

номограммам / И.В. Прудников, В.А. Марухин, Ю.П. Якунин, Н.Г. Цейтлин // Электронная техника. – М. : Центр. науч.-исслед. ин-т. “Электроника” – 1970. – Сер. 9. – № 6. – С. 38–46.

## References

1. Rodichev A. S. Rezonansnie charakteristiki system creplenija kristallicheskich ekementov kvarcevich rezonatorov / A. S. Rodichev, A.F. Bulanov, G. N. Kozlov. // Elektronnaja technica. – M.: Centr. nauch-issledov. inst. “Elektronika” – 1984. – Ser. 5. – Vip. 2 (55). – С. 50-51.
2. Dain L. I. Nekotore voprosi proektirovanija vibroustojchevich kvarcevich rezonatorov / L. I. Dain // Elektronnaja technica. – M.: Centr. nauch-issledov. inst. “Elektronika” – 1970. – Ser. 9. – № 6. – С. 47-51.
3. Prudnicov I. V. Opredelenie sobstvennich chastot kolebanij konstrukcij kvarcevich rezonatorov po nomogrammach / I. V. Prudnicov, V.A. Maruchin, U. P. Jakunin, N. G. Cejtlin // Elektronnaja technica. – M.: Centr. nauch-issledov. inst. “Elektronika” – 1970. – Ser. 9. – № 6. – С. 38-46.

Рецензія/Peer review : 20.3.2014 р.

Надрукована/Printed : 9.4.2014 р.

Рецензент: Шинкарук О. М., д.т.н, проф. проректор з наук.-педагог. роботи ХНУ

УДК 621.317

В.Р. ЛЮБЧИК, О.М. КИЛИМНИК, В.М. ЛЕСИК

Хмельницький національний університет

## ПРАКТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ БАГАТОЧАСТОТНОГО ФАЗОВОГО МЕТОДУ ВИМІРЮВАННЯ ДАЛЬНОСТІ БАГАТЬОХ ОБ'ЄКТІВ

*Стаття присвячена дослідженню практичного застосування багаточастотного фазового методу вимірювання дальностей багатьох об'єктів. Визначені джерела методичної похибки. Запропоновано математичні моделі для проведення комп'ютерного моделювання методу. Розроблено структурну схему лабораторного макету дослідження багаточастотного фазового методу визначення відстаней. Наведено опис макету та проведено його дослідження.*

*Ключові слова: багаточастотний фазовий метод, структурна схема, моделювання, амплітуда, фаза.*

V.R. LIUBCHYK, O.M. KYLYMNYK, V.M. LESYK

Khmelnytsky National University, Ukraine

## USING SIGNALS WITH THE RECTANGULAR ENVELOPE OF SPECTRUM WITH A MINIMUM CREST FACTOR FOR INFORMATION SECURITY

*Abstract - The article investigates the practical application of multifrequency phase method of measuring distances to many objects. Identified sources of methodological error. Mathematical models for computer simulation method are proposed. A block diagram of a laboratory model study multifrequency phase method of determining distances. The description of the model is shown and his research conducted.*

*As a result of mathematical modelling analytical multifrequency phase method of measuring distances using Maple 15, it was shown that the measurement error does not exceed 0,2 m values in the range of probing frequencies not exceeding 1 MHz. While expanding the frequency range of probing signal the measurement error is reduced. method was researched in practice using a laboratory mock-up and was showed adequacy of mathematical models. This method can be used for solving problems of subsurface radar probing, reflectometry etc.*

*Keywords: multifrequency phase method, block diagram, simulation, amplitude, phase.*

### Вступ

Дослідження різних методів вимірювання дальностей, до яких відносяться: часові методи, частотні та фазові, дозволило встановити переваги та недоліки різних методів. [1–3] Серед усіх методів фазові методи мають найвищу точність, проте вимірювання дальностей фазовим методом можливе лише до одного об'єкту. [2] Подальший аналіз методів дозволив розробити багаточастотні фазові методи вимірювання дальностей. Суть багаточастотних фазових методів полягає у вимірюванні значень векторів сигналів відбитих від усіх об'єктів в заданому діапазоні частот та подальший аналіз частотних характеристик сумарного сигналу, в результаті якого є можливість розділити сигнали відбиті від кожного об'єкту. [3] Найбільш перспективним виявився аналітичний багаточастотний фазовий метод вимірювання дальностей, для реалізації якого необхідно проводити вимірювання векторів сумарних сигналів в обмеженому діапазоні частот, кількість зондувальних частот повинна бути в два рази більшою за кількість об'єктів зондування. [4] Для визначення метрологічних характеристик методу необхідно провести математичне моделювання методу та визначити закони розподілу похибки вимірювання. В результаті розробка математичної моделі буде отримано алгоритм програми, що дозволить моделювати параметри гармонійних сигналів на різних частотах із впливом похибок вимірювання фазового зсуву, амплітуди, задавання частоти синтезатора зондуючих сигналів із врахуванням нестабільності частоти задаючого тактового генератора.

Відповідно, метод багаточастотного фазового вимірювання дальності об'єктів полягає в наступному. Вибирається частотний діапазон зондуючих сигналів виходячи з умови однозначного вимірювання дальності. Проводиться зондування на частотах кількість яких в два рази більше кількості об'єктів. Вимірюються фазові зсуви і амплітуди гармонійних сумарних сигналів на кожній частоті. Розв'язується система рівнянь і поліноміальне рівняння. Розраховуються дальності об'єктів.

Структурна схема радіосистеми багаточастотного фазового вимірювання дальностей об'єктів

складається з наступних основних блоків: синтезатора частот, фазометра і вольтметра, а також обчислювального пристрою. Схема наведена на рис. 1.

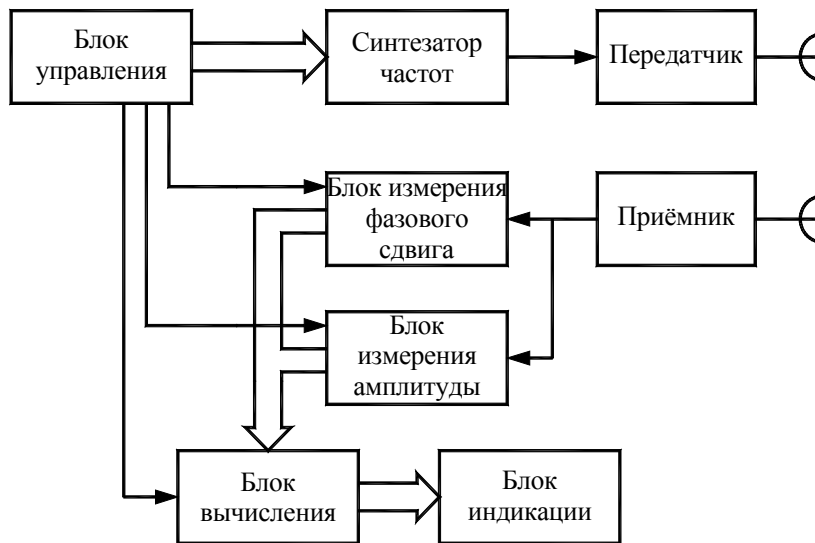


Рис. 1 Структурна схема багаточастотної фазової далекомірної радіосистеми з послідовною зміною зондувальної частоти

Точність вимірювання залежить від декількох факторів. По-перше, від стабільності частот зондувальних сигналів. По-друге, від точності вимірювання фазових зсувів і амплітуд. По-третє, від перетворення похибок фаз і амплітуд в результаті розв'язку системи рівнянь в похибку результатів.

## II. Розробка алгоритму математичного моделювання та результати його роботи

Для проведення математичного моделювання методу скористаємось загальним алгоритмом математичного моделювання. Основними етапами якого є: задавання початкових умов; внесення похибок вимірювання; проведення обчислень згідно методу вимірювання; багаторазове проведення обчислень для отримання вибірки заданого розміру; статистичний аналіз отриманих результатів моделювання.

Для проведення математичного моделювання введемо обмеження початкових умов. Нехай значення дальностей знаходяться в межах до 1000м. Кількість об'єктів коливається від трьох до дев'яти. Відстані між об'єктами може бути від 1 до 100м. Частотний діапазон обмежується максимальною дальністю, яку необхідно вимірювати. Якщо максимальна дальність 1000м, то відповідно до виразу:

$$l_{\max} \leq \frac{c}{f_{\min}}, \quad (1)$$

мінімальна частота не повинна бути більша за 300кГц. Проте, для встановлення залежності впливу початкової частоти, доцільно обрати початкову частоту менше за 300кГц. Задаємо 10 кГц. Крок по частоті так само будемо задавати від 10 кГц і більше. Для введення в результати обчислень похибок вимірювання сигналів, визначимо які параметри зондувальних сигналів вимірюються. Відповідно до аналітичного багаточастотного методу [4] вимірюються значення векторів зондувальних сигналів. Кожен вектор сигналу задається амплітудою сигналу та початковою фазою. У випадку використання зондувальних сигналів, проводиться вимірювання фазового зсуву між сумарним відбитим сигналом та опорним зондувальним сигналом. Для моделювання сумарного сигналу використовуємо наступний вираз:

$$a_{\Sigma}(f) = \sum_{i=1}^n a_i e^{\frac{f}{f_{\min}} \varphi_i}, \quad (2)$$

де  $a_i$  – амплітуда сигналу відбитого від  $i$ -го об'єкту;  
 $\varphi_i$  – фазовий зсув сигналу відбитого від  $i$ -го об'єкту;  
 $f_j$  – поточна частота;  
 $f_{\min}$  – початкова частота.

Внесення похибки в математичну модель проводимо шляхом накладання випадкових величин на амплітуду сумарного сигналу та на фазовий зсув. [5] Для цього скористаємось засобами математичного пакету програм Maple 15. [6] Відповідно до того цього, вираз (2) буде наступним:

$$a_{\Sigma}(f) = \sum_{i=1}^n a_i e^{\frac{f_j}{f_{\min}} \varphi_i} + \Delta a_j e^{\frac{f_j}{f_{\min}} \Delta \varphi_j}, \quad (3)$$

де  $\Delta a_j$  – похибка амплітуди на  $j$ -й частоті;

$\Delta\varphi_j$  – похибка фази на  $j$ -й частоті.

Похибки амплітуди та фази задавались із рівномірним розподілом, тому як сучасні цифрові вимірювальні прилади мають похибку вимірювання із рівномірними розподілом. Дисперсія похибки амплітуди задавались в межах 0,01%, фазового зсуву 0,01°, що відповідає похибкам вимірювання сучасних вимірювальних приладів.

В результаті моделювання із вибіркою 50 обчислень, було побудовано гістограми розподілів похибок вимірювання дальностей при різній кількості об'єктів на різних дальностях. Аналіз отриманих гістограм дозволяє зробити наступні висновки. Закон розподілу дальності є нормальним (рис. 2). Дисперсія дальності не перевищує 0,2 м. При вказаних початкових умовах моделювання. Причому зі збільшенням початкової частоти дисперсія зменшується за лінійним законом.

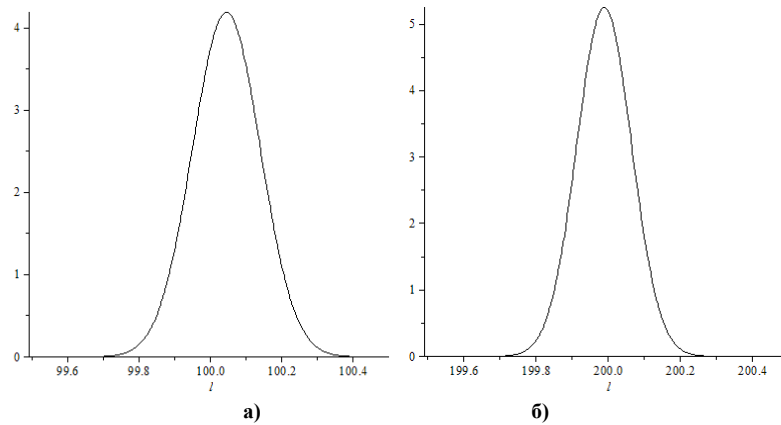


Рис. 2. Результат моделювання багаточастотного аналітичного фазового методу вимірювання дальності (а – 100 м, б – 200 м)

Для перевірки того що математична модель розроблено вірно, розроблено та виготовлено лабораторний макет для дослідження багаточастотного фазового методу вимірювання дальності об'єктів. Склад макету: мікроконтролерний блок керування, елементи керування, синтезатора частот, блоку прийомо-передавання, блоку живлення. Склад стенду: цифровий осцилограф RIGOL DS1052E, фазометра Ф2-34, вольтметра В7-16а. Блок схема макета наведена на рис. 3.

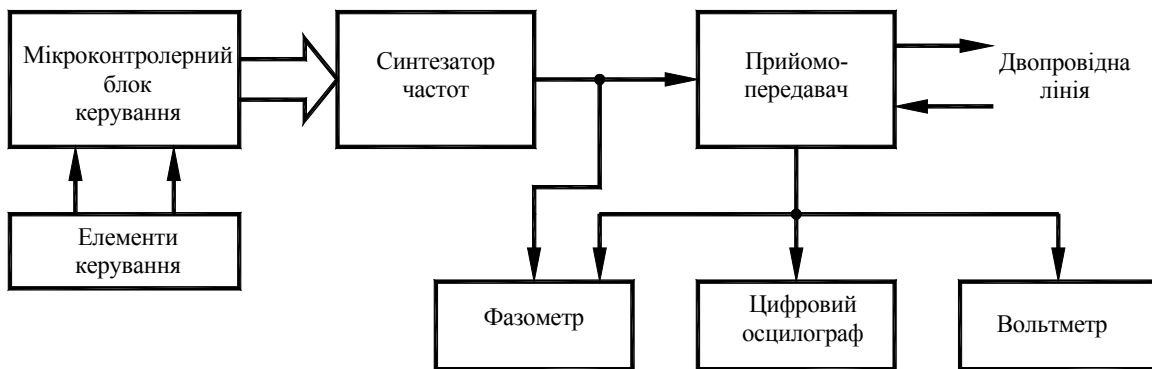


Рис. 3. Блок-схема лабораторного макету дослідження аналітичного багаточастотного фазового методу вимірювання дальностей

Проведено вимірювання параметрів телефонної кабельної лінії довжиною 470 м. Результати дослідження в різних режимах роботи наведено на рис. 4–5.

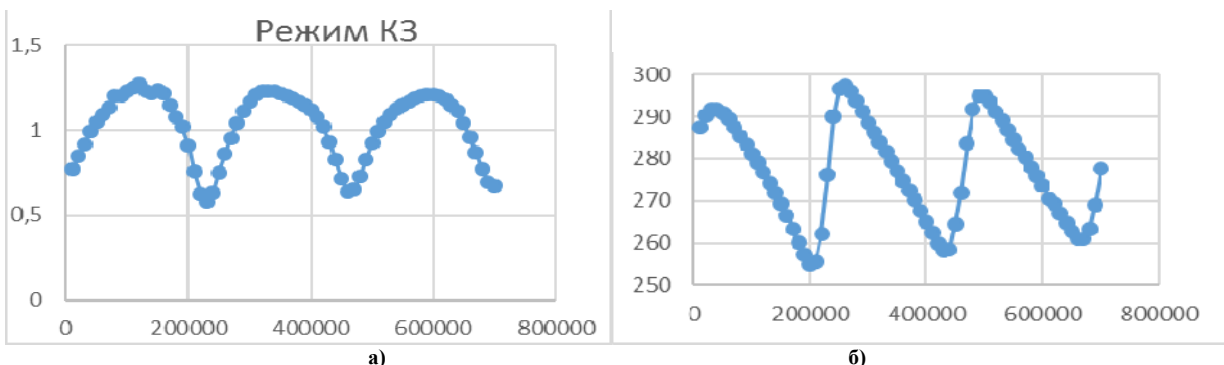


Рис. 4. Залежності амплітуди (а) та фази (б) від частоти сумарного сигналу в режимі короткого замикання лінії

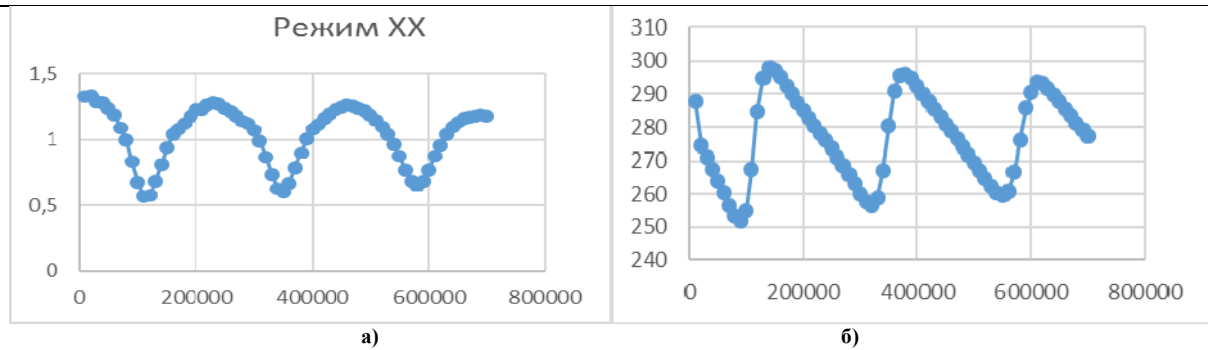


Рис. 5. Залежності амплітуди (а) та фази (б) від частоти сумарного сигналу в режимі холостого ходу лінії

На наведених графіках показано результати вимірювання амплітудно-частотних та фазочастотних характеристик сумарних сигналів відбитих від усіх об'єктів. Порівняння результатів математичного моделювання збігаються із практичним дослідженням реальної кабельної лінії зв'язку.

### Висновок

В результаті математичного моделювання аналітичного багаточастотного фазового методу вимірювання дальностей в середовищі Maple 15, було показано що похибка вимірювання не перевищує значень 0,2м в діапазоні зондувальних частот що не перевищує 1 МГц. При розширенні діапазону зондувальних частот, похибка вимірювання зменшується. Практичне дослідження методу за допомогою лабораторного макету вимірювального приладу показало вірність математичних моделей. Даний метод можна використовувати для розв'язання задач радіолокації, підповерхневого зондування, рефлектометрії тощо.

### Література

1. Ultra-wideband Radar Technology// Edited by James D. Taylor, P.E. CRC Press Boca Raton, London, New Work, Washington. – 2000. – 27 p.
2. Применение методов фазометрии для прецизионного измерения расстояний / Маевский С.М., Баженов В.Г., Батуревич Е.К., Куц Ю.В. – К. : Вища школа, Изд-во при Киев. ун-те, 1983. – 84 с.
3. Параска Г.Б. Теоретичні основи фазових вимірювань відстаней до декількох об'єктів / Параска Г.Б., Шинкарук О.М., Любчик В.Р. – Електроніка і зв'язок. – 2010. – С. 82–86.
4. Шинкарук О.М. Аналітичний багаточастотний фазовий метод вимірювання дальностей / О.М. Шинкарук, В.Р. Любчик, М.О. Лантвойт // Вісник НТУУ "КПІ". Серія – Радіотехніка. Радіоапаратобудування. – 2013. – № 52. – С. 65–73.
5. Самарский А.А. Численные методы : [учеб. пособие для вузов] / А.А. Самарский, Л.В. Гулин // – М. Наука. Глав. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 432 с.
6. Кирсанов М.Н. Практика программирования в системе Maple / Кирсанов М. Н. – М. : Издательский дом МЭИ, 2011. – 208 с.

### References

1. Ultra-wideband Radar Technology// Edited by James D. Taylor, P.E. CRC Press Boca Raton, London, New Work, Washington, - 2000, 27p.
2. S. M. Maevsky, V. G. Baszenov, E. K. Baturevich, and U. V. Kuc, "The application of the methods of phase measurements for precise measuring the distances", Kiev, The high school, 1983, 84 pp.
3. G. B. Paraska, O. M. Shinkaruk, and V. R. Liubchuk, "The theoretical basis of phase measurement of distances to several objects", *Electronics and Communication*, 2012, no. 3, pp. 82-86.
4. Shinkaruk O.M. Аналітичний багаточастотний фазовий метод вимірювання дальностей / О.М. Shinkaruk, V.R. Liubchuk, М.О. Lantviot // Visnyk NTUU "KPI". Issue – Radiotech. Radioaпаратobuduvannya. – 2013. – №52. – P.65 –73.
5. Samarskii A.A. Numerical Methods: Studies. manual for schools / A.A. Samarskii, L.V. Gulin// – M. Science. Chapters. Ed. Sci. Lita., 1989. – 432 p.
6. Kirsanov M. N. The Practice of Programming in the system Maple // - M.: MEI Publishing House, 2011, - 208 p.

Рецензія/Peer review : 20.3.2014 р.

Надрукована/Printed :9.4.2014 р.

Рецензент: Шинкарук О.М., д.т.н., проф.