

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ДРЕ ФРЕТ

(повне найменування інституту, назва факультету)

Радіотехніки та телекомунікацій

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до магістерської роботи

магістр

(рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему Моделювання каналу зв'язку за допомогою
методу GMSK

Виконав: студент 6 курсу, групи РТ-913 м
спеціальності (напряму підготовки)

172 "Телекомунікації та радіотехніка"

(код і назва напряму підготовки, спеціальності)

Спец. "Інформаційні мережі зв'язку"

Іоффе О.Ф.

(прізвище та ініціали)

Керівник Чорнобродов М.П.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Карпук А.М.

(прізвище та ініціали)

м. Запоріжжя

2018 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет радіоелектроніки та телекомунікацій
Кафедра радіотехніки та телекомунікацій
Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) магістр
Спеціальність 172 "Телекомунікації та радіотехніка"
(код і назва)
Напрямок підготовки Спец. "Інформаційні мережі зв'язку"
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

К.Т.Н. доц. Морщавка СВ
"10" грудня 2018 року

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

Гоффе Олег Дмитрович
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Темароботи Моделювання каналу зв'язку за допомогою методу GMSK

керівник роботи Чорнобородов Михайло Петрович К.т.н. доцент
(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "31" жовтня 2018 року № 304

2. Строк подання студентом роботи 10 грудня 2018 року

3. Вихідні дані до роботи Тип модуляції GMSK, шум радіоканалу - нормальний закон розподілу

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Розробити алгоритми модуляції та демодуляції GMSK сигналів

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Презентація Power Point, 22 слайду

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	Прийняв виконане завдання
I-II	Чорнабородов М.П., доц., к.т.н.	23.09.2018	11.12.2018
Економік.р.	Кругликів В.В., доцент, к.е.н.	24.09.18	3.12.18
Охорона праці	Коробко О.В.	24.09.18	25.10.18
Нормоконтроль	Мірош Т.В. асистент катедри РТГ		

7. Дата видачі завдання 03.09.2018

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури	1 тиждень	
2	Огляд області дослідження й постановка завдання	3 тижні	
3	Моделювання каналів зв'язку з використанням моделей GSMK	6 тижнів	
4	Економічне обґрунтування	1 тиждень	
5	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	1 тиждень	
6	Оформлення пояснювальної записки	1 тиждень	
7	Підготовка презентації	1 тиждень	

Студент Тарас
(підпис)

Тарас О.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи Мірош Т.В.
(підпис)

Чорнабородов М.П.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 85 с., 27 рис., 6 табл., 7 джерел

Об'єкт дослідження – каналу зв'язку з використанням методів GMSK.

Мета роботи – розробка алгоритмів обробки сигналів у передавальній та приймальній частині модему GMSK.

Метод дослідження – теоретично-розрахунковий з використанням ЕОМ.

Розроблено алгоритми формування сигналів у передавальній та обробки у приймальній частині модему GMSK.

За виконання магістерської роботи застосовувались сучасні методи проектування. Проектування здійснювалось на фаховому програмному забезпеченні сучасної обчислювальної техніки.

КАНАЛ ЗВ'ЯЗКУ, GMSK, ПРИЙМАЧ, ПЕРЕДАВАЧ, МАНІПУЛЯЦІЯ
КВАДРАТУРНІ СКЛАДОВІ, СПЕКТР, СКЛАДНИЙ СИГНАЛ

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	7
ВСТУП.....	8
1 ОГЛЯД ОБЛАСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ Й ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ	9
1.1 Різновиди маніпуляції сигналів	9
1.2 Частотна маніпуляція	10
1.2.1 Двійкова частотна маніпуляція	12
1.2.2 Частотна маніпуляція з мінімальним зсувом	15
1.2.3 Гауссівська частотна маніпуляція з мінімальним зсувом	18
2 МОДЕЛЮВАННЯ КАНАЛІВ ЗВ'ЯЗКУ З ВИКОРИСТАННЯМ МОДЕМІВ GMSK ..	24
2.1 Частотна маніпуляція з мінімальним зсувом на базі методу OQPSK ..	24
2.2 Опис основної програми формування сигналів GMSK.....	25
2.2.1 Призначення змінних	25
2.2.2 Блок "Генератор даних"	27
2.2.3 Формування двополярної послідовності у форматі NRZ	28
2.2.4 Передискретизація даних	29
2.2.5 Фільтрація вхідного сигналу	30
2.2.6 Формування цифрових квадратурних каналів	31
2.2.7 Формування аналогових квадратурних маніпулюючих сигналів ..	33
2.3 Моделювання GMSK-сигналу на вході демодулятора.....	34
2.4 Моделювання шумів радіоканалу.....	36
2.5 Демодуляція	39
2.5.1 Гаусівський фільтр	39
2.5.2 Передискретизація	41
2.6 Моделювання імовірності помилкового прийому	44
2.7 Моделювання впливу рівня шумів на фазове сузір'я сигналів GMSK ..	47
3 ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ	51
3.1 Актуальність теми з позиції маркетингу.....	51
3.2 Планування науково-дослідницьких робіт	53

3.3	Складання календарного графіку реалізації НДР	56
3.4	Підрахунок кількості витрат задля практичної реалізації НДР	56
3.4.1	Обладнання для здійснення задумів роботи	57
3.4.2	Покупні вироби і матеріали	57
3.4.3	Обчислення заробітної плати	58
3.4.4	Відрахування на єдиний соціальний внесок	59
3.4.5	Накладні витрати	59
3.4.6	Кошторис витрат для реалізації НДР	60
3.5	Розрахунок економічної ефективності НДР	60
4	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	63
4.1	Аналіз потенційних небезпек	64
4.2	Заходи щодо забезпечення техніки безпеки	65
4.3	Заходи з забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці	68
4.4	Заходи з пожежної безпеки	70
4.5	заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях	71
	ВИСНОВКИ	75
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	76
	ДОДАТОК А	77

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ГКН	– генератор, керований наругою
ММЗ	– частотна маніпуляція з мінімальним зсувом
НВЧ	– надзвичайно високі частоти
ФАП	– фазове автопідлаштування
ФД	– фазовий детектор
ФНЧ	– фільтр нижніх частот
ЧМ	– частотна модуляція
GMSK	– Gaussian Minimum Shift Keying

ВСТУП

Ми живемо в технологічному столітті. Завдяки технологіям мобільного зв'язку люди спілкуються в реальному часі з тими, хто знаходиться на величезній відстані. Більшість людей користуються мобільними телефонами для пошуку різної інформації в інтернеті, перегляду різноманітних фільмів, а також для спілкування в соціальних мережах.

Майже кожна людина вміє користуватися мобільним телефоном. Щодня відбуваються мільйони дзвінків, витрачається величезна кількість мегабайт на користування мобільним інтернетом. Але майже ніхто не знає яким чином і за допомогою яких технологій маніпуляції сигналів це відбуваються.

У цій дипломній роботі я намагатимуся дати відповіді на всі ці питання.

1 ОГЛЯД ОБЛАСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ Й ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

1.1 Різновиди маніпуляції сигналів

Модуляція – це процес зміни будь-яких параметрів носійного сигналу під впливом інформаційної течії. Даний термін звичайно застосовують для аналогових сигналів. Стосовно ж цифрових сигналів застосовується інший термін - маніпуляція.

Відомо три основні види маніпуляції сигналів:

- а) амплітудна (Amplitude – shift keying (ASK));
- б) частотна (Frequency – shift keying (FSK));
- в) фазова (Phase – shift keying (PSK)).

Сигнали з частотною маніпуляцією характеризуються сталістю обвідної, що дозволяє істотно підвищувати коефіцієнт корисної дії (ККД) передавача.

Тому сучасні системи зв'язку з рухомими об'єктами використовують види маніпуляції, для яких забезпечується незмінність амплітуди від модулюючого сигналу. Використання таких методів дає наступні переваги:

а) можливість використання досить простих пристроїв демодуляції, які забезпечують функцію обмеження рівня вхідного сигналу, що спрощує проектування приймальних пристроїв і забезпечує стійкий прийом в умовах значних завмирань радіосигналу;

б) можливість використання в підсилювачах потужності радіосигналу енергетично ефективних режимів роботи без ризику розширення спектра частот радіоканалу;

в) низький рівень поза смугових випромінювань, що дозволяє зменшити захисні смуги між сусідніми частотними каналами.

1.2 Частотна маніпуляція

Сутність частотної маніпуляції (ЧМн, FSK – Frequency Shift Keying) полягає у формуванні синусоїдального коливання частоти f_1 за передавання від'ємної елементарної послідовності й синусоїдального коливання частоти f_2 за передавання додатної послідовності. Зсувом Δf_3 називається різниця цих частот:

$$\Delta f_3 = f_2 - f_1 \quad (1.1)$$

За тривалості послідовності T , під швидкістю маніпуляції ν розуміють кількість елементарних послідовностей на секунду:

$$\nu = 1/T \quad (1.2)$$

Оскільки період маніпуляції становить величину $T_m = 2 T$, то частота маніпуляції F :

$$F = 1/(2 \cdot T) \quad (1.3)$$

На рис. 1.1 наведено часові діаграми інформаційного повідомлення (а), сигналу частотної маніпуляції на виході формувача (б), сигналу частотної маніпуляції на вході демодулятора за наявності завад й спотворень у передавальному каналі (в), сигналу на виході частотного детектора (г) й сигналу на виході формувача елементарних послідовностей (д).

Рис. 1.1 д описує роботу формувача елементарних послідовностей для випадку формування згідно знаку вхідного сигналу: додатному вхідному сигналові відповідає сталому додатному рівневі вихідного сигналу, а від'ємному рівневі вхідного сигналу – сталий від'ємний рівень вихідного сигналу.

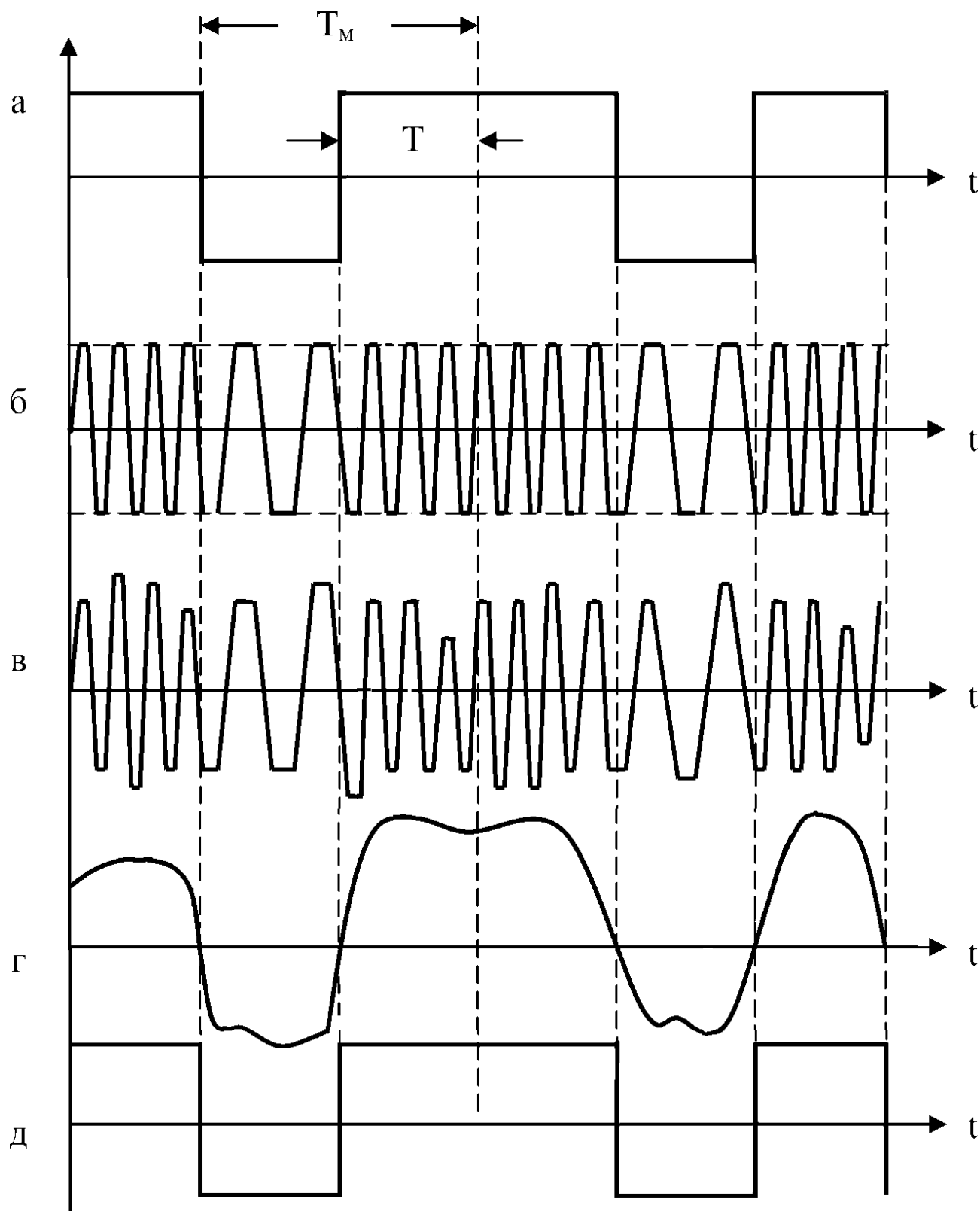


Рисунок 1.1 – Модулятор і демодулятор для двійкової частотної маніпуляції

Замість формування можливих дискретних фазових станів і переходів між ними стрибками, можливе втілення неперервного процесу переходу від одного фазового стану до іншого. Якщо сигнальна крапка під час зміни фази

залишатиметься на колі одиничного радіуса, то це забезпечить незмінність амплітуди радіосигналу.

Миттєва частота будь-якого вузькосмугового коливання може бути визначена, як похідна в часі від повної фази:

$$\frac{d}{dt}[2\pi f_0 + \varphi(t)] = 2\pi f_0 + \frac{d}{dt}\varphi(t) = \omega_0 + \Omega(t) \quad (1.4)$$

З аналізу вищезазначеної формули виходить, що фазову маніпуляцію з неперервною зміною фази можна розглядати як частотну маніпуляцію, де частота носійного коливання виступає параметром, значення якого мусить змінюватися в залежності від сигналу модуляції.

1.2.1 Двійкова частотна маніпуляція

Для двійкової частотної маніпуляції (ЧМ), частота носійного коливання із сталою амплітудою може мати лише два значення та змінюється стрибками відповідно до зміни сигналу модуляції. В залежності від способу зміни частоти, вихідний частотно-модульований сигнал матиме або розривну фазу, або миттєву фазу, що неперервно змінюється між сусідніми бітами.

У загальному випадку, сигнал з n-рівневою частотною маніпуляцією можна подати у такому вигляді:

$$x(t) = A \cos \left\{ \left[\omega_0 + \frac{m_n(t) \Delta \omega}{2} \right] t \right\} \quad (1.5)$$

Аналогічно як і для різновидів фазової маніпуляції, під час здійснення двійкової ЧМ, течія інформаційних розрядів перетворюється на послідовність прямокутних імпульсів додатної та від'ємної полярностей (формат NRZ без сталої складової).

За такої дворівневої амплітудної маніпуляції, на інтервалі $0 \leq t \leq T$, радіосигнал з ЧМ можна подати у вигляді:

а) за передавання логічної "одиниці":

$$s(t) = A \cos \left(\omega_0 + \frac{\Delta \omega}{2} \right) t ; \quad (1.6)$$

б) передавання логічного "нуля":

$$s(t) = A \cos \left(\omega_0 - \frac{\Delta \omega}{2} \right) t , \quad (1.7)$$

де $\frac{\Delta \omega}{2}$ – відхилення миттєвого значення частоти радіосигналу від центральної частоти ω_0 , або девіація частоти.

Необхідно зазначити, що методи формування ЧМ з розривною фазою (наприклад, комутація відповідно до закону маніпуляції двох незалежних автогенераторів з різними значеннями частот власних коливань), призводять до неприпустимого розширення спектру радіосигналу. Тому вони практично не застосовуються у системах зв'язку з рухомими об'єктами.

Узагальнений метод формування частотно-маніпульованого сигналу з неперервною зміною фази сумісно з простими втіленнями модулятора та демодулятора, наведено на рис. 1.2.

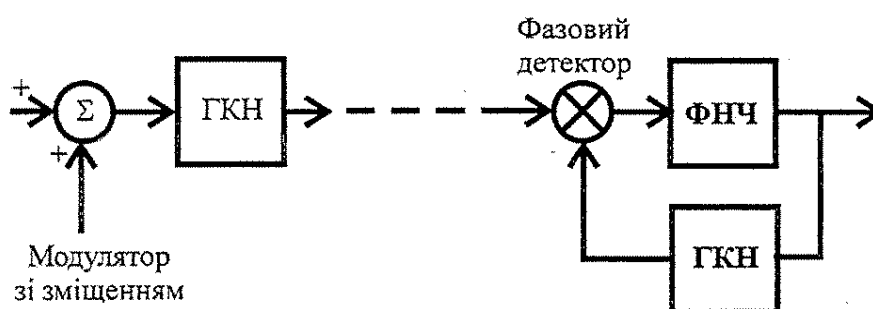


Рисунок 1.2 – Модулятор і демодулятор для двійкової частотної маніпуляції

Основним елементом модулятора є генератор, що керується наругою (ГКН). ГКН – це автогенератор, частоту генерації якого можна лінійно змінювати у

визначеному частотному діапазоні за допомогою напруги керування.

Для ГКН забезпечено зміщення таким чином, щоб за відсутності модулюючого сигналу, частота ГКН дорівнювала б частоті носійного коливання ω_0 . В принципі, такий спосіб маніпуляції подібний до методу формування частотної маніпуляції в аналогових системах. Але тепер модулюючий сигнал є цифровим і має тільки два значення. Для такого радіосигналу можна записати:

$$s(t) = A \cos[\omega_0 t + \varphi(t)] = A \cos \left[2\pi f_0 + 2\pi k_f \int_{-\infty}^t u(\tau) d\tau \right], \quad (1.8)$$

де $u(t)$ – модулюючий сигнал у вигляді послідовності двополярних імпульсів, який має принципово розривний характер,

k_f – крутизна характеристики регулювання або чутливість ГКН.

Оскільки відхилення фази радіосигналу від фази носійного коливання пропорційне інтегралові від $u(\tau)$, то $\varphi(t)$ є неперервною функцією. Так, якщо амплітуда послідовності модулюючих імпульсів b_i на інтервалі інформаційного біту може набувати тільки значення ± 1 , то з (2.13) випливає:

$$s(t) = A \cdot \cos[2\pi f_0 t + 2\pi k_f b_i t] \quad (1.9)$$

Значення похідної від повної фази у цьому випадку наступне:

$$\frac{d}{dt}[2\pi f_0 t + 2\pi k_f b_i t] = 2\pi(f_0 + k_f b_i) \quad (1.10)$$

Відповідно до (1.10), зміщення частоти становить $\Delta f = k_f b_i$. Для $b_i = +1$ значення частоти носійного коливання дорівнює $f_b = f_0 + k_f |b_i|$ (логічна "одиниця"), а для $b_i = -1$ (логічний "нуль") - $f_n = f_0 - k_f |b_i|$, що узгоджується з виразами (1.6) й (1.7). Різниця між миттєвими значеннями частоти становить $\Delta f = f_b - f_n = 2k_f |b_i|$, а індекс частотної маніпуляції дорівнює:

$$h_{\text{ЧМ}} = \frac{\Delta f}{F} = \frac{2k_f |b_i|}{F}, \quad (1.11)$$

де $F=1/T$ звичайно називають частотою маніпуляції.

Демодулятор здійснено на основі системи фазового автопідлаштування (ФАП), яка містить у своєму складі ГКН, аналогічний до ГКН модулятора, фазовий детектор (ФД) і фільтр нижніх частот (ФНЧ). У такій конфігурації, система ФАП практично втілює схему синхронно – фазового частотного детектора. В ідеальному випадку, вихідна напруга ФНЧ, яка керує частотою ГКН демодулятора, повторюватиме напругу на вході ГКН модулятора, тобто, відтворюватиме закон маніпуляції.

Але у загальному випадку, двійкова частотна маніпуляція забезпечує гірші значення коефіцієнта бітової помилки (BER) порівняно з різновидами цифрової фазової маніпуляції, особливо під час передавання сигналу в обмеженій смузі частот.

З цієї причини, двійкова ЧМ не знайшла широкого застосування в цифрових видах радіозв'язку в діапазоні НВЧ, де необхідно забезпечити як високу якість, так і високу щільність передавання.

1.2.2 Частотна маніпуляція з мінімальним зсувом

Однією з особливих форм частотної маніпуляції є частотна маніпуляція з мінімальним зсувом (MSK – Minimum Shift Keying).

Практично, цей вид маніпуляції є двійковою частотною маніпуляцією з двома відповідними інформаційному сигналові частотами, які обираються з умови, щоб на інтервалі часу, рівному тактовому імпульсу, фазовий набіг між цими частотами дорівнював точно 180° .

Крім того, фаза радіосигналу підтримується неперервною під час зміни фази каналних символів. З цієї причини, сигнал з MSK відноситься до класу сигналів з частотною маніпуляцією і неперервною фазою.

Поточна фаза радіосигналу дорівнює:

$$\varphi(t) = \omega_0 t \pm \pi t / 2T \quad (1.12)$$

Для втілення методу MSK за квадратурною схемою вхідна послідовність інформаційних біт також розбивається на дві підпослідовності непарних та парних біт і тоді модульований сигнал можна подати виразом:

$$s(t) = \pm \cos(\omega_0 t \pm \pi t / 2T), \quad (n-1)T \leq t \leq nT \quad (1.13)$$

Таким чином, зміна знаку початкової фази у аргументі виразу (1.13) означає перехід миттєвого значення частоти від f_n до f_v або у зворотному напрямку. Зміна ж загального знаку у виразі (1.13), еквівалентне зміні початкової фази на π , дозволяє зберегти неперервність фази під час переходу до нового значення частоти.

Термін “мінімальний зсув”, що фігурує в назві методу, означає, що різниця частот $\Delta f = f_v - f_n = F/2$ саме й є мінімально можливим зсувом частоти, для якого забезпечується повна ортогональність коливань з частотами f_n , f_v на інтервалі тривалості одного біта. Індекс частотної маніпуляції для MSK рівняється $h_{\text{ЧМ}} = \Delta f / F = 0,5$.

Амплітуда радіосигналу для MSK має сталі значення. Дійсно, для будь-якого моменту часу значення обвідної визначається як:

$$A_s(t) = \sqrt{A^2 u_I^2 \cos^2\left(\frac{\pi t}{2T}\right) + A^2 u_Q^2 \sin^2\left(\frac{\pi t}{2T}\right)} = A \quad (1.14)$$

оскільки квадратурні каналні компоненти c_{2i-1} , c_{2i} модулюючого сигналу задовольняють умовам:

$$u_I^2 = u_Q^2 = 1 \quad (1.15)$$

i

$$\cos^2\left(\frac{\pi t}{2T}\right) + \sin^2\left(\frac{\pi t}{2T}\right) = 1 \quad (1.16)$$

Через те, що обвідна для MSK має постійне значення, то підсилювач потужності радіочастоти може працювати в нелінійному режимі без суттєвого спотворення закону маніпуляції. Це дозволяє використовувати у вихідних каскадах передавачів підсилювачі потужності в найбільш оптимальних енергетичних режимах.

Фазова траєкторія та сигнальне сузір'я для методу MSK наведені на мал. 1.3, а) і 1.3, б), відповідно.

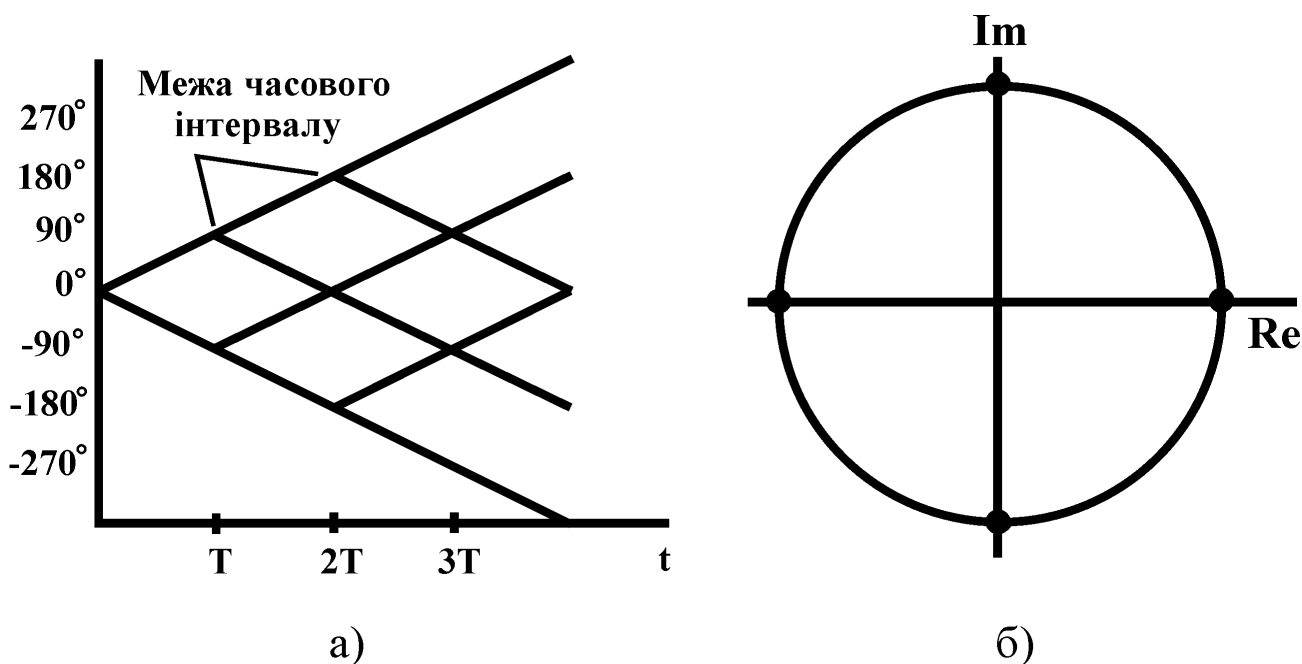


Рисунок 1.3 – Фазова траєкторія (а) і сигнальне сузір'я (б) для сигналів MSK

Через сталість обвідної, сигнали з MSK виявляються спектрально ефективнішими порівняно до звичайної частотної маніпуляції й різновидами квадратурної фазової маніпуляції. До того ж, відсутність розривів фази забезпечує спектру більшу компактність. Тому смуга частот, що займає MSK сигнал, скорочується більш ніж на порядок:

$$\Delta f_{99} \approx \frac{1,2}{T} \quad (1.17)$$

Але, якщо проаналізувати аналітичний вираз для повної фази (1.12) та відповідну фазову траєкторію, то можна зробити висновок, що поточна фаза описується лінійно-ламанною функцією і хоча залежність зберігає неперервність, але вона не є гладкою. Тому, перша похідна у часі для точок зламу є розривною.

Якщо провести згладжування фазової траєкторії у точках розриву похідної, то можна додатково зменшити ширину спектра MSK сигналу. Досягти цього ефекту можливо, якщо застосувати додаткову фільтрацію модулюючого сигналу до його перенесення на високу частоту. Такий метод модуляції використовується у стандарті GSM і отримав назву гауссівської частотної модуляції з мінімальним зсувом (GMSK).

1.2.3 Гауссівська частотна маніпуляція з мінімальним зсувом

Сигнал із гауссівської модуляцією з мінімальним зсувом можна також легко отримати за допомогою ГКН. На рис. 1.4 наведено структурну схему модулятора сигналів GMSK зі значенням коефіцієнту модуляції $m = (f_a - f_i)T = 0,5$.

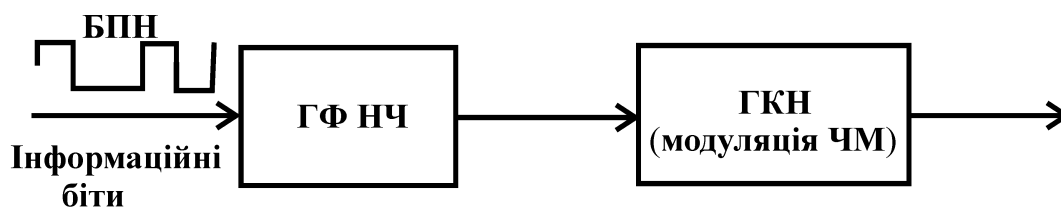


Рисунок 1.4 – Модулятор сигналів MSK із гауссівською попередньою фільтрацією

На вхід гауссівського фільтру нижніх частот подається симетричний сигнал у форматі БПН, який може бути представленим у вигляді:

$$u(t) = \sum_{k=0}^{N-1} \varphi_T(t - kT) \cdot d_r^{(k)}, \quad (1.18)$$

де функція $\phi_T(t)$ визначається як:

$$\phi_T(t) = \begin{cases} 1, & (0 \leq t \leq T), \\ 0, & (T < t, t < 0), \end{cases}, \quad (1.19)$$

а значення $d_r^{(k)}$

$$d_r^{(k)} = \begin{cases} 1, & r = 1, \\ -1, & r = 2. \end{cases}, \quad (1.20)$$

Новим елементом у порівнянні зі схемою чистого методу MSK є гауссівський фільтр нижніх частот (ГФНЧ) з амплітудно-частотною характеристикою $K(f)$ і гауссівським імпульсним відкликом $g(t)$, що визначаються наступними рівняннями [6]:

$$K(f) = \exp \left\{ - \left(\frac{f}{B} \right)^2 \cdot \frac{\ln 2}{2} \right\}, \quad (1.21)$$

$$g(t) = B \cdot \sqrt{\frac{2\pi}{\ln 2}} \exp \left\{ - \frac{2\pi^2 B^2}{\ln 2} t^2 \right\}, \quad (1.22)$$

де B – ширина смуги пропускання ГФНЧ за рівнем -3 дБ.

Сигнал на виході ГФНЧ дорівнює

$$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} r(t - kT) \cdot d_r^{(k)}, \quad (1.23)$$

де $r(t)$ – відклик гауссівського ФНЧ на кожний імпульс вхідної послідовності інформаційних біт, що визначається згортою прямокутного вхідного імпульсу і імпульсної характеристики фільтра [6, 15]:

$$r(t) = \phi_T(t) \cdot g(t) = \int_t^{t+T} g(\tau) d\tau = \frac{1}{2} \left\{ \operatorname{erf} \left[-\sqrt{\frac{2}{\ln 2}} \cdot \pi B t \right] + \operatorname{erf} \left[-\sqrt{\frac{2}{\ln 2}} \cdot \pi B (t+T) \right] \right\}, \quad (1.24)$$

а функція $\text{erf}(t)$ визначається як

$$\text{erf}(t) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^t \exp(-\tau^2) d\tau \quad (1.25)$$

На рис. 1.5 наведені вихідна реакція ГФНЧ для різних значень добутку BT .

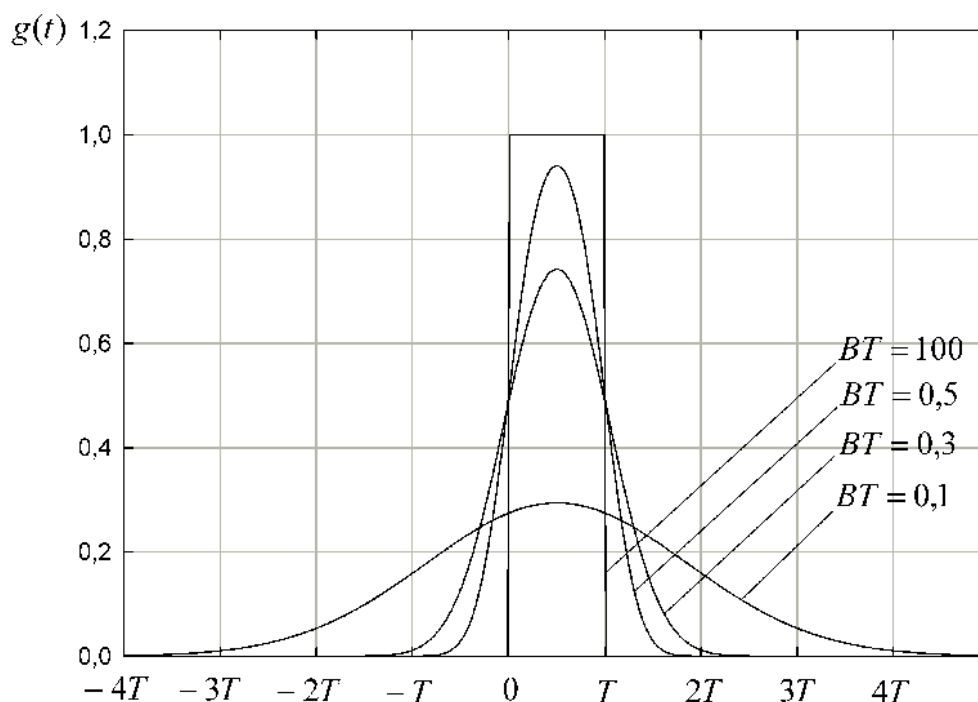


Рисунок 1.5 – Сигнал на виході ГФНЧ для різних значень добутку BT

З аналізу графіків випливає, що для значення $BT=100$ тривалість імпульсного відклику наближується до тривалості імпульсу на вході фільтра і згладжування фазової траєкторії досить незначне. За зменшенням смуги пропускання ($BT=0,5$; $BT=0,3$) реакція фільтра на одиничний імпульс наближується до гауссівської кривої, що дозволяє згладити фазові траєкторії і отримати більш компактний спектр, тобто підвищити спектральну ефективність. Збільшення смуги пропускання до нескінченності наближує форму відклику до форми вхідного імпульсу і для випадку $BT = \infty$ можна вважати, що фільтр відсутній, а схема формує чистий MSK сигнал.

Вихідний сигнал ЧМ модулятора із використанням ГКН можна визначити

як:

$$y(t) = \cos[2\pi f_0 t + \varphi(t)], \quad (1.26)$$

де

$$\varphi(t) = k_0 \int_{-\infty}^t s(v) dv = k_0 \int_{-\infty}^t \sum_{k=-\infty}^{k=\infty} d_r^k \cdot r(v - kT) dv, \quad (1.27)$$

k_0 – коефіцієнт пропорційності, що визначається крутизною модуляційної характеристики ЧМ модулятора із використанням ГКН. Як випливає із попереднього аналізу для звичайної GMSK внесок у фазовий зсув модульованого сигналу від окремого імпульсу $r(t)$ повинен складати $\pi/2$ і з цієї умови обирається k_0 :

$$k_0 \int_{-\infty}^{+\infty} r(t) dt = \pi / 2, \quad (1.28)$$

Індекс модуляції m для сигналів із гауссівською маніпуляцією із мінімальними зсувом повинен точно бути рівним 0,5. За виконанням таких умов сигнал $y(t)$ є сигналом із постійною обвідною і компактним спектром [6].

Необхідно відзначити, що головною перевагою розглянутого ЧМ модулятора, у першу чергу, є відносно проста реалізація. Але його застосування у системах зв'язку можливе тільки у сполученні із когерентними методами демодуляції, для яких виконання умови $m=0,5$ є досить жорсткою вимогою. До того ж, індекс модуляції у звичайних ГКН підлягає суттєвим часовим і температурним змінам.

Тому у системах мобільного зв'язку для реалізації методу GMSK використовується квадратурна схема із використанням низькочастотного процесору.

Нескладно довести, що за допомогою квадратурної схеми формується такий же сигнал GMSK, що і у схемі з використанням ГКН. Дійсно, надамо сигнал на виході ЧМ модулятора у вигляді:

$$\begin{aligned}
 y(t) &= \cos[2\pi f_0 t + \varphi(t)] = \cos 2\pi f_0 t \cdot \cos \varphi(t) - \sin 2\pi f_0 t \cdot \sin \varphi(t) = \\
 &= \cos 2\pi f_0 t \cdot \cos k_0 \left[\int_{-\infty}^t s(v) dv \right] - \sin 2\pi f_0 t \cdot \sin k_0 \left[\int_{-\infty}^t s(v) dv \right] \quad (1.29)
 \end{aligned}$$

Якщо за допомогою квадратурної схеми реалізувати праву частину рівняння (1.29), то на виході модулятора утворюється результуючий сигнал GMSK із постійною обвідною і вільний від міжсимвольної інтерференції і фазового джитера. Відповідна структурна схема модулятора GMSK, що реалізована за наведеним алгоритмом наведена на рис. 1.6 .

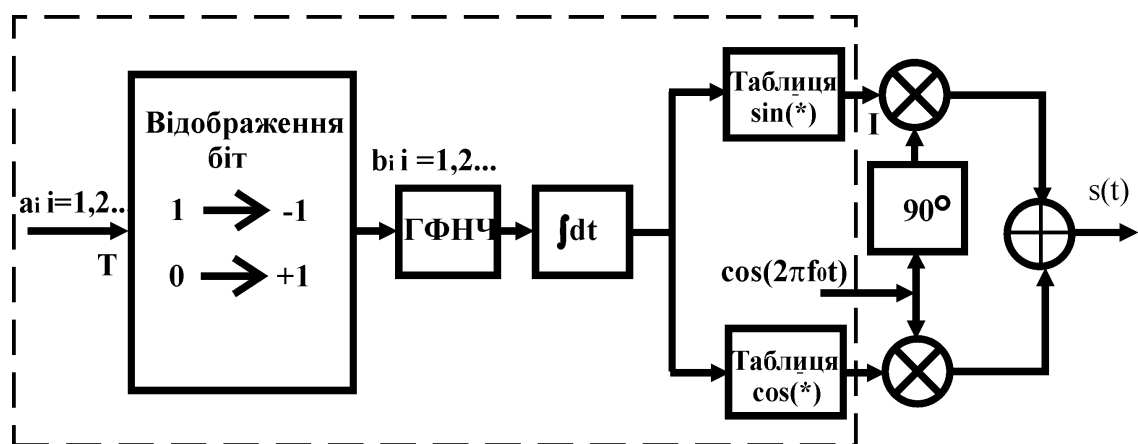


Рисунок 1.6 – Функціональна схема модулятора для методу GMSK

Для систем стільникового зв'язку стандарту GSM ширина смуги пропускання ГФНЧ за рівнем -3 дБ у відповідності до рис. 1.5 обирається з умови:

$$BT = 0,3$$

або

$$B = 0,3F,$$

де F і T – відповідно частота і період вхідної бітової модулюючої послідовності.

Оскільки у стандарті GSM $F = 270,833$ кГц, то відповідно ширина смуги пропускання гауссівського фільтра $B = 81,3$ кГц.

Відповідні фазова траєкторія та сигнальне сузір'я для методу GMSK наведені на рис. 1.7, а і 1.7, б відповідно.

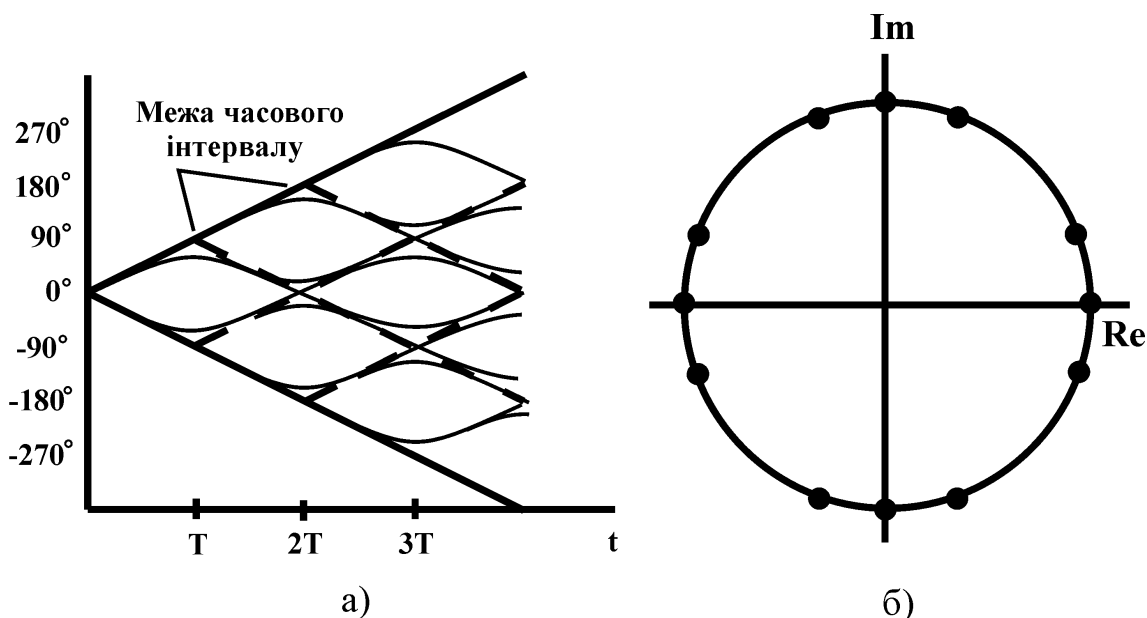


Рисунок 1.7 – Фазова траєкторія та сигнальне сузір'я для методу GMSK

Введення гауссівського фільтра з метою фільтрації прямокутних імпульсів до модулятора сприяє зменшенню розривності фази носія (рис. 1.7) і дозволяє звужити головну пелюстку, а також зменшити рівень бокових пелюсток енергетичного спектру. Це запобігає зростанню міжсимвольної інтерференції, яка виникає під час зменшення смуги частот за допомогою фільтрації. Крім того, постійність обвідної радіосигналу сприяє мінімальному розширенню спектра частот за рахунок подальшого нелінійного підсилення.

Метод модуляції GMSK також використовується у європейському стандарті DECT бездротового телефону, але з іншим значенням добутку $BT = 0,5$.

2 МОДЕЛЮВАННЯ КАНАЛІВ ЗВ'ЯЗКУ З ВИКОРИСТАННЯМ МОДЕМІВ GMSK

2.1 Частотна маніпуляція з мінімальним зсувом на базі методу OQPSK

Загальну блок – схему алгоритму моделювання модему для методу GMSK наведено на рис. 2.1.

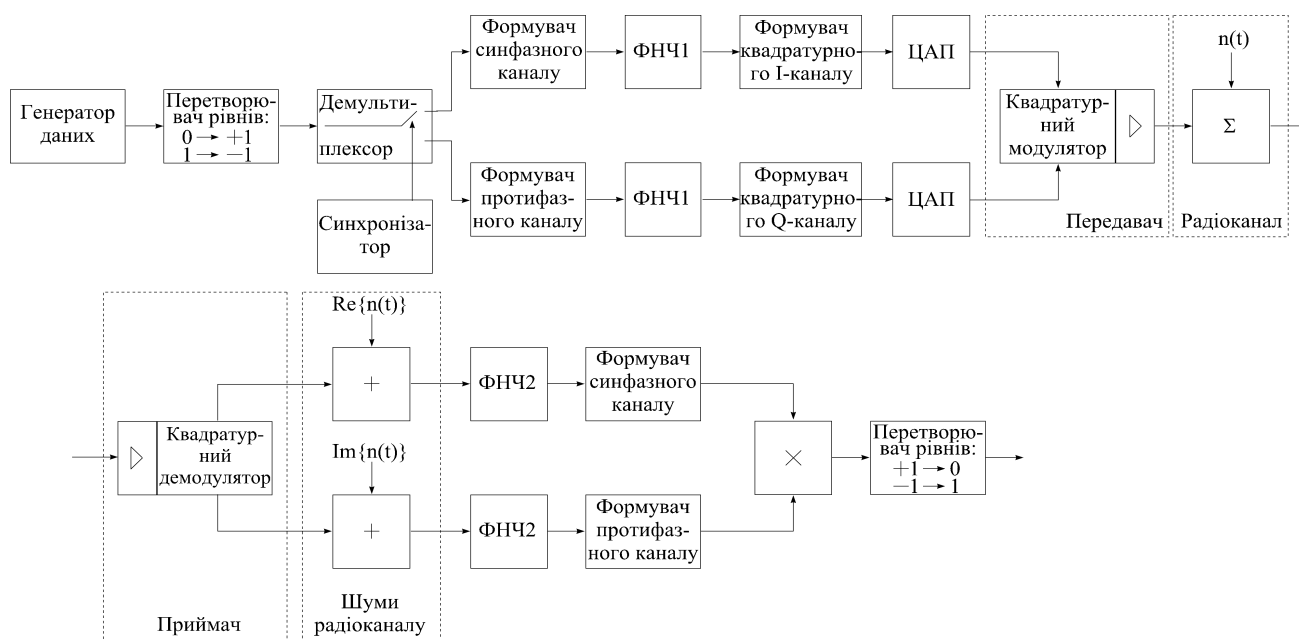


Рисунок 2.1 – Алгоритм моделювання модему для методу GMSK

Для проведення моделювання процесу модуляції за методом GMSK і розрахунку ймовірності бітової помилки використовуються програми, повний текст яких наведено у додатку А. Основною програмою є програма gmsk.m.

2.2 Опис основної програми формування сигналів GMSK

2.2.1 Призначення змінних

Введемо такі позначення:

- sr [кбіт/с] – швидкість передачі символів;
- br [кбіт/с] – швидкість передачі інформаційних бітів;
- ml – кількість бітів, що передаються за один символ. Для даного варіанту $ml=1$;
- nd – кількість переданих символів, для яких буде проводиться розрахунок ймовірності помилкового прийому за одну реалізацію випадкового процесу (один цикл моделювання). Задамося значенням nd рівним 1000;
- $ebn0$ – початкове значення енергії, що приходить на один біт E_b , до спектральної щільності шуму N_0 . Як відомо, у цифрових системах зв'язку аналогом відношення сигнал/шум, яке характеризує аналогові системи, виступає саме параметр E_b/N_0 , оскільки для цифрової системи необхідно враховувати швидкість передавання інформаційних бітів у визначеній смузі частот;

IPOINT – порядок передискритизації.

В термінах алгоритмічної мови програмування середовища Matlab блок введення початкових даних набуває наступного вигляду:

```
% msk.m
%*****Preparation part*****
sr=256000.0;    % Symbol rate
ml=1;          % ml:Number of modulation levels
br=sr.*ml;     % Bit rate
nd = 1000;     % Number of symbols that simulates in each loop
ebn0=3;        % Eb/N0
IPOINT=8;      % Number of oversamples
```

Перші два рядки, що починаються з символу % є коментарями програми, які визначають ім'я головної програми, відповідно, метод модуляції і, власне, назву підпрограми – підготовча частина.

Швидкість передавання символів задана рівною 256000 біт/с, кількість бітів ml, що переносяться за один радіосимвол, яка для GMSK становить одиницю, бітова швидкість br визначається як результат перемноження символної швидкості на параметр ml, що у випадку GMSK означає, що бітова швидкість дорівнює символній швидкості.

Кількість символів nd, що підлягають аналізу для однієї реалізації випадкового процесу, прийнята рівною 1000, а початкове значення параметру $E_b/N=3$.

Задамо кількість крапок для виведення на екран графіків irfn=21.

Задамо ширини смуги пропускання гауссівських фільтрів на рівні $B=0,25$ (для передавача) й $B2=0,6$ (для приймача) від максимальної частоти дискретизації вхідних даних, а також розрахуємо коефіцієнти xh й xh2 цих цифрових фільтрів, відповідно.

```
%***** Filter initialization *****
```

```
irfn=21;    % Number of taps
```

```
B=0.25*sr;
```

```
B2=0.6*sr;
```

```
[xh] = gaussf(B,irfn,IPOINT,sr,1); % Transmitter filter coefficients
```

```
[xh2] = gaussf(B2,irfn,IPOINT,sr,0); % Reciever filter coefficients
```

Подалі починається основне тіло програми.

Введемо наступні позначення:

а) nloop – кількість циклів моделювання;

б) nod – кількість переданих бітів;

в) noe – кількість помилково декодованих бітів на приймальній стороні.

Для того, щоб адекватно визначити імовірнісні характеристики каналу зв'язку, задамо кількість циклів моделювання (кількість реалізацій випадкового процесу) достатньо великою – приймаємо значення $nloop=100$. Початкові значення кількості переданих і помилково декодованих бітів приймаються рівними нулеві.

Змінну циклу позначимо через **iii**. Початок циклу задається оператором **for iii=1:nloop**. Відповідний фрагмент програми набуває наступного вигляду:

```
%*****Start calculations*****

nloop=1000;% Number of simulation loops
noe=0;      % Number of error data
nod=0;      % Number of transmitted data

for iii=1:nloop
....
Тіло циклу
...
end
```

Після визначення усіх змінних, можна приступити безпосередньо до моделювання.

2.2.2 Блок "Генератор даних"

З метою створення вхідної дії, генерується випадкова інформаційна послідовність, усі елементи якої обираються з ансамблю $\{0,1\}$ (див. блок "Генератор даних" на блок-схемі 2.1 алгоритму моделювання модему для методу GMSK). Вхідні дані задаються у вигляді вектора розмірністю 1,nd за допомогою наступної команди:

```
%***** Data generation *****
```

```
data1=rand(1,nd) > 0.5; % rand: built in function
```

Згенеровану псевдовипадкову послідовність вхідних даних, поданих у вигляді цифрових відліків, наведено на рис. 2.2 (подано перші сорок відліків, кількість відліків визначається відповідним оператором виводу середовища Matlab).

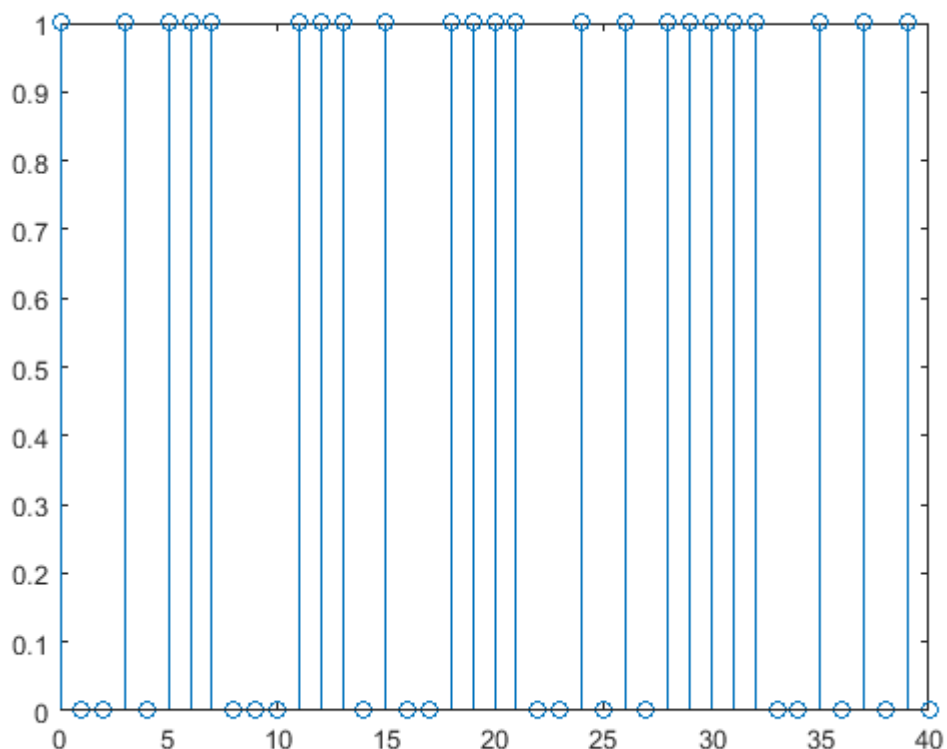


Рисунок 2.2 – Послідовність вхідних даних

2.2.3 Формування двополярної послідовності у форматі NRZ

Наступним кроком є перетворення однополярних цифрових відліків на дві двополярні послідовності (парних й непарних вхідних даних) у форматі NRZ (тобто рівень логічної одиниці відповідає цифровому відліку з рівнем "+1", а рівень логічного нуля – цифровому відліку з рівнем "-1"):

```
%***** GMSK modulation *****
```

```
data11=2*data1-1;
```

У першому рядку здійснюється перетворення рівнів вхідного сигналу за алгоритмом NRZ, внаслідок чого, з однополярних відліків утворюється двополярний сигнал (рис. 2.3).

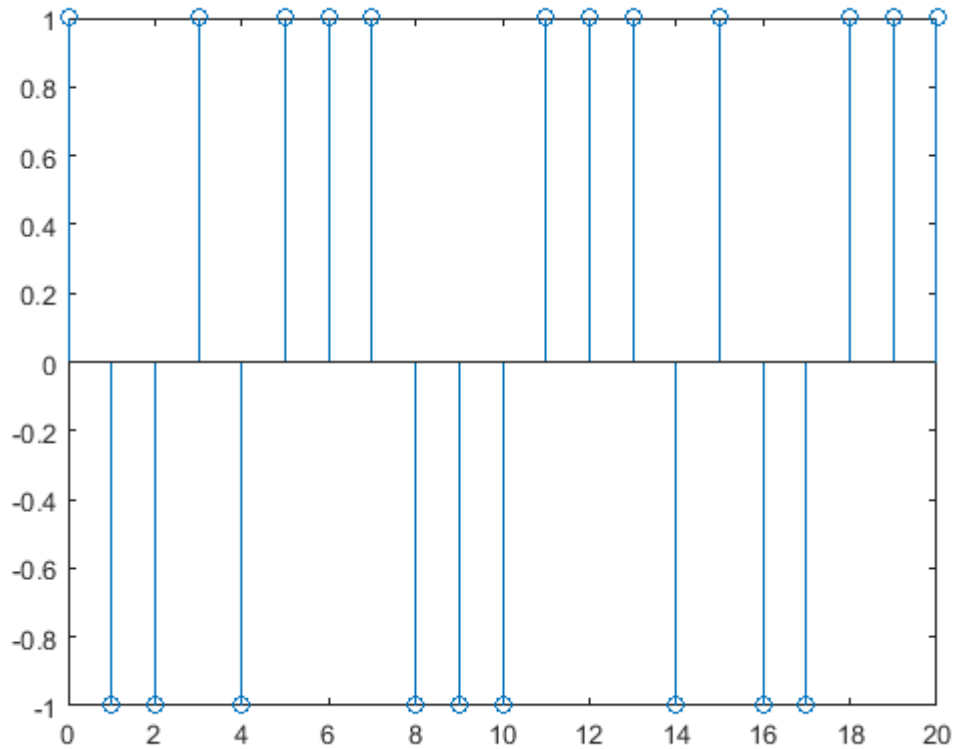


Рисунок 2.3 – Послідовність вхідних відліків у форматі NRZ

2.2.4 Передискретизація даних

Передискретизація даних здійснюється наступним оператором:

```
data2=oversamp(data11,length(data11),IPOINT);
```

Внаслідок цієї операції вхідний сигнал збільшується у IPOINT: між кожними двома вхідними відліками додається $IPOINT-1=8-1=7$ нульових значень (рис. 2.4)

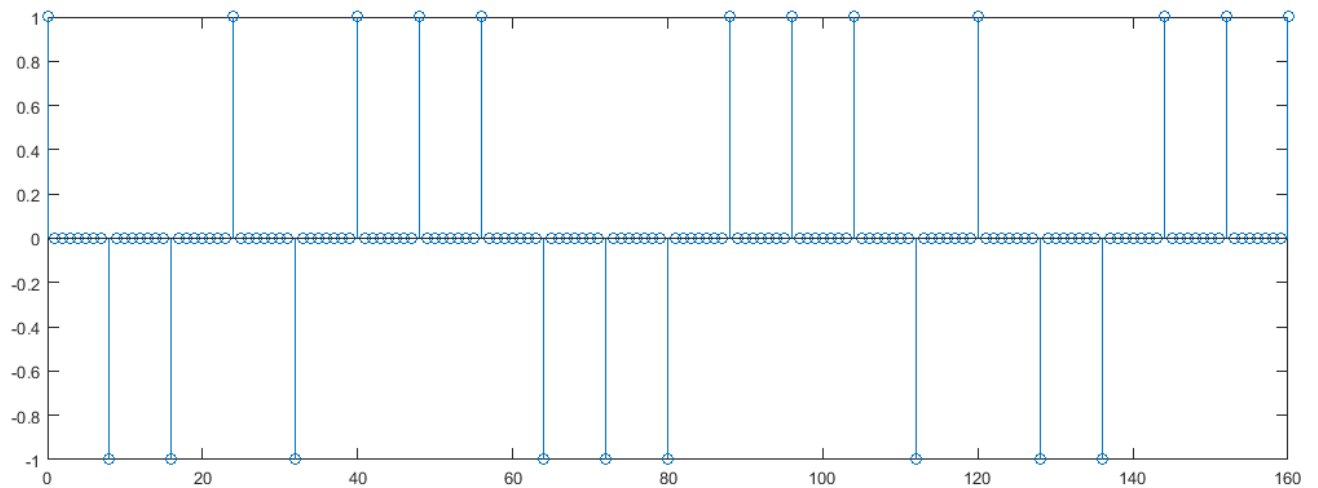


Рисунок 2.4 – Передискретизовані відліки вхідного сигналу

2.2.5 Фільтрація вхідного сигналу

Фільтрація вхідного сигналу здійснюється шляхом обчислення операції згортки над передискретизованими відліками вхідного сигналу (рис. 2.4) та раніше розрахованими коефіцієнтами фільтру (рис. 2.5).

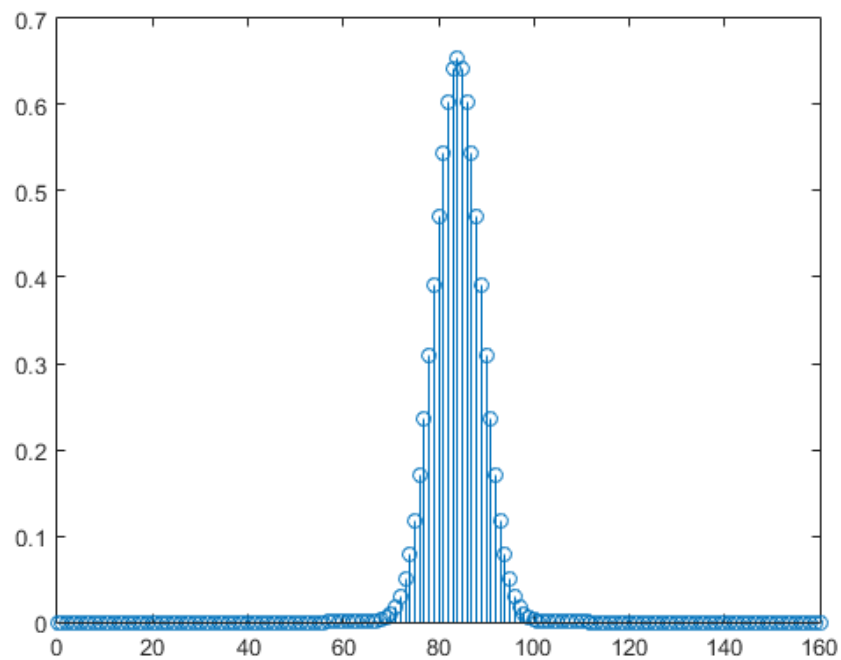


Рисунок 2.5 – Коефіцієнти гаусівського фільтру (на боці передавача)

Фільтрацію вхідного сигналу (рис. 2.6) здійснює наступна команда:

```
data3=conv(data2,xh);
```

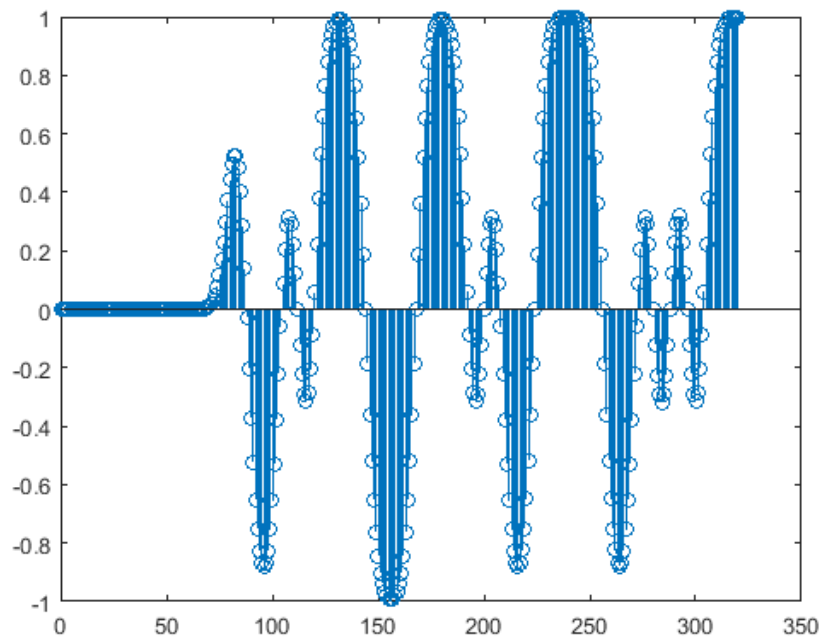


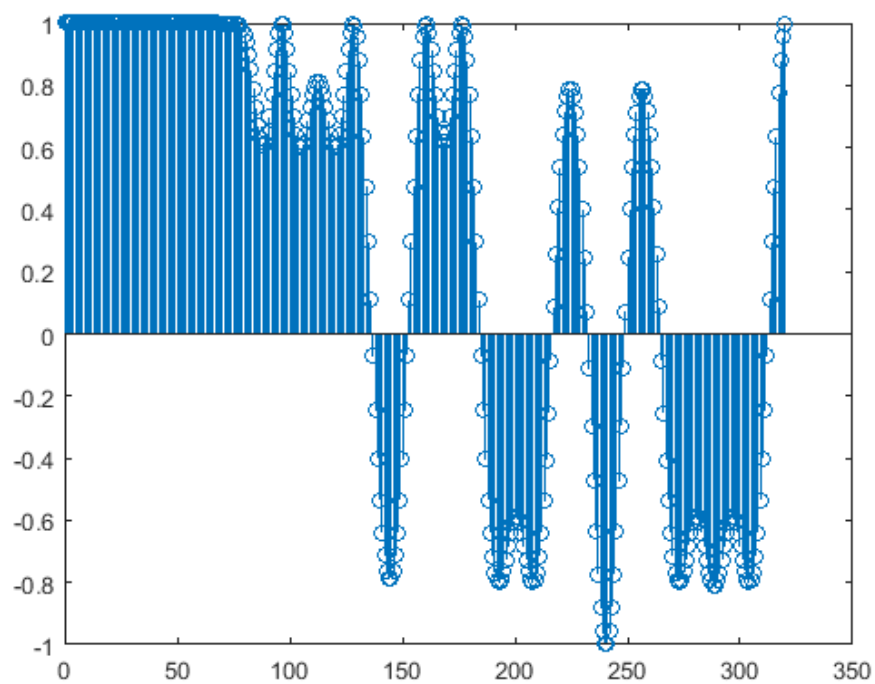
Рисунок 2.6 – Відліки сигналу на виході гаусівського фільтру
(на боці передавача)

2.2.6 Формування цифрових квадратурних каналів

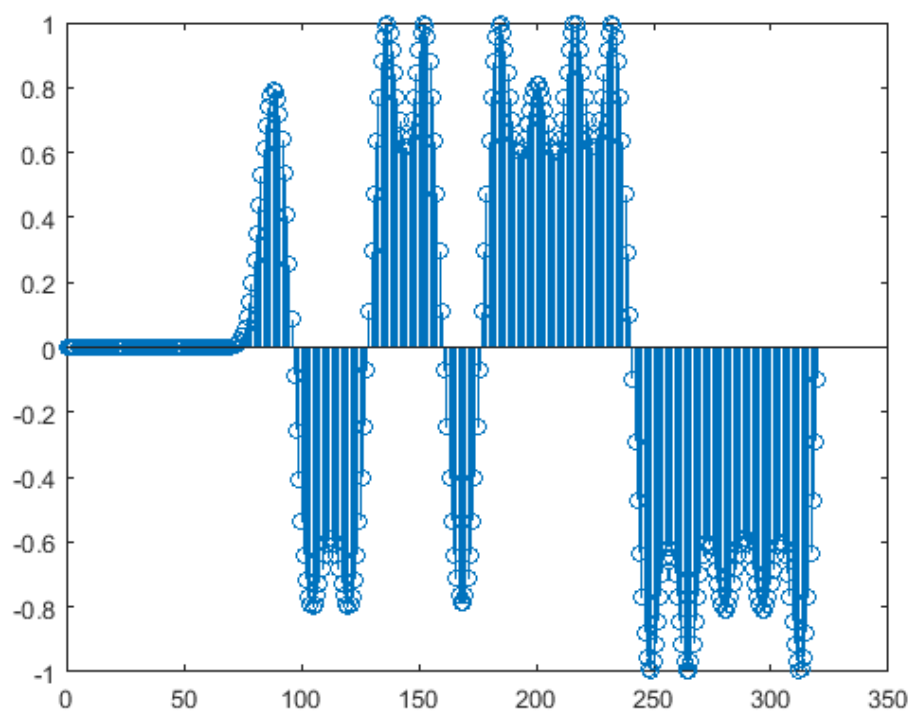
Формування цифрових квадратурних каналів здійснюється шляхом перемножування відліків відфільтрованого сигналу на поточні значення квадратурних складових носійної частоти:

```
th=zeros(1,length(data3)+1);
ich2=zeros(1,length(data3)+1);
qch2=zeros(1,length(data3)+1);
for ii=2:length(data3)+1
th(1,ii)=th(1,ii-1)+pi/2*data3(1,ii-1)./IPOINT;
end
ich2=cos(th);
qch2=sin(th);
```

Сформовані квадратурні складові наведені на рис. 2.7.



а)



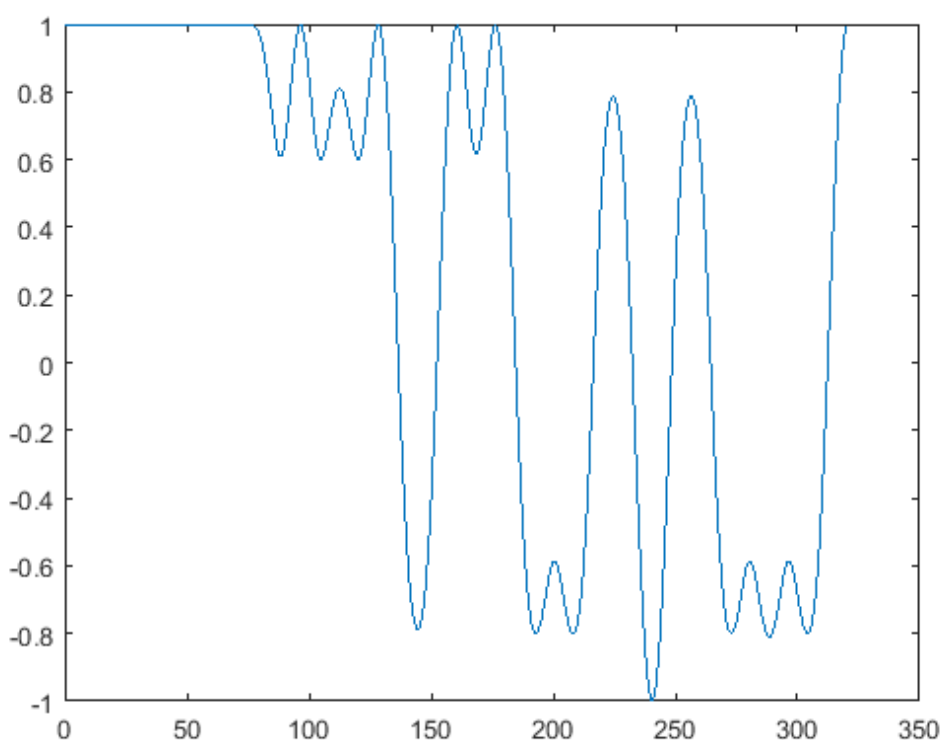
б)

Рисунок 2.7 – Квадратурні складові I-каналу (а) й Q-каналу (б)

2.2.7 Формування аналогових квадратурних маніпулюючих сигналів

Отримані сигнали у вигляді цифрових квадратурних складових необхідно подати на ЦАП з метою формування аналогових квадратурних маніпулюючих сигналів. Форму квадратурних модулюючих коливань наведено на рис. 2.9.

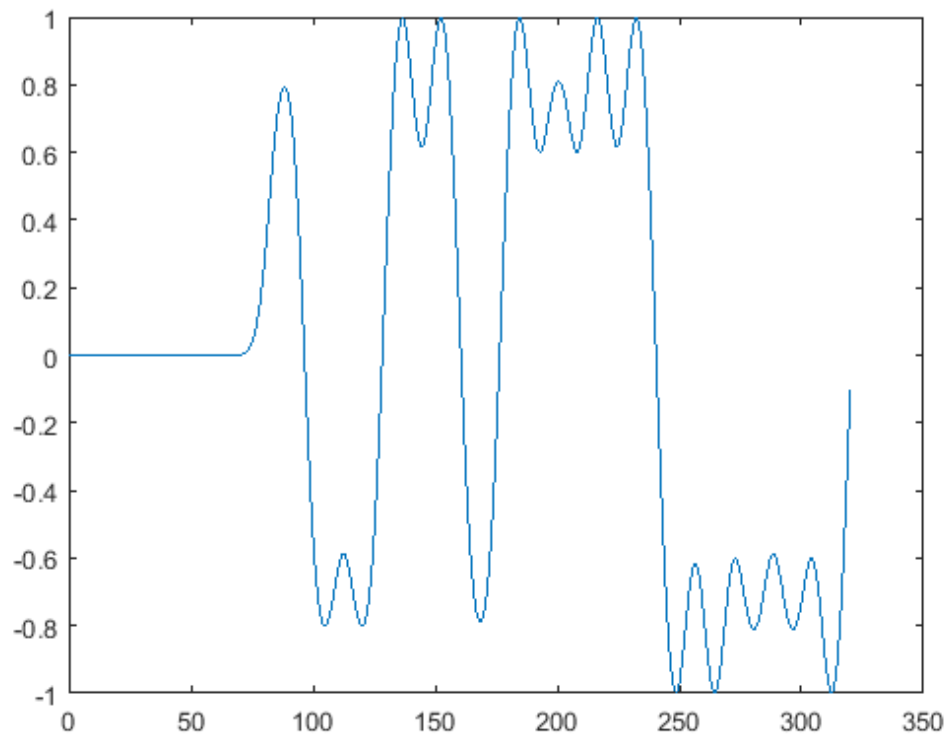
Сформований сигнал використовується для безпосередньої модуляції високочастотної носійної з наступним підсиленням у радіочастотному тракті і передачею до каналу зв'язку.



а)

Рисунок 2.10 – Квадратурні модулюючі коливання сигналів з GMSK

I-каналу



б)

Рисунок 2.9 – Квадратурні модулюючі коливання сигналів з GMSK
Q-каналу

2.3 Моделювання GMSK – сигналу на вході демодулятора

За моделювання GMSK – сигналу скористаємося алгоритмом, в якому MSK сигнал розглядається як FSK сигнал з безупинною зміною фази.

Як відомо, FSK сигнал з безупинною зміною фази можна подати так:

$$s(t) = A \cdot \cos[\omega_0 t + \varphi(t)], \quad (2.12)$$

$$\varphi(t) = 2\pi \cdot k_f \int_{-\infty}^t u(\tau) d\tau, \quad (2.13)$$

$$u(t) = \sum d_k \Psi_T(t - kT), \quad (2.14)$$

де Ψ_T – прямокутна функція:

$$\Psi_T = \begin{cases} 1, & 0 < t \leq T_b \\ 0, & t < 0, t > T_b \end{cases}, \quad (2.15)$$

де d_k – визначає значення рівня двохполярної модуляційної послідовності, що модулює ± 1 чи -1 .

Відповідно до (2.12)...(2.15) і структурної схеми рис. 2.15, пропонується наступний алгоритм формування квадратур модуляції.

В [3] показано, якщо задати значення індексу модуляції для FSK сигналу рівним $m = 2\Delta f T_b = 0,5$, то отримаємо MSK сигнал. Тому в програмі втілено наступний алгоритм формування безупинної фази:

$$\varphi(kT_b) - \varphi[(k-1)T_b] = 2\pi \cdot \Delta f \int_{(k-1)T_b}^{kT_b} u(\tau) d\tau, \quad (2.16)$$

чи

$$\begin{aligned} \varphi(kT_b) &= \varphi[(k-1)T_b] + 2\pi \cdot \Delta f \int_{(k-1)T_b}^{kT_b} u(\tau) d\tau = \\ &= \varphi[(k-1)T_b] + 2\pi \cdot \Delta f T_b \cdot d_k = \\ &= \varphi[(k-1)T_b] + \frac{\pi}{2} \cdot d_k, \quad (m = 2\Delta f T_b = 0,5). \end{aligned} \quad (2.17)$$

де $m = 2 \cdot \Delta f \cdot T_b = 0,5$.

З огляду на те, що на інтервалі $(k-1)T_b < t < kT_b$ фаза змінюється безупинно, остаточно отримуємо:

$$\varphi(kT_b) = \varphi[(k-1)T_b] + \frac{\pi}{2} \cdot d_k \frac{t - (k-1)T_b}{T_b} \quad (2.18)$$

Підставляючи значення $\phi(t)$ відповідно до (2.12) і функціональної схеми рис. **Error! Reference source not found.**, отримаємо GMSK сигнал.

У термінах Matlab, послідовність операторів наступна:

```
th=zeros(1,length(data2)+1);
ich2=zeros(1,length(data2)+1);
qch2= zeros(1,length(data2)+1);
for ii=2:length(data2)+1;
    th(1,ii)=th(1,ii-1)+pi/2*data2(1,ii-1)./IPOINT;
end
ich2=cos(th);
qch2=sin(th);
```

2.4 Моделювання шумів радіоканалу

На приймальному боці випромінений сигнал підлягає впливу білого гаусівського шуму (AWGN канал).

Визначимо алгоритм формування залежності коефіцієнта бітової помилки від відношення E_b/N_0 , де E_b – енергія , що приходить на один біт, а N_0 – спектральна щільність шуму.

Енергія, що приходить на один біт, визначається із співвідношення:

$$E_b = P_c T_b = \frac{P_c}{F} \quad [\text{Вт} \cdot \text{с/біт}], \quad (2.19)$$

де P_c – потужність сигналу;

$F=1/T_b$ – бітова швидкість.

Відповідно, спектральну щільність шуму можна визначити як:

$$N_0 = \frac{P_{\text{ш}}}{R} \quad [\text{Вт/Гц}], \quad (2.20)$$

де $P_{\text{ш}}$ – потужність сигналу;

R – символна швидкість.

Тоді поєднуючи (2.1), (2.2) можна отримати:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{P_c}{F} \cdot \frac{R}{P_{\text{ш}}} \quad , \quad (2.21)$$

або

$$P_{\text{ш}} = \frac{P_c}{F} \cdot \frac{R}{E_b / N_0} \quad (2.22)$$

Оскільки E_b/N_0 задається, як правило, в децибелах, то можна останнє рівняння записати у вигляді:

$$P_{\text{ш}} = \frac{P_c}{F} \cdot \frac{R}{10^{\frac{E_b / N_0}{10}}} \quad (2.23)$$

За моделювання передбачається, що амплітуда послідовності вхідних даних вимірюється у вольтах, тому шумовий сигнал теж мусить мати розмірність вольт. Враховуючи, що для загального варіанту застосування квадратурних модуляторів, шум однаково розподілений в I- та Q-каналах, введемо до програми шумову напругу attn :

$$\text{attn} = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot P_{\text{ш}}} \quad (2.24)$$

В програмі цей алгоритм втілено наступними операторами:

```
%***** Attenuation Calculation *****
spow=sum(ich21.*ich21+qch21.*qch21)/nd/2;
% sum: built in function
attn=0.5*spow*sr/br/2*10.^(-ebn0/10);
```

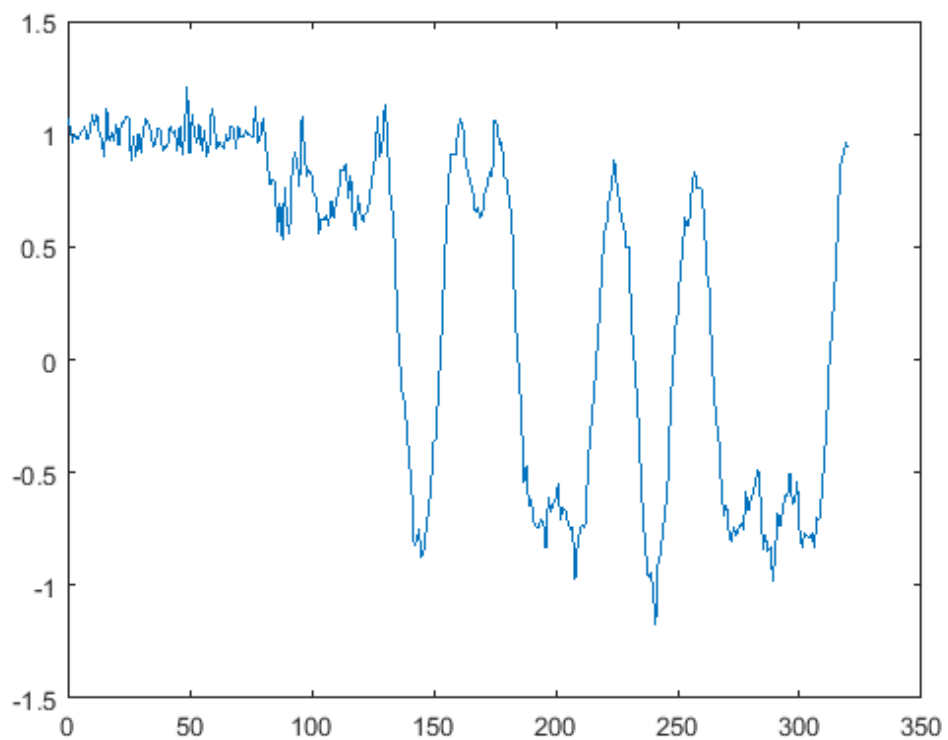
```
attn=sqrt(attn); % sqrt: built in function
```

```
%***** Add White Gaussian Noise (AWGN) *****
```

```
[ich3,qch3]= comb(ich2,qch2,attn);
```

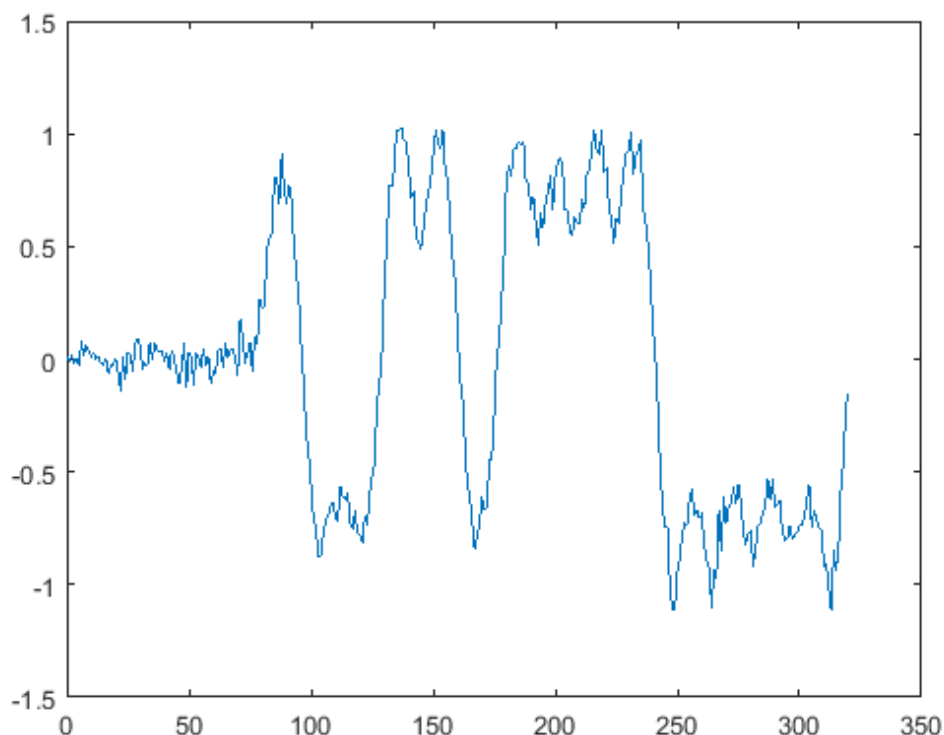
```
% add whiter gaussian noise
```

Низькочастотні сигнали на вході демодулятора з врахуванням шумів каналу зв'язку наведено на рис. 2.13 за значення $E_b/N_0 = 30$ дБ.



а)

Рисунок 2.12 – Низькочастотний сигнал на вході демодулятора з врахуванням шумів в І-каналі за $E_b/N_0=30$ дБ



б)

Рисунок 2.13 – Низькочастотний сигнал на вході демодулятора з урахуванням шумів в Q-каналі за $E_b/N_0=30$ дБ

2.5 Демодуляція

2.5.1 Гауссівський фільтр

Відповідно до структури GMSK – демодулятора, за демодуляції інформаційного повідомлення, вхідні дані мають бути відфільтровані у гауссівському фільтрі. Фільтрація вхідного сигналу здійснюється шляхом обчислення операції згортки над вхідним сигналом демодулятора й раніше розрахованими коефіцієнтами фільтру (рис. 2.14) що показано на рис. 2.16.

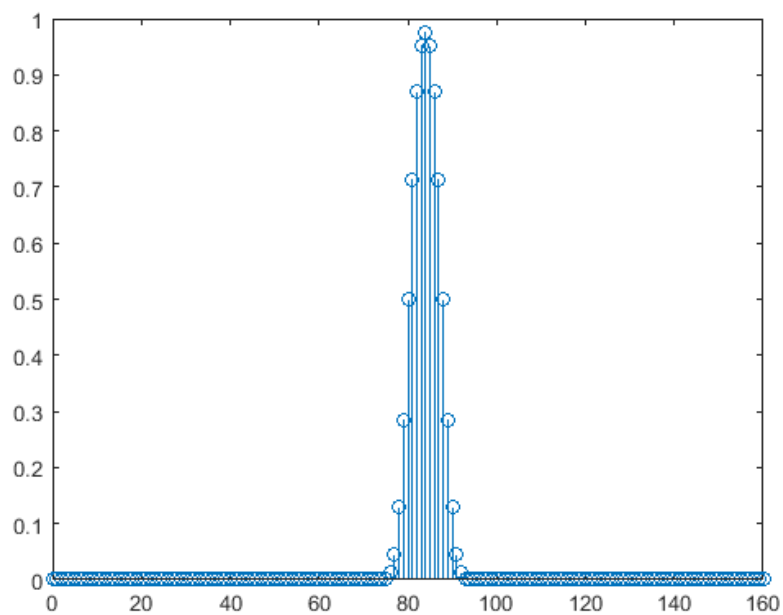
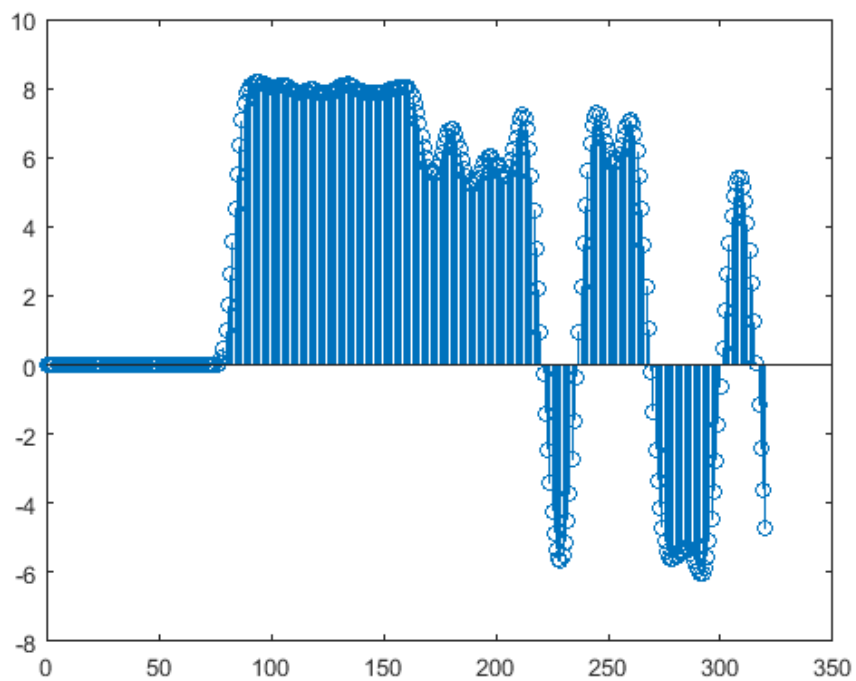


Рисунок 2.14 – Коефіцієнти гауссівського фільтру (на боці приймача)

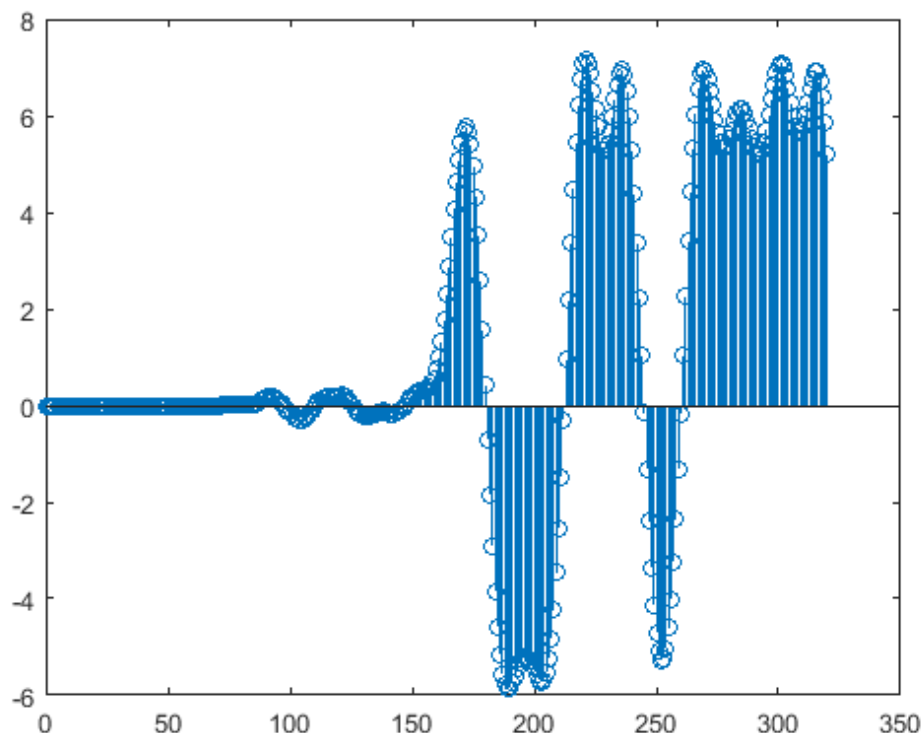
Фільтрацію вхідного сигналу (рис. 2.11) здійснює наступна команда:

`[ich4,qch4] = compconv(ich3,qch3,xh2)`



а)

Рисунок 2.15 – Відліки сигналу на виході гауссівського фільтру (на боці передавача) в І-каналі



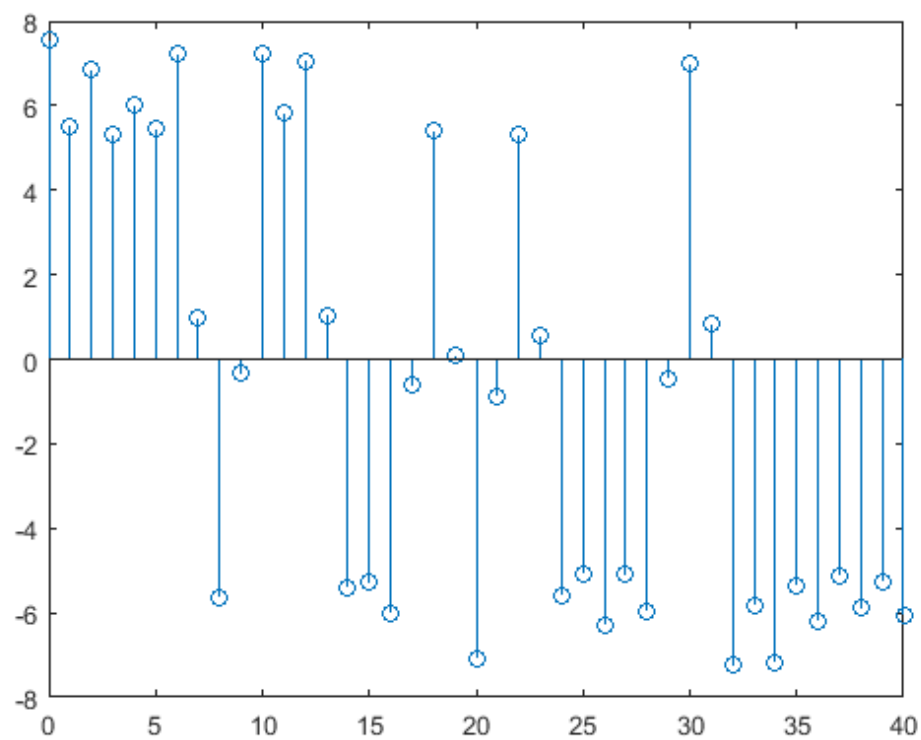
б)

Рисунок 2.16 – Відліки сигналу на виході гауссівського фільтру (на боці передавача) в Q-каналі

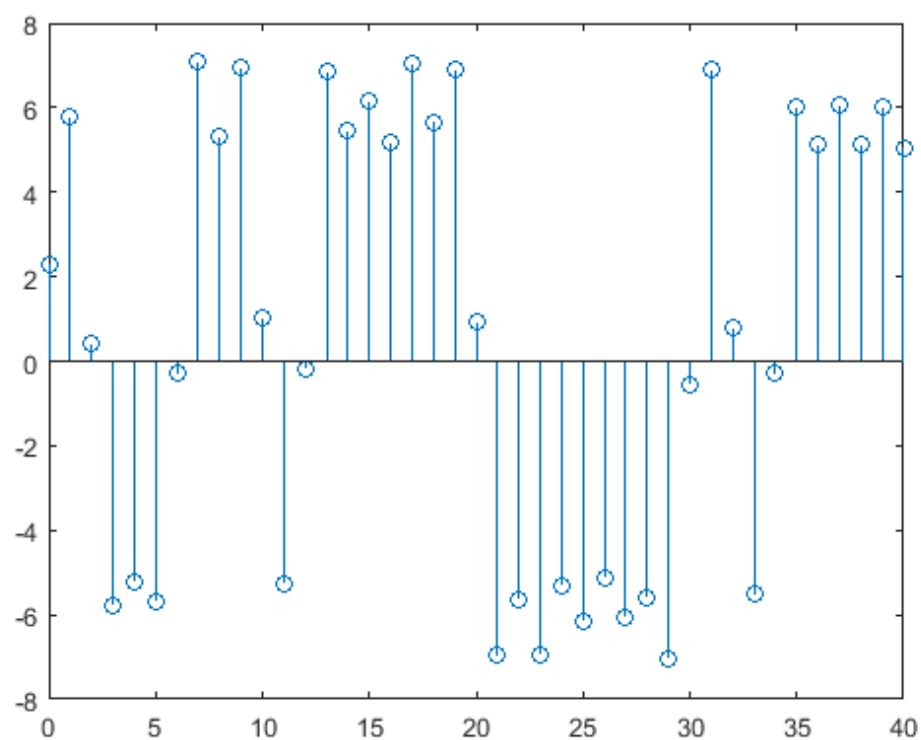
2.5.2 Передискретизація

За демодуляції вхідних сигналів необхідно з прийнятого сигналу виділити квадратурні I, Q канальні символи. Для цього необхідно провести операцію, зворотну до передискретизації, що була виконана на передавальному боці. В підсумку, сформується послідовності квадратурних I-каналу (ich5) й Q-каналу (qch5) (рис. 2.17):

```
syncpoint=irfn*IPOINT-IPOINT/2+1;
ich5=ich4(syncpoint:IPOINT:length(ich4));
qch5=qch4(syncpoint:IPOINT:length(qch4));
```



а)



б)

Рисунок 2.17 – Передискретизована послідовність відліків I-каналу (а)
та Q-каналу (б)

Після цього, виходячи з алгоритму формування фази й виразу (2.18), демодуляція символів модуляції здійснюється шляхом диференційного перемножування зформованих символів послідовностей $ich5$ I-каналу й $qch5$ Q-каналу і наступним перетворенням рівнів сигналів (з двополярного формату NRZ до рівнів логічних "нуля" й "одиниці"):

```
%*****MSK Demodulation*****
demodata2(1,1)=-1;

for k=3:2:nd*ml+1
    demodata2(1,k)=ich5(1,k)*qch5(1,k-1)*cos(pi*(k)) > 0;
end

for n=2:2:nd*ml+1
    demodata2(1,n)=ich5(1,n-1)*qch5(1,n)*cos(pi*(n)) > 0;
end
[demodata]=demodata2(1,2:nd*ml+1);
```

Перші сорок відліків демодульованої кінцевої послідовності наведено на рис. 2.18. Якщо їх порівняти із вхідними даними (рис. 2.2), то, можна побачити, що демодуляція відбувається без помилок.

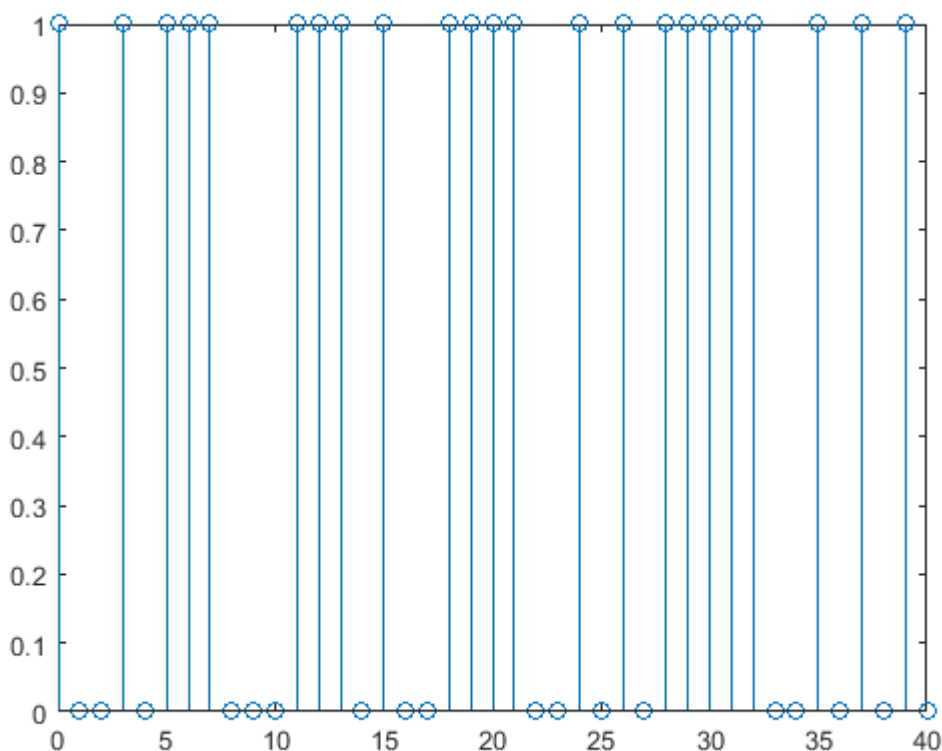


Рисунок 2.18 – Демодульована послідовність прийнятих даних

Відсутність помилок за демодуляції GMSK – сигналів відбувається через достатньо велике відношення сигнал/шум. Проаналізуємо, як впливає рівень шумів на укладену програмну модель.

2.6 Моделювання імовірності помилкового прийому

Для розрахунку імовірності помилкового прийому одного біта необхідно визначити відношення кількості помилково прийнятих бітів до загальної кількості переданих бітів.

Щоб розрахувати кількість переданих даних необхідно визначити довжину вектора даних. У термінах Matlab цю операцію можна виконати за допомогою вбудованої команди `length`. Визначимо в програмі кількість переданих даних у змінній `pod`.

Для розрахунку кількості помилок використаємо наступний алгоритм. Спочатку зробимо обчислення переданих даних з послідовності прийнятих на

приймальному боці даних. Якщо помилок за прийому не виявлено, то отримаємо нульовий вектор довжиною nod . У випадку появи помилково декодованих даних, отримаємо вектор довжиною nod , у якому на позиціях помилкових бітів з'являться значення $+1$ чи -1 . Вектор помилок визначимо як змінну subdata .

Застосувавши операцію виділення абсолютного значення, можна отримати вектор, що має одиничні значення на помилкових позиціях. Виконавши операцію додавання всіх елементів цього вектора, можна розрахувати кількість помилок, що виникають при декодування. Визначимо кількість помилок у змінній noe .

Після проведених операцій можна розрахувати імовірність помилкового прийому одного біта як відношення помилково декодованих бітів до загальної кількості переданих даних. У термінах Matlab, послідовність операцій наступна:

```
%*****Bit Error Rate (BER)*****

noe2=sum(abs(data1-demodata));
% sum: built in function
nod2=length(data1);      % length: built in function
noe=noe+noe2;
nod=nod+nod2;
end    % for iii=1:nloop

%*****Output result *****
ber=noe/nod;
```

Теоретичний вираз для імовірності помилкового прийому одного біта (коефіцієнт бітової помилки BER) за умови відносного кодування вхідних даних і реалізації когерентного детектування, має наступний вид:

$$\text{BER}_{\text{MSK,AWGN}} = \text{erfc}(\sqrt{E_b / N_0}) \quad (2.25)$$

Для заданих у програмі початкових умов, виведення результатів щодо ймовірності помилкового прийому, виводитиметься лише для одного певного значення E_b/N_0 . З метою формування графічної залежності $\text{BER}=F(E_b/N_0)$ перед основним циклом (оператор `for iii=1:nloop`) створимо додатковий цикл за параметром E_b/N_0 .

З цією метою вводяться три нових масиви:

1) `ebn0_array` – масив значень E_b/N_0 від одного до 40 дБ з кроком 1 дБ;
 2) `ber_array` – масив значень BER, який визначається за результатами моделювання для відповідних значень E_b/N_0 ;

3) `ber_array_theory` – масив значень BER, який визначається з теоретичного виразу (2.18) для відповідних значень E_b/N_0 .

Відповідно, цикл реалізовано такими операторами:

```
ebn0_array=0:1:40;
ber_array=zeros(length(ebn0_array),1);
ber_array_theory=zeros(length(ebn0_array),1);
for ebn0_loop=1: length(ebn0_array) ;
    ebn0= ebn0_array (ebn0_loop) ;
```

Для виведення результатів щодо BER, необхідно після основного циклу визначити розраховані масиви помилок, а саме:

```
ber_array(ebn0_loop)=ber;
ber_array_theory(ebn0_loop)=erfc(sqrt(10^(ebn0_array (ebn0_loop)/10)));
end % for ebn0_loop
h=semilogy(ebn0_array, ber_array,'o', ebn0_array, ber_array_theory);
set(h,{ 'DisplayName' }, { 'Experiment', 'Theory' });
legend show
```

На рис. 2.19 наведено залежності коефіцієнта бітової помилки, розраховані за теоретичним виразом (2.25) (суцільна лінія) й отримані в

результаті моделювання (помічено "×"). Результати моделювання досить повно узгоджуються з теоретичними характеристиками GMSK сигналу.

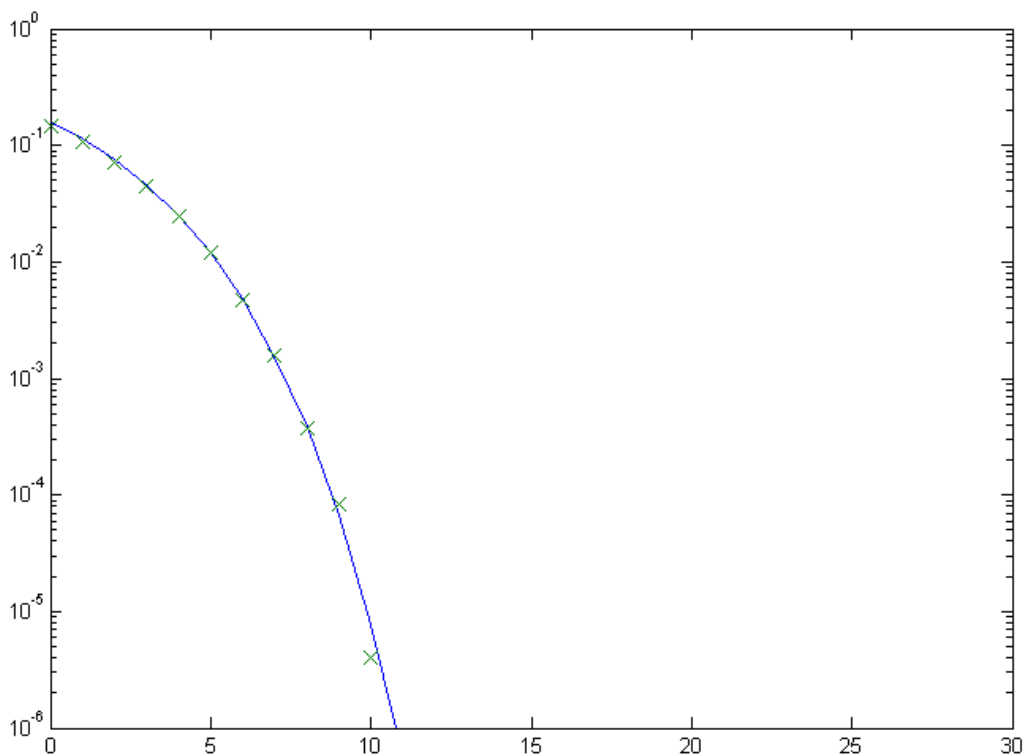


Рисунок 2.19 – Залежність імовірності бітової помилки від відношення E_b/N_0

2.7 Моделювання впливу рівня шумів на фазове сузір'я сигналів GMSK

Промодельємо й проаналізуємо як впливає рівень шумів на фазове сузір'я сигналів GMSK (рис. 2.20 – 2.18).

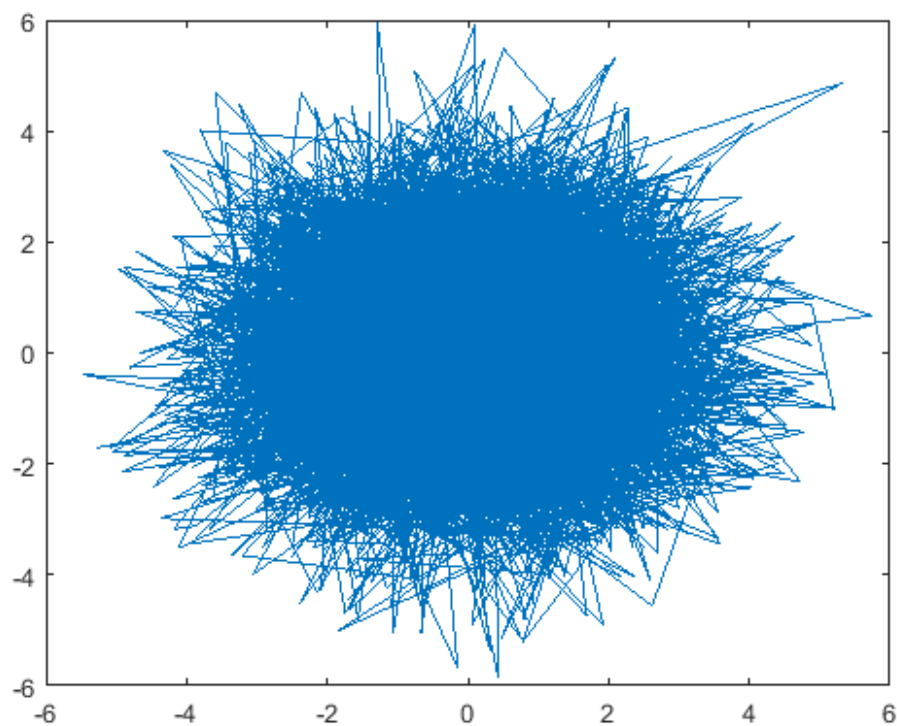


Рисунок 2.20 – Діаграма фазових переходів за значення $E_b/N_0=3$ дБ

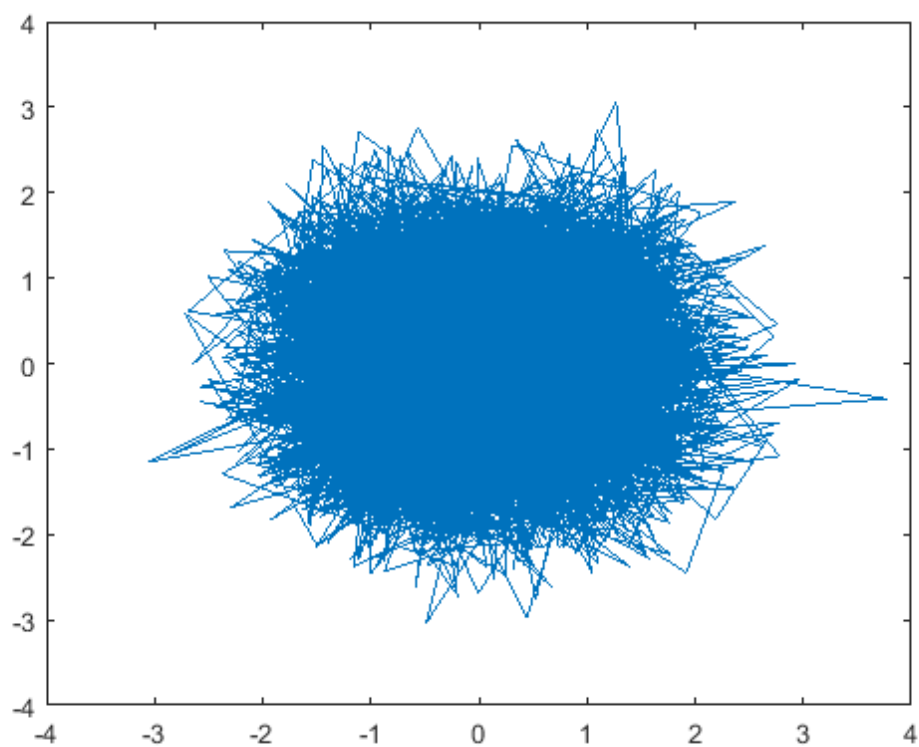


Рисунок 2.16 – Діаграма фазових переходів за значення $E_b/N_0=10$ дБ

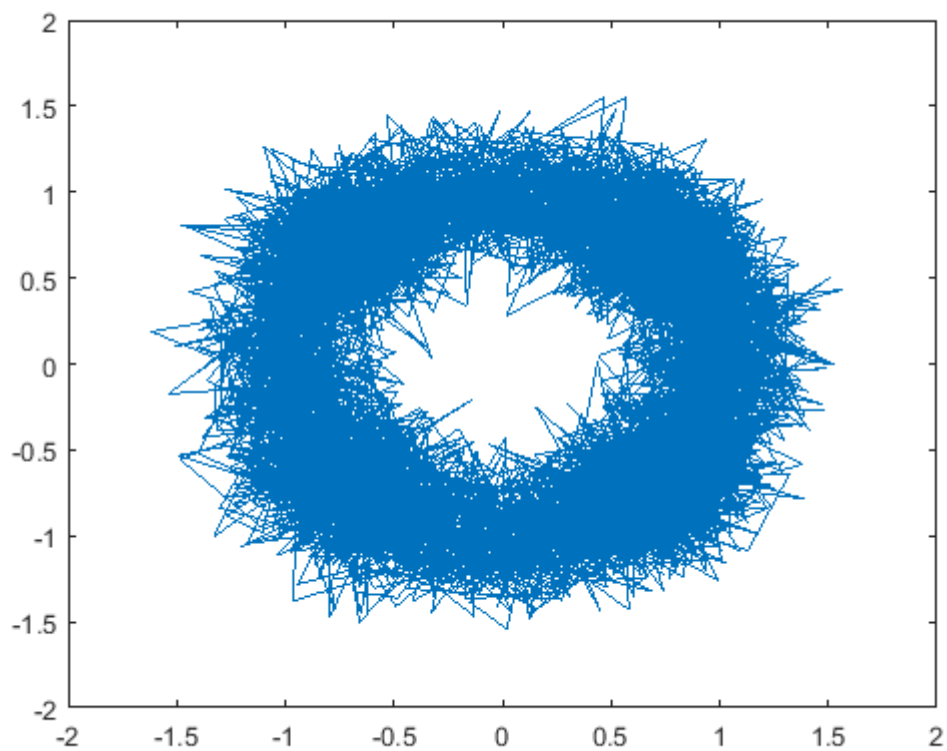


Рисунок 2.17 – Діаграма фазових переходів за значення $E_b/N_0=20$ дБ

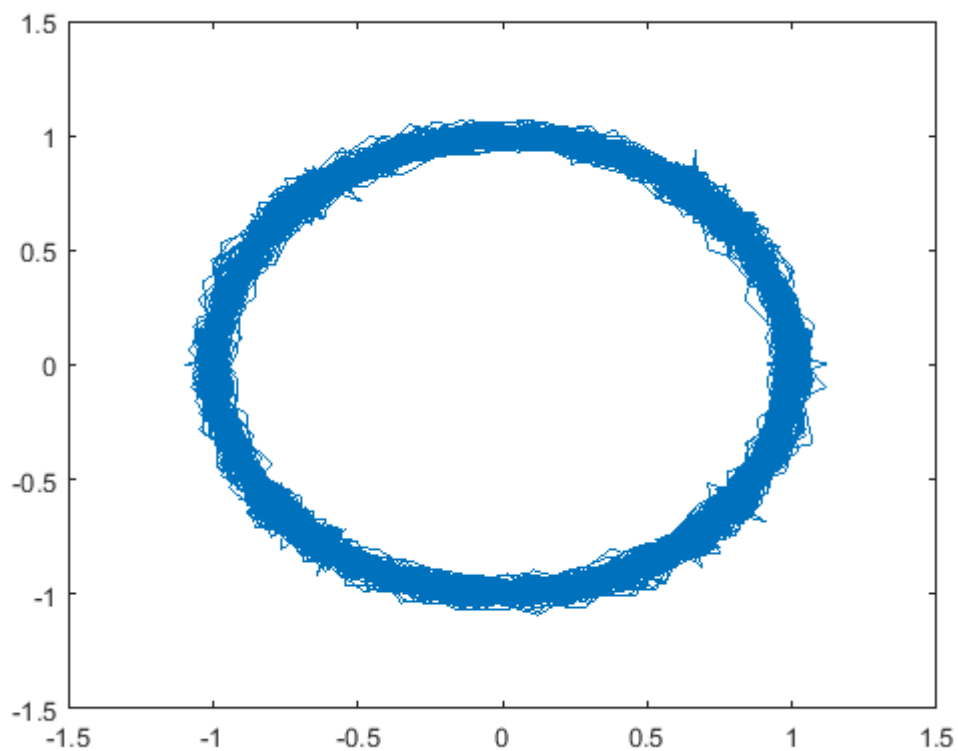


Рисунок 2.18 – Діаграма фазових переходів за значення $E_b/N_0=35$ дБ

На рис. 2.20 значення E_b/N_0 складає лише 3 дБ. Очевидно, що така діаграма майже не відтворює ідеального фазового сузір'я і свідчить про вкрай важкі умови, в яких приймачеві необхідно розпізнавати чергового демодульованого біта. Як наслідок, можна очікувати, що значення BER за таких умов буде достатньо великим.

Наступна діаграма фазових переходів (рис. 2.16) відповідає значенню $E_b/N_0=10$ дБ. Для цієї діаграми переходів вже відстежується наближення до фазового сузір'я ідеального каналу без шумів.

На рис. 2.17 – 2.18 зображено діаграми фазових переходів для відносно великих значень E_b/N_0 : 20 дБ і 35 дБ, відповідно.

З ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Завдяки наявності засобів зв'язку наше життя стало набагато простіше і різноманітніше. Кожна людина вже не може уявити своє життя без мобільного телефону. За допомогою мобільного зв'язку ми щодня спілкуємося з родичами, друзями, а також іншими людьми, в разі потреби. Крім цього не тільки вся молодь, а й більшість інших людей користуються мобільними телефонами для пошуку різної інформації в інтернеті, перегляду різноманітних фільмів, а також для спілкування в соціальних мережах.

Щоб зуміти обслужити кожного користувача існують цифрові методи модуляції. Майже кожна людина в сьогодення користується послугами мобільного зв'язку. У сучасних системах цифрового радіозв'язку GSM, GPRS використовується GMSK модуляція. Завдяки перспективності цього напрямку ця робота може мати значущість для майбутніх технологій зв'язку.

3.1 Актуальність теми з позиції маркетингу

У нинішній час майже кожна людина щодня здійснює спілкування через мобільний зв'язок. Більш того, з точки зору середньостатистичного споживача, у нього завжди повинен бути не тільки голосовий зв'язок, а й швидкий інтернет. Через це телекомунікаційні компанії постійно змушені поліпшувати якість послуг, але при цьому тримати розцінки на невисокому рівні.

Багато хто з користувачів готові платити не тільки за самі послуги зв'язку, а й за суміжні з ними сервіси. Зокрема, за банківські послуги і розваги, або рішення в сфері безпеки.

З приходом четвертого покоління мобільного зв'язку майже кожен абонент почав користуватися швидким мобільним інтернетом.

Телекомунікаційний ринок зараз перспективно розвивається на території України. У нинішній час майже кожна людина щодня здійснює спілкування через мобільний зв'язок.

Найбільше абонентів обслуговує Київстар – 43%, Vodafone – 41%, Lifecell – 9%. Також є поклонники зв'язку від Інтертелеком і Укртелеком, але їм віддає перевагу невелика кількість абонентів. (рис. 3.1).

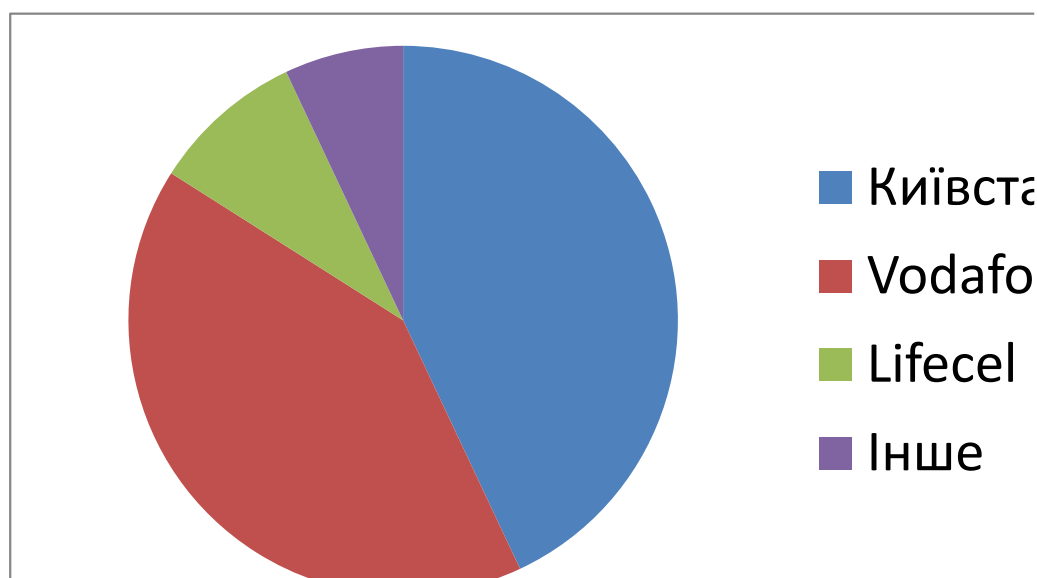


Рисунок 3.1 – Діаграма телекомунікаційного ринку України на 2018 рік

Щоб з'ясувати ступінь концентрації ринку при оцінці монопольної влади, застосовується індекс Херфіндаля – Хіршмана (ННІ):

$$\text{ННІ} = S_1^2 + S_2^2 + \dots + S_n^2, \quad (3.1)$$

де S_1 – доля найбільшого підприємства;

S_2 – доля наступного за величиною підприємства;

S_n – доля найменшого підприємства.

Дуже рідко трапляється ситуація, коли можна чітко окреслити цілковито всіх учасників ринку і їх ринкові частки. З огляду на це, для практичного застосування у формулі беруться до уваги найбільші гравці в порядку спадання їх ринкового впливу. Учасники з дуже малими значеннями ринкової частки не роблять істотного впливу на обрахунок значення індексу.

Класифікація ринків:

- високо-концентровані ринки $1800 < \text{HHI} < 10000$ (новій фірмі важко увійти на ринок);
- помірно-концентровані ринки $1000 < \text{HHI} < 1800$;
- низько-концентровані ринки: $\text{HHI} < 1000$ (новій легко увійти на ринок).

Розрахунок індексу Херфіндаля – Хіршмана (HHI):

$$\text{HHI} = 43^2 + 41^2 + 9^2 + 7^2 = 3660$$

Можна зробити висновок, що телекомунікаційний ринок відноситься до високо монополізованої галузі.

3.2 Планування науково-дослідницьких робіт

Весь комплекс науково-дослідницьких робіт буде розділений на вісім етапів. Будуть розглянуті такі етапи: підготовчий, здійснення теоретичних міркувань, виконання дослідів, аналіз отриманих даних, порівняння с вже існуючими результатами, висновки та пропозиції, складання та обрахування технічного звіту та запровадження результатів. Кожен етап буде мати свою трудомісткість і тривалість робіт.

Це потрібно для раціонального планування дослідів. Потрібно зменшити трудові та матеріальні витрати.

Трудомісткість науково – дослідницької роботи обчислюється в норма-годинах або норма – днях витрачання робочого часу визначальних виконувачів. Вона повністю залежить від критерію сучасності та складності проекту, кваліфікації наукових робітників, технічної комплектації матеріалів, виконання вимог безпеки та інших умов.

У зв'язку з елементами раптовості у цій науково – дослідницькій роботі під час здійснення розрахунків трудомісткості застосовується ймовірнісний метод. Використовуються 2 чи 3 вірогідні оцінки часу. Ці оцінки виражаються у днях і являються вихідними для обчислювання часу реалізації роботи за

формулою:

$$t_{оч} = \frac{3 \cdot t_{min} - 2 \cdot t_{max}}{5}, \quad (3.2)$$

де $t_{оч}$ – очікувана оптимальна характеристика часу діяння роботи, днів;

t_{min} – мінімально потрібний час для виконання роботи при найсприятливіших умовах, днів;

t_{max} – максимальне витрачання часу роботи при несприятливих умовах, днів.

Для контролю вірності визначення потрібно перевірити обчисленням дисперсії. Це різниця між мінімальною й максимальною значеннями часу, що обчислюється за виразом:

$$\sigma = \frac{t_{max} - t_{min}}{5} \quad (3.3)$$

Зараз складемо таблицю тривалості та трудомісткості робіт, яка покаже тривалість днів для кожного етапу науково – дослідницької роботи, часові оцінки цих етапів, а також виконувачів цих робіт (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Характеристика тривалості та трудомісткості робіт

№	Етапи НДР	Виконувачі		Дисперсія	Часові оцінки НДР, днів			Тривалість, днів
		Спеціальність	Число чоловік		t _{min}	t _{max}	t _{оч.}	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Підготовчий	Молодший науковий співробітник	1	0,8	5	9	6,6	7
2	Здійснення теоретичних розробок	Молодший та старший наукові співробітники	2	2	9	19	13	14
3	Виконання дослідів за темою	Молодший науковий співробітник	1	2,8	14	28	19,6	19
4	Аналіз отриманих даних	Старший науковий співробітник	1	0,4	6	8	6,8	7
5	Порівняння з вже існуючими результатами	Молодший та старший наукові співробітники	2	0,4	3	5	3,8	3
6	Висновки та пропозиції	Старший науковий співробітник	1	0,6	2	5	3,2	3
7	Складання та обміркування технічного звіту	Старший науковий співробітник	1	1,4	9	16	11,8	12
8	Запровадження результатів	Молодший науковий співробітник	1	0,6	4	7	5,2	5
	Загалом	—	—	—	52	96	70	70

3.3 Складання календарного графіку реалізації НДР

Ця науково-дослідницька робота має робитися поетапно. Кожний етап має бути закінченим для початку іншого. Побудуємо календарний графік виконання робіт (рис. 3.2).

№	ЖОВТЕНЬ		ЛИСТОПАД		ГРУДЕНЬ			
	1–9	10–29	30–23	24–2	3–5	8–10	10–25	26–1
	(7)	(14)	(19)	(7)	(3)	(3)	(12)	(5)
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								

Рисунок 3.2 – Графік виконання робіт

3.4 Підрахунок кількості витрат задля практичної реалізації науково-дослідницької роботи

Потрібно врахувати ціну усіх коштів, які необхідні для цієї НДР. В нашому випадку обчислення чималих факторів має труднощі через незнання потрібного числа деяких послуг, матеріалів та кількості витрат.

Для рішення цієї проблеми прийде на поміч методика збільшення обчислень. Буде визначена заробітна плата, а потім – процент інших витрат для втілення цієї роботи. Ті елементи, розрахунок яких можна зробити з високою точністю, будуть рахуватися нормальним методом.

Для того, щоб з'ясувати кількість грошових витрат, потрібно зробити кошторис витрат:

- обладнання для здійснення задумів роботи;
- покупні вироби і матеріали;
- обчислення заробітної плати;
- відрахування на єдиний соціальний внесок;
- накладні витрати.

3.4.1 Обладнання для здійснення задумів роботи

Тут розрахована ціна за покупку спеціального обладнання для реалізації науково-дослідницької роботи. Для виконання розрахунків потрібен 1 комп'ютер, а для друку інформації буде використовуватися принтер. Не був вибраний звичайний системний блок, через його не мобільність (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Обчислення вартості обладнання

Обладнання	Модель	Кількість, штук	Вартість, грн.
Ноутбук	Lenovo I-Pad 330	1	8999
Принтер	Canon iP7240	1	2400
Усього			11399

3.4.2 Покупні вироби і матеріали

Тут йдеться про витрати на основні та допоміжні матеріали. Було враховано кількість одиниць, їх вартість та сума витрат (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Видаткова відомість

	Одиниця виміру	Кількість	Вартість одиниці, грн.	Сума витрат, грн.
Папір А4	штук	400	0,25	100
Заправка картриджу	штук	1	190	190
Ручка	штук	2	7,50	15
Олівець	штук	2	5	10
Транспортно-заготівельні витрати				300
Усього				615

3.4.3 Обчислення заробітної плати

Заробітна плата – нагорода за виконання роботи. Вона залежить від кваліфікації робітника, умов, кількості, складності та якості реалізованої роботи. Крім того до неї ще входять заохочувальні виплати та відшкодування виплачування. Це грошова компенсація, яку працівник одержує в обмін на свою робочу силу. Розрізняють основну та додаткову заробітну плату (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 – Обчислення основної заробітної плати

Посада робітника	Чисельність робітників, чоловік	Щомісячний оклад, грн.	Середньоденна заробітна плата, грн.	Число робочих днів	Підсумкова сума основної заробітної плати, грн.
Ст. наук. співробітник	1	6750	225	39	8775
Мол. наук. співробітник	1	6000	200	38	7600

Усього	2	—	16375
--------	---	---	-------

Додаткова заробітна плата рівна 10 % від основної заробітної плати (табл. 3.5).

Таблиця 3.5 – Основна та додаткова заробітна плата

Посада робітника	Додаткова заробітна плата, грн.	Сума основної та додаткової заробітної плати, грн.
Старший науковий співробітник	877,5	9652,5
Молодший науковий співробітник	760	8360
Усього	1637,5	18012,5

3.4.4 Відрахування на єдиний соціальний внесок

Відрахування на єдиний соціальний внесок визначається в розмірі 22% від суми основної та додаткової заробітних плат.

Після розрахунків ми маємо відрахування на єдиний соціальний внесок у розмірі 3963 грн.

3.4.5 Накладні витрати

Накладні витрати охоплюють витрати на обслуговування виробництва, організацію та управління їм. Крім цього сюди ще входять будівельні, оздоблювальні та інші типи робіт.

Накладні витрати визначаємо в процентній залежності від суми основної заробітної плати. Вони складають 30 %.

У підсумку ми маємо 4912,5 грн.

3.4.6 Кошторис витрат для реалізації НДР

Для загального висновку грошових витрат зроблено кошторис витрат для реалізації НДР(табл. 3.6).

Таблиця 3.6 – Кошторис витрат для реалізації НДР

Затрати	Сума, грн.	Питома вага, %
1	2	3
Основна заробітна плата	16375	42,1
Допоміжна заробітна плата	1637,5	4,2
Обладнання	11399	29,3
Матеріали	615	1,6
Накладні витрати	4912,5	12,6
Відрахування на єдиний соціальний внесок	3963	10,2
Усього	38902	100

3.5 Розрахунок економічної ефективності науково – дослідницької роботи, яка має суто теоретичний характер.

Для теоретичних аналізів майже завжди складно чи навіть неможливо обчислити економічний коефіцієнт. Через це раціонально буде з'ясувати їх техніко-економічну ефективність з огляду на наступні ознаки:

- значущість дослідження;
- важкість проекту;
- плідність і перспективність застосування.

Значущість теоретичного дослідження визначають за його призначенням:

- пошук новітніх технологічних рішень;
- рішення важких питань;
- відповідати вимогам спеціальної техніки.

Важкість реалізації проекту визначається зіставленням одержаних результатів цієї роботи з результатами схожих загальновідомих досліджень зважаючи на кількість грошових та трудових витрачень.

Результативність цієї роботи з'ясовується по повноті рішень поставленого завдання.

Обміркування залежності між ознаками результативності НДР і витратами на їх досягнення дозволяє зробити кількісну оцінку техніко – економічної ефективності за формулою:

$$K_{\text{ндр}} = \frac{J^n \cdot R \cdot T}{B_{\text{ндр}} \cdot t_{\text{ндр}}}, \quad (3.4)$$

де $K_{\text{ндр}}$ – ступінь ефективності дослідження (коефіцієнт техніко-економічної ефективності НДР);

$J = 2$ – важливість роботи;

$R = 1$ – результативність роботи;

$T = 1,5$ – технічна складність виконання НДР;

$B_{\text{ндр}} = 38902$ грн. – витрати на реалізацію НДР;

$t_{\text{ндр}} = 70$ днів – час проведення НДР;

$n = 2$ показник використання результатів НДР (результати НДР використовуються в дослідно-конструкторських роботах).

$$K_{\text{ндр}} = \frac{2^2 \cdot 2 \cdot 1,5}{38,902 \cdot 0,19} = 1,62$$

В цьому розділі було реалізовано розгляд і обґрунтування економічної ефективності науково – дослідницької роботи. Обчислено, що тривалість проведення дослідження вимірюється у терміні близько 70 днів. При цьому сумарні витрати на дослідження становлять 38902 грн., з них:

- основна та додаткова заробітна плата – 18012,5 грн. (46,3 %);
 - накладні витрати – 4912,5 грн. (12,6 %);
 - обладнання – 11399 грн. (29,3 %);
 - покупні вироби і матеріали – 615 грн. (1,6 %);
 - накладні витрати – 4912,5 грн. (12,6 %);
 - відрахування на соціальне страхування – 3963 грн. (10,2 %);
- У зв'язку з тим, що $K_{\text{ндр}} \geq 1$, виконана робота є ефективною.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Охорона праці в першому розумінні є системою, яка захищає життя, а також здоров'я працівників в процесі своєї трудової діяльності. До цієї системи входять правові, санітарно-гігієнічні, соціально-економічні, організаційно-технічні, лікувально-профілактичні, реабілітаційні та інші заходи.

Охорона праці на сьогодні є однією з пріоритетних систем на підприємствах різних галузей різноманітних форм власності. Це пояснюється тим, що шляхом дотримання простих правил безпеки можна зменшити кількість випадків виробничого травматизму на 70 – 90 %.

Охорона праці як система зачіпає практично кожен нішу життя людей, пов'язану з виконанням тих чи інших робіт. Вона сплітається зі значною кількістю технічних і гуманітарних наук, втілюючи одне з найбільш важливих і серйозних завдань – збереження життя і здоров'я людини при безпечній реалізації будь-яких робіт.

Для контролю охорони праці формуються належні служби й визначаються повноправними органами службові особи, які гарантують розв'язання певних справ охорони праці.

Якщо кількість робітників не підприємстві менше ніж 20 персон, роботу служби охорони праці може виконувати людина, яка пройшла належне навчання.

Якщо фізична та юридична особа, яка користується працею іншої людини, не виконає законодавство про охорону праці та вказівки органів державного нагляду за охороною праці, то буде сплачувати штраф за мірками закону. Але порушувати закони дуже погано, тому нижче розглянуті всі основні заходи для запобігання або усунення надзвичайних ситуацій.

4.1 Аналіз потенційних небезпек

Тема дипломного проекту «Моделювання каналу зв'язку з використанням методів GMSK» прогнозує працю у помешканні, в якому є персональні комп'ютери з дисплеями. Треба оглянути заходи для організації безпеки, гігієни праці, виробничої санітарії та пожежної безпеки помешкань з персональними комп'ютерами.

Згідно ГОСТ 12.0.003-74(1999) «Небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Класифікація» при розгляді обладнання та технологічних процесів виражаються шкідливі виробничі фактори, які при дії на робочих місцях можуть спричинити травматизм або псування умов праці. Загроза являє собою взаємодії з джерелами живлення, такі як підключення та відімкнення приладів за допомогою вилок, розеток та перехідних пристроїв.

Можливі ризики фізичних ознак:

- захворювання серцевої – судинної системи та проблеми центральної нервової системи через збільшений рівень електромагнітного випромінювання;
- враження електричним струмом через непрацездатність електрообладнання, збільшений розмір напруги в електричному ланцюзі чи невиконання правил безпеки при його використанні, що приводить до травм чи смерті.

Можливі ризики психофізіологічних ознак:

- емоційне та розумове перевантаження через тривалу роботу за комп'ютером, що сприяє спаданню уваги та перевтомленню працівника.

Можливі ризики через невиконання санітарно-гігієнічних вимог:

- біль в очах та зорова стомлюваність, у зв'язку з малою освітленістю робітничого місця, що стає причиною до спадання уваги і ймовірного погіршення зору;
- стає гіршим самопочуття робітника у зв'язку з вищою чи нижчою температурою повітря робітничого місця, через що виникають погіршення обмінного перебігу в організмі та з'являються різноманітні простудні хвороби;

- погіршення слуху через збільшену міру шуму на робітничому місці;
- захворювання очей й органів слуху через попадання в легені пилу, завдяки збільшеній запиленості повітря робітничого місця.

Можливі ризики через порушення правил протипожежної безпеки:

- небезпека для здоров'я робітників, грошові витрати унаслідок порушення правил протипожежної безпеки.

Можливі ризики, через наслідки надзвичайних ситуацій:

- різноманітні травми чи грошові витрати через неправильні дії персоналу у момент надзвичайних ситуацій.

4.2 Заходи щодо забезпечення техніки безпеки

Техніка безпеки – система організаційних заходів і технічних засобів, що запобігають дії на працівників небезпечних виробничих чинників.

При роботі з персональними комп'ютерами й периферійними пристроями основною загрозою є електрика.

Причини нещасних випадків через дію електричного струму:

- випадковий дотик або наближення на небезпечну відстань до струмоведучих частин, що перебувають під напругою;
- виникнення напруги дотику на конструктивних металевих частинах електроустаткування через пошкодження ізоляції;
- поява напруги на відімкнених струмоведучих частинах, на котрих трудяться люди, унаслідок хибного вмикання пристрою.

Через це вироблені та запроваджені заходи з гарантування електробезпеки радіоінженера у помешканні приватного дослідницького центру.

Приміщення, де проводиться дослідження згідно «Правилам облаштування електроустановок» і НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок» прив'язується до класу приміщень без підвищеної небезпеки поразки персоналу електричним

струмом, тому що відносна вологість повітря не більше ніж 75%, а температура не перевищує 35°C, крім того відсутні хімічні агресивні кола.

Є технічні та організаційні заходи, які виконують для запобігання враження електричним струмом.

а) Технічні заходи:

- застосовується під'єднання до мережі приладів за допомогою електророзеток заводського випуску та штепсельних з'єднань;

- для живлення усіх приладів повздовж стін, по підлозі поруч зі стінами, у металевих трубах і хистких металевих рукавах з відводами згідно зі схваленим планом розташування устаткування та технічних характеристик устаткування прокладено електромережу штепсельних розеток;

- застосування захисного заземлення та занулення відповідно до "Правил устрою електроустановок";

- розміщення аварійного резервного вимикача, котрий може цілком виключити електричне живлення кімнати, окрім освітлення;

- усі прилади відповідають установам діючих в Україні нормативних актів з охорони праці, стандартів, крім того прилади створені закордоном мають належне позначення на корпусі, паспорті чи іншій документації та мають відповідати вимогам державних стандартів країн виробників.

б) Організаційні заходи:

- здійснення навчання щодо правил електробезпеки;

- атестація робітників на кваліфікаційну групу з електробезпеки, відповідно до НПАОП 0.00-4.12-05 "Типове положення про систему проведення навчання та перевірки знань з охорони праці".

Також є технічні та організаційні заходи, які виконують для запобігання враження статичним струмом.

1) Технічні заходи:

- для зменшення кількості зарядів статичної електрики користуємося покриттям технологічних підлог з одношарового антистатичного лінолеуму;

- суцільне і локальне зволоження повітря.

2) Організаційні заходи:

- здійснення навчання щодо правил електробезпеки;
- атестація робітників на кваліфікаційну групу з електробезпеки, відповідно до НПАОП 0.00-4.12-05 "Типове положення про систему проведення навчання та перевірки знань з охорони праці".

Згідно ГОСТ 12.1.030-81. ССБТ. "Захисне заземлення, занулення", для захисту особи, що доторкається до часток обладнання, які розміщуються під напругою, застосовується захисне заземлення опором 4 Ом. Теперішні персональні комп'ютери вмикаються в розетку за допомогою триполюсної вилки. У неї один з полюсів слугує для заземлення. Металеві частини, які не проводять струм, можуть виявитися під напругою через електричне з'єднання з ним. У конструкторському бюро застосовують лише триполюсні розетки. У них належний полюс з'єднаний з шиною заземлення. За допомогою апаратури для запуску (рубильник) мережа електроживлення включається і вимикається.

Імовірність механічного ураження може з'явитися завдяки не раціональному знаходженні робочого місця. Відповідно до ДСТУ ГОСТ 12.2.061 : 2009 "Система стандартів безпеки праці. Устаткування виробниче. Загальні вимоги безпеки до робочих місць" для усунення травматизму місце для праці та розміщення елементів збігається по фізичним, психофізичним та антропометричним вимогам.

Реалізовані такі важливі заходи: оптимальне розміщення обладнання, яке знаходиться на робочому місці та задовільний робоча зона, яка допускає виконувати потрібні рухи й пересування.

Згідно ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ".Устаткування виробниче. Загальні ергономічні вимоги" на місці роботи розміщений комп'ютерний стіл. Для того щоб сидіти у вигідному положенні його висота дорівнює 680-760 мм. Клавіатура знаходиться на площині 650 мм. У площині столу є такі ознаки, які усувають виблиски у полі зору робітника. Будова столу завбачує присутність трьох висувних ящиків. Стілець працівника за ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. "Робоче місце при виконанні робіт сидячи. Загальні ергономічні вимоги". Стілець над

висотою підлоги розміщається в границях 420- 550 мм.

Головні заходи з техніки безпеки:

- контроль справності усіх пристроїв на робочому місці, очищення дисплея монітора від пилу чи інших забруднень перед початком роботи;
- виконання режиму роботи комп'ютера з іншими приладами;
- вимкнення усіх пристроїв від електричної мережі після довершення роботи;
- якщо буде аварійна ситуація треба усі прилади терміново відімкнути від електричної мережі.

4.3 Заходи з забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці

Виробнича санітарія – система організаційних заходів і технічних засобів, що запобігають або зменшують дію шкідливих виробничих факторів на працівників.

До шкідливих виробничих факторів:

- висока чи низька температура, рухливість чи вологість повітря;
- висока загазованість та запиленість повітря;
- мала освітленість робочого місця; мала контрастність об'єктів;
- високий рівень шуму.

Приміщення для науково – дослідницьких робіт мають мати устаткування з системами опалення, кондиціювання повітря або припливно – витяжною вентиляцією відповідно до СНіП 2.04.05-91 «Опалення, вентиляція і кондиціювання».

Мікроклімат в приміщенні повинен відповідати умовам згідно ДСН 3.3.6.042-99 "Державні санітарні норми параметрів мікроклімату" і ГОСТ 12.1.005-88 "ССБТ. Загальні санітарно – гігієнічні вимоги до повітря робочої зони". Температура в помешканні повинна бути від 20 до 23°C в холодний період і від 22 до 25°C в теплий період. Відносна вологість повітря в межах 40 –

60 %. Швидкість динаміки повітря в межах 0,2 – 0,3 м/с. Інтенсивність теплового опромінення робітників повинна бути у рамці 35 – 100 Вт/м².

Об'єм виробничого приміщення на одного працівника повинен бути не менше 20 м³, а площа – не менше 6 м².

За для підтримки мікроклімату користуються природною вентиляцією в приміщенні. Також в осінньо – зимовий період користуються батареями опалювання, а літній період побутовими кондиціонерами для охолодження повітря.

Пил – це дуже потужний алерген. Через дихання пилом у легенях людини здійснюється розростання сполучних тканин. Це заважає нормальній роботі та порушує функціональність легенів.

Для боротьби з пилом потрібно раз на тиждень робити вологе прибирання приміщення.

Для покращення умов зорової роботи повинно бути вірно спроектоване і здійснене виробниче освітлення. Це веде до підвищення результативності, зниженню стомлюваності та позитивно впливає на психологічний стан робітника. Завдяки правильній освітленості приміщення знижується травматизм.

Згідно ДБН, В2.5.-28-2006 Збірник 28". Природне і штучне освітлення" в приміщенні діє система комбінованого освітлення.

За ДСанПін 3.3.2.007-98 "Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно – обчислювальних машин" робляться така освітленість в приміщеннях, де є комп'ютери:

- для діяння зорових робіт високої точності суцільна освітленість складає 300 лк, а комбінована – 750 лк;

- аналогічні вимоги для робіт середньої точності - 200 і 300 лк відповідно.

Джерелом освітлення будуть люмінесцентні лампи типу ЛБ з освітленістю 300 лк.

При розставленні місць для роботи з моніторами потрібно виконувати такі вимоги:

- робочі місця з моніторами знаходяться на дистанції не менше 1 м від стін;

- відстань між моніторами має бути не менше 1,2 м;

- відстань між тильною поверхнею одного монітора з екраном іншого має бути більшою ніж 2,5 м.

Дисплей повинен знаходитися на дистанції 50-60 см від очей. Також вершина дисплея розташована на рівні очей.

Шум – коливання частинок довкілля, що сприймається органами слуху людини як небажані сигнали.

Якщо шум буде мати неправильний ступінь, це буде робити вадливий вплив на організм людини, погіршуючи умови праці.

Через довгу шумову дію у людини з'являються нервовість, роздратування, погіршення пам'яті, послаблення апетиту, більша втомлюваність, біль чи шум у вухах та підвищення артеріального тиску.

Спадання рівня шуму може здійснюватися такими методами:

- застосовування звукоізоляційних приладів, стіни та стеля можуть бути фанеровані звукопоглинальними матеріалами;

- зменшення часу знаходження в голосних умовах.

4.4 Заходи з пожежної безпеки

Пожежна безпека – стан об'єкта, при якому з регламентованою ймовірністю відхиляється можливість утворення і формування пожежі, впливу на людей її шкідливих факторів, а також проводиться захист матеріальних цінностей.

Згідно НАПБ А.01.001-2004 "Правила пожежної безпеки України" приміщення, де ведеться науково дослідницька робота відноситься до категорії "Д"(до 1200 м²). Клас можливої пожежі, згідно ДБН В.1.1.7-2002 " Пожежна безпека об'єктів будівництва", визначається, як "Е"(через горіння електроустановок).

Пожежну небезпеку представляють ЕОМ і периферійне обладнання. Їм характерна велика щільність розташовування електронних схем. Комутаційні кабелі та сполучні дроти знаходяться близько один від одного. При протіканні струму, завдяки перегріву і плавленню, може статися коротке замикання.

Для запобігання створення горючого середовища вжиті такі заходи:

- ізолювання апаратури від покриття підлоги та меблів вогнестійкими матеріалами або застосовуванням спеціальних меблів;
- складання легкозаймистих носіїв інформації, а також твердих копій (роздруківок), документації, спиртовмісна рідин в окремі ізольовані від пожежі кімнати чи сейфи.

Приміщення оснащено 1 ручним вогнегасником ОУ-5(вуглекислотний вогнегасник), на випадок виникнення пожежі пов'язані з горінням електроустановок. З причини знаходження апаратури під напругою вода не може бути засобом гасіння. Піна чи порошок через небезпеку ушкоджень нам не підходить.

Задля виказування пожежі, подальшої обробки, пересилання в заданому форматі повідомлення про пожежу, реалізацію команд для запуску автоматичних порошкових, газових, водяних та інших агрегатів пожежогасіння та запуск механізмів систем проти димного захисту та пристроїв протипожежного захисту встановимо автоматичну установку пожежної сигналізації (АУПС).

Через високу вартість обладнання, а також специфіку загоряння апаратури обраний димовий сповіщувач ИП-212-41Мз розрахунку один сповіщувач на 25 м² площі, що охороняється, згідно НАПБ А.01.003-2009 "Правила улаштування та експлуатації систем оповіщення про пожежу та управління евакуацією людей у будинках та спорудах" і ДБН В.2.5-13-98 "Інженерне обладнання будинків і споруд. Пожежна автоматика будинків і споруд".

Через те, що площа приміщення становить 30 м² треба встановити 2 датчики – сповіщувачі.

4.5 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях

Український закон характеризує:

Надзвичайна ситуація – положення на деякій території чи суб'єкті господарювання, яке відзначається порушенням звичайних умов життєдіяльності.

Це відбувається через стихійне лихо, аварію, пожежу, катастрофу, епідемію, пусканням в хід засобів ураження чи інакшим шкідливим випадком, що спричинило(може спричинити) до назрівання загрози здоров'ю чи життю людей, чимале число постраждалих чи загиблих, доведенню до чималих матеріальних збитків, а так само до неможливості мешкання людей чи проведення господарської діяльності на такій території чи об'єкті.

Є надзвичайні ситуації природного, техногенного та військового характеру.

Основні характеристики надзвичайної ситуації:

- наявність або загроза для здоров'я чи життя великого числа людей;
- суттєве ламання екологічної рівноваги;
- неповне чи повне обривання господарської діяльності;
- великі матеріальні та економічні втрати.

Задля охорони життя чи здоров'я людей у НС потрібно пускати в хід такі головні заходи цивільної оборони:

- укриття населення в прилаштованих чи спеціальних спорудах;
- евакуацію людей з місця НС;
- застосовування засобів індивідуального захисту органів дихання чи шкіри;
- реалізація аварійно-рятувальних та інших негачиних робіт у зонах НС;
- реалізація заходів медичного захисту.

Укриття людей треба робити за місцем знаходження людей під час впливу дії разючих факторів джерел НС, а також при небезпеці їх появи.

Для забезпечення безпеки людей при надзвичайній ситуації може бути зроблена евакуація.

Евакуація – це процес виведення населення і життєво необхідних ресурсів першої необхідності з території можливої загрози від катастрофи чи воєнного конфлікту.

До евакуації відноситься виведення з районів, які знаходяться під загрозою стихійного лиха чи набігу противника, з місця бойових дій у тил населення. Виведення людей зі споруд через загрозу чи під час пожеж, аварій тощо.

Коли робиться евакуація потрібно:

- скасовувати умови, задля котрих виникає паніка;
- з'ясувати незагрозливі евакуаційні маршрути до безпечного місця за найшвидший час;
- організовано вивести чи вивезти людей в безпечні місця.

Засоби індивідуального захисту органів дихання і шкіри (ЗІЗ) у місці НС мають відвертати перебільшене діяння на людей загрозливих і шкідливих парів і газів, які потрапили в довколишнє оточення через руйнування обладнання, а також зменшувати неприємні ефекти впливу на людину світлового, теплового та іонізаційного випромінювання.

Задля захисту органів дихання треба застосовувати цивільні, загальновійськові та промислові протигази, респіратори чи підручні засоби.

Задля захисту шкіри треба застосовувати загальновійськові захисні комплекти, різні захисні костюми промислового виробництва і простіші засоби захисту шкіри.

Аварійно-рятувальні та інші негайні роботи в зонах НС треба робити з наміром негайного надання порятунку населення, яке прийняло дію згубних сил природи, техногенних аварій та катастроф і задля обмеження масштабів, локалізації або ліквідації зроблених при цьому НС.

Аварійно- рятувальні роботи потрібні для:

- виведення людей із місць, які мають ризиковані для здоров'я та життя фактори;
- забезпечення медичної допомоги та евакуація в лікарні тих, хто постраждав;
- забезпечення потрібних умов фізіологічного існування тим, хто врятувався.

Невідкладні роботи мають зробити локалізацію або нейтралізацію джерел ризику, обмежити поширення та ліквідувати дію разючих факторів у зоні аварії чи катастрофи.

Заходи медичного захисту людей при НС робляться для запобігання або зменшення уражень, кривди для здоров'я чи життя людей унаслідок разючих факторів аварій чи катастроф. Вони гарантують епідемічний гаразд в місцях НС та в місцях дислокації евакуйованих.

Ці заходи робляться завдяки вживанню медичних препаратів та вчасному наданню кваліфікованої медичної допомоги ураженим. Проводиться імунопрофілактика та стаціонарне лікування.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання дипломної роботи здійснено моделювання каналу зв'язку з використанням методів GMSK. Реалізований метод двійкової частотної маніпуляції та частотної гауссівської маніпуляції з мінімальним зсувом.

Укладено набір формул, який дозволяє створити модель модулятора й демодулятора сигналів GMSK не у вигляді "чорної скрині" Matlab з обмеженим функціоналом (закладений фірмою-розробником), а як інструмент для здійснення досліджень для довільних умов використання.

На сам кінець створено програмну модель каналу зв'язку. Проведене імітаційне моделювання підтвердило відповідність створеної моделі теорії.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Прокис Дж. Цифровая связь: пер. с англ. / под ред. Д.Д. Кловского. – М.: Радио и связь, 2000. – 800 с.
2. Кабак В.С. Функціональні пристрої телефонів мобільного зв'язку / за ред. В.С. Кабака, Р.В. Уварова – ЗНТУ, 2008. – 370 с.
3. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Первод с английского под общей редакцией А.В. Назаренко. – М.–Санкт-Петербург - Киев, 2003. – 1099 с.
4. Феер К. Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширения спектра / Перевод с английского под редакцией В.И. Журавлева. – М.: Радио и связь, 2000. – 519 с.
5. Harada H. Simulation and Software Radio for Mobile Communications / H. Harada, R. Prasad // Artech House, 2002. – 468 с.
6. Смірний А.С. Маркетинг та менеджмент / Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова.
7. Коробко О.В. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» / Укл.: О.В. Коробко, А.Є. Островська – Запоріжжя: ЗНТУ, – 2014 – 22 с.

ДОДАТОК А

А.1 Основна програма

```
% gmsk.m
%
% Simulation program to realize GMSK transmission
system
%
%

%***** Preparation part *****

sr=256000.0;    % Symbol rate
ml=1;           % ml: Number of modulation levels
br=sr.*ml;      % Bit rate
nd = 1000;      % Number of symbols that simulates in
reach loop

ebn0=30;        % Eb/N0
IPOINT=8;       % Number of oversamples

%***** Filter initialization
*****

irfn=21;        % Number of taps
B=0.25*sr;
B2=0.6*sr;
[xh] = gaussf(B,irfn,IPOINT,sr,1);
% Transmitter filter coefficients
```

```

[xh2] = gaussf(B2,irfn,IPOINT,sr,0);
% Reciever filter coefficients

%***** START CALCULATION *****
*****

nloop=100;      % Number of simulation loops

noe = 0;        % Number of error data
nod = 2;        % Number of transmitted data
#y msk.m: nod=0

for iii=1:nloop

%***** Data generation *****

data1=rand(1,nd.*ml) > 0.5;      % rand: built in
function

%***** GMSK Modulation *****

data11=2*data1-1;
data2=oversamp(data11,length(data11),IPOINT);
data3=conv(data2,xh);    % NEW for GMSK

th=zeros(1,length(data3)+1);
ich2=zeros(1,length(data3)+1);
qch2=zeros(1,length(data3)+1);

```

```

for ii=2:length(data3)+1
    th(1,ii)=th(1,ii-1)+pi/2*data3(1,ii-1)./IPOINT;
end

ich2=cos(th);
qch2=sin(th);

%***** Attenuation calculation *****

spow=sum(ich2.*ich2+qch2.*qch2)/nd;    % sum: built in
function
attn=0.5*spow*sr/br*10.^(-ebn0/10);
attn=sqrt(attn);    % sqrt: built in function

%***** Fading Channel *****

%
[ifade,qfade]=sefade2(data2,qdata1,itaу,dlvl1,th1,n0,itnd
1,now1,length(data2),fftlen2,fstp,fd,flat);

%***** Add White Gaussian Noise (AWGN)
*****

[ich3,qch3]=comb(ich2,qch2,attn);
% add white gaussian noise

[ich4,qch4] = compconv(ich3,qch3,xh2);

syncpoint=irfn*IPOINT-IPOINT/2+1;
ich5=ich4(syncpoint:IPOINT:length(ich4));

```

```

qch5=qch4(syncpoint:IPOINT:length(qch4));

%***** GMSK Demodulation *****

demodata2(1,1)=-1;

for k=3:2:nd*ml+1
    demodata2(1,k)=ich5(1,k)*qch5(1,k-1)*cos(pi*(k))    >
0;
end

for n=2:2:nd*ml+1
    demodata2(1,n)=ich5(1,n-1)*qch5(1,n)*cos(pi*(n))    >
0;
end
[demodata]=demodata2(1,2:nd*ml+1);

%***** Bit Error Rate (BER) *****

noe2=sum(abs(data1-demodata));           % sum: built in
function
nod2=length(data1);                     % length: built in
function
noe=noe+noe2;
nod=nod+nod2;

fprintf('%d\t%e\n',iii,noe2/nod2);      % fprintf: built
in function

end    % for iii=1:nloop

```

```

%***** Output Result *****

ber = noe/nod;
fprintf('%d\t%d\t%d\t%e\n',ebn0,noe,nod,noe/nod);
    % fprintf: built in function
fid = fopen('BERgmsk.dat','a');
fprintf(fid,'%d\t%e\t%f\t%f\t\n',ebn0,noe/nod,noe,nod
);
    % fprintf: built in function
fclose(fid);

%***** end of file *****

%передавач
figure;
stem(0:40,data1(1:41),'DisplayName','data1');
%generated Data
figure;
stem(0:20,data11(1:21),'DisplayName','data11');
%convert to NRZ (bipolar signal)
figure;
stem(0:20*IPOINT,data2(1:20*IPOINT+1),'DisplayName','data
2'); %передискретизація даних
figure;
stem(0:20*IPOINT,xh(1:20*IPOINT+1),'DisplayName','xh');
%коефіцієнти Гаусівського фільтру coefficients for
gaussian filter (Transmitter)
figure;
stem(0:40*IPOINT,data3(1:40*IPOINT+1),'DisplayName','data

```

```

3'); %фільтрація: згортка передискретизованих даних з
коефіцієнтами фільтру (передавач)
    figure;
stem(0:40*IPOINT,ich2(1:40*IPOINT+1),'DisplayName','ich2'
); %I-канал
    figure;
stem(0:40*IPOINT,qch2(1:40*IPOINT+1),'DisplayName','qch2'
); %Q-канал
    figure;
plot(0:40*IPOINT,ich2(1:40*IPOINT+1),'DisplayName','ich2'
); %I-канал після АЦП
    figure;
plot(0:40*IPOINT,qch2(1:40*IPOINT+1),'DisplayName','qch2'
); %Q-каналу після АЦП

%радіоканал: накладання шумів
    figure;
plot(0:40*IPOINT,ich3(1:40*IPOINT+1),'DisplayName','ich3'
); %шум для I-каналу
    figure;
plot(0:40*IPOINT,qch3(1:40*IPOINT+1),'DisplayName','qch3'
); %шум для Q-каналу

%приймач
    figure;
stem(0:20*IPOINT,xh2(1:20*IPOINT+1),'DisplayName','data2'
); %Reciever filter coefficients
    figure;
stem(0:40*IPOINT,ich4(1:40*IPOINT+1),'DisplayName','ich4'
); %фільтрація в I-каналі: згортка передискретизованих

```

даних з коефіцієнтами фільтру (приймач)

```
figure;
stem(0:40*IPOINT,qch4(1:40*IPOINT+1),'DisplayName','qch4'
);    %фільтрація в Q-каналі: згортка передискретизованих
даних з коефіцієнтами фільтру (приймач)
```

```
figure;    stem(0:40,ich5(1:41),'DisplayName','ich5');
%передискретизація даних в I-каналі
figure;    stem(0:40,qch5(1:41),'DisplayName','qch5');
%передискретизація даних в Q-каналі
figure;
stem(0:40,demodata(1:41),'DisplayName','demodata');
%демодульовані дані, перетворені за рівнями (з дволярного
на однополярний сигнал)
figure;    plot(ich3,qch3,'DisplayName','phaser');
%*****End of file
*****
```

A.2 Підпрограма gaussf

% gaussf.m

```
function [xh] = gaussf(B,irfn,IPOINT,sr,ncc)
```

```
POINT=IPOINT;
```

```
tr=sr;
```

```
n=IPOINT.*irfn;
```

```
mid=(n./2)+1;
```

```
fo=B/sqrt(2*log(2));
```

```
for i = 1:n
```

```

    icon=i-mid;
    ym=icon;

    xt=1/2*(erf(-sqrt(2/log(2))*pi*B*(ym/IPOINT-
1/2)/tr)+erf(sqrt(2/log(2))*pi*B*(ym/IPOINT+1/2)/tr));

    if ncc == 0          %in the case receiver
        xh(i)=xt;
    elseif ncc == 1      %in the case transmitter
        xh(i)=xt;
    else
        error('ncc error');
    end
end
end

```

A.3 Підпрограма comb

```

% comb.m
%
% Generatr additive gaussian noise
%
%
function [iout,qout] = comb (idata,qdata,attn)

%***** variables *****
% idata : input Ich data
% qdata : input Qch data
% iuot output Ich data
% qout output Qch data
% attn : attenuation level caused by Eb/No or C/N

```

```
%*****
```

```
iout = randn(1,length(idata)).*attn;
```

```
qout = randn(1,length(qdata)).*attn;
```

```
iout = iout+idata(1:length(idata));
```

```
qout = qout+qdata(1:length(qdata));
```

```
%***** End of file *****
```

A.4 Підпрограма oversamp

```
% oversamp.m
```

```
function [out] = oversamp(indata,nsymb,sample)
```

```
out=zeros(1,nsymb*sample);
```

```
out(1:sample:1+sample*(nsymb-1))=indata;
```