

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет "Запорізька політехніка"

Факультет інформаційної безпеки та електронних комунікацій
(повне найменування факультету)

Кафедра радіотехніки та телекомунікацій
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)
магістра

(ступінь вищої освіти)

на тему МОДЕЛЬ РАДІОКАНАЛУ НАДШИРОКОСМУГОВОГО
ДОСУПУ

Виконав(ла): студент(ка) 2м курсу, групи БК-922м

Спеціальності _____

172 «Телекомунікації та радіотехніка»

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація) _____

«Інформаційні мережі зв'язку»

ТІХІНСЬКИЙ Олександр Олександрович

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник КАБАК Владислав Семенович

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент _____

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет "Запорізька політехніка"
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет ФІБЕК

Кафедра Радіотехніки та телекомунікацій

Ступінь вищої освіти магістр

Спеціальність 172 "Телекомунікації та радіотехніка"

(код і найменування)

Освітня програма (спеціалізація) Інформаційні мережі зв'язку

(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

РТТ

К.Т.Н., доц. САМОЙЛИК С. С.

" " грудня 20 23 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

ТІХІНСЬКОГО Олександра Олександровича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) "Модель радіоканалу надширокопasmового доступу"

керівник проекту (роботи) КАБАК Владислав Семенович, доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від " 14 " 11 2023 року № 443

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 10.12.2023 р.

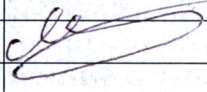
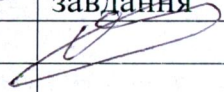
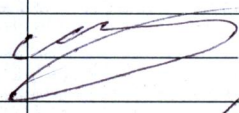
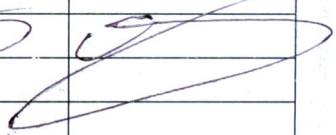
3. Вихідні дані до проекту (роботи): метод розширенням спектру – прямий, тип модуляції - фазово-імпульсна, тривалість імпульса – 0,5 ns, ширина смуги робочих частот - 2 ГГц, спектральна щільність потужності - $7,41 \cdot 10^{-14}$ W/Hz, коефіцієнт шуму приймача –

10.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Розробити модель радіоканалу і дослідити завадостійкість систем зв'язку з розширенням спектра; розрахувати дальність зв'язку; розрахувати щільність течі енергії поблизу передавального обладнання

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): презентація Microsoft Office PowerPoint.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-3	КАБАК В. С., доцент		
Нормоконтроль	МОРОЗ Г.В., ст. викладач		

7. Дата видачі завдання " 3 " вересня 20 23 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Огляд персональних бездротових мереж	05.09-15.09	
2	Опис концепції UWB	15.09-01.10	
3	Проектування бездротової персональної мережі	01.10-30.11	

Студент(ка)

Керівник дипломної роботи


ТІХІНСЬКИЙ О. О.


КАБАК В. С.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської роботи: 80 с., 10 табл., 14 рис., 12 джерел.

ЩІЛЬНІСТЬ РОЗПОДІЛУ, ВІДНОШЕННЯ СИГНАЛ/ШУМ, ФІМ, UWB.

Об'єкт дослідження – технологія надширокосмугового доступу.

Мета роботи – моделювання радіоканалу.

В даному дипломному проекті спроектовано бездротову персональну мережу із застосуванням технології надширокосмугового доступу UWB. Висвітлено аспекти персональних бездротових мереж, принципи роботи UWB, переваги технології перед іншими бездротовими технологіями стандартів IEEE 802.11 й IEEE 802.15. Також виконано моделювання процесу передавання сигналів за допомогою програмного середовища MATLAB. Здійснено аналіз залежності дальності зв'язку від швидкості передачі, а також здійснено розрахунок сумарного підсилення й втрат у радіоканалі.

Побудовано модель формування й обробки сигналів, а також перевірено її за оцінювання імовірнісних характеристик каналу зв'язку.

За виконання дипломної роботи застосовувалися сучасні методи проектування. Проектування здійснювалося на спеціальному програмному забезпеченні й обчислювальній техніці.

ЗМІСТ

	С.
Скорочення та умовні позначки	Ошибка! Закладка не определена.
Вступ.....	9
1 Персональні бездротові мережі	12
1.1 Бездротові персональні мережі.....	12
1.2 Стандарт IEEE 802.15.3	13
1.3 Стандарт IEEE 802.15.3a	16
2 Концепція UWB.....	22
2.1 Залежність пропускної здатності UWB від відстані	22
2.2 Потенційні можливості UWB	27
2.3 Співіснування UWB з іншими бездротовими технологіями	34
2.4 Моделі використання.....	38
2.5 UWB і завади іншим системам	39
2.6 Мета й об'єкт дослідження	42
3 Проектування бездротової персональної мережі з використанням UWB ...	43
3.1 Мета й об'єкт дослідження	43
3.2 Gefen Wireless for HDMI UWB Extender.....	46
3.3 Fujitsu Wireless Display Adapter	48
3.4 Набір UWB компанії Atmel для додатків на основі мікроконтролера AT91CAP9A.....	51
3.5 Моделювання каналу зв'язку UWB-мережі за допомоги програмного середовища MATLAB.....	53
3.6 Розрахунок дальності зв'язку	65
Перелік джерел посилань	79

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

- ATCRBS – (Air Traffic Control Radio Beacon System) система радіомаяків для керування повітряним рухом
- BER – (Bit Error Rate) імовірність помилки на біт
- 4BOK – (4 Binary Orthogonal Reying) модуляція на основі чотирьох ортогональних двійкових кодів
- BPSK – (Binary Phase Shift Keying) двійкова фазова маніпуляція
- CAP – (Contention Access Period) інтервал конкурентного доступу
- CSMA/CD – (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) метод множинного доступу з упізнанням носійної й виявленням колізій
- CTA – (Channel-time Access) каналний інтервал
- DARPA – (Defense Advanced Research Projects Agency) агентство передових оборонних дослідницьких проєктів
- DLNA – (Digital Living Network Alliance) альянс цифрових домашніх мереж
- DME – (Distance Measuring Equipment) устаткування для вимірювання відстаней
- DQPSK – (Differential Quaternary Phase-Shift Keying) диференційна квадратурна фазова маніпуляція
- DRM – (Digital Rights Management) цифрове керування правами
- DS-UWB – (Direct Sequency Ultrawide Band) розширення спектра сигналу методом прямої послідовності
- DVI – (Digital Visual Interface) цифровий відеоінтерфейс
- FCC – (Federal Communication Commission) федеральна комісія зв'язку
- FH – (Frequency Hopping) частотний стрибок

- HD – (High Definition) висока чіткість
- HDMI – (High-Definition Multimedia Interface) інтерфейс для файлів мультимедіа високої чіткості
- IEEE – (The Institute of Electrical and Electronics Engineers) інститут інженерів радіоелектроніки й електротехніки
- LR-WPAN – (Low-Rate Wireless Personal Area Network) низькошвидкісна бездротова персональна мережа
- MAC – (Medium Access Control) підрівень керування доступом до середовища
- MBOA – (Multiband OFDM Alliance) мультисмуговий OFDM альянс
- MB-OFDM – (Multiband Orthogonal Frequency Division Multiplexing) мультисмуговий ортогональний частотний поділ каналів з мультиплексуванням
- NTIA – (National Telecommunications and Information Administration) адміністрація національної телекомунікації й зв'язку
- OFDM – (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) мультиплексування з ортогональним частотним поділом сигналів
- PHY – (Physical Layer) фізичний рівень
- PNC – (Piconet Coordinator) керівний пристрій пікомережі
- PPM – (Pulse Position Modulation) фазо-імпульсна модуляція
- QAM – (Quadrature Amplitude Modulation) квадратурна амплітудна модуляція
- QoS – (Quality of Service) якість обслуговування
- QPSK – (Quadrature Phase Shift Keying) квадратурна фазова маніпуляція
- UWB – (Ultra Wideband) надширокосмуговий, надширокосмуговий зв'язок
- WPAN – (Wireless Personal Area Network) бездротова персональна

	мережа
WAN	– (Wide Area Network) глобальна мережа
АФТ	– антенно-фідерний тракт
АЦП	– аналого-цифровий перетворювач
ВС	– вузькосмуговий
ВЧ	– високочастотний
ГДР	– гранично припустимий рівень
ЕМВ	– електромагнітне випромінювання
ЕМП	– електромагнітне поле
КНД	– коефіцієнт спрямованої дії
КПК	– кишеньковий портативний комп'ютер
КСХН	– коефіцієнт стоячої хвилі за напругою
МПД	– мережа передавання даних
МШП	– малошумлячий підсилювач
НВЧ	– надвисокочастотний
НШС	– надширокосмуговий
ПК	– персональний комп'ютер
ПЗ	– програмне забезпечення
РРС	– радіорелейна станція
РРСП ПВ	– радіорелейна система передачі прямої видимості
РЧ	– радіочастотний
СБЦЗ	– система бездротового цифрового зв'язку
ФІМ	– фазоімпульсна модуляція
ЦАП	– цифро-аналоговий перетворювач
ЦШ	– цифровий шум
ЩТЕ	– щільність течі енергії

ВСТУП

Більшість традиційних радіотехнічних систем працює у відносно вузькій смузі частот і в якості носійного коливання для передавання інформації використовує гармонійні (синусоїдальні) сигнали. Причина проста: синусоїда є власним коливанням LC контуру – найбільш елементарної і тому найпоширенішої електричної коливальної системи. А резонансні властивості цієї системи дозволяють легко виконувати частотну селекцію великого числа інформаційних каналів, що працюють у загальному середовищі (простір, провідна чи оптична лінія зв'язку). Тому частотна селекція є сьогодні основним способом поділу цих каналів, а більшість радіотехнічних систем є вузькосмуговими (ВС) і працюють у смузі частот, набагато меншої, ніж їхній носійна частота. Усю теорію й практику сучасної радіотехніки засновано на цій особливості.

Добре відомо, що саме ширина смуги частот визначає інформативність радіотехнічних систем, тому що кількість інформації, переданої в одиницю часу, прямо пропорційно цій смузі. Для того, щоб підвищити інформаційні можливості системи, необхідно розширювати її смугу частот. Альтернативою до цього може бути тільки збільшення часу передавання інформації.

Через невпинне збільшення інформаційних течій і інформатизації суспільства, ця проблема стає дедалі актуальнішою як для радіозв'язку, так і для радіолокації. Актуальність проблеми і визначила швидкий розвиток в останні роки технологій, що використовують надширокосмугові сигнали.

Сьогодні важко покаржитися на відсутність продуктів і рішень в галузі бездротових комунікацій. З огляду на наявність стільникових телефонів, мереж 3G..6G, Wi-Fi, WiMAX, Bluetooth, передавання даних лініями електропередач, наявність стандартів IEEE 802.11, – навряд чи можна уявити, що буде запропоноване що-небудь нове. Але протягом декількох

наступних років варто очікувати широкого поширення ще однієї бездротової технології – технології надширокопasmовим передачі даних (Ultra Wideband, UWB) чи імпульсного цифрового бездротового зв'язку. В основному вона застосовуватиметься для доставки телевізійних програм, фільмів, ігор і багатомегабайтних даних у "бездротових" будинках й офісах. UWB має більш високу швидкість, ніж сучасні бездротові локальні мережі, і забезпечує формування працюючих на невеликих відстанях широкопasmових каналів передачі даних, не чутливих до зовнішніх завад.

Наприкінці 60-х і початку 70-х років Джералд Росс уперше продемонстрував реалізацію технології UWB у радарах й комунікаційних додатках. Її було розроблено на замовлення агентства оборонних досліджень DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency), і поки в 1989 році в Пентагоні не назвали її надширокопasmовим зв'язком, називалася вона широкопasmовим імпульсним зв'язком без носійної частоти або сигнальною системою з часовою синхронізацією.

Технологія UWB у певному змісті повертає нас до часів винаходу радіо і дослідям Джуліо Марконі з іскровими передавачами.

UWB також є далеким нащадком технології широкопasmового радіомовлення, що застосовувалася під час Другої світової війни. Щоб уникнути взаємних завад, передача здійснювалася на багатьох різних радіочастотах з одночасним використанням тільки однієї з них. На відміну від цієї технології, UWB одночасно використовує всі доступні частоти.

Бездротову технологію UWB засновано на передачі коротких радіоімпульсів у процесі пересилання різної цифрової інформації в широкому частотному спектрі. Даний спектр знаходиться в діапазоні декількох ГГц. Тим самим щосекунди даний пристрій здатний генерувати, пересилати й отримувати мільйони імпульсів, що є логічним нулем чи одиницею, тобто двійковою інформацією, а, отже, – щосекунди пересилаються мільйони бітів інформації.

Перевагою даної системи є висока швидкість передавання інформації з дуже малими енергетичними витратами, оскільки передавання імпульсу не вимагає підсилення вихідного і вхідного сигналів. Єдиний недолік на сьогоднішній день – невелика відстань, на яку можна передавати дані за допомоги технології UWB.

1 ПЕРСОНАЛЬНІ БЕЗДРОТОВІ МЕРЕЖІ

1.1 Бездротові персональні мережі

Бездротові персональні мережі передавання інформації – це технології, що у радіусі від десятків сантиметрів до 10 м без дротів забезпечують взаємодію інформаційних пристроїв. Усім знайомий і найпростіший приклад таких пристроїв – пульт дистанційного керування побутовою технікою, що діє в ІЧ-діапазоні. Незважаючи на примітивність виконуваних функцій, підтримувані цими пристроями протоколи обміну (їх – не багато, найпоширеніший – RC-5) цілком відповідають найпростішим вимогам мережних протоколів. Також до прикладів таких пристроїв можна віднести і ІЧ-порти в комп'ютерах і їхній периферії (протоколи IrDA). Однак зв'язок в ІЧ-діапазоні має численну кількість нездоланих недоліків, найважливіший з яких – необхідність прямої видимості між приймачем і передавачем.

Більш сучасні технології, що активно розвиваються з 90-х років минулого століття, – це бездротові радіомережі. Донедавна, в області персональних бездротових мереж було два основних конкуренти – специфікації Bluetooth і HomeRF 2.0. Сьогодні з упевненістю можна сказати, що масове поширення отримав саме Bluetooth. Стандарт Bluetooth визнаний усім світовим співтовариством. У 2000 році між альянсом розробників Bluetooth й провідної в області бездротових мереж стандартизувальною організацією – Інститутом інженерів електроніки й електротехніки (IEEE) – було досягнуто згоди, відповідно до якого специфікація Bluetooth увійшла до стандарту IEEE 802.15.1 (оприлюднений 14 червня 2002 року) "Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Wireless Personal Area Networks (WPANs)" (специфікації контролю доступу до бездротового каналу і фізичного рівня бездротових персональних мереж).

Незважаючи на свою універсальність, технологія Bluetooth як дійсно мережний стандарт використовується сьогодні рідко. Найпоширеніше його застосування – заміна сполучного дроту між двома пристроями (наприклад, між гарнітурою і стільниковим телефоном). Крім того, що це все-таки ще молода технологія, можлива причина криється й у тім, що Bluetooth занадто універсальний. Тому в одних застосуваннях йому бракує швидкості обміну (наприклад, передача відеосигналу), в інших - вимагаються більш прості і дешеві пристрої.

Для подолання цих протиріч й остаточно стандартизувати принципи організації персональних мереж передавання даних (МПД), робоча група IEEE 802.15, не задовольнившись стандартом IEEE 802.15.1, створила ще дві дослідницькі групи (Tg3 й Tg4). В результаті, наприкінці вересня 2003 року, було оприлюднено два нові стандарти: IEEE 802.15.3 "Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for High Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs)" і IEEE 802.15.4 "Wireless 16 Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for LowRate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)" – стандарти для високошвидкісної і низькошвидкісної персональних бездротових МПД, відповідно.

1.2 Стандарт IEEE 802.15.3

Стандарт IEEE 802.15.3 описує роботу малих бездротових МПД – пікомережі (piconet) (рис. 1.2). У стандарті IEEE 802.15.3 пікомережа – це так звана adhoc-система, у якій кілька незалежних пристроїв можуть безпосередньо взаємодіяти один з одним. Як правило, розміри пікомережі, не перевищують 10 м. Основні вимоги до неї – висока швидкість передавання даних, проста інфраструктура, легкість установалення з'єднання і входження в мережу, засоби захисту даних і надання для визначених типів даних

гарантованих параметрів передачі (гарантія якості обслуговування, QoS). Пікомережа може поєднувати кілька пристроїв, один з яких виконує функції керування (Piconet Coordinator – PNC). Стандарт також передбачає можливість формування так званих дочірніх пікомереж і описує взаємодію між незалежними сусідніми пікосетями. У пікомережі можливий обмін як асинхронними, так і ізохронними (потокowymi) даними. До останнього відносяться, наприклад, звук і відео. У пікомережі інформаційний обмін засновано на послідовності суперкадрів.

Керівний заголовок	Інтервал конкурентного доступу	Канальні інтервали			
		СТА 1	СТА 2	...	СТА n

Рисунок 1.1 – Структура кадрів фізичного рівня IEEE 802.15.3

Кожен кадр (рис. 1.1) містить керівний сегмент (Beacon), інтервал конкурентного доступу (Contention Access Period – CAP) й набір часових інтервалів (каналів), призначених певним пристроям. PNC визначає межі всіх інтервалів й розподіляє канали між пристроями.

Під час CAP доступ до каналу відбувається на основі механізму контролю носійної з запобіганням колізій – Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CA, як і в стандарті IEEE 802.11 [1]). Тобто, хто першим устиг зайняти канал, той і працює. У цей період передаються команди чи асинхронні дані.

Канальні інтервали (СТА) PNC призначає кожному пристроєві чи групі пристроїв відповідно до запиту з їхнього боку. У керівному сегменті для кожного з них задається момент початку й тривалість. Для довільного пристрою призначення СТА означає, що жоден інший пристрій у цей момент не може працювати на передачу. СТА можуть динамічно розподілятися в суперкадрі (для асинхронних й ізохронних даних) чи бути фіксованими

(тільки для ізохронних даних).

Специфікацію фізичного каналу в документі IEEE 802.15.3 наведено лише для діапазону 2400-2483,5 МГц. Вона передбачає п'ять допустимих швидкостей передачі, як те демонструє таблиця 1.1.

Таблиця 1.1 – Модуляція і швидкість в IEEE 802.15.3 у діапазоні 2,4 ГГц

Тип модуляції	Швидкість передавання даних, Мб/с
QPSK	11
DQPSK	22
16-QAM	33
32-QAM	44
64-QAM	55

Швидкість 22 Мбіт/с є базовою, її зобов'язані підтримувати всі пристрої IEEE 802.15.3. За роботі на цій швидкості дані не кодуються. В інших випадках, дані перед формуванням модуляційних символів кодуються за допомоги згорткового кодера з 3-розрядним зсувним регістром (так звана модуляція за допомоги ґратчастого коду з 8 станами). За цього, в кодері до вихідного набору з 1/3/4/5 розрядів (за QPSK/16-QAM/32-QAM/64-QAM) додається кодовий біт з виходу трирозрядного регістра зсуву.

Стандарт IEEE 802.15.3 вимагає, щоб пристрої могли працювати в кожному з п'яти можливих частотних каналів (табл. 1.2).

За цього передбачається два каналних плани:

- режим високої щільності (чотири канали в допустимому діапазоні);
- режим сумісності з мережею стандарту IEEE 802.11b (три дозволених канали).

Таблиця 1.2 – Розподіл каналів у мережах IEEE 802.15.3

Номер каналу	Центральна частота, МГц	Режим високої щільності	Режим сумісності з IEEE 802.11b
1	2,412	+	+
2	2,428	+	-
3	2,487	-	+
4	2,445	+	-
5	2,462	+	+

Це означає, що кожен пристрій перед початком роботи:

- а) сканує діапазон;
- б) знаходить вільні канали;
- в) визначає наявність працюючої мережі 802.11b.

1.3 Стандарт IEEE 802.15.3a

Специфікацію IEEE 802.15.3 ще не встигли затвердити (а відбулося це 12 червня 2003 року), як увесь телекомунікаційний світ став чекати появи нового стандарту – IEEE 802.15.3a. Мова йде про розробку принципів побудови пікомережі зі швидкістю обміну 110-480 Мбіт/с і вище – до 1320 Мбіт/с.

Тільки збільшуючи спектральну ширину каналу, переходячи в область так званого надширокосмугового зв'язку (НШС, UWB) можна досягти таких високих швидкостей.

Після 14 лютого 2002 року, коли федеральна комісія зв'язку США – Federal Communication Commission (FCC) – дозволила застосування надширокосмугових пристроїв усередині приміщень у діапазоні 3100-10600 МГц за максимальної щільності потужності випромінювання

$7,41 \cdot 10^{-14}$ Вт/Гц (мінус 41,3 дБм/МГц) у США це стало можливим.

У 2002 році для розробки єдиного підходу до збільшення швидкостей обміну в мережах IEEE 802.15.3 утворилася дослідницька група Tg3a. До неї увійшли представники практично всіх найбільших напівпровідникових і телекомунікаційних фірм. Незабаром з'явилися дві конкуруючі пропозиції за технологією НШС-передавання:

- на основі ортогональних кодів (так званий мультисмуговий множинний доступ за допомоги ортогональних носійних, MB-OFDM);
- шляхом розширення спектра сигналу методом прямої послідовності (DS-UWB).

Першу пропозицію підтримувала більшість фірм на чолі з гігантами Texas Instruments і Intel (у березні 2003 року бути створене спеціальне об'єднання MBOA – Multiband OFDM Alliance). Табір прихильників другої очолили компанії Motorola і XtremeSpectrum. До MBOA входить 170 компаній, серед яких – 9 з 10 найбільших напівпровідникових компаній (крім TSMC).

Відповідно до заведених у комітеті IEEE 802 правилам, для того щоб затвердити стандарт, за запропонований варіант мусять проголосувати не менше 75 відсотків членів робочої групи. Незважаючи на чисельну перевагу прихильників MB-OFDM, на минулих голосуваннях їм не вдалося набрати 75 відсотків голосів від загального числа компаній, що працюють над стандартом IEEE 802.15.3a. Причин тому – декілька. Можливо, одна з основних причин криється в технології MB-OFDM. Суть її в тому, що весь дозволений діапазон поділяється на смуги шириною 528 МГц. У стандартному режимі передбачено три смуги, а в розширеному – сім. Кожна смуга, у свою чергу, розбивається на 128 підносійних частот із кроком 4,125 МГц. З них використовується 122: 100 підносійних для модуляції даних, 12 підносійних – пілотні і ще 10 – захисні. Кожна підносійна модулюється за допомоги QPSK. Один OFDM-символ містить 100 чи 200 кодованих розрядів

(100 – у випадку, коли однаково модулюються дві підносійні, симетричні щодо центральної). Період проходження символів – 312,5 нс. До цього часу усе відповідає звичайній OFDM. Мультисмуговість означає, що наступний символ може передаватися в іншій частотній смузі, за жорстко визначеною схемою для кожного логічного каналу (передбачається чотири таких канали).

Частотно-часовим кодом називають послідовність переходу з однієї смуги на іншу. Передбачено поки чотири таких коди (табл. 1.3).

Таблиця 1.3 – Частотно-часові коди

Номер логічного каналу	Режим трьох смуг	Режим семи смуг
1	1→2→3→1→2→3	1→2→3→4→5→6→7
2	1→3→2→1→3→2	1→7→6→5→4→3→2
3	1→1→2→2→3→3	1→4→7→3→6→2→5

Окрім переходу з частоти на частоту, передбачено режим, коли один символ може передаватися кілька разів (два чи чотири). Наприклад, код 1→2→3→1→2→3 означає, що перший OFDM-символ передається в смугах 1 й 2, другий OFDM-символ – у смугах 3 й 1, третій – у смугах 2 й 3.

Структура кадрів фізичного рівня відрізняється від описаної структури в стандарті IEEE 802.15.3: у них не передбачено каналні інтервали для кожного з пристроїв, тобто в один і той самий момент інформацією можуть обмінюватися лише два пристрої. Кадр складається з преамбули (набору синхронізуючих послідовностей), заголовка (керуюча інформація) і поля даних. Преамбула і заголовки завжди транслюються з найменшою з можливих швидкостей – 55 Мбіт/с. Наявність чотирьох логічних каналів означає, що в безпосередній близькості можуть працювати, принаймні, чотири пікомережі. Для цього, кожному логічному каналу відповідає унікальний вигляд синхропослідовності в преамбулі.

Пропонується, таким чином, комбінація OFDM і відомого механізму

частотних стрибків (FH). У результаті, формується спектр швидкостей від 55 до 480 Мбіт/с., у залежності від швидкості кодування і числа повторів символів. Змінюючи вид модуляції, можна досягти і великих швидкостей – так, застосування 16-QAM за тієї ж схеми кодування дасть уже $480 \cdot 2 = 960$ кбіт/с.

Інший шлях – використання для передавання одночасно трьох діапазонів. Тоді за модуляції QPSK і швидкості згорткового кодування $3/4$ досягається швидкість обміну $480 \cdot 3 = 1440$ Мбіт/с.

Метод частотних стрибків – не найефективніший з погляду використання спектрального діапазону. Опоненти MB-OFDM зазначають, що прихильники даної технології у своїх вимірювання середньої потужності випромінювання передавача усереднюють її у часовому інтервалі порядку 1 мс. Цей час відповідає тривалості трьох символів. У реальності, за використання механізму повторів (і за вимірювань), символ в одному субканалі за цей час передається тільки один раз. У результаті, щільність потужності випромінювання за роботи передавального пристрою може перевершувати допустимі $-41,3$ дБм/МГц. Оскільки мова йде про сигнал зі смугою понад 500 МГц, це вже є серйозною проблемою.

Для розширення спектра, прихильники технології DS-UWB пропонують класичний метод прямої послідовності. За цього, кожен біт замінюється спеціальною кодовою послідовністю довжиною до 24 розрядів. Передбачено два види модуляції – двійкова фазова (BPSK, один біт на символ) і так звана 4Вок-модуляція (модуляція на основі чотирьох ортогональних двійкових кодів). Відомий варіант ВОК – метод ССК, основний вид модуляції в стандарті IEEE 802.11b [1]. 4ВОК – фактично варіант квадратурної модуляції, один 4ВОС-символ містить 2 розряди. Весь діапазон мовлення розбито на дві зони: 3,1-4,85 ГГц (нижній діапазон) й 6,9-9,7 ГГц (верхній діапазон). У кожному діапазоні передбачено по шість каналів пікомережі (із кроком 39 МГц у нижньому діапазоні, починаючи з

3900 МГц, і з кроком 78 МГц – у верхньому, починаючи з 7800 ГГц). Обов'язковими для підтримки кожним пристроєм вважаються тільки чотири смуги нижнього діапазону з центральними частотами 3939, 3978, 4017 і 4056 МГц, інші смуги – додаткові. Частота проходження модуляційних символів у кожному каналі дорівнює $1/3$ від його центральної частоти. У залежності від швидкості попереднього кодування, виду модуляції і довжини кодової послідовності, швидкість передавання даних може становити 28, 55, 110, 220, 500, 660, 1000 й 1320 Мбіт/с.

Відзначимо, що суперечки прихильників двох різних підходів до побудови НШС-пікомереж тривали не один рік, виробники НВІС готові були почати випуск необхідних компонентів (а деякі нетерплячі почали), і ситуація мусила незабаром розв'язатися. Тим більше, що вже з'явилися пропозиції, як об'єднати дві ці технології і без особливих витрат виробляти двохмодові пристрої, що підтримують і MB-OFDM, і DS-UWB.

Однак, створена для стандартизації технологій ультраширокопосмугового зв'язку (UWB), робоча група IEEE 802.15.3a, нарешті дійшла єдиної думки: на початку січня 2006 року, так і не затвердивши стандарту UWB, витративши на цю діяльність майже три роки і чимало грошей платників податків, у ході голосування робоча група IEEE 802.15.3a саморозпустилася.

Протягом трьох років діяльності робочої групи тривали гострі суперечки навколо того, який варіант стандартизувати: запропонований (тоді ще – Motorola Semiconductor) Freescale DS-UWB варіант із використанням усього частотного діапазону "єдиним шматком" чи запропонований WiMedia Alliance (до складу якого входять Intel, Staccato, Wisair і Alereon) MBOA-UWB варіант із розбивкою на піддіапазони 528 МГц і використанням технології мультиплексування за ортогональними носійним (OFDM). У першому випадку пропускна здатність могла б досягти 1 Гбіт/с, але на дистанції усього до 3 м, у другому – до 480 Мбіт/с, але дальність дії могла б бути до 10 м. (Якщо бути точним, то максимальна пропускна здатність у

першому випадку досягається на дистанції до 1 м, у другому – до 3 м. Пропускна здатність на максимальній дистанції складає 480 і 110 Мбіт/с, відповідно).

Крім цього, були і ще два проміжних варіанти – з більш широкими піддіапазонами, але тільки в MBOA-UWB і DS-UWB були хоч як шанси на стандартизацію в IEEE. Жоден з варіантів так і не зміг зібрати 75 відсотків голосів членів комісії, необхідних для затвердження в якості стандарту. Однак за розпуск робочої групи проголосувало 94,7 відсотків членів – приголомшлива єдність.

Проте, технологія, не затвердившись в самостійний стандарт, продовжує своє існування, що виражається в бажанні великих виробників випускати устаткування, що працює за їхньою концепцією.

2 КОНЦЕПЦІЯ UWB

2.1 Залежність пропускної здатності UWB від відстані

Надширокосмуговий зв'язок UWB є способом передавання інформації, що використовує високочастотні імпульси з малою енергією.

Оскільки інформаційна місткість UWB значно більше в порівнянні з іншими поточними і технологіями, що розвиваються, UWB має великий потенціал. Це дозволяє здійснювати більш швидкодіючі бездротові мережі з немислимою в недалекому минулому пропускною здатністю (табл. 1.1). Рушійна сила, що підштовхує дослідження в області надширокосмугового зв'язку, очевидний — це головний пріоритетний напрямок розвитку усіх без винятку бездротових технологій — підвищення пропускної здатності бездротового каналу зв'язку [3].

Таблиця 1.1 – Максимальні дальність та пропускна здатність різних технологій бездротового зв'язку

	IEEE 802.15	IEEE 802.11	IEEE 802.16	3GPP
	Швидкість, Мб/с			
1000	UWB (802.15.3)			
100		Wi-Fi (802.11a/g)	WiMAX (802.16)	
10		Wi-Fi (802.11b)		
1	Bluetooth (802.15.1)			3G
	ZigBee (802.15.4)			2,5G
	0 м	10 м	100 м >3 км	>30 км
	PAN	LAN	MAN	WAN

Ще в 1940 році почалися дослідження в області надширокосмугового радіозв'язку, а з 1960 по 1990 роки ця технологія використовувалася військовими в радарах, передачі зображень і високозахисних прихованих

комунікаційних системах. У 1994 році, доки інформацію не була оприлюднено, ці технології залишалися таємними і довгий час розробки фінансувалися урядом США. З цього часу, технологія отримала комерційний розвиток завдяки наступним розробкам [4]:

а) федеральна комісія з комунікацій США FCC 14 лютого 2002 року дала обмежений дозвіл на використання надширокосмугового устаткування. Це поклало початок процесу комерціалізації технології UWB на безліцензійній основі для трьох різних категорій пристроїв: систем передачі зображень, пересувних радіолокаційних станцій і комунікаційних й вимірювальних систем (які на даний момент і розвиваються найбільш швидкими темпами). Ці нормативи для забезпечення, що не вимагає отримання ліцензії функціонування пристроїв були пізніше (13 лютого 2003 року) переглянуті комісією FCC з незначними розширеннями;

б) рушійною силою, що підштовхує розвиток принципово нової технології надширокосмугового зв'язку, послужив той факт, що досягнення в області кремнієвої технології поступово почали підходити до своєї практичній межі і встало питання пошуку принципово нових рішень, що дозволили б відкрити новий потенціал для подальшого росту. Другим вирішальним фактором став бурхливе зростання світового ринку бездротових рішень, що вимагають усе більшої надійності й пропускну здатності від бездротових інформаційних каналів зв'язку.

Стандарт дозволяє здійснювати обмін зі швидкістю 110 Мбіт/с для відстаней аж до 10 м. Проблеми тут пов'язані, окрім всього іншого з тим, що цей частотний діапазон використовується військовими з радіолокаційною метою.

Використання широкої смуги дозволяє теоретично UWB забезпечити швидкість обміну до 480 Мбіт/с за відстані 3 м (рис. 2.1).

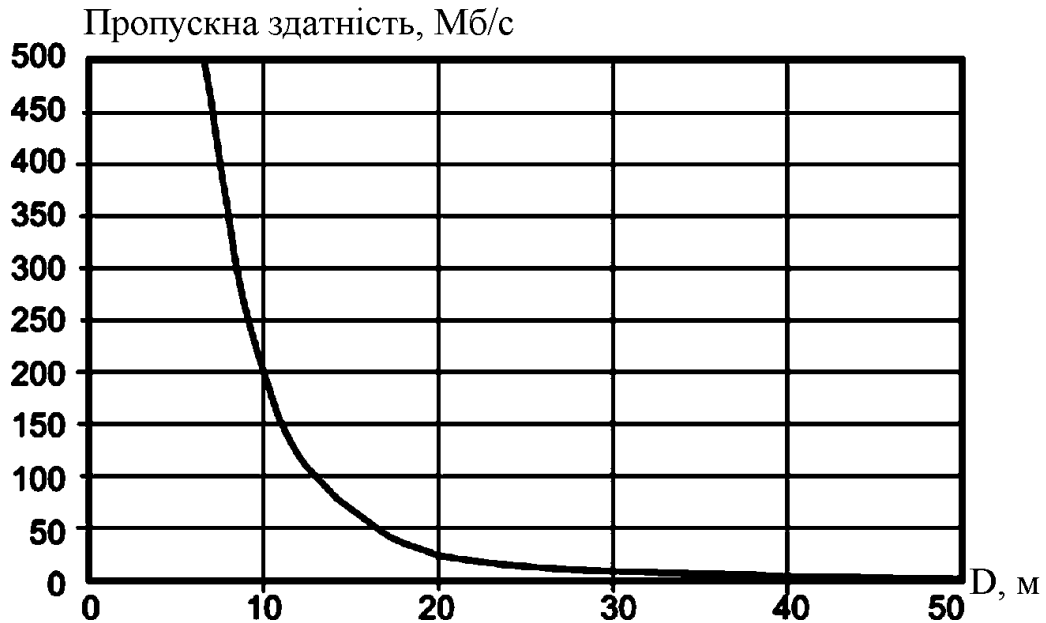


Рисунок 2.1 – Залежність пропускної здатності UWB від відстані

В стандарті UWB використовується самий широкий із усіх технологій передачі даних діапазон частот – від 3 до 10 ГГц. В ефір передається не потужне гармонійне колювання, як звичайно, а надкороткий імпульс тривалістю від 0,2 до 2 нс, а вся "трансляція" тягнеться від 10 до 1000 нс. Щоб не заважати іншим сигналам, що працюють на тій же частоті, використовується режим модуляції Time Hopping (стрибок часу) – зсув випромінюваного імпульсу в часі за псевдовипадковим законом, що дозволяє розподілити енергію в широкій смузі частот, а сам сигнал зробити схожим на шум. В UWB-передавачеві відсутня необхідність використовувати підсилювач потужності і кола перетворення частоти. Комутувальні елементи мусять бути стабільними і забезпечувати високу швидкодію (10-100 пс). У широкосмуговому діапазоні потрібно набагато менше витрат енергії (тому що в ефір відправляються імпульси з меншим відношенням сигнал/шум), ніж за передавання вузькосмугового сигналу. Тому мікросхеми для UWB виявляються економічнішими в роботі, ніж для Bluetooth чи Wi-Fi, – усього близько 0,05 мВт. За цього, вони досить дешеві.

Завдяки найширшій смузі частот можна домогтися найвищої швидкості передачі даних: від 110 Мбіт/с і вище. Для порівняння: Bluetooth забезпечує лише 232 Кбіт/с. Правда, у новій технології є і серйозний мінус: пропускна здатність стрімко спадає зі збільшенням відстані. Так, на дистанції в 3 метри можна досягти швидкості USB 2.0 – до 480 Мбіт/с; а от за віддалення на 10 метрів вона спадає до 110. За цим параметром Wi-Fi помітно виграє: 54 Мбіт/с на дистанції до 100 м.

Ще один мінус нововведення в тім, що серед розробників виникло два пліни, що посилено один з одним борються. Ініціатор уведення стандарту UWB-Intel – виступала за застосування OFDM-UWB. Таке розв'язки покликане знизити спотворення в кожному піддіапазоні і ненабагато збільшити дальність зв'язку. У цьому випадку вдається досягти максимальної швидкості в 480 Мбіт/с на відстані в 3 метри. Можливо, Intel так посилено "пробиває" цей варіант для того, щоб уніфікувати UWB і USB 2.0, а згодом упроводити UWB у розроблювальний стандарт Wireless USB. Надалі компанія сподівається збільшити дальність до 50 і навіть 100 метрів, - тоді USB дійсно відійде на другий план.

Хлопці з другого крила, очолюваного Motorola, ратують за варіант DSUWB, за якого весь спектр використовується як єдине ціле, що дозволяє домогтися запаморочливої швидкості в 1 Гбіт/с на тих же трьох метрах дальності. Відзначимо, що ця магічна цифра – три метри, також присутня у представленому на IDF варіанті Intel для максимальної пропускної здатності в 480 Мбіт/с. Розбіжності в показниках швидкості між варіантами Intel і Motorola саме і пояснюється тим, що в першому випадку частотний діапазон розбивається на шматки, а в другому – ні. Окрім того, саме число 480 Мбіт/с обране не випадково – ця швидкість обміну даними відповідає специфікаціям USB 2.0. Сподіваючись на універсальність технології, Intel і підтримує варіант MBOA-UWB (отут необхідно перебороти ряд ускладнень, зв'язаних із сильною взаємодією широкосмугового сигналу 3-10 ГГц з усім, що

потрапляється в нього на шляху – стінами, деревами, людьми тощо). Але якщо це вдасться, стандарт зможе конкурувати з технологіями бездротового зв'язку сімейства 802.11.

Підбиваючи підсумки, можна сказати, що Intel, з одного боку, хоче бачити технологію UWB як основу для використання в стандарті Wireless USB, а з іншого боку – не хоче перетворення UWB на вузькоспеціалізовану технологію (як цього бажає Motorola).

У будь-якому випадку, розв'язки як Intel, так і Motorola мають достатню пропускну здатність для того, щоб обмінюватися течами мультимедійних даних у режимі реального часу між безліччю "зав'язаних" у бездротову мережу пристроїв, а також "вилазити" в інтернет і одночасно підключати до ПК безліч периферійних пристроїв. Ще одна перевага UWB полягає в тому, що сигнали мають гарну стійкість до багатопроменевого загасання, що виникає за відбиття хвилі від стін, стелі й подібних великогабаритних артефактів. Тому об'єднані в мережу пристрої можуть знаходитися в різних кімнатах і на різних поверхах.

Супротивники впровадження UWB намагалися переконати американську Федеральну комісію зі зв'язку не дозволяти виводити на ринок системи, засновані на передаванні сигналу у надширокому діапазоні частот. Оскільки це випромінювання начебто може заважати нормальній роботі систем GPS, стільникових мереж (на це особливо робили упор мобільні оператори) і військових радіолокаційних станцій. Але все-таки розробники IEEE 802.15.3a змогли довести, що імпульси UWB надзвичайно малопотужні і ніякі збої за собою не спричинять. У підсумку FCC дозволила спільне функціонування UltraWideBand із уже наявними пристроями в одній смузі частот, але все-таки наклала деякі обмеження за потужностями й частотами.

2.2 Потенційні можливості UWB

Головна перевага бездротового зв'язку – відсутність ненадійних і, що вічно заважають, дротів, не має потребу в поясненні. Друга головна перевага UWB – у великій швидкості передавання даних, причому, якщо пофантазувати, то легко можна уявити собі, як на основі нинішньої технології UWB у майбутньому буде створено інтерфейси зв'язку, з якими провідні стандарти просто не зможуть конкурувати в силу обмеженої ширини смуги частот, що пропускаються. Пропускна здатність технологій UWB, у кожному з описаних варіантів (Intel і Motorola), достатня для обміну течами мультимедійних даних у режимі реального часу між безліччю пристроїв у домашній мережі – MP3-програвачами, відеомагнітофонами, DVD-пристроями, не говорячи вже про організацію доступу в інтернет з мобільного терміналу чи про одночасне підключення безлічі периферійних пристроїв до персонального комп'ютера (ПК) [5].

Згадаємо, скільки різних пристроїв оточує нас і наших друзів-помічників – ПК. Як відомо, більшість периферійних пристроїв зв'язано з ПК за допомоги провідних послідовних інтерфейсів – здебільшого, за допомоги USB. Зв'язок одних периферійних пристроїв з мультимедійними пристроями, скажемо, принтера з цифровою камерою, також, як правило, відбувається за допомоги стандарту USB, що не даремно називається універсальним.

Відповідно до історичної традиції, за зв'язку послідовним каналом зв'язку, один пристрій виступає в ролі ведучого (хоста), другий – у ролі відомого (клієнта). Однак як бути тому ж принтеру, якому в одній ситуації доводиться бути хостом, а в іншій – клієнтом, чи MP3-програвачеві, для завантаження запису до якого найчастіше доводиться використовувати комп'ютер як проміжний перевалковий пункт?

Стандарт, що з'явився порівняно недавно, USB On-The-Go (OTG) вирішує цю проблему, однак (так, принаймні, обіцяють розробники), з

Wireless USB і UWB користувачі раз і назавжди забудуть про цю історичну спадщину дротових послідовних інтерфейсів. За допомоги технологій широкосмугового зв'язку мультимедійні пристрої, що знаходяться в межах досяжності один одного (а 10 метрів – цілком достатня дистанція, щоб вмістити в себе все устаткування в межах однієї кімнати), зможуть поєднуватися у високошвидкісні мережі й обмінюватися файлами.

Для мобільних пристроїв немаловажливим є той факт, що в широкому спектрі потрібно набагато менше витрат енергії, ніж для передачі вузькосмугового сигналу в силу різного рівня сигналу: у широкому спектрі можна використовувати шумоподібні сигнали з малим відношенням сигнал/шум. Тому (як очікується), мікросхеми UWB будуть економічнішими від Bluetooth, маючи за цього, набагато більшу пропускну здатність і дозволяючи працювати довше.

Усі UWB-системи підрозділяються на три групи в залежності від дальності зв'язку і швидкості обміну інформацією. Перша група – це низькочастотні розв'язки (до 100 кбіт/с) – їх призначено для виконання телеметричних задач і вони здатні забезпечувати високу прихованість передавання даних на відстань до декількох кілометрів за малої потужності випромінювання.

Середньошвидкісні мають радіус дії від 10 до 100 м і можуть скласти серйозну конкуренцію усім версіям WiFi – a/b/g. Швидкість передавання даних варіюється від 1 до 100 Мбіт/с. Високошвидкісні системи мають радіус дії до 10 метрів, але швидкість перевищує 100 Мбіт/с. Ця версія більш економічна, ніж Bluetooth, вона ж – найперспективніша для розробників.

Власне, перспективи – величезні, завдяки великій кількості переваг над вузькосмуговими й простими широкосмуговими системами зв'язку [2].

Першою справою слід зазначити головне – великі швидкості передачі інформації; за пропускну здатністю UWB суперничає з FireWire (IEEE 1394) і USB 2.0. Другий пункт – висока заводо захищеність: вплив

вузькосмугових завад занадто незначний, плюс сукупна тривалість передавальних імпульсів складає близько 1 % від усього часу трансляції, так що 99 % – це просто шум, що потім "вирізається". По-третє, потрібно згадати високу стійкість зв'язку в умовах багатопроменевого поширення радіохвиль. Звичайні сигнали багаторазово відбиваються від стін і такою кашею прилітають до антени приймача. В UWB цю проблему розв'язано: переданий наноімпульс встигає загаснути ще до того, як до антени добереться його відбита копія. Четверта перевага – відмінна захищеність від перехоплення.

Завдяки механізму передавання імпульсів усякі шпигунські приймачі і детектори сприймають UWB-випромінювання як сторонній шум і випадкові завади. П'ятий плюс випливає з четвертого – сигнали UWB-систем практично не створюють видимих завад для інших пристроїв. Шоста перевага – можливість багаторазового повторного використання однієї і тієї ж смуги радіочастот різними передавальними радіосистемами. Це означає що: оскільки сигнал UWB не випромінюється в якому-небудь певному частотному діапазоні, а поширюється на ділянці спектра, то надширокосмугові передавачі можуть поділяти ту саму частоту з іншими системами – як цивільними, так і військовими. А оскільки в кожній певній крапці спектра радіочастот потужність UWB-сигналу вкрай мала (не перевищуючи рівень побічних випромінювань мобільників, телевізорів тощо), то всі розв'язки на основі надширокосмугового зв'язку можуть використовуватися без ліцензування.

Черговий, сьомий пункт – висока проникна здатність UWB-сигналів, завдяки чому зв'язок можна здійснювати в місцевостях зі складним рельєфом – між будинками і навіть у товщі землі!

Восьмий плюс: завдяки надкоротким імпульсам з'являється можливість визначати відстань до об'єктів з точністю до декількох сантиметрів! Дев'ята перевага: через низьку потужність випромінювання мало того, що забезпечується прихованість передавання радіосигналів і практично зникає

імовірність перехоплення інформації, так ще і споживається, за цього, мінімум енергії. Десятий пункт – кінцеві UWB-пристрої надзвичайно прості як у виготовленні, так за схемотехнікою – немає підсилювача потужності, гетеродина, елементів частотної фільтрації, а сформований сигнал відправляється відразу на антену, тобто передача здійснюється прямо з плати. Просто і дешево.

Нарешті, у UWB-систем вкрай висока щільність передавання даних. Цей показник – один з найважливіших, який характеризує ефективність систем бездротового зв'язку. Чим вище сумарна швидкість передачі даних на квадратний метр робочої зони, тим краще. У Bluetooth цей показник на рівні 30 кбіт/с/м², у UWB – до 1 Мбіт/с/м².

Застосування UWB-систем не обмежується одними лише офісними потребами, варіантів використання НШС – безліч [6]:

- радіорелейні мережі підземного зондування: сигнали проникають на глибину до 7 метрів і дозволяють виявляти підземні поховання – будь то людські останки, отруті відходи чи поклади мін, що не відшуковуються за допомогою звичайних РРС;

- системи радіоспостереження (низькочастотні – до 960 МГц, середньочастотні – від 1,99 до 3,1 ГГц і високочастотні – до 10,6 ГГц), за допомоги яких запросто можна з достатньою точністю визначати місце розташування людей під завалами, тріщини в дорожнім покритті, неметалеві труби в стінах;

- медичний моніторинг на основі UWB набагато ефективніше дозволяє зняти кардіограму;

- відеосистеми охоронної сигналізації дозволяють потай контролювати територію – навколо охоронюваної зони на відстані 100-150 метрів створюється невидимий радіоекран, що фіксує кожне крізь нього проникнення – будь то миролюбна кішка чи злісна людина;

- автомобільні радари працюють на частотах 22-29 ГГц – з ними можна

практично наосліп перелаштовуватися з ряду в ряд і паркуватися заднім ходом;

– нарешті, власне внутріофісний зв'язок (усі ті ж 3,1 -10,6 ГГц): можна з'єднати ноутбуки, принтери, PDA й інші офісні пристрої.

У першій половині 2005 року стало відомо про появу двох альтернативних мікросхем – розв'язки компанії Wisair, представленого в ході японського IDF, і компанії Freescale, дочірнього підприємства Motorola. За твердженнями Wisair і Intel, їхні розв'язки вже тоді забезпечувало пропускну здатність 480 Мбіт/с на дистанціях у 3 м і до 110 Мбіт/с на дистанціях у 10 м. Мікросхема Freescale тоді ще не була здатною забезпечити 1 Гбіт/с, пропонуючи лише швидкість передавання даних 110 Мбіт/с.

Говорячи про продукцію, потрібно згадати також, що першою компанією, що отримала сертифікацію FCC на свій UWB-виріб, стала Freescale Semiconductor, що недавно була перейменована на таку з Semiconductor Products Sector of Motorola. Мікросхема XS110 використовує протокол DS-UWB (що і впливало очікувати - усе-таки дітище "Мотороли"), що, як відомо, на даний час є одним з кандидатів на стандарт IEEE 802.15.3 для мереж WPAN. Використовуючи протокол DS-UWB, XS110 підтримує обмін даними на швидкості до 110 Мбіт/с за мінімального енергоспоживання.

На конгресі 3GSM тоді ж, узимку, Freescale Semiconductor представила учасникам мобільний телефон Samsung Electronics, що підтримує технологію UWB. Для демонстрації вражаючих можливостей технології UWB стендисти Freescale передали зроблений убудованою фотокамерою телефону знімок на розташований поруч ноутбук. На виконання цієї операції треба було менш однієї секунди. Відповідно до заяви представників компанії, телефон може так само запросто передавати MP3-файли, дані з адресної книги й іншу інформацію великого обсягу. Ці процеси показувалися на виставці невпинно – швидкість і можливості вражали навіть фахівців.

Крім тих компаній, що складають кістяк двох "фракцій" стандарту UWB, до розробки кінцевих пристроїв втяглася японська компанія Sanyo. Керівництво заявило про те, що їхня мікросхема UWB зможе застосовуватися, наприклад, у цифрових камерах, LCD-проекторів, мобільних телефонах, DVD-рекордерах і телевізорах. Вона підтримуватиме багатосмугову OFDM передачу і забезпечуватиме пропускну здатність до 480 Мбіт/с. За даними компанії, ця модель включає малощумлячий підсилювач (МШП), що підтримує діапазон 3,1-10,6 ГГц, а також високошвидкісний аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) і каналний процесор зі зниженою споживаною потужністю. МШП не перевищує рівень шуму в 2,5-3 дБ, а АЦП здатний обробляти більш 1 млрд. відліків на секунду. Низьке енергоспоживання мікросхем дозволяє отримувати сумарну споживану потужність пристрою на рівні близько 300-500 мВт. Передбачається, що початкова ціна модуля буде порядку 14 доларів США.

Перспективи розвитку самі собою вимальовуються в мозку. Консалтингова компанія ASIS заявляє, що в найближчі кілька років ріст UWB-ринку складе 285% на рік і вже до 2007 року в усьому світі буде 274 млн. UWB-пристроїв, з яких 59 млн. зможуть працювати на великих радіусах.

Загалом, UWB є чудовим розв'язанням проблем більшості досліджень сьогоденної бездротової індустрії і додатків.

Розглянемо їх докладніше.

Відсутність обмежень високочастотного (ВЧ) спектра. Обмеження доступності ВЧ спектра заважають еволюції і розростанню бездротових технологій. Технологія UWB не використовує ВЧ-носійні, що дає безліч нових переваг і можливостей. З іншого боку, сьогодні ми спостерігаємо таку картину розвитку технологій апаратного забезпечення, за якої ступінь інтеграції однокристальних розв'язків значно вища, ніж була в недалекому минулому, і невпинно зростає. Тому передбачається, що апаратні розв'язки

UWB мусять бути більше, ніж просто пристроями RHY чи навіть пристроями RHY+MAC. Такі апаратні розв'язки мусять включати повний трансивер UWB разом з контролером введення-виведення в одному пристроєві, що налаштовується гнучко, в одному пристрої, що дозволяє домогтися легкої інтеграції електронних компонентів UWB до широкого спектра додатків.

Швидкість. Той же самий пристрій UWB можна масштабувати за критерієм швидкості у величезному діапазоні, що просто необхідно для додатків з дуже низькою швидкістю (обумовленою необхідністю підтримки низької потужності споживання), таких як, наприклад, кишенькові вимірювальні прилади.

Безліч каналів. UWB може одночасно підтримувати сотні каналів (на відміну від трьох у стандарті 802.11b і десяти в 802.11a). Це можна порівняти з водінням: багаторядним шосе водити набагато зручніше і краще, ніж одноколісною дорогою.

Одночасна робота мереж. Технологія UWB може функціонувати одночасно як персональна, локальна мережа і глобальна обчислювальна мережа (Wide Area Network, WAN). Це еквівалентно конвергенції технологій Bluetooth, 802.11 і 3G у єдину мережу з одним пристроєм. Сьогодні дуже гостро стоїть це питання і тому дуже актуальне зараз і буде актуальним у майбутньому.

Менша вартість і складність. Оскільки пристрою, що використовують високочастотний спектр, вимагають реальної радіоприймальної системи, і тому вони мають більш складну конструкцію і компоненти, їхня ціна вище, і вони споживають значно більшу потужність. Крім того, вони менш надійні, ніж пристрою UWB, що працюють на рівнях нижче рівня шумів традиційних радіосистем, малопотужні, невибагливі до параметрів устаткування і вимагають усього декілька зовнішніх компонентів.

Глобальна сумісність. Варіації в призначенні радіочастотного спектра в різних країнах заважають глобальній сумісності для пристроїв, що

використовують радіочастотний спектр. Без таких обмежень технологія UWB дає передумови для існування в майбутньому глобальної сумісності.

Велика захищеність. Крім специфічної природи UWB-сигналу й устаткування, пристрої UWB використовують потужність сигналу практично на рівні шуму, що забезпечує захист переданої інформації – сигнали UWB практично неможливо приймати нецільовою системою, особливо на деякому видаленні від функціонуючого пристрою. Цей факт робить зв'язок UWB, можливо, найбільш безпечною з усіх бездротових систем зв'язку з огляду на захист від несанкціонованого доступу до інформації.

Дешево і точно визначення місця розташування. Технологія UWB пропонує недорогі розв'язки для систем визначення місця розташування з високою точністю за розділення менше сантиметра. Для безлічі додатків визначення місця розташування, а також короткодистанційних людино-машинних інтерфейсів це дає великий потенціал.

Дотримання умови прямої видимості не потрібно. Завдяки фундаментальним фізичним основам роботи UWB, технологія не вимагає дотримання умови прямої видимості, що є основною вимогою для отримання кращих характеристик поширення радіохвиль, що накладається традиційними бездротовими радіосистемами.

2.3 Співіснування UWB з іншими бездротовими технологіями

Оскільки сигнали UWB не інтерферують як один з одним, так і з традиційними радіочастотними носійними, технологія дає величезні комунікаційні можливості за допомоги створення нового, відособленого комунікаційного середовища. Вона може мирно співіснувати з іншими наявними бездротовими технологіями.

Конвергенція додатків обміну даними, розважальних і мобільних комунікаційних систем усередині будинку створює нові потреби для

об'єднання безлічі різнопланових пристроїв у єдину мережну архітектуру, здатну підтримувати й інтегрувати унікальні вимоги кожного сектора додатків. З цією метою промислові консорціуми, такі як альянси Digital Living Network і WiMedia створили посібника з розробки і стандарти, що описують можливості взаємодії. Додатки Wireless 1394, Wireless USB і системи на базі IP-транспорту вже зараз знаходяться на заключній стадії розробки і ґрунтуються на технології UWB і платформі від WiMedia.

Виробники мікросхем і кінцевих продуктів споживчої електроніки, персональних комп'ютерів і мобільних пристроїв як оптимальні розв'язки для систем UWB підтримують метод MB-OFDM, який демонструє деякі технічні переваги, особливо гнучкість у плані використання частотного спектра, що дозволить досягти UWB повсюдного використання.

Сьогодні визначення надширококустовості системи згідно FCC – це будь-яка технологія радіопередачі із шириною спектра більше 20% від центральної частоти чи мінімум 500 МГц. Розуміючи переваги нової технології, що можуть проявитися за її використання в споживчій електроніці, у 2002 році FCC спеціально для цих цілей ліцензувала радіочастотний спектр від 3,1 ГГц до 10,6 ГГц. Додатковий спектр доступний для використання в медичних, наукових організаціях, а також для пожежних і служб порятунку.

Для передавання інформації, радіоінтерфейс UWB вимагає використання повного діапазону шириною 7,5 ГГц чи доступну його частину. FCC визначила спеціальну мінімальну ширину смуги пропускання частот розміром 500 МГц за рівнем -10 дБ. Ця мінімальна ширина смуги частот разом з іншими вимогами FCC, власне кажучи, спрямована на захист устаткування, що працює вище цього частотного діапазону. Гнучкість, забезпечувана правилами FCC, у значній мірі розширює можливості комунікаційних систем UWB. Розробники вільні у використанні комбінацій піддіапазонів шириною 500 МГц усередині частотного спектра, для

оптимізації якості системи, потужності розсіювання і складності конструкції. Системи UWB можуть підтримувати таку ж низьку потужність передачі, як якби вони використовували повну смугу пропускання. Це досягається шляхом чергування символів у цих піддіапазонах.

Інформація може бути передана традиційним імпульсним методом на базі однієї носійної, або більш складними методами з безліччю носійних. Імпульсні системи на базі однієї носійної передають сигнал за допомоги модуляції фази дуже вузькими імпульсами. У той час як ця поліпшена технологія дозволяє використовувати дуже просту конструкцію передавача, вона має кілька недоліків. Серед них наступні:

- складно зібрати достатню енергію сигналу в типових умовах (де є присутнім безліч поверхонь, що відбивають), використовуючи лише одне радіочастотне коло;

- вимоги до часу перемикання можуть бути дуже строгими як для приймача, так і для передавача;

- кола обробки прийнятого сигналу дуже чуттєві до флуктуацій групової затримки, внесеними компонентами аналогових зовнішніх каскадів;

- ширина частотного спектра може спеціально трохи звужуватися, для зниження вузькосмугового інтерференції.

Оскільки частотний спектр для пристроїв UWB є неліцензованим, усі бездротові пристрою, що розділяють між собою цей спектр, мусять без проблем співіснувати один з одним. Незалежно від поточного стану чи майбутнього розподілу частот і обмежень за випромінюванням в різних регіонах світу, MB-OFDM здатна забезпечувати локальні (у географічному плані) частотні обмеження за допомоги динамічного відключення визначених тонів чи каналів програмним способом. Цієї гнучкості не надають конкуруючі розв'язки, що забезпечує величезний потенціал для прийняття систем UWB по усьому світі.

Системи MB-OFDM спеціально розроблені з метою зниження

складності їхньої реалізації. Єдине коло аналогового приймача спрощує загальну архітектуру всієї системи і тому розділення ЦАП/АЦП і внутрішня точність цифрового широкосмугового контролера можуть бути істотно знижені.

Відносно великі відстані між носійними також послабляють вимоги до фазових шумів у колах синтезу частот і поліпшують стійкість до помилок синхронізації.

Щоб забезпечити захищеність, еквівалентну тієї, котра потрібно бездротовій технології за збереження прозорості роботи для кінцевого користувача, механізми безпеки і захисту інформації здійснюються на декількох рівнях стека протоколів. DRM (Digital Rights Management – цифрове керування правами) бере до уваги окремі проблеми безпеки, зв'язані з прикладним рівнем. Гарний потенціал DRM гарантує його прозоре використання в платформах UWB.

Дуже важливим фактором є час роботи мобільних пристроїв: MB-OFDM здатна забезпечити мінімум дві години безупинної роботи від одного комплекту батарей у типових умовах (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Споживання потужності в MB-OFDM

Швидкість обміну даними	Потужність споживання передавача	Потужність споживання приймача	Потужність споживання у сплячому режимі
110 Мбіт/с	93 мВт	155 мВт	15 мкВт
200 Мбіт/с	93 мВт	169 мВт	15 мкВт

2.4 Моделі використання

Можливість відображати, редагувати, слухати, забезпечувати доступ і обмін інформацією між пристроями без необхідності тривалого і складного налаштування фахівцями розкриває величезні перспективи для безлічі споживачів. У середині типової "домашньої" інфраструктури виділяються три основні категорії:

- комп'ютери;
- мультимедіа-центри;
- мобільні пристрої (наприклад, телефони).

Персональні комп'ютери, принтери й інша периферія, а також модеми, шлюзи і маршрутизатори – це первинні елементи централізованих мереж. Широкомовний розважальний кластер звичайно складається з домашніх кінотеатрів з дисплеями PVR, STB тощо, звукового і відео-устаткування. До мобільних пристроїв можна віднести кишенькові портативні комп'ютери (КПК), смартфони й ноутбуки. Вони можуть (і мусять) вільно пересуватися усім будинком.

Конвергенція зазначених видів комунікаційних систем усередині будинку створює необхідність для включення цих пристроїв до єдиної мережної архітектури, більш функціональної, ніж наслідувані технології підтримки й інтегрування кожної категорії:

а) інтерфейс USB від початку було розроблено як дротовий інтерфейс для під'єднання периферійних пристроїв до персонального комп'ютера; він звичайно використовується для додатків у будинках і офісах і орієнтований на обмін даними;

б) IEEE 1394 (відомий також як FireWire) було навмисно розроблено для передавання безлічі теч аудіо й відео різними типами кабелів – використовується, в першу чергу, в додатках для розваг;

в) Bluetooth – низькошвидкісна технологія обміну даними типу "заміна

кабелю", широко використовується в мобільних телефонах, бездротових гарнітурах і КПК.

Поки різні протоколи цих технологій у достатній мері націлено на відповідні сегменти цільового ринку, споживачам потрібно інтероперабельність усередині і між цими трьома сегментами, що сьогодні часто складаються з декількох категорій пристроїв. З цією метою групи розробки промислових стандартів, такі як Digital Living Network Alliance (Альянс цифрових домашніх мереж, DLNA), намагаються визначити методи досягнення такої повної інтероперабельності. Типові області застосування таких систем включають домашні й офісні додатки, автомобільний і промисловий сектор.

2.5 UWB і завади іншим системам

Необхідно пам'ятати, що UWB є радіочастотною (РЧ) технологією і тому, якщо її розроблено не належним чином, без дотримання відповідних правил, то, як і будь-яка РЧ технологія, може створювати завади наявним системам. Крім того, має місце кілька способів генерації UWB-випромінювання. Деякі з цих способів більш схильні до генерування побічних випромінювань від впливу завад, деякі – менш.

Наприклад, системи UWB, що використовують імпульсне збурення антени, виробляють енергію, у якій реальне розширення частотного спектра значно більше, ніж розрахунковий робочий діапазон частот антени.

Для розрахункового діапазону частот можна вибрати ширину коефіцієнта стоячої хвилі за напругою (КСХН), тобто смугу частот, для якої КСХН менше деякого числа, скажемо, 2:1; або ширину смуги випромінювання, що є частотою, на якій основна пелюстка діаграми спрямованості антени залишається в деяких межах, скажемо, у районі 3 дБ від максимального значення. На жаль, дуже важко у жорстких межах

контролювати ширину смуги пропускання і центральну частоту таких випромінювань з одиночною антеною.

Сучасні методики, такі як використовувані в поточних приладах MSS1, створюють сигнали UWB за допомоги формування імпульсів до моменту передачі антеною. Ці методики мають значні переваги за контрольованості обох параметрів (частоти і ширини смуги) і можуть бути використані для того, щоб працювати за межами обмежених діапазонів, таких як зарезервовані для GPS і систем життєзабезпечення.

Інші важливі аспекти UWB-пристроїв, що прямо зв'язані з їхнім потенціалом, включають такі параметри, як довжина імпульсів і вид модуляції. Звичайно, системи UWB використовують більший робочий цикл, у результаті виходить, що передається велика середня величина енергії. У деяких запропонованих схемах UWB безліч імпульсів використовується для передавання одного біта інформації. Це, однак, небажано з точки зору подальшого збільшення загальної кількості переданої енергії і змушує розробника використовувати менші швидкості обміну даними для деякої заданої середньої енергії. Крім того, висока частота повторення імпульсів з мінімальним міжімпульсними збурюваннями має ефект великої концентрації цієї енергії в набір спектральних ліній. Коли спектральна лінія знижується до смуги пропускання чутливості приймача (що, наприклад, має місце бути, коли приймається сигнал від систем GPS), можуть виникнути значні завади, навіть через "смугу пропускання" сигналу, що може досягати сотень мегагерц.

У 2001 році Адміністрація національних телекомунікацій і зв'язку (National Telecommunications and Information Administration, NTIA) продемонструвала потенційні можливості визначених класів UWB споживчого устаткування зв'язку, що випромінюють радіочастотний сигнал відповідно до FCC Part 15, за значним зниженням характеристик більшості урядових і військових систем зв'язку, а також радіолокаційного устаткування

(що працюють на частотах нижче 3,1 ГГц). Саме це стало одним з головних факторів, що вплинули на тривале "гальмування" у ліцензуванні і, як наслідок, – появу реально функціонуючих споживчих пристроїв UWB.

Системи, що NTIA визначила як значно підлеглі впливу споживчих UWB-пристроїв, включають:

- бортові приймачі й устаткування для вимірювання відстаней (Distance Measuring Equipment, DME), що працюють у діапазоні частот 960-1215 МГц;

- наземні передавачі DME (діапазон частот 1025-1150 МГц);

- наземні приймачі системи радіомаяків для керування повітряним рухом (Air Traffic Control Radio Beacon System, ATRCBS), що працюють на частоті 1090 МГц;

- бортові передавачі ATRCBS (частота 1030 МГц);

- радіорелейна станція (PPC) огляду повітряного простору (частоти 1240-1400 МГц);

- наземні приймальні станції супутникової пошукової системи SARCAT (частоти 1544-1545 МГц);

- бортові PPC виявлення повітряних цілей (частоти 2700-2900 МГц);

- погодні радари наступного покоління NEXRAD (2700-3000 МГц);

- морські радіонавігаційні радари (частоти 2900-3100 МГц).

Того ж 2001 року, NTIA продемонструвала потенціал систем UWB, особливо тих, які мають високі частоти повторення імпульсів, у плані значного небажаного впливу на GPS-приймачі, у тих випадках, коли система UWB працює в тому ж діапазоні частот, що і GPS (тобто 1575,42 МГц, 1227,60 МГц й 1176 МГц).

2.6 Мета й об'єкт дослідження

Мета магістерської роботи – продемонструвати основне призначення технології UWB і показати залежність між основними перевагами й недоліками UWB. Для цього необхідно розв'язати наступні основні задачі:

- а) вибрати тип модуляції і змодельовати канал зв'язку;
- б) розрахувати дальність зв'язку;
- в) провести оптимізацію мережі за дальністю за наявності обмежуючих факторів;
- г) побудувати мережу, що відповідає критеріям оптимізації.

3 ПРОЕКТУВАННЯ БЕЗДРОВОЇ ПЕРСОНАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ З ВИКОРИСТАННЯМ UWB

3.1 Мета й об'єкт дослідження

Метою даного дипломного проекту є оптимізація зв'язку за допомоги технології UWB у центрі дозвілля.

На даний час, найбільш широко в сфері зв'язку UWB використовується для передавання відео високої роздільної здатності. Оскільки дані такого роду мають дуже великий обсяг, передавати їх за допомоги наявних технологій бездротового радіодоступу часто виявляється досить складно і довго, а відтворити відеоролик високого розділення, що знаходиться в ноутбучі, за допомоги телевізора чи проектора без дротів, під'єднаних до цього ноутбуку, геть неможливо.

Через широку смугу пропускання, технологія UWB є на сьогоднішній день єдиною бездротовою технологією, здатною передати такі обсяги даних як відео високого розділення без будь якого стискання, завад чи затримок. Через малу дальність зв'язку, UWB використовують тільки в пікомережах, тобто в персональних бездротових мережах, таких як малі офісні і домашні мережі. Для впровадження технології в якості об'єкта буде використано центр дозвілля. Це є відмінним прикладом, де можна буде побачити усі переваги UWB, тому що всі пристрої, які потрібно буде об'єднати в мережу, знаходитимуться один від одного на відстанях, що не перевищують ефективної дальності передавання сигналу.

Нехай розважальний центр містить в собі комп'ютерний клуб з можливістю виходу до глобальної мережі Інтернет, також зал для гри на консолях Play Station, ігрові автомати, кафе-ресторан та інші заклади для відпочинку.

У центрі можна проводити у комп'ютерному клубі і залі для ігор на гральних консолях чемпіонати з кібер-спорту чи комп'ютерних ігор. Це передбачає наявність глядачів, що мусять мати можливість спостерігати за тим, що відбувається на екранах пристроїв і за цього не заважати учасникам. Для цього треба буде встановити телевізори, що будуть з'єднані з комп'ютерами і консолями учасників за допомоги UWB. Також у кафе-ресторані знаходитиметься проектор, зв'язаний з сервером, здійснення трансляції того, що відбувається на окремому комп'ютері чи консолі. Окремий проектор з екраном для трансляції також може служити в якості міні-кінотеатру, де глядачами будуть відвідувачі кафе-ресторану.

Відео, що відтворюватиметься на виносних телевізорах і проекторах, матиме дуже високу роздільну здатність, оскільки сучасні комп'ютерні ігри мають дуже вибагливі графічні характеристики, що вимагають розділення не менше 1280x1024, а також у міні-кінотеатрі транслюватимуться фільми винятково з якістю Full HD й вище.

Бездротову мережу персонального доступу в даному центрі розваг (рис. 3.1) розроблено з використанням радіоподовжувача Gefen Wireless for HDMI UWB Extender, адаптера Fujitsu Wireless Display Adapter, а також набору ультраширокопосмугового радіозв'язку (UWB) для швидкої і недорогої розробки UWB додатків на основі мікроконтролера AT91CAP9 компанії Atmel.

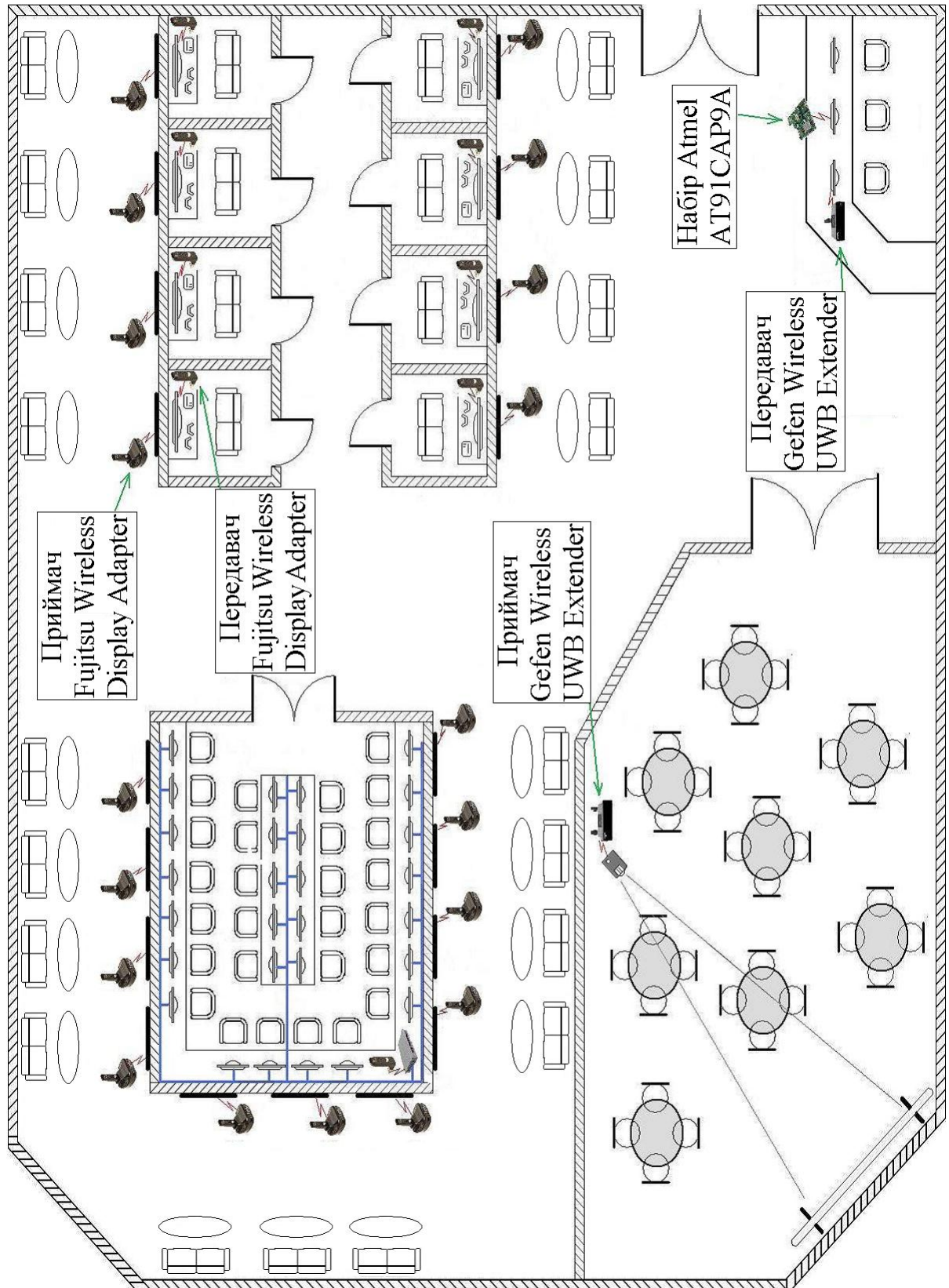


Рисунок 3.1 – Центр дозвілля

3.2 Gefen Wireless for HDMI UWB Extender

Gefen Wireless HDMI Extender [9] (рис. 3.2) – перший у світі бездротовий HDMI-подовжувач відеосигналу високої чіткості (High Definition, HD) – дозволяє безперешкодно передавати HD-сигнал від 3-х AV-джерел на відстань до 50 метрів. Це досягається за допомогою застосування UWB технології, що дозволяє передавати великі обсяги інформації відповідно до вимог протоколу інтерфейсу для файлів мультимедіа високої чіткості (HighDefinition Multimedia Interface, HDMI). У межах прямої видимості можна передавати сигнал з роздільною здатністю до 1080 пікселів. У тих випадках, коли прокладка традиційного кабелю є неможливою, цей пристрій є незамінним для застосування. Незалежно від того, куди необхідно доставити сигнал, процес інсталяції займає лише кілька хвилин: у сусідню кімнату чи до підвішеного до стелі відеопроєктору.



a)



б)

а – передавач; б – приймач.

Рисунок 3.2 – Радіоподовжувач Gefen Wireless for HDMI UWB Extender
(вигляд спереду і ззаду)

Наявність 3-х HD входів (2 HDMI і 1 компонентний) дозволяє використовувати Gefen Wireless HDMI Extender як AV-комутатор сигналу високої чіткості.

Цей пристрій дозволяє підключати до передавального пристрою 2 HDMI й 1 компонентне джерело сигналу, а дисплей з опціональним аналоговим аудіо підключається до приймального пристрою. Усе це дає можливість насолоджуватися відеосигналом високої чіткості практично в будь-якому куточку невеликого приміщення.

Для перемикання між наявними вхідними джерелами сигналу використовується перемикач на передній панелі передавального пристрою.

Окрім цього можна скористатися функцією автоматичного переключення, що контролює входи HDMI портів і переключає їх за увімкненого HDMI-джерела. За вимикання, пристрій автоматично переключиться на останнє джерело сигналу, що використовувалося.

Як опцію, пропонується також спеціальний SMA-адаптер, що дозволяє

передавати HDMI-сигнал коаксіальними кабелями RG-59 чи RG-6.

Технічні характеристики EXT-WHDMI:

- частотний діапазон: 3,1-4,8ГГц;
- максимальна роздільна здатність: 1080/1920×1200;
- рівень вхідного відео сигналу: 1,2 В;
- рівень вхідного сигналу DDC: 5В;
- розніми HDMI: тип "А" 19-контактний, розетка;
- розніми компонентні: RCA(3), розетка;
- живлення: 5В сталого струму;
- потужність споживання: до 12,5 Вт;
- вага: 2,72 кг.

Основними особливостями Gefen Wireless for HDMI UWB Extender є:

- відстань передавання сигналу може досягати 50 метрів при розділенні 1080р;
- використовує UWB (Ultra Wide Band) технологію передачі компанії TZero;
- передавач постачається з влаштованим комутатором 2:1 для HDMI й компонентним входом;
- дозволяє уникнути шумів устаткування в зоні перегляду;
- підтримує сигнали з роздільною здатністю до 1080р, 2К, 1920×1200;
- відповідає специфікації HDMI 1.2a;
- підтримує HDCP.

3.3 Fujitsu Wireless Display Adapter

Бездротовий адаптер Fujitsu Wireless Display Adapter [10] (рис. 3.3) забезпечує надійне бездротове з'єднання між ПК і монітором чи проектором за рахунок використання двох адаптерів: одного для головного пристрою (хост), а іншого – для пристрою, що підключається. Якщо головний пристрій

(хост) має вбудовану функцію Wireless USB, з боку пристрою, що підключається, застосовується бездротового адаптер дисплея Fujitsu Wireless Display Adapter.



а)



б)

а – передавач; б – приймач.

Рисунок 3.3 – Fujitsu Wireless Display Adapter

Бездротовий адаптер дисплея Fujitsu Wireless Display Adapter з боку пристрою, що підключається, має рознім цифрового відеоінтерфейсу (Digital Visual Interface, DVI). Крім того, адаптер дисплея має рознім для блоку живлення, через який адаптер отримує живлення.

Технічні характеристики:

- живлення: 5 В сталої напруги $\pm 10\%$ за 2 А (позитивна полярність);
- потужність споживання: 2,5 Вт;
- використовуваний частотний діапазон: 3,1-4,8 ГГц.

Основні переваги:

- передача сигналу через HDMI забезпечує найвищу цифрову якість відео і звуку, синхронно, у реальному часі, і усі – в одному сучасному, мобільному інтерфейсі;
- звук подається одночасно й у вихідний HDMI-інтерфейс і в гніздо для підключення колонок/навушників;
- мала вага і розмір передавача (ледве більше флешки) і приймача (приблизно розміром із середній комунікатор) робить пристрій надмобільним: комплект легко переноситься в невеликому чохлі чи коробці, програма для роботи за 10 хвилин встановлюється на будь-який комп'ютер;
- власна, виділена смуга радіочастот, забезпечує високу швидкість і відсутність завад у робочому діапазоні;
- можлива передача через не капітальні перешкоди (меблі, техніка, люди тощо);
- можна рошташовувати приймача сигналу як на горизонтальній поверхні (стіл, тумба), так і закріпити на стіну, для чого в пристрої передбачено спеціальні отвори для гвинтів;
- придатний для миттєвого, безболісного сполучення практично будь-яких видів комп'ютерів (настільні, ноутбуки, планшети; а так само РС чи Mac) і телевізорів (проекторів, моніторів, колонок, навушників);
- пристрій прозорий для системи, у користувача просто з'являється

другий монітор і друга звукова карта;

- можливість поліпшувати і додавати функціональність за рахунок оновлюваного вбудованого програмного забезпечення (ПЗ, прошивання), що виходить регулярно.

Особливості:

- заявлені характеристики зберігаються на відстані прямої видимості не більш 10 метрів;

- гарантується якісна передача зображення з розділенням не вище 720 p;

- передача звуку в HDMI-інтерфейсі – тільки стерео (звук 5.1 не передається);

- підтримка Linux відсутня.

3.4 Набір UWB компанії Atmel для додатків на основі мікроконтролера AT91CAP9A

AT91CAP9A UWB містить два набори розробки AT91CAP9A (один – для передачі й один – для прийому), кожний з яких містить три об'єднані плати (материнську, мезонинну й карту розширення пам'яті 3,3 В), плату передавача CAP9 UWB PHY і плату приймача CAP9 UWB PHY, а так само програмне забезпечення для додатків UWB потокового відео.

У мікросхемі FPGA, що емулює блок CAP мікроконтролера з масковим програмуванням, втілено UWB контролер MAC, а так само необхідні для додатка додаткові схеми. PHY UWB здійснено на передавальній і приймальній платах розширення, що підключаються до макетної плати CAP.

Така конфігурація утворює готове до використання середовище розробки UWB із прикладом реалізації додатків потокового відео. Набір AT91CAP9A UWB (рис. 3.4) підключається до ПК, на якому запускаються стандартні інструменти розробки для ARM процесорів для розробки і

налаштування додатків. Це дозволяє вести одночасну розробку програмного й апаратного забезпечення, що зменшує термін створення додатка.

Коли система буде цілком налаштовувана, UWB MAC і додаткові схеми будуть перенесені до мікропроцесорного блоку CAP, що налаштовується, утворюючи закінчену систему UWB прийомопередавача з малим числом використаних компонентів. Цей недорогий, середньосерійний UWB розв'язок ідеально підходить для використання в бездротових системах і інших аналогічних додатках.

Даний набір схемних розв'язків служить для об'єднання UWB прийомопередавальних пристроїв до єдиної мережі з наступним її адмініструванням.



Рисунок 3.4 – Набір UWB на основі мікроконтролера AT91CAP9A

3.5 Моделювання каналу зв'язку UWB-мережі за допомоги програмного середовища MATLAB

MATLAB – пакет прикладних програм для розв'язання задач наукових й інженерний розрахунків з однойменною мовою програмування. Мова MATLAB є високорівневою інтерпретованою, що включає засновані на матрицях структури даних, широкий спектр функцій, інтегроване середовище розробки, об'єктно-орієнтовані можливості й інтерфейси до програм, написані іншими мовами програмування [11].

Модель надширокопосного каналу зв'язку написано мовою C:

```

pw1=.5e-9; %ширина імпульсу в наносекундах
pw=pw1/2.5; %Коефіцієнт помилки для неточних pw
Fs=100e9; %частота дискретизації
Fn=Fs/2; %частота за теоремою Котельникова
t=-1e-9:1/Fs:20e-9; %часовий проміжок моделювання
A=1;
%=====
% Формули
%=====
%y=A*(t/pw).*exp(-(t/pw).^2);
% I похідна імпульсу Гауса = моноцикл Гауса
% y =A*(1 - 4*pi.*((t)/pw).^2).* exp(-2*pi.*((t)/pw).^2);
% II похідна імпульсу Гауса
% імпульс=дублет (два переходи через нуль)
% y=y.*sin((2*pi*t*4.5e9).^2)
%виймки спектру (багатопроменевість)
%=====

```

```

%Оскільки в основному ми маємо передавач А,
% перевіримо чи можемо ми демодулювати та отримати 10101 біт
% із швидкістю передачі інформації 200 МГц.
%=====
% I похідна моноциклу (з 5 імпульсами)
%=====
% ур=y+ ...
%A*((t-2.5e-9-.2e-9)/pw).*exp(-((t-2.5e-9-.2e-9)/pw).^2)+A*((t-
5e9)/pw).*exp(-((t-5e-9)/pw).^2)+ ...
%A*((t-7.5e-9-.2e-9)/pw).*exp(-((t-7.5e-9-.2e-9)/pw).^2)+A*((t-
10e9)/pw).*exp(-((t-10e-9)/pw).^2);
%=====
% II похідна дублету (з 5 імпульсами)
%=====
%модульований дублет
ур=y+ ...
A*(1-4*pi.*((t-2.5e-9-.2e-9)/pw).^2).*exp(-2*pi.*((t-2.5e-9-.2e-9)/pw).^2)+
...
A*(1-4*pi.*((t-5.0e-9)/pw).^2).*exp(-2*pi.*((t-5.0e-9)/pw).^2)+ ...
A*(1-4*pi.*((t-7.5e-9-.2e-9)/pw).^2).*exp(-2*pi.*((t-7.5e-9-.2e-9)/pw).^2)+
...
A*(1-4*pi.*((t-10e-9)/pw).^2).*exp(-2*pi.*((t-10e-9)/pw).^2);
%немодульований дублет
В=1;
%Наскільки важливу роль відіграє узгодження амплітуд шаблону
%та модульованого сигналу. Буде потрібно, щоб AGC на першому
LNA
%підтримував модульований сигнал сталим в межах очікуваного
%багатопроменевого діапазону. (В=.4 до .5 викликає помилки).

```

```

yum=B*y+ ...
B*(1-4*pi.*((t-2.5e-9)/pw).^2).*exp(-2*pi.*((t-2.5e-9)/pw).^2)+ ...
B*(1-4*pi.*((t-5.0e-9)/pw).^2).*exp(-2*pi.*((t-5.0e-9)/pw).^2)+ ...
B*(1-4*pi.*((t-7.5e-9)/pw).^2).*exp(-2*pi.*((t-7.5e-9)/pw).^2)+ ...
B*(1-4*pi.*((t-10e-9)/pw).^2).*exp(-2*pi.*((t-10e-9)/pw).^2);

```

```

ус=ур.*yum;

```

```

%ус(корельованийий вихід)=ур(модульованийий)раз

```

*

yum(немодульованийий) дублет.

```

%Моделюється кореляція в приймачі. Це - I змішувач у приймачі.

```

```

%=====

```

```

% швидке перетворення Фур'є (ШПФ)

```

```

% новий ШПФ для модульованого дублета

```

```

у=ур;

```

```

%у=модульованийий дублет

```

```

NFFY=2.^(ceil(log(length(y))/log(2)));

```

```

FFTY=fft(y,NFFY);

```

```

%заповнення нулями

```

```

NumUniquePts=ceil((NFFY+1)/2);

```

```

FFTY=FFTY(1:NumUniquePts);

```

```

MY=abs(FFTY);

```

```

MY=MY*2;

```

```

MY(1)=MY(1)/2;

```

```

MY(length(MY))=MY(length(MY))/2;

```

```

MY=MY/length(y);

```

```

f=(0:NumUniquePts-1)*2*Fn/NFFY;

```

```

%новий ШПФ для немодульованого дублета

```

```

y1=yum; %немодульованийий дублет

```

```

NFFY1=2.^(ceil(log(length(y1))/log(2)));

```

```

FFTY1=fft(y1,NFFY1); %заповнення нулями
NumUniquePts=ceil((NFFY1+1)/2);
FFTY1=FFTY1(1:NumUniquePts);
MY1=abs(FFTY1);
MY1=MY1*2;
MY1(1)=MY1(1)/2;
MY1(length(MY1))=MY1(length(MY1))/2;
MY1=MY1/length(y1);
f=(0:NumUniquePts-1)*2*Fn/NFFY1;

%нове ШПФ для корельованого ус
y2=ус;
% y2 - вихідний сигнал у часовій області помножувача
% (модульований раз немодульований) у кореляційному приймачеві.
% Діаграми в часовій області показують, що простий компаратор
замість
% високошвидкісних АЦП може бути використаний для відновлення
% сигналу 10101 залежно від конструкції інтегратора.
% Для скорочення, інтегратор нижче - відсутній.
% Це - фільтр низьких частот.
NFFY2=2.^(ceil(log(length(y2))/log(2)));
FFTY2=fft(y2,NFFY2);
%заповнення нулями
NumUniquePts=ceil((NFFY2+1)/2);
FFTY2=FFTY2(1:NumUniquePts);
MY2=abs(FFTY2);
MY2=MY2*2;
MY2=MY2/length(y2);
f=(0:NumUniquePts-1)*2*Fn/NFFY2;

```

```

%=====
% Графічне виведення результатів
%=====
%plots for modulated doublet
figure(1) subplot(2,2,1);
plot(t,y);
xlabel('Час, с'); ylabel('Амплітуда, В');
title('Модульована пачка імпульсів');
grid on;
axis([-1e-9,10e-9 -1 1]) subplot(2,2,2);
plot(f,MY); xlabel('Частота, Гц'); ylabel('Амплітуда, В');

%axis([0 10e9 0 .1]);
%з масштабуванням, координатною сіткою;
subplot(2,2,3);
plot(f,20*log10(MY)); xlabel('Частота, Гц'); ylabel('Рівень, [дБ]');
%axis([0 20e9 -120 0]);
grid on;

%графіки для немодульованого дуплета
figure(2) subplot(2,2,1);
plot(t,y1); xlabel('Час, с'); ylabel('Амплітуда, В');
title('Немодульована пачка імпульсів');
grid on;
axis([-1e-9,10e-9 -1 1]) subplot(2,2,2);
plot(f,MY1); xlabel('Частота, Гц'); ylabel('Амплітуда, В');

%axis([0 10e9 0 .1]);

```

```

%з масштабуванням, координатною сіткою;
subplot(2,2,3);
plot(f,20*log10(MY1)); xlabel('Частота, Гц'); ylabel('Рівень, дБ');

%axis([0 20e9 -120 0]);
grid on;

%plots for correlated yc
figure(3) subplot(2,2,1);
plot(t,y2);xlabel('Час, [с]');ylabel('Амплітуда, В');
subplot(2,2,2);
plot(f,MY2);xlabel('Частота, Гц');ylabel('Амплітуда, В');

%axis([0 7e9 0 .025]);
%з масштабуванням, координатною сіткою;
subplot(2,2,3);
plot(f,20*log10(MY2));xlabel('Частота, Гц');ylabel('Рівень, дБ');

%axis([0 20e9 -120 0]);
grid on;

%=====
%Компаратор
%=====
rt=.5; %встановлює рівень, на якому запускається компаратор
% пристрою порогового значення
H=5; %(Вольт)
L=0; %(Вольт)
LEN=length(y2);

```

```

for ii=1:LEN;
    if y2(ii)>=pt; %корельований результат (y2), що перевищує
                %порогове значення pt
        pv(ii)=H; %pulse voltage
    else pv(ii)=L;
    end;
end ;
po=pv;
%вихідний імпульс у Вольтах
figure(4) plot(t,po);
axis([-1e-9 11e-9 -1 6]) title('Вихід компаратора');
xlabel('Частота, Гц');
ylabel('Напруга, В');
grid on;

%=====

```

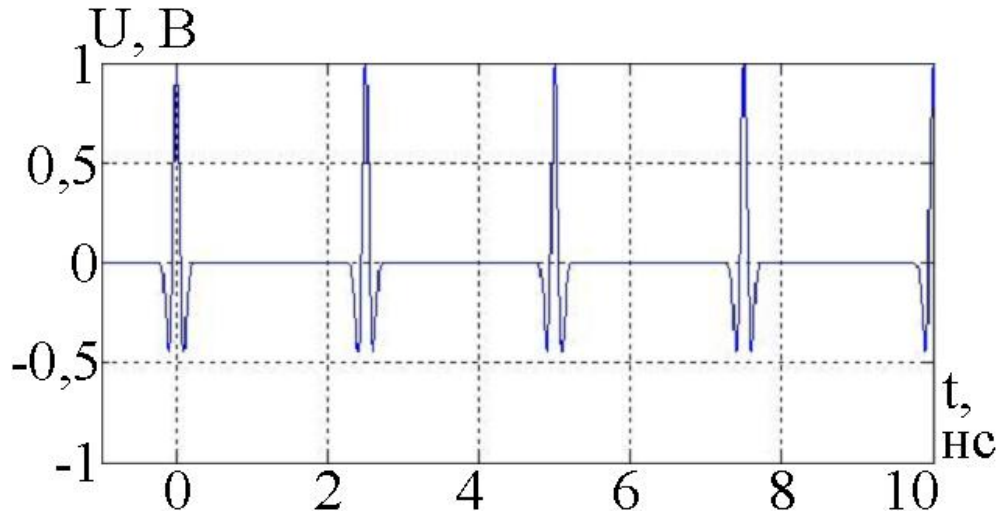
Дана модель ілюструє часові й частотні форми сигналу для модульованого і немодульованого імпульсних сигналів (рис. 3.5). Відстань від одного хвоста до іншого на часових діаграмах вважається фактичною тривалістю імпульсів. Передається сигнал з 5 імпульсів "10101".

Для передавання цього сигналу використовується фазо-імпульсна модуляція (ФІМ). За ФІМ амплітуда і тривалість імпульсів не змінюються, змінюється лише їхня позиція, тобто визначені імпульси запізнюються за часом.

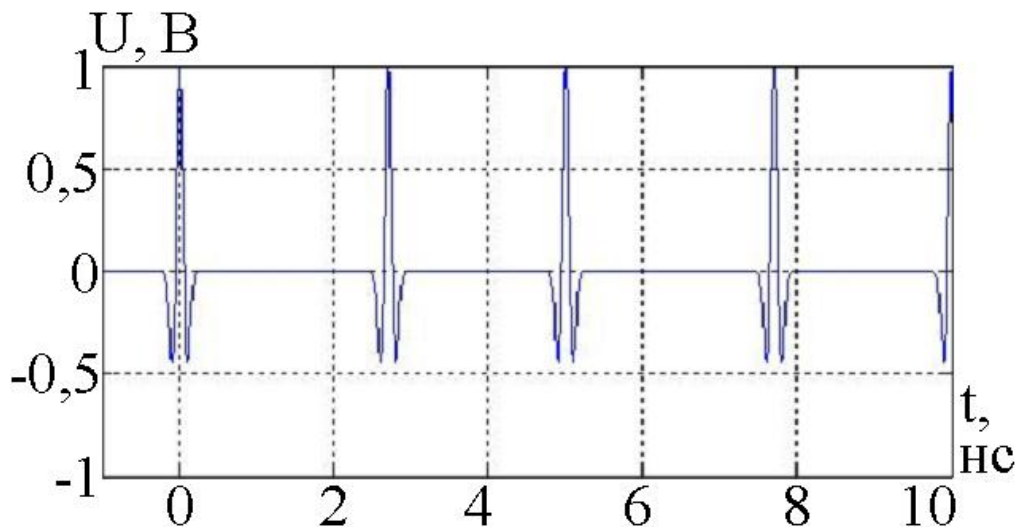
Маємо послідовність з 5 імпульсів, що буде немодульованим сигналом (рис. 3.5 а)). Далі ця послідовність модулюється за допомоги ФІМ, внаслідок чого виходить модульований сигнал, у якого 2-ий й 4-ий імпульси – запізнюються (рис. 3.5 б)). Таким чином, імпульси, що відповідають логічній

"1", зберігають своє положення, а імпульси, що відповідають логічному "0", – запізнюються на 0,2 нс.

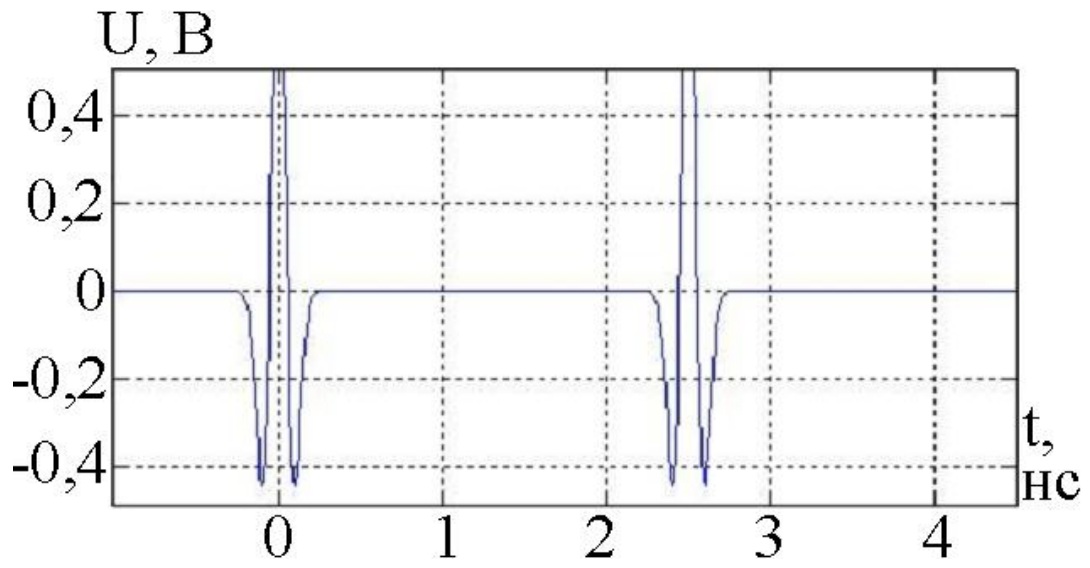
На рисунку 3.5 а), б) зображено відповідні діаграми, а на рисунку 3.5 в), г) – наведено ці ж діаграми, але у збільшеному масштабі з метою наочності запізнювання імпульсів, що відповідають логічному "0".



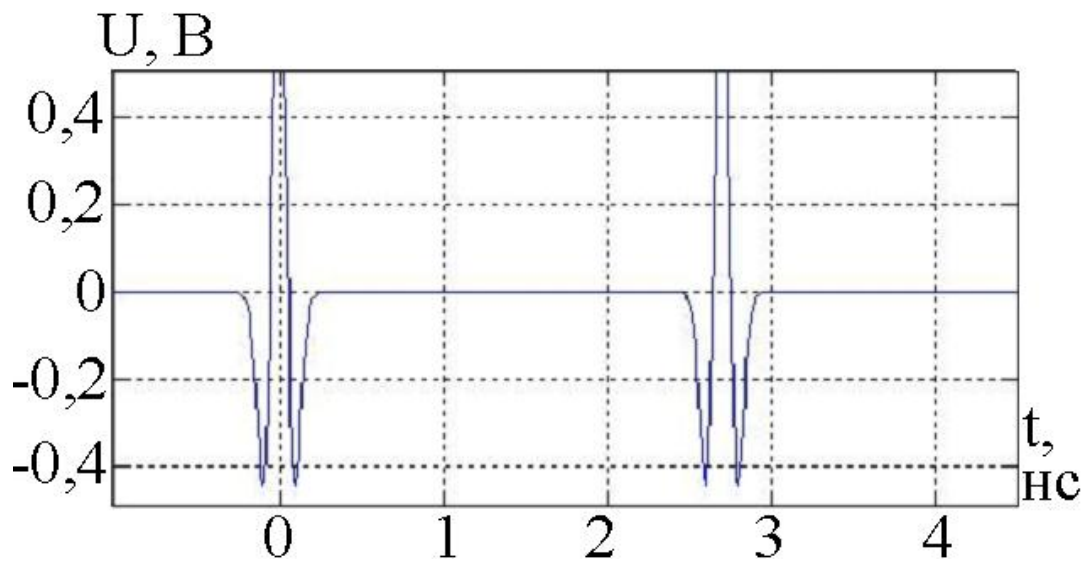
а)



б)



в)



г)

а – немодульована пачка імпульсів; б – модульована пачка імпульсів;
в – немодульована пачка імпульсів; г – модульована пачка імпульсів.

Рисунок 3.5 – Часові діаграми сигналів

Для відновлення сигналу використовуватиметься кореляційний приймач, оскільки на його входи буде надходитиме груповий сигнал. Замість складного АЦП у приймачі використовується простий компаратор (10101). У компараторі обидва сигнали перемножуються і виходить вихідний сигнал "10101" (рис. 3.6).

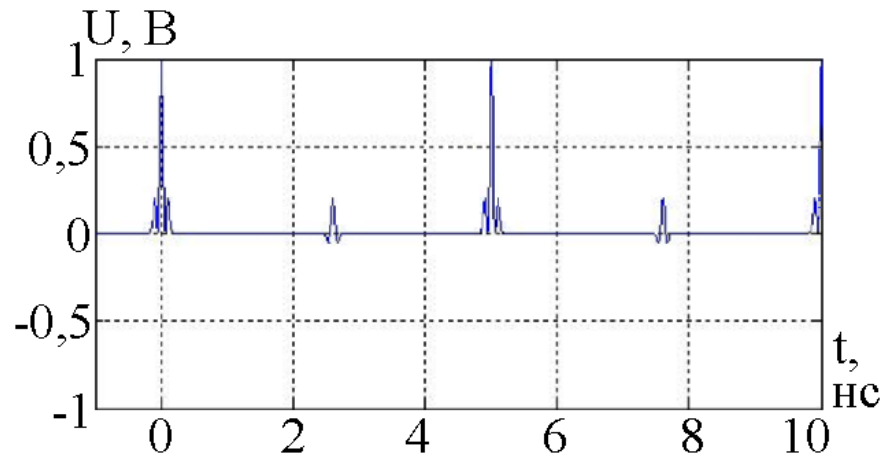
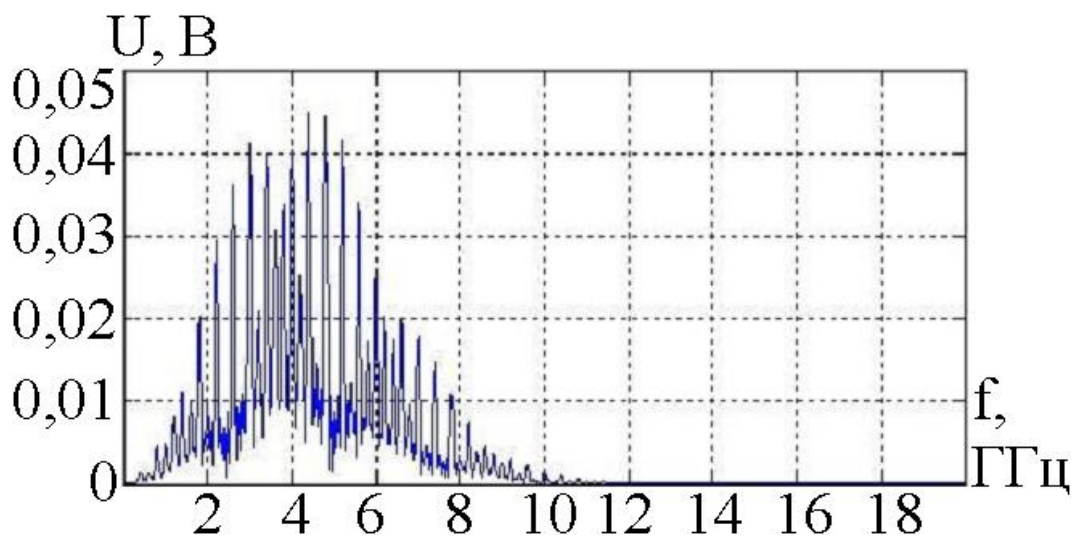
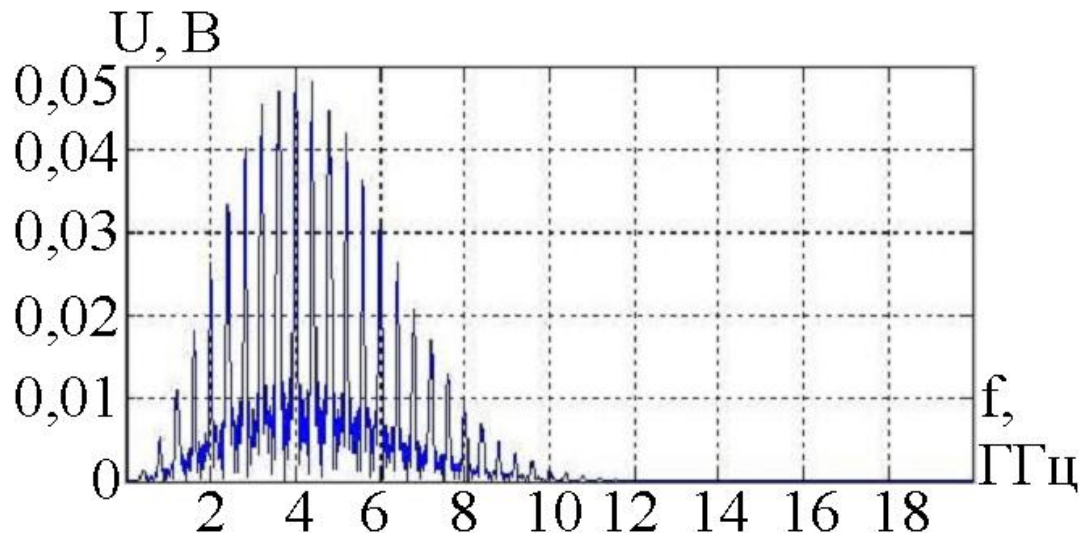


Рисунок 3.6 – Сигнал на виході кореляційного приймача

Спектри сигналів, наведених на рисунку 3.7, продемонстровано на рисунку 3.8, а залежності рівня сигналу від частоти – на рисунку 3.9.



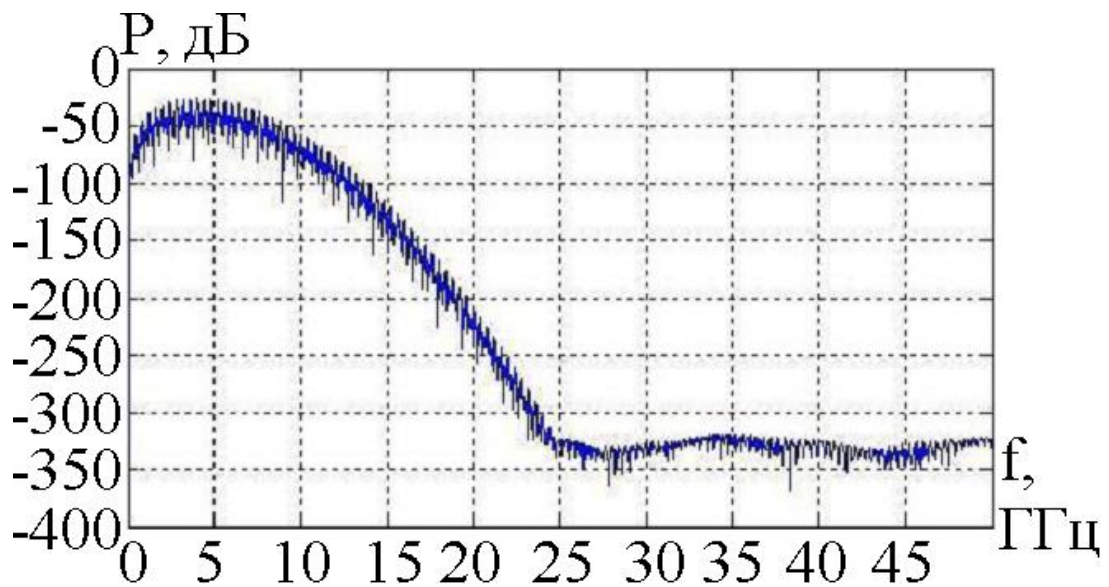
а)



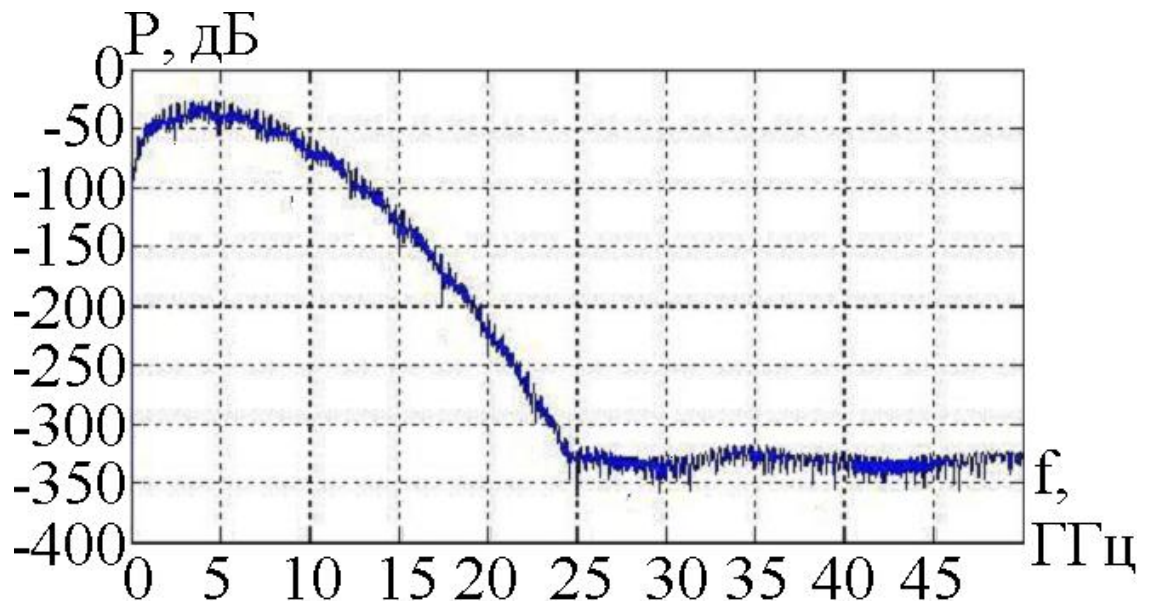
б)

а – немодульований сигнал; б – модульований сигнал.

Рисунок 3.7 – Спектри сигналів



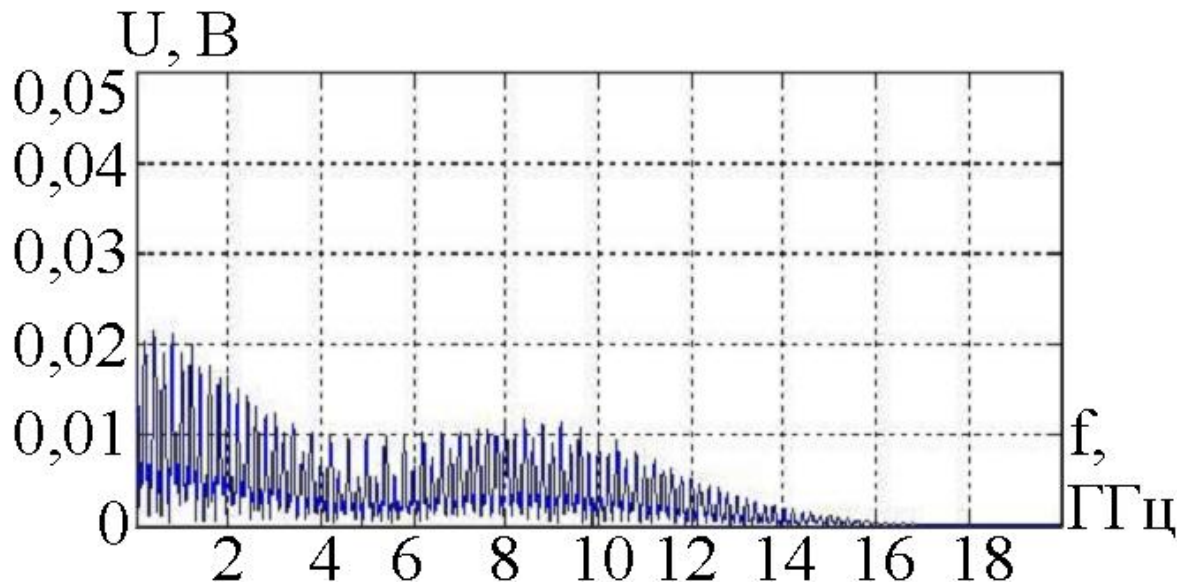
а)



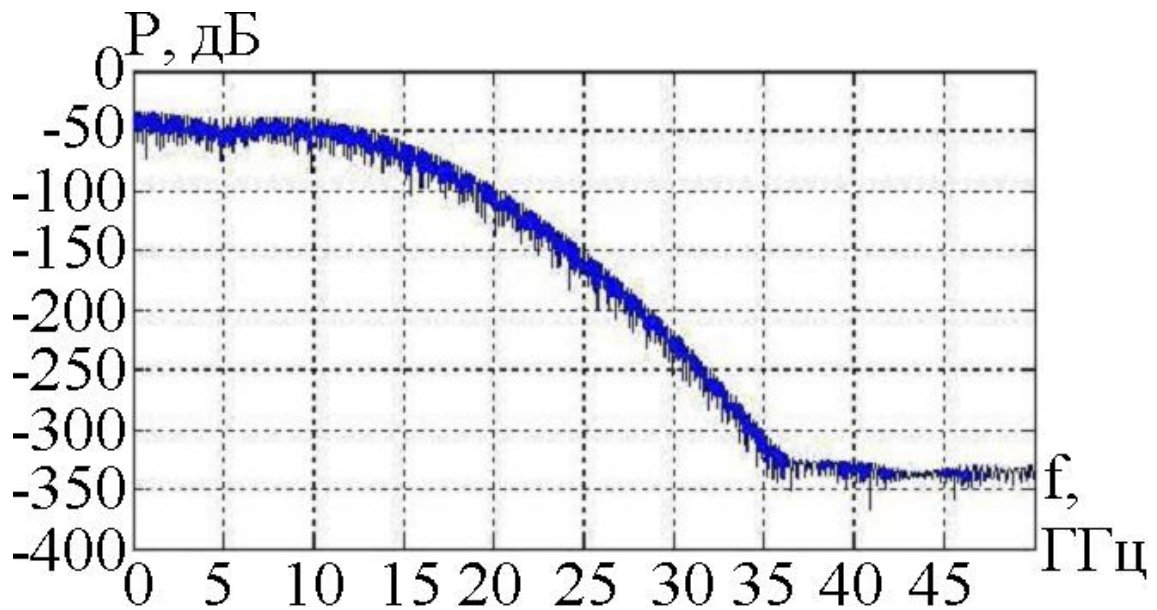
б)

а – немодульований сигнал; б – модульований сигнал.

Рисунок 3.8 – Спектри сигналів



а)



б)

Рисунок 3.9 – Сигнал на виході кореляційного приймача

Обґрунтуванням вибору ФІМ є наступні факти:

- UWB технологія працює на основі передавання надкоротких імпульсів, що пояснює обрання імпульсного виду модуляції;
- із усіх видів імпульсної модуляції ФІМ має найвищу завадостійкість, що добре сполучається з однойменною перевагою технології UWB [12].

3.6 Розрахунок дальності зв'язку

Для спільної роботи ВС- й НШС-систем необхідно забезпечити відсутність завад з боку останніх. Для цей рівень випромінювання НШС-систем мусить відповідати найжорсткішим законодавчим нормам на рівень позасмугового випромінювання для ВС-радіосистем, що автоматично забезпечує ЕМС НШС- й ВС-систем у заданій смузі частот. У таблиці 3.1 наведено рівні позасмугового випромінювання, нормованих у різних країнах для діапазонів частот вище 30 МГц [13].

Таблиця 3.1 – Зведена таблиця норм на позасмугове випромінювання

Діапазон частот f ,	Середня спектральна	Щільність потужності	W_{av} , Вт/Гц
МГц	Європа	США	Україна
30-88	$2,43 \cdot 10^{-13}$	$2,91 \cdot 10^{-15}$	$2,77 \cdot 10^{-15}$
88-216	$2,43 \cdot 10^{-13}$	$6,71 \cdot 10^{-15}$	$2,77 \cdot 10^{-15}$
216-230	$2,43 \cdot 10^{-13}$	$1,22 \cdot 10^{-14}$	$2,77 \cdot 10^{-15}$
230-960	$2,43 \cdot 10^{-13}$	$1,22 \cdot 10^{-14}$	$1,4 \cdot 10^{-14}$
960-1000	$2,43 \cdot 10^{-13}$	$7,41 \cdot 10^{-14}$	$1,4 \cdot 10^{-14}$
1000-11700	$9,72 \cdot 10^{-14}$	$7,41 \cdot 10^{-14}$	$4,5 \cdot 10^{-13}$
11700-12500	$9,72 \cdot 10^{-14}$	$7,41 \cdot 10^{-14}$	$9 \cdot 10^{-14}$
12500-40000	$9,72 \cdot 10^{-14}$	$7,41 \cdot 10^{-14}$	-
>40000	-	$7,41 \cdot 10^{-14}$	-

На жаль, обмеження рівня основного радіовипромінювання НШС-систем відповідно до вимог, зазначених в таблиці 3.1, не гарантує повної відсутності їхнього впливу на ВС-радіосистеми. Дослідження, проведені у США [14], показали, що НШС-радіосистеми, що задовольняють вимогам таблиці 3.1, можуть створювати завади роботі глобальних навігаційних систем, наприклад GPS. Тому в США робота НШС-пристроїв у деяких діапазонах частот обмежена.

Діапазон робочих частот НШС-систем зв'язку для внутріофісного застосування в США визначений у межах 3100-10600 МГц [15]. На інших частотах встановлено наступний рівень позасмугового випромінювання НШС-систем (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Діапазони робочих частот і рівні випромінювання для НШС-систем у США

Діапазон частот f , МГц	Тип випромінювання	W_{av} , Вт/Гц
0,009-960	Позасмугове	$1,2 \cdot 10^{-13}$
960-1610	Позасмугове	$2,95 \cdot 10^{-17}$
1610-1990	Позасмугове	$4,67 \cdot 10^{-15}$
1990-3100	Позасмугове	$7,41 \cdot 10^{-15}$
3100-10600	Основне	$7,41 \cdot 10^{-14}$
>10600	Позасмугове	$7,41 \cdot 10^{-15}$

Оцінимо можливості НШС-систем зв'язку, що задовольняють зазначеним вище нормативним обмеженням на рівень випромінювання. Розрахунок дальності дії системи НШС-зв'язку здійснюватимемо за фіксованої максимально допустимої середньої потужності випромінювання. Оскільки в цих системах використовується передавання цифрової інформації, розглянемо найпростіший метод її передавання за допомоги імпульсної маніпуляції з пасивною паузою. За цього, кожен інформаційний розряд передається одним імпульсом (тобто, період проходження імпульсів – фіксований, поява/відсутність імпульсу означає 1/0). У цьому випадку, фіксована середня потужність випромінювання визначає число імпульсів, випроменених в одиницю часу, тобто швидкість передавання інформації. Даний вид модуляції енергетично найменш вигідний. Однак він найбільш простий за апаратного здійснення, а тому – й найперспективніший.

Нехай тривалість випромененого НШС-імпульса дорівнює 0,5 нс, а смуга робочих частот лежить у діапазоні 3,1-5,1 ГГц. Тоді допустима спектральна щільність потужності НШС-сигнала в робочій смузі становитиме $7,41 \cdot 10^{-14}$ Вт/Гц (табл. 3.3). Приймання НШС-сигналів здійснюється на тлі адитивного білого гауссового шуму.

Таблиця 3.3 – Вихідні дані

Найменування показника	Позначення	Значення
Тривалість випроміненого НШС-імпульса, нс	τ	0,5
Смуга робочих частот, ГГц	Δf_{UWB}	2
Спектральна щільність потужності, Вт/Гц	W_{av}	$7,41 \cdot 10^{-14}$
Коефіцієнт шуму приймача	N	10

Рівень шуму, що діє в робочій смузі НШС-приймача, розраховується за формулою:

$$N_{RX} = k \cdot T_0 \cdot \Delta f_{UWB} \cdot N, \quad (3.1)$$

де $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – стала Больцмана;

$T_0 = 293$ К – кімнатна температура.

Тоді $N_{RX} = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 293 \cdot 2 \cdot 10^9 \cdot 10 = 80,9$ пВт = -70,9 дБм.

Чутливість приймача:

$$P_{RX} = N_{RX} \cdot q, \quad (3.2)$$

де q – мінімальне відношення сигнал/шум на вході приймача, необхідне для забезпечення заданої імовірності помилки на біт (Bit Error Rate, BER) за прийнятого виду модуляції.

Для $BER = 10^{-6}$ й 10^{-3} значення q за оптимального прийому становить 70 й 30, відповідно [16].

Середня потужність P_{TXav} , що може випромінювати передавач за заданої граничної середньої спектральної щільності потужності W_{av} :

$$P_{TXav} = W_{av} \cdot \Delta f_{UWB}. \quad (3.3)$$

Для $BER=10^{-3}$:

$$P_{RX}=N_{RX} \cdot q=80,9 \cdot 10^{-12} \cdot 30=2,4 \text{ нВт} = -56,2 \text{ дБм.}$$

$$P_{TXav}=W_{av} \cdot \Delta f_{UWB}=7,413 \cdot 10^{-14} \cdot 2 \cdot 10^9=0,15 \text{ мВт} = -8,24 \text{ дБм.}$$

Тоді пікова потужність:

$$P_{TXpeak}=P_{TXav} \cdot Q, \quad (3.4)$$

$$Q=T/t, \quad (3.5)$$

$$V=1/T, \quad (3.6)$$

де Q – шпаруватість,

T – період проходження імпульсів, с;

V – швидкість передавання інформації, біт/с.

Дальність дії системи зв'язку визначимо за формулою:

$$D = \sqrt{\frac{P_{TXpeak} \cdot G_{TX} \cdot G_{RX} \cdot (c \cdot \tau)^2}{16 \cdot \pi^2 \cdot P_{RX}}}, \quad (3.7)$$

де $G_{TX}=1$ – коефіцієнт підсилення антени передавача;

$G_{RX}=1$ – коефіцієнт підсилення антени приймача;

$c=3 \cdot 10^8$ – швидкість світла, м/с.

Для $BER=10^{-6}$: $P_{RX}=N_{RX} \cdot q=80,9 \cdot 10^{-12} \cdot 70=5,66 \text{ нВт} = -52,5 \text{ дБм}$:

$$D = \sqrt{\frac{P_{TXav} \cdot G_{TX} \cdot G_{RX} \cdot (c \cdot \tau)^2}{16 \cdot \pi^2 \cdot P_{RX} \cdot V \cdot t}} = \sqrt{\frac{0,15 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 1 \cdot (3 \cdot 10^8 \cdot 5 \cdot 10^{-8})^2}{16 \cdot \pi^2 \cdot 5,663 \cdot 10^{-12} \cdot V \cdot 5 \cdot 10^{-8}}} = \sqrt{\frac{22,39 \cdot 10^9}{V}}.$$

За коефіцієнта підсилення передавальної антени більше за одиницю, необхідно обмежувати енергетичний потенціал НШС-радіосистеми $P_{TXpeak} \cdot G_{TX}$ таким чином, щоб випромінювана потужність у напрямку найбільшої спрямованості передавальної антени не перевищувала гранично припустимої.

За допомоги виразу (3.7) можна проілюструвати залежність дальності зв'язку від пропускної здатності (рис. 3.10).

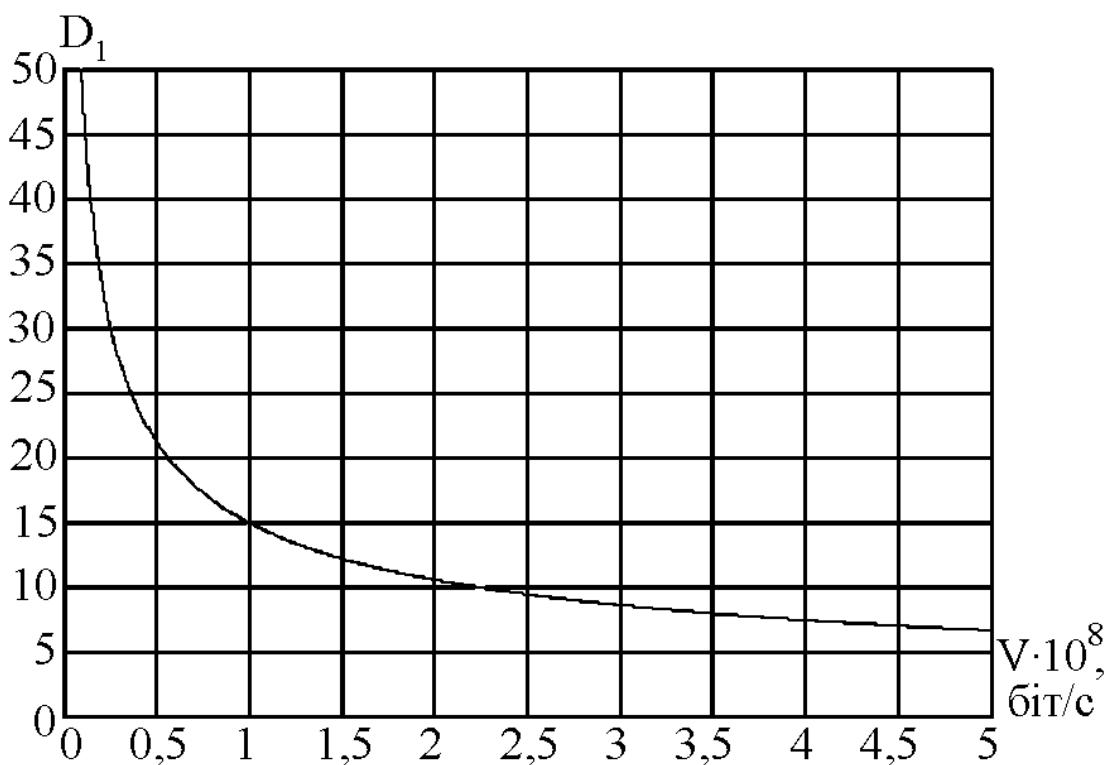


Рисунок 3.10 – Залежність дальності зв'язку від пропускної здатності

Отримана залежність (рис. 3.10) описує зв'язок за найсприятливіших умов, коли між приймачем й передавачем немає жодних завад. Якщо між приймачем і передавачем знаходиться стіна, що до певного ступеня екрануватиме сигнал, то це неминуче зменшуватиме дальність зв'язку.

Тому потрібно провести оптимізацію, метою якої буде знаходження оптимальної відстані між приймачем і передавачем для забезпечення

нормального прийому.

Функція (3.7) не має екстремумів, тобто оптимізація методом знаходження екстремумів у даному випадку не може застосовуватись. Доведемо це, за допомоги математичного аналізу [17].

Для дослідження функції на екстремум, потрібно виконати наступні кроки:

а) знайти область визначення функції (усі припустимі значення її аргументу, у даному випадку - пропускну здатності). Функцію визначено на проміжку $(0; \infty)$;

б) знайти похідну функції; дана функція має вигляд:

$$D = k\sqrt{\frac{1}{V}},$$

де k – дійсні числа.

Похідна такої функції:

$$D' = \left(k\sqrt{\frac{1}{V}} \right)' = -\frac{k}{V\sqrt{V}};$$

в) знайти крапки, у яких похідна дорівнює нулеві.

Таких крапок немає;

г) знайти крапки, у яких функція не існує.

$$V = 0.$$

д) виділити на координатній прямій область визначення і всі крапки з пунктів 3 і 4 (критичні крапки), визначити знак функції в кожному проміжку. Якщо за переходу через критичну крапку функція змінюватиме знак, то така

крапка є екстремумом функції (рис. 3.11).

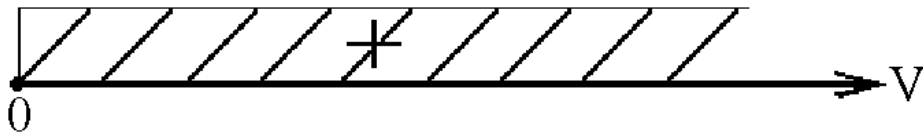


Рисунок 3.11 – Визначення екстремумів функції в критичних крапках

Як видно з рисунку 3.11, функція (3.7) екстремумів не має, що і було потрібно довести.

Скористаємося методом знаходження області оптимальних значень.

Метод полягає в тому, щоб, знаючи обмеження, що накладаються на систему, відшукати таку область значень параметрів, за якими ведеться оптимізація, щоб ці параметри задовольняли усім вимогам, що накладаються.

Заявлена дальність передачі сигналу радіоподовжувача Gefen складає 50 метрів.

Експериментально було доведено [18], що для передачі відео високої здатності 1920×1080 потрібно швидкість передачі не менш 11 Мбіт/с.

Підставляючи $v = 11 \cdot 10^6$ до (3.7), отримуємо:

$$D_{\max 1} = \sqrt{\frac{22,39 \cdot 10^9}{11 \cdot 10^6}} = 45,12 \text{ м.}$$

Таким чином, щоб передати відео високого розділення, приймач і передавач мусять знаходитися на відстані не більше 45 м, що є верхньою межею інтервалу оптимальної роботи.

Максимальна пропускна здатність, що може забезпечити передавач, $V_{\max} = 480$ Мбіт/с.

Підставляючи V_{\max} до (3.7), отримуємо:

$$D_{\min 1} = \sqrt{\frac{22,39 \cdot 10^9}{480 \cdot 10^6}} = 6,8 \text{ м.}$$

Таким чином, передавач може передавати сигнал з максимальною швидкістю на відстань до 6 метрів, що виражає нижню межу інтервалу оптимальної роботи.

Також не слід забувати, що розглянуту залежність було побудовано за $BER=10^{-6}$. Відомо, що за ФІМ, $BER=10^{-6} \cdot 10^{-3}$. Тоді, за $BER=10^{-3}$:

$$P_{RX} = N_{RX} \cdot q = 80,9 \cdot 10^{-12} \cdot 30 = 5,66 \text{ нВт} = -56,15 \text{ дБм},$$

$$D = \sqrt{\frac{P_{TXav} \cdot G_{TX} \cdot G_{RX} \cdot (c \cdot \tau)^2}{16 \cdot \pi^2 \cdot P_{RX} \cdot V \cdot t}} = \sqrt{\frac{0,15 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 1 \cdot (3 \cdot 10^8 \cdot 5 \cdot 10^{-8})^2}{16 \cdot \pi^2 \cdot 5,66 \cdot 10^{-12} \cdot V \cdot 5 \cdot 10^{-8}}} = \sqrt{\frac{20,9 \cdot 10^{10}}{V}}.$$

Підставляючи $V_{\min 2} = 11 \cdot 10^6$ й $V_{\max 2} = 480 \cdot 10^6$ до (3.7), отримуємо:

$$D_{\max 2} = \sqrt{\frac{20,9 \cdot 10^{10}}{V_{\max 2}}} = \sqrt{\frac{20,9 \cdot 10^{10}}{11 \cdot 10^6}} = 43,5 \text{ м.}$$

$$D_{\min 2} = \sqrt{\frac{20,9 \cdot 10^{10}}{V_{\min 2}}} = \sqrt{\frac{20,9 \cdot 10^{10}}{480 \cdot 10^6}} = 6,6 \text{ м.}$$

Таким чином, верхня межа шуканого інтервалу звужується до 43 м, а нижня – залишається на 6 м.

В експерименті, описаному в [18] було виявлено, що дальність зв'язку, на шляху якого стоїть залізобетонна стіна, зменшується на 22%. З урахуванням цього, максимальна дальність зв'язку:

$$D_{\max 2} = \frac{43,5 \cdot (100\% - 22\%)}{100\%} = 35 \text{ м.}$$

Побудуємо залежність дальності зв'язку від швидкості передавання для двох значень BER і позначимо знайдені крапки (рис. 3.12).

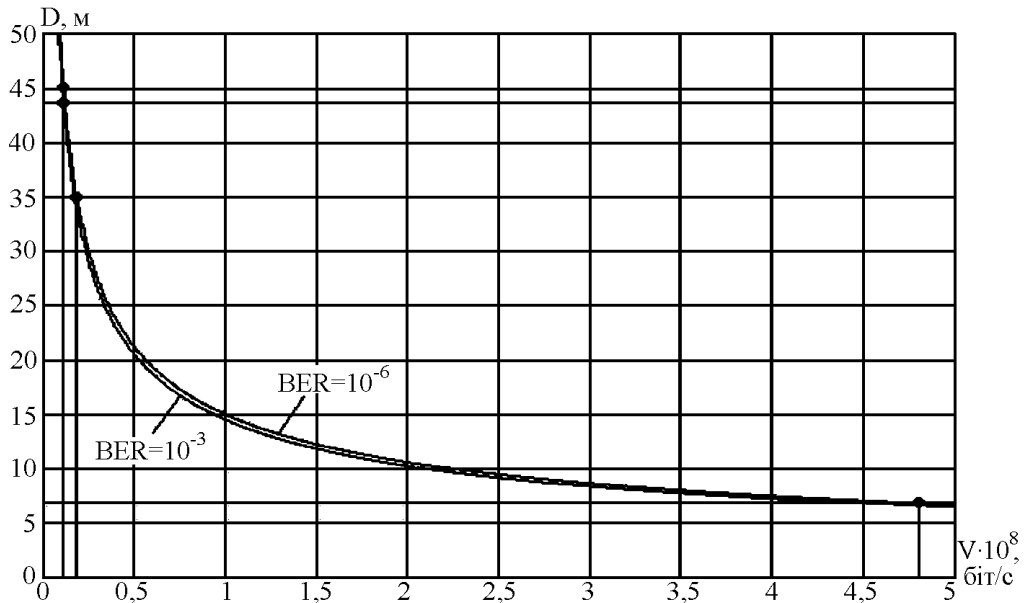


Рисунок 3.12 – Залежність швидкості передавання від відстані для двох значень BER

Таким чином, шуканою областю оптимальної роботи, за якої приймально-передавальне устаткування Gefen Wireless for HDMI Extender здійснюватиме нормальні передачу і прийом є ділянка кривої, обмежена координатами $(18 \cdot 10^6; 35)$ і $(480 \cdot 10^6; 6)$. Внаслідок здійсненої оптимізації, було з'ясовано, що відстань між приймачем й передавачем не мусить перевищувати 35 м за умови, що між ними знаходиться залізобетонна стіна.

5.4 Розрахунок щільності течі енергії поблизу приймально-передавального обладнання Gefen Wireless for HDMI UWB Extender

Вихідні дані для розрахунку:

а) тип устаткування: передавально-передавальний комплект Gefen

Wireless for HDMI UWB Extender;

- б) кількість антен: $n = 1$;
- в) висота антени: $H_A = 1,1$ м;
- г) висота розрахункової крапки: $H_T = 1$ м;
- д) віддалення крапки від антени: $\rho_M = 10$ м;
- е) кут розкриття дзеркала антени: $\psi_0 = 0^\circ$;
- ж) середня довжина хвилі: $\lambda = 6$ см;
- з) потужність передавача: $P = 12,5$ Вт;
- и) діаметр (апертура) антени $d = 10$ см;
- к) коефіцієнт спрямованої дії (КСД) антени: $D_0 = 1$.

Знайдемо відстань R_M від центра апертури до розрахункової крапки М,
м:

$$R_M = \sqrt{(H_A - H_T)^2 + \rho_M^2} = \sqrt{(1,1 - 1)^2 + 10^2} = 10 \text{ м.}$$

Розрахуємо кут між напрямком максимального випромінювання й напрямком лінії "центр апертури – розрахункова крапка М", θ_M :

$$\begin{aligned} \theta_M &= \arccos\left(\frac{\rho_M \cdot \cos\varphi \cdot \cos\alpha - (H_A - H_T) \cdot \sin\alpha}{R_M}\right) = \\ &= \arccos\left(\frac{10 \cdot \cos 85^\circ \cdot \cos 0^\circ - (1,1 - 1) \cdot \sin 0^\circ}{10}\right) = 85^\circ \text{ м,} \end{aligned}$$

де кут $\alpha = 0^\circ$ характеризує відхилення напрямку максимального випромінювання від площини обрію;

$\varphi = 85^\circ$ – характеризує відхилення розрахункової крапки від центральної осі випромінювання.

Визначимо граничну відстань $R_{гр}$:

$$R_{гр} = 2 \cdot d^2 / \lambda = 2 \cdot 0,1^2 / 0,06 = 0,33 \text{ м.}$$

Обчислимо параметри u , x :

$$u = \pi d \cdot \sin \theta_M / \lambda = 3,14 \cdot 0,1 \cdot \sin 85^\circ / 0,06 = 5,2;$$

$$x = R_M / R_{гр} = 10 / 0,33 = 30.$$

Відповідно до таблиці 3.4 знайдемо значення функції $F(u, x)$, дБ:

Таблиця 3.4 – Значення функція $F(u, x)$

u	x							
	0,005	0,01	0,02	0,03	0,04	0,1	0,15	1,0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	-2,32	2,35	2,36	2,36	-1,11	-2,87	-4,12	-4,60
4	-3,75	2,66	2,66	2,66	-1,46	-5,65	-9,46	-16,2
6	-4,25	1,42	1,43	1,43	-2,0	-9,16	-15,1	-21,9
8	-3,86	0,53	0,66	0,66	-2,46	-12,1	-19,6	-25,4
10	-3,35	-0,35	0,76	0,76	-3,28	-15,3	-22,3	-27,5

Визначаємо: $F(u, x) = -21,9$ дБ;

Розрахуємо апертурну складову ЩТЕ:

$$\begin{aligned} \Pi_A &= 10 \cdot \lg \frac{P \cdot \lambda^2}{d^4} + 10 \cdot \lg D_0 + 20 \lg F(u, x) + 3 = \\ &= 10 \cdot \lg \frac{12,5 \cdot 0,06^2}{0,1^4} + 10 \cdot \lg 1 - 21,9 + 3 = 7,6 \text{ дБ} \end{aligned}$$

Розрахуємо складову ЩТЕ від опромінювача:

$$\begin{aligned} P_{\text{ОПР}} &= 10 \cdot \lg \frac{P}{4 \cdot \pi \cdot R_M^2} + 10 \cdot \lg D_{\text{ОПР}} + 10 = \\ &= 10 \cdot \lg \frac{12,5}{4 \cdot \pi \cdot 10^2} + 6,3 + 10 = -3,7 \text{ дБ.} \end{aligned}$$

Розрахуємо сумарна ЩТЕ в крапці М:

$$P_{\Sigma} = 10^{\frac{P_A}{10}} + 10^{\frac{P_{\text{ОПР}}}{10}} = 10^{\frac{7,6}{10}} + 10^{\frac{-3,7}{10}} = 6,2 \text{ мкВт/см}^2.$$

Відповідно до "Державних санітарних норм і правил захисту населення від впливу електро-магнітних випромінювань" ДСаНіП 239-96 встановлено гранично допустимий рівень (ГДР) електромагнітного поля (ЕМП) для радіотехнічних об'єктів (РТО), що працюють у діапазоні НВЧ (табл. 3.5).

Таблиця 3.5 – Гранично допустимий рівень (ГДР) електромагнітного поля (ЕМП) для радіотехнічних об'єктів (РТО), що працюють у діапазоні НВЧ

Гранично допустимий рівень		Введено	Максимальний*
мкВт/см ²	В/м	(змінено)	час перебування
2,5	3	1996 р.	-
10	6	(2017 р.)	не більше 8 год.
100	19,42	(2020 р.)	не більше 2 год.

*ДСаНіП 476-2002 – для працівника, що працює 5 днів, 40 год. на тиждень, тобто, з перервами на хоч якийсь відновлення організму.

Отримане сумарне значення ЩТЕ не перевищує гранично допустимих рівнів ЩТЕ у 10 мкВт/см².

ВИСНОВКИ

У ході дипломного проектування було розраховано залежність дальності зв'язку від пропускну здатності каналу, а також виконано оптимізація з метою вибору оптимальної відстані між приймачем й передавачем для забезпечення зв'язку без затримок і завад в умовах екранування сигналу залізобетонною стіною. Також, було визначено відстань, на якому устаткування працює з максимальною ефективністю.

Створено модель радіоканалу надширокопasmового зв'язку з використанням фазо-імпульсної модуляції.

Виконано розрахунок щільності течі енергії, що випромінюватиметься UWB-обладнанням, й отримано, що даний показник не перевищуватиме гранично допустимого рівня електромагнітного випромінювання.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Шахнович Й. Бездротові локальні мережі. Анатомія стандартів IEEE 802.11 / Й. Шахнович. – Електроніка: НТБ, 2003. – № 1. – С. 34-43.
2. Іпатов В. Широкопasmові системи й кодове розділення сигналів. Принципи й застосування / В. Іпатов. – М.: Техносфера, 2007. – 600 с.
3. Урядников Ю.Ф. Надширокопasmовий зв'язок. Теорія й застосування / Ю.Ф. Урядников, С.С. Аджемов. – М.: Солон-Пресс, 2005. – 340 с.
4. Introduction to Ultra-Wideband Radar Systems. James D.Taylor. CRC Press: Boca Raton, Ann Arbor, London, Tokyo, 1995. – 468 p.
5. Баскаков С.И. Радіотехнічніє цепи и сигнали / С.И. Баскаков. – М.: Высшая школа, 2000.
6. Імореев І. Надширокопasmові и вузькопasmові системи зв'язку. Сумісна робота у спільній смузі частот / І. Імореев, А. Судаков // Зв'язок й телекомунікації. – Електроніка: Наука, Технологія, Бізнес, 2003. – № 2. – С. 12-24.
7. NTIA 01 43. Assessment of compatibility between ultra wideband devices and selected federal systems. – U.S. Department of Commerce, NTIA, 2001. – 380 p.
8. Revision of part 15 of the commission's rules regarding ultra wideband transmission systems. First report and order. FCC 02 48. – Federal Communications Commission, 2002. – 920 p.
9. Тихонов В.И. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем / В.И. Тихонов, В.Н. Харисов. – М.: Радио и связь, 1991. – 360 с.
10. Маслова Т.Н. Элементы математического анализа / Т.Н. Маслова, А.М. Суходский. – М.: Оникс 21 век, 2005. – 250 с.
11. Мауфер Т. WLAN. Практичне керівництво для адміністраторів й

професійних користувачів. Переклад з англ. – К.: Кудиц-Образ, 2005. – 390 с.

12. Щербо В.К. Стандарты вычислительных сетей / В.К. Щербо. – К.: Кудиц-Образ, 2000. – 180 с.