

УДК 681.2

*А.А. Андреев, студент гр. ПО-82мп, старш. викладач Кравченко І.В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

**ОСОБЛИВОСТІ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ В ЦИФРОВИХ СИСТЕМАХ З
ФАЗОВОЮ МОДУЛЯЦІЄЮ**

Анотація. Досліджено цифрові методи вимірювання фази в оптико-електронних приладах. Розроблено імітаційну комп'ютерну модель з метою дослідження точносних параметрів комп'ютерно-інтегрованих фазових оптико-електронних приладів. В ході роботи виявлено область значень вимірюваної фази, в якій похибка оцінки має неприпустимо велике значення, на підставі цього введено поняття “мертва зона”. Емпірично доведено, що всі залежності є монотонними та спадаючими. Для кількісної оцінки значень та виведення аналітичної залежності було застосовано метод нелінійної регресії. Виведена формула застосовується для визначення «мертвої» зони для значень відношення сигнал/шум 20 дБ ... 120дБ та кількості періодів сигналу 1 ... 120.

Ключові слова: цифрові методи вимірювання фази в оптико-електронних приладах, “мертва зона”, імітаційна комп'ютерна модель, Фур'є перетворення, нелінійна регресія, фазовий далекомір.

ВСТУП

У даній статті досліджуються цифрові методи вимірювання фази в оптико-електронних приладах. Прикладом таких систем є фазовий далекомір. Далекомір - пристрій, призначений для вимірювання відстані між спостерігачем та об'єктом. З метою дослідження точносних параметрів комп'ютерно-інтегрованих фазових оптико-електронних приладів була розроблена імітаційна комп'ютерна модель. Вихідними параметрами були: метод вимірювання, число вибірок на періоді, кількість періодів, співвідношення сигнал\шум. В якості методів оцінювання фази сигналів з гармонійною модуляцією аналізувалися метод дискретного перетворення Фур'є, метод цифрової синхронної детекції та його різновид - метод міжчастотної модуляції.

МЕТОД ФУР'Є ПЕРЕТВОРЕННЯ

В методі перетворення Фур'є проводиться розрахунок спектра X вихідної функції x за виразом (1.1). Фаза визначається як арктангенс відношення уявної та дійсної частин основної гармоніки спектра.

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-\frac{2\pi i}{N} kn} = \sum_{n=0}^{N-1} x_n * [\cos(2\pi kn / N) - i * \sin(2\pi kn / N)]; (k = 0, \dots, N - 1) \tag{1.1}$$

ЦИФРОВА СИНХРОННА ДЕТЕКЦІЯ

В методі синхронної детекції сигнал множиться на ортогональні базисні гармонічні функції тієї ж частоти, що і сигнал (1.2). Фаза визначається як арктангенс відношення (1.3).

$$\bar{U}_1 = A \frac{1}{N} \sum_{k=1}^{N(f_c T_0)} \sin(2\pi f_c T_0 k + \varphi_1) \cos(2\pi f_c T_0 k + \varphi_2) = \frac{A}{2} \left[\overline{\sin(\Delta\varphi)} + \overline{\sin(4\pi f_c T_0 k + \varphi_1 + \varphi_2)} \right];$$

$$\bar{U}_2 = A \frac{1}{N} \sum_{k=1}^{N(f_c T_0)} \sin(2\pi f_c T_0 k + \varphi_1) \sin(2\pi f_c T_0 k + \varphi_2) = \frac{A}{2} \left[\overline{\cos(\Delta\varphi)} - \overline{\cos(4\pi f_c T_0 k + \varphi_1 + \varphi_2)} \right] \tag{1.2}$$

$$\Delta\varphi = \arctg \frac{U_1}{U_2} \tag{1.3}$$

МІЖЧАСТОТНИЙ МЕТОД

Міжчастотний метод призначено для редукції високочастотних сигналів. В методі проводиться розрахунок з базисними функціями синхронної детекції (1.4). Частота базисних функцій обирається згідно з виразом (1.5).

$$RI[k] = \sin[2\pi f_{AL} k T_{SP}] \quad (1.4)$$

$$RQ[k] = \cos[2\pi f_{AL} k T_{SP}].$$

$$f_{SP} = \frac{4f_0}{4p+1} \quad (1.5)$$

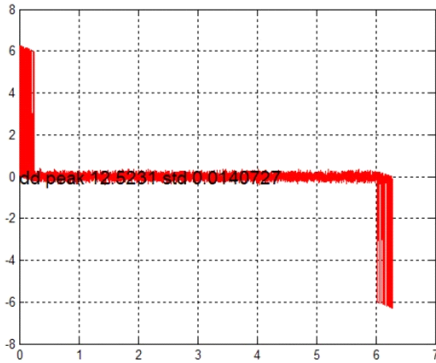


Рисунок 1. Похибка в області вимірювання

При моделюванні систем виявлено, що незалежно від методу обробки, існує область значень вимірюваної фази, в якій похибка оцінки має неприпустимо велике значення. Область знаходиться на початку і в кінці діапазону вимірювань і позначається на зоні чутливості (рис. 1).

На підставі цих спостережень можна ввести таке поняття як "Dead Zone" (мертва зона), яка визначає мінімальну і максимально можливу межу вимірювання віддаленості об'єкта. Метою досліджень є визначення залежності зони нечутливості від параметрів сигналу, а саме: відношення сигнал/шум і розміру вибірки сигналу.

Відношення сигнал/шум - безрозмірна величина, відношення потужності корисного сигналу до потужності шуму. Чим більший цей показник, тим менше шум впливає на характеристики системи.

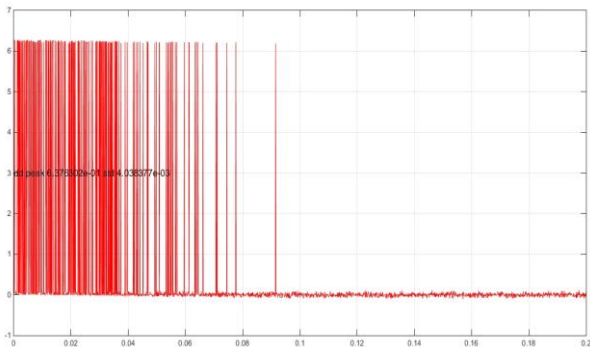


Рисунок 2. Пікові значення похибок, що формують мертву зону при кількості періодів вимірювання $T = 1$ і співвідношенні сигнал/шум 10 дБ.

Для визначених значень співвідношення сигнал/шум з певними періодами було визначено значення цих похибок. Дані похибки є випадковими, їх значення змінюється випадково в ряді повторних вимірювань. Похибки представлені у вигляді певного розкиду (масиву значень з певним відхиленням) одержуваних результатів; похибки не підлягають усуненню і завжди присутні в ході вимірювань. Математично випадкову похибку можна представити білим шумом.

Шум, утворений похибками вимірювання формує мертву зону.

З аналізу даних видно, що всі залежності є монотонними та спадаючими. Величина зони нечутливості залежить від відношення сигнал/шум (рис.3.1) та від розміру вибірки даних (рис.3.2).

Для кількісної оцінки значень та виведення аналітичної залежності було застосовано метод нелінійної регресії.

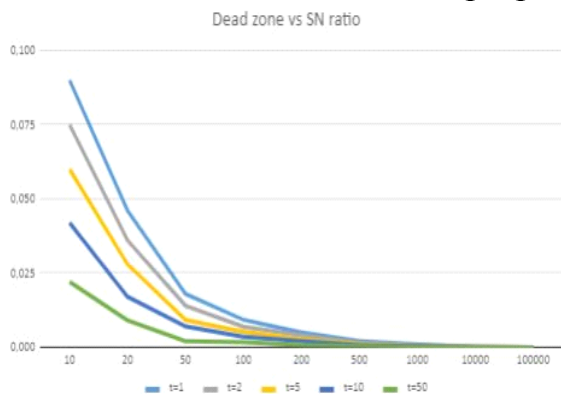


Рисунок. 3.1 – Залежність зони нечутливості від відношення «сигнал/шум»

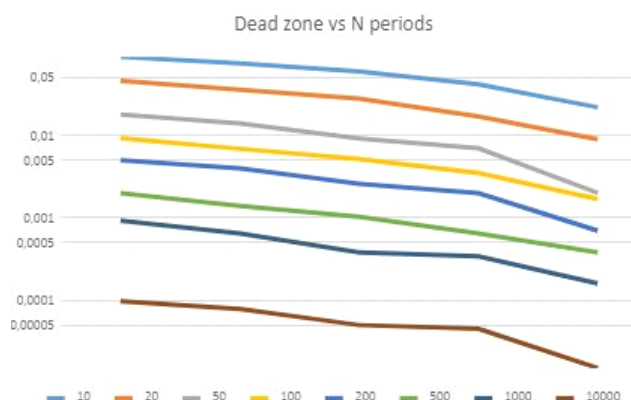


Рисунок. 3.2 – Залежність зони нечутливості від розміру вибірки сигналу

Нелінійна регресія - це вид регресійного аналізу, в якому експериментальні описані функцією, яка є нелінійною комбінацією параметрів моделі і залежить від однієї і більше незалежних змінних. Дані апроксимуються методом послідовних наближень.

Графік функції, побудованої масивом точок, представлених у вигляді похибки можна описати рівнянням:

$$f(x) = a * e^{b*x} + c \tag{1.6}$$

де a, b і c - коефіцієнти регресії. На етапі розрахунків попередньо були взяті проміжні значення коефіцієнтів, необхідні для опису побудованих графіків функції і подальшого аналізу з виводом загальної формули.

Застосування вбудованої функції експоненційної регресії системи комп'ютерної математики призвело до некоректних результатів. Апроксимуюча функція мала від'ємне значення. Тому для подальшого аналізу застосовано загальну функціональну регресію для експоненційного наближення.

Нелінійна регресія загального типу:

$$f1(x, k) = \begin{pmatrix} k_0 * \exp^{-k_1 * x} + k_0 * k_1 \\ \exp^{-k_1 * x} + k_1 \\ -k_0 * x * \exp^{-k_1 * x} + k_0 \end{pmatrix} \tag{1.7}$$

В результаті розрахунків було отримано масиви коефіцієнтів a_i , b_i для різних вибірок сигналу.

Залежність абсолютних похибок апроксимуючої функції та сигналу наведено на рис. 4.

Для оцінки достовірності отриманих коефіцієнтів регресії розраховано коефіцієнти кореляції, які становлять: 0.9997 для одного періода, 0.99994 для двох, 0.99982 для п'яти, 0.99889 для десяти, 0.99897 для п'ятидесяти, 0.99844 для ста, та 0.99194 для тисячі періодів. Наведені значення говорять про високу достовірність результатів.

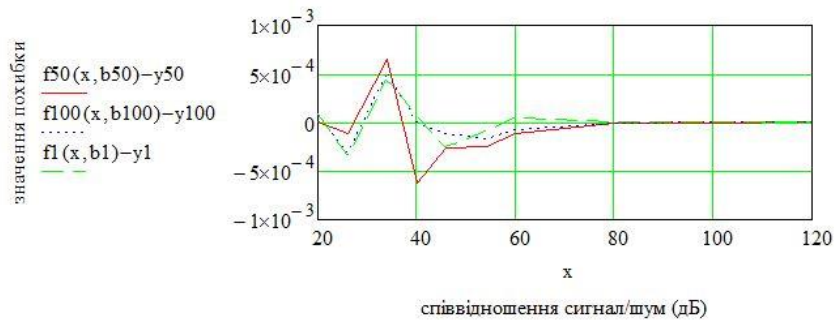


Рисунок 4. Похибки апроксимації

На рис.5 зображено залежність коефіцієнтів регресії від розміру вибірки даних.

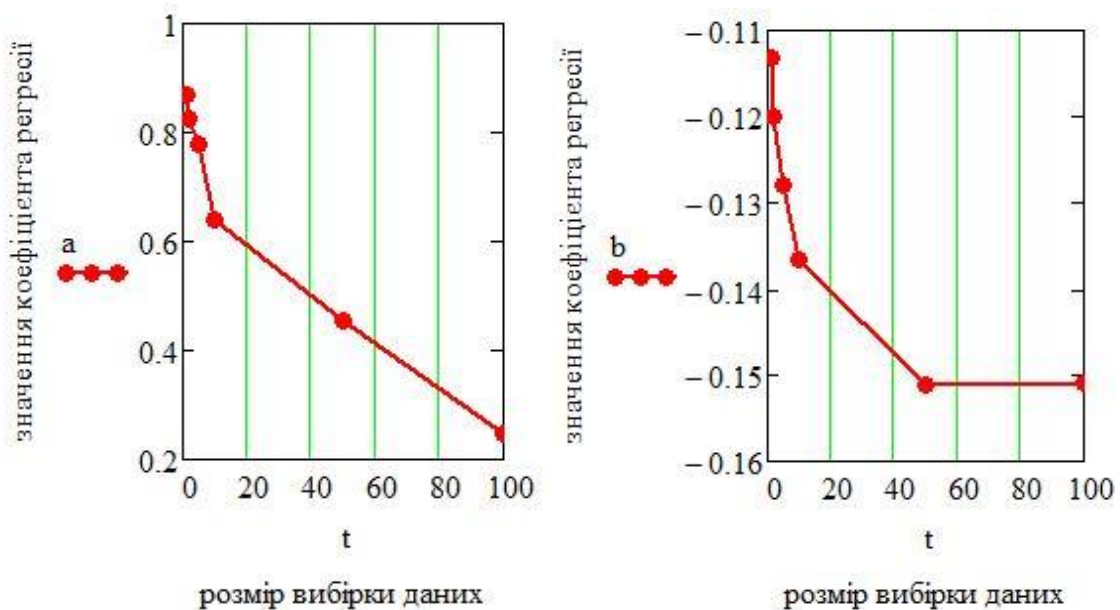


Рисунок 5. Залежність коефіцієнтів функції апроксимації від розміру вибірки.

Для визначення аналітичних виразів залежність коефіцієнтів від кількості періодів проведено розрахунки методом нелінійної регресії. Коефіцієнти кореляції становлять 0.983 для а, 0.998 для б. Отримані значення говорять про високу достовірність розрахунків.

Результатом підрахунку всіх коефіцієнтів з використанням описаних вище математичних операцій є наступні формули:

$$DZ(SN, T) = a(T) * e^{b(T)*SN} + 1.1 * 10^{-7}, \quad (3.1)$$

$$a(T) = 0.605 * e^{-0.028*T} + 0.247, \quad (3.2)$$

$$b(T) = 0.041 * e^{-0.11*T} - 0.151, \quad (3.3)$$

де SN - співвідношення сигнал/шум, T - кількість періодів сигналу.

Формула 3.1 застосовується для визначення «мертвої» зони для значень відношення сигнал/шум 20 дБ ... 120дБ та кількості періодів сигналу 1 ... 120, формули 3.2 та 3.3 для знаходження коефіцієнтів $a(T)$ і $b(T)$.

Використання даної формули надає чітке розуміння можливостей вимірювання приладів, заснованих на принципі оцінювання фази сигналів з гармонійною модуляцією.

ВИСНОВКИ

Співвідношення сигнал\шум має вплив на ширину "мертвої зони": чим вище співвідношення сигнал\шум - тим менша зона нечутливості приладу, що забезпечує кращу його роботу, і навпаки. Аналогічним чином впливає розмір вибірки та кількість періодів вимірювання: чим більше точок на одному періоді та чим більше самих періодів - тим точнішим буде графік, що описує значення випадкової похибки, яка формує зону нечутливості приладу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Stephane Poujouly and Bernard Journet, «A twofold modulation frequency laser range finder», INSTITUTE OF PHYSICS PUBLISHING JOURNAL OF OPTICS A: PURE AND APPLIED OPTICS J. Opt. A: Pure Appl. Opt. 4 (2002) S356–S363.
- [2] Б.О. Берников, В.Б. Бокшанский, М.В. Вязовых, С.В. Федоров;”МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ДАЛЬНОСТИ В ЛАЗЕРНЫХ ФАЗОВЫХ ДАЛЬНОМЕРАХ” / ISSN 0236-3933. Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Приборостроение». 2012
- [3] Методичні вказівки до комп’ютерного практикуму з дисципліни “Комп’ютерні методи розрахунків в оптиці” для студентів напрямку 6.051004 “Оптехніка” (електронне видання) / Уклад.: Кравченко І.В. — К.:НТУУ “КПІ”, 2012. —72 с.
- [4] Кирьянов Д. В. Mathcad 15/Mathcad Prime 1.0. – БХВ-Петербург, 2012.

Наук. керівник – старший викладач кафедри, Кравченко І.В.