

# Спосіб Формування Множини Оціночних Сигналів для Дослідження Функціонального Простору Об'єкта

Юрій Стрілецький  
кафедра методів та приладів контролю якості і  
сертифікації продукції  
Івано-Франківській національній технічній  
університет нафти і газу  
Івано-Франківськ, Україна  
momental@ukr.net

Віктор Ровінський  
кафедра інформатики  
Прикарпатський національний університет імені Василя  
Стефаніка  
Івано-Франківськ, Україна  
musicneutrino@gmail.com

## Method of Evaluation Signal Set Formation for Studying Object's Functional Space

Yurii Striletskyi  
methods and devices of quality control and certification  
IFNTUOG  
Ivano-Frankivsk, Ukraine  
momental@ukr.net

Victor Rovinsky  
dept. of Computer Science  
Precarpathian National University  
Ivano-Frankivsk, Ukraine  
musicneutrino@gmail.com

**Анотація**— Розглянуто спосіб формування сигналу для дослідження функціонального простору об'єкта при його ідентифікації. Запропоновано використовувати фазоманіпульований сигнал із двох біт, що дало можливість визначити затримку поширення тестового сигналу в об'єкті за допомогою аналізу взаємкореляційних функцій отриманого сигналу із чотирма опорними сигналами, які синхронні із тестовим, але мають визначені фазові зсуви.

**Abstract**— Was proposed method forming the signal for discovery functional space of object. A use BPSK signal of two bits, making it possible to determine the propagation delay test signal in the object by analyzing the received signal cross correlation with four reference signals and are synchronous with the test signal, but have a certain phase shift.

**Ключові слова**— спектральне представлення, взаємкореляційна функція, час запізнення сигналу, огинаюча сигнал, фазоманіпульований сигнал

**Keywords**— spectral representation, cross correlation, time delay signal, baseband signal, BPSK

### I. ВСТУП

В процесі пізнання невідомі об'єкти ідентифікуються шляхом побудови моделі, яка в повній мірі відображає

механізм функціонування об'єкта з позиції дослідника. Ідентифікація об'єкта супроводжується етапами специфікації і оцінки. Задача специфікації полягає у виборі зручного і ефективного математичного способу опису системи. Такий опис як правило представляє собою рівняння, що містить набір оцінюваних параметрів. При ідентифікації застосовують комбінацію двох підходів – оцінку параметрів і визначення характеристик об'єкта. Описані підходи використовують дедуктивний і індуктивний методи пізнання, тому мають свої переваги і недоліки.

Згідно дедуктивного методу структурна конфігурація об'єкта вважається відомою чи відносно неї робляться певні припущення, а параметри диференційних рівнянь, що описують систему вважаються невідомими. В цьому випадку задача ідентифікації зводиться до пошуку рішення в просторі параметрів, що забезпечують мінімізацію деякої функції помилки.

Індуктивний метод побудови моделі об'єкта передбачає дослідження функціонального простору цього об'єкта. За таким методом шукається множина відкликів об'єкта, пов'язаних із його функціонуванням на множину оціночних подразнень. При цьому отримується опис об'єкта в обмеженій і заздалегідь заданій області

функціонального простору. Розширення функціонального простору об'єкту можна здійснити шляхом пошуку його додаткових функціональних особливостей. Здебільшого розглядається експериментальні дослідження поведінки об'єкта. Тому важливо отримати максимум інформації про стан об'єкта при наявності обмежень, пов'язаних із його особливостями.

Очевидно, що при повній відсутності попередніх знань про об'єкт проводити ідентифікацію простіше за відношенням множини оціночних подразнень і відкликів системи. Вибір множини оціночних подразнень проводиться із врахуванням функціонального простору об'єкту, який здебільшого передбачає зміну його стану.

Множина оціночних подразнень формується із врахуванням функціонального простору об'єкта. Для повнішої оцінки множини станів об'єкта, пов'язаних із його функціонуванням необхідно використовувати таку ж або й більшу кількість оцінок подразнень. Отримати велику кількість оцінок подразнень, які здебільшого формуються простором сигналів, можна за допомогою багатомірних сигналів.

Одним із різновидів представлення багатомірного сигналу із простору сигналів подразнень є спектр. Спектральні складові, які містять відомості про амплітуду і затримку є незалежними один від одного[1]. Тому їх аналіз дозволяє отримати значну кількість інформації для побудови функціонального простору досліджуваного об'єкту, стосовно вибраної множини оціночних подразнень. При цьому важливо виділити відклик саме на вибрану множини подразнень. Тому оцінюваний сигнал із простору вхідних сигналів має формуватися так, щоб його можна було виділити на фоні сторонніх відкликів. За умови лінійності відображення оціночного подразнення станом об'єкта зручно формувати простір сигналів подразнення із гармонійних сигналів.

Дослідження гармонійних сигналів в лінійних системах пов'язана із пошуком амплітуд і фаз. Враховуючи загальну задачу пізнання об'єкта інформація про фазу має обмежене застосування, оскільки більш загальним є знання про запізнення сигналу.

Отже завданням при дослідженні об'єкта в межах певного функціонального простору є формування множини сигналів, які можна було б вирізнити на фоні завад і знаходити їх спектральні амплітуди та запізнення.

## II. Викладення основно матеріалу

Одним із способів виділення сигналів на фоні завад є використання кореляційної обробки. Загально прийнятим способом пошуку часу затримки сигналу за взаємкореляційною функцією (ВКФ) є по-точкове визначення значення ВКФ із пошуком положення її максимуму. Такий спосіб передбачає значний обсяг обробки. Зменшити цей обсяг і тим самим спростити засоби обробки можна вибравши таку форму сигналу, при якій за будь-яким вимірним значенням можна встановити часовий зсув. Пошук часового зсуву проводиться за максимумом кореляційної функції сигналу який взаємодіє із досліджуваним об'єктом і опорним

сигналом тієї ж форми. При цьому ВКФ фактично набуває виду (рис. 1)

Найбільш прийнятною є така форма сигналу, часовий зсув для якої можна визначити за відносними значеннями ВКФ, оскільки при перетворенні сигналу в об'єкті абсолютні значення ВКФ будуть мінятися через вплив сторонніх процесів. Сигнал пропонується формувати за допомогою фазової маніпуляції гармонійного сигналу із досліджуваною частотою. Модулюючим сигналом є двійковий код. Критерієм вибору коду модулюючого сигналу є можливість однозначного представлення значення його авто кореляційної функції (АКФ) за допомогою двох ортогональних координат. Це дасть можливість визначити часовий зсув за допомогою коефіцієнтів кореляції вхідного сигналу із двома опорними ортогональними сигналами, один із яких синхронний із формуванням тестового.

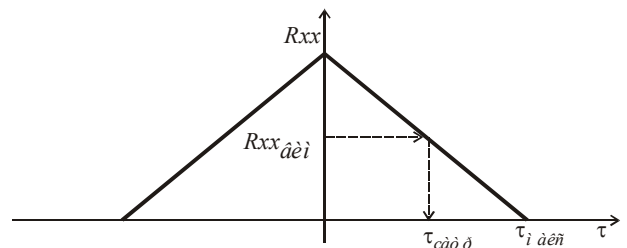


Рис. 1. Визначення часу затримки поширення сигналу за одним виміром авто кореляційної функції

В результаті аналізу було встановлено, що найбільш прийнятна форма модулюючого сигналу має форму симетричного прямокутного сигналу. АКФ такого сигналу має форму трикутника. Тому для модуляції несучого коливання досліджуваної частоти використано сигнал симетричної прямокутної форми. В такому випадку сигнал, який використовується для подразнення об'єкта буде визначатися функцією

$$s_{\Phi M}(t) = A_m \cdot \sin(\omega_0 \cdot t) \cdot \text{sign} \left[ 1 - \frac{\omega_l}{n \cdot 2\pi} \cdot \text{MOD} \left( t, n \cdot \frac{4\pi}{\omega_0} \right) \right],$$

де  $A_m$  - амплітуда коливаний,  $\omega_0$  - частота коливаний,

$\text{sign} \left[ 1 - \frac{\omega_l}{n \cdot 2\pi} \cdot \text{MOD} \left( t, n \cdot \frac{4\pi}{\omega_0} \right) \right]$  - функція, яка набуває

значення +1, -1 в залежності від часу  $t$  і кількості коливаний сигналу  $n$  впродовж одного біта.

При дослідженні вхідного ФМ сигналу необхідно визначити зміщення кадру відносно опорного сигналу. Зміщення кадру для періодичного кадру визначається фазовим кутом чи фазовою швидкістю поширення сигналу в об'єкті. Кадр формується періодом модулюючого сигналу. ВКФ отриманого із об'єкта відклику і синхронно утвореного опорного сигналу має інформацію про часовий зсув відклику. Форма сигналу впродовж одного кадру і ВКФ його із опорним сигналом наведені на рис.2.

Розглядаючи один кадр вхідного сигналу як період коливання можна представити сигнал ВКФ геометрично за допомогою вектора. Для побудови положення вершини вектора скористаємось квадратурною складовою ВКФ вхідного сигналу із зміщеним на  $2\pi$  по відношенню до модулюючого сигналу. Положення вершини вектора ВКФ вхідного сигналу із квадратурним вірцевим сигналом впродовж тривалості кадру зображено на рис.3.

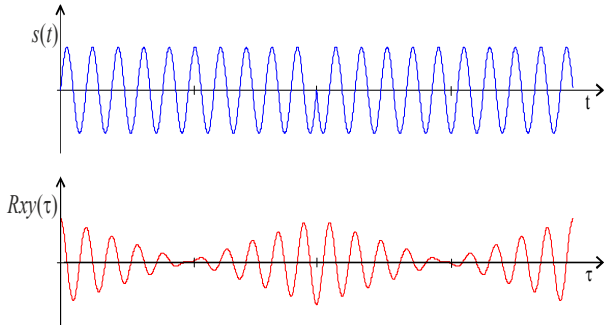


Рис. 2. ФМ сигнал і ВКФ його із вірцевим сигналом

Із наведених графіків видно, що локальні максимуми ВКФ описують форму квадрата. Це обумовлено прямокутною формою модулюючого сигналу. При цьому вектор пульсує із частотою несучого сигналу. В даному випадку, внаслідок симетричності ФМ коливання в часі операцію кореляції можна розглядати як згортку. Тому результатом кореляції буде узгоджена фільтрація вхідного сигналу. Коефіцієнтами узгодженої фільтрації буде вірцевий ФМ сигнал, який також має гармонійну несучу.

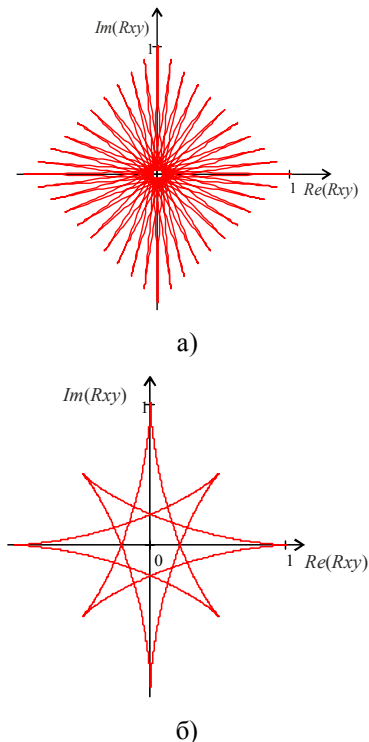


Рис. 3. Положення вершини вектора ВКФ ФМ сигналу із гармонійною несучою і різною кількістю коливань на біт

Для пошуку фазового кута, який визначає часовий зсув кадру необхідно знайти огинаючу квадратурних ВКФ по кадру ВКФ (рис.4).

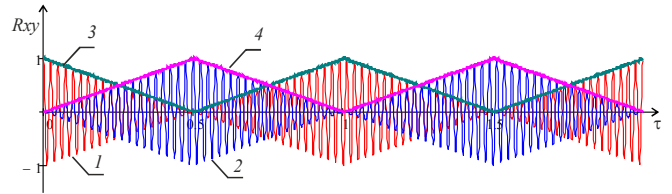


Рис. 4. ВКФ вхідного ФМ сигналу із квадратурними гармонійними сигналами 1,2 та їх огинаючі 3,4 відповідно.

Огинаючу можна знайти, перетворенням дійсного сигналу ВКФ в аналітичний сигнал за допомогою перетворення Гільберта. Однак за відсутності представлення в один момент часу всієї ВКФ будемо шукати аналітичний сигнал представлений однією точкою, яка містить дві координати.

Однією координатою є ВКФ вхідного ФМ сигналу  $s(t)$  із опорним сигналом  $s_{00}(t)$ , який синхронний із генератором. Другою координатою є ВКФ сигналу  $s(t)$  із опорним сигналом зсунутим на  $\pi/2$  по відношенню до несучого сигналу  $s_{90}(t)$ .

Квадратурну компоненту так само шукаємо за допомогою двох координат. Однією координатою цієї компоненти є ВКФ сигналу  $s(t)$  і опорного сигналу зсунутого на  $\pi/2$  по відношенню до модулюючого сигналу  $s_{09}(t)$ . Іншою координатою є ВКФ сигналу  $s(t)$  і опорного сигналу зсунутого на  $\pi/2$  по відношенню до модулюючого сигналу  $s_{90}(t)$ . Положення векторів сигналів, які використані при пошуку координат вектора квадратурної ВКФ наведено на рис.5

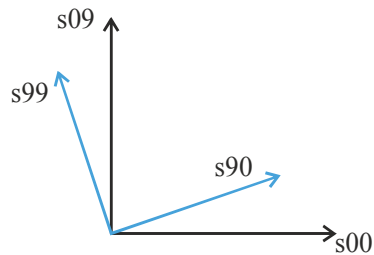


Рис. 5. Положення векторів опорного сигналу для пошуку огинаючої квадратурної ВКФ

Види опорних сигналів, які використовуються для пошуку аналітичного виду квадратурних ВКФ наведено на рис.6.

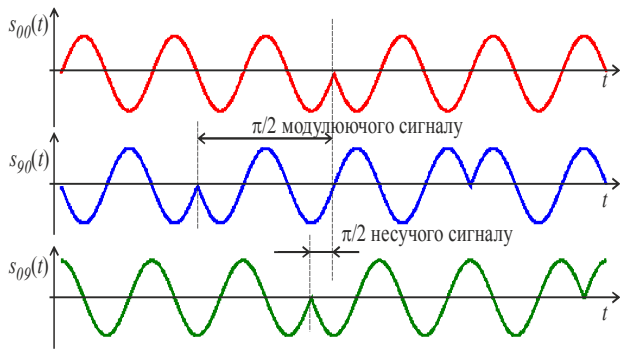


Рис. 6. Опорні сигнали для пошуку ВКФ із вхідним сигналом

Положення вершини вектора квадратурної ВКФ можна знайти за модулями аналітичного сигналу в момент вимірювання за формулами

$$Rxy_{\tau} = \sqrt{R00_{\tau}^2 + R90_{\tau}^2} + j\sqrt{R09_{\tau}^2 + R99_{\tau}^2}$$

Знак кута визначається знаками окремих складових.

$$\varphi_{\tau} = \begin{cases} \arctg\left(\frac{Im[Rxy_{\tau}]}{Re[Rxy_{\tau}]}\right) & \text{для } Im[Rxy_{\tau}] > 0 \cap Re[Rxy_{\tau}] > 0 \\ \arctg\left(\frac{Im[Rxy_{\tau}]}{Re[Rxy_{\tau}]}\right) + \pi & \text{для } Im[Rxy_{\tau}] > 0 \cap Re[Rxy_{\tau}] < 0 \\ \arctg\left(\frac{Im[Rxy_{\tau}]}{Re[Rxy_{\tau}]}\right) + \pi & \text{для } Im[Rxy_{\tau}] < 0 \cap Re[Rxy_{\tau}] < 0 \\ \arctg\left(\frac{Im[Rxy_{\tau}]}{Re[Rxy_{\tau}]}\right) + 2\pi & \text{інакше} \end{cases}$$

Форму огинаючої квадратурної ВКФ наведено на рис. 7.

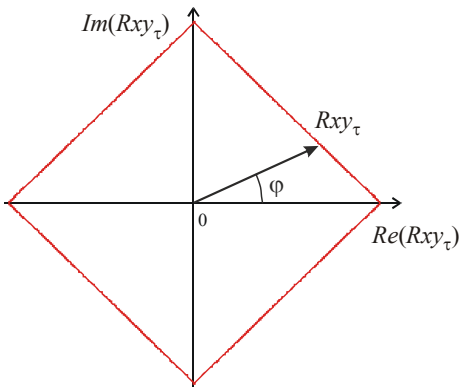
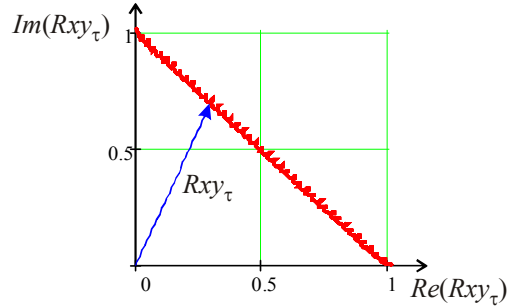


Рис. 7. Представлення вершини вектора огинаючої ВКФ вхідного і опорного сигналів

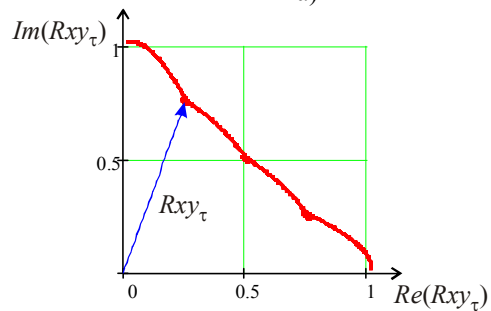
Таким чином, в залежності від того в якому квадранті знаходиться вектор  $Rxy_{\tau}$ , його кут можна визначити за

результатами вимірювання чотирьох ВКФ для одного моменту часу.

При малій кількості періодів на біт кадру спостерігаються нелінійності у формі огинаючої ВКФ. На рис.8 наведено фрагмент огинаючої ВКФ вхідного ФМ сигналу і опорного сигналу із несучим сигналом гармонійної форми.



а)



б)

Рис. 8. Вигляд огинаючої ВКФ для а- 4 періодів на біт, б- 40 періодів на біт

З наведеного графіку видно, що при малій кількості періодів, які формують один кадр ФМ сигналу буде незначна похибка у визначенні фазового кута періодичної послідовності. При більшій кількості періодів похибка зменшується.

### III. ВИСНОВКИ

Результатом пошуку є амплітуда і фаза пакету імпульсів із частотою досліджуваної частоти. Тривалість пакету більша часу поширення сигналу, тому вирішується проблема невизначеності кількості періодів, які можуть пройти поки сигнал досліджуваної частоти взаємодіяв із об'єктом дослідження.

### ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

[1] Миддлтон Д. Введение в статистическую теорию связи. ' Пер. с англ. Т. 1. М.: Сов. радио, 1961. 782 с