

через Управління міжнародних зв'язків.

В пропозиції обґрунтовується необхідність для України конкретного документа ETSI, визначаються можливі політичні, правові, матеріальні і фінансові результати впровадження документа, вказуються суб'єкти реалізації документа. Координаційна рада розглядає пропозицію і не пізніше ніж в місячний термін повертає її заявнику разом з відповідними висновками.

Відповідно до державного стандарту України ДСТУ 1.0-93 документи ETSI як міжнародні використовують в Україні в межах міжнародних договорів згідно з порядком, який встановлює Держстандарт України. Організація, призначена Координаційною радою, повинна виконувати роботи з впровадження прийнятого стандарту ETSI і пред'являти в Держстандарт України необхідні матеріали для надання статусу нормативного документа України.

Впровадження у галузі зв'язку стандарту ETSI, якому надано право дії як нормативного документа України, здійснюється в порядку і за процедурами, встановленими Державним комітетом зв'язку та інформатизації України.

**Висновки.** На основі проведеного аналізу стану процесу стандартизації послуг телефонного зв'язку в Україні можна зробити висновок, що українські мережі відстають у своєму розвитку від західноєвропейських. Якщо в останніх уже завершена їх цифровізація, то в Україні процес цифровізації мереж знаходиться всередині циклу. Якщо західноєвропейські цифрові мережі зараз виконані відповідно до стандартів ETSI, то українські ще досі мають успадковані з попередніх часів значні відмінності (наприклад, в сигналізації на телефонних мережах), а також відсутня нормативно-технічна база для переходу на випробування тільки термінального обладнання в частині основних вимог (гармонізовані стандарти). Отже, для того, щоб мережа загального користування була живучою, надійною, керованою і прозорою для наскрізного надання послуг розробка національних стандартів повинна стати основним завданням в області стандартизації протягом наступних років.

1. Иващенко П.В. *Состояние стандартизации в области спутниковых технологий в Европе и в Украине: Праці УНДІРТ.* – 2002. – №3. – С. 33–35. 2. [www.stc.gov.ua](http://www.stc.gov.ua). *Нормативно-правова база.*  
3. Хиленко В., Михайлов В., Ткаченко В. *Техническое регулирование: адаптация.* – 2003. – №12. – С.16–22. 4. Банкет В. *Стандарты по-европейски // Сети и коммуникации.* – 2003. – №10(37). – С. 30–35.

УДК 621.317.1:621.3.083.722:621.3.088

С.Ю. Юриш

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра інформаційних систем та мереж

## **АНАЛІЗ ПОХИБОК КВАНТУВАННЯ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ КОЕФІЦІЄНТА ЗАПОВНЕННЯ І ШПАРУВАТОСТІ ІМПУЛЬСНОЇ ПОСЛІДОВНОСТІ**

© Юриш С.Ю., 2006

Описано новий метод вимірювання коефіцієнта заповнення і шпаруватості імпульсної послідовності, який дає змогу мінімізувати складову похибки вимірювання, яка виникає через квантування періоду. Результати моделювання і експериментальні дослідження продемонстрували підвищення точності вимірювання у два рази порівняно з класичним методом вимірювання коефіцієнта заповнення під час його використання в універсальному перетворювачі частота-код.

The new method for duty-cycle and off-duty factor measurement is described in the article. It lets eliminate the error component due to period quantization. Experimental and modelling results demonstrate two times accuracy increasing in comparison with the classical method in the universal frequency-to-digital converter based on the proposed method.

**Вступ.** Коефіцієнт заповнення імпульсної послідовності (відношення тривалості імпульсу до періоду імпульсної послідовності в англійській літературі відомий як “duty-cycle”) широко використовується як інформативний вихідний параметр різноманітних сучасних сенсорів. Наприклад, в температурному сенсорі SMT160-30 компанії *Smartec* (Голландія) як вихідний інформативний параметр використовується коефіцієнт заповнення імпульсної послідовності, пропорційний до вимірюваної температури [1]:

$$T(^{\circ}\text{C}) = \frac{K_3 - 0,320}{0,0047} \quad (1)$$

де  $K_3$  – коефіцієнт заповнення.

В акселерометрах ADXL202, ADXL210 та ADXL213 компанії *Analog Devices*, а також компаній *Kionix* і *MEMSIC* як інформативний параметр також використовується коефіцієнт заповнення, пропорційний до прискорення [2]. Основні співвідношення для цих акселерометрів наведені в табл. 1.

Коефіцієнт заповнення використовується також в програмованому сенсорі на ефекті Холла HAL810 компанії *Micronas* [3].

Таблиця 1

Основні співвідношення вихідних сигналів сучасних акселерометрів

Акселерометр	Виробник	Залежність прискорення від коефіцієнта заповнення
ADXL202	Analog Devices	$A(z) = \frac{K_3 - 50\%}{12,5\%}$
ADXL210	Analog Devices	$A(z) = \frac{(K_3 - 0,5)}{4\%}$
ADXL213	Analog Devices	$A(z) = \frac{(K_3 - 0,5)}{30\%}$
KXG20	Kionix	$A(z) = \frac{(K_3 - 0,5)}{20\%}$
MXD2125	MEMSIC	Прискорення, пропорційне до коефіцієнта заповнення. 0 г на виході відповідає 50 % коефіцієнта заповнення

Такі вихідні сигнали сенсорів можуть легко оброблятися сучасними мікроконтролерами. Порівняно з частотним виходом сенсорів сенсори з коефіцієнтом заповнення як інформативний параметр є стійкішими до різних завад, викидів напруги тощо [4]. Відношення тривалості імпульсу до періоду цієї імпульсної послідовності не залежить від абсолютних значень цих величин [5].

**Мета дослідження** – розробка методів вимірювання коефіцієнта заповнення і шпаруватості імпульсної послідовності, а також аналіз і моделювання похибок квантування універсального перетворювача частота-код, який ґрунтується на цих методах.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Існує декілька методів вимірювання коефіцієнта заповнення

імпульсної послідовності. Наприклад, у простих перетворювачах коефіцієнт заповнення в код використовується непрямий класичний метод вимірювання, який полягає у вимірюванні довжини імпульсу, періоду імпульсної послідовності і розрахунку коефіцієнта заповнення згідно з виразом

$$K_3 = \frac{\tau_x}{T_x}, \quad (2)$$

де  $\tau_x$  – тривалість імпульсу;  $T_x$  – період імпульсної послідовності.

Основні компоненти похибки вимірювання – це похибки квантування тривалості імпульсу і періоду. Обидві компоненти можуть сягати досить великих значень. Для досягнення високої точності вимірювання необхідно використовувати високу зразкову частоту квантування. Результат вимірювання також залежить від періоду  $T_x$  (частоти  $f_x$ ) імпульсної послідовності. За цього способу вимірювання висока точність може бути досягнута тільки у діапазоні низьких або інфранизьких частот вхідної імпульсної послідовності.

Відомий також метод вимірювання коефіцієнта заповнення імпульсної послідовності, який ґрунтується на використанні випадкової дискретизації імпульсного сигналу [6]. Метод може бути легко реалізований на базі сучасних мікроконтролерів, однак він придатний тільки для перетворення коефіцієнта заповнення в код з низькою роздільною здатністю, яка не перевищує 9 біт.

Один з сучасних методів перетворення коефіцієнта заповнення в код описаний в [7]. Він дає змогу зменшити похибку квантування без збільшення зразкової тактової частоти. Метод передбачає використання зразкової частоти, у  $2^N$  разів більшої за частоту вхідного сигналу. Однак це вимагає незмінного періоду вхідного сигналу  $T_x$ . Але ж на практиці досить часто період (частота) вхідного сигналу також змінюється. Тоді цей метод не може бути використаний.

Як показав огляд сучасних сенсорів і методів вимірювання коефіцієнта заповнення імпульсної послідовності, існує необхідність створення нових високоточних методів вимірювання, придатних для легкої реалізації на базі сучасних мікроконтролерів.

**Метод вимірювання коефіцієнта заповнення.** Часові діаграми нового запропонованого методу вимірювання коефіцієнта заповнення імпульсної послідовності показані на рис. 1.

Метод вимірювання реалізується в такий спосіб. Відповідно до потрібної відносної похибки вимірювання періоду  $\delta$  розраховується число  $N_\delta = 1/\delta$ . Протягом інтервалу часу  $N_\delta T_0$  та довжин багатьох імпульсів  $\tau_x$  вхідної послідовності одночасно рахуються імпульси зразкової частоти  $f_0$ , а потім протягом інтервалу часу  $\Delta N T_0$  продовжується лічба імпульсів зразкової частоти  $f_0$  до появи наступного фронту імпульсу вхідної послідовності. В такий спосіб формується час вимірювання  $T_q$ , кратний періоду імпульсів вхідної послідовності  $T_x$ . Коефіцієнт заповнення розраховується за таким виразом:

$$K_3 = \frac{N_{\tau_x}}{N_{T_x}} = \frac{\bar{\tau}_x}{\bar{T}_x}, \quad (3)$$

де

$$N_{\tau_x} = (N_\delta + \Delta N) \tau_x / T_0; \quad (4)$$

$$N_{T_x} = (N_\delta + \Delta N) T_x / T_0. \quad (5)$$

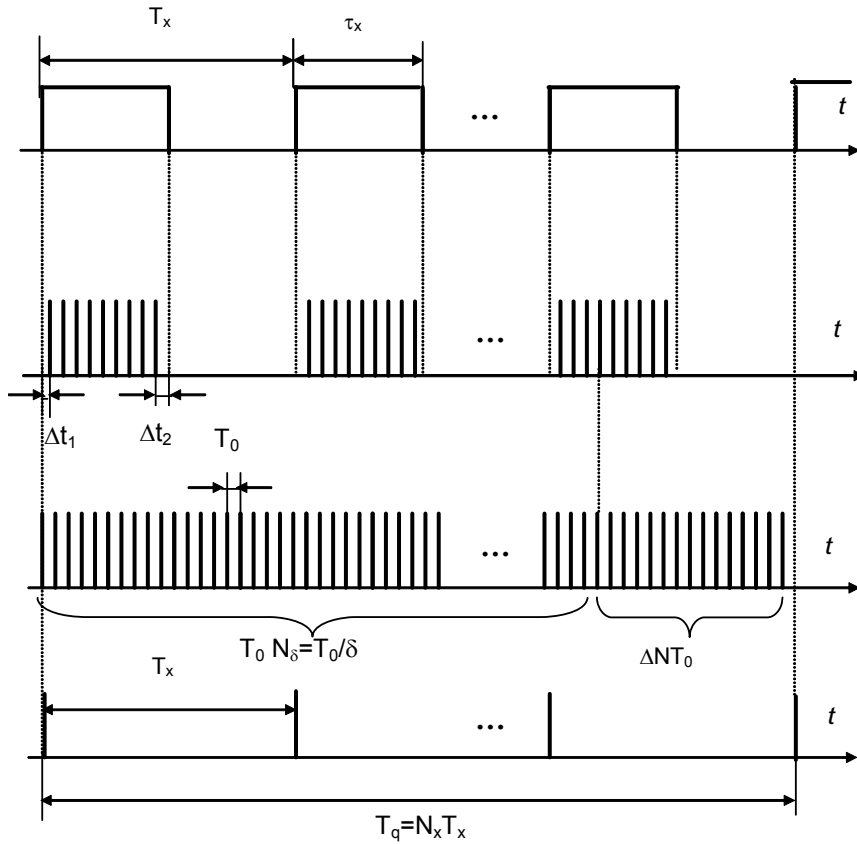


Рис. 1. Часові діаграми методу вимірювання коефіцієнта заповнення

Отже, запропонований непрямий метод вимірювання коефіцієнта заповнення є комбінацією класичного методу вимірювання тривалості імпульсу і методу залежної лічби для вимірювання періоду імпульсної послідовності [8]. Метод підвищує точність за рахунок того, що похибка вимірювання не залежить від частоти вхідної послідовності імпульсів, та визначається переважно похибкою вимірювання тривалості імпульсу  $\tau_x$ . Крім того, метод дає змогу мінімізувати складову похибки вимірювання, пов'язану з некрatністю часу перетворення періоду вхідної імпульсної послідовності.

**Аналіз похибок квантування методів вимірювання коефіцієнта заповнення.** Обчисливши повний диференціал рівняння (3) і перейшовши до кінцевих різниць та відносних одиниць, одержимо відносну похибку вимірювання, яка може бути подана у вигляді

$$\delta_{K_3} = \frac{\Delta K_3}{K_3} = \frac{T_0}{\tau_x} + \frac{\Delta N_2}{f_0 \cdot T_q} + \frac{\Delta T_0}{T_0} + \frac{\Delta N_1}{f_x \cdot T_q}, \quad (6)$$

де перша компонента – відносна похибка квантування тривалості імпульсу; друга і остання компоненти – похибки квантування періоду під час його вимірювання за допомогою методу залежної лічби [8], третя компонента – відносна похибка генератора зразкової тактової частоти. Без застосування поліпшених методів вимірювання частоти або періоду  $\Delta N_1$  і  $\Delta N_2$  приймають значення  $\pm 1$ . За часу вимірювання  $T_q$ , який кратний тривалості періоду вимірюваної частоти  $T_x$ , яку забезпечує метод залежної лічби,  $\Delta N_1 = 0$ .

Якщо похибкою генератора зразкової тактової частоти можна знехтувати, то вираз (6) може бути записаний в такий спосіб:

$$\delta_{K_3} = \frac{T_0}{\tau_x} + \frac{1}{f_0 \cdot T_q} \quad (7)$$

Оскільки  $T_q = N_x T_x = T_0 N_0 = T_0 (N \delta + \Delta N)$ , то остаточно рівняння для похибки квантування матиме вигляд

$$\delta_{K_3} = \frac{T_0}{\tau_x} + \frac{1}{N_\delta + \Delta N} \quad (8)$$

З врахуванням діапазону зміни числа  $\Delta N \in [0; \Delta N_{max}]$ , де  $\Delta N_{max} = T_x / T_0$ , отримаємо:

$$\delta_{K_3} = \frac{N_\delta \cdot T_0 + \tau_x}{\tau_x \cdot N_\delta}, \quad \text{при } \Delta N = N_{min} = 0; \quad (9)$$

$$\delta_{K_3} = \frac{\left(N_\delta + \frac{T_x}{T_0}\right) \cdot T_0 + \tau_x}{\tau_x \cdot \left(N_\delta + \frac{T_x}{T_0}\right)}, \quad \text{при } \Delta N = N_{max} = T_x / T_0. \quad (10)$$

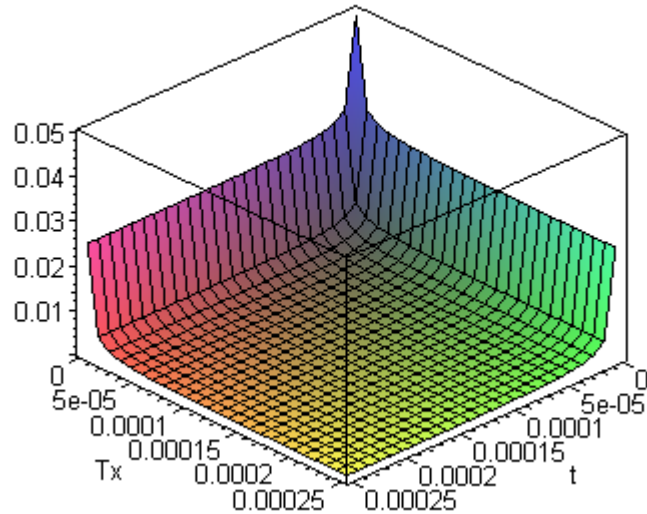
Для класичного методу вимірювання коефіцієнта заповнення похибка квантування визначається у такий спосіб:

$$\delta_{K_3} = \frac{T_0}{\tau_x} + \frac{T_0}{T_x} = T_0 \left( \frac{1}{\tau_x} + \frac{1}{T_x} \right) = \frac{T_0 (T_x - \tau_x)}{\tau_x \cdot T_x} \quad (11)$$

Порівняно із запропонованим методом вимірювання коефіцієнта заповнення похибка квантування для класичного методу вимірювання залежить від частоти (періоду) імпульсної послідовності.

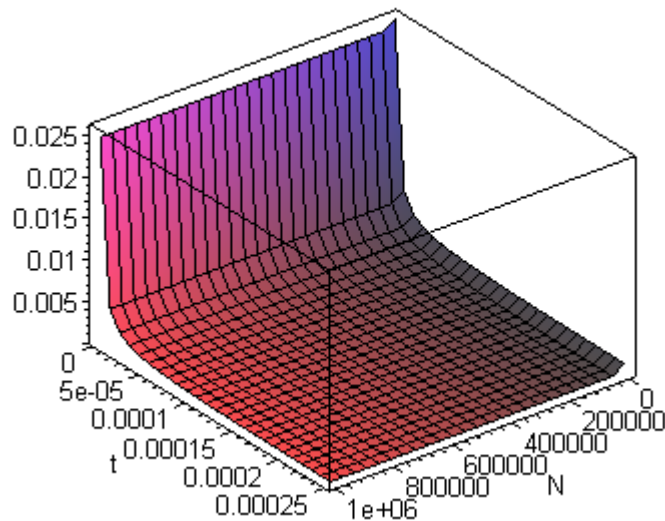
Оскільки шпаруватість імпульсної послідовності є оберненою величиною до коефіцієнта заповнення  $Q = 1/K_3 = T_x / \tau_x$ , то усе вищезгадане справедливе і для вимірювання шпаруватості.

**Моделювання похибок квантування методів вимірювання коефіцієнта заповнення.** З метою порівняльного аналізу похибок квантування класичного і запропонованого методів вимірювання коефіцієнта заповнення імпульсної послідовності відповідні похибки моделювалися у середовищі аналітичних розрахунків Maple 6.0. Вихідні дані для моделювання були вибрані так: діапазон зміни тривалості імпульсу  $\tau_x$  і періоду імпульсів вхідного сигналу  $T_x$  – від 2,5 до 250 мкс, зразкова тактова частота  $f_0 = 16$  МГц. Ці параметри відповідають технічним характеристикам розробленого автором універсального перетворювача частота-код (УПЧК), який використовує запропонований метод вимірювання коефіцієнта заповнення імпульсної послідовності [9] у відповідному режимі вимірювання.



*Рис. 2. Результати моделювання класичного методу вимірювання коефіцієнта заповнення*

Результати моделювання похибки квантування класичного і запропонованого методів вимірювання коефіцієнта заповнення імпульсної послідовності показані на рис. 2 і 3 відповідно. Як зрозуміло з результатів моделювання, похибка квантування запропонованого методу вимірювання коефіцієнта заповнення у два рази менша від похибки квантування для класичного методу вимірювання. Крім того, похибка квантування класичного методу вимірювання залежить від частоти (періоду) вхідного сигналу.



*Рис. 3. Результати моделювання запропонованого методу вимірювання коефіцієнта заповнення*

Похибка квантування запропонованого методу вимірювання коефіцієнта заповнення і шпаруватості імпульсної послідовності визначається насамперед складовою, пов'язаною з квантуванням тривалості імпульсів  $\tau_x$ . Складовою, яка пов'язана з квантуванням періоду, зведена до мінімуму завдяки використанню принципу, закладеного у методі залежної лічби.

**Експериментальні дослідження УПЧК в режимі вимірювання коефіцієнта заповнення.**

Метою експериментальних досліджень УПЧК, який працює в режимах вимірювання коефіцієнта заповнення і шпаруватості на базі запропонованого методу вимірювання, було визначення максимально можливої частоти вхідного сигналу.

Експериментальна установка зображена на рис. 4. Як джерело вхідної імпульсної послідовності певної частоти (періоду) з певним коефіцієнтом заповнення або шпаруватості використовувався функціональний генератор Agilent 33120A, а для вимірювання частоти – частотомір Agilent 53132A. Зв'язок між УПЧК і персональним комп'ютером (ПК) здійснювався через інтерфейс RS-232. Обмін інформацією між ПК і УПЧК реалізувався за допомогою термінального програмного забезпечення "Terminal V1.9 b" в середовище Windows.

Графік залежності максимально можливої частоти від коефіцієнта заповнення показаний на рис. 5, а результати вимірювання коефіцієнта заповнення за максимальної частоти 500 кГц – на рис. 6. Відповідна функція розподілу показана на рис. 7, а статистичні характеристики – наведено в табл. 2. Гіпотеза відповідності закону розподілу нормальному закону розподілу перевірялася за допомогою  $\chi^2$ -критерію [10]. Так, за 6 еквідистантних класів і ймовірності  $P = 97\%$ :

$$S < \chi^2_{max} \Rightarrow \text{гіпотеза нормального закону розподілу приймається,}$$

де  $S = 2,7783$  – сума відхилень між експериментальними даними і очікуваним розподілом;  
 $\chi^2_{max} = 8,9$  – максимально допустимий аргумент  $\chi^2$ -розподілу.

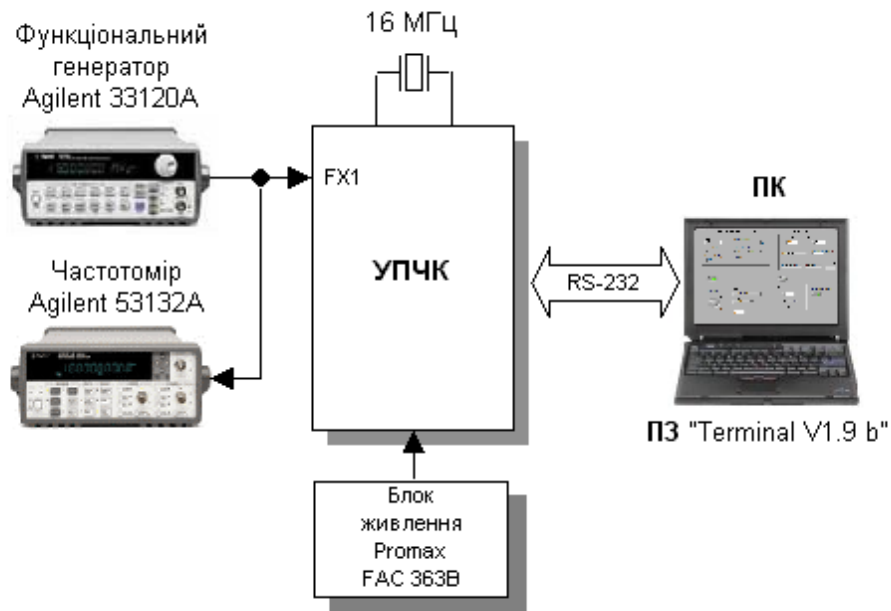


Рис. 4. Експериментальна установка для визначення максимально можливої частоти вхідного сигналу УПЧК, який працює в режимі вимірювання коефіцієнта заповнення

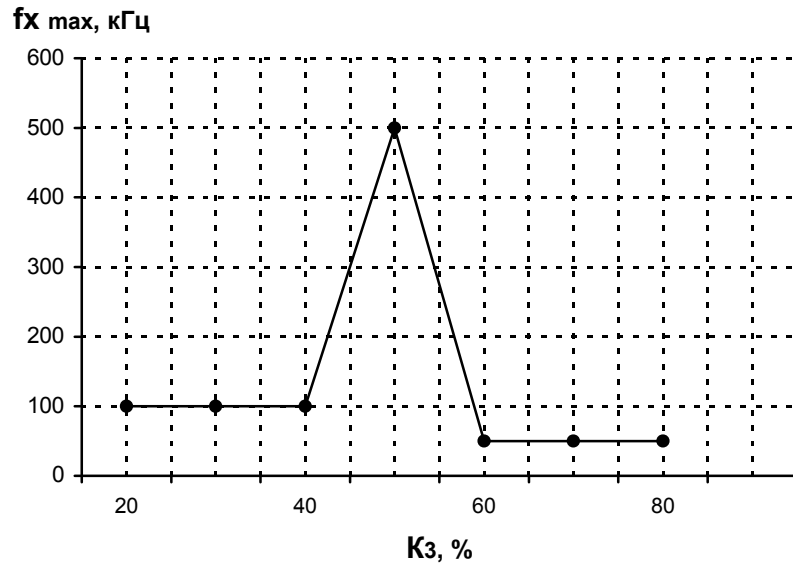


Рис. 5. Залежність максимально можливої частоти вхідного сигналу УПЧК від коефіцієнта заповнення

Максимальна похибка вимірювання може досягати 1 % під час вимірюванні коефіцієнта заповнення імпульсної послідовності  $K_3=50\%$  за максимально можливої частоти вхідного сигналу, коли УПЧК працює в режимі вимірювання коефіцієнта заповнення. Основна складова похибки вимірювання – це похибка квантування тривалості імпульсу  $\tau_x$ . На практиці частота сигналу на виході сучасних сенсорів з використанням коефіцієнта заповнення імпульсної послідовності як інформативного параметра знаходиться в межах від одиниць до кількох десятків кГц. Наприклад, температурний сенсор SMT160-30 компанії *Smartec* [1] має частоту вихідного сигналу 4 кГц. Це дає змогу УПЧК вимірювати коефіцієнт заповнення на виході сучасних сенсорів у широкому діапазоні і з високою точністю.

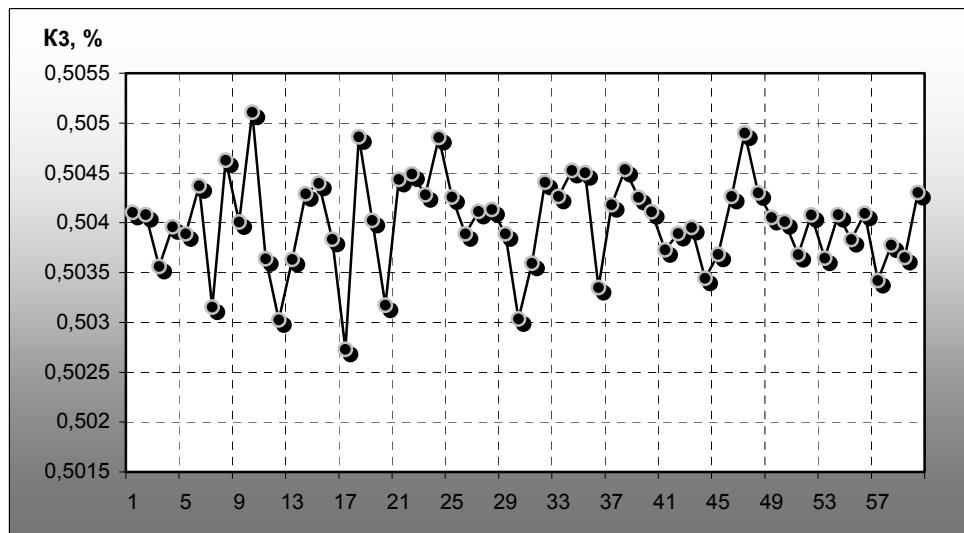


Рис. 6. Результати вимірювання  $K_3=50\%$  при  $f_{x max} = 500$  кГц



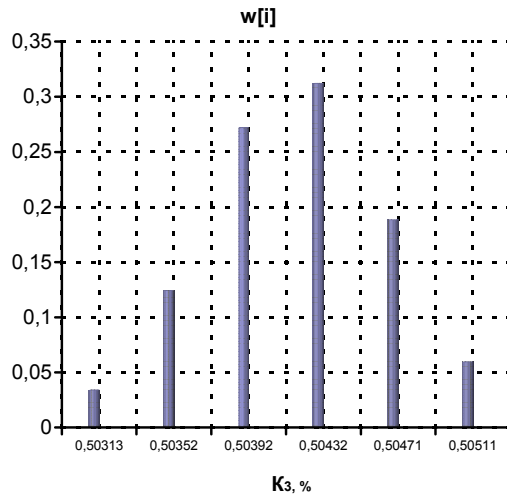


Рис. 7. Функція розподілу

Таблиця 2

**Статистичні характеристики результатів вимірювання  $K_3 = 50\%$  при  $f_{x \max} = 500$  кГц**

Параметр	Значення
Кількість вимірювань, $N$	60
Мінімальне значення, $K_3 \min$	0,5027
Максимальне значення, $K_3 \max$	0,5051
Розмах, $K_3 \max - K_3 \min$	0,0024
Медіана	0
Середнє арифметичне	0,504
Дисперсія	2,3E-0007
Стандартне відхилення	0,0005
Коефіцієнт варіації	1049,5239
Довірчий інтервал за $P=97\%$	$K_3 \in [0,5039 \div 0,5041]$
$\chi^2$ – тест за $P = 97\%$ : – нормальний закон розподілу	Так
Максимальна відносна похибка, %	$\leq 1,02$

Результати вимірювання  $K_3 = 80\%$  за частоти сигналу  $f_x = 4$  кГц наведені в табл. 3. Як бачимо з експериментальних результатів вимірювання, в частотному діапазоні сучасних сенсорів УПЧК дає змогу перетворювати коефіцієнт заповнення в код з відносною похибкою не більше ніж 0,016 %.

Перспективи подальшого удосконалення запропонованого методу вимірювання коефіцієнта заповнення імпульсної послідовності полягає в підвищенні точності перетворення тривалості імпульсу  $\tau_x$ . Це може бути досягнуто під час застосування методу ноніуса [11], методу рециркуляції або методу коінциденції [12] вимірювання тривалості імпульсу поряд з одночасним вимірюванням періоду імпульсної послідовності за допомогою методу залежної лічби.

Таблиця 3

**Статистичні характеристики результатів вимірювання  $K_3 = 80\%$  при  $f_x = 4$  кГц**

Параметр	Значення
Кількість вимірювань, $N$	60
Мінімальне значення, $K_3 \min$	0,79987

Максимальне значення, $K_{z \max}$	0,79991
Розмах, $K_{z \max} - K_{z \min}$	4,1E-0005
Медіана	0
Середнє арифметичне	0,7999
Дисперсія	2,0E-0010
Стандартне відхилення	1,4E-0005
Коефіцієнт варіації	56872,7133
$\chi^2$ – тест за $P = 97\%$ :	
– нормальний закон розподілу	Ні
– рівномірний закон розподілу	Ні
Максимальна відносна похибка, %	$\leq 0,016\%$

**Висновок.** Коефіцієнт заповнення імпульсної послідовності широко використовується як інформативний вихідний параметр різноманітних сучасних сенсорів. Запропонований метод вимірювання коефіцієнта заповнення і шпаруватості дає можливість уникнути складової похибки вимірювання, яка виникає через квантування періоду.

Результати моделювання продемонстрували підвищення точності вимірювання у два рази порівняно з класичним методом вимірювання коефіцієнта заповнення під час його використання в універсальному перетворювачі частота-код. Експериментальні дослідження також підтвердили високі метрологічні характеристики методу і перетворювача на його основі.

1. *Temperature Sensor SMT160-30, Specification Sheet, Smartec, The Netherlands, 2003.* 2. *Yurish S.Y. Practical circuits and interface techniques for MEMS accelerometers with quasi-digital output // Sensors & Transducers Magazine. – 2005. – Vol.58. – № 8. – P.352–359.* 3. *Yurish S.Y. Digital magnetic sensors based on universal frequency-to-digital converter (UFDC-1) // Sensors & Transducers Magazine. – 2005. – Vol.61. – № 11. – P.446–450.* 4. *Meijer G. Concepts and focus point for intelligent sensor systems // Sensors and Actuators A. – 1994. – Vol. 41–42. – P. 183–191.* 5. *Middelhoek S., French P.J., Huijsing J.H., Lian W.J., Sensors with digital or frequency output // Sensors and Actuators. – 1988. – Vol. 15. – P. 119–133.* 6. *Vuori J. Simple method measures duty cycle // EDN Magazine. – 1997. – №3.* 7. *Chao G., Meijer G. A novel method of reading the time-domain sensor signals //Proc. ProRISC. – Veldhoven (The Netherlands). – 2001.* 8. *Способ измерения частоты и периода гармонического сигнала и устройство для его осуществления: А.с. 788018 СССР, G01R 23/00 / Н.В. Кирианаки, Б.М. Березюк (СССР), Бюл. №46, 1978.* 9. *Yurish S.Y., Kirianaki N.V., Pallas-Areny R. Universal frequency-to-digital converter for quasi-digital and smart sensors: specifications and applications // Sensor Review. – 2005. – Vol. 25. – №.2. – P.92–99.* 10. *Шрюфер Е. Цифрова обробка дискретизованих сигналів / Пер. з нім. – К., 1992.* 11. *Денбновецький С.В., Кокошкин С.М., Шкуро А.Н. Наносекундная хронометрия. – К., 1991.* 12. *Орнатский П.П. Автоматические измерения и приборы (аналоговые и цифровые). – К., 1986.*

**УДК 681.2.08**

**М.І. Грибок**

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

## **ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПАРАЛЕЛЬНИХ RLC-СХЕМ МЕТОДОМ ЗМІЩЕННЯ СИСТЕМИ КООРДИНАТ ЗА СТРУМОМ**

© Грибок М.І., 2006

**Досліджено можливість вимірювання RLC-параметрів двокомпонентних комплексних опорів в діапазоні частот методом зміщення системи координат за складовими струму.**