

МЕТОД ПОКРАЩЕННЯ ШУМОВИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТРАКТУ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ АНАЛІЗАТОРІВ ФАЗОВОГО ДРИЖАННЯ

У роботі запропоновано метод покращення шумових властивостей тракту аналого-цифрового перетворення аналізаторів фазового дрижання, який дає можливість підвищити відношення сигнал/шум за рахунок коригування фазових зсувів імпульсів дискретизації.

Ключові слова: аналого-цифровий перетворювач, фазове дрижання, дискретизація, спектр.

G.G. BORTNYK, M.V. VASYLKIVSKIY, O.G. BORTNYK
Vinnitsa National Technical University, Ukraine

METHOD FOR IMPROVING NOISE PROPERTIES OF THE TRACT OF ANALOG-DIGITAL CONVERSION ANALYZERS OF PHASE SHAKE

Abstract — The paper presents a method to improve noise properties of the tract analog-digital conversion phase analyzer shake, which allows to increase the signal/noise ratio by adjusting the phase shift pulse rate.

Path analog-to-digital signal conversion phase shake is the key to assessing telecommunications jitter because the main dynamic parameters of analog-to-digital converters directly affect the efficiency of the evaluation phase of shake.

In the proposed method improved noise properties tract analog-to-digital conversion determined that the noise parameters of analog-to-digital converters is largely influenced shake samples of individual modules converters arising from the aperture uncertainty of analog-digital converters and phase fronts shake clock pulse rate.

According to the proposed method to improve the noise parameters tract analog-to-digital conversion asked to determine the value of the phase instability of each module analog to digital converters to further adjustments community feedback phase shift pulse rate.

The analysis of the signal/noise ratio for the proposed method, which showed that compared with the classical method of analog-to-digital conversion, the present method of adjusting the phase shift samples the signal path analog-to-digital conversion allows to increase the signal/noise ratio $6 \div 22$ dB depending on the rate volatility and the volume of treated sample analog-to-digital converters.

Key words: analog-to-digital converter, phase shake, sampling, spectrum.

Вступ

Аналізатори фазового дрижання (ФД) набувають широкого використання в телекомунікаційних і комп'ютерних системах. Основним чинником, що визначає ефективність оцінювання ФД є якість самого тракту оброблення сигналу джитеру. Сучасні аналізатори ФД характеризуються власним джитером, що має значення 0,05 одиничних інтервалів (ОІ) і вище. Такі значення власного ФД не дають можливості проведення аналізу ФД системи з точністю 0,01 ОІ [1].

Для компенсації власного ФД використовують обчислювальні процедури оброблення даних. Такий метод є неефективним, оскільки досліджуване ФД залежить не лише від апаратури аналізатора, але й від структури досліджуваного потоку і структури сигналу. У результаті метод програмної компенсації призводить до значних похибок результатів аналізу. Таким чином, єдиним методом досягнення заданої точності оцінювання ФД є висока якість аналізатора, що забезпечує малий рівень власного ФД. Це основна причина того, що аналіз ФД значно ускладнює апаратуру і реалізувати аналізатори ФД, які характеризуються високою точністю, виявляється практично складною задачею.

Тракт аналого-цифрового перетворення (ТАЦП) є невід'ємною частиною пристрою оцінювання ФД (рис. 1). Одним з основних етапів оброблення сигналу ФД U_T , що формується на виході фазового детектора (ФДГ), є його аналого-цифрове перетворення. Саме складові ТАЦП: блок вибірки та зберігання (БВЗ), генератор імпульсів дискретизації f_s (ГД), квантувач (КВ) і кодер (КД) визначають характеристики пристрою оцінювання ФД у цілому.

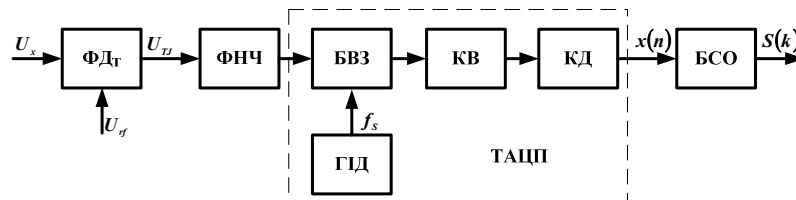


Рис. 1. Узагальнена структура пристрою оцінювання ФД

Реальні ТАЦП вносять суттєві спотворення та завади в цифрове подання сигналу ФД $x(n)$ у вигляді паразитних спектральних складових і шумів, що обумовлені нелінійністю та нестабільністю функціональних елементів, власними та наведеними шумами, а також паразитними сигналами [2]. Тому для досягнення високої ефективності засобів оцінювання ФД, необхідно у першу чергу, вирішити проблему покращення шумових характеристик ТАЦП сигналів джитеру.

Метою роботи є покращення шумових характеристик тракту аналого-цифрового перетворення аналізаторів ФД за рахунок коригування фазових зсувів імпульсів дискретизації. Для досягнення заданої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- проаналізувати вплив дрижання відліків аналого-цифрового перетворювача на шумові властивості ТАЦП сигналу ФД;
- виконати розпаралелювання процесу аналого-цифрового перетворення сигналів ФД з коригуванням затримок імпульсів дискретизації;
- оцінити ефективність методу аналого-цифрового перетворення з коригуванням ФД відліків.

Аналіз впливу ФД відліків аналого-цифрового перетворювача на шумові властивості ТАЦП

У ТАЦП здійснюється дискретизація та квантування сигналів ФД. При перетворенні змінних у часі сигналів ФД виникають специфічні похибки, динамічні за своєю природою, для оцінювання яких уводять поняття апертурної невизначеності. Фіксована затримка апертури не викликає похибок перетворення. Але при використанні кількох інтегральних схем (ІС) аналого-цифрових перетворювачів (АЦП), як це має місце в ТАЦП сигналів ФД, спостерігаються відмінності у затримках апертури між перетворювачами. А якщо ще й існує варіація в затримці апертури у різних тактах дискретизації, то виникає значна апертурна похибка. Апертурна похибка ΔU_a співвимірна зі швидкістю змінювання вхідного аналогового сигналу U_{in} . Для будь-якого заданого значення апертури $\Delta \tau_a$ апертурна похибка зростає зі збільшенням швидкості змінювання вхідного сигналу dU_{in}/dt . Знаходимо відношення сигнал/шум апертури враховуючи, що середньоквадратичне значення шкали FWG дорівнює $U_m/\sqrt{2}$:

$$SNR_a = 20 \lg \left[\frac{U_m/\sqrt{2}}{\Delta U_{rms}} \right] = 20 \lg \left[\frac{1}{2\pi f \Delta \tau_a} \right]. \quad (1)$$

Таким чином, зі збільшенням частоти вхідного сигналу та зі зростанням апертурного дрижання відношення сигнал/шум знижується. Тому дискретизація сигналів ФД за допомогою АЦП з високими значеннями $\Delta \tau_a$ призводить до суттєвої невідповідності між швидкістю АЦП і періодом дискретизації. Ця невідповідність досягає 2÷3 порядків і ускладнює процес аналого-цифрового перетворення, тому що навіть для низькочастотних сигналів ФД необхідно швидкодіючі АЦП.

Розпаралелювання процесу аналого-цифрового перетворення сигналів ФД з коригуванням затримок імпульсів дискретизації

Для досягнення високої швидкодії АЦП пропонується виконувати структурне розпаралелювання процесу аналого-цифрового перетворення сигналів ФД. Такі АЦП можуть функціонувати зі швидкістю, що значно перевищує швидкість окремих ІС АЦП [2]. Але паралельний метод характеризується низькими значеннями відношення сигнал/шум, внаслідок виникнення апертурної невизначеності в окремих зразках АЦП та нестабільністю фронтів імпульсів дискретизації. Узагальнена структура процесу розпаралелювання аналого-цифрового перетворення сигналів ФД наведена на рис. 2.

У даному випадку перетворення аналогового сигналу в цифровий код здійснюється за допомогою L паралельно ввімкнених ІС АЦП1÷АЦП L . Сумарна частота дискретизації для такого процесу дорівнює f_s . Імпульси дискретизації подаються на строб-входи ІС АЦП з частотою f_s/L . Окрім того, для двох послідовно ввімкнених сусідніх АЦП за допомогою блоків затримки (БЗ) підтримується необхідний фазовий зсув між фронтами імпульсів.

Внаслідок неідентичності апертурного часу у кожному з модулів АЦП та складності підтримання відповідної затримки між ІС перетворювачів, відношення сигнал/шум паралельно нарощеного АЦП виявляється значно нижчим, ніж у базових структурах. З теорії цифрової обробки сигналів відомо, що частотний спектр синусоїдального сигналу на виході лінійки паралельних АЦП дорівнює [3]:

$$X(f) = \frac{1}{T_s} \sum_{k=-\infty}^{\infty} A(k) \cdot \delta \left[f - f_{in} - k \left(\frac{4\pi^2}{LT_s} \right) \right], \quad (2)$$

де T_s – період дискретизації АЦП; $A(k)$ – значення частотних складових спектра;

$$\delta[x] = 1, \text{ якщо } x \neq 0; \delta[x] = 0, \text{ якщо } x = 0.$$

Нехай апертурний зсув та нестабільність імпульсів дискретизації оцінюється значенням відносною фазовою нестабільності:

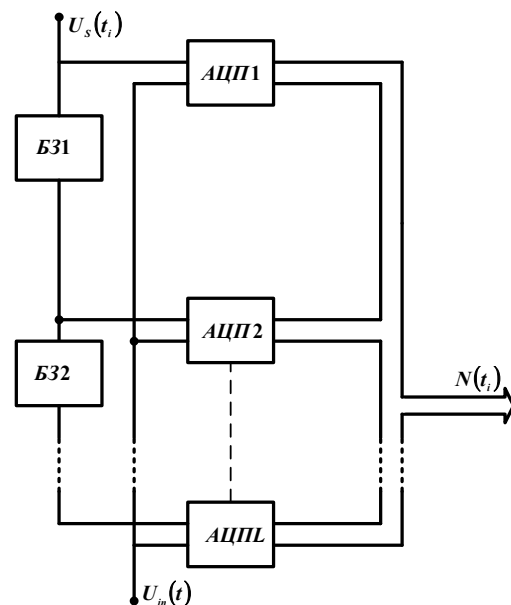


Рис 2. Узагальнена структура процесу розпаралелювання аналого-цифрового перетворення сигналів ФД

$$m_l = \frac{\Delta\tau_a - \Delta\tau_{al}}{\Delta\tau_a}, \quad (3)$$

де $\Delta\tau_a$ – номінальне значення фазового зсуву АЦП; $\Delta\tau_{al}$ – фазовий зсув ІС АЦП.

Використовуючи дискретне перетворення Фур'є (ДПФ), з урахуванням (3), можна визначити значення частотних складових спектра

$$A(k) = \sum_{l=0}^{L-1} \left[\frac{1}{L} \cdot e^{-j2\pi m_l \frac{f_{in}}{f_s}} \right] \cdot e^{-jk \cdot l \left(\frac{2\pi}{L} \right)}. \quad (4)$$

Отриманий вираз дозволяє стверджувати, що цифровий спектр вихідного сигналу паралельного АЦП має L пар частотних складових, що рівномірно розділені по осі частот. Число пар складових спектра по осі частот від $f_{\min} = 0$ до $f_{\max} = f_s$ залежить від числа L базових ІС АЦП. Загальний вираз для оцінювання відношення сигнал/шум АЦП має такий вигляд:

$$S/N = \left(\frac{S}{N} \right)_q + \Delta \left(\frac{S}{N} \right)_s - \Delta \left(\frac{S}{N} \right)_\tau, \quad (5)$$

де $\left(\frac{S}{N} \right)_q$ – відношення сигнал/шум квантування ідеального АЦП; $\Delta \left(\frac{S}{N} \right)_s$ – приріст у відношенні сигнал/шум за рахунок режиму надлишкової дискретизації; $\Delta \left(\frac{S}{N} \right)_\tau$ – втрати у відношенні сигнал/шум за рахунок фазової нестабільності.

Останню складову виразу (5) з урахуванням (4) можна записати у такому вигляді:

$$\Delta \left(\frac{S}{N} \right)_\tau = 20 \lg \left(\frac{1}{m_l} \right) + 10 \lg \left(\frac{4\pi^2 (L-1)}{L} \right). \quad (6)$$

Враховуючи, що друга складова виразу (6) є усталеним значенням, можна вважати, що найбільшого впливу на шумові властивості ТАЦП завдають апертурна невизначеність та нестабільність фронтів імпульсів дискретизації. Таким чином, для підвищення відношення сигнал/шум ТАЦП необхідно знижувати фазову нестабільність перетворювача. Спектр сигналу, визначений на базі ДПФ, обробляється з метою знаходження часового зсуву τ_{al} для кожного з L базових АЦП. Отримані значення затримок є основою для коригування фазових параметрів імпульсів дискретизації ІС АЦП.

Аналіз ефективності методу аналого-цифрового перетворення з коригуванням ФД відліків

Ефективність розробленого методу можна оцінити за виграшем у відношенні сигнал/шум при аналого-цифровому перетворенні сигналів заданої частоти. Для цього потрібно представити вираз (5) у розгорнутій формі. Відомо, що відношення сигнал/шум квантування для ідеального n -розрядного аналого-цифрового перетворення синусоїдального сигналу визначається за формулою [2]:

$$\left(\frac{S}{N} \right)_q = 6,02n + 1,8. \quad (7)$$

У разі здійснення дискретизації сигналів ФД з частотою, що перевищує максимальну частотну складову f_{in} у смузі вхідного сигналу більш, ніж у 2 рази, то такий режим називають надлишковою дискретизацією. Виграш, який можна отримати за рахунок такого режиму, визначається як

$$\Delta \left(\frac{S}{N} \right)_s = 10 \lg \frac{f_s}{2f_{in}}. \quad (8)$$

Підставивши (7) і (8) у загальне співвідношення (5), отримаємо аналітичний вираз для оцінювання відношення сигнал/шум АЦП з коригуванням фазової нестабільності вибірок:

$$\left(\frac{S}{N} \right)_\tau = 6,02n + 10 \lg \frac{f_s}{2f_{in}} - 20 \lg \frac{1}{m_l} - 10 \lg \frac{4\pi^2 (L-1)}{L} + 1,8. \quad (9)$$

Ступінь коригування $\Delta\tau_a$ визначається роздільною здатністю алгоритму ДПФ, яка залежить від обсягу оброблюваної вибірки N та нормованої смуги пропускання вікна даних β_ω . Тому вторинне оброблення результатів аналого-цифрового перетворення на базі ДПФ вносить додатковий виграш, а саме:

$$\Delta \left(\frac{S}{N} \right)_{FFT} = 10 \lg \frac{N}{2\beta_\omega}. \quad (10)$$

На базі виразів (9) та (10) можна виконати аналіз шумових властивостей АЦП, побудованих на основі запропонованого методу. На рис. 3 наведено залежності відношення сигнал/шум АЦП від обсягу оброблюваної вибірки для різних значень фазової нестабільності базових 10-розрядних АЦП, що характеризуються 10-відсотковим відхиленням фазового зсуву від номінального значення, тобто $m_l = 0,9$. За таких умов, відношення сигнал/шум без коригування дорівнює 45 дБ (нижня пряма лінія).

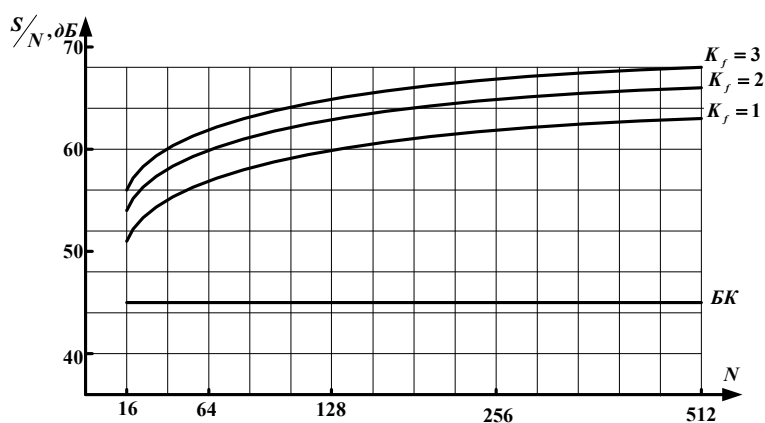


Рис. 3. Залежність відношення сигнал/шум від обсягу обробленої вибірки 10-розрядного АЦП

Три верхні криві побудовано для різних значень коефіцієнта частотної надлишковості. Залежно від обсягу обробленої вибірки відношення сигнал/шум зростає до значень $51 \div 67$ дБ, що на $6 \div 22$ дБ краще, ніж для АЦП без коригування. Таким чином, запропонований метод коригування фазового зсуву вибірок в ТАЦП є ефективним інструментом для підвищення ефективності засобів оцінювання ФД.

Висновки

Розроблено метод покращення шумових властивостей ТАЦП, у рамках якого встановлено, що на шумові параметри АЦП впливає дрижання відліків окремих ІС перетворювачів, що виникають внаслідок апертурної невизначеності АЦП та ФД фронтів імпульсів дискретизації. Для покращення шумових параметрів ТАЦП запропоновано визначити значення фазової нестабільності кожного з модулів АЦП з метою подальшого коригування колами зворотного зв'язку фазових зсувів імпульсів дискретизації. Аналіз відношення сигнал/шум показав, що порівняно з класичним методом, даний метод коригування фазового зсуву вибірок сигналу в ТАЦП дає змогу підвищити відношення сигнал/шум на $6 \div 22$ дБ.

Література

1. Baklanov I.G. Technologies measurements of current telecommunications / I.G. Baklanov. – М.: ECO-TRENDZ, 2007. – 354 p.
2. Kester W. Analog-to-digital conversion / Walt Kester. – М.: Technosphere, 2007. – 1016 p.
3. Ayficher E.S. Digital Signal Processing / E.S. Ayficher, B.W. Jervis. – М.: Williams, 2008. – 992 p.

References

1. Baklanov I.G. Technologies measurements of current telecommunications. Moscow. ECO-TRENDZ, 2007. 354 p.
2. Kester W. Analog-to-digital conversion. Moscow. Technosphere, 2007. 1016 p.
3. Ayficher E.S. Digital Signal Processing. Moscow. Williams, 2008. 992 p.

Рецензія/Peer review : 26.7.2013 p.

Надрукована/Printed : 14.10.2013 p.