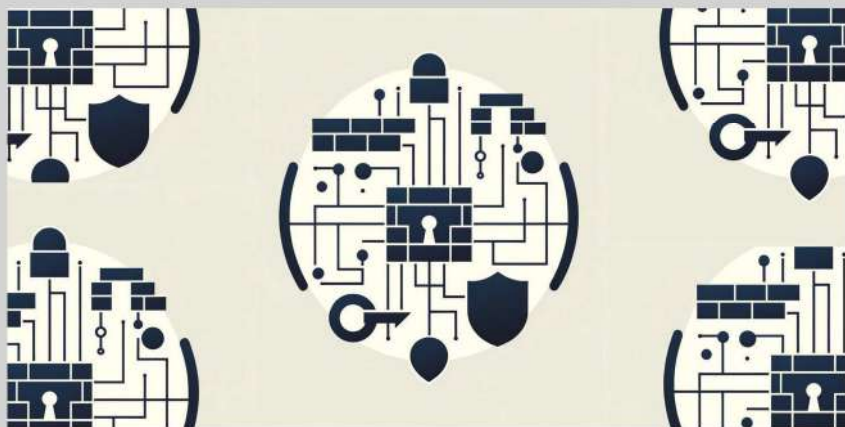


МОДЕЛЮВАННЯ І ОПТИМІЗАЦІЯ РАДІОТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ЕЛЕКТРОННИХ КОМУНІКАЦІЙ



Методичні рекомендації до виконання курсової роботи
здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти
спеціальності «Електронні комунікації та радіотехніка»

МОДЕЛЮВАННЯ І ОПТИМІЗАЦІЯ РАДІОТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ЕЛЕКТРОННИХ КОМУНІКАЦІЙ

*Методичні рекомендації до виконання курсової роботи
здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти
спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка»*

*Затверджено на засіданні кафедри
телекомунікацій, медійних
та інтелектуальних технологій.
Протокол № 10 від 05.04.2024*

Моделювання і оптимізація радіотехнічних засобів електронних комунікацій : методичні рекомендації до виконання курсової роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» / О. С. Пивовар. Хмельницький : ХНУ, 2024. 38 с.

Укладач: Пивовар О. С., канд. техн. наук, доц.

Відповідальний за випуск: Підченко С. К., д-р техн. наук, проф.

Випусковий редактор: Яремчук В. С.

Технічне редагування і верстка: Карпанасюк В. П.

Макетування здійснено редакційно-видавничим відділом Хмельницького національного університету (м. Хмельницький, вул. Інститутська, 7/1). Підп. 25.09.2024. Зам. № 134є/24, електронне видання, 2024.

© ХНУ, 2024

ВСТУП

Дисципліна «Моделювання і оптимізація радіотехнічних засобів електронних комунікацій» є складовою професійної підготовки здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти, які навчаються за ОПП в межах спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка».

Дисципліна, обсягом 5 кредитів ЄКТС, передбачає теоретичний курс, лабораторний практикум і виконання курсової роботи.

Дослідження, що проводяться в процесі виконання курсової роботи, спрямовані на вирішення професійних завдань під час розв'язання науково-технічних завдань в галузі, що пов'язані із процесами передавання, приймання, обробки, представлення та зберігання даних в сучасних інформаційно-комунікаційних системах та мережах.

Мета курсової роботи – узагальнити та систематизувати знання та практичні навички студентів з проведення наукового дослідження, закріплення, поглиблення й узагальнення теоретичних знань, набутих здобувачами вищої освіти з дисципліни, і практичних навичок у галузі комп'ютерного моделювання та оптимізації прогресивних засобів електронних комунікацій.

Завдання курсової роботи:

- використання принципів побудови сигнально-кодових конструкцій та їх використання для моделювання радіоканалів радіотехнічних засобів електронних комунікацій;

- застосування системного алгоритму моделювання для планування, підготовки, створення моделей, дослідження моделей та аналізу результатів роботи цифрового радіоканалу зв'язку;

- використання програмного забезпечення (Matlab/Simulink) для моделювання процесів поширення сигналів в цифрових радіоканалах;

- застосування прогресивних методів дослідження лінійних та нелінійних явищ під час поширення сигнально-кодових конструкцій цифровим радіоканалом в умовах завад та спотворень в лінії передачі;

- методологічна та методична підготовка здобувачів освітнього рівня магістр до проведення і наступного представлення більш ретельних наукових досліджень під час виконання кваліфікаційної роботи магістра.

Виконання курсової роботи в рамках вивчення дисципліни сприятиме розширенню та поглибленню загальних та фахових *компетентностей*, зокрема: знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності; спілкуватись іноземною мовою; проведення досліджень на відповідному рівні; обґрунтовано обирати та ефективно застосовувати математичні методи, комп'ютерні технології моделювання, а також підходи та методи оптимізації телекомунікаційних і радіотехнічних систем, комплексів, технологій, пристроїв та їх компонентів на всіх етапах їх життєвого циклу; проводити системний аналіз складних електронних інформаційно-комунікаційних, телекомуніка-

ційних систем та мереж; проводити системний аналіз складних електронних інформаційно-комунікаційних, телекомунікаційних систем та мереж.

Після захисту курсової роботи здобувач має демонструвати такі *програми результати* навчання: планувати і виконувати наукові та прикладні дослідження у сфері електронних комунікацій (телекомунікацій) та радіотехніки, застосовувати для цього методи математичного і фізичного моделювання, обробки інформації, інтерпретувати результати досліджень та обґрунтовувати висновки; застосовувати мови програмування загального та спеціалізованого призначення, пакети аналітичного та імітаційного моделювання, а також інструменти розробки програмного та апаратного забезпечення для розв'язання складних задач телекомунікацій та радіотехніки; проводити системний аналіз складних інформаційно-комунікаційних та телекомунікаційних систем шляхом: визначення цілей аналізу, визначення критеріїв досягнення цілей, побудови моделей для обґрунтування рішення, пошук оптимального рішення, узгодження рішення та перевірки ефективності рішення; розуміти принципи організації інформаційно-комунікаційних мереж, нейронних технологій, технологій мультиплексування та комутації, технологій фізичного рівня, ієрархію швидкостей, концептуальні засади щодо формування сигнально-кодкових конструкцій та завадостійкого кодування.

Під час виконання курсової роботи здобувачі також закріплюють вміння та навички користування науковою, нормативною та довідковою літературою, вчать аналізувати існуючі підходи, методики, методи розв'язання основних задач у вибраній науковій проблемі, оформлювати отримані результати у вигляді закінченої роботи за заданою структурою та змістом, які відповідають встановленим вимогам.

Наукова складова курсової роботи передбачає: ознайомлення з вимогами щодо організації і проведення наукового дослідження; підготовку та оформлення курсової роботи як виду наукового дослідження та можливого подальшого представлення результатів в публікаціях; опрацювання методів роботи з основними джерелами інформації та науковою літературою; обґрунтування актуальності, наукового і практичного значення; набуття компетентностей використання методології проведення наукових досліджень та оформлення отриманих у вигляді курсової роботи, що може бути першим етапом кваліфікаційної роботи магістра; набуття компетентностей щодо самостійного аналізу методів проведення наукових досліджень з використанням сучасних інформаційних систем; набуття компетентностей щодо обґрунтування та пояснення на потрібному рівні основних результатів, які доводять актуальність та своєчасність проведених досліджень; ознайомлення із вимогами до підготовки, представлення та процедури захисту прикладних науково-технічних робіт.

У наведених методичних рекомендаціях викладено рекомендований зміст курсової роботи, порядок і методика виконання основних її розділів та рекомендації з оформлення, наведені рекомендовані літературні джерела.

1 ОРГАНІЗАЦІЯ РОБОТИ НАД КУРСОВОЮ РОБОТОЮ

Завдання на курсову роботу (див. табл. 1.1) здобувач отримує на початку семестру впродовж першого тижня навчання. Виконання курсової роботи проводиться в рамках самостійної роботи із розрахунку 30 годин (1 кредит ЕКТС). Оформлення завдання на курсову роботу та календарного плану виконання курсової роботи відбувається під час очної зустрічі керівника та здобувача та затверджується їх особистими підписами.

Таблиця 1.1 – Варіанти завдання для виконання курсової роботи

Номер варіанту	Тип модуляції	Позиційність сузір'я	Мінімальна дистанція коду	Розподіл завад синфазного каналу	Розподіл завад квадратурного каналу
1	PSK	4	–	Рівномірний	Гаусівський
2	QAM	8	4	Релея	Рівномірний
3	PSK	8	-	Райса	Релея
4	QAM	16	2	Гаусівський	Райса
5	PSK	16	–	Рівномірний	Гаусівський
6	QAM	64	1	Релея	Релея
7	PSK	4	–	Райса	Райса
8	QAM	32	3	Гаусівський	Гаусівський
9	PSK	8	–	Релея	Райса
10	QAM	8	2	Райса	Райса
11	PSK	16	–	Гаусівський	Гаусівський
12	QAM	16	1	Пусасона	Гаусівський
13	PSK	32	–	Бернуллі	Гаусівський
14	QAM	32	1	Рівномірний	Пусасона
15	PSK	4	–	Релея	Бернуллі
16	QAM	64	2	Райса	Рівномірний
17	PSK	8	–	Гаусівський	Релея
18	QAM	16	5	Пусасона	Райса
19	PSK	16	–	Бернуллі	Гаусівський
20	QAM	256	1	Рівномірний	Пусасона
21	PSK	32	–	Релея	Бернуллі
22	QAM	12	3	Райса	Рівномірний
23	PSK	4	–	Гаусівський	Релея
24	QAM	128	1	Пусасона	Райса
5	PSK	8	–	Бернуллі	Гаусівський

***Примітка.** За замовчуванням тип каналного фільтра для всіх варіантів: піднесений косинус.

Тематика та варіанти курсових робіт, за рішенням кафедри може змінюватись, але до початку навчання у семестрі, також можлива видача індивідуальних завдань за пропозицією здобувача в рамках компетенцій дисципліни.

Виконання курсової роботи передбачає використання спеціалізованого програмного забезпечення, про встановлення якого на особистих апаратних засобах здобувач має подбати заздалегідь. У випадку неможливості використання власних програмно-апаратних засобів, кафедра надає можливість для виконання курсової роботи на апаратних засобах лабораторної бази поза межами планових занять.

Поточний контроль виконання розділів курсової роботи відбувається під час щотижневих консультацій викладача у встановлені перед початком семестру терміни. Результат виконання графіка курсової роботи входить до проміжних атестацій здобувача впродовж семестру.

У випадку виявлення керівником курсової роботи факту несамотійного виконання, здобувачу вищої освіти видається нове завдання та признається нова дата захисту роботи.

Захист курсової роботи відбувається відповідно до графіка, затвердженого завідувачем кафедри.

2 ТЕМАТИКА КУРСОВИХ РОБІТ

Спеціалізована підготовка здобувачів ступеня магістра з моделювання та оптимізації є важливим завданням у рамках підвищення рівня їх компетентності з питань дослідження, розробки та експлуатації радіотехнічних засобів електронних комунікацій, що забезпечують проведення та інформаційну підтримку наукових досліджень у галузі. Зокрема, під час виконання робіт, пов'язаних з розробкою радіоканалів сучасних мереж обміну інформацією, фахівці мають справу з широким колом питань, які не можна розглядати без створення дослідних інформаційних комплексів.

Ці комплекси мають забезпечувати проведення робіт за такими напрямками: попередній аналіз методів та методик, побудова імітаційних моделей радіотехнічних засобів, що входять до складу телекомунікаційних систем, верифікація та перевірка адекватності створених моделей, дослідження моделей із врахуванням впливу зовнішнього середовища, в якому вони функціонують; дослідження розроблених моделей; вирішення комплексу задач синтезу законів (алгоритмів), методів, моделей функціонування радіотехнічних засобів електронних комунікацій; проведення інтерактивного комп'ютерного моделювання та аналізу достовірності розроблених моделей та отриманих результатів, а також генерація рекомендацій щодо удосконалення функціонування радіотехнічних засобів електронних комунікацій.

Однією з технічних відмінностей цифрового радіозв'язку від аналогового є застосування інших видів модуляції сигналу, таких як фазова модуляція (FM) та квадратурно-фазова (FSM) і квадратурно-амплітудна моду-

ляції (QAM). Кожен із цих різновидів фактично складає сигнально-кодову конструкцію, що має ряд параметрів та забезпечує кодування одразу деякого сегменту бітової послідовності із декількох біт та ефективно застосовується за певних рівнів завад та спотворень.

Отже вибір сигнально-кової конструкції для забезпечення якісного зв'язку за певних умов є важливим завданням синтезу радіоканалів обміну даними, а зважаючи на глобальну нестационарність радіоканалів це завдання також відповідає неперервному зв'язку в умовах динамічної адаптації шляхом зміни виду та варіанту цифрової модуляції [1–2].

Для таких різновидів найбільш використовуваною моделлю є представлення результату модуляції у вигляді синусної та косинусної складової, або квадратурним представленням радіосигналів. Радіосигнали із різними варіантами, що використовують квадратурне представлення сигналів застосовують в усіх сучасних цифрових мобільних стільникових, транкінгових, широкомовних, персональних, тощо, системах електронних комунікацій із радіоканалами.

КР передбачає: проведення аналізу та узагальнення теоретичних положень дослідження щодо процесів, явищ, об'єктів управління, які досліджуються; розроблення чи модифікація методів та методик, алгоритму для обґрунтування запропонованого підходу, на підґрунті якого проводиться дослідження; проведення імітаційного комп'ютерного експерименту та аналіз отриманих результатів на предмет їх вірогідності та достовірності.

Узагальнена тематика курсової роботи «Оптимізація каналу зв'язку із цифровою модуляцією», конкретизація теми відбувається під час виконання курсової роботи.

Суть КР полягає у створенні та дослідженні моделі цифрового каналу радіотехнічних засобів електронних комунікацій в середовищі MATLAB/SIMULINK (версія вище або дорівнює R2014a) із заданими вихідними даними (див. табл. 1.1) та дослідження його роботи під час дії ряду деструктивних зовнішніх факторів. **Номер варіанту виконання курсової роботи відповідає порядковому номеру студента в електронному журналі групи.**

Основними вихідними даними завдання для виконання КР (див. табл. 1.1) є застосований в цифровому радіоканалі **тип модуляції**, що у фазовому просторі утворює певну **позиційність сузір'я** із **мінімальною дистанцією коду**, що відповідає одній виборці сигналу (логарифм від позиційності сузір'я за основою 2 дає кількість бітів для формування певного символу).

Для передачі такої сигнально-кової конструкції використовується канал зв'язку із квадратурною обробкою складових сигнально кодової конструкції, що складається із послідовно з'єднаних генератора інформаційних повідомлень, цифрового модулятора, цифрового фільтра, лінії передачі де сигнал **спотворюється завадами окремо по синфазному та квадратурному каналах** (див. табл. 1.1) розподіл яких задається як варіант вихідних даних курсової роботи, цифрового фільтра приймача, цифрового демодулятора та приймача інформаційних бітів із можливістю контролю якості каналу через

обрахунок коефіцієнт бітових помилок (BER), а також генераторів шумоподібних завад та додаткових (верифікаційних) блоків.

Додаткові вихідні дані для курсової роботи зазначаються керівником під час затвердження завдання. До додаткових вихідних даних відносяться: форма сигнального сузір'я; наявність додаткового кодування; обсяг досліджень відповідно дестабілізуючим факторам; параметри законів розподілу, технології проведення верифікації тощо. Під час розробки курсової роботи здобувачем в середовищі Matlab/ Simulink має бути створена модель цифрового каналу зв'язку та проведені дослідження залежностей вказаних у затвердженому завданні на курсову роботу.

Модель має бути синтезована таким чином, щоб була передбачена можливість адитивного впливу окремо в прямому та квадратурному каналах лінії передачі радіосигналу. Закон розподілу випадкового сигналу для прямого та квадратурного каналів подано у таблиці 1.1. В моделі каналі зв'язку також має передбачатись можливість аналізу впливу детермінованого та випадкового фазового та частотного зсуву.

Під час виконання роботи має бути виконані такі види робіт: аналіз технічних рішень застосування сигнально-кової конструкції та галузі її використання; створення концептуальної моделі досліджень, створення моделі цифрового радіоканалу, верифікація моделі цифрового радіоканалу, проведення досліджень, формулювання висновків та рекомендацій.

3 СТРУКТУРА І ЗМІСТ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ

Курсова робота здобувача другого (магістерського) рівня вищої освіти оформлюється у вигляді пояснювальної записки за стандартами виконання текстових документів ХНУ, та має включати.

1. Титульний аркуш – 1 с. (додаток А).
2. Завдання для виконання курсової роботи (типовий спрощений бланк – 1 с.) із календарним планом виконання (додаток Б).
3. Реферат українською та англійською мовами – 1 с. (додаток В).
4. Зміст – 1 с. (додаток Г).
5. Перелік умовних скорочень (1 с.).
6. Вступ (1 с.) із зазначенням мети, завдання, актуальності, об'єкта та предмета дослідження.
7. 1 розділ – Аналіз методів та методик вихідних даних (5–7 с.).
8. 2 розділ – Створення та верифікація моделі радіоканалу (7–8 с.).
9. 3 розділ – Дослідження моделі радіоканалу (8–10 с.).
10. Висновки (1 с.).
11. Перелік джерел посилання (1–2 с.).
12. Додатки (опціонально).

Загальний обсяг роботи – до 45 с.

Титульний аркуш є першою сторінкою звіту із КР і править за базове джерело бібліографічної інформації наукових звітів, необхідної для оброблення та пошуку документа.

Титульний аркуш містить дані, які подають у такій послідовності: назва університету, факультету та кафедри; назва документа (великими літерами); позначення документа (великими літерами); підписи розробника документа та відповідальних осіб; рік складання, тощо.

Згідно з СОУ 207.01:2017 кожній КР в рамках ХНУ присвоюється позначення за шаблоном КРЕКР XXXXX.YY, де КРЕКР – скорочення від «Курсова Робота магістрів спеціальності Електронні Комунікації та Радіотехніка; XXXXX - номер індивідуального навчального плану (ІНПС) магістра ; YY – порядковий номер в електронному журналі групи магістрів). Титульний аркуш не нумерується, але включається до загальної кількості сторінок.

Завдання та календарний план виконання курсової роботи є необхідними документом на її виконання. Завдання та календарний план складається керівником КР разом із студентом відповідно варіанту виконання курсової роботи. Керівник, під час видачі завдання, може змінювати обсяг завдання в рамках варіативної частини загальної мети. Після затвердження завдання здобувачем та керівником на початку семестру за узгодженням із здобувачем складається календарний план реалізації КР під час навчання в семестрі. Аркуш завдання та календарного плану не нумерується, але включається до загальної кількості сторінок.

Реферат курсової роботи призначений для короткого огляду суті поставлених та вирішених завдань, що має спонукати читача до глибшого ознайомлення із роботою. Реферат курсової роботи має займати до півсторінки тексту та складатись із таких елементів: тема, виконавець та керівник роботи; суть завдань та отриманих результатів; ключові слова. Реферат курсової роботи має бути представлено українською та англійською мовою в межах однієї сторінки. Аркуш реферату КР не нумерується, але включається до загальної кількості сторінок.

Зміст курсової роботи (додаток Г) включає в себе всі структурні складові починаючи із «Переліку умовних скорочень» відповідно структурі КР за п.3.1 із вказуванням номерів сторінок, які містять початок матеріалу відповідного структурного елемента. Також до переліку додаються назви підрозділів та пунктів основного змісту роботи. Розривати слова знаком переносу та вживати скорочення в раках змісту суворо не рекомендується. Зміст включають у загальну кількість сторінок документа та з цього структурного елемента та надалі проводиться нумерація сторінок.

Перелік умовних скорочень (типова назва, опціонально присутність) містить пояснення скорочень, умовних позначок, символів, одиниць та термінів. Перелік умовних скорочень додається як окремий структурний елемент, якщо у роботі наявні більше п'яти скорочень. Назву цього структурного елемента визначає виконавець КР відповідно до того, що саме наведено у конк-

ретному переліку. Якщо в переліку наводяться лише скорочення (абревіатури), то розділ зазвичай називають «Перелік умовних скорочень».

Перелік умовних скорочень розташовують за абеткою. Ліворуч в кожному абзаці наводять скорочення українською мовою, а потім іншими мовами (за наявності), а праворуч – їх пояснення.

Вступ розкриває сутність і стан тематики дослідження та обґрунтування необхідності проведення досліджень. Під час оформлення вступу подається коротка оцінка сучасного стану проблеми на основі аналізу вітчизняної і зарубіжної наукової (науково-технічної) літератури у даній предметній області, світові тенденції вирішення поставлених завдань.

Вступ має містити такі обов'язкові елементи як: стисле висвітлення актуальності висвітлення питань КР; соціальна значущість та доцільність роботи; формулювання проблемної ситуації; об'єкт, предмет, мета та завдання дослідження та методи дослідження.

Вступ може містити такі елементи як: висвітлення зв'язку тематики із науковими роботами кафедри; наукова новизна отриманих результатів; посилання на публікації в яких висвітлено результати роботи; практичне значення результатів роботи, тощо.

Основна частина пояснювальної записки має складатись із трьох розділів, в яких виділяються більш дрібні структурні елементи – підрозділи, використання ще більш дрібніших структурних елементів – пунктів не рекомендується. Кожний розділ висвітлює самостійне питання, а підрозділ – окрему частину цього питання. Між всіма структурними елементами основної частини КР має простежуватися чіткий логічний зв'язок та порядок викладення матеріалу.

Перший розділ, як правило, є *оглядовим*, де на підґрунті критичного аналізу джерел посилання, здобувач окреслює основні етапи розвитку наукової думки за затвердженням завданням в КР.

Відповідно загальній тематиці освітнього компоненту (ОК) перший розділ має обов'язково включати опис особливостей типу модуляції із певною позиційністю сузір'я із прикладами використання такого різновиду модуляції в сучасних системах електронних комунікацій. Крім того слід подати короткий опис законів розподілу завад із аналітичними виразами та прикладами використання таких розподілів для побудови моделей каналів зв'язку електронних комунікацій.

Обсяг цього розділу не має перевищувати 20 % від загального обсягу всієї КР.

Другий розділ має теоретичний характер. У ньому наводяться короткий опис методів досліджень, застосованих інструментів, описуються математичні, структурні, об'єктно-орієнтовані моделі, проводиться аналіз адекватності розроблених моделей тощо.

В рамках тематики КР цей розділ має обов'язково включати структурну схему радіоканалу передачі та короткий опис взаємодії блоків на структурному рівні; перелік та параметри використаних блоків Simulink із обґрунту-

ванням доцільності їх використання; результати верифікації моделі (скріпи) на основі мінімум таких індикаторних пристроїв: діаграми сузір'я; сигнальних діаграм переходів у сузір'ї; око-діаграм; осцилограм; спектрограм, тощо.

Також в другому розділі мають бути представлені розроблена схема моделювання в середовищі Simulink із розгорткою субблоків (якщо вони використані).

Третій розділ призначений для опису процесів пов'язаних із імітаційним моделюванням каналу зв'язку. Він має охоплювати висвітлення результатів проведеного моделювання та аналіз отриманих залежностей в багато-параметричній формі, що характеризують якість цифрового радіоканалу із заданими в табл.1 параметрами відповідно завданню на КР. Також у третьому розділі подаються рекомендації, що до використання технологій поліпшення якості каналу зв'язку, наприклад, способів завадостійкого кодування. Результати досліджень представляються у вигляді графічних залежностей, таких як:

- залежність рівня помилок в каналі від відношення сигнал-завада ($\text{SNR} = 0 \dots 30$ дБ);
- залежність рівня помилок від фактору згладжування (Rolloff) фільтра косинус із підставкою);
- залежність рівня помилок в каналі від детермінованої фазової затримки ($0 \dots 30$ градусів);
- залежність рівня помилок від частоти зрізу формуючого фільтра косинус із підставкою, тощо.

Всі залежності мають бути представлено у вигляді сімейства графіків, враховуючи діапазони змін входніх величин таким чином, щоб результуючий рівень помилок був відмінний від 0 (мінімум 3 залежності на одному графіку).

Обсяг другого та третього розділу має бути приблизно однаковим. Зазвичай в кінці кожного розділу наводять висновки частинних результатів виконання КР.

Структурний елемент **«Висновки»** є завершальною частиною КР, що має продемонструвати результати дослідження, ступінь реалізації поставленої мети та завдань, синтез усіх отриманих результатів дослідження та їх відповідність загальній меті КР. Висновки мають бути подані в лаконічній формі та мають складатись із трьох частин (абзаців) кожна із яких охоплює результати розробки окремого розділу курсової роботи із вказуванням якісних та кількісних показників досягнутих результатів.

Перелік джерел посилання є останньою обов'язковою одиницею структури КР та охоплює використані літературні, електронні та інші джерела в порядку посилання на них у тексті КР, а також власні опубліковані матеріали здобувача за їх наявності (стаття, тези, патент, свідоцтво про реєстрацію авторського права тощо).

Вносити до переліку джерел посилання **не допускаються**:

- посилання на джерела, що не мають наукової цінності;
- посилання на сторінки Вікіпедії та інші подібні ресурси, в яких відсутній процес наукового рецензування;

- посилання на файлообмінники та інші подібні ресурси;
- посилання на вебсайти рефератів та інші подібні накопичувачі документів;
- посилання на публікації країни-агресора (росії).

Посилання на джерела в переліку посилань мають бути оформлено відповідно до стандарту ХНУ СОУ 207.02:2017.

Щоб уникнути переобтяження викладу тексту основної частини ДР, у додатках наводять відомості, які доповнюють або унаочнюють основний текст документа.

Додатки для КР є обов’язковим елементом даної КР, що можуть містити допоміжні рисунки й таблиці; проміжні формули та розрахунки; складний опис алгоритмів та лістинги програм; докладний опис засобів, які було використано під час проведення досліджень; копії публікацій та іншу інформацію, що допомагає глибше розкрити поставлені у КР завдання.

Додатки розташовують у порядку посилань на них по тексту КР, починаючи із окремого аркушу. Всі додатки мають перераховуватись у «Змісті» із зазначенням їх номерів та назв.

4 МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ І ПОРАДИ З ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

4.1 Моделі та етапи реалізації наукових досліджень

За поняттям **моделі** приховується такий абстрактний опис реального об’єкта або процесу, що є зручним для проведення наукових досліджень із заданим рівнем достовірності. Суть генерації моделі полягає у застосуваннях певних примусових обмежень, про які слід зазначити перед створенням та наступним використанням моделі.

Процедура **моделювання** в даній курсовій роботі передбачає використання **фізичних моделей**, для яких параметри моделі, стимули та реакції є реальними фізичними величинами, а головним завданням є відшукування та оптимізація параметрів для забезпечення заданої реакції.

Моделі каналів зв’язку в середовищі Matlab/Simulink завжди є **динамічними дискретними** моделями, що оперують стимулами та реакціями як функціями часу, а через те, що завад завжди носить випадковий характер такі моделі також відносять до **стохастичних** комп’ютерних моделей.

Подібні комп’ютерні моделі як використані в даній КР. Для одного і того ж об’єкта або процесу можливо побудувати різні типи моделей залежно від мети дослідження та уявлення про стимули та реакції. Залежно від мети моделювання можливо виділити ряд критеріїв та інших умов (рис. 4.1), що необхідно дотримуватись під час використання моделі, тобто сформулювати завдання дослідження моделей. Ці завдання тісно пов’язані із типовими проб-

лемами розробки та впровадження технічних рішень в техніку електронних комунікацій.

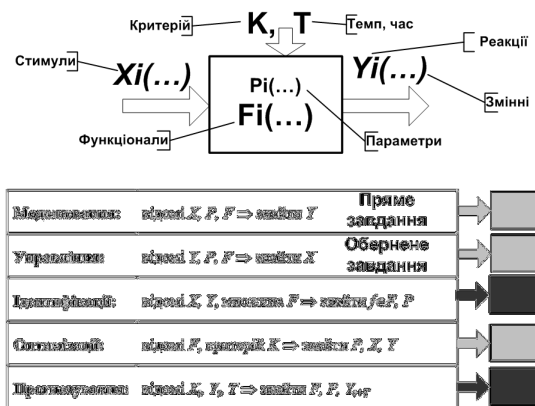


Рисунок 4.1 – Узагальнена модель та основні завдання дослідження

В даній КР відповідно завданню на проектування використовується процес моделювання, що узагальнено називають «**прямим завданням**», де відомі стимули, параметри та функція перетворення та слід знайти реакції, за умови варіації параметрів.

Процес моделювання за зазначених умов складається із ряду послідовних етапів, через ітераційну процедуру поступової корекції суті наступного етапу відносно попереднього. Кожен етап процесу моделювання можливо поділити на декілька частин, або послідовних кроків (рис. 4.2).



Рисунок 4.2 – Типовий алгоритм процесу моделювання в електронних комунікаціях

4.2 Постановка завдання

У межах КР починається із визначення об'єкта та предмета дослідження. Об'єкт дослідження відповідає професійно-науковій галузі та формулюється широко і для даної КР може бути сформульовано як: ***процеси під час передачі інформації в електронних комунікаціях***. Предмет дослідження має більш детально конкретизувати об'єкт дослідження, в нашому випадку, наприклад: ***радіоканали передачі інформації із застосуванням цифрових різновидів модуляції***. Мета та предмет дослідження тісно пов'язані із змістом освітнього компоненту за яким виконується курсова робота.

Узагальнено, мета дослідження має містити якісну характеристику передбачуваних результатів та їх обсягу, а завдання дослідження – конкретизувати мету дослідження. В нашому випадку мета дослідження та завдання дослідження формуються під час видачі завдання на КР з боку керівника роботи як певні варіанти виконання. Наприклад, для даної КР мета може бути сформульована як: ***оптимізація параметрів та характеристик радіоканалу передачі цифрових даних для забезпечення якості зв'язку в умовах завад та спотворень***, а завдання досліджень мають відбивати суть змісту розділів основного змісту роботи: ***аналіз вихідних даних, створення та верифікація моделі радіоканалу, дослідження моделі та рекомендації щодо оптимізації***. Завдання дослідження слід студенту сформулювати самостійно.

4.3 Формалізація моделі

Цей етап зазвичай є частиною першого розділу КР та починається із складання ***концептуальної моделі*** має мати в своєму складі набір вхідних та вихідних змінних, а також узагальнену структуру об'єкта моделювання. У нашому випадку вхідними змінними є параметри задані в таблиці 1.1, відповідно варіантам виконання, параметрами, що оптимізуються є параметри складових модулів каналу зв'язку. Вихідним досліджуваним параметром є бітовий коефіцієнт помилок (BER), що характеризує якість передачі дискретних сигналів каналом зв'язку.

Концептуальна модель. Джерело цифрового сигналу (див. рис. 4.3) імітує інформаційний потік, що є послідовністю М-арних псевдовипадкових символів. В рамках джерела як параметр встановлюється швидкість видачі символів – 9600 біт/с, а відповідно якій встановлюються параметри решти схем.

Власне досліджуваний радіоканал складається із послідовно з'єднаних схем канального модулятора, схеми завад та спотворень та схеми канального демодулятора. Перераховані вище блоки відносяться до функціональної частини концептуальної моделі досліджень.

Вивід результатів моделювання проводиться за допомогою схеми визначення бітових помилок (BER), а також схеми вимірювання відношення сигнал-завада (SNR).

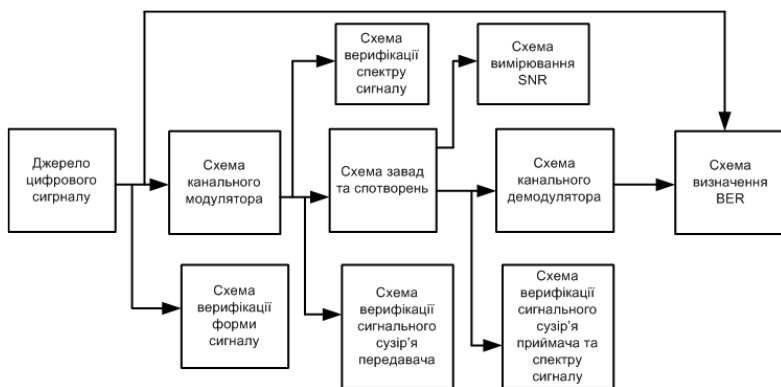


Рисунок 4.3 – Структура концептуальної моделі для досліджень радіоканалу із цифровими різновидами модуляції

До зв'язків між функціональними блоками паралельно підключено схеми верифікації форми сигналу, спектру сигналу, форми сигнального сузір'я, діаграми переходів у сигнальному сузір'ї та око-діаграм.

4.4 Створення моделі

Під час створення моделі передбачається, що здобувач вже ознайомлений із середовищем моделювання Matlab/Simulink. Отже крок створення моделі передбачає алгоритмізацію задуму відповідно меті та завданням, або написання програми в середовищі Matlab, або створення моделі із блоків в субсистемі Simulink, або те і інше разом.

Функціональна модель. Для реалізації концептуальної моделі в середовищі Matlab/Simulink, слід виділити функціональну модель таким чином, щоб мати можливість використовувати вбудовані функціональні блоки Simulink для реалізації задуму. Структурна схема радіоканалу (див. рис. 4.4) розукрупнює частини функціональних схем та представлена таким чином, щоб найкращим чином використати можливості пакету Simulink щодо вибору блоків та встановлення зв'язків між ними.

Схема каналного модулятора представлена послідовним з'єднанням блоків цифрового модулятора із заданим характером модуляції та блоку каналного фільтра із заданою передавальною функцією. Головними параметрами модулятора є мінімальна дистанція між елементами сузір'я сигналу та М-арність сигнально-кодової конструкції. Головними параметрами каналного фільтра передавача є параметри що задають заокруглення передавальної характеристики в зоні пропускання та встановлюють еквівалентну частоту зрізу та рівень пригнічення небажаних складових (зону пригнічення).

Схема завад та спотворень складається із блоків квадратурного розгалуження, де виділяються окремо дві квадратурні складові модуляції QAM16 до яких в суматорах 1 та 2 з боку генераторів завад прямого та квад-

ратурного каналів додаються спотворення. Рівень спотворень регулюється як параметри середньоквадратичного відхилення (СКВ) кожного з генераторів завад.

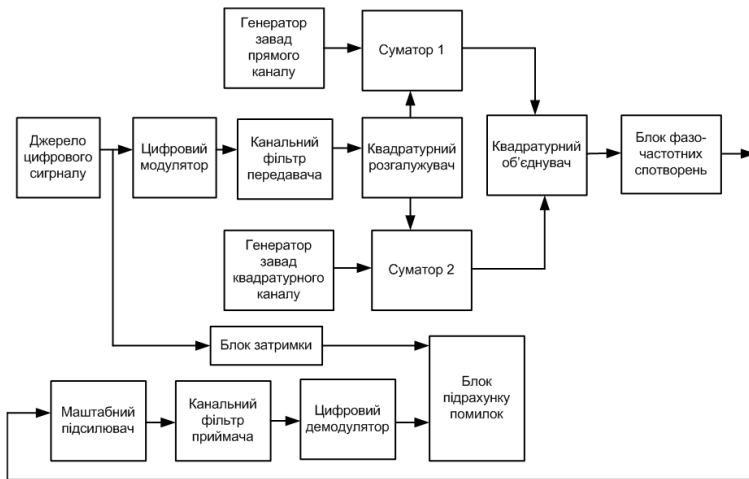


Рисунок 4.4 – Структурна схема моделі радіоканалу із цифровою модуляцією

Надалі у схемі завад та спотворень спотворені квадратурні сигнали об'єднуються та утворюють комплексний канальний сигнал, що надходить на блок фазових та частотних спотворень. Параметром блоку фазових та частотних спотворень є фазовий та частотний зсув, що задаються окремо. Для імітації затухання в каналі передачі наприкінці схеми завад та спотворень встановлено масштабний підсилювач, параметром якого є коефіцієнт передачі, що може бути і менше нуля.

Схема канального демодулятора за функціональною структурою обернена до схеми канального модулятора та складається із послідовно з'єднаних блоків канального фільтра приймача та цифрового демодулятора.

Наприкінці приймальної частини встановлено блок підрахунку помилок, що визначає BER під час дослідження. В параметрах блоку підрахунку помилок вказується значення затримки, що залежить від параметрів передавального та приймального канальних фільтрів.

Другим кроком створення моделі досліджуваного каналу зв'язку є верифікація моделі – підтвердження працездатності та відповідності меті та завданням дослідження. На етапі верифікації виявляються грубі помилки та неточності в роботі імітаційної моделі, верифікацію розумно проводити поступово під час складання моделі.

Імітаційна модель. Якщо, вихідними даними для налаштування параметрів застосованих вбудованих блоків відповідно технічному завданню є тип модуляції QAM16 ($M = 16$), мінімальна відстань коду – 1, тип завад – гаусівські по прямому та квадратурному каналах, то імітаційна модель радіоканалу виглядатиме як показано на рис. 4.5.

швидкість вибірок, можливо обрати фіксованою, але обрано такою, що відповідає стандартній бітовій швидкості для передачі мовного сигналу 9600 біт за с.

Параметри налаштування цифрового модулятора (див. рис. 4.6) також мають відповідати типу модуляції QAM16 (M-ary number = 16) та крім того слід вибрати метод нормалізації сигнального сузір'я (Normalization method) як мінімальна дистанція між символами та встановити значення параметра Minimum distance: 1. Решта параметрів (рис. 4.7) слід зберегти за замовчуванням.

Параметри каналних фільтрів приймача та передавача мають встановлюватись узгоджено. Параметр фактора заокруглення (Rolloff factor) слід попередньо обирати в межах 0,2...0,8. Параметр Filter span in symbols фактично встановлює кількість вибірок, які беруть участь під час формування імпульсної характеристики фільтра, значення параметра слід обирати із ряду 4, 8, 16, 32. Параметр Output samples per symbol задає рівень дискретизації інтервалу передачі кожного символу для представлення результатів на виході та наступної квадратурної модуляції, значення параметра також слід обирати із ряду 4, 8, 16, 32. Для досліджень оберемо значення двох останніх вказаних параметрів 8 (рис. 4.7).

Крім того для приймального фільтра слід встановити значення параметра проріджування (Decimation factor) однаковим із параметром Input samples per symbol (для нашого випадку 8). Решта параметрів для каналних фільтрів слід обрати по замовчуванню (рис. 4.7).

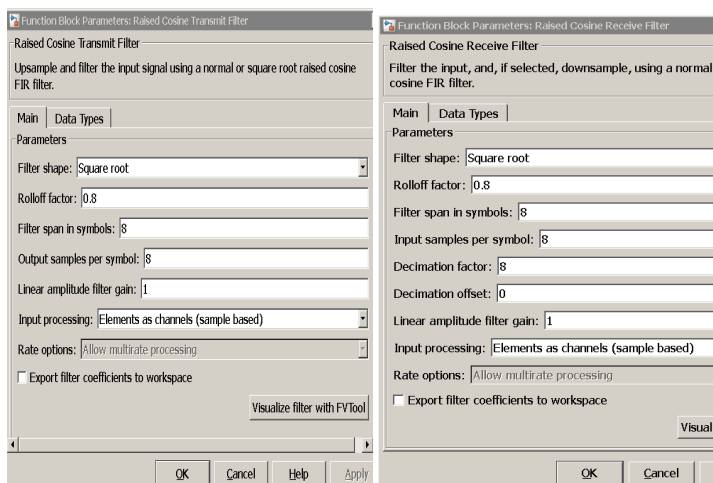


Рисунок 4.7 – Параметри налаштування каналних фільтрів передавача та приймача

Налаштування генераторів завад (для нашого випадку гаусівських генераторів) починається із вибору із бібліотеки Simulink необхідного типу генератора. Для гаусівського генератора шуму (рис. 4.8) встановлюються

параметри математичного сподівання (Mean value =0) та СКВ (Variance (vector or matrix)). Зміною останнього можливо регулювати SNR. Параметри математичного сподівання та дисперсії генераторів завад слід встановлювати однаковими під час дослідження.

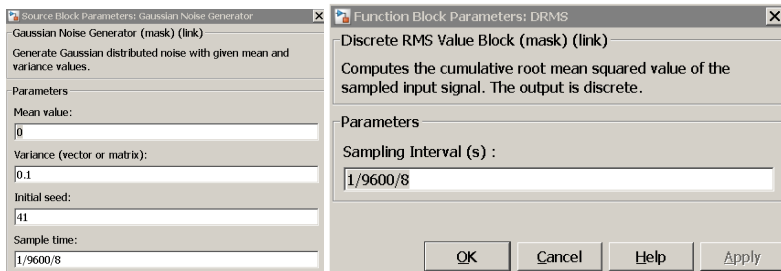


Рисунок 4.8 – Параметри генератора завад та обчислювача середньоквадратичного значення (RMS)

Крім того, початкові параметри у випадку застосування однакових типів генераторів завад для прямого та квадратурного каналів слід обирати різними для зменшення кореляції впливу генераторів на синфазну та квадратурну складову комплексного каналного інформаційного сигналу. Параметр Sample time слід обрати узгоджено із джерелом випадкового інформаційного сигналу (Random Integer Generator) але з зменшеним відповідно рівню дискретизації каналного фільтра за параметром Output samples per symbol, тобто, для нашого випадку (1/9600/8). Це відповідає одномоментному впливу завади під час передачі деякого символу під час кожного рівня дискретизації відфільтрованого сигналу. Аналогічно слід обрати такий саме параметр і для блоку обчислення RMS (рис. 4.8).

Для зручності під час досліджень значення SNR за допомогою простої схеми імітації математичної обробки (див. рис. 4.5) перетворюється у відносні одиниці – дБ.

Останнім необхідним параметром для забезпечення отримання коректних результатів функціональної обробки BER у блоці Error Rate Calculation є параметр затримки сигналу в каналі передачі – Receive delay, який слід встановити ідентично параметрам Filter span in symbols блоків каналних фільтрів (тобто – 8 для нашого випадку).

4.5 Верифікація моделі

Завершальним кроком створення моделі є оцінювання рівня її адекватності через верифікацію із відомими законами функціонування.

Верифікація форми сигналів. Визначимо параметри, що верифікуються. Генератор інформаційного сигналу для QAM 16 має створювати сигнал із послідовності цілих чисел від 0 до 16 у випадковому порядку. Цифро-

вий модулятор перетворює цю послідовність в комплексне число відповідно заданим параметрам модуляції. Для параметра кроку модуляції в QAM 16 = 1 значення між рівнями квантування за амплітудою для дійсної або уявної частини комплексного числа на виході блоку квадратурного модулятора частини мають дорівнювати 1. Канальні фільтри проводять згладжування форми цифрового сигналу та додають часову затримку, що залежить від налаштувань фільтрів.

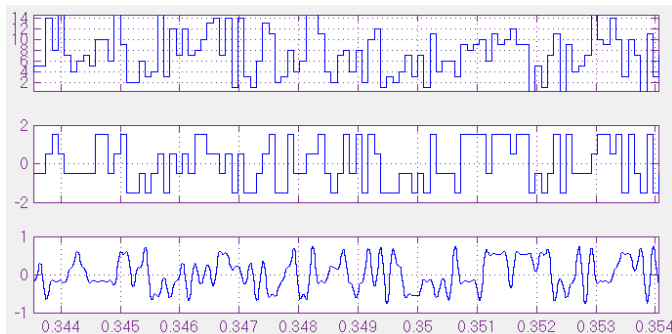


Рисунок 4.9 – Фрагмент форми сигналу на виході генератора цілих та випадкових чисел (зверху), дійсна частина комплексного сигналу на виході каналного модулятора (середина) та дійсна частини комплексного сигналу на виході каналного фільтра

Із рис. 4.9 очевидно, що якісна обробка інформаційного сигналу відповідає умовам верифікації.

Верифікація сигнального сузір'я. Верифікаційні параметри передавача (рис. 4.10).

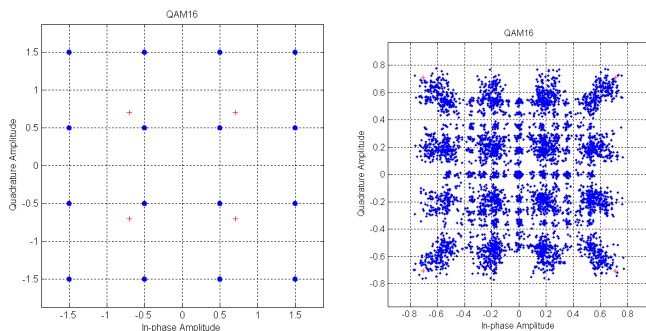


Рисунок 4.10 – Форма сигнального сузір'я QAM 16 на виході каналного модулятора (ліворуч) та каналного фільтра (праворуч)

Сигнальна решітка QAM 16 має мати характерну квадратну структуру із відстанню по горизонталі та вертикалі між точками розташування вузлів представлення символів, які дорівнюють за ТЗ-1. Під час проходження через

канальний фільтр через зміну значень за рахунок фільтрації вузли каналної решітки мають «розмиватись», але зберігати загальну форму решітки.

Верифікаційні параметри приймача (рис. 4.11). Під час дії в каналі передачі адитивних завад, що однаково впливають на всі елементи сигнального сузір'я QAM 16 візуальною регулярна решічаста структура додатково «розмивається» завадами (рис. 4.11) та окремі вузли символів попадають в ширшу зону навколо відповідного вузла на виході передавача, що і необхідно верифікувати. Канальний фільтр QAM 16 фактично реалізує виправлення навмисних передспотворень введених канальним фільтром передавача, що дозволяє наблизити форму канального сузір'я на його виході до ідеального.

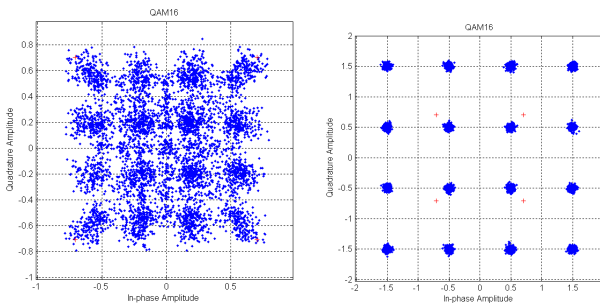


Рисунок 4.11 – Форма сигнального сузір'я QAM 16 на виході канального модулятора (ліворуч) та канального фільтра (праворуч)

Верифікаційні параметри фазових спотворень (рис. 4.12). Як відомо, фазові спотворення призводять до повертання сигнальної решітки на вході приймача на кут, що відповідає значенню детермінованих фазових спотворень (рис.4.12).

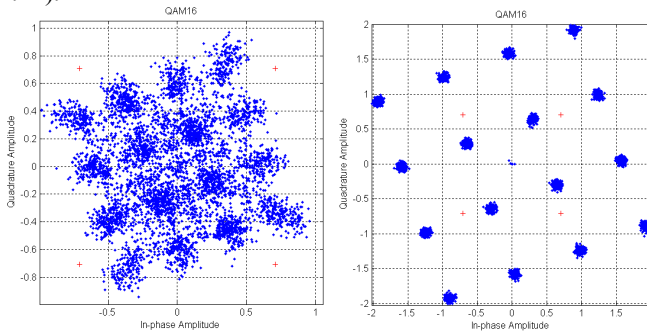


Рисунок 4.12 – Форма сигнального сузір'я QAM 16 на вході приймача (ліворуч) та виході канального фільтра (праворуч)

Крім підтвердження верифікації сигнального сузір'я із рис. 4.12 видно, що фільтр також інваріантний до фазової затримки, а от демодулятор QAM – ні.

Верифікація законів розподілу полягає у дослідженні характеру законів розподілу за гістограмами сигналів та порівнянні їх із наперед відомим. Гістограма розподілу завади на виході Noise GenerUniformator має мати характер, близький до рівномірного, а для генератора завади Gaussian Noise Generator квадратурного сигналу – близький до дзвоноподібного (гаусівського).

Для аналізу характеру розподілу спрямуємо сигнали обох генераторів завад в спільну зону Matlab та обробимо його за допомогою функції генерації гістограми *hist* (рис. 4.13).

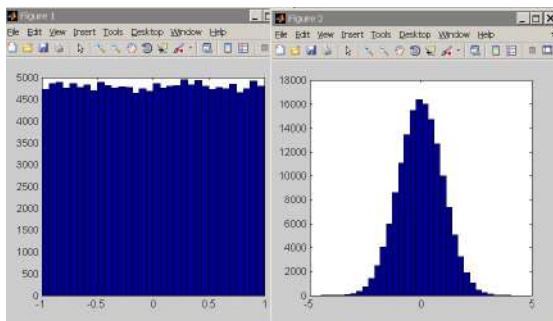


Рисунок 4.13 – Гістограми розподілу завад прямого (ліворуч) та квадратурного (праворуч) каналів

Із рис. 4.13 очевидно, що характер густини розподілу завад прямого та квадратурного каналів відповідає заявленому. Для коректного використання різних законів розподілу по окремим каналам впливу слід відкалібрувати рівні впливу завад на сигнали таким чином, щоб SNR, обчислена окремо по прямому та квадратурному каналу були приблизно однаковими за умов встановлення параметрів генераторів завад по замовчуванню, або так, як здійснено під час ініціалізації. Крім того, калібрування має здійснюватись за умов SNR що відповідають реальним ситуаціям в типових каналах: 1–10 дБ. Калібрування проводилось через підлаштовування коефіцієнтів підсилення лінійних підсилювачів **Gain** ітераційним методом за схемою рис. 4.14.

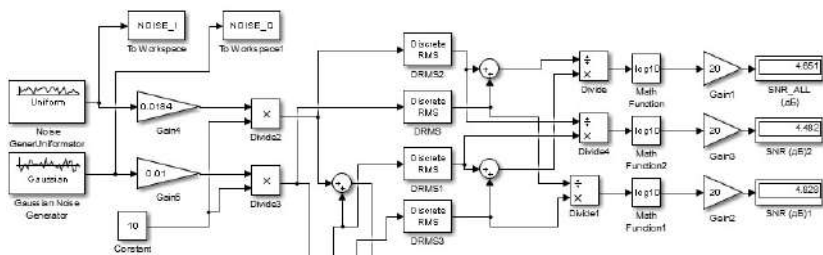


Рисунок 4.14 – Фрагмент схеми визначення відношення сигнал-завада для калібрування рівнів завад прямого та квадратурного каналів

Надалі відкалібровані рівні не змінюються, а загальний рівень обох завад регулюється окремою константою множення (на рис. 4.14 має значення 10).

Верифікація фільтрової обробки сигналу. Верифікацію результатів обробки каналними фільтрами передавача та приймача проводять на основі розгляду форми сигналу та форми енергетичного спектра до і після фільтрації (рис. 4.15) за умови мінімальних завад та спотворень в лінії зв'язку (ЛЗ). Відповідно до рисунка очевидно, що до і після фільтрації форма енергетичного спектра практично однаковими, що говорить про високий рівень узгодженості каналних фільтрів із сигналом, та ідентичності їх АЧХ.

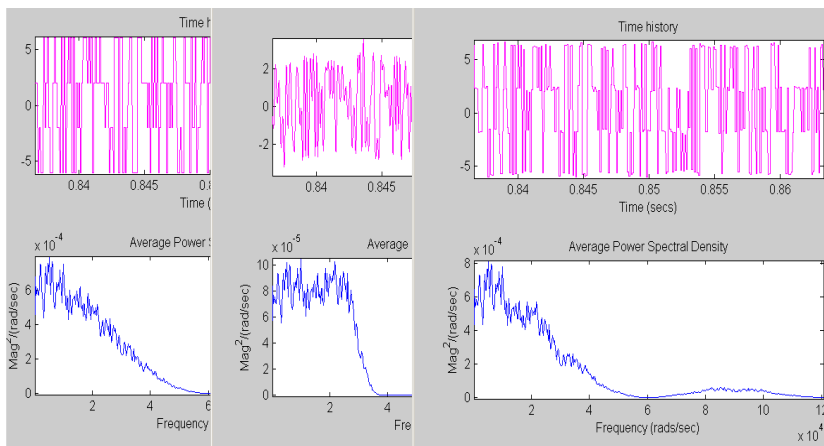


Рисунок 4.15 – Форма та спектри дійсної частини комплексних сигналів QAM-8 на вході каналного фільтра (КФ) передавача (ліворуч), в каналі (середина) та виході КФ приймача (праворуч)

Аналіз спектра дійсної частини комплексного сигналу на виході ЛЗ (вході КФ приймача) показує, що ширина спектра такого сигналу суттєво менше ніж спектра вхідного сигналу, а форма спектра концентрується ближче до виділеного діапазону частот (рис. 4.15, середній). Отже, каналні фільтри із формою АЧХ типу «піднесений косинус виконують функцію фільтра низьких частот (ФНЧ та забезпечують фільтрацію та наступне відновлення квадатурних сигналів в ЛЗ.

Верифікація каналної затримки передачі сигналів. Робота фільтрів із КІХ передбачає обов'язкову наявність деякої затримки, що визначається формою імпульсної характеристики фільтра близькою до функції відліків. Значення затримки встановлюється як параметр ініціалізації цифрового каналного модулятора/демодулятора (ЦКМ/ЦДМ). Під час верифікації контролюється значення такої затримки у символних інтервалах (семплах). Для зазначених вище вихідних даних значення обрано таким, що має відповідати 8 бітовим інтервалам, що і очевидно із рис. 4.16 за умовами підтвердження верифікації.

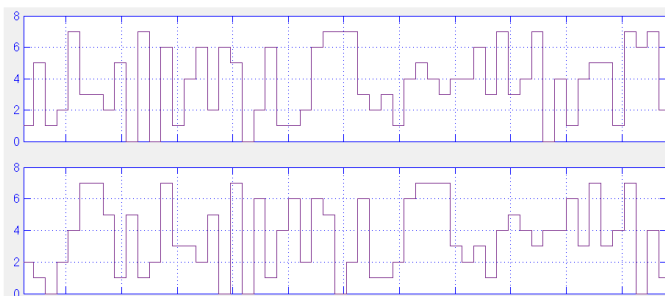


Рисунок 4.16 – Форма інформаційних сигналів на виході ПВП (зверху) та на виході ЦДМ QAM-8 (знизу) за умови слабких завад та спотворень в каналі

Верифікація каналних переходів реалізується за діаграмою переходів, що реалізується за допомогою інструмент Simulink – Discrete-Time Signal Trajectory Scope. Сигнальні траєкторії показують можливі переходи між елементами сигнального сузір'я у цій конфігурації. Якщо генератор псевдовипадкової послідовності (ПВП) як джерело інформаційного сигналу видає дійсно випадкові сигнали то всі елементи сигнального сузір'я мають бути поєднані між собою за допомогою прямих або кривих ліній. Верифікаційні параметри та їх дотримання для елементів сигнальних траєкторій наступні: лінії сигнальних переходів на виході ЦДМ мають бути прямими мінімальної ширини та з'єднувати точки сигнального сузір'я найкоротшим шляхом кожен із кожною, формуючи характерну мозаїчну структуру (рис. 17).

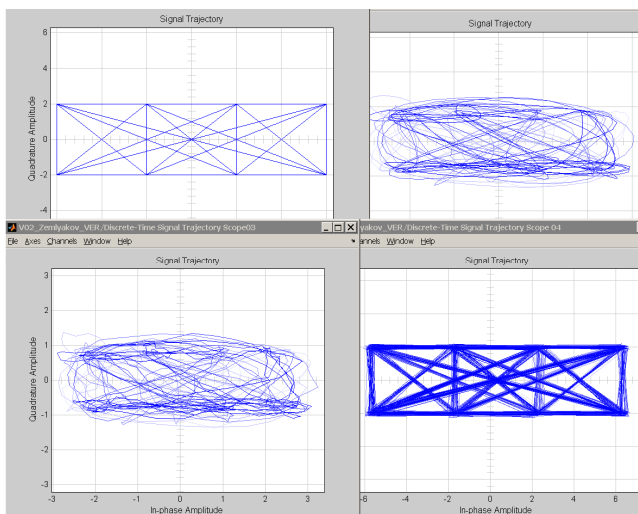


Рисунок 4.17 – Форма сигнальних траєкторій QAM-8 на вході КФ приймача (праворуч) та виході КФ приймача (ліворуч) за умови слабких завад та спотворень

Наявність всіх з'єднань між вузлами говорить про випадкову структуру та наявність в структурі цифрового знаку всіх символів; лінії сигнальних переходів на виході КФ передавача трансформуються із прямих в кусково-ламані криві, де кількість ділянок в кусково-ламаній лінії має відповідати рівню кількості чіпових інтервалів в символному інтервалі, що дорівнює в нашому випадку – 8 (див. рис. 17, б); лінії сигнальних переходів на вході КФ приймача мають відрізнятися більшою крутизною зламів та загальною випадковістю, що залежить від рівня завади (див. рис. 17); лінії сигнальних переходів на виході КФ приймача мають максимально відображати структуру сигнально-кодової конструкції (СКК) на виході ЦМД за виключенням деякої розмитості, що обумовлена дією квадратурних завад в ЛЗ (див. рис. 17).

Після виконання етапу верифікації, що є основою другого розділу КР, роблять висновки про те, які різновиди верифікації застосовано та які якісні результати отримано.

4.6 Дослідження моделі

На цьому етапі проводиться ґрунтовні численні дослідження моделі через запуск процесу моделювання яке також, як і, загалом, попередній етап, складається із трьох типових кроків: планування, проведення та обробка результатів.

Реалізація етапу проведення дослідження моделі може бути виконано в автоматизованому або автоматичному режимах за допомогою зосереджених або розподілених обчислень, в звичайному або фоновому режимі, тощо. Засоби Matlab/Simulink дозволяють реалізувати будь-який варіант із вказаних.

Генерація схеми для дослідження та врахування обмежень моделі. Дослідження верифікованої моделі радіоканалу потребує численних запусків моделі для отримання результатів та пошукуваних залежностей в технічному завданні на курсову роботу. При цьому слід пам'ятати обмеження, що накладаються для каналу передачі, для врахування цих обмежень під час аналізу результатів.

По-перше, розроблена модель (див. рис. 4.5) не враховує наявність каналу синхронізації, тобто вважається, що на приймальному боці тактова частота, необхідна для детектування прийнятої сигнально-кодової конструкції вже відновлена с точністю до фази, а спотворення каналу зв'язку вносять лише деякий фазовий або частотний зсув. При цьому дослідження впливу частотного зсуву не проводиться, більш того, введення найменшого зсуву по частоті призводить до унеможливлення отримання результатів. Для реальних каналів таке обмеження відповідає або наявності потужного каналу внутрішньої або зовнішньої синхронізації.

По-друге, під час моделювання каналу зв'язку також не враховується затухання в каналі передачі, тобто канал передачі з точки зору завад є адитивним флуктуаційними із детермінованою фазовою затримкою. Для реальних каналів таке обмеження відповідає застосуванню ефективній системі автома-

тичного регулювання підсилення, що охоплює приймач та передавач та діє у реальному часу.

По-третє, слід пам'ятати, що модель являє собою модель дискретної системи, що проявляється у способі об'єднанні сигнально-кодової конструкції із завадами та обмежує точність отримання значень BER.

Для прискорення отримання результатів із моделі каналу для верифікації усунуто блоки візуалізації: осцилографи, графопобудовники око-діаграм, сигнальний сузір'їв, та переходів між точками у сигнальному сузір'ї. Таке спрощення моделі каналу (рис. 4.18) як правило пришвидшує обчислення в десятки разів та рекомендується розробниками системи Matlab для прикінцевих етапів розробки моделі.

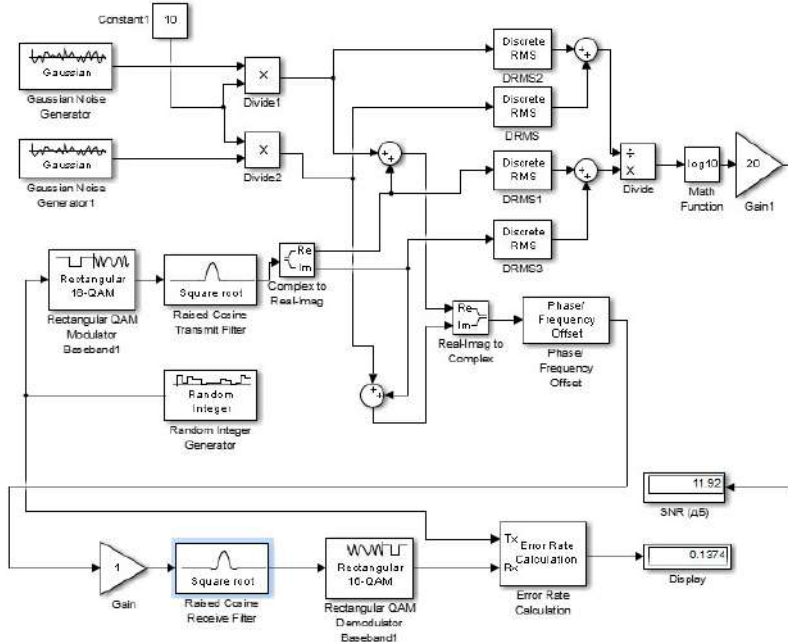


Рисунок 4.18 – Схема для дослідження цифрового радіоканалу із QAM16

Крім того, в схемі для дослідження (рис. 4.18) встановлено додаткові блоки, що дозволяють керувати середньоквадратичним відхиленням (СКВ) потужності шуму одночасно в прямому та квадратурному каналах, а також все розміщено на схемній площині в зручному для зчитування даних вигляді.

Планування методики досліджень. Методика досліджень полягала в пошуку залежності BER від різних сигнальних та апаратних параметрів в каналі передачі, що можливо змінити через зміну параметрів окремих блоків розробленої та верифікованої моделі.

Для розробленої моделі радіоканалу із QAM16 можливо виділити такі сигнальні параметри, що теоретично можуть впливати на BER.

1. SNR – встановлюється як масштабний коефіцієнт підсилення/ послаблення сигналів генераторів завад, за умови, що генератори завад видають сигнал у нормованому вигляді та однакової потужності.

2. Мінімальна дистанція між елементами сигнального сузір'я QAM 16 (параметр Minimum distance в блоках каналних модуляторів/демодуляторів Rectangular QAM). Цей параметр задано в технічному завданні таким, що дорівнює 1.

3. Кількість елементів сигнального сузір'я – задається в генераторі інформаційного сигналу Random Integer Generator та каналних модуляторах / емодуляторах як параметр M-ary number. За технічним завданням фіксований та дорівнює 16.

4. Характер розподілу завад по прямому та квадратурному каналу окремо, що задається додаванням окремих блоків завад із відповідним їх налаштуванням для видачі однакових RMS.

Для розробленої моделі радіоканалу із QAM16 можливо виділити такі апаратурні параметри, що теоретично можуть впливати на BER.

1. Параметри каналного фільтра окремо на приймальному та передавальному боці в блоках Raised Cosine Filter. В нашому випадку дослідження проводиться тільки під час зміни параметра заокруглення АЧХ такого спеціалізованого фільтра зміною параметра Rolloff factor в межах від 0 до 1.

2. Детермінований фазовий зсув в каналі передачі, що встановлюється параметром Phase offset (deg) в блоці Phase/ Frequency Offset.

3. Характер розподілу завад по прямому та квадратурному каналах окремо, що задається додаванням окремих блоків завад із відповідним їх налаштуванням для видачі однакових RMS. За технічним завданням в нашому випадку генератори завад мають однаковий гаусівський характер розподілу із нульовим математичним сподіванням та $RMS=0.0001$. Таке значення RMS дозволяє встановлювати підсилення в блоці константи в зручних межах від 1 до 100.

Під час отримання кожної із залежності слід провести попереднє дослідження застосовуваних меж отриманих результатів для BER. Максимальне значення BER дорівнює 0,5, що відповідає двом статистично незалежним некорельованим бітовим послідовностям із максимальною ентропією. Мінімальне значення BER у цьому випадку визначається кількістю вибірок за секунду та часом аналізу. Наприклад, якщо час аналізу складає 5, що задається під час запуску моделювання в Simulink, а кількість вибірок за секунду як в нашому випадку 9600, то мінімальне значення BER складає $1/9600/5 = 0,00002$, та ніяк не може бути менше.

Крім того інтервал зміни аргументу залежності обирають таким чином, щоб під час зміни аргументу відбувалось суттєва зміна функції.

Проведення досліджень та подання отриманих результатів суть третього розділу КР. Під час досліджень враховані попередні зауваження методики, загальний час аналізу обраний 5 дискретам, що відповідає точності та мінімальному значенню вимірювання BER приблизно у одну тисячну відсотка, що достатньо для учбових проектів, при цьому час розрахунку на

комп'ютері середньої потужності та у середовищі Matlab/Simulink R2014a не перевищував 10 с. Для порівняння під час верифікації час отримання результатів складав до 10 хв, що говорить про доцільність утворення окремої моделі для досліджень (див. рис. 4.18).

Отримання та графічне оформлення результатів може проводитись в середовищі Matlab через занесення даних до відповідних змін безпосередньо в робочій області та наступного формування простого скрипта Matlab для відтворення (додаток Д). В тілі скрипта також подано результати, отримані під час запуску моделі радіоканалу із QAM 16 в Simulink.

Приклад подання результатів залежності BER від SNR за різних умов подано на рис. 4.19. Подібні залежності слід подати для усіх зазначених в завданні на КР випадків досліджень.

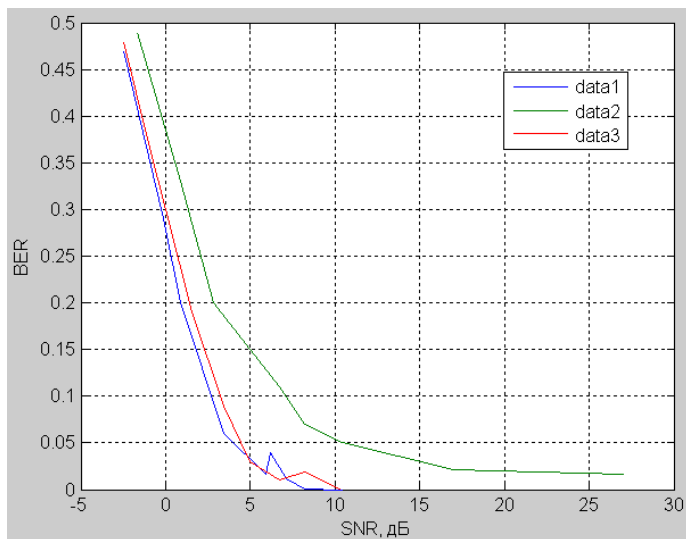


Рисунок 4.19 – Залежність BER від SNR за умови: data1 – для фактора заокруглення каналний фільтрів (ROLL) = 0,5, та зсуву фази в каналі FK = 0; data2 – ROLL = 0,1, FK = 10; data3 – ROLL = 0,8, FK = 5;

Формування висновків та рекомендацій із проведених досліджень.

Для прикладу досліджень із заданими параметрами висновки аналізу графічних залежностей можливо подати в наступній формі.

Після проведення досліджень залежності бітового коефіцієнту помилок від відношення сигнал-завада (рис. 4.19) можливо зробити наступні висновки.

1. Значення BER суттєво залежить від рівня помилок.
2. Із збільшенням відношення сигнал-завада більше 10 дБ, рівень помилок різко зменшується та для покращення якості каналу передачі можливе застосування цифрового завадостійкого кодування.

3. Із зменшенням BER менше 5 дБ рівень помилок має тенденцію лінійного зростання, в зоні рівнів завад спів мірних із рівнями сигналу рівень помилок сягає близько 0,25 (1 помилка в середньому на 4 біти), та за таких умов система потребує застосування складних методів завадостійкого кодування – наприклад, турбокодування.

4. За загальним розглядом впливу параметрів залежності рівень помилок більш сильно визначається параметром фазового зсуву в каналі (FK) та слабко залежить від форми АЧХ каналних фільтрів (ROLL).

Подібні висновки та рекомендації мають бути подані щодо усіх отриманих графічних залежностей.

5 ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Основні вимоги щодо оформлення пояснювальної записки наведені далі. Більш детально ці вимоги наводяться у вимогах кафедри, що подані у методичному виданні: «Кваліфікаційна робота: методичні рекомендації до її виконання здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» [13].

Вимогами до стилю подання матеріалу КР є логічна послідовність, єдність термінології, конкретність та лаконічність подання теоретичних і практичних результатів роботи, доведеність висновків та обґрунтованість рекомендацій тощо.

У тексті слід застосовувати терміни, позначення та визначення, встановлені чинними стандартами України або загальноприйняті у наукових та науково технічних джерелах інформації.

У тексті заборонено вживати звороти розмовної мови; техніцизми та професіоналізми; для одного поняття різні технічні терміни, близькі за змістом; довільні словосполучення та словоскорочення, крім встановлених правилами українського правопису та чинними стандартами академічної доброчесності.

Вимогами до оформлення подання тексту. Курсова робота до захисту подається у друкованому (електронному) вигляді на аркушах білого паперу ф. А4 (210×297 мм), без рамки та основного надпису із полями: верхній або нижній – 20 мм, лівий – 25 мм, правий – 10 мм. Шрифт Times New Roman, 14 пт, чорний, звичайний. Міжрядковий інтервал – 1,5 пт, абзацний відступ 12,5 мм.

Сторінки КР слід нумерувати арабськими цифрами (без крапки в кінці), додержуючись наскрізної нумерації впродовж усього документа, починаючи із структурної одиниці «ЗМІСТ». Номер сторінки проставляється в межах верхнього колонтитула праворуч.

Назви розділів та підрозділів подаються великими літерами та нумеруються. Нумерація підрозділів проводить ся в межах розділу, нумерація решти елементів тексту (рисуноків, таблиць, формул) наскрізна. Подання решти

текстових складових (переліків, формул, таблиць, рисунків, посилань, прикладів, тощо) – відповідно вищевказаним стандартам.

В переліку джерел посилання бібліографічні описи слід подавати у порядку, за яким ці джерела вперше згадуються у тексті КР. Порядкові номери описів у переліку джерел мають обов'язково відповідати посиланням на них у тексті (номерні посилання).

6 ЗАХИСТ КУРСОВОЇ РОБОТИ

6.1 Процедура захисту

Курсова робота, виконана у повному обсязі відповідно до завдання і підписана керівником, подається до захисту в електронному та паперовому вигляді не пізніше як за два тижні до початку екзаменаційної сесії. Електронний варіант може бути розміщено в репозитарії ХНУ.

Захист КР відбувається публічно, перед комісією, утвореною завідувачем кафедри, у складі двох-трьох викладачів кафедри за участі керівника проекту. Захист КР включає в себе усну доповідь здобувача (що супроводжується мультимедійною демонстрацією отриманих результатів), відповіді на запитання членів комісії, відповіді на запитання та зауваження присутніх, перехресної дискусії та прикінцевого слова студента. Під час захисту члени комісії мають право запросити студента продемонструвати дослідження в середовищі Matlab/Simulink із запуском обчислень за певних умов.

Оцінювання результатів рішення проводиться за колегіальним таємним обговоренням членами комісії. Результати оцінювання фіксуються на титульному аркуші КР. У випадку незгоди з отриманою оцінкою здобувач **має право на апеляцію**. Заява про апеляцію з візою завідувача кафедри подається декану факультету в день захисту КР. За рішенням декана проводиться повторний захист або апеляція аргументовано відхиляється.

6.2 Підготовка до захисту

Підготовка студента до захисту КР включає: планування стратегії захисту; підготовку мультимедійної презентації та тексту доповіді; підготовку відповідей на типові запитання членів комісії та усіх присутніх.

Доповідь за результатами виконання КР за планом, подібними до змісту та порядку структурних одиниць тексту пояснювальної записки. У вступній частині доповіді висвітлюється автор, керівник, тема, варіант вихідних даних, мета, предмет, об'єкт та завдання дослідження. В основній частині доповіді коротко подається обсяг виконаних робіт в основній частині, застосовані методи та методики щодо побудови та верифікації моделі каналу зв'язку відповідно завданню на КР на основі розгляду розроблених схем та

імітаційних моделей. Наприкінці доповіді слід подати результати досліджень, висновки та рекомендації по удосконаленню розроблених моделей та можливостей більш ефективного моделювання. Доцільно також зазначити невірні задачі та проблеми що виникають під час досліджень імітаційної моделі, а також перспективи подальших можливих розширень моделі. Доповідь повинна закінчуватись словами: «Дякую за увагу, доповідь закінчено!».

Доповідь слід супроводжувати мультимедійним відеорядом – презентацією. Під час її підготовки рекомендується використовувати такі пакети розробки та відтворення презентацій MS PowerPoint, Visio, тощо. Рекомендована кількість окремих слайдів – від 6 до 10. Презентація та доповідь повинні бути узгоджені в часі. Виступ здобувача має бути розрахований на 7–12 хв. Не рекомендується текст доповіді подавати в межах слайдів презентації.

6.3 Критерії оцінювання

Оцінювання курсової роботи здійснюється за інституційною чотирибальною шкалою з оцінками «відмінно», «добре», «задовільно», «незадовільно» та шкалою ЄКТС. При визначенні загальної оцінки курсової роботи враховують такі складові: якість оформлення відповідно методичним вказівкам; дотримання календарного плану; оцінка за презентацію роботи; оцінка за захист, відповіді на запитання під час захисту, рівень володіння програмним середовищем, якість заснованих методів та методик, тощо.

Критерії оцінювання якості змісту пояснювальної записки: відповідність меті та завданням дослідження; об'єктивність висвітлення стану питання, наявність творчого підходу, глибина аналізу джерел посилання, достовірність висновків та рекомендацій відповідно дослідженням; ступінь самостійності виконаних робіт; відсутність дублювання, описового матеріалу, стереотипних рішень, тощо.

Критерії оцінювання якості оформлення: відповідність оформлення чинним стандартам; органічний зв'язок текстового матеріалу з графічним; загальна та професійна грамотність, лаконізм і логічна послідовність викладення матеріалу.

Критерії оцінювання якості захисту ДР: повнота доповіді здобувача при захисті; її змістовність; якість мультимедійних матеріалів; рівень володіння проблематикою досліджень, послідовність, стиль та грамотність поданням матеріалів захисту, культура технічного мовлення; аргументація рішень та рекомендацій, аналізу і зіставлення результатів і висновків; правильність і повнота відповідей на питання членів комісії із захисту КР, демонстрація професійної компетентності в методах та засобах моделювання.

Оцінку «**відмінно**» здобувач отримує у разі, коли він виконав КР у повному обсязі без зауважень, з дотриманням всіх вимог, та під час захисту показав: грамотний, логічний виклад доповіді, правильні та повні відповіді на нестандартні питання; демонструє глибоке і повне опанування суті змісту матеріалу; володіє умінням зв'язувати теорію з практикою моделювання.

Оцінка **«добре»** виставляється студенту у випадку, коли він виконав КР у повному обсязі, в основному із дотриманням вимог, та під час захисту демонструє тверде знання матеріалу роботи, грамотно і по суті викладає його, не допускає суттєвих неточностей у відповідях на питання, правильно застосовує теоретичні положення методик моделювання, володіє необхідними навичками і прийомами їх виконання.

Оцінки **«задовільно»** заслуговує здобувач, який виконав КР відповідно завданню, але припустився декількох неточностей та помилок; під час захисту виявив знання основного навчального матеріалу в мінімальному обсязі; засвоїв і набув практичних навичок у моделюванні радіотехнічних засобів і в основному справляється з виконанням практичних завдань, але допускає ряд суттєвих неточностей та помилок у відповідях на питання; слабо орієнтується у нестандартних питаннях, демонструючи пороговий рівень сформованості компетенцій і володіння розумовими операціями на рівнях «знання», «розуміння» та «застосування».

Оцінка **«незадовільно»** виставляється у випадку, коли здобувач неякісно виконав ДР, використав інший варіант або виявлено суттєвий плагіат у роботі; під час захисту показав необізнаність у суті КР та безсистемні компетентності, здобувач слабо володіє засобами моделювання, припускається помилок у визначенні базових понять, не може використовувати теоретичні знання для побудови елементарних моделей.

Співвідношення діючих шкал оцінювання наведено у таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Співвідношення діючих шкал оцінювання КР

Оцінка ЄКТС	Шкала балів	Інституційна оцінка, критерій	
A	4,75–5,00	5	«Відмінно» – КР виконано у повному обсязі відповідно вимогам, всі відповіді чіткі та зрозумілі, відмінне володіння засобами моделювання
B	4,25–4,74	4	«Добре» – КР виконано у повному обсязі відповідно вимогам із кількома незначними неточностями під час захисту та інтерпретації результатів моделювання
C	3,75–4,24	4	«Добре» – КР виконано у повному обсязі із незначним порушенням вимог та з двома–трьома суттєвими помилками під час захисту та інтерпретації результатів моделювання
D	3,25–3,74	3	«Задовільно» – КР виконано відповідно варіанту завдання, але припущено ряд суттєвих неточностей та помилок при її виконанні, що не дозволяє зробити адекватні висновки
E	3,00–3,24	3	«Задовільно» – КР виконано відповідно варіанту завдання, але припущено ряд суттєвих неточностей та помилок що дозволяють оцінити рівень компетенцій здобувача як мінімально необхідний

ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Головін Ю. О. Основи радіозв'язку : підручник / Ю. О. Головін. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Політехніка, 2021. – 234 с.
2. Кучернюк П. В. Основи теорії телекомунікацій і радіотехніки [Електронний ресурс] : навч. посіб. / П. В. Кучернюк. – Електронні текстові дані (1 файл: 4,3 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 290 с.
3. Самборський І. І. Основи цифрової обробки сигналів : навч. посіб. / І. І. Самборський, С. М. Шолохов, О. В. Юрченко, Б. А. Ніколаєнко. – Київ : ІСЗІ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 171 с.
4. Гайдур Г. І. Лабораторний практикум з навчальної дисципліни “Теорія інформації та кодування” : навч. посіб. / Г. І. Гайдур, З. З. Бондаренко, В. В. Марченко, Н. С. Чумак. – Київ : ДУТ, ННІЗІ, 2021. – 50 с.
5. Кравчук С. О. Основи теорії цифрових систем автоматичного керування: LTI моделі для систем SISO та MIMO [Електронний ресурс] : навч. посіб. / С. О. Кравчук, О. І. Лисенко, В. С. Явіся, В. І. Новіков. – Електронні текстові дані (1 файл: 4,32 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 196 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/41978>
6. Ушенко Ю. О. Основи та методи цифрової обробки сигналів: від теорії до практики : навч. посіб. / Ю. О. Ушенко, М. С. Гавриляк, М. В. Талах, В. В. Дворжак. – Чернівці : Чернівецький нац. ун-т ім. Ю. Федьковича. – 2021. – 308 с.
7. Рябенський В. М. Моделювання пристроїв обробки цифрових сигналів : навч. посіб. / Рябенський В. М., Л. В. Солобутко. – Київ : Видавничий дім «Кондор», 2021. – 352 с.
8. Рябенський В. М. Цифрова схемотехніка : навч. посіб. / В. Д. Гулий, В. Я. Жуйков, В. М. Рябенський. – Львів : «Новий світ-2000», 2022. – 736 с.
9. Ушенко Ю. О. Основи та методи цифрової обробки сигналів: від теорії до практики : навч. посіб. / Ю. О. Ушенко, М. С. Гавриляк, М. В. Талах, В. В. Дворжа. – Чернівці : ЧНУ ім. Юрія Федьковича, 2021. – 308 с.
10. Шолохов С. М.. Основи теорії і практики використання Matlab для цифрової обробки сигналів [Електронний ресурс] : навч. посіб. / С. М. Шолохов, І. І. Самборський, Б. А. Ніколаєнко, Р. Ю. Сбоев. ІСЗІ КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 8,29 Мбайт). – Київ : ІСЗІ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 226 с. – Назва з екрана.
11. Бобков Ю. В. Математичне забезпечення цифрових систем. Ч. 1. Цифрова обробка сигналів. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. / Електронні текстові дані (1 файл: 1,64 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 100 с. – Назва з екрана.
12. Підченко С. К. Кваліфікаційна робота : методичні рекомендації / С. К. Підченко, Ю. М. Бойко, О. С. Пивовар, Л. В. Карпова. – Хмельницький : ХНУ, 2023. – 60 с.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

ПРИКЛАД ТИТУЛЬНОГО АРКУША ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ З КУРСОВОЇ РОБОТИ

Хмельницький національний університет

Повна назва закладу вищої освіти

Факультет інформаційних технологій

Повна назва факультету

Кафедра телекомунікацій медійних та інтелектуальних технологій

Повна назва кафедри

КУРСОВА РОБОТА

з моделювання і оптимізації радіотехнічних засобів електронних комунікацій

Назва дисципліни

на тему: _____

КРЕКР XXXXX.YY

Шифр: (XXXXX – номер індивідуального навчального плану здобувача;

YY – номер по порядку у електронному журналі)

Галузь знань: 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації»

Шифр, назва

Спеціальність: 172 «Електронні комунікації та радіотехніка»

Шифр, назва

Освітня програма: «Електронні інформаційно-комунікаційні системи та мережі»

Назва

Студента(ки) 2 курсу, група _____

Шифр

Підпис

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник _____

Посада, вчене звання, науковий ступінь

Підпис

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Кількість балів _____

Оцінка за шкалою:

інституційною _____/ЄКТС _____

Члени комісії:

Підпис, дата

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Підпис, дата

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Підпис, дата

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Хмельницький 20 ____

ДОДАТОК Б

ПРИКЛАД БЛАНКУ АРКУША ЗАВДАННЯ ТА КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНУ ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

ЗАВДАННЯ НА КУРСОВУ РОБОТУ

_____ Прізвище, ім'я, по батькові студента

1 Тема роботи: _____

2 Керівник роботи: _____
Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, учене звання

3 Строк подання студентом роботи на кафедрі: _____.

4 Вихідні дані до роботи: _____
Предмет ,мета, завдання відповідно варіанту виконання

_____.

_____.

_____.

_____.

4 Зміст пояснювальної записки: _____
Перелік питань, які потрібно розробити

_____.

_____.

_____.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва розділу курсової роботи	Термін виконання розділів курсової роботи	Примітка
1		
2		
3		
4		
5		
....		

Здобувач вищої освіти _____
Підпис, дата Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник курсової роботи _____
Підпис, дата Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

ДОДАТОК В

ПРИКЛАД ОФОРМЛЕННЯ РЕФЕРАТУ КУРСОВОЇ РОБОТИ

РЕФЕРАТ

Курсова робота магістра 1-го курсу гр. ЕКРМ-23-1 Іванова Івана Івановича на тему «Оптимізація радіоканалу із цифровою модуляцією». Керівник роботи доц. каф ТМІТ, к.т.н, доцент. Пивовар Олег Сергійович.

Курсова робота присвячена розгляду одночасної дії завад із різними розподілами по прямому та квадратурному каналах обробки радіосигналів під час цифрової модуляції QAM16. Також розглянуто вплив параметрів фільтрів та фазової затримки ліній передачі на якість передачі цифрових даних.

Ключові слова: квадратурний радіоканал, бітовий коефіцієнт помилок (BER), цифрова модуляція, моделювання та оптимізація.

ABSTRACT

This coursework is written by Ivan Ivanovych Ivanov, a first-year master's student of the ЕКРМ-23-1 group, focusing on the topic "Optimization of a radio channel with digital modulation". Academic advisor: Pyvovar Oleg Serhiyovych, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Telecommunications, Media and Intellectual Technologies of Khmelnytsky National University.

The coursework explores the concurrent impact of interference with various distributions on the direct and quadrature channels of radio signal processing during QAM16 digital modulation. The influence of filter parameters and phase delay of transmission lines on the quality of digital data transmission is also considered.

Keywords: quadrature radio channel, bit error rate (BER), digital modulation, modeling and optimization.

ДОДАТОК Г

ПРИКЛАД ОФОРМЛЕННЯ ЗМІСТУ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ КУРСОВОЇ РОБОТИ

ЗМІСТ

	С.
Скорочення та умовні позначки.....	4
Вступ.....	5
1 Аналіз вихідних даних.....	7
1.1 Класифікація цифрової модуляції.....	7
1.2 Принцип застосування цифрової модуляції.....	9
1.3 Квадратурна модель цифрової модуляції.....	11
1.4 Завади квадратурних каналів обробки.....	12
2 Створення та верифікація моделі каналу.....	13
2.1 Концептуальна модель досліджень.....	13
2.2 Структура функціональної моделі досліджень.....	14
2.3 Ініціалізація імітаційної моделі в середовищі Simulink	15
2.3.1 Схема проведення верифікації моделі.....	15
2.3.2 Параметри ініціалізації джерела інформації.....	17
2.3.3 Параметри ініціалізації канальних фільтрів.....	18
2.3.4 Параметри ініціалізації генераторів завад.....	19
2.4 Верифікація моделі.....	20
2.4.1 Верифікація джерел сигналів та завад.....	20
2.4.2 Верифікація сигнально кодової конструкції.....	22
2.4.3 Верифікація роботи сигнальних фільтрів.....	23
3 Дослідження моделі.....	25
3.1 Схема для досліджень та її обмеження.....	25
3.2 Методика досліджень.....	26
3.2 Результати досліджень та оптимізація.....	27
Висновки.....	29
Перелік джерел посилання.....	30
Додаток А Скрипт Matlab для виводу результатів досліджень.....	32

ЗМІСТ

Вступ	3
1 Організація роботи над курсовою роботою	5
2 Тематика курсових робіт	6
3 Структура і зміст пояснювальної записки	8
4 Методичні рекомендації і поради із курсової роботи	9
4.1 Моделі та етапи реалізації наукових досліджень	9
4.2 Постановка завдання	14
4.3 Формалізація моделі	14
4.4 Створення моделі	15
4.5 Верифікація моделі	19
4.6 Дослідження моделі	25
5 Вимоги до оформлення курсової роботи	29
6 Захист курсової роботи	30
6.1 Процедура захисту	30
6.2 Підготовка до захисту	30
6.3 Критерії оцінювання	31
Перелік рекомендованої літератури	33
Додатки	34

Рис. 830 см2