

Вінницький національний технічний університет
Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем
Кафедра телекомунікаційних систем та телебачення

Магістерська кваліфікаційна робота

**на тему: «МЕТОДИ ДЕМОДУЛЯЦІЇ ЧАСТОТНО-
МАНІПУЛЬОВАНИХ СИГНАЛІВ З ЦИКЛІЧНО
ЗМІНЮВАНИМ ІНДЕКСОМ МОДУЛЯЦІЇ»**

Виконав: студент 2-го курсу, групи ТТК-17м

Арсенюк М.І.

Керівник: к.т.н., доцент каф. ТКСТБ

Воловик А.Ю.

Вінниця ВНТУ - 2019 рік

Мета роботи: дослідження методів демодуляції частотно-маніпульованих сигналів з безперервною фазою із циклічно змінюваним індексом модуляції і пошук способів підвищення їх завадостійкості й енергетичної ефективності.

Об'єкт дослідження: процеси перетворення інформаційних сигналів в приймальних пристроях частотно-маніпульованих сигналів з безперервною фазою із циклічно змінюваним індексом модуляції в мережах супутникового, стільникового радіозв'язку та систем телеметрії.

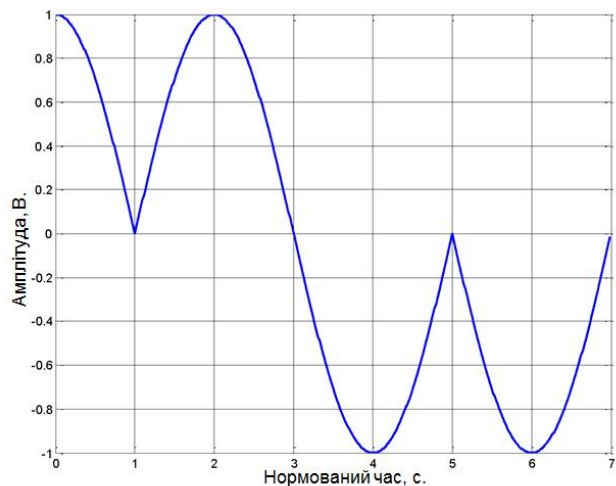
Предмет дослідження: методи цифрової обробки сигналів в демодуляторах частотно-маніпульованих сигналів з безперервною фазою із циклічно змінюваним індексом модуляції.

Аналітичне представлення частотно-маніпульованого сигналу з безпервною фазою

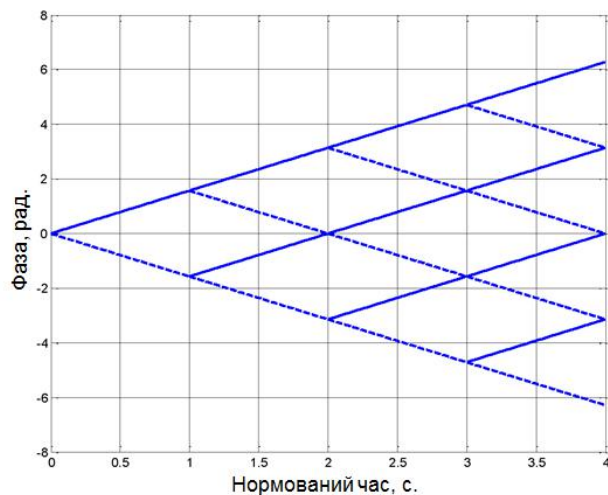
$$s(t) = \sqrt{\frac{2E}{T}} \cos\{2\pi f_c t + \varphi(t; I) + \varphi_0\} \quad (1)$$

$$\varphi(t; I) = \theta_n + 2\pi h I_n q(t - nT) \quad (2)$$

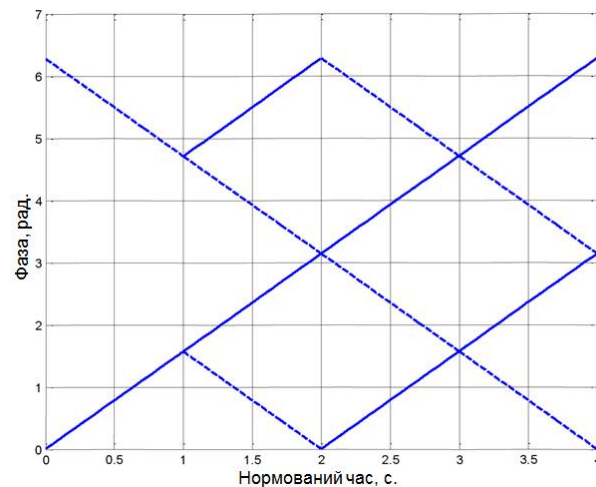
$$h = 2f_d T, \quad \theta_n = \pi h \sum_{k=-\infty}^{n-1} I_k, \quad q(t) = \begin{cases} 0 & (t < 0) \\ t / 2T & (0 \leq t < T) \\ 0.5 & (t > 0) \end{cases}$$



а)

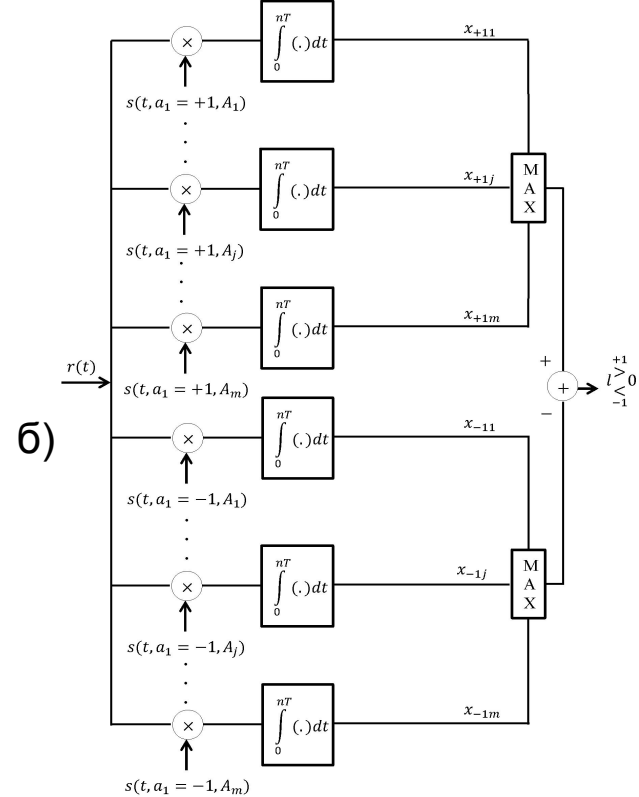
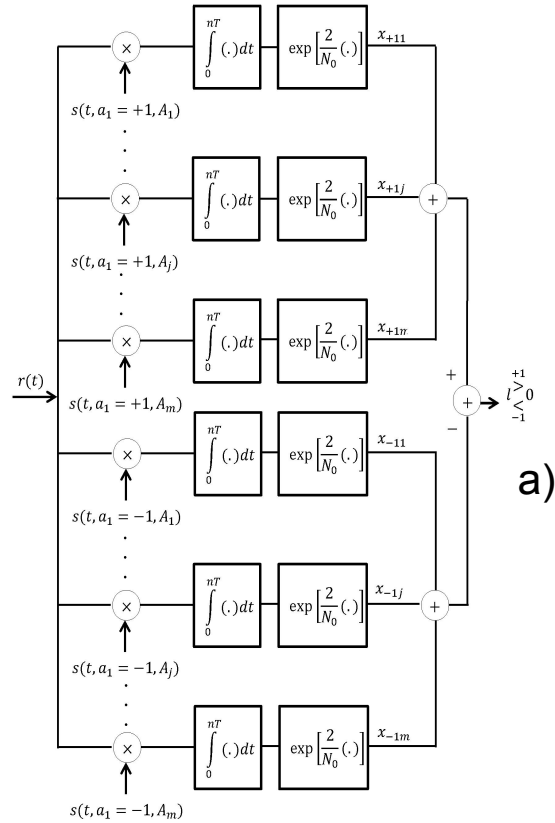


б)



в)

Рисунок 1. Графічне представлення ЧМБФ сигналів $h=0.5$
 а) Часова залежність; б) Фазове дерево; в) Фазова решітка.

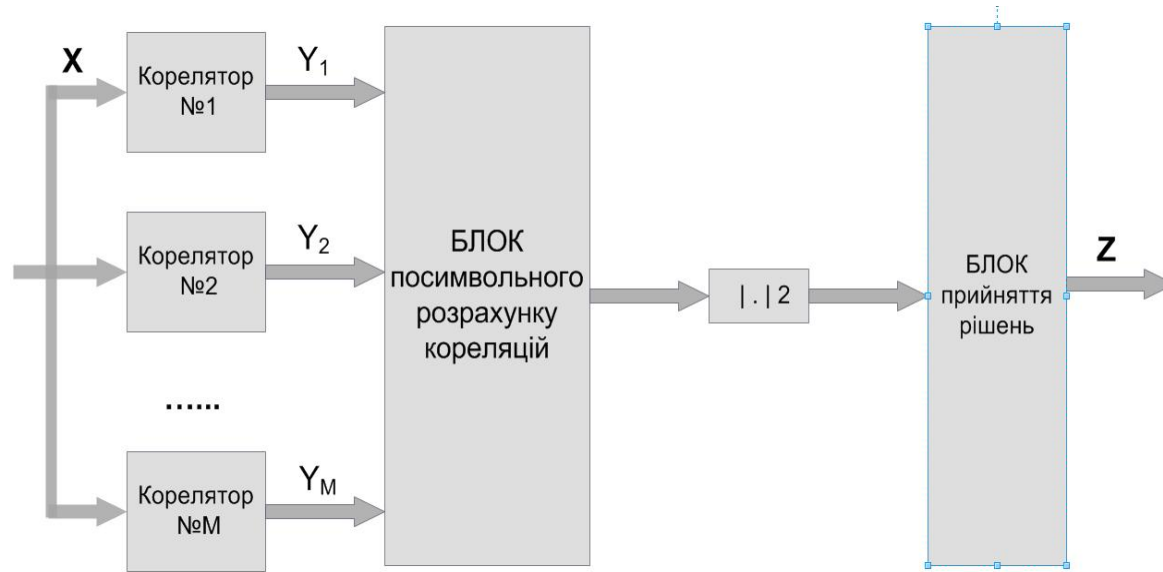


$$\frac{\exp\left(\frac{2}{N_0} \int_p^{nT} r(t) s_{+1}(t) dt\right)^{+1}}{\exp\left(\frac{2}{N_0} \int_p^{nT} r(t) s_{-1}(t) dt\right)^{-1}} > 1 \quad (3)$$

$$l = \frac{\sum_{j=1}^m \exp\left(\frac{2}{N_0} \int_0^{nT} r(t) s(t, a_1 = +1, A_1) dt\right)}{\sum_{j=1}^m \exp\left(\frac{2}{N_0} \int_0^{nT} r(t) s(t, a_1 = +1, A_1) dt\right)} = \frac{\sum_{j=1}^m x_{+1j}^{+1}}{\sum_{j=1}^m x_{-1j}^{-1}} > 1 \quad (4)$$

Рисунок 2. Структура алгоритму демодуляції ЧМБФ сигналів
 а) Оптимальний ML демодулятор; б) Субоптимальний high-SNR демодулятор.

Некогерентна демодуляція ЧМНФ сигналів з ЦІЗМ



(2)

Рисунок 3. Некогерентний демодулятор ЧМНФ сигналів з ЦІЗМ на декілька символів

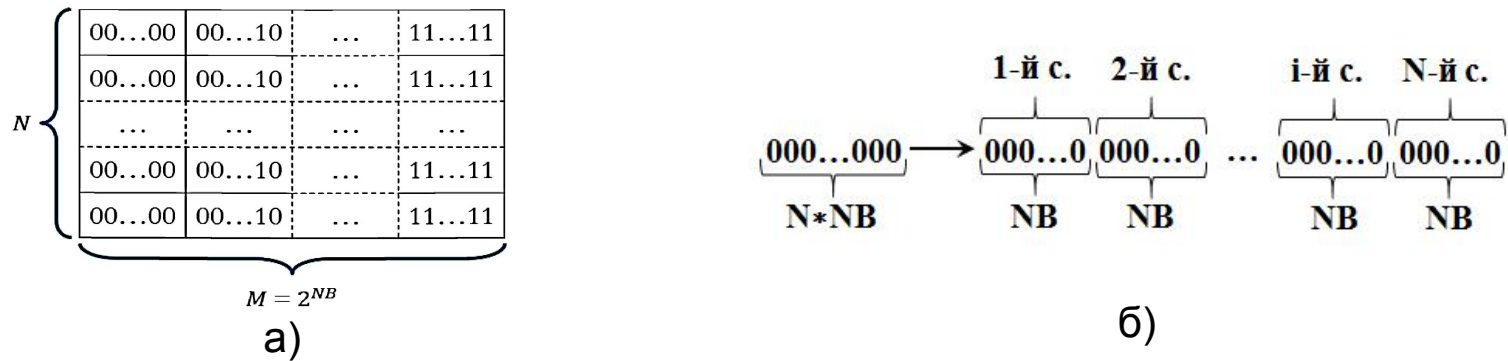


Рисунок 4. Алгоритм реалізації посимвольного розрахунку кореляцій:
 а) двовимірний масив значень взаємних кореляцій; б) сигнальна конструкція обчислення

Дослідження характеристик завадостійкості некогерентного демодулятора ЧМБФ сигналів

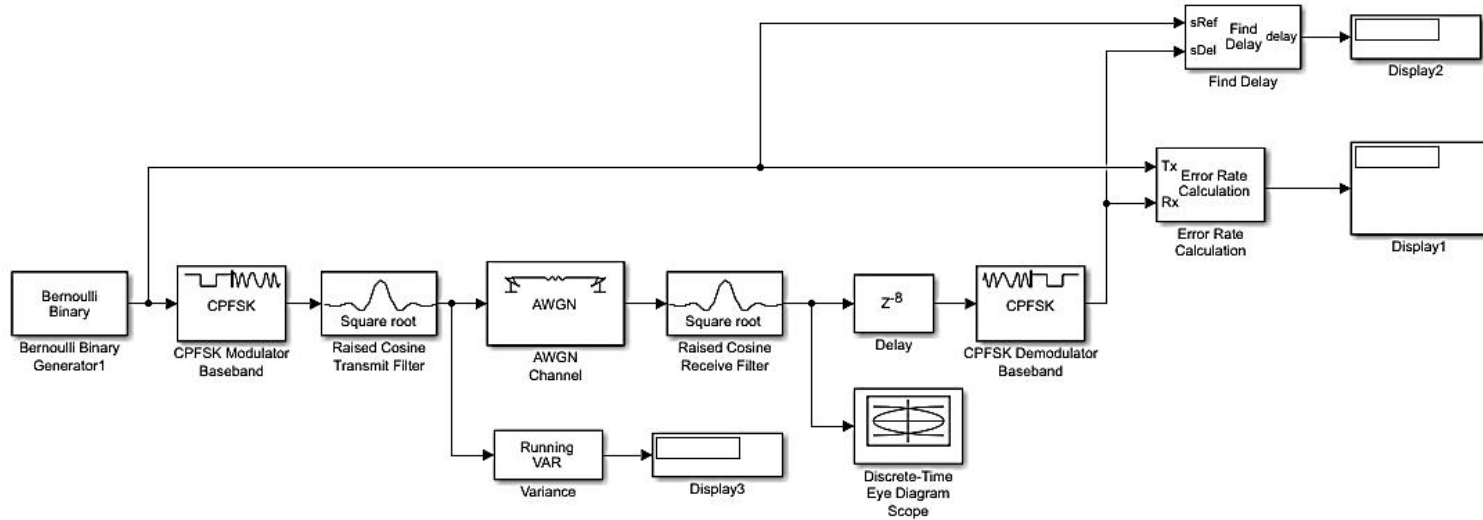


Рисунок 5. Структурна схема алгоритму моделювання

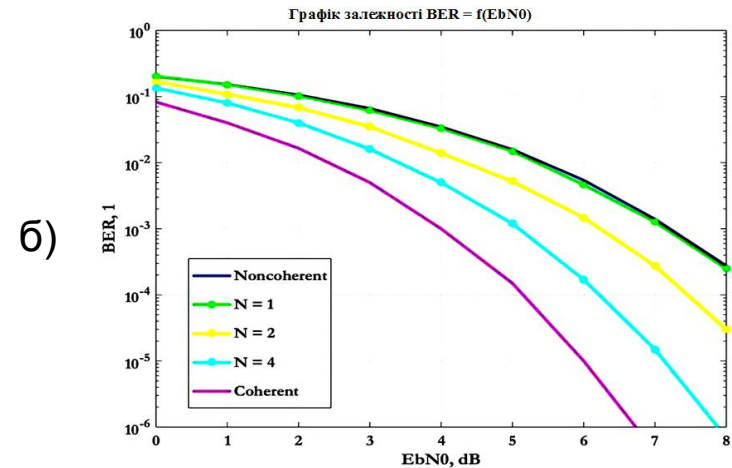
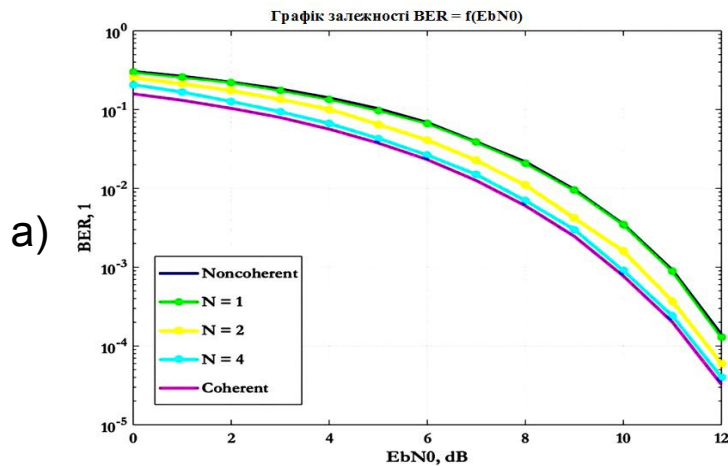


Рисунок 6. Графік залежності коефіцієнта бітових помилок:
а) $M=3$, $h=0.5$; б) $M=8$, $h=0.8$.

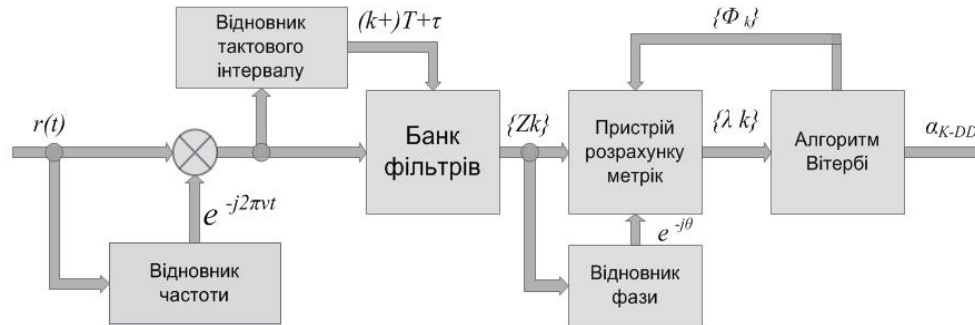


Рисунок 7. Структурна схема когерентного ML демодулятора сигналів ЦЗІМ з системою синхронізації послідовного типу

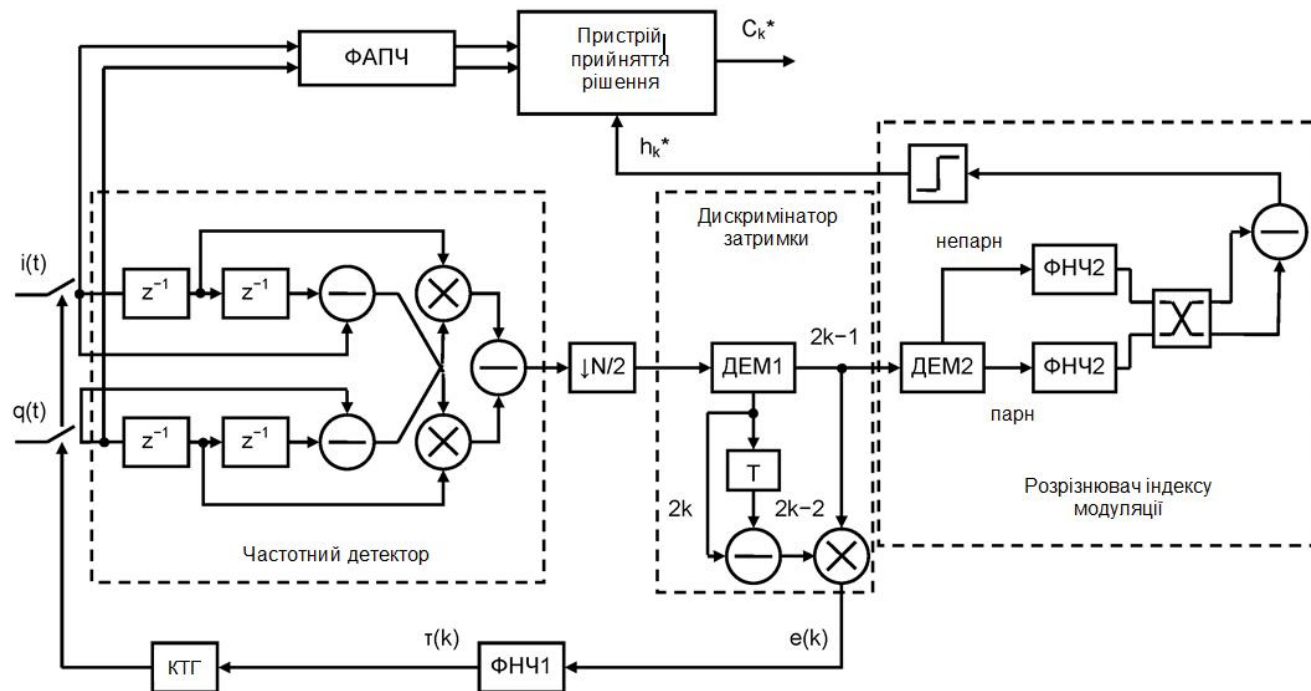


Рисунок 8. Демодулятор ЧМБФ сигналу з ЦЗІМ із двома індексами модуляції на основі частотного детектора

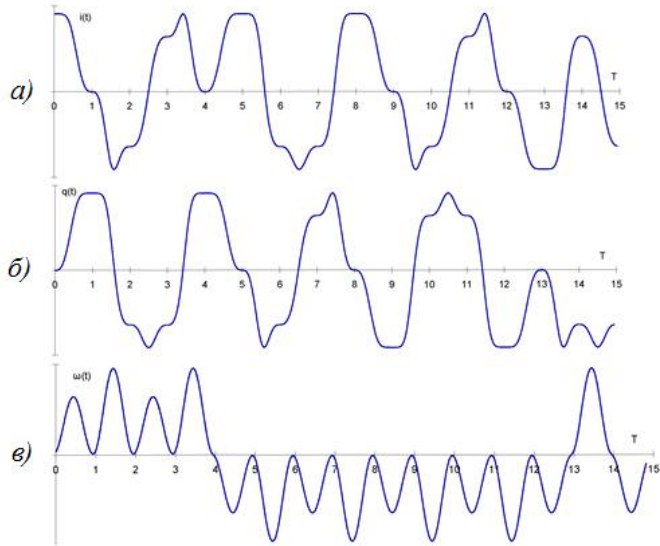


Рисунок 9. Структурні складові ЧМБФ сигналів з ЦЗІМ демодулятора на основі частотного детектора:
 а) - синфазна складова сигналу ЦЗІМ;
 б) - квадратурна складова, в) – миттєва частота

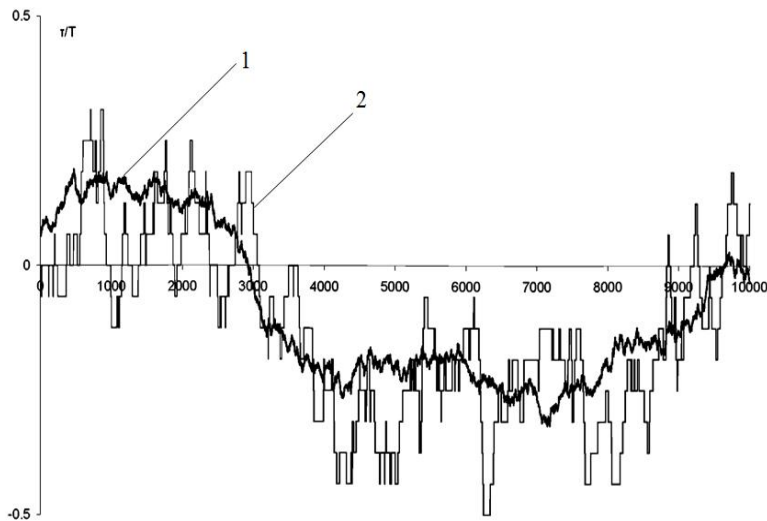


Рисунок 10. Флуктуюча затримка прийнятого сигналу ЧМНФ ЦЗІМ (1) і її оцінка (2)



Рисунок 11. Вихідні сигнали ФНЧ2 розрізнявача індексів модуляції сигналу ЧМНФ ЦЗІМ, індекс модуляції (0.75) (лінія 1), (0.5) (лінія 2)

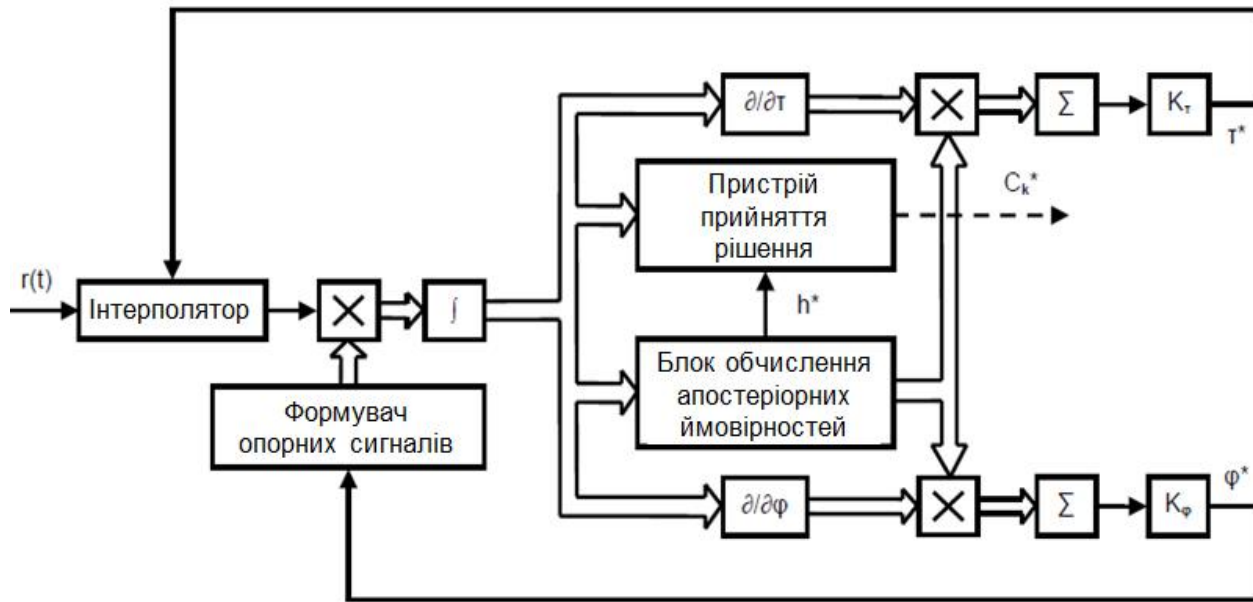


Рисунок 12. Структурна схема когерентного оптимального демодулятора ЧМБФ сигналу з ЦЗІМ

$$p(t, \theta = i | \tau, \varphi) = \frac{p(kT + \tau + 0, \theta = i | \tau, \varphi) \exp \left\{ \int_{kT+\tau}^t F_i(t_1, \tau, \varphi) dt_1 \right\}}{\sum_{i=1}^n p(kT + \tau + 0, \theta = i | \tau, \varphi) \exp \left\{ \int_{kT+\tau}^t F_i(t_1, \tau, \varphi) dt_1 \right\}} \quad (5)$$

$$\tau^*(k) = K_\tau \sum_{i=1}^n p_i(k) \cdot \int_{kT+\tau^*}^{(k+1)T+\tau^*} \frac{\partial F_i(t, \tau^*, \varphi^*)}{\partial \tau^*} dt \quad (6)$$

$$\varphi^*(k) = K_\varphi \sum_{i=1}^n p_i(k) \cdot \int_{kT+\tau^*}^{(k+1)T+\tau^*} \frac{\partial F_i(t, \tau^*, \varphi^*)}{\partial \varphi^*} dt \quad (7)$$

$$\theta_k^*(k) = \max_i^{-1} \left\{ \int_{kT+\tau^*}^{(k+1)T+\tau^*} F_i(t, \tau^*, \varphi^*) dt + \ln(p(kT + \tau^*, \theta = i | \tau^*, \varphi^*)) \right\} \quad (8)$$

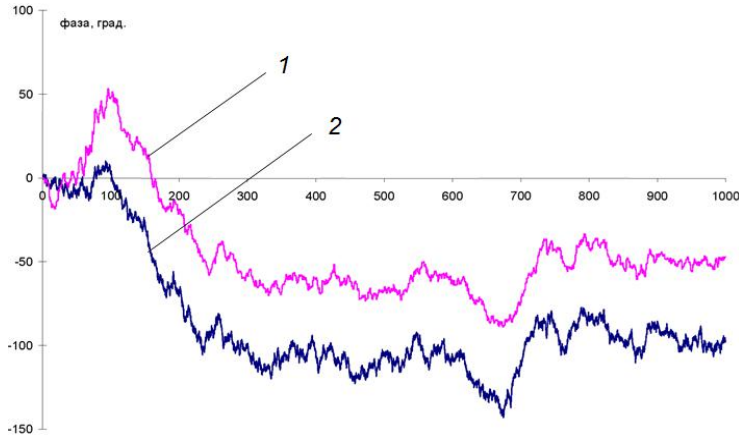


Рисунок 13. Флуктуюча початкова фаза сигналу з ЦЗІМ (0,5;0,75) (1) і її оцінка (2)

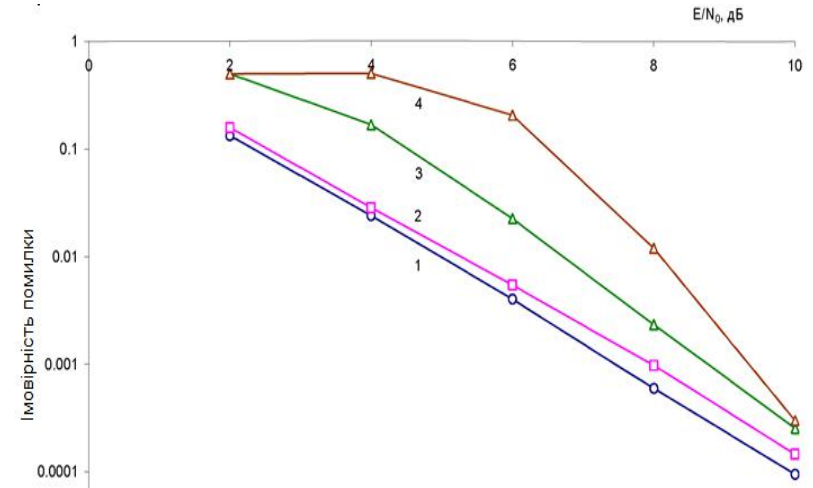


Рисунок 14. Залежності ймовірності помилки від відношення сигнал/шум

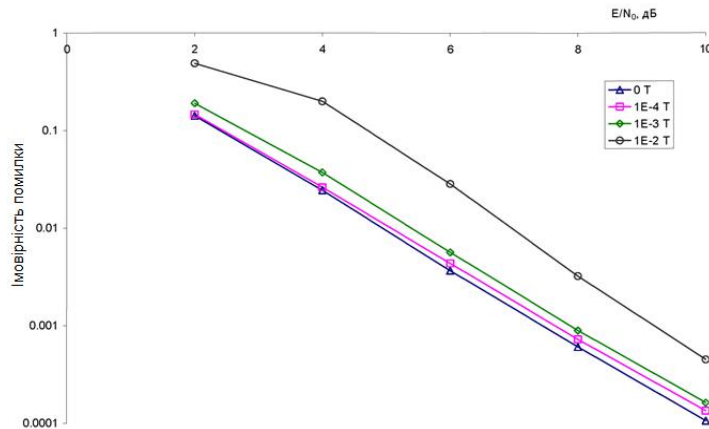


Рисунок 15. Залежність ймовірності помилки від відношення сигнал/шум при різних значеннях дисперсії затримки прийнятого сигналу

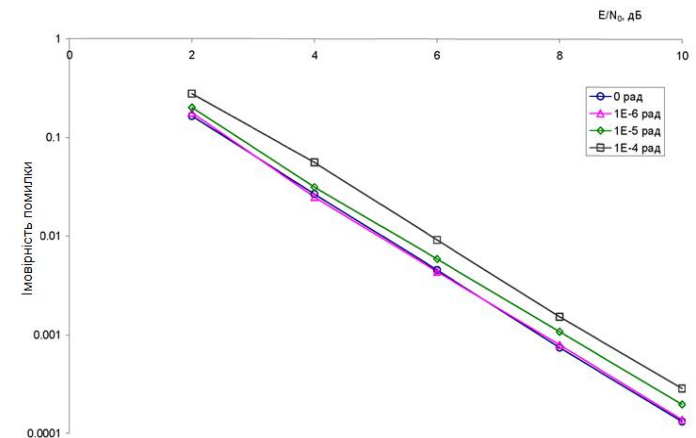


Рисунок 16. Завадостійкість приймання сигналу із флуктуючою фазою й флуктуючою затримкою

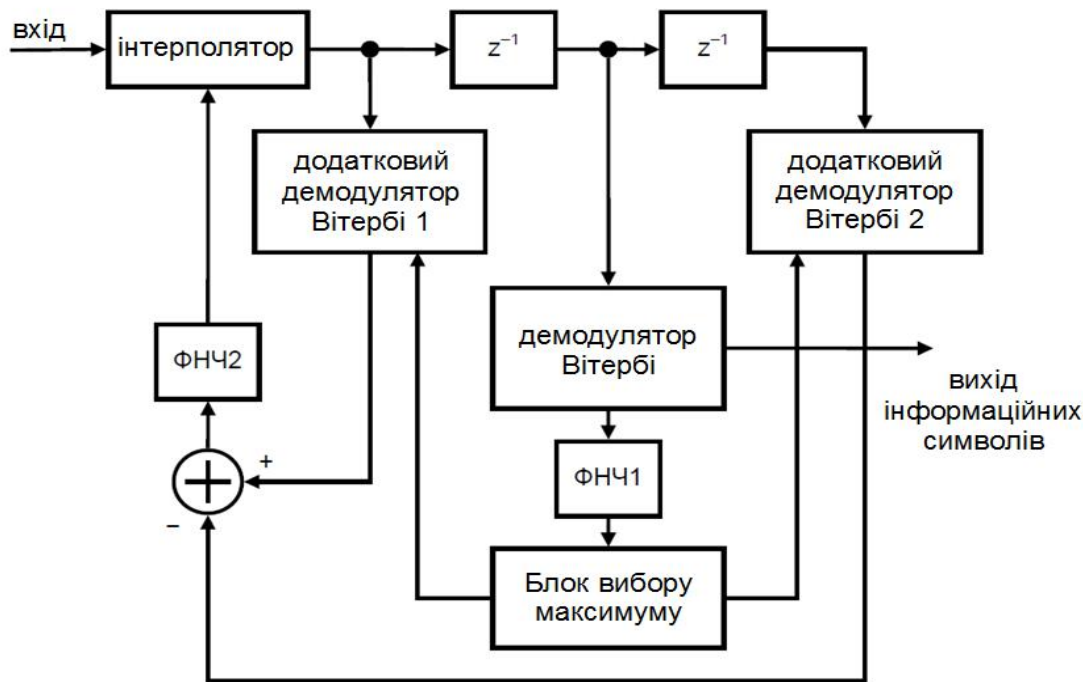


Рисунок 17. Субоптимальний квазікогерентний демодулятор ЧМБФ сигналів з ЦЗІМ на базі алгоритму Вітербі

$$Z_i(k) = \text{Re} \left\{ \sum_{j=kN_s}^{(k+1)N_s-1} r[j-\tau] \cdot \overline{s_i[j]} \right\} \quad (9)$$

$$\tau^*(k) = K_\tau h_b C_b \text{Im} \left\{ \sum_{j=(k-D)N_s}^{(k-D+1)N_s-1} r[j-\tau] \cdot \overline{s_i[j]} \right\} \quad (10)$$

$$\varphi^*(k) = K_\varphi \text{Im} \left\{ \sum_{j=(k-D)N_s}^{(k-D+1)N_s-1} r[j-\tau] \cdot \overline{s_i[j]} \right\} \quad (11)$$

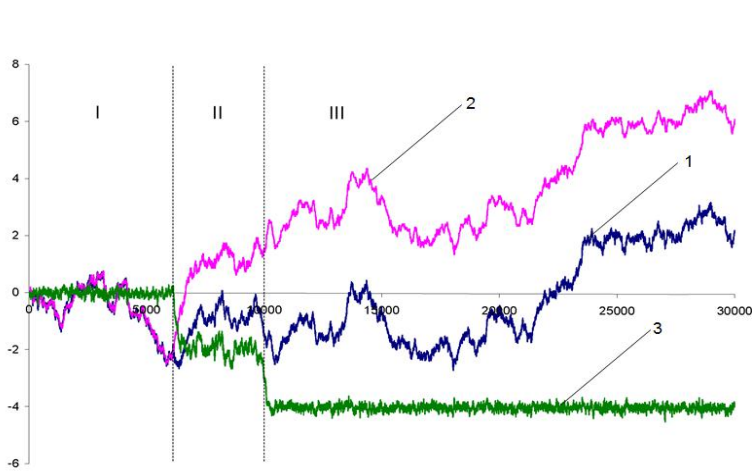


Рисунок 18. Флуктуюча затримка сигналу з ЦЗІМ (0,5;0,75) (1), її оцінка (2) і різниця між ними (3).

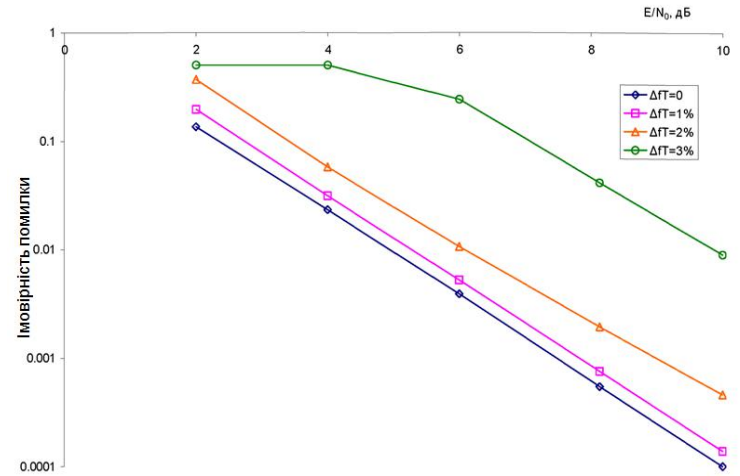


Рисунок 19. Ймовірності помилки від відношення сигнал/шум при різній величині розладу по тактовій частоті

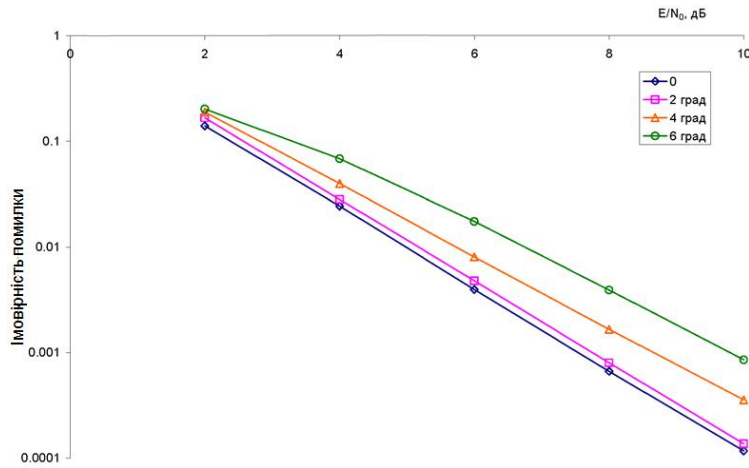


Рисунок 20. Завадостійкість при прийманні сигналу ЦІІМ (0,5;0,75) з зрушенням несучої частоти

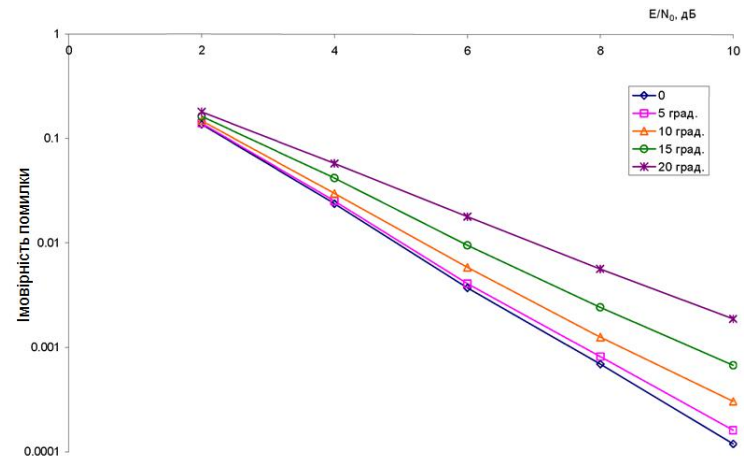


Рисунок 21. Ймовірність помилки при прийманні сигналу з невідомою початковою фазою демодулятором Вітербі

Порівняльний аналіз оптимального й субоптимального когерентних алгоритмів демодуляції ЧМБФ сигналу з ЦЗІМ

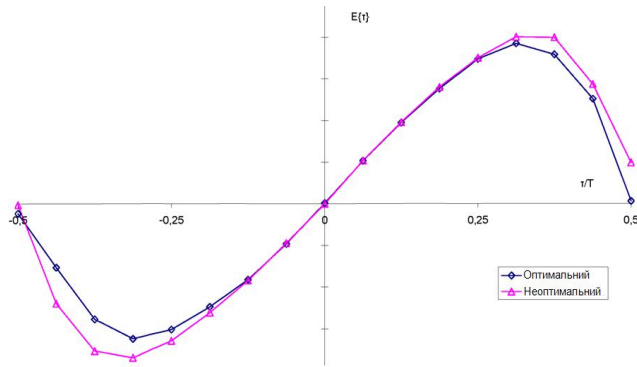


Рисунок 22. Дискримінаційні характеристики по затримці

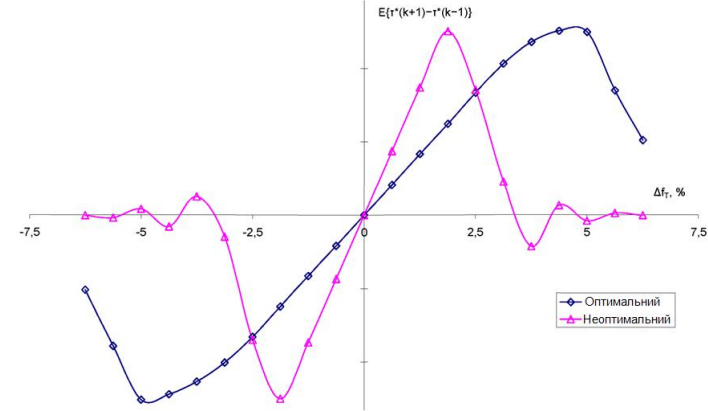


Рисунок 23. Дискримінаційні характеристики по тактовій частоті

Таблиця 1 – Залежність імовірності помилки від величини дисперсії затримки.

Дисперсія затримки σ_T^2, T^2	Оптимальний	Неоптимальний
10^{-4}	$1.36 \cdot 10^{-4}$	$1.6 \cdot 10^{-4}$
10^{-3}	$1.5 \cdot 10^{-4}$	$1.87 \cdot 10^{-4}$
10^{-2}	$3.32 \cdot 10^{-4}$	$4.5 \cdot 10^{-4}$

Таблиця 2 – Залежність імовірності помилки від величини дисперсії фази.

Дисперсія фази $\sigma_\phi^2, \text{рад}^2$	Оптимальний	Неоптимальний
10^{-5}	$1.1 \cdot 10^{-4}$	$1.1 \cdot 10^{-4}$
10^{-4}	$1.22 \cdot 10^{-4}$	$1.25 \cdot 10^{-4}$
10^{-3}	$1.17 \cdot 10^{-3}$	$1.19 \cdot 10^{-3}$

1. Досліджений і проаналізований алгоритм некогерентної демодуляції ЧМНФ сигналу, який ґрунтується на м'якій схемі прийняття розв'язків. Результати моделювання показали, що такий алгоритм здатний перебудовуватися шляхом варіації обчислювальної складності;
2. Проаналізовані алгоритми роботи оптимального когерентного демодулятора ЧМБФ сигналів з ЦЗІМ і раціональним індексом, що створені на основі теорії оптимальної нелінійної фільтрації і дозволяють забезпечити приймання сигналів ЧМБФ з мінімальною середньою квадратичною помилкою. Отримані в ході моделювання характеристики використовувалися у якості еталонних при порівнянні;
3. На основі концепції багатофазової решітки, розглянутий демодулятор Вітербі, що забезпечує квазікогерентну демодуляцію сигналу з невідомою початковою фазою. Показано, що при певній відстань між суміжними вузлами фазової решітки завадостійкість приймання сигналу з невідомою початковою фазою відрізняється від завадостійкості повністю когерентного прийому не більше ніж на 1%;
4. За допомогою імітаційного моделювання показано, що розглянуті субоптимальні алгоритми демодуляції дозволяють забезпечити приймання ЧМБФ сигналів з ЦЗІМ із флуктуючою затримкою із імовірністю помилки, що відрізняється від імовірності помилки при когерентному прийманні сигналу не більш ніж в 1.5 рази.

ДОПОВІДЬ ЗАВЕРШЕНО,

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ