

## ЗАСТОСУВАННЯ ЧИСЕЛЬНИХ МЕТОДІВ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ ГЕНЕРАТОРНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН

<sup>1</sup> Вінницький національний технічний університет;

### Анотація

Розглянуто можливість застосування чисельних методів і математичний апарат для вимірювання різниць фаз неперервних періодичних сигналів складної форми та апроксимованих дискретних сигналів. Запропоновано використання криволінійної апроксимації та властивостей кута дотичних до апроксимуючих поліномів для визначення різниць фаз неперервних функцій будь-якого порядку.

**Ключові слова:** апроксимація, дотична, періодична функція, кут зміщення, імітансний опір.

### Abstract

Consider the application of numerical methods and mathematical tools to measure the phase difference of continuous periodic signals of complex shape and approximated digital signals. The application of curvilinear approximation and properties of tangent angle to approximating polynomials for determining the phase differences of continuous functions of any order.

**Keywords:** approximation, tangent, periodic function, the angle of displacement immittance resistance.

### Вступ

На сьогоднішній день широкий клас вимірювальних перетворювачів фізичних величин працює в режимі частотної модуляції. Тому важливим є дослідження, присвячені розробці методів обробки сигналів за умови нестабільності частоти задавального генератора.

### Результати дослідження

Нехай за умови сталості вимірювального параметру об'єкта сигнал частотного детектора  $a_f(t)$  є квазістаціонарною величиною  $a_f$ , а сумарна по всім каскадам помилка відображення частоти є «білим шумом», що описується функцією  $\varepsilon(t)$ . Тоді в кожен момент часу сигнал, що є сигналом частоти та шуму, що є функцією частотної нестабільності можна описати  $y(t) = a_f + \varepsilon(t)$  [1]. Для реалізації приймача вимірювальної системи (рис. 1) застосуємо ефект накопичення за рахунок застосування інтегральної обробки сигналу, що буде спостерігатись протягом деякого часу досліджень  $T_D$ . При цьому на виході інтегратора формується сигнал:

$$Y(t) = \int_0^{T_D} y(t) dt = \int_0^{T_D} [a_f + \varepsilon(t)] dt = a_f T_C + \int_0^{T_D} \varepsilon(t) dt.$$

При цьому співвідношення сигнал/завада буде визначати похибку від дії адитивної завади після перетворення частота/амплітуда на проміжку частотний детектор-індикаторний пристрій:

$$n = \frac{P_{a_f}}{P_n} = \frac{(a_f \cdot T_D)^2}{D \left[ \int_0^{T_D} \xi(t) dt \right]},$$

де  $P_{a_f}$  і  $P_n$  – потужності сигналу і завади відповідно.

За умови, що вимірювальна система відповідає теоремі Котельникова, можна записати наступні вирази:

$\int_0^{T_D} \varepsilon(t) dt \cong \sum_{i=1}^k \varepsilon(t_i) \tau_0$ , де  $k = T_D / \tau_0$ ;  $\tau_0$  – є періодом автокореляційної функції завади. Дисперсія завади на виході

інтегратора визначається за виразом:  $D \left[ \int_0^{T_D} \varepsilon(t) dt \right] \cong D \left[ \sum_{i=1}^k \varepsilon(t_i) \tau_0 \right] \approx \tau_0^2 \cdot D \left[ \sum_{i=1}^k \varepsilon(t_i) \right] = \varepsilon_0 \cdot n \cdot D(\varepsilon) = T_D \cdot \tau_0 \cdot D(\varepsilon)$ .

Зменшення впливу завади визначається з співвідношення сигнал/завада на вході та виході інтегратора:

$$\frac{P_{a_f \cdot \text{вих}}}{P_{n \cdot \text{вих}}} \cong \frac{(a_f \cdot T_D)^2}{T_D \cdot \tau_0 \cdot D(\varepsilon)} = \frac{T_D \cdot a_f^2}{\tau_0 \cdot D(\varepsilon)} = \frac{T_D}{\tau_0} \cdot \frac{P_{a_f \cdot \text{вх}}}{P_{n \cdot \text{вх}}}.$$

Як видно з останнього виразу, вираз у відношенні сигнал/завада збільшується із збільшенням часу інтегрування (спостереження) та частоти автокореляційної функції завади [2].

В роботі [3] зазначалась можливість застосування криволінійної апроксимації таблично заданої функції відрізком дуги (рис. 1), що по суті є криволінійним уточненням відомого метода трапецій. При усувається необхідність заміни відрізка шуканої прямої двома параболою з точками перетину в середині даного відрізка.

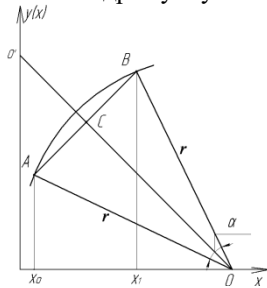


Рис. 1. Графічна ілюстрація методу параболічної інтерполяції

Математичний апарат запропонованої методики інтегрування наведено нижче:

$$r_n = \sqrt{\left(\frac{(t_n^2 - t_{n-1}^2) + (y^2(t_n) - y^2(t_{n-1})) - 2ht_{n-1}}{2h}\right)^2 + y^2(t_{n-1})}$$

$$\sin \alpha_n = \sqrt{1 - \left[1 - \left(\frac{(t_n - t_{n-1})^2 + (a_{f,n} - a_{f,n-1})^2}{2r_n^2}\right)^2\right]}$$

$$\alpha_n = |\arcsin(\sin \alpha_n)|; S_{segm} = \frac{r_n^2}{2} \left(\pi \frac{\alpha_n}{180^\circ} - \sin \alpha_n\right)$$

Площа, обмежена графіками функцій  $t = t_0, t = t_n, y(t)$  замінюється інтегральною сумою:

$$\int_{t_0}^{t_n} y(t) dt = \sum_{i=1}^m S_{trapi} + \sum_{i=1}^m S_{segmi}; \sum_{i=1}^m S_{trapi} = h \left( \frac{y(t_0) + y(t_n)}{2} + y(t_1) + y(t_2) + \dots \right); \sum_{i=1}^m S_{segmi} = \sum_{i=1}^m \frac{r_i^2}{2} \left( \pi \frac{\alpha_i}{180^\circ} - \sin \alpha_i \right)$$

Проведемо дослідження похибки інтегрування за допомогою запропонованої методики. Точність чисельного інтегрування залежить від степеня інтегровального полінома. Так, при заміні вихідної функції  $y(t)$  відрізком прямої лінії (метод дотичних, метод трапецій) [2] похибка інтегрування визначається залишковим членом [3]:  $R(t) = \frac{(t_n - t_{n-1})^3}{12} y''(\zeta)$ , де  $\zeta \in [x_{n-1}; x_n]$  точка середини відрізка відліку.

При цьому загальна похибка вимірювання буде сумою похибок для кожного відліку:  $R(t)_\Sigma = \sum_{i=1}^n \frac{(t_i - t_{i-1})^3}{12} y''(\zeta_{i-1})$ . Застосування чисельного інтегрування поліномами більш високого порядку дозволяє зменшити похибку інтегрування. При цьому залишковий член інтегральної рівності буде складати:

$R(t) = \left(\frac{t_n - t_{n-1}}{2}\right)^5 \frac{y^{(IV)}(\zeta)}{90}$ . Аналогічно для цього випадку сумарна похибка чисельного інтегрування буде

визначатися за виразом:  $R(t)_\Sigma = \sum_{i=1}^n \left(\frac{t_i - t_{i-1}}{2}\right)^5 \frac{y^{(IV)}(\zeta_{i-1})}{90}$ .

## Висновки

Розроблено математичний апарат для обробки вимірювального сигналу вимірювальної автогенераторної транзисторної структури з від'ємним опором на фоні білого шуму.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Демидович Б.П. Численные методы анализа / Демидович Б.П., Марон И.А., Шувалова Э.З. – М.:Наука. – 1967. – 368 с.
2. Яценков Владимир Семенович. Микроконтроллеры Microchip с аппаратной поддержкой USB / Яценков В. С. – М. : Горячая линия – Телеком, – 2008. – 400 с. – ISBN 978-5-9912-0030-1.
3. Осадчук О.В. Обробка вимірювального сигналу сенсора за допомогою параболічної інтерполяції / Осадчук О.В., Савицький А.Ю., Звягін О.С. // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – №2. – С. 153–158.

**Тесля Роман Володимирович** — студент групи ТКР-17б, факультет інфокомунікацій, радіелектроніки та наносистем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: roma.tieslia@gmail.com

**Савицький Антон Юрійович** — канд. техн. наук, доцент кафедри радіотехніки, Вінницький національний технічний університет, e-mail: savitskyant@gmail.com.

**Teslya Roman Volodymyrovych** - student of the TKR-17b group, faculty of infocommunications, radio electronics and nano-systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: roma.tieslia@gmail.com

**Savitsky Anton Yuriyovych** - Cand. tech Sciences, Art. of Department of Radio Engineering, Vinnytsia National Technical University, e-mail: savitskyant@gmail.com.