Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних електронних систем
Кафедра інфокомунікаційних систем і технологій

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Цифровий скремблер мовних сигналів»

Виконав: студент 2-го курсу,
групи ТКС-22м
спеціальності 172 – Телекомунікації та радіотехніка
_____ Харьков А.О.

Керівник: к.т.н., професор каф. ІКСТ
_____ Бортник Г.Г.
«11» 12 2023 р.

Опонент: д.т.н., професор, зав. каф. ІРТС
_____ Осадчук О.В.
«11» 12 2023 р.

Допущено до захисту
Завідувач кафедри ІКСТ
_____ д.т.н., проф. Кичак В.М.
«12» 12 2023 р.

Вінниця ВНТУ – 2023 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних електронних систем
Кафедра інфокомунікаційних систем і технологій
Рівень вищої освіти ІІ-й (магістерський)
Галузь знань - 17– Електроніка та телекомунікації
(шифр і назва)
Спеціальність - 172 – Телекомунікації та радіотехніка
(шифр і назва)
Освітньо-професійна програма - Телекомунікаційні системи та мережі

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ІКСТ
д.т.н., професор В.М. Кичак
“12” 12 2023 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Харькову Андрію Олександровичу .
(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема роботи Цифровий скремблер мовних сигналів

керівник роботи Бортник Геннадій Григорович, канд. техн. наук, професор
(прізвище, ім’я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “18” 09 2023 року № 247

2. Строк подання студентом роботи 08 грудня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи тип лінії зв’язку - телефонна мережа загального користування; смуга робочих частот вхідних сигналів 300 – 3400 Гц; динамічний діапазон вхідних сигналів до 40 дБ; режим зв’язку – дуплексний; кількість ключів шифрування – 1.

4. Зміст текстової частини: технічне обгрунтування, аналіз аналіз методів кодування мовного сигналу, розробка структурної схеми цифрового скремблера, розробка електричної принципової схеми цифрового скремблера, комп`ютерне моделювання цифрового скремблера.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень): часові діаграми методу кодування вхідного сигналу, часові діаграми відновлення сигналу, структурна схема цифрового скремблеру мовних сигналів, принципова електрична схема цифрового скремблеру мовних сигналів, результати комп`ютерного моделювання скремблеру.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Бортник Г.Г., професор кафедри ІКСТ	01.09.23р.	11.12.23р.
Охорона праці	Дембіцька С.В., доцент, д.п.н., Професор кафедри БЖДПБ	07.09.23	11.12.23
Економічна частина	Кавенцький В.В., доцент, к.е.н., Доцент кафедри ЕПВМ	08.09.23	11.12.23

7. Дата видачі завдання 01 вересня 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розробка технічного завдання	08.09.2023р.	
2.	Технічне обґрунтування розробки	17.09.2023р.	
3.	Аналіз методів кодування мовного сигналу	06.10.2023р.	
4.	Розробка структурної і принципової схеми цифрового скремблера	27.10.2023р.	
5.	Комп`ютерне моделювання цифрового скремблера	10.11.2023р.	
6.	Аналіз економічної ефективності розробки	17.11.2023р.	
7.	Охорона праці та безпека життєдіяльності	24.11.2023р.	
8.	Оформлення пояснювальної записки та ілюстративної частини	01.12.2023р.	
9.	Нормоконтроль МКР	04.12.2023р.	
10.	Попередній захист МКР, опонування МКР	08.12.2023р.	
11.	Захист МКР ЕК	14.12.2023р.	

Студент _____ (підпис) Харьков А.О.

Керівник роботи _____ Бортник Г.Г.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.391

Харьков А.О. Цифровий скремблер мовних сигналів. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 172 – телекомунікації та радіотехніка, освітня програма – телекомунікаційні системи та мережі. Вінниця: ВНТУ, 2023. 101 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 24 назв; рис.: 27; табл. 33.

Робота присвячена розробці цифрового скремблера мовних сигналів.

Метою даної магістерської кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності засобів захисту мовної інформації за рахунок використання цифрових методів оброблення сигналів.

Проведено аналіз методів кодування мовного сигналу. В ході виконання роботи синтезована структурна схема скремблера, проведений електричний розрахунок каскадів та побудована принципова електрична схема скремблера.

Виконано комп’ютерне моделювання фільтра нижніх частот та основних вузлів скремблера.

THE ABSTRACT

Kharkiv A.O. Digital scrambler of speech signals. Master's thesis on specialty 172 - telecommunications and radio engineering, educational program - telecommunications systems and networks. Vinnytsia: VNTU, 2023. 101 p.

In Ukrainian language. Bibliogr .: 16 titles; fig .: 27; table. 33.

The work is devoted to the development of a digital scrambler of speech signals.

The purpose of this master's qualification work is to increase the effectiveness of speech information protection tools through the use of digital signal processing methods.

An analysis of speech signal coding methods was carried out. In the course of the work, the structural diagram of the scrambler was synthesized, the electrical calculation of the cascades was carried out, and the basic electrical diagram of the scrambler was built.

Computer modeling of the low-pass filter and main nodes of the scrambler was performed.

ЗМІСТ

		С.
	ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	5
	ВСТУП.....	6
1	ТЕХНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ……...	9
2	АНАЛІЗ МЕТОДІВ КОДУВАННЯ МОВНОГО СИГНАЛУ …….	12
3	РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ЦИФРОВОГО СКРЕМБЛЕРА ……...…..	20
3.1	Аналіз структурних схем скремблерів.....	20
3.2	Попередній розрахунок структурної схеми.....	23
3.3	Розрахунок ємності та вибір типу мікросхеми оперативного запам`ятовувального пристрою …….....	24
3.4	Розрахунок ємності та вибір мікросхеми постійного запам`ятовувального пристрою.....	27
3.5	Вибір та обгрунтування мікросхеми АЦП …….……	29
3.6	Розробка алгоритму кодування мовного сигналу ……	32
4	РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ ЦИФРОВОГО СКРЕМБЛЕРА …….....	37
4.1	Розрахунок опорного генератора тактових імпульсів …….	37
4.2	Розрахунок активного ФНЧ на вході пристрою ……..…	39
4.3	Розрахунок активного ФНЧ на вході пристрою.....	40
4.4	Розрахунок суматора аналогових сигналів.....	41
4.5	Розрахунок споживаної потужності …….....	42
4.6	Реалізація алгоритму шифрування за допомогою ПЗП …….	44
5	КОМП`ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЦИФРОВОГО СКРЕМБЛЕРА.....	47
6	ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	53
7	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯ.....	75

ВИСНОВКИ..... 86
ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ..... 87
ДОДАТКИ……..... 90
Додаток А. Ілюстративна частина …… 91
Додаток Б. Протокол перевірки кваліфікаційної роботи
на наявність текстових запозичень ……..… 100

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АЦП	–	аналого-цифровий перетворювач
АЧХ	–	амплітудно-частотна характеристика
БС	–	базова станція
ВДЖ	–	вторинне джерело живлення
ВСП	–	блок виділення спектральних параметрів
ДМС	–	джерело мовного сигналу
ДЖ	–	джерело живлення
ДК	–	досліджуваний канал
ДКП	–	декодуючий пристрій
ЗЛ	–	з’єднувальні лінії
ІМС	–	інтегральна мікросхема
КМОН	–	компліментарний метал-окисел-напівпровідник
КУ	–	каналоутворююче устаткування
ОЗП	–	оперативний запам`ятовувальний пристрій
ПЗІ	–	пристрої захисту інформації
ПС	–	пристрій синхронізації
ТЛЗК	–	телефонна лінія загального користування
ФНЧ	–	фільтр нижніх частот
ЦАП	–	цифро-аналоговий перетворювач

ВСТУП

Актуальність теми. У наш час, коли кількість засобів зв'язку і їх користувачів зростає у геометричній прогресії, відповідно теж посилюється проблема забезпечення якісного зв'язку та захисту каналів від стороннього проникнення. Проблема несанкційованого прослуховування телефонних розмов зараз стоїть гостро. У таких випадках використовують скремблер – один з найбільш популярних пристроїв захисту інформації (ПЗІ) від прослуховування при використанні зв`язкового обладнання. Цей пристрій призначений для зміни мовного сигналу при передачі та його відновлення при прийманні за допомогою певних визначених алгоритмів та ключів. В результаті обробки сигналу скремблером мова стає нерозбірливою або перетворюється на шум. Складність пристрою визначає рівень захисту інформації що передається [1].

У зв'язку з цим задача підвищення ефективності засобів захисту інформації є актуальною.

Аналіз останніх досліджень. Відповідно до алгоритму роботи пристрої захисту інформації часто класифікують за наявністю чи відсутністю в закритій інформації фрагментів відкритої первинної інформації, що піддані часовим чи частотним перетворенням. В першому випадку говорять про аналогові ПЗІ, або шифратори, де мовний сигнал перетворюється кодером (наприклад вокодером) по одному з алгоритмів скорочення надлишку, шифрується по криптографічному методу і за допомогою модема представляється в формі, яка необхідна для передачі сигналу по каналу зв'язку. Скремблери в порівнянні з шифраторами забезпечують більш високу якість відновлення мови, що важливо для ідентифікації абонента [2, 3].

Мета і завдання роботи. Метою даної магістерської кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності засобів захисту мовної інформації за рахунок використання цифрових методів оброблення сигналів.

Для досягнення цієї мети під час проведення теоретичних та експериментальних досліджень висувались такі задачі:

- виконати технічне обгрунтування;

- виконати аналіз методів кодування мовного сигналу та канальних кодерів;

- розробити структурну електричну схему цифрового скремблера;

- здійснити вибір елементної бази скремблера;

- виконати електричні розрахунки та побудувати принципову електричну схему скремблера;

- розробити алгоритм кодування мовного сигналу на базі ПЗП;

- виконати дослідження характеристик розробленого цифрового скремблера;

- здійснити економічні розрахунки МКР;

- виконати розділ охорони праці та безпеки життєдіяльності.

Об'єктом дослідження є процеси оброблення та шифрування телефонних сигналів.

Предметом дослідження є методи та засоби захисту мовної інформації у телефонних мережах та у мережах рухомого радізв`язку.

Методи дослідження. У процесі дослідження застосовувалися: теорія аналого-цифрового перетворення для оброблення телефонних сигналів; теорія сигналів для синтезу вихідних сигналів скремблера; теорія цифрового оброблення сигналів для розробки цифрового скремблера телефонних сигналів; еврістичний синтез для розробки структури цифрового скремблера мовних сигналів; комп'ютерне моделювання скремблера для перевірки отриманих теоретичних положень роботи.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що:

- вперше запропоновано спосіб кодування мовних сигналів з використанням постійних запам`ятовувальних пристроїв;

- вперше запропоновано вираз для розрахунку мінімальної ємності оперативних запам`ятовувальних пристроїв для повного циклу оброблення мовного сигналу.

Апробація результатів магістерської кваліфікаційної роботи. Основні ідеї роботи доповідались і обговорювались на LII науково-технічній конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету у 2023 році.

1 ТЕХНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Для досягнення мети даної магістерської кваліфікаційної роботи, а саме: підвищення ефективності засобів захисту мовної інформації за рахунок використання цифрових методів оброблення сигналів, необхідно виконати розробку цифрового скремблера мовних сигналів.

Існує перетворення сигналу в часовій та частотній області. Найпростіший метод – інвертування частотного спектра сигналу (однократна частотна інверсія). Складніший – інвертування спектра із поділом спектра сигналу на блоки та перестановка цих блоків (частотна інверсія двох і більше піддіапазонів мовного сигналу), лінійно змінна частотна інверсія, стрибкоподібна зміна частоти інверсії, послідовне шифрування часового інтервалу. Однак у зашифрованому мовному сигналі вдається розпізнати деякі слова. Процент впізнаних слів визначає так звану остаточну розбірливість. В цифрових ПЗІ це негативне явище вдається подолати.

Розглянемо шифрування сигналу в часовій області.

В скремблерах з часовим перетворенням принциповим є наявність великої затримки відновлення вихідного сигнала(за звичай не більше 300 мс), що пов’язано зі зберіганням і перестановкою множини часових сегментів. Скремблери на основі інших перетворень не отримали широкого поширення, що пов’язано з трудністю технічної реалізації, невисокою якістю відновленої мови, порівняно великими габаритами і енергоспоживанням.

Одні із самих типових моделей скремблерів часового перетворення – ST-50, ST-51, ST-52 (Selectone). Найвищий рівень криптографічної стійкості в аналоговому зв’язку забезпечують повністю цифрові скремблери серії DES (Data Encryption Standard) фірми Transcrypt [5].

Отже, розробка пристрою кодування інформації є дуже перспективною, оскільки можна приховати від несанкційованого прослуховування інформацію, яка може бути дуже важливою. Багато сучасних іноземних

телефонних апаратів мають скремблери. Тому розробка і впровадження таких пристроїв в Україні є важливою та перспективною.

Аналізуючи інформацію про впровадження скремблерів у широкий вжиток можна зробити висновок, що іноземні компанії в більшій мірі зацікавлені у впровадження таких пристроїв, ніж та сама Україна. Оскільки захід пішов далеко вперед в плані інтеграції схемних рішень і створення спеціалізованих мікросхем, які за допомогою мінімуму навісних елементів створюють той чи інший метод скремблювання.

На рисунку 1.1 показано практичну реалізацію скремблера.

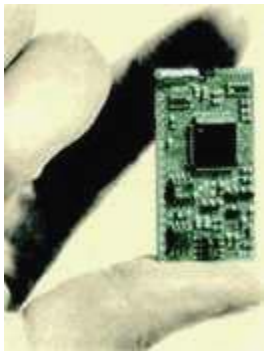


Рисунок 1. 1 – Загальний вигляд плати скремблера

Враховуючи широку область використання скремблерів (для звичайної телефонії, радіотелефонії, радіостанції персонального зв’язку, військові об’єкти зв’язку) треба розробити схему, яка за технічними параметрами не поступалася б західним аналогам, а по вартості значно нижчі. При чому основна орієнтація повинна бути на вітчизняну елементну базу. Оскільки існує розвинена телефонна мережа із безпровідним зв’язком із стаціонарними телефонними апаратами, то ще доцільно розробляти стаціонарні скремблери, які живляться із телефонної мережі загального користування. Але орієнтуватись потрібно на зменшення як розмірів пристрою (досягти оптимальної компактності), так зменшення потужності споживання та вартості пристрою.

На даний момент є досить широкий вибір елементної бази, але основна орієнтація – це ІМС на основі технології КМОН, оскільки ІМС такої

технології мають малу потужність споживання та низьку ціну. Тому для розробки використаємо саме ІМС таких серій (561,564,1561).

У таблиці 1.1 наведено найпоширеніші види цифрових скремблерів.

Таблиця 1.1 – Дані про цифрові скремблери

Найменування скремблера	Вартість, дол.
Телеф./факс. скремблер SCR-M1.2	410
SCR-M1.2mini	340
SCR-M1.2multi (для установки в міні-АТС)	610
ACS-2 (скремблер-накладка на трубку))	240
F-117A (маскувальник для радіостанцій)	140
ST-20 (маскувальник для радіостанцій)	130

Як видно з табл. 1.1, цифрові скремблери є достатньо дорогими пристроями, тому розробка українського недорогого та ефективного цифрового пристрою захисту мовної інформації є перспективним напрямком.

2 АНАЛІЗ МЕТОДІВ КОДУВАННЯ МОВНОГО СИГНАЛУ

Кодування мовного сигналу здійснюється на цифровій ділянці передавального тракту скремблера. Кодер мовного сигналу передує модулятору, що здійснює перенесення інформаційного сигналу на носійну частоту. Основне завдання кодера каналу – завадостійке кодування сигналу мови, тобто таке його кодування, що дозволяє виявляти й значною мірою виправляти помилки, які виникають при поширенні сигналу по каналу від передавача до приймача. Завадостійке кодування здійснюється за рахунок введення до складу переданого сигналу досить великого обсягу надлишкової (контрольної) інформації. Крім того, кодер каналу виконує ще ряд функцій, додає керуючу інформацію, що, у свою чергу, також піддається завадостійкому кодуванню; упаковує підготовлену до передачі інформацію й стискає її в часі; здійснює шифрування переданої інформації.

Послідовність виконання завдань кодера мовного сигналу каналу показана на блок-схемі рис. 2.1.

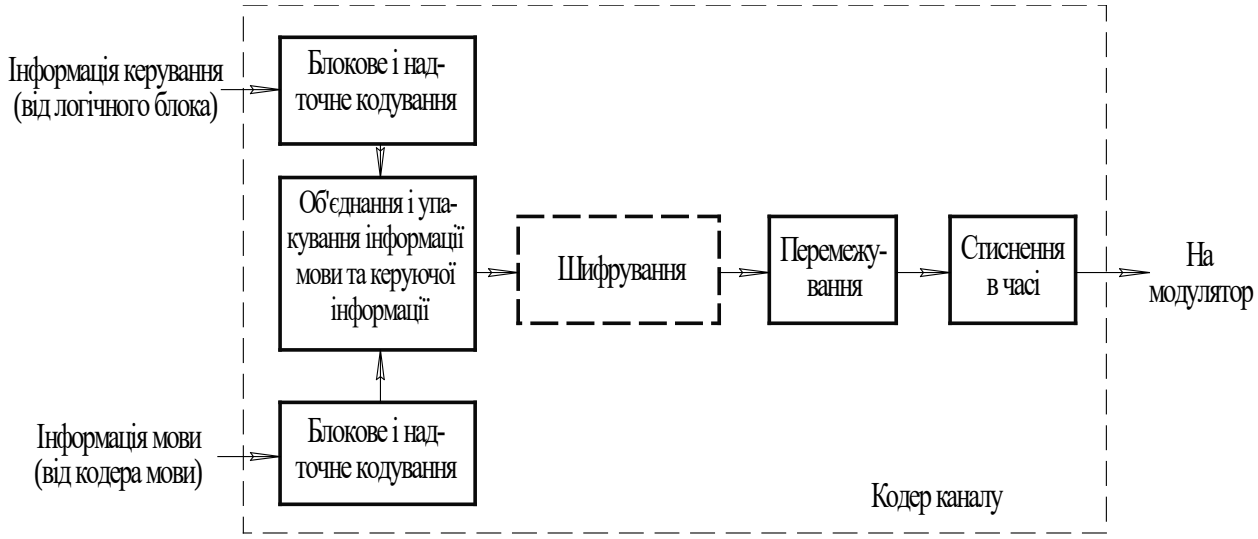


Рисунок 2.1 – Послідовність завдань, що розв'язуються кодером мовного сигналу

При блоковому кодуванні (рис. 2.2) вхідна інформація розділяється на блоки, що містять по k символів кожний, які за певним законом

перетворяться кодером у *n*-символьні блоки, причому *n* > *k*. Відношення *R=k/n* носить найменування швидкості кодування (coding rate) і є мірою надмірності, внесеної кодером. При раціонально побудованому кодері менша швидкість кодування, тобто більша надмірність, відповідає більш високій завадостійкості.

Підвищенню завадостійкості сприяє також збільшення довжини блока. Блоковий кодер з параметрами *n, k* позначається (*n, k*). Якщо символи вхідної й вихідної послідовностей є двійковими, тобто складаються з одного біта кожен, то кодер називається двійковим (binary)*;* саме двійкові кодери використовуються в стільниковому зв'язку. Схема, подана на рис. 2.2, відповідає двійковому блоковому кодеру (5, 4). Кожний біт блока вихідної інформації утворюється як сума за модулем 2 декількох біт (від одного до *k*) вхідного блока, для чого використається *n* суматорів за модулем 2. Правила двійкового підсумовування за модулем 2 визначаються за табл. 2.1. Один із суматорів на схемі рис. 2.2 (другий праворуч) є вироджeним – на його вхід надходить лише один доданок.

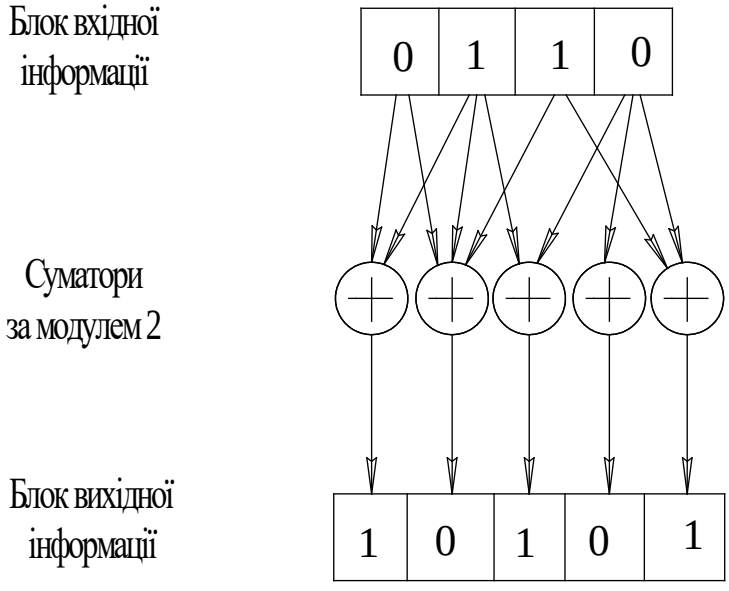


Рисунок 2.2 – Схема двійкового блокового кодера (5, 4)

$(n=5,\ k=4, R=k/n=4/5)$

Таблиця 2.1 – Алгоритм двійкового підсумовування за модулем 2

Перший доданок	Другий доданок	Сума
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

На рис. 2.3 показана схема іншого блокового кодера – це так званий систематичний кодер. Відмінна риса систематичного кодера полягає в тому, що до складу блока вихідної інформації включається повністю блок вхідної інформації; тривіальні суматори, що відповідають формуванню цієї частини вихідного блока, на схемі не показані. Систематичний кодер з рис. 2.3 – найпростіший: вихідний блок, крім копії вхідного, містить лише один надлишковий біт, що є сумою за модулем 2 всіх біт вхідного блока.

Цей надлишковий біт називається кодом контролю парності, оскільки, як неважко переконатися, число одиниць у вихідному блоці, з урахуванням контрольного біта, виявляється парним. Для 8-бітового блока двійкової інформації використовується найменування байт, і схема рис. 2.3 може бути названа схемою побайтного контролю парності. На прикладі цієї схеми ми покажемо можливість виявлення помилок за допомогою блокового коду, а потім, трохи ускладнивши схему кодування, – і можливість корекції помилок.

На рис. 2.4, а показані сім блоків вихідної інформації кодера рис. 2.3, причому останній біт у кожному байтовому блоці, відзначений затіненим фоном, є кодом парності. Очевидно, що при наявності одиночної помилки в будь-якому блоці, включаючи й помилку в коді парності, порушується правило формування коду парності, на підставі цього вона й виявляється. Однак помилка локалізується лише з точністю до байта, а тому не може бути

виправлена, тому що невідомо, який саме біт у байті помилковий. Настільки ж очевидно, що подвійна помилка в блоці (і взагалі – помилка в парному числі біт) цією схемою не виявляється.

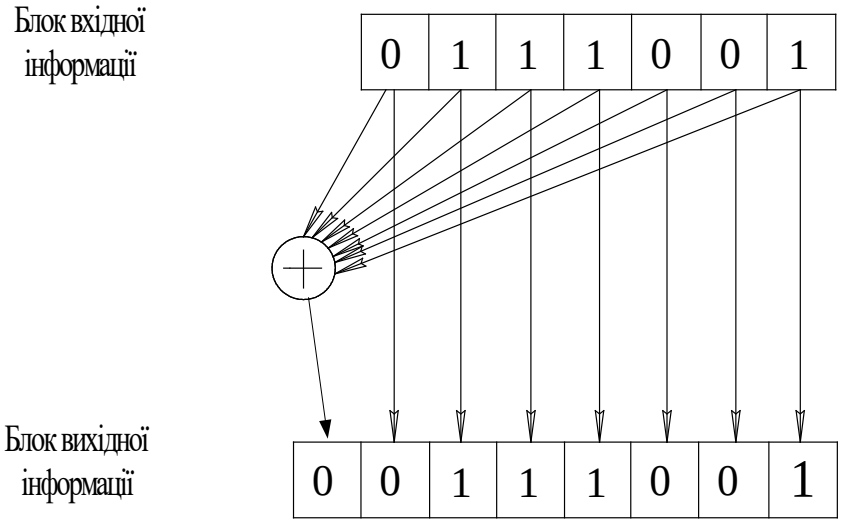


Рисунок 2.3 – Схема систематичного двійкового блокового кодера (8,7)

Якщо, крім контролю парності по рядках для всієї наведеної інформації (рис. 2.4, а), ввести ще й контроль парності по стовпцях (нижній рядок на рис. 2.4, б), то при наявності одиночної помилки в цьому 64-бітовому блоці ми зможемо вказати не тільки рядок, що містить помилку, але й стовпець із помилкою, а отже – і помилковий біт, що лежить на перетині цих рядка й стовпця. А якщо відомо, що біт помилковий, то він елементарно виправляється, оскільки для цього досить замінити нуль на одиницю або одиницю на нуль – залежно від того, яке значення помилкового біта. Кратні помилки цією схемою вже не виправляються. Для корекції кратних помилок потрібно використати більш досконалі (і більш складні) схеми кодерів. Помітимо, що рис. 2.4, б відповідає систематичному двійковому блоковому кодеру (64, 49), і при бажанні його схема без труднощів може бути побудована за аналогією з рис. 2.3.

При згортковому кодуванні (рис. 2.5) K послідовних символів вхідної інформаційної послідовності, по k біт у кожному символі, беруть участь в

утворенні *n*-бітових символів вихідної послідовності, *n>k,* причому на кожний символ вхідної послідовності припадає по одному символі вихідної.

Кожний біт вихідної послідовності утворюється як результат підсумовування за модулем 2 декількох біт (від двох до *Kk* біт) *K* вхідних символів, для цього використовуються *n* суматорів з модулем 2. Згортковий кодер з параметрами *n, k, K* позначається (*n, k, K*).

0	1	1	1	0	0	1	**0**
0	1	0	0	1	0	1	**1**
0	1	1	0	0	0	0	**0**
1	0	1	0	0	1	0	**1**
0	0	1	0	0	0	1	**0**
1	1	0	1	0	1	0	**0**
1	0	0	1	1	0	1	**0**

а)

0	1	1	1	0	0	1	**0**
0	1	0	0	1	0	1	**1**
0	1	1	0	0	0	0	**0**
1	0	1	0	0	1	0	**1**
0	0	1	0	0	0	1	**0**
1	1	0	1	0	1	0	**0**
1	0	0	1	1	0	1	**0**
1	**0**	**0**	**1**	**0**	**0**	**0**	**0**

б)

Рисунок 2.4 – Виявлення та корекції помилок при блоковому кодуванні: а – побайтовий контроль парності дозволяє виявити одиничні помилки в байтах, б – додавання ще 8 біт контролю дозволяє виправити одиночну помилку у 8 байтах

Відношення $R = k/n$, як і в блоковому кодері, називається швидкістю кодування. Параметр K називається довжиною обмеження (constraint length), він визначає довжину регістра зсуву (у символах), вміст якого бере участь у формуванні одного вихідного символу.

Після того як черговий вихідний символ сформований, вхідна послідовність зсовується на один символ вправо (рис. 2.5), в результаті цього символ 1 виходить за межі регістра, символи 2...5 переміщаються вправо, кожен на місце сусіднього, а на місце, що звільнилося, записується черговий символ вхідної послідовності, і по новому вмісті регістра формується наступний вихідний символ. Назва згорткового коду зобов'язана тому, що він може розглядатися як згортка імпульсної характеристики кодера й вхідної інформаційної послідовності. Якщо $k = 1$, тобто символи вхідної послідовності однобітові, згортковий кодер називається двійковим. Згортковий кодер, схема якого наведена на рис. 2.5, не є двійковим, оскільки для нього $k = 2$.

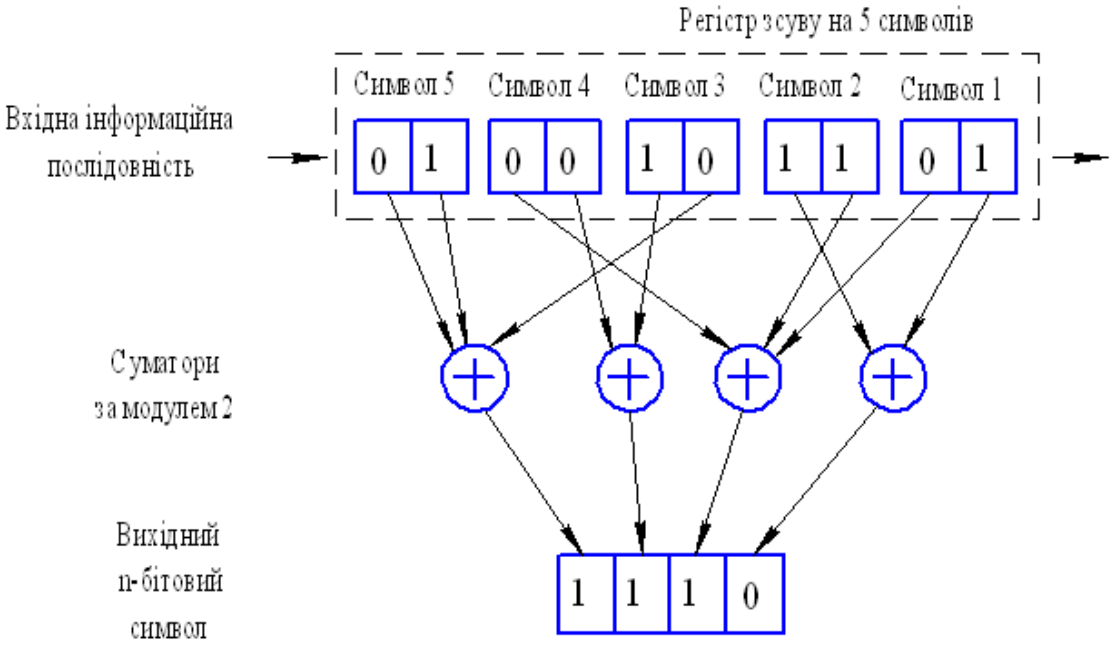


Рисунок 2.5 – Схема згорткового кодера (4, 2, 5)

$(n = 2,\ k = 2, R = k/n = 1/2)$

Перемежування являє собою такі зміни порядка проходження символів інформаційної послідовності, тобто таку перестановку, або перетасування, символів, при якій символи, що стояли поруч, стають розділеними декількома іншими символами. Така процедура робиться з метою перетворення групових помилок (пакетів помилок) в одиночні помилки, з якими легше боротися за допомогою блокового та згорткового кодування.

Використання перемежування – одна з характерних рис стільникового зв'язку, і це є наслідком неминучих глибоких завмирань сигналу в умовах багатопроменевого поширення, що практично завжди має місце, особливо в умовах щільної міської забудови. При цьому група символів, які слідують один за одним та потрапляють на інтервал завмирання (провалу) сигналу, з великою ймовірністю є помилковими. Якщо ж перед видачею інформаційної послідовності в канал вона піддається процедурі перемежування, а на приймальному кінці відновлюється попередній порядок проходження символів, то пакети помилок з великою ймовірністю розсипаються на одиночні помилки. Відомо кілька різних схем перемежування і їхніх модифікацій – діагональна, блокова, згорткова та інші. Коротко розглянемо перші дві з них, що лежать в основі схем, які застосовуються у стільниковому зв'язку.

При діагональному перемежуванні вхідна інформація ділиться на блоки, а блоки – на субблоки, і у вихідній послідовності субблоки, наприклад, другої половини попереднього блока чергуються із субблоками першої половини наступного блока. Така схема ілюструється на рис. 2.6, де кожний блок складається із шести субблоків, і субблоки першого блока позначені a_i, другого – b_i, третього – c_i. Субблок може складатися з декількох символів або з одного символу, або навіть із одного біта. Наведена схема діагонального перемежування вносить малу затримку, але розставляє сусідні символи лише через один, тобто розосередження помилкових символів групи виходить порівняно невеликим.

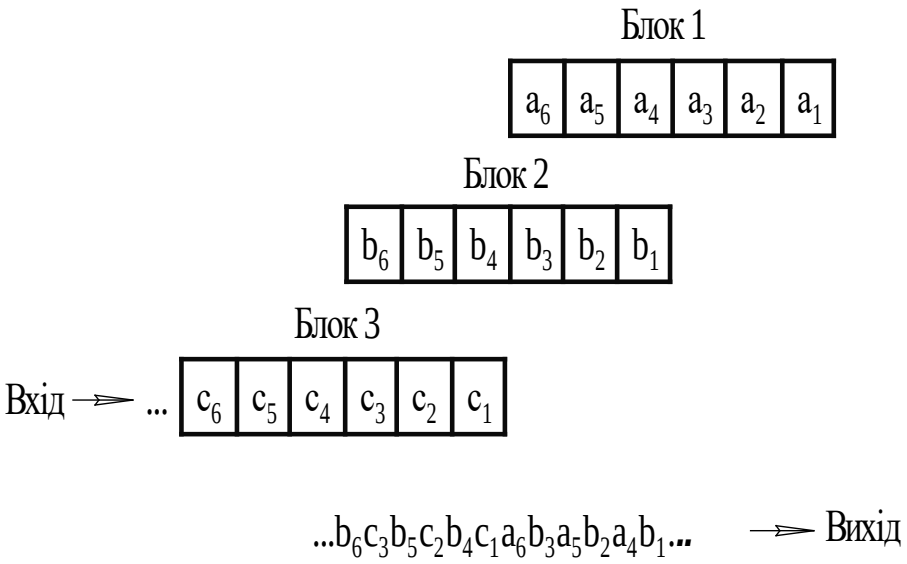


Рисунок 2.6 – Приклад схеми діагонального перемежування

При блоковому перемежуванні вхідна інформація також ділиться на блоки, по n субблоків (або символів) у кожному, і у вихідній послідовності чергуються субблоки k послідовних блоків. Роботу цієї схеми можна уявити собі у вигляді запису блоків вхідної послідовності як рядки матриці розмірності $k \times n$ (рис. 2.7), зчитування інформації з якої проводиться по стовпцях. Отже, якщо вхідна послідовність у цьому прикладі мала вигляд $a_1, a_2, ...a_n, b_1, b_2, ...b_n, ...k_1, k_2, ...k_n$, то вихідна буде такою: $a_1, b_1, ...k_1, a_2, b_2, ...k_2, ...a_n, b_n, ...k_n$. Субблоки, або символи, в окремому випадку тут також можуть складатися лише з одного біта. Схема блокового перемежування вносить більшу затримку, чим діагонального, але значно сильніше розосереджує символи групи помилок.

Загальним недоліком обох розглянутих схем є жорстка періодичність проходження переставлених символів у межах інтервалу перемежування. Цей недолік також може бути усунутий, але за рахунок застосування більш складної схеми перемежування.

3 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ЦИФРОВОГО СКРЕМБЛЕРА

3.1 Аналіз структурних схем скремблерів

Виконаємо аналіз структурних схем кількох варіантів виконання скремблера як часових так і частотних перетворень.

На рисунку 3.1 показана структурна схема скремблера, який функціонує на базі частотних перетвореннь [7].

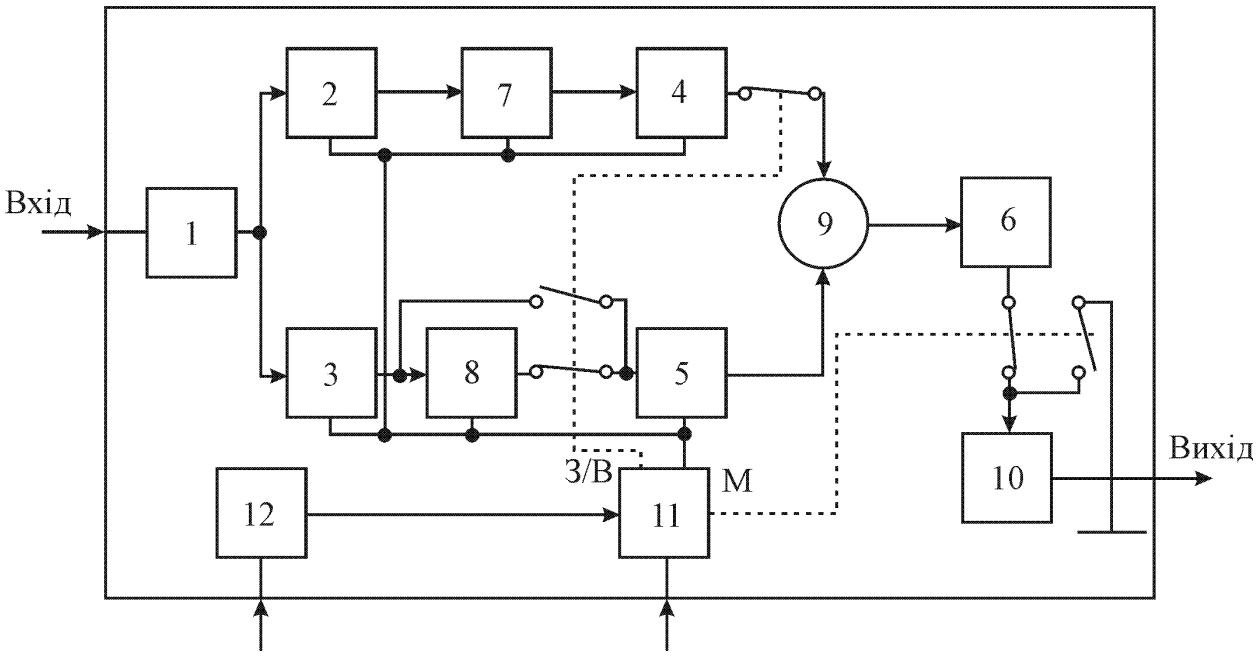


Рисунок 3.1. - Структура скремблера типу PCD4440

На рисунку зліва представлено аналоговий вхід мовних сигналів скремблера. Блоки 1-6 це фільтри нижніх частот (ФНЧ) на комутуючих конденсаторах. Блоки 7-8 це балансні модулятори. Блок 9 – суматор, 10 - вихідний підсилювач, 11 - керуючий логічний блок; 12 – I^2C-інтерфейс. На рисунку справа представлено вихід мовних сигналів. Перемикачі З/В комутують режими "Закритий/Відкритий", а М – перемикання в режим мовчання.

Модулятори з фільтрами здійснюють частотну інверсію підсмуг частотного спектра мовного сигналу. При фіксованому коді на входах дешифратора ІМС задаються постійні рівні (для кожного сеансу зв'язку код може обиратися новий) від мікроконтролера або набору перемикачів. Для цього випадку число ключів дорівнює 9, з яких реально застосовуються 2-4.

При використанні "біжучого" ключа зовнішній пристрій, наприклад, на основі мікроконтролера, періодично у часі формує похідний змінний ключ за псевдовипадковим законом, і в результаті відбувається стрибкоподібна зміна частоти розбивання частотного спектра мовного сигналу. У такому випадку число ключів може бути дуже великим.

Аналогічно побудовані ІМС типу FX214, FX224 фірми CML. Їх відмінність – у числі частот розбивання (їх 32) та наявності додаткових допоміжних блоків, наприклад, для подавлення підтональних частот. Широкий набір інверсних скремблерів виготовляє компанія Midian (серії VPU-1, VPU-2, VPU-8). Найбільш відомі моделі з однократною інверсією це ST-20, ST-022, SC20-400 [6].

Скремблери багатьох фірм здійснюють частотні перетворення за допомогою універсальних мікроконтролерів як фірма TRANSCRYPT INC. У скремблерах типу SC20-406 використовуються мікропотужні мікроконтролери фірми MOTOROLA.

Для покращення рівня закриття інформації використовують динамічні скремблери. У динамічних скремблерах, на відміну від статичних скремблерів, параметри і характеристики перетворення мовного сигналу змінюються у часі. Ці типи скремблерів використовують синхронізацію передавальних і приймальних сторін. Залежно від типу скремблера сигнал синхронізації може передаватися як на початку повідомлення, так і під час його передавання. Англійська фірма Pentone виготовляє скремблер типу SCR1 з частотною інверсією у двох піддиапазонах. Подібний пристрій виробляє і вітчизняна фірма «Квазар-Мікро Радіо» це модель KMR-1. Ці скремблери можуть бути статичними і динамічними.

Цифрові скремблери з часовим перетворенням можуть бути реалізовані на базі сучасних мікроконтролерів, наприклад серії 68HC05 та спеціалізованих ІМС, наприклад FX609 і 802.

На рис. 3.2 наведена структура цифрового скремблера з часовим перетворенням.

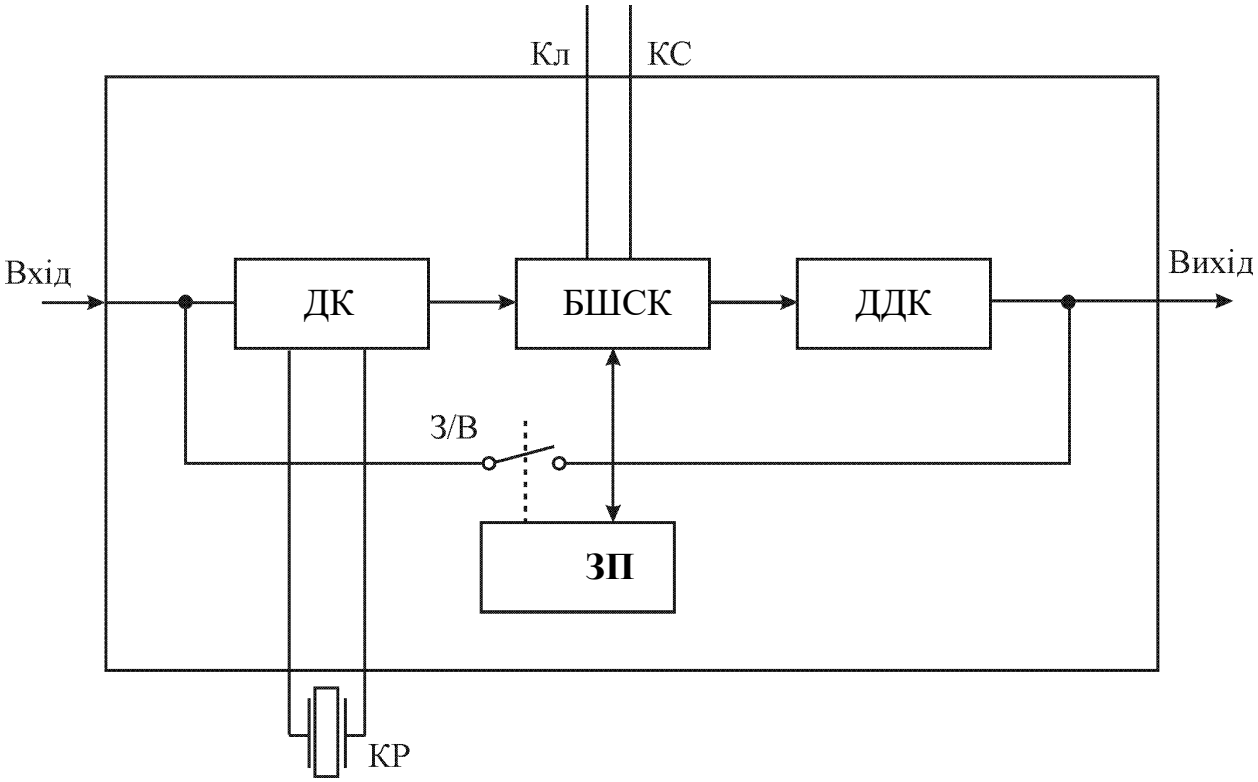


Рисунок 3.2. – Структура цифрового скремблера з часовим перетворенням

На рисунку зліва представлено аналоговий вхід (вихід) мовного сигналу. Структура також містить: КР – кварцовий резонатор; ДК – дельта-кодер; БШСК – блок шифрування, синхронізації і керування; ЗП – запам'ятовуючий пристрій; ДДК – дельта-декодер; Кл – вхід регістра послідовного введення 24-розрядного ключа; КС – входи зовнішнього керування режимами "Прийом/Передача", "Відкритий/Закритий" і "Введення ключа".

Мовний сигнал, що на вході, перетвориться кодером на базі адаптивного дельта-модулятора в цифрову форму та записується в пам'ять у вигляді послідовності мовних реалізацій. З 32-х сегментів формується кадр.

Відповідно до записаного коду шифратор формує псевдовипадкову послідовність перестановок цих підпослідовностей у кадрі. Після часових перетворень декодер на базі адаптивного дельта-модулятора відновлює на виході цифрового скремблера мовний сигнал усередині кожної підпослідовності (самі підпослідовності подаються на вихід "змішаними"). Для синхронізації в режимі передавання перед кожним кадром уводяться синхровставки (2-3 періода синусоїдального сигналу). У режимі приймання за синхросигналом формується кадрова синхронізація та зворотні перетворення для відновлення початкового мовного сигналу. Використання спеціалізованих ІМС дозволяє при низькому енергоспоживанні забезпечити достатню якість відновленого мовного сигналу та малу (3-5%) залишкову розбірливість мови.

Розбірливість визначає процент розпізнавання зашифрованого повідомлення. Клас розбірливості мови задає ГОСТ 16600-72. Доведено, що чим вища криптографічна стійкість цифрового скремблера, тим розбірливість зашифрованого сигналу нижча.

3.2 Попередній розрахунок структурної схеми

В основі цифрового скремблера, що розробляється, покладено алгоритм оброблення відцифрованого мовного сигналу в часі: розділення зчитаного масиву інформації на менші проміжки (підпослідовності), перестановку підпослідовностей за певним алгоритмом та подальшу часову інверсію оброблюваного сигналу. Такий алгоритм оброблення та перетворення цифрового мовного сигналу забезпечує достатньо високий рівень захисту інформації.

Усі етапи оброблення мовного сигналу виконуються у цифровій формі на базі використання поширеної номенклатури цифрових КМОН-мікросхем (К561, К564 серії). Для перетворення мовного сигналу у цифрову форму

необхідно виконати дискретизацію, квантування та кодування. Для цього необхідно обирати АЦП з необхідною розрядністю [7]. У вираз для розрахунку числа розрядів АЦП підставляються: динамічний діапазон та пік-фактор первинного мовного сигналу. Звідси отримаємо

$$n = \frac{S/N - 4{,}8 + 20\lg K}{6},$$

$$n = \frac{40 - 4{,}8 + 13{,}9}{6} = 7{,}9 \quad -> \quad n = 8 \qquad (3.1)$$

Таким чином, кількість двійкових розрядів АЦП дорівнює 8. Цього достатньо для якісного оброблення мовного сигналу. За теоремою відліків частота дискретизації повинна бути більшою подвоєній максимальній частоті спектра сигналу, що підлягає процесу дискретизації [2]:

$$f_д = 2 \cdot f_{\max} = 3{,}4 \cdot 2 = 6{,}8 (кГц). \qquad (3.2)$$

Для покращення якості відтворення мовного сигналу обираємо $f_д = 10$ *кГц*. На базі отриманих чисельних параметрів можна обрати відповідні ІМС АЦП і ЦАП.

3.3 Розрахунок ємності та вибір типу мікросхеми оперативного запам`ятовувального пристрою

Для оброблення мовного сигналу у часовій області необхідно його запам’ятати. З цією метою використовуємо оперативний запам`ятовувальний пристрій (ОЗП) статичного типу. Динамічні ОЗП не будемо використовувати,

оскільки при цьому ускладнюється процес читання-запису. Розрахуємо необхідну мінімальну ємність ОЗП для повного циклу оброблення мовного сигналу (0,1 с):

$$V = f_p \cdot n \cdot t = 1000(Гц) \cdot 8(біт) \cdot 0{,}1(с) = 8 \cdot 1000\,(біт). \qquad (3.3)$$

Оскільки в одній ІМС буде одночасно розміщуватись інформація, що підлягає кодуванню та вже закодовані дані, тому обсяг пам'яті збільшиться в 2 рази. Обираємо ІМС з організацією пам'яті 2048 х 8 біт. Така організація пам`яті пов`язана з розрядністю АЦП – 8 двійкових розрядів.

Для даного цифрового скремблера обираємо ОЗП статичного типу з малим струмом споживання. Зробити вибір певної мікросхеми ОЗП можна, виконавши порівняння параметрів поширених типів ІМС ОЗП статичного типу (див. таблицю 3.1) [8].

Таблиця 3.1 - Параметри мікросхем ОЗП статичного типу

Тип ІМС	Ємність ОЗП, біт	$t_{зп}$, нс	$U_ж$, В	$P_{спож}$, мВт	Вихідні рівні ІМС
КР500	16х4	40	-5,2	0,6…1,1	ЕЗЛ
КМ1500	1кх4,4кх1	9…45	-4,5	0,6…1,1	ЕЗЛ
КР541	4кх1,16кх1	100…170	5,0	0,3…0,5	ТТЛ
КМ132	8кх1,16кх1	55…85	5,0	0,4…0,9	ТТЛ
КР1809РУ1	4кх1,16кх1	400	5,0	0,4	ТТЛ
КР537	64к1	110…500	5,0	0,02…0.2	ТТЛ
КР134	1кх16	1000	5,0	0,6	ТТЛ
КР185	1кх1,4кх1	300…500	5,0	0,4	ТТЛ
КР581	2кх8,1кх4	120…200	5,0	0,4	ТТЛ
КР155	1кх1	45…90	5,0	0,9	ТТЛ
КР561	256х1	800	12,0	0,15	КМДП
КР176	2кх8,4кх4	900	9,0	0,02	КМДП
КР565	256х1,1к1	450	5,0	0,4	ТТЛ

За такими характеристиками можна обрати мікросхему ОЗП типу КР537РУ9 [10].

Для одного циклу оброблення та перетворення необхідно часу – 0,1 мс (для аналого-цифрового перетворення сигналу) та деякий час на оброблення сигналу за алгоритмом. У такому режимі паузи та пробіли між вибірками мовного сигналу стають дуже помітні, якість відновленої розмови при цьому різко погіршується. Для уникнення такого негативного явища виконуємо неперервне оброблення сигналу. Для цього використовується одна мікросхему ОЗП.

Частота запису дискретних значень мовного сигналу дорівнює 10 кГц і частота відновлення закодованого сигналу теж дорівнює 10 кГц. Цей режим обрано з того міркування, що при частоті дискретизації 8 кГц ІМС не буде використовувати усю доступну область ОЗП. При цьому є можливість заповнити майже усі комірки пам’яті без втрати якості вихідного сигналу, тому використано саме таку тактову частоту запису-зчитування. Оскільки процес кодування повинен бути неперервний, то читання та запис цифрового сигналу до ОЗП повинно також виконуватись одночасно. Це здійснюється зверненням сигналу -W/R до ОЗП з частотою у 2 рази вищою, аніж це потрібно для читання та запису. Оскільки запис відбувається за рівнем логічного “0”, а читання – логічної “1”, то достатньо тактової частоти на рівні 10 кГц.

При цьому частота запису та відновлення залишається постійною. Таке рішення дозволило спростити схемну реалізацію – зменшити кількість мікросхем і, тим самим, зменшити потужність загальну енергоспоживання цифрового скремблера.

3.4 Розрахунок ємності та вибір мікросхеми постійного запам`ятовувального пристрою

У розроблюваній структурі цифрового скремблера два лічильники (DD 12 DD 13), в яких використовується 10 із 12 вихідних розрядів, функціонуюють незалежно. Один з них формує адресу для запису даних, а інший - адресу для мікросхеми постійної пам’яті, в якій записано у свою чергу алгоритм читання даних з ОЗП.

У постійному запам`ятовувальному пристрої (ПЗП) записано 1000 адрес, згідно з якими повинна зчитуватись інформація. Оскільки мікросхема ПЗП має 8 інформаційних виходів, а необхідно формувати 10 розрядів адресу ОЗП, застосовано восьмирозрядні регістри паралельного зсуву, що формують 10-розрядну адресу ОЗП. Відбувається це в результаті подвійного читання ПЗП двох сусідніх комірок пам’яті та паралельного перенесення їх до відповідних регістрів. В результаті читання двох комірок пам’яті можливо створити максимальну адресу 2^{16}. Для функціонування скремблера потрібно лише 2^{10} адрес.

Для формування однієї адреси необхідно використати дві комірки пам’яті по 8 біт (2х8 біт). Всього адрес потрібно 1000. Мінімальна ємність ПЗП дорівнює

$$2 \text{ x } 8 \text{ x } 1000=2000\text{x}8(\text{біт}).$$

Таким чином, мінімальна ємність мікросхеми, що необхідна для формування адреси (інформаційна ємність мікросхеми кратна 2^n, де n – число адресних розрядів ІМС) – 2048х8(біт). ПЗП обираємо з міркувань достатньої ємності та малого енергоспоживання. Вибрати потрібну ІМС ПЗП можна, використавши характеристики ІМЗ ПЗП, що представлені в таблиці 2.2 [10].

Таблиця 3.2 - ІМС ПЗП та їх параметри

Тип ІМС	Ємність ПЗП, біт	$t_{зп}$, нс	$U_ж$, В	$P_{спож}$, мВт	Тип виходу ІМС
КР155РЕ21					
КР155РЕ22	256 х 4	30	5,0	650	ТТЛ
КР155РЕ23					
КР155РЕ24					
КР555РЕ4	2k x 8	110	5,0	850	ТТЛ
КМ541РЕ1	2k x 8	150	5,0	1000	ТТЛ
КМ596РЕ1	8k x 8	350	5,0	640	ТТЛ
КМ596РЕ2	64k x 16	450	5,0	1050	ТТЛ
КР563РЕ1	8k x 8	580	5,0	50	ТТЛ
КР563РЕ1	32k x 8	500	5,0	20	ТТЛ
КР505РЕ3	512 х 8	1500	5, -12,0	500	ТТЛ
КМ568РЕ1	2k x 8	600	5, 12,0	450	ТТЛ
КМ568РЕ2	8k x 8	400	5, 12,0	600	ТТЛ
КМ568РЕ3	16k x 8	800	5, 12,0	300	ТТЛ
КР568РЕ4	8k x 8	300	5, 12,0	400	ТТЛ
КР568РЕ5	128k x 8	200	5, 12,0	300	ТТЛ
КР1801РЕ1	4k x 8	300	5,0	75	ТТЛ
КР1809РЕ1	2k x 8	300	5,0	275	ТТЛ
КР1603РЕ1	4k x 8	410	5,0	50	ТТЛ
КМ1610РЕ1	2k x 8	500	5,0	300	ТТЛ
КР1656РЕ1	2k x 8	80	5,0	925	ТТЛ
КР1656РЕ2	2k x 8	80	5,0	925	ТТЛ
КР1656РЕ3	512 х 8	60	5,0	775	ТТЛ

Аналізуючи основні параметри наведених ПЗП, обираємо ІМС ПЗП типу КР1603РЕ1, яка за усіма характеристиками та параметрами є найбільш оптимальною для скремблера

Для узгодження вхідних рівнів ПЗП – ТТЛ та виходів двійкового лічильника з логічними КМОН-рівнями, необхідно використовувати перетворювачі рівнів. Обираємо мікросхему КР564ПУ4 – перетворювач рівнів КМОН-ТТЛ. Обрана ІМС не потребує двох окремих джерел живлення, а використовує лише джерело з напругою +5 В.

На виході першого двійкового лічильника та двох регістрів формується відповідно код адреси запису та зчитування інформації. Ці коди спрямовуються до адресних входів ОЗП почергово за допомогою цифрового мультиплексора, побудованого на базі мікросхеми типу КР561ЛС2.

Коди записуються у такому порядку:

- починаючи з адреси 0000 до 0001 записано по 8 біт інформації для формування адреси читання ОЗП (перші 8 біт ОЗП формують молодші розряди адреси ОЗП, наступні 8 – старші розряди адреси ОЗП;

- наступною з ІМС ПЗП будуть прочитані дані, що знаходяться за адресами 0002 і 0003, відповідно буде сформована наступна адреса ОЗП.

Процес повторюється далі – два байти інформації ПЗП формує одну 10-розрядну адресу ОЗП.

3.5 Вибір та обгрунтування мікросхеми АЦП

Максимальна частота читання-запису в ОЗП становить 10 кГц (тривалість 100 мкс), тоту час перетворення аналогового сигналу в АЦП має бути меншим, ніж 100 мкс. ІМС АЦП обираємо із серії низькочастотних (час перетворення не більший 100 мкс), середньої розрядності (не менше 8 двійкових розряди).

У таблиці 3.3 наведено основні параметри деяких поширених ІМС АЦП [10].

Таблиця 3.3 – Параметри мікросхем АЦП

Тип ІМС	Розряд-ність ІМС	Напруга живлення, В	Струм споживання, мА	Максимальна частота дискретизації, кГц	Тип виходу ІМС
КР572ПВ1	12	+5,0; +15	3; 5	250	ТТЛ
КР1107ПВ1	6	+5,0; -6	30; 150	20000	ТТЛ
КР1107ПВ2	8	+5,0; -6	35; 450	10000	ТТЛ
КР1107ПВ3	6	+5,0; -5,2	60; 80	100000	ЕЗЛ
КР1108ПВ1	10	+5,0; -5.2	50; 130	1500	ТТЛ
КР1113ПВ1	10	+5,0; -15	10; 20	30	ТТЛ

Доцільно обирати мікросхему АЦП, у якій інформаційні виходи будуть сумісними з ТТЛ чи КМОН рівнями. Це спростить узгодження схем. Порівнявши параметри наведених в таблиці 3.3 ІМС АЦП і беручи до уваги наведені вище вимоги, можна обрати АЦП типу КР1113ПВ1. Цей тип ІМС АЦП належить до класу функціонально завершених перетворювачів аналог-код послідовного наближення циклічної дії із вбудованим тактовим генератором. На рисунку 3.3 зображено часові діаграми роботи ІМС АЦП типу КР1113ПВ1.

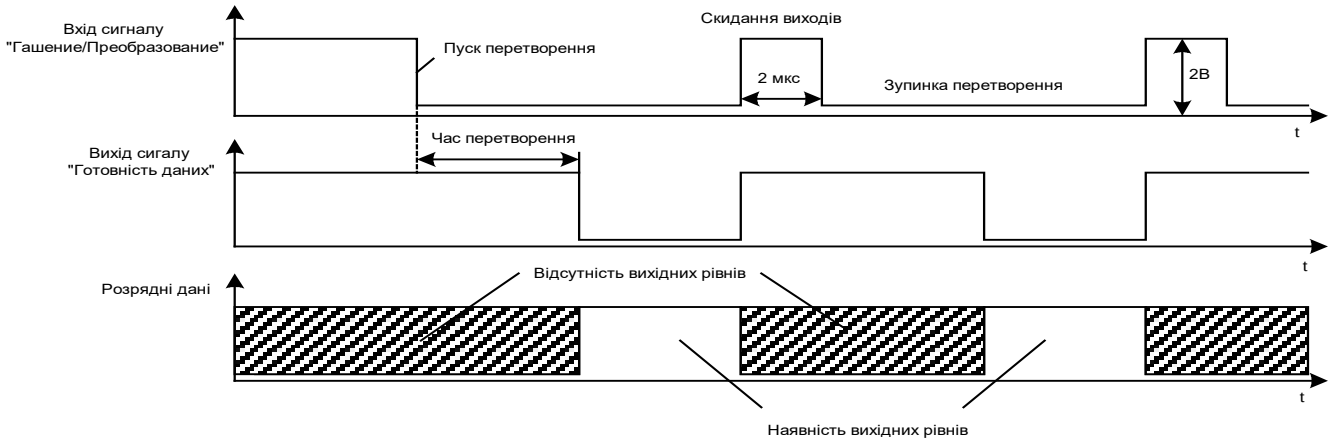


Рисунок 3.3 – Часові діаграми роботи ІМС АЦП типу КР1113ПВ1

Мінімальна напруга на вході АЦП розраховується залежно від динамічного діапазону вхідного сигналу та розрядності АЦП. Мінімальна напруга на вході для спрацювання одного молодшого розряду дорівнює:

$$11/2^{10}=0{,}0107 \text{ (В)}.$$

Максимальна напруга сигналу на вході для спрацювання усіх 8 розрядів АЦП дорівнює:

$$0{,}0107\cdot 2^{8}=2{,}75 \text{ (В)} – \text{амплітуда вхідного сигналу;}$$

Знайдемо максимальний розмах вхідного сигналу, який дорівнює подвоєній амплітуді: $2{,}75\cdot 2=5{,}5$ (В).

Цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП) виконує функції відновлення аналогового сигналу за його цифровими відліками. Виходячи з параметрів АЦП мікросхема ЦАП повинна бути 10-ти розрядною та спроможною функціонувати на частотах вищих 10 кГц. Розрахуємо максимальний час встановлення ЦАП, який повинен бути на порядок менше, ніж час перетворення АЦП. Тому

$$t_{вст.}=0{,}1t_{ацп}=10(мкс).$$

Існує багато мікросхем, що задовольняють цим вимогам. В таблиці 3.4 наведені параметри деяких з ІМС ЦАП.

Таблиця 3.4 – Електричні параметри ІМС ЦАП

Тип ЦАП	AD7520A	AD7521A	КР572ПА1А
Число розрядів	12	12	10
Час встановлення, (мкс)	0,1	0,05	1,0
Напруга живлення, (В)	+5÷+15	+5 ÷ +15	±15
Струм споживання, мА	150	220	10
Вхідний опір, (кОм)	10	10	100

З наведених вище варіантів обирається ІМС ЦАП типу КР572ПА1А, яка задовольняє поставленим вимогам, має найнижчий струм споживання та є дешевшою за інші.

3.6 Розробка алгоритму кодування мовного сигналу

Алгоритм кодування мовного сигналу у цифровому скремблері базується на обробленні цифрових виборок вхідного сигналу у часовій області. На рис. 3.4 наведено часові діаграми, що демонструють метод кодування вхідного сигналу.

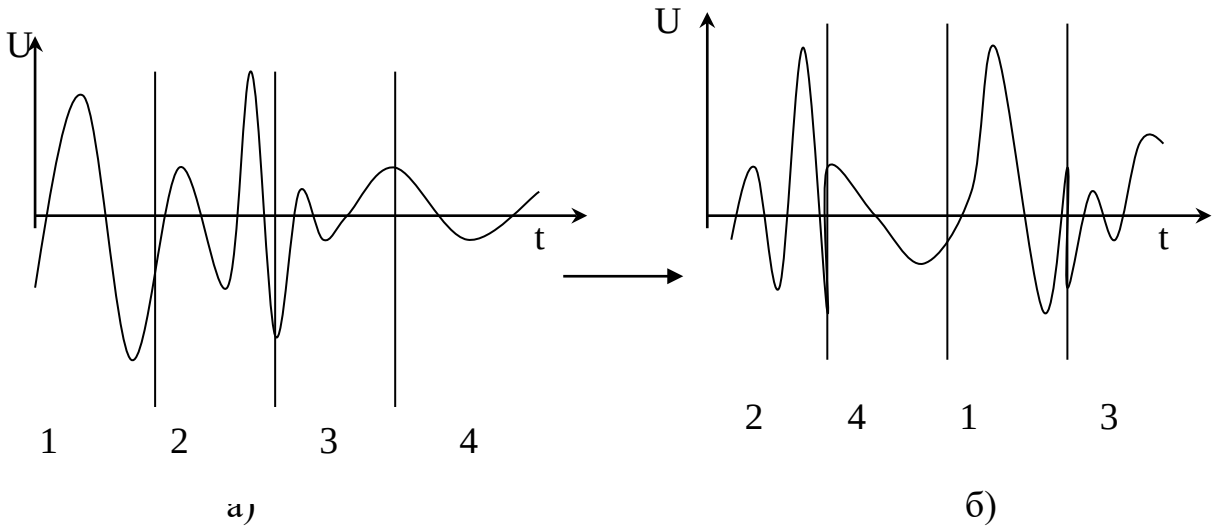
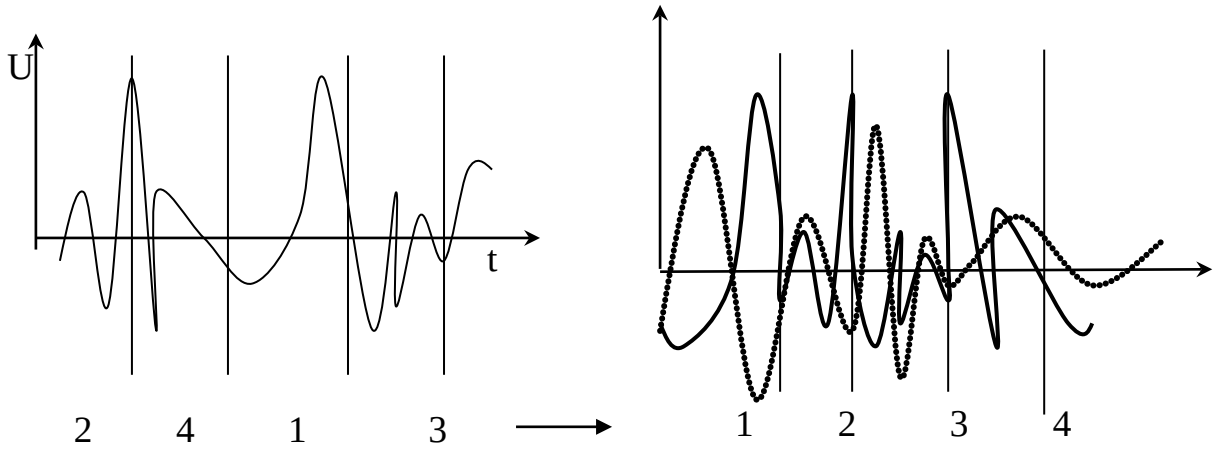


Рисунок 3.4 – Часові діаграми, що демонструють метод кодування вхідного сигналу: а) вхідний сигнал розбитий на 4 часові проміжки; б) вихідний сигнал скремблера після перестановки часових інтервалів

На приймальній частині при порушення синхронізації та підвищеній частоті опорного генератора декодера відбувається некоректне відновлення сигналу як показано на рисунку 3.5. Як видно з рисунка відновлений сигнал досить сильно спотворено, тому при проєктуванні приймальної частини декодера необхідно виконати виділення синхросигналу із загального частотного спектра.



а) б)

Рисунок 3.5 – Часові діаграми відновлення сигналу на приймальній частині скремблера при відсутності (порушенні) синхронізації:
а) зашифрований сигнал; б) сигнал після відновлення

Організація процесу введення-виведення ОЗП така, що виходи даних використовуються і як входи, тому необхідно на часовий період читання ОЗП заборонити подачу інформаційних сигналів від АЦП. Оскільки серія КМОН К561 не має мікросхем із третім Z-станом, то необхідно відмикати виходи АЦП електронним ключем. На час читання ОЗП ключ розмикається і АЦП по аналогії з ІМС ТТЛШ переходить до Z-стану по виходу. Для цього обираємо для кращого узгодження аналоговий ключ типу КР561КТ3 [9].

На виході даних ОЗП встановлено регістр паралельного зсуву типу КР561ИР6 для зберігання даних зчитування.

Для тимчасового зберігання інформації від АЦП та узгодження його з ОЗП використовуємо регістр паралельного зсуву типу КР561ИР6 [10].

Двійкові лічильники повинні функціонувати до 1000-го імпульсу (один цикл запису/читання), тому для селектування тисячного імпульсу застосуємо комбінаційну схему на основі КР1561ЛИ1 і КР561ЛА8. Але для 2-х лічильників застосуємо дві таких схеми, це ефективніше ніж застосовувати схему перемикання шин адреси на схему селектування.

У таблиці 3.5 наведено стан логічного виходу відносно станів на логічних входах цієї схеми.

Таблиця 3.5 – Таблиця істинності для селектора 1001-го імпульсу

Логічні виходи двійкових лічильників										Лог. вихід селектора
2^9	2^8	2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0	
1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1
Всі інші стани										0

Згідно з цією таблицею синтезуємо комбінаційну схему. Для спрацювання ІМС ЛИ1 потрібно, щоб на вході були всі логічні “1”, оскільки в коді є логічні “0”, то їх необхідно проінвертувати. Для цього застосуємо схему 4-І-НЕ (КР561ЛА8), проінвертовані “0” подаються на 7-й логічний вхід

ІМС ЛИ1. Логічний вихід ІМС ЛИ1 під`єднано до входів скидання лічильників у початковий стан (відповідно на вхід R кожного з лічильників).

Для початкового скидання всіх лічильників і регістрів у нульовий стан при першому запуску (ввімкнення пристрою) застосована схема скидання на основі RC-кола (імпульсна подача напруги живлення на входи скидання). Для того, щоб короткий імпульс від джерела живлення не подавався на виходи інших мікросхем, застосовано блокування з використанням діодів.

Застосуємо також схему для узгодження частин ПЗП. Перші тисяча адрес містять інформацію, зчитану з виходa АЦП, наступні тисяча адрес використовуються для читання та комбінування певних проміжків і подачі їх на входи ЦАП.

По закінченню запису інформації з ЦАП і читання та комбінування адреси (верхня і нижня) міняються місцями і тепер з верхньої області пам’яті відбувається зчитування інформації, а в нижню – запис з виходу АЦП. Таким чином, виконується неперервність перетворення інформації. Задача такої схеми полягає у зіставленні нижньої області пам’яті з записом, а верхньої з читанням. Через тисячу циклів запису/читання нижня область пам’яті зіставляється з читанням, а верхня із записом. Ще через тисячу циклів схема переходить у початковий стан.

Для синхронізації приймача (декодера) та передавача (кодера) скремблера використано циклову синхронізацію. З кожним 1000-м тактом в лінію надсилається тестовий сигнал частотою 160 Гц. На приймальній частині за допомогою ФНЧ цей сигнал виділяється та слугує для налаштування задаючого генератора приймача. Сигнал надсилається в лінію на час не довший, аніж час посилання однієї закодованої посилки (100 мс). Наступна посилка повинна бути прочитана в чітко заданий час, а саме через 100 мс. У випадку, якщо цього не відбудеться і генератор приймача сформує частоту, яка відрізняється від частоти передавача, то відбудеться зсув часових послідовностей.

Відповідно буде виконана зворотна перестановка часових інтервалів, які вже після відновлення не будуть відповідати вихідному сигналу на приймальній частині (декодері).

Структурна схема цифрового скремблеру мовних сигналів показано на рисунку 3.6.

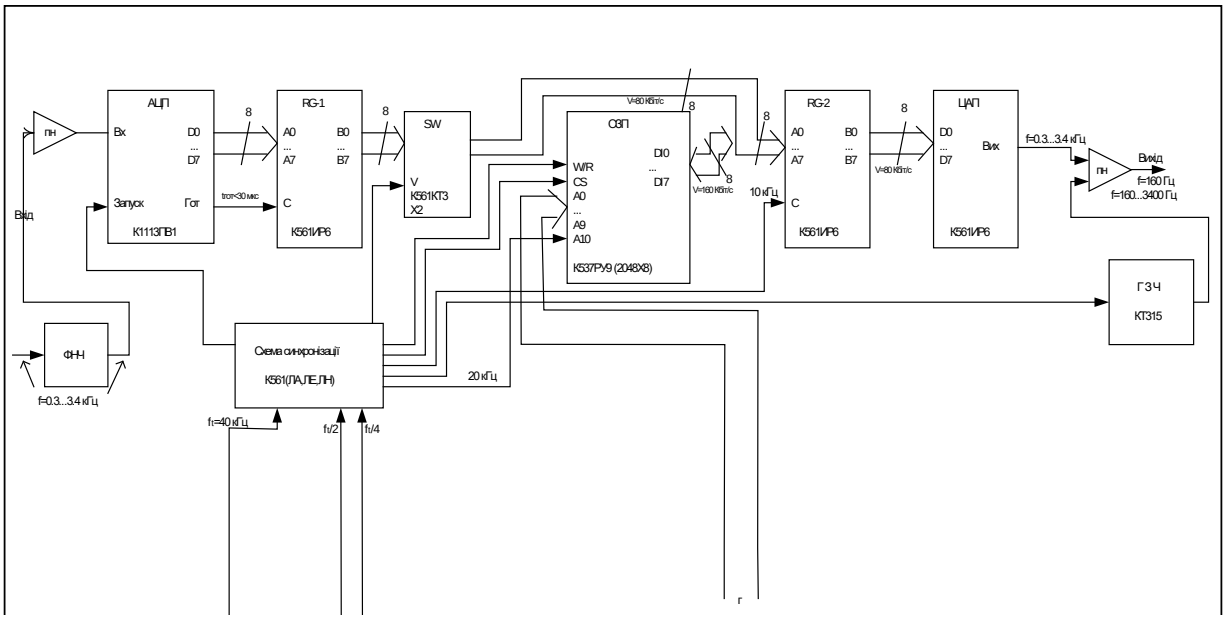


Рисунок 3.6 – Структурна схема цифрового скремблеру мовних сигналів

Сигнал від мікрофона потрапляє на вхід АЦП через ФНЧ другого порядку, виконаного на ІМС операційного підсилювача типу КР1401УД2Б, для формування смуги частоти із верхньою частотою зрізання – 3,4 кГц [11]. Це необхідно для обмеження частот вищих гармонік, які можуть викликати значні спотворення в процесі дискретизації.

Пристрій має опорний цифровий генератор 40 кГц і звуковий синусоїдальний генератор з частотою 160 Гц для синхронізації приймальної частини (Декодера). Для реалізації схемних рішень необхідно формувати сигнали з частототами 20 кГц і 10 кГц. Тому в схему введено два подільника частоти на 2 на базі тригерів КР561ТМ2 [10].

4 РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ ЦИФРОВОГО СКРЕМБЛЕРА

4.1 Розрахунок опорного генератора тактових імпульсів

Опорний генератор тактових імпульсів зібрано на двох елементах НЕ (DD 7.1 і DD 7.2). Частота генерування f=40 кГц (t=25 мкс). Розрахуємо елементи генератора (мультивібратора) [10], показаного на рисунку 4.1.

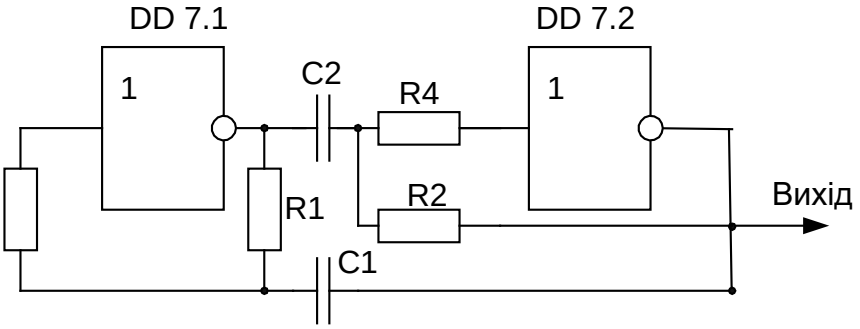


Рисунок 4.1 – Схема генератора тактових імпульсів

Частота генерування задається RC-колом

$$f_{mi} = \frac{1}{2{,}2 \cdot R1 \cdot C1}.$$

Елементи генератора тактових імпульсів R1=R2, C1=C2, R3=R4, причому R3>>R4. Період симетричного меандра T=2,2R1C1. Це співвідношення виконується тим краще, чим точніше виконується співвідношення

$$\frac{R3}{R1} = \frac{R4}{R2}.$$

При R1=R2=200 кОм, R3=R4=1 МОм і T=25 мкс матимемо ємність C2 і C1:

$$C1 = C2 = \frac{T}{2{,}2R1} = \frac{25 \cdot 10^{-6}}{2{,}2 \cdot 200 \cdot 10^{3}} = 56{,}8(n\Phi).$$

З урахуванням розкиду ємності ±10% (5,6 пФ) номінал конденсаторів обираємо відповідно до ряду номіналів стандарт – 56 пФ.

Часові діаграмі функціонування цифрового скремблера показано на рисунку 4.2.

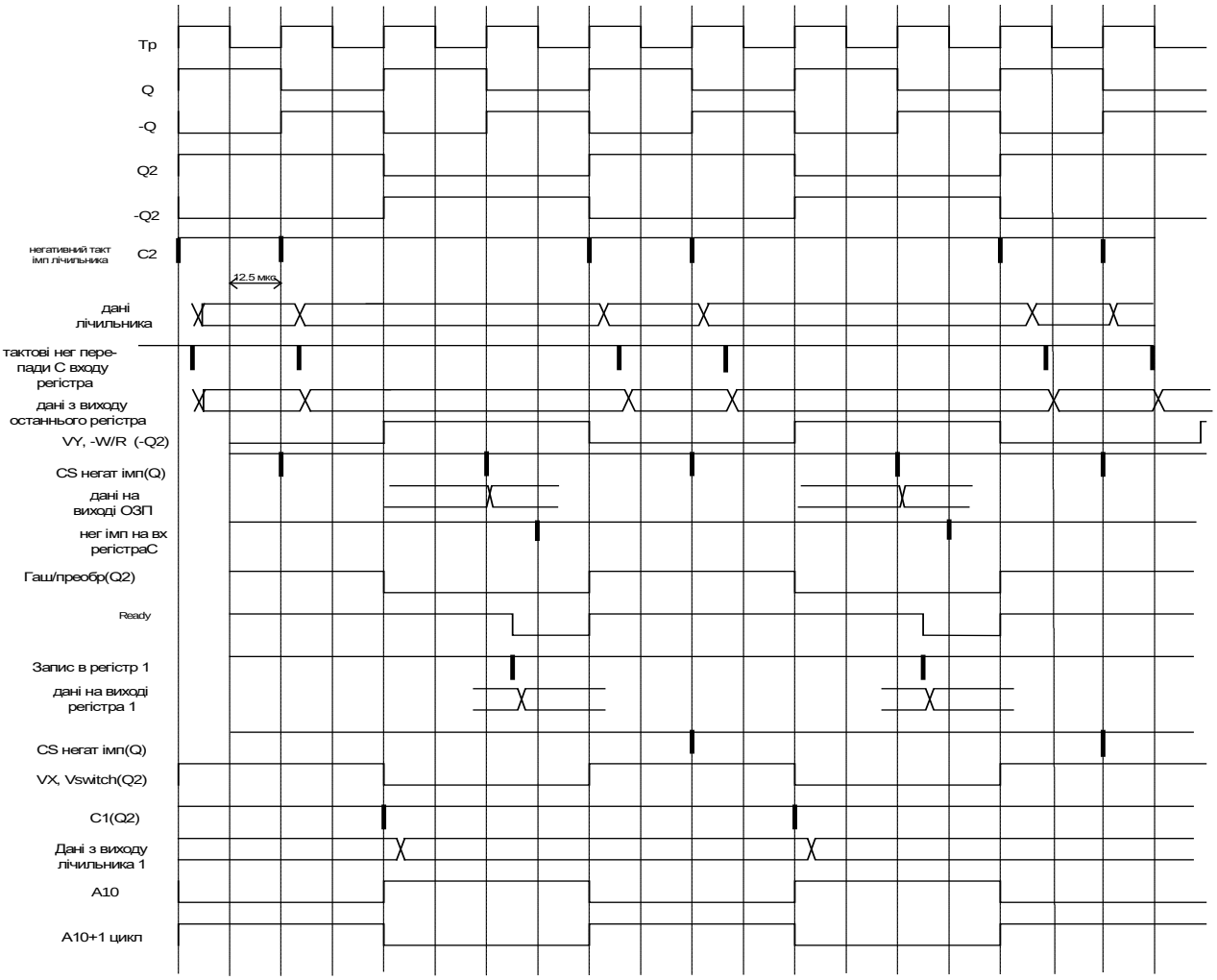


Рисунок 4.2– Часові діаграми роботи скремблеру

Максимальна затримка мовного сигналу в цифровому скремблері складається із суми затримок в: АЦП, паралельному зсувному регістрі DD2, ОЗП, паралельному зсувному регістрі DD16, ЦАП:

$$\tau = 30\,мкс + 1.25\,мкс + 1000 \cdot 100 мкс + 15 мкс = 100046.25 мкс \approx 100 мс.$$

Початкова затримка сигналу складає $\tau_{поч} = 2 \cdot \tau \approx 200 мс$, оскільки спочатку відбувається запис до комірок і читання пустих комірок пам'яті.

4.2 Розрахунок активного ФНЧ на вході пристрою

На вхід передбачається подавати сигнал безпосередньо з мікрофону, або сигналу з амплітудою до 20 мВ. Для забезпечення необхідного динамічного діапазону при розрахунку вхідна напруга АЦП складала 5,5 В. Максимальна напруга на вході АЦП може становити не більше 6,0 В (режим спотворень).

Максимальний необхідний коефіцієнт підсилення DA 1.1 і DA 1.3 становить:

$$K = U_{вих}/U_{вх} = 5{,}5(\text{В})/0{,}02(\text{В}) = 275.$$

ФНЧ побудуємо з характеристикою Баттерворта другого порядку, який дає компроміс з частотною і часовою характеристикою (в порівнянні з іншими видами ФНЧ), схема показана на рисунку 4.3.

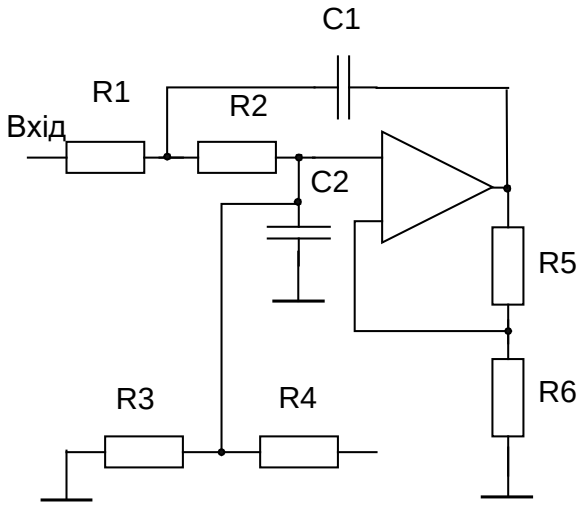


Рисунок 4.3 - Схема ФНЧ-2 Баттерворта

Обираємо R1=R2=R, C1=C2=C. R і C вибираються із співвідношення

$$RC=1/2\pi f_{c.}$$

$$RC=1/2\cdot 3{,}14\cdot 3400=4{,}6\cdot 10^{-5}\ (\text{с}).$$

Для фільтра Баттерворта другого порядку значення К=1,586. Задамось значенням R: R=1 кОм, тоді $C=4{,}6\cdot 10^{-5}/1000=46\cdot 10^{-9}$ (Ф)=46 (нФ).
C1=46 нФ, C2=46 нФ.

$$R5=(K-1)R=(1{,}586-1)1000=586\ (\text{Ом}).$$

R6=R=1000 Ом.

З умови високого вхідного опору R3=R4=200 кОм. Усі резистори типу С2-23-0.125 з відхиленням параметру ±10% крім R5 і R6 в яких відхилення параметру ±5% .

4.3 Розрахунок підсилювача на основі ОП

Після проходження сигналу через активний ФНЧ він підсилюється у 1,586 рази. Необхідне додаткове підсилення сигналу становить:

$$K= 275/1{,}586=173{,}4 \text{ рази.}$$

Реалізуємо підсилювач на основі ОП із інвертуванням сигналу. Схема інверсного підсилювача показана на рисунку 4.4.

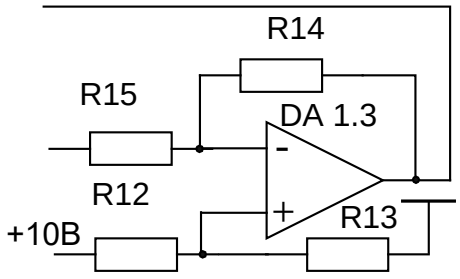


Рисунок 4.4 – Схема інвертуючого підсилювача

Для забезпечення даного коефіцієнта підсилення необхідно виконати наступне співвідношення:

$$K = \frac{R14}{R15}.$$

Опори R14 і R15 вибираємо в діапазоні кількох сотень кілоомів. Приймемо R14=470 кОм, тоді

$$R15 = \frac{R14}{K} = \frac{470000}{173{,}4} = 2{,}7\,(кОм).$$

R12 і R13 є подільники, вибираємо їх номінали по 200 кОм.

R12=200 кОм, R13=200 кОм.

Усі резистори типу С2-23-0.125 з відхиленням параметру ±10%.

4.4. Розрахунок суматора аналогових сигналів

Для того, щоб подати два сигнали одночасно в одну лінію, необхідно їх змішати. Змішування сигналів може робитися на основі операційних підсилювачів. В даному випадку необхідно змішати вихідний зашифрований мовний сигнал і сигнал з аналогового генератора частотою 160 Гц (для синхронізації приймача).

Схема на рисунку 4.5 реалізує суматор середньої арифметичної суми двох сигналів. Для реалізації такої функції необхідні номінали опорів такі:

$$R20=R,\ R18=R19=2R.$$

Резистори R21 і R22 утворюють подільник напруги для забезпечення робочої точки. Усі опори не пред’являють до себе критерію по вибору певного номіналу. Але доцільно вибрати номінали в межах від десяток кілоомів до кількох сотень кілоомів.

Відповідно до такого критерію обираємо номінали опорів:

R20=50 кОм, R18=100 кОм, R19=100 кОм, R21=100 кОм, R22=100 кОм.

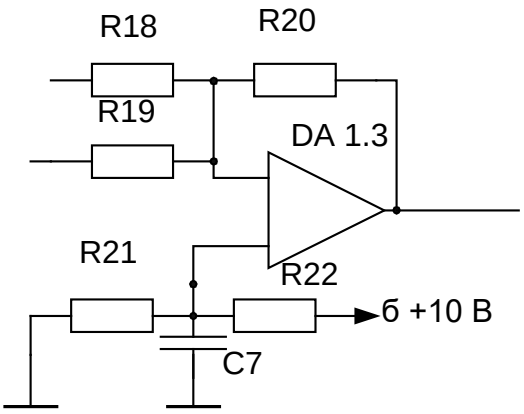


Рисунок 4.5 – Схема суматора на основі ОП

Конденсатор С7 є шунтуючим по живленню і обирається з умови:

$$C = \frac{100}{2 \cdot \pi \cdot f_н \cdot R_н}.$$

де $f_н$ – сама нижня складова спектру сигналів, що поступають на входи суматора;

$R_н$ – номінал опору резистора, паралельно якому підключається конденсатор.

$$C = \frac{100}{2 \cdot 3.14 \cdot 160 \cdot 50000} = 1.98\,(мкФ).$$

Обираємо номінал не менше такого значення (беремо із стандартного ряду) С=2,2 мкФ.

Напруга живлення ОП DA 1 повинна становити 10В. Усі резистори типу С2-23-0.125 з відхиленням параметру ±10%. Конденсатор типу КМ-5.

4.5 Розрахунок споживаної потужності

Потужність споживання розраховується так, якби працювали усі ЕРЕ одночасно. В таблицю 4.1 занесено розрахунок загальної потужності споживання скремблером на базі потужностей ІМС (основне джерело споживання енергії).

Таблиця 4.1– Розрахунок потужності споживання пристрою

Тип ІМС	Кількість, шт.	Струм, потужність споживання ІМС	Загальна потужність
К561ИР6	4	50 мкА	1000 мкВт
К561КТ3	2	1,2 мкА	12 мкВт
К537РУ9	1	20 (0,4 реж зберіг) мВт	20 мВт
К1561ИЕ20	2	20 мкА	200 мкВт
К564ПУ4	2	0,3 мкА	3 мкВт
К561ТМ2	2	4 мкА	40 мкВт
К561ЛС2	3	50 мкА	750 мкВт
К1113ПВ1А	1	10мА х 5; 20 мА х 15	350 мВт
К572ПА1	1	2мА х 15	30 мВт
К1401УД2Б	1	2 Ма	20 мВт
К561ЛА7	1	1 мкА	5 мкВт
К561ЛА8	1	1 мкА	5 мкВт
К561ЛЕ5	1	0,5 мкА	2.5 мкВт
К561ЛН2	1	1 мкА	5 мкВт
К1561ЛИ1	2	0,4 мкА	4 мкВт
КА1603РЕ1	1	50 (0,05 реж зберіг) мВт	50 мВт
Загальна споживана потужність:			472 мВт

Таким чином, загальна потужність споживання цифрового скремблера дорівнює 472 мВт, тобто розроблений пристрій можна забезпечити живленням від переносних джерел, наприклад малогабаритного акумулятора.

4.6 Реалізація алгоритму шифрування за допомогою ПЗП

Для формування ключа шифрування необхідно задати алгоритм згідно якого буде відбуватись сам процес шифрування. Згідно алгоритму два байти інформації ПЗП формують 10 біт адреси пам’яті ОЗП (перший байт інформації ПЗП формує старших два біти адреси ОЗП, а другий байт інформації – формує відповідно 8 молодших біти). З ОЗП читається попідряд 50 комірок пам’яті, що відповідає часовому інтервалу слота 5 мс. Через 50 комірок відбувається перестрибування до іншої області пам’яті, починаючи з якої знову читається 50 комірок.

Процес перестрибування відбувається 20 разів, тобто 50 комірок по 20 слотів формують кадр тривалістю 100 мс. Через 100 мс процес повністю повторюється. На рисунку 4.6 показано формування кадру із 20 слотів.

Рисунок 4.6 – Формування кадру із слотів

Згідно схеми рисунка 4.6 відбувається запис інформації з АЦП до ОЗП. Одночасно із записом до ОЗП відбувається зчитування і виведення раніше записаної інформації до ЦАП. Алгоритм виведення показано на рисунку 4.7.

Рисунок 4.7 – Формування вихідної інформації із переставлених у часі слотів

Відповідність адрес ПЗП адресам ОЗП показано в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Відповідність адрес ПЗП і ОЗП

Адреси ПЗП	Адреси ОЗП
0000-0063	0320-0351
0064-00C7	01C2-01F3
00C8-012B	012C-015D
012C-018F	02EE-031F
0190-01F3	0258-0289
01F4-0257	0352-0383
0258-02BB	0064-0095
02BC-031F	03B6-03E7
0320-0383	0190-01C1
0384-03E7	0032-0063
03E8-044B	0084-03B5
044C-04AF	0226-0257
04B0-0513	00C8-00F9
0514-0577	028A-02BB
0578-05DB	02BC-02ED
05DC-063F	0096-00C7
0640-06A3	0000-0031
06A4-0707	01FA-012B
0708-076B	01F4-015F
076C-07CF	0160-018F

Слід зазначити, що пара адрес ПЗП відповідає одній адресі ОЗП. Усі адреси йдуть по-порядку.

На рисунку 4.8 представлено принципову електричну схему цифрового скремблера мовного сигналу.

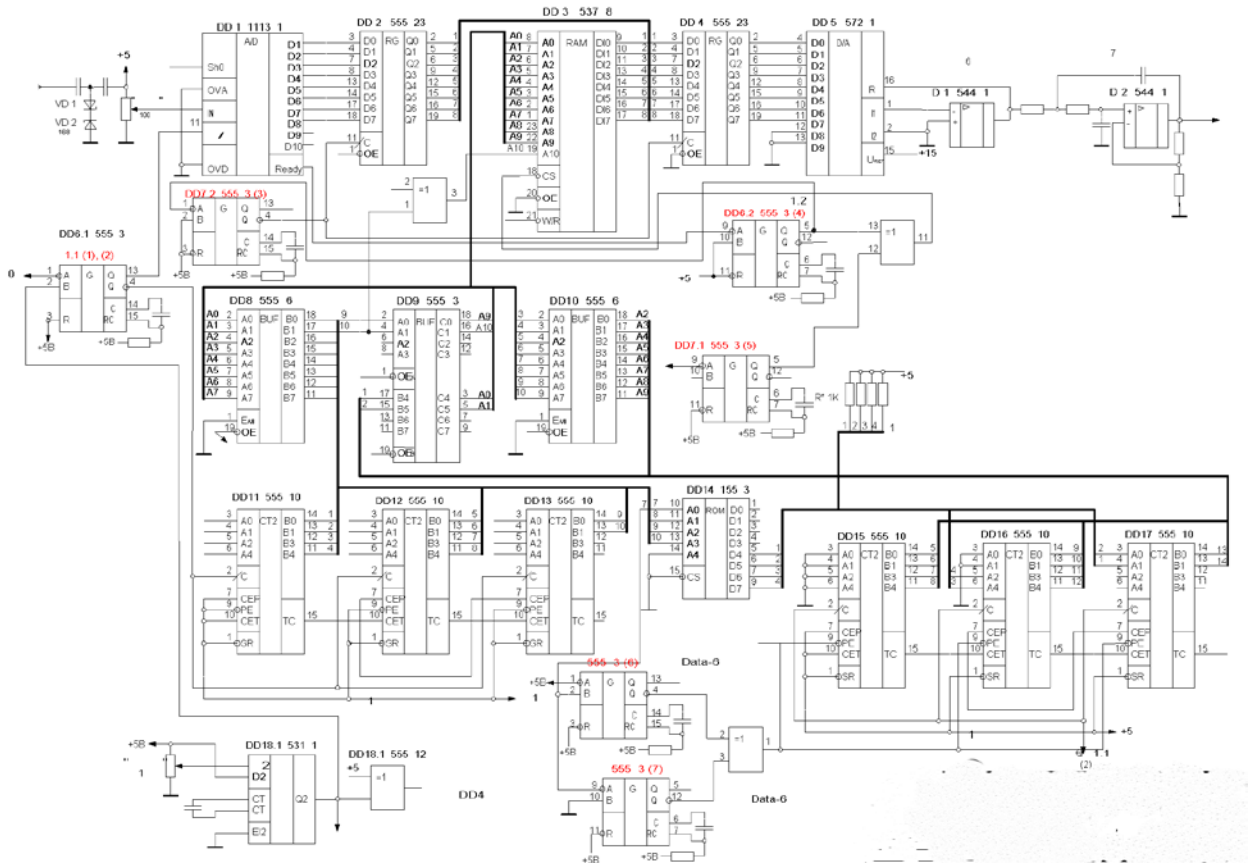


Рисунок 4.8 – Принципова електрична схема
цифрового скремблера мовного сигналу

5 КОМП`ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЦИФРОВОГО СКРЕМБЛЕРА

Промоделюємо ФНЧ, який є ключовим блоком цифрового скремблера за допомогою програми WorkBench 5.12. Схема, яка моделюється показана на рисунку 5.1.

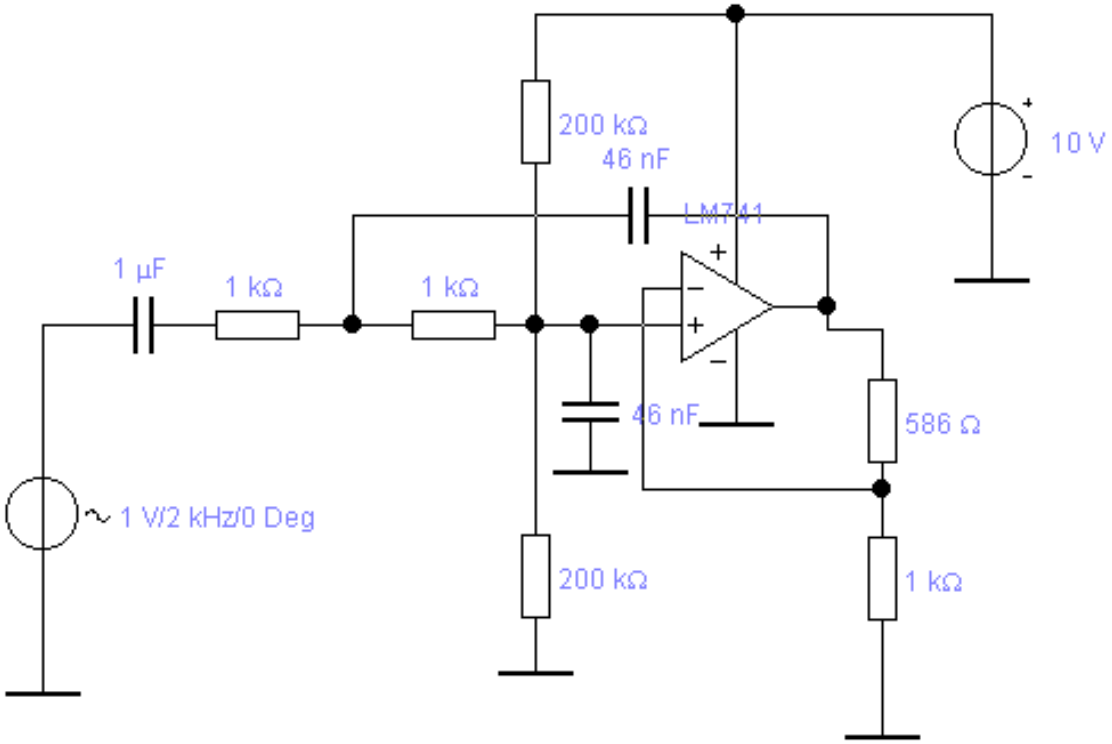


Рисунок 5.1.– Схема моделювання ФНЧ Баттерворта II-го порядку

При моделюванні були взяті усі розраховані параметри, які були проведені вище. Мікросхема – довільна (в даному випадку LM741), але параметри якої не гірші за К1401УД2Б.

На рисунку 5.2 наведено АЧХ промодельованого ФНЧ Баттерворта II-го порядку.

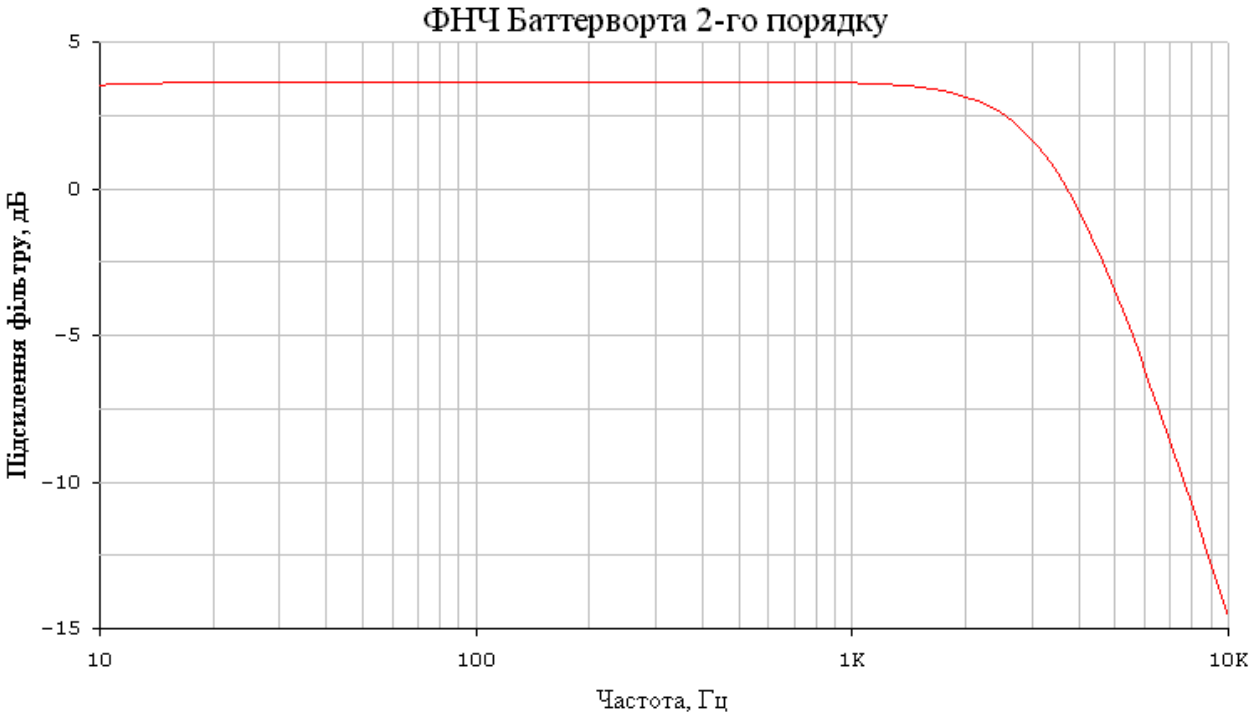


Рисунок 5.2 – АЧХ ФНЧ Баттерворта II-го порядку

Як видно з АЧХ на рисунку 5.2 фільтр задовольняє вимогам щодо формування смуги частот мовного каналу – спад характеристики на 3 дБ на частоті 3400 Гц та загальною крутістю спаду 12 дБ/дек.

Для комп`ютерного моделювання роботи цифрового скремблера мовного сигналу обираємо програму MicroCap 9. Такий вибір програми пояснюється її простотою у використанні, багатофункціональністю та наявністю великої бази як іноземних, так і вітчизняних електро- та радіокомпонентів.

Виконаємо комп`ютерне моделювання окремих блоків цифрового скремблера детальнішого аналізу роботи. Вхідні кола цифрового скремблера забезпечують фільтрування та підсилення мовного сигналу. Смуга пропускання вхідних кіл становить 300 – 7700 Гц.

Моделювальна схема генератора цифрового скремблера представлена на рис. 5.3.

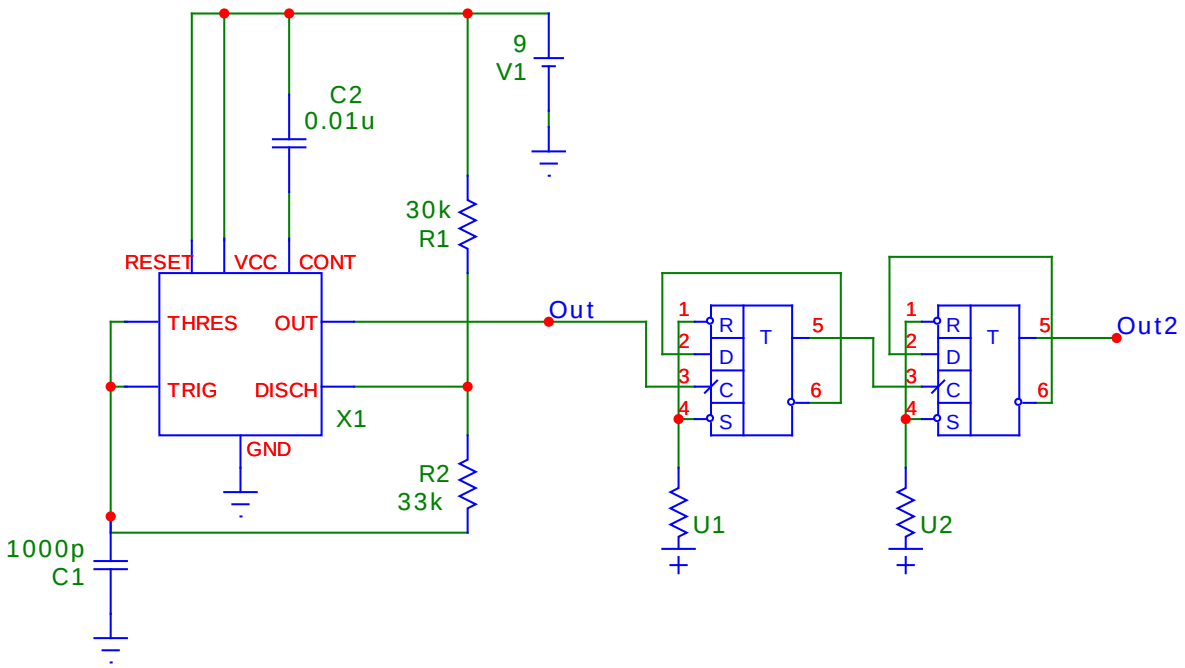


Рисунок 5.3 – Моделювальна схема генератора цифрового скремблера

Компоненти C1, R1, R2 забезпечують тактову частоту на виході Out, що дорівнює 14 кГц. Подільник частоти на 4 реалізовано на базі двох D-тригерах. Тому на виході Out2 генератора значення частоти вихідного сигналу дорівнює 3500 Гц. Таке значення обрано саме тому, що цим забезпечується в подальшому перетворення вхідного мовного сигналу у модуляторі цифрового скремблера.

Моделювальна схема ключового балансного модулятора і НЧ-фільтра цифрового скремблера представлена на рис. 5.4.

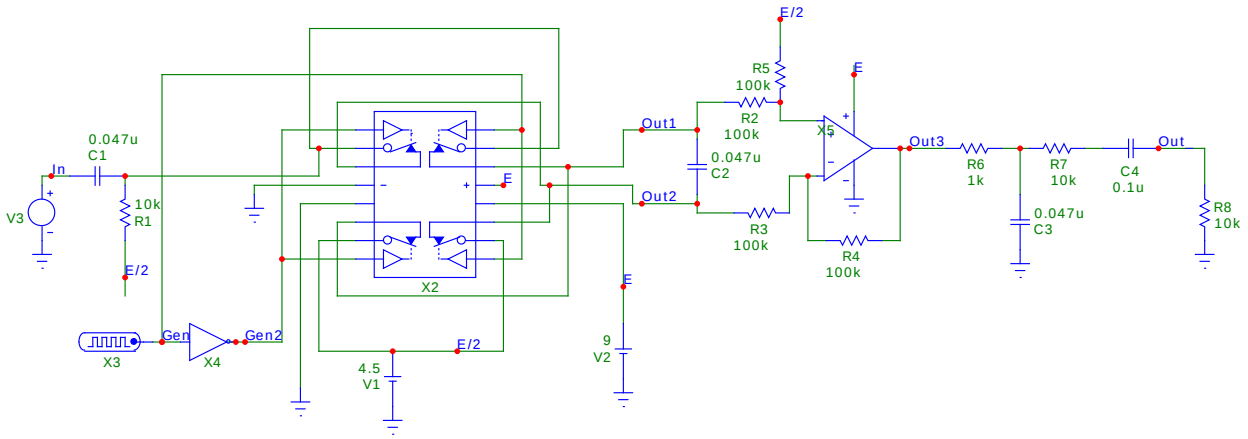


Рисунок 5.4 – Моделювальна схема ключового балансного модулятора і НЧ-фільтра цифрового скремблера

Замість мікросхеми комутатора К561КТ3 використовуємо з бібіліотеки мікросхему MAX4601.

При подачі на вхід цифрового скремблера тестового сигналу частотою 300 Гц на виході балансного модулятора маємо отримати сигнал з частотою, яка розраховується як 3500-300=3200 Гц. Часові діаграми сигналу на вході та виході балансного модулятора представлені на рис. 5.5.

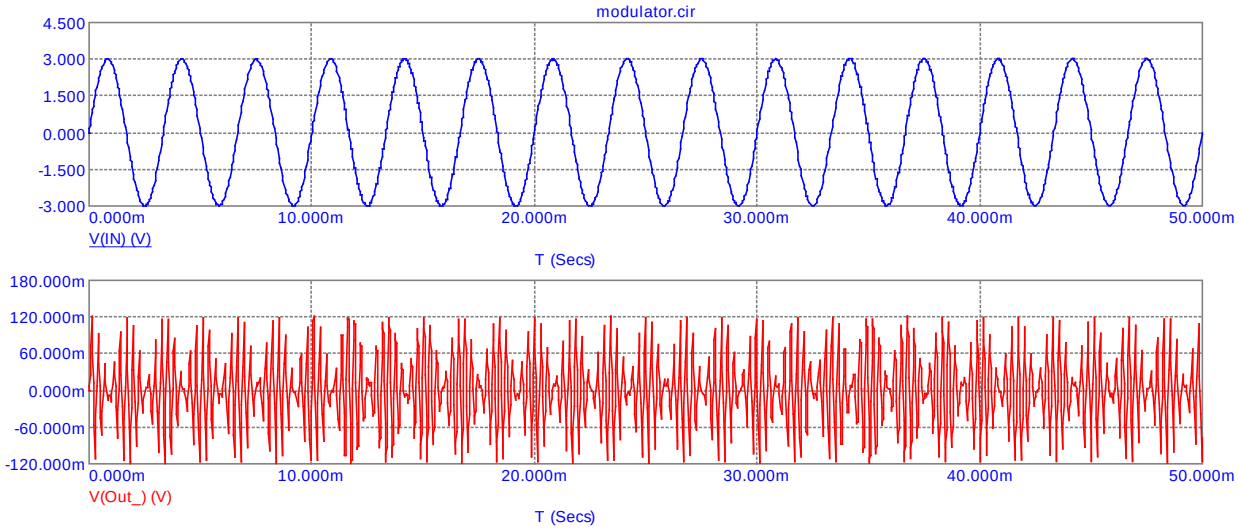


Рисунок 5.5 – Часові діаграми вхідних і вихідних сигналів балансного модулятора цифрового скремблера

На рис. 5.6 представлено частотний спектр вихідного сигналу. За ідеальних умов частотний спектр вихідного сигналу мав би містити лише одну складову з частотою 3200 Гц. З рисунка 5.5 видно, що у спектрі вихідного сигналу окрім гармоніки 3200 Гц присутня ще і дзеркальна складова частотою 3800 Гц, що пояснюється низьким подавленням за допомогою фільтра складових верхньої бічної смуги. Для кращого подавлення необхідно застосовувати фільтри вищих порядків, що звичайно ускладнить схему. З рисунка 5.6 також видно, що складова носійної частоти 3500 Гц відсутня у спектрі вихідного сигналу, що і є перевагою застосування у скремблері балансного модулятора.

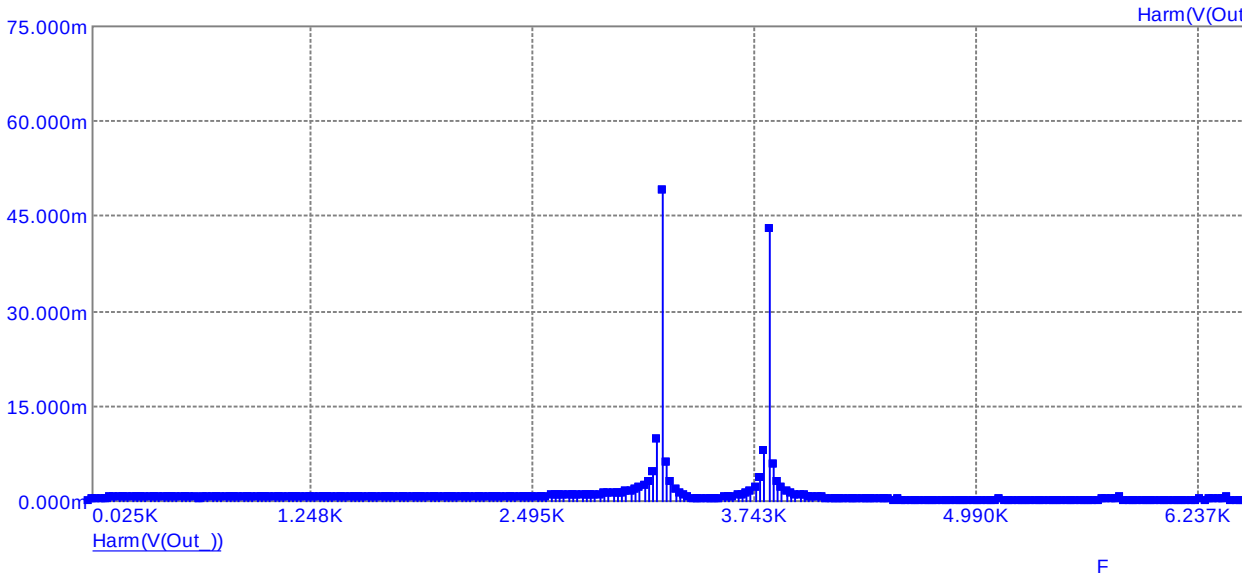


Рисунок 5.6 – Спектр вихідного сигналу цифрового скремблера при подачі на вхід тестового сигналу з частотою 300 Гц

При подачі на вхід скремблера тестового сигналу з частотою 3200 Гц на виході за ідеальних умов маємо отримати сигнал з частотою, що визначається як 3500 – 3200 = 300 Гц.

Часові діаграми на вхідних і вихідних сигналів скремблера для даного випадку представлені на рис. 5.7.

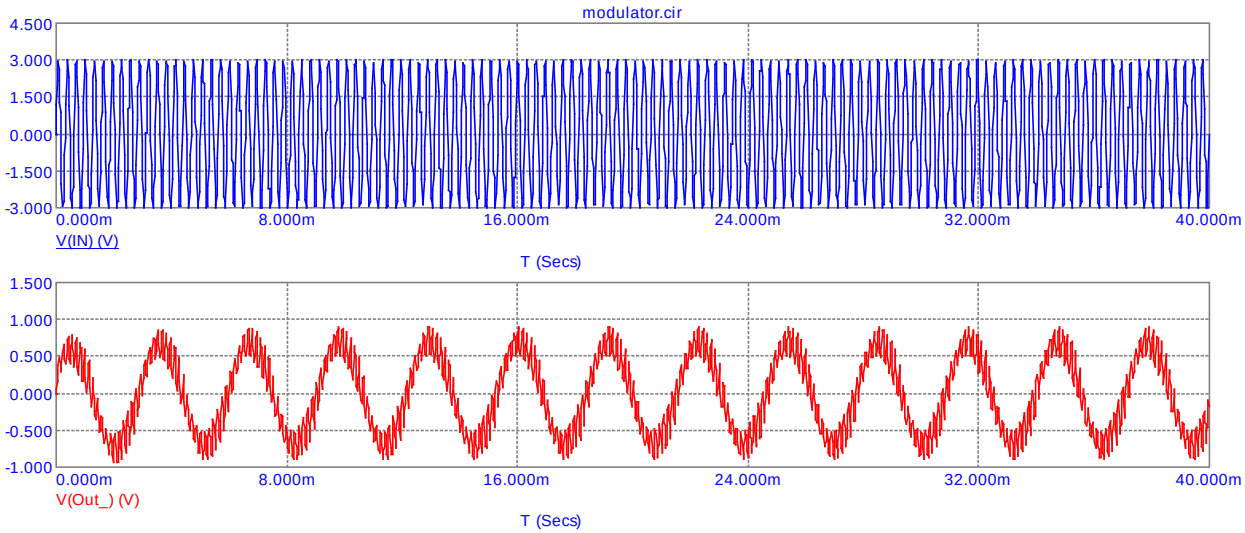


Рисунок 5.7 – Часові діаграми вхідного та вихідного сигналу цифрового скремблера

Частотний спектр вихідного сигналу цифрового скремблера представлений на рис. 5.8.

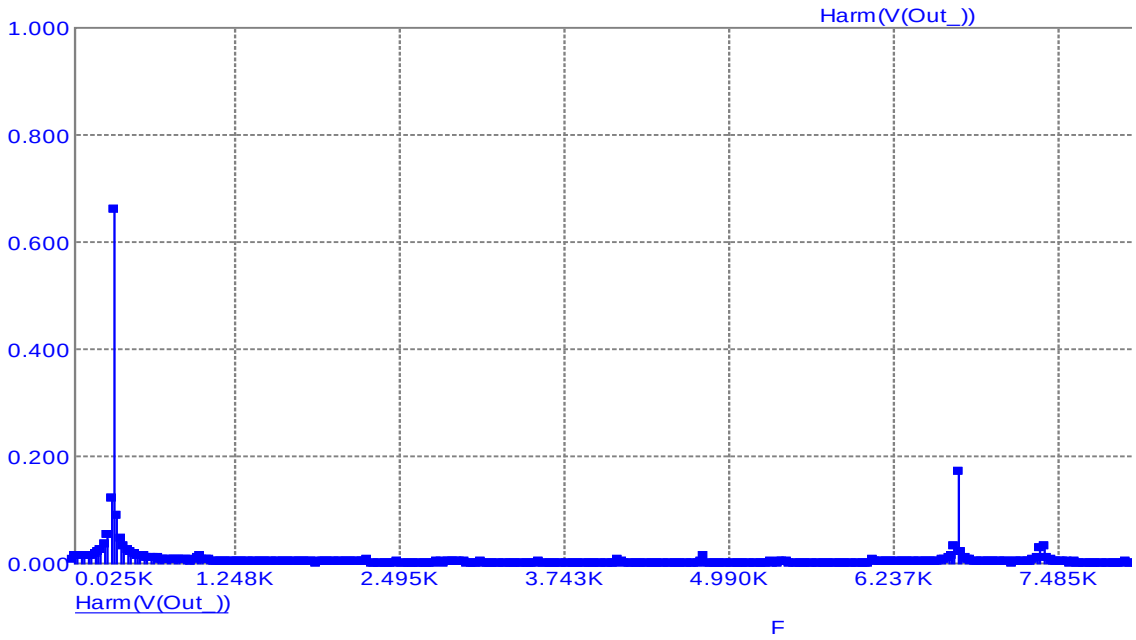


Рисунок 5.8 – Спектр вихідного сигналу цифрового скремблера при подачі на вхід тестового сигналу з частотою 3200 Гц

З рисунку видно, що в частотному спектрі вихідного сигналу: відсутня частота генератора. Окрім того, складова частотою 300 Гц нижньої бічної смуги присутня разом з дзеркальною складовою частотою 6700 Гц з верхньої бічної смуги. Це пояснюється неідеальністю АЧХ вихідного фільтру.

Виконане комп`ютерне моделювання роботи схеми цифрового скремблера мовного сигналу підтвердило її працездатність. Доведено, що використання частотних перетворень в запропонованій схемі забезпечує надійне закриття мовного сигналу. Але комп`ютерне моделювання виявило також зниження якості вихідного сигналу, що може призводити до низької розбірливості мовного сигналу.

Тому найбільш доцільним є у цифровому методі скремблювання виконувати аналого-цифрове перетворення з більшою розрядністю (до 12 двійкових розрядів) з подальшим цифровим обробленням мовних сигналів на базі застосування швидких алгоритмів дискретного перетворення Фур’є. Таке застосування алгоритмів цифрового оброблення дозволить підвищити якість відтворення мовного сигналу та ступінь закриття мовного сигналу.

6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Науково-технічна розробка має право на існування та впровадження, якщо вона відповідає вимогам часу, як в напрямку науково-технічного прогресу та і в плані економіки. Тому для науково-дослідної роботи необхідно оцінювати економічну ефективність результатів виконаної роботи.

Магістерська кваліфікаційна робота «Цифровий скремблер мовних сигналів» відноситься до науково-технічних робіт, які орієнтовані на виведення на ринок (або рішення про виведення науково-технічної розробки на ринок може бути прийнято у процесі проведення самої роботи), тобто коли відбувається так звана комерціалізація науково-технічної розробки. Цей напрямок є пріоритетним, оскільки результатами розробки можуть користуватися інші споживачі, отримуючи при цьому певний економічний ефект. Але для цього потрібно знайти потенційного інвестора, який би взявся за реалізацію цього проекту і переконати його в економічній доцільності такого кроку.

Для наведеного випадку нами мають бути виконані такі етапи робіт:

1) проведено комерційний аудит науково-технічної розробки, тобто встановлення її науково-технічного рівня та комерційного потенціалу;

2) розраховано витрати на здійснення науково-технічної розробки;

3) розрахована економічна ефективність науково-технічної розробки у випадку її впровадження і комерціалізації потенційним інвестором і проведено обґрунтування економічної доцільності комерціалізації потенційним інвестором.

6.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки

Метою проведення комерційного і технологічного аудиту дослідження за темою «Цифровий скремблер мовних сигналів» є оцінювання науково-технічного рівня та рівня комерційного потенціалу розробки, створеної в результаті науково-технічної діяльності.

Оцінювання науково-технічного рівня розробки та її комерційного потенціалу рекомендується здійснювати із застосуванням 5-ти бальної системи оцінювання за 12-ма критеріями, наведеними в табл. 6.1 **[**16**]**.

Таблиця 6.1 – Рекомендовані критерії оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки та бальна оцінка

Бали (за 5-ти бальною шкалою)					
	0	1	2	3	4
Технічна здійсненність концепції					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено працездатність продукту в реальних умовах
Ринкові переваги (недоліки)					
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів
4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші,	Технічні та споживчі влас-тивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
Ринкові перспективи					
6	Ринок малий і не має позитивної	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкурентів немає
Практична здійсненність					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витрачати значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї

Продовження таблиці 6.1

9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово промисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років
12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Результати оцінювання науково-технічного рівня та комерційного потенціалу науково-технічної розробки потрібно звести до таблиці 6.2.

За результатами розрахунків, наведених в таблиці 6.2, зробимо висновок щодо науково-технічного рівня і рівня комерційного потенціалу розробки. При цьому використаємо рекомендації, наведені в табл. 6.3 **[**16**]**.

Таблиця 6.2 – Результати оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки експертами

Критерії	Експерт (ПІБ, посада)		
	1	2	3
	Бали:		
1. Технічна здійсненність концепції	4	5	4
2. Ринкові переваги (наявність аналогів)	3	2	3
3. Ринкові переваги (ціна продукту)	4	4	3
4. Ринкові переваги (технічні властивості)	3	3	3
5. Ринкові переваги (експлуатаційні витрати)	2	2	2
6. Ринкові перспективи (розмір ринку)	3	3	3
7. Ринкові перспективи (конкуренція)	2	2	2
8. Практична здійсненність (наявність фахівців)	5	5	5
9. Практична здійсненність (наявність фінансів)	2	3	2
10. Практична здійсненність (необхідність нових матеріалів)	4	5	5
11. Практична здійсненність (термін реалізації)	3	4	5
12. Практична здійсненність (розробка документів)	4	5	4
Сума балів	39	43	41
Середньоарифметична сума балів $СБ_с$	41,0		

Таблиця 6.3 – Науково-технічні рівні та комерційні потенціали розробки

Середньоарифметична сума балів СБ, розрахована на основі висновків експертів	Науково-технічний рівень та комерційний потенціал розробки
41…48	Високий
31…40	Вище середнього
21…30	Середній
11…20	Нижче середнього
0…10	Низький

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою «Цифровий скремблер мовних сигналів» становить 41,0 бала, що, відповідно до таблиці 6.3, свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки високий).

6.2 Розрахунок узагальненого коефіцієнта якості розробки

Окрім комерційного аудиту розробки доцільно також розглянути технічний рівень якості розробки, розглянувши її основні технічні показники. Ці показники по-різному впливають на загальну якість проектної розробки.

Узагальнений коефіцієнт якості ($B_н$) для нового технічного рішення розрахуємо за формулою **[**17**]**:

$$B_н = \sum_{i=1}^{k} \alpha_i \cdot \beta_i \,, \tag{6.1}$$

де k – кількість найбільш важливих технічних показників, які впливають на якість нового технічного рішення;

α_i – коефіцієнт, який враховує питому вагу *і-го* технічного показника в загальній якості розробки. Коефіцієнт α_i визначається експертним шляхом і при цьому має виконуватись умова $\sum_{i=1}^{k} \alpha_i = 1$;

β_i – відносне значення *і-го* технічного показника якості нової розробки.

Відносні значення β_i для різних випадків розраховуємо за такими формулами:

- для показників, зростання яких вказує на підвищення в лінійній залежності якості нової розробки:

$$\beta_i = \frac{I_{ні}}{I_{аі}} \,, \tag{6.2}$$

де $I_{ні}$ та $I_{на}$ – чисельні значення конкретного *і*-го технічного показника якості відповідно для нової розробки та аналога;

- для показників, зростання яких вказує на погіршення в лінійній залежності якості нової розробки:

$$\beta_i = \frac{I_{аі}}{I_{ні}} \,; \tag{6.3}$$

Використовуючи наведені залежності можемо проаналізувати та порівняти техніко-економічні характеристики аналогу та розробки на основі отриманих наявних та проектних показників, а результати порівняння зведемо до таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 – Порівняння основних параметрів розробки та аналога.

Показники (параметри)	Одиниця вимірю-вання	Аналог	Проектований пристрій	Відношення параметрів нової розробки до аналога	Питома вага показника
1. Смуга робочих частот	кГц	0,3-3,4	0,3-3,4	1	0,3
2. Динамічний діапазон	дБ	35	40	1,14	0,1
3. Споживана потужність	Вт	1	0,5	2	0,25
4. Напрацювання збою	год	5200	7800	1,5	0,1
5. Амплітуда завади	В	2,4	7,5	3,75	0,25

Узагальнений коефіцієнт якості ($B_н$) для нового технічного рішення складе:

$$B_н = \sum_{i=1}^{k} \alpha_i \cdot \beta_i = 1 \cdot 0,3 + 1,14 \cdot 0,1 + 2 \cdot 0,25 + 1,5 \cdot 0,1 + 3,75 \cdot 0,25 = 2,00.$$

Отже за технічними параметрами, згідно узагальненого коефіцієнту якості розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 2,00 рази.

6.3 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи

Витрати, пов’язані з проведенням науково-дослідної роботи на тему «Цифровий скремблер мовних сигналів», під час планування, обліку і калькулювання собівартості науково-дослідної роботи групуємо за відповідними статтями.

6.3.1 Витрати на оплату праці

До статті «Витрати на оплату праці» належать витрати на виплату основної та додаткової заробітної плати керівникам відділів, лабораторій, секторів і груп, науковим, інженерно-технічним працівникам, конструкторам, технологам, креслярам, копіювальникам, лаборантам, робітникам, студентам, аспірантам та іншим працівникам, безпосередньо зайнятим виконанням конкретної теми, обчисленої за посадовими окладами, відрядними розцінками, тарифними ставками згідно з чинними в організаціях системами оплати праці.

Основна заробітна плата дослідників

Витрати на основну заробітну плату дослідників ($З_о$) розраховуємо у відповідності до посадових окладів працівників, за формулою **[**16**]**:

$$З_о = \sum_{i=1}^{k} \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p}, \qquad (6.4)$$

де k – кількість посад дослідників залучених до процесу досліджень;

M_{ni} – місячний посадовий оклад конкретного дослідника, грн;

t_i – число днів роботи конкретного дослідника, дн.;

T_p – середнє число робочих днів в місяці, T_p=21 дні.

$$З_о = 16850{,}00 \cdot 28 / 21 = 22466{,}67 \; грн.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 6.5.

Таблиця 6.5 – Витрати на заробітну плату дослідників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн
Керівник проекту	16850,00	802,38	28	22466,67
Інженер-розробник РЕА	15600,00	742,86	28	20800,00
Технік	8050,00	383,33	21	8050,00
Всього				51316,67

Основна заробітна плата робітників

Витрати на основну заробітну плату робітників ($З_р$) за відповідними найменуваннями робіт НДР на тему «Цифровий скремблер мовних сигналів» розраховуємо за формулою:

$$З_р = \sum_{i=1}^{n} C_i \cdot t_i \,, \qquad (6.5)$$

де C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, грн/год;

t_i – час роботи робітника при виконанні визначеної роботи, год.

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду C_i можна визначити за формулою:

$$C_i = \frac{М_М \cdot К_і \cdot К_с}{Т_р \cdot t_{зм}}, \qquad (6.6)$$

де $М_М$ – розмір прожиткового мінімуму працездатної особи, або мінімальної місячної заробітної плати (в залежності від діючого законодавства), приймемо *Мм*=6700,00 грн;

$К_і$ – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду (табл. Б.2, додаток Б) **[**16**]**;

$К_с$ – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормальними умовами праці виробничих об'єднань і підприємств до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати.

$Т_р$ – середнє число робочих днів в місяці, приблизно $Т_р$ = 21 дн;

$t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

$$C_1 = 6700{,}00 \cdot 1{,}10 \cdot 1{,}35 \,/\, (21 \cdot 8) = 59{,}22 \text{ грн.}$$
$$З_{р1} = 59{,}22 \cdot 5{,}40 = 319{,}81 \text{ грн.}$$

Додаткова заробітна плата дослідників та робітників

Додаткову заробітну плату розраховуємо як 10 … 12% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$З_{дод} = (З_о + З_р) \cdot \frac{Н_{дод}}{100\%}, \qquad (6.7)$$

де $Н_{дод}$ – норма нарахування додаткової заробітної плати. Приймемо 11%.

$З_{дод} = (51316{,}67 + 3744{,}25) \cdot 11 \,/\, 100\% = 6056{,}70$ грн.

Таблиця 6.6 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість роботи, год	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн.	Величина оплати на робітника, грн.
Підготовка робочого місця розробника РЕА	5,40	2	1,10	59,22	319,81
Інсталяція програмного забезпечення середовища розробки і моделювання	7,30	3	1,35	72,68	530,59
Компіляція програмних блоків моделювання	5,80	4	1,50	80,76	468,40
Контроль комплектуючих та матеріалів	10,50	5	1,70	91,53	961,03
Монтаж компонентів дослідного пристрою	16,00	5	1,70	91,53	1464,43
Всього					3744,25

6.3.2 Відрахування на соціальні заходи

Нарахування на заробітну плату дослідників та робітників розраховуємо як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати дослідників і робітників за формулою:

$$З_н = (З_о + З_р + З_{дод}) \cdot \frac{Н_{зп}}{100\%} \quad (6.8)$$

де $Н_{зп}$ – норма нарахування на заробітну плату. Приймаємо 22%.

Зн = (51316,67 + 3744,25 + 6056,70) · 22 / 100% = 13445,88 грн.

6.3.3 Сировина та матеріали

До статті «Сировина та матеріали» належать витрати на сировину, основні та допоміжні матеріали, інструменти, пристрої та інші засоби і предмети праці, які придбані у сторонніх підприємств, установ і організацій

та витрачені на проведення досліджень за темою «Цифровий скремблер мовних сигналів».

Витрати на матеріали (*М*), у вартісному вираженні розраховуються окремо по кожному виду матеріалів за формулою:

$$M = \sum_{j=1}^{n} H_j \cdot Ц_j \cdot К_j - \sum_{j=1}^{n} B_j \cdot Ц_{вj}, \qquad (6.9)$$

де H_j – норма витрат матеріалу *j*-го найменування, кг;

n – кількість видів матеріалів;

$Ц_j$ – вартість матеріалу *j*-го найменування, грн/кг;

$К_j$ – коефіцієнт транспортних витрат, ($К_j$ = *1,1 … 1,15*);

B_j – маса відходів *j*-го найменування, кг;

$Ц_{вj}$ – вартість відходів *j*-го найменування, грн/кг.

M_1 = *3,0 · 206,00 · 1,02 - 0,0 · 0,0 = 630,36 грн.*

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 6.7.

Таблиця 6.7 – Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 кг, грн	Норма витрат, кг	Величина відходів, кг	Ціна відходів, грн/кг	Вартість витраченого матеріалу, грн
Папір офісний А4 білий (80%)	206,00	3,0	0,0	0,0	630,36
Диск оптичний (CD-R)	27,00	2,0	0,0	0,0	55,08
Органайзер офісний BOX-16A	198,00	4,0	0,0	0,0	807,84
Канцелярське приладдя	216,00	4,0	0,0	0,0	881,28
Тонер HP-26 (для заправки картриджа)	218,00	2,0	0,0	0,0	444,72
FLASH-пам’ять	219,00	2,0	0,0	0,0	446,76
Припій ПОС	560,00	0,020	0,0	0,0	11,42
Флюс	420,00	0,010	0,0	0,0	4,28
Всього					3281,75

6.3.4 Розрахунок витрат на комплектуючі

Витрати на комплектуючі *($К_в$)*, які використовують при проведенні НДР на тему «Цифровий скремблер мовних сигналів», розраховуємо, згідно з їхньою номенклатурою, за формулою:

$$К_в = \sum_{j=1}^{n} Н_j \cdot Ц_j \cdot К_j \qquad (6.10)$$

де $Н_j$ – кількість комплектуючих *j*-го виду, шт.;

$Ц_j$ – покупна ціна комплектуючих *j*-го виду, грн;

$К_j$ – коефіцієнт транспортних витрат, ($К_j$ = *1,1 … 1,15*).

$К_в = 4 \cdot 85,00 \cdot 1,01 = 343,40$ *грн.*

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 6.8.

Таблиця 6.8 – Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, грн	Сума, грн
К561ИР6	4	85,00	343,40
К561КТ3	2	74,00	149,48
К537РУ9	1	55,00	55,55
К1561ИЕ20	2	110,00	222,20
К564ПУ4	2	75,00	151,50
К561ТМ2	2	80,00	161,60
К561ЛС2	3	77,00	233,31
К1113ПВ1А	1	112,00	113,12
К572ПА1	1	55,00	55,55
К1401УД2Б	1	105,00	106,05
К561ЛА7	1	72,00	72,72
К561ЛА8	1	72,00	72,72
К561ЛЕ5	1	72,00	72,72
К561ЛН2	1	72,00	72,72
К1561ЛИ1	2	110,00	222,20
КА1603РЕ1	1	125,00	126,25
КР1014КТ1А	1	115,00	116,15
Всього			2347,24

6.3.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на виготовлення та придбання спецустаткування необхідного для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, виготовлення, транспортування, монтаж та встановлення.

Балансову вартість спецустаткування розраховуємо за формулою:

$$B_{спец} = \sum_{i=1}^{k} Ц_i \cdot C_{пр.i} \cdot K_i \ , \qquad (6.11)$$

де $Ц_i$ – ціна придбання одиниці спецустаткування даного виду, марки, грн;

$C_{пр.i}$ –кількість одиниць устаткування відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує доставку, монтаж, налагодження устаткування тощо, (K_i = *1,10…1,12);*

k – кількість найменувань устаткування.

$B_{спец} = 8399{,}00 \cdot 1 \cdot 1{,}02 = 8566{,}98$ *грн.*

Отримані результати зведемо до таблиці 6.9.

Таблиця 6.9 – Витрати на придбання спецустаткування по кожному виду

Найменування устаткування	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Осцилограф С1-92	1	8399,00	8566,98
Генератор Г3-34	1	6999,00	7138,98
Всього			15705,96

6.3.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на розробку та придбання спеціальних програмних засобів і програмного забезпечення, (програм, алгоритмів, баз даних) необхідних для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, формування та встановлення.

Балансову вартість програмного забезпечення розраховуємо за формулою:

$$B_{прг} = \sum_{i=1}^{k} Ц_{iпрг} \cdot C_{прг.i} \cdot K_i \ , \qquad (6.12)$$

де $Ц_{iпрг}$ – ціна придбання одиниці програмного засобу даного виду, грн;

$C_{прг.i}$ – кількість одиниць програмного забезпечення відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує інсталяцію, налагодження програмного засобу тощо, (K_i = *1,10…1,12);*

k – кількість найменувань програмних засобів.

$B_{прг} = 7499,00 \cdot 1 \cdot 1,05 = 7873,95$ *грн.*

Отримані результати зведемо до таблиці 6.10.

Таблиця 6.10 – Витрати на придбання програмних засобів по кожному виду

Найменування програмного засобу	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Пакет прикладного програмного забезпечення розробки РЕА ПЗ WorkBench 5.12	1	7499,00	7873,95
Всього			7873,95

6.3.7 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень

В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання, приміщень та програмному забезпеченню тощо, розраховуємо з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою:

$$A_{обл} = \frac{Ц_б}{T_в} \cdot \frac{t_{вик}}{12} \ , \qquad (6.13)$$

де $Ц_б$ – балансова вартість обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, які використовувались для проведення досліджень, грн;

$t_{вик}$ – термін використання обладнання, програмних засобів, приміщень під час досліджень, місяців;

$T_в$ – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

$A_{обл} = (38699,00 \cdot 2) / (2 \cdot 12) = 3224,92$ *грн.*

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 6.11.

Таблиця 6.11 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн
Електронний комплекс аналітичної системи обробки даних	38699,00	2	2	3224,92
Персональний комп'ютер розробника РЕА	21299,00	2	2	1774,92
Спеціалізоване робоче місце розробника РЕА	7500,00	5	2	250,00
Пристрій виводу текстової інформації	6520,00	4	2	271,67
Оргтехніка	7399,00	5	2	246,63
Приміщення лабораторії досліджень	450000,00	25	2	3000,00
ОС Windows 11	6510,00	2	2	542,50
Прикладний пакет Microsoft Office 2019	6490,00	2	2	540,83
Всього				9851,47

6.3.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей

Витрати на силову електроенергію (B_e) розраховуємо за формулою:

$$B_e = \sum_{i=1}^{n} \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot Ц_e \cdot K_{вni}}{\eta_i}, \quad (6.14)$$

де W_{yi} – встановлена потужність обладнання на визначеному етапі розробки, кВт;

t_i – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

$Ц_e$ – вартість 1 кВт-години електроенергії, грн; (вартість електроенергії визначається за даними енергопостачальної компанії), приймемо $Ц_e$ = 7,50 грн;

$K_{впі}$ – коефіцієнт, що враховує використання потужності, $K_{впі} < 1$;

η_i – коефіцієнт корисної дії обладнання, $\eta_i < 1$.

$B_e = 0,36 \cdot 200,0 \cdot 7,50 \cdot 0,95 / 0,97 = 540,00$ *грн.*

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 6.12.

Таблиця 6.12 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, грн
Електронний комплекс аналітичної системи обробки даних	0,36	200,0	540,00
Персональний комп'ютер розробника РЕА	0,25	200,0	375,00
Спеціалізоване робоче місце розробника РЕА	0,10	200,0	150,00
Пристрій виводу текстової інформації	0,20	3,7	5,55
Оргтехніка	0,45	1,5	5,06
Осцилограф С1-92	0,32	95,0	228,00
Генератор Г3-34	0,20	95,0	142,50
Всього			1446,11

6.3.9 Службові відрядження

До статті «Службові відрядження» дослідної роботи на тему «Цифровий скремблер мовних сигналів» належать витрати на відрядження штатних працівників, працівників організацій, які працюють за договорами цивільно-правового характеру, аспірантів, зайнятих розробленням досліджень, відрядження, пов’язані з проведенням випробувань машин та приладів, а також витрати на відрядження на наукові з’їзди, конференції, наради, пов’язані з виконанням конкретних досліджень.

Витрати за статтею «Службові відрядження» розраховуємо як 20…25% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{св} = (З_о + З_р) \cdot \frac{H_{св}}{100\%}, \qquad (6.15)$$

де $H_{св}$ – норма нарахування за статтею «Службові відрядження», приймемо $Н_{св} = 20\%$.

$B_{св} = (51316,67 + 3744,25) \cdot 20 / 100\% = 11012,18$ *грн.*

6.3.10 Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації

Витрати за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації» розраховуємо як 30…45% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{сп} = (З_о + З_р) \cdot \frac{Н_{сп}}{100\%}, \quad (6.16)$$

де $Н_{сп}$ – норма нарахування за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації», приймемо $Н_{сп}$= 30%.

$B_{сп} = (51316,67 + 3744,25) \cdot 30 / 100\% = 16518,28$ *грн.*

6.3.11 Інші витрати

До статті «Інші витрати» належать витрати, які не знайшли відображення у зазначених статтях витрат і можуть бути віднесені безпосередньо на собівартість досліджень за прямими ознаками.

Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуємо як 50…100% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$І_в = (З_о + З_р) \cdot \frac{Н_{ів}}{100\%}, \quad (6.17)$$

де $Н_{ів}$ – норма нарахування за статтею «Інші витрати», приймемо $Н_{ів}$ = 50%.

$І_в = (51316,67 + 3744,25) \cdot 50 / 100\% = 27530,46$ *грн.*

6.3.12 Накладні (загальновиробничі) витрати

До статті «Накладні (загальновиробничі) витрати» належать: витрати, пов’язані з управлінням організацією; витрати на винахідництво та раціоналізацію; витрати на підготовку (перепідготовку) та навчання кадрів; витрати, пов’язані з набором робочої сили; витрати на оплату послуг банків; витрати, пов’язані з освоєнням виробництва продукції; витрати на науково-технічну інформацію та рекламу та ін.

Витрати за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати» розраховуємо як 100…150% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{нзв} = (З_о + З_р) \cdot \frac{Н_{нзв}}{100\%}, \quad (6.18)$$

де $Н_{нзв}$ – норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати», приймемо $Н_{нзв}$ = 105%.

$B_{нзв}$ = (51316,67 + 3744,25) · 105 / 100% = 57813,97 грн.

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Цифровий скремблер мовних сигналів» розраховуємо як суму всіх попередніх статей витрат за формулою:

$$B_{заг} = З_о + З_р + З_{дод} + З_н + М + К_в + B_{спец} + B_{прг} + A_{обл} + B_е + B_{св} + B_{сп} + I_в + B_{нзв}. \quad (4.19)$$

$B_{заг}$= 51316,67 +3744,25 +6056,70 +13445,88 +3281,75 +2347,24 +15705,96 + 7873,95 + 9851,47 +1446,11 +11012,18 +16518,28 +27530,46 +57813,97 = 227944,86 грн.

Загальні витрати *ЗВ* на завершення науково-дослідної (науково-технічної) роботи та оформлення її результатів розраховується за формулою:

$$ЗВ = \frac{B_{заг}}{\eta}, \quad (6.20)$$

де η - коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання науково-дослідної роботи, приймемо η=0,9.

ЗВ = 227944,86 / 0,9 = 253272,07 грн.

6.4 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки при її можливій комерціалізації потенційним інвестором

В ринкових умовах узагальнюючим позитивним результатом, що його може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження результатів тієї чи іншої науково-технічної розробки, є збільшення у потенційного інвестора величини чистого прибутку.

Результати дослідження проведені за темою «Цифровий скремблер мовних сигналів» передбачають комерціалізацію протягом 4-х років реалізації на ринку.

В цьому випадку майбутній економічний ефект буде формуватися на основі таких даних:

ΔN – збільшення кількості споживачів пристрою, у періоди часу, що аналізуються, від покращення його певних характеристик;

Показник	1-й рік	2-й рік	3-й рік	4-й рік
Збільшення кількості споживачів, осіб	1000	1100	1000	700

N – кількість споживачів які використовували аналогічний пристрій у році до впровадження результатів нової науково-технічної розробки, приймемо 0 осіб;

$Ц_б$ – вартість пристрою у році до впровадження результатів розробки, приймемо 0,00 грн;

$\pm\Delta Ц_о$ – зміна вартості пристрою від впровадження результатів науково-технічної розробки, приймемо вартість нової розробки 5500,00 грн.

Можливе збільшення чистого прибутку у потенційного інвестора $\Delta П_i$ для кожного із 4-х років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, розраховуємо за формулою **[**16**]:**

$$\Delta П_i = (\pm\Delta Ц_о \cdot N + Ц_о \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot (1 - \frac{\vartheta}{100}), \qquad (6.21)$$

де λ – коефіцієнт, який враховує сплату потенційним інвестором податку на додану вартість. У 2023 році ставка податку на додану вартість складає 20%, а коефіцієнт $\lambda = 0{,}8333$;

ρ – коефіцієнт, який враховує рентабельність інноваційного продукту). Приймемо ρ =40%;

ϑ – ставка податку на прибуток, який має сплачувати потенційний інвестор, у 2023 році $\vartheta = 18\%$;

Збільшення чистого прибутку 1-го року:

$\Delta П_1 = (5500{,}00 \cdot 0{,}00 + 5500{,}00 \cdot 1000) \cdot 0{,}83 \cdot 0{,}4 \cdot (1 - 0{,}18/100\%) = 1497320{,}00$ грн.

Збільшення чистого прибутку 2-го року:

$\Delta П_2 = (5500{,}00 \cdot 0{,}00 + 5500{,}00 \cdot 2100) \cdot 0{,}83 \cdot 0{,}4 \cdot (1 - 0{,}18/100\%) = 3144372{,}00$ грн.

Збільшення чистого прибутку 3-го року:

$\Delta П_3 = (5500{,}00 \cdot 0{,}00 + 5500{,}00 \cdot 3100) \cdot 0{,}83 \cdot 0{,}4 \cdot (1 - 0{,}18/100\%) = 4641692{,}00$ грн.

Збільшення чистого прибутку 4-го року:

$\Delta П_4 = (5500{,}00 \cdot 0{,}00 + 5500{,}00 \cdot 3800) \cdot 0{,}83 \cdot 0{,}4 \cdot (1 - 0{,}18/100\%) = 5689816{,}00$ грн.

Приведена вартість збільшення всіх чистих прибутків *ПП*, що їх може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки:

$$ПП = \sum_{i=1}^{T} \frac{\Delta П_i}{(1+\tau)^t}, \qquad (6.22)$$

де $\Delta П_i$ – збільшення чистого прибутку у кожному з років, протягом яких виявляються результати впровадження науково-технічної розробки, грн;

T – період часу, протягом якого очікується отримання позитивних результатів від впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, роки;

τ – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні, $\tau = 0{,}15$;

t – період часу (в роках) від моменту початку впровадження науково-технічної розробки до моменту отримання потенційним інвестором додаткових чистих прибутків у цьому році.

$ПП = 1497320{,}00/(1+0{,}15)^1 + 3144372{,}00/(1+0{,}15)^2 + 4641692{,}00/(1+0{,}15)^3 +$

$+ 5689816{,}00/(1+0{,}15)^4 = 1302017{,}39 + 2377596{,}98 + 3051987{,}84 + 3253170{,}76 =$

$= 9984772{,}97$ грн.

Величина початкових інвестицій PV, які потенційний інвестор має вкласти для впровадження і комерціалізації науково-технічної розробки:

$$PV = k_{інв} \cdot ЗВ, \quad (6.23)$$

де $k_{інв}$ – коефіцієнт, що враховує витрати інвестора на впровадження науково-технічної розробки та її комерціалізацію, приймаємо $k_{інв}$=2;

$ЗВ$ – загальні витрати на проведення науково-технічної розробки та оформлення її результатів, приймаємо 253272,07 грн.

$$PV = k_{інв} \cdot ЗВ = 2 \cdot 253272{,}07 = 506544{,}13 \text{ грн.}$$

Абсолютний економічний ефект $E_{абс}$ для потенційного інвестора від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки становитиме:

$$E_{абс} = ПП - PV \quad (6.24)$$

де $ПП$ – приведена вартість зростання всіх чистих прибутків від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, 9984772,97 грн;

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, 506544,13 грн.

$E_{абс} = ПП - PV$ = 9984772,97 - 506544,13 = 9478228,83 грн.

Внутрішня економічна дохідність інвестицій $E_в$, які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки:

$$E_в = \sqrt[Tж]{1 + \frac{E_{абс}}{PV}} - 1, \quad (6.25)$$

де $E_{абс}$ – абсолютний економічний ефект вкладених інвестицій, 9478228,83 грн;

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, 506544,13 грн;

$T_{ж}$ – життєвий цикл науково-технічної розробки, тобто час від початку її розробки до закінчення отримування позитивних результатів від її впровадження, 4 роки.

$$E_{в} = \sqrt[Tж]{1+\frac{E_{абс}}{PV}} - 1 = (1+9478228,83/506544,13)^{1/4} = 1,11.$$

Мінімальна внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій $\tau_{мін}$:

$$\tau_{мін} = d + f, \tag{6.26}$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2023 році в Україні d =0,11;

f – показник, що характеризує ризикованість вкладення інвестицій, приймемо 0,4.

$\tau_{мін}$ = 0,11+0,4 = 0,51 < 1,11 свідчить про те, що внутрішня економічна дохідність інвестицій $E_{в}$, які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки вища мінімальної внутрішньої дохідності. Тобто інвестувати в науково-дослідну роботу за темою «Цифровий скремблер мовних сигналів» доцільно.

Період окупності інвестицій $T_{ок}$ які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки:

$$T_{ок} = \frac{1}{E_{в}}, \tag{6.27}$$

де $E_{в}$ – внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій.

$T_{ок}$ = 1 / 1,11 = 0,90 р.

$T_{ок}$ < 3-х років, що свідчить про комерційну привабливість науково-технічної розробки і може спонукати потенційного інвестора профінансувати впровадження даної розробки та виведення її на ринок.

Висновки до розділу

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою «Цифровий скремблер мовних сигналів» становить 41,0 бала, що, свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки високий).

При оцінюванні за технічними параметрами, згідно узагальненого коефіцієнту якості розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 2,00 рази.

Також термін окупності становить 0,90 р., що менше 3-х років, що свідчить про комерційну привабливість науково-технічної розробки і може спонукати потенційного інвестора профінансувати впровадження даної розробки та виведення її на ринок.

Отже можна зробити висновок про доцільність проведення науково-дослідної роботи за темою «Цифровий скремблер мовних сигналів».

7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Глибокі зміни в організаціях, пов’язані із завершенням переходу держави на нову модель господарювання визначили необхідність пошуку ефективних методів поліпшення умов праці на робочому місці, від яких залежить результативність та ефективність праці. Робоче місце відіграє провідну роль в економіці як підприємства та його структурних підрозділів, так і регіону і держави в цілому.

У приміщенні, де відбувалася розробка цифрового скремблера мовних сигналів присутні такі шкідливі та небезпечні фактори [19]:

– підвищена чи понижена температура повітря робочої зони;

– недостатнє освітлення робочої зони;

– недостатність природного освітлення;

– підвищений рівень шуму на робочому місці;

– відсутність чи нестача природного світла;

– фізичні перевантаження (статичні);

– нервово - психічні перевантаження (перенапруга аналізаторів, емоційні навантаження).

Відповідно до визначених факторів формуємо рекомендації щодо безпечних умов праці під час виконання роботи.

7.1. Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи

Широке промислове та побутове використання ПК актуалізувало питання охорони праці його користувачів. Дотримання вимог цих правил може значно знизити наслідки несприятливої дії на працівників шкідливих та небезпечних факторів, які супроводжують роботу з відеодисплейними матеріалами, зокрема можливість зорових, нервово-емоційних переживань, серцево-судинних захворювань.

Виходячи з цього, роботодавець повинен забезпечити гігієнічні й ергономічні вимоги щодо організації робочих приміщень для експлуатації ПК, робочого середовища, робочих місць з ПК, режиму праці і відпочинку при роботі з ПК тощо, які викладені у Правилах.

Основні вимоги до виробничого приміщення для експлуатації ПК:

– приміщення не може бути розміщено у підвалах та цокольних поверхах;

– площа на одне робоче місце в такому приміщенні повинна становити не менше 6,0м^2, а об’єм не менше 20,0 м^3;

– приміщення повинно мати природне та штучне освітлення відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [23];

– необхідно щоденно проводити вологе прибирання;

– поруч з приміщенням для роботи з ПК мають бути обладнані: побутова кімната для відпочинку під час роботи; кімната психологічного розвантаження.

Організація робочого місця користувача комп’ютера повинна забезпечувати відповідність усіх елементів робочого місця та їх взаємного розташування ергономічним вимогам. Виконуючи практичні завдання щодо використання робочої пози, потрібно:

– зменшувати величину статичних напружень;

– розподіляти статичні напруження;

– передбачати можливість змін пози під час роботи.

Для роботи операторів ПК у положенні сидячи рекомендовані такі параметри робочого простору: ширина - не менше 700 мм, глибина - не менше 400 мм, висота робочої поверхні над підлогою – 700 …750 мм. Під робочою поверхнею необхідно передбачити простір для ніг: висота - менше 600 мм, ширина - не менше 500 мм, глибина - не менше 400 мм. За необхідності огляду робочого місця його висота не повинна перевищувати 1200 мм

Під час роботи сидячи нижня частина корпуса розслаблена, а основне статичне навантаження припадає на м'язи шиї, спини, таза, стегон. Неправильна сидяча поза може викликати застій крові в ногах, а якщо виконується великий обсяг роботи для пальців рук – запалення суглобів.

При проектуванні письмового столу варто враховувати наступне:

– висота столу повинна бути обрана з урахуванням можливості сидіти вільно, у зручній позі, при необхідності спираючи на підлокітники;

– нижня частина столу повинна бути сконструйована так, щоб оператор міг зручно сидіти, не був змушений підбирати ноги;

– поверхня столу повинна мати властивості, що виключають появу відблисків у поле зору оператора;

– конструкція столу повинна передбачати наявність висувних шухляд (не менш 3-х для збереження документації, канцелярського приладдя, особистих речей).

На робочому місці розробника цифрового скремблера мовних сигналів існує небезпека поразки електричним струмом. Електричний струм, впливаючи на тіло людини, може заподіяти йому явні чи приховані пошкодження, в тому числі опіки всього тіла або окремих його ділянок; електричні удари характерні внутрішніми ушкодженнями тощо.

Приміщення, де виконується робота, згідно ПУЕ «Правила влаштування електроустановок» класифікується як приміщення без підвищеної небезпеки [29].

Безпечна експлуатація електроустановок здійснюється у відповідності з вимогами ПУЕ [29] та «Правила безпечної експлуатації електроустановок» [25] і передбачає такі заходи та засоби:

– недоступність струмоведучих частин, прокладання електрокабелів під підлогою, в спеціальних каналах, скрите виконання освітлювальної проводки, ізоляцію струмо-провідних елементів ($R_{із} \geq 0.5$ МОм);

– захисне заземлення всіх металевих струмопровідних частин електроустановок та ПК ($R_{з\ доп} \leq$ 4 Ом);

– використання пониженої напруги 36 В (для аварійного освітлення щита) в операторському пункті та виробничому приміщені;

– застосування попереджувальної сигналізації, написів, плакатів при проведенні планово-попереджувальних ремонтів і профілактичних випробувань електрообладнання;

– проведення організаційних заходів (спеціальне навчання, атестація та переатестація осіб електротехнічного персоналу, інструктажі тощо).

7.2. Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

7.2.1 Мікроклімат

Температура, відносна вологість, швидкість руху повітря біля тіла людини, а також температура стін і навколишніх предметів утворюють мікроклімат на робочому місці. Температуру, відносну вологість і швидкість руху повітря вимірюють на висоті 1,0 м від підлоги або робочої площадки при роботах, що виконуються сидячи, і на висоті 1,5 м – при роботах, що виконуються стоячи, і не ближче 1 м від нагрівальних приладів і зовнішніх стін.

Робота, яка виконується розробником цифрового скремблера мовних сигналів згідно за енерговитратами відноситься до категорії I а (енерговитрати до 139Дж/с) [18]. Допустимі параметри мікроклімату для цієї категорії наведені в табл.7.1.

Таблиця 7.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Допустимі		
	t,°C	W, %	V, м/с
Теплий	22-28	55	0,1-0,2
Холодний	21-25	75	0,1

Для забезпечення комфортних умов використовуються як організаційні методи (раціональна організація проведення робіт залежно від пори року і доби, чергування праці і відпочинку), так і технічні засоби (вентиляція, кондиціонування повітря, опалювальна система).

7.2.2. Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується граничнодопустимими концентраціями (ГДК) в мг/м^3 згідно ДСН 3.3.6.042-99 [27]. Джерелами запиленості повітря в приміщенні є одяг людей і пил, що проникає з вулиці. У приміщенні немає значного виділення шкідливих газів. ГДК шкідливих речовин, які знаходяться в досліджуваному приміщені, наведені в таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі

Назва речовини	ГДК, мг/м^3		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4
Озон	0,16	0,03	4

Параметри іонного складу повітря на робочому місці, що обладнане ПК, повинні відповідати допустимим нормам (табл.7.3).

Таблиця 7.3 – Рівні іонізації повітря приміщень при роботі на ПК

Рівні	Кількість іонів в 1 см^3	
	n+	n-
Мінімально необхідні	400	600
Оптимальні	1500-3000	3000-5000
Максимально необхідні	50000	50000

Забезпечення складу повітря робочої зони здійснюється за допомогою системи припливно-витяжної вентиляції, регулярного провітрювання, та вологого прибирання.

7.2.3 Виробниче освітлення

Правильно спроектоване освітлення, яке відповідає вимогам санітарних норм здійснює позитивний психологічний вплив на працівника, знижує втому, створює оптимальні умови для роботи органів зору, і тим самим підвищує безпеку праці і знижує травматизм.

Освітлення створюється природним сонячним світлом (природне) і світлом від електричних ламп (штучне). Природне освітлення є найсприятливішим для людини, так як сонячне світло має оптимальний спектр, в ньому наявна достатня кількість ультрафіолетових променів. Штучне освітлення передбачається у приміщеннях, де недостатньо природного світла, і для освітлення у вечірні та нічні години. Норми освітленості при штучному освітленні та КПО (для III пояса світлового клімату) при природному та сумісному освітленні, які необхідно забезпечити під час виконання роботи зазначені у таблиці 7.4 [23]:

Таблиця 7.4 - Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнювання	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, лк		КПО, $e_н$,%			
						Штучне освітлення		Природнє освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове
Високої точності	0,3 – 0,5	III	г	великий	світлий	700	300	5	2	3	1,2

Для забезпечення достатнього освітлення передбачені такі заходи:

1) Максимальне використання бічного природного освітлення.

2) Систематичне очищення скла від бруду.

3) Використання жалюзі на вікнах для регулювання кількості природного світла у приміщенні.

4) Загальне штучне освітлення створюється за допомогою люмінесцентних ламп.

7.2.4 Виробничий шум

Шум визначають як сукупність апериодических звуків різної інтенсивності та частоти. Шум заважає роботі, знижує працездатність і продуктивність праці, при тривалій і інтенсивній дії викликає захворювання організму.

У закритих приміщеннях шум, багаторазово відбиваючись від стін та стелі, посилюється. Тому рекомендується проводити їх акустичну обробку за допомогою звукопоглинальних облицювань з пористих матеріалів, які мають великий коефіцієнт звукопоглинання.

Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є ДСН 3.3.6.037-99 [26].

Таблиця 7.5 - Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах зі середньогеометричними частинами (Гц)									Допуст-мий рівень звуку, дБА
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Виробничі приміщення	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Для зменшення шуму здійснюють своєчасний ремонт та профілактику обладнання.

7.2.5. Виробничі випромінювання

На робочомі місці розробника у зв’язку із експлуатацією електричної апаратури, існує ризик виникнення підвищеного рівня електромагнітного випромінювання.

Ступінь біологічного впливу електромагнітних полів на організм людини залежить від частоти коливань, напруженості та інтенсивності поля, тривалості його впливу.

Підвищений рівень електромагнітних випромінювань шкодить здоров'ю людини. Від цього страждає передусім нервова і серцево-судинна системи, виникають головний біль і перевтома, знижується точність робочих рухів, порушується сон. Електромагнітне випромінювання викликає зміни тиску крові, гіпотонію або гіпертонію.

Рівні електромагнітних випромінювань моніторів, які вважаються безпечними для здоров'я користувачів, регламентуються нормами MPR II 1990:10 Шведського національного комітету з вимірювань та досліджень (табл.7.6) [28, с.348].

Таблиця 7.6 - Допустимі рівні випромінювань моніторів ПК

Вид поля	TCO	MPR II
Змінне електричне поле 5 Гц – 2 кГц 2 кГц – 400 кГц	 10 В/м 1 В/м на відстані 0,3 м від центра екрана і 0,5 м навколо монітора	 2,5 В/м 2,5 В/м на відстані 0,5 м навколо монітора
Змінне магнітне поле 5 Гц – 2 кГц 2 кГц – 400 кГц	 250 нТл 200 мА/м 25 нТл 20 мА/м на відстані 0,3 м від центра екрана і 0,5 м навколо монітора	 250 нТл 200 мА/м 25 нТл 20 мА/м на відстані 0,5 м навколо монітора

Для захисту людини від дії електромагнітних випромінювань використовують обмеження часу перебування персоналу в робочій зоні та встановлюють раціональні режими експлуатації ПК і роботи працюючого персоналу.

7.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях

Дослідження безпеки роботи РЕС цифрового скремблера мовних сигналів в умовах дії загрозливих факторів надзвичайних ситуацій

7.3.1 Дія іонізуючих випромінювань на радіоелектронні системи

Основним об'єктом ядерних досліджень є структура атома. Ядра всіх атомів складаються з дрібних частинок – протонів і нейтронів, які міцно з'єднані одна з одною. Число протонів суворо визначено, а кількість нейтронів у ядрі може бути різною у атомів одного хімічного елемента. Тому можуть існувати різновиди атомів одного й того ж елемента, які відрізняються один від одного масою. Такі атоми називаються ізотопами елемента. Для більшості ізотопів характерна радіоактивність, яка може бути природною і штучною. Природна радіоактивність - це довільний розпад ядер елементів у природному стані. Штучна радіоактивність викликається людиною в лабораторіях, на реакторах АЕС, тощо.

Під час радіоактивного розпаду з ядра виділяється величезна кількість енергії у вигляді іонізуючих випромінювань. Розрізнюють кілька видів іонізуючого випромінювання. Гамма-випромінювання (γ) є найнебезпечнішим джерелом енергії, воно проникає у повітрі на відстань сотень метрів. Бета-випромінювання (β) проникає в повітрі на відстань кількох метрів, а в живих тканинах кількох міліметрів. Альфа-частинки мають найкоротший радіус дії (кілька сантиметрів у повітрі, 0,1 мм у тканинах), а тому небезпечні лише у разі безпосереднього контакту з слизовими оболонками.

В залежності від виду випромінювання, дози радіації, природи опромінюваної речовини та умов навколишнього середовища в значній мірі залежить дія радіації на матеріали та деталі апаратури [31].

До матеріалів, з яких виготовляють елементи радіоелектронних систем (РЕС) відносять: метали, неорганічні матеріали, напівпровідники та різні органічні сполуки (діелектрики, смоли тощо). При цьому метали найбільш чутливі до радіації, оскільки їм властива висока концентрація вільних носіїв.

Робота РЕС в умовах дії радіоактивних випромінювань має такі особливості: РЕС може раптово втратити працездатність при певних рівнях радіації (критичних); в елементах схем РЕС можуть початись зворотні і незворотні процеси.

Для запобігання цього проводяться розрахунки з безпеки роботи в умовах дії радіації та приймаються рішення щодо захисту елементів РЕС.

Для зниження рівня забруднення радіоактивними речовинами використовують дезактивацію.

7.3.2 Оцінка безпеки роботи РЕС приладу в умовах дії іонізуючих випромінювань

Вихідні дані: $К_{посл}=4$.

Проводимо аналіз приладу і визначаємо радіоелектронні елементи, від яких залежить її функціонування: діоди, резистори, конденсатори, напівпровідники, мікросхеми, інтегральні схеми, діелектрики.

Знаходимо максимально допустимі рівні радіації, при яких в елементах можуть виникнути незворотні зміни [31]. Дані заносимо в таблицю 7.7.

Таблиця 7.7 – Максимально допустимі рівні радіації елементів РЕС

№	Елементи РЕС	$Р_{грі}$, Р/с	$Р_{гр}$, Р/с
1	Діоди	10^5	10^4
2	Резистори	10^6	
3	Конденсатори	10^6	
4	Напівпровідники	-	
5	Мікросхеми	10^4	
6	Інтегральні схеми	10^5	
7	Діелектрики	10^4	

Проаналізувавши дані, визначаємо межу стійкості $Р_{гр}$ роботи РЕС, враховуючи коефіцієнт послаблення радіації:

$$Р_{гр}=10^4 \cdot К_{посл}=10^4 \cdot 4=40000 \text{ Р/с}.$$

Оскільки межа стійкості роботи РЕС цифрового скремблера мовних сигналів в умовах дії на них іонізуючих випромінювань значно більша за можливі рівні радіації, то безпека їхньої роботи забезпечується.

Висновки

Досліджено безпеку роботи РЕС цифрового скремблера мовних сигналів в умовах впливу загрозливих чинників НС. Із дослідження впливу іонізуючих випромінювань на безпеку роботи РЕС цифрового скремблера мовних сигналів можна сказати, що межа стійкості роботи в умовах дії на них іонізуючих випромінювань значно більша за можливі рівні радіації, то безпека їхньої роботи забезпечується.

ВИСНОВКИ

У магістерській кваліфікаційній роботі було проведено розробку та дослідження цифрового скремблера мовних сигналів.

Виконано аналіз методів кодування мовних сигналів на базі кодерів каналу. Було розглянуто деякі структурні схеми сучасних скремблерів іноземного виробництва, проведено їх технічний аналіз. Розроблено структурну схему скремблеру, який базується на цифровому методі оброблення вхідного сигналу з перестановкою підпослідовностей сигналу у часовій області. Розроблено цифровий пристрій скремблювання мовних сигналів на вітчизняній елементній базі. Проведено комп'ютерне моделювання роботи ФНЧ та скремблера в цілому, яке підтвердило правильність розрахунків побудованого пристрою.

Розроблений пристрій задовольняє вимогам, що були вказані в завданні.

Параметр згідно завдання	Параметр розробленого пристрою
Живлення від ТЛЗК або акумулятора	Живлення від ТЛЗК або акумулятора
Цифрова реалізація	Цифрова реалізація
Діапазон частот передачі інформації Δf=0,3-3,4 кГц	Діапазон частот передачі інформації Δf=0,16-3,4 кГц
Динамічний діапазон D=35-40 дБ	Динамічний діапазон D=40 дБ
Кількість ключів шифрування –1	Кількість ключів шифрування –1

Розробка та удосконалення даного пристрою є доцільною як з технічної, так і з економічної точки зору. Оскільки ринок насичений ефективними, але дорогими скремблерами, то розробка нового та порівняно дешевого пристрою захисту мовної інформації призведе до попиту на таку продукцію, і, як наслідок, подальший розвиток радіоелектронної промисловості в Україні. Такі скремблери можуть використовуватись в телефонії та у цифровому радіозв`язку.

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ільченко М.Ю., Кравчук С.О. Сучасні телекомунікаційні системи. – К.: НВП “Видавництво “Наукова думка” НАН України”. 2008. – 328 с.

2. Довгий С.О., Воробієнко П.П., Гуляєв К.Д. Сучасні телекомунікації. – К.: Азимут-Україна, 2013. – 608 с.

3. Методи та засоби цифрового оброблення високочастотних сигналів для систем безпеки та моніторингу: монографія / Г. Г. Бортник, М. В. Васильківський, В. М. Кичак. – Вінниця: ВНТУ, 2020. – 126 с.

4. Методи та засоби первинного цифрового оброблення радіосигналів: монографія / Г. Г. Бортник, М. В. Васильківський, В. М. Кичак. Вінниця: ВНТУ, 2016. 168 с.

5. Методи та пристрої оцінювання бітових помилок у телекомунікаційних системах: монографія / В. М. Кичак, Г. Г. Бортник, В. Д. Тромсюк. Вінниця: ВНТУ, 2017. 212 с.

6. Системи рухомого зв'язку : навчальний посібник / О. О. Семенова, А. О. Семенов, В. С. Бєлов. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 185 с.

7. Аудіо-скремблер [Електронний ресурс]. – Режим доступу до публікації: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%83%D0%B4%D1%96%D0%BE-%D1%81%D0%BA%D1%80%D0%B5%D0%BC%D0%B1%D0%BB%D0%B5%D1%80.

8. Рябенький В.М. Жуйков В.Я. Ямненко Ю.С. Заграничний А.В. „Схемотехніка: Пристрої цифрової електроніки. Електронний підручник для вищих навчальних закладів. https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/18970/2/%D0%A1%D0%A2_%D1%82om_2_%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B5_%D0%B2%D0%B8%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F.pdf.

9. Смирнов В. С. Електронні імпульсні пристрої. – Київ: НТУ КПІ, 1998. – 140 с.

10. Цифрова схемотехніка: Підр. у двох томах, том 2. Жуйков В.Я., Бойко В.І., Зорі А.А. та ін. –К.: Аверс, 2002. – 408 с.

11. Операційні підсилювачі. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до публікації: https://blackchip.com.ua/mikroskhemi/op-zagalnogo-zastosuvannya/.

12. Волощук Ю.І. Сигнали та процеси у радіотехніці: підручник, Т.1. – Харків: СМІТ, 2003. – 580 с.

13. Костюк О. А., Лазарєв О. О. Передача та захист інформації на ТКМ: навчальний посібник. В.: ВНТУ, 2006. – 132 с.

13. Бондарчук А.П., Срочинська Г.С., Твердохліб М.Г. Основи інфокомунікаційних технологій: навчальний посібник. К.: АНВА Прінт, 2015. – 76 с.

14. Кривуца В. Г., Беркман Л. Н., Лапінський В. В., Основи інфокомунікацій: навчальний посібник. К.: ДУІКТ, 2011. – 276 с.

15. Волощук Ю.І. Сигнали та процеси у радіотехніці: підручник для студентів вищих навчальних закладів, том 2 / Волощук Ю.І. – Харків: Компанія СМІТ, 2003. – 444 с.

16. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.

17. Кавецький В. В. Економічне обґрунтування інноваційних рішень: практикум / В. В. Кавецький, В. О. Козловський, І. В. Причепа – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 113 с.

18. ДСТУ OHSAS 18002:2015. Системи управління гігієною та безпекою праці. Основні принципи виконання вимог OHSAS 18001:2007 (OHSAS 18002:2008, IDT). К. : ГП «УкрНИУЦ», 2016. 21 с

19. ДСТУ ISO 45001:2019 Системи управління охороною здоров’я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування (ISO 45001:2018, IDT). URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/ doc-page.html?id_doc=88004.

20. НПАОП 0.00-4.12-05. Типове положення про порядок проведення нав□чання і перевірки знань з питань охорони праці. URL: http://zakon.rada.gov.ua/ laws/show/z0231-05

21. ДСТУ 8829:2019 Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація. URL: https://www.alutal.com.ua/wp-content/uploads/2021/02/dstu-8829-2019-1.pdf

22. ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення. URL: https://dwg.ru/dnl/15125

23. ДБН В.2.5-28-2018 Природне і штучне освітлення – [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://document.ua/prirodne-i-shtuchne-osvitlennja-nor8425.html

24. НАПБА.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. К. : МВС України, 2014. 47 с

25. ДБНВ.2.5-27-2006. Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд. К. : Мінбуд України, 2006. 154 с

26. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html

27. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972

28. Охорона праці та промислова безпека: навч.посіб. [К.Н.Ткачук, В.В.Зацарний, Р.Н.Сабарно та ін.]; за ред. К.Н.Ткачука, В.В.Зацарного. – К.: Основа. – 2009. – 454 с.

29. Правила улаштування електроустановок. URL: http://www.energiy. 34 com.ua/PUE.html

30. НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров’я працівників під час роботи з екранними пристроями. URL: http://sop.zp.ua/norm_npaop _0 _ 00-7_ 15-18_01_ua.php

31. Сакевич В. Ф. Основи розробки питань цивільної оборони в дипломних проектах / В. Ф. Сакевич. – Вінниця : ВДТУ, 2001. – 109 с.

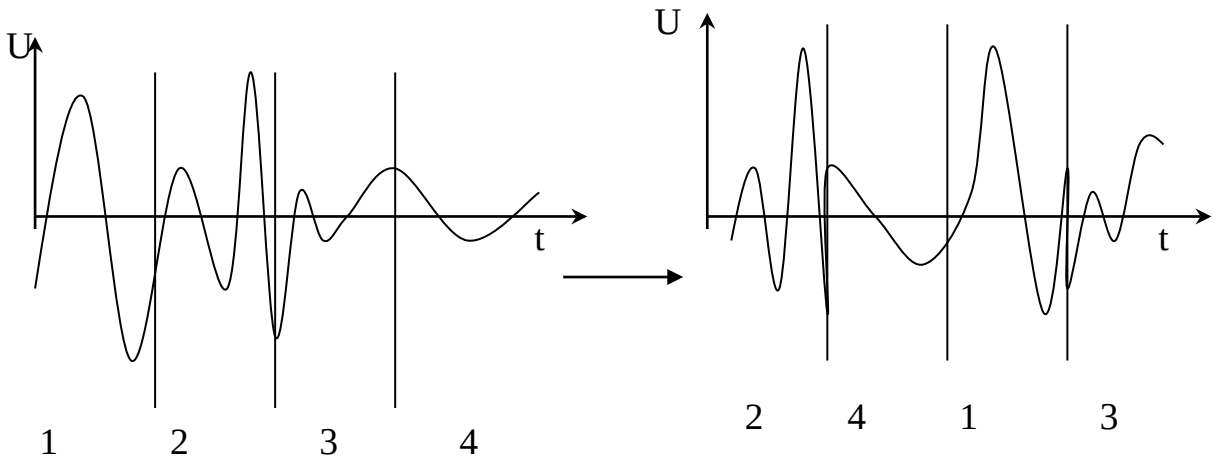
ДОДАТКИ

Додаток А
(обов’язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

ЦИФРОВИЙ СКРЕМБЛЕР МОВНИХ СИГНАЛІВ

назва магістерської кваліфікаційної роботи

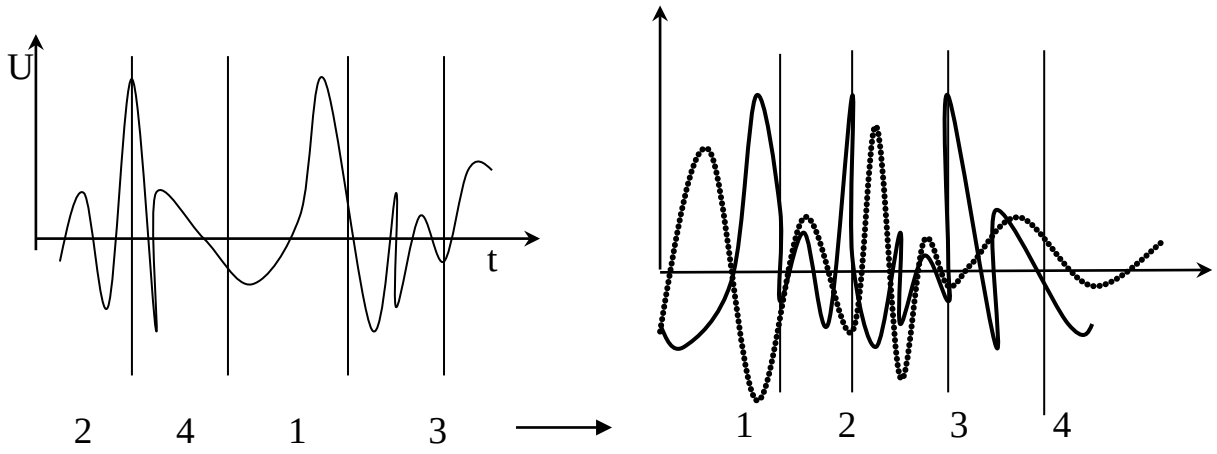


а) **б)**

Часові діаграми, що демонструють метод кодування вхідного сигналу:

а) вхідний сигнал розбитий на 4 часові проміжки;

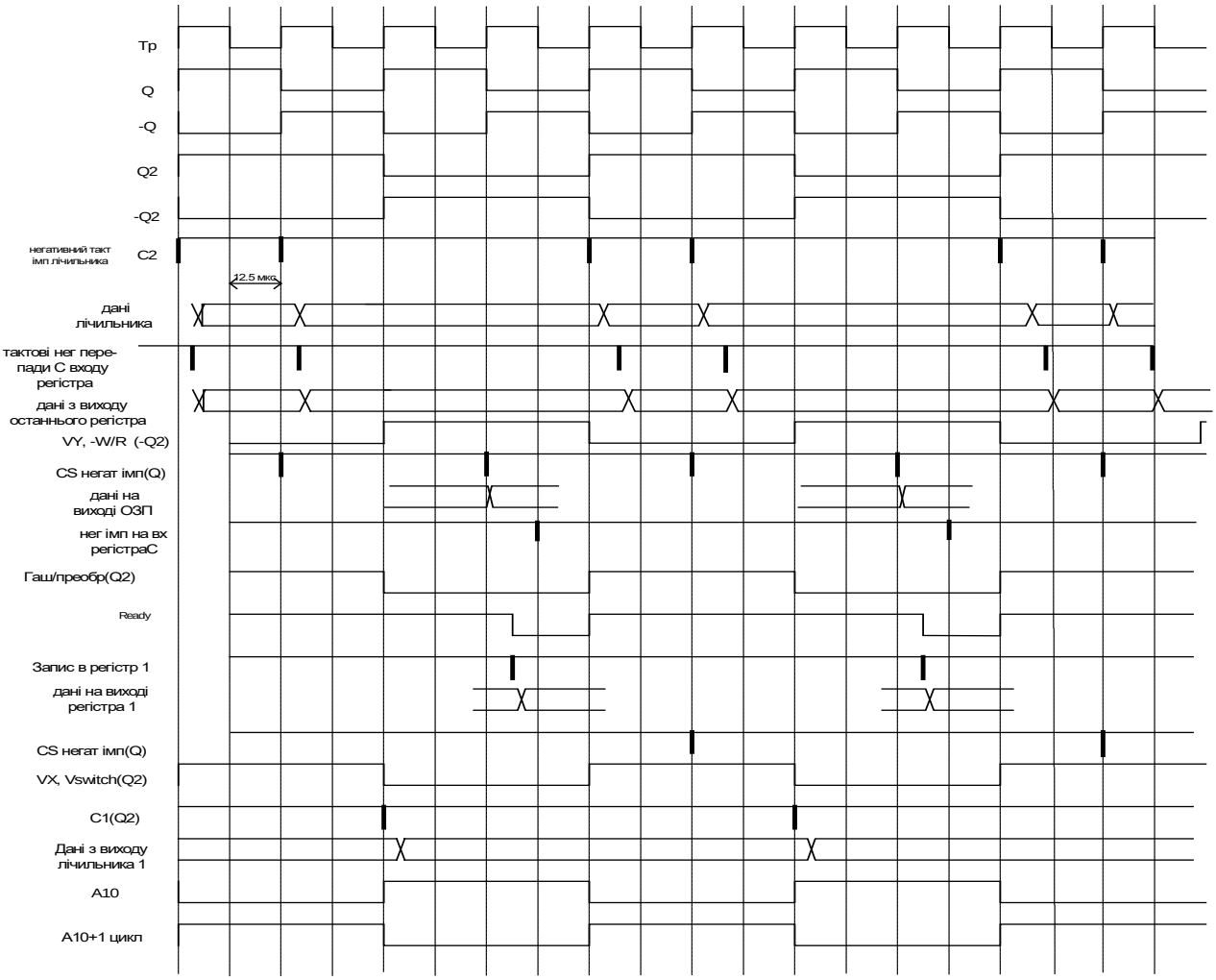
б) вихідний сигнал скремблера після перестановки часових інтервалів



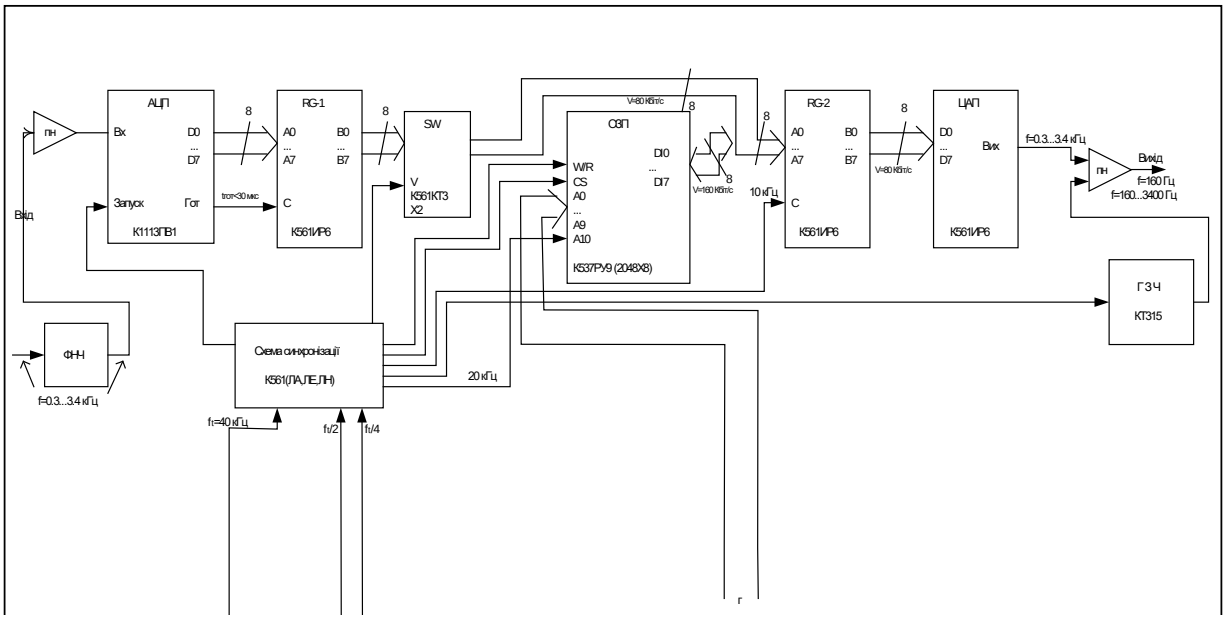
а) **б)**

Часові діаграми відновлення сигналу на приймальній частині скремблера при відсутності (порушенні) синхронізації:

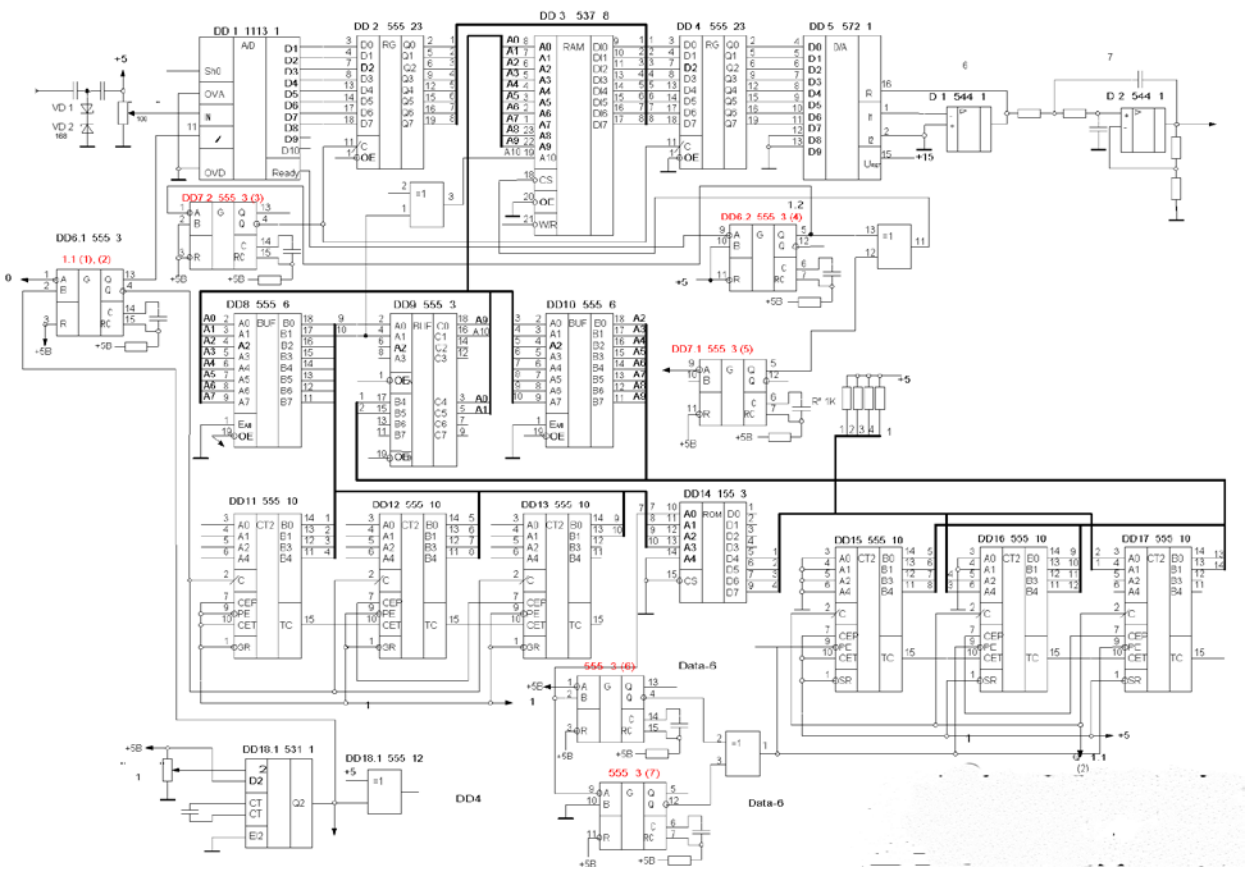
а) зашифрований сигнал; б) сигнал після відновлення



Часові діаграми роботи скремблеру



Структурна схема цифрового скремблеру мовних сигналів



Принципова електрична схема цифрового скремблера мовного сигналу

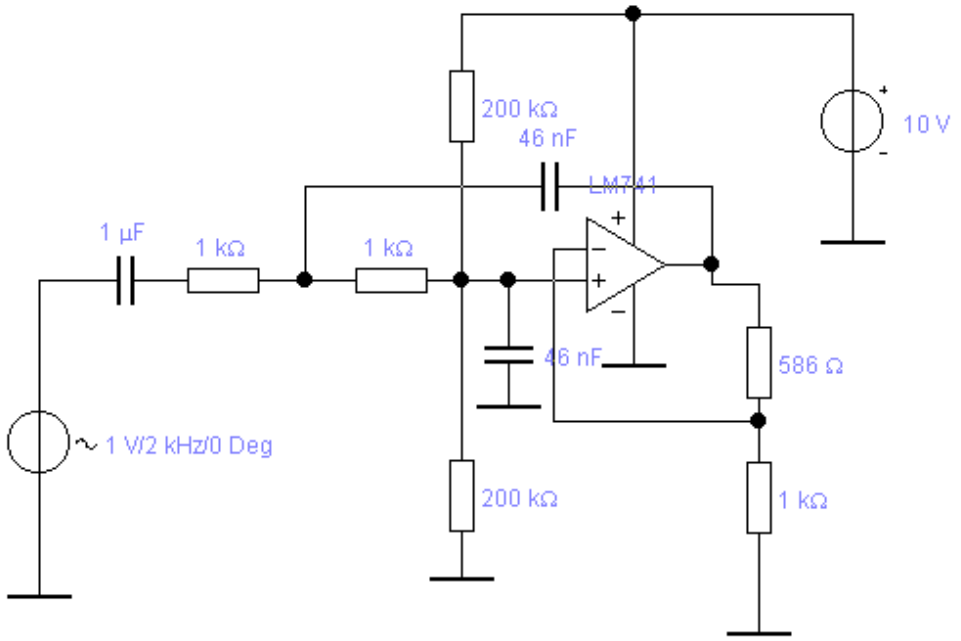
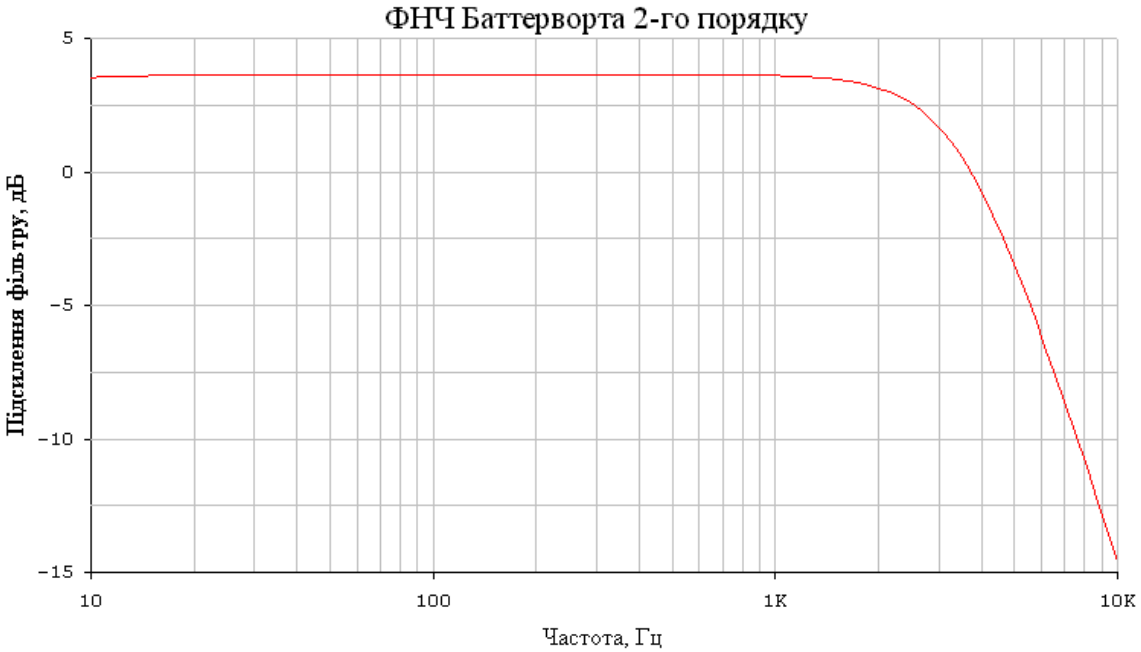
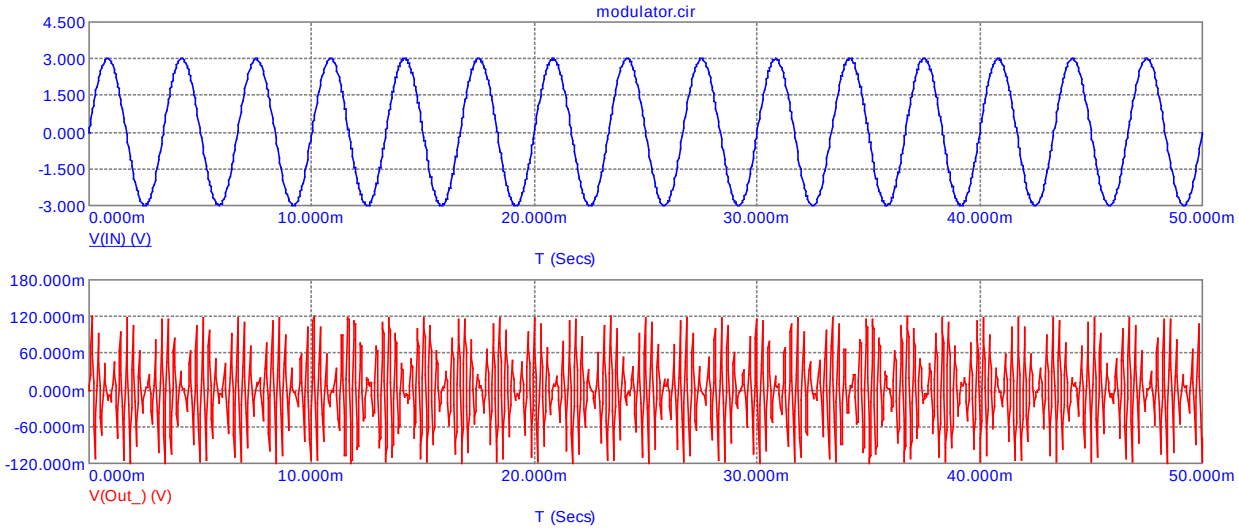


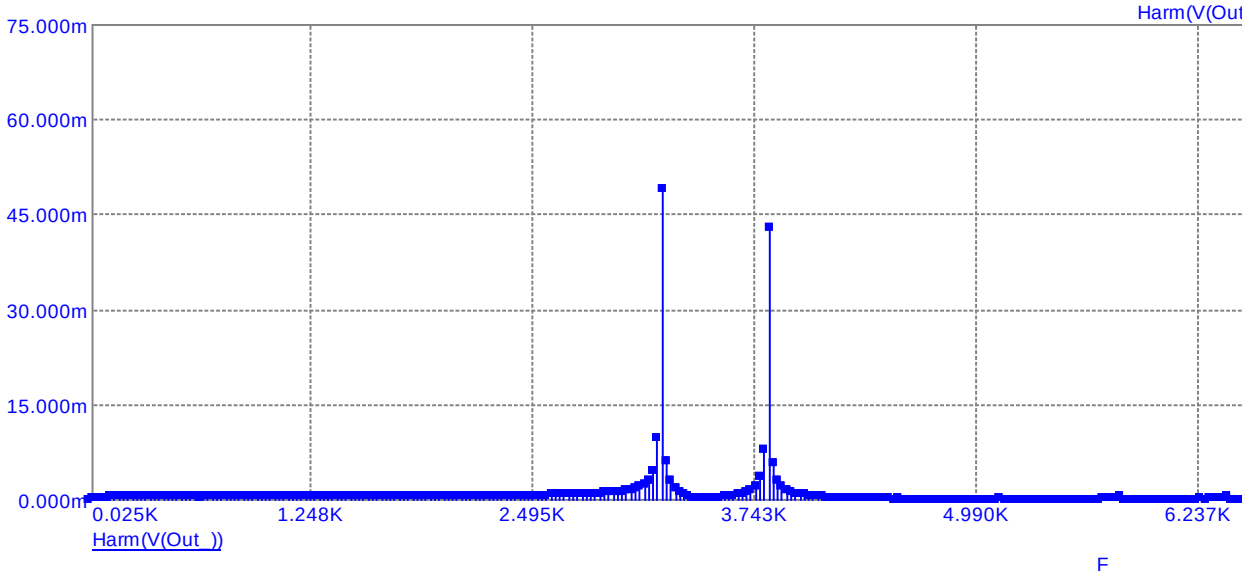
Схема моделювання ФНЧ Баттерворта II-го порядку



АЧХ ФНЧ Баттерворта II-го порядку



Часові діаграми вхідних і вихідних сигналів балансного модулятора скремблера



Спектр вихідного сигналу скремблера при подачі на вхід тестового сигналу з частотою 300 Гц

Додаток Б
(обов’язковий)

Протокол
перевірки кваліфікаційної роботи
на наявність текстових запозичень

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Цифровий скремблер мовних сигналів

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота
(БДР, МКР)

Підрозділ кафедра інфокомунікаційних систем і технологій, факультет інформаційних електронних систем
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unicheck

Оригінальність 87,9 % Схожість 12,1 %

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

■ 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

☐ 2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.

☐ 3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа відповідальна за перевірку _____ Васильківський М.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи _____ Харьков А.О.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи _____ Бортник Г.Г.
(підпис) (прізвище, ініціали)