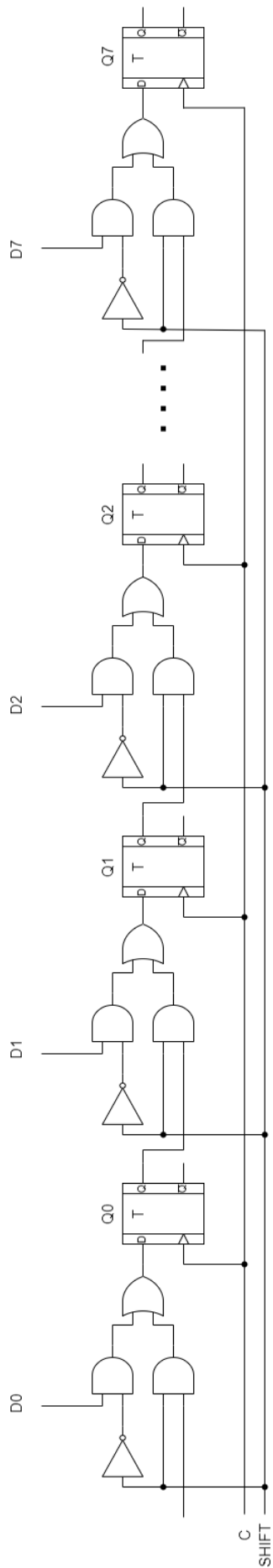


Рисунок 4.3. – Структура блоку ППІ

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

ЕЛІТ 6.172.00.02.008 ПЗ

4.3 Блок завадостійкого кодування

Блок завадостійкого кодування буде відповідати за обробку вхідного послідовного коду. Принцип завадостійкого кодування полягає у виявленні і виправленні помилок у кодових послідовностях. Ця процедура відбувається завдяки додаванню надмірності до кодової послідовності у вигляді перевірочних елементів r .

Кількість перевірочних розрядів залежить від виду коду, відношення інформаційних розрядів до перевірочних називають коефіцієнтом надмірності.

Для завадостійкого кодування інформації буде використано БЧХ кодування. Теоретично БЧХ можуть виправляти довільну кількість помилок, але при цьому може збільшуватися тривалість кодової комбінації, що може призвести до ускладнення технічної реалізації апаратури та зменшення швидкості передачі даних.

При кодуванні треба взяти число помилок, які треба виправити (t_u) і довжину блоку повідомлення (n). Метою є визначення коефіцієнта надмірності при даному виді кодування. Довжина кодової комбінації визначається за формулою:

$$n = 2^m - 1. \quad (4.1)$$

де m – ціле число.

Схема кодера БЧХ залежить від утворюючого поліному $P(x)$. Утворюючий поліном знаходиться як найменше спільне кратне мінімальних непарних поліномів $m_i(x)$ по порядку $2 t_u - 1$ включно:

$$P(x) = \text{НОК}\{m_1(x)m_2(x) \dots m_{2t_u-1}(x)\}. \quad (4.2)$$

Далі, підбираючи довжину блоку по (4.1) знаходимо кількість контрольних та інформаційних розрядів. Слід зазначити що блок повинен мати мінімальну ефективну швидкість передачі у межах:

$$V_{\text{еф}} = (0,9/0,95) * V, \frac{\text{біт}}{\text{с}}$$

Нехай $n = 127$, тоді:

$$n = 2^7 - 1 = 127.$$

Кількість контрольних розрядів:

$$r \leq m \cdot t_u \leq 7 \cdot 4 = 28.$$

Число інф. Елементів у блоці:

$$k = n - r = 127 - 28 = 99.$$

					<i>ЕЛІТ 6.172.00.02.008 ПЗ</i>	Лист
						38
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Ефективна швидкість видачі:

$$V_{\text{еф}} = \frac{V(127-28)}{127} = 0,78V - \text{це не задовольняє технічним вимогам.}$$

Нехай $n = 255$, тоді $m = 8$.

Кількість контрольних розрядів:

$$r \leq m \cdot t_u \leq 8 \cdot 4 = 32.$$

Число інф. Елементів у блоці:

$$k = n - r = 255 - 32 = 223.$$

$$V_{\text{еф}} = \frac{V(255-32)}{255} = 0,87V - \text{це не задовольняє технічним вимогам.}$$

Нехай $n = 511$, тоді $m=9$.

$$n = 2^9 - 1 = 511.$$

Кількість контрольних розрядів:

$$r \leq m \cdot t_u \leq 9 \cdot 4 = 36.$$

Число інф. Елементів у блоці:

$$k = n - r = 511 - 36 = 475.$$

Ефективна швидкість видачі:

$$V_{\text{еф}} = \frac{V(511-36)}{511} = 0,92V - \text{це задовольняє технічним вимогам.}$$

Так як довжина інформаційної частини повинна бути кратна байту, то число знаків у блоці:

$$k_{\text{зн}} = \frac{475}{8} = 59,4.$$

Довжина інформаційної частини:

$$k = 59 \cdot 8 = 472.$$

Кількість мінімальних багаточленів дорівнює $t_u = 4$, причому порядок останнього $2t_u - 1 = 7$, а старший показник степеня $m = 9$, відповідно до (4.2):

$$\begin{aligned} P(x) &= \text{НОК}\{1021; 1131; 1461; 1231\} = \\ &= (x^9 + x^4 + 1)(x^9 + x^6 + x^4 + x^3 + 1)(x^9 + x^8 + x^5 + x^4 + 1)(x^9 + x^7 + \\ &+ x^4 + x^3 + 1) = x^{33} + x^{28} + x^{27} + x^{26} + x^{24} + x^{23} + x^{22} + x^{21} + x^{14} + \\ &+ x^{13} + x^{10} + x^7 + x^6 + x^5 + x^3 + x + 1. \end{aligned}$$

Таким чином ми отримали вид утворюючого полінома із максимальним показником степіня 33.

Тепер можна побудувати схему кодууючого пристрою. Запишемо поліном у двійковій формі:

1000011101111000000110010011101011

					ЕЛІТ 6.172.00.02.008 ПЗ	Лист
						39
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Ми маємо вид утворюючого полінома із максимальним показником степіня 33. Отже максимальний показник тригера регістра зрушення має складати 32. Кількість суматорів за модулем М2 буде складати $17 - 1 = 16$ штук.

Тепер складаємо структурну схему пристрою, який формує циклічний код яка показана на рисунку 4.4.

					<i>ЕЛІТ 6.172.00.02.008 ПЗ</i>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		40

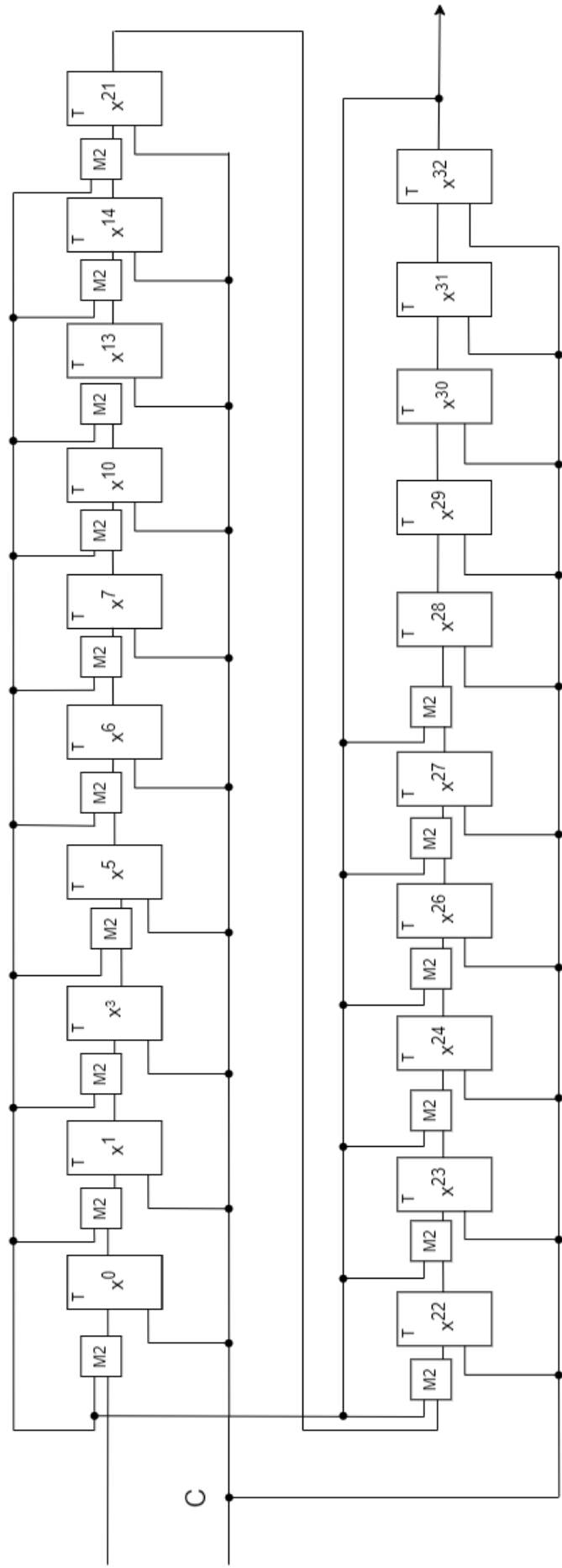


Рисунок 4.4. – Структура блоку завадостійкого кодування БЧХ

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

Як ми можемо побачити деякі елементи у схемі відсутні. Фізично вони знаходяться там, але, задля того, щоб була можливість зобразити рисунок більш компактно та розбірливо, зображені тільки елементи які мають значення 1 та на вході яких стоїть суматор за М2. Відсутні елементи які знаходяться між наявними на рисунку елементами з'єднані наступним чином:

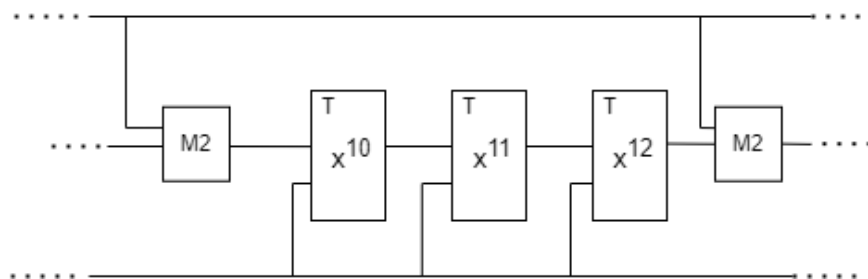


Рисунок 4.5 – З'єднання елементів не показаних на основній схемі

Дана схема здійснює ділення інформаційного повідомлення на породжуючий поліном $P(x)$. Повідомлення подається на вхід схеми послідовно, починаючи зі старшого розряду. Далі біти проходять через суматори М2 та якщо у регістрі (X^n) було збережене одиничне значення, біт на вході, буде підсумовуватися за М2 та просуватися далі по регістру. По закінченню ділення у регістрі формується залишок, який і є надмірною частиною повідомлення.

4.4 Блок пристрою керування

Блок пристрою керування буде складатись із самого БПК і БФІЗ. Блок пристрою керування повинен забезпечувати почергове спрацьовування блоків пристрою.

Найбільш просте вирішення цього питання полягає у застосуванні в схемі керування кільцевого лічильника. Для початку лічильник потрібно привести у початковий стан, це робиться за допомогою запису логічної одиниці в один з розрядів лічильника. При вмиканні на вхід тригера подається імпульс негативної полярності, що переводить перший тригер системи в одиничний стан.

Схема буде будуватись в залежності від кількості процесів, які будуть відбуватися у системі. Пристрій керування потрібен для початкового налаштування системи, перетворення паралельного коду у послідовний та дозволу передачі блоку повідомлення до БЛМ, тобто маємо три керуючих сигнали.

Схема структури блоку керування показана на рисунку 4.6.

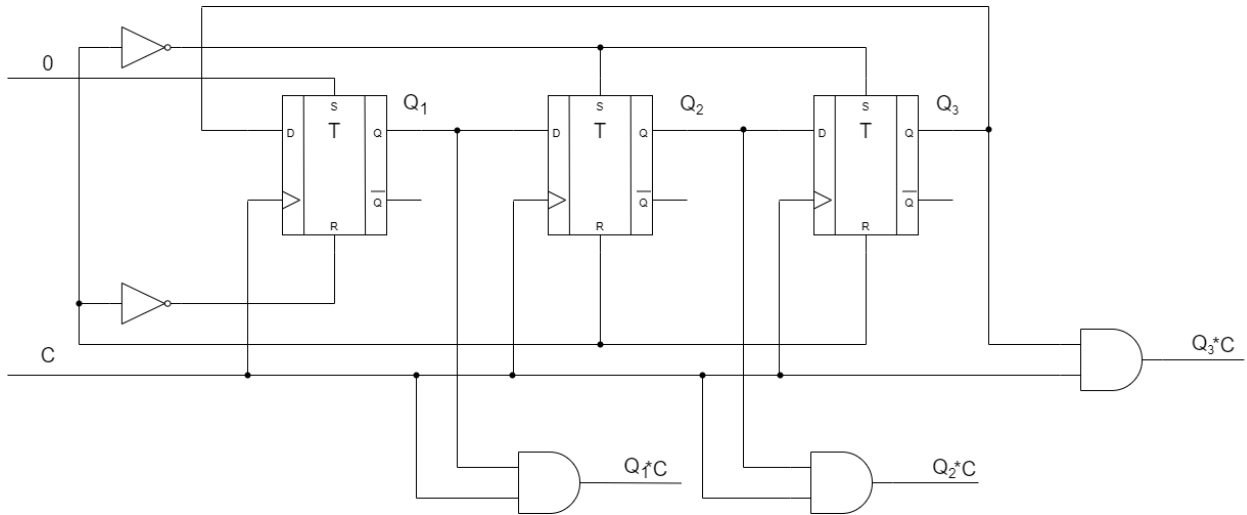


Рисунок 4.6. – Структура пристрою керування

Для того, щоб імпульси на виході з пристрою керування були співрозмірними з імпульсами тактового генератора, на виходах схеми розташовані логічні елементи «AND», які будуть формувати імпульси заданої тривалості.

Для блоку формування імпульсів зсуву будуть використовуватися лічильники, які з'єднані послідовно. Так як довжина повідомлення буде складати 511 біт, нам потрібно три послідовно з'єднані лічильники, які можуть рахувати до десяти. Завдяки послідовному з'єднанню перший лічильник буде рахувати одиниці, другий – десятки, а третій буде рахувати сотні.

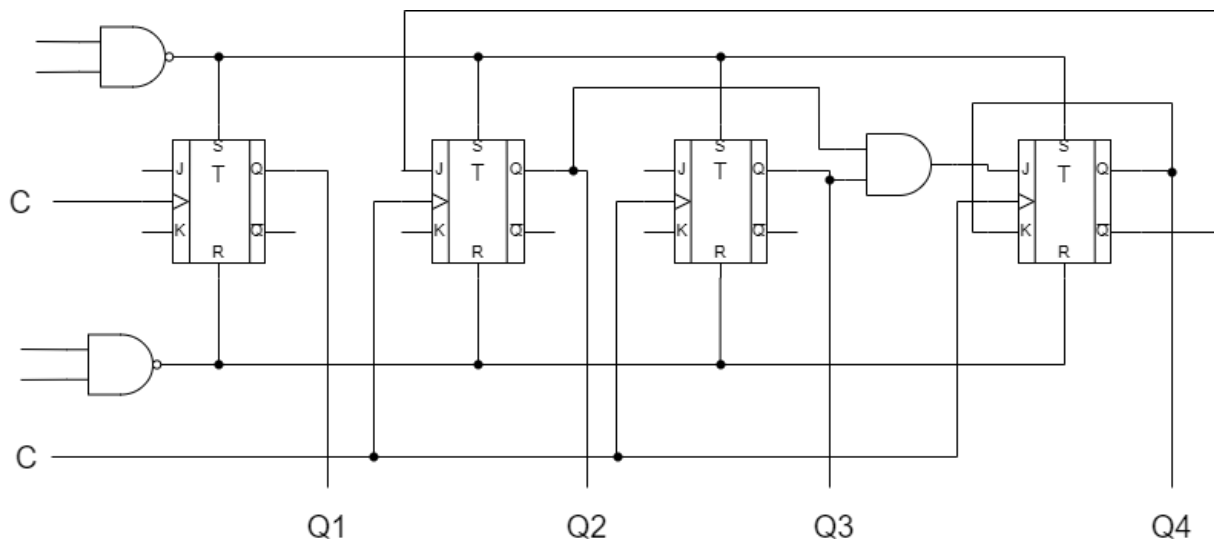


Рисунок 4.7. Структура одної декади десяткового лічильника

4.5 Блок генератора

Для стабільної роботи пристрою на основі коду Манчестер-II потрібен точний та стабільний тактовий генератор, який спроможний забезпечити роботу пристроїв перетворення коду та лінійної модуляції. Для високої стабільності генерованої частоти, до генератору можна додати кварцевий резонатор налаштований на потрібну частоту наприклад на 1 МГц. Схема генератора показана на рис. 4.9.

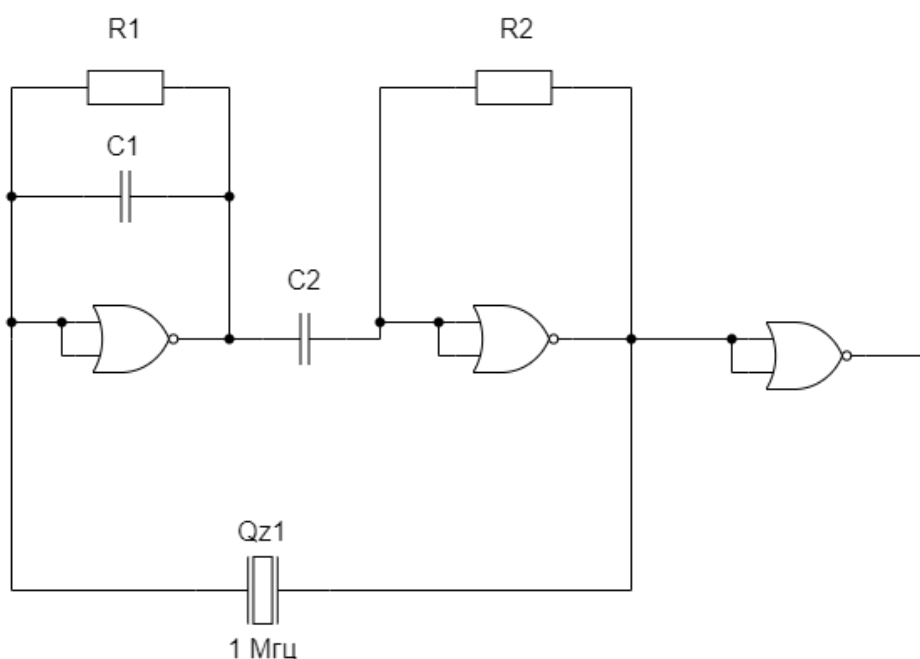


Рисунок 4.9. – Структура блоку генератора

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

Як видно зі схеми частота імпульсів, яка буде генеруватися схемою, задається параметрами Qz1. Конденсатори C1 і C2 слугують як фазозсувні елементи.

4.6 Блок лінійного кодування

Блок лінійного кодування буде відповідати за перетворення послідовного двійкового повідомлення у форму сигналу Манчестер-II. Кодер манчестерського коду дуже простий у реалізації. Для того, щоб отримати сигнал манчестерського коду потрібно виконати сумування за M2 бітового сигналу і тактового сигналу C.

Також БЛМ включає у себе схему фільтру пригнічення перешкод які можуть утворюватися через невідповідність фронтів тактового і бітового сигналів. Схема БЛМ показана на рис. 4.8.

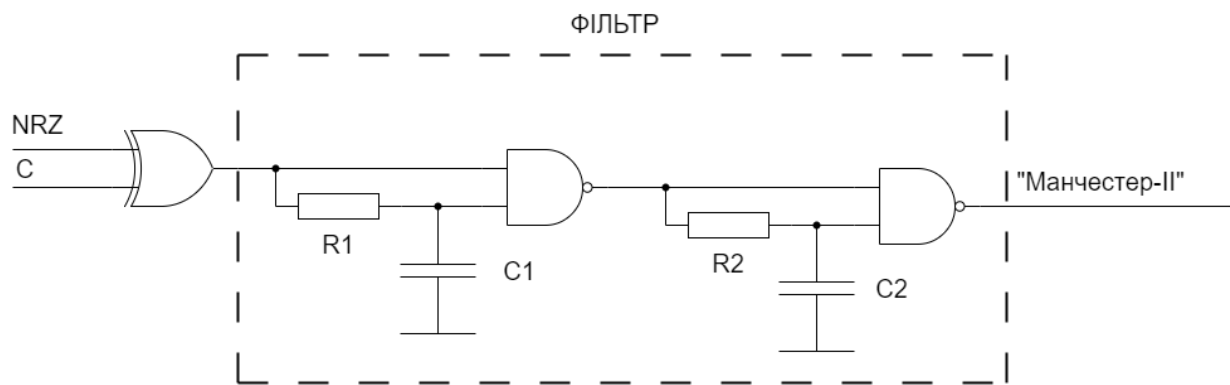


Рисунок 4.8. – Структура кодера блока лінійної модуляції

Схема фільтру пригнічує короткі позитивні імпульси, але пропускає негативні короткі перешкоди так як фронт спрацьовує миттєво через те, що заряд у конденсаторі ще накопичений. Для того, щоб схема фільтрувала і позитивні і негативні перешкоди, нам необхідно включити ще один каскад до виходу попередньої схеми. Перша схема відфільтрує позитивні, а друга перевернуті негативні перешкоди.

5. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ БЛОКУ ЛІНІЙНОГО КОДУВАННЯ

Структура блоку лінійної модуляції розглянута у попередньому розділі досить проста у виконанні, але на практиці, у реальних системах окрім шифрування інформації, потрібно забезпечити багато інших функцій, таких як формування синхроімпульсів, виділення початку та закінчення повідомлення, визначення помилок. Це робить принципову схему набагато складнішою.

При розробці пристрою переважна кількість елементів буде використовуватися із серії SN74ALS.

Таблиця 5.1. – Параметри мікросхем серії SN74ALS.

Параметр	SN74ALS
$I_{ВХ}^0$, МА, \leq	-0,2
$I_{ВХ}^1$, МА, \leq	0,02
$I_{ВЫХmax}^0$, МА	4
$I_{ВЫХmax}^1$, МА	-0,4
$U_{ВЫХ}^0$, В, \leq	0,4
$U_{ВЫХ}^1$, В, \geq	2,5
$K_{раз}$	20
$t_{зад}^{0/1}$, нс, \leq	4
$t_{зад}^{1/0}$, нс, \leq	4
$P_{пот}$, мВт, \leq	1
$U_{пом}$, В, \leq	0,8
f_{max} , МГц, \leq	100

где $I_{ВХ}^0$ – вхідний струм логічного нуля;

$I_{ВХ}^1$ – вхідний струм логічної одиниці;

$I_{ВЫХmax}^0$ – максимальний вихідний струм логічного нуля;

$I_{ВЫХmax}^1$ – максимальний вихідний струм логічної одиниці;

$U_{ВЫХ}^0$ – максимальне значення вихідної напруги, відповідне до рівня логічного нуля;

$U_{ВЫХ}^1$ – мінімальне значення вихідної напруги, відповідне до рівня логічної одиниці;

$K_{раз}$ – коефіцієнт розгалуження по виходу;

$t_{зад}^{0/1}$ – час затримки переходу ІМС із стану логічного нуля в стан логічної

одиниці;

$t_{зад}^{1/0}$ – час затримки переходу ІМС із стану логічної одиниці в стан логічного нуля;

$P_{пот}$ – потужність, яка споживається базовим логічним елементом від джерела напруги;

$U_{пом}$ – максимально допустиме значення статичної похибки;

f_{max} – максимальна частота перемикання.

Мікросхеми мають стандартні ТТЛ вхідні/вихідні рівні сигналів. Напрацювання мікросхеми ~50000 годин [12].

Логічні елементи які будуть використовуватися у принциповій схемі: логічні елементи АБО; АБО-НІ; І; І-НІ. Також будуть використовуватися D-тригери, RS-тригери та інвертори. Принципова схема блоку лінійного кодування за допомогою коду Манчестер-II зображена на рисунку 5.2.

Схема побудована на основі кодувальної частини мікросхеми HI-15530, яка використовується у віськовому стандарті MIL-STD-1553B (рисунок.5.1).

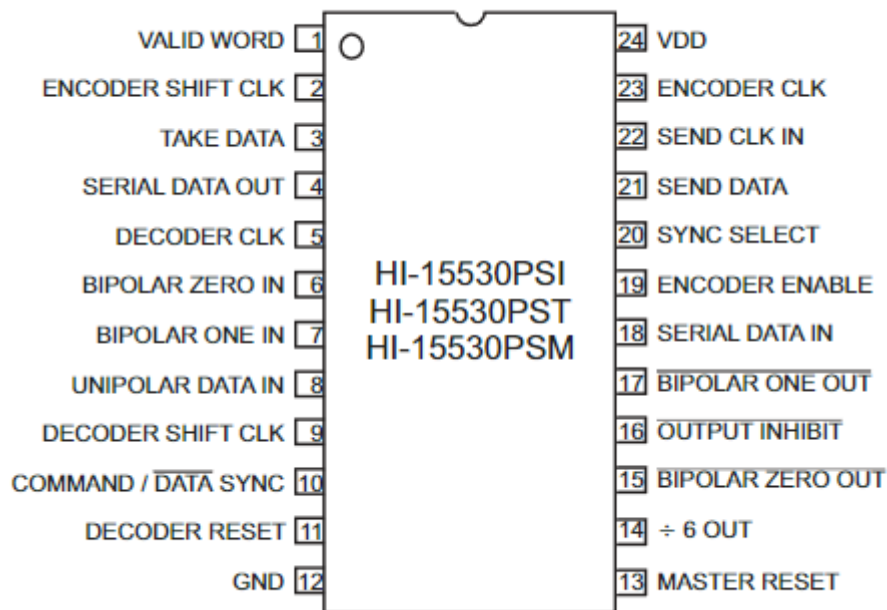


Рисунок 5.1. – Мікросхема HI-15530

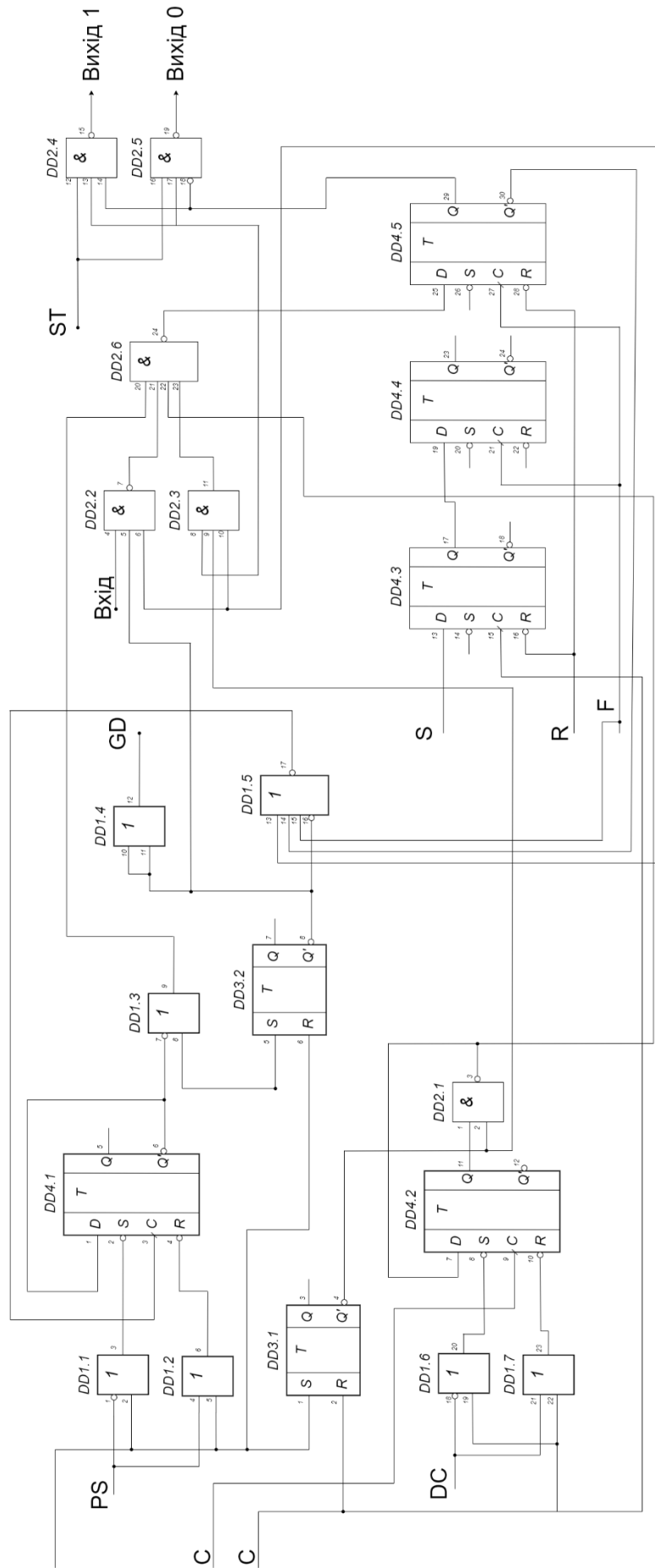


Рисунок 5.2. – Принципова схема пристрою лінійного кодування

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

ЕЛІТ 6.172.00.02.008 ПЗ

Лист

48

Таблиця 5.2. – опис виводів принципової схеми лінійного кодування.

Позначення	Призначення входу/виходу
Вихід 1,0	Виходи для закодованих одиниці та нуля
Вхід	Вхід для кодової послідовності
PS	Вхід для задавання полярності контрольного біту шифратора
DC	Вхід для задавання типу генерованого синхроімпульсу
C	Вхід для сигналу від тактового генератора
GND	Вихід для заземлення
S	Вхід для запуску кодувального пристрою
R	Вхід для скидання кодувального пристрою
F	Вхід для частоти дільника імпульсів
ST	Вхід для дозволу передачі біполярного коду

Для логічних елементів І застосовувалися мікросхеми SN74ALS08, І-НІ - SN74ALS37AN; 3І-НІ - SN74ALS10AN; 4І-НІ - SN74ALS20A.

Для логічних елементів АБО застосовувалися мікросхеми SN74ALS32; АБО-НІ - SN74ALS02N.

Для інверторів використовувалися елементи SN74ALS04BN [12].

Для схеми 4АБО-НІ була використана мікросхема із серії 74 – 7425 вона має наступні параметри .

Таблиця 5.3. – електричні характеристики схеми 7425.

Символ	Опис	Значення	
V_i	Вхідна напруга	-1,5	В
V_{oh}	Максимальний рівень вихідної напруги	3,4	В
V_{ol}	Мінімальний рівень вихідної напруги	0,4	В
I_i	Вхідний струм при максимальній вхідній напрузі	1	мА
I_{ih}	Максимальний рівень вхідного струму	40	мкА
I_{il}	Мінімальний рівень вхідного струму	-1,6	мА
I_{os}	Вихідний струм короткого замикання	-55	мА
I_{cch}	Максимальний струм живлення з виходами	8	мА
I_{ccl}	Мінімальний струм живлення з виходами	22	мА

Для D-тригеру була використана мікросхема із серії MC74 – MC74HCT74A, яка має наступні параметри.

Таблиця 5.4. – електричні характеристики схеми MC74HCT74A.

Символ	Опис	Напруга	Гарантований ліміт			
			-55 to 25C	≤ 85C	≤ 125C	
V _{IH}	Minimum High-Level Input Voltage	4.5	2.0	2.0	2.0	B
		5.5	2.0	2.0	2.0	
V _{IL}	Maximum Low-Level Input Voltage	4.5	0.8	0.8	0.8	B
		5.5	0.8	0.8	0.8	
V _{OH}	Minimum High-Level Output Voltage	4.5	4.4	4.4	4.4	B
		5.5	5.4	5.4	5.4	
		4.5	3.98	3.84	3.7	
V _{OL}	Maximum Low-Level Output Voltage	4.5	0.1	0.1	0.1	B
		5.5	0.1	0.1	0.1	
		4.5	0.26	0.33	0.4	
L _{in}	Maximum Input Leakage Current	5.5	± 0.1	± 1.0	± 1.0	A
I _{CC}	Maximum Quiescent Supply Current (per Package)	5.5	2.0	20	80	A
I _{CC}	Additional Quiescent Supply Current	5.5	≥ -55C	25C to 125C		mA
			2.9	2.4		

ВИСНОВОК

Під час виконання дипломної роботи бакалавра, було розглянуто тему побудови телекомунікаційного пристрою передачі даних на основі коду Манчестер – II.

У зв'язку із цією темою було проведено аналіз різних методів лінійного кодування інформації, були розглянуті їх часові діаграми та спектри сигналів. Також було проведено порівняльний аналіз цих кодів. У результаті проведеного аналізу були визначені плюси та мінуси кожного методу кодування та приведені обґрунтування вибору саме коду Манчестер-II серед інших.

Головною перевагою коду Манчестер-II над іншими кодами виявилася наявність повної самосинхронізації, що дозволяє передавати повідомлення будь-якої довжини та кількості нулів та одиниць, також у методі наявні лише два рівні напруги, що спрощує технічну реалізацію.

У результаті виконання дипломного проекту, було розроблено алгоритм роботи та структурну схему телекомунікаційного пристрою передачі даних на основі Манчестерського коду.

Також у роботі представлені функціональні схеми основних блоків телекомунікаційного пристрою та принципова схема блоку лінійного кодування Манчестерського коду.

Телекомунікаційний пристрій передачі даних, основною функцією якого є виконання лінійного кодування, проектувався відповідно до функціональні можливостей та технічних характеристик:

- застосування лінійного коду «Манчестер-II» для передачі інформації;
- забезпечення перевірки двійкових послідовностей, які передаються, на парність або непарність;
- висока швидкодія при формуванні сигналів коду «Манчестер-II»;
- спряження з швидкісними каналами зв'язку;
- кількість розрядів кодованих послідовностей від 2 до 16 розрядів;
- частота синхронізації роботи телекомунікаційного пристрою до 24 МГц;
- частота роботи каналу зв'язку не менше 12 МГц;
- вихідна напруга низького рівня менше 0,4 В;
- вихідна напруга високого рівня більше 4 В.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Основи побудови засобів та систем телекомунікацій: навчальний посібник / [Кичак В. М., Барась С. Т., Кравцов Ю. І. та ін.] – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 188 с.
2. Тарнавський Ю.А. Організація комп'ютерних мереж: підручник: для студ. спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення» та 122 «Комп'ютерні науки» / Ю.А. Тарнавський, І.М. Кузьменко. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 259 с.
3. Телекомунікаційні системи передавання інформації : навч. посіб. / М. М. Климаш, Р. С. Колодій. – Львів : Львівська політехніка, 2018. – 632 с
4. Кичак В.М. Телекомунікаційні системи передачі: підручник / В.М. Кичак, О.М. Шинкарук, Г.Г. Бортник, І.І. Чесановський. – Хмельницький: Видавництво НАДПСУ, 2017. – 424 с.
5. Dordal Peter L. An Introduction to Computer Networks. Release 2.0.4 / Peter L. Dordal. – Loyola University Chicago, 2021. – 936 p
6. Посібник по цифровому зв'язку [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.tutorialspoint.com/digital_communication/digital_communication_line_codes.htm (дата звернення 20.04.2023).
7. Шевкопляс Б. В. Микропроцесорные структуры Инженерные решения. Справочник – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1990. – 512 с.
8. Дэвид Бейли, Эдвин Райт. Волоконная оптика: теория и практика / Пер. с англ. – М.: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2006. – 320 с.
9. Довідник по комп'ютерним соціальним мережам [Електронний ресурс] – режим доступу: <http://math.gsu.by/wp-content/uploads/courses/networks/r2.2.html> (дата звернення 21.04.2023)
10. Wireless World [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.rfwireless-world.com/Tutorials/ISDN-2B1Q-signal-format.html> (дата звернення 21.04.2023).
11. REVIEW AND RATIONALE OF MIL-STD-1553A AND MIL-STD-1553B. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.milstd1553.com/wp-content/uploads/2012/12/MIL-STD-1553B.pdf>. (Дата звернення 01.05.2023 рік).
12. Документація до схем sn74als [Електронний ресурс] – Режим доступу <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheetpdf/view/539584/TI/SN74ALS.html> (Дата звернення 05.05.2023).

					<i>ЕЛІТ 6.172.00.02.008 ПЗ</i>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		52

Systems of code-forming constraints for uniform binary binomial numbers

Shevchenko Maryna, *PhD student*; Abramyan Anton, *TK-91, Student*;
Kulyk Igor, *Associate Professor*
Sumy State University, Sumy, Ukraine

Using binomial numerical systems is a perspective science-technical way to solving information tasks on data encryption and compression, generation of different combinatory objects, realization of high reliable controlling and hardware diagnostics. But binomial numerical systems generate non-uniform binomial numbers and this fact complicates their application in digital devices and systems. For example, summation of binomial numbers requires operations to make on uniform code combinations, and when building digital nodes processing binary binomial codes of equal length is called for.

Non-uniform binary (n, k) -binomial numbers $X_j = x_1x_2\dots x_{r-1}x_r$ with $r \leq n-1$ are to satisfy the following systems of constraints:

$$\begin{cases} l = n - k \\ x_r = 0 \end{cases} \quad \text{and} \quad \begin{cases} q = k \\ x_r = 1 \end{cases}$$

Transition from the non-uniform binomial numbers X_j to the uniform X'_j is carried out enough easily by attaching series 00...0 of $n-r-1$ zeros from the lower digits of X_j until the general number of digits is equal to $n-1$. It's also high expediently to obtain systems of constraints for uniform binary binomial numbers X'_j for their formation and control. Comprehensive analysis of code representations of uniform X_j allows us to determine constraints that look like this:

$$\begin{cases} l = n - k \\ 0 \leq q \leq k \\ x_{n-1} = 0 \end{cases} \quad \text{and} \quad \begin{cases} q = k \\ l = n - k - 1 \\ x_{n-1} = 1 \end{cases}$$

The obtained systems of code-forming constraints for uniform binary binomial numbers give us convenient and enough simple technique for their generation and recognition in various coding applications at different binomial devices and systems functioning.

ДОДАТОК Б

ФЕЕ :: 2021

СЕКЦІЯ 5: Електронні системи, прилади
і засоби кодування інформації

Оптимальна фільтрація сигналів

Абрамян А.О., студент; Кобяков О.М., доцент
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Задача оцінки параметру в системах передачі сигналів ілюструється на рисунку 1.

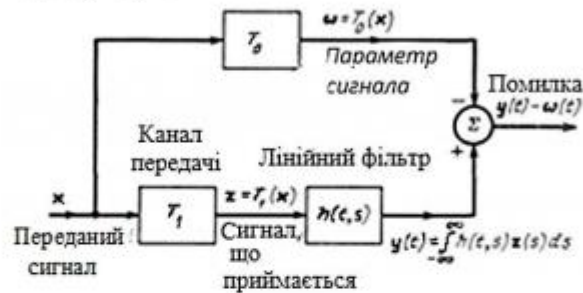


Рисунок 1 – Система передачі сигналів

Імпульсна характеристика фільтра повинна бути вибрана так, щоб на виході отримати мінімальну середньоквадратичну похибку оцінки параметра $\omega(t)$ який є у сигналі $x(t)$. Припускаючи, що сигнал є речовим, запишемо функціонал середньоквадратичної похибки для моменту t у вигляді

$$I = E[|y(t) - \omega(t)|^2] = E[|y(t)|^2] - 2E[y(t)\omega(t)] + E[|\omega(t)|^2] \quad (1.1)$$

Використовуючи зв'язок входу та виходу фільтра, одержуємо

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t, s)z(s) ds \quad (1.2)$$

Стационарні точки функціоналу I визначаються при варіюванні $h(t, s)$ розв'язками рівняння

$$\int_{-\infty}^{\infty} k_{zz}(s, \sigma)h(t, \sigma)d\sigma = k_{z\omega}(s, t) \quad (1.3)$$

яке дійсне, якщо градієнт функціоналу I прирівняти до нуля.

Якщо розглядати функціонал помилки у просторі випадкових величин, то рівняння (1.3) можна переписати в еквівалентній формі:

$$E\{L_0 z(t) - \omega(t)\}z(s) = 0$$

де L_0 – лінійний оператор фільтра, що задовольняє умову (1.3).

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис
			Дата

Це означає, що L_0 потрібно вибирати так, щоб випадкова помилка $y(t) - \omega(t)$ була ортогональна до усіх випадкових величин із процесу z , який відповідає прийнятому сигналу.

У класичній задачі фільтрації потрібно відновлювати сигнал з високою точністю. Часто потрібно встановлювати зміщений у часі сигнал який передається. Враховуючи це, ми припускаємо T_0 : $\omega(t) = x(t - T)$.

Умова (1.3) для стаціонарних процесів приймає форму

$$\int_{-\infty}^{\infty} k_{zz}(s - \sigma)h(t - \sigma)d\sigma = k_{z\omega}(s - t). \quad (1.4)$$

Замінюючи змінні $\tau = t - s$, $\eta = \sigma - s$, знаходимо

$$\int_{-\infty}^{\infty} k_{zz}(\eta) \cdot h(\tau - \eta) = k_{\omega z}(\tau) \quad (1.5)$$

Функція передачі оптимального фільтра одержується шляхом перетворення Фур'є від (1.5):

$$H(f) = K_{\omega z}(f)/K_{zz}(f) \quad (1.6)$$

Відтак, у багатьох роботах з фільтрації розглядається канал з постійними параметрами та дисперсійною характеристикою $G(f)$, а також враховується вплив адитивного стаціонарного у широкому сенсі шуму з нульовим середнім, для чого часто вводять еквівалентний генератор шуму на вході приймача (Рис. 2).



Рисунок 2- Канал з постійними параметрами та дисперсійною характеристикою

Якщо проаналізувати роботу розглянутого фільтра то ми доходимо висновку, що цей фільтр насправді є фільтром Вінера.

1. Л. Френкс, *Теорія сигналів. Нью-Джерси*, 1969 г. (Пер. с англ., под ред. Д. Е. Вакмана) (М.: «Сов. радио»: 1974).

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата