

Ю. В. Шабатура, к. т. н., доц.

## СПОСІБ ЗДІЙСНЕННЯ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ ДЛЯ ІВС З ІМПУЛЬСНИМ РЕЖИМОМ РОБОТИ

*Розглянуто спосіб здійснення вимірювальних перетворень, сутність якого полягає в визначенні значення вимірюваної фізичної величини, яка діє на лінійний або нелінійний резистивний вимірювальний перетворювач, шляхом подачі на вхід перетворювача спеціальних тестових імпульсів з подальшим вимірюванням часової тривалості вихідних імпульсів на наперед визначеному рівні.*

### Вступ

Успішне вирішення задач створення сучасних інформаційно-вимірювальних систем потребує комплексного розуміння єдності структурних рішень і математичних перетворень, які відповідають характерним особливостям об'єктів та умов проведення вимірювань. Однією з найскладніших ланок в процесі синтезу ІВС є задача створення вимірювальних каналів, оскільки саме їхні властивості в більшості практичних випадків визначають метрологічні характеристики вимірювальних систем в цілому [1].

З метою покращення енергетичних, метрологічних, експлуатаційних та інших характеристик ІВС в ряді робіт [2, 3] пропонується застосовувати первинні вимірювальні перетворювачі, у яких аналітичним вихідним сигналом є часова тривалість імпульсного процесу. Запропонований підхід означає насамперед перехід до імпульсного режиму роботи вимірювальних каналів ІВС. Це дає такі переваги:

- значно підвищує енергетичну економічність роботи ІВС;
- дозволяє оперативно оцінювати динамічні характеристики об'єктів вимірювань;
- збільшує чутливість;
- підвищується точність вимірювань;
- зростає завадозахищеність вимірювань.

Разом з тим, сьогодні існує велика кількість класичних вимірювальних перетворювачів, які забезпечують формування на своєму виході аналітичного сигналу інформаційним параметром в якому є значення амплітуди напруги. Перехід до імпульсного режиму роботи таких вимірювальних перетворювачів можливий без будь-яких змін в тому випадку, коли в їхній структурі відсутні реактивні елементи, як правило це виконується для резистивних сенсорів.

Таким чином існують всі необхідні передумови для створення вимірювальних каналів ІВС, які працюватимуть в імпульсному режимі. Однак визначення амплітудних змін аналітичного сигналу вимірювального перетворювача за допомогою класичного аналого-цифрового перетворення, за даних умов, викликає ряд проблем, пов'язаних з необхідністю одночасного забезпечення високої швидкодії і точності. Отже розробка нового способу здійснення вимірювальних перетворень, який базується на визначенні амплітудних змін аналітичного сигналу вимірювальних перетворювачів, які працюють в імпульсному режимі є важливою й актуальною задачею.

### Постановка задачі

Розробити спосіб здійснення вимірювальних перетворень, який передбачає визначення амплітудних змін аналітичного сигналу вимірювальних перетворювачів, що працюють в імпульсному режимі, який здійснюється за допомогою вимірювання тривалості вихідного імпульсного сигналу вимірювального перетворювача на наперед заданому рівні.

### Теоретичні основи способу

В запропонованому підході передбачається здійснювати вимірювання значення вимірюваних фізичних величин шляхом визначення змін в тривалості на заданому рівні спеціальних тестових сигналів, які подаються на вхід вимірювального перетворювача. Таким чином для переважної більшості сенсорів, які є пасивними елементами, відпадає необхідність в забезпеченні постійного живлення. Вхідні тестові сигнали будуть одночасно виконувати і енергетичну функцію забезпе-

чення живлення сенсора, і зазнаватимуть амплітудних змін внаслідок дії вимірюваних фізичних величин. В свою чергу зміна амплітуди для певних видів тестових сигналів, як буде показано нижче, однозначно пов'язана зі зміною тривалості цих сигналів на заданому рівні. А це означає, що вимірюючи часову тривалість цих сигналів на заданих рівнях (що значно простіше в технічному відношенні і може здійснюватися з кращими метрологічними характеристиками), можна визначати їхні амплітудні зміни, які використовувалися для класичних вимірювань.

Причому, для сенсорів з нелінійною залежністю зміни амплітуди і форми тестового імпульсного сигналу від впливу вимірюваних величин, визначення зміни тривалості тестового сигналу можна здійснювати безпосередньо на виході вимірювального перетворювача. А для сенсорів з лінійною залежністю зміни амплітуди і форми тестового сигналу необхідно додатково виконувати нелінійне перетворення форми вихідного сигналу, і тільки після цього визначати зміну тривалості сигналу. Ці зауваження пов'язані з необхідністю забезпечення однозначного зв'язку зміни тривалості імпульсів зі зміною їх амплітуди.

Структури вимірювальних перетворювачів з відзначеними особливостями показані на рисунках 1а, б.

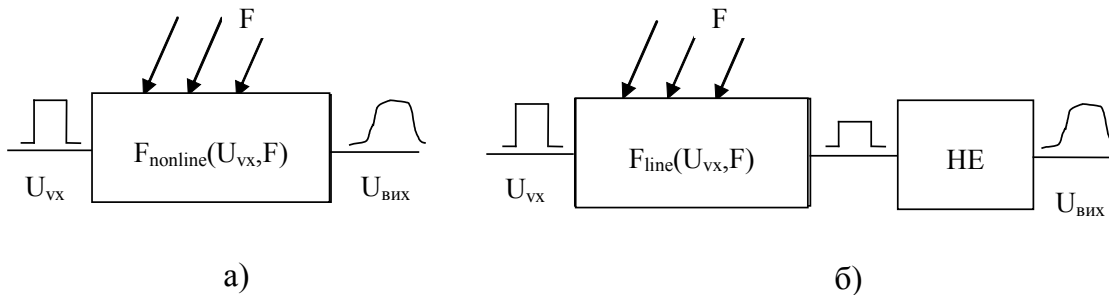


Рис. 1. Структури вимірювальних перетворювачів: а) з нелінійною функцією перетворення; б) з лінійною функцією перетворення

На вхід вимірювального перетворювача з нелінійною функцією перетворення

$$U_{вих} = F_{nonline}(U_{vx}, F), \tag{1}$$

(рис. 1а) подається імпульсний тестовий сигнал  $U_{vx}$ , з відомими амплітудними та часовими параметрами. Внаслідок впливу вимірюваної фізичної величини  $F$  і функціонального перетворення  $F_{nonline}(U_{vx}, F)$ , на виході формується вихідний сигнал  $U_{вих}$ , вимірювання тривалості  $\Delta T_L$  якого наперед заданому рівні  $L$  дозволяє визначити амплітуду  $U_{вих,max}$ , а, отже, і пов'язане з нею значення  $F$ .

$$U_{вих,max} = Q(\Delta T_L, U_{vx}, F_{nonline}). \tag{2}$$

Для структури вимірювального каналу з лінійною функцією перетворення вимірювального перетворювача характерно додаткове перетворення вихідного сигналу в блоці нелінійного перетворення форми сигналу (HE), як це показано на рис. 1б.

Для найефективнішого застосування в вимірювальних каналах з часовим представленням вимірювальної інформації необхідно виконати аналіз типових форм імпульсних тестових сигналів. Цілком очевидно, що для використання в вимірювальних каналах розглянутих типів придатні лише ті імпульсні тестові сигнали, часовий зріз яких відповідає умові однозначності визначення їх тривалості на заданому рівні. При цьому проекція  $\alpha$ -зрізу сигналу на часову вісь визначить тривалість сигналу на  $\alpha$ -рівні (рис. 2)

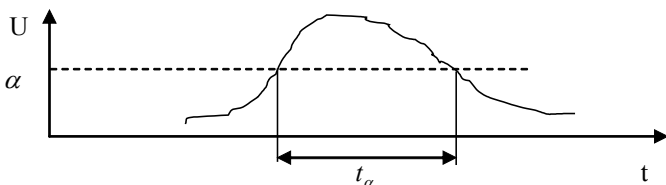


Рис. 2. Визначення тривалості сигналу на  $\alpha$ -рівні

Якщо сигнал на проміжку своєї тривалості має один, або кілька локальних мінімумів  $U_{min,l}$ , таких, що задовольняють нерівності  $U_{min,l} \leq \alpha$ , то умова однозначності визначення його тривалості на  $\alpha$ -рівні не виконується.

Умова однозначності визначення часової тривалості імпульсного сигналу для будь-якого значення рівня  $\alpha$ , якщо він лежить в межах  $0 < \alpha < U_{\max}$ , виконується для імпульсних сигналів які можна описати унімодальними функціями. Типові форми часових зрізів таких сигналів показані на рисунку 3.

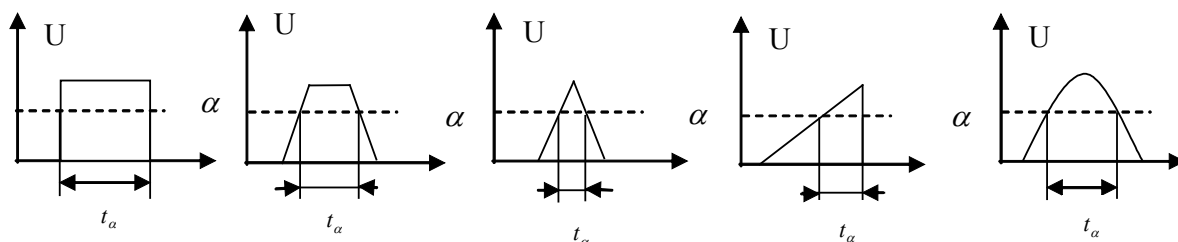


Рис. 3. Типові форми часових зрізів сигналів, що описуються унімодальними функціями

Аналіз типових форм сигналів, які можна описати унімодальними функціями дозволяє ввести властиві для них критеріальні ознаки.

**Означення.** Критерію однозначності визначення тривалості відповідають імпульсні тестові сигнали часовий зріз яких описується функцією, яка в області визначення має три інтервали монотонності: інтервал монотонного зростання; інтервал стаціонарності; інтервал монотонного спадання. Причому, тривалість кожного з вказаних інтервалів  $t$  може знаходитися в межах  $[0; t_i]$ , де  $t_i$  – тривалість імпульсу.

В математичному відношенні функція опису повинна бути диференційованою на інтервалах з збереженням на них постійності знака, а саме:

- $f'(U, t) > 0$  — на інтервалі зростання;
- $f'(U, t) = 0$  — на інтервалі стаціонарності;
- $f'(U, t) < 0$  — на інтервалі спадання.

Оскільки найважливішим елементом в структурі вимірювального каналу є вимірювальний перетворювач, тому необхідно визначити основні вимоги до таких перетворювачів.

**Теорема.** У вимірювальних перетворювачах з унімодальними імпульсними тестовими сигналами будь-якої форми лінійна зміна амплітудного значення сигналу  $U_m$  не приводить до зміни його тривалості  $t_\alpha$  на заданому  $\alpha$ -рівні, що визначається в частках від амплітудного значення сигналу, за умови, що тривалість імпульсів на нульовому рівні залишається постійною,  $t_{U(t)=0} = \text{const}$ .

З огляду на обмеження обсягу статті я не буду наводити доведення теореми, зазначу лише, що воно тривіальне для прямокутної форми тестових імпульсів, тому достатньо його розглянути для імпульсів з лінійними та нелінійними формами фронтів.

### Практика застосування методу

Враховуючи те, що застосування методу при використанні вимірювальних перетворювачів з нелінійною функцією перетворення немає певних стандартних аналітичних залежностей, а базується виключно на вигляді нелінійності, тому з'ясуємо практичні аспекти застосування даного методу для реалізації вимірювального каналу на основі вимірювальних перетворювачів з лінійною функцією перетворення.

Як раніше було відзначено, для застосування методу необхідно послідовно, після лінійного вимірювального перетворювача ввімкнути в вимірювальний ланцюг пристрій, який здійснює нелінійне перетворення форми імпульсного сигналу. В якості такого пристрою з багатьох міркувань доцільно використовувати інтегровальну ланку.

Отже задача зводиться до визначення аналітичних залежностей, які дозволяють для кожного виду тестового імпульсного сигналу за відомими його параметрами на вході вимірювального перетворювача, параметрами інтегровальної ланки та виміряним значенням тривалості вихідного імпульсу на наперед визначеному рівні, розраховувати значення амплітуди сигналу на виході вимірювального перетворювача, яка, в свою чергу, безпосередньо пов'язана з значенням вимірюваної фізичної величини.

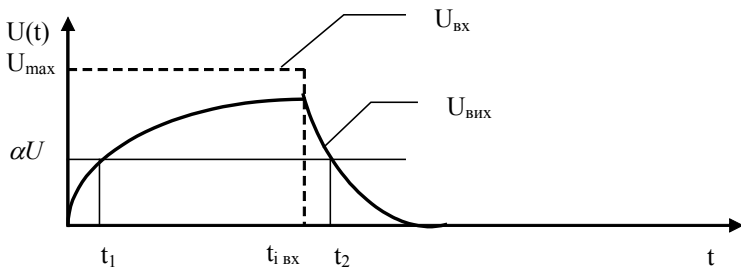


Рис. 4. Схематичне зображення до питання визначення тривалості на  $\alpha$ -рівні

Дану задачу можна розв'язувати використовуючи такі класичні підходи: прямий розв'язок диференціальних рівнянь, що описують ланцюг перетворень, шляхом застосування інтегралу Дюамеля, використанням операторного методу (перетворення Лапласа). Теоретично, застосування цих методів повинно давати однакові результати, однак, на практиці, тільки операторний метод дозволив отримувати розв'язки придатні для практичного застосування.

Для тестового сигналу в формі прямокутного імпульсу з амплітудою  $U_{\max}$ , та тривалістю  $t_{\text{ивх}}$  вхідний сигнал і сигнал з виходу блока інтегрування показані на рисунку 4.

Вихідний сигнал визначається з співвідношення  $U_{\text{вих}}(s) = U_{\text{вх}}(s) \cdot K(s)$ , де  $U_{\text{вх}}(s)$  — зображення Лапласа вхідного сигналу,  $K(s) = \frac{1/\tau}{s + 1/\tau}$  — зображення Лапласа для інтегрувального пристрою.

Оригінал вихідний сигналу можна представити як суму з двох компонент. Сигналу, що формується на інтервалі тривалості вхідного імпульсу  $U_{\text{вих.1}}(t)$ , і сигналу  $U_{\text{вих.2}}(t)$ , що формується по його закінченні.

$$U_{\text{вих.1}}(t) = U_{\max} \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad \forall t \in [0; t_{\text{ивх}}]; \tag{3}$$

$$U_{\text{вих.2}}(t) = U_{\max} \left( e^{\frac{t_{\text{ивх.}}}{\tau}} - 1 \right) e^{-\frac{t}{\tau}} \quad \forall t \geq t_{\text{ивх.}}, \tag{4}$$

де  $\tau$  — постійна часу пристрою інтегрування.

Цілком логічним є визначення тривалості вихідного імпульсного процесу додаванням окремо визначених часових інтервалів тривалості кожної з зазначених компонент цього сигналу на заданому  $\alpha$ -рівні. Часова тривалість першої компоненти визначиться з співвідношення

$$\Delta \dot{t}_1 = t_{\text{ивх.}} + \tau \ln \left( 1 - \alpha \frac{U_{\text{вих.max}}}{U_{\max}} \right). \tag{5}$$

Аналітична залежність для визначення тривалості другої компоненти

$$\Delta \dot{t}_2 = \tau \ln \left( \frac{U_{\text{вих.max}} (e^{\frac{t_{\text{ивх.}}}{\tau}} - 1)}{\alpha U_{\max}} \right) - t_{\text{ивх.}}. \tag{6}$$

Результуюча тривалість вихідного імпульсного процесу,

$$\Delta \dot{T} = \Delta \dot{t}_1 + \Delta \dot{t}_2 = \tau \ln \left( 1 - \alpha \frac{U_{\text{вих.max}}}{U_{\max}} \right) + \tau \ln \left( \frac{U_{\max} (e^{\frac{t_{\text{ивх.}}}{\tau}} - 1)}{\alpha U_{\text{вих.max}}} \right). \tag{7}$$

Розв'язок даного рівняння дозволяє знайти залежність для визначення амплітудного значення імпульсу на виході вимірювального перетворювача

$$U_{\max} = \alpha U_{\text{вих.max}} \left( \frac{e^{-\frac{\Delta \dot{T}}{\tau}}}{\frac{t_{\text{ивх.}}}{e^{\frac{t_{\text{ивх.}}}{\tau}} - 1}} + 1 \right). \tag{8}$$

Враховуючи те, що  $t_{i. \text{вх.}} = \text{const}$ , введемо такі позначення:

$$e^{-\frac{t_{i. \text{вх.}}}{\tau}} - 1 = \text{const} = b, \quad (9)$$

$$L = \alpha U_{\text{вих. max}}. \quad (10)$$

Тоді рівняння (8) можна подати у вигляді

$$U_{\text{max}} = L \left( \frac{1}{b} e^{-\frac{\Delta T}{\tau}} + 1 \right). \quad (11)$$

Таким чином отримані співвідношення дозволяють без використання аналого-цифрових перетворювачів лише за допомогою вимірювання часової тривалості на фіксованому рівні  $L$  проінтегрованих прямокутних тестових імпульсів, отриманих на виході вимірювального перетворювача одержати цифрове значення амплітуди імпульсного сигналу первинного вимірювального перетворювача.

Аналогічні результати були одержані для випадків використання тестових імпульсних сигналів пилкоподібної, трикутної, трапецієподібної, та дзвоноподібної форми. Необхідно зауважити, що загальні аналітичні співвідношення для трьох останніх форм виявилися досить складними і неоднозначними, однак при використанні конкретних числових параметрів імпульсів та інтегровального пристрою ці складності зникають і метод дозволяє отримувати однозначні результати. Приклади моделювання для трьох останніх форм тестових імпульсних сигналів показані на рисунку 5.

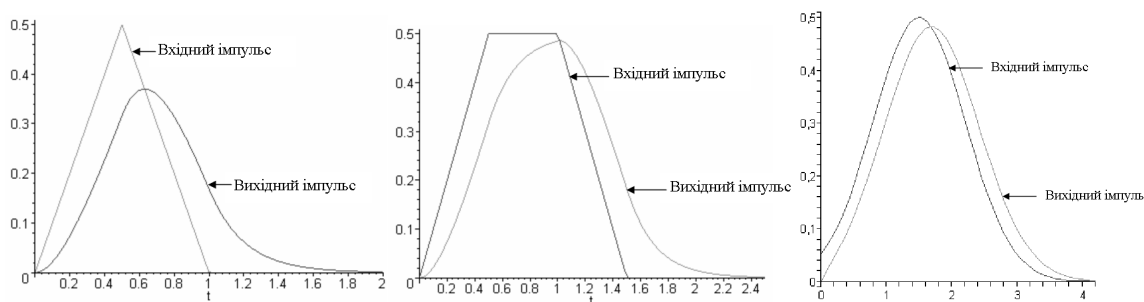


Рис. 5. Графічні результати моделювання для тестових імпульсних сигналів трьох форм

## Висновки

В даній роботі запропоновано новий метод здійснення вимірювальних перетворень, який дозволяє створювати вимірювальні канали, що працюють в імпульсному режимі, а процедура вимірювань зводиться до вимірювання часової тривалості імпульсів на наперед визначених рівнях.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Алиев Т. М., Тер-Хачатуров А. А. Измерительная техника. — М.: Высшая школа, 1991. — 384 с.
2. Патент України на корисну модель № 5783 G01R27/00. Вимірювальний перетворювач фізичних величин в інтервал часу/ Ю. В. Шабатура. Опубліковано 15.03.2005. Бюл. № 3
3. Патент України на корисну модель № 5086 G01B9/02. Вимірювальний перетворювач з часовим представленням інформації/ Ю. В. Шабатура. Опубліковано 15.02.2005. Бюл. № 2

**Шабатура Юрій Васильович** — доцент кафедри метрології та промислової автоматики.

Вінницький національний технічний університет