

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

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Розробка цифрових систем передачі на базі
багаторівневих сигнальних конструкцій»

Виконав: студент 2-го курсу,
групи ТКС-21м
спеціальності 172 – Телекомунікації та
радіотехніка

Щенсевич Б.С.

Керівник: д.т.н., професор каф. ІКСТ
Кичак В.М.

« 16 » 12 2022 р.

Опонент: д.т.н., професор каф. ІРТС

Осадчук В.С.

« 16 » 12 2022 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ІКСТ

д.т.н., проф. Кичак В.М.

« 16 » 12 2022 р.

Вінниця ВНТУ – 2022 рік

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

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Розробка цифрових систем передачі на базі
багаторівневих сигнальних конструкцій»

Виконав: студент 2-го курсу,
групи ТКС-21м
спеціальності 172 – Телекомунікації та
радіотехніка

Щенсевич Б.С.

Керівник: д.т.н., професор каф. ІКСТ
Кичак В.М.

« 16 » 12 2022 р.

Опонент: д.т.н., професор каф. ІРТС

Осадчук В.С.

« 16 » 12 2022 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ІКСТ

д.т.н., проф. Кичак В.М.

« 16 » 12 2022 р.

Вінниця ВНТУ – 2022 рік

Інницький національний технічний університет
 факультет інформаційних електронних систем
 кафедра інфокомунікаційних систем і технологій
 вищої освіти II-й (магістерський)
 факультет знань - 17 – Електроніка та телекомунікації
 (шифр і назва)

спеціальність - 172 – Телекомунікації та радіотехніка
 (шифр і назва)

світньо-професійна програма - Телекомунікаційні системи та мережі

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІКСТ

д.т.н., професор В.М. Кичак

“14” 09 2022 року



ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Щенсневичу Богдану Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи Розробка цифрових систем передачі на базі багаторівневих
сигнальних конструкцій

рівень роботи Кичак Василь Мартинович, доктор технічних наук, професор
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “14” 09 2022 року № 203

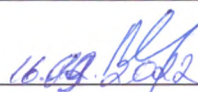
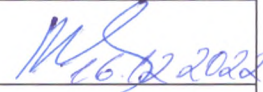




Строк подання студентом роботи 12 грудня 2022 року

Вихідні дані до роботи: Номинальні швидкості передавання: 2,048, 8,448,
1,368, 139,264 Мбіт/с; 8-ми та 16-ти рівневі сигнальні функції; мінімізація
шумів у спектру сигнальних функцій; мінімізація міжканальних завад

Зміст текстової частини: Загальні характеристики ЦСП по каналах з
обмеженою смугою частот; способи передавання і вимоги до ЦСП; розробка
ЦСП на базі 8-ми рівневих сигнальних функцій; аналіз спектральних
характеристик сигнальних функцій; розробка ЦСП на базі 16-ти рівневих
сигнальних функцій; дослідження спектральних характеристик 16-ти рівневих
сигнальних функцій; розробка елементів структурної схеми ЦСП

Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
структурна схема системи передачі цифрової інформації з використанням 8-ми
рівневих сигналів; Фрагмент цифрового потоку для трирозрядних кодових
комбінацій; Структурна схема приймально-передавального обладнання системи
зв'язку з використанням 16-ти рівневих сигнальних функцій; Фрагмент
багаторівневого цифрового сигналу для чотирирозрядних кодових комбінацій;
спектральна діаграма, побудована середовищі MATLAB; Вплив порядку фільтра
Баттерворта на рівень некерованої міжсимвольної інтерференції; Залежність
шумової МСІ від параметрів фільтра Баттерворта

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Кичак В.М., професор кафедри ІКСТ	 16.09.2022	 16.12.2022
Аналіз економічної ефективності розробки	Кавецький В.В. доцент кафедри ЕТБМ	 16.09.2022	 16.12.2022
Охорона праці та безпека життєдіяльності	Демб'юцька С.В. професор кафедри БЖДМБ	 16.09.2022	 16.12.2022

7. Дата видачі завдання 01 вересня 2022 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розробка технічного завдання	12.09.2022р.	
2.	Техніко-економічне обґрунтування розробки	19.09.2022р.	
3.	Огляд характеристик ЦСПІ по каналах з обмеженою смугою частот	07.10.2022р.	
4.	Розробка ЦСПІ на базі 8-ми рівневих сигнальних функцій	28.10.2022р.	
5.	Розробка ЦСПІ на базі 16-ти рівневих сигнальних функцій	18.11.2022р.	
6.	Аналіз економічної ефективності розробки	25.11.2022р.	
7.	Охорона праці та безпека життєдіяльності	02.12.2022р.	
8.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини	09.12.2022р.	
9.	Нормоконтроль МКР	12.12.2022р.	
10.	Попередній захист МКР, опонування МКР	14.12.2022р.	
11.	Захист МКР ЕК	19.12.2022р.	

Студент


(підпис)

Щенсєвіч Б.С.

Керівник роботи


(підпис)

Кичак В.М.

АНОТАЦІЯ

Розробка цифрових систем передачі на базі багаторівневих сигнальних конструкцій. Магістерська кваліфікаційна робота / Б. С. Щенснєвіч – ВНТУ, 2022 р. – 120 с., 26 рис., - українською мовою.

Метою магістерської роботи є зниження впливу лінійних спотворень та підвищення достовірності передавання цифрової інформації шляхом застосування багаторівневих сигнальних функцій. У роботі запропонована система багаторівневих сигнальних функцій та досліджені їх спектральні характеристики. Розроблена структура системи передавання інформації з використанням багаторівневих сигналів, обґрунтовано вибір окремих блоків системи.

Виконано техніко-економічне обґрунтування розробки, розроблений розділ охорони праці та безпеки життєдіяльності.

ANNOTATION

Development of digital transmission systems based on multi-level signal structures. Master's qualification thesis / BS Shchensnevich - VNTU, 2022 - 120 pp., 41 figures, - in Ukrainian.

The goal of the master's work is to reduce the influence of linear distortions and increase the reliability of digital information transmission by using multi-level signal functions. The paper proposes a system of multilevel signal functions and investigates their spectral characteristics. The structure of the information transmission system using multi-level signals is developed, the selection of individual blocks of the system is justified.

The technical and economic substantiation of the development was carried out, the section on labor protection and life safety was developed.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦИФРОВИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ ПО КАНАЛАХ З ОБМЕЖЕНОЮ СМУГОЮ ЧАСТОТ.....	12
1.1 Характеристика цифрових систем передачі інформації.....	12
1.2 Способи передавання цифрових сигналів і вимоги до цифрових систем передачі.....	16
1.3 Висновки до розділу.....	19
2 РОЗРОБКА ЦИФРОВОЇ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ НА БАЗІ 8-МИ РІВНЕВИХ СИГНАЛЬНИХ ФУНКЦІЙ.....	20
2.1 Особливості передачі цифрових потоків на базі 8-ми рівневих сигнальних функцій ($M=8$).....	20
2.2 Аналіз спектральних характеристик сигнальних функцій.....	22
2.3 Реалізація цифрової системи передавання з використанням 8-ми рівневих сигналів.....	27
2.4 Висновки до розділу.....	29
3 РОЗРОБКА ЦИФРОВОЇ СИСТЕМИ ПЕРЕДАВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ НА БАЗІ 16-ТИ РІВНЕВИХ СИГНАЛЬНИХ ФУНКЦІЙ.....	30
3.1 Особливості функціонування системи з використанням 16-ти рівневих сигнальних функцій.....	30
3.2 Дослідження сигнальних функцій та їх спектральних характеристик.....	32
3.3 Розробка цифрової системи передавання інформації у випадку використання 16-ти рівневих сигнальних функцій.....	36
3.4 Висновки до розділу.....	42
4 РОЗРОБКА ЕЛЕМЕНТІВ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ЦИФРОВОЇ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ.....	43
4.1 Розробка засобів синхронізації для цифрових систем обробки інформації	43
4.2 Розробка блоку узгодження з каналом зв'язку.....	49

4.3	Оцінювання впливу характеристик фільтрів на точність відновлення синтезованих сигналів.....	57
4.3.1	Частотні характеристики фільтрів.....	57
4.3.2	Дослідження залежності залишкової МСІ від порядку фільтра Баттерворта та частоти зрізу.....	61
4.3.3	Оцінка залишкової МСІ з урахуванням затримки, що вноситься фільтром.....	64
4.4	Висновки до розділу.....	66
5	ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА АНАЛІЗ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ.....	67
5.1	Оцінювання наукового ефекту	67
5.2	Розрахунок витрат на здійснення науково-дослідної роботи	70
5.2.1	Витрати на оплату праці.....	71
5.2.2	Відрахування на соціальні заходи.....	73
5.2.3	Сировина та матеріали.....	74
5.2.4	Розрахунок витрат на комплектуючі	75
5.2.5	Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт.....	76
5.2.6	Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт.....	77
5.2.7	Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень.....	78
5.2.8	Паливо та енергія для науково-виробничих цілей.....	79
5.2.9	Службові відрядження.....	80
5.2.10	Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації.....	80
5.2.11	Інші витрати.....	81
5.2.12	Накладні (загальновиробничі) витрати	81
5.3	Оцінювання важливості та наукової значимості науково-дослідної роботи.....	82
5.4	Висновки до розділу.....	84
6	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	85
6.1	Технічні рішення з безпечного виконання робіт	86

6.1.1 Технічні рішення з організації робочого місця під час проектування.....	86
6.1.2 Електробезпека виробничого приміщення.....	87
6.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	88
6.2.1 Мікрокліма.....	88
6.2.2 Склад повітря робочої зони.....	88
6.2.3 Виробниче освітле.....	89
6.2.4 Виробничий шум.....	89
6.2.5 Електромагнітні випромінювання.....	90
6.2.6 Психофізіологічні фактори.....	91'
6.3 Заходи з цивільного захисту. Технічні заходи та засоби оповіщення.....	91
6.4 Висновки до розділу.....	93
ВИСНОВКИ	94
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	96
ДОДАТКИ.....	98
Додаток Технічне завдання.....	99
Додаток Б (обов'язковий) Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень.....	105
Додаток В Структурна схема системи передачі цифрової інформації з використанням 8-ми рівневих сигналів.....	107
Додаток Г Фрагмент цифрового потоку для трирозрядних кодових комбінацій.	109
Додаток Д Структурна схема приймально-передавального обладнання системи зв'язку з використанням 16-ти рівневих сигнальних функцій	111
Додаток Е Фрагмент багаторівневого цифрового сигналу для чотирирозрядних кодових комбінацій.....	113
Додаток Ж Око-діаграма, побудована середовищі MATLAB.....	115
Додаток З Вплив порядку фільтра Баттерворта на рівень некерованої міжсимвольної інтерференції.....	117
Додаток К Залежність залишкової МСІ від параметрів фільтра Баттерворта.....	119

ВСТУП

Актуальність теми. Прискорений розвиток сучасних телекомунікаційних технологій ґрунтується на великій різноманітності програмних і схемотехнічних досягнень та на використанні нових класів сигнальних функцій, удосконалених способах кодування інформації та оригінальних методах модуляції. Для реалізації оптимальних, з точки зору економії частотних і енергетичних ресурсів, методів формування та передавання цифрових потоків широко використовуються програмно-апаратні засоби.

В процесі передачі повідомлень форма сигналу може змінюватись за рахунок дії різних фізичних явищ, що приводить до зниження пропускної здатності цифрової системи зв'язку [1].

Однією із основних причин, яка приводить до зниження швидкості передавання цифрової інформації є міжсимвольна інтерференція (МСІ), яка виникає із-за обмеження смуги частот лінійного тракта передавання інформації, лінійних споворень, селективні завмирання і т.ін.

Для боротьби з МСІ використовуються адаптивні еквалайзери та ортогональне часове мультиплексування. Проте ці способи ускладнюють апаратуру передачі інформації та знижують її надійність [2].

Аналіз останніх досліджень. В семидесятих роках минулого сторіччя з'явився новий напрямок в теорії сигналів, суть якого полягає в тому, що запропоновано використовувати МСІ як корисне явище. Було запропоновано дубінарний метод передачі імпульсних сигналів, який передбачав введення дозованої, підпорядкованої відповідній закономірності, міжсимвольної інтерференції, було запропоновано кілька нових сигналів з керованою міжсимвольною інтерференцією [7, 10].

У вісімдесятих роках розроблена класифікація відомих на той час сигнальних функцій з керованою МСІ та проведені дослідження їх властивостей. Введення керованої МСІ приводить до того, що кожен імпульс збільшує свою тривалість до кількох тактових інтервалів, тривалість, в наслідок чого має місце

взаємний вплив розташованих поруч символів, що приводить до виникнення кореляційних зв'язків. На цій підставі процес формування подібних утворень був названий корелятивним кодуванням (correlative level coding). З іншого боку, оскільки сигнали з керованої МСІ не встигають повністю сформуватися на інтервалі, відведеному для одного символу, то пристрої, що їх формують, отримали назву систем з частковим (парціальним) відгуком (partial response signaling - PRS) [5, 6].

За такої класифікації звичайні системи стали відносити до систем із повним відгуком (full response signaling).

Відомо, що парціальні сигнали характеризуються хорошою частотно-часовою локалізацією, що зумовлює сприятливі перспективи широкого їх використання в телекомунікаційних системах різного призначення. Техніка корелятивного кодування знаходить застосування при передачі аудіо- та відеоінформації, передача цифрових багатоканальних телефонних сигналів по радіорелейних лініях і т. д. Вона може застосовуватися в наземних і космічних лініях зв'язку, де в якості фізичного середовища передачі використовуються тропосфера волоконно-оптичні кабелі, вита пара, симетричні та коаксіальні кабелі та ін. [4].

При цьому передача може бути організована як в основній смузі, так і за допомогою будь-якого відомого виду модуляції.

Мета та завдання досліджень. Метою даної магістерської кваліфікаційної роботи є зниження впливу лінійних спотворень та підвищення достовірності передавання цифрової інформації шляхом застосування багаторівневих сигнальних функцій.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі завдання:

- розробити ситему багаторівневих сигнальних функцій та дослідити їх спектральні характеристики;
- розробити ситему відображення двікових комбінацій в просторі багаторівневих сигнальних функцій;

- розробити структурну схему системи передавання інформації з використанням багаторівневих сигналів;

- провести дослідження багаторівневих сигнальних функцій та їх спектрів для різних структурних алфавітів;

- розробити та огрунтувати вибір окремих блоків системи передавання цифрової інформації при використанні багаторівневих сигнальних конструкцій;

Об'єктом дослідження є процеси перетворення інформаційних сигналів у системі передавання цифрової інформації з використанням багаторівневих сигнальних конструкцій.

Предметом дослідження є структурні схеми системи передавання інформації з використанням багаторівневих сигналів.

Методи дослідження. В роботі використовуються основні положення теорії сигналів, основи теорії передавання дискретних сигналів по широкосмугових каналах, цифрова обробка сигналів, теорія інформації та кодування, спектральний аналіз

Наукова новизна роботи полягає у наступному:

- удосконалено метод зниження впливу лінійних спотворень сигналів на достовірність передавання цифрової інформації, який полягає в переході від двійкового структурного алфавіту символів цифрового потоку до недвійкового, що приводить до підвищення ефективності використання смуги частот, яка виділяється для передавання інформації.

- запропоновані співвідношення між символами двійкового і недвійкового алфавітів, що дає можливість розробити схему відображення двійкових комбінацій в просторі багаторівневих сигнальних функцій.

Практичне значення роботи полягає в наступному:

- застосування системи багаторівневих сигнальних функцій дозволяє використати їх для побудови систем з малим рівнем міжсимвольних завад, що еквівалентно підвищенню ефективності використання смуги частот;

- при використанні імпульсно-потенціального представлення

інформації підвищення числа сигнальних рівнів приводить до зниження завадостійкості інформаційного каналу. З іншої сторони, поява в цифровому потоці детермінованого признаку, послідовності еквідистантних нулів сприяє підвищенню завадостійкості каналу тактової синхронізації.

Матеріали досліджень доповідались на науковому семінарі кафедри інфокомунікаційних систем і технологій Вінницького національного технічного університету у 2022 році.

1 ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦИФРОВИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ ПО КАНАЛАХ З ОБМЕЖЕНОЮ СМУГОЮ ЧАСТОТ

1.1 Характеристика цифрових систем передачі інформації

У цифрових системах передачі повідомлень каналами з обмеженою смугою частот форма імпульсних сигналів – аналогових переносників інформаційних символів – повинна задовольняти низку вимог. Від вибору форми сигнальних функцій залежить багато важливих технічних характеристик системи зв'язку загалом. Зокрема, форма імпульсу впливає на величину міжсимвольної інтерференції, якість роботи системи тактової синхронізації, чутливість пристрою реєстрації символів до фазового тремтіння стробуючих імпульсів і т. д. Саме тому питанням аналізу та синтезу сигналів для ЦСП присвячено велику кількість монографій і підручників [4, 5].

Цифрові системи передачі (ЦСП) мають такі переваги, порівняно з аналоговими СП: високу завадостійкість, незалежність якості передавання від довжини лінії зв'язку, стабільність параметрів каналів, ефективність використання пропускної здатності при передаванні дискретних сигналів, можливість побудови цифрової мережі зв'язку.

Висока завадостійкість ЦСП обумовлена тим, що подання інформації у цифровій формі (у вигляді послідовності імпульсів з малим числом дозволених значень і з детермінованою частотою імпульсів) дозволяє регенерувати імпульси при передаванні лінією зв'язку, що різко знижує вплив завад і перекручень на якість передавання інформації. За допомогою первинних ЦСП можна організувати зв'язок по міських багатопарних кабелях, у той час як застосування аналогових систем передачі по таких каналах неможливо через високий рівень перехідних завад. Цифровим методам передавання віддають перевагу і при передаванні сигналів волоконно-оптичними трактами, що набувають усе більшого

поширення, незважаючи на недоліки: високий рівень дисперсійних перекручень і нелінійності електронно-оптичних і оптоелектронних перетворювачів.

Унаслідок регенерації сигналів, що передаються, перекручення у межах регенераційної ділянки незначні. Тому у ЦСП якість передавання не залежить від довжини лінії зв'язку. Довжина регенераційної ділянки та будова обладнання регенератора при передаванні інформації на великі відстані залишаються такими ж, як і при передаванні на малі відстані. Транзитне передавання здійснюється також у цифровій формі.

Стабільність параметрів каналів ЦСП (кінцеве згасання, частотна характеристика, величина нелінійних перекручень) визначається в основному пристроями оброблення сигналів в аналоговій формі. Такі пристрої складають тільки незначну частину апаратурного комплексу ЦСП, тому стабільність параметрів каналів у таких пристроях значно вища, ніж в аналогових. Цьому сприяє також відсутність у ЦСП з часовим розділенням каналів впливу завантаження системи передавання на параметри окремого каналу. Крім того, при часовому розділенні каналів забезпечується ідентичність параметрів усіх каналів, що також сприяє стабільності характеристик каналів у комутованій мережі зв'язку на відміну від систем з частотним розділенням, де параметри каналів залежать від їх розміщення у лінійному спектрі.

У цифрових СП дискретні сигнали можна вводити безпосередньо у груповий тракт. При цьому швидкість передавання дискретних сигналів наближається до швидкості передавання групового сигналу. Наприклад, дискретні сигнали, що вводяться у груповий тракт замість одного каналу ТЧ, можна передавати зі швидкістю 50-60 кбіт/с. При передаванні ж дискретних сигналів каналом ТЧ методами тонального телеграфування швидкість передавання зазвичай не перевищує 10 кбіт/с. Це дозволяє ефективніше використовувати пропускну здатність при передаванні дискретних сигналів. Крім того, при передаванні дискретних сигналів шляхом введення їх безпосередньо у груповий тракт ЦСП можна значно знизити вимоги до лінійності амплітудної

характеристики каналу ТЧ, які є більш жорсткими при передаванні методами тонального телеграфування.

Цифрові системи передачі сумісно з цифровим комутаційним обладнанням утворюють апаратний комплекс мережі зв'язку на цифровій основі. При цьому параметри каналів не залежать від структури мережі зв'язку, тому можна побудувати гнучку розгалужену цифрову мережу, яка має високу надійність. Використання у цифровій мережі однотипного обладнання для каналів і комутації підвищує економічну ефективність мережі зв'язку.

Велика питома вага цифрового обладнання в апаратному комплексі ЦСП визначає особливості виготовлення, налагодження та експлуатації таких систем. Високий ступінь уніфікації вузлів спрощує експлуатацію та підвищує надійність обладнання. Унаслідок високої стабільності параметрів каналів ЦСП не потребується регулювання вузлів апаратури, зокрема вузлів лінійного тракту, що підвищує техніко-економічні показники.

Найбільш важливими показниками якості ЦСП, незалежно від того для яких цілей і якими засобами здійснюється передавання цифрової інформації, залишаються достовірність і швидкість передавання інформації.

Достовірністю передавання інформації прийнято називати ступінь відповідності прийнятого повідомлення переданому. Для кількісного оцінювання цієї відповідності користуються поняттям частоти помилки (або коефіцієнтом помилок) [3].

$$K_{пом} = N_{пом} / N_{заг} \quad (1.1)$$

де $N_{пом}$ – число помилково прийнятих елементів повідомлення; загальне число переданих елементів повідомлення.

Другим важливим показником якості є швидкість передавання інформації. Існують два поняття швидкості: технічна та інформаційна.

Технічна швидкість характеризує швидкодію апаратури, що входить у склад передавальної частини ЦСП. Вона визначається кількістю елементів дискретного повідомлення, що передаються за секунду, Бод,

$$B = 1/\tau_0. \quad (1.2)$$

У технічній апаратурі технічну швидкість передавання іноді називають швидкістю модуляції (маніпуляції).

Інформаційна швидкість – це швидкість передавання інформації. Вона визначається кількістю інформації, що передається за одиницю часу,

$$R = \lim_{T \rightarrow \infty} J(a_t) / T \quad (1.3)$$

де $J(a_t)$ – загальна кількість інформації у послідовності a , загальна довжина якої рівна T .

Беручи до уваги, що $J(a_t) = nH(a)$, $T = n\tau_e$, перепишемо формулу (1.3)

$$R = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{nH(a)}{n\tau_e} = \frac{H(a)}{\tau_e} \quad (1.4)$$

де $H(a)$ – ентропія.

У двійкових системах кожен одиничний елемент несе один біт інформації. Якщо всі одиничні елементи несуть інформацію, то швидкість інформації і швидкість модуляції рівні між собою: $R = B$. У реальних умовах зв'язку до одиничних елементів, які несуть інформацію, додаються спеціальні одиничні елементи для службових цілей, наприклад, для синхронізації і фазування, а також для підвищення правильності приймання, тому у двійкових системах $R < B$.

1.2 Способи передавання цифрових сигналів і вимоги до цифрових систем передачі

Цифрові сигнали, що сформовані у ЦСП, можуть передаватися трактами різними способами. Той чи інший спосіб передавання цифрових сигналів обирається з точки зору економічної і технічної ефективності.

Перший спосіб, основний, здійснюється у трактах, що містять тільки регенератори (рис. 1.1, а).

Другий спосіб застосовується у трактах, що містять разом з регенераторами підсилювачі (рис. 1.1, б). З технічної точки зору перший і другий способи ідентичні, і формально аналізувати другий спосіб передавання цифрових сигналів можна так саме, як і перший, однак з економічної точки зору між цими способами є відмінність. Наявність підсилювачів між регенераторами дозволяє збільшити довжину регенераційних ділянок, що за інших рівних умов дозволяє зберегти число регенераторів, які для високошвидкісних цифрових трактів є відносно дорогими пристроями. Однак другий спосіб потребує наявності додаткових пристроїв - підсилювачів.

Третій спосіб здійснюється у трактах, якими передаються аналогові та цифрові сигнали, причому цифровий сигнал передається поза робочою смугою аналогової системи передачі (АСП) з ЧРК (рис. 1.1, в). Тоді цифровий сигнал передається у смузі частот, що розміщується вище смуги частот АСП з ЧРК. Тому підсилювачі АСП повинні мати ширшу смугу пропускання, забезпечуючи можливість додаткового передавання цифрових сигналів. На проміжних станціях через певне число підсилювальних пунктів необхідно встановлювати регенератори цифрового сигналу.

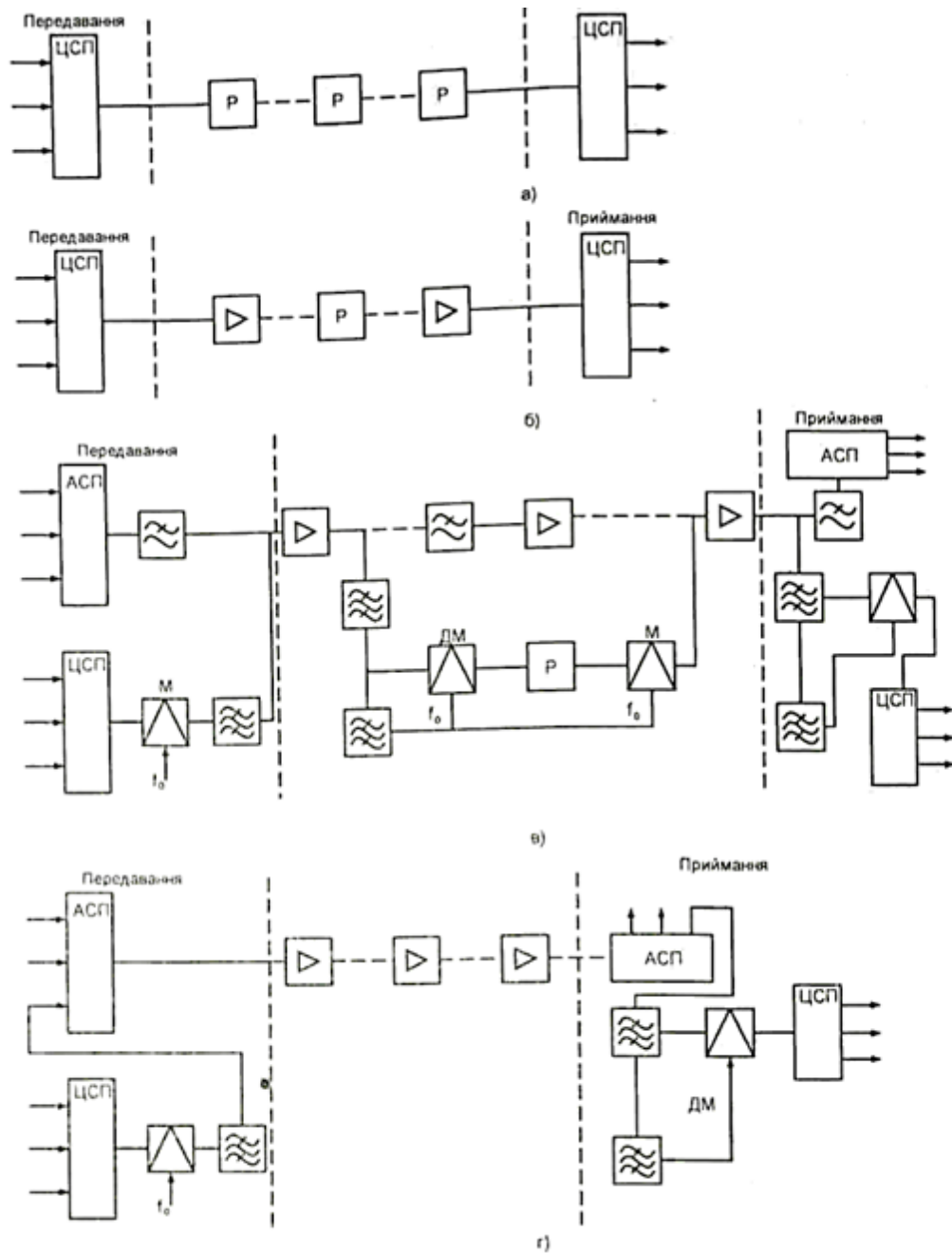


Рисунок 1.1 – Структури ЦСП:

а – з регенераторами; б – ЦСП з підсилювачами і регенераторами; в – АЦСП з передаванням цифрового сигналу поза смугою частот АСП; г – АЦСП з передаванням цифрового сигналу всередині робочої смуги частот АСП

Четвертий спосіб також здійснюється у трактах, в яких передаються цифрові й аналогові сигнали, однак цифровий сигнал передається всередині робочої смуги частот АСП з ЧРК замість деякої групи каналів (рис. 1.1, г). При

цифровому передаванні сигналів у смузі частот групи каналів АСП з ЧРК число каналів скорочується і це призводить до зниження ефективності використання лінійного тракту. Такий спосіб можна застосовувати у випадку великої необхідності передавання цифрових сигналів між пунктами, що вже пов'язані аналоговими трактами [3].

У подальшому в основному будемо розглядати ЦСП, що використовують цифрові лінійні тракти для передавання телефонних сигналів, перетворених на цифрову форму за допомогою ІКМ.

Переваги ЦСП обумовлюють швидкий їх розвиток, що у більшості розвинених країнах первинна мережа зв'язку є повністю цифровою. Однак слід також враховувати наявність добре розвиненої аналогової мережі зв'язку, відмовлятися від якої нерационально. У зв'язку з цим передбачається довготривалий період співіснування на мережі одночасно аналогової та цифрової апаратури зв'язку, коли більшість з'єднань буде здійснюватись з використанням обох видів техніки. Цифрові канали і тракти на первинній мережі нормуються, передусім, за швидкістю передавання. Параметри цифрових групових трактів (ЦГТ) первинної мережі наведені у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Параметри ЦГТ первинної мережі

ЦГТ	Номінальна швидкість передавання, Мбіт/с	Відхилення від номінальної швидкості передавання,
Первинний	2,048	$1 \pm 50 \cdot 10^{-6}$
Вторинний	8,448	$1 \pm 30 \cdot 10^{-6}$
Третинний	34,368	$1 \pm 20 \cdot 10^{-6}$
Четвертинний	139,264	$1 \pm 15 \cdot 10^{-6}$

На базі цих ЦГТ утворюються типові цифрові канали передавання: основний цифровий канал (ОЦК) зі швидкістю передавання $64 \times (1 \pm 50 \cdot 10^{-6})$ кбіт/с; субпервинний цифровий канал (СЦК) зі швидкістю передавання $480 \times (1 \pm 50 \cdot 10^{-6})$ кбіт/с; первинні, вторинні, третинні та четвертинні цифрові канали з відповідними швидкостями передавання.

На базі цифрових каналів і групових трактів утворюються типові аналогові канали і тракти: канали тональної частоти, канали звукового і телевізійного мовлення, а також вторинний (312-552 кГц) і третинний (812-2044 кГц) аналогові групові тракти.

При організації обхідних шляхів та увімкненні резервних каналів слід передбачити можливості транзитів і переключень, для чого необхідні з'єднання цифрових каналів і групових трактів. Для цього, а також для забезпечення можливості підключення на кінцях цифрових каналів і групових трактів джерел і споживачів цифрової інформації необхідні мережні стики, які повинні бути уніфіковані на кожній швидкості передавання. Наприклад, мережний стик ОЦК передбачає обмін трьома видами синфазних сигналів: інформаційними (ІС), тактовими (ТС) і октетними (ОС). Мережний стик ОЦК повинен забезпечувати з'єднання у режимах самоспрямованого і протиспрямованого стику.

Передбачається використання як стикових таких сигналів: відносного біімпульсного сигналу (ВБС) для стиків ОЦЕ і СЦК; сигналу КВП-3 для первинного, вторинного та третинного мережних стиків, а також сигналу ЗМ1 для четвертинного мережного стику.

1.3 Висновки до розділу

1. Наведені аналітичні вирази для оцінювання основних показників якості: достовірності та швидкості передавання інформації.

2. Наведені аналітичні вирази для оцінювання технічної швидкості апаратури, що входить до складу передавальної частини ЦСП та інформаційної швидкості.

3. Розглянуто способи передавання цифрових сигналів і сформульовані вимоги до цифрових систем передавання.

2 РОЗРОБКА ЦИФРОВОЇ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ ІНФОМАЦІЇ НА БАЗІ 8-МИ РІВНЕВИХ СИГНАЛЬНИХ ФУНКЦІЙ

2.1 Особливості передачі цифрових потоків на базі 8-ми рівневих сигнальних функцій ($M=8$)

Відомо, що некерована міжсимвольна інтерференція (МСІ) у телекомунікаційних системах є наслідком лінійних спотворень та селективних замирань у радіотракті. При значному збільшенні МСІ відбувається зниження перешкодостійкості аж до зриву роботи пристрою тактової синхронізації і припинення зв'язку. Для запобігання подібних явищ було розроблено низку методів, що дозволяють підтримувати величину МСІ на допустимому рівні [1, 2].

Введення в теорію та практику телекомунікаційних технологій парціальних сигналів має на меті – зниження впливу лінійних спотворень на достовірність передачі цифрової інформації.

Завдання зниження впливу зазначених обставин на технічні характеристики системи зв'язку може бути вирішено за допомогою переходу до двійкового алфавіту символів цифрового потоку до M -ічного алфавіту. Два алфавіти пов'язані між собою співвідношеннями [3]:

$$M = 2^q \quad \text{і} \quad q = \log_2 M,$$

де q – число перетворюваних символів двійкового потоку;

M – обсяг алфавіту після перетворення (число символів у новому алфавіті).

Таким чином, в потоці після перетворення використовується M символів і кожен символ містить q бітів інформації.

Для формування конкретної системи M -ічних сигнальних функцій розглянемо вираз:

$$s_1(t) = m\varphi_1(t) + n\varphi_2(t), \quad i = 0, 1, 2, \dots, 7; \quad m, n = \pm 1, 2, \quad (2.1)$$

де

$$\varphi_1(t) = U \frac{\sin\left(\pi \frac{t-T}{T}\right)}{\pi \frac{t-T}{T}} = U \operatorname{sinc}\left(\frac{t-T}{T}\right),$$

$$\varphi_2(t) = U \frac{\sin\left(\pi \frac{t-2T}{T}\right)}{\pi \frac{t-2T}{T}} = U \operatorname{sinc}\left(\frac{t-2T}{T}\right).$$

Ясно, що функції ідносяться до класу селективних сигналів з фінітним спектром, які задовольняють першому критерію Найквіста. Їхні максимуми зміщені на T і $2T$ щодо початку координат відповідно.

Зв'яжемо функції виду (3.1) із фрагментами цифрової послідовності двійкових символів. Для цього цифровий потік необхідно розділити на блоки по три символи в кожному, які будуть називатися тріадами [2, 3]. В такому випадку ми маємо $q = 3$ і $M = 8$.

У таблиці 2.1 наведено взаємнооднозначний зв'язок між комбінаціями двійкових символів (тріадами) та коефіцієнтами m , n , яким відповідають сигнальні функції.

Таблиця 2.1 – Схема відображення двійкових комбінацій у простір $s_1(t)$

№	i	Комбінація			Сигнальна функція	m	n
1	0	0	0	0	$s_0(t)$	1	-1
2	1	0	0	1	$s_1(t)$	1	-2
3	2	0	1	0	$s_2(t)$	2	-1
4	3	0	1	1	$s_3(t)$	2	-2
5	4	1	0	0	$s_4(t)$	-1	1
6	5	1	0	1	$s_5(t)$	-1	2
7	6	1	1	0	$s_6(t)$	-2	1
8	7	1	1	1	$s_7(t)$	-2	2

2.2 Аналіз спектральних характеристик сигнальних функцій

Для подальших досліджень перетворимо вираз (2.2) до такого виду:

$$s_i(t) = U \operatorname{sinc} \left(\frac{t-T}{T} \right) \frac{\left(\frac{t-T}{T} \right)^{\cdot(m-n)-m}}{\frac{t-2T}{T}}, i = 0, 1, \dots, 7. \quad (2.2)$$

Сигнальні функції (2.2) поза робочої зони $[0, 3T]$ теоретично визначені по всій осі $[-\infty, \infty]$. Слід відзначити, що ці функції, згідно (3.1), являють собою лінійну комбінацію селективних сигналів, тобто вони вільні від міжсимвольної інтерференції. Таким чином, в моменти $t_k = kT$ і $t_{k+1} = (k+1)T$, коли відбувається реєстрація сигналу, що приймається $s_i(t)$, вплив сусідніх багаторівневих сигналів дорівнює нулю.

У табл. 2.2 представлені аналітичні вирази сигнальних функцій $s_i(t), i=0, 1, \dots, 7$, отримані на підставі (2.2)

Таблиця 2.2 – Сукупність багаторівневих сигнальних функцій

№	i	m	n	Функції $s_i(t)$
1	0	1	-1	$U \frac{\sin \pi \left(\frac{t}{T} - 1 \right)}{\pi \left(\frac{t}{T} - 1 \right)} \cdot \frac{2 \left(\frac{t}{T} - 3 \right)}{\frac{t}{T} - 2}$
2	1	1	-2	$U \frac{\sin \pi \left(\frac{t}{T} - 1 \right)}{\pi \left(\frac{t}{T} - 1 \right)} \cdot \frac{3 \left(\frac{t}{T} - 4 \right)}{\frac{t}{T} - 2}$
3	2	2	-1	$U \frac{\sin \pi \left(\frac{t}{T} - 1 \right)}{\pi \left(\frac{t}{T} - 1 \right)} \cdot \frac{3 \left(\frac{t}{T} - 5 \right)}{\frac{t}{T} - 2}$

Продовження таблиці 2.2

№	i	m	n	Функції $s_i(t)$
4	3	2	-2	$U \frac{\sin \pi(\frac{t}{T} - 1)}{\pi(\frac{t}{T} - 1)} \cdot \frac{4(\frac{t}{T} - 6)}{\frac{t}{T} - 2}$
5	4	-1	1	$U \frac{\sin \pi(\frac{t}{T} - 1)}{\pi(\frac{t}{T} - 1)} \cdot \frac{2(\frac{t}{T} - 3)}{\frac{t}{T} - 2}$
6	5	-1	2	$U \frac{\sin \pi(\frac{t}{T} - 1)}{\pi(\frac{t}{T} - 1)} \cdot \frac{3(\frac{t}{T} - 4)}{\frac{t}{T} - 2}$
7	6	-2	1	$U \frac{\sin \pi(\frac{t}{T} - 1)}{\pi(\frac{t}{T} - 1)} \cdot \frac{3(\frac{t}{T} - 5)}{\frac{t}{T} - 2}$
8	7	-2	2	$U \frac{\sin \pi(\frac{t}{T} - 1)}{\pi(\frac{t}{T} - 1)} \cdot \frac{4(\frac{t}{T} - 6)}{\frac{t}{T} - 2}$

Форма сигнальних функцій $s_0(t) \dots s_7(t)$ наведена на рис. 2.1.

Розглянемо спектральну щільність сигнальних функцій $s_i(t)$. Відомо, що функція:

$$\varphi(t) = U \frac{\sin \omega_c t}{\omega_c t},$$

де $\omega_c = \pi/T$ має спектральну густинність виду

$$\Phi(j\omega) = \begin{cases} UT, & |\omega| \leq \omega_c, \\ 0, & |\omega| > \omega_c, \end{cases}$$

Тоді спектральну щільність лінійної комбінації $\varphi_1(t)$ та $\varphi_2(t)$ можна записати таким чином [5]:

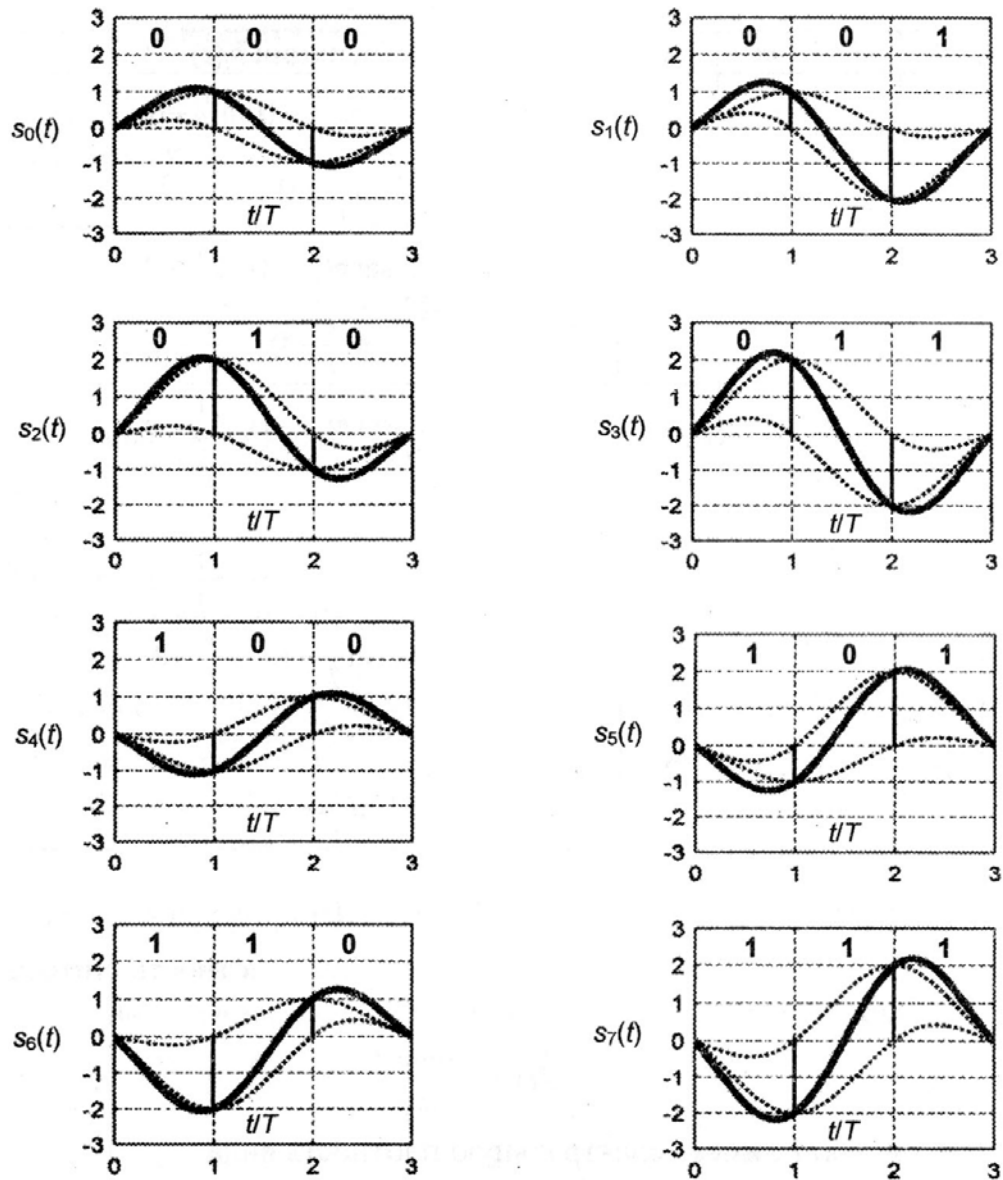


Рисунок 2.1 – Система сигнальних функцій, вільних від міжсимвольної інтерференції

$$S_i(j\omega) = \begin{cases} [UTme^{-j\omega T} + UTne^{-j\omega 2T}] & , \quad |\omega| \leq \omega_c, \\ 0, & , \quad |\omega| > \omega_c, \end{cases} \quad (2.3)$$

Зв'язок індексу i з коефіцієнтами m та n представлений в таблиця 2.1.

Таким чином, система сигнальних функцій $s_i(t)$ має фінітний спектр, який можна подати у вигляді:

$$S_i(j\omega) = UT[m\cos\omega T + n\cos 2\omega T - j(m\sin\omega T + n\sin 2\omega T)], \quad (2.4)$$

$$-\pi/T \leq \omega \leq \pi/T$$

Вираз (2.3) можна переписати у вигляді:

$$S_i(j\omega) = \begin{cases} \left[UTme^{+j\frac{\omega T}{2}} + UTne^{-j\frac{\omega T}{2}} \right] e^{-j\frac{3\omega T}{2}}, & |\omega| \leq \omega_c, \\ 0, & , \quad |\omega| \leq \omega_c, \end{cases}$$

або

$$S_i(j\omega) = UT \left[(m+n)\cos\frac{\omega T}{2} + j(m-n)\sin\frac{\omega T}{2} \right] e^{-j\frac{3\omega T}{2}},$$

$$-\pi/T \leq \omega \leq \pi/T$$

Звідси амплітудний спектр розглядаємих функцій (табл. 2.2) можна записати, як:

$$|S_i(j\omega)| = UT \sqrt{(m+n)^2 \cos^2 \frac{\omega T}{2} + (m-n)^2 \sin^2 \frac{\omega T}{2}},$$

$$-\frac{\pi}{T} \leq \omega \leq \frac{\pi}{T} \quad (2.5)$$

або після нескладних перетворень:

$$|S_i(j\omega)| = UT \sqrt{m^2 + n^2 + 2mn\cos\omega T}. \quad (2.6)$$

Фазовий спектр системи сигнальних функцій (2.2), згідно з (2.4) можна представити наступним чином:

$$\Psi_1(\omega) = -\arctg \frac{m \sin \omega T + m \sin 2\omega T}{m \cos \omega T + m \cos 2\omega T}$$

$$-\frac{\pi}{T} \leq \omega \leq \frac{\pi}{T}$$

Таблиця 2.3 ілюструє закономірність зміни суми та різниці коефіцієнтів m і n (3.5) при зміні індексу i сигнальної функції.

Таблиця 2.3 – Залежність лінійних комбінацій коефіцієнтів m та n від індексу сигнальної функції

i	m	n	$(m+n)$	(mn)	i	m	n	$(m+n)$	$(m-n)$
0	1	-1	0	2	4	-1	1	0	-2
1	1	-2	-1	3	5	-1	2	1	-3
2	2	-1	1	3	6	-2	1	-1	-3
3	2	-2	0	4	7	-2	2	0	-4

Таким чином, вирази (2.5) та (2.6) дають всього три види спектральних характеристик для восьми функцій. Насправді, спектральні характеристики збігаються для $i = 0$ та $i = 4$; $i = 3$ та $i = 7$; $i = 1, i = 2, i = 5$ та $i = 6$;

Усе сказане ілюструє рисунок 2.2:

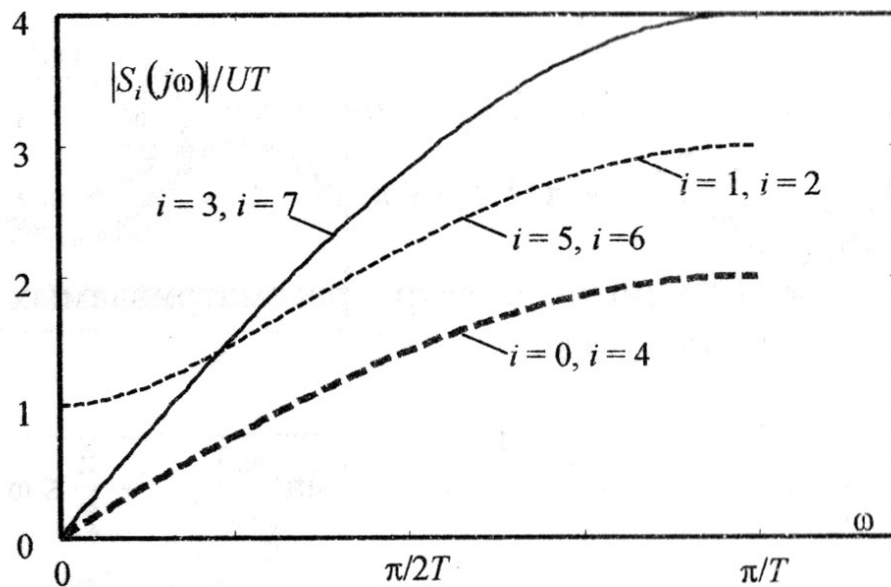


Рисунок 2.2 – Спектральна щільність сигнальних функцій

Спектральна щільність (3.5) відмінна від нуля в смузі частоти $-\frac{\pi}{T} \leq \omega \leq \frac{\pi}{T}$ і дорівнює нулю за межами цього інтервалу. На частоті $\omega = 0$ спектральна густина дорівнює нулю для $i \in \{0,3,4,7\}$ і нижче 9,5 дБ щодо максимального значення для $i \in \{1,2,5,6\}$, на цій підставі можна зробити висновок, що аналізовані сигнальні функції доцільно застосовувати тоді, коли нерівномірність АЧХ каналу зосереджена поблизу нульової частоти.

2.3 Реалізація цифрової системи передавання з використанням 8-ми рівневих сигналів

Один із можливих способів організації передачі цифрових потоків за допомогою системи багаторівневих сигнальних функцій (2.2) представлений на рис. (2.3). Обладнання складається з передавача та приймача [6].

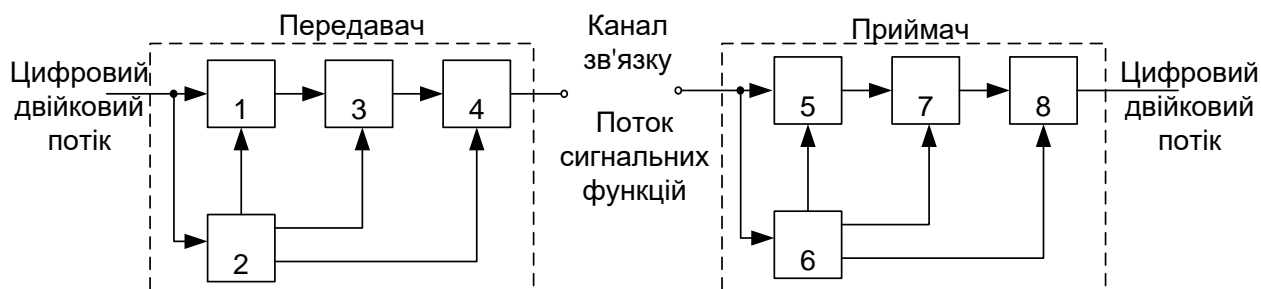


Рисунок 2.3 – Структурна схема системи передачі цифрової інформації

Передавач включає в себе блоки визначення номера трибітової кодової комбінації ($i = 0, \dots, 7$) 1; блок тактової синхронізації 2; кодову книгу 3, яка містить записи сигнальних функцій $s_i(t)$, ($i = 0, 1, \dots, 7$); цифро-аналоговий перетворювач та пристрій погодження з каналом 4.

Приймач включає в себе вирішальний пристрій 5; пристрій виділення тактових синхронізуючих імпульсів 6; кодову книгу 7, яка містить записи трибітових кодових комбінацій; пристрій узгодження формату двійкового потоку із характеристиками апаратури користувача 8.

Система зв'язку працює в такий засіб. Двійковий цифровий потік від джерела інформації надходить у блок 1, який поділяє потік на групи з трьох символів (тріади) та визначає номер отриманої таким чином комбінації згідно з табл.2.1. Номер кодової комбінації i в паралельному коді надходить у кодову книгу 3. Відповідно до номера з кодової книги витягується сигнальна функція $s_i(t)$ в оцифрованому вигляді, яка після ЦАП набуває аналогову форму, після чого фільтрується, посилюється і подається в канал зв'язку, який має відповідну пропускну здатність.

Формована послідовність із запропонованих сигнальних функцій на вході лінії зв'язку або модулятора передавача показана на рис. 2.4 у вигляді фрагменту цифрового потоку, що містить десять тріад.

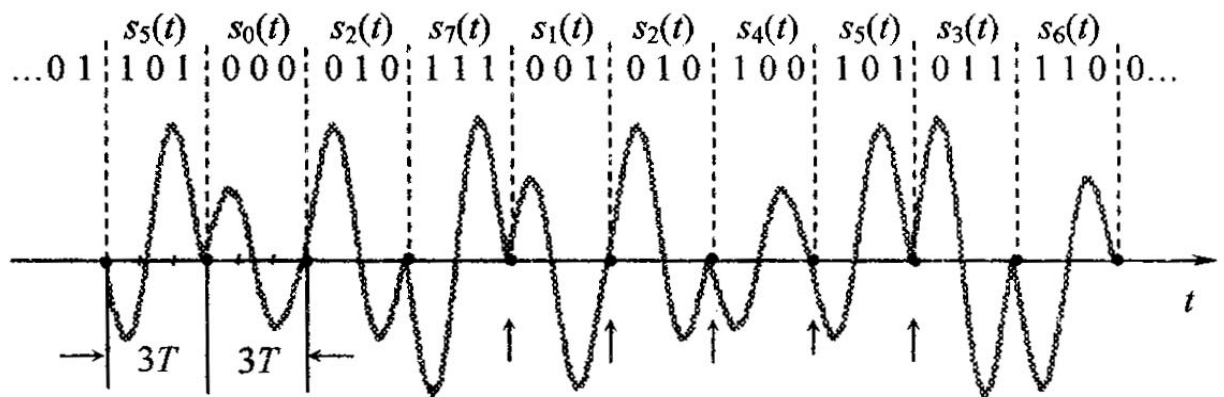


Рисунок 2.4 – Фрагмент цифрового потоку, що складається з функцій $s_0(t) \dots s_1(t)$

Як впливає з рисунку 2.4, на межах тріад сигнальні функції набувають нульових значень, що породжує детерміновану послідовність еквідистантних нулів. Ця ознака може бути підставою для розробки більш досконалих систем тактової синхронізації, наслідком чого має місце підвищення завадостійкості системи зв'язку в цілому.

У приймачі за допомогою системи тактової синхронізації з інформаційного потоку виділяються інтервали тривалістю $3T$ і в межах яких розміщуються функції $s_i(t)$. Вирішальний пристрій 5 вимірює миттєві значення у точках $t_k = kT$ і $t_{k+1} = (k+1)T$ і оцінює значення коефіцієнтів m і n . Після цього відповідно до

табл. 2.1 встановлюється номер комбінації i , який у паралельному коді надходить у кодову книгу 7. Згідно з номером з кодової книги та витягується комбінація з трьох двійкових символів, яка реалізується у вигляді набору з трьох імпульсів у форматі, який відповідає технічним характеристикам терміналу користувача.

Таким чином M -рівневий алфавіт використовується тільки при проходженні цифрового потоку через канал зв'язку. До і після каналу потік являє собою послідовність двійкових символів. Запропонована система сигнальних функцій із фінітним спектром дозволяє застосувати її для побудови систем із малим рівнем міжканальних перешкод, що еквівалентно підвищенню ефективності використання виділеної смуги частот.

Підвищення числа сигнальних рівнів знижує завадозахищеність інформаційного каналу. З іншого боку, поява в цифровому потоці детермінованої ознаки – послідовності еквідистантних нулів, що слідують зі швидкістю передачі тріад, – підвищує завадозахищеність каналу тактової синхронізації.

Додаткові дослідження змогли б дати кількісну оцінку результуючої завадостійкості цього засобу передачі, який реалізується за допомогою описаної структури приймально-передавальних пристроїв.

2.4 Висновки до розділу

1. Розглянуто особливості передавання цифрових потоків на базі 8-ми рівневих сигнальних конструкцій.

2. Показано, що для зниження впливу лінійних спотворень на достовірність передавання цифрової інформації доцільно перейти від двійкової структурної алфавіту символів цифрового потоку до M -ічного алфавіту. Отримано співвідношення, які пов'язують між собою ці алфавіти.

3. Отримано аналітичні вирази 8-мірівневих сигнальних конструкцій.

4. Запропонована структурна схема цифрової системи передавача з використанням 8-ми рівневих сигнальних конструкцій.

3 РОЗРОБКА ЦИФРОВОЇ СИСТЕМИ ПЕРЕДАВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ НА БАЗІ 16-ТИ РІВНЕВИХ СИГНАЛЬНИХ ФУНКЦІЙ

3.1 Особливості функціонування системи з використанням 16-ти рівневих сигнальних функцій

Розглянутий метод передачі двійкових цифрових потоків заснований на переході до багаторівневих сигналів, що займають три тактові інтервали. До переваг методу можна віднести відсутність МСІ, фінітний спектр запропонованих сигналів і поява в послідовності регулярних еквідистантних нулів з інтервалом $3T$, що є характерною і детермінованою ознакою, яку можна покласти в основу більш простої та надійної системи тактової синхронізації.

Недолік запропонованої системи зв'язку полягає у тому, що спектральна щільність всіх сигнальних функцій $s_i(t)$, ($i = 0, 1, \dots, 7$) досягає максимального значення на межі робочої смуги частот $[0, \omega_c]$, тобто на частоті $\omega_c = \pi/T$ (рис. 3.2). Ця властивість призводить до виникнення міжканальних перешкод у процесі передачі цифрових потоків за фізичними каналами в багатоканальних системах з частотним поділом каналів, оскільки сигнали з різким перепадом спектральної щільності на кордоні важко формувати.

Для усунення цього недоліку необхідно спробувати ввести нову систему функцій, які мали б інші спектральні характеристики. Логічно вимагати, щоб спектральна щільність сигнальної функції досягала максимального значення на частоті $\omega = \omega_c/2$, а на межі смуги значення щільності мали б однакові значення, іншими словами, щоб кожна спектральна функція була би симетричною щодо середини інтервалу частот $[0, \omega_c]$. Така сигнальна система матиме компактний спектр [7].

Ця задача так само вирішується за допомогою переходу від двійкових символів цифрового потоку до M -ічного алфавіту. При цьому обсяг алфавіту необхідно збільшити до $M = 16$. Технічне вирішення завдання здійснюється у два етапи.

На першому етапі вхідна двійкова послідовність поділяється на блоки із чотирьох символів. Кожен такий блок тривалістю $4T$ містить одну з 16 можливих комбінацій з одиниць і нулів.

На другому етапі кожної комбінації ставиться у відповідність одна з 16 спеціально сформованих сигнальних функцій $s_i(t), i = 0, 1, \dots, 15$. При цьому цифровий потік, що $s_i(t)$, містить детерміновану послідовність нулів з періодом $4T$, яка також може бути використана в приймальному пристрої для того, щоб сприяти більш стабільній роботі системи тактової синхронізації, про що вже говорилося вище.

Аналітичний вираз для i -ї сигнальної функції ($i = 0, 1, \dots, 15$) за аналогією з (3.1) можна записати наступним чином:

$$S_i(t) = mU \frac{\sin(\pi \frac{(t-T)}{T})}{\pi \frac{(t-T)}{T}} + nU \frac{\sin(\pi \frac{(t-2T)}{T})}{\pi \frac{(t-2T)}{T}} + pU \frac{\sin(\pi \frac{(t-3T)}{T})}{\pi \frac{(t-3T)}{T}},$$

$$0 \leq t \leq 4T \quad (3.1)$$

де коефіцієнти m, n і p набувають значення, які наведені в табл. 3.1.

Тепер необхідно знайти такі значення коефіцієнта m, n і p , які дозволяють отримати систему багаторівневих сигналів $s_i(t), i = 0, 1, \dots, 15$ з необхідною формою спектральної щільності.

Очевидно, тут не можна говорити про те, що завдання має єдине рішення. Зупинимося на одному з них, зазначеному в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Схема відображення двійкових комбінацій у простір $s_i(t)$

№	i	Комбінація				Сигнальна функція	m	n	p
1	0	0	0	0	0	$s_0(t)$	0,5	0	-0,5
2	1	0	0	0	1	$s_1(t)$	-0,5	0	0,5

Продовження таблиці 3.1

3	2	0		0	1	0	$s_2(t)$	1,5	0	-1,5
4	3	0		0	1	1	$s_3(t)$	-1,5	0	1,5
5	4	0		1	0	0	$s_4(t)$	0,5	0	-1,5
6	5	0		1	0	1	$s_5(t)$	-0,5	0	1,5
7	6	0		1	1	0	$s_6(t)$	1,5	0	-0,5
8	7	0		1	1	1	$s_7(t)$	-1,5	0	0,5
9	8	1		0	0	0	$s_8(t)$	0,5	1	-0,5
10	9	1		0	0	1	$s_9(t)$	0,5	-1	-0,5
11	10	1		0	1	0	$s_{10}(t)$	-0,5	-1	0,5
12	11	1		0	1	1	$s_{11}(t)$	-0,5	1	0,5
13	12	1		1	0	0	$s_{12}(t)$	1,5	1	-1,5
14	13	1		1	0	1	$s_{13}(t)$	1,5	-1	-1,5
15	14	1		1	1	0	$s_{14}(t)$	-1,5	-1	1,5
16	15	1		1	1	1	$s_{15}(t)$	-1,5	1	1,5

Легко помітити, що функції $s_i(t)$ утворюють систему трирівневих сигналів. У трьох контрольних точках відліки можуть набувати значення $0; \pm 0,5; \pm 1; \pm 1,5$. Відстань між сусідніми рівнями завжди дорівнює одиниці.

3.2 Дослідження сигнальних функцій та їх спектральних характеристик

Для отримання зручного виразу, що дозволяє визначити $s_i(t)$ формулу (3.1) необхідно подати у вигляді [7]:

$$s_i(t) = U \frac{\sin(\pi \frac{(t-T)}{T})}{\pi \frac{(t-T)}{T}} \cdot \frac{(m-n+p)(\frac{t}{T})^2 - (5m-4n+3p)(\frac{t}{T}) + 6m-3n+2p}{(\frac{t-2T}{T})(\frac{t-3T}{T})}, \quad (3.2)$$

$$i = 0, 1, \dots, 15.$$

Сигнальні функції поза робочої зони $[0, 4T]$ теоретично визначені у інтервалі $[-\infty, \infty]$, проте вони швидко згасають і, крім того, дорівнюють нулю в моменти $t = kT$, де здійснюється реєстрація сусідніх сигнальних функцій.

У табл. 3.2 представлені аналітичні вирази перших дев'яти сигнальних функцій $s_i(t)$ $i = 0, 1, \dots, 8$ для обраних значень коефіцієнтів m, n і p .

Таблиця 3.2 – Система багаторівневих сигнальних функцій

№	i	m	n	p	Функції $s_i(t)$
1	0	0,5	0	-0,5	$-U \frac{\sin(\pi \frac{t-T}{T})}{\pi \frac{t-T}{T}} \cdot \frac{1}{\frac{t}{T} - 3}$
2	1	-0,5	0	0,5	$-U \frac{\sin(\pi \frac{t-T}{T})}{\pi \frac{t-T}{T}} \cdot \frac{1}{\frac{t}{T} - 3}$
3	2	1,5	0	-1,5	$-U \frac{\sin(\pi \frac{t-T}{T})}{\pi \frac{t-T}{T}} \cdot \frac{3}{\frac{t}{T} - 3}$
4	3	-1,5	0	1,5	$U \frac{\sin(\pi \frac{t-T}{T})}{\pi \frac{t-T}{T}} \cdot \frac{3}{\frac{t}{T} - 3}$
5	4	0,5	0	-1,5	$-U \frac{\sin(\pi \frac{t-T}{T})}{\pi \frac{t-T}{T}} \cdot \frac{t/T}{\frac{t}{T} - 3}$
6	5	-0,5	0	1,5	$U \frac{\sin(\pi \frac{t-T}{T})}{\pi \frac{t-T}{T}} \cdot \frac{t/T}{\frac{t}{T} - 3}$
7	6	1,5	0	-0,5	$U \frac{\sin(\pi \frac{t-T}{T})}{\pi \frac{t-T}{T}} \cdot \frac{t/T - 4}{\frac{t}{T} - 3}$
8	7	-1,5	0	0,5	$-U \frac{\sin(\pi \frac{t-T}{T})}{\pi \frac{t-T}{T}} \cdot \frac{t/T - 4}{\frac{t}{T} - 3}$
9	8	0,5	1	-0,5	$-U \frac{\sin(\pi \frac{t-T}{T})}{\pi \frac{t-T}{T}} \cdot \frac{(t/T)^2 - 3(t/T) + 1}{(\frac{t}{T} - 2)(\frac{t}{T} - 3)}$

Форма сигнальних функцій $s_0(t)$ $s_{15}(t)$ наведена на рис. 3.1.

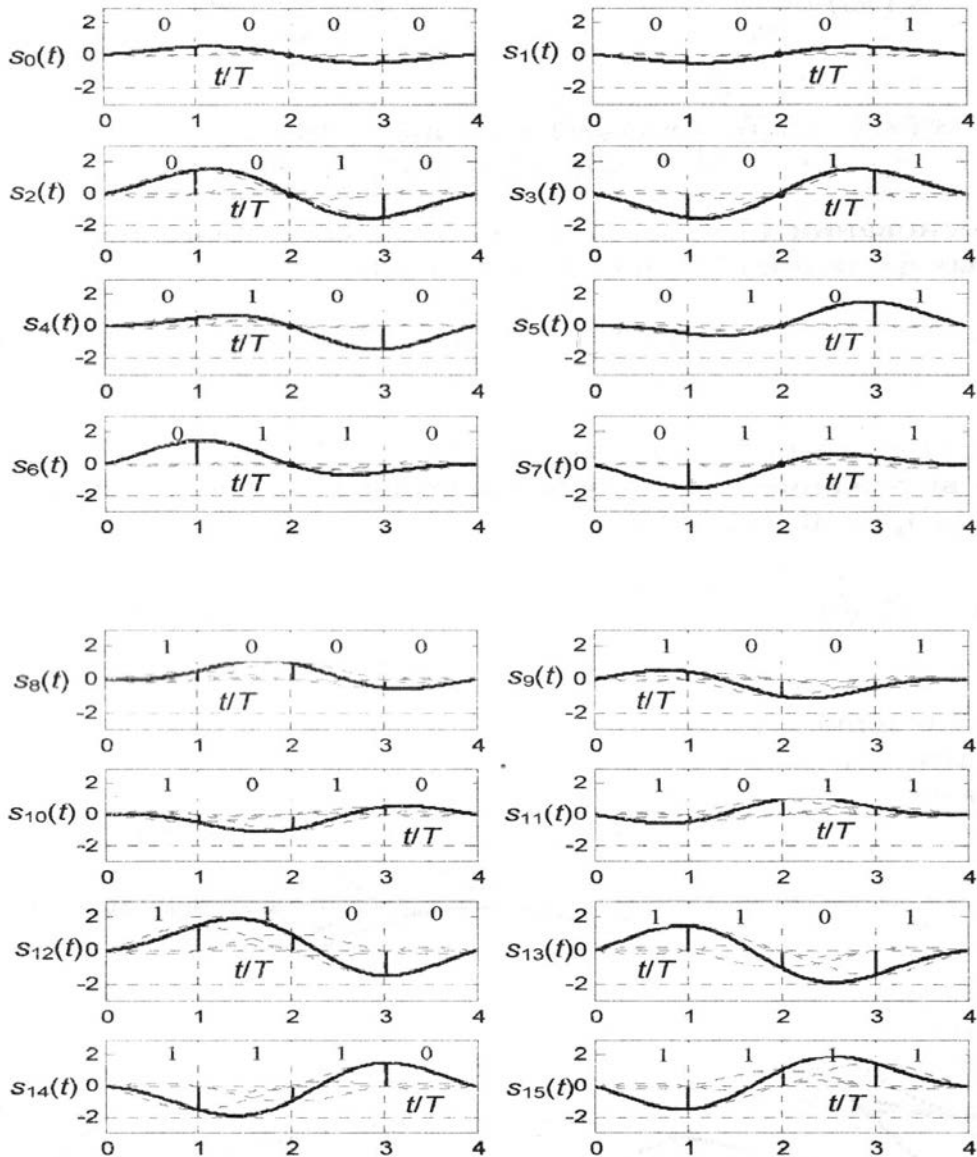


Рисунок 3.1 – Система сигнальних функцій із компактним спектром

Спектральну щільність лінійної комбінації трьох імпульсів виду $\varphi_i(t)$ зі спектральною характеристикою $\Phi(j\omega)$ можна записати наступним чином [7]:

$$S_1(j\omega) = \begin{cases} UTme^{j\omega T} + UTn + UTpe^{-j\omega T} & , \quad |\omega| \leq \omega_c , \\ 0, & , \quad |\omega| > \omega_c , \end{cases} \quad (3.3)$$

або

$$S_i(j\omega) = UT[(m + p)\cos\omega T + n + j(m - p)\sin\omega T], \quad (3.4)$$

$$-\pi/T \leq \omega \leq \pi/T$$

На підставі (4.3) та 4.4) модуль спектральної щільності сигнальних функцій (4.1) та (4.2) має вигляд:

$$|S_1(j\omega)| = UT\sqrt{[(m+p)\cos\omega T + n]^2 + (m-p)^2\sin^2\omega T}. \quad (3.5)$$

$$-\pi/T \leq \omega \leq \pi/T$$

Після нескладних перетворень (3.5) може бути отримано ще один вираз для модуля спектральної густини системи функцій $s_i(t)$, $i = 0, 1, \dots, 15$:

$$|S_1(j\omega)| = UT\sqrt{(m^2 + n^2 + p^2 + 2n(m+p)\cos\omega T + 2mp \cos 2\omega T)}. \quad (4.6)$$

$$-\pi/T \leq \omega \leq \pi/T$$

Рисунок 3.2 ілюструє п'ять типів амплітудних спектрів для шістнадцяти сигнальних функцій, що використовуються в цифровій системі зв'язку

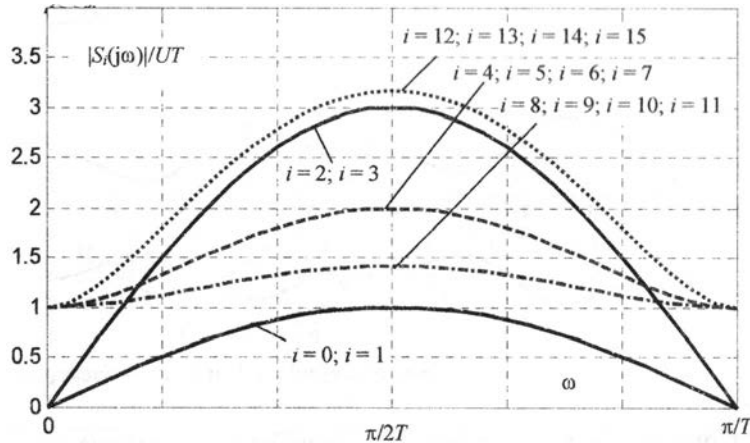


Рисунок 3.2 – Модуль спектральної щільності сигнальної функції $s_i(t)$

Графічне зображення модуля $|S_1(j\omega)|$, $i = 0, 1, \dots, 15$ показує, що всі криві мають парну симетрію щодо частоти $\omega = \pi/2T$ і досягають на цій же частоті максимуму. Таким чином, енергія сигналу зосереджена в центральній частині смуги пропускання, що і говорить про компактність спектру.

3.3 Розробка цифрової системи передавання інформації у випадку використання 16-ти рівневих сигнальних функцій

Для реалізації цього засобу передачі цифрової інформації може бути використаний пристрій, структурна схема якого представлена на рис. 3.3.

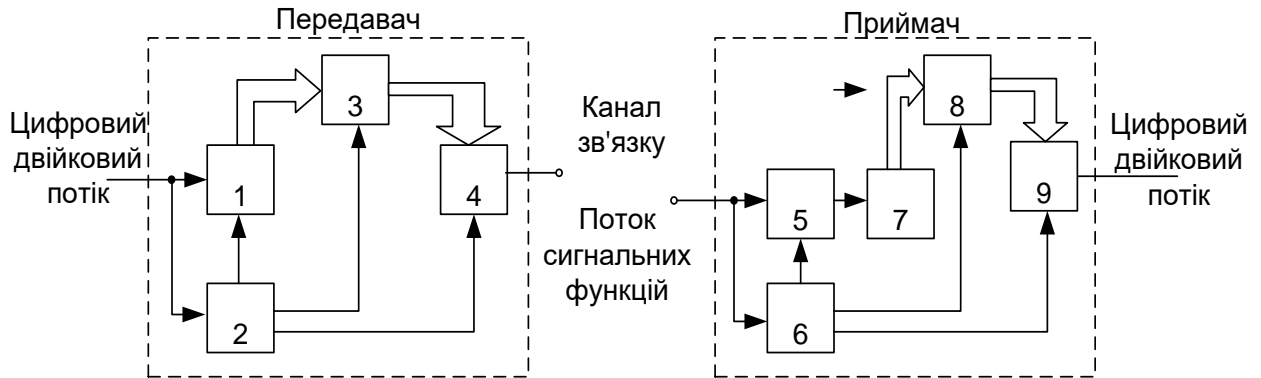


Рисунок 3.3 – Структурна схема приймально-передавального обладнання системи зв'язку

Ця схема значною мірою повторює рис. 3.3. Відмінною особливістю є те, що тут використовується не 8 багаторівневих сигналів, а 16, отже, $q = 4$ і $M = 16$. Двійковий цифровий потік від джерела інформації надходить у блок 1, який поділяє цей потік на групи з чотирьох символів та визначає номер кожної утвореної таким чином комбінації відповідно до табл. 3.1.

Значення коефіцієнтів m , n і p , відповідні номеру оброблюваної кодової комбінації, надходять у синтезатор сигналів 3. Після фільтрації та посилення 4 багаторівневий сигнал надходить у канал зв'язку, який має відповідну пропускну здатність. Синхронізуючі сигнали блоку 2 узгоджують роботу всіх пристроїв передавача.

Вид типового процесу на виході передавача представлений на рис. 3.4.

Зауважимо, що насправді сигнальні функції не зазнають різких зламів у межах кодових комбінацій (рис. 3.4). Щоб краще виявити форму багаторівневих сигналів, навмисне не показані неминучі «хвости», які створюють МСІ внаслідок селективності (звітності) складових, з яких складаються сигнальні функції (3.1).

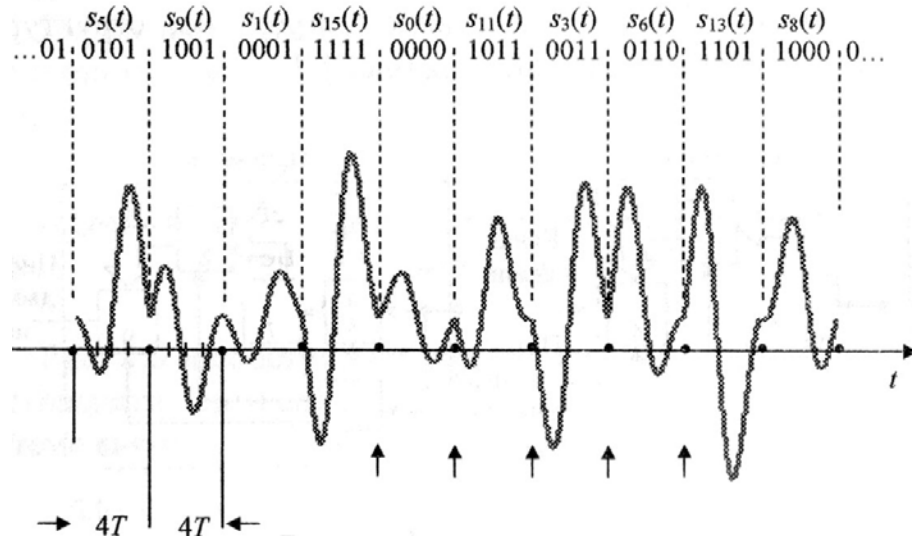


Рисунок 3.4 – Фрагмент багаторівневого цифрового сигналу

На приймальній стороні вхідний інформаційний потік, який показано на рис. 3.4 надходить в блок 5, де за допомогою системи тактової синхронізації δ відбувається поділ цього потоку на відрізки довжиною $4T$, на яких розміщені багаторівневі сигнали функції $s_i(t)$.

Вирішальний пристрій 7 вимірює миттєві значення сигнальної функції $s_i(t)$ в трьох точках: $t = (k + 1)T$, $t = (k + 2)T$ и $t = (k + 3)T$, як показано на рис. 3.5.

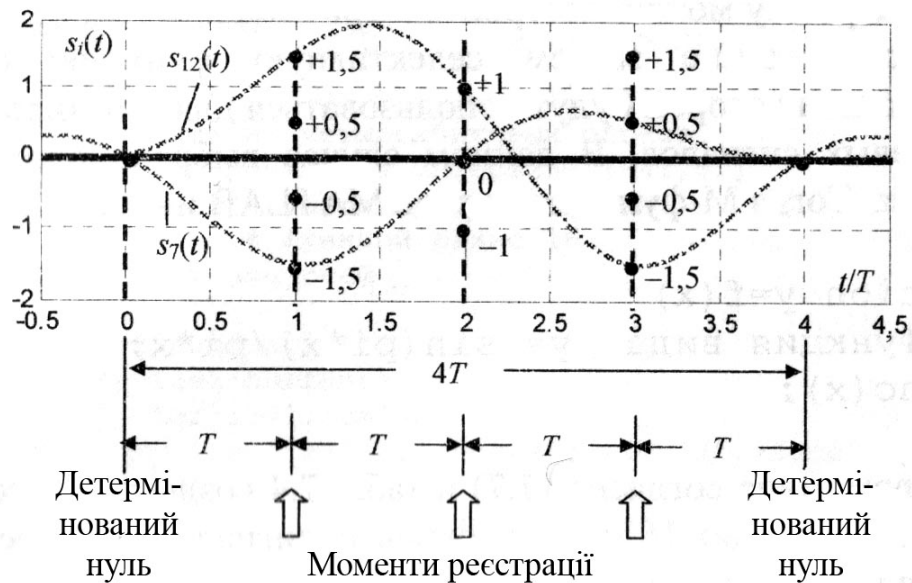


Рисунок 3.5 – До пояснення роботи РУ приймача

Ці відліки містять інформацію про коефіцієнти m , n та p . Далі РУ оцінює значення цих коефіцієнтів і відповідно до табл. 3.1 встановлює номер чотирирозрядної кодової комбінації i , який у паралельному коді надходить у кодову книгу 8. Згідно з номером з кодової книги витягується оцифрована комбінація з чотирьох двійкових символів, яка після блоку 9 (ЦАП) реалізується у вигляді набору з чотирьох імпульсів у визначеному форматі, який збігається з технічними характеристиками кінцевого обладнання.

Як бачимо на рис.3.5 у точках $t = kT$, і $t = (k+4) T$ всі функції проходять через нуль, оскільки ці точки входять до детермінованого потоку еквідистантних нулів.

Для ілюстрації властивостей сигнальних послідовностей у теорії та практиці широко використовується око-діаграма (eye patterns) [6, 7].

Відомо, що око-діаграма є суперпозицією рівних відрізків цифрового потоку, наведених до загального інтервалу. Око-діаграму можна спостерігати в контрольних точках приймально-передавальної апаратури, використовуючи для цього звичайний осцилограф. При моделюванні телекомунікаційних систем око-діаграму отримують програмними засобами.

Око-діаграму можна побудувати у три етапи.

На першому етапі задаємо селективну функцію (гол.1) зміщені копії, які будуть використовуватися для формування багаторівневих сигналів. У цьому випадку обрано синусоїду Котельникова. Тоді М-функція у середовищі MATLAB має вигляд:

```
function y = f(x)
    % Функція виду  $y = \sin(\pi * x) / \pi * x$ ;
    y = sinc(x);
```

На другому етапі згідно (4.1) та табл. 4.1 створиться кінцева множина, куди входять 16 багаторівневих сигналів. Запишемо М-функції для перших трьох сигналів:

```
function y = func1 (x)
    m = 0.5;    n = 0;    p = -0.5;
    y = m * f (x -1) + n * f (x -2) + p * f (x -3);
```

```
функція y = func2 (x)
    m = -0.5;  n = 0;    p = 0.5;
    y = m * f (x -1) + n * f (x -2) + p * f (x -3);
```

```
function y = func3(x)
    m = 1.5;   n = 0;    p = -1.5;
    y = m * f (x -1) + n * f (x -2) + p * f (x -3);
    % і т.д.
```

На третьому етапі відтворюється ефект суперпозиції відрізків цифрового потоку, згідно з програмою, представленою в лістингу 3.1.

ЛІСТИНГ 3.1. Файл-програма eye 7_10 для побудови око-діаграми

```
% (
Побудова очей-діаграми для 16-ї
цифрового потоку.
Загалом у суперпозиції на загальному інтервалі
[- 4T,8T] бере участь  $16^3 = 4096$  сигнальних
комбінацій, мал.7.10
%)
t = - 4:0.051:8;
T = 4; % Зміщення чотирибітових блоків,
        % розміщених на інтервалі (-4T, 8T)
n umfuncs = 16; % Число багаторівневих
                % функцій дорівнює 16
cla      % Очищення осей
hold on
for il = 1 : numfuncs
    for i2 = 1: numfuncs
        for i3 = 1: numfuncs
            s = [z = func` num2str (il) `(t) + func`
num2str (i 2)...
                `(t -T) + func `num2str(i3) `(t + T)];`];
eval (s)
```



```

        plot (t, z)
    end
end
end
hold on
grid on
text (6.5, -2.25, ' t / FontSize ', 16, ' FontAngle ', ' italic ');

```

На рис. 3.6 представлена око-діаграма, що складається з трьох блоків на інтервалі $[-4 T \ 8 T]$. Кожен блок включає суперпозицію всіх можливих комбінацій сигналів. Розглянемо центральну суперпозицію, що займає відрізок $[0, 4 T]$. Добре видно симетрію фігури відносно горизонтальної осі та вертикальної лінії, що проходить через тактову точку $2T$. В результаті суперпозиції утворилося вісім «очей». Усі вони мають витягнуту ромбоподібну форму. Їх можна розділити на три групи: центральну та дві бічні. Вертикальний розкрив у всіх однаковий і дорівнює одиниці. Горизонтальний розкрив у бічних удвічі ширше, ніж у центральній. На око-діаграмах не видно МСІ, перешкод та шумів. Око-діаграма ілюструє також утворення детермінованої послідовності нулів, які розташовані в тактових точках $-4 T$, 0 , $4 T$ і $8 T$.

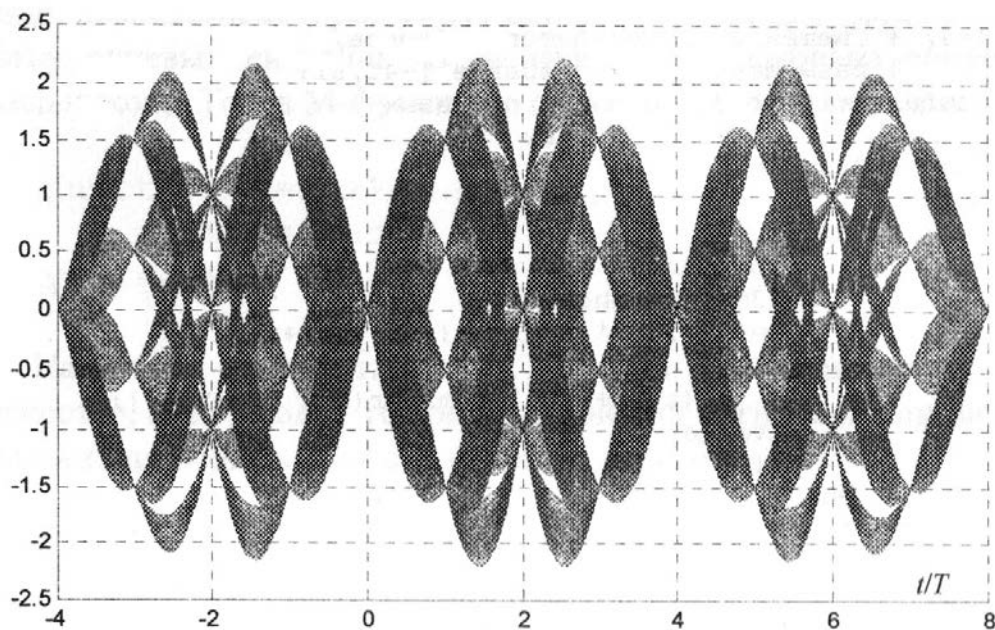


Рисунок 3.6 – Око-діаграма, побудована в середовищі MATLAB

На закінчення відзначимо, що розглянуті вище дві системи багаторівневих сигналів є розвитком ідеї сигнальних конструкцій із керованою міжсимвольною інтерференцією.

Дійсно, з одного боку, багаторівневі сигнали $s_i(t)$ можна віднести до сигналів з керованої МСІ, так як для їх побудови використовуються ті ж прийоми, а в якості складових застосовуються ті ж селективні сигнали, наприклад, які зміщені у часі зважені синусоїди Котельникова. Більше того, кожен сигнал $s_i(t)$ має фінітний спектр у смузі $[0, \omega_c]$, форма якого, як і у випадку парціальних сигналів (див. гол. 2), залежить від числа складових та пов'язаних з ними вагових коефіцієнтів. Пристрої формування також практично збігаються.

З іншого боку, багаторівневі сигнали $s_i(t)$ не можна віднести до класу парціальних сигналів, оскільки вони не містять ніякої міжсимвольної інтерференції – ні керованої, ні не управляємої. Щоб пояснити це, повернемося до однієї з двох систем, наприклад, першої, що містить вісім сигналів (табл. 3.2). Кожен сигнал $s_i(t)$, $i = 0, 1, \dots, 7$, займає інтервал $3T$, причому на цьому інтервалі може бути тільки одна з сигнальних функцій, що містить 3 біта інформації. На наступному інтервалі $3T$ буде також розміщуватися одна з функцій $s_i(t)$, причому між цими інтервалами завжди буде тактова точка з нульовим рівнем. Тому накладення сигналів, як це має місце у технологіях з корелятивним кодуванням, виключається. Швидкість передачі імпульсів становить $1/3T$.

Нагадаємо, що парціальні сигнали, як впливає з гол. 2, передаються зі швидкістю двійкового потоку $1/T$, і кожен переносить 1 біт інформації, хоча і займає кілька тактових інтервалів.

Таким чином, двоїстість характеристик, розглянутих вище двох сигнальних систем, кількість яких можна легко збільшити, свідчить про те, що ці системи вже виходять за ті межі, які стримували розвиток технологій з корелятивним кодуванням.

3.4 Висновки до розділу

1. Розглянуто особливості функціонування цифрової системи передавання інформації з використанням 16-ти рівневих сигнальних функцій.

2. Показано, що недоліком наведеної в розділі системи зв'язку є те, що спектральна щільність всіх сигнальних функцій досягає максимального значення на межі робочої смуги частот, що призводить до виникнення міжканальних перешкод у процесі передавання цифрових потоків.

3. Запропоновано схему відображення двійкових комбінацій у просторі 16-ти рівневих сигнальних функцій.

4. Отримані аналітичні вирази для 16-ти рівневих сигнальних функцій та проведено дослідження їх спектральних характеристик.

5. Запропоновано структурну схему цифрової системи передавання інформації з використанням 16-ти рівневих конструкцій, яка дає можливість усунути міжсимвольну інтерференцію.

4 РОЗРОБКА ЕЛЕМЕНТІВ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ЦИФРОВОЇ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ

4.1 Розробка засобів синхронізації для цифрових систем обробки інформації

Усі системи цифрового зв'язку вимагають синхронізації сигналів, яка полягає у встановленні та підтримці точної часової відповідності сформованих у передавальній частині й прийнятих у приймальній частині сигналів. В даному розділі проведено аналіз різних видів синхронізації в цифрових системах зв'язку.

До пристроїв, які використовуються в системах синхронізації, висуваються такі вимоги [7, 8]:

- висока точність синхронізації;
- малий час входження в режим синхронізації як при вмиканні, так і після перерви у зв'язку;
- збереження синхронізації за наявності завад і короткочасних перерв зв'язку;
- незалежність точності синхронізації від статичного повідомлення, що передається.

У випадку застосування примусової синхронізації, для передавання сигналу синхронізації може використовуватись окремий канал по якому передається лише сигнал синхронізації, необхідний для підстроювання місцевого генератора або може передаватись сумісний сигнал, що містить інформаційну послідовність і сигнал синхронізації.

За способом формування тактових імпульсів пристрої синхронізації з примусовою синхронізацією поділяються на розімкнені (резонансні) без зворотнього зв'язку та замкнені зі зворотнім зв'язком (фазове автоматичне підстроювання частоти або частотне автоматичне підстроювання).

До переваг розімкнених систем слід віднести простоту реалізації, до недоліків – значну залежність точності синхронізації від статистичної структури

інформаційного коду та від порушень синхронізму при короткочасних перервах зв'язку.

Замкнені пристрої синхронізації можуть бути з безпосереднім впливом сигналу на місцевий задавальний генератор із неперервним впливом – при використанні перед задавальним генератором фазозсуваючого кола.

Синхронізація у багатоканальному цифровому зв'язку пов'язана із завданнями демодуляції, декодування повідомлень, а також з комутацією й розподілу інформації споживачам. Для функціонування цифрової мережі зв'язку необхідно забезпечити доставку синхроінформації еталонного джерела синхронізації до всіх пристроїв мережі. При цьому інформацію щодо синхропараметрів сигналу отримують за допомогою пристрою синхронізації із прийнятих коливань або ж вона надходить окремим каналом синхронізації.

У технології сучасного цифрового зв'язку існує три основних поняття синхронізації: фазова, тактова (символьна) і часова (циклова, кадрова).

Фазова синхронізація приймального пристрою здійснюється у разі, коли момент надходження радіосигналу необхідно знати з точністю до фази високочастотного заповнення. Далі у процесі прийняття рішення щодо значення кожного прийнятого символу (тобто для визначення, чи є символом 1 або 0) опорні сигнали рівняються із прийнятими (рис. 4.1).

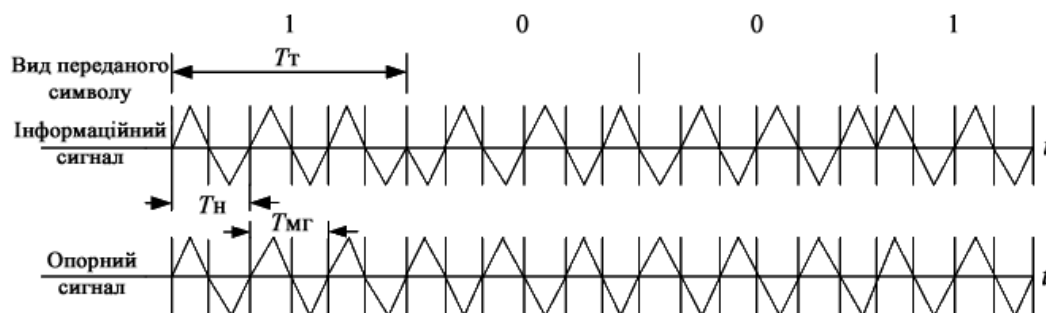


Рисунок 4.1 – Принцип когерентної фазової демодуляції сигналів

Отже, для когерентного прийому сигналів, модульованих за фазою, необхідно визначити фазу носійного коливання. Чим стабільніша частота носійного коливання $f_H = 1/T_H$ інформаційного сигналу й сигналу синхронізації

місцевого генератора $f_{\text{м.г.}} = 1/T_{\text{м.г.}}$ і чим точніше вдається встановити рівність цих частот, тим точніше розпізнавати, у якому тактовому інтервалі передається символ 1, а в якому 0.

Тактова (символьна) синхронізація, або синхронізація тактової частоти, визначає частоту повторення сигналу або його елементів, тобто визначає моменти часу, де починається приймальний символ і де він закінчується. Ця інформація необхідна, щоб знати відповідний інтервал інтегрування енергії перед прийняттям рішення щодо значення символу. Очевидно, якщо приймач інтегрує по інтервалу, що відрізняється від тривалості символу (такту), здатність до прийняття точного рішення знижуватиметься. При генерації опорних сигналів приймач має бути синхронізований із частотою проходження символів. Можна бачити, що символну (тактову) і фазову синхронізацію поєднує те, що обидві включають генерацію в приймачі копії переданого сигналу. Для фазової синхронізації це буде точна копія носійної частоти інформаційного радіосигналу. Для тактової — це меандр, період якого погоджений зі швидкістю передачі символу.

Таке узгодження забезпечується відповідно *фазовою й тактовою синхронізацією* й полягає у *фазовому автопідлагоджуванні частоти* гетеродина приймача. У результаті фазової синхронізації гетеродин приймача синхронізується за частотою й фазою із прийнятим радіосигналом. Оскільки на один період передачі символу зазвичай припадає дуже велика кількість періодів носійної частоти, то тактова синхронізація — це другий рівень синхронізації, що значно грубіше фазової синхронізації й зазвичай виконується за допомогою іншої схеми фазового автопідлагоджування частоти, відмінної від використовуваної при фазовій синхронізації.

У багатоканальних системах цифрового зв'язку потрібний ще вищий рівень синхронізації, яка називається *цикловою (кадровою) синхронізацією*. Циклова (кадрова) синхронізація потрібна, коли інформація поставляється блоками або повідомленнями, що містять фіксовану кількість символів. Це відбувається, наприклад, під час використання блокового коду для реалізації схеми прямого

захисту від помилок або якщо канал зв'язку має часовий поділ і використовується декількома користувачами (технологія TDMA). При блоковому декодуванні повідомлень необхідно знати розташування границь між кодовими словами. Під час використання каналу з часовими поділами слід знати розташування границь між користувачами каналу, що необхідно для правильного розподілу інформації. Згідно з тактовою (символьною) синхронізацією, циклова (кадрова) синхронізація рівнозначна можливості генерації меандру на швидкості передачі кадрів з нульовими переходами, що збігаються з переходами від одного циклу (кадру) до іншого.

Більшість систем цифрового зв'язку, що використовують когерентну модуляцію, вимагають усі три рівні синхронізації: фазову, тактову (символьну) і циклову (кадрову). Системи цифрового зв'язку з некогерентною модуляцією зазвичай вимагають тільки тактової (символьної) і циклової (кадрової) синхронізації, оскільки модуляція є некогерентною, точної синхронізації фази не потрібно. Крім того, некогерентним системам необхідна *частотна синхронізація*. Частотна синхронізація відрізняється від фазової тим, що копія носійного коливання, яке генерується приймачем, може мати довільний зсув фази від прийнятої носійної.

Мережна синхронізація є одним з видів синхронізації, необхідної для підтримки безперервності передачі інформації в цифровій мережі, що містить різні системи передачі й комутації, які розташовані в різних місцях мережі зв'язку. Найбільш загальною є система тактової мережної синхронізації (ТМС). У цьому разі система ТМС забезпечує когерентність коливань генераторів тактової частоти (ГТЧ) на безлічі вузлів цифрової мережі зв'язку. Система ТМС є сукупністю ведучих і ведених генераторів і каналів синхронізації, які створюють мережу тактової синхронізації.

Існує три різновиди систем ТСС:

- від головного генератора або система виду «ведучий — ведений»;
- система взаємної синхронізації генераторів;

- плезіохронна система синхронізації.

У системі синхронізації «від головного генератора» (рис. 5.2) як ведучий генератор використовується первинний еталонний генератор (ПЕГ) з високою стабільністю частоти.

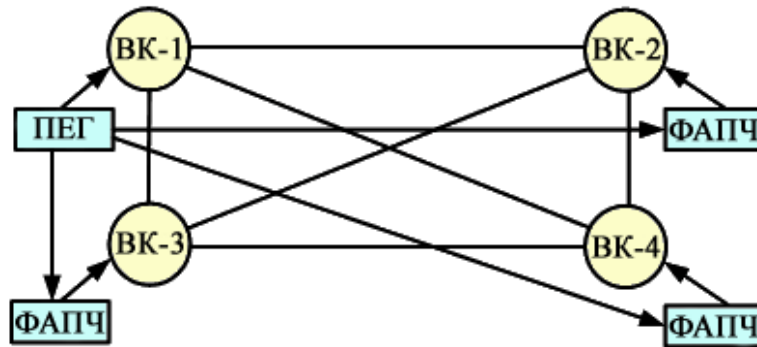


Рисунок 4.2 – Структурна схема тактової мережної синхронізації виду «ведучий — ведений»

Ведені генератори (вторинні) реалізовані у вигляді фазових автопідлагоджувачів частоти (ФАПЧ). ПЕГ «веде» генератори фазових автопідлагоджувачів частоти з точністю до фази, так, що середня частотне розлагоджування генераторів ФАПЧ усувається повністю. З виходів ФАПЧ синхронізовані коливання надходять у генераторне обладнання вузлів комутації, цифрової системи передачі (ЦСП), апаратури ПД.

У системі взаємної синхронізації генераторів (рис. 4.3) ведучий генератор відсутній, у мережі синхронізації є лише ведені генератори (пристрої ФАПЧ), які взаємно підлаштовують один одного за частотою й фазою. У результаті середні частоти ведених генераторів ФАПЧ на вузлах мережі синхронізації будуть однакові.

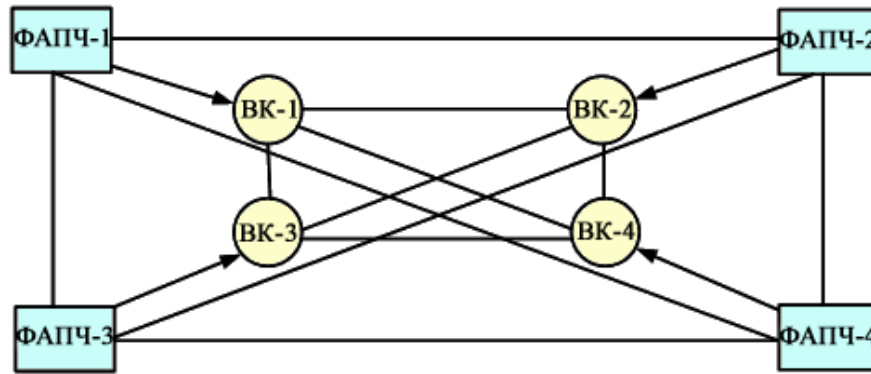


Рисунок 4.3 – Структурна схема системи взаємної синхронізації генераторів

Плезіохронна синхронізація (рис. 4.4) є автономною системою синхронізації. У цьому разі генераторне обладнання окремих вузлів комутації й ЦСП синхронізується автономно від первинних еталонних генераторів.

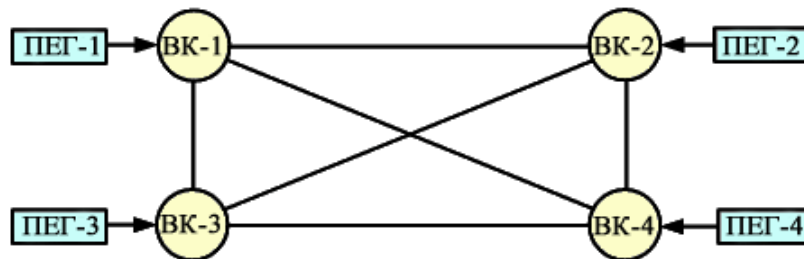


Рисунок 4.4 – Структурна схема плезіохронної синхронізації

Кожна з розглянутих систем синхронізації має переваги й недоліки. Так, система синхронізації «від головного генератора» вимагає застосування спеціальних заходів для підвищення її перешкодозахищеності й живучості; система взаємної синхронізації генераторів не забезпечує виконання вимог за стабільністю частот ведених генераторів; плезіохронна система синхронізації не забезпечує рівності фаз генераторів і є складною в експлуатації. На практиці найбільшого поширення набула система синхронізації «від головного генератора».

4.2 Розробка блоку узгодження з каналом зв'язку

У відповідності з номером із кодової книжки вибирається сигнальна функція $s(+)$ в цифровому вигляді, яка після ЦАП перетворюється в аналогову форму.

ЦАП складається із суматора еталонних величин, що відповідають розрядам взідного коду.

Застосовуються переважно два методи цифро-аналогового перетворення: суматорар одиничних еталонних величин і суматр еталонних величин, вага яких відрізняються. У першому для формування вихідний аналогової величини використовується тільки одна еталонна величина вагою один квант. У другому методі застосовуються еталонні величини з вагою, що залежать від номера розряду, і в сумуванні беруть участь лише ті еталонні величини, для яких у відповідному розряді вхідного коду є одиниця [1].

При цьому використовується двійковий позиційний код або двійково-десятковий. У разі двійкового позиційного коду значення всіх розрядів надходять одночасно на всі входи ЦАП. Робота таких ЦАП описується виразом (4.1)

$$X = P(a_12^{-1} + a_22^{-2} + \dots + a_i2^{-b}), \quad (4.1)$$

де X – вихідна аналогова величина;

a_i – коефіцієнти відповідних двійкових розрядів, які приймають дискретні значення одиниця або нуль;

P – опорний сигнал

b – число розрядів.

Опорним сигналом може бути напруга постійного або змінного струму. У перетворювачах з опорного сигналу формуються еталонні величини, що відповідають значенням розрядів вхідного і коду, які підсумовуються і утворюють дискретні значення вихідної аналогової величини.

У найпростішому випадку на входи ЦАП подається паралельний двійковий код значення кожного розряду якого на входи поступають одночасно. Припустимо, що значення вхідного коду змінюються від мінімального до максимального, при цьому кожне значення вхідного коду перетворюється на дискретне значення вихідній аналогової величини. Дискретність зміни вихідної аналогової величини залежить від числа розрядів ЦАП, у той час як відхилення конкретного значення вихідної аналогової величини від номінального значення однозначно не залежить від числа розрядів, а визначається точністю виготовлення елементів мікросхем і може бути отримано скільки завгодно малим. Сукупність значень вихідній аналогової величини x_i , залежно від значень вхідного коду α_i , називають характеристикою перетворення (ХП) [9]. Така сукупність може бути наведена у вигляді графіка, формули чи таблиці. ЦАП, що розглядаються, мають лінійну характеристику перетворення. У системі координат код - вихідна аналогова величина ХП зображується прямою, розташованою під деяким кутом до осі абсцис (рис. 4.5).

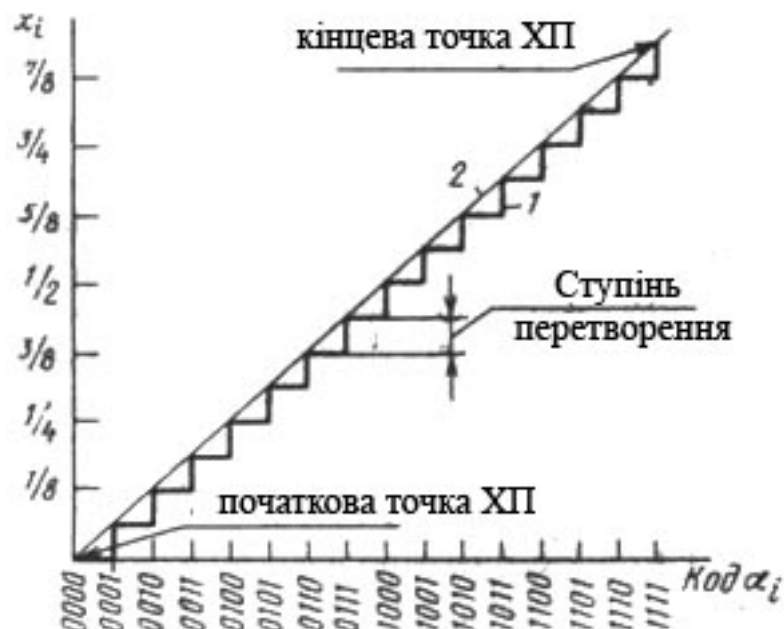


Рисунок 4.5 – Номінальна ХП 4-розрядного двоїчного ЦАП з однополярним вихідним сигналом:

- 1 - характеристика перетворення ЦАП; 2 - пряма, що з'єднує початкову і кінцеву точки ХП

Коли необхідно визначити деяку точку на ХП, наводять значення коду, що відповідає цій точці. Іноді характеристику перетворення зображують ступінчастою лінією, що підкреслює дискретність зміни значення коду, так і вихідний аналогової величини.

На ХП можна назвати характерні точки. Насамперед це початкова та кінцева точки ХП, які визначаються початковим та кінцевим значеннями вхідного коду. За початкове (кінцеве) значення вхідного коду приймають значення, при якому номінальне значення вихідний аналогової величини є мінімальним (максимальним). При цьому початковою точкою ХП є точка перетину координатних осей α_i , x_i , тобто точка, що відповідає нульовому значенню вихідний аналогової величини при значенні вхідного коду, що дорівнює нулю. При зміні значень вхідного коду α_i від початкового до кінцевого вихідна аналогова величина x_i дискретно змінюється у певному інтервалі. Інтервал значення вихідної аналогової величини від початкової до кінцевої точки називають діапазоном вихідної величини, а різниця між максимальним і мінімальним значеннями цієї величини - амплітудою її зміни. Значення дискретної зміни вихідної аналогової величини за зміни значення вхідного коду на одиницю називають ступенем квантування.

У разі двійкового лінійного ЦАП для номінальної характеристики всі виступи рівні:

$$\bar{h} = (x_{max} - x_{min}) / (b - 1) = x_{ORN} / (b - 1), \quad (4.2)$$

де x_{max} , x_{min} – номінальне значення вихідної аналогової величини в кінцевій і початковій точках ХП1;

x_{ORN} – номінальна амплітуда зміни вихідної аналогової величини;

b – число можливих значень коду.

Номінальне значення ступеня квантування, що представляє найменшу зміну вихідної аналогової величини, розподільна здатність перетворення. Роздільна

здатність, як і ступінь перетворення, виражається в одиницях вихідної аналогової величини або у відсотках від номінальної амплітуди зміни вихідної аналогової величини. Наприклад, перетворювач на 12 цифрових входів, що має вихідний сигнал в кінцевій точці ХП, рівний 10 В, має роздільну здатність 2,45 мВ, або 0,0245%.

Для дійсної характеристики перетворення ступеня квантування у різних точках відрізняються один від одного. У цьому випадку підраховують середнє значення ступенів квантування: $\bar{h} = (x_{max} - x_{min}) / (b - 1)$. Це значення може бути одиницею виміру вихідний аналогової величини, і його називають одиницею молодшого розряду (ОМР). Така одиниця виміру наочно представляє всі параметри вихідної аналогової величини.

Характеристики перетворення реальних ЦАП відрізняються від ідеальних формою, значенням ступенів і розташуванням щодо осей координат. Ступінь збігу реальної ХП з ідеальною визначає точність, яка характеризується рядом відхилень реальної ХП від ідеальної і кількісно виражається відповідними параметрами: нелінійністю, диференціальною нелінійністю, зміщенням початкової точки ХП, відхиленням аналогового значення точці ХП тощо. Такі можливі відхилення ілюструються рис. 4.6.



Рисунку 4.6 – Характеристики перетворення ЦАП з відхиленнями в початковій та кінцевої точках:

β_1 – номінальний коефіцієнт перетворення; β_2 – дійсний коефіцієнт перетворення

Нелінійність у цій точці ХП – це відхилення точки реальної ХП від прямої, проведеної певним чином. Нелінійність може бути визначена двома способами: 1) нелінійність знаходиться щодо прямої, проведеної через початкову і кінцеву точки ХП; 2) нелінійність знаходиться щодо прямої, проведеної таким чином, щоб мінімізувати значення нелінійності, наприклад, відносно прямої, середнє квадратичне відхилення всіх точок якої мінімальне [15, 16].

Рівняння такої прямої $V = Ax+B$, де B – коефіцієнт, рівний зсуву нуля; A – коефіцієнт, що визначає крутість характеристики. Значення коефіцієнтів A та B знаходять за формулами

$$A = [(\sum_{i=0}^N x_i \sum_{i=0}^N y_i)/N - \sum_{i=0}^N x_i y_i]/[(\sum_{i=0}^N x_i)^2/N - \sum_{i=0}^N x_i^2], \quad B = \bar{y} - A\bar{x} \quad (4.3)$$

де

$$\bar{x} = (\sum_{i=0}^N x_i)/N; \quad \bar{y} = (\sum_{i=0}^N y_i)/N$$

Для ЦАП нелінійність, як правило, визначається нелінійністю в точці ХП, де вона за абсолютною величиною максимальна. Нелінійність виявляється у частках ОМР або у відсотках від значення аналогової величини в кінцевій точці ХП:

$$\delta_L = (\Delta x/h)[\text{ОМР}] \text{ або } (\Delta x/x_k) \cdot 100 \quad (4.4)$$

де Δx – максимальне відхилення ХП від заданої прямої;

x_k - значення аналогової величини в кінцевій точці ХП.

Диференціальна нелінійність – це відхилення дійсних ступенів квантування від їхнього середнього значення. Диференціальна нелінійність i -го ступеня квантування

$$\delta_{LD} [(\bar{h} - h)/h][\text{ОМР}] \text{ або } [(\bar{h} - h)/x_k] \cdot 100 \quad (4.5)$$

де \bar{h} , h – дійсне та середнє значення ступеня квантування. Для ЦАП вказується значення диференціальної нелінійності тієї точки характеристики, де це значення абсолютної величини максимальна. Диференціальна нелінійність має прямий

зв'язок із монотонністю ХП. Під монотонністю розуміється незмінність знака збільшення вихідній величини при послідовній зміні значення вхідного коду. Якщо диференціальна, нелінійність у певній точці по абсолютній величині перевищує 1 ОМР, це означає, що збільшення вихідній аналогової величини у цій точці може мати протилежний попередній точці напрям чи бути більше подвійного номінального виступу квантування (рис. 4.7). Таким чином, умова монотонності ХП має вигляд $-1 \text{ ЕМР} \leq \delta_{LD} \leq +1 \text{ ЕМР}$.



Рисунок 4.7 – Нелінійність, диференціальна нелінійність та немонотонність ХП
ЦАП

Для різних ІС одного типу значення ступенів квантування відрізняються незначною мірою, що важко показати на графіку. Але якщо побудувати дві характеристики для ЦАП з різними (хоча і незначно) середніми значеннями ступенів квантування, то відмінність буде помітна через різну крутість характеристик. Параметр, що характеризує середню крутість ХП, називають коефіцієнтом перетворення – крутість прямої, апроксимуючою дійсну ХП. По числовому значенню і розмірності коефіцієнт перетворення збігається із середнім

значенням ступеня квантування. Відхилення дійсної ХП від номінальної через відмінність коефіцієнта перетворення зазвичай оцінюють у кінцевій точці ХП або в тій точці, де це відхилення приймає максимальне значення, і називають максимальним відхиленням вихідної величини.

Можливе також відхилення ХП від номінальної у вигляді паралельного зсуву. Паралельний зсув характеристики оцінюють щодо початку координат і називають напругою зміщення вихідного нуля аналогової величини. Це дійсне значення вихідної величини при значенні вхідного коду, при якому номінальна вихідна величина дорівнює нулю. Відхилення ХП ЦАП через напругу зміщення нуля та відхилення коефіцієнта перетворення в радіоелектронній апаратурі для більшості ІС ЦАП може бути усунуто зовнішніми регулюючими пристроями.

Наведені вище характеристики характеризують точність ЦАП в певних постійних умовах експлуатації. Для опису поведінки ЦАП в умовах змінних зовнішніх факторів, використовують параметри, що характеризують стабільність ІС в цих умовах. До них відносяться температурні коефіцієнти параметрів та коефіцієнти впливу нестабільності джерел напруги живлення на параметри. В основному застосовуються температурні коефіцієнти наступних параметрів: нелінійності, диференціальної нелінійності, вихідний аналогової величини в кінцевій точці ХП, напруги зміщення нуля на виході, коефіцієнта перетворення. Використовуються також коефіцієнти впливу нестабільності джерела живлення на перелічені параметри.

Допустима напруга на виході – це інтервал значень напруги, в межах якого зміна вихідного струму не перевищує заданого значення. Аналогічно ІС ЦАП з виходом за напругою можуть характеризуватись допустимим діапазоном струму на виході.

У радіоелектронній апаратурі, ЕОМ, системи збору та обробки даних ЦАП працюють при безперервно змінюваних значеннях кодів на входах. Зрозуміло, що зчитування інформації з виходу ЦАП має проводитися після закінчення всіх перехідних процесів у ньому. Тільки в такому випадку можна отримати точність,

на яку розрахований ЦАП, та швидкодія системи чи апаратури визначається часом перехідних процесів ЦАП, його швидкодією. Тому динамічні параметри ЦАП багато в чому визначають продуктивність обробки інформації.

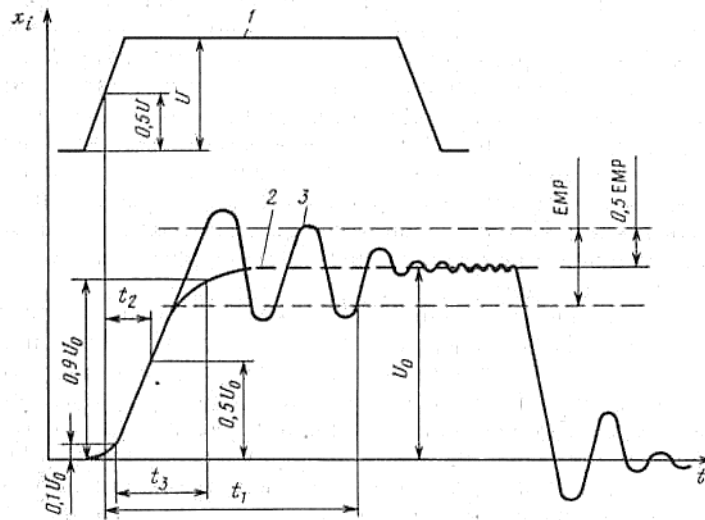


Рисунок 4.8 – Вихідний сигнал ЦАП:

1 - тест-імпульс; 2 - форма номінального вихідного імпульсу; 3 - форма дійсного вихідного імпульсу

Час встановлення вихідного сигналу – час від моменту зміни коду на входах ЦАП до моменту, коли значення вихідної аналогової величини відрізняється від встановленого на задану величину (рис. 4.8). Залежно від типу ЦАП це може бути час встановлення вихідного струму t_{SI} або час встановлення вихідної напруги t_{SV} . У більшості випадків наводиться час встановлення при стрибкоподібній зміні вхідного коду від мінімального до максимального значення або навпаки, коли вихідна аналогова величина відрізняється від значення не більше $0,5 \text{ EMP}$ в ту чи іншу сторону. Відлік часу зазвичай ведеться з досягнення вхідним рівнем $0,5$ амплітуди. На рис. 4.8 – це інтервал часу t_1 від моменту досягнення половини амплітуди логічного рівня до моменту, коли крива вихідного сигналу востаннє перетинає одну з меж зони, обмеженої $x_{max} - 0,5 \text{ EMP}$ і $x_{max} + 0,5 \text{ EMP}$. Зміна вхідного коду може бути і в інтервалі інших значень, а точність досягнення вихідним сигналом значення може вибиратися з міркувань необхідної точності ЦАП.

Час затримки поширення – час від моменту досягнення вхідним рівнем половини амплітуди до моменту досягнення вихідною аналоговою величиною половини значення, що встановилося (час t_2 на рис. 4.8). Поряд з цим параметром може використовуватися час затримки – час від моменту зміни коду до моменту, коли вихідна аналогова величина досягає 0,1 значення.

Час наростання — час, протягом якого вихідна аналогова величина змінюється від 0,1 до 0,9 значення (час t_3 на рис. 5.13).

Швидкість наростання – відношення збільшення аналогової вихідної величини до часу t_3 , за яке відбулося це збільшення.

Час перемикання – час від моменту зміни вхідного коду до моменту досягнення вихідної аналогової величини 0,9 значення.

4.3 Оцінювання впливу характеристик фільтрів на точність відновлення синтезованих сигналів

4.3.1 Частотні характеристики фільтрів

Синтезатор сигналів з керованої МСІ включає в себе аналоговий фільтр нижніх частот, який згладжує послідовність зрушених у часі ступінчастих функцій $g_4^*(t - iT)$. Цей ФНЧ відіграє важливу роль у процесі формування гладких сигнальних функцій.

Оптимальним підбором характеристик ФНЧ можна, спираючись на той чи інший критерій згоди, максимально наблизити форму сигналу, що синтезується, до його аналітичного виразу.

Розглянемо найпоширеніші типи фільтрів, характеристики яких були отримані у результаті апроксимації ідеалізованої АЧХ прямокутної форми [8, 9].

До найвідоміших прийнято відносити п'ять типів:

1. Фільтр Баттерворта з монотонно спадаючою амплітудно-частотною характеристикою.

2. Фільтр Чебишева з рівнохвильовою у смузі пропускання та монотонно спадаючою у смузі затримування амплітудно-частотною характеристикою.

3. Інверсний фільтр Чебишева з монотонно спадаючою в смузі пропускання і рівнохвильовою в смузі затримування амплітудно-частотною характеристикою.

4. Еліптичний фільтр (також відомий, як фільтр Кауера або подвійний фільтр Чебишева) з рівнохвильовою, як у смузі пропускання, так і в смузі затримування амплітудно-частотною характеристикою.

5. Фільтр Бесселя (також відомий, як фільтр з максимально плоскою характеристикою групового часу уповільнення), який побудований на основі апроксимації поруч Тейлора поблизу $\omega = 0$ лінійної фазочастотної характеристики.

Таким чином, фільтри Баттерворта, Чебишева, інверсний Чебишева та еліптичний апроксимують АЧХ, а фільтр Бесселя – ФЧХ нормованого ідеалізованого ФНЧ.

Оскільки мета ФНЧ в даному випадку полягає в тому, щоб згладити ступінчасту функцію, не вносячи будь-яких певних змін зформований сигнал, то доцільно вибрати той фільтр, який має гладку АЧХ і монотонну ФЧХ. Таким фільтром є фільтр Баттерворт.

Нормований фільтр нижніх частот Баттерворта n -го порядку представляють зазвичай у вигляді квадрата його амплітудно-частотної характеристики:

$$|F(j\omega)|^2 = B_n(\omega) = \frac{1}{1+\omega^{2n}} \quad (4.1)$$

За будь-яким n такий фільтр фізично реалізуємо [10]. У смузі пропускання фільтра, тобто при $0 \leq \omega \leq 1$, квадрат модуля коефіцієнта передачі плавно зменшується зі зростанням частоти. Поза смуги пропускання, тобто при $\omega > 1$, також спостерігається плавне зменшення модуля коефіцієнта передачі.

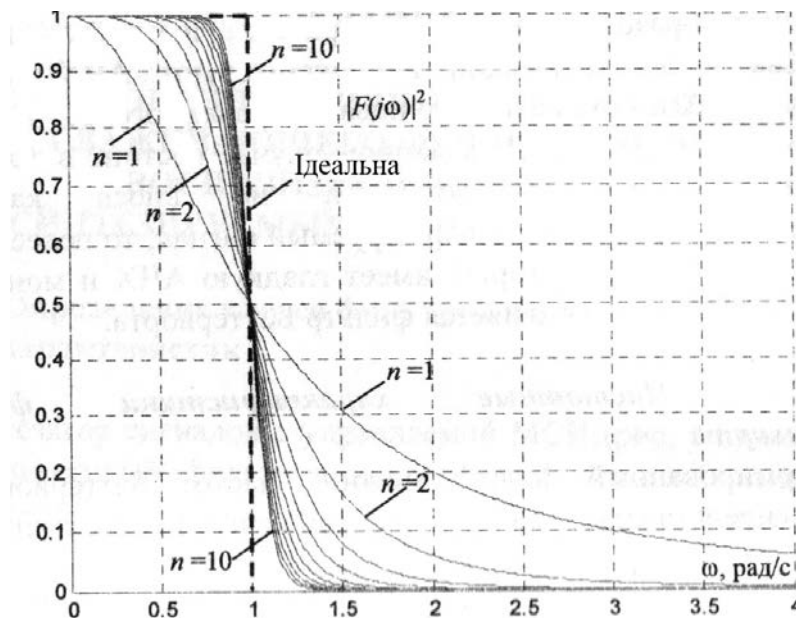
За будь-яким n справедливі такі співвідношення [10]:

$$||F(j0)|^2 = 10|F(j1)|^2 = 0,5 \quad \text{і} \quad |F(j\infty)|^2 = 0.$$

На частоті зрізу (при $\omega = 1$) ослаблення, що вноситься фільтром, становить $10 \lg 0,5 \approx -3 \text{ дБ}$ незалежно від його порядку.

Перші $(2n - 1)$ похідні амплітудно-частотної характеристики фільтра нижніх частот Баттерворта n -го порядку дорівнюють нулю при $\omega = 0$, з цієї причини фільтри Баттерворта також називаються фільтрами з максимально плоскими АЧХ.

На рис. 4.9 зображені графіки, які побудовані за формулою (5.1) для максимально-плоских характеристик різних порядків.



Рисунку 4.9 – Частотні характеристики коефіцієнта передачі потужності для фільтрів Баттерворта при $n = 1 \dots 10$

Для дослідження фільтруючих здібностей ФНЧ Баттерворт необхідно від коефіцієнта передачі потужності, представленого у формі (4.1), перейти до передавальної функції $F(j\omega)$. Метод отримання мінімально-фазової передавальної функції для заданої функції модуля викладено у [10]. В основу методу покладено перехід до нормованої комплексної частоти $s = j\omega$, після чого можна записати:

$$|F(s)|^2 = F(s) F(-s) = \frac{1}{1 + (-1)^n s^{2n}}$$

Полюси витвору $F(s)F(-s)$ є рішенням рівняння:

$$(-1)^n s^{2n} + 1 = 0 \quad (4.2)$$

Відомо, що всі коріння рівняння (4.2) і, отже, полюси $F(s)F(-s)$, лежать на колі одиничного радіусу, центр якої збігається з початком координат s -площини [9, 10].

Полюси, розташовані в лівій s -напівплощині, належать фізично реалізуемому фільтру а їх дзеркальні копії в правій s -напівплощині відповідають функції $F(-s)$ і не приймаються до уваги.

З огляду цього можна записати вираз для передавальної функції Баттерворта [10]:

$$F(s) = \prod_{k=1}^{n/2} \frac{1}{s^2 + (2\sin\Theta_k)s + 1} \text{ для парного } n$$

(4.3)

і

$$F(s) = \frac{1}{s + 1} \prod_{k=1}^{(n-1)/2} \frac{1}{s^2 + (2\sin\Theta_k)s + 1} \text{ для непарного } n$$

$$\text{де } \Theta_k = \frac{2k-1}{2n} \pi, \quad k = 1, 2, \dots, n.$$

З (4.3) легко отримати, наприклад, передатну функцію нормованого фільтра нижніх частот Баттерворта 2-го порядку

$$F(s) = \frac{1}{s^2 + [2\sin(\pi/4)]s + 1} = \frac{1}{s^2 + \sqrt{2}s + 1} \quad (4.4)$$

та передатну функцію 3-го порядку

$$F(s) = \frac{1}{s+1} \frac{1}{s^2 + [2\sin(\pi/6)]s + 1} = \frac{1}{s^3 + 2s^2 + 2s + 1} \quad (4.5)$$

При переході від частоти зрізу 1 рад/с до ω_c рад/с полюси переміщуються вздовж радіальних ліній до відповідних точок на колі радіуса ω_c . Таким чином, нормування частоти не змінює характер діаграми розташування полюсів, якщо не вважати зміни її масштабу. Для успішного застосування виразів (4.3)... (4.5) у процесі подальших досліджень потрібен відповідний обчислювальний апарат. В якості такого апарату можна використовувати обчислювальне середовище MATLAB.

4.3.2 Дослідження залежності залишкової МСІ від порядку фільтра Баттерворта та частоти зрізу

Результатом фільтрації ступінчастої функції $g_4^*(t)$ має стати гладка функція $\tilde{g}_4(t)$, що максимально наближається до ідеальної сигнальної функції.

В якості показника близькості виберемо D -критерій [10], який представляє собою чисельне значення результуючої МСІ, яку можна виявити в сигналі на виході ФНЧ.

Стосовно сигналу класу 4 D -критерій має такий вигляд:

$$D(n_1) = \frac{1}{\tilde{g}_4(-T)} \sum_{\substack{i=-n_1 \\ i \neq -1, i \neq 1}}^{n_1} |\tilde{g}_4(iT)|, \quad (4.10)$$

де $|\tilde{g}_4(iT)|$ – модуль значення згладженого сигналу в i -й точці.

Точка $i = -1$ у сумі (4.10) не враховується, оскільки там є інформаційний відлік. Точка $i = 1$ також не враховується, тому що там знаходиться відлік управляємої МСІ. Таким чином, в сигнальній функції контролюється $2n_1 - 1$ точок. Сума абсолютних значень відхилень від нуля у цих точках, яка є мірою залишкової МСІ, нормується щодо величини інформаційного відліку $\tilde{g}_4(-T)$.

Моделювання процесу фільтрації зручно реалізувати у обчислювальному середовищі MATLAB [8, 9]. Відомо, що фільтри вносять затримку сигналу, яка ускладнює визначення у відфільтрованому сигналі максимальних значень і положення еквідистантних нулів.

Для реалізації фільтрації з нульовою фазовою затримкою в MATLAB передбачена вбудована функція *filtfilt*. Потрібний ефект досягається завдяки тому, що на першому етапі вхідний сигнал фільтрується, як звичайно, а потім здійснюється другий прохід фільтрації, при якому сигнал обробляється від кінця до початку [8, 9].

На рис. 4.10 представлені результати згладжування ступінчастої функції $g_4^*(t)$ за допомогою ФНЧ Баттерворта 5-го порядку для різних значень частоти зрізу, яка виражена через частоту Найквіста. У цьому випадку $g_4^*(t)$ є виваженою сумою восьми узагальнених функцій Хаара.

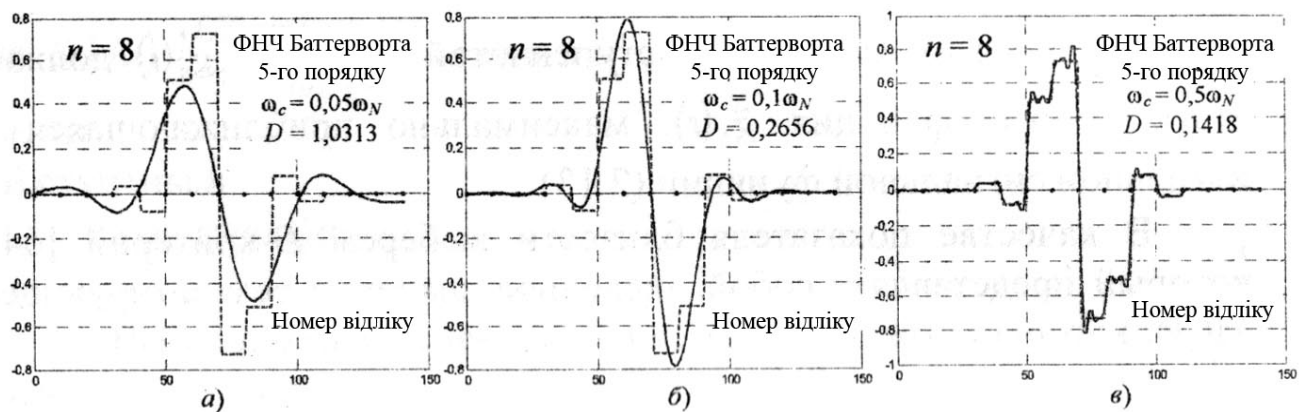


Рисунок 4.10 – Фільтрування сигналу без урахування затримки

У всіх випадках залишкова МСІ неприпустимо велика. В останньому випадку (рис. 4.10, *в*) велика також частка енергії сигналу на частотах $\omega > \pi/T$, що говорить про значні відхилення форми спектра.

Рисунок 4.11 ілюструє результати фільтрації $g_4^*(t)$ при $n = 16$.

Використовується ФНЧ Баттерворта 5-го порядку при різних значеннях частоти зрізу ω_c .

Сигнал $\tilde{g}_4(t)$ на виході ФНЧ (рис. 4.6 б) найкращим чином за обумовлених умов наближається до сигналу $g_4(t)$.

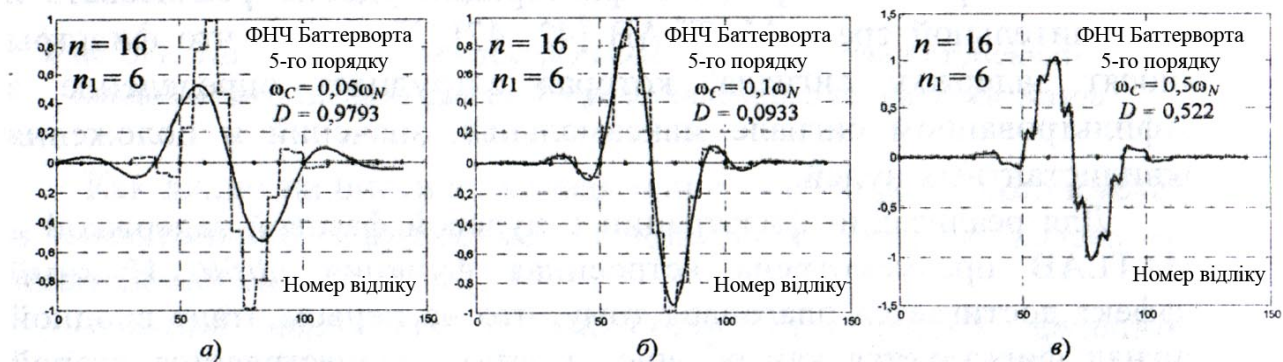


Рисунок 4.11 – Фільтрування сигналу за підвищеної точності апроксимації

Використання ФНЧ Чебишева першого роду 5-го порядку з пульсаціями АЧХ у смузі пропускання понад 0,5 дБ призводить до збільшення залишкової МСІ у всіх трьох випадках.

Цікаво також з'ясувати, як залежить МСІ від порядку фільтра Баттерворта. Результати дослідження подані на мал. 4.12, а і б.

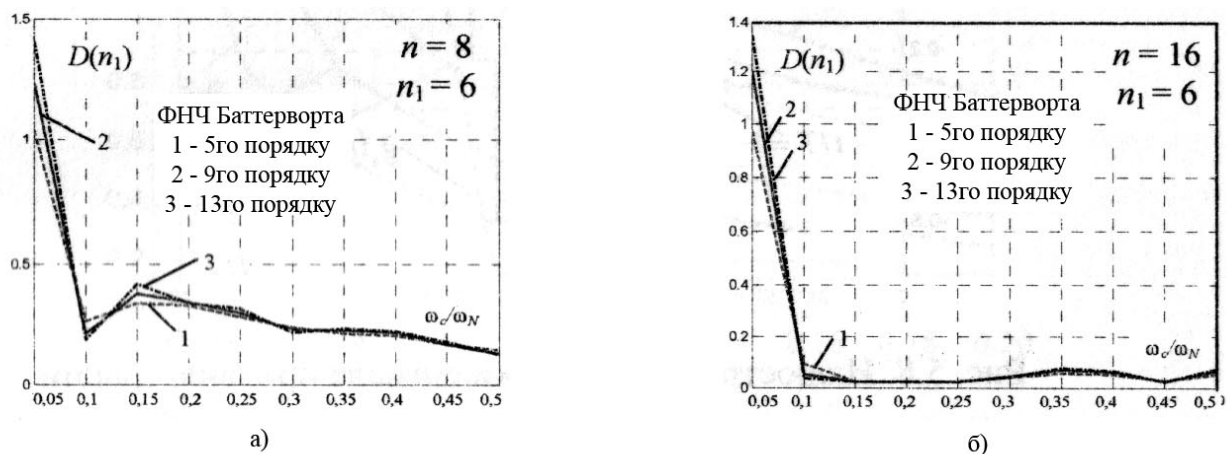


Рисунок 4.12 – Вплив порядку фільтра Баттерворта на рівень некерованої МСІ

Аналізуючи графіки, легко помітити, що порядок ФНЧ слабо впливає ступінь зниження МСІ. На рис. 4.12 а, який відповідає функції $g_4^*(t)$, що

складається з восьми вейвлетів Хаара ($n = 8$), чітко виділяється мінімум МСІ (D -критерій) при частоті зрізу ФНЧ, що дорівнює $\omega_c = 0,1\omega_N$.

При більш точній апроксимації ($n = 16$) мінімум розмитий, але його величина дорівнює $D(n_1) = 0,0212$, що можна вважати добрим результатом.

4.3.3 Оцінка залишкової МСІ з урахуванням затримки, що вноситься фільтром

У ряді випадків використання вбудованої функції *filtfilt* неприпустимо, оскільки вона не відображає реальних процесів фільтрації.

На рис. 4.13 представлені процеси на вході та виході ФНЧ, що пояснюють виникнення затримки вихідного сигналу.

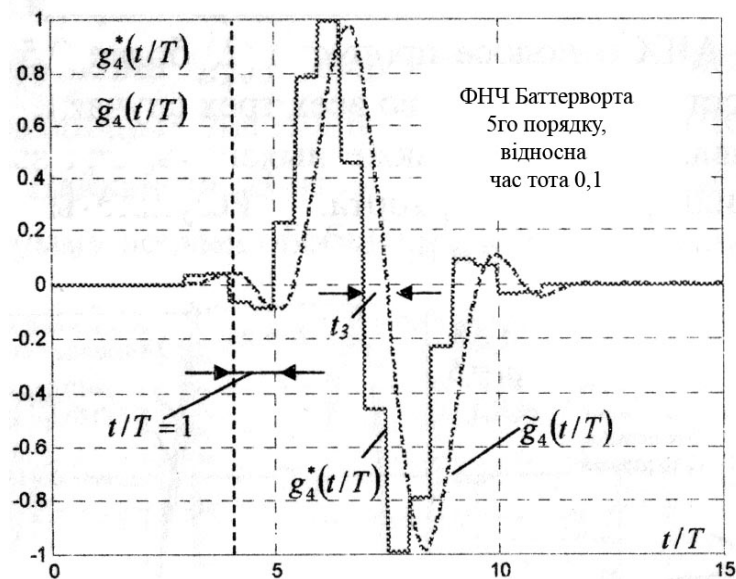


Рисунок 4.13 – Ілюстрація затримки сигналу під час фільтрації

Затримка сигналу t_3 залежить від параметрів фільтра. При зміні n або ω_c необхідно знову виконувати оцінку t_3 , що можна здійснити в середовищі MATLAB.

Тепер для оцінки ступеня близькості функцій $g_4(t)$ і $\tilde{g}_4(t)$ можна скористатися відеозміненим D -критерієм, що має в даному випадку такий вигляд:

$$D(n_1) = \frac{1}{\tilde{g}_4(t_3 - T)} \sum_{\substack{i=-n_1 \\ i \neq -1, i \neq 1}}^{n_1} |\tilde{g}_4(t_3 - iT)|, \quad (4.11)$$

де $|\tilde{g}_4(t_3 - T)|$ – модуль значення згладженого сигналу в i -й точці, t_3 – час затримки сигналу.

Вираз (4.11) дає фактично оцінку залишковій МСІ, яку не вдалося усунути фільтрацією. Якщо в еквідистантних точках відліки дорівнюють нулю, крім точок $i = -1$ і $i = 1$, тобто $\tilde{g}_4(t_3 - iT) = 0$, то в цьому випадку МСІ відсутня і $D(n_1) = 0$.

На рис. 4.14 представлена залежність часу затримки згладженого сигналу від порядку ФНЧ Баттерворта та відносної частоти зрізу.

Завершальним є дослідження залежності величини МСІ згідно з D -критерієм від порядку фільтра та частоти зрізу.

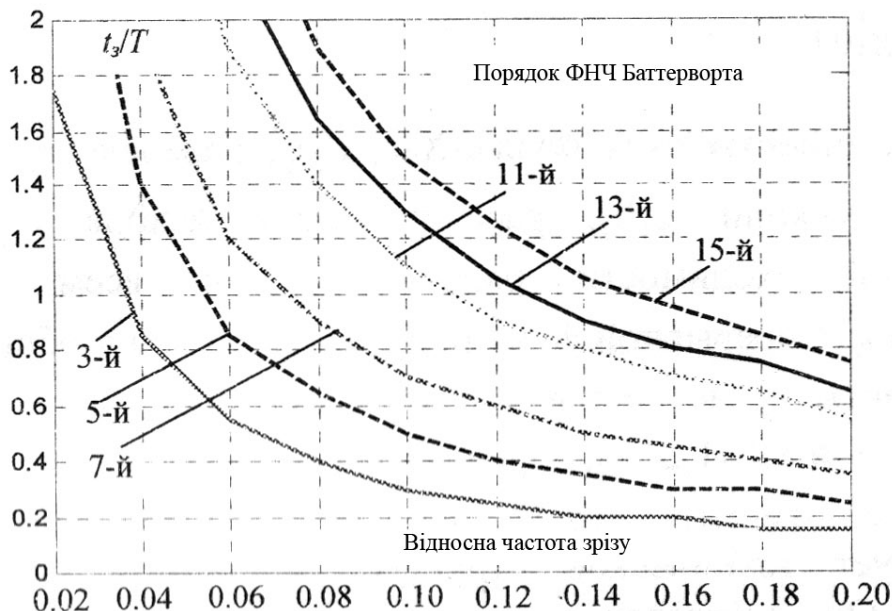


Рисунок 4.14 – Вплив параметрів фільтра на величину затримки

Результати моделювання показано на рис. 4.15.

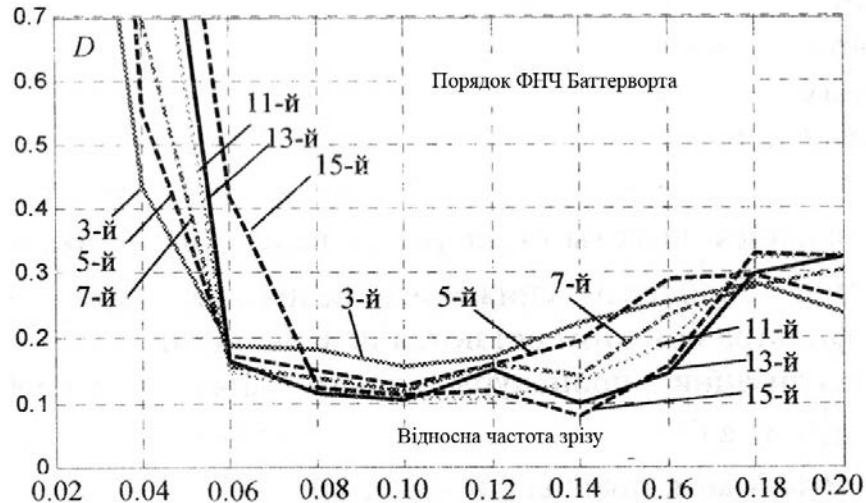


Рисунок 4.15 – Залежність залишкової МСІ від параметрів фільтра

Найкраще згладжування забезпечує ФНЧ Баттерворта 15-го порядку при частоті зрізу 0,14, коли мінімальне значення МСІ становить $D_{min} \approx 0,0787$. Це означає, що око-діаграма по вертикалі буде розкрито на 92%.

Подальше зниження МСІ для цього порядку ФНЧ можливе у разі підвищення точності апроксимації, тобто зі збільшенням кількості функцій Хаара та розширенні сегмента $[-mT, mT]$.

4.4 Висновки до розділу

1. Сформульовані вимоги до пристроїв тактової синхронізації.
2. Запропоновано для реалізації блоку узгодження з каналом зв'язку використовувати 8-ми розрядний ЦАП.
3. Проведені дослідження фільтрів нижніх частот показали, що їх порядок слабо впливає на ступінь зниження міжсимвольної інтерференції.
4. Досліджено залежність міжсимвольної інтерференції від параметрів фільтра нижніх частот та частот зрізу. Показано що мінімальне значення міжсимвольної інтерференції має місце при частоті зрізу 0,14.

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА АНАЛІЗ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБКИ

Виконання науково-дослідної роботи завжди передбачає отримання певних результатів і вимагає відповідних витрат. Результати виконаної роботи завжди дають нові знання, які в подальшому можуть бути використані для удосконалення та/або розробки (побудови) нових, більш продуктивних зразків техніки, процесів та програмного забезпечення.

Дослідження на тему «Розробка цифрових систем передачі на базі багаторівневих сигнальних конструкцій» може бути віднесено до фундаментальних і пошукових наукових досліджень і спрямоване на вирішення наукових проблем, пов'язаних з практичним застосуванням. Основою таких досліджень є науковий ефект, який виражається в отриманні наукових результатів, які збільшують обсяг знань про природу, техніку та суспільство, які розвивають теоретичну базу в тому чи іншому науковому напрямку, що дозволяє виявити нові закономірності, які можуть використовуватися на практиці.

Для цього випадку виконаємо такі етапи робіт:

- 1) здійснимо проведення наукового аудиту досліджень, тобто встановлення їх наукового рівня та значимості;
- 2) проведемо планування витрат на проведення наукових досліджень;
- 3) здійснимо розрахунок рівня важливості наукового дослідження та перспективності, визначимо ефективність наукових досліджень.

5.1 Оцінювання наукового ефекту

Основними ознаками наукового ефекту науково-дослідної роботи є новизна роботи, рівень її теоретичного опрацювання, перспективність, рівень розповсюдження результатів, можливість реалізації. Науковий ефект НДР на тему «Розробка цифрових систем передачі на базі багаторівневих сигнальних

конструкцій» можна охарактеризувати двома показниками: ступенем наукової новизни та рівнем теоретичного опрацювання.

Значення показників ступеня новизни і рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи в балах наведені в табл. 5.1 та 5.2.

Таблиця 5.1 – Показники ступеня новизни науково-дослідної роботи виставлені експертами

Ступінь новизни	Характеристика ступеня новизни	Значення ступеня новизни, бали		
		Експерти (ПІБ, посада)		
		1	2	3
Принципово нова	Робота якісно нова за постановкою задачі і ґрунтується на застосуванні оригінальних методів дослідження. Результати дослідження відкривають новий напрям в даній галузі науки і техніки. Отримані принципово нові факти, закономірності; розроблена нова теорія. Створено принципово новий пристрій, спосіб, метод	0	0	0
Нова	Отримана нова інформація, яка суттєво зменшує невизначеність наявних значень (по-новому або вперше пояснені відомі факти, закономірності, впроваджені нові поняття, розкрита структура змісту). Проведено суттєве вдосконалення, доповнення і уточнення раніше досягнутих результатів	51	55	57
Відносно нова	Робота має елементи новизни в постановці задачі і методах дослідження. Результати дослідження систематизують і узагальнюють наявну інформацію, визначають шляхи подальших досліджень; вперше знайдено зв'язок (або знайдено новий зв'язок) між явищами. В принципі відомі положення розповсюджені на велику кількість об'єктів, в результаті чого знайдено ефективне рішення. Розроблені більш прості способи для досягнення відомих результатів. Проведена часткова раціональна модифікація (з ознаками новизни)	0	0	0
Традиційна	Робота виконана за традиційною методикою. Результати дослідження мають інформаційний характер. Підтверджені або поставлені під сумнів відомі факти та твердження, які потребують перевірки. Знайдено новий варіант рішення, який не дає суттєвих переваг в порівнянні з існуючим	0	0	0
Не нова	Отримано результат, який раніше зафіксований в інформаційному полі, та не був відомий авторам	0	0	0
Середнє значення балів експертів		54,3		

Згідно отриманого середнього значення балів експертів ступінь новизни характеризується як нова, тобто отримана нова інформація, яка суттєво зменшує невизначеність наявних знань (по-новому або вперше пояснені відомі факти, закономірності, впроваджені нові поняття, розкрита структура змісту) та проведено суттєве вдосконалення, доповнення і уточнення раніше досягнутих результатів.

Таблиця 5.2 – Показники рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи виставлені експертами

Характеристика рівня теоретичного опрацювання	Значення показника рівня теоретичного опрацювання, бали		
	Експерт (ПІБ, посада)		
	1	2	3
Відкриття закону, розробка теорії	0	0	0
Глибоке опрацювання проблеми: багатоаспектний аналіз зв'язків, взаємозалежності між фактами з наявністю пояснень, наукової систематизації з побудовою евристичної моделі або комплексного прогнозу	0	70	0
Розробка способу (алгоритму, програми), пристрою, отримання нової речовини	58	0	60
Елементарний аналіз зв'язків між фактами та наявною гіпотезою, класифікація, практичні рекомендації для окремого випадку тощо	0	0	0
Опис окремих елементарних фактів, викладення досвіду, результатів спостережень, вимірювань тощо	0	0	0
Середнє значення балів експертів	62,7		

Згідно отриманого середнього значення балів експертів рівень теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи характеризується як глибоке опрацювання проблеми: багатоаспектний аналіз зв'язків, взаємозалежності між фактами з наявністю пояснень, наукової систематизації з побудовою евристичної моделі або комплексного прогнозу.

Показник, який характеризує рівень наукового ефекту, визначаємо за формулою [11]:

$$E_{\text{нау}} = 0,6 \cdot k_{\text{нов}} + 0,4 \cdot k_{\text{теор}}, \quad (5.1)$$

де $k_{\text{нов}}$, $k_{\text{теор}}$ - показники ступеня новизни та рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи, $k_{\text{нов}} = 54,3$, $k_{\text{теор}} = 62,7$ балів;

$0,6$ та $0,4$ – питома вага (значимість) показників ступеня новизни та рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи.

$$E_{\text{нау}} = 0,6 \cdot k_{\text{нов}} + 0,4 \cdot k_{\text{теор}} = 0,6 \cdot 54,3 + 0,4 \cdot 62,67 = 57,67 \text{ балів.}$$

Визначення характеристики показника $E_{\text{нау}}$ проводиться на основі висновків експертів виходячи з граничних значень, які наведені в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Граничні значення показника наукового ефекту

Досягнутий рівень показника	Кількість балів
Високий	70...100
Середній	50...69
Достатній	15...49
Низький (помилкові дослідження)	1...14

Відповідно до визначеного рівня наукового ефекту проведеної науково-дослідної роботи на тему «Розробка цифрових систем передачі на базі багаторівневих сигнальних конструкцій», даний рівень становить 57,67 балів і відповідає статусу - середній рівень. Тобто у даному випадку можна вести мову про потенційну фактичну ефективність науково-дослідної роботи.

5.2 Розрахунок витрат на здійснення науково-дослідної роботи

Витрати, пов'язані з проведенням науково-дослідної роботи на тему «Розробка цифрових систем передачі на базі багаторівневих сигнальних конструкцій», під час планування, обліку і калькулювання собівартості науково-дослідної роботи групуємо за відповідними статтями.

5.2.1 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 (Z_o) розраховуємо у відповідності до посадових окладів працівників, за формулою [11]:

$$Z_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p}, \quad (5.2)$$

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, $T_p=22$ дні.

$$Z_o = 14650,00 \cdot 36 / 22 = 23972,73 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.4 – 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	14650,00	665,91	36	23972,73
Інженер-розробник телекомунікаційних систем	14300,00	650,00	36	23400,00
Науковий співробітник за напрямом досліджень цифрових систем передачі	14350,00	652,27	20	13045,45
Технік	6850,00	311,36	20	6227,27
Всього				66645,45

Основна заробітна плата робітників

Витрати на основну заробітну плату робітників (Z_p) за відповідними найменуваннями робіт НДР на тему «Розробка цифрових систем передачі на базі багаторівневих сигнальних конструкцій» розраховуємо за формулою:

$$Z_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i, \quad (5.3)$$

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:

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{зм}}, \quad (5.4)$$

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

K_i – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду (табл. Б.2, додаток Б) [11];

K_c – 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.

T_p – середнє число робочих днів в місяці, приблизно $T_p = 22$ дн;

$t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

$$C_1 = 6700,00 \cdot 1,10 \cdot 1,65 / (22 \cdot 8) = 69,09 \text{ грн.}$$

$$Z_{pl} = 69,09 \cdot 6,00 = 414,56 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.5 – 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
Встановлення телекомунікаційного устаткування забезпечення передачі даних	6,00	2	1,10	69,09	414,56
Інсталяція програм імітації передавачів	4,20	5	1,70	106,78	448,48
Інсталяція програм імітації приймачів	2,50	4	1,50	94,22	235,55
Моделювання обладнання цифрових систем передачі сигналу	8,00	2	1,10	69,09	552,75
Підготовка приміщення для досліджень цифрових систем передачі сигналу	7,80	3	1,35	84,80	661,42
Налаштування устаткування системи передачі сигналу	5,00	5	1,70	106,78	533,91
Контроль протікання дослідження	7,00	3	1,35	84,80	593,58
Всього					3440,24

Додаткова заробітна плата дослідників та робітників

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

$$Z_{\text{дод}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{дод}}}{100\%}, \quad (5.5)$$

де $H_{\text{дод}}$ – норма нарахування додаткової заробітної плати. Прийmemo 11%.

$$Z_{\text{дод}} = (66645,45 + 3440,24) \cdot 11 / 100\% = 7709,43 \text{ грн.}$$

5.2.2 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:

$$Z_n = (Z_o + Z_p + Z_{\text{од}}) \cdot \frac{H_{zn}}{100\%} \quad (5.6)$$

де H_{zn} – норма нарахування на заробітну плату. Приймаємо 22%.

$$Z_n = (66645,45 + 3440,24 + 7709,43) \cdot 22 / 100\% = 17114,93 \text{ грн.}$$

5.2.3 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 «Розробка цифрових систем передачі на базі багаторівневих сигнальних конструкцій».

Витрати на матеріали на даному етапі проведення досліджень в основному пов'язані з використанням моделей елементів та моделювання роботи і досліджень за допомогою комп'ютерної техніки та створення експериментальних математичних моделей або програмного забезпечення, тому дані витрати формуються на основі витратних матеріалів характерних для офісних робіт.

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

$$M = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j - \sum_{j=1}^n B_j \cdot C_{ej}, \quad (5.7)$$

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

n – кількість видів матеріалів;

C_j – вартість матеріалу j -го найменування, грн/кг;

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$);

B_j – маса відходів j -го найменування, кг;

C_{ej} – вартість відходів j -го найменування, грн/кг.

$$M_1 = 3,0 \cdot 235,00 \cdot 1,1 - 0 \cdot 0 = 775,50 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.6 – 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 А-4 NEXO Everyday клас С 500 листів	235,00	3,0	0	0	775,50
Папір офісний Офіс Центр А5 80г/м2 500 аркушів клас С	130,00	4,0	0	0	572,00
Набір настільний 12 предметів 4Office 4-415	237,00	3,0	0	0	782,10
Органайзер для канцелярії з годинником та календарем директору 31x17x11 см (RD-100)	740,00	1,0	0	0	814,00
Тонер HP універсальний MPT9 флакон, 1 кг SCC (TSM-MPT9-1)	410,00	1,0	0	0	451,00
ДИСК CD-R VERBATIM 700MB 80MIN 52X BULK 50	517,00	1,0	0	0	568,70
USB флеш накопичувач Transcend 32Gb JetFlash 700 (TS64GJF700)	269,00	1,0	0	0	295,90
Всього					4259,20

5.2.4 Розрахунок витрат на комплектуючі

Витрати на комплектуючі (K_6), які використовують при проведенні НДР на тему «Розробка цифрових систем передачі на базі багаторівневих сигнальних конструкцій», розраховуємо, згідно з їхньою номенклатурою, за формулою:

$$K_6 = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j \quad (5.8)$$

де H_j – кількість комплектуючих j -го виду, шт.;

C_j – покупна ціна комплектуючих j -го виду, грн;

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$).

$$K_6 = 1 \cdot 2735,00 \cdot 1,11 = 3035,85 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.7 – Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, грн	Сума, грн
Передавач сигналу	1	2735,00	3035,85
Отримувач сигналу	1	1376,00	1527,36
Всього			4563,21

5.2.5 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:

$$B_{\text{спец}} = \sum_{i=1}^k C_i \cdot C_{\text{пр.}i} \cdot K_i, \quad (5.9)$$

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

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

K_i – коефіцієнт, що враховує доставку, монтаж, налагодження устаткування тощо, ($K_i = 1, 10 \dots 1, 12$);

k – кількість найменувань устаткування.

$$B_{\text{спец}} = 8880,00 \cdot 1 \cdot 1,11 = 9856,80 \text{ грн.}$$

Отримані результати зведемо до таблиці:

Таблиця 5.8 – Витрати на придбання спецустаткування по кожному виду

Найменування устаткування	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Цифровий осцилограф OWON SDS1022 (20 МГц, 2 канали)	1	8880,00	9856,80
Генератор сигналів UNI-T UTG9005C-II	1	7830,00	8691,30

Модаль багаторівневої сигнальної конструкції	1	4780,00	5305,80
Всього			23853,90

5.2.6 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:

$$B_{npg} = \sum_{i=1}^k C_{inpg} \cdot C_{npg.i} \cdot K_i, \quad (5.10)$$

де C_{inpg} – ціна придбання одиниці програмного засобу даного виду, грн;

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

K_i – коефіцієнт, що враховує інсталяцію, налагодження програмного засобу тощо, ($K_i = 1, 10 \dots 1, 12$);

k – кількість найменувань програмних засобів.

$$B_{npg} = 4780,00 \cdot 1 \cdot 1,1 = 5258,00 \text{ грн.}$$

Отримані результати зведемо до таблиці:

Таблиця 5.9 – Витрати на придбання програмних засобів по кожному виду

Найменування програмного засобу	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Пакет Visual System Simulator	1	4780,00	5258,00
Пакет Microwave Office	1	3920,00	4312,00
Пакет MATLAB SIMULINK	1	3640,00	4004,00
Всього			13574,00

5.2.7 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:

$$A_{обл} = \frac{Ц_{б}}{T_{е}} \cdot \frac{t_{вик}}{12}, \quad (5.11)$$

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;

$T_{е}$ – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

$$A_{обл} = (20227,00 \cdot 2) / (2 \cdot 12) = 1685,58 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.10 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн
Програмно-аналітичний комплекс проектування на базі Lenovo ThinkCentre M75q Gen 2 / Ryzen5 PRO 4650GE (11JJ0003UC)	20227,00	2	2	1685,58
Графічно-обчислювальний комплекс обробки даних на базі ASUS V241EAK-BA056M / i3-1115G4 (90PT02T2-M07510)	27999,00	2	2	2333,25
Обладнання виводу інформації	6600,00	4	2	275,00
Робоче місце	8960,00	5	2	298,67

інженера-розробника спеціалізоване				
Офісна оргтехніка	8760,00	5	2	292,00
Приміщення лабораторії досліджень	526000,00	20	2	4383,33
ОС Windows	7890,00	2	2	657,50
Прикладний пакет Microsoft Office	7120,00	2	2	593,33
Всього				10518,67

5.2.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей

Витрати на силову електроенергію (B_e) розраховуємо за формулою:

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{eni}}{\eta_i}, \quad (5.12)$$

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

t_i – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

C_e – вартість 1 кВт-години електроенергії, грн; (вартість електроенергії визначається за даними енергопостачальної компанії), прийmemo $C_e = 6,20$ грн;

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

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

$$B_e = 0,23 \cdot 40,0 \cdot 6,20 \cdot 0,95 / 0,97 = 57,04 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.11 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, грн
Цифровий осцилограф OWON SDS1022 (20 МГц, 2 канали)	0,23	40,0	57,04
Генератор сигналів UNI-T UTG9005C-II	0,07	40,0	17,36
Модаль багаторівневої сигнальної конструкції	0,25	40,0	62,00
Передавач сигналу	0,01	40,0	2,48
Отримувач сигналу	0,01	40,0	2,48
Програмно-аналітичний комплекс проектування на базі Lenovo ThinkCentre	0,32	240,0	476,16

M75q Gen 2 / Ryzen5 PRO 4650GE (11JJ0003UC)			
Графічно-обчислювальний комплекс обробки даних на базі ASUS V241EAK-BA056M / i3-1115G4 (90PT02T2-M07510)	0,26	200,0	322,40
Обладнання виводу інформації	0,15	60,0	55,80
Робоче місце інженера-розробника спеціалізоване	0,10	240,0	148,80
Офісна оргтехніка	0,60	3,0	11,16
Всього			1155,68

5.2.9 Службові відрядження

До статті «Службові відрядження» дослідної роботи на тему «Розробка цифрових систем передачі на базі багаторівневих сигнальних конструкцій» 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:

$$B_{cv} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cv}}{100\%}, \quad (5.13)$$

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

$$B_{cv} = (66645,45 + 3440,24) \cdot 20 / 100\% = 14017,14 \text{ грн.}$$

5.2.10 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:

$$B_{cn} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cn}}{100\%}, \quad (5.14)$$

де H_{cn} – норма нарахування за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації», прийmemo $H_{cn} = 30\%$.

$$B_{cn} = (66645,45 + 3440,24) \cdot 30 / 100\% = 21025,71 \text{ грн.}$$

5.2.11 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:

$$I_{is} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{is}}{100\%}, \quad (5.15)$$

де H_{is} – норма нарахування за статтею «Інші витрати», прийmemo $H_{is} = 55\%$.

$$I_{is} = (66645,45 + 3440,24) \cdot 55 / 100\% = 38547,13 \text{ грн.}$$

5.2.12 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:

$$B_{нзв} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{нзв}}{100\%}, \quad (5.16)$$

де $H_{нзв}$ – норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати», приймемо $H_{нзв} = 130\%$.

$$B_{нзв} = (66645,45 + 3440,24) \cdot 130 / 100\% = 91111,40 \text{ грн.}$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Розробка цифрових систем передачі на базі багаторівневих сигнальних конструкцій» розраховуємо як суму всіх попередніх статей витрат за формулою:

$$B_{заг} = Z_o + Z_p + Z_{дод} + Z_n + M + K_v + B_{специ} + B_{прз} + A_{обл} + B_e + B_{св} + B_{сп} + I_v + B_{нзв}. \quad (4.17)$$

$$B_{заг} = 66645,45 + 3440,24 + 7709,43 + 17114,93 + 4259,20 + 4563,21 + 23853,90 + 13574,00 + 10518,67 + 1155,68 + 14017,14 + 21025,71 + 38547,13 + 91111,40 = 317536,09 \text{ грн.}$$

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

$$ZB = \frac{B_{заг}}{\eta}, \quad (5.18)$$

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

$$ZB = 317536,09 / 0,9 = 352817,88 \text{ грн.}$$

5.3 Оцінювання важливості та наукової значимості науково-дослідної роботи

Оцінювання та доведення ефективності виконання науково-дослідної роботи фундаментального чи пошукового характеру є достатньо складним процесом і часто базується на експертних оцінках, тому має вірогідний характер.

Для обґрунтування доцільності виконання науково-дослідної роботи на тему «Розробка цифрових систем передачі на базі багаторівневих сигнальних конструкцій» використовується спеціальний комплексний показник, що враховує важливість, результативність роботи, можливість впровадження її результатів у виробництво, величину витрат на роботу.

Комплексний показник K_p рівня науково-дослідної роботи може бути розрахований за формулою:

$$K_p = \frac{I^n \cdot T_C \cdot R}{B \cdot t}, \quad (5.19)$$

де I – коефіцієнт важливості роботи. Прийmemo $I = 4$;

n – коефіцієнт використання результатів роботи; $n = 0$, коли результати роботи не будуть використовуватись; $n = 1$, коли результати роботи будуть використовуватись частково; $n = 2$, коли результати роботи будуть використовуватись в дослідно-конструкторських розробках; $n = 3$, коли результати можуть використовуватись навіть без проведення дослідно-конструкторських розробок. Прийmemo $n = 3$;

T_C – коефіцієнт складності роботи. Прийmemo $T_C = 3$;

R – коефіцієнт результативності роботи; якщо результати роботи плануються вище відомих, то $R = 4$; якщо результати роботи відповідають відомому рівню, то $R = 3$; якщо нижче відомих результатів, то $R = 1$. Прийmemo $R = 4$;

B – вартість науково-дослідної роботи, тис. грн. Прийmemo $B = 352817,88$ грн;

t – час проведення дослідження. Прийmemo $t = 0,17$ років, (2 міс.).

Визначення показників I , n , T_C , R , B , t здійснюється експертним шляхом або на основі нормативів [11].

$$K_p = \frac{I^n \cdot T_C \cdot R}{B \cdot t} = \frac{4^3 \cdot 3 \cdot 4}{352,8 \cdot 0,17} = 13,06.$$

Якщо $K_p > 1$, то науково-дослідну роботу на тему «Розробка цифрових систем передачі на базі багаторівневих сигнальних конструкцій» можна вважати ефективною з високим науковим, технічним і економічним рівнем.

5.4 Висновок до розділу

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Розробка цифрових систем передачі на базі багаторівневих сигнальних конструкцій» складають 352817,88 грн. Відповідно до проведеного аналізу та розрахунків рівень науково-економічного ефекту проведеної науково-дослідної роботи на тему «Розробка цифрових систем передачі на базі багаторівневих сигнальних конструкцій» є середній, а дослідження актуальними, рівень доцільності виконання науково-дослідної роботи $K_p > 1$, що свідчить про потенційну ефективність з високим науковим, технічним і економічним рівнем.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Охорона праці відіграє важливу роль, як соціальний чинник, оскільки, якими б вагомими не були виробничі результати, вони не можуть компенсувати людині втраченого здоров'я, а тим більше життя – те і інше дається тільки один раз. Необхідно пам'ятати, що через нещасні випадки та аварії гинуть на виробництві не просто робітники і службовці, на підготовку яких держава витратила значні засоби, а, в першу чергу, люди – годувальники сімей, батьки і матері дітей.

Таким чином, умови і безпека праці повинні бути закладені в проєкті кожного промислового підприємства, конкретного виробництва, конструкції машин, обладнання в усіх сферах і галузях національної економіки.

Магістерська робота висвітлює розробку цифрових систем передачі на базі багаторівневих сигнальних конструкцій. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори, що можуть впливати на розробника мережі:

1. Фізичні:

- підвищена запыленість та загазованість повітря робочої зони;
- підвищена чи понижена температура повітря робочої зони;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищений рівень електромагнітного випромінювання;
- підвищена чи понижена іонізація повітря;
- недостатня освітленість робочої зони.

2. Психофізіологічні:

- статичне перевантаження;
- розумове перевантаження;
- емоційні перевантаження.

Відповідно до визначених факторів здійснюємо планування щодо безпечного виконання роботи.

6.1 Технічні рішення з безпечного виконання робіт

6.1.1 Технічні рішення з організації робочого місця під час проектування

Умови праці – це сукупність елементів виробничого середовища, які впливають на функціональний стан людини.

Сприятливими вважаються такі умови праці, коли сукупність елементів, що їх утворюють, впливає на людину і сприяє духовому і фізичному розвитку особистості, формування творчого ставлення до праці, почуття задоволеності ним, високої працездатності.

Обладнання робочого місця дослідника модулю контролю фізіологічного стану організму здійснюється згідно наступних вимог:

- до роботи на ПК допускаються особи, які ознайомились з інструкцією виконання роботи і пройшли інструктаж на робочому місці;

- положення тіла працівника повинно відповідати нормативним вимогам, оскільки неправильна поза призводить до виникнення захворювань;

- екран встановлюють на відстані 75-120см від очей працівника, а нижній край екрана повинен бути на 20 см нижче рівня очей;

- висота клавіатури повинна бути встановлена таким чином, щоб кисті рук користувача розміщувались прямо, щоб не було потреби далеко витягуватись;

- спинка стільця повинна підтримувати спину користувача, кут між стегнами і хребтом має становити 90 градусів;

- на робочому місці слід уникати яскравого освітлення екрану, щоб не втомлювати очі різкою зміною потужності світлового потоку;

- екран комп'ютера потрібно розміщувати під прямим кутом до вікон, самі вікна під час роботи доцільно завішувати або закривати жалюзями [11].

При організації праці, що пов'язана з використанням ВДТ ЕОМ і ПЕОМ, для збереження здоров'я працюючих, запобігання професійним захворюванням і підтримання працездатності передбачено внутрішньозмінні режими при 8-годинному робочому дні залежно від характеру праці:

- для розробників програм – 15 хвилин перерви через кожну годину роботи;
- для операторів ЕОМ – 15 хвилин через кожні 2 години роботи;
- для операторів комп'ютерного набору – 10 хвилин перерви через кожну годину роботи.

У всіх випадках тривалість безперервної роботи з ВДТ не може перевищувати 4 години.

6.1.2 Електробезпека виробничого приміще

Приміщення, де буде здійснюватись робота за небезпекою ураження електричним струмом можна віднести до 1 класу, тобто це приміщення без підвищеної небезпеки (сухе, мало заповишене, з нормальною температурою повітря, ізольованими підлогами і малим числом заземлених приладів) [12].

На робочому місці з усього обладнання металевим є лише корпус системного блоку комп'ютера, в якого крім робочої ізоляції передбачений елемент для заземлення та провід з заземлюючий жилою для приєднання до джерела живлення.

Електротехнічне устаткування: апаратури, кабелі й керівництва, розподільні пристрої всіх видів і напруг по своїх номінальних параметрах задовольняє умовам роботи як при нормальних режимах, так і при коротких замиканнях, перенапругах, перевантаженнях.

Для забезпечення безпеки установлюються наступні технічні рішення:

- Забезпечено недоступність струмопровідних частин (застосована схована проводка, кабель прокладений у спеціальних ринвах).
- Забезпечено ізолювання струмопровідних частин з використанням ізоляції, опір якої не нижче 1кОм/В, передбачені постійний контроль і профілактика ізоляції.
- Напруга освітлювальної мережі приймається 220 В із заземленою нейтраллю.

6.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

6.2.1 Мікроклімат

Робота розробни цифрових систем передачі на базі багаторівневих сигнальних конструкцій згідно гігієнічною класифікацією праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу [13] за енерговитратами відноситься до категорії І б. Допустимі параметри мікроклімату для цієї категорії наведені в табл.6.1 (відповідно ДСН 3.3.6.042-99 [14]).

Таблиця 6.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Допустимі		
	t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	22-28	40-60	0,1-0,3
Холодний	20-24	75	0,2

Для збереження допустимих умов праці, потрібно підтримувати вищенаведені параметри мікроклімату з допомогою опалення вентиляції та рекуперації повітря.

6.2.2 Склад повітря робочої зони

ГДК шкідливих речовин, які знаходяться в приміщенні, наведені в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Формальдегід	0,035	0,03	2
Фенол	0,01	0,01	3
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4
Озон	0,16	0,03	1

Для забезпечення складу повітря робочої зони передбачено: механічна вентиляція, регулярне прибирання та заборона заходити у приміщення в верхньому одязі.

6.2.3 Виробниче освітлення

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 6.4 (відповідно ДБН В.2.5-28-2006 [15]):

Таблиця 6.4 - Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роб	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, лк		КПО, %			
						Штучне освітлення		Природне освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове
Дуже високої точності	Від 0,15 до 0,3	II	г	великий	світлий	1000	300	7	2,5	4,2	1,5

Для забезпечення достатнього освітлення передбачені такі заходи:

Система природного освітлення на сьогоднішній день являється другорядним, компенсується загальним штучним освітленням, що створюється за допомогою енергозберезливих ламп.

6.2.4 Виробничий шум

Рівні шуму на робочому місці розробника встановлюються згідно ДСН 3.3.6.037-99 [16].

Під час аналізу мереж наступного покоління в умовах надзвичайної ситуації спостерігався шум непостійний тональний. Допустимі рівні звукового тиску під час виконання роботи повинні відповідати ГС, а рівні звуку L_A не повинні перевищувати 50 дБА (таблиця 6.5).

Таблиця 6.5 – Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах зі середньгеометричними частинами (Гц)									Допустимий 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 забезпечення допустимих параметрів шуму доцільно використовувати засоби індивідуального захисту, якщо відбуватиметься порушення відповідних норм.

6.2.5 Електромагнітні випромінювання

Джерелом електромагнітного випромінювання під час виконання роботи є ПК.

У результаті дії ЕМП на людину можливі гострі та хронічні форми порушення фізіологічних функцій організму. Ці порушення виникають в результаті дії електричної складової ЕМП на нервову систему, а також на структуру кори головного та спинного мозку, серцево-судинної системи.

Допустимі значення параметрів електромагнітних випромінювань від монітору комп'ютера згідно СанПіН 2.2.4.1191-03 [11] наведені в табл. 6.6.

Таблиця 6.6 – Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань

Найменування параметра	Допустимі значення
Напруженість електричної складової електромагнітного поля на відстані 50 см від поверхні відеомонітору	10 В/м
Напруженість магнітної складової електромагнітного поля на відстані 50 см від поверхні відеомонітору	0,3 А/м
Напруженість електростатичного поля не повинна перевищувати:	для дорослих користувачів 20кВ/м для дітей 15кВ/м

Для захисту людини від дії електромагнітних випромінювань передбачаються наступні способи і засоби: обмеження часу перебування

персоналу в робочій зоні; встановлення раціональних режимів експлуатації установок і роботи працюючого персоналу.

6.2.6 Психофізіологічні фактори

Основними показниками важкості праці є: фізичне динамічне навантаження, стереотипні робочі рухи, статичне навантаження, переміщення у просторі. Основними показниками напруженості праці є: тривалість зосередження уваги або щільність сигналів, ступінь ризику для власного життя та життя інших осіб або ступінь відповідальності за життя інших осіб, змінність при роботі виключно в нічну зміну. [16]. Розглянемо деякі нормовані значення до яких потрібно прагнути при організації розпорядку робочого дня та режиму роботи відпочинку для досягнення оптимальних умов. Сенсорні навантаження:

Тривалість зосередження уваги до 50% від загального часу зміни.

Спостереження за екранами відеотерміналів, до 2 годин на зміну.

Монотонність виробничої обстановки, час пасивного спостереження за технологічним процесом менше 75 % від часу зміни.

Тривалість робочого дня 6-7 год.

Змінність роботи – однозмінна робота (без нічної зміни).

Емоційне навантаження: є відповідальним за виконання окремих елементів завдання. Вимагає додаткових зусиль в роботі з боку працівника.

6.3 Заходи з цивільного захисту. Технічні заходи та засоби оповіщення.

Для вирішення завдань оповіщення в ЄСЦЗ створюється спеціальна система централізованого оповіщення (СЦО). СЦО забезпечує можливість циркулярного або вибіркового оповіщення посадових осіб центральних і місцевих органів виконавчої влади, керівників визначених підприємств, установ та організацій, населення залежно від рівня НС і заходів, яких необхідно невідкладно вжити. СЦО складається із загальнодержавної, регіональних і спеціальних систем

централізованого оповіщення; локальних та об'єктових систем оповіщення, систем циркулярного виклику. Загальнодержавна СЦО створюється на випадок загрози або виникнення НС загальнодержавного рівня. Вона забезпечує доведення інформації про НС до центральних і місцевих органів виконавчої влади та органів місцевого самоврядування. На випадок загрози або виникнення НС регіонального рівня (в АРК, кожній області, містах Києві та Севастополі, а також у містах, віднесених до відповідних категорій і груп), створюються регіональні системи СЦО місцевих органів виконавчої влади і населення.

Оповіщення про виникнення НС на АЕС здійснюється за допомогою спеціальних систем оповіщення. Ці системи передбачають можливість передачі сигналу “Увага всім!” і повідомлень на території АЕС та її промислової зони, у пристанційних населених пунктах з робочого місця начальника зміни станції (чергового диспетчера), а також оповіщення чергових служб територіальних органів ЦЗ. Оповіщення населення у 30- кілометровій зоні навколо АЕС здійснюється оперативним черговим відповідного територіального органу ЦЗ. Уздовж аміакопроводів, магістральних і відвідних нафто- і газопроводів створюються спеціальні системи централізованого оповіщення чергових служб територіальних органів ЦЗ, органів внутрішніх справ та населення, яке знаходиться в зоні можливого ураження. Ці системи мають сполучення з відповідними регіональними системами централізованого оповіщення.

У разі виникнення загрози катастрофічного затоплення внаслідок руйнування однієї чи декількох гребель на водосховищах Дніпровського каскаду та інших річках відповідні чергові служби гідроелектростанцій оповіщають чергових служб органів ЦЗ та населення за допомогою спеціальних СЦО, створених безпосередньо на гідротехнічних спорудах. На випадок виникнення НС безпосередньо на ПНО створюються локальні та об'єктові системи оповіщення, які мають сполучення з регіональними СЦО. 28 Локальні системи оповіщення створюються на ПНО, зона ураження від яких (при виникненні НС) досягає заселених територій або інших підприємств, установ, організацій. До їх складу

входять абонентські радіоточки мережі радіомовлення та відомчих радіотрансляційних вузлів, вуличні гучномовці, пристрої запуску електросирен та самі електросирени, система централізованого виклику, магнітофони, магнітні стрічки із записаними текстами звернень. Оповіщення працівників об'єкта і населення, які знаходяться за межами локальної системи оповіщення, покладається на оперативних чергових відповідних територіальних органів ЦЗ, для чого можуть залучатися сили та засоби органів МВС.

У населених пунктах, де немає цілодобового чергування територіальних органів ЦЗ та МНС, їх функції з оповіщення можуть покладатися на чергових органів МВС. На ПНО, зона ураження яких не виходить за їх територію, створюються об'єктові системи оповіщення, елементами яких виступають абонентські радіоточки і вуличні гучномовці державної мережі радіомовлення та відомчих радіовузлів, пристрої запуску електросирен та самі електросирени, телефони, підключені до системи централізованого виклику, та інші технічні засоби. Загальний контроль за технічним станом спеціальних, локальних та об'єктових систем оповіщення покладається на головних інженерів підприємств.

6.4 Висновки до розділу

В результаті виконання цього розділу було опрацьовано такі питання охорони праці, як технічні рішення стосовно: гігієни праці та виробничої санітарії. Причини виникнення, дія на організм людини та нормування небезпечних та шкідливих факторів у приміщенні. Заходи з цивільного захисту. Технічні заходи та засоби оповіщення.

ВИСНОВКИ

Цифрові системи передачі характеризуються високою завадостійкістю, незалежністю якості передавання від довжини лінії зв'язку, стабільністю параметрів каналів, ефективністю використання пропускну здатності при передаванні дискретних сигналів. При цьому передавання цифрових сигналів можливе каналами з регенераторами, з підсилювачами та регенераторами, поза смугою частот АСП, всередині робочої смуги частот АСП.

У роботі проведено аналіз показників якості цифрових систем передавання інформації, наведені аналітичні вирази для оцінювання основних показників якості (достовірності та швидкості передавання інформації), наведені аналітичні вирази для оцінювання технічної швидкості апаратури, що входить до складу передавальної частини ЦСП, та інформаційної швидкості, розглянуто способи передавання цифрових сигналів і сформульовані вимоги до цифрових систем передавання.

Запропонована система сигнальних функцій із фінітним спектром, яка дозволяє застосувати її для побудови систем із малим рівнем міжканальних перешкод, що еквівалентно підвищенню ефективності використання виділеної смуги частот.

Розглянуто особливості передавання цифрових потоків на базі 8-ми рівневих сигнальних конструкцій. Показано, що для зниження впливу лінійних спотворень на достовірність передавання цифрової інформації доцільно перейти від двійкового структурного алфавіту символів цифрового потоку до M-ічного алфавіту. Отримано співвідношення, які пов'язують між собою ці алфавіти. Запропонована структурна схема цифрової системи передавача з використанням 8-ми рівневих сигнальних конструкцій.

Сформульовані вимоги до пристроїв тактової синхронізації. Запропоновано для реалізації блоку узгодження з каналами зв'язку використовувати 8-ми розрядний ЦАП.

Проведені дослідження фільтрів нижніх частот показали, що їх порядок слабо впливає на ступінь зниження міжсимвольної інтерференції.

Досліджено залежність міжсимвольної інтерференції від параметрів фільтра нижніх частот та частот зрізу. Показано що мінімальне значення міжсимвольної інтерференції має місце при частоті зрізу 0,14.

Доцільність розробки показана шляхом техніко-економічного обґрунтування, наведена охорона праці та безпека життєдіяльності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. М.Ю. Ільченко, С.О. Кравчук Телекомунікаційні системи. НВП Видавництво „Наукова думка” МАН України, 2017.- 736 с.
2. Крук Б.И., Попандопуло В.Н., Шувалов В.П. Телекоммуникаційні системи і мережі. Том 2. Радиозв'язок, радіомовлення, телебачення. - М.: Горяча лінія – Телеком. 2005.
3. Крухмалев В.В., Гордиенко В.Н., Моченов А.Д. и др. Основи побудови телекоммуникаційних систем і мереж. - М. : Горячая лінія - Телеком. 2004.
4. Портнов Э.Л. Оптичні кабелі зв'язку : конструкції і характеристики:-М
5. Баев Н.Н., Гордиенко В.Н., Курицин С.А. и др. Багатоканальні системи передачі. : - М. : Радіо і зв'язок. 1997.
6. Иванов В.И., Гордиенко В.Н., Попов Г.Н. и др. Цифрові і аналогові системи передачі. - М. : Радіо і зв'язок. 1995.
7. Гитлиц М.В., Лев А.Ю. Теоретичні основи багатоканального зв'язку. : -М. : Радіо і зв'язок. 1985.
8. Зингаренко А.М., Баева Н.В., Тверецкий М.С. Системи багатоканального зв'язку. - М.: Зв'язок. 1980.
9. Романов В.Д. Цифрові системи передачі. - М.: Зв'язок. 1979.
10. Милейковский С.Г. Основи багатоканального зв'язку. - М. : Связь. 1974.
11. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.
12. Наказ від 08.04.2014 № 248 Про затвердження Державних санітарних норм та правил Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/topiccatalogua/labor-protection/14._nakazy_ta_rozpor_183575/248+58074-detail.html

13. ДБН В.2.5-28-2018. Природне і штучне освітлення. – Мінбуд України. – К.: 2006

14. 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>

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

16. НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://sop.zp.ua/norm_praop_0_00-7_15-18_01_ua.php Правила улаштування електроустановок - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.energiy.com.ua/PUE.html>

17. СанПіН 2.2.4.1294-03 «Фізичні фактори виробничого середовища. Гігієнічні вимоги до аероіонного складу повітря виробничих і громадських приміщень» - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.ionization.ru/issue/iss5.htm>

18. ДСанПіН 3.3.2.007-98 Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин ЕОМ - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/derz-nor4881.html>

19. СанПіН 2.2.4.1191-03 «Електромагнітні поля у виробничих умовах» - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.vrednost.ru/2241191-03.php>

ДОДАТКИ

Додаток А
(обов'язковий)
ВНТУ

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав.кафедри ІКСТ ВНТУ,
докт. техн. наук, професор
В.М. Кичак
“ ___ ” _____ 2022 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
на виконання магістерської кваліфікаційної роботи
**РОЗРОБКА ЦИФРОВИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧІ НА БАЗІ
БАГАТОРІВНЕВИХ СИГНАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ**
08-34.МКР.011.00.000 ТЗ

Керівник роботи
д.т.н., проф. кафедри ІКСТ ВНТУ
Кичак В.М..

Виконавець: ст. гр. ТКС-21м
Щенсєвіч Б.С.

Вінниця-2022

1 ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Робота проводиться на підставі наказу ректора по Вінницькому національному технічному університету від “14”_09_2022 року № 203 та індивідуального завдання на магістерську кваліфікаційну роботу.

Дата початку роботи: 01.09.2022 р.

Дата закінчення: 19.12.2022 р.

2 МЕТА І ПРИЗНАЧЕННЯ МКР

Метою Метою даної магістерської кваліфікаційної роботи є зниження впливу лінійних спотворень та підвищення достовірності передавання цифрової інформації шляхом застосування багаторівневих сигнальних функцій.

Задачами даної магістерської кваліфікаційної роботи є:

- розробка ситеми багаторівневих сигнальних функцій та дослідження їх спектральних характеристик;
- розробка ситеми відображення двікових комбінацій в просторі багаторівневих сигнальних функцій;
- розробка структурної схеми системи передавання інформації з використанням багаторівневих сигналів;
- проведення дослідження багаторівневих сигнальних функцій та їх спектрів для різних структурних алфавітів;
- розробка та обґрунтування вибору окремих блоків системи передавання цифрової інформації при використанні багаторівневих сигнальних конструкцій;

Об'єктом дослідження є процеси перетворення інформаційних сигналів у системі передавання цифрової інформації з використанням багаторівневих сигнальних конструкцій.

Предметом дослідження є структурні схеми системи передавання інформації з використанням багаторівневих сигналів.

Основними завданнями роботи є:

- техніко-економічне обґрунтування доцільності даної розробки;

- аналіз характеристик ЦСПП по каналах з обмеженою смугою частот;
- розробка ЦСПП на базі 8-ми та 16-ти рівневих сигнальних функцій;
- розробка елементів структурної схеми ЦСПП;
- аналіз економічної ефективності проведеної розробки;
- дослідження питань безпеки життєдіяльності.

Розроблені в ході виконання роботи елементи структурної схеми цифрової системи передачі інформації дозволяють застосувати їх для побудови систем із малим рівнем міжканальних перешкод, що еквівалентно підвищенню ефективності використання виділеної смуги частот.

3 ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ МКР

Робота базується на результатах бакалаврської дипломної роботи. Під час підготовки магістерської кваліфікаційної роботи будуть використані матеріали цієї БДР.

Список використаних джерел розробки:

- 3.1 Милейковский С.Г. Основи багатоканального зв'язку. - М. : Связь. 1974.
- 3.2 Романов В.Д. Цифрові системи передачі. - М.: Зв'язок. 1979.
- 3.3 Зингаренко А.М., Баева Н.В., Тверецкий М.С. Системи багатоканального зв'язку. - М.: Зв'язок. 1980.
- 3.4 Гитлиц М.В., Лев А.Ю. Теоретичні основи багатоканального зв'язку. : -М. : Радіо і зв'язок. 1985.
- 3.5 Положення про кваліфікаційні роботи на другому (магістерському) рівні вищої освіти у Вінницькому національному технічному університеті / Уклад. А. О. Семенов, Л. П. Громова, Т.В. Макарова, Сердюк О.В. – Вінниця: ВНТУ, 2021 – 60 с.
- 3.6 Кухарчук В.В., Ігнатенко О.Г., Обертюх Р.Р. Методичні вказівки до оформлення дипломних проектів (робіт) для студентів всіх спеціальностей.- В.: ВДТУ, 2002.

3.7 Козловський В.О. Техніко-економічні обґрунтування та економічні розрахунки в дипломних проектах та роботах. Навчальний посібник. – В.: ВДТУ, 2003.

3.8 ДСТУ 3008-2015. Інформація та документація, звіти у сфері науки і техніки.- К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016.

3.9 Бортник Г.Г., Васильківський М.В. Методичні вказівки до підготовки магістерських кваліфікаційних робіт для студентів спеціальності «Телекомунікації та радіотехніка» усіх форм навчання.- Вінниця:ВНТУ, 2018.-50 с.

4 ВИКОНАВЕЦЬ

Вінницький національний технічний університет, кафедра інфокомунікаційних систем і технологій, студент групи ТКС-21м Щенсевич Б.С.

5. ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ МКР

Пропонується виконати розробку цифрових систем передачі інформації на базі багаторівневих сигнальних конструкцій.

Технічні вимоги, яким повинна відповідати розробка, наступні:

- номінальні швидкості передавання: 2,048, 8,448, 34,368, 139,264 Мбіт/с;
- 8-ми та 16-ти рівневі сигнальні функції;
- мінімізація ширини спектру сигнальних функцій;
- мінімізація міжканальних завад.

6 ЕТАПИ МКР І ТЕРМІНИ ЇХ ВИКОНАННЯ

№	Назва та зміст етапу	Термін виконання		Очікувані результати	Звітна документація
		початок	закінчення		
1.	Розробка технічного завдання (ТЗ)	01.09.2022р.	12.09.2022р.	Розроблене ТЗ	Додаток А
2.	Огляд характеристик ЦСП по каналах з обмеженою смугою частот	20.09.2022р.	07.10.2022р.	Проведений аналіз	Вступ. Розділ 1.

3.	Розробка ЦСПІ на базі 8-ми рівневих сигнальних функцій	08.10.2022р.	28.10.2022р.	Розроблена структура	Розділ 2
4.	Розробка ЦСПІ на базі 16-ти рівневих сигнальних функцій	29.10.2022р.	18.11.2022р.	Розроблена структура	Розділ 3
5.	Розробка елементів структурної схеми ЦСПІ	01.11.2022р.	22.11.2022р.	Розроблена структура елементів	Розділ 4
6.	Аналіз економічної ефективності	19.11.2022р.	25.11.2022р.	Економічна частина МКР	Розділ 5
7.	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	26.11.2022р.	02.12.2022р.	Частина ОП та БНС	Розділ 6
8.	Оформлення пояснювальної записки (ПЗ) та графічної частини	03.12.2022р.	09.12.2022р.	Оформлена документація	ПЗ та графічна частина
9.	Нормоконтроль, попередній захист, опонування МКР	12.12. 2022р.	14.12.2022р.	Позитивні відзиви	Відгуки
10.	Захист МКР ЕК		19.12.2022р.	Позитивний захист	Протокол ЕК

7 ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОРЯДОК РЕАЛІЗАЦІЇ МКР

В результаті виконання роботи будуть розроблені:

- структурні схеми ЦСПІ на базі 8-ми та 16-ти рівневих сигнальних функцій;
- елементи структурної схеми ЦСПІ;
- економічна частина МКР;
- розділ ОП та БНС;
- рекомендації щодо подальшого використання розробленого ІКМ.

Результати, отримані в процесі виконання даної роботи, будуть впроваджені в галузі телекомунікацій.

Очікуваний техніко-економічний ефект. При впровадженні результатів досліджень очікується удосконалення систем із малим рівнем міжканальних

перешкод, що еквівалентно підвищенню ефективності використання виділеної смуги частот.

8 МАТЕРІАЛИ, ЯКІ ПОДАЮТЬ ПІСЛЯ ЗАКІНЧЕННЯ РОБОТИ ТА ПІД ЧАС ЕТАПІВ

За результатами виконання МКР до ЕК подаються пояснювальна записка, графічна частина МКР, відзив і рецензія.

9 ПОРЯДОК ПРИЙМАННЯ МКР ТА ЇЇ ЕТАПІВ

Поетапно результати виконання МКР розглядаються керівником роботи та обговорюються на засіданні кафедри.

Захист магістерської кваліфікаційної роботи відбувається на відкритому засіданні ЕК.

10 ВИМОГИ ДО РОЗРОБЛЮВАНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

Документація, що розробляється в процесі виконання досліджень повинна містити:

- техніко-економічне обґрунтування розробки;
- структурні схеми ЦСПІ на базі 8-ми та 16-ти рівневих сигнальних функцій;
- елементи структурної схеми ЦСПІ;
- економічну частину та розділ БЖД і ЦЗ;
- рекомендації щодо подальшого використання приладу.

11 ВИМОГИ ЩОДО ТЕХНІЧНОГО ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ З ОБМЕЖЕНИМ ДОСТУПОМ

У зв'язку з тим, що інформація не є конфіденційною, заходи з її технічного захисту не передбачаються.

Додаток Б

(обов'язковий)

Протокол перевірки кваліфікаційної роботи
на наявність текстових запозичень

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Розробка цифрових систем передачі на базі багаторівневих сигнальних конструкцій

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота
(БДР, МКР)

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

Показники звіту подібності Unicheck

Оригінальність 94,44% Схожість 5,56 %

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



(підпис)

Васильківський М.В.

(прізвище, ініціали)

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

Автор роботи


(підпис)

Щенсєвіч Б.С.

(прізвище, ініціали)

Керівник роботи

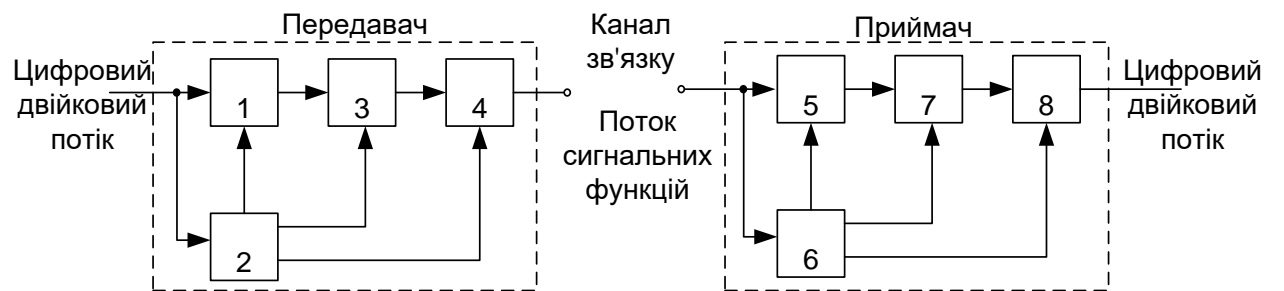

(підпис)

Кичак В.М.

(прізвище, ініціали)

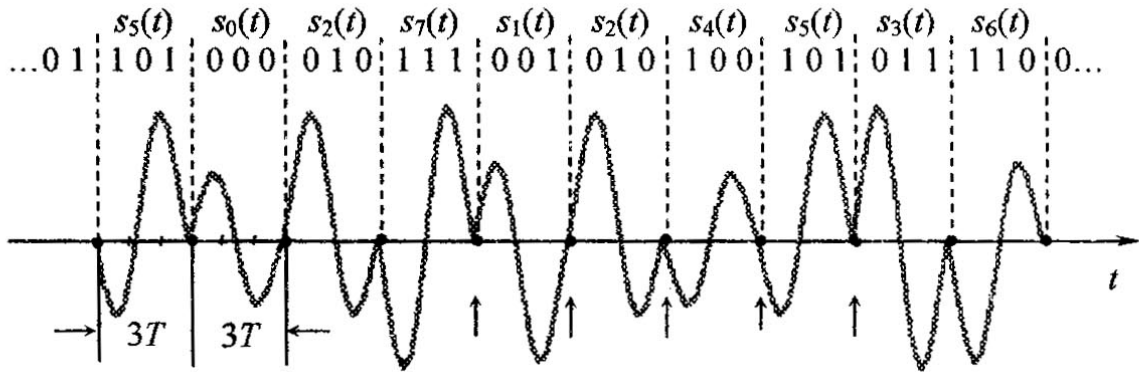
Додаток В

Структурна схема системи передачі цифрової інформації
з використанням 8-ми рівневих сигналів



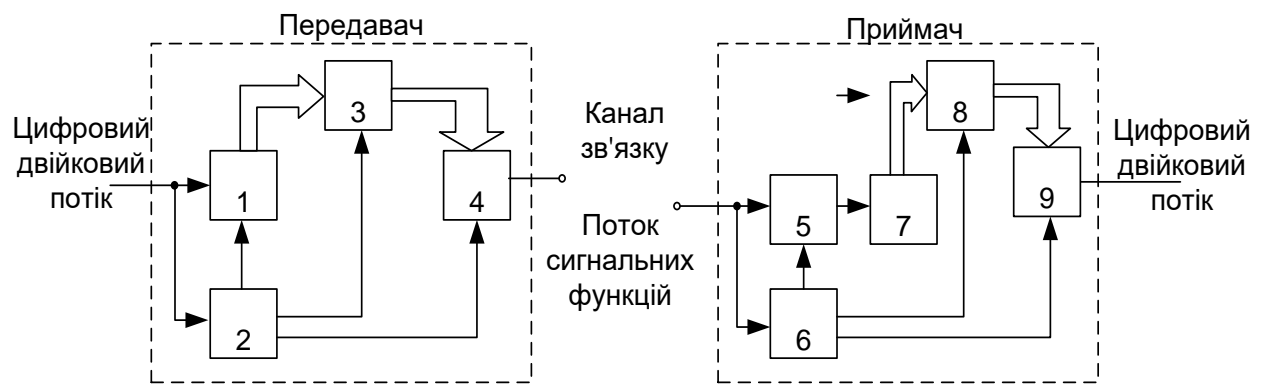
Додаток Г

Фрагмент цифрового потоку для трирозрядних кодів комбінацій



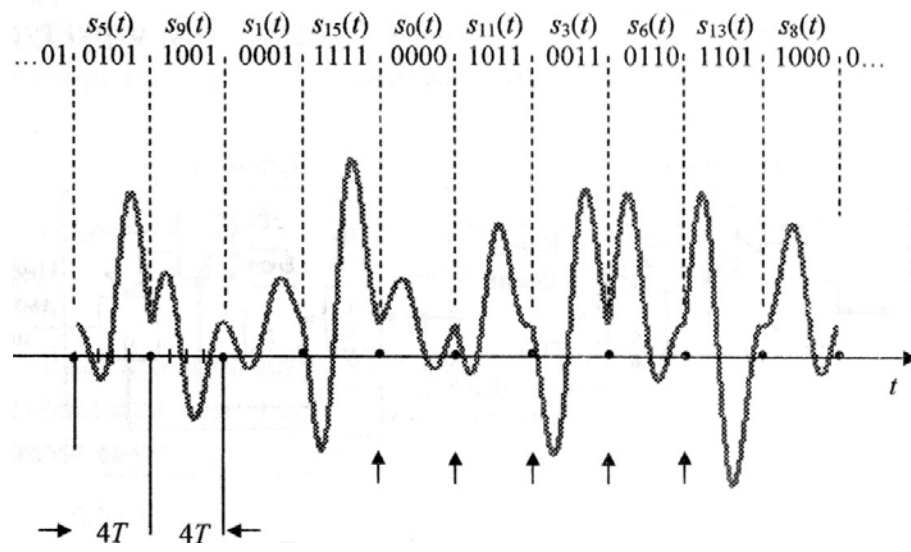
Додаток Д

Структурна схема приймально-передавального обладнання системи зв'язку
з використанням 16-ти рівневих сигнальних функцій



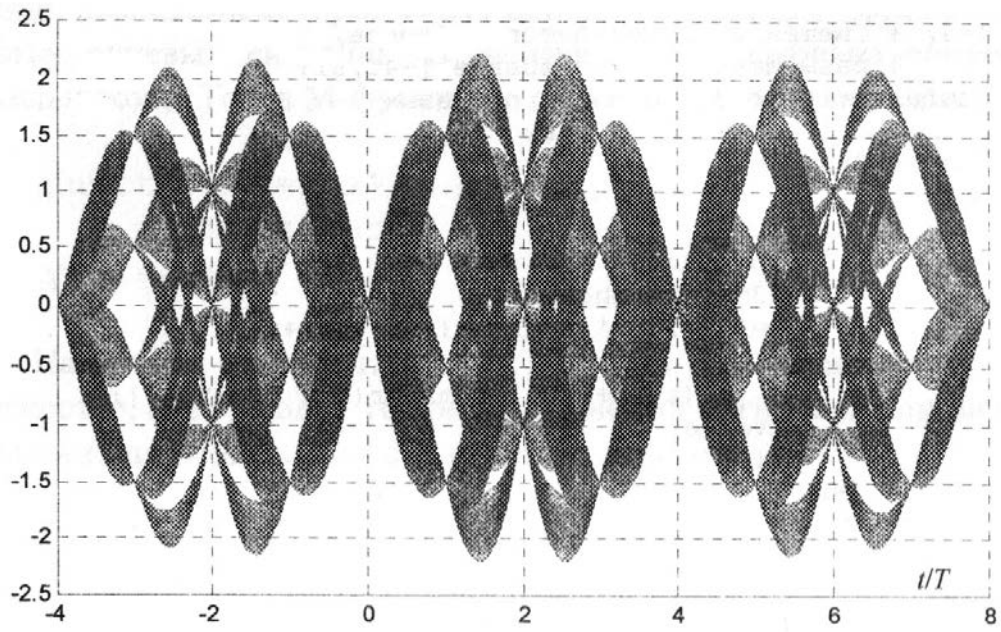
Додаток Е

Фрагмент багаторівневого цифрового сигналу
для чотирирозрядних кодових комбінацій



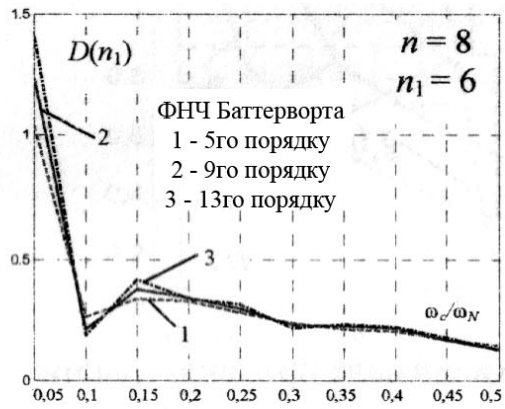
Додаток Ж

Око-діаграма, побудована середовищі MATLAB

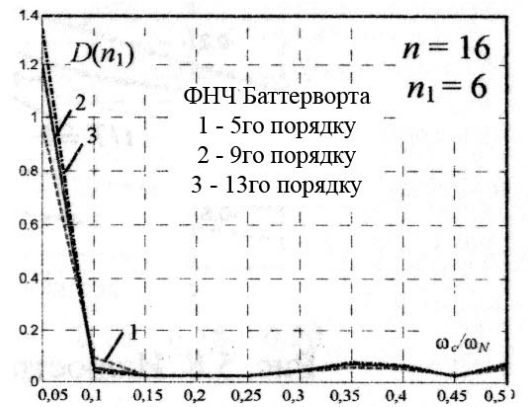


Додаток 3

Вплив порядку фільтра Баттерворта на рівень некерованої міжсимвольної інтерференції



а)



б)

Додаток К

Залежність залишкової МСІ від параметрів фільтра Баттерворта

