

С.М. Іщеряков, к.т.н., доц.

Ю.С. Федорович, асист.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

### КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОКОРЕЛЯЦІЙНИХ МЕТОДІВ ПРИЙМАННЯ ФАЗОМАНІПУЛЬОВАНИХ ГАРМОНІЙНИХ СИГНАЛІВ

*В роботі представлені результати моделювання взаємокореляційного приймання багато-позиційних гармонійних фазоманіпульованих сигналів з використанням кореляційної та модульної функцій. Показано, що за рахунок збільшення частоти дискретизації приймачі фазоманіпульованих сигналів на основі модульної функції при однакових апаратурних витратах можуть забезпечити більшу завадостійкість у порівнянні з кореляційними приймачами.*

Системи передавання даних – галузь, яка розвивається найбільш динамічно. Актуальність досліджень в цій галузі для вітчизняних систем важко переоцінити, враховуючи проблеми із забезпеченням завадостійкості зв'язку. З іншого боку, недостатня кількість сучасних каналів зв'язку не дозволяє в повній мірі використати світові досягнення в області високошвидкісного цифрового зв'язку. Таким чином, системи передавання даних по комутованим телефонним лініям зв'язку залишаються найбільш широко розповсюдженим засобом інформаційних комунікацій.

З теорії інформації відомо, що при передаванні даних синусоїдальними сигналами фазова модуляція є найбільш інформативною і завадозахищеною. Сучасні протоколи передавання даних забезпечують передачу до 4 біт/період при використанні фазової модуляції (16 позицій повороту фази). Подальше збільшення кількості позицій повороту фази ускладнюється різким зниженням завадозахищеності. Це обумовлює використання амплітудно-фазової модуляції, в т.ч. трелліс-кодування. При використанні даного методу вводиться певна надлишковість в простір сигналів, що передаються, за рахунок використання частини простору сигналів для передавання інформації про кореляційні зв'язки. Альтернативою є використання кореляційних приймачів, які забезпечують необхідний рівень завадостійкості без введення надлишковості.

Загальновідомо, що кореляційний приймач приймає рішення про переданий сигнал на основі розрахунку згортки прийнятого сигналу  $Y(t)$  та опорного сигналу  $X(t)$  протягом періоду сигналу  $T$ :

$$R(t) = \frac{1}{T} \int_0^T X(t) * Y(t + \tau) d\tau.$$

В більшості випадків за операцію згортки \* використовується операція множення. В [1] проведено теоретичний аналіз використання кореляційної моделі на основі операції множення, вказані недоліки і запропоновано використовувати кореляційну модель на основі операції абсолютної різниці.

В даній статті наведено результати попереднього моделювання роботи кореляційних приймачів на основі різних операцій згортки.

Попереднє моделювання проводилось при наступних умовах:

- кількість позицій фази – 32;
- кількість рівнів квантування вхідного та опорного сигналу – 256;
- співвідношення частота дискретизації / частота несучого коливання – 256;
- передана комбінація – 00101.

Для приймання фазоманіпульованого сигналу використовувались наступні кореляційні моделі:

– кореляційна функція:  $R(j) = \sum_{i=1}^{256} X_i \cdot Y_{i+j};$  (1)

– модульна функція:  $G(j) = \sum_{i=1}^{256} |X_i - Y_{i+j}|;$  (2)

а також структурна функція:  $C(j) = \sum_{i=1}^{256} (X_i - Y_{i+j})^2$ , функція еквівалентності:

$$Z(j) = \sum_{i=1}^{256} \min(X_i \cdot Y_{i+j}) \text{ та знакова функція: } K(j) = \sum_{i=1}^{256} X_i \cdot \text{Sign}(Y_{i+j}).$$

Розрахуємо положення точки екстремуму кореляційної моделі при використанні вищевказаних параметрів. На одну фазову позицію припадає  $256/8 = 8$  відліків кореляційної моделі. Передана комбінація  $00101_2$  відповідає значенню 5. Таким чином, екстремум повинен знаходитись у околі відліка № 40.

На рисунку 1 наведені отримані графіки кореляційних моделей.

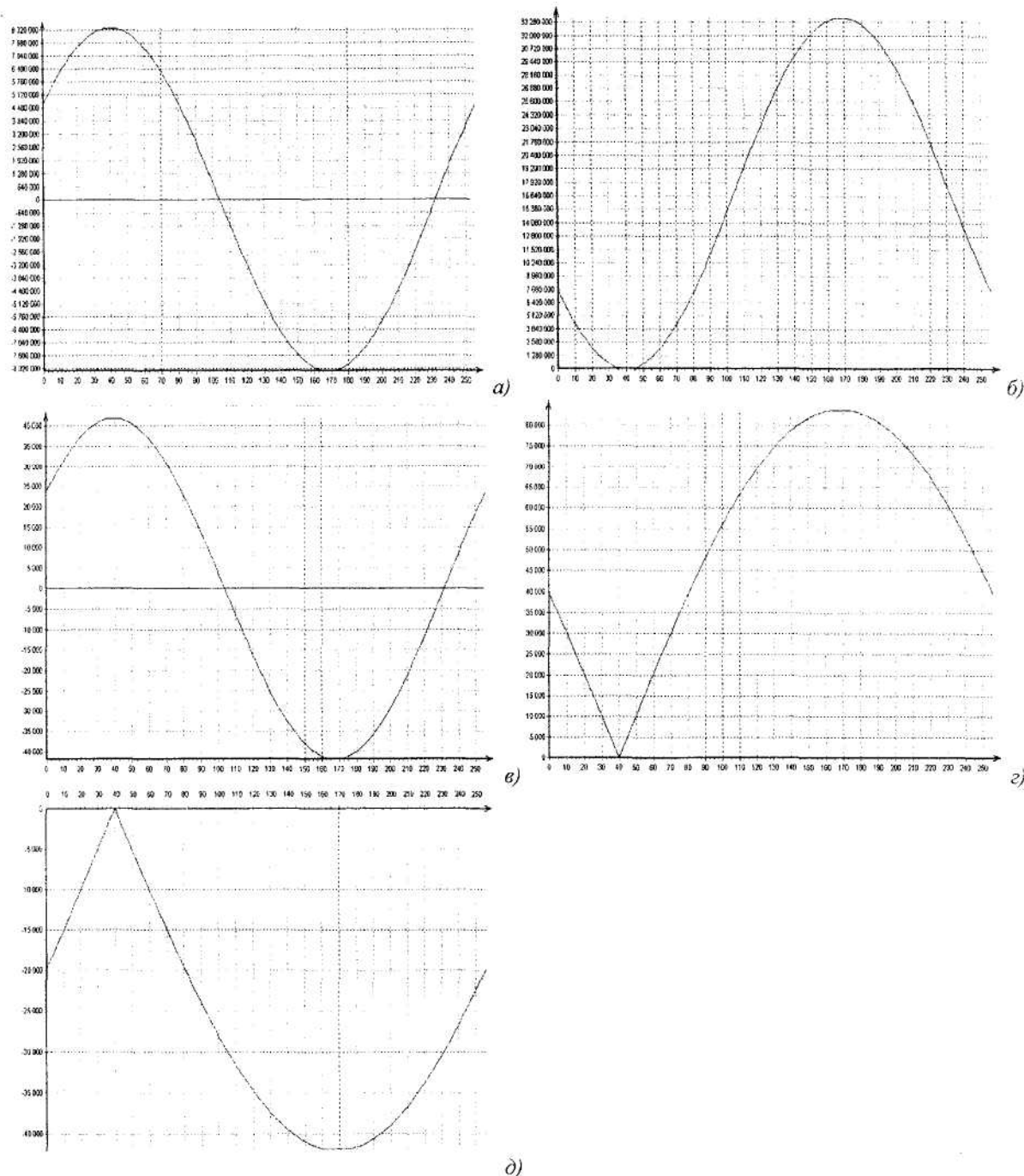


Рис. 1. Графіки кореляційних моделей при прийманні фазоманіпульованих сигналів:  
 а) кореляційна функція; б) структурна функція; в) знакова функція;  
 г) модульна функція; д) функція еквівалентності

Основні параметри моделей зведені в таблицю 1. Її аналіз показує, що для приймання фазоманіпульшованих сигналів максимальна різниця між сусідніми відліками в околі точки екстремуму спостерігається при використанні модульної функції.

Таблиця 1

Параметри кореляційних моделей приймання фазоманіпульшованих сигналів

Параметр	R	C	K	G	Z
Діапазон значень	16866100	33732500	83869	83871	42150
Приріст в околі точки екстремуму:					
- абсолютний	1699	5110	22	1026	511
- відносний	0.00010073	0.00015149	0.00026231	0.01223307	0.01212337

Реально системи передавання даних працюють в умовах впливу різноманітних завад. Це обумовило подальше моделювання роботи кореляційних приймачів в умовах впливу адитивних завад різної потужності. При подальшому моделюванні здійснювався порівняльний аналіз кореляційної (1) та модульної (2) функцій.

На рисунку 2 наведено залежність ймовірності похибки від співвідношення сигнал/шум при прийманні фазоманіпульшованого сигналу (три біти/період – ФМ-3) кореляційним приймачем на основі функцій (1) та (2). При цьому частота дискретизації в 64 рази перевищує частоту несучого сигналу.

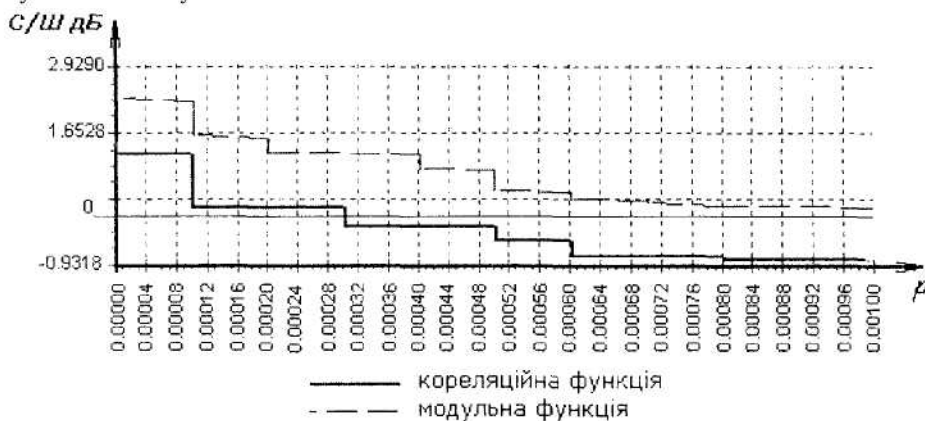


Рис. 2. Залежність ймовірності похибки від співвідношення сигнал/шум при прийманні кореляційними приймачами

Аналіз вищенаведеного графіка дозволяє зробити висновок про можливість здійснення надійного зв'язку (ймовірність похибки менше  $10^{-4}$ ) при співвідношенні сигнал/шум із значеннями, що починаються з 1,5 дБ. Сучасна апаратура передавання даних по комутованих телефонних лініях зв'язку для приймання фазоманіпульшованого сигналу ФМ-3 передбачає співвідношення сигнал/шум в межах 3–6 дБ.

Ймовірність похибки при прийманні за допомогою кореляційного приймача залежить не тільки від співвідношення сигнал/шум, але й від частоти дискретизації вхідного сигналу. Це обумовлено тим, що чим більше співвідношення частота дискретизації/частота несучого коливання, тим більше інформації про переданий сигнал ми отримуємо і робота кореляційного приймача стає більш надійною. На рисунку 3 наведено результати моделювання ймовірності похибки в залежності від співвідношення частота дискретизації/частота несучого коливання та кількості позицій повороту фази. При проведенні моделювання було прийнято, що співвідношення сигнал/шум становить 0 дБ.

На прикладі ФМ-3 видно, що подальше збільшення частоти дискретизації дозволяє або зменшити ймовірність похибки при збереженні співвідношення сигнал/шум, або здійснювати надійний зв'язок (ймовірність похибки  $10^{-4}$ ) при зменшенні співвідношення сигнал/шум.

При проведенні моделювання передавання по комутованих телефонних лініях зв'язку отримані результати, які свідчать про можливість використання ФМ-7, ФМ-8 при частоті дискретизації 24 МГц при співвідношенні сигнал/шум 1–2 дБ.

Аналіз результатів моделювання роботи кореляційних приймачів на основі функцій (1) та (2) при різній частоті дискретизації вхідного сигналу (таблиця 2 та рисунок 3) показує, що однакова ймовірність похибки вимагає для приймача на основі модульної функції в 1.3–1.6 раза більшої частоти дискретизації, ніж для аналогічного приймача на основі кореляційної функції.

Таблиця 2

Ймовірність помилки при зміні частоти дискретизації

Сигнал Шум, дБ		$f_{\text{ДИСКР}}=100\text{кГц}$			$f_{\text{ДИСКР}}=200\text{кГц}$		
		ФМ-2	ФМ-3	ФМ-4	ФМ-2	ФМ-3	ФМ-4
0,5	PR	0.0003	0.0058	-	0.0001	0.0002	-
	PG	0.0002	0.0137	-	0.0002	0.0005	-
1	PR	0.0001	0.0026	-	0.0000	0.0000	0.0374
	PG	0.0002	0.0085	-	0.0000	0.0001	0.1039
2	PR	0.0000	0.0011	0.1031	0.0000	0.0000	0.0194
	PG	0.0000	0.0037	0.1821	0.0000	0.0000	0.0628
3	PR	0.0000	0.0001	0.0652	0.0000	0.0000	0.0107
	PG	0.0000	0.0004	0.1360	0.0000	0.0000	0.0377
4	PR	0.0000	0.0001	0.0101	0.0000	0.0000	0.0044
	PG	0.0000	0.0002	0.0437	0.0000	0.0000	0.0203
5	PR	0.0000	0.0000	0.0268	0.0000	0.0000	0.0201
	PG	0.0000	0.0001	0.0683	0.0000	0.0000	0.0107

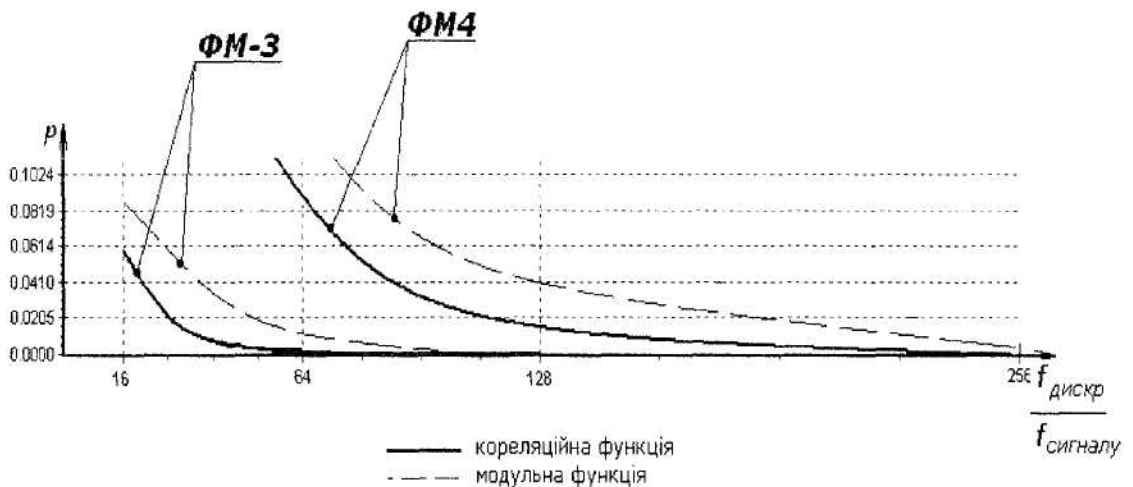


Рис. 3. Залежність ймовірності похибки від співвідношення частота дискретизації/частота несучого коливання та кількості позицій повороту фази при співвідношенні сигнал/шум 0 дБ

Однакова ймовірність похибки вимагає для приймача на основі модульної функції в 1.3–1.6 раза більшої частоти дискретизації, ніж для аналогічного приймача на основі кореляційної функції.

Збільшення частоти дискретизації обумовить зростання апаратних витрат на реалізацію кореляційного приймача, які можуть бути скомпенсовані використанням спрощеного алгоритму кореляційного приймання [2]. Таким чином, актуальним є детальний аналіз можливості збільшення частоти дискретизації для спрощених алгоритмів взаємкореляційного приймання, за рахунок чого можливе зменшення ймовірності помилки у порівнянні з класичними взаємкореляційними приймачами.

**ЛІТЕРАТУРА:**

1. *Ищряков С.М., Федорович Ю.С.* Перспективи застосування кореляційних методів приймання фазоманіпульованих сигналів // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах: Зб. наукових праць. – Хмельницький: ТУП. – 2002. – Т. 2. – № 9. – С. 51–56.
2. *Ищряков С.М., Федорович Ю.С.* Багатоканальний взаємкореляційний приймач фазоманіпульованих сигналів на основі модульної функції // Вісник Технологічного університету Поділля. – Хмельницький: ТУП. – 2002. – Т. 2. – № 3. – С. 144–146.

ИЩЕРЯКОВ Сергій Михайлович – кандидат технічних наук, доцент кафедри прикладної математики Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

Наукові інтереси:

– цифрова обробка сигналів.

Тел.: +(03422)-42127.

E-mail: [ism@ac.ifdtung.if.ua](mailto:ism@ac.ifdtung.if.ua)

ФЕДОРОВИЧ Юрій Степанович – асистент кафедри комп'ютерних технологій і систем управління Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

Наукові інтереси:

– методи кореляційної обробки інформації;

– системи передавання даних.

Тел.: +(03422)-24285.

E-mail: [yufedorovych@rambler.ru](mailto:yufedorovych@rambler.ru)

Подано 20.08.2002