

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Комп'ютерних технологій і систем»
Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

бакалавра

(ступінь вищої освіти)

на тему: Моделювання процесу обробки сигналу з широтно-імпульсною
модуляцією системи передачі даних

за освітньою програмою Автоматика та автоматизація на транспорті

зі спеціальності: 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(шифр і назва спеціальності)

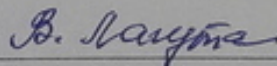
Виконав: студент групи АТ19120


(підпис студента)

/ Вадим ТИХИЙ /

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник:

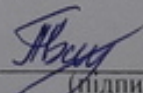

(підпис)

/ доцент, Василь ЛАГУТА /

(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з
праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент


(підпис)

**Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна**

Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

Галузь знань 15 «Автоматизація та приладобудування»

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Спеціалізація «Автоматика та автоматизація на транспорті»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри

Гаврилюк В.І.

(підпис) (ПІБ)

« 20 » жовтень 2022р.

ЗАВДАННЯ

до дипломної роботи на здобуття освітнього ступеню «бакалавр»

Тихий Вадим Ігорович

(Прізвище та імя по батькові)

Тема роботи Моделювання процесу обробки сигналу з широтно-імпульсною модуляцією системи передачі даних

Theme Modeling of the signal processing with a pulse-width modulation of the data transmission system

Затверджена наказом по університету № 740-ст від « 18 » жовтень 2021 р.

2. Термін подання студентом закінченої роботи «10» червень 2022 р.

3. Вихідні дані до роботи Параметри сигналу в часовій області

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва розділу	Обсяг %	Кількість креслень
Вступ	5	
1. Модуляції сигналів	20	
2. Імпульсна модуляція	20	
3. Математичне моделювання каналу зв'язку	20	
4. Комп'ютерне моделювання сигналу з ШІМ	30	
5. Висновки	5	

Студент
Науковий керівник

Тихий В.І.
Лагута В.В.

РЕФЕРАТ

Відомості про об'єм пояснювальної записки:

- 44 сторінки,
- 37 рисунків,
- 15 джерел використаної літератури.

Ключові слова: широтно-імпульсна модуляція, системи залізничної автоматики, залізничний зв'язок, математичне модулювання.

Завданням даної дипломної роботи є моделювання процесу обробки сигналу з широтно-імпульсною модуляцією системи передачі даних.

Метою роботи є моделювання процесу обробки сигналу з широтно-імпульсною модуляцією і перешкодами в приймальному пристрої системи передачі інформації.

На першому етапі складено математичні моделі одержуваного по каналу зв'язку радіосигналу з широтно-імпульсною модуляцією та перешкодами, а також математичні моделі процесу обробки даного сигналу в приймачі. На другому етапі було здійснено комп'ютерне моделювання процесу обробки радіосигналу з широтно-імпульсною модуляцією та перешкодами у приймальному пристрої системи передачі інформації.

В першому розділі розглянуто питання модуляції сигналів.

В другому розділі розглянуто питання імпульсної модуляції.

В третьому розділі виконано математичне моделювання каналу зв'язку.

В четвертому розділі здійснено комп'ютерне моделювання сигналу з широтно-імпульсною модуляцією.

Результати роботи можуть бути використані при проектуванні та дослідженні систем залізничної автоматики та зв'язку (СЗАЗ).

Матеріали роботи застосовуються в учбовому процесі університету в дисциплінах «Теорія автоматичного керування» та комп'ютерні методи моделювання СЗАЗ.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....	3
ВСТУП.....	5
1. МОДУЛЯЦІЇ СИГНАЛІВ	7
2. ІМПУЛЬСНА МОДУЛЯЦІЯ	17
2.1. Імпульсно-кодова модуляція	17
2.2. Амплітудно-імпульсна модуляція	20
2.3. Широтно-імпульсна модуляція	21
3. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КАНАЛУ ЗВ'ЯЗКУ	26
3.1. Широтно-імпульсна модуляція	27
3.2. Математичне моделювання.....	28
4. КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИГНАЛУ З ШИРОТНО-ІМПУЛЬСНОЮ МОДУЛЯЦІЄЮ	33
ВИСНОВКИ	42
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	43

ВСТУП

Актуальність роботи. Сучасний рівень розвитку силових напівпровідникових перетворювачів електроенергії характеризується широким впровадженням мікропроцесорного управління, що сприяє підвищенню ефективності роботи систем в цілому. В даний час найбільш ефективним методом управління напівпровідниковими перетворювачами є широтно-імпульсна модуляція (ШІМ). З усього різноманіття алгоритмів ШІМ, до недавнього часу в основному використовувалися скалярні алгоритми ШІМ. З появою швидкодіючих цифрових контролерів набула розвитку векторна ШІМ. Огляд літературних джерел [1 - 17] показав, що інвертори з векторною ШІМ по ряду характеристик: якість вихідної напруги, робоча частота комутації ключів силового каскаду інвертора, ступінь використання джерела живлення, лінійність регульовальних характеристик параметрів вихідної напруги (діюче значення та частота), масогабаритні та енергетичні показники, перевершують інші зі скалярною ШІМ.

Як відомо, передача інформації на відстань здійснюється каналом зв'язку за допомогою сигналів. Основні елементи каналу зв'язку – передавач, приймач і фізичне середовище, де відбувається поширення електромагнітних хвиль. Середовищем поширення може бути як вільний простір, і спеціальні технічні устрою – хвилеводи, кабелі та інші лінії передачі.

Нині ширше застосування отримали електричні сигнали, різновидом яких є радіосигнали. Під радіосигналом розуміється високочастотне електричне коливання, один із параметрів якого змінюється за законом зміни повідомлення. Радіосигнали створюються за допомогою пристрою, званого радіопередавачем, який перетворює повідомлення, що надходить від первинного джерела, в електричні коливання. Ці коливання можуть бути безпосередньо використані збудження електромагнітних хвиль через їх відносної низькочастотності. Тому в радіотехніці використовують способи передачі сигналів, засновані на тому, що низькочастотні коливання, що

містять вихідне повідомлення, за допомогою спеціальних пристроїв керують параметрами досить потужного коливання, частота якого лежить в радіодіапазоні. Процес подібного перетворення сигналів називають модуляцією несучого коливання.

Мета роботи – моделювання процесу обробки сигналу з широтно-імпульсною модуляцією і перешкодами в приймальному пристрої системи передачі інформації.

Методи дослідження – перетворення Фур'є, теорія лінійних автоматичних систем, теорія цифрових систем керування.

Застосування ШІМ є прагнення до підвищення коефіцієнту корисної дії при побудові вторинних джерел живлення електронної апаратури та інших вузлах, наприклад, ШІМ використовується для регулювання яскравості підсвічування LED-моніторів та дисплеїв у телефонах, комп'ютерах тощо.

Широко використовуються схеми управління з широтно-імпульсною модуляцією в системах зв'язку.

В роботі моделювання сигналів з ШІМ здійснюється в MathCad.

Практична значимість – запропонований метод моделювання може бути використано для покращення завадостійкості і надійності передавання даних в системах залізничного зв'язку.

1. МОДУЛЯЦІЇ СИГНАЛІВ

В даний час різні методи модуляції сигналів знаходять широке застосування в сучасній комп'ютерній техніці, наприклад модемах для перетворення цифрового сигналу, що йде від комп'ютера, в аналоговий для передачі його по телефонній мережі.

Модульований радіосигнал випромінюється антеною передавача. Збуджені у своїй електромагнітні хвилі викликають поява в антені приймача радіосигналу, рівень якого зазвичай дуже риз. Після частотної фільтрації та посилення прийнятий сигнал повинен бути підданий демодуляції (детектування) – операції, зворотної по відношенню до модуляції. В результаті на виході приймача виникає коливання, що є копією вихідного повідомлення.

Аналогічно сигнал обробляється в модемі на стороні, що приймає каналу зв'язку – повідомлення в детекторі демодулюється і перетворюється на цифровий вигляд, зрозумілий комп'ютеру.

У будь-якому реальному каналі зв'язку крім корисних сигналів неминуче присутні перешкоди, що виникають з багатьох причин, – через хаотичний тепловий рух електронів в елементах ланцюгів, недосконалості контактів в апаратурі, впливу сусідніх радіоканалів з близькими несучими частотами, наявності в просторі шумового кіс. Здатність радіотехнічних засобів передачі інформації протидіяти шкідливому впливу перешкод і забезпечувати високу вірність передачі називають стійкістю до перешкод. У сучасній радіотехніці завдання створення перешкодостійких систем є одним із центральних.

Широтно-імпульсна модуляція поділяється на два види: аналогова та цифрова. Кожен із видів має свої переваги і схемотехнічно може реалізовуватися різними способами.

Аналогова ШІМ. Принцип дії аналогового ШІ-модулятора заснований на порівнянні двох сигналів, частота яких відрізняється на кілька порядків. Елементом порівняння є операційний підсилювач (компаратор). На один з

його входів подають пилкоподібну напругу високої постійної частоти, а на інший – низькочастотна модулююча напруга зі змінною амплітудою. Компаратор порівнює обидва значення і на виході формує прямокутні імпульси, тривалість яких визначається поточним значенням сигналу, що модулює. При цьому частота ШІМ дорівнює частоті сигналу пилкоподібної форми.

Цифрова ШІМ. Широтно-імпульсна модуляція у цифровій інтерпретації є однією з численних функцій мікроконтролера (МК). Оперуючи виключно цифровими даними, МК може формувати на виходах або високий (100%), або низький (0%) рівень напруги. Однак у більшості випадків для ефективного управління навантаженням напругу на виході МК необхідно змінювати. Наприклад, регулювання швидкості обертання двигуна, зміна яскравості світлодіода. Що робити, щоб отримати на виході мікроконтролера будь-яке значення напруги від 0 до 100%? Питання вирішується застосуванням методу широтно-імпульсної модуляції та, використовуючи явище передискретизації, коли задана частота перемикавання у кілька разів перевищує реакцію керованого пристрою. Змінюючи шпаруватість імпульсів, змінюється середнє значення вихідної напруги. Як правило, весь процес відбувається на частоті в десятки-сотні кГц, що дозволяє досягти плавного регулювання. Технічно це реалізується за допомогою ШІМ-контролера – спеціалізованої мікросхеми, яка є серцем будь-якої цифрової системи управління. Активне використання контролерів на основі ШІМ обумовлене їх незаперечними перевагами: висока ефективність перетворення сигналу; стабільність роботи; економії енергії, що споживається навантаженням; низька вартість; високої надійності всього пристрою. Отримати на висновках мікроконтролера ШІМ сигнал можна двома способами: апаратно та програмно. У кожному МК є вбудований таймер, здатний генерувати ШІМ імпульси на певних висновках. Так досягається апаратна реалізація. Отримання ШІМ сигналу за допомогою програмних команд має більше можливостей у плані роздільної здатності і дозволяє використовувати більшу

Модулятор наносить інформаційний сигнал $u(t)$ на сигнал-носії $U_0(t)$ та одержує модульований сигнал $U(t)$, який надалі використовується для передачі в фізичному середовищі. Демодулятор відновлює вихідний інформаційний сигнал по одержаному модульованому, знов-таки використовуючи при цьому сигнал-носії; завдяки модуляції може вирішуватись ряд завдань. По-перше, це передача інформаційних сигналів в середовищі, яке для цього не пристосоване (зокрема, завдяки використанню радіохвиль стає можливою передача дискретних імпульсних сигналів на значні відстані в ефірі). По-друге модуляція дозволяє переносити спектр інформаційних сигналів в потрібну частотну смугу (зокрема саме таким чином виконується радіопередача на хвилях різної довжини). По-третє модуляція дозволяє збільшувати завадостійкість інформаційних сигналів та захищати їх від несанкціонованого доступу (надалі ми познайомимось із конкретними відповідними рішеннями).

Види модуляції.

Існує два основних параметри класифікації видів модуляції: безперервна і дискретна. Види модуляції розділяються зокрема зважаючи на параметр сигналу-носія, який використовується для нанесення інформаційного сигналу (для гармонійного носія це може бути амплітуда, частота або фаза). Іншою важливою ознакою класифікації є вид інформаційного сигналу – неперервний або дискретний (для неперервного інформаційного сигналу безпосередньо використовують термін «модуляція», а для дискретного – термін «маніпуляція»).

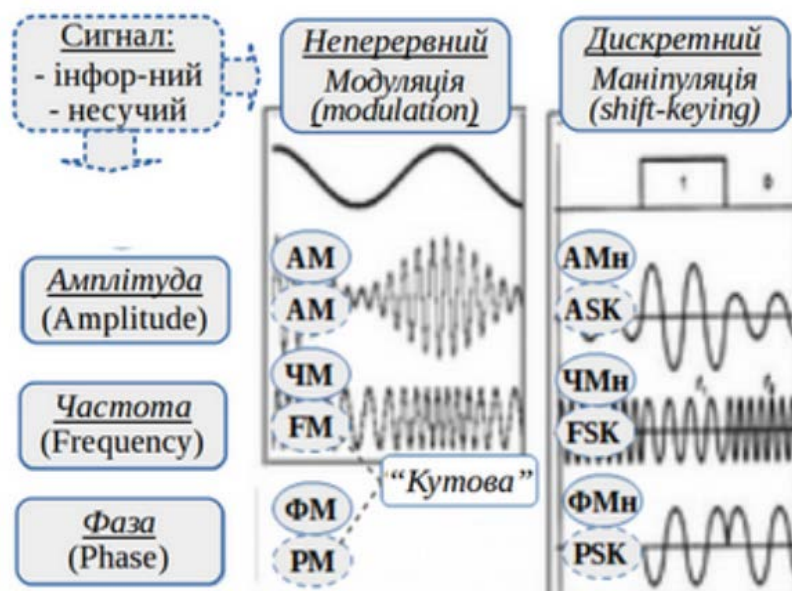


Рисунок 1.2 – Види модуляції сигналів

Основні види безперервної модуляції: амплітудна модуляція (АМ), частотна модуляція (ЧМ), фазова модуляція (ФМ). Дискретна модуляція (маніпуляція) (shift-keying) – як АМн (ASK), ЧМн (FSK) і ФМн (PSK). Оскільки безперервна зміна частоти і фази сигналу безпосередньо пов'язані між собою, ці два види модуляції часто об'єднують під загальною назвою «кутовий» (FM-PM). Всі види модуляції знаходять застосування у відповідність з їх особливостями, які ми розглянемо в подальшому.

Явище перенесення спектру на прикладі амплітудної модуляції. Важливою особливістю модуляції є перенесення спектру інформаційного сигналу в околицю частоти сигналу-носія.

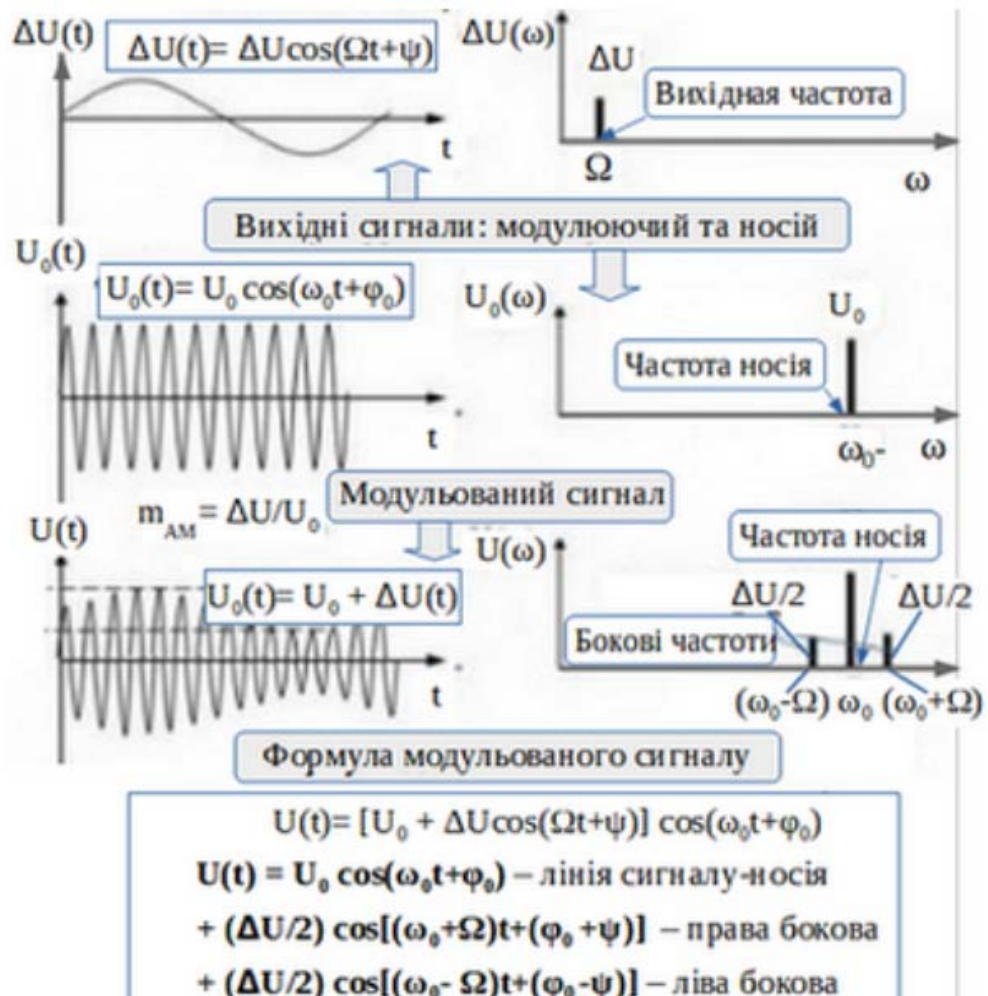


Рисунок 1.3 – Перенесення спектру модуляції на прикладі безперервної амплітудної модуляції

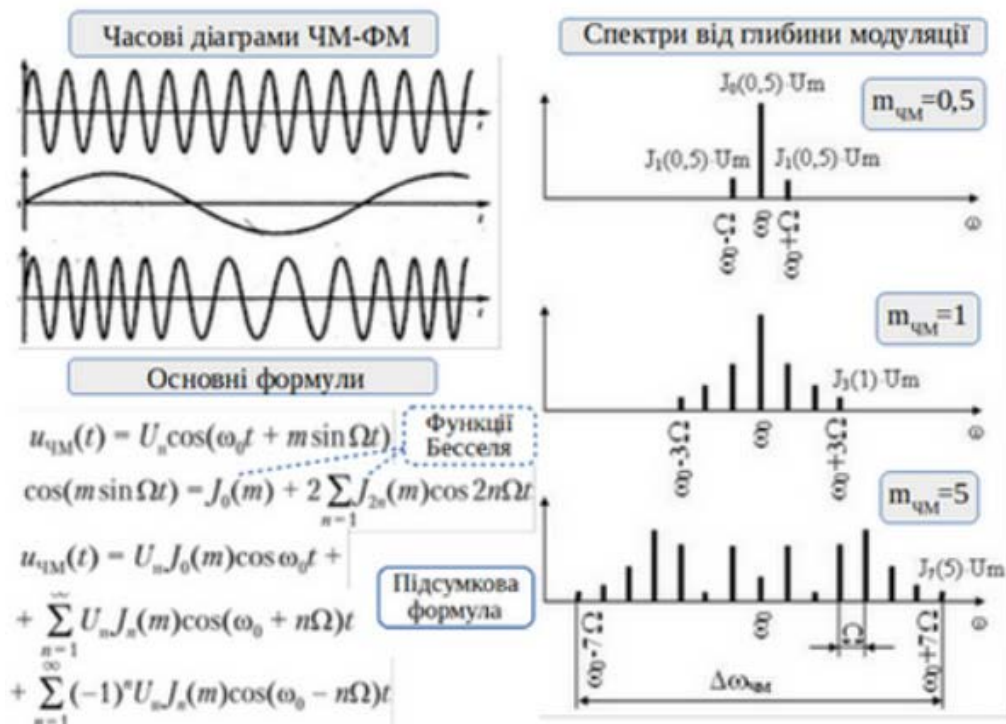


Рисунок 1.4 – Аналіз сигналів безперервної кутової модуляції

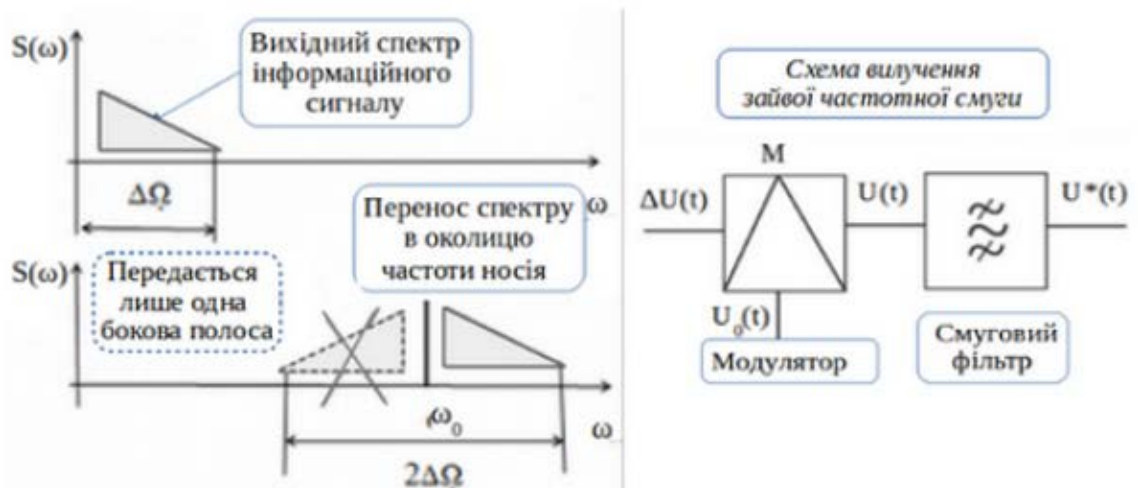


Рисунок 1.5 – Результат модуляції. Спектр інформаційного сигналу перенесений в околицю частоти сигналу-носія.

Розглянемо це явище на простому прикладі безперервної амплітудної модуляції носія гармонійним сигналом (так звана тональна модуляція). Нехай інформаційний сигнал є гармонікою із амплітудою ΔU , частотою Ω і фазою ψ , а сигнал носій – теж гармонійний із амплітудою U_0 , частотою ω_0 і фазою φ_0 (при цьому розуміється $\omega_0 \gg \Omega$, як це зазвичай буває при практичному використанні сигналів-носіїв, наприклад, радіохвиль). Формули, що задають часові діаграми цих сигналів, мають відповідно вигляд $\Delta U(t) = \Delta U \cos(\Omega t + \psi)$ та $U_0(t) = U_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$. При цьому параметр $m_{AM} = \Delta U / U_0$ називається коефіцієнтом модуляції (зазвичай $m_{AM} < 1$). Відповідні спектри мають форму ліній відповідно із амплітудою ΔU на частоті Ω та із амплітудою U_0 на частоті ω_0 (рис. 1.5).

Аналітичне представлення модульованого сигналу одержимо, якщо в формулу сигналу-носія замість постійної амплітуди U_0 підставимо зміни його амплітуди згідно із завданням інформаційного сигналу: $U(t) = [U_0 + \Delta U \cos(\Omega t + \psi)] \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$. Тепер виконаємо перетворення згідно тригонометричним правилам добутку двох косинусів на напівсуму косинусів із відповідними аргументами та одержимо формулу у вигляді із трьох складових

$$U(t) = U_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0) + (\Delta U/2) \cos[(\omega_0 + \Omega)t + (\varphi_0 + \psi)] + (\Delta U/2) \cos[(\omega_0 - \Omega)t + (\varphi_0 - \psi)];$$

Часове та спектральне відображення цієї функції відображено на рис.1.5. Для нас найбільш важливо, що в спектрі в результаті модуляції поряд із лінією сигналу-носія на частоті ω_0 з'явилися дві лінії на частотах $(\omega_0 + \Omega)$ та $(\omega_0 - \Omega)$ – так звані бокові частоти із амплітудами $\Delta U/2$, які відповідають вихідному інформаційному сигналу. Таким чином в процесі модуляції закономірно виникає перенесення спектру інформаційного сигналу в околицю частоти сигнал-носія. Особливості спектрів частотної та фазової модуляції. Амплітудна модуляція має відносно низьку завадостійкість, тож розглянемо особливості спектру частотної та фазової (узагальнено кутової) модуляції, яка широко використовується на практиці (див. рис.1.4).

Аналіз сигналів безперервної кутової модуляції для випадку тональної модуляції ЧМ та ФМ еквівалентні, оскільки поступово змінення частоти нерозривно пов'язане із змінням фази і навпаки. Формула кутової модуляції відображає коливання фази сигналу носія із частотою інформаційного сигналу. При цьому амплітуда таких коливань задається так званим індексом модуляції $m = \Delta\omega/\omega_0$, який відображає «глибину» модуляції. На відміну від коефіцієнта модуляції для АМ для індекса модуляції можливе $m > 1$. При цьому із його збільшенням завадостійкість модульованих сигналів зростає.

Формула сигналу з кутовою модуляцією значно складніша, ніж з амплітудною завдяки тому, що тут замість добутку $\cos(x)\cos(y)$ маємо $\cos(\sin(x))$, який представляється безкінечним рядом так званих функцій Бесселя (рис. 1.6).

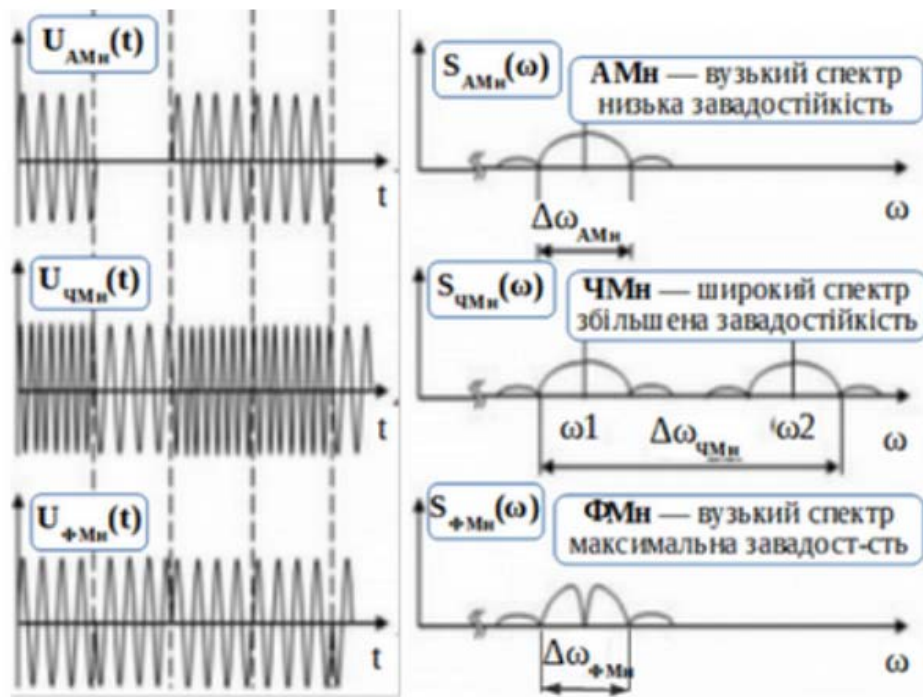


Рисунок 1.6 – Спектральна ефективність АМн, ЧМн, ФМн видів модуляції

Вигляд спектру такого сигналу визначається саме значенням індекса m (глибиною модуляції). Зокрема при $m \leq 0,6$ спектр аналогічний із АМ, тобто включає дві бокові частоти. Однак з позицій практики значно більший інтерес мають більші значення m , які забезпечують вищу завадостійкість. І як можна бачити на рис. 1.6, це дається ціною розширення спектру.

Відзначимо, що безперервна кутова модуляція широко використовується в радіомовленні. Зокрема тут віддають перевагу саме ЧМ, оскільки технічна реалізація ФМ є більш складною. Отже добре знайоме сполучення FM-радіо означає саме передачу із використанням завадостікої частотної (frequency) модуляції.

Практичне використання перенесення спектру

Розглянутий механізм перенесення частотної лінії окремої гармоніки діє для всіх складових спектру. Отже, в результаті модуляції весь спектр інформаційного сигналу буде перенесений в околицю частоти сигналу-носія (див. рис. 1.5).

До перенесення спектру вихідного сигналу модуляцією важлива корисна властивість такого явища – можливість перенесення спектру інформаційного

сигналу в задану частотну смугу завдяки відповідному вибору частоти сигналу-носія. Це зокрема дозволяє передавати різні сигнали в спільному фізичному середовищі, що широко використовується зокрема в радіомовленні.

Недолік безпосереднього використання такого механізму – подвоєння ширини спектру сигналу (рис. 1.5). Але цей недолік відносно просто усувається завдяки тому, що ліва та права бокові полоси спектру модульованого сигналу абсолютно симетричні і тому несуть однакову інформацію. Отже вилучення однієї з бокових полос не зменшує кількості переданої інформації, а лише послаблює сигнал, що можна компенсувати його підсиленням.

Практичне рішення, яке є типовим, полягає в тому, одразу після модулятора розміщують так званий смуговий частотний фільтр, що налаштований на пропускання тільки однієї бокової частотної смуги спектру модульованого сигналу. Зауважимо, що частоту сигналу-носія теж непотрібно передавати каналом, оскільки вона відома приймачу сигналів і може бути їм відтворена. Отже перенесення спектру внаслідок модуляції практично не потребує розширення спектру інформаційного сигналу.

2. ІМПУЛЬСНА МОДУЛЯЦІЯ

2.1. Імпульсно-кодова модуляція

Імпульсно-кодова модуляція (ІКМ, англ. pulse-code-modulation, PCM) використовується для оцифрування аналогових сигналів.

Імпульсно-кодова модуляція (ІКМ) – найпоширеніший спосіб цифрового перетворення аналогових сигналів. У системах з ІКМ у тракт передачі передаються окремі значення аналогових сигналів, узяті в певні інтервали часу, тобто відбувається дискретизація сигналів за часом. Амплітуди відліків сигналу потім перетворюються в групи кодових імпульсів. Число кодових груп обмежене, тому заданий діапазон зміни рівня сигналу (динамічний діапазон) розбивають на кінцеве число фіксованих значень – рівнів квантування.

Таким чином, при ІКМ здійснюється три види перетворень (рис. 2.1): дискретизація за часом вихідного сигналу; квантування амплітуд імпульсів, отриманих у результаті дискретизації; кодування, тобто формування кодових груп, що відповідають квантованим значенням амплітуд цих імпульсів.

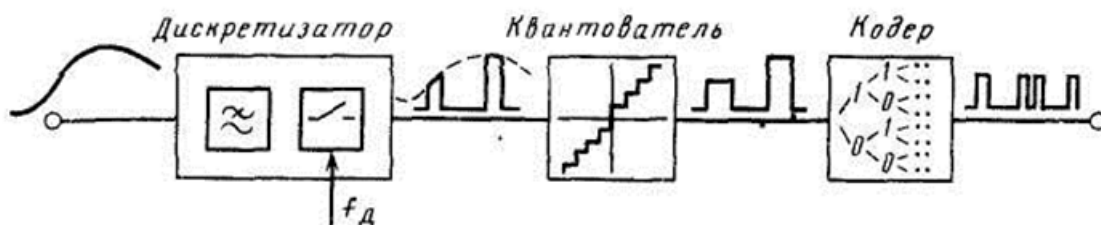


Рисунок 2.1 – Структурна схема імпульсно-кової модуляції

При імпульсно-кової модуляції аналоговий сигнал, що передається, перетворюється на цифрову форму за допомогою трьох операцій: дискретизації за часом, квантування по амплітуді і кодування [1].

Для перетворення аналогового сигналу на цифровий використовується аналого-цифровий перетворювач (АЦП). АЦП через рівні проміжки часу вимірює амплітуду аналогового сигналу – отримує миттєві значення або відліки сигналу, потім перетворює відліки на двоїчкові слова [2].

Миттєве вимірне значення (злік) аналогового сигналу квантується за рівнями (округлюється від найближчого цілого). Число рівнів квантування,

як правило, дорівнює або кратно цілого ступеня числа 2, наприклад, $2^3 = 8$, $2^4 = 16$, $2^5 = 32$ і т. д. Номер рівня кодується двійковими словами довжиною 3, 4, 5 і т. д. біт [2].

Потім вихідні слова АЦП в паралельному коді піддаються кодуванню за допомогою передачі на регістр зсуву, що тактується допоміжним генератором зсуву. На виході регістру зсуву формуються пачки кодованих імпульсів в послідовному коді. Потім пачки імпульсів передаються у канал зв'язку [2].

Частота відліків сигналу (або швидкість оцифровування, частота дискретизації) для виключення втрат інформації відповідно до теорії Котельникова повинна бути не менше подвоєної максимальної частоти в спектрі аналогового сигналу.

Існують спеціалізовані інтегральні мікросхеми, призначені для ІКМ, що поєднують АЦП, регістр зсуву, тактові генератори та інші пристрої. Приклад 4-бітної (16-рівневої) ІКМ дано на рисунку 2.2.

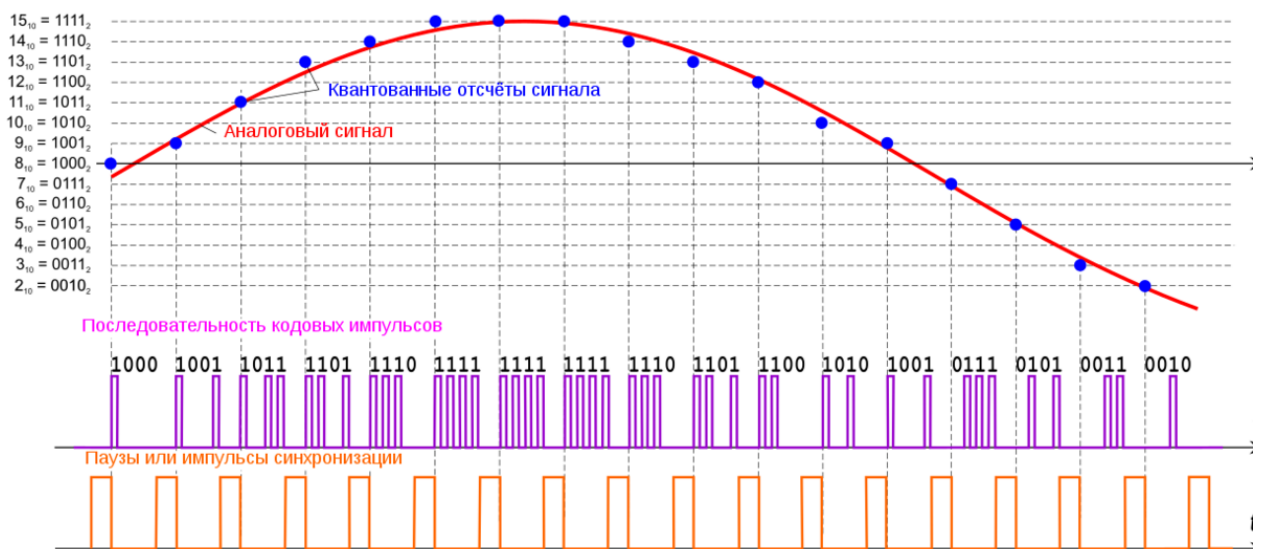


Рисунок 2.2 – Приклад 4-бітної (16-рівневої) ІКМ. Показано квантування аналогового сигналу та пачки імпульсів, що кодують відліки. Передача в каналі виконується старшими бітами вперед.

Квантування. При амплітудному квантуванні безперервний діапазон значень переданого сигналу замінюється кінцевою безліччю дозволених для

передачі значень – рівнів квантування N . При цьому безперервний динамічний діапазон переданих сигналів розбивається на ряд окремих ділянок – кроків квантування δ_i .

Таким чином, квантування є перетворенням, при якому округлюються амплітудні значення сигналу. Виникаюча при цьому помилка є різницею між квантованою величиною й дійсним значенням сигналу й не перевищує половини кроку квантування:

$$\Delta_{\text{КВ}} = |u_{\text{ВХ}} - u_i| \leq \delta_i / 2. \quad (2.1)$$

Очевидно, що чим більше дозволених рівнів N , тобто чим менше крок квантування, тем менше помилка. Помилки приводять до викривлення сигналу, ці викривлення часто називають шумами квантування.

Кодування. Процес перетворення кожного імпульсу квантованого амплітудно-модульованого сигналу в групу двійкових елементів називають кодуванням. Група двійкових елементів, кожний з яких може ухвалювати значення 0 (пробіл) або 1 (імпульс), називають кодовою комбінацією. Число кодових груп відповідає числу рівнів квантування N і пов'язане із числом елементів у кодовій комбінації n співвідношенням $N = 2^n$.

Перетворення здійснюється відповідно до певного закону кодом, який може бути заданий як аналітично, так і у вигляді таблиці.

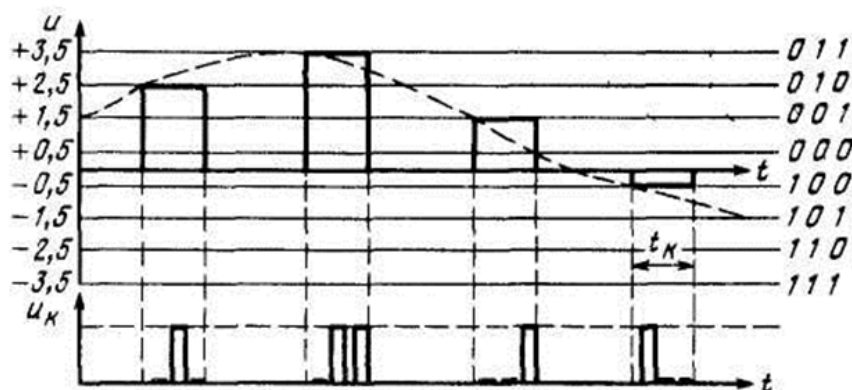


Рисунок 2.3 – Кодування сигналів

Приклад одержання комбінацій кодових імпульсів, відповідних до амплітуд квантованого АІМ-сигналу при трьохрозрядному симетричному

двійковому кодуванні, наведений на рис. 2.3 (t_k – інтервал часу, відведений даному каналу в циклі передачі, u_k – амплітуда кодівих імпульсів).

2.2. Амплітудно-імпульсна модуляція

Переносником повідомлення в амплітудно-імпульсній модуляції (АІМ) є серія прямокутних імпульсів. Під впливом миттєвих значень повідомлення (струму або напруги) амплітуда імпульсів переносника змінюється, як показано рис. 2.4.

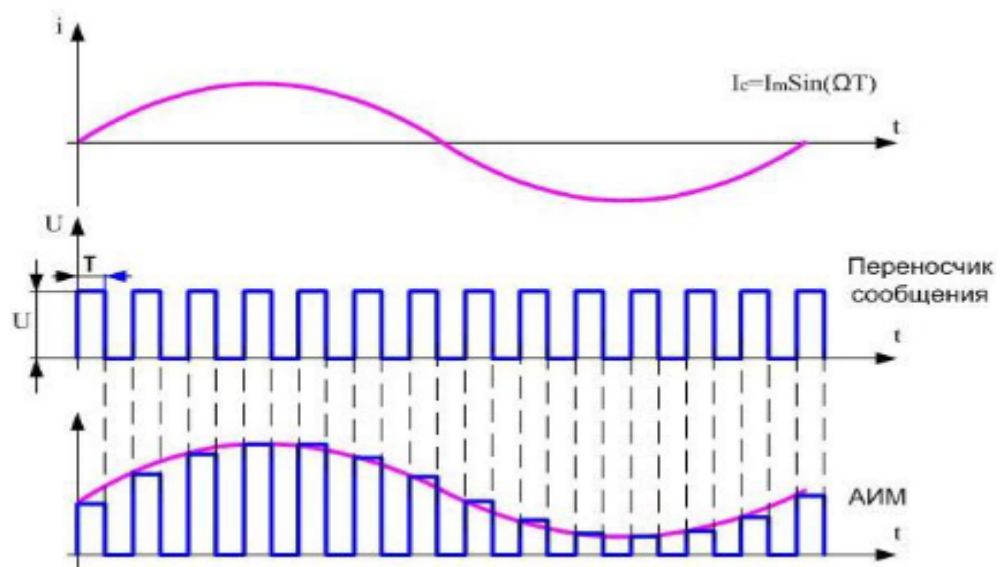


Рисунок 2.4 – Часова діаграма амплітудно-імпульсної модуляції: U – амплітуда «несучої» (переносника повідомлення), τ – тривалість імпульсів «несучої»

Вираз для амплітуди модульованих імпульсів можна записати наступним чином:

$$U_m = U \cdot (1 + m_A \cdot \sin(\Omega t)) \quad (2.2)$$

U_m – амплітуда модульованих імпульсів;

m_A – глибина модуляції при АІМ;

Ω – кутова частота повідомлень;

U – амплітуда немодульованих імпульсів.

Імпульси, модульовані по амплітуді, мають спектр, що відрізняється від немодульованої послідовності тим, що навколо кожної складової спектру немодульованої послідовності з'являються бічні частоти $f_k \pm f_{\text{повідомл.}}$.

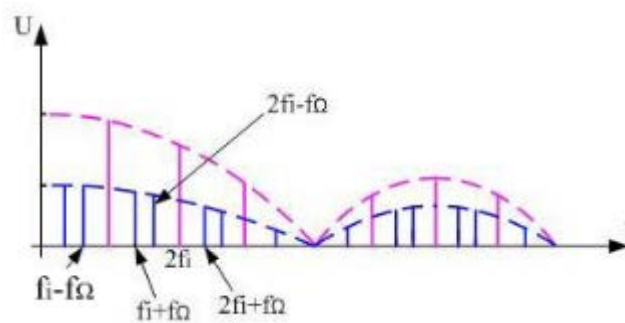


Рисунок 2.5 – Спектр частот амплітудно-імпульсної модуляції

Ширина смуги частот визначається практично тривалістю імпульсів і слабо залежить від моделюючої частоти, тобто

$$\Delta F = \mu / \tau, \quad (2.3)$$

τ – тривалість імпульсів;

μ – коефіцієнт форми.

АІМ має ті ж недоліки та переваги, що і амплітудна модуляція.

У телемеханіці АІМ застосовується лише як проміжний вид модуляції, наприклад, у системі АІМ-ЧМ.

2.3. Широтно-імпульсна модуляція

При широтно-імпульсній модуляції (ШІМ) під дією миттєвих значень повідомлення змінюється тривалість чи ширина імпульсів переносника (рис. 2.3), розширюючись при збільшенні миттєвого значення повідомлення та звужуючись при його зменшенні (за рахунок становища заднього фронту імпульсу). Частота та амплітуда імпульсів при ШІМ не змінюються.

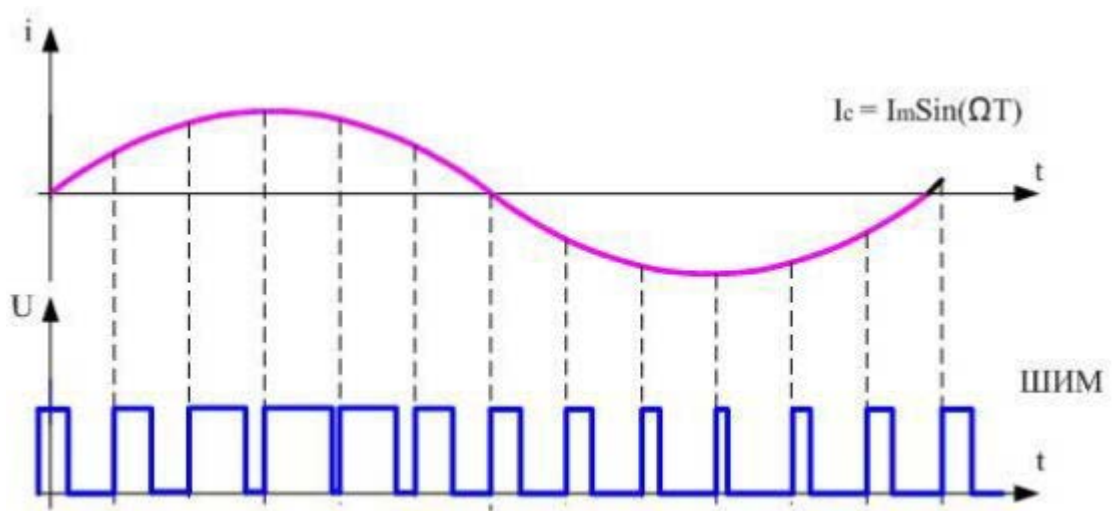


Рисунок 2.6 – Часова діаграма широтно-імпульсної модуляції

Смуга частот ШІМ визначається виразом:

$$\Delta F = 1/\tau_{\min} , \quad (2.1)$$

де τ_{\min} – мінімальна тривалість імпульсів ШІМ.

Спектр частот ШІМ аналогічний спектру АІМ з тією різницею, що при ШІМ навколо кожної гармоніки «несучої» є не дві, а кілька парбічних частот.

Перешкодостійкість ШІМ значно вища за перешкодостійкість АІМ.

Широтно-імпульсна модуляція, скорочено ШІМ або PWM (широтно-імпульсна модуляція, англійською pulse-width modulation) – це спосіб управління подачею потужності до навантаження. Управління полягає у зміні тривалості імпульсу при постійній частоті проходження імпульсів. Широтно-імпульсна модуляція буває аналоговою, цифровою, двійковою та трійковою.

Застосування широтно-імпульсної модуляції дозволяє підвищити коефіцієнт корисної дії електричних перетворювачів, особливо це стосується імпульсних перетворювачів, що становлять сьогодні основу вторинних джерел живлення різних електронних апаратів. Зворотноходові та прямоходові одноктактні, двотактні та напівмостові, а також мостові імпульсні перетворювачі управляються сьогодні за участю ШІМ, це стосується і резонансних перетворювачів.

Широтно-імпульсна модуляція дозволяє регулювати яскравість підсвічування рідкокристалічних дисплеїв мобільних телефонів, смартфонів,

ноутбуків. ШІМ реалізована в зварювальних апаратах, в автомобільних інверторах, в зарядних пристроях і т. д. Будь-який зарядний пристрій сьогодні використовує при роботі ШІМ.

Як комутаційні елементи, в сучасних високочастотних перетворювачах, застосовуються біполярні і польові транзистори, що працюють у ключовому режимі. Це означає, частина періоду транзистор повністю відкритий, а частина періоду – повністю закритий.

І оскільки у перехідних станах, що тривають лише десятки наносекунд, що виділяється на ключі потужність мала, у порівнянні з комутованою потужністю, то середня потужність, що виділяється у вигляді тепла на ключі, у результаті виявляється незначною. При цьому в замкнутому стані опір транзистора як ключа дуже невеликий, і падіння на ньому напруги наближається до нуля.

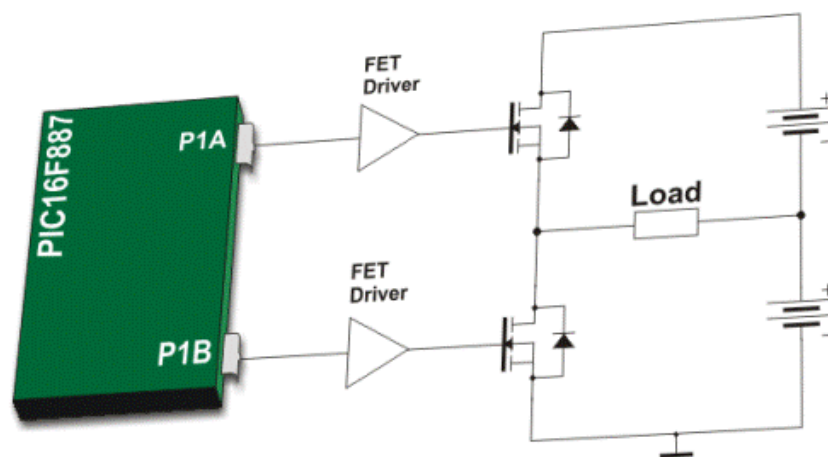


Рисунок 2.7 – Електрична схема для реалізації широтно-імпульсної модуляції

У розімкнутому стані провідність транзистора близька до нуля, і струм через нього практично не тече. Це дозволяє створювати компактні перетворювачі з високою ефективністю, тобто із невеликими тепловими втратами. А резонансні перетворювачі з перемиканням на нулі струму ZCS (zero-current-switching) дозволяють звести ці втрати до мінімуму.

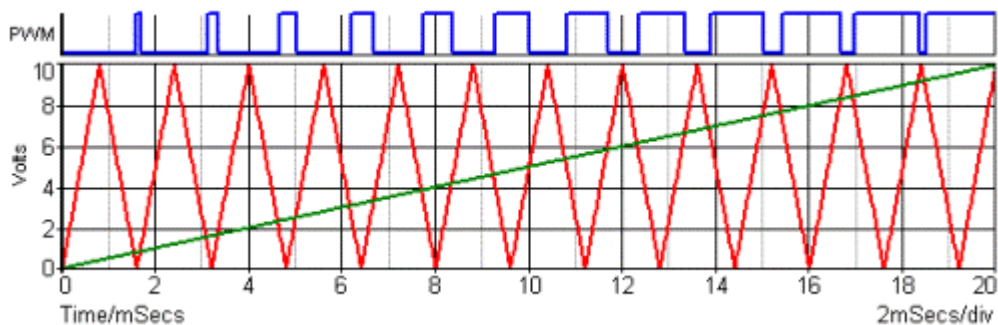


Рисунок 2.8 – Часові діаграми напруги схеми з широтно-імпульсною модуляцією на вході і виході схеми з широтно-імпульсною модуляцією

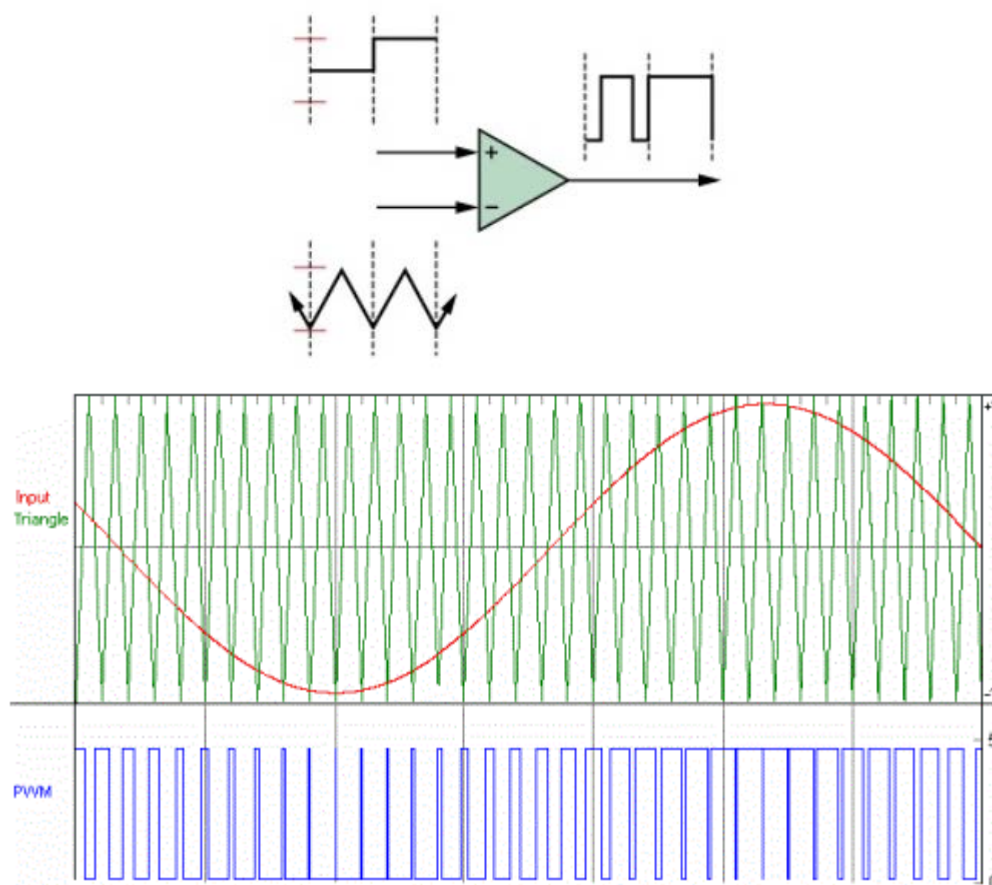


Рисунок 2.9 – Часові діаграми напруги на вході і виході схеми управління з широтно-імпульсною модуляцією при подаванні сигналу на неінвертуючий вхід

Якщо ж пилка подається на неінвертуючий вхід компаратора, а модулюючий сигнал – на інвертуючий, то вихідні імпульси прямокутної форми матимуть позитивне значення тоді, коли напруга пилки вище значення модулюючого сигналу, поданого на інвертуючий вхід, а негативне – коли напруга пилки нижче сигналу. Приклад аналогового формування ШІМ –

мікросхема TL494, що широко застосовується сьогодні при побудові імпульсних блоків живлення.

Цифрова ШІМ використовується у двійковій цифровій техніці. Вихідні імпульси також приймають лише одне з двох значень (увімкнено або вимкнено), і середній рівень на виході наближається до бажаного. Тут пілкоподібний сигнал виходить завдяки використанню N-бітного лічильника.

3. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КАНАЛУ ЗВ'ЯЗКУ

Моделювання процесу обробки сигналу з широтно-імпульсною модуляцією та перешкоди у приймаючому пристрої системи передачі інформації. Як відомо, передача інформації на відстань здійснюється по каналу зв'язку у вигляді сигналів. Основні елементи каналу зв'язку – передавач, приймач і фізична середа, в якій проходить розповсюдження електромагнітних хвиль [3]. Середою розповсюдження може бути як вільний простір, так і спеціальні технічні прилади – хвильоводи, кабелі та інші лінії передачі.

На сьогодні найбільш широке використання отримали електричні сигнали, різновидом яких є радіосигнали. Під радіосигналом розуміють високочастотне коливання, одним із параметрів якого змінюється за законом зміни передаваного повідомлення. Радіосигнали утворюються за допомогою пристрою, який називають радіопередавачем, котрий перетворює отримане від первинного джерела повідомлення в електромагнітні коливання. Ці коливання не можуть бути використанні для збудження електромагнітних хвиль зважаючи на їх відносну низькочастотність. Тому в радіотехніці використовують способи передачі сигналів, засновані на тому, що низькочастотні коливання, що містять початкове повідомлення, за допомогою спеціальних приладів керують параметрами достатньо потужного несучого коливання, частота якого лежить у радіодіапазоні. Процес подібного перетворення сигналів називають модуляцією несучого коливання.

На сьогодні різні методи модуляції сигналів знаходять широке використання у сучасній комп'ютерній техніці, наприклад, в модемах для перетворення цифрового сигналу, що йде від комп'ютера, в аналоговий для передачі його по телефонній мережі.

Модульованій радіосигнал випромінюється антеною передавача. Збудженні при цьому електромагнітні хвилі викликають появу в антені приймача радіосигналів, рівень яких звичайно доволі малий. Після частотної

фільтрації та посилення прийнятий сигнал повинен бути демодульований (детектований) – операція, зворотна до модуляції. У результаті на виході приймача виникає коливання, що є копією переданого первинного повідомлення. Аналогічно сигнал оброблюється в модемі на приймаючій стороні каналу зв'язку – повідомлення в детекторі демодулюється і перетворюється у цифровий вигляд, зрозумілий комп'ютеру.

В будь-якому реальному каналі зв'язку окрім корисного сигналу неминуче присутні перешкоди, виникаючі з багатьох причин, – із-за хаотичного теплового руху електронів в елементах кола, недосконалість контактів в апаратурі, вплив сусідніх радіоканалів з близькими несучими частотами, наявність в просторі шумового космічного радіовипромінювання і т.д. Можливість радіотехнічних засобів передачі інформації протидіяти шкідливому впливу перешкод та забезпечувати високу вірність передачі називають перешкодостійкістю. В сучасній радіотехніці завдання створення перешкодостійких систем є одним із головних.

В даній роботі здійснено моделювання процесу обробки сигналу з широтно-імпульсною модуляцією та перешкоди в приймальному пристрої системи передачі інформації. На першому етапі складені математичні моделі отриманого по каналу зв'язку радіосигналу з широтно-імпульсною модуляцією та перешкодами, а також математичні моделі процесу обробки даного сигналу в приймачу. На другому етапі виконане комп'ютерне моделювання процесу обробки радіосигналу з широтно-імпульсною модуляцією та перешкодами в приймаючому пристрої системи передачі інформації.

3.1. Широтно-імпульсна модуляція

При широтно-імпульсній модуляції (ШІМ) у якості несучого коливання використовується періодична послідовність прямокутних імпульсів, а інформаційним параметром, зв'язаним з дискретним модулюючим сигналом, є тривалість цих імпульсів (рис.3.1.)

Періодична послідовність прямокутних імпульсів однакової тривалості має постійну складову, зворотно пропорційну скважності імпульсів, тобто прямо пропорційну їх тривалості [4]. Пропустивши імпульси через ФНЧ з частотою зрізу значно меншою ніж частота слідування імпульсів, цю постійну складову можливо легко виділити, отримав постійну напругу. Якщо тривалість імпульсів буде різною, ФНЧ виділить повільно змінну напругу, відслідковуючи закон зміни тривалості імпульсів. Таким чином, за допомогою ШІМ можливо створити нескладний ЦАП: значення відліків сигналу кодуються тривалістю імпульсів, а ФНЧ перетворюють імпульсну послідовність в плавно змінний сигнал.

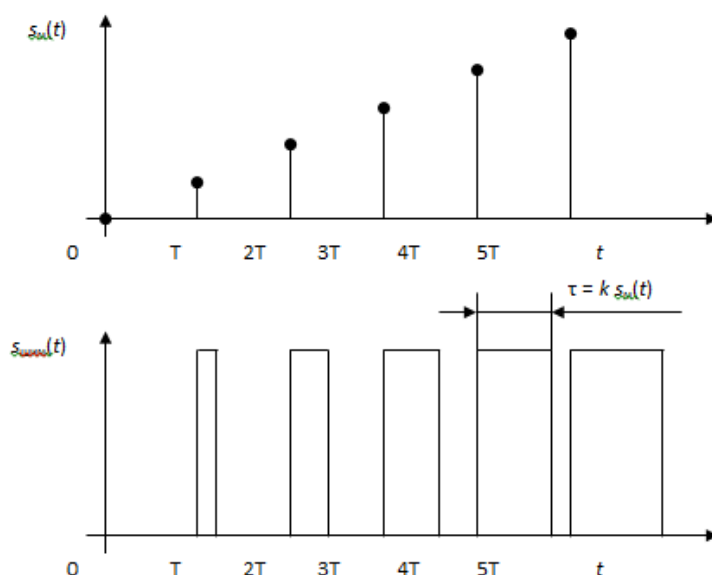


Рисунок 3.1 – Широтно-імпульсна модуляція

3.2. Математичне моделювання

Передача інформації на відстань може бути здійснена за допомогою системи передачі інформації, яка складається з (рис. 3.2) джерела повідомлень, передавача, лінії зв'язку, приймача і отримувача повідомлень. Передача інформації за допомогою системи передачі інформації супроводжується впливом на корисний сигнал різного виду перешкод. В зв'язку з чим в структурній схемі відображене джерело перешкод. Передача інформації на відстань може бути виконана за допомогою системи передачі інформації, що складається з джерела повідомлень, передавача, лінії зв'язку,

приймача та одержувача повідомлень. Передача інформації за допомогою системи передачі інформації супроводжується дією на корисний сигнал різних перешкод. В зв'язку з чим в структурній схемі відображене джерело перешкод. Передача інформації на відстань може бути виконана за допомогою системи передачі інформації, що складається з джерела повідомлень, передавача, лінії зв'язку, приймача та одержувача повідомлень. Передача інформації за допомогою системи передачі інформації супроводжується дією на корисний сигнал різних перешкод.

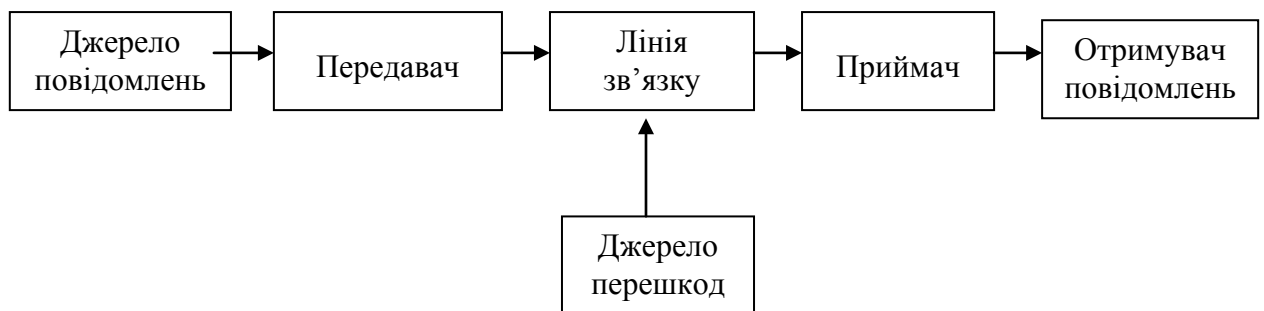


Рисунок 3.2 – Структурна схема одноканальної системи передачі інформації

Для приймання сигналу потрібно спочатку сформувати ШІМ-коливання в передавачу. Надана послідовність прямокутних імпульсів різної тривалості можливо записати у вигляді ряду Фур'є [4]:

$$s_t := \frac{A \cdot \tau(t)}{T} + \sum_{k=1}^{nk} \left(\frac{2 \cdot A}{\pi \cdot k} \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot k \cdot \tau(t)}{T}\right) \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot k \cdot t}{T}\right) \right) \quad (1)$$

де A – амплітуда коливання;

T – період імпульсів;

$\tau(t)$ – функція зміни тривалості імпульсів.

Генератор ВЧ коливань здійснює формування високочастотних гармонічних електричних коливань, що виконують роль несучих коливань корисного сигналу. Аналітичний вираз даних коливань має наступний вид:

$$U_{nt} = A \cos \omega_n t \quad (2)$$

де $U_n(t)$, A , ω_n – миттєве значення, амплітуда, кутова частота електричного коливання відповідно.

У результаті накладення послідовності прямокутних імпульсів на високочастотні коливання аналітичний вираз напруги на виході моляційного прилада буде мати наступний вид:

$$U_{rez_t} = s_t \cdot U_n(t) \quad (3)$$

При передачі сигналу по каналу зв'язку відбувається деяке його згасання та спотворення перешкодами:

$$U_{kr_t} = (k \cdot U_{rez_t}) + U_{pom_t} \quad (4)$$

де k – коефіцієнт згасання корисного сигналу;

U_{pom_t} – миттєві значення перешкод.

Подальше послаблений радіосигнал з широтно-імпульсною модуляцією та перешкодами поступає для обробки в приймачі, структурна схема якого зображена на рис. 3.2.

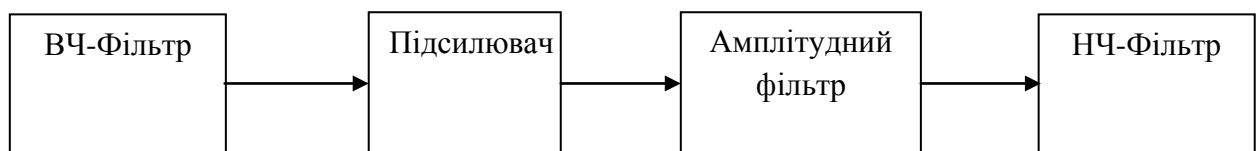


Рисунок 3.3 – Структурна схема приймального пристрою системи передачі інформації

У високочастотному фільтрі суміш «сигнал + перешкода» перетворюється з часової в частотну:

$$f = \text{fft}(U_{kr}) \quad (5)$$

де fft – функція швидкого прямого перетворення. Потім виконується частотно-виборча фільтрація сигналу, у якості оператора якого використовується функція Хевісайд $\Phi(x)$ (значення функції дорівнює 1, якщо $x \geq 0$, та 0 в останніх випадках):

$$g_j = f_j \cdot \Phi(|f_j| - \alpha) \quad (6)$$

де α – параметр фільтру, що впливає на форму результуючого сигналу. Значення α підбирається в залежності від величини спектра перешкод. Для побудови спектральних графіків сигналів також використовується швидке перетворення Фур'є. В ідеальному випадку модульований сигнал без перешкод та відфільтрований сигнал ідентичні.

Надалі сигнал зворотно перетворюється з частотної області в часову:

$$U_{k2} = \text{ifft}(g) \quad (7)$$

де ifft – функція зворотного перетворення Фур'є.

Після високочастотної фільтрації послаблений в лінії зв'язку сигнал поступає до посилювача, і вираз напруги на виході посилювача має вигляд:

$$U_{rez2_t} := \frac{1}{k} \cdot U_{k2_t} \quad (8)$$

де k - коефіцієнт затухання корисного сигналу.

В амплітудному фільтрі відсікається від'ємна складова амплітуди сигналу:

$$U_{d_t} := \text{if}(U_{rez2_t} > 0, U_{rez2_t}, 0) \quad (9)$$

Для переходу від високочастотних коливань до цифрових імпульсів необхідно сигнал пропустити крізь фільтр низьких частот [3], [5]. Частотна характеристика фільтру визначається за виразом:

$$k_t := \frac{1}{1 + \left(\frac{t}{f_n}\right)^{2n}} \quad (10)$$

де f – верхня частота зрізу фільтру;

ціле число n – порядок фільтру.

Параметри виразу (10) підбираються емпірично для досягнення найкращої фільтрації. Сигнал з виходу амплітудного фільтру переводиться в частотну область за допомогою перетворення Фур'є:

$$f = \text{fft}(U_d) \quad (11)$$

Надалі використовується фільтрація нижніх частот (12) та перевод сигналу в часову область (13) (зворотне перетворення Фур'є):

$$g_j = k_j \cdot f_j \quad (12)$$

$$h = \text{ifft}(g) \quad (13)$$

Вираз (13) описує функцію, що огинає сигнал на виході амплітудного фільтру. Наступний вираз перетворює огинаючу h_t в послідовності уніполярних прямокутних імпульсів:

$$U_{\text{det}_t} := \text{if}(h_t > m, 1, 0) \quad (14)$$

де m – емпіричний підібраний параметр залежний від форми h_t .

Таким чином, на виході приймача отримали відфільтрований від перешкод сигнал з широтно-імпульсною модуляцією у вигляді цифрових імпульсів.

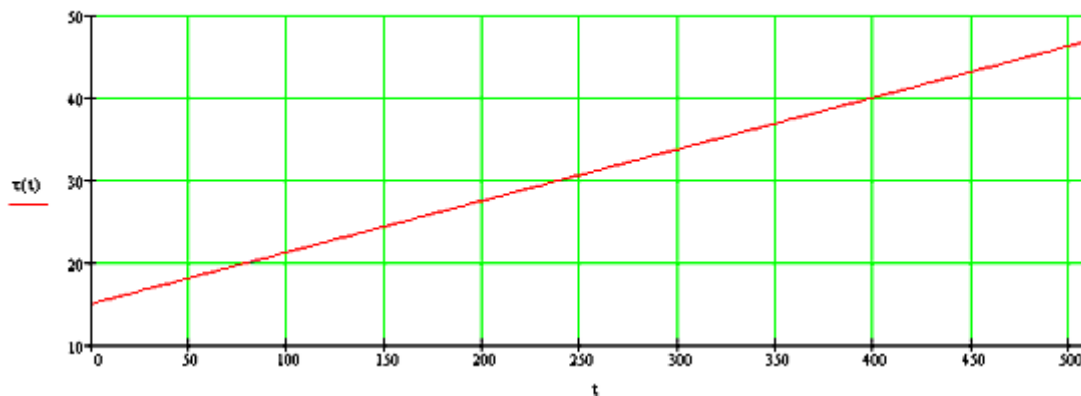
4. КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИГНАЛУ З ШИРОТНО-ІМПУЛЬСНОЮ МОДУЛЯЦІЄЮ

На даному етапі роботи для побудови графіків часових та спектральних діаграм сигналів використовують їх раніше описані математичні моделі.

Спочатку у передавачі була сформована послідовність прямокутних уніполярних імпульсів, тривалість яких є функцією від часу $\tau(t)$. На рис. 4.1 – 4.3 зображені часові і спектральні діаграми тривалості імпульсів та отриманої моделюючої функції.

$T = 50$ с – період слідування імпульсів; $A = 1$ – амплітуда;

$\tau_0 = 15$ с – початкова довжина імпульса; n_k = число гармонічних складових;



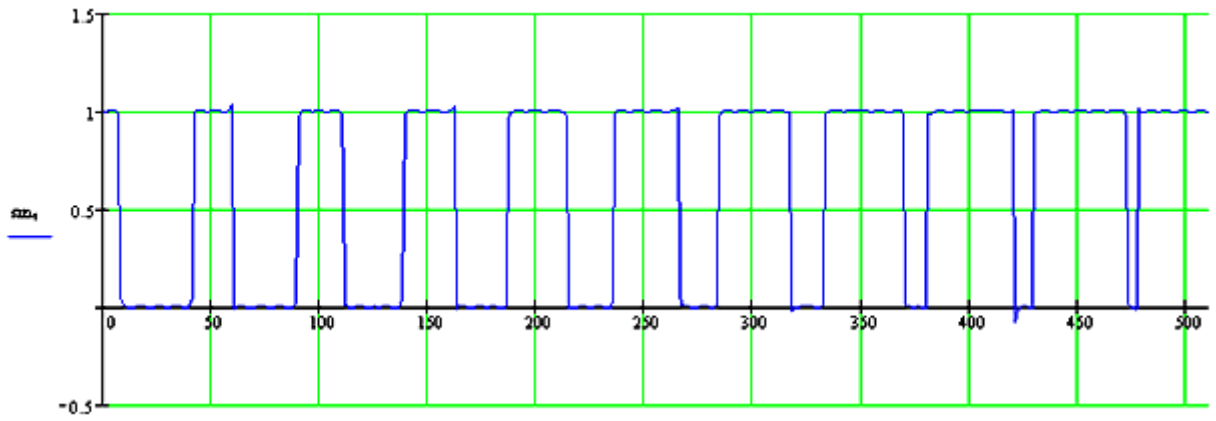


Рисунок 4.2 – Моделююча функція

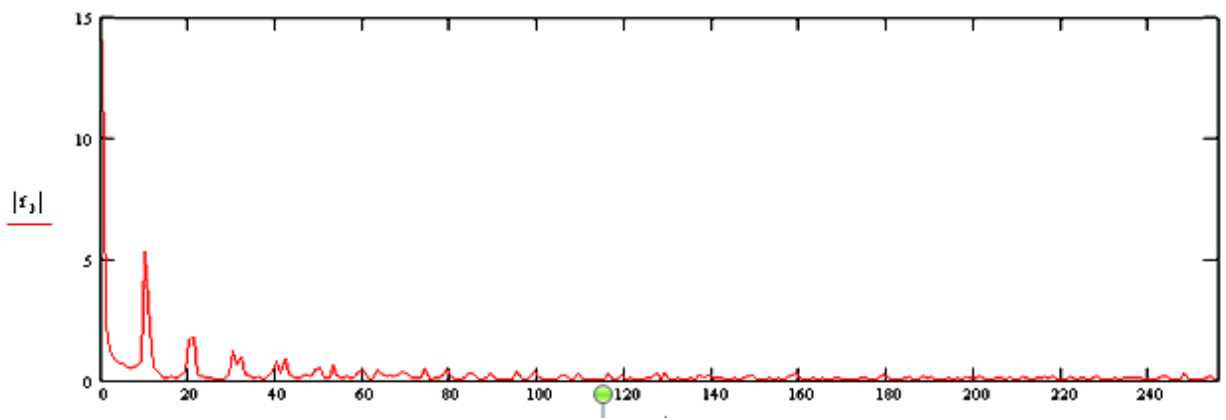


Рисунок 4.3 – Спектральна діаграма моделюючої функції

$$\omega := 150 \quad U_{n_t} := A \cdot \cos(\omega \cdot t) \quad U_{rez_t} := sm_t \cdot U_{n_t}$$

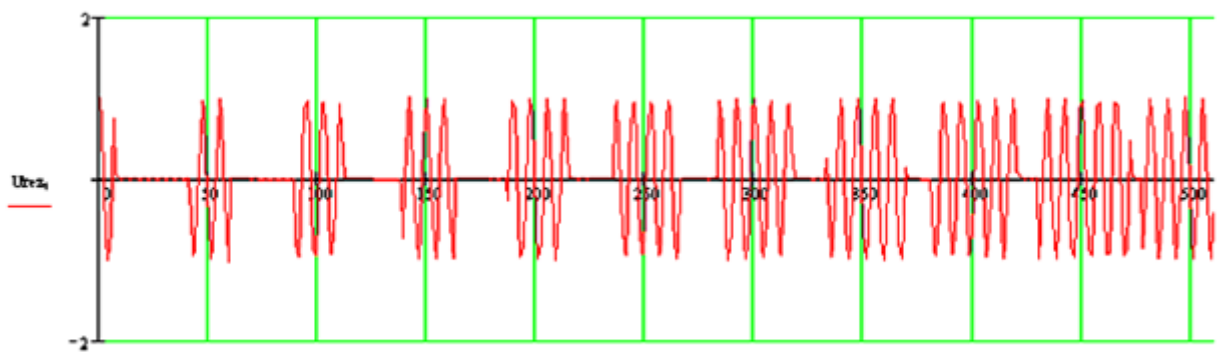


Рисунок 4.4 – Радіосигнал з ПІМ

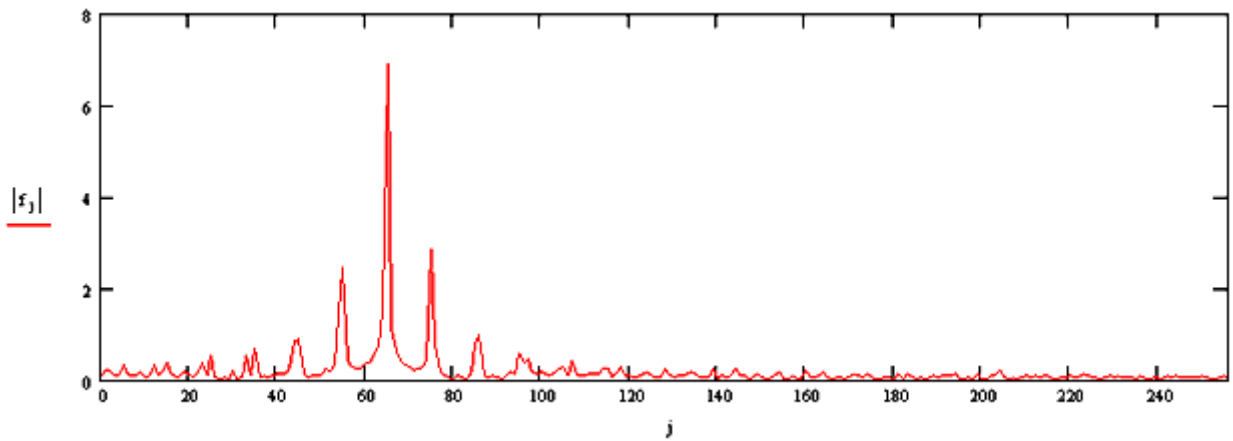


Рисунок 4.5 – Спектр радіосигналу

Потім модульований сигнал передається по каналу зв'язку систем передачі інформації, де відбувається деяке його згасання та викривлення перешкодами. Цей процес завершує етап формування та передачі сигналу.

Отже, з лінії зв'язку в приймач поступає радіосигнал з широтно-імпульсною модуляцією разом з перешкодами (рис. 4.6, 4.7).

$$U_{kr_t} := U_{k_t} + U_{pom_t}$$

де U_{pom} – функція перешкод

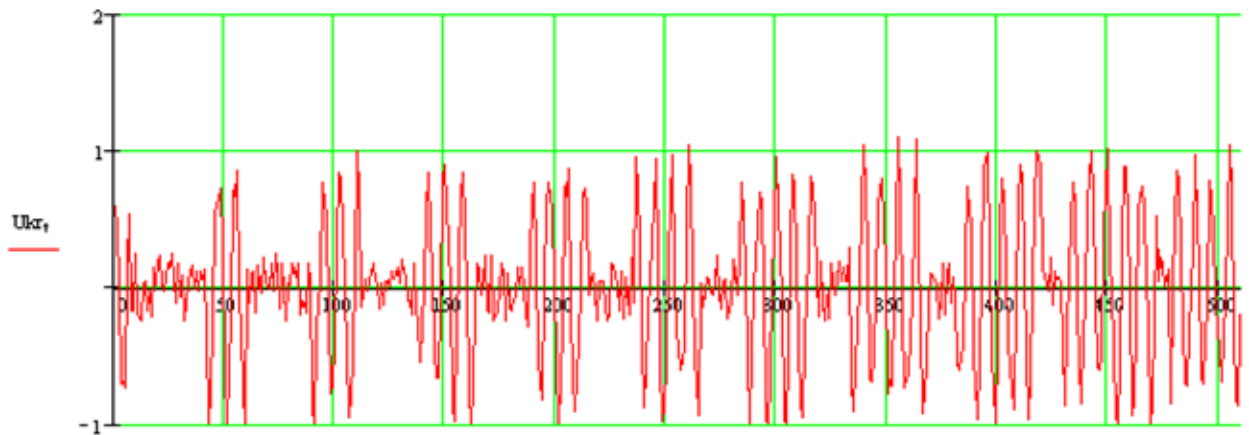


Рисунок 4.6 – Імпульсний сигнал з перешкодами

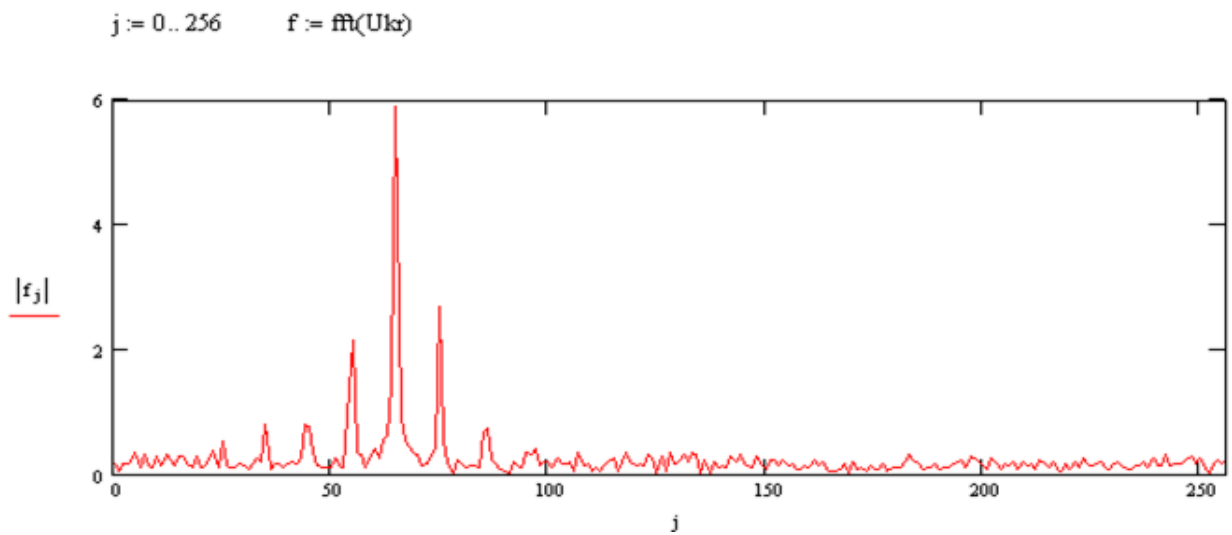


Рисунок 4.7 – Спектр імпульсного сигналу з перешкодами

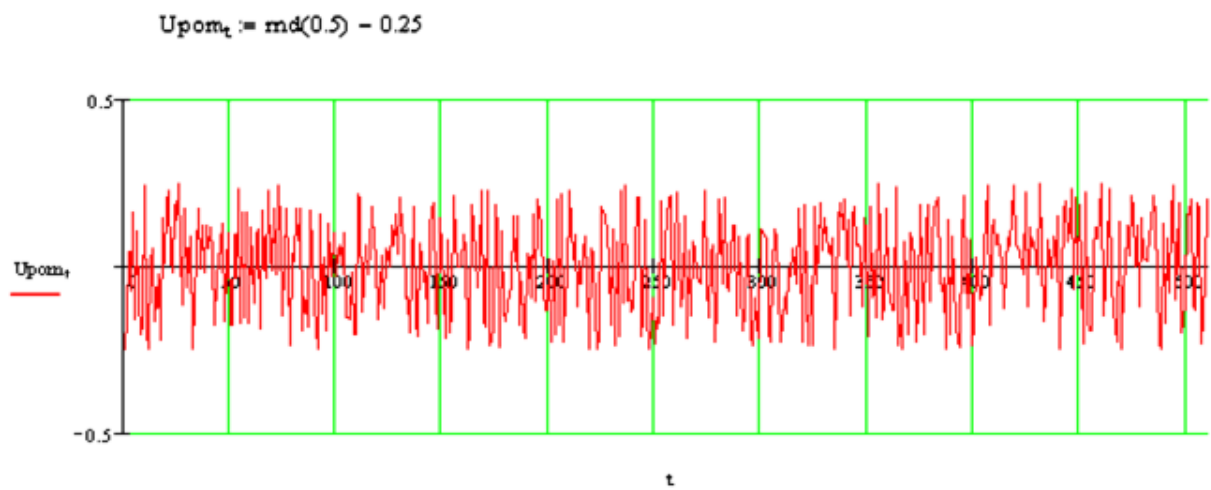


Рисунок 4.8 – Перешкоди в лінії зв'язку (шум)

Для фільтрації нижніх частот сигналу корисно знати параметри всіх перешкод. Параметр фільтру α залежить від форми спектру перешкоди (рис. 4.9 – 4.11).

$f := \text{fft}(U_{\text{pom}})$

$\alpha := 0.34$

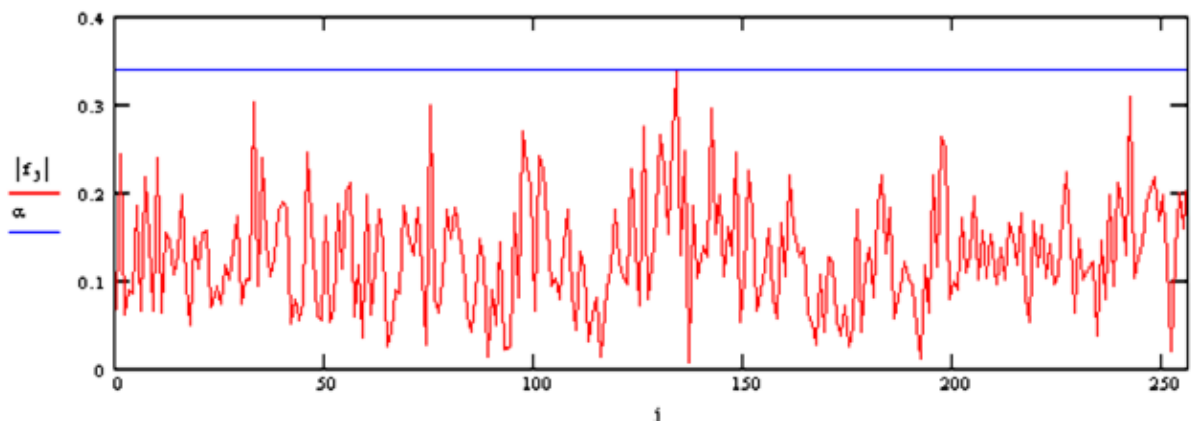


Рисунок 4.9 – Спектр перешкод в лінії зв'язку

При відомому α можна приступати до високочастотної фільтрації сигналу:

$f := \text{fft}(U_{k2})$

$g_j := f_j \cdot \Phi^{|f_j| - \alpha}$

$U_{k2} := \text{ifft}(g)$

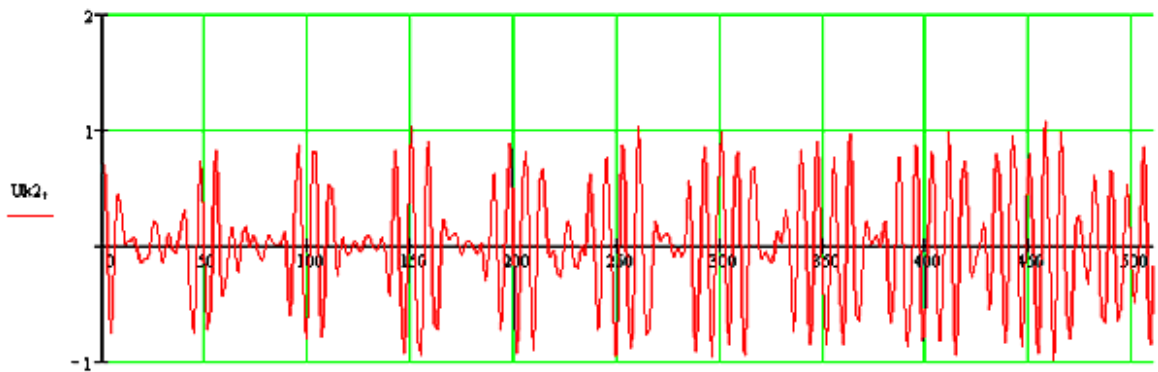


Рисунок 4.10 – Сигнал на виході фільтру

$f := \text{fft}(U_{k2})$

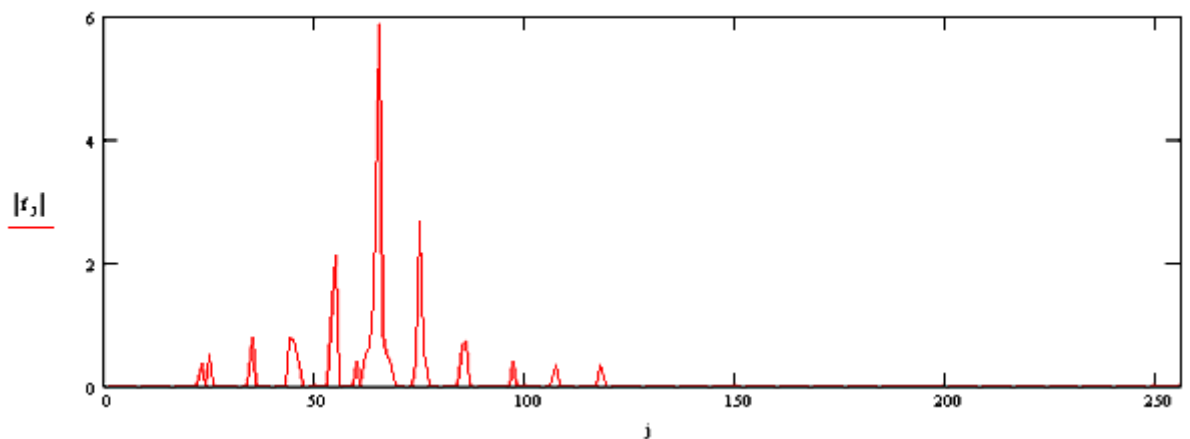


Рисунок 4.11 – Спектр сигналу на виході фільтру

Так як в лінії зв'язку відбулось деяке згасання корисного сигналу, то після фільтрації необхідно збільшити напругу результуючих коливань (рис. 4.12, 4.13).

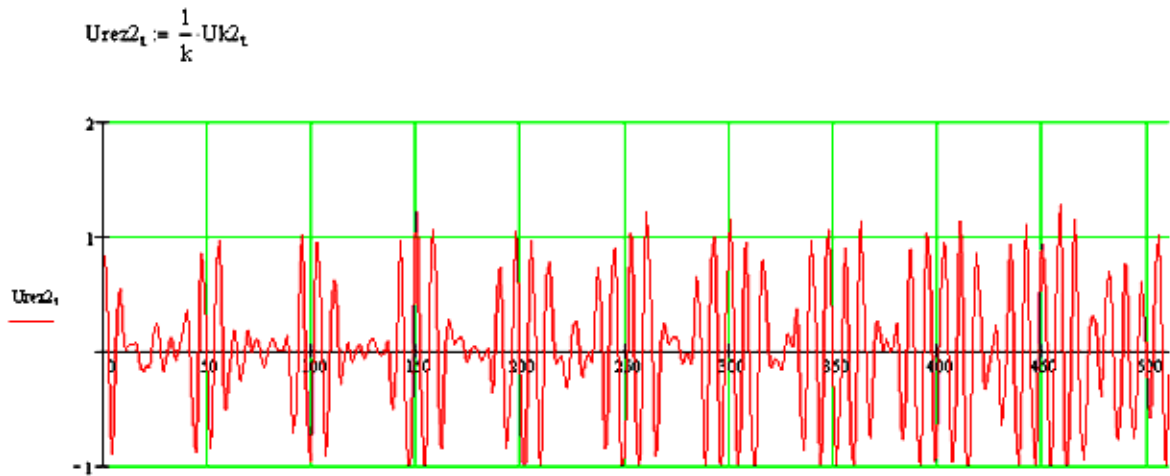


Рисунок 4.12 – Сигнал з підсиленням напруги

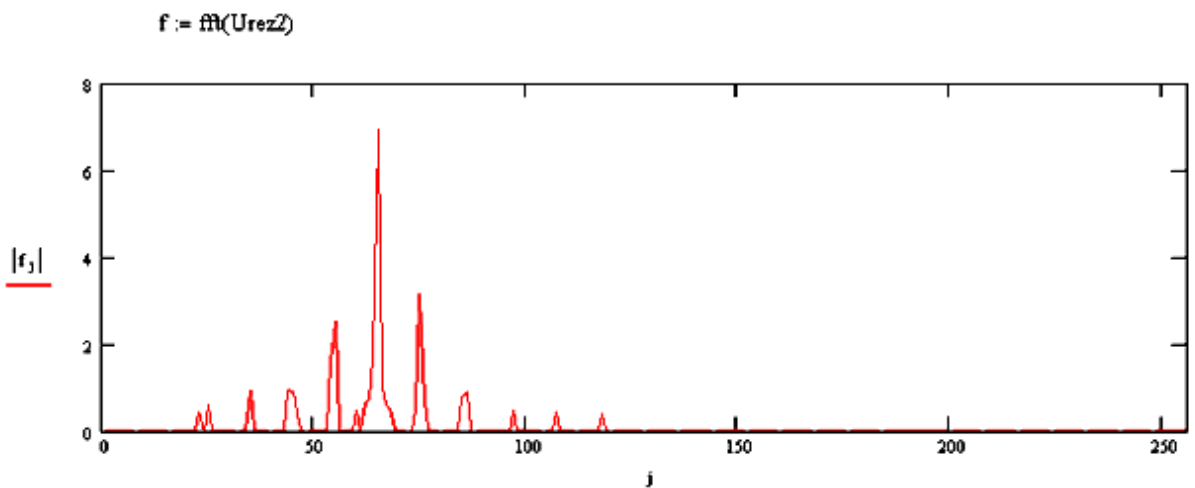


Рисунок 4.13 – Спектр підсиленого сигналу

Отриманий у результаті сигнал та його спектральна діаграма зображені на рис. 4.14 та 4.15. Для подальшого перетворення сигналу виділімо позитивні складові амплітуди його коливань, тобто проведемо амплітудну фільтрацію.

$$Ud_t := \text{if}(Urez2_t > 0, Urez2_t, 0)$$

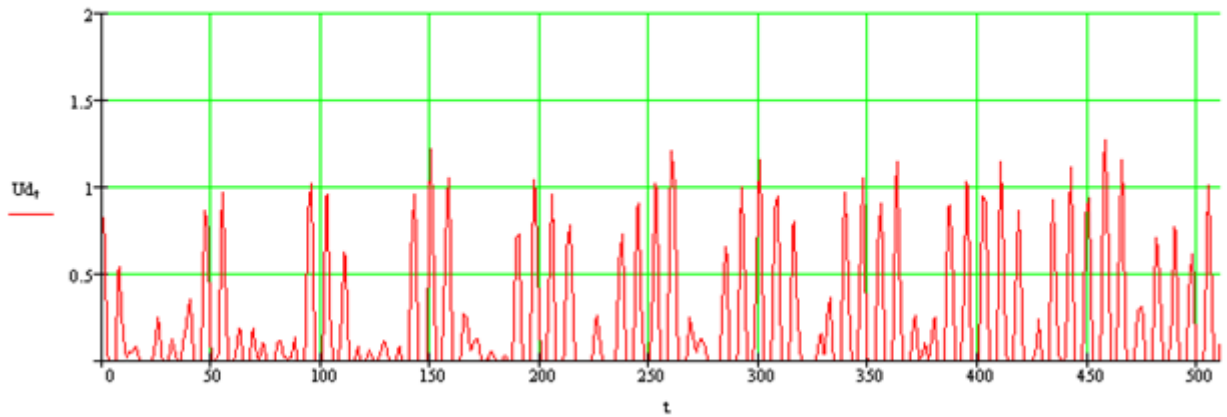


Рисунок 4.14 – Сигнал на виході амплітудного фільтру

На рис. 4.15 відображена характеристика фільтру з порядком – 1 в смугу пропускання фільтру потрапляють тільки корисні нижні частоти для частоти зрізу.

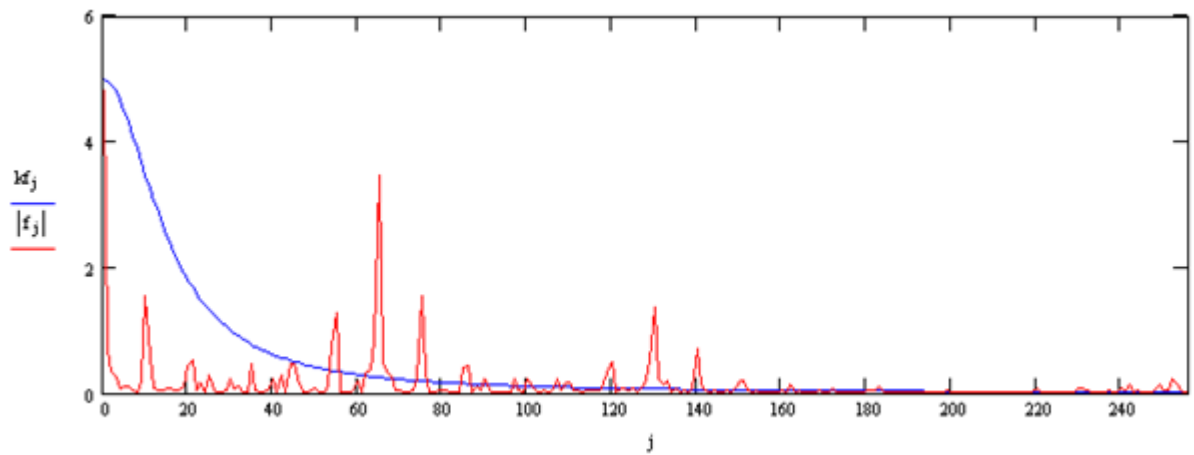


Рисунок 4.15 – Спектр сигналу на вході амплітудного фільтру і АЧХ НЧ – фільтру

Результат НЧ фільтрації відображений на рисунку 4.16 та 4.17.

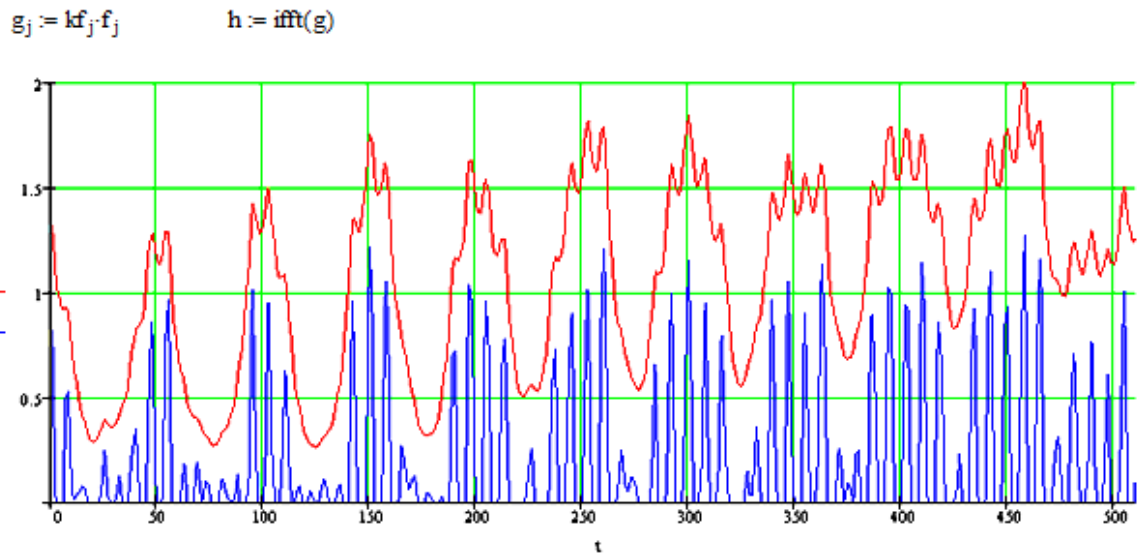


Рисунок 4.16 – Сигнал з амплітудною фільтрацією та його огинаюча

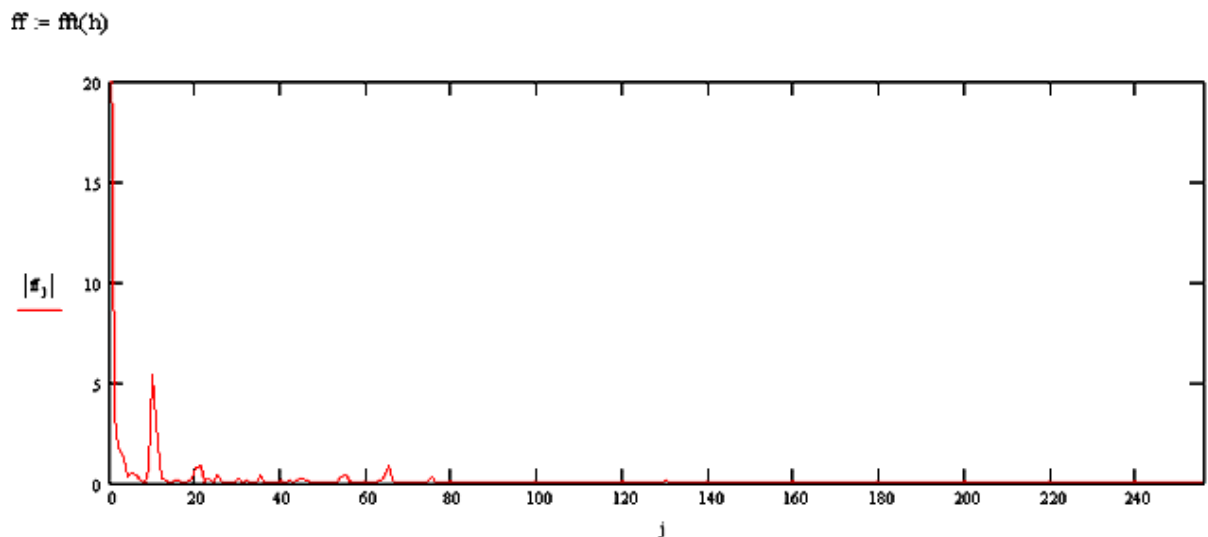


Рисунок 4.17 – Спектр огинаючої сигналу з амплітудною фільтрацією

Для представлення ШІМ-сигналу у цифровому вигляді у вигляді прямокутних уніполярних імпульсів (рис. 4.18) необхідно перетворити функцію h_t у відповідності до наступної умови:

$$U_{det,t} := \text{if}(h_t > 1.05, 1, 0)$$

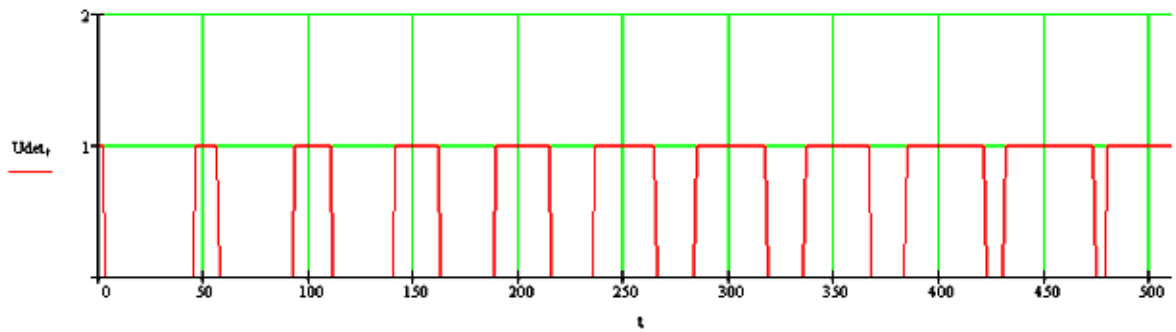


Рисунок 4.18 – ШІМ-сигнал на виході приймача

Отримана послідовність імпульсів практично співпадає з початковою (див. рис. 4.18), що каже про високу якість фільтрації та перетворення сигналу. На рис. 4.19 зображена спектральна діаграма кінцевого сигналу. Такий спектр відповідає послідовності імпульсів змінної довжини.

$$f := \text{fft}(U_{det})$$

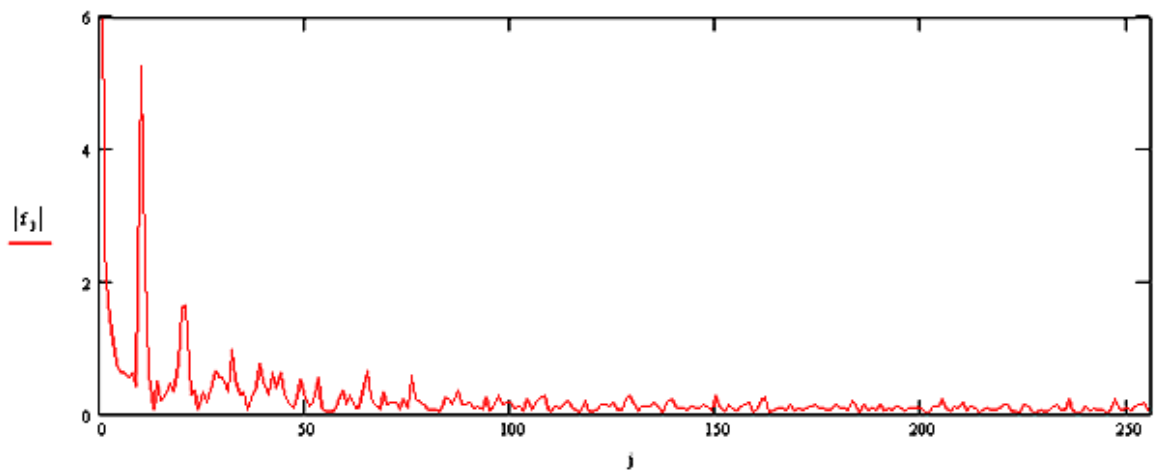


Рисунок 4.19 – Спектр ШІМ-сигналу на виході приймача

ВИСНОВКИ

У роботі здійснено моделювання процесу обробки сигналу з широтно-імпульсною модуляцією і перешкодами в приймальному пристрої системи передачі інформації. На першому етапі складено математичні моделі одержуваного по каналу зв'язку радіосигналу з широтно-імпульсною модуляцією та перешкодами, а також математичні моделі процесу обробки даного сигналу в приймачі. На другому етапі було здійснено комп'ютерне моделювання процесу обробки радіосигналу з широтно-імпульсною модуляцією та перешкодами у приймальному пристрої системи передачі інформації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лекція 12. Засади передачі сигналів: модуляція та завадостійкість. Курс «Теорія інформації та кодування». Режим доступу: <https://tik-diit.dp.ua/m374/>
2. Очков В. Ф. О-95 Mathcad 14 для студентов и инженеров: русская версия. – СПб.: БХВ-Петербург, 2009. – 512 с.: ил.
3. MathCAD для студентов: Учебный практикум / С. В. Алябьева, Е. П. Борматова, М. В. Данилова, Е. Е. Семин. – СПб.: ИТМО. – Петрозаводск, 2007. – 154 с.
4. Мироновский Л. А. Моделирование линейных систем: учебное пособие / Л. А. Мироновский. – СПб.: ГУАП, 2009. – 244 с.: ил.
5. Сергиенко, А. Б. Цифровая обработка сигналов / А. Б. Сергиенко. – 2-е изд. – СПб.: Питер, 2007. – 751 с.
6. Оппенгейм, А. Цифровая обработка сигналов / А. Оппенгейм, Р. Шафер. – 2-е изд.: Пер. с англ. – М.: Техносфера, 2009. – 856 с.
7. Гоноровский, И. С. Радиотехнические цепи и сигналы: учеб. для вузов / И. С. Гоноровский. – 5-е изд., испр. – М.: Дрофа, 2006. – 719 с.
8. Філіпський, Ю. К. Динаміка сигнальних перетворень: навч. посіб. для студентів ВНЗ / Ю. К. Філіпський. – Одеса: ОДПУ, 2006. – 89 с.
9. Отнес Р., Эноксон Л. Прикладной анализ временных рядов. – М.: Мир, 1982. – 428 с.
10. Айфичер Э., Джервис Б. Цифровая обработка сигналов. Практический подход. / М., «Вильямс», 2004, 992
11. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для вузов. - М.: Высшая школа, 1988. – 448 с.
12. Гольденберг Л.М. и др. Цифровая обработка сигналов: Учебное пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1990. – 256 с.
13. Сиберт У.М. Цепи, сигналы, системы. – М.: Мир, 1988. – 336 с.

14. Корн Г., Корн Е. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука
15. Моделирование процесса обработки сигнала с широтно-импульсной модуляцией и помехи в приемном устройстве системы передачи информации. Режим доступа:<https://doc4web.ru/radioelektronika-/modelirovanie-processa-obrabotki-signal-a-s-shirotnoimpulsnoy-mod.html>